共同研究報告書

整理番号第 484 号

高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書(その2)

平成 28 年 3 月

国 立 研 究 開 発 法 人 土 木 研 究 所
公 立 大 学 法 人 大 阪 市 立 大 学

共同研究報告書

第 484 号 2016 年 3 月

高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書（その2）

国立研究開発法人　土木研究所

公立大学法人　大阪市立大学

要旨

土木研究所 CAESAR と大阪市立大学は，共同研究「高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究」を実施し，高力ボルト摩擦接合継手の設計法に関する実験的・解析的検討を行ってきた。本報告書は，接触面を無塗装とし厚板・多列とした継手のすべり耐力試験結果，および砲台配置とした継手のすべり挙動に関する弾塑性有限変位解析による検討結果をまとめたものである。すべり耐力試験では，板厚（50,75mm），ボルト列数（3,8,12列）をパラメータとした試験体のすべり耐力試験を行い，母板厚及びボルト列数等がすべり挙動に及ぼす影響について明らかにした。解析的検討では，砲台配置のすべり耐力試験結果と解析結果の比較により解析の再現性の確認を行うとともに，各種の構造諸元がすべり継手挙動に及ぼす影響を明らかにした。

キーワード：高力ボルト，摩擦接合，無塗装，厚板，多列，無機ジンクリッチペイント，
砲台配置，すべり耐力試験，FEM，締付け軸力，すべり耐力（すべり係数）

共同研究担当者名簿

機　関	氏　名	所　属	担当期間
国立研究開発法人 土木研究所	村越　潤	構造物メンテナンス研究センター 上席研究員	H21.9～
	澤田　守	構造物メンテナンス研究センター 研究員※1	H21.9～H25.6
	石原 大作	構造物メンテナンス研究センター 交流研究員	H26.7～
公立大学法人 大阪市立大学	山口　隆司	工学研究科 都市系専攻教授	H21.9～

※1　現　国土交通省 中部地方整備局 企画部 企画課

目　　　　　　次

1. はじめに

1.1 研究概要

公共事業におけるコスト縮減の観点から，工数低減のために部材の簡素化，構造の合理化を図った鋼橋が普及してきており，板厚 50mm を超える厚板鋼板も広く使用されるようになっている。鋼板の接合には，溶接継手と高カボルト摩擦接合継手の 2 種類が用いられているが，高カボルト摩擦接合継手の場合には，部材の厚板化により連結部のボルト列数が増加（多列化）する傾向にある。

このため，土木研究所[1]では接触面に無機ジンクリッチペイントを塗装した高カボルト摩擦接合継手を対象として，すべり耐力試験及び数値解析を実施し，厚板化・多列化に伴うすべり係数低下の影響等について検討を行ってきた。これらの検討成果や既往研究等をふまえ，平成 24 年に改定された道路橋示方書・同解説 ll 鋼橋編[2]（以下，道示）では，無機ジンクリッチペイントを塗装した場合の，8 列以上のボルト継手とする場合のボルト許容力に乗じる低減係数が解説に示された。一方で，接触面を無塗装とした場合に対しては，すべり耐力試験等による知見が必ずしも十分でなく，8 列以上のボルト列数の継手の適用が制限されている。

また，引張力を受ける継手においては，ボルト穴による断面欠損を考慮する必要があるため，母材の最外ボルト列において，断面欠損を抑える目的で矩形配置と千鳥配置を組み合わせたボルト配置（以下，砲台配置）が採用されることが多く，母板厚によっては多列となる場合がある。砲台配置の場合のボルト列数のすべり挙動への影響を含めた設計法について，実験的にも解析的にも継手挙動を詳細に検討した研究は行われていない。

そこで，本研究では，厚板鋼板を用いた高力ボルト摩擦接合継手を対象として，接触面を無塗装とし継手のすべり耐力試験を行うとともに，砲台配置とした継手のすべり挙動に関する弾塑性有限変位解析による検討を行い，継手のすべり挙動及び荷重伝達メカニズムについて検討を行ったものである。

1.2　用語と記号

本報告書においては，以下に示す記号および用語を用いる。

N_0	：道示 表-解 3.2.6 高力ボルトの許容力に示される設計ボルト軸力で，ボルトの耐力（σ_y）に降伏点に対する比率（α）とボルトのねじ部の有効断面積を乗じた式で計算される設計ボルト軸力（M22 の場合 N_0=205kN）(kN)
N_1	：試験体に実際にボルトに導入した軸力（実測値）(kN)
N_2	：引張試験直前のボルト軸力（実測値）(kN)
μ	：設計すべり係数（＝0.40）
μ_0	：設計ボルト軸力 N_0 に対するすべり係数　　$\mu_0 = P_{SL} /(m \cdot n \cdot N_0)$
μ_1	：締付けボルト軸力 N_1 に対するすべり係数　　$\mu_1 = P_{SL} /(m \cdot n \cdot N_1)$
μ_2	：試験前ボルト軸力 N_2 に対するすべり係数　　$\mu_2 = P_{SL} /(m \cdot n \cdot N_2)$
P_{SL}	：すべり耐力（kN）
m	：接合面の数（＝2）
n	：ボルト本数
β	：すべり/降伏耐力比 β= 設計すべり耐力 / 設計降伏耐力 設計すべり耐力 = 設計すべり係数×摩擦面数×設計軸力×ボルト本数 設計降伏耐力 = 板厚×(母板幅－孔径)×設計降伏強度
W	：母板幅(mm)
t	：母板厚(mm)
σ_Y	：母板の降伏点の公称値（N/mm^2）
d	：ボルト孔径（mm）（＝24.5mm）

2. 接触面を無塗装とした厚板・多列の高力ボルト摩擦接合継手試験体のすべり耐力試験

2.1 検討概要

ボルト継手の多列化がすべり耐力に及ぼす影響については，厚板鋼板ではない場合も含めて，これまでにも各種の調査研究が行われている。例えば，佐伯ら[3)]は，接触面を無塗装とした母板厚35mmの試験体を用いてすべり耐力試験を実施し，ボルト列数の影響について検討を行っており，その結果は，昭和55年の道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編[4)] 以降の解説に反映されている。すなわち，ボルト継手の連結長が長すぎるとボルト毎の分担摩擦力が著しく不均等になることを示し，ボルト列数 12 列程度まではすべり耐力が低下しないという実験例もあるとした上で，ボルト列数は無理のない範囲で8列程度以下とするのがよいとしている。近年では，山口ら[5)]が母板厚 50mm で F10T-M16 を使用した試験体を用いてすべり耐力試験を行っている。ボルト列数 4，8，12 列を対象に多列化の影響について検討を行い，8 列以上の場合，4 列と比較してすべり係数が低下するとしている。以上のように，接触面を無塗装とした場合のボルト列数の影響に関するすべり耐力試験は行われているものの事例は少なく，厚板で，かつ一般的に使用されているボルト（F10T-M22）を用いた試験例は報告されていない。

一方，防食の観点から接触面に無機ジンクリッチペイントを塗装した場合についても，多列継手を対象としたすべり耐力試験によるすべり係数の検討が行われている[1),6)-8)]。馬場ら[6)]は，母板厚 65mm で，ボルトの呼び M30 の太径ボルト継手の試験体を用いてすべり耐力試験を実施している。ボルト列数 18 列までの試験結果より，すべり係数は 6 列から 12 列の間で 4%程度低下するものの，18 列の場合では 12 列の場合を約 6%上回っていることから，多列となる場合にすべり係数が低下するとは一概にいえないとしている。玉越ら[7)]は，母板厚 75mm の厚板に対して，M22 のトルシア形超高力ボルトによる継手試験体を用いてすべり耐力試験を実施し，ボルト列数が 12 列の場合のすべり係数が，8 列の場合に対して 9%程度下回る結果が報告されている。土木研究所[1),8)]は，厚板へのボルト列数 8 列を超える継手の適用性を把握するために，母板厚及びボルト列数をパラメータとした試験体のすべり耐力試験を行い，ボルト列数 8 列に対して 12 列では，母板厚 75mm の場合 7%, 50mm の場合 1%低下する結果を得ている。また, 厚板･多列のボルト継手に対する FEM 解析[1),9)]により, すべり挙動を解析的に評価するとともに，試験体と同一の継手に対してボルト列数が 8 列以上となる場合，すべり係数が低下する傾向にあることを明らかにした。

これらの既往研究等をふまえ，無機ジンクリッチペイントを塗装した場合の，8 列以上の場合のボルト継手とする場合のボルト許容力に乗じる低減係数が道示 [2)]解説では示された。一方，接触面を無塗装とした場合に対しては，すべり耐力試験等による知見が必ずしも十分でない。

本章では，接触面を無塗装とした高力ボルト摩擦接合継手を対象として，母板厚及びボルト列数をパラメータとした試験体（計 18 体）のすべり耐力試験を行い，無塗装の場合におけるボルト列数が継手挙動に及ぼす影響について検討を行った。

2.2 試験体の基本諸元

2.2.1 試験体寸法

本試験で用いた試験体の基本諸元を**表- 2.2.1** に，試験体の寸法形状を**図- 2.2.1** に示す。母板厚 50，75mm と，ボルト列数 3，8，12 列を組み合わせたものを試験対象とした。ボルト列数は，施工性や継手の適用実績を踏まえ，概ね上限に近いと考えられる 12 列を最大とした。試験結果のばらつきを考慮す

るため，試験体数は各 3 体とし，試験体の母板と連結板には溶接構造用圧延鋼材 SM490Y，高力ボルトには F10T-M22 を用いた。すべり耐力には，式(1)で与えられる母板の降伏耐力に対するすべり耐力の比率（以下，すべり/降伏耐力比という。）が影響することが明らかにされている[10)]。本研究では，列数がすべり耐力に与える影響について適切に評価できるように，すべり/降伏耐力比を 0.5 程度以下となるように試験体幅を設定した。

また，ボルト中心間隔は，ボルトが多列配置となる場合，設計・施工の面から連結板をできるだけ小さく設計することが一般的と考えられるため，M22 の高力ボルトの最小中心間隔 75mm とした。なお，本試験で用いた試験体は筆者ら[1),8)]が使用した試験体と同一の試験体であり，接触面のみをブラスト処理に変更したものである。

$$\beta = \frac{\mu_1 \cdot m \cdot n \cdot N_0}{(W - d) \cdot t \cdot \sigma_y} \qquad (1)$$

表− 2.2.1　試験体の基本諸元

試験体No.	ボルト列数	母板厚 (mm)	連結板 板厚(mm)	母板幅 (mm)	母板すべり 耐力(kN)	すべり 耐力比
1-A,B,C	3	50	26	120	576	0.32
2-A,B,C	8			190	1504	0.49
3-A,B,C	12			270	2123	0.46
4-A,B,C	3	75	38	120	584	0.22
5-A,B,C	8			130	1527	0.51
6-A,B,C	12			190	2104	0.45

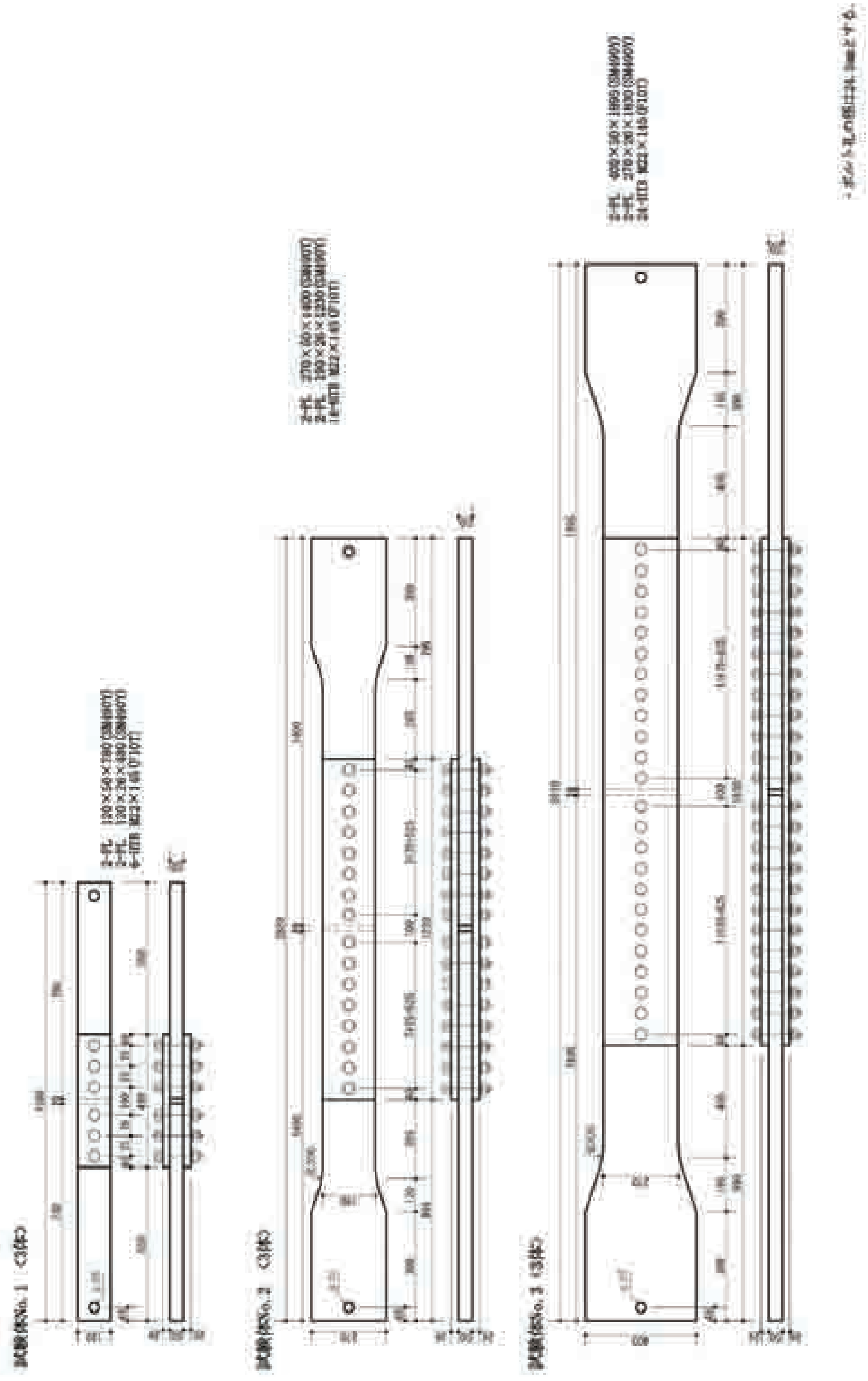
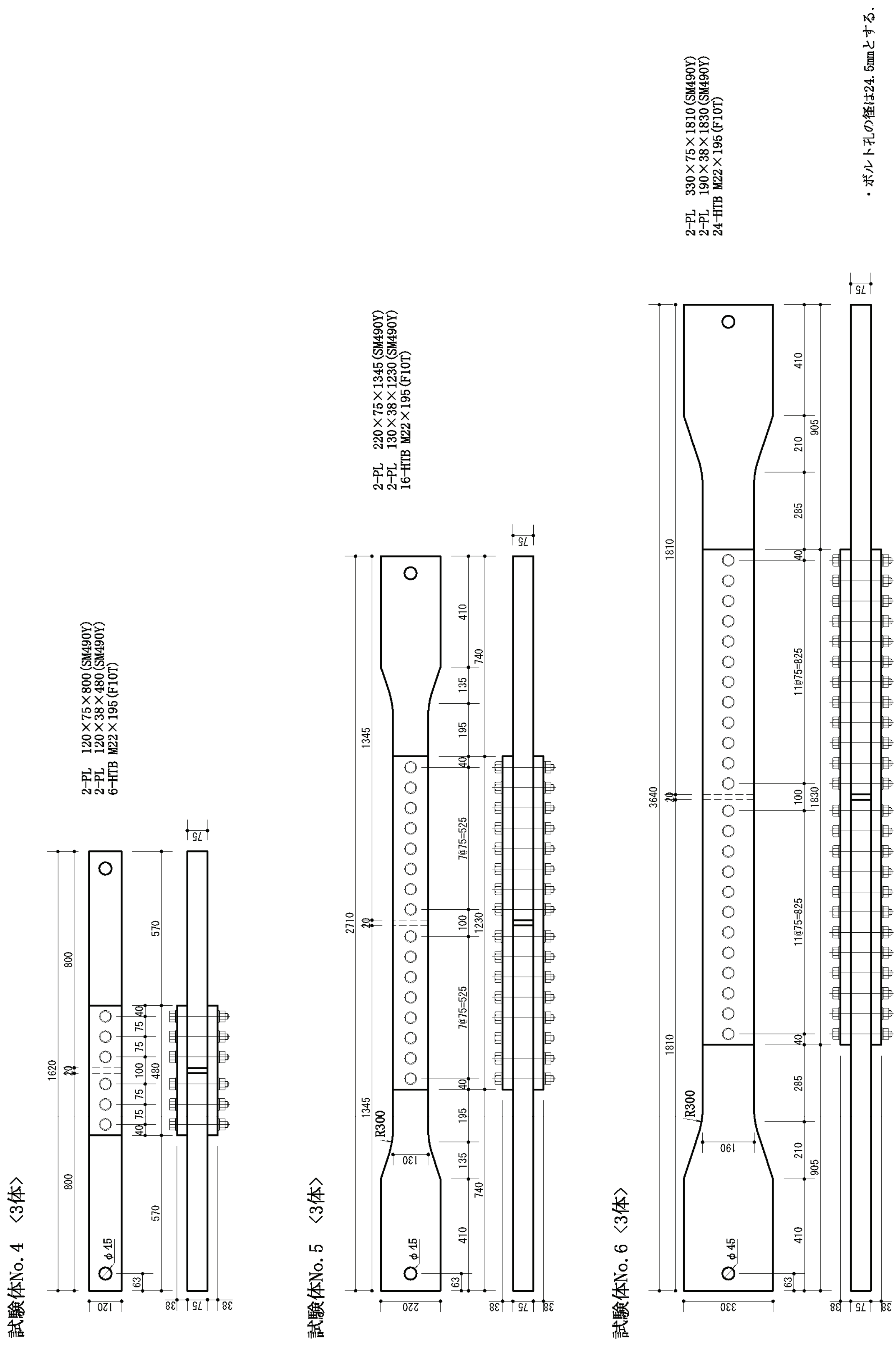


図- 2.2.1 (a) 試験体 No.1～3 の形状寸法



図‐ 2.2.1 (b) 試験体 No.4～6 の形状寸法

2.2.2　試験体のブラスト処理

試験体の接触面には ISO Sa 2.5 を目標としてブラスト処理（スチールグリッド JIS G 5903[11] G50）を行った。ブラスト投射圧は 6.5MPa とし，ブラスト投射時間の記録を表− 2.2.2 に示す。

表− 2.2.2 ブラスト投射時間の記録

試験体 No.	部材	投射時間	部材	投射時間
No.1	連結板	3 分 0 秒	母板(表裏)	2 分 40 秒
No.2	連結板	12 分 40 秒	母板(表裏)	6 分 0 秒
No.3	連結板	19 分 20 秒	母板(表裏)	12 分 40 秒
No.4	連結板	3 分 0 秒	母板(表裏)	2 分 20 秒
No.5	連結板	8 分 40 秒	母板(表裏)	6 分 30 秒
No.6	連結板	13 分 40 秒	母板(表裏)	8 分 50 秒

2.2.3　高力ボルトの締付け

ボルトの締付けは，道示に従い内側から外側に向かって順次行った。締付け作業は 2 回に分けて実施し，1 次締めでは設計ボルト軸力の 60%程度を導入し，2 次締めでは設計ボルト軸力の 100%を導入した。道示では，トルク法によって締付ける場合の締付けボルト軸力について，トルク係数値のばらつき，クリープやリラクゼーション，すべり係数のばらつき等を考慮して設計ボルト軸力の 10%増しとするように規定しているが，本試験では軸力とすべり係数の関係を正確に把握することを目的としていることから，締付け軸力は設計軸力通りとした。ただし，試験時にすべり面が特定し易いように，片側は設計ボルト軸力の 120%以上で締付け，非すべり側とした。

ボルト軸力の管理方法としてはトルク法を用いた。ただし，軸部にひずみゲージを貼付したボルトについては，軸ひずみ値により導入ボルト軸力を管理した。キャリブレーションを行うボルトは，首下長さ 145mm，195mm ともに 5 本とした（表− 2.2.3）。試験体の組み立てに先だって，ボルトのキャリブレーションを行い，導入ボルト軸力とトルク値，あるいは導入ボルト軸力と軸ひずみの関係を求め，これを試験体組み立て時の目標値とした（表− 2.2.4～表− 2.2.6）。

表− 2.2.3　キャリブレーション用ボルト概要図

ボルト首下長さ	ゲージあり	校正荷重	ゲージなし	校正トルク
M22×145	5 本	246kN	5 本	トルクレンチ読み取り値
M22×195	5 本	246kN	5 本	

* 1 軸ひずみゲージの詳細な貼付位置 M22-145 は首下 57.0mm の軸表裏に貼付
* 1 軸ひずみゲージの詳細な貼付位置 M22-195 は首下 81.5mm の軸表裏に貼付

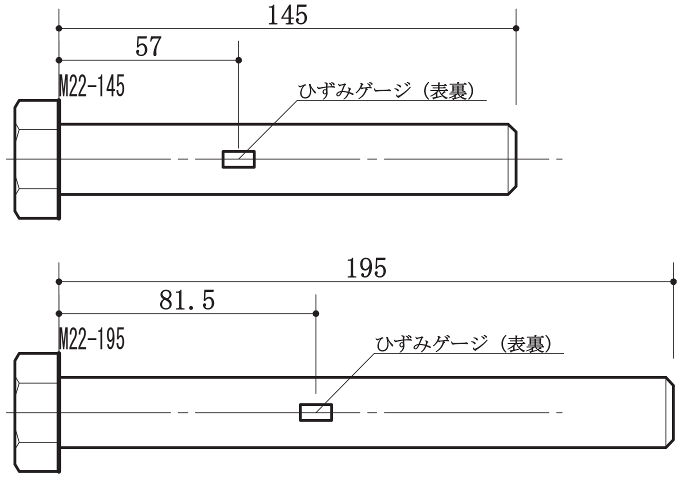


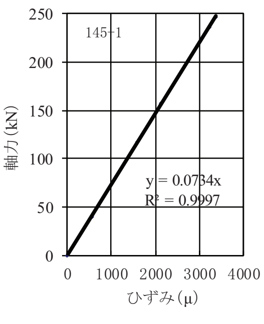
表- 2.2.4 導入ボルト軸力とトルク値

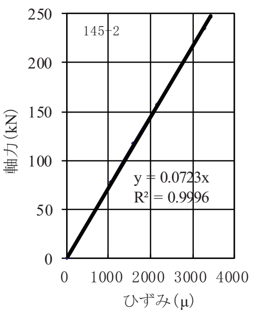
M22-145ボルト(ゲージ有り)			すべり側 一次締結		すべり側 二次締結	
			60(%)		100(%)	
試験体名	ボルト	校正係数	123		205	
			kN		kN	
M22-L145	M22 145-1	0.0734				
	M22 145-2	0.0723				
	M22 145-3	0.0737				
	M22 145-4	0.0730				
	M22 145-5	0.0746				
平均		0.0734				
M22-145ボルト(ゲージ無し)			すべり側 一次締結	非すべり側 一次締結	すべり側 二次締結	非すべり側 二次締結
			123kN 60(%)	148kN 60(%)	205kN 100(%)	246kN 120(%)
試験体名	ボルト		トルク			
			N-m	N-m	N-m	N-m
M22-L145	M22 145-1				625	
	M22 145-2				603	
	M22 145-3				610	
	M22 145-4				600	
	M22 145-5				570	
平均					602	
締結トルク			361	433	602	722

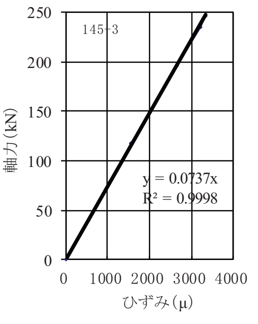
M22-195ボルト(ゲージ有り)			すべり側 一次締結		すべり側 二次締結	
			60(%)		100(%)	
試験体名	ボルト	校正係数	123		205	
			kN		kN	
M22-L195	M22 195-1	0.0719				
	M22 195-2	0.0724				
	M22 195-3	0.0703				
	M22 195-4	0.0727				
	M22 195-5	0.0739				
平均		0.0722				
M22-195ボルト(ゲージ無し)			すべり側 一次締結	非すべり側 一次締結	すべり側 二次締結	非すべり側 二次締結
			123kN 60(%)	148kN 60(%)	205kN 100(%)	246kN 120(%)
試験体名	ボルト		トルク			
			N-m	N-m	N-m	N-m
M22-L195	M22 195-1				600	
	M22 195-2				600	
	M22 195-3				630	
	M22 195-4				590	
	M22 195-5				603	
平均					605	
締結トルク			363	436	605	726

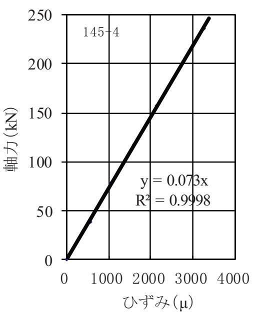
表- 2.2.5 高力ボルト(F10T M22-145 No.1～No.5) 軸力校正結果（ゲージ有り）

M22 145-1			M22 145-2			M22 145-3			M22 145-4			M22 145-5		
軸力 t	軸力 kN	ひずみ $(\times 10^{-6})$	軸力 t	軸力 kN	ひずみ $(\times 10^{-6})$	軸力 t	軸力 kN	ひずみ $(\times 10^{-6})$	軸力 t	軸力 kN	ひずみ $(\times 10^{-6})$	軸力 t	軸力 kN	ひずみ $(\times 10^{-6})$
0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0
4.0	39.2	553	4.0	39.2	538	4.0	39.2	539	4.0	39.2	553	4.0	39.2	535
8.0	78.5	1062	8.0	78.5	1046	8.0	78.5	1055	8.0	78.5	1054	8.0	78.5	1049
12.0	117.7	1570	12.0	117.7	1587	12.0	117.7	1562	12.0	117.7	1592	12.0	117.7	1557
16.0	156.9	2119	16.0	156.9	2147	16.0	156.9	2110	16.0	156.9	2136	16.0	156.9	2079
20.0	196.1	2657	20.0	196.1	2712	20.0	196.1	2662	20.0	196.1	2694	20.0	196.1	2627
24.0	235.4	3231	24.0	235.4	3274	24.0	235.4	3208	24.0	235.4	3244	24.0	235.4	3177
25.1	246.1	3374	25.1	246.1	3430	25.1	246.1	3354	25.1	246.1	3373	25.1	246.1	3351









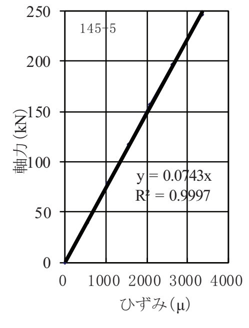
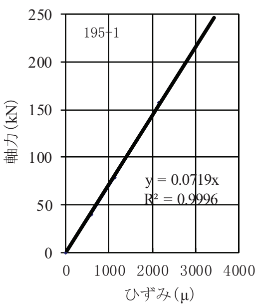
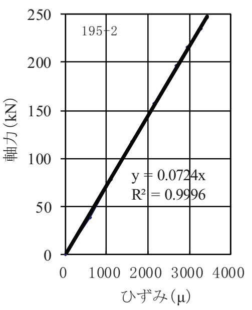
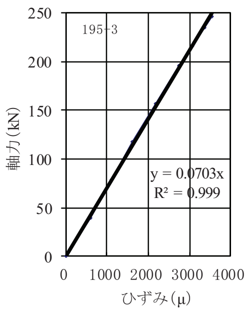


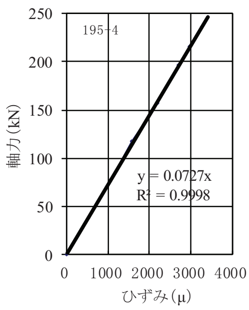
表- 2.2.6 高力ボルト(F10T M22-195　No.1～No.5)　軸力校正結果(ゲージ有り)

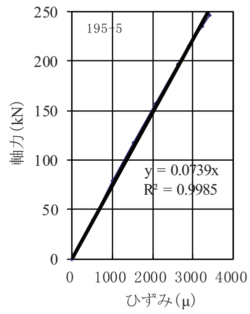
M22 195-1			M22 195-2			M22 195-3			M22 195-4			M22 195-5		
軸力 t	軸力 kN	ひずみ ($\times10^{-6}$)	軸力 t	軸力 kN	ひずみ ($\times10^{-6}$)	軸力 t	軸力 kN	ひずみ ($\times10^{-6}$)	軸力 t	軸力 kN	ひずみ ($\times10^{-6}$)	軸力 t	軸力 kN	ひずみ ($\times10^{-6}$)
0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0
4.0	39.2	599	4.0	39.2	592	4.0	39.2	596	4.0	39.2	534	4.0	39.2	512
8.0	78.5	1114	8.0	78.5	1112	8.0	78.5	1113	8.0	78.5	1067	8.0	78.5	1021
12.0	117.7	1634	12.0	117.7	1618	12.0	117.7	1625	12.0	117.7	1584	12.0	117.7	1535
16.0	156.9	2148	16.0	156.9	2143	16.0	156.9	2170	16.0	156.9	2184	16.0	156.9	2059
20.0	196.1	2721	20.0	196.1	2694	20.0	196.1	2752	20.0	196.1	2692	20.0	196.1	2622
22.0	215.7	3007	22.0	215.7	2960	22.0	215.7	3060	22.0	215.7	2965	22.0	215.7	2902
24.0	235.4	3279	24.0	235.4	3270	24.0	235.4	3382	24.0	235.4	3250	24.0	235.4	3222
25.1	246.1	3432	25.1	246.1	3419	25.1	246.1	3555	25.1	246.1	3391	25.1	246.1	3407











2.3　試験体計測および試験方法

2.3.1　試験体の寸法形状，初期そり量および肌すき量の計測

試験体の母板，連結板について，幅，長さ，板厚，初期そり量を計測した。**図- 2.3.1**，**図- 2.3.2** に寸法形状計測位置を示す。母板の幅は，試験体の端部を含む 5 箇所（w0～w4），連結板の幅は 7 箇所（w0～w3，w'1～w'3）を計測した。母板および連結板の長さは，試験体端部（L1，L2）を計測した。母板の板厚は，試験体の端部を含む 5 箇所（t0～t4），連結板の板厚は 7 箇所（t0～t3，t'1～t'3）を計測した。計測位置は，試験体幅の中央位置とした。**図- 2.3.3**，**図- 2.3.4** にそり量の測定位置を示す。そり量は，試験体接合部の端部を直線で結んだ基準線に対する相対的な凹凸量を計測した。計測位置は，試験体幅の中央位置とした。**写真- 2.3.1** に寸法形状の計測状況を示す。

また，各試験体にボルト軸力を導入し組立て後かつリラクゼーション計測前に，母板と連結板の間の肌すき量の計測を行った。計測箇所はボルト軸力計測位置と同一の位置とし，試験体の両側面で計測した。測定はすき間ゲージ（0.04mm 以上）を使用した。肌すき量 0.04mm 以下は 0 として記録した。**写真- 2.3.2** に肌すき量の計測状況を示す。

写真- 2.3.1　寸法形状の計測状況

写真- 2.3.2　肌すき量の計測状況

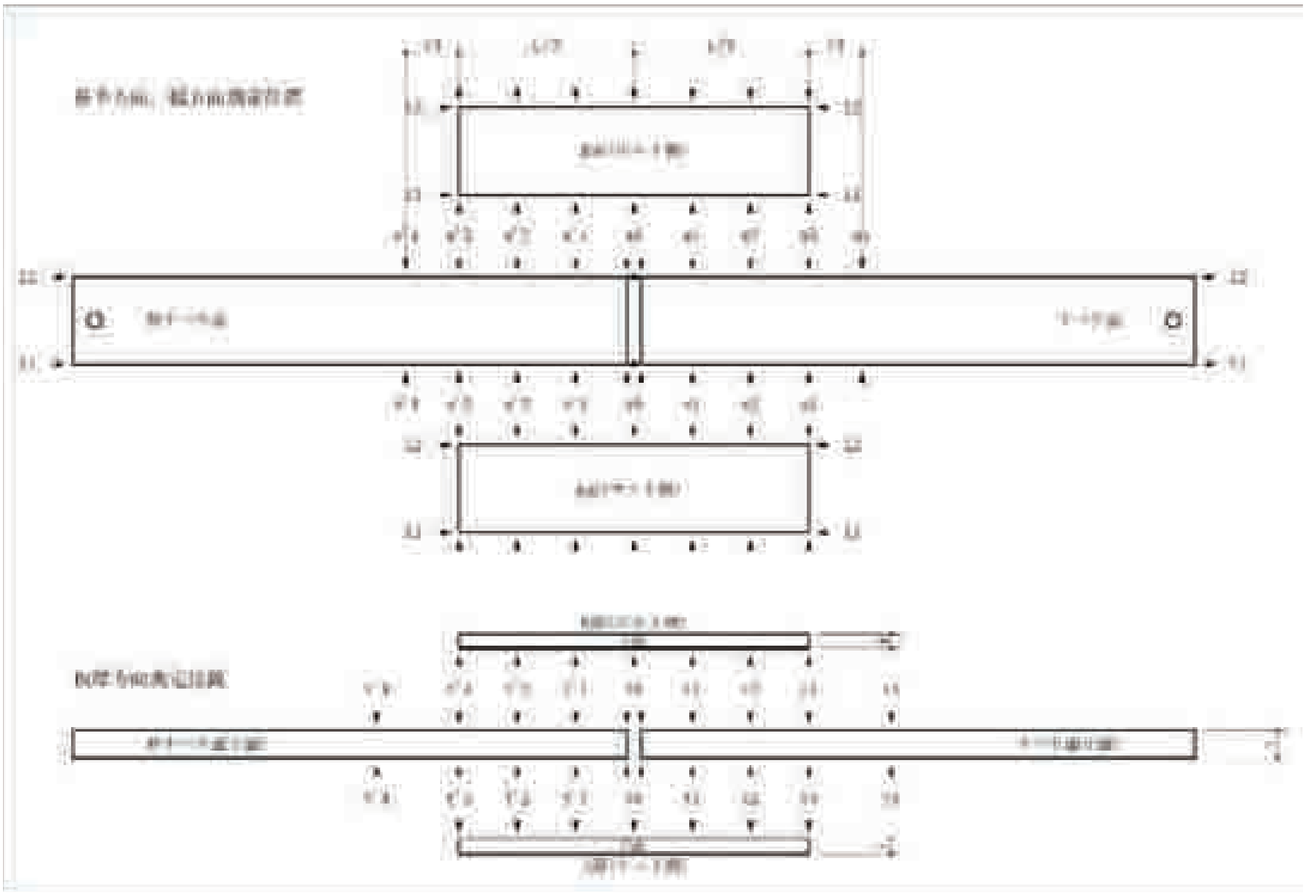


図- 2.3.1　試験体 No.1, 4 の形状寸法計測位置図(A 面からの透視図)

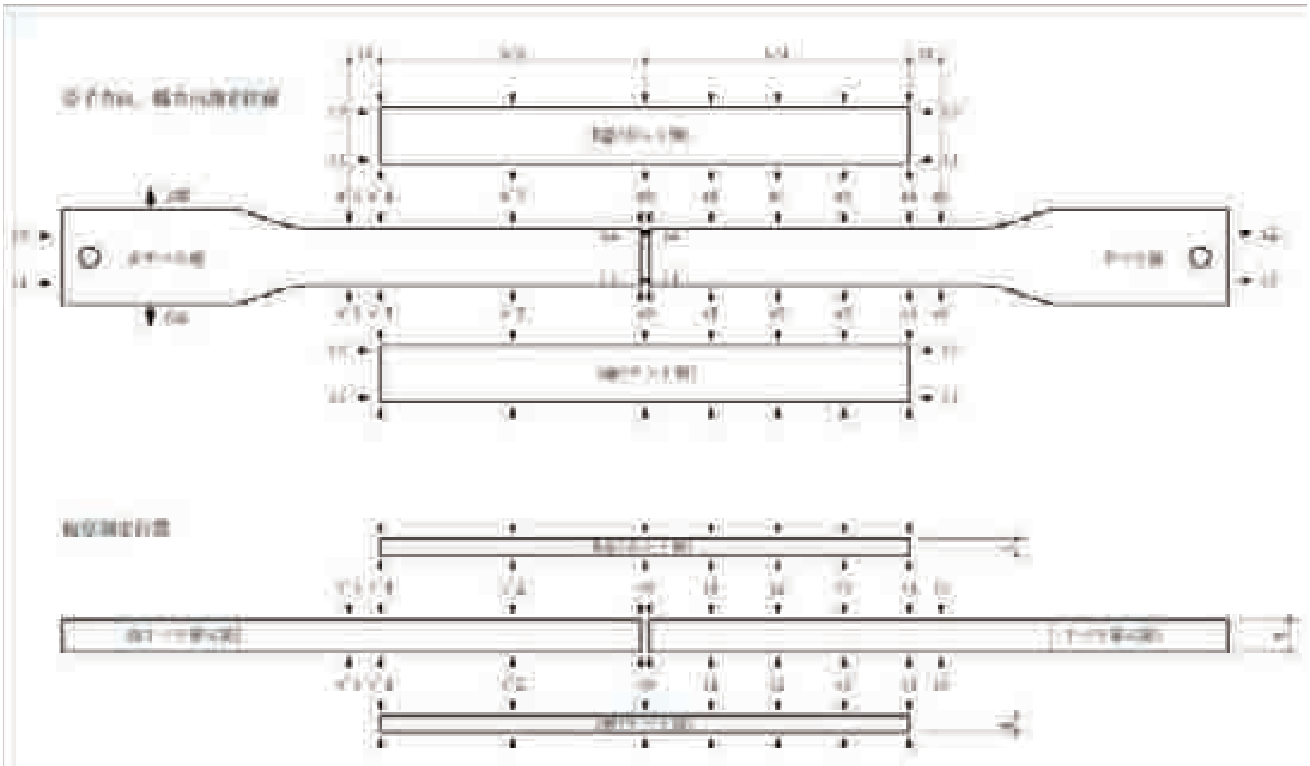


図- 2.3.2　試験体 No.2, 3, 5, 6 の形状寸法計測位置図(A 面からの透視図)

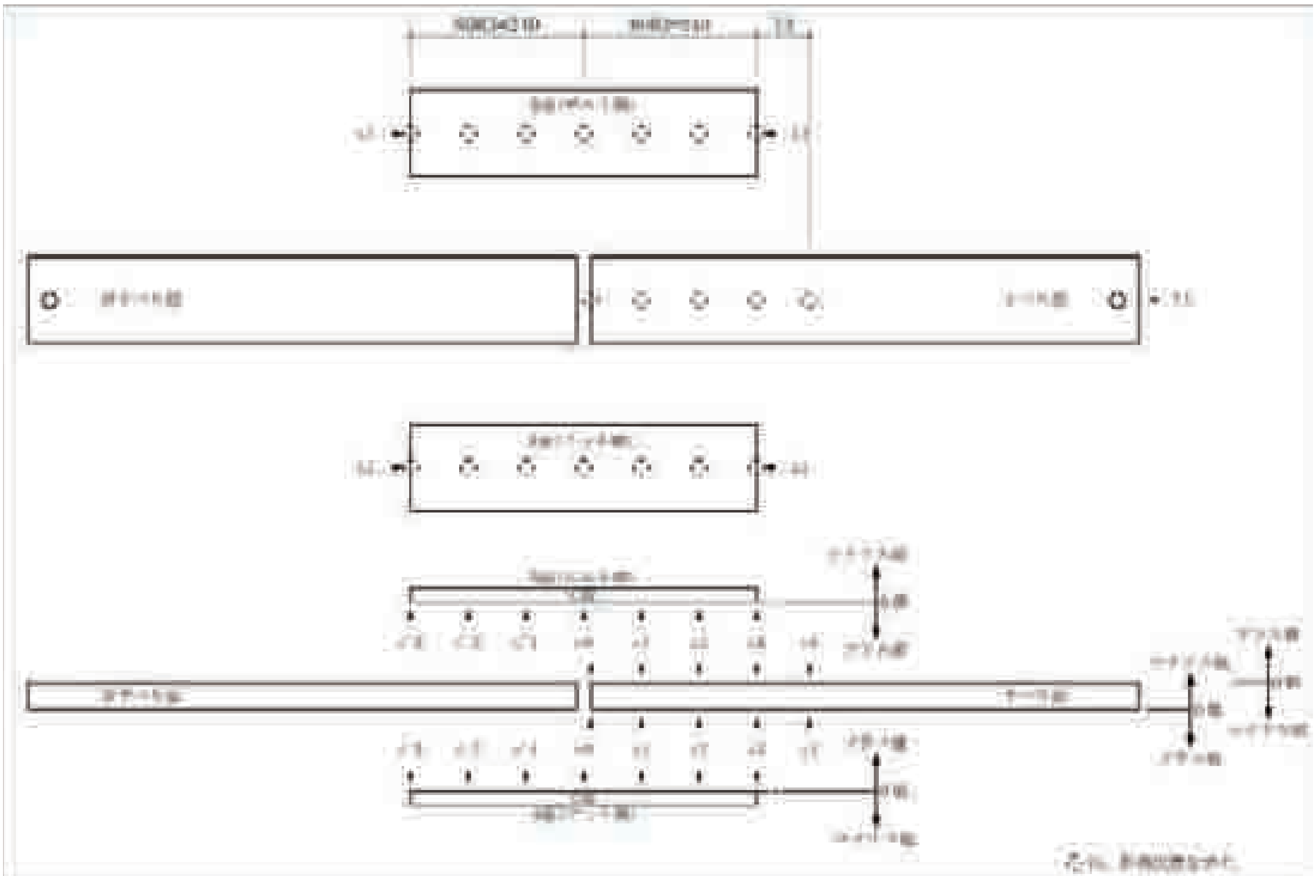


図- 2.3.3 試験体 No.1, 4 の初期そり量計測位置図(A 面からの透視図)

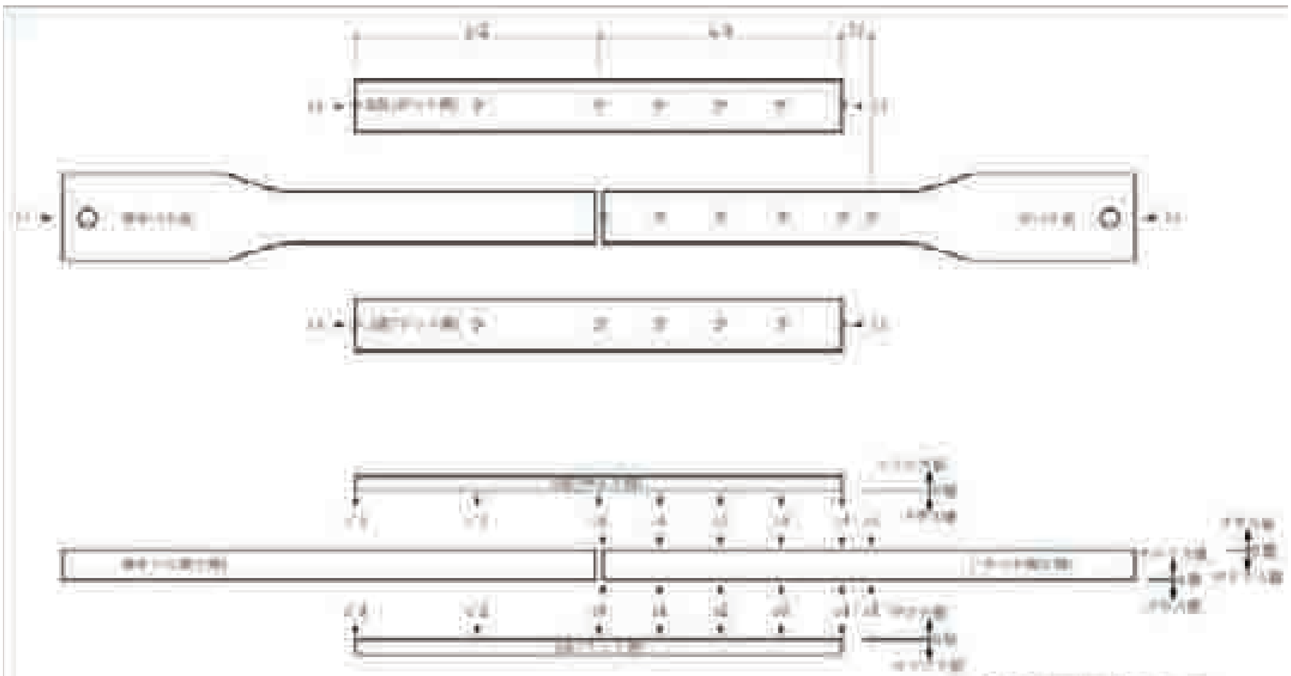
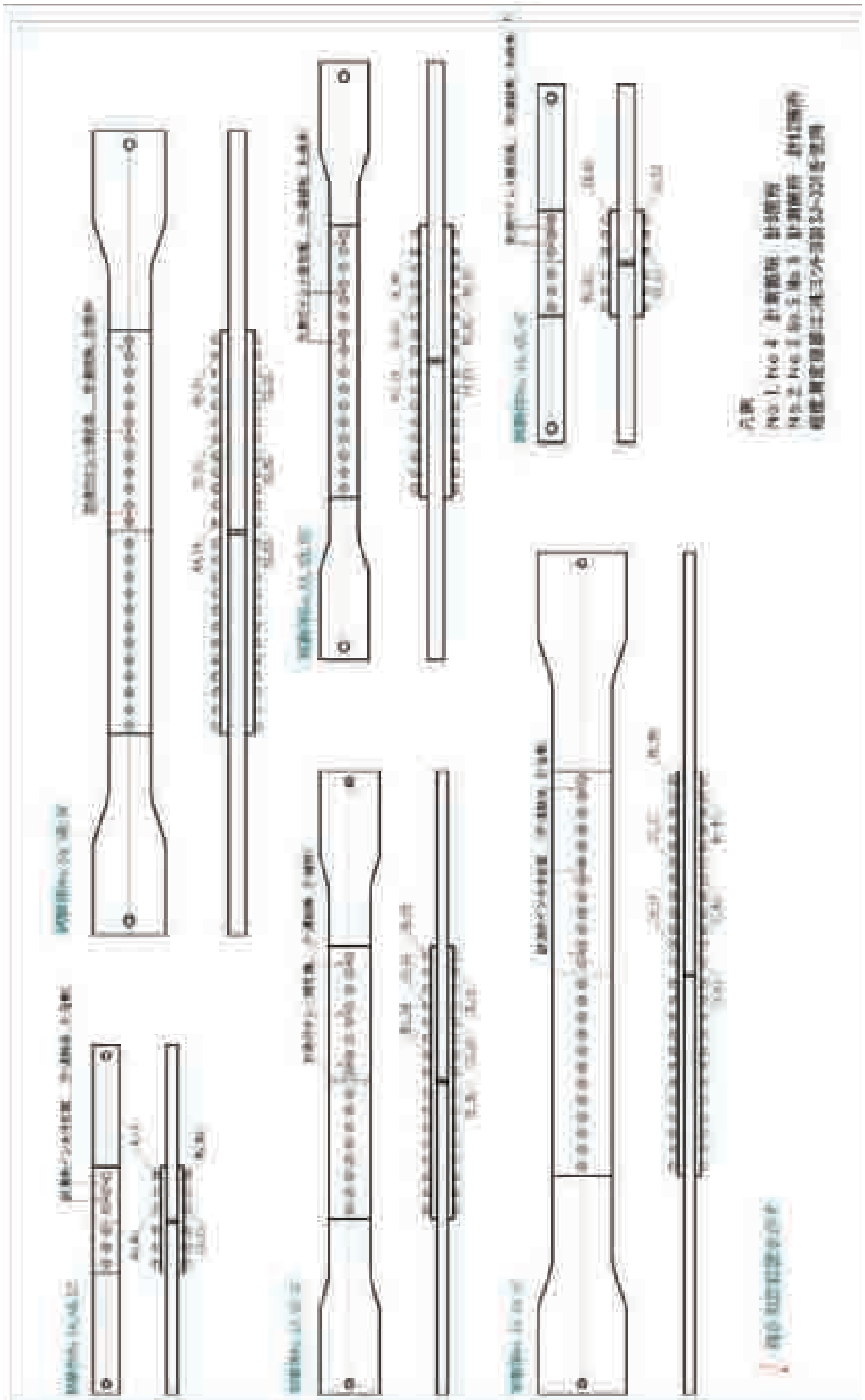


図- 2.3.4 試験体 No.2, 3, 5, 6 の初期そり量計測位置図

2.3.2　表面粗度の計測

試験体のブラスト処理後，表面粗度を計測した。計測位置を**図− 2.3.5** に示す。図中の計測位置に対して，接触面（2 面）の母板及び連結板の 4 箇所を計測した。粗さ計測は JIS B 0601[12)]に規定されている触針式表面粗さ計測器により行った。



図− 2.3.5 表面粗さ計測位置図

2.3.3　ボルト軸力の計測

ボルト締付け後からすべり耐力試験中までのボルト軸力経時変化を計測するため，ひずみゲージを貼付したボルトを対象として，**表− 2.3.1** に示す間隔でボルト軸力を計測した。計測位置については，2.3.5 にて詳述する。なお，本試験ではリード線自体の温度による影響が軽微な 3 線式のひずみゲージのリード線を使用した。

表− 2.3.1　ボルト軸力の計測間隔

項目	測定間隔
〜締付け完了時	5 秒
締付け完了時〜6 時間後	1 分
6 時間後〜7 日後	1 時間
すべり耐力試験中	1 分

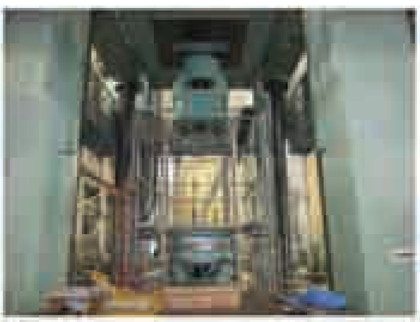
2.3.4　材料強度試験

本試験の試験体は，著者ら [1)]が実施した，接触面に無機ジンクリッチペイントを塗布した場合の，厚板・多列の高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験と同一のものを使用している。本報告書では，文献 [1)]にて実施した材料強度試験にもとづき鋼材の降伏点等の材料定数を設定した。

2.3.5　すべり耐力試験

すべり耐力試験において，ボルト列数が 3 列の場合には 2000kN 万能試験機（以下，2MN 試験機）を用い，それ以外の場合には 30MN 大型構造部材万能試験機（以下，30MN 試験機）を用いた。**写真− 2.3.3** に 2MN 試験機，**写真− 2.3.4** に 30MN 試験機での試験状況を示す。

写真− 2.3.3　2MN 試験機での試験状況



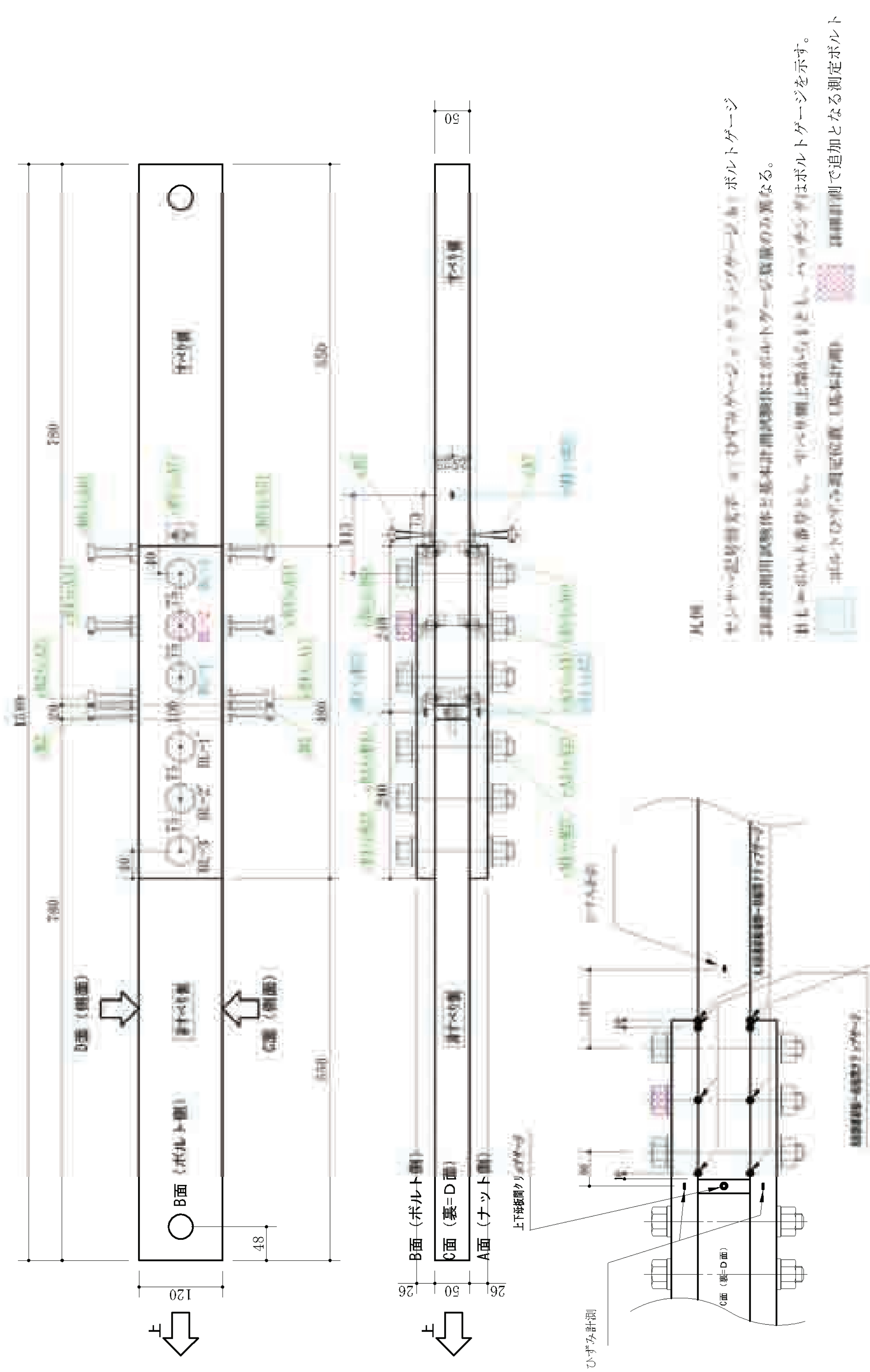
写真− 2.3.4　30MN 試験機での試験状況

本試験では，すべりが発生し荷重の低下後，すべり痕を明確にするため，すべりが生じたときと同程度の荷重になるまで再載荷した。載荷は，2MN 試験機の場合は荷重制御とし，想定されるすべり荷重に近づくにつれて，載荷速度を遅くし，すべり耐力を正確に計測にできるように努めた。30MN 試験機の場合は，変位制御とした。各試験体の載荷速度を**表− 2.3.2** に示す。

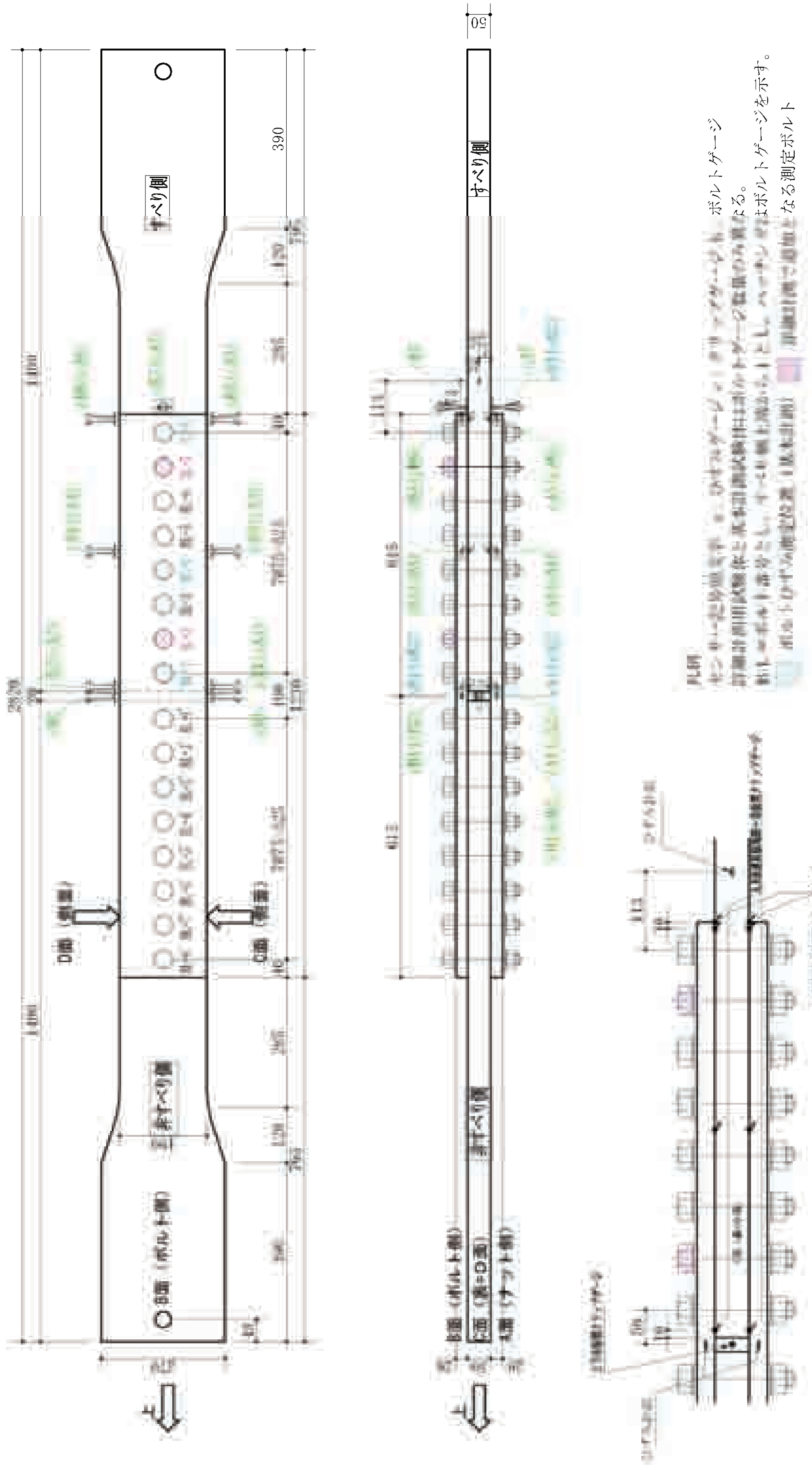
表− 2.3.2 すべり耐力試験における各試験体の載荷速度

<table>
<tr><th>試験体 No.</th><th colspan="6">載荷速度</th></tr>
<tr><td>No.1-A, B, C</td><td colspan="6">載荷時：1 kN/sec　除荷時：2 kN/sec</td></tr>
<tr><td>No.2-A, B, C</td><td colspan="2">0～ 500kN
1.5mm/sec</td><td colspan="2">500～1000kN
0.7mm/sec</td><td colspan="2">1000kN～
0.3mm/sec</td></tr>
<tr><td>No.3-A</td><td colspan="3">0～2000kN
1.5mm/sec</td><td colspan="3">2000kN～
0.7mm/sec</td></tr>
<tr><td>No.3-B, C</td><td colspan="2">0～1500kN
1.5mm/sec</td><td colspan="2">1500～2000kN
0.7mm/sec</td><td colspan="2">2000kN～
0.3mm/sec</td></tr>
<tr><td>No.4 -A, B, C</td><td colspan="6">載荷時:1kN/sec　　除荷時 2kN/sec</td></tr>
<tr><td>No.5 -A, B, C</td><td colspan="2">0～ 500kN
1.5mm/sec</td><td colspan="2">500～1000kN
0.7mm/sec</td><td colspan="2">1000kN～
0.3mm/sec</td></tr>
<tr><td>No.6- A, B, C</td><td colspan="2">0～ 1500kN
1.5mm/sec</td><td colspan="2">1500～2000kN
0.7mm/sec</td><td colspan="2">2000kN～
0.3mm/sec</td></tr>
</table>

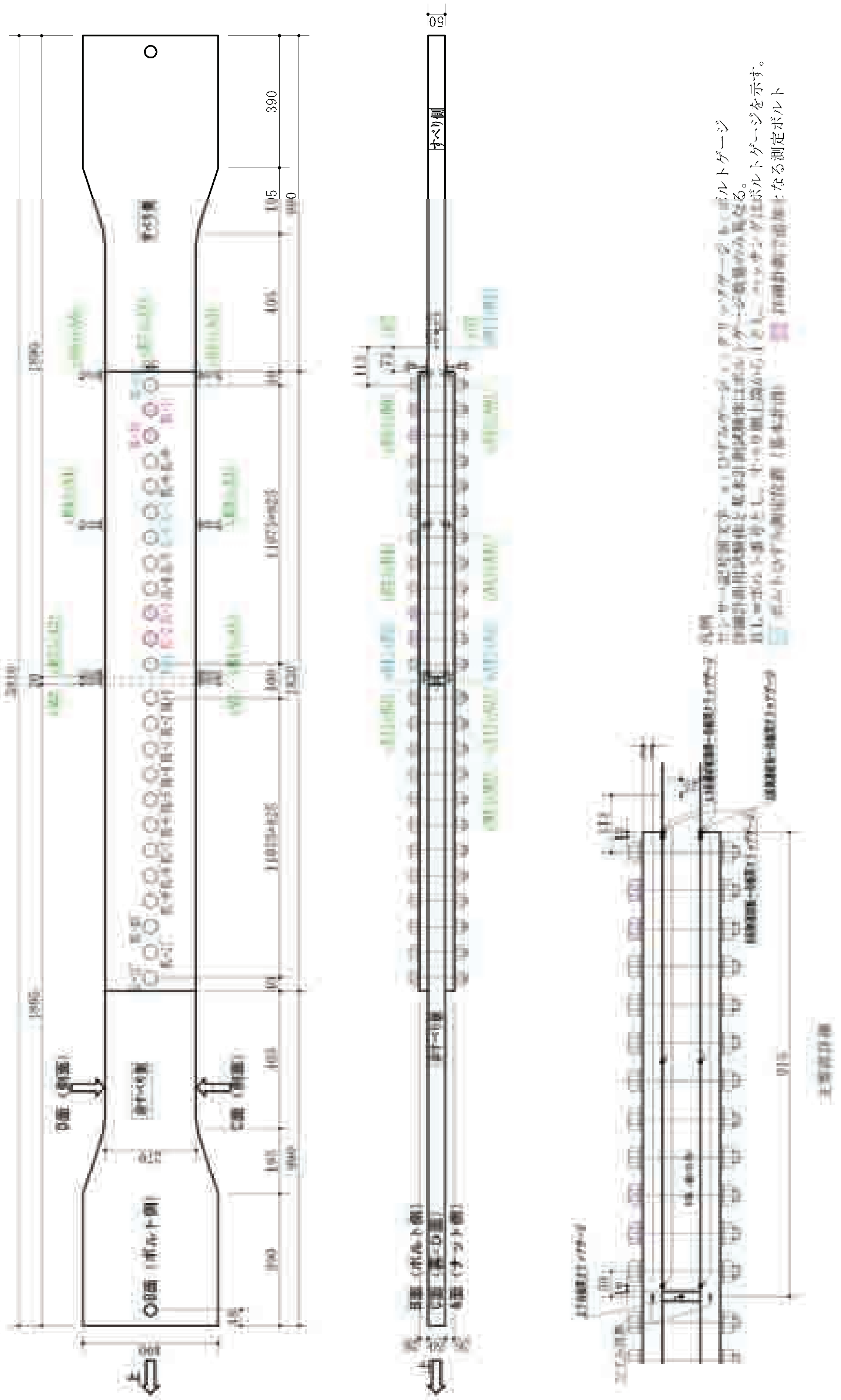
すべり耐力試験時には，ボルト軸力，継手部両側面のひずみを計測するとともに，クリップゲージにより，母板間の相対変位および母板と連結板の相対変位を計測した。**図− 2.3.6**～**図− 2.3.11** に，各計測位置を示す。ボルト軸力と継手部両側面のひずみは，各試験体で 1 体（-C）のみ詳細に計測するものとし，それ以外は計測点数を若干減らした（以下，前者を詳細計測，後者を基本計測とする）。継手部両側面のひずみゲージは，板厚中心や縁端から 5mm の位置に貼付した。試験中は，各計測項目を約 1 秒間隔で計測した。



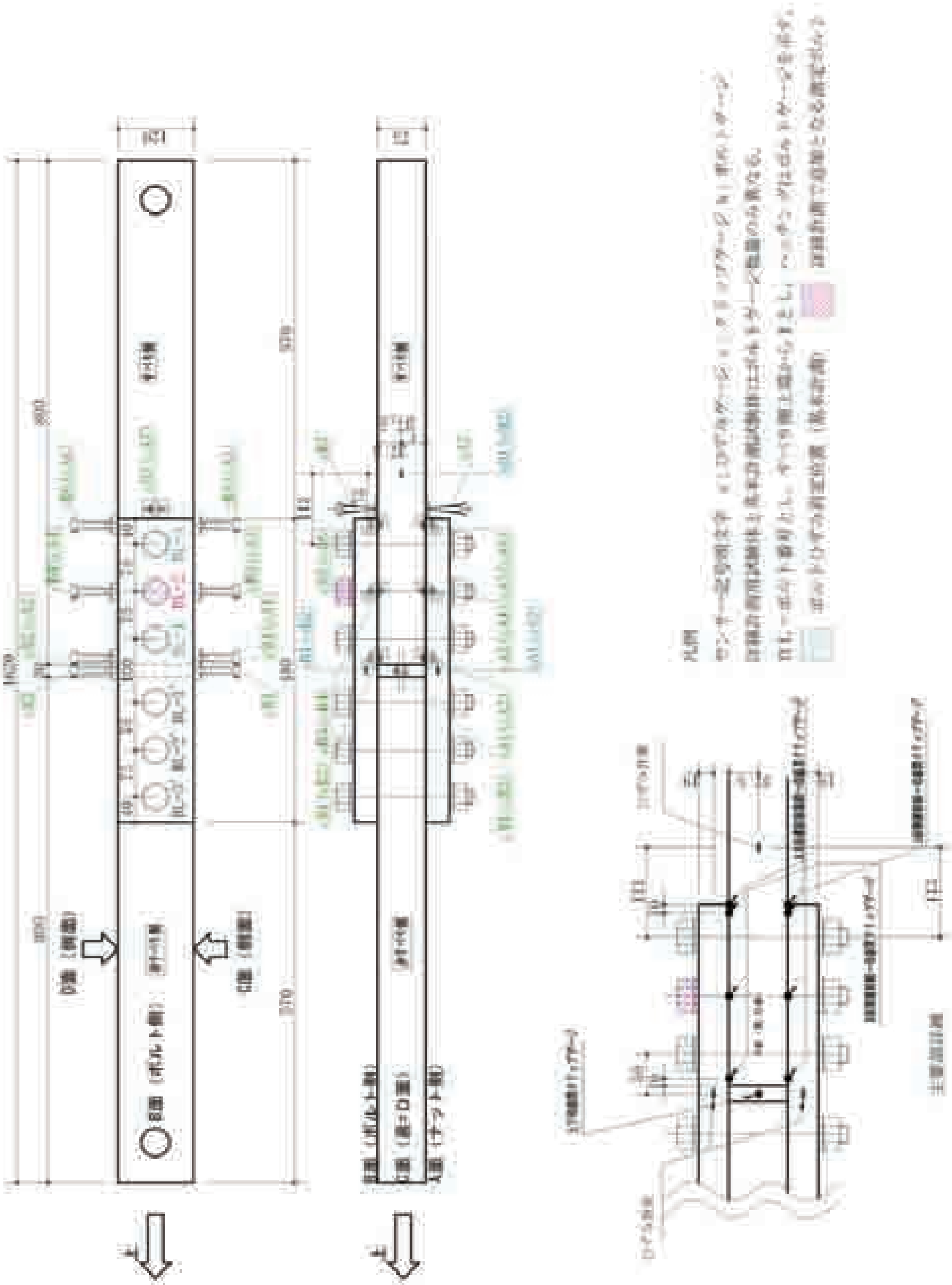
図− 2.3.6 試験体 No.1 の各計測位置図



図− 2.3.7 試験体 No.2 の各計測位置図



図– 2.3.8 試験体 No.3 の各計測位置図



図− 2.3.9　試験体 No.4 の各計測位置図

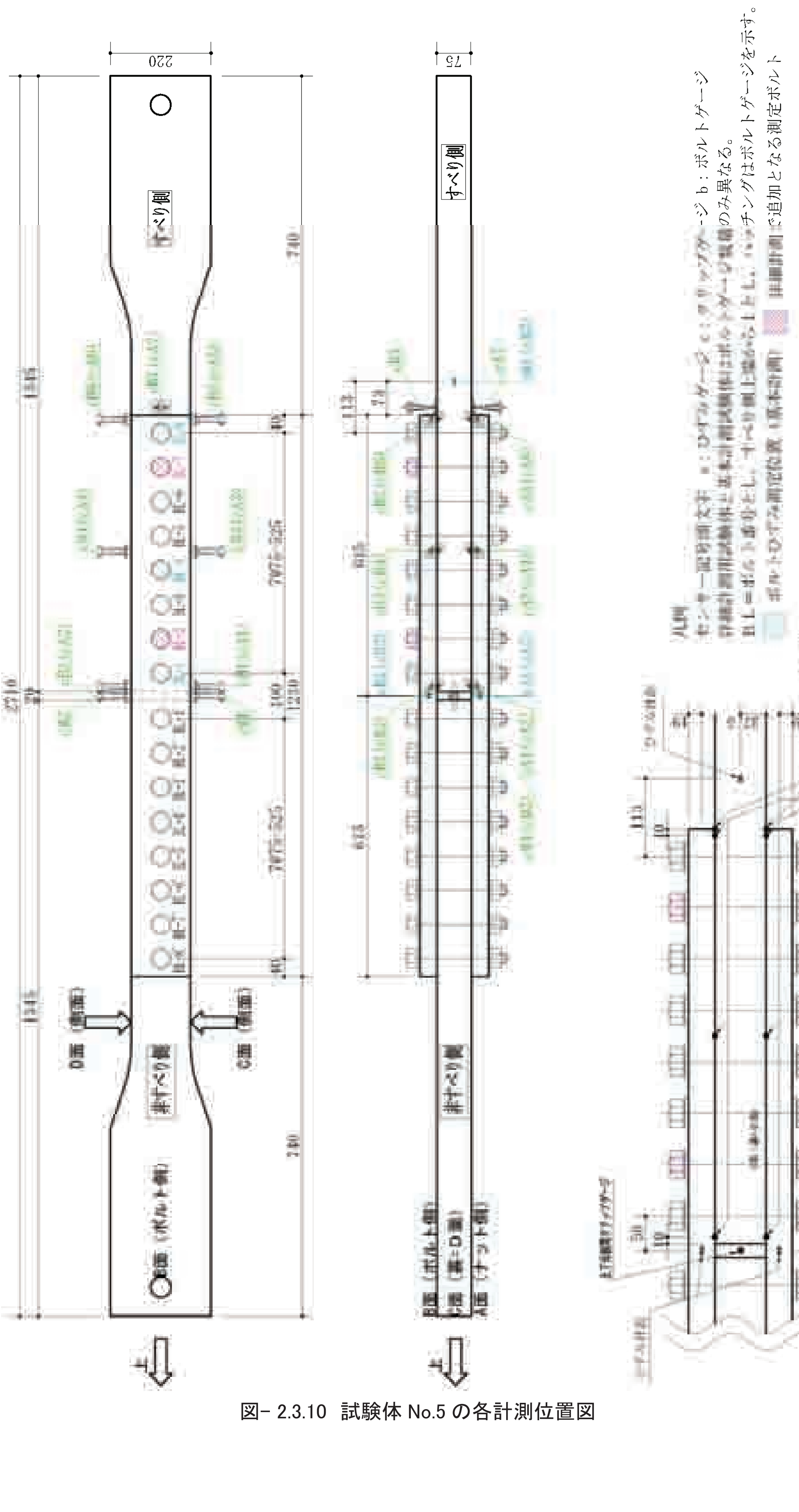


図- 2.3.10 試験体 No.5 の各計測位置図

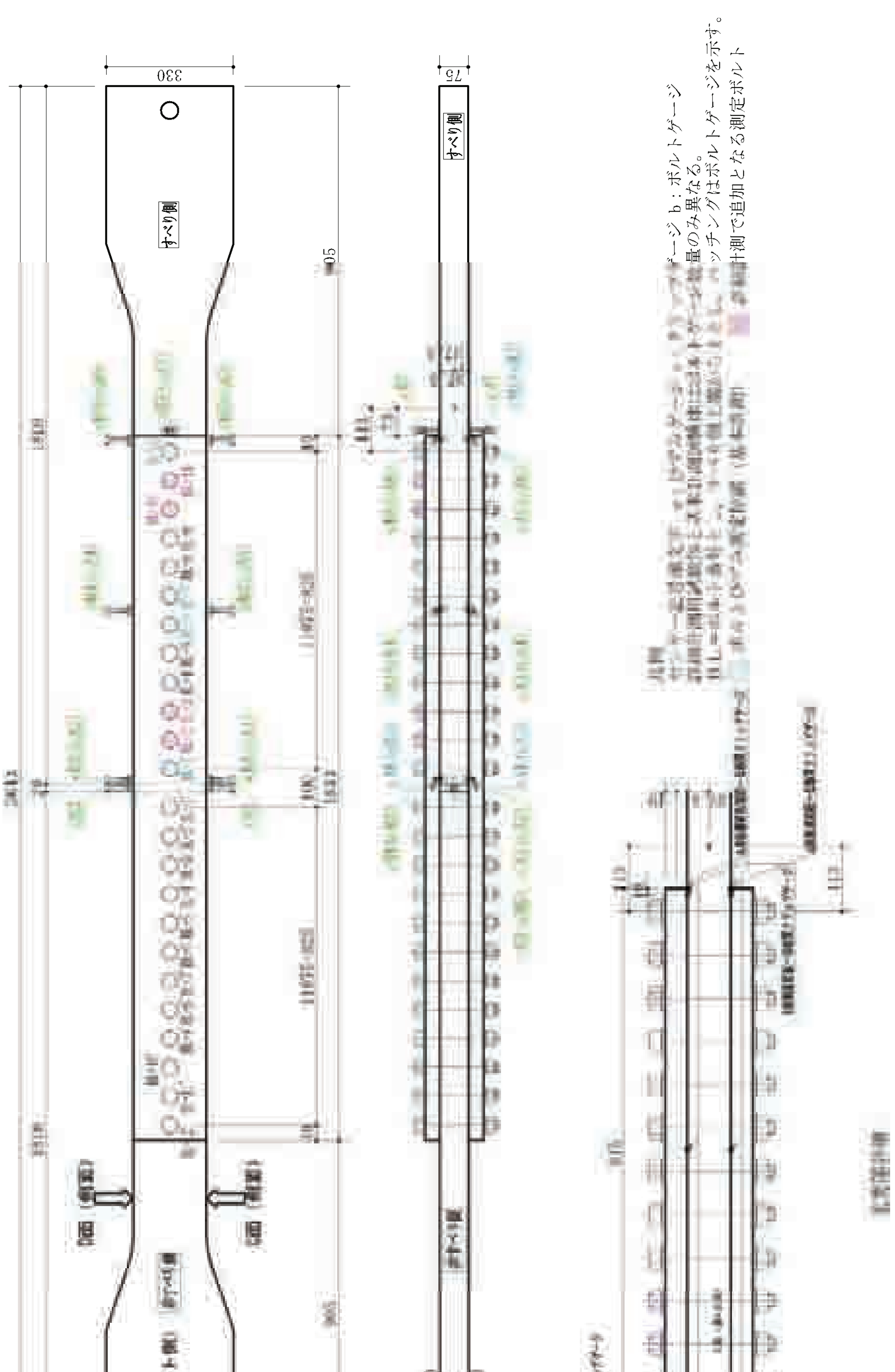


図- 2.3.11 試験体 No.6 の各計測位置図

2.4　試験体の寸法形状，表面粗度の計測結果

2.4.1　寸法形状

試験体の母板，連結板について，幅，長さ，板厚等の寸法形状と，初期そり量の計測結果を**表- 2.4.2**～**表- 2.4.19**に示す。計測の結果，板厚について，設計値に対する計測値の比率の平均値は 1.003，標準偏差は 0.01 で，設計値とほぼ一致しており，すべり耐力に影響を与えるような板厚差は生じていなかったものと考えられる（**表- 2.4.1**）。初期そり量は連結板中央位置で大きくなる傾向であり，試験体 No.5-B で最大 1.46mm であったが，2.7.6 にて後述のすべり係数に影響はなかった。

表- 2.4.1　板厚の設計値に対する比率

試験体	No.1			No.2			No.3			No.4			No.5			No.6			板厚の設計値に対する比率	
番号	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	平均値	標準偏差
板厚	50.01	49.98	49.94	50.09	50.09	50.16	52.56	50.00	50.04	74.36	74.50	74.24	75.43	75.45	75.36	75.35	75.34	75.32		
設計値に対する比率	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.003	0.01
板幅	121.1	121.7	121.7	191.3	191.3	191.2	270.0	270.3	270.0	122.0	121.6	121.5	130.9	131.6	132.2	191.0	190.8	192.7		

表- 2.4.2　試験体 No.1-A 寸法形状計測結果

位置	幅(mm) 非すべり側					すべり側				
	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4
A面側連結版(ナット側)		121.9	121.9	121.9	121.9		121.9	121.9	122.0	
母材	120.9	120.9	120.9	121.0	121.0	120.8	121.2	121.2	121.3	121.2
B面側連結版(ボルト側)		121.9	121.9	121.9	121.9		122.0	122.0	122.1	

位置		厚さ(mm) 非すべり側					すべり側					長さ(mm)		
		t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	位置	非すべり側	すべり側
A面側連結版	D面側端部		26.24	26.20	26.20	26.20		26.19	26.24	26.26		L2	481.5	
(ナット側)	C面側端部		26.24	26.16	26.13	26.14		26.20	26.30	26.30		L1	482.0	
母材	D面側端部	50.04	50.05	50.07	50.06	50.05	50.16	50.10	49.98	49.93	49.96	L2	780.5	779.5
	C面側端部	50.04	50.01	50.02	50.03	50.04	49.99	50.04	49.97	49.98	49.94	L1	780.5	780.0
B面側連結版	D面側端部		26.34	26.29	26.33	26.31		26.31	26.32	26.29		L2	481.5	
(ボルト側)	C面側端部		26.31	26.32	26.34	26.36		26.37	26.34	26.34		L1	480.5	

位置		初期そり量(mm) 非すべり側					すべり側				
			c'3	c'2	c'1	c0		c1	c2	c3	c4
A面側連結版(ナット側)			0.00	0.19	0.60	0.63		0.20	0.09	0.00	
母材	ナット側:A面						0.00	0.00	−0.04	0.02	0.00
	ボルト側:B面						0.00	−0.07	0.95	0.05	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00	0.21	0.17	0.22		0.09	0.05	0.00	

位置	幅：平均 (mm) 非すべり側	すべり側	厚さ：平均 (mm) 非すべり側	すべり側	長さ：平均(mm) 非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	121.9		26.21		481.8	
母材	120.9	121.1	50.04	50.01	780.5	779.8
B面側連結版(ボルト側)	122.0		26.33		481.0	

表- 2.4.3 試験体 No.1-B 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)									
	非すべり側					すべり側				
	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4
A面側連結版(ナット側)		122.1	122.1	122.1	122.0		122.0	121.8	122.0	
母材	121.4	121.5	121.6	121.6	121.8	121.8	121.7	121.6	121.7	121.7
B面側連結版(ボルト側)		121.8	121.9	121.9	122.1		121.9	121.9	122.0	

位置		厚さ(mm)									
		非すべり側					すべり側				
		t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4
A面側連結版	D面側端部		26.22	26.26	26.26	26.21		26.21	26.22	26.20	
(ナット側)	C面側端部		26.22	26.20	26.23	26.21		26.19	26.21	26.18	
母材	D面側端部	50.00	50.02	49.99	50.02	50.01	50.01	50.01	50.03	49.95	50.05
	C面側端部	49.99	49.99	49.99	50.00	49.99	50.00	49.97	49.94	49.91	49.93
B面側連結版	D面側端部		26.30	26.29	26.31	26.29		26.29	26.27	26.29	
(ボルト側)	C面側端部		26.30	26.32	26.33	26.33		26.26	26.29	26.32	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	481.0	
L1	481.0	
L2	779.5	780.5
L1	779.0	780.5
L2	780.0	
L1	781.0	

位置		初期そり量(mm)									
		非すべり側					すべり側				
			c'3	c'2	c'1	c0		c1	c2	c3	c4
A面側連結版(ナット側)			0.00	−0.24	−0.19	−0.14		−0.07	0.01	0.00	
母材	ナット側:A面						0.00	0.03	0.00	−0.02	0.00
	ボルト側:B面						0.00	−0.02	−0.01	−0.02	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00	−0.16	−0.16	−0.22		−0.25	−0.18	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	122.0		26.22		481.0	
母材	121.6	121.7	50.00	49.98	779.3	780.5
B面側連結版(ボルト側)	121.9		26.30		780.5	

表- 2.4.4 試験体 No.1-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)									
	非すべり側					すべり側				
	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4
A面側連結版(ナット側)		122.2	122.2	122.2	122.3		122.3	122.3	122.3	
母材	120.5	120.6	120.7	120.7	120.7	121.7	121.7	121.7	121.9	121.6
B面側連結版(ボルト側)		121.9	121.9	121.9	121.9		122.0	122.0	122.0	

位置		厚さ(mm)									
		非すべり側					すべり側				
		t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4
A面側連結版	D面側端部		26.23	26.25	26.27	26.24		26.28	26.26	26.28	
(ナット側)	C面側端部		26.24	26.26	26.27	26.22		26.28	26.26	26.24	
母材	D面側端部	50.06	50.08	50.04	50.00	50.00	50.12	49.97	49.95	49.89	49.86
	C面側端部	50.06	50.03	50.05	50.03	50.01	50.01	49.95	49.90	49.89	49.88
B面側連結版	D面側端部		26.31	26.30	26.25	26.22		26.23	26.24	26.22	
(ボルト側)	C面側端部		26.32	26.34	26.29	26.28		26.27	26.25	26.26	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	480.0	
L1	480.0	
L2	780.0	780.0
L1	779.5	780.0
L2	480.0	
L1	481.0	

位置		初期そり量(mm)									
		非すべり側					すべり側				
			c'3	c'2	c'1	c0		c1	c2	c3	c4
A面側連結版(ナット側)			0.00	0.22	0.42	0.51		0.54	0.37	0.00	
母材	ナット側:A面						0.00	0.06	0.09	−0.04	0.00
	ボルト側:B面						0.00	−0.04	0.04	−0.06	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00	−0.16	−0.08	−0.11		−0.07	0.03	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	122.3		26.26		480.0	
母材	120.6	121.7	50.04	49.94	779.8	780.0
B面側連結版(ボルト側)	121.9		26.27		480.5	

表- 2.4.5　試験体 No.2-A 寸法形状計測結果

位置		幅(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)			191.5		191.2		191.2		191.1	191.1	191.2	191.3	
母材		191.4	191.1		191.0		191.2	191.2	191.3	191.5	191.6	191.3	191.1
B面側連結版(ボルト側)			191.5		191.5		191.2		191.3	191.3	191.3	191.3	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.27		26.28		26.26		26.21	26.21	26.09	26.28	
(ナット側)	C面側端部		26.27		26.25		26.24		26.22	26.19	26.17	26.23	
母材	D面側端部	49.98	50.01		50.01		49.97	50.13	50.16	50.11	50.18	50.06	50.07
	C面側端部	50.00	50.08		50.01		50.10	50.05	50.02	50.07	50.08	50.04	50.05
B面側連結版	D面側端部		26.34		26.33		26.26		26.21	26.12	26.08	26.20	
(ボルト側)	C面側端部		26.27		26.27		26.23		26.21	26.10	26.11	26.23	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1232.5	
L1	1232.0	
L2	1399.5	1399.0
L1	1399.5	1399.5
L2	1231.0	
L1	1231.0	

位置		初期そり量(mm)　※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		1.53		2.28		2.25	1.67	0.75	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.17	0.11	-0.01	-0.11	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.04	0.23	0.20	0.17	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.77		-1.07		-0.99	-1.19	-0.97	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	191.2		26.23		1232.3	
母材	191.2	191.3	50.02	50.09	1399.5	1399.3
B面側連結版(ボルト側)	191.3		26.21		1231.0	

表- 2.4.6　試験体 No.2-B 寸法形状計測結果

位置		幅(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)			191.6		191.4		191.4		191.4	191.3	191.3	191.2	
母材		192.0	191.7		191.4		191.7	191.5	191.3	191.3	191.2	191.3	191.4
B面側連結版(ボルト側)			191.2		191.2		191.2		191.2	191.2	1913.0	191.2	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.26		26.26		26.18		26.24	26.30	26.33	26.33	
(ナット側)	C面側端部		26.19		26.22		16.16		26.23	26.27	26.32	26.32	
母材	D面側端部	49.95	49.97		50.07		50.02	50.05	49.95	50.03	50.04	50.15	50.12
	C面側端部	50.00	49.99		50.08		49.95	50.13	50.03	50.18	50.06	50.18	50.12
B面側連結版	D面側端部		26.02		26.19		26.17		26.22	26.29	26.31	26.30	
(ボルト側)	C面側端部		26.24		26.21		26.18		26.22	26.28	26.29	26.28	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1232.0	
L1	1232.0	
L2	1399.0	1401.0
L1	1399.5	1401.5
L2	1232.0	
L1	1232.0	

位置		初期そり量(mm)　※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.28		1.28		1.72	1.29	0.63	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.23	-0.09	-0.01	0.04	0.00
	ボルト側:B面							0.00	-0.03	-0.04	-0.02	-0.10	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.87		0.60		1.04	0.79	0.13	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	191.4		25.54		1232.0	
母材	191.7	191.3	50.00	50.09	1399.3	1401.3
B面側連結版(ボルト側)	437.2		26.23		1232.0	

表− 2.4.7 試験体 No.2-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側					すべり側						
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		192.0		191.8		191.7		191.8	191.9	191.9	191.7	
母材	191.8	191.7		191.6		191.2	191.2	191.2	191.3	191.3	191.2	191.1
B面側連結版(ボルト側)		191.8		191.7		191.7		191.7	191.7	191.6	191.7	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側					すべり側						
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.21		26.29		26.19		26.17	26.08	26.09	20.17	
(ナット側)	C面側端部		26.23		26.24		26.20		26.15	26.08	26.07	26.19	
母材	D面側端部	49.97	50.00		50.10		50.03	50.06	50.06	50.19	50.14	50.21	50.24
	C面側端部	49.98	49.97		50.07		50.01	50.16	50.23	50.21	50.16	50.14	50.16
B面側連結版	D面側端部		26.24		26.24		26.20		26.19	26.20	26.07	26.20	
(ボルト側)	C面側端部		26.29		26.28		26.25		26.21	26.17	26.10	26.23	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1232.0	
L1	1232.0	
L2	1399.5	1400.5
L1	1399.5	1401.0
L2	1231.5	
L1	1232.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側					すべり側						
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		−0.15		−0.24		−0.10	−0.24	−0.24	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	−0.11	0.03	0.20	0.17	0.00
	ボルト側:B面							0.00	−0.12	−0.11	−0.22	−0.16	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		−0.47		−0.63		−0.47	−0.46	−0.31	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	191.8		25.74		1232.0	
母材	191.6	191.2	50.02	50.16	1399.5	1400.8
B面側連結版(ボルト側)	191.7		26.21		1231.8	

表− 2.4.8 試験体 No.3-A 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側					すべり側						
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		270.0		270.0		270.0		270.0	270.0	270.0	270.0	
母材	270.0	270.0		270.0		270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
B面側連結版(ボルト側)		271.5		271.5		271.5		271.5	271.5	271.5	271.5	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側					すべり側						
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.26		26.23		26.24		26.24	26.25	26.25	26.28	
(ナット側)	C面側端部		26.20		26.20		26.22		26.18	26.24	26.25	26.29	
母材	D面側端部	49.98	49.95		49.97		49.97	50.23	50.00	50.02	50.04	50.04	50.06
	C面側端部	50.01	50.00		49.99		49.98	50.02	80.01	50.05	50.08	50.08	50.08
B面側連結版	D面側端部		26.26		26.21		26.20		26.22	26.17	26.19	26.19	
(ボルト側)	C面側端部		26.21		26.19		26.21		26.19	26.18	26.19	26.19	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1832.0	
L1	1831.0	
L2	1894.0	1893.0
L1	1894.0	1893.5
L2	1831.5	
L1	1832.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側					すべり側						
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		2.32		2.98		2.41	2.02	1.19	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	−0.34	−0.24	−0.21	−0.01	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.42	0.29	0.25	0.01	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		−0.08		0.12		−0.42	−0.92	−1.02	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	270.0		26.24		1831.5	
母材	270.0	270.0	49.98	52.56	1894.0	1893.3
B面側連結版(ボルト側)	271.5		26.20		1831.8	

表- 2.4.9 試験体 No.3-B 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		271.0		271.0		271.0		271.0	271.0	271.0	271.0	
母材	269.0	269.0		269.5		270.0	270.0	270.0	270.0	270.5	270.5	271.0
B面側連結版(ボルト側)		270.5		270.5		270.5		270.5	270.5	270.5	270.5	

位置		厚さ(mm)												長さ(mm)		
		非すべり側						すべり側								
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5	位置	非すべり側	すべり側
A面側連結版	D面側端部		26.24		26.18		26.22		26.23	26.24	26.23	26.22		L2	1833.0	
(ナット側)	C面側端部		26.23		26.19		26.19		26.19	26.22	26.21	26.22		L1	1832.0	
母材	D面側端部	50.04	50.07		50.00		50.01	50.03	50.04	50.00	50.02	50.02	50.03	L2	1895.0	1891.0
	C面側端部	49.98	50.06		49.98		50.00	49.98	49.95	49.97	49.98	49.97	49.97	L1	1895.0	1892.0
B面側連結版	D面側端部		26.24		26.26		26.26		26.27	26.27	26.26	26.23		L2	1832.5	
(ボルト側)	C面側端部		26.24		26.25		26.25		26.24	26.34	26.31	26.32		L1	1833.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値										
		非すべり側						すべり側				
		c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)		0.00		3.06		3.80		3.17	2.48	1.45	0.00	
母材	ナット側:A面						0.00	0.08	−0.06	−0.23	−0.05	0.00
	ボルト側:B面						0.00	0.19	0.13	0.13	−0.06	0.00
B面側連結版(ボルト側)		0.00		0.01		0.50		0.78	0.77	0.44	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	271.0		26.22		1832.5	
母材	269.4	270.3	50.02	50.00	1895.0	1891.5
B面側連結版(ボルト側)	270.5		26.27		1833.0	

表- 2.4.10 試験体 No.3-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		272.0		272.0		272.0		272.0	272.0	272.0	272.0	
母材	269.0	269.5		270.0		270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
B面側連結版(ボルト側)		271.0		271.0		271.0		271.0	271.0	271.0	271.0	

位置		厚さ(mm)												長さ(mm)		
		非すべり側						すべり側								
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5	位置	非すべり側	すべり側
A面側連結版	D面側端部		26.23		26.22		26.24		26.30	26.28	26.25	26.21		L2	1832.0	
(ナット側)	C面側端部		26.28		26.28		26.28		26.29	26.31	26.29	26.22		L1	1832.5	
母材	D面側端部	50.01	50.00		49.99		49.99	50.06	50.06	50.08	50.05	50.05	50.04	L2	1894.0	1889.0
	C面側端部	49.98	50.00		50.01		50.00	50.09	50.01	50.03	50.03	49.99	49.99	L1	1894.0	1888.0
B面側連結版	D面側端部		26.19		26.21		26.21		26.22	26.29	26.24	26.21		L2	1832.5	
(ボルト側)	C面側端部		26.25		26.24		26.28		26.28	26.25	26.26	26.23		L1	1832.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値										
		非すべり側						すべり側				
		c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)		0.00		1.71		2.19		1.69	1.20	0.35	0.00	
母材	ナット側:A面						0.00	−0.05	−0.16	−0.25	0.04	0.00
	ボルト側:B面						0.00	0.34	0.27	0.19	−0.12	0.00
B面側連結版(ボルト側)		0.00		1.54		1.87		1.49	1.00	0.33	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	272.0		26.26		1832.3	
母材	269.6	270.0	50.00	50.04	1894.0	1888.5
B面側連結版(ボルト側)	271.0		26.24		1832.5	

表- 2.4.11 試験体 No.4-A 寸法形状計測結果

位置		幅(mm)									
		非すべり側						すべり側			
		w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4
A面側連結版(ナット側)			121.7	121.7	121.6	121.7		121.4	121.4	121.4	
母材		122.1	122.0	122.0	121.8	121.8	121.8	121.9	121.9	122.0	122.3
B面側連結版(ボルト側)			121.6	121.7	121.6	121.6		121.6	121.6	121.6	

位置		厚さ(mm)									
		非すべり側						すべり側			
		t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4
A面側連結版	D面側端部		38.41	38.47	38.53	38.46		38.48	38.49	38.53	
(ナット側)	C面側端部		38.53	38.41	38.45	38.48		38.48	38.40	38.48	
母材	D面側端部	75.27	74.20	74.05	74.11	74.10	74.11	74.11	74.11	74.06	75.29
	C面側端部	75.16	74.11	74.14	79.92	74.07	74.09	74.13	74.07	74.19	75.39
B面側連結版	D面側端部		38.41	38.47	38.53	38.46		38.48	38.49	38.53	
(ボルト側)	C面側端部		38.53	38.41	38.45	38.48		38.48	38.40	38.48	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	480.0	
L1	480.0	
L2	800.0	800.0
L1	800.0	799.5
L2	480.0	
L1	480.0	

位置		初期そり量(mm)									
		非すべり側						すべり側			
			c'3	c'2	c'1	c0		c1	c2	c3	c4
A面側連結版(ナット側)			0.00	0.26	0.26	0.64		0.63	0.12	0.00	
母材	ナット側:A面						0.00	−0.17	−0.36	−0.27	0.00
	ボルト側:B面						0.00	−0.07	−0.24	−0.10	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00	0.10	0.32	0.74		0.67	0.31	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	121.6		38.47		480.0	
母材	121.9	122.0	74.91	74.36	800.0	799.8
B面側連結版(ボルト側)	121.6		38.47		480.0	

表- 2.4.12 試験体 No.4-B 寸法形状計測結果

位置		幅(mm)									
		非すべり側						すべり側			
		w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4
A面側連結版(ナット側)			122.7	122.0	122.0	122.0		121.9	121.8	121.9	
母材		122.3	122.1	122.1	122.1	121.4	121.6	121.6	121.6	121.8	121.6
B面側連結版(ボルト側)			121.6	121.6	121.7	121.6		121.7	121.7	121.7	

位置		厚さ(mm)									
		非すべり側						すべり側			
		t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4
A面側連結版	D面側端部		38.37	38.36	38.41	38.37		38.35	38.37	38.45	
(ナット側)	C面側端部		38.46	38.44	38.40	38.39		38.39	38.40	38.44	
母材	D面側端部	75.26	74.32	74.34	74.36	74.35	74.27	74.28	74.24	74.29	75.38
	C面側端部	75.25	74.30	74.26	74.30	74.30	74.31	74.30	74.28	74.29	75.36
B面側連結版	D面側端部		38.47	38.42	38.41	38.41		38.41	38.40	38.42	
(ボルト側)	C面側端部		38.46	38.44	38.45	38.42		38.44	38.45	38.46	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	480.5	
L1	481.0	
L2	799.0	800.0
L1	799.0	800.0
L2	480.0	
L1	480.0	

位置		初期そり量(mm)									
		非すべり側						すべり側			
			c'3	c'2	c'1	c0		c1	c2	c3	c4
A面側連結版(ナット側)			0.00	0.27	0.43	0.77		0.68	0.24	0.00	
母材	ナット側:A面						0.00	−0.05	0.40	0.37	0.00
	ボルト側:B面						0.00	−0.21	−0.16	−0.34	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00	0.02	0.19	0.62		0.55	0.17	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	122.0		38.40		480.8	
母材	122.0	121.6	74.50	74.50	799.0	800.0
B面側連結版(ボルト側)	121.7		38.43		480.0	

表- 2.4.13　試験体 No.4-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)									
	非すべり側					すべり側				
	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4
A面側連結版(ナット側)		121.5	121.4	121.3	121.4		121.3	121.3	121.4	
母材	122.0	122.0	121.9	121.7	121.5	121.2	121.5	121.5	121.6	121.6
B面側連結版(ボルト側)		121.5	121.5	121.4	121.4		121.5	121.5	121.4	

位置		厚さ(mm)										長さ(mm)		
		非すべり側					すべり側							
		t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	位置	非すべり側	すべり側
A面側連結版	D面側端部		38.42	38.39	38.39	38.39		38.38	38.37	38.35		L2	480.5	
(ナット側)	C面側端部		38.38	38.37	38.36	38.36		38.38	38.39	38.35		L1	480.5	
母材	D面側端部	75.13	73.91	74.06	74.04	73.94	73.93	73.94	73.91	74.08	75.38	L2	800.0	799.5
	C面側端部	75.16	73.92	73.94	74.15	74.06	73.96	73.94	73.95	73.97	75.35	L1	800.0	799.5
B面側連結版	D面側端部		38.39	38.41	38.42	38.44		38.39	38.41	38.44		L2	480.0	
(ボルト側)	C面側端部		38.40	38.39	38.42	38.42		38.42	38.43	38.47		L1	480.0	

位置		初期そり量(mm)									
		非すべり側					すべり側				
			c'3	c'2	c'1	c0		c1	c2	c3	c4
A面側連結版(ナット側)			0.00	0.06	0.25	0.70		0.54	0.16	0.00	
母材	ナット側:A面						0.00	−0.22	−0.76	−0.41	0.00
	ボルト側:B面						0.00	−0.12	−0.23	−0.15	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00	0.13	0.36	0.70		0.49	0.09	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	121.4		38.38		480.5	
母材	121.8	121.5	74.23	74.24	800.0	799.5
B面側連結版(ボルト側)	121.5		38.42		480.0	

表- 2.4.14　試験体 No.5-A 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		131.8		132.0		131.5		131.9	131.7	131.9	131.6	
母材	131.6	131.6		131.4		131.5	130.7	131.7	130.9	130.7	130.7	130.8
B面側連結版(ボルト側)		161.6		531.5		131.5		131.5	131.8	131.6	131.6	

位置		厚さ(mm)												長さ(mm)		
		非すべり側						すべり側								
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5	位置	非すべり側	すべり側
A面側連結版	D面側端部		38.51		38.44		38.39		38.43	38.51	38.40	38.35		L2	1230.5	
(ナット側)	C面側端部		38.57		38.54		38.48		38.43	38.43	38.40	38.43		L1	1230.5	
母材	D面側端部	75.49	75.51		75.53		75.50	75.47	75.42	75.48	75.42	75.32	75.48	L2	1345.0	1345.5
	C面側端部	75.49	75.49		75.70		75.61	75.50	75.52	75.49	75.46	75.38	75.26	L1	1344.5	1345.0
B面側連結版	D面側端部		38.54		38.47		38.44		38.42	38.55	38.39	38.39		L2	1230.5	
(ボルト側)	C面側端部		38.53		38.49		38.40		38.65	38.60	38.39	38.57		L1	1231.0	

位置		初期そり量(mm)　※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		−0.50		−0.69		−0.56	−0.48	−0.29	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.12	0.18	0.07	−0.08	0.00
	ボルト側:B面							0.00	−0.19	−0.10	0.03	−0.03	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		−0.27		−0.73		−0.62	−0.42	−0.21	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	131.8		38.45		1230.5	
母材	131.5	130.9	75.54	75.43	1344.8	1345.3
B面側連結版(ボルト側)	193.0		38.49		1230.8	

表- 2.4.15 試験体 No.5-B 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		131.5		131.5		131.6		131.5	131.5	131.5	131.5	
母材	132.4	132.6		132.6		132.4	131.7	131.9	131.8	131.3	131.3	131.4
B面側連結版(ボルト側)		131.8		131.7		131.6		131.6	131.6	131.9	131.6	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		38.41		38.44		38.40		38.42	38.41	38.39	38.42	
(ナット側)	C面側端部		38.37		38.40		38.41		38.44	38.38	38.40	38.41	
母材	D面側端部	75.01	75.02		75.21		75.07	75.44	75.44	75.38	75.40	75.37	75.47
	C面側端部	75.18	75.03		75.25		75.12	75.50	75.48	75.46	75.45	75.45	75.51
B面側連結版	D面側端部		38.39		38.42		38.36		38.38	38.41	38.41	38.37	
(ボルト側)	C面側端部		38.40		38.38		38.33		38.34	38.35	38.33	38.35	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	4531.0	
L1	1231.0	
L2	1345.0	1345.0
L1	1345.5	1345.5
L2	1230.5	
L1	1230.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		−0.81		−0.60		−0.64	−0.52	−0.33	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	−0.09	0.13	0.22	0.32	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.12	0.15	0.04	−0.07	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		−1.08		−1.46		−1.37	−1.05	−0.54	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	131.5		38.41		2881.0	
母材	132.5	131.6	75.11	75.45	1345.3	1345.3
B面側連結版(ボルト側)	131.7		38.37		1230.3	

表- 2.4.16 試験体 No.5-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		131.5		131.6		131.5		131.5	131.5	131.5	131.5	
母材	132.3	132.2		131.9		131.8	131.9	132.3	132.5	132.6	132.2	132.1
B面側連結版(ボルト側)		131.8		131.5		131.5		131.5	131.5	131.5	131.6	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		38.57		38.52		38.45		38.44	38.49	38.49	38.45	
(ナット側)	C面側端部		38.54		38.49		38.49		38.45	38.44	38.41	38.39	
母材	D面側端部	75.55	75.51		75.47		75.38	75.49	75.42	75.36	75.34	75.28	75.29
	C面側端部	75.55	75.51		75.55		75.40	75.38	75.42	75.37	75.32	75.29	75.31
B面側連結版	D面側端部		38.43		38.44		38.49		38.40	38.42	38.42	38.42	
(ボルト側)	C面側端部		38.44		38.44		38.36		38.38	38.41	38.42	38.40	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1230.5	
L1	1230.0	
L2	1344.0	1345.0
L1	1344.0	1345.0
L2	1232.0	
L1	1231.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		−0.47		−0.60		−0.79	−0.54	−0.33	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	−0.02	0.22	0.18	0.05	0.00
	ボルト側:B面							0.00	−0.24	−0.16	−0.03	−0.03	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		−0.79		−1.09		−1.07	−0.78	−0.53	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	131.5		38.47		1230.3	
母材	132.0	132.2	75.49	75.36	1344.0	1345.0
B面側連結版(ボルト側)	131.6		38.42		1231.8	

表- 2.4.17 試験体 No.6-A 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		192.4		192.5		192.5		192.5	192.4	192.6	192.7	
母材	192.7	192.6		192.3		192.4	192.1	192.1	191.8	190.8	189.7	189.6
B面側連結版(ボルト側)		191.6		191.7		191.4		191.4	191.6	191.6	191.6	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		38.34		38.30		38.33		38.32	38.34	38.35	38.36	
(ナット側)	C面側端部		38.25		38.28		38.30		38.33	38.34	38.30	38.33	
母材	D面側端部	75.44	75.39		75.44		75.71	75.22	75.31	75.38	75.42	75.42	75.42
	C面側端部	75.45	74.45		75.45		75.66	75.24	75.32	75.37	75.37	75.37	75.40
B面側連結版	D面側端部		38.20		38.30		38.30		38.33	38.30	38.30	38.35	
(ボルト側)	C面側端部		38.32		38.28		38.33		38.34	38.40	38.38	38.43	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1830.5	
L1	1831.0	
L2	1811.0	1808.5
L1	1811.0	1808.5
L2	1832.0	
L1	1830.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		−0.34		−0.40		−0.47	−0.53	−0.46	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	−0.10	−0.01	0.09	0.04	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.83	0.53	0.08	0.07	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		−1.05		−1.32		−1.10	−1.12	−0.75	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	192.5		38.32		1830.8	
母材	192.5	191.0	75.37	75.35	1811.0	1808.5
B面側連結版(ボルト側)	191.6		38.33		1831.0	

表- 2.4.18 試験体 No.6-B 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		191.6		191.6		191.6		191.6	191.6	191.6	191.5	
母材	192.0	191.8		191.6		191.6	191.6	191.4	191.3	191.5	189.7	189.5
B面側連結版(ボルト側)		192.1		192.2		192.0		192.1	192.1	192.1	192.0	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		38.26		38.20		38.25		38.21	38.17	38.19	38.16	
(ナット側)	C面側端部		38.27		38.30		38.30		38.24	38.24	38.20	38.20	
母材	D面側端部	75.44	75.37		75.43		75.50	75.28	75.36	75.43	75.43	75.43	75.44
	C面側端部	75.32	75.27		75.26		75.37	75.13	75.27	75.29	75.32	75.35	75.33
B面側連結版	D面側端部		38.30		38.24		38.27		38.26	38.31	38.30	38.30	
(ボルト側)	C面側端部		38.28		38.34		38.34		38.31	38.35	38.33	38.37	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1832.0	
L1	1832.0	
L2	1810.0	1809.5
L1	1810.0	1809.0
L2	1831.0	
L1	1831.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		−0.79		−0.56		−0.54	−0.45	−0.42	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.28	0.12	−0.10	−0.12	0.00
	ボルト側:B面							0.00	−0.02	0.05	0.00	0.00	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		−0.28		−0.62		−0.67	−0.72	−0.62	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	191.6		38.23		1832.0	
母材	191.8	190.8	75.37	75.34	1810.0	1809.3
B面側連結版(ボルト側)	192.1		38.31		1831.3	

表- 2.4.19　試験体 No.6-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		192.3		192.3		192.8		192.2	192.4	192.1	192.3	
母材	191.6	191.6		191.7		191.7	193.0	193.5	193.4	192.6	191.9	191.6
B面側連結版(ボルト側)		192.2		192.1		191.8		192.1	192.0	191.8	191.8	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		38.31		38.37		38.40		38.37	38.40	38.44	38.50	
(ナット側)	C面側端部		38.31		38.39		38.35		38.38	38.38	38.45	38.47	
母材	D面側端部	75.32	75.31		75.41		75.50	75.17	75.31	75.31	75.32	75.36	75.36
	C面側端部	75.38	75.42		75.44		75.65	75.24	75.38	75.30	75.36	75.40	75.38
B面側連結版	D面側端部		38.28		38.29		38.29		38.35	38.36	38.40	38.51	
(ボルト側)	C面側端部		38.30		38.34		38.35		38.39	38.40	38.43	38.50	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1831.5	
L1	1831.5	
L2	1811.0	1810.0
L1	1811.0	1809.5
L2	1830.0	
L1	1830.5	

位置		初期そり量(mm)　※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		−1.01		−1.05		−0.73	−0.71	−0.47	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	−0.04	−0.16	−0.09	−0.03	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.21	0.28	0.08	0.04	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		−0.36		−0.32		−0.17	−0.30	−0.23	0.00	

位置	幅:平均 (mm)		厚さ:平均 (mm)		長さ:平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	192.3		38.39		1831.5	
母材	191.7	192.7	75.43	75.32	1811.0	1809.8
B面側連結版(ボルト側)	192.0		38.37		1830.3	

表－ 2.4.20～表－ 2.4.25 に試験体の肌すき量計測結果を示す。計測は締付け後及び載荷試験前に実施した。なお，隙間ゲージの最小値 0.04mm が入らなかった場合，計測結果では肌すき量を 0mm としている。

表－ 2.4.20 試験体 No.1 肌すき量計測結果（mm）

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3
1A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
1B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
1C	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0

(b) 載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3
1A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
1B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
1C	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0

表- 2.4.21 試験体 No.2 肌すき量計測結果（mm）

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-4	BL-7	BL-8
2A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
2B	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
2C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0

(b) 載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-4	BL-7	BL-8
2A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
2B	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
2C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0

表− 2.4.22 試験体 No.3 肌すき量計測結果（mm）

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3	BL-6	BL-7	BL-10	BL-11	BL-12
3A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0.08	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
3B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0.04	0	0	0.08	0.04	0.10
		D面側	0	0	0	0	0	0.04	0	0.15
3C	B面 (ボルト側)	C面側	0.04	0	0.08	0.10	0.08	0.06	0.08	0.10
		D面側	0	0.08	0	0.05	0.06	0.06	0.08	0.10
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0.04

(b) 載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3	BL-6	BL-7	BL-10	BL-11	BL-12
3A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0.08	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
3B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0.04	0	0	0.04	0.04	0.10
		D面側	0	0	0	0	0	0.05	0	0.16
3C	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0.08	0.10	0.09	0.06	0.10	0.13
		D面側	0	0.08	0	0.05	0.06	0.07	0.10	0.11
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0.04

表- 2.4.23 試験体 No.4 肌すき量計測結果（mm）

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3
4A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
4B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
4C	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0

(b) 載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3
4A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
4B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
4C	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0
		D面側	0	0	0

表- 2.4.24 試験体 No.5 肌すき量計測結果（mm）

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-4	BL-7	BL-8
5A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
5B	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
5C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0

(b) 載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-4	BL-7	BL-8
5A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
5B	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
5C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0

表- 2.4.25 試験体 No.6 肌すき量計測結果（mm）

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3	BL-6	BL-7	BL-10	BL-11	BL-12
6A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
6B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0.04
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
6C	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0

(b) 載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3	BL-6	BL-7	BL-10	BL-11	BL-12
6A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
6B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0.04	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
6C	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0

2.4.2 表面粗度

試験体のブラスト処理後，JIS B 0601[12)]に規定されている触針式表面粗さ計測器による表面粗さの計測結果を表- 2.4.26～表- 2.4.31 に示す。表中の計測位置（Point No.）は，図- 2.3.5 に示す箇所名（例：B1）に試験体 No.を先頭に付けたものである（例えば 1AB1 の場合，1A 試験体の B1 位置を示す)。計測の結果，全試験体で算術平均粗さ *Ra* は全て 10μm 以上であった。

表- 2.4.26 試験体 No.1 表面粗さ計測結果

計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.1A 母材	10.15	52.00	12.36	1AB1	11.59	56.14	14.06	1AB3
	10.53	51.39	12.87	1AB2	10.39	53.40	12.68	1AB4
平均値 μm	10.34	51.70	12.62		10.99	54.77	13.37	
No.1A 連結板	12.08	58.31	14.70	1AR1	9.83	55.74	12.64	1AR3
	11.81	60.86	14.64	1AR2	13.90	65.35	16.71	1AR4
平均値 μm	11.95	59.59	14.67		11.87	60.55	14.68	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.1B 母材	12.35	59.65	15.08	1BB1	9.76	54.87	12.66	1BB3
	11.35	60.16	14.14	1BB2	9.84	54.05	12.06	1BB4
平均値 μm	11.85	59.91	14.61		9.80	54.46	12.36	
No.1B 連結板	12.87	66.05	15.95	1BR1	14.79	75.30	18.22	1BR3
	11.67	55.71	14.13	1BR2	12.64	62.68	15.47	1BR4
平均値 μm	12.27	60.88	15.04		13.72	68.99	16.85	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.1C 母材	12.67	60.53	14.96	1CB1	10.06	53.11	12.56	1CB3
	10.99	53.48	13.47	1CB2	11.42	57.15	14.09	1CB4
平均値 μm	11.83	57.01	14.22		10.74	55.13	13.33	
No.1C 連結板	11.78	54.03	14.02	1CR1	10.65	49.80	12.66	1CR3
	12.93	67.85	16.66	1CR2	10.35	51.85	12.59	1CR4
平均値 μm	12.36	60.94	15.34		10.50	50.83	12.63	

*計測機器：サーフテスト　SJ-301 Mitutoyo
*測定条件: JIS B 0601-2001 GAUSS
*λc 0.8mm*5 レンジ（自動）
*曲線　R
*傾斜補正　全体
*評価長さ　4mm
*機器校正ピース　*Ra* 2.97μm *Rmax* 9.4μm

表− 2.4.27 試験体 No.2 表面粗さ計測結果

計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.2A 母材	10.30	58.06	13.27	2AB1	10.85	56.62	13.42	2AB4
	9.06	42.67	10.61	2AB2	10.87	56.29	13.15	2AB5
	14.10	65.07	16.41	2AB3	9.13	54.23	11.61	2AB6
平均値 μm	11.15	55.27	13.43		10.28	55.71	12.73	
No.2A 連結板	10.29	58.70	12.78	2AR1	8.51	51.44	11.13	2AR4
	13.23	64.86	16.34	2AR2	11.43	55.71	13.78	2AR5
	10.76	54.80	13.35	2AR3	9.90	46.31	11.73	2AR6
平均値 μm	11.43	59.45	14.16		9.95	51.15	12.21	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.2B 母材	11.10	53.73	12.67	2BB1	9.21	53.23	11.68	2BB4
	8.98	46.86	10.81	2BB2	12.30	54.94	14.19	2BB5
	11.68	60.62	14.62	2BB3	12.41	59.84	15.01	2BB6
平均値 μm	10.59	53.74	12.70		11.31	56.00	13.63	
No.2B 連結板	11.46	60.83	13.97	2BR1	10.90	55.61	13.08	2BR4
	11.52	53.03	13.66	2BR2	10.30	59.72	13.18	2BR5
	11.52	54.64	13.71	2BR3	12.86	68.04	16.49	2BR6
平均値 μm	11.50	56.17	13.78		11.35	61.12	14.25	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.2C 母材	11.00	64.25	14.28	2CB1	9.70	48.69	11.74	2CB4
	11.48	61.14	14.69	2CB2	10.60	57.00	12.89	2CB5
	11.65	63.33	14.93	2CB3	10.44	53.55	12.95	2CB6
平均値 μm	11.38	62.91	14.63		10.25	53.08	12.53	
No.2C 連結板	13.38	63.21	16.12	2CR1	12.22	57.92	14.19	2CR4
	11.32	62.94	14.57	2CR2	9.26	51.87	11.59	2CR5
	10.44	54.46	13.26	2CR3	11.05	56.26	13.60	2CR6
平均値 μm	11.71	60.20	14.65		10.84	55.35	13.13	

* 計測機器：サーフテスト　SJ-301 Mitutoyo
* 測定条件: JIS B 0601-2001 GAUSS
* λc 0.8mm*5 レンジ（自動）
* 曲線　R
* 傾斜補正　全体
* 評価長さ　4mm
* 機器校正ピース　*Ra* 2.97μm *Rmax* 9.4μm

表− 2.4.28 試験体 No.3 表面粗さ計測結果

計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.3A 母材	12.67	61.40	15.48	3AB1	11.14	58.53	14.11	3AB4
	11.51	58.64	13.91	3AB2	9.19	55.93	11.77	3AB5
	11.50	67.38	15.01	3AB3	12.24	58.88	14.81	3AB6
平均値 μm	11.89	62.47	14.80		10.86	57.78	13.56	
No.3A 連結板	10.53	57.24	13.32	3AR1	10.00	51.63	12.32	3AR4
	10.37	56.24	12.96	3AR2	8.28	48.16	10.31	3AR5
	10.53	58.59	13.13	3AR3	8.21	45.99	10.32	3AR6
平均値 μm	10.48	57.36	13.14		8.83	48.59	10.98	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.3B 母材	10.53	53.04	13.02	3BB1	10.57	56.21	12.88	3BB4
	9.43	46.70	11.53	3BB2	9.18	52.25	11.51	3BB5
	11.34	56.25	13.70	3BB3	10.06	49.68	12.33	3BB6
平均値 μm	10.43	52.00	12.75		9.94	52.71	12.24	
No.3B 連結板	10.39	45.34	12.32	3BR1	11.16	52.22	13.33	3BR4
	11.59	57.87	14.50	3BR2	11.35	62.01	14.45	3BR5
	10.86	51.34	13.16	3BR3	12.29	57.35	14.69	3BR6
平均値 μm	10.95	51.52	13.33		11.60	57.19	14.16	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.3C 母材	9.32	54.88	11.75	3CB1	13.96	61.12	16.46	3CB4
	9.86	53.67	12.36	3CB2	10.85	50.34	12.90	3CB5
	10.35	53.42	12.78	3CB3	11.92	55.72	14.08	3CB6
平均値 μm	9.84	53.99	12.30		12.24	55.73	14.48	
No.3C 連結板	8.28	46.93	10.33	3CR1	11.64	58.70	14.56	3CR4
	10.62	51.15	12.68	3CR2	9.08	45.41	11.07	3CR5
	10.70	54.35	12.91	3CR3	12.17	61.66	15.28	3CR6
平均値 μm	9.87	50.81	11.97		10.96	55.26	13.64	

* 計測機器：サーフテスト　SJ-301 Mitutoyo
* 測定条件：JIS B 0601-2001 GAUSS
* λc 0.8mm*5 レンジ（自動）
* 曲線　R
* 傾斜補正　全体
* 評価長さ　4mm
* 機器校正ピース　*Ra* 2.97μm *Rmax* 9.4μm

表- 2.4.29 試験体 No.4 表面粗さ計測結果

計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.4A 母材	8.86	46.38	10.88	4AB1	10.02	55.11	12.44	4AB3
	13.78	64.03	16.62	4AB2	12.09	58.67	14.72	4AB4
平均値 µm	11.32	55.21	13.75		11.06	56.89	13.58	
No.4A 連結板	12.44	57.17	14.94	4AR1	10.16	52.56	12.42	4AR3
	9.62	56.06	12.34	4AR2	13.07	65.16	15.64	4AR4
平均値 µm	11.03	56.62	13.64		11.62	58.86	14.03	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.4B 母材	9.25	45.19	11.06	4BB1	9.99	51.52	12.31	4BB3
	8.75	46.71	10.76	4BB2	12.06	61.12	14.93	4BB4
平均値 µm	9.00	45.95	10.91		11.03	56.32	13.62	
No.4B 連結板	8.74	45.55	10.97	4BR1	10.23	53.09	12.71	4BR3
	9.48	53.15	12.02	4BR2	11.22	59.30	13.93	4BR4
平均値 µm	9.11	49.35	11.50		10.73	56.20	13.32	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.4C 母材	10.37	60.17	13.10	4CB1	10.68	59.73	13.61	4CB3
	10.56	54.19	12.70	4CB2	10.98	57.91	13.46	4CB4
平均値 µm	10.47	57.18	12.90		10.83	58.82	13.54	
No.4C 連結板	12.40	63.19	14.83	4CR1	10.86	59.91	13.66	4CR3
	11.08	57.20	13.91	4CR2	10.52	54.67	13.03	4CR4
平均値 µm	11.74	60.20	14.37		10.69	57.29	13.35	

* 計測機器：サーフテスト SJ-301 Mitutoyo
* 測定条件：JIS B 0601-2001 GAUSS
* λc 0.8mm*5 レンジ（自動）
* 曲線 R
* 傾斜補正 全体
* 評価長さ 4mm
* 機器校正ピース *Ra* 2.97µm *Rmax* 9.4µm

表- 2.4.30 試験体 No.5 表面粗さ計測結果

計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.5A 母材	11.60	59.30	14.10	5AB1	12.39	61.28	15.14	5AB4
	11.86	59.27	14.46	5AB2	11.35	49.31	13.33	5AB5
	10.17	57.92	13.22	5AB3	8.31	46.46	10.25	5AB6
平均値 μm	11.21	58.83	13.93		10.68	52.35	12.91	
No.5A 連結板	11.07	57.85	13.67	5AR1	12.16	53.40	14.35	5AR4
	9.46	55.14	11.88	5AR2	10.85	61.67	13.88	5AR5
	11.34	58.58	14.09	5AR3	12.57	62.64	15.01	5AR6
平均値 μm	10.62	57.19	13.21		11.86	59.24	14.41	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.5B 母材	10.48	53.28	12.84	5BB1	13.55	60.45	16.10	5BB4
	10.75	53.32	12.85	5BB2	10.25	49.53	12.10	5BB5
	9.23	49.26	11.46	5BB3	12.55	53.59	10.28	5BB6
平均値 μm	10.15	51.95	12.38		12.12	54.52	12.83	
No.5B 連結板	11.33	60.28	14.10	5BR1	12.16	63.47	15.01	5BR4
	11.58	67.01	14.94	5BR2	10.77	53.58	12.90	5BR5
	10.45	54.15	12.72	5BR3	11.46	56.63	13.66	5BR6
平均値 μm	11.12	60.48	13.92		11.46	57.89	13.86	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.5C 母材	9.28	40.73	11.17	5CB1	12.19	56.39	14.57	5CB4
	12.46	63.65	15.27	5CB2	8.89	48.49	11.13	5CB5
	11.05	54.14	14.01	5CB3	12.51	58.71	14.80	5CB6
平均値 μm	10.93	52.84	13.48		11.20	54.53	13.50	
No.5C 連結板	13.78	68.70	16.98	5CR1	10.43	54.89	13.66	5CR4
	13.04	65.18	15.50	5CR2	10.66	57.17	13.07	5CR5
	12.73	62.77	15.82	5CR3	10.66	54.43	13.05	5CR6
平均値 μm	13.18	65.55	16.10		10.58	55.50	13.26	

* 計測機器：サーフテスト　SJ-301 Mitutoyo
* 測定条件：JIS B 0601-2001 GAUSS
* λc 0.8mm*5 レンジ（自動）
* 曲線　R
* 傾斜補正　全体
* 評価長さ　4mm
* 機器校正ピース　*Ra* 2.97μm *Rmax* 9.4μm

表- 2.4.31 試験体 No.6 表面粗さ計測結果

計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.6A 母材	12.09	59.05	14.54	6AB1	11.80	64.81	15.05	6AB4
	15.17	74.27	18.73	6AB2	12.01	53.74	14.26	6AB5
	9.91	48.34	11.71	6AB3	14.43	80.05	18.33	6AB6
平均値 μm	12.39	60.55	14.99		12.75	66.20	15.88	
No.6A 連結板	9.07	47.33	11.07	6AR1	13.81	65.86	16.98	6AR4
	10.29	57.73	12.89	6AR2	10.22	47.83	12.17	6AR5
	12.30	62.39	15.58	6AR3	10.00	54.29	12.51	6AR6
平均値 μm	10.55	55.82	13.18		11.34	55.99	13.89	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.6B 母材	10.98	54.59	13.39	6BB1	10.59	51.49	13.20	6BB4
	12.18	65.55	15.29	6BB2	10.91	46.90	12.70	6BB5
	10.91	52.22	12.76	6BB3	14.28	74.99	17.50	6BB6
平均値 μm	11.36	57.45	13.81		11.93	57.79	14.47	
No.6B 連結板	9.88	49.13	12.16	6BR1	11.05	55.39	13.26	6BR4
	11.69	58.97	14.10	6BR2	11.57	62.97	14.79	6BR5
	10.56	50.94	12.78	6BR3	10.77	62.69	14.08	6BR6
平均値 μm	10.71	53.01	13.01		11.13	60.35	14.04	
計測プロセス	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.	*Ra*	*Rz*	*Rq*	Point No.
No.6C 母材	13.56	68.75	16.42	6CB1	9.68	54.11	12.14	6CB4
	9.68	49.56	11.88	6CB2	10.92	55.77	12.93	6CB5
	9.69	51.26	11.97	6CB3	12.69	61.09	15.55	6CB6
平均値 μm	10.98	56.52	13.42		11.10	56.99	13.54	
No.6C 連結板	9.97	47.54	12.08	6CR1	11.17	57.65	13.71	6CR4
	10.34	62.54	13.43	6CR2	8.52	48.04	10.91	6CR5
	11.38	60.67	14.21	6CR3	9.41	42.24	11.02	6CR6
平均値 μm	10.56	56.92	13.24		9.70	49.31	11.88	

* 計測機器：サーフテスト　SJ-301 Mitutoyo
* 測定条件：JIS B 0601-2001 GAUSS
* λc 0.8mm*5 レンジ（自動）
* 曲線　R
* 傾斜補正　全体
* 評価長さ　4mm
* 機器校正ピース　*Ra* 2.97μm *Rmax* 9.4μm

2.5　ボルト軸力の計測結果（試験前）

2.5.1　締付け後からすべり耐力試験までのボルト軸力計測結果

ボルト締付け時からすべり耐力試験までのボルト軸力計測結果を表- 2.5.1 に示す。全試験体で，残存軸力は 0.97～1.00 であり，ボルト列数，ボルト位置による軸力残存率の違いは明確にはみられなかった。ボルト軸力の低下は締付け直後に顕著にみられた。また，外気温の変動の影響を受けて，ボルト軸力の経時的変化がみられた。各試験体のボルト軸力計測結果を図- 2.5.1~図- 2.5.18 に示す。

表- 2.5.1 ボルト軸力残存率の計測結果(試験前)

試験体 No.	構造諸元			ボルト軸力 (kN)		③ 軸力残存率 (②/①)	
	母板厚 (mm)	連結板厚 (mm)	ボルト列数	① 軸力導入時	② 7日間経過後		
1-A				207.4	207.0	1.00	
1-B			3	207.5	205.6	0.99	0.99
1-C※				205.9	203.7	0.99	
2-A				206.0	199.7	0.97	
2-B	50	26	8	209.4	203.6	0.97	0.97
2-C※				207.2	200.5	0.97	
3-A				209.4	207.5	0.99	
3-B			12	207.2	203.1	0.98	0.99
3-C※				205.6	202.9	0.99	
4-A				205.7	205.6	1.00	
4-B			3	207.8	209.2	1.01	1.00
4-C※				206.0	206.9	1.00	
5-A	75	38		206.0	201.2	0.98	
5-B			8	205.6	202.5	0.98	0.98
5-C※				205.5	201.1	0.98	
6-A			12	205.7	204.4	0.99	0.99
6-B				205.4	203.5	0.99	

注）※はボルト軸力の詳細計測を実施（図-2.3.6～2.3.11参照）

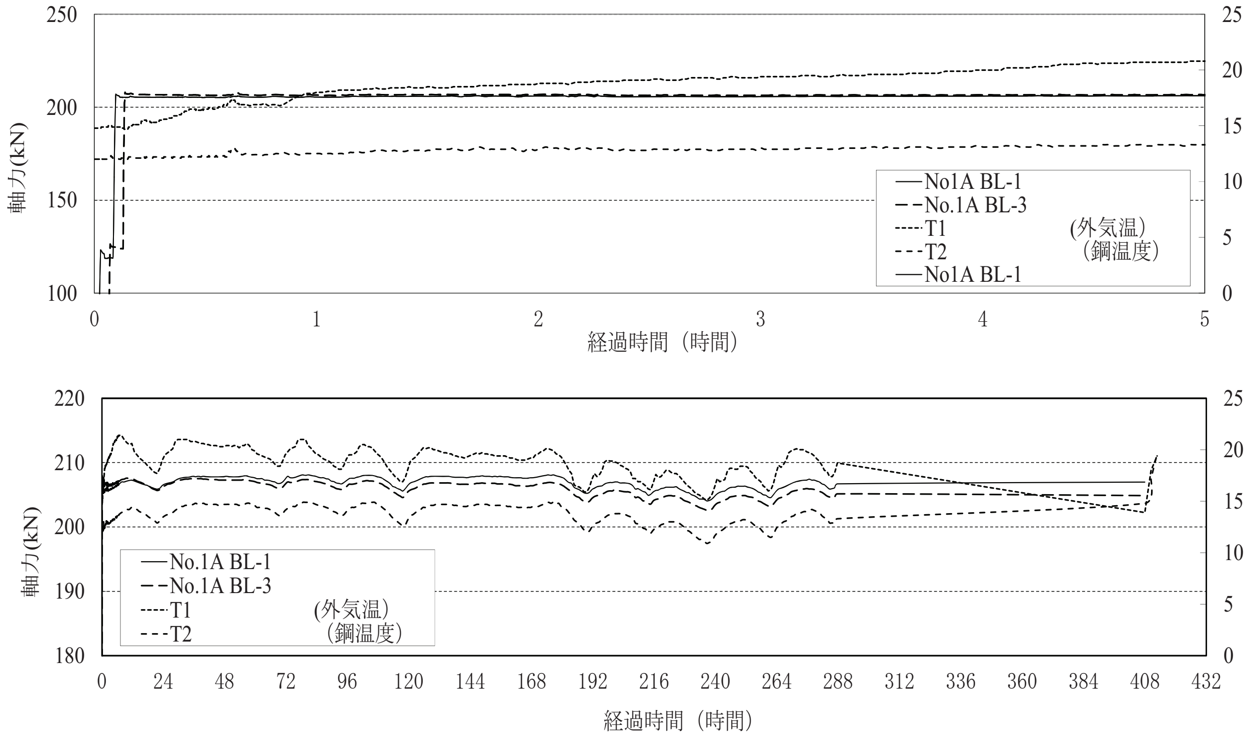


図- 2.5.1 試験体 No.1-A ボルト軸力計測結果（試験前）

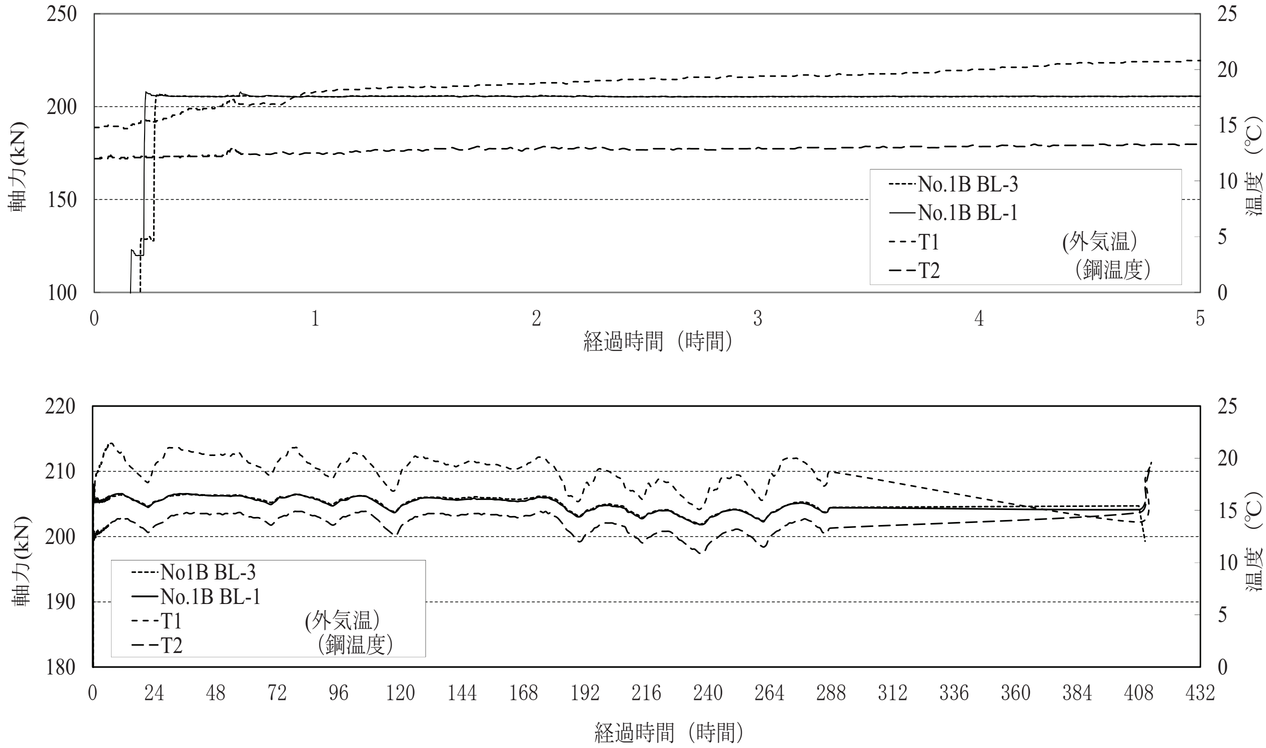


図- 2.5.2 試験体 No.1-B ボルト軸力計測結果（試験前）

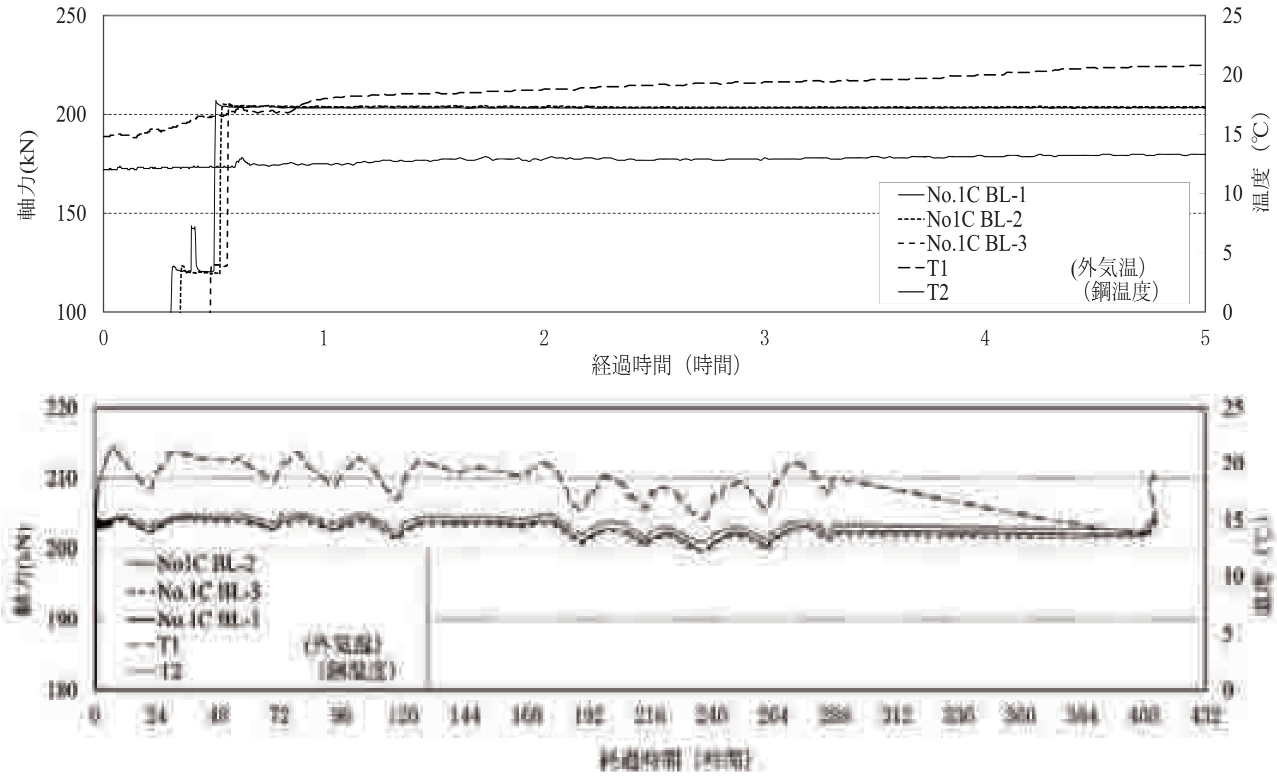


図- 2.5.3 試験体 No.1-C ボルト軸力計測結果（試験前）

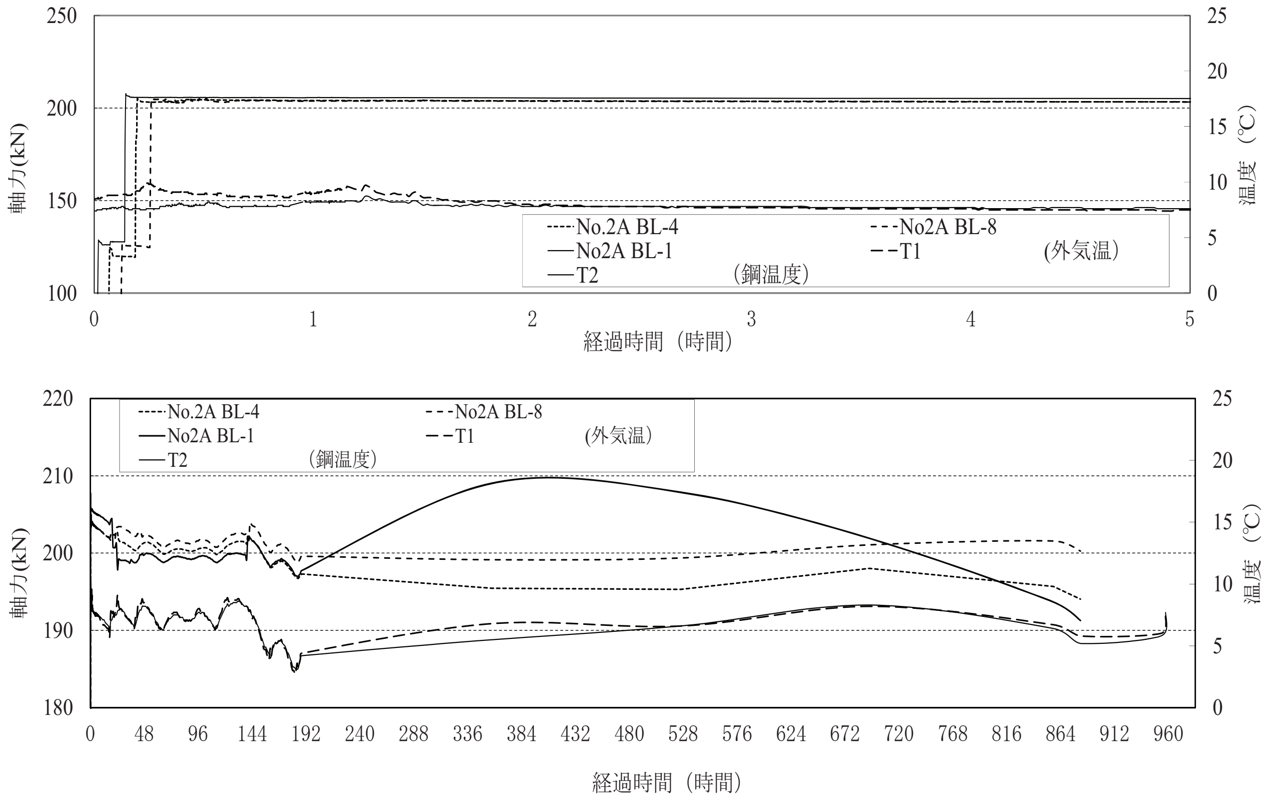
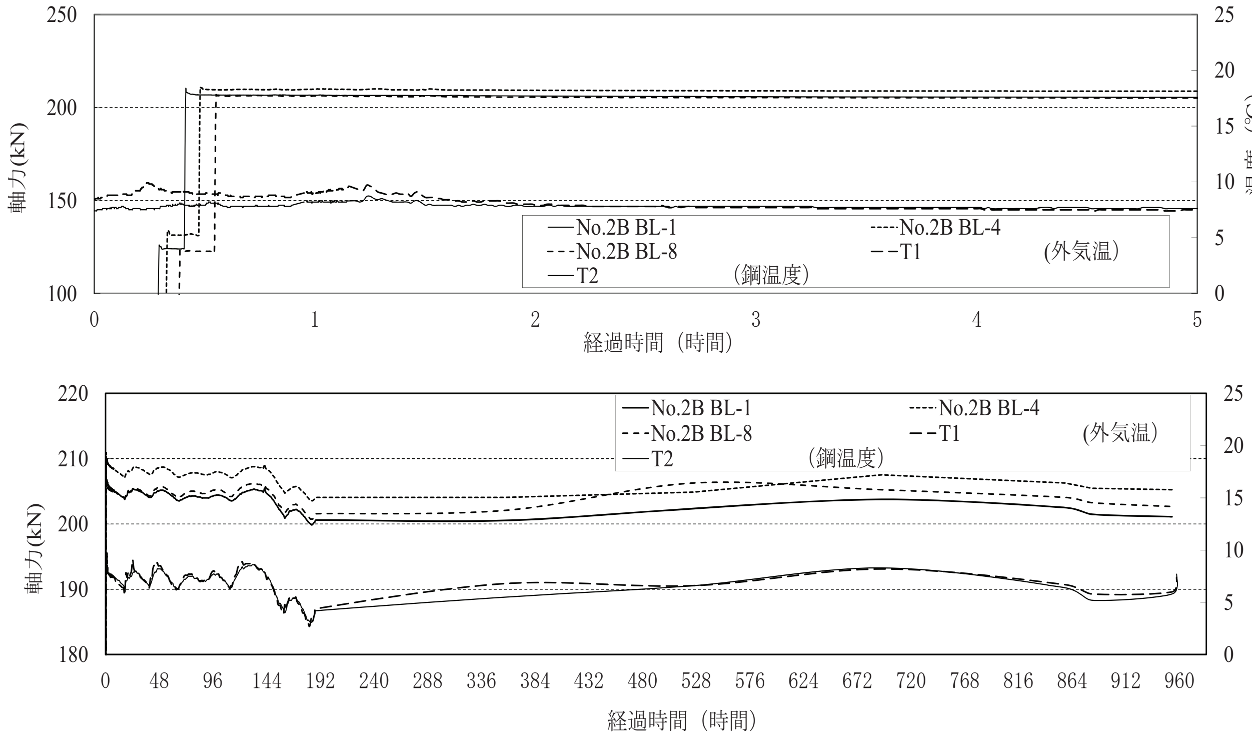
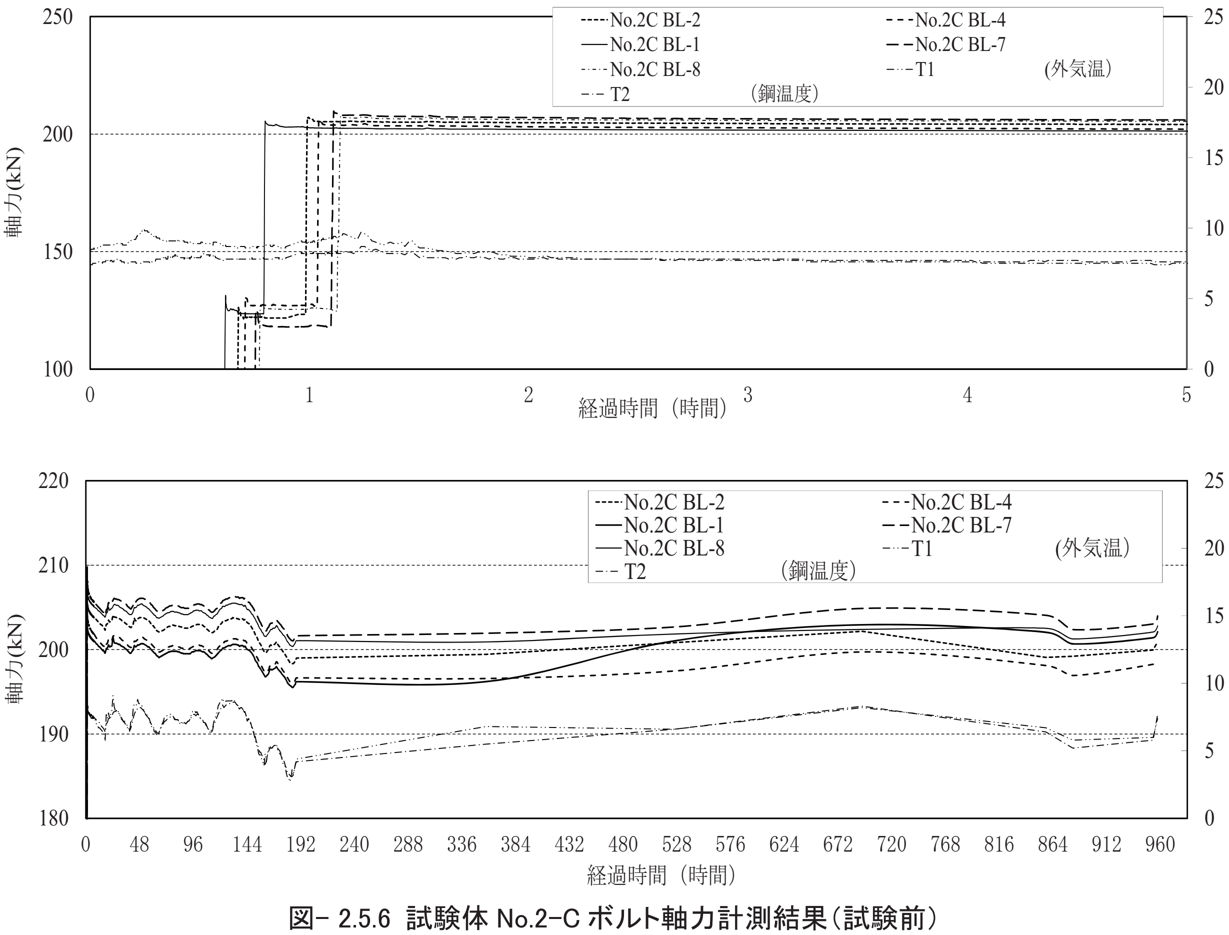


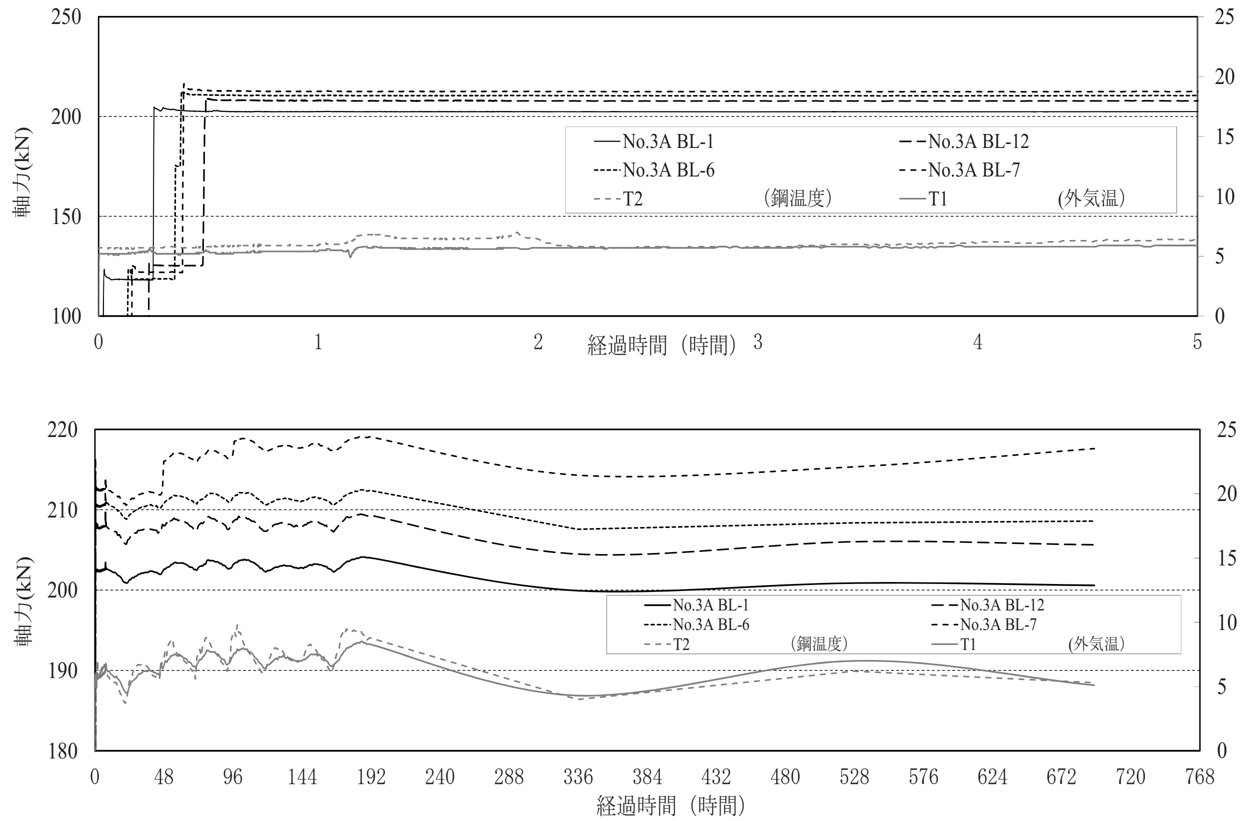
図- 2.5.4 試験体 No.2-A ボルト軸力計測結果（試験前）



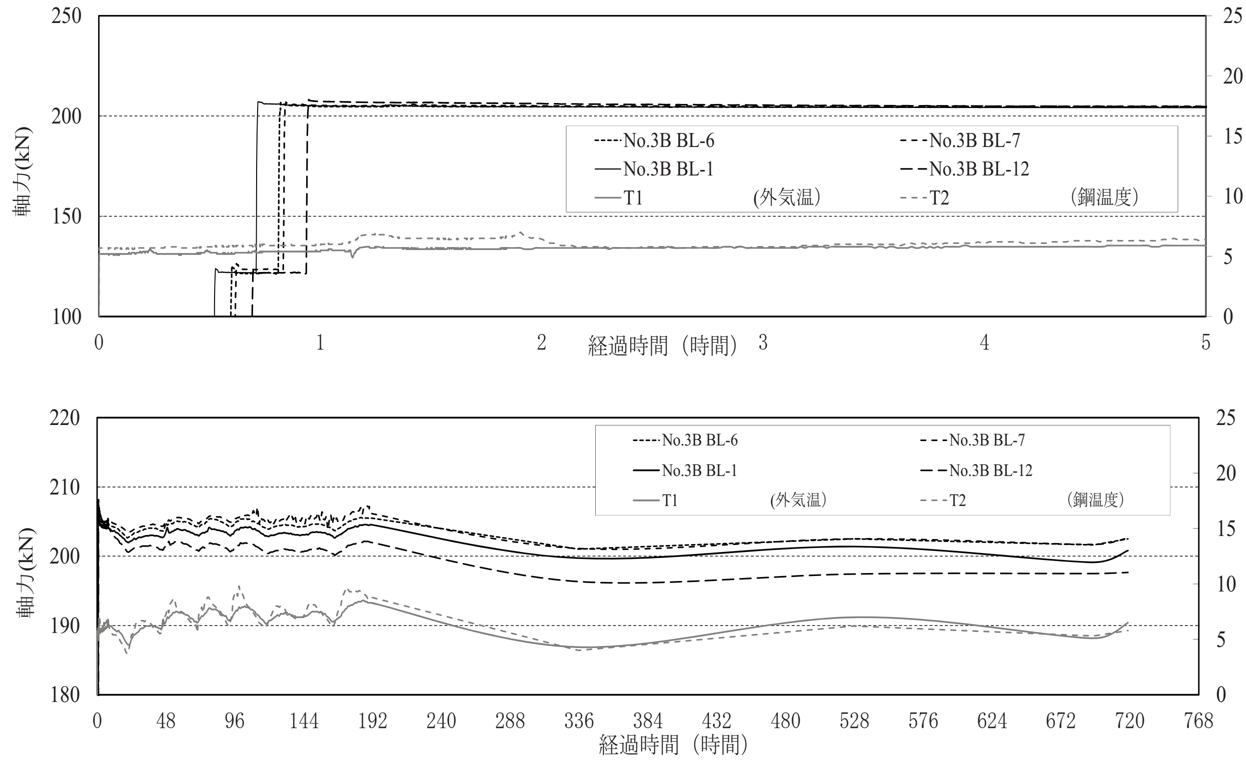
図– 2.5.5 試験体 No.2–B ボルト軸力計測結果（試験前）



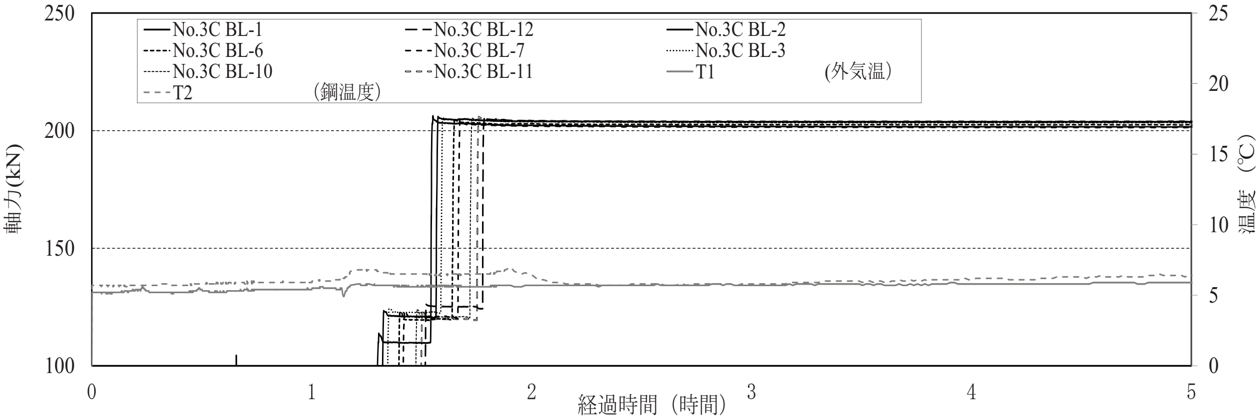
図– 2.5.6 試験体 No.2–C ボルト軸力計測結果（試験前）

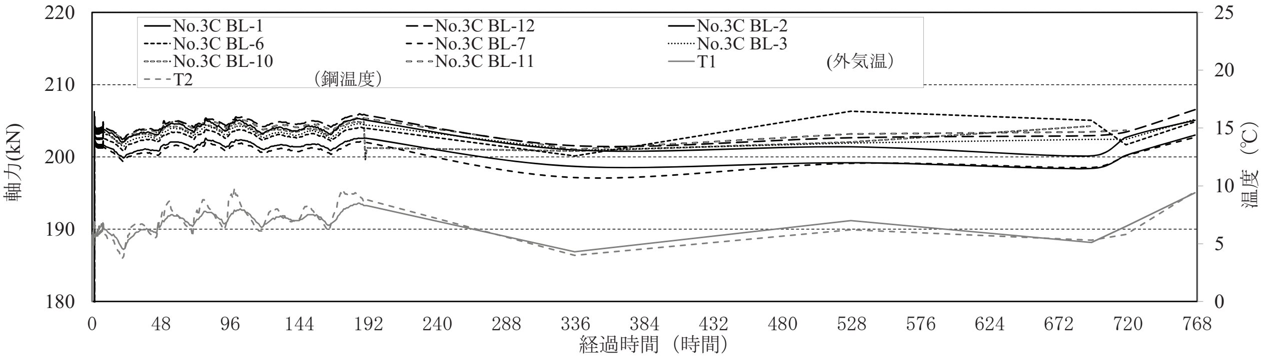


図– 2.5.7 試験体 No.3–A ボルト軸力計測結果（試験前）

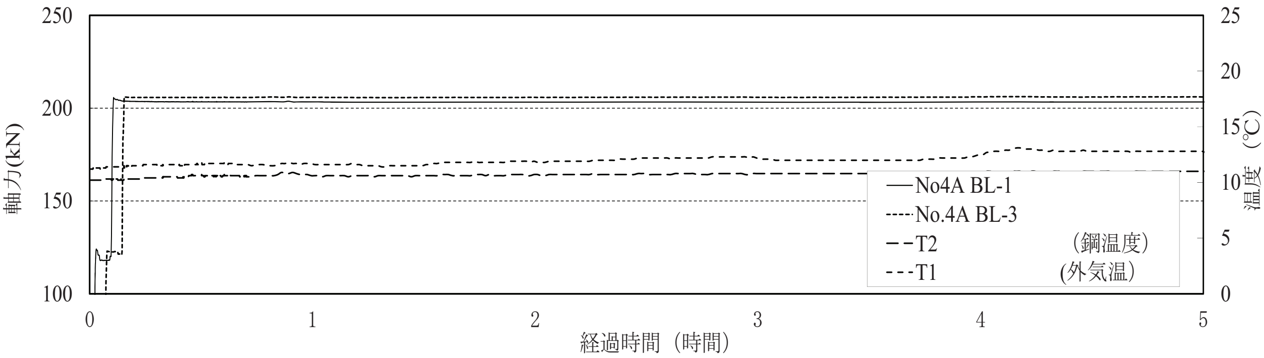


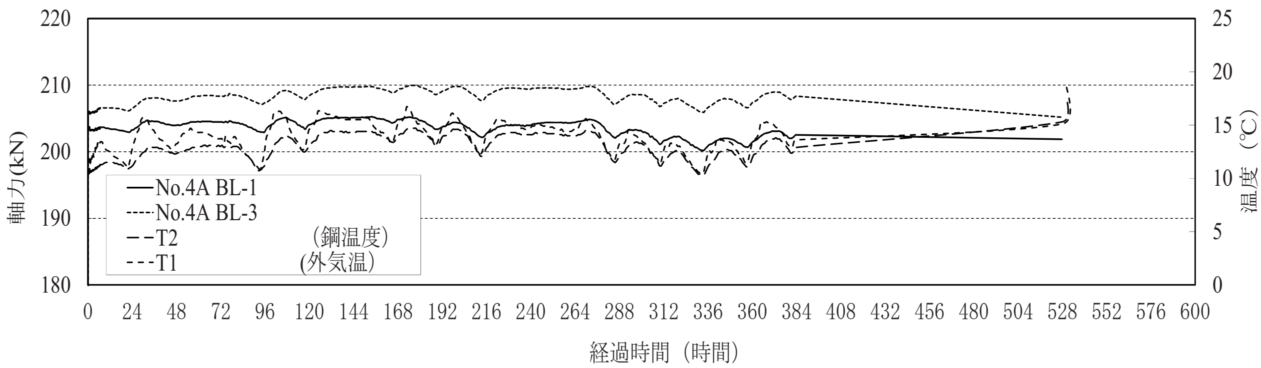
図– 2.5.8 試験体 No.3–B ボルト軸力計測結果（試験前）



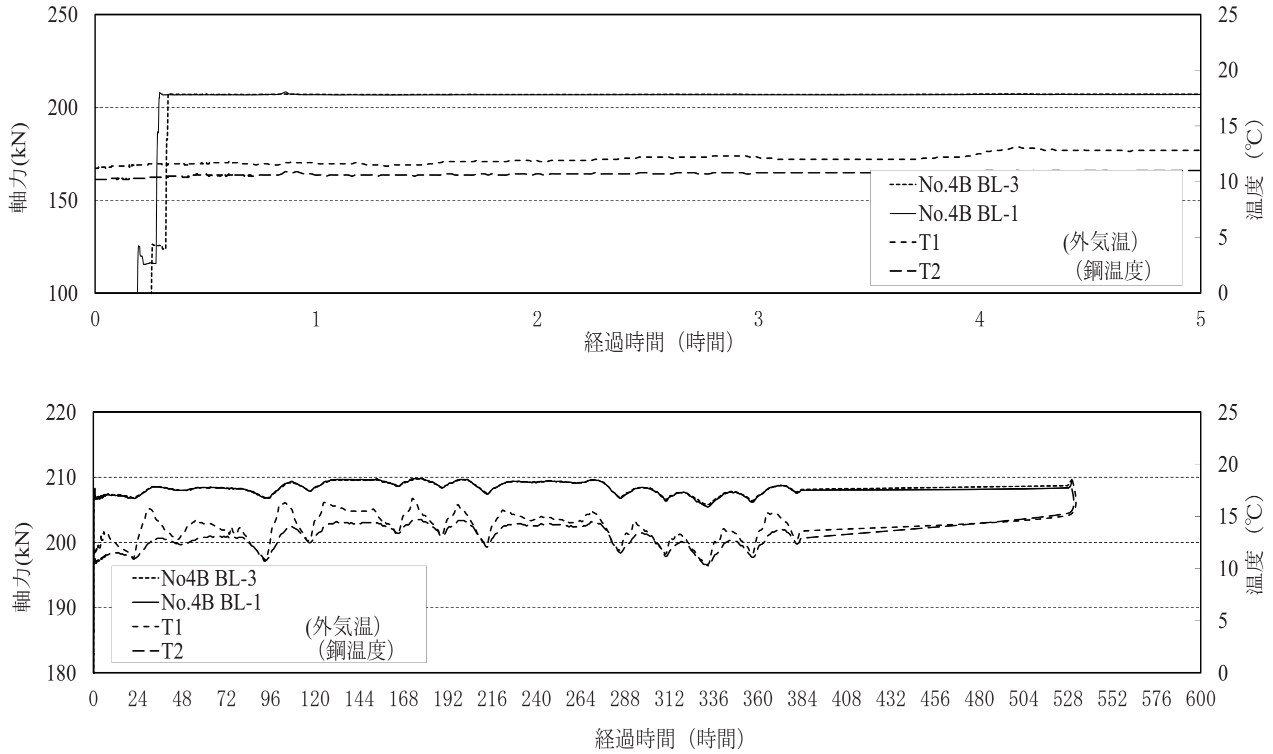


図− 2.5.9 試験体 No.3−C ボルト軸力計測結果（試験前）

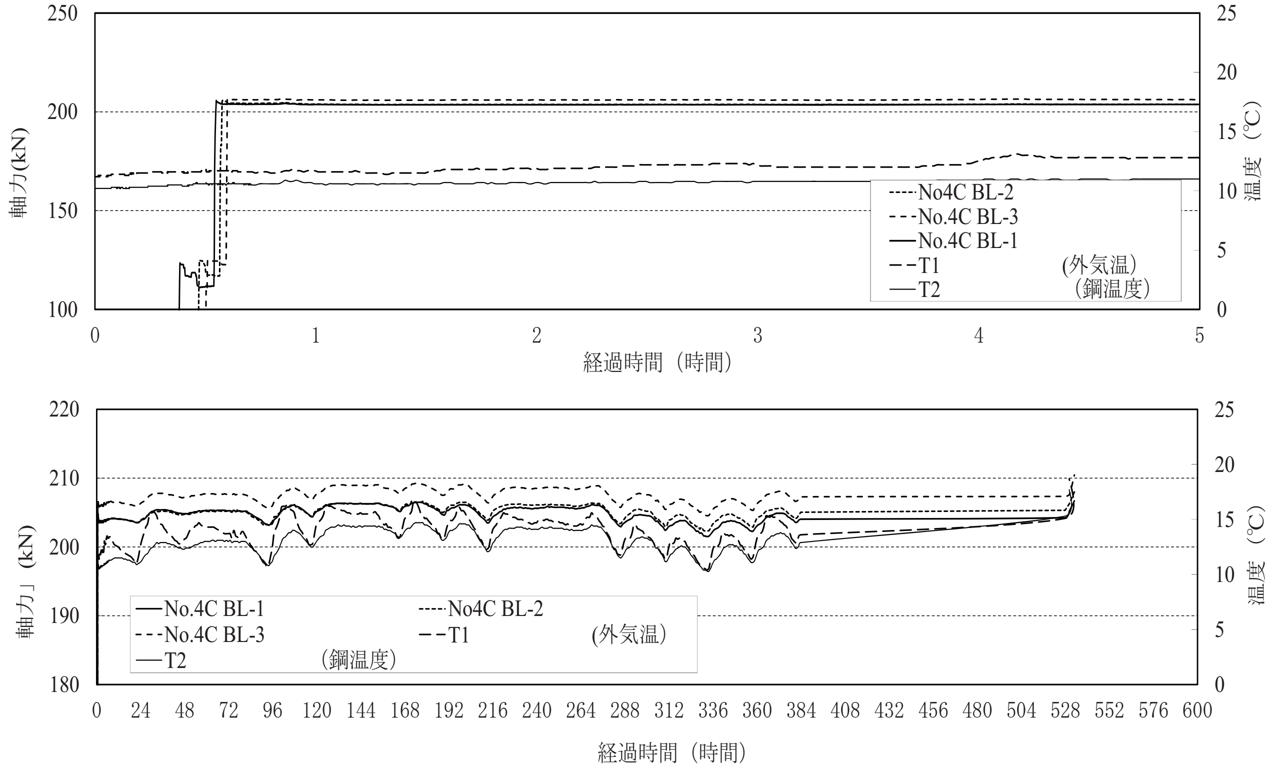




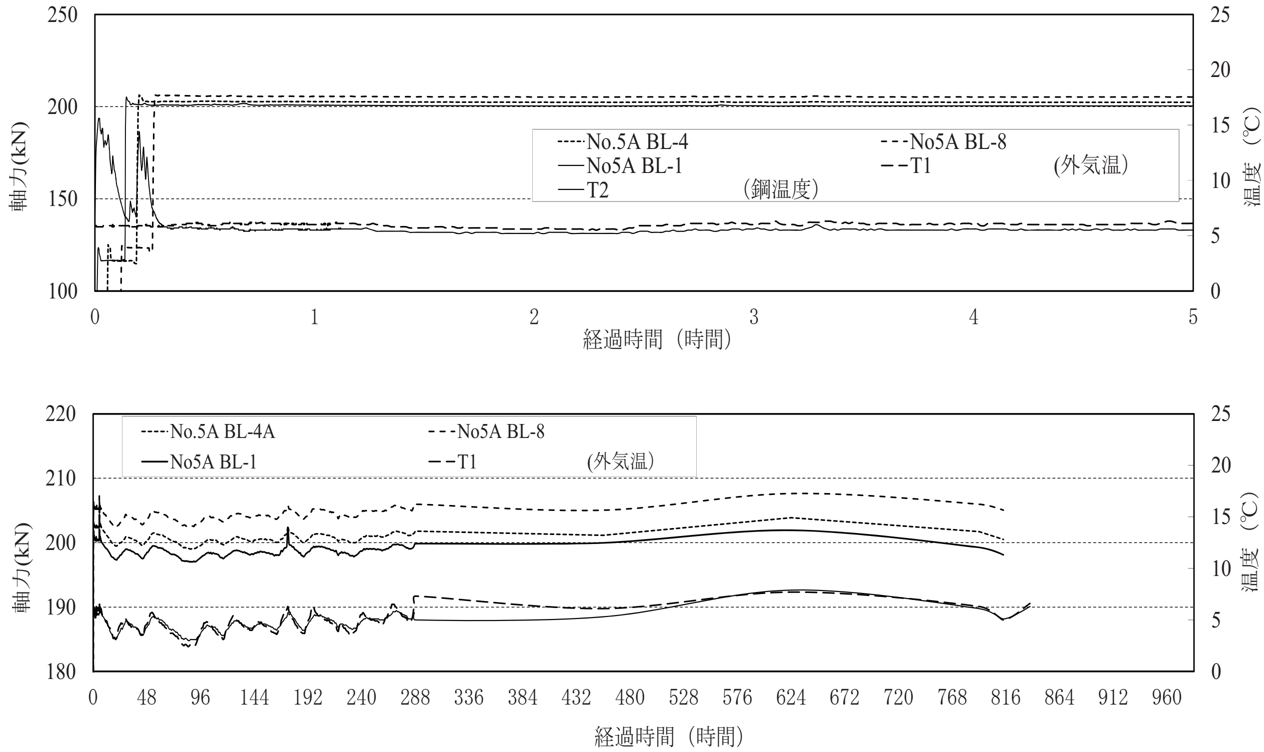
図− 2.5.10 試験体 No.4−A ボルト軸力計測結果（試験前）



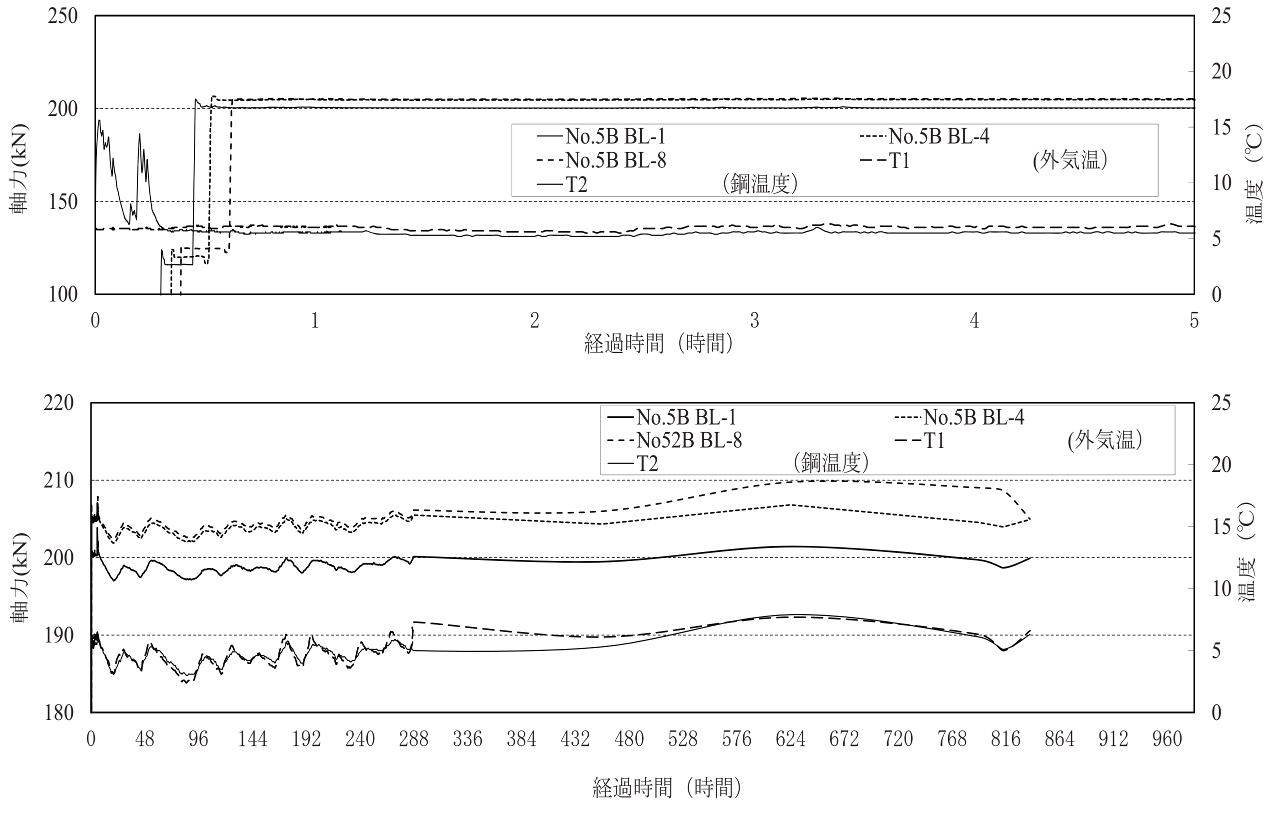
図− 2.5.11 試験体 No.4−B ボルト軸力計測結果（試験前）



図− 2.5.12 試験体 No.4−C ボルト軸力計測結果（試験前）



図− 2.5.13 試験体 No.5−A ボルト軸力計測結果（試験前）



図− 2.5.14 試験体 No.5−B ボルト軸力計測結果（試験前）

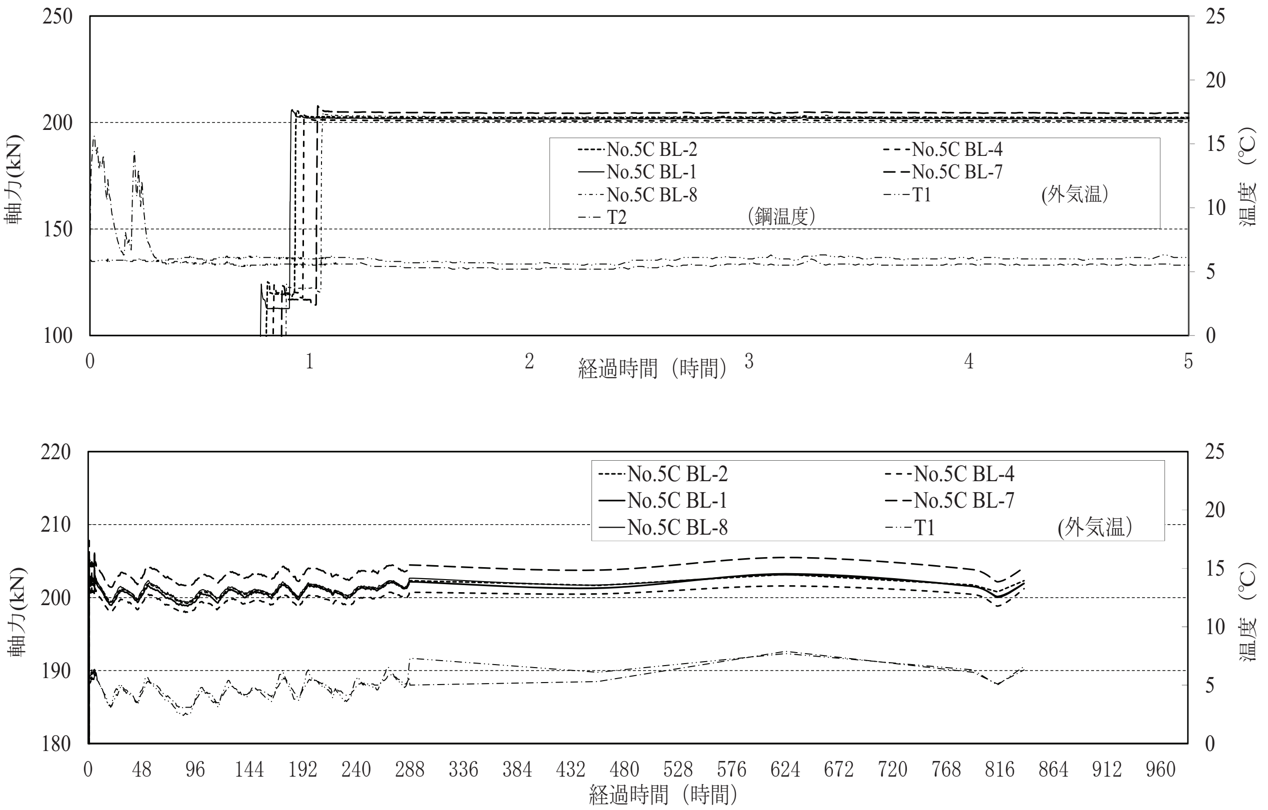


図- 2.5.15 試験体 No.5-C ボルト軸力計測結果（試験前）

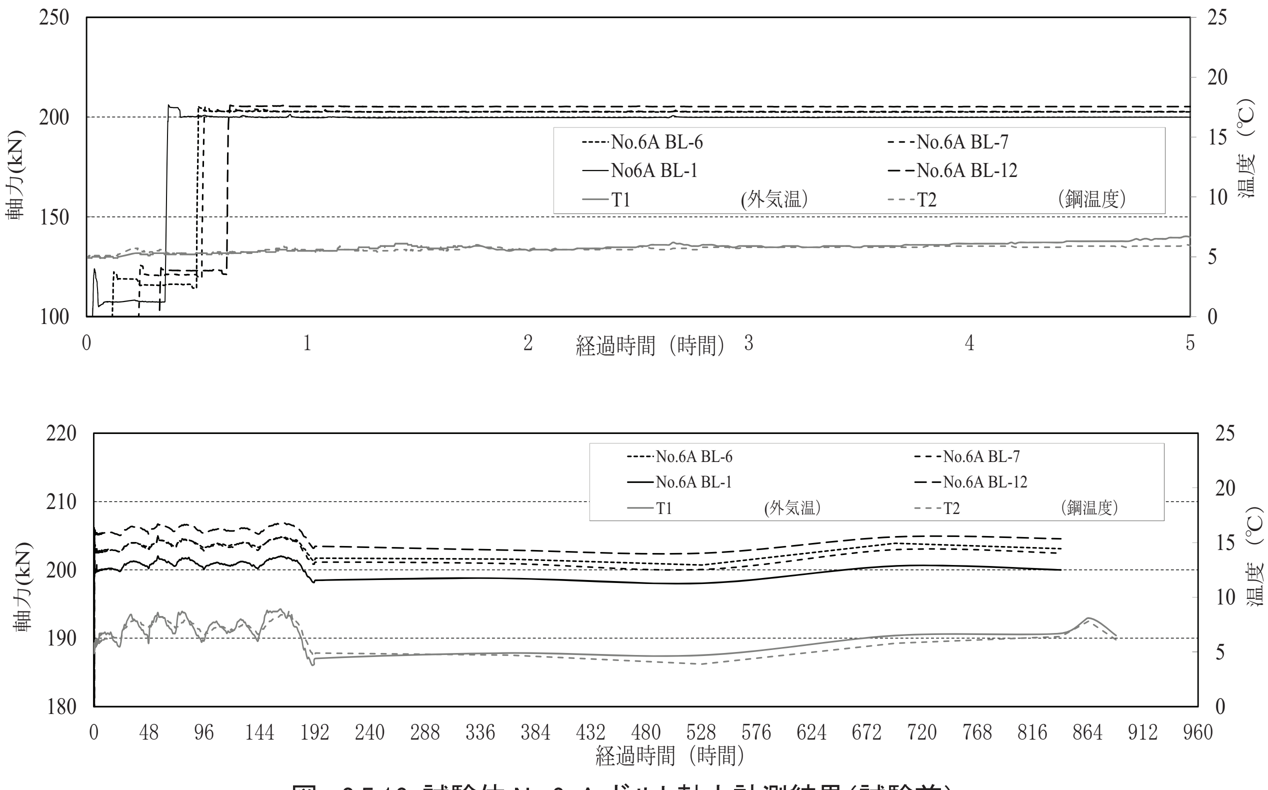


図- 2.5.16 試験体 No.6-A ボルト軸力計測結果（試験前）

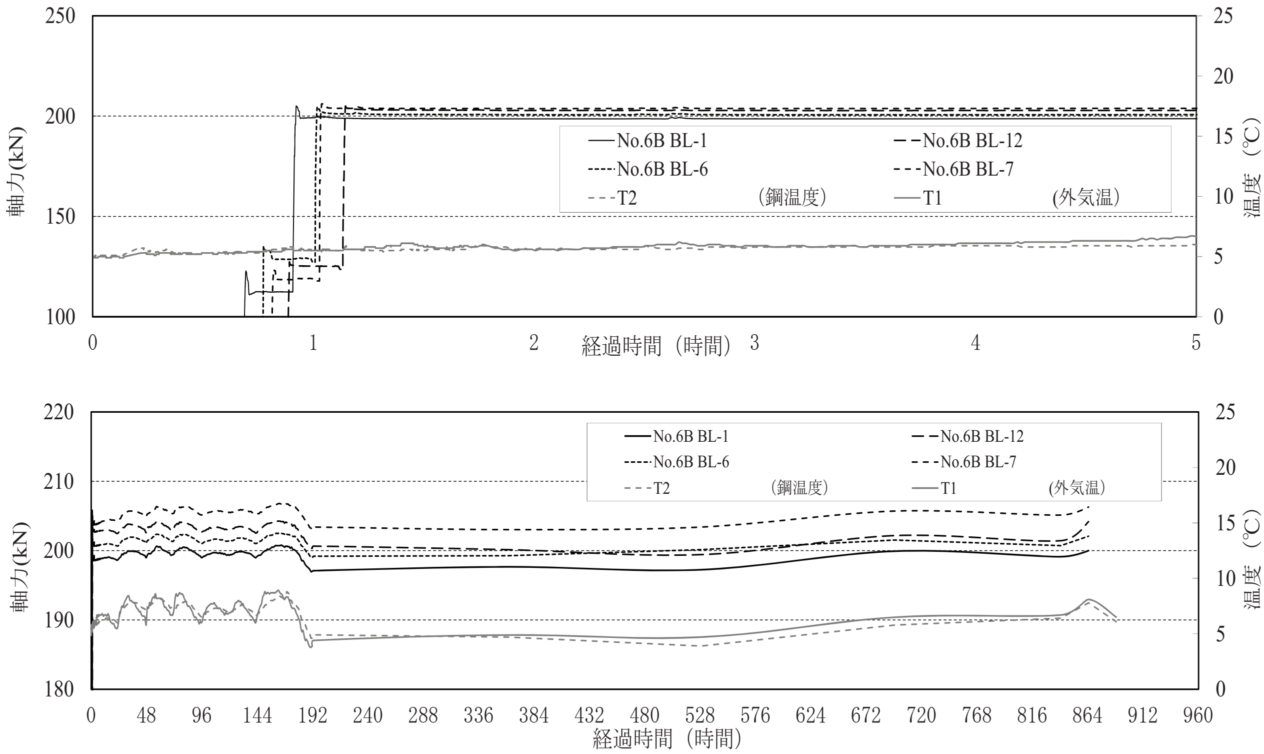


図- 2.5.17 試験体 No.6-B ボルト軸力計測結果（試験前）

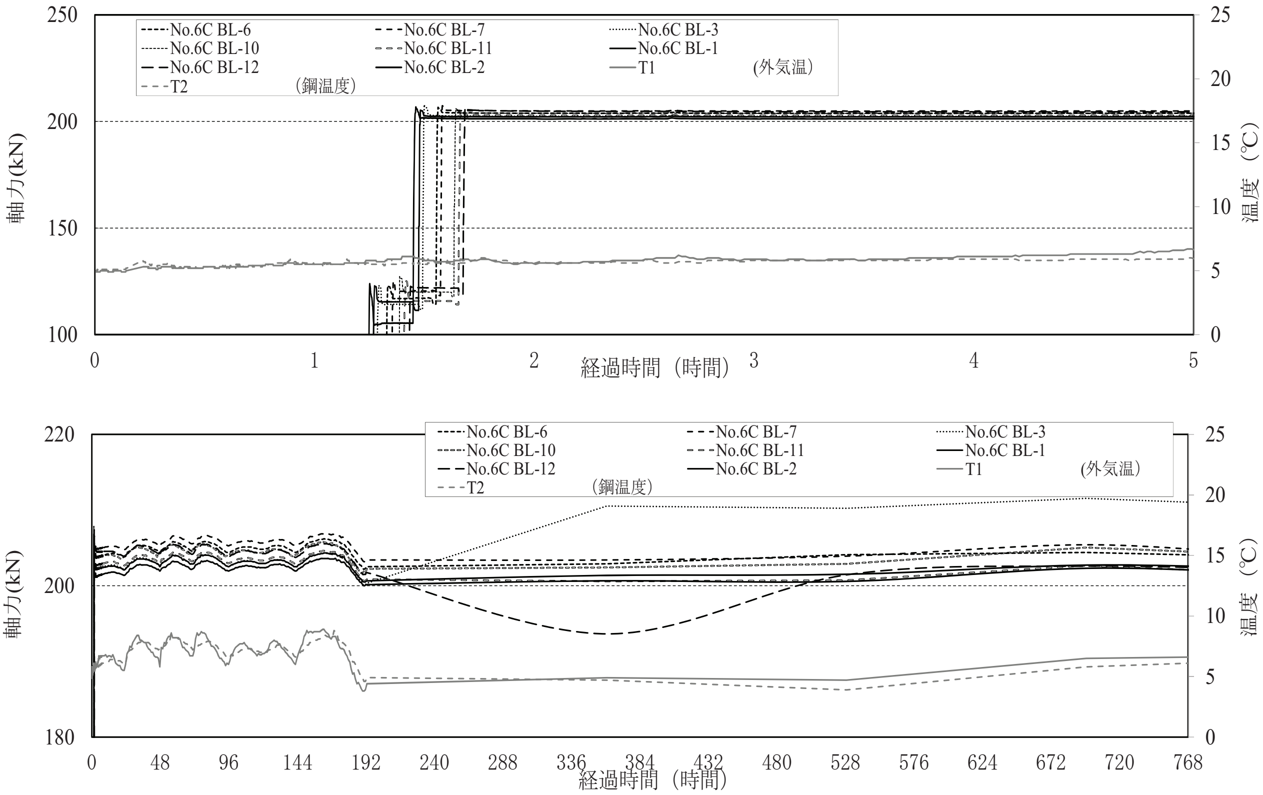


図- 2.5.18 試験体 No.6-C ボルト軸力計測結果（試験前）

2.6　材料強度試験結果

材料強度試験結果を表- 2.6.1 に示す。本試験体は文献 1)と同一の試験体を用いて，接触面にブラスト処理を施したものであるため，文献 1)にて実施した材料強度試験結果を示している。

材料強度試験結果とミルシートの比較を表- 2.6.2 に示す。材料強度試験により得られた降伏点，引張強さ，伸びは，概ねミルシートと同程度の値であった。

図- 2.6.1 に材料強度試験片の応力-ひずみ関係を示す。3 試験体とも同じような傾向を示した。

表- 2.6.1 材料強度試験結果

鋼板の種類	TP No.	最大引張荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	降伏ひずみ ($\times 10^{-6}$)	引張強さ (N/mm^2)	上降伏点 (N/mm^2)	下降伏点 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	ポアソン比	伸び (%)	断面積 (mm^2)		絞り (%)
											試験前	試験後	
SM490Y (t=75mm)	1	4928	3439	2141	548	382	363	206.5	0.289	40.0	9001	3675	59.2
	2	4902	3444	2013	549	386	370	208.9	0.285	32.8	8927	3608	59.6
	3	4890	3295	2065	543	366	360	206.5	0.288	32.3	9009	3704	58.9
	平均値	4907	3393	2073	547	378	364	207.3	0.287	35.0	-	-	59.2

表- 2.6.2 材料強度試験結果とミルシートの比較

	上降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	伸び (%)
材料強度試験結果（平均値）	378	546	35
ミルシート	368	543	36

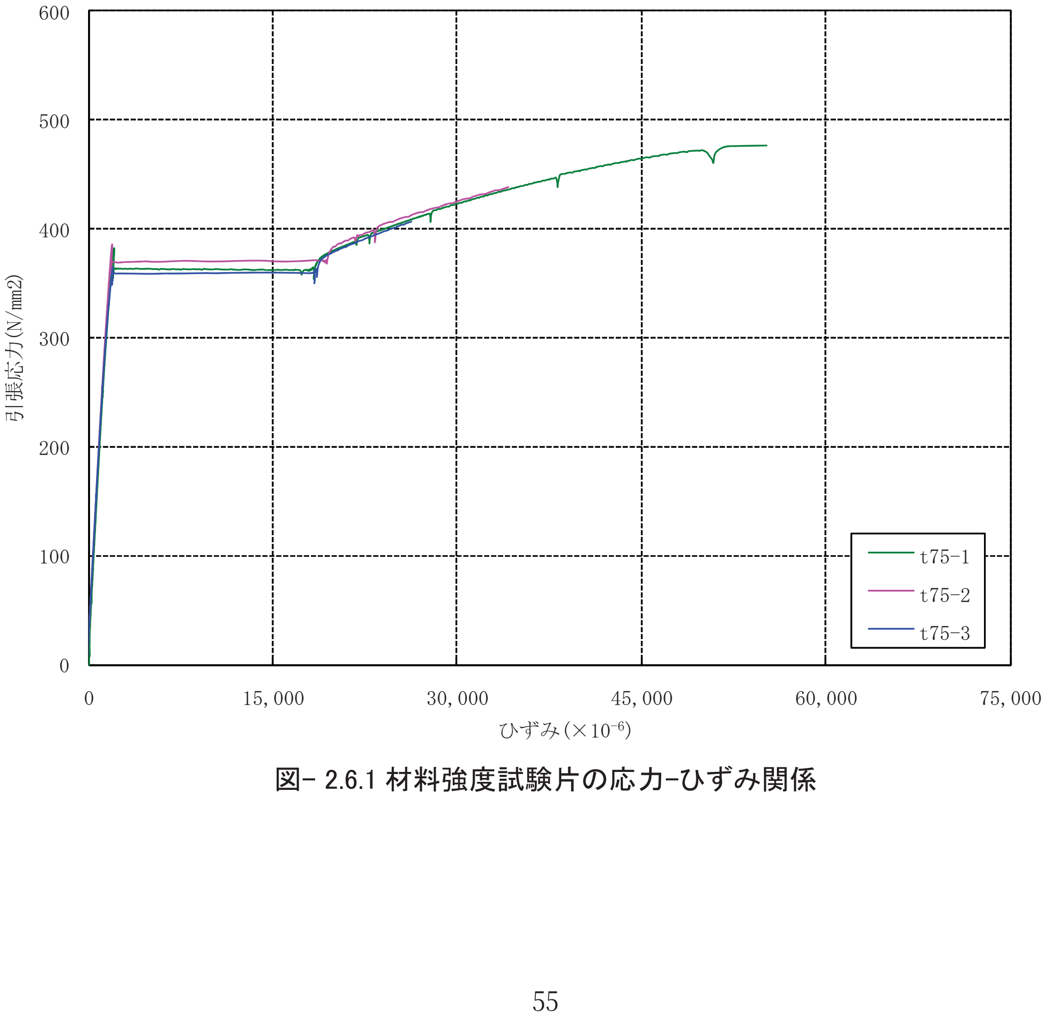


図- 2.6.1 材料強度試験片の応力-ひずみ関係

2.7　すべり耐力試験結果

2.7.1　荷重－変位関係

各試験体の荷重と母板間の変位（以下，変位）の関係を図- 2.7.1～図- 2.7.36 に示す。ここでの荷重は載荷試験機の引張荷重であり，変位はすべり側の母板と非すべり側の母板の間に設置したクリップゲージより計測した母板間距離の変化量の平均値である。

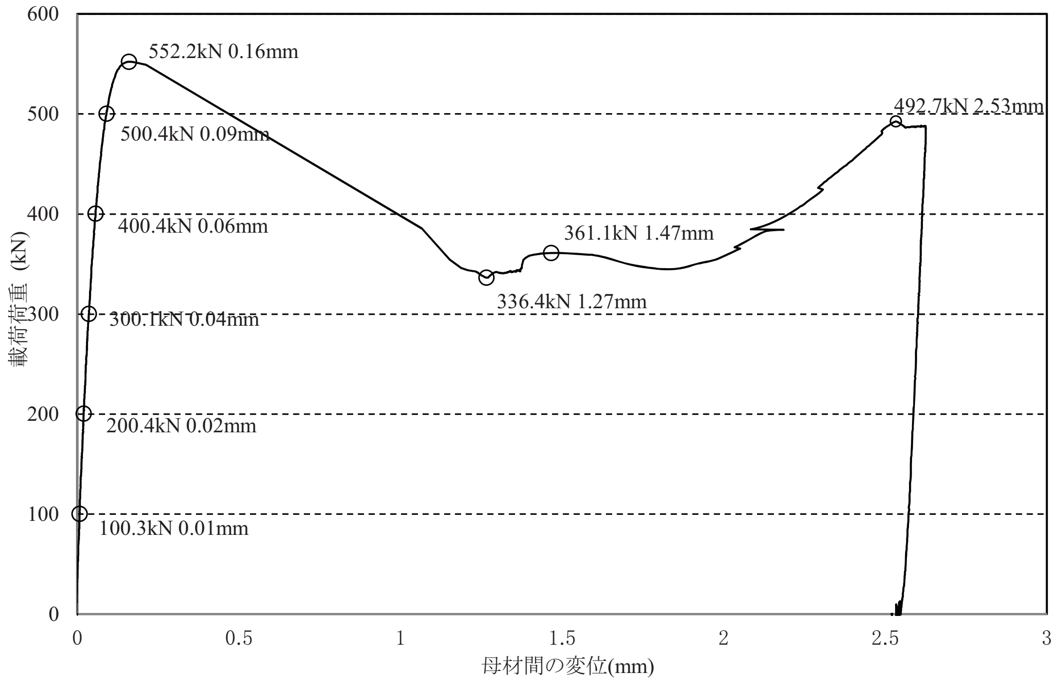


図- 2.7.1 荷重-変位関係（試験体 No.1-A）

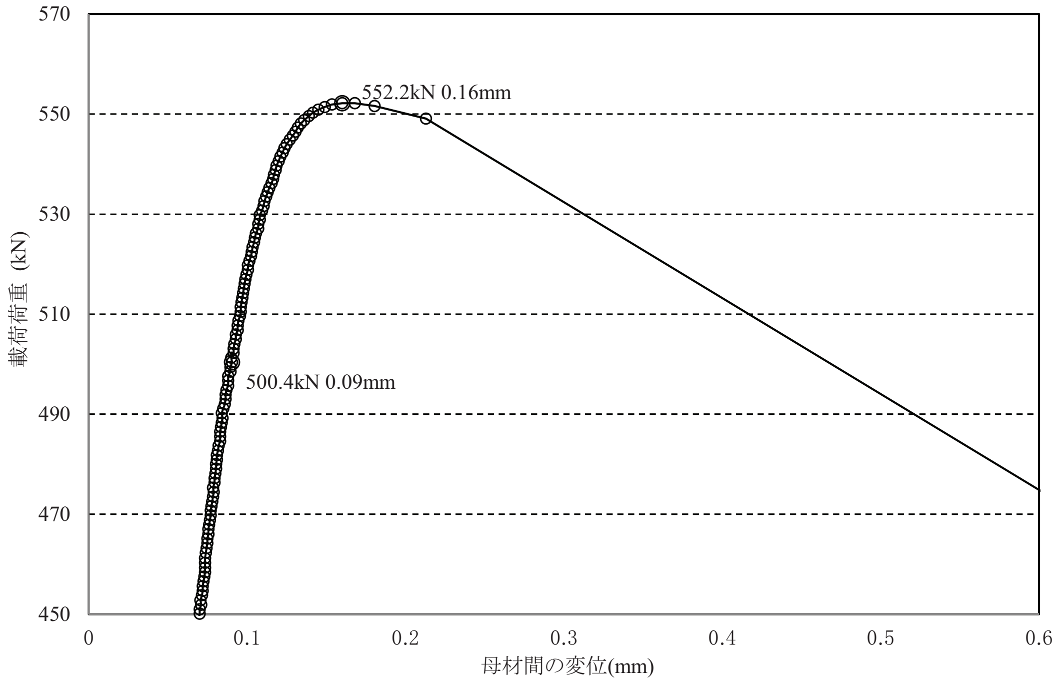
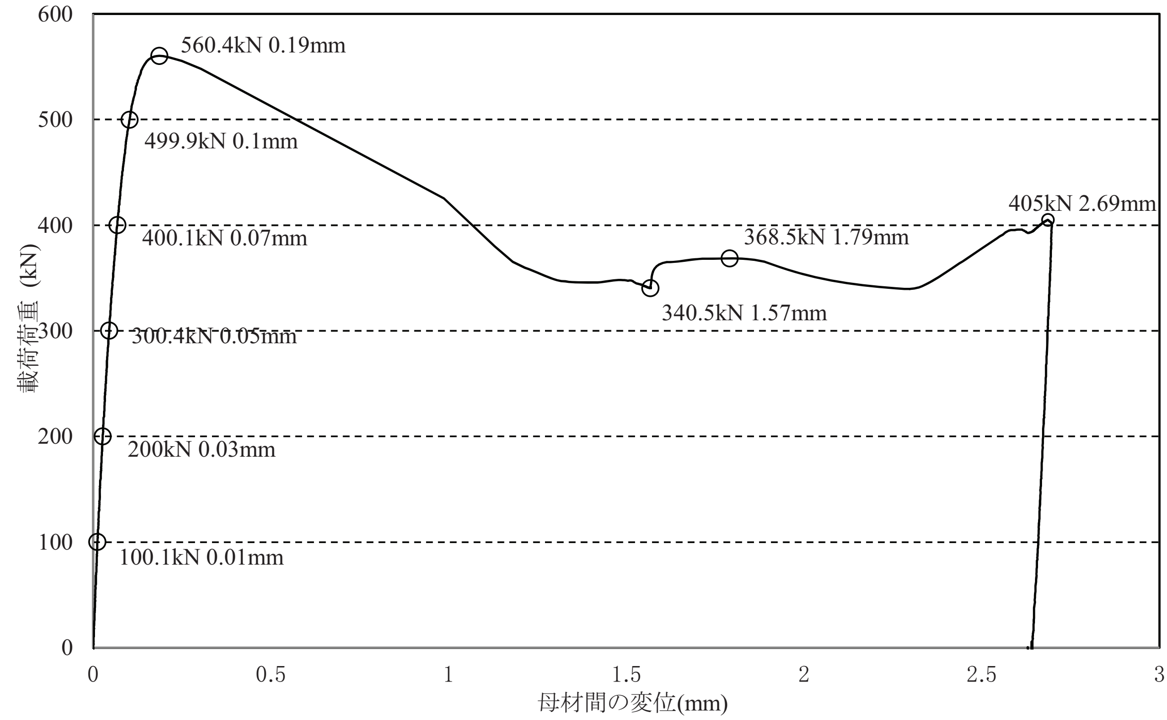
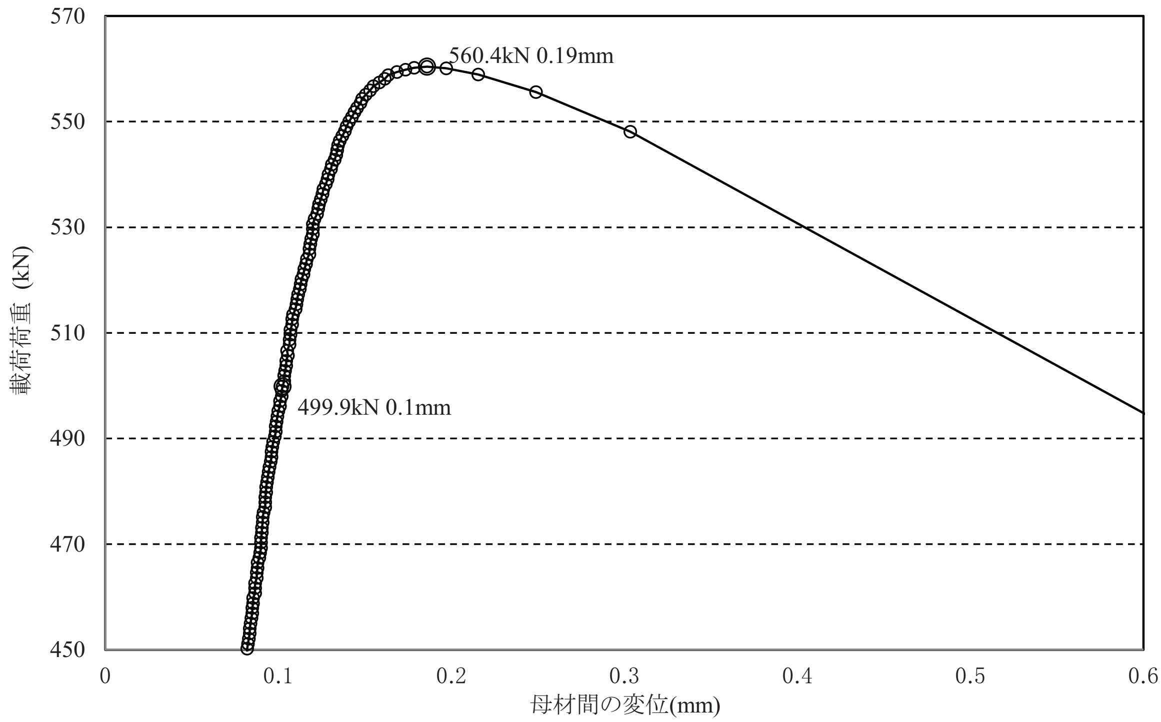


図- 2.7.2 荷重-変位関係（試験体 No.1-A） すべり荷重近傍の拡大図



図− 2.7.3 荷重−変位関係（試験体 No.1−B）



図− 2.7.4 荷重−変位関係（試験体 No.1−B） すべり荷重近傍の拡大図

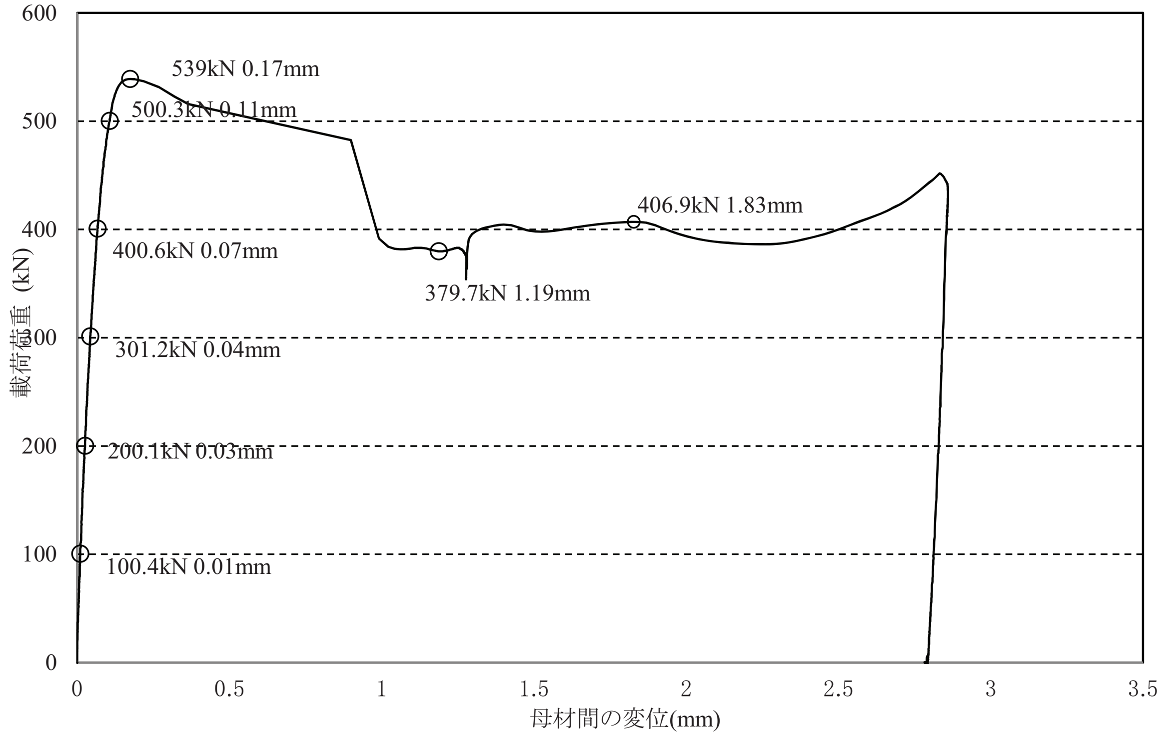


図- 2.7.5 荷重-変位関係（試験体 No.1-C）

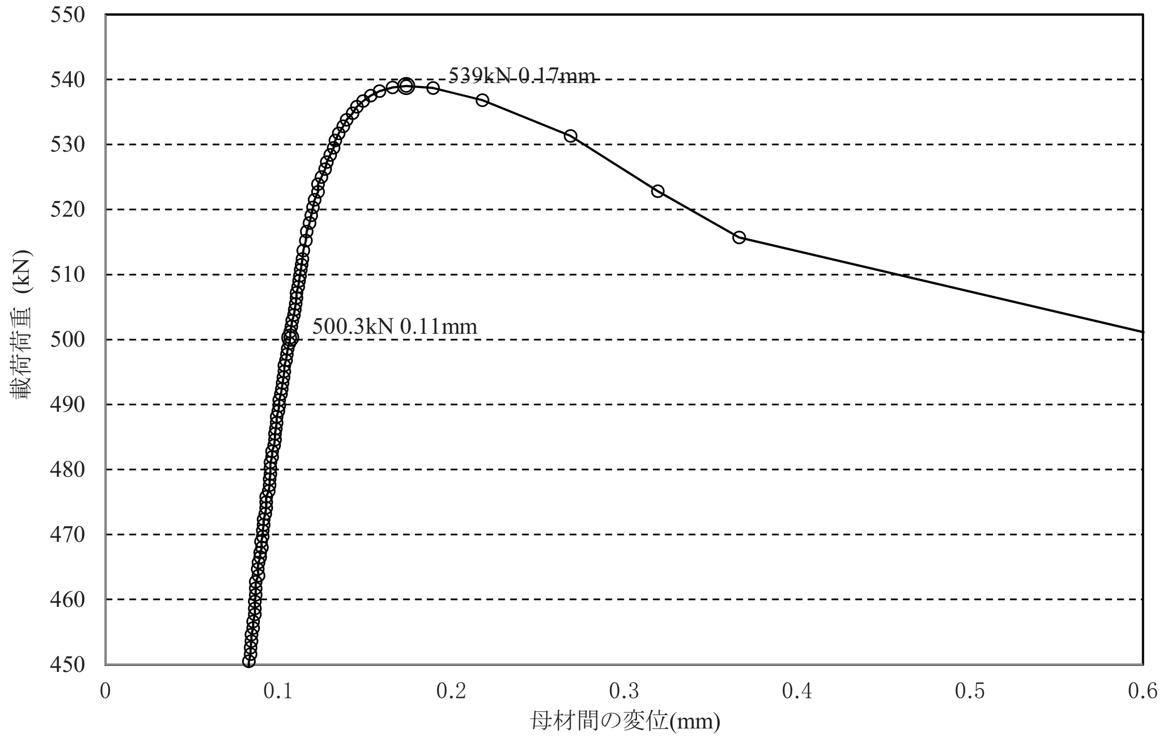


図- 2.7.6 荷重-変位関係（試験体 No.1-C） すべり荷重近傍の拡大図

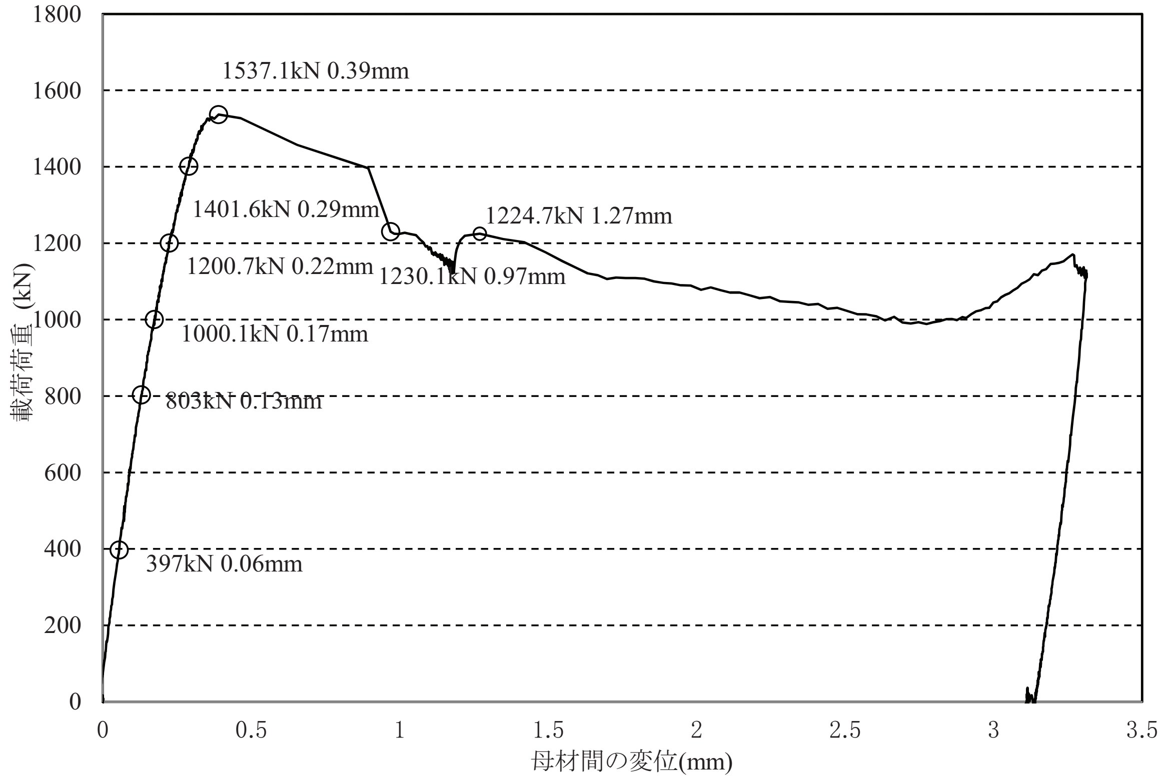


図- 2.7.7 荷重-変位関係(試験体 No.2-A)

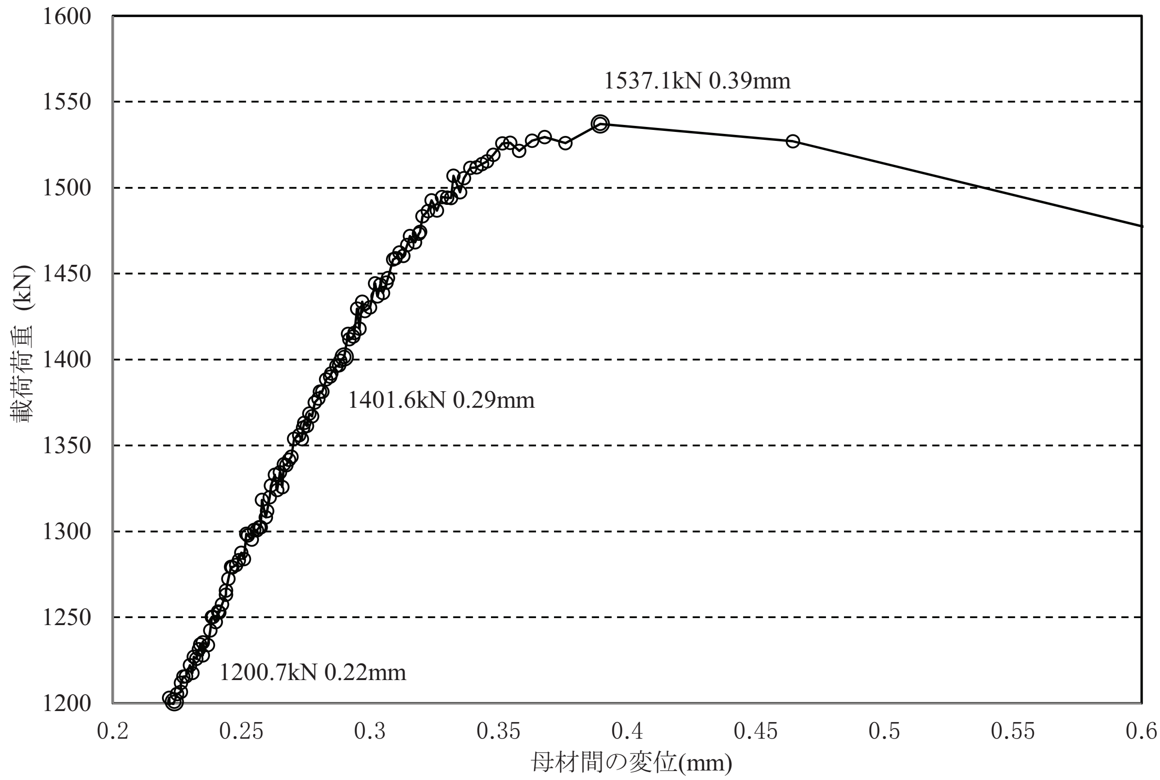
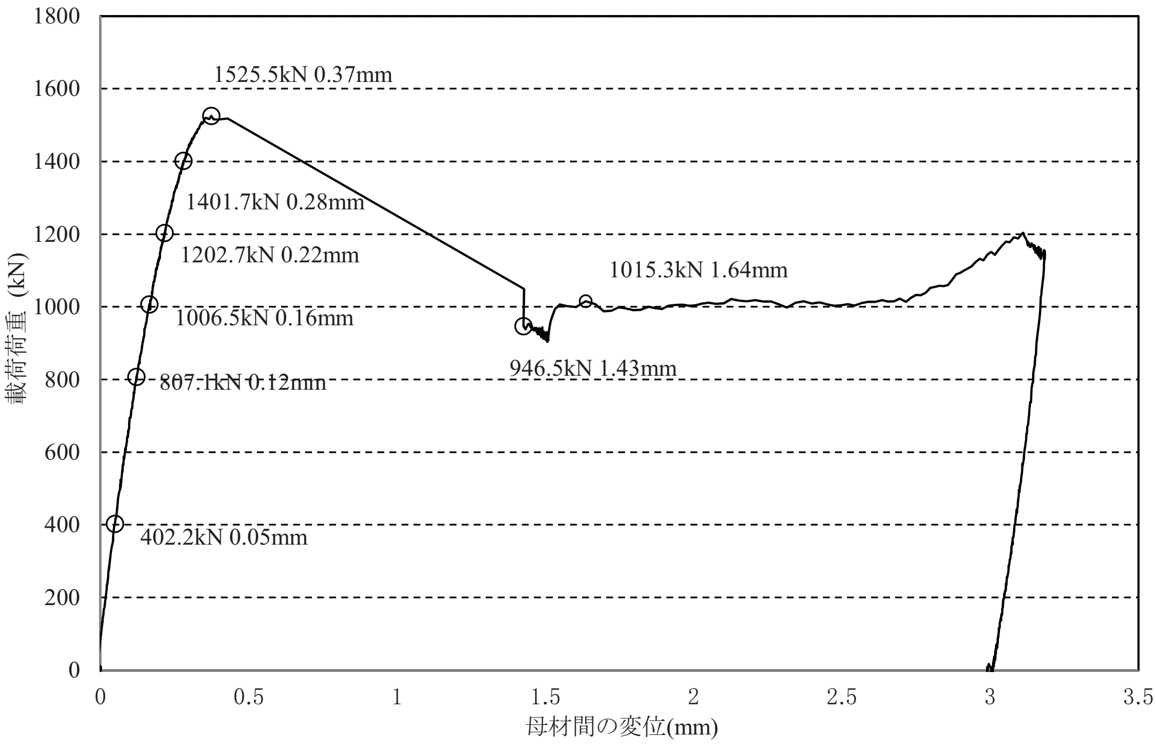
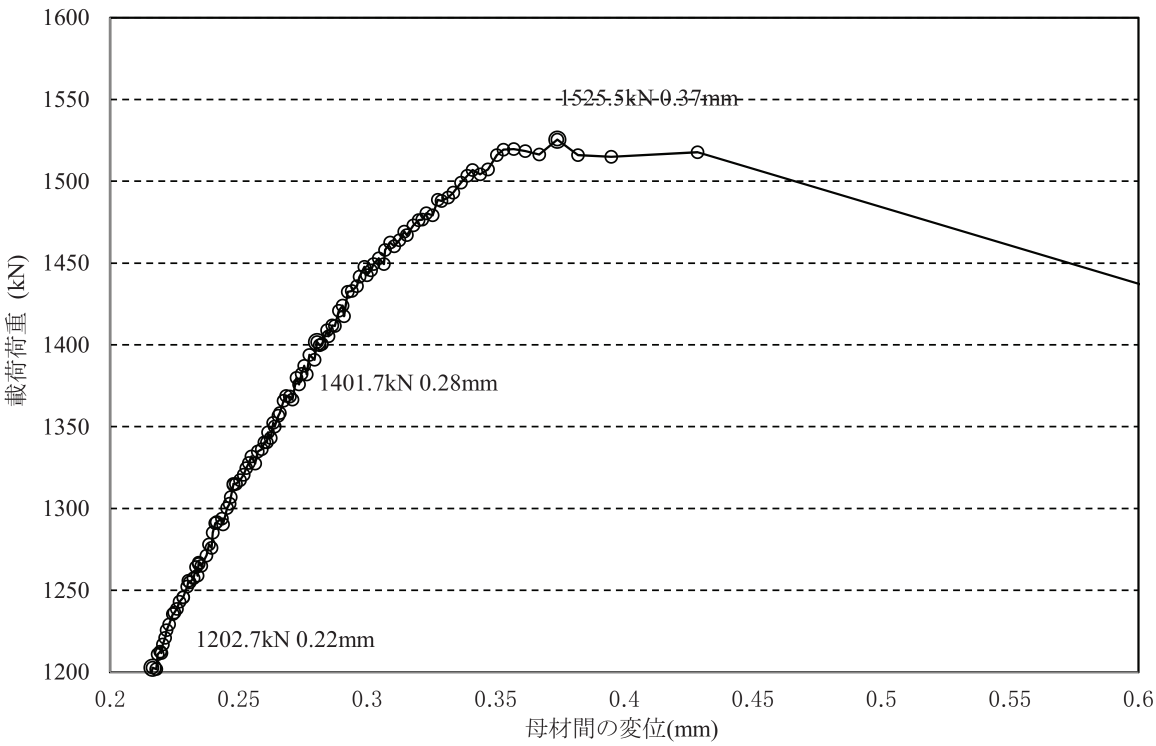


図- 2.7.8 荷重-変位関係(試験体 No. 2-A) すべり荷重近傍の拡大図



図− 2.7.9 荷重−変位関係（試験体 No.2−B）



図− 2.7.10 荷重−変位関係（試験体 No. 2−B） すべり荷重近傍の拡大図

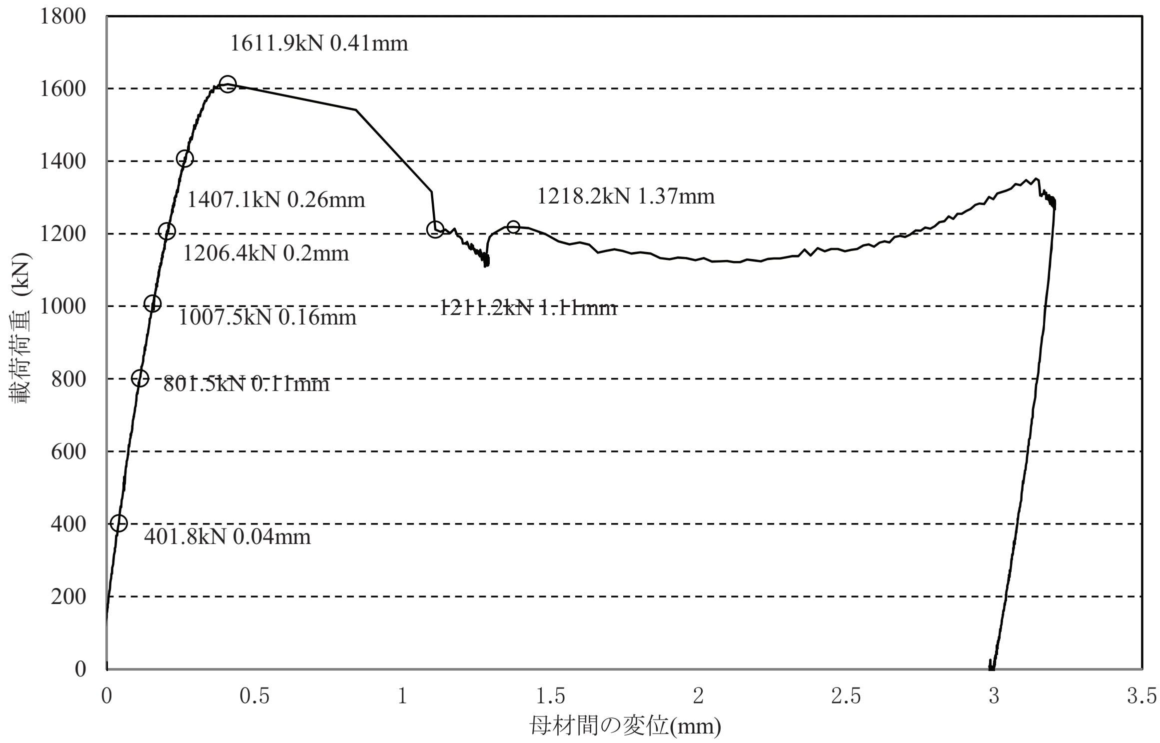


図- 2.7.11 荷重-変位関係(試験体 No.2-C)

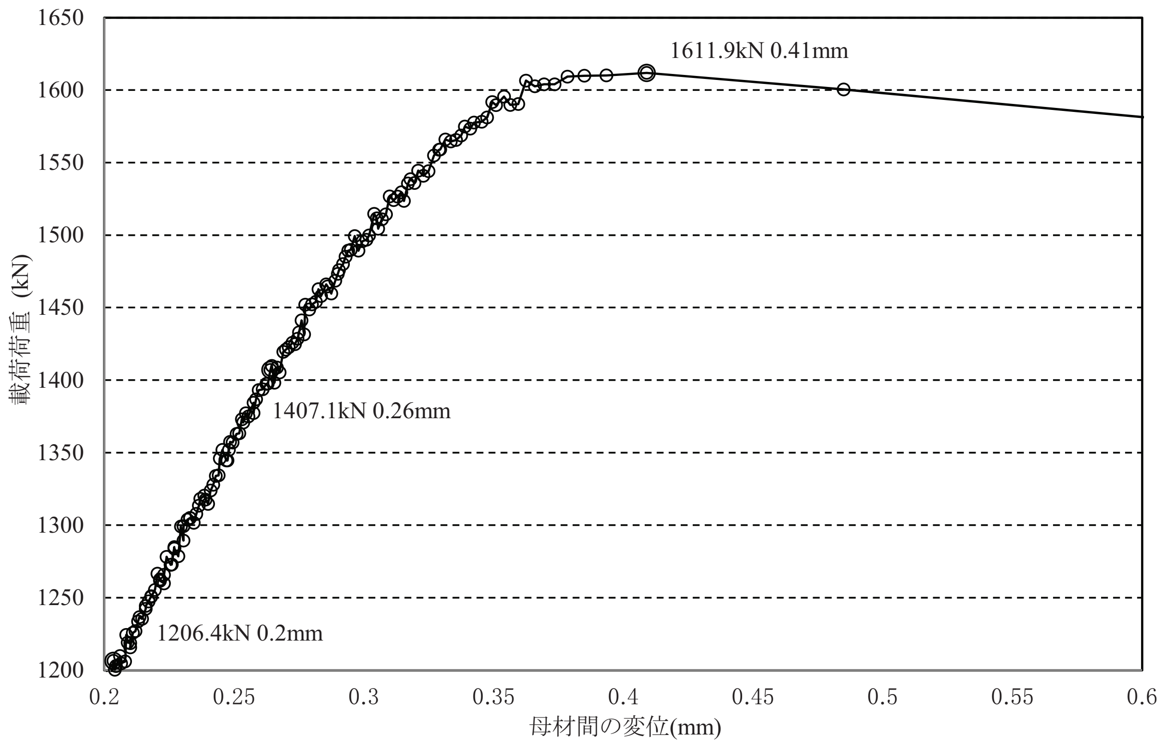
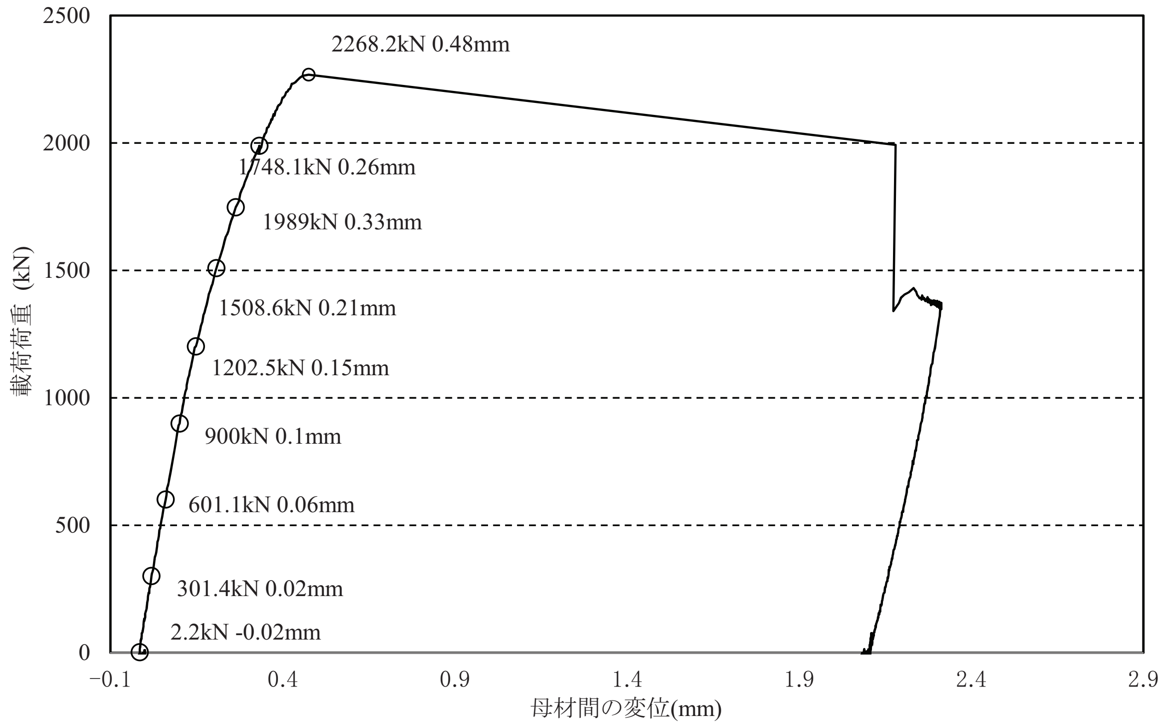
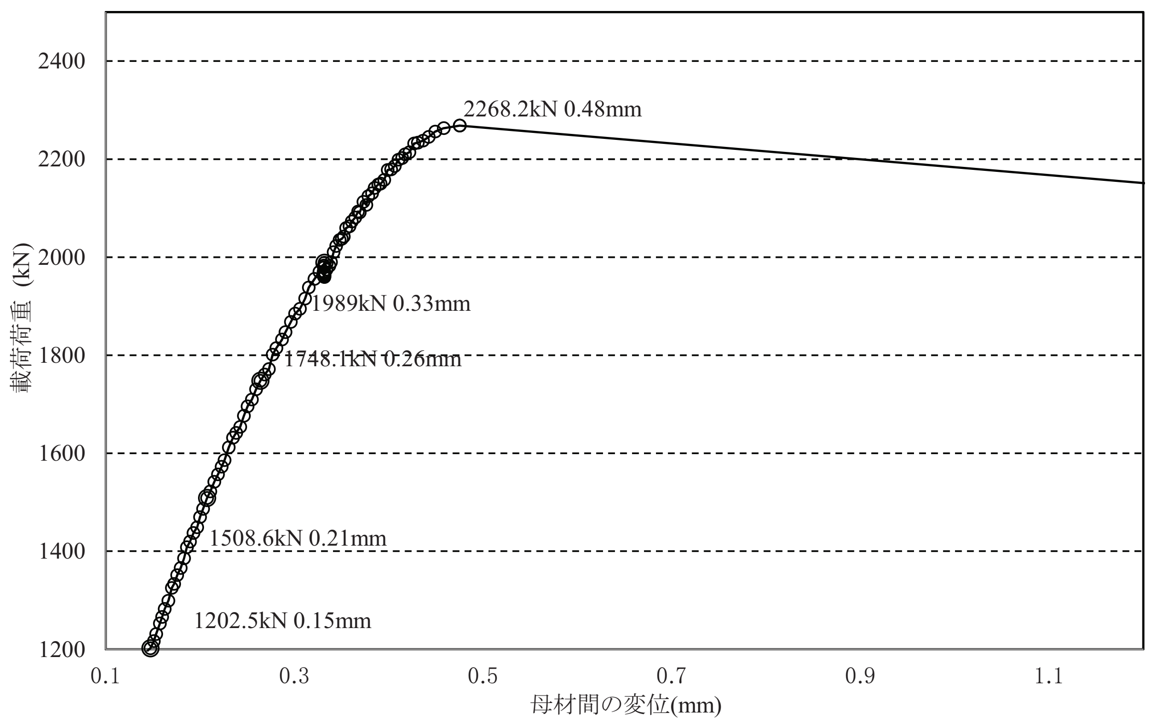


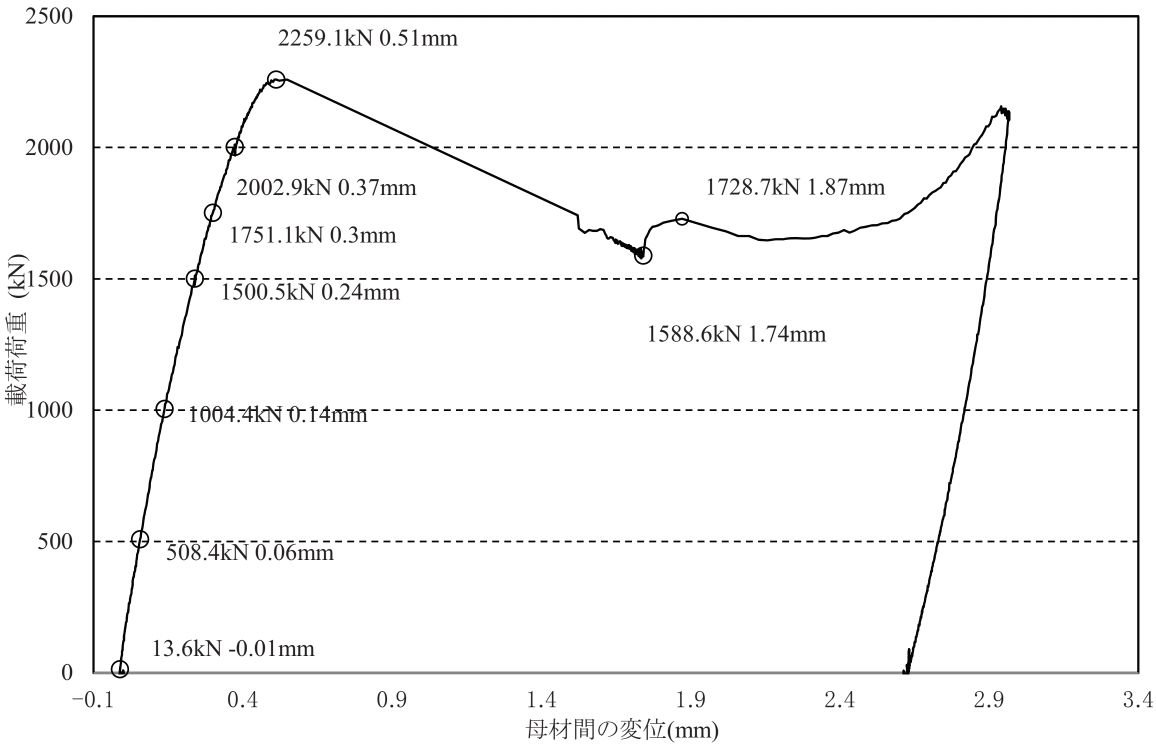
図- 2.7.12 荷重-変位関係(試験体 No. 2-C) すべり荷重近傍の拡大図



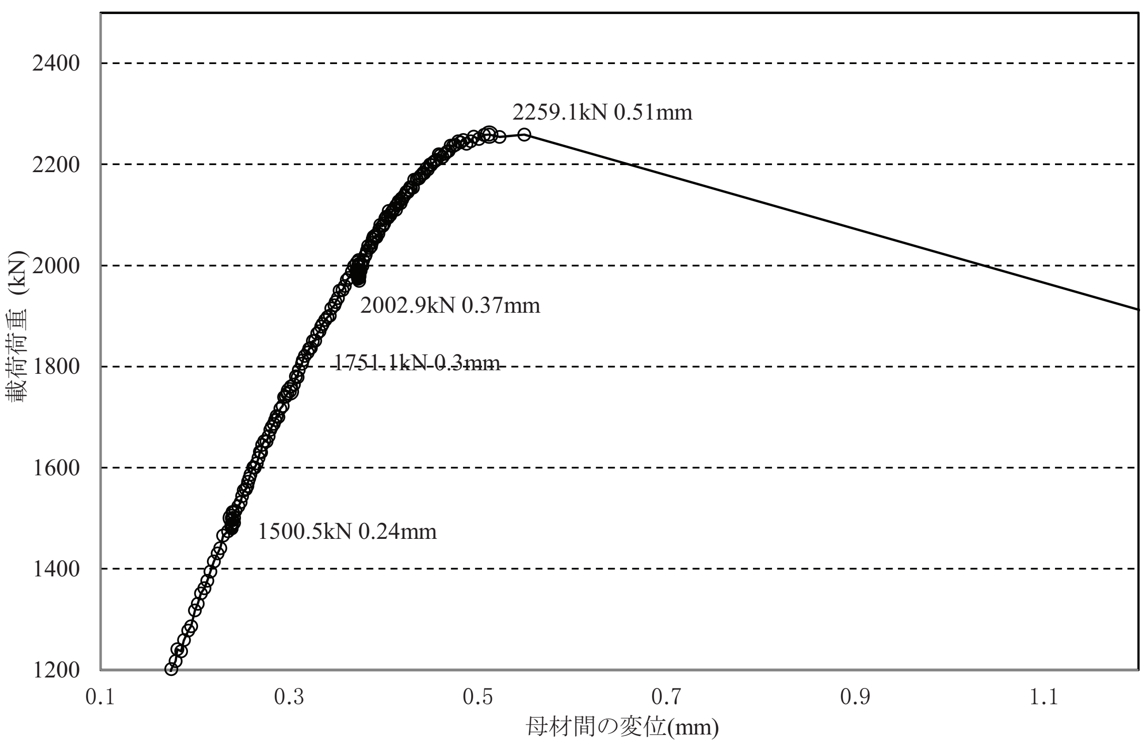
図− 2.7.13 荷重−変位関係（試験体 No.3−A）



図− 2.7.14 荷重−変位関係（試験体 No. 3−A） すべり荷重近傍の拡大図



図− 2.7.15 荷重−変位関係（試験体 No.3−B）



図− 2.7.16 荷重−変位関係（試験体 No. 3−B） すべり荷重近傍の拡大図

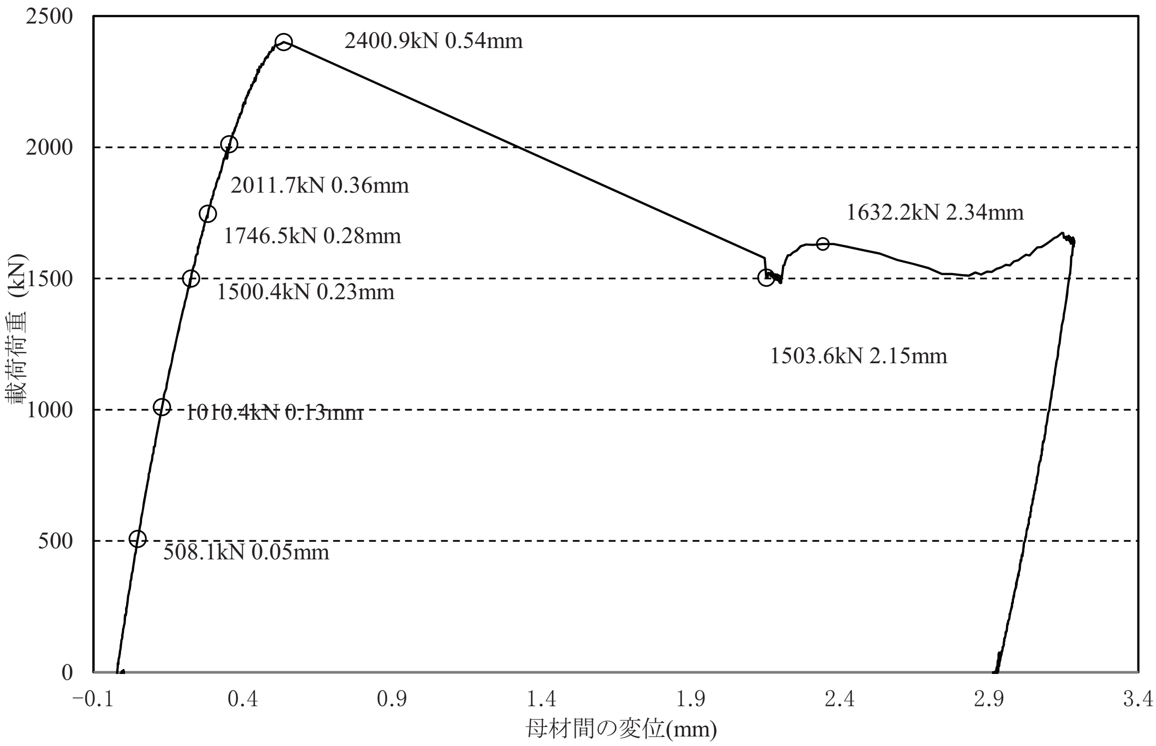


図- 2.7.17 荷重-変位関係(試験体 No.3-C)

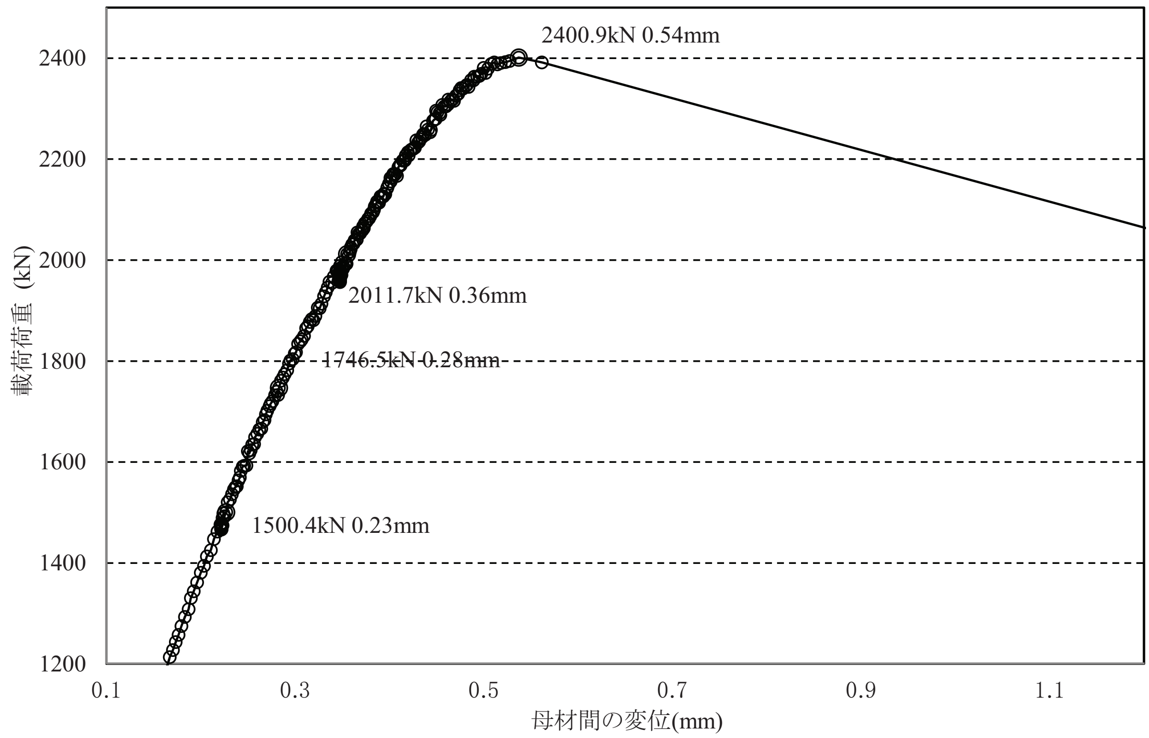


図- 2.7.18 荷重-変位関係(試験体 No. 3-C) すべり荷重近傍の拡大図

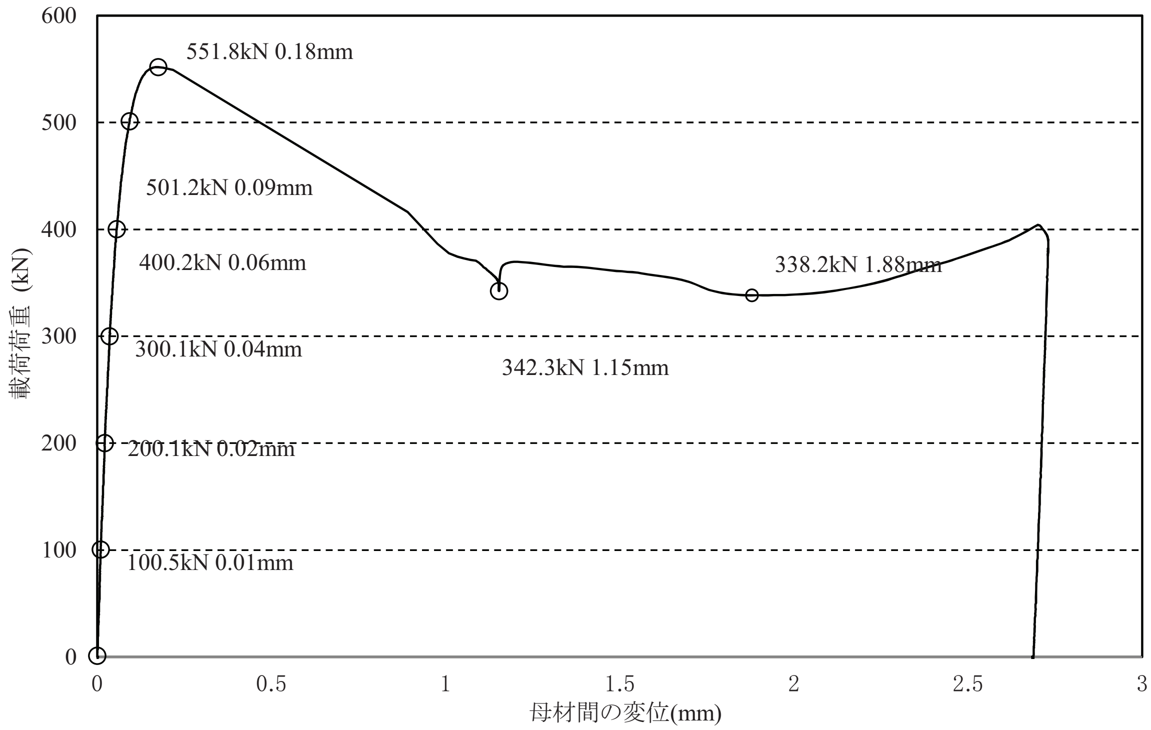


図- 2.7.19 荷重-変位関係(試験体 No.4-A)

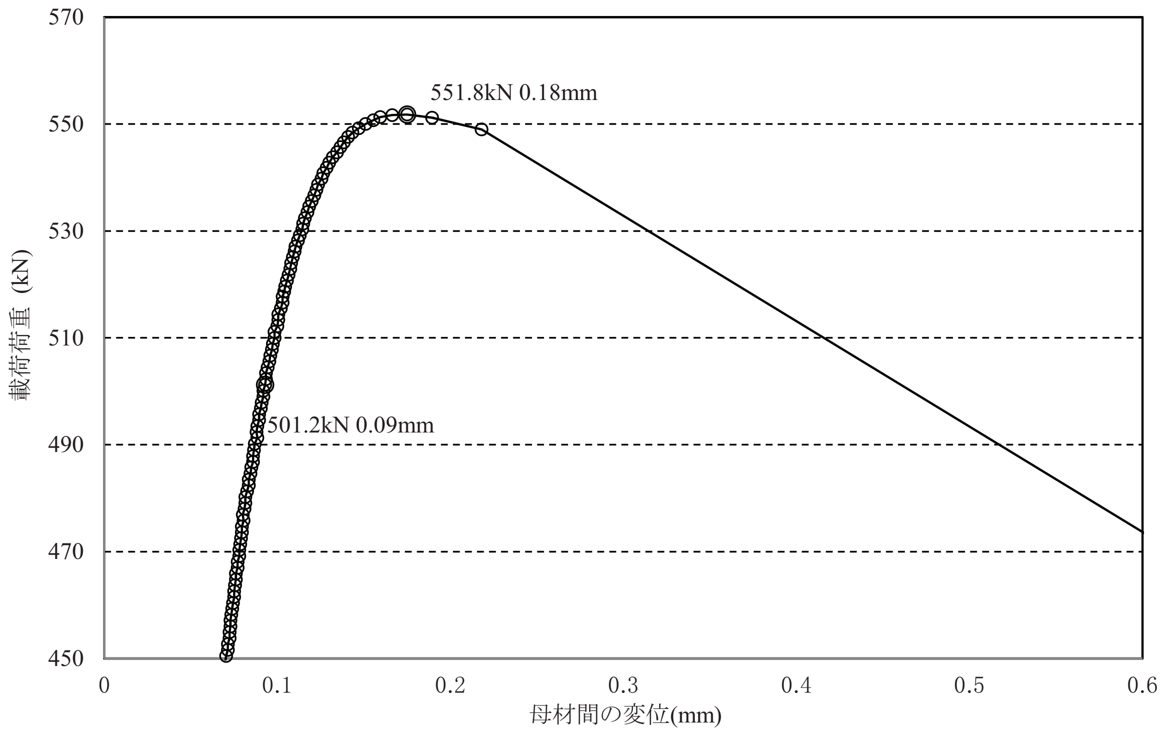
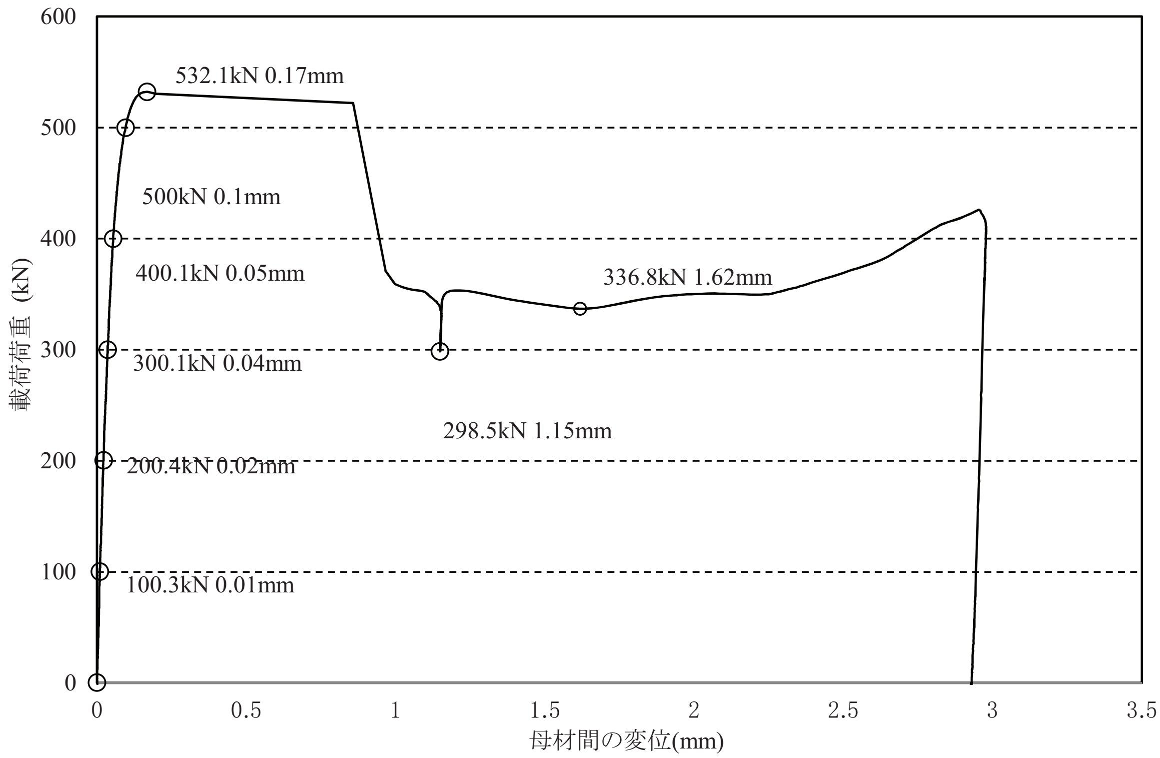
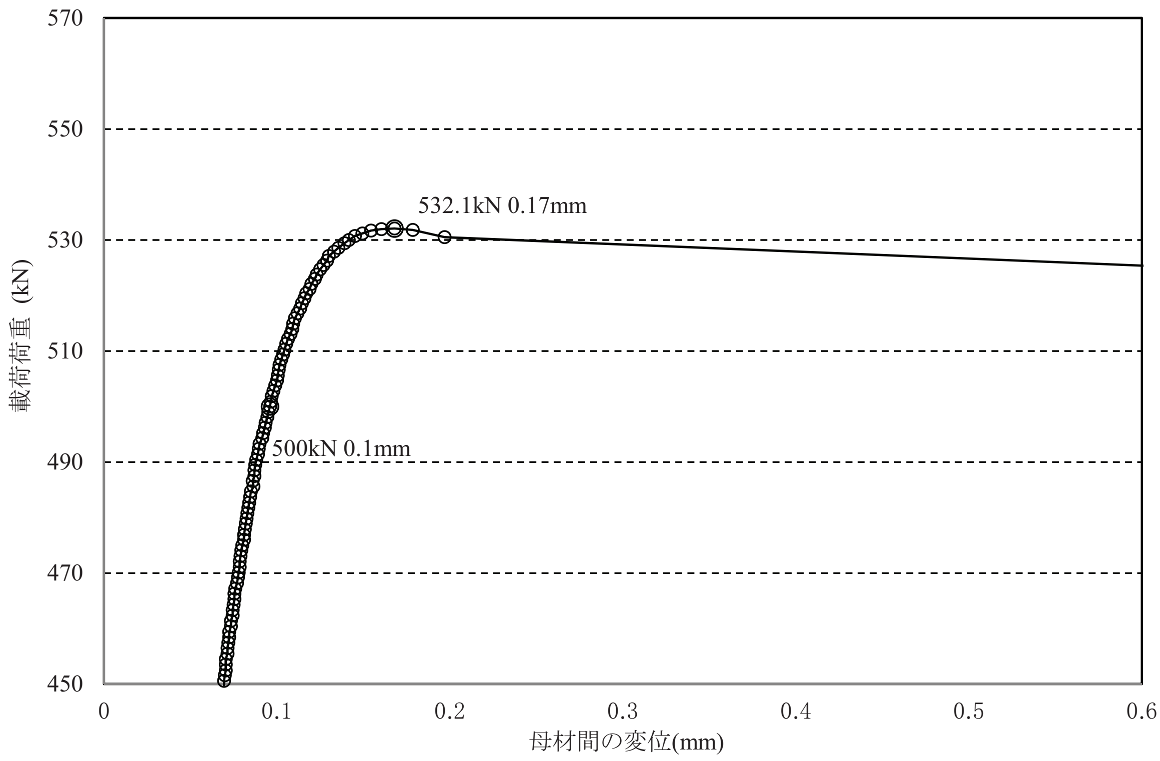


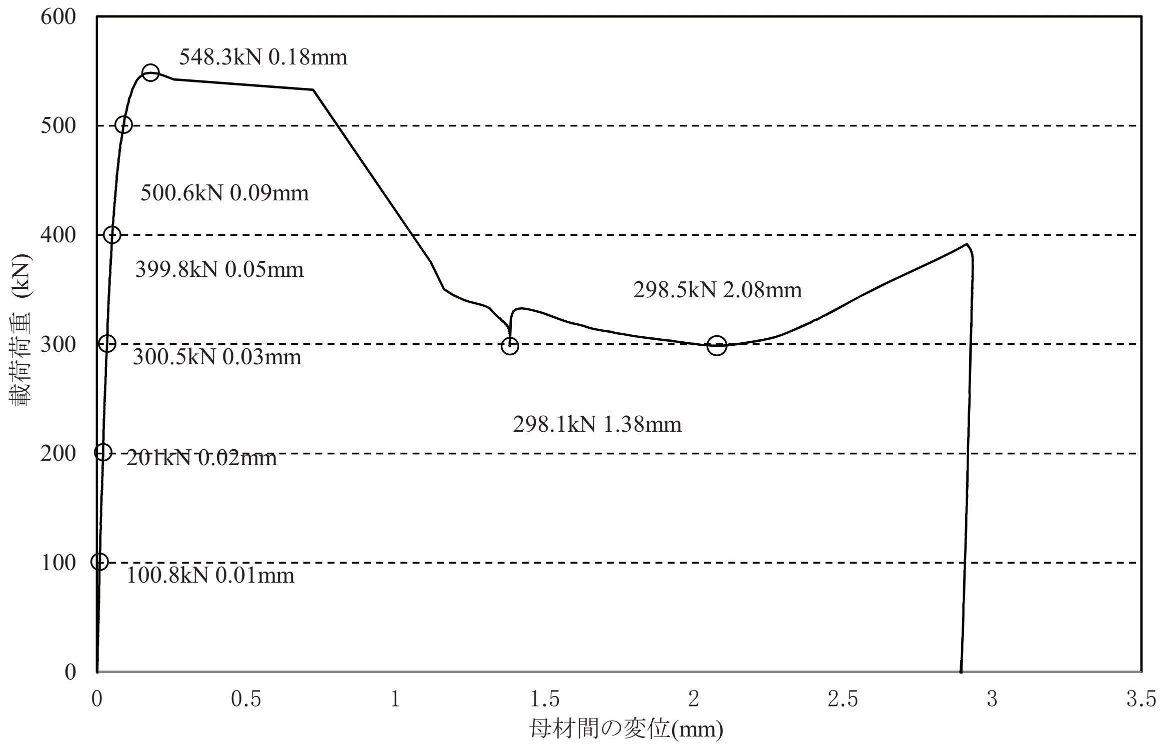
図- 2.7.20 荷重-変位関係(試験体 No. 4-A) すべり荷重近傍の拡大図



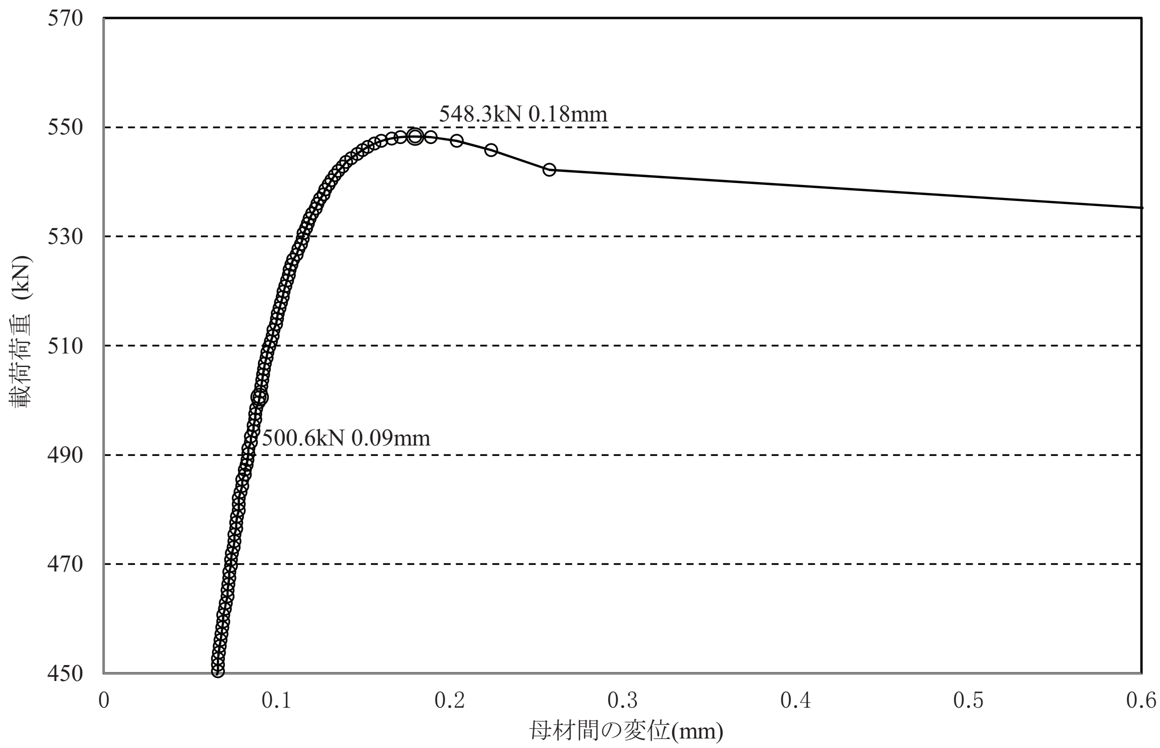
図− 2.7.21 荷重−変位関係（試験体 No.4−B）



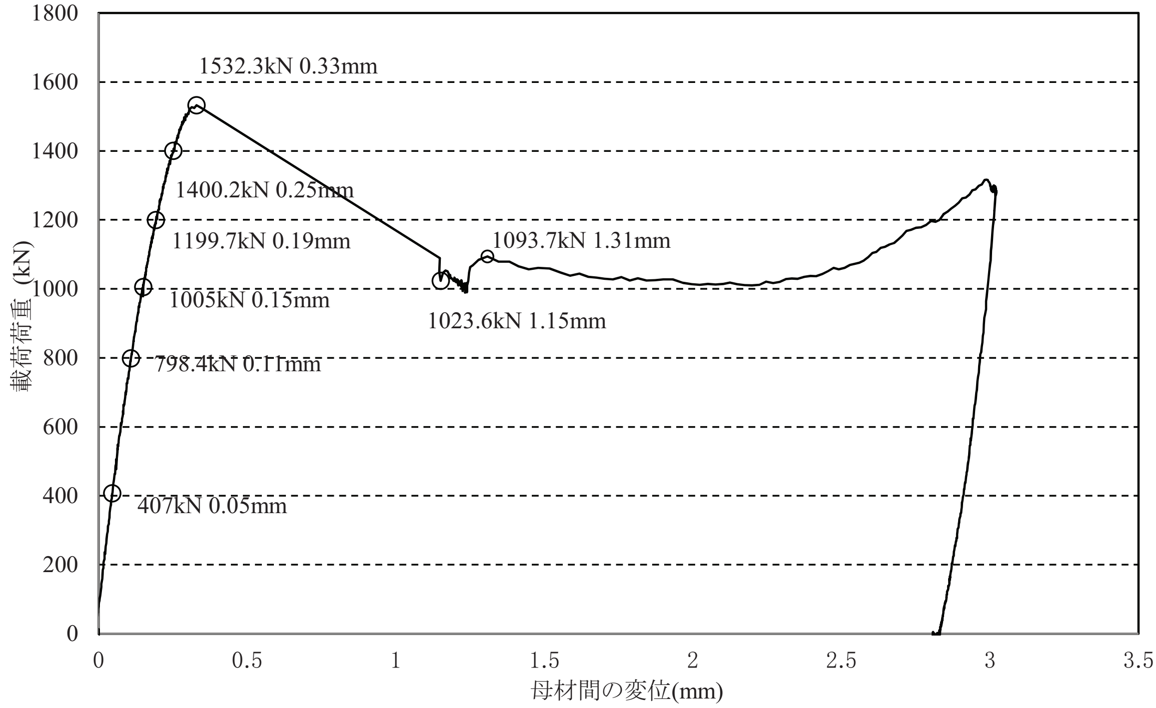
図− 2.7.22 荷重−変位関係（試験体 No. 4−B） すべり荷重近傍の拡大図



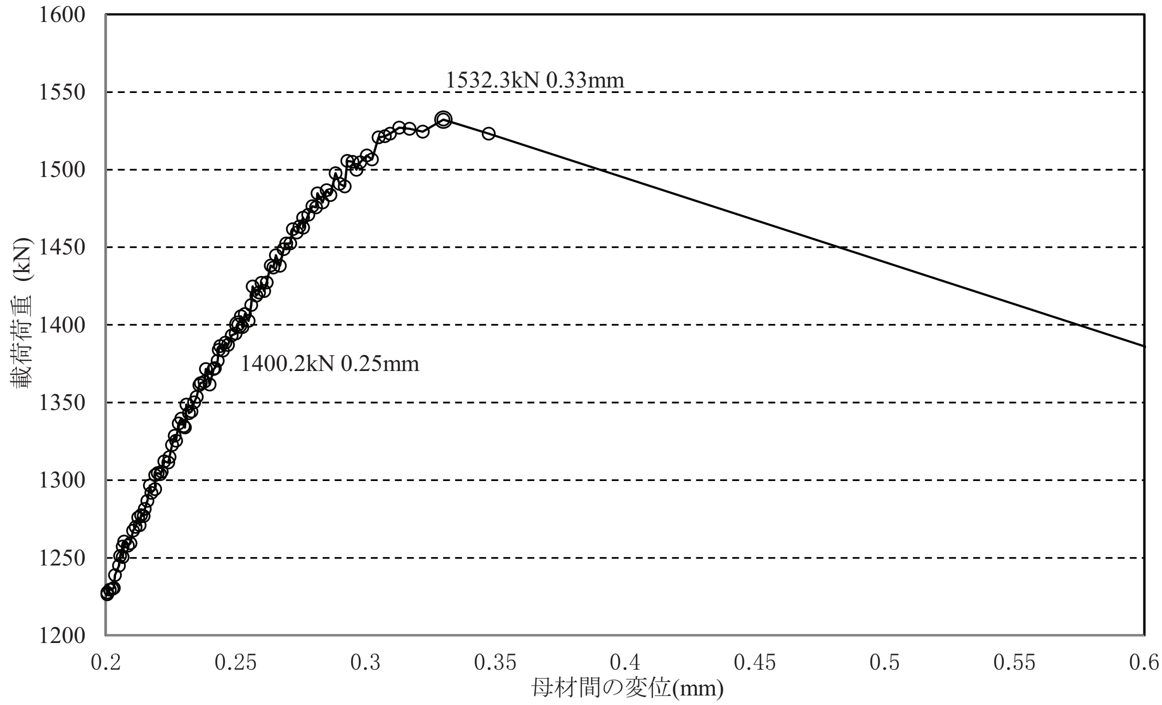
図− 2.7.23 荷重−変位関係（試験体 No.4−C）



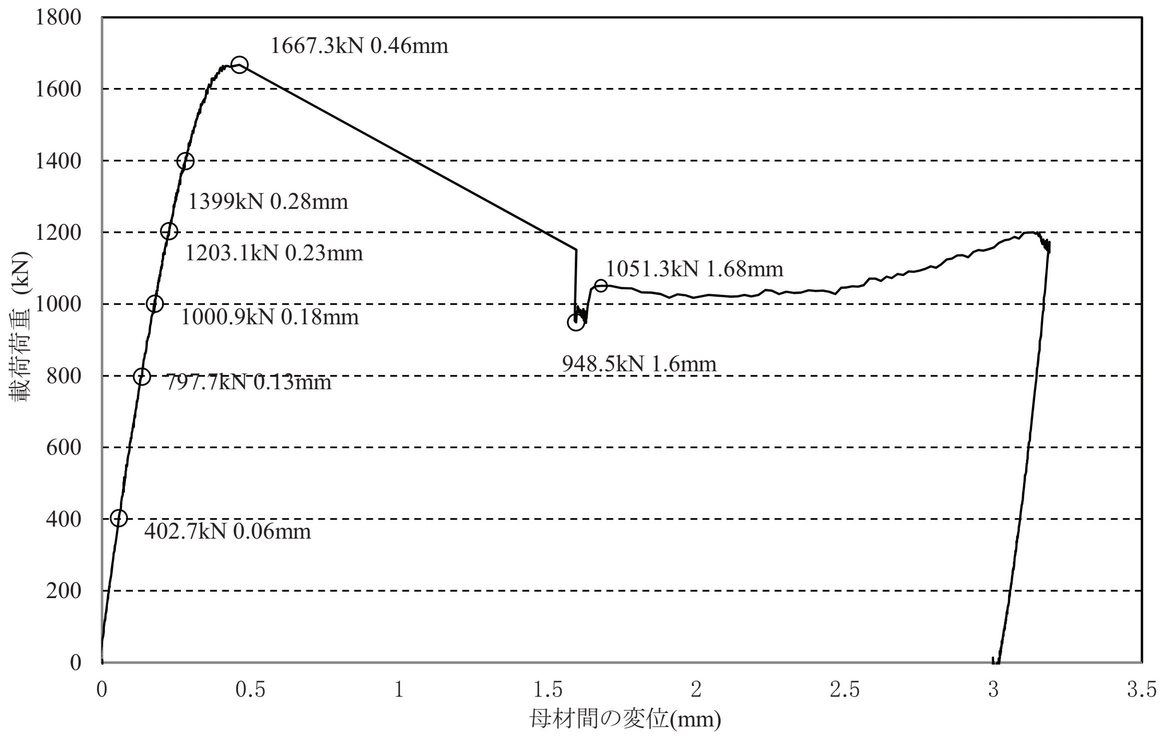
図− 2.7.24 荷重−変位関係（試験体 No. 4−C） すべり荷重近傍の拡大図



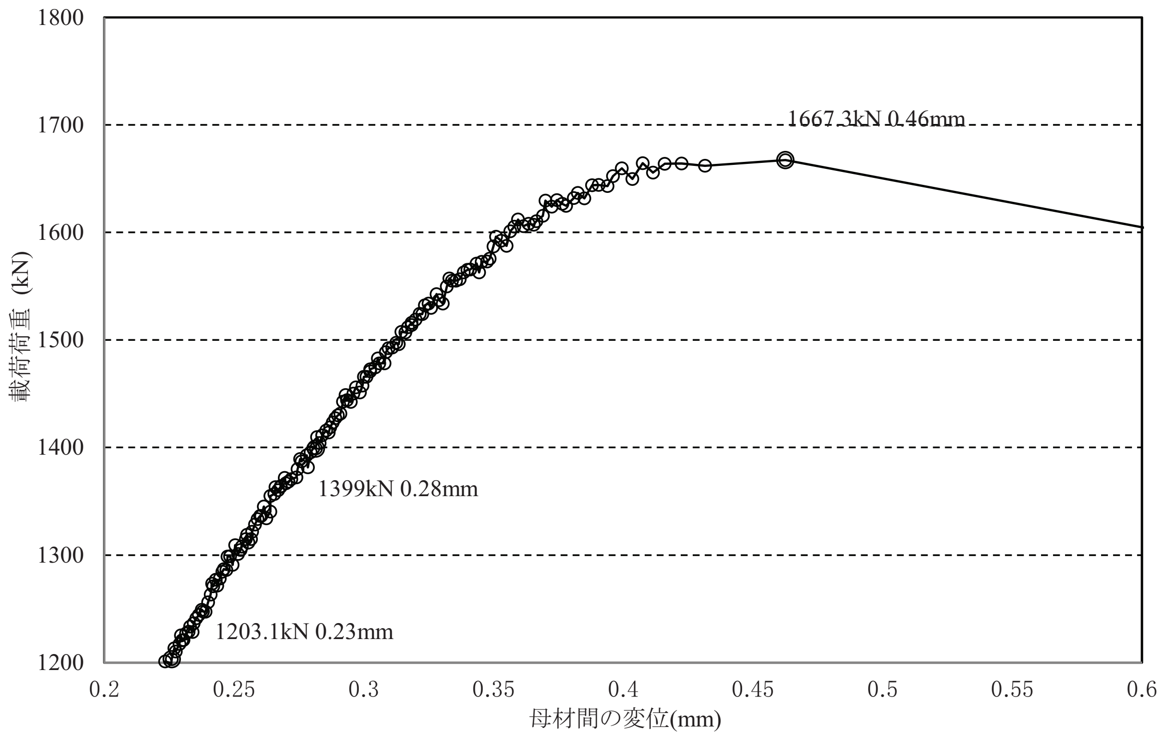
図− 2.7.25 荷重−変位関係（試験体 No.5−A）



図− 2.7.26 荷重−変位関係（試験体 No. 5−A） すべり荷重近傍の拡大図



図− 2.7.27 荷重−変位関係（試験体 No.5−B）



図− 2.7.28 荷重−変位関係（試験体 No. 5−B） すべり荷重近傍の拡大図

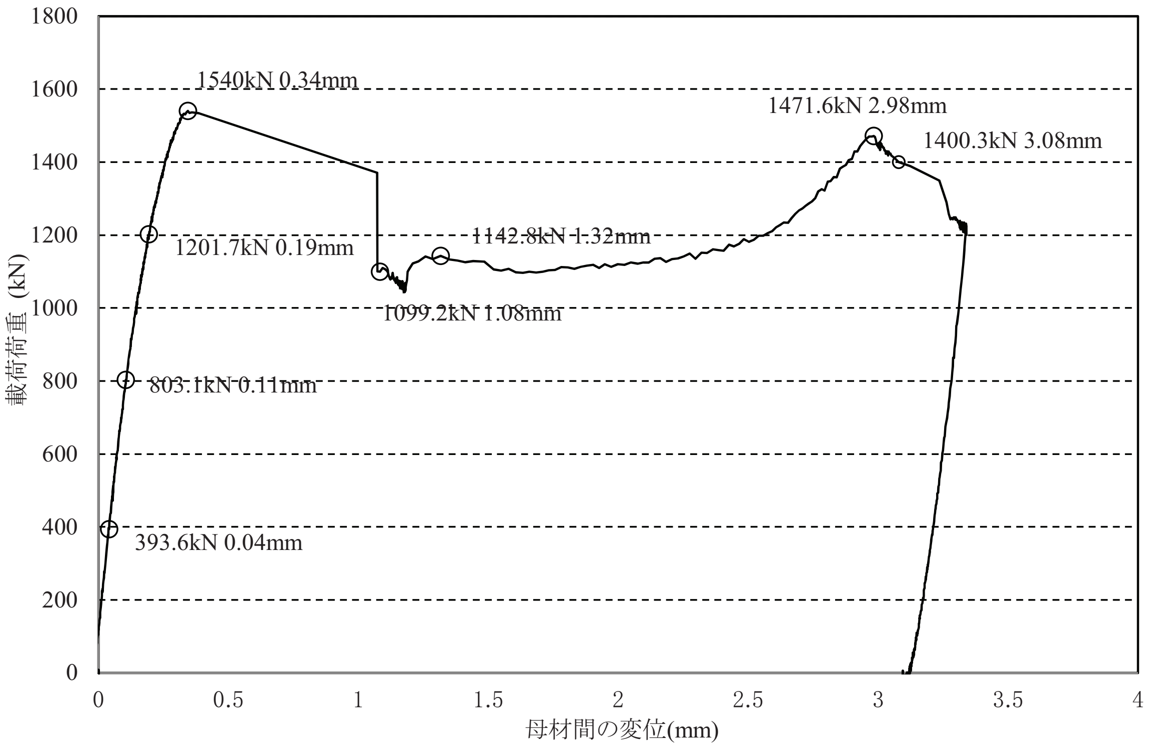


図- 2.7.29 荷重-変位関係(試験体 No.5-C)

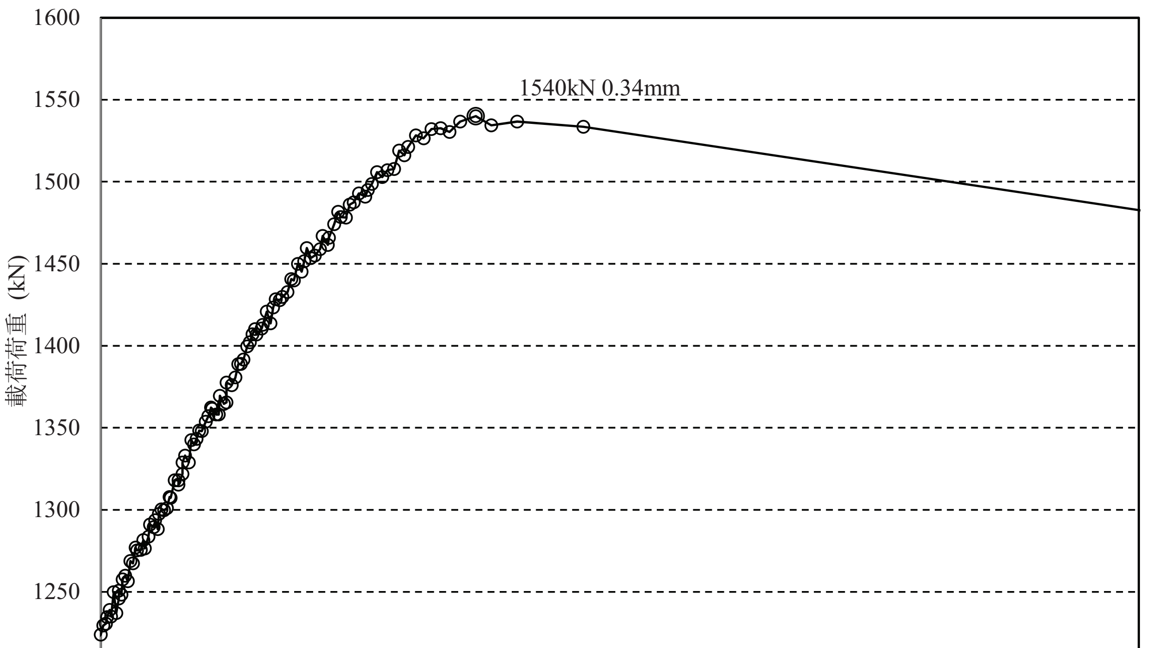


図- 2.7.30 荷重-変位関係(試験体 No. 5-C) すべり荷重近傍の拡大図

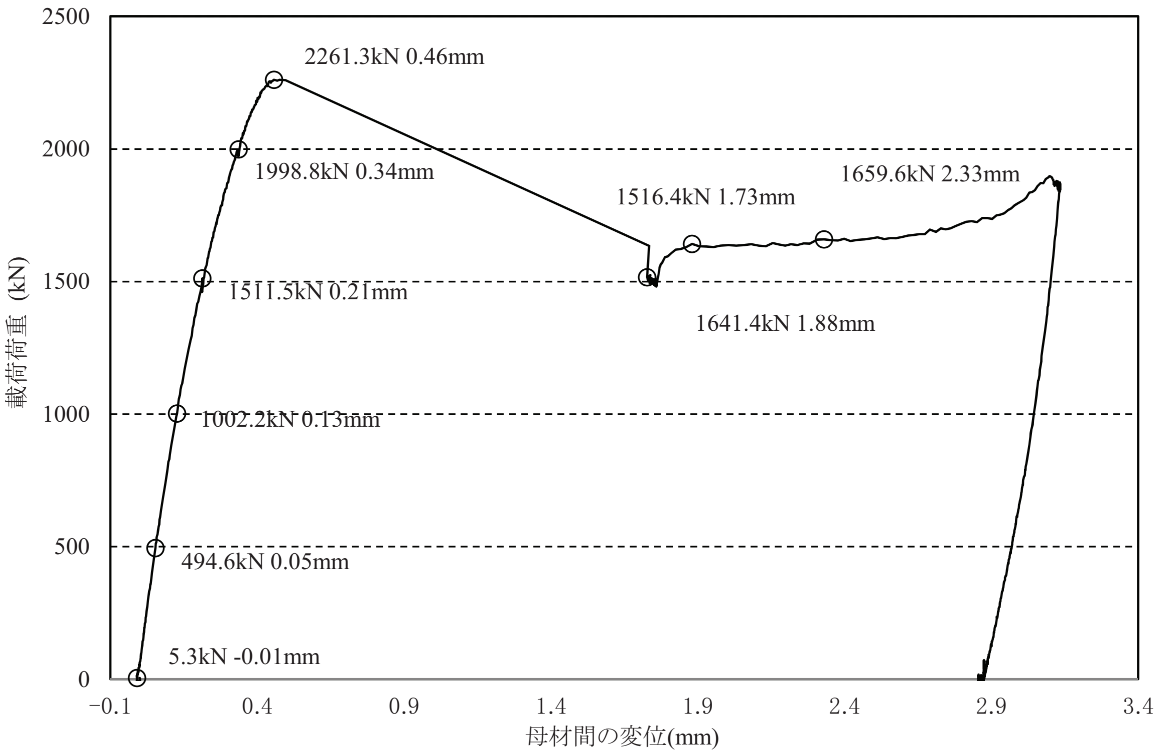


図- 2.7.31 荷重-変位関係（試験体 No6-A）

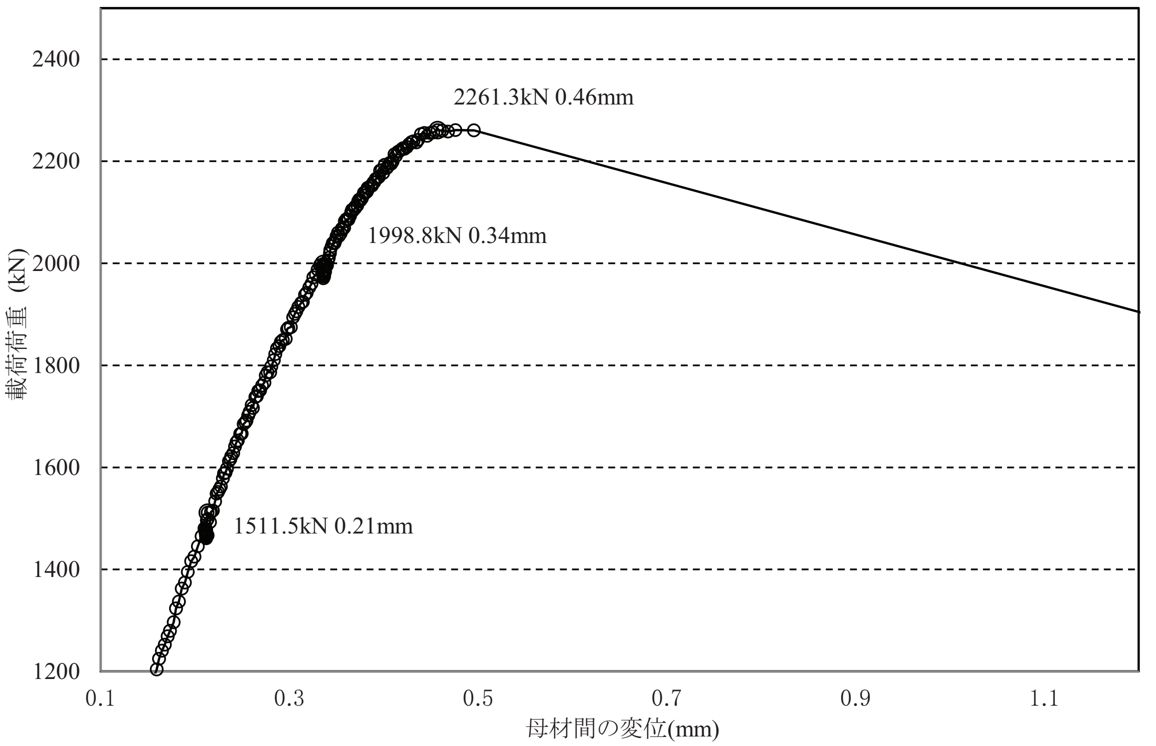
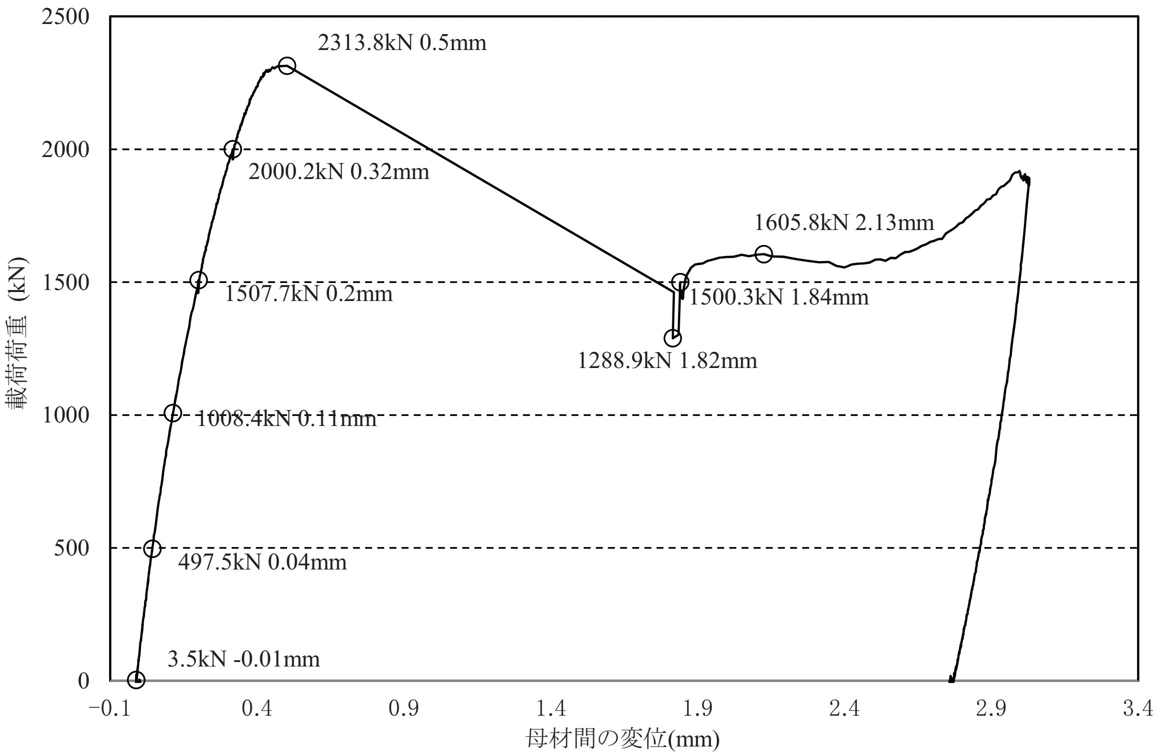
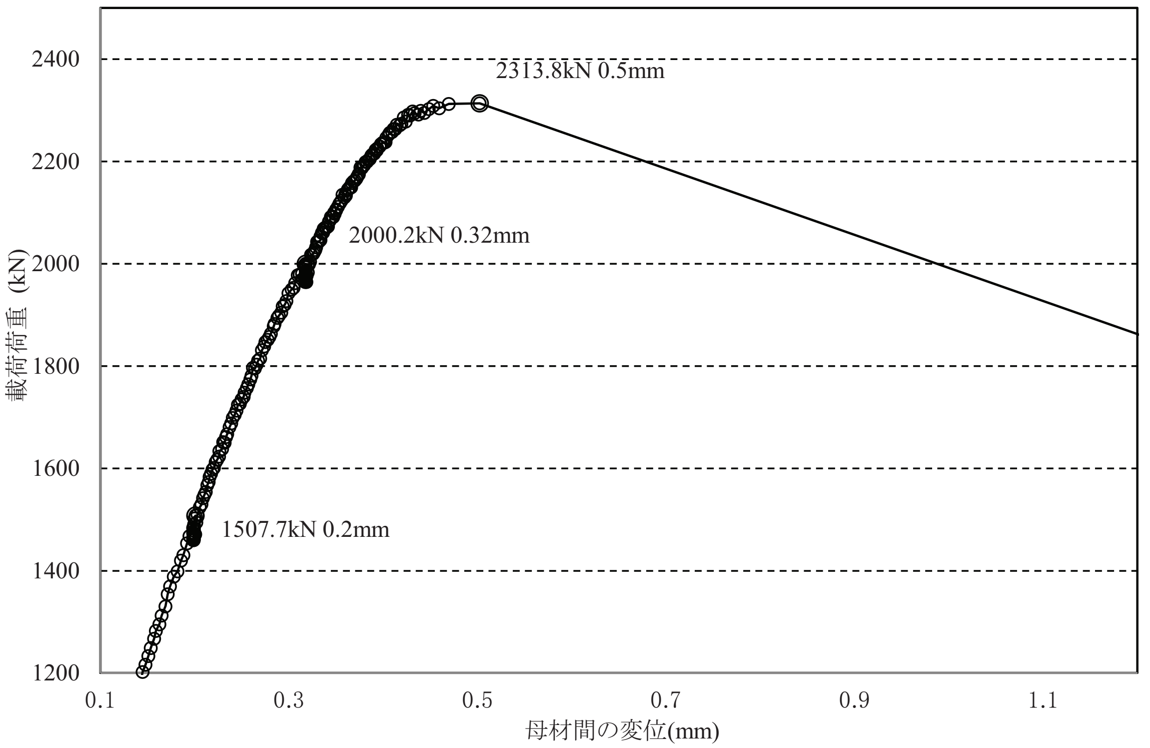


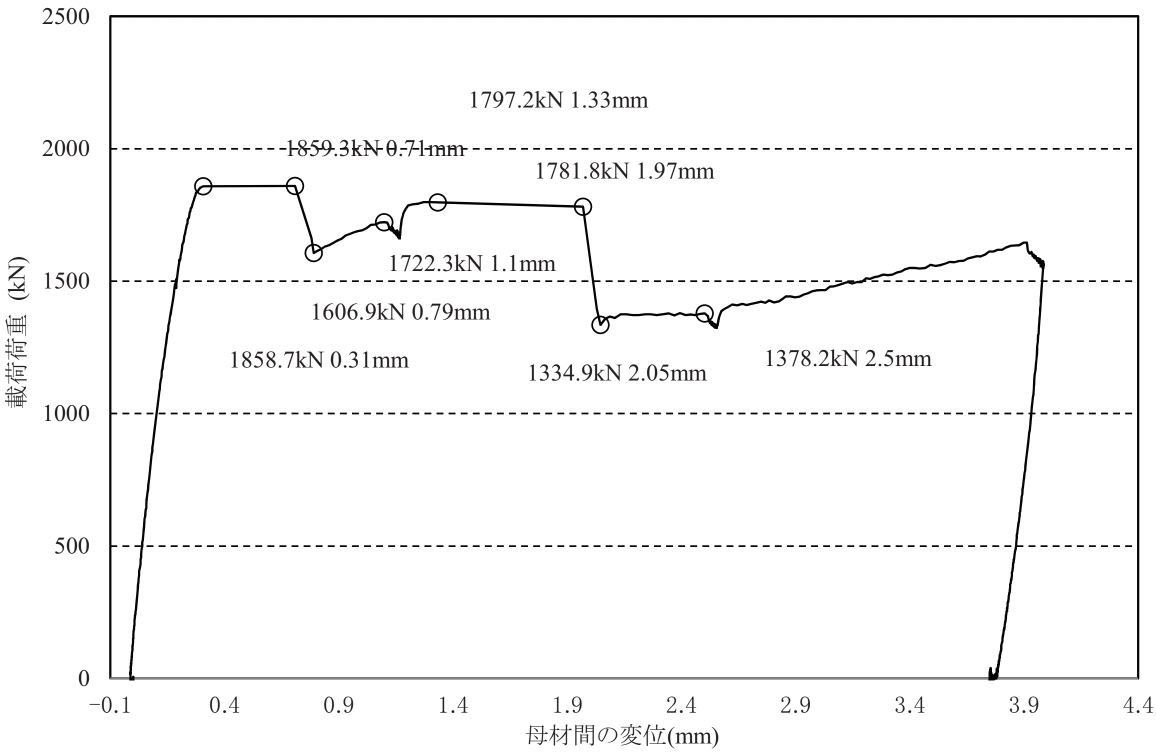
図- 2.7.32 荷重-変位関係（試験体 No. 6-A） すべり荷重近傍の拡大図



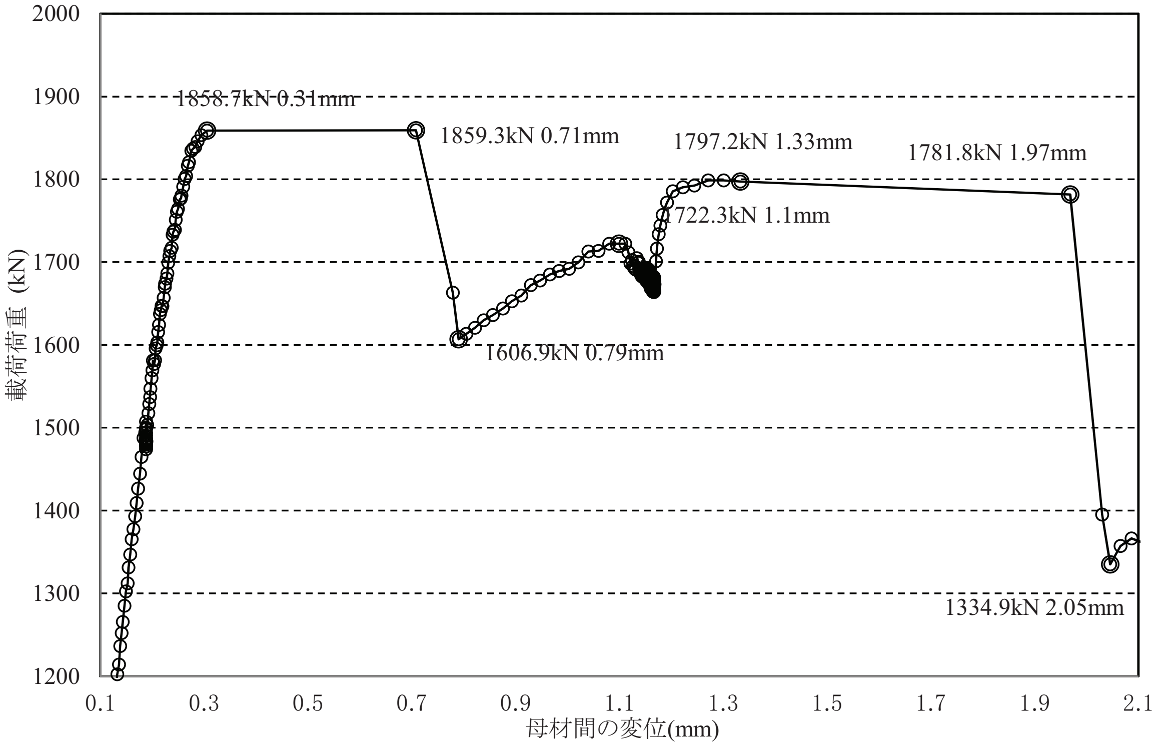
図– 2.7.33 荷重–変位関係（試験体 No6–B）



図– 2.7.34 荷重–変位関係（試験体 No. 6–B） すべり荷重近傍の拡大図



図− 2.7.35 荷重−変位関係（試験体 No6−C）



図− 2.7.36 荷重−変位関係（試験体 No. 6−C） すべり荷重近傍の拡大図

2.7.2　母板と連結板間の相対変位

図- 2.7.37，**図- 2.7.38** に，継手の内側，中央，外側における母板と連結板間の相対変位のうち，各試験体から 1 体を抽出した例を示す。ここでの計測位置は 2.3.5 に示したとおりである。

母板厚，ボルト列数によらず，中央での相対変位量は内側，外側と比較して大きい傾向にあり，荷重-相対変位関係の勾配はほぼ同様であることがわかる。

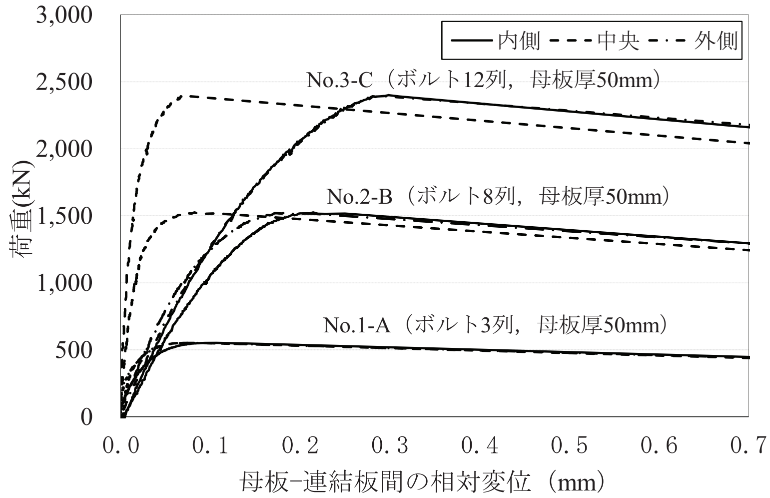


図- 2.7.37 母板-連結板間の相対変位の例（母板厚 50mm）

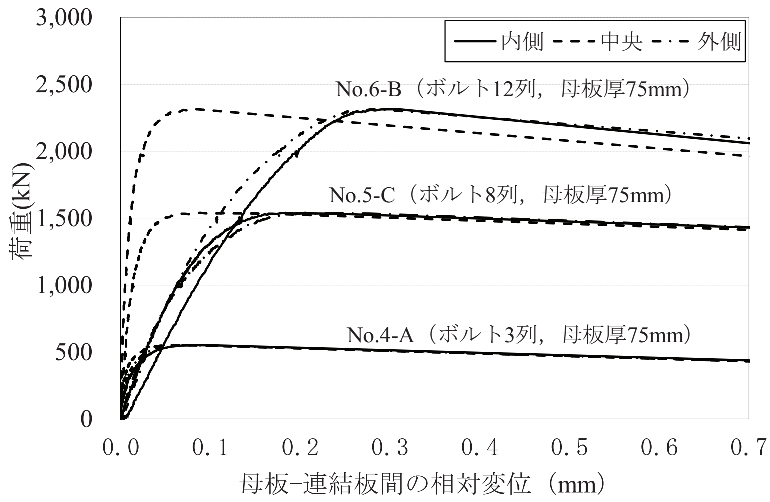


図- 2.7.38 母板-連結板間の相対変位の例（母板厚 75mm）

(1) ボルト列数の影響

図- 2.7.39，**図- 2.7.40** にすべり荷重時の母板と連結板間の相対変位の差について，母板厚毎に比較した図を示す。母板厚 50mm,70mm ともにボルト列数の増加にともない相対変位の差が大きくなる傾向にある。

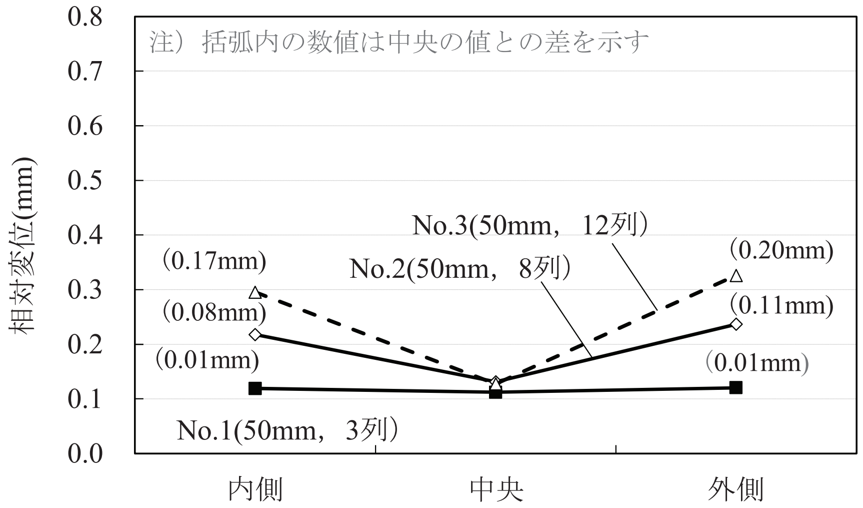


図- 2.7.39 母板-連結板間の相対変位の差(母板厚 50mm)

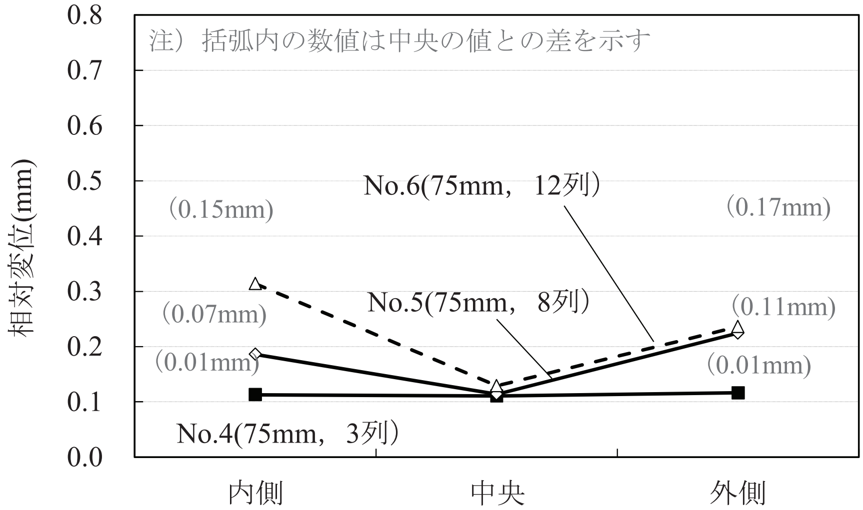


図- 2.7.40 母板-連結板間の相対変位の差(母板厚 75mm)

(2) 母板厚の影響

図- 2.7.41～図- 2.7.43 に母板-連結板間の相対変位の差をボルト列数毎に整理した結果を示す。ボルト列数によらず，母板厚の影響はあまり受けないことがわかる。

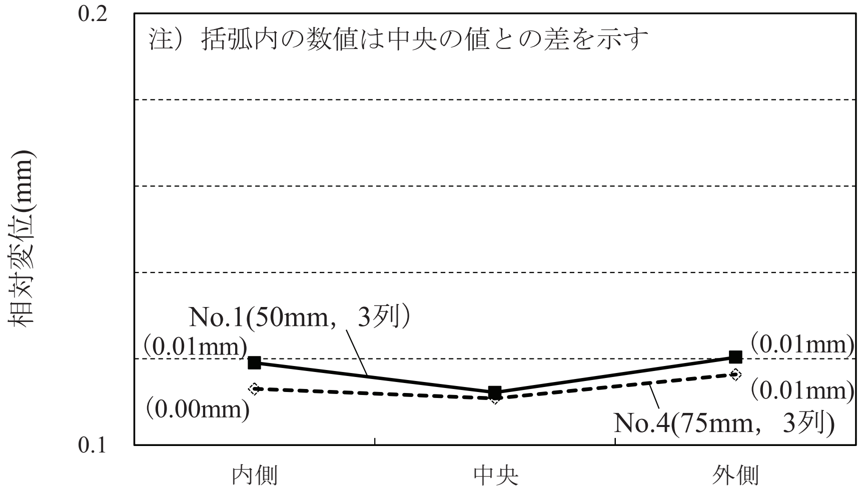


図- 2.7.41 母板-連結板間の相対変位の差(ボルト列数 3 列)

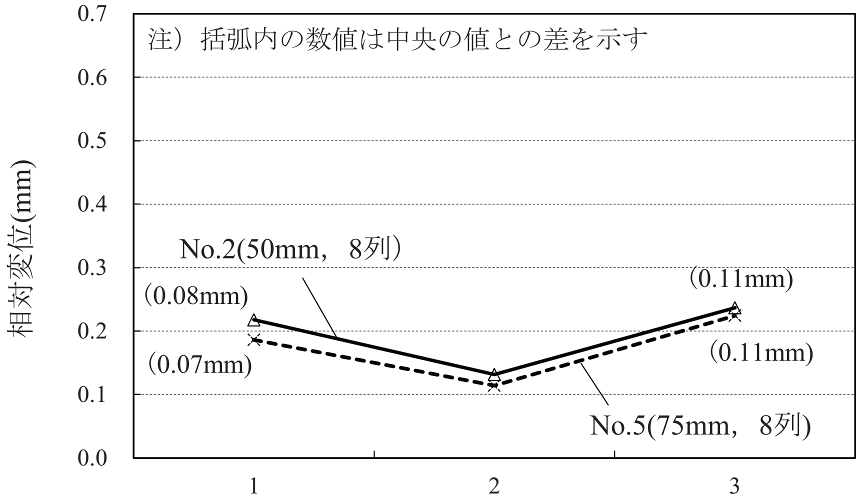


図- 2.7.42 母板-連結板間の相対変位の差(ボルト列数 8 列)

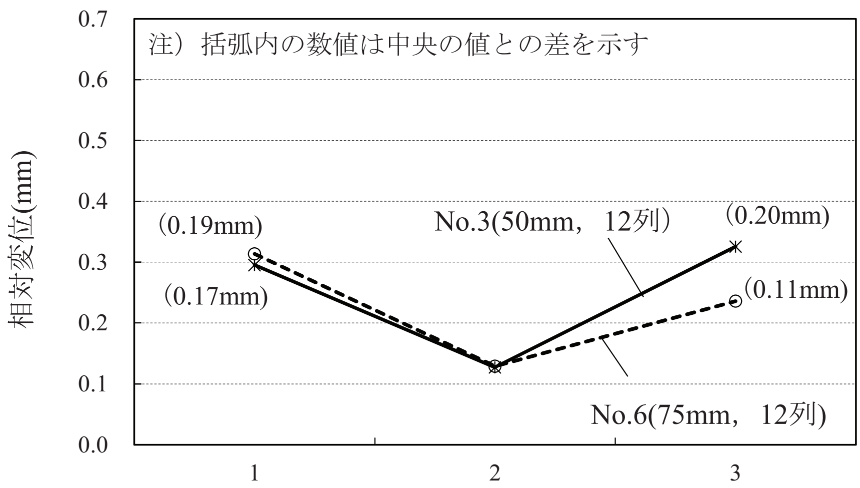


図- 2.7.43 母板-連結板間の相対変位の差(ボルト列数 12 列)

2.7.3　試験体側面のひずみ

図- 2.7.44～図- 2.7.61 に試験体側面の荷重-ひずみ関係を示す。いずれも最大荷重後，ひずみが一様に低下しており，すべり発生後，鋼板に生じる応力が低下していることが分かる。

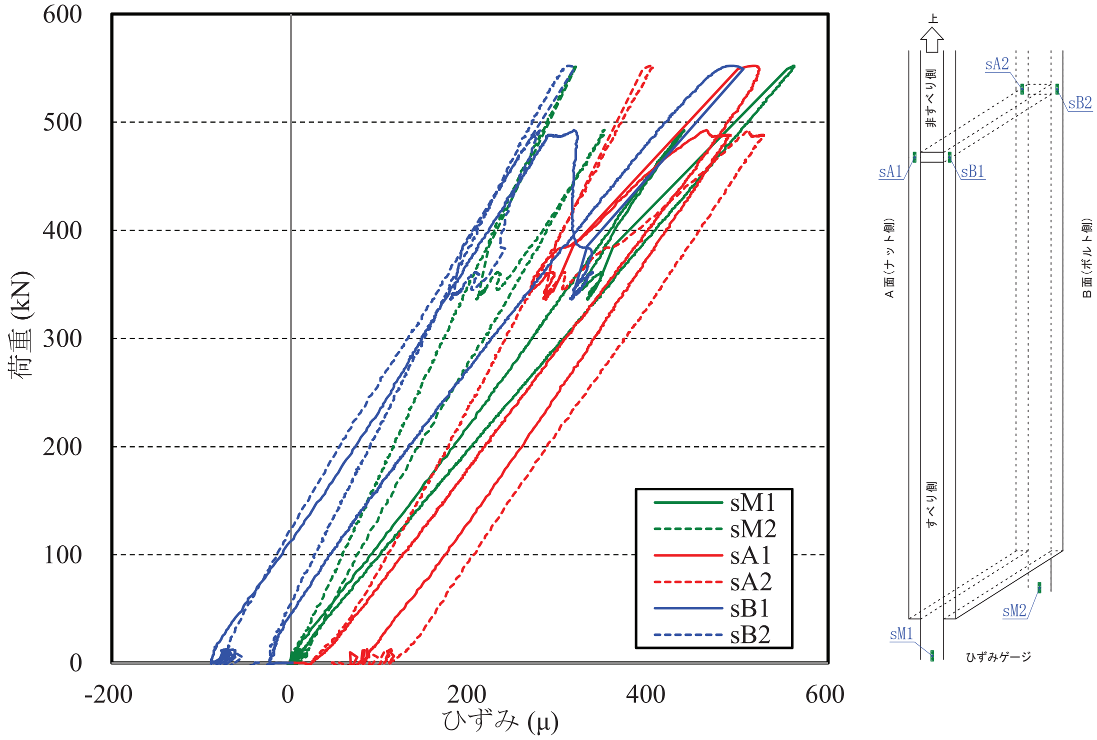


図- 2.7.44 試験体側面のひずみ（試験体 No.1-A）

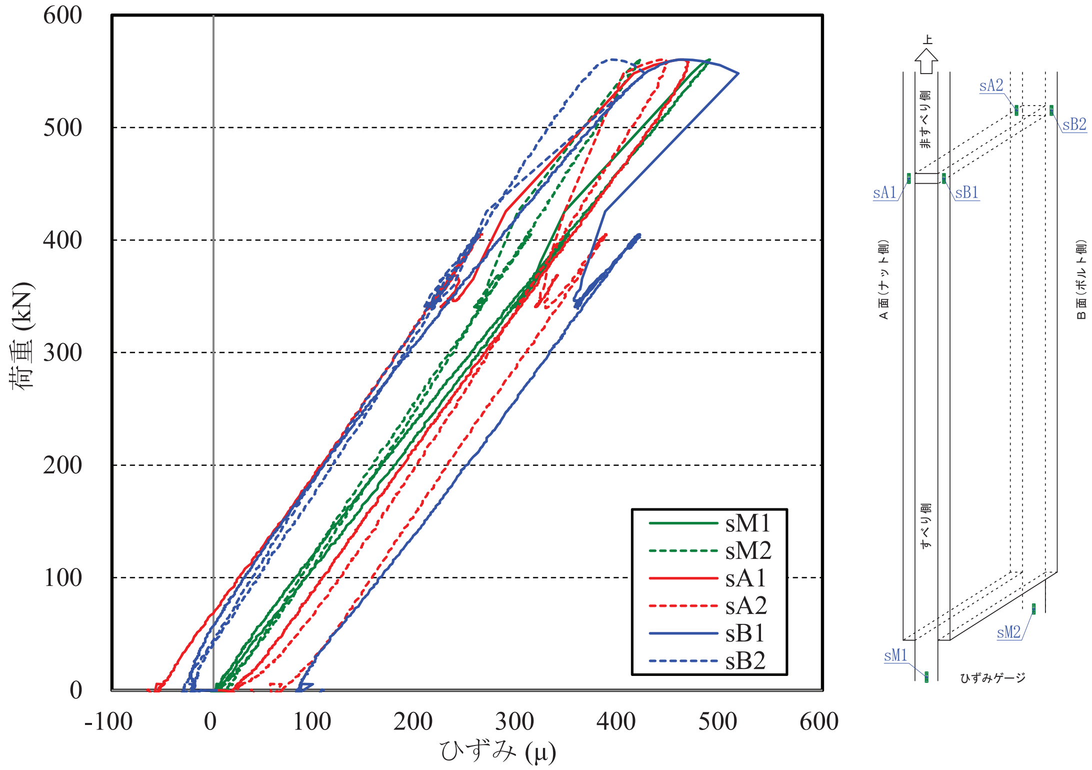
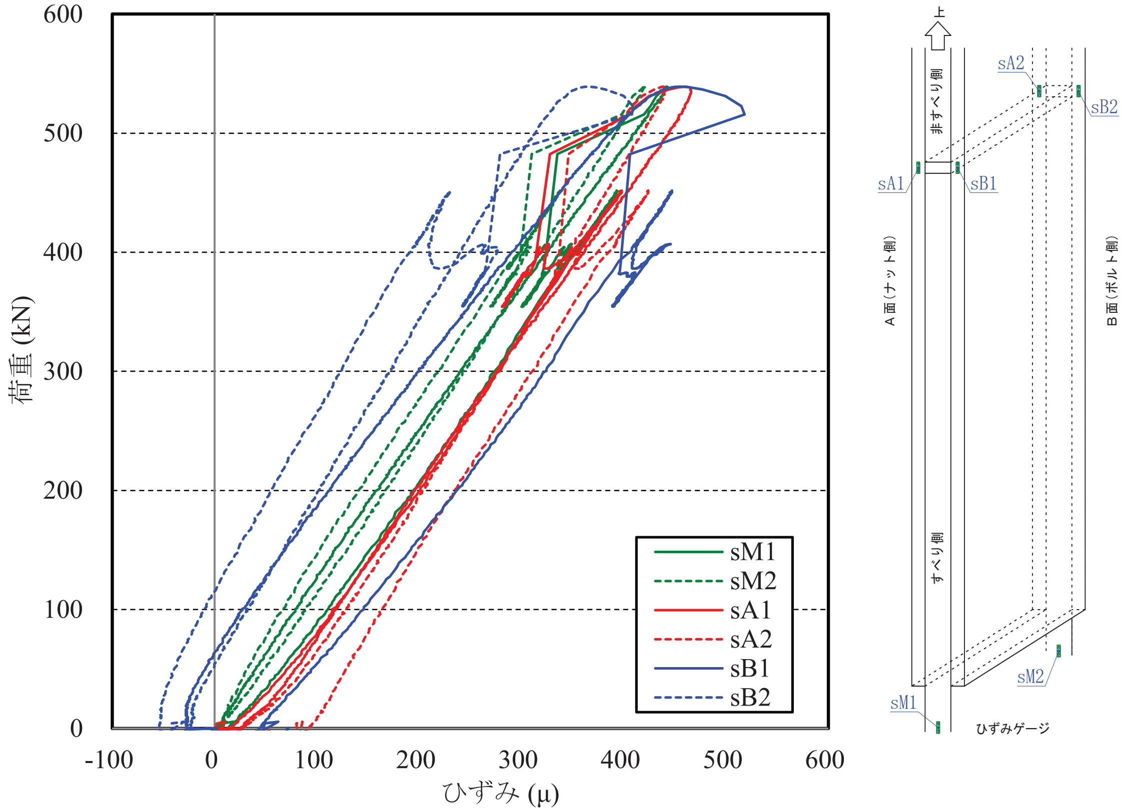
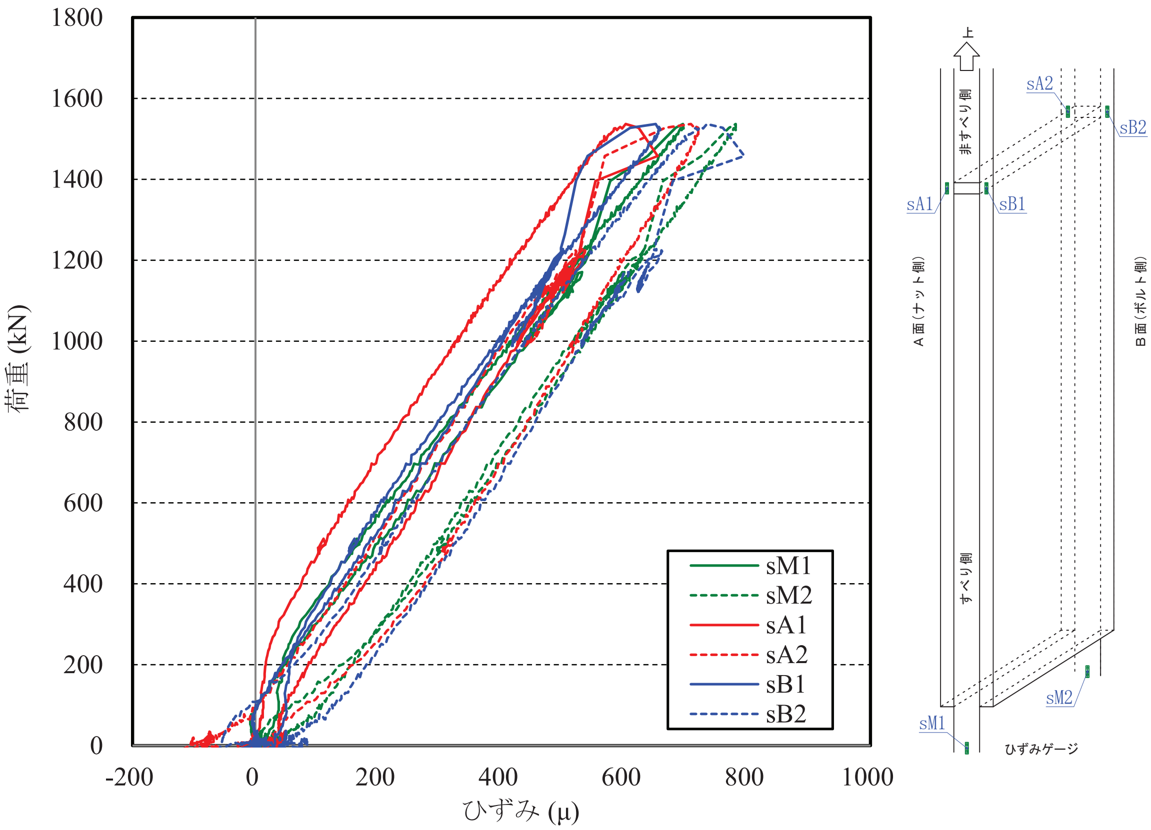


図- 2.7.45 試験体側面のひずみ（試験体 No.1-B）



図− 2.7.46 試験体側面のひずみ(試験体 No.1−C)



図− 2.7.47 試験体側面のひずみ(試験体 No.2−A)

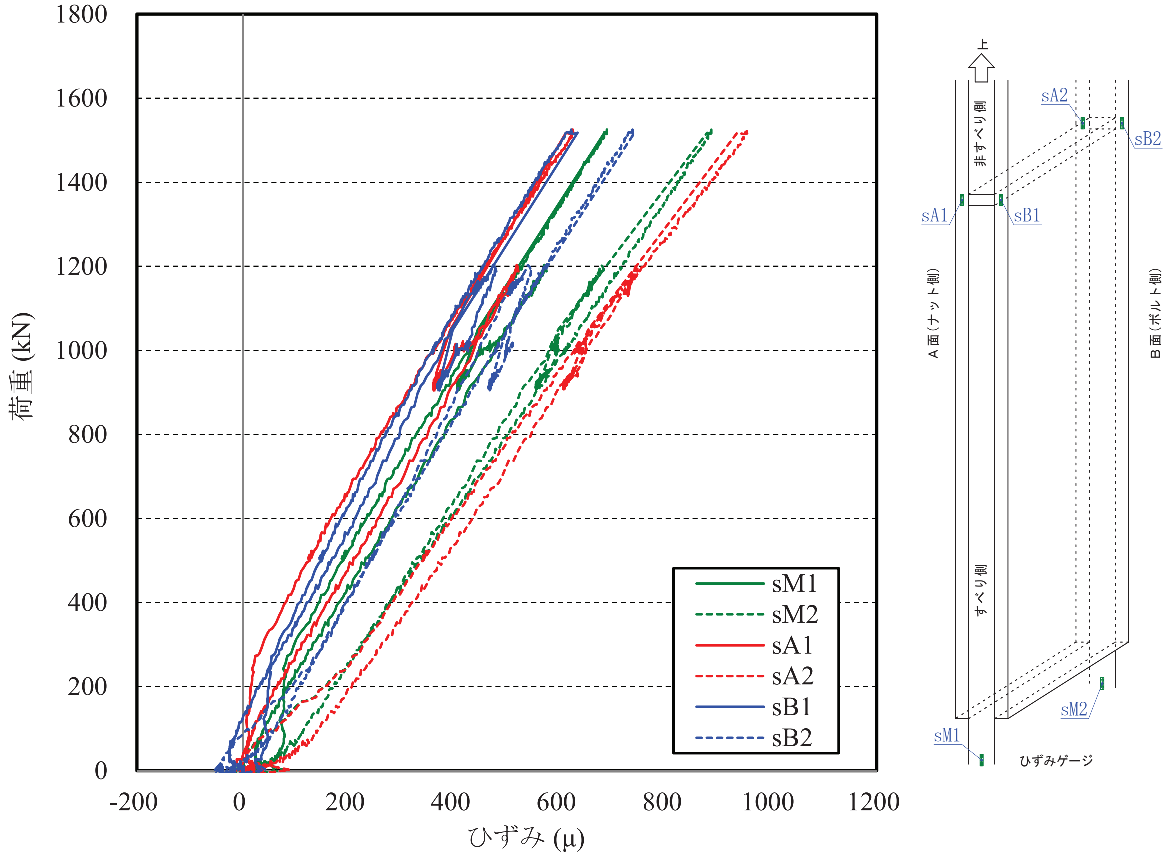


図- 2.7.48 試験体側面のひずみ（試験体 No.2-B）

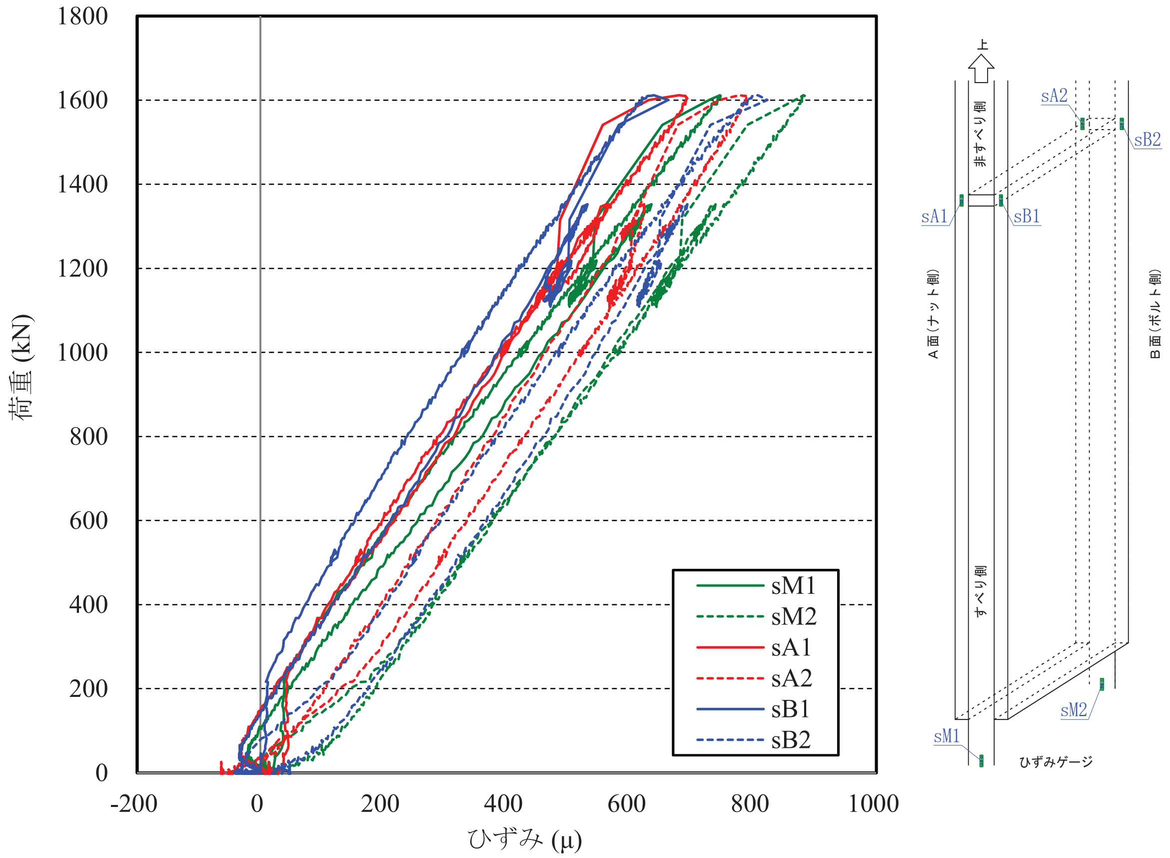
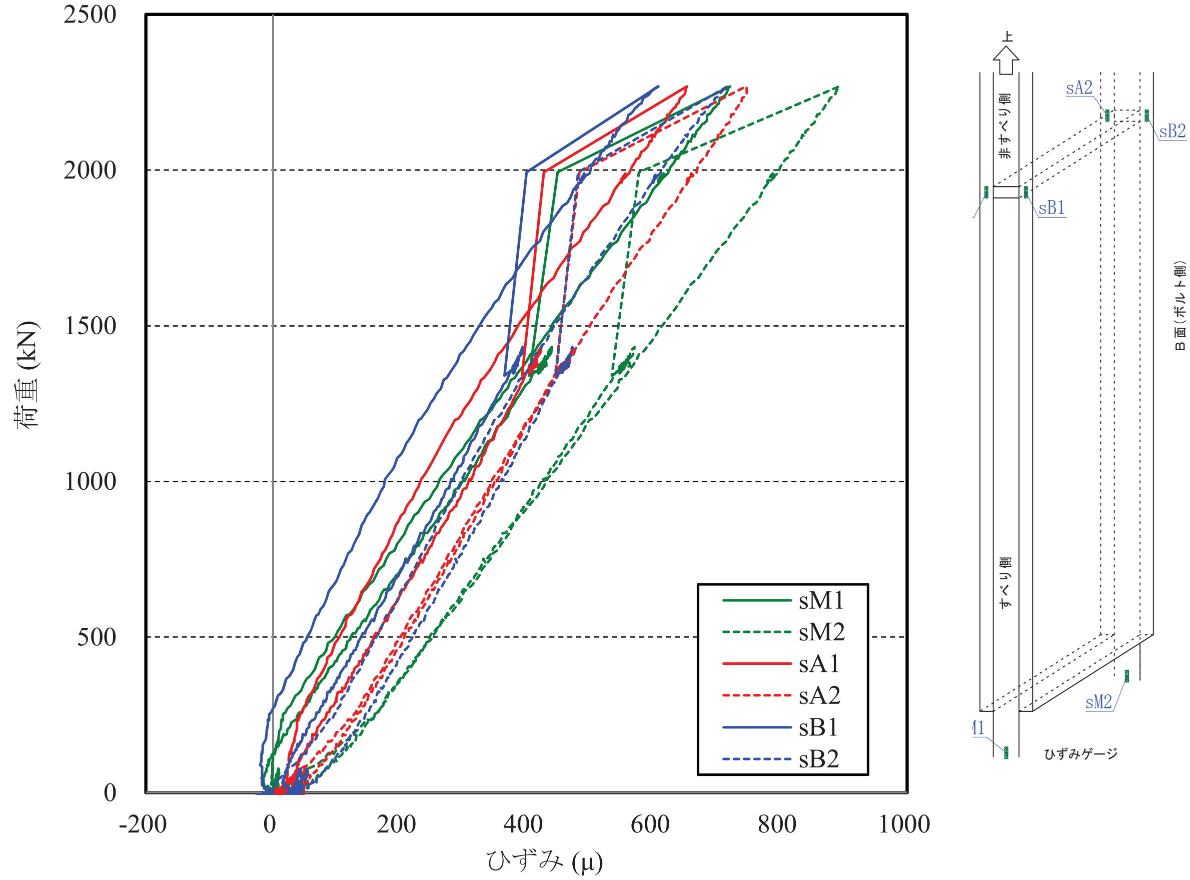
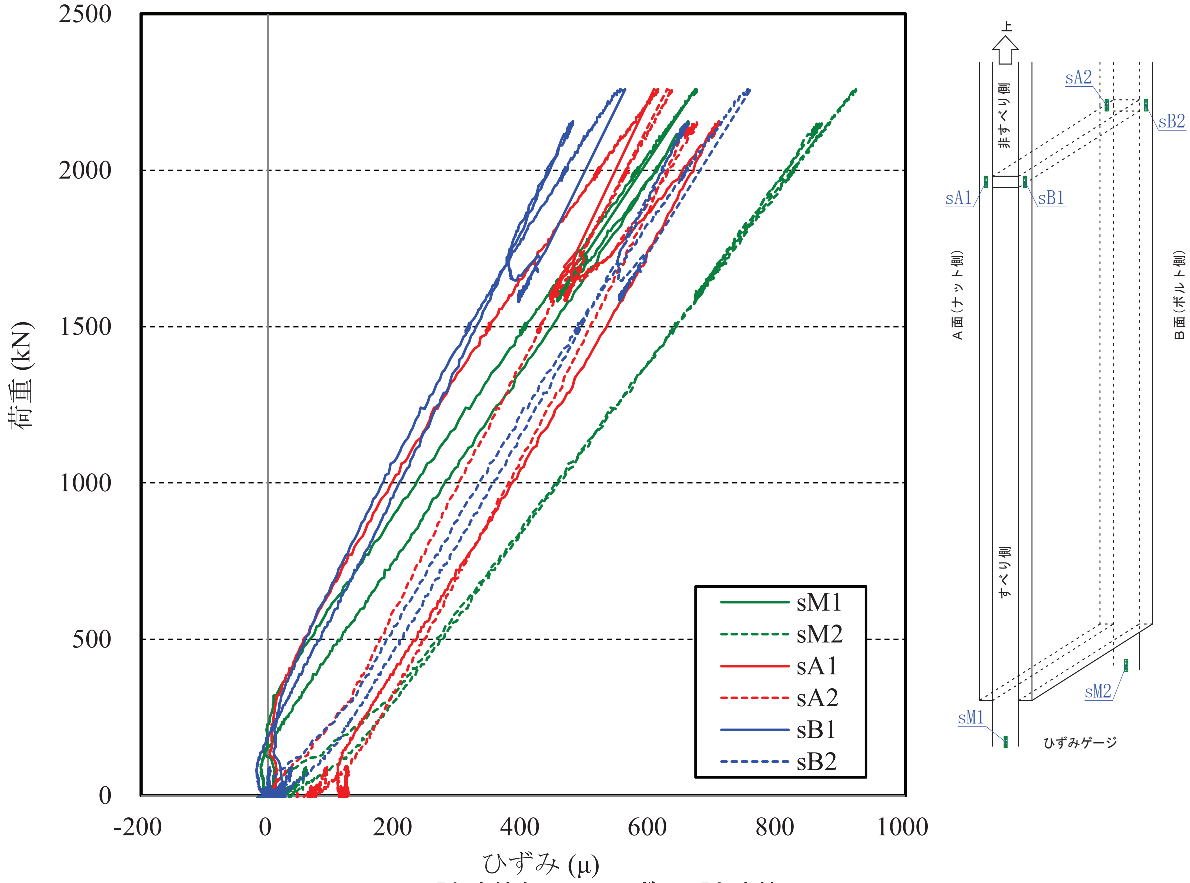


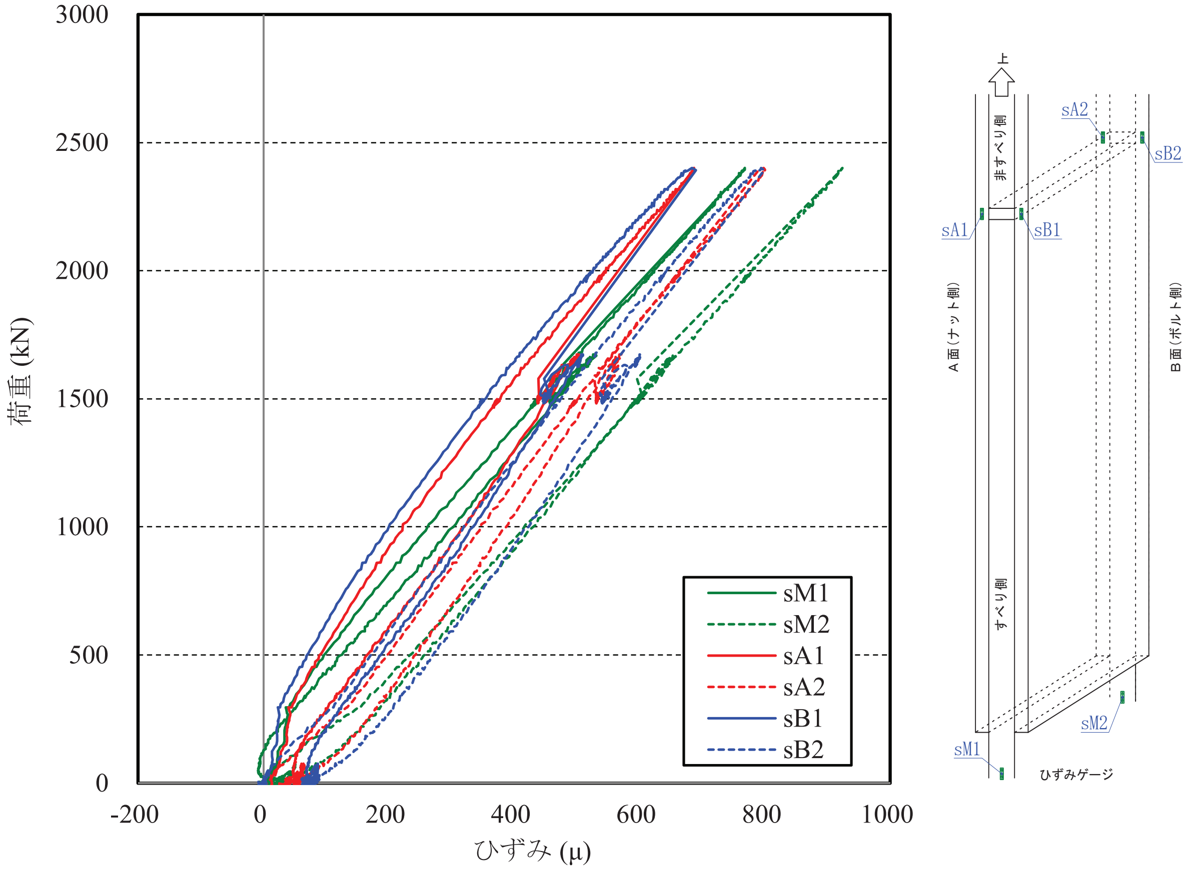
図- 2.7.49 試験体側面のひずみ（試験体 No.2-C）



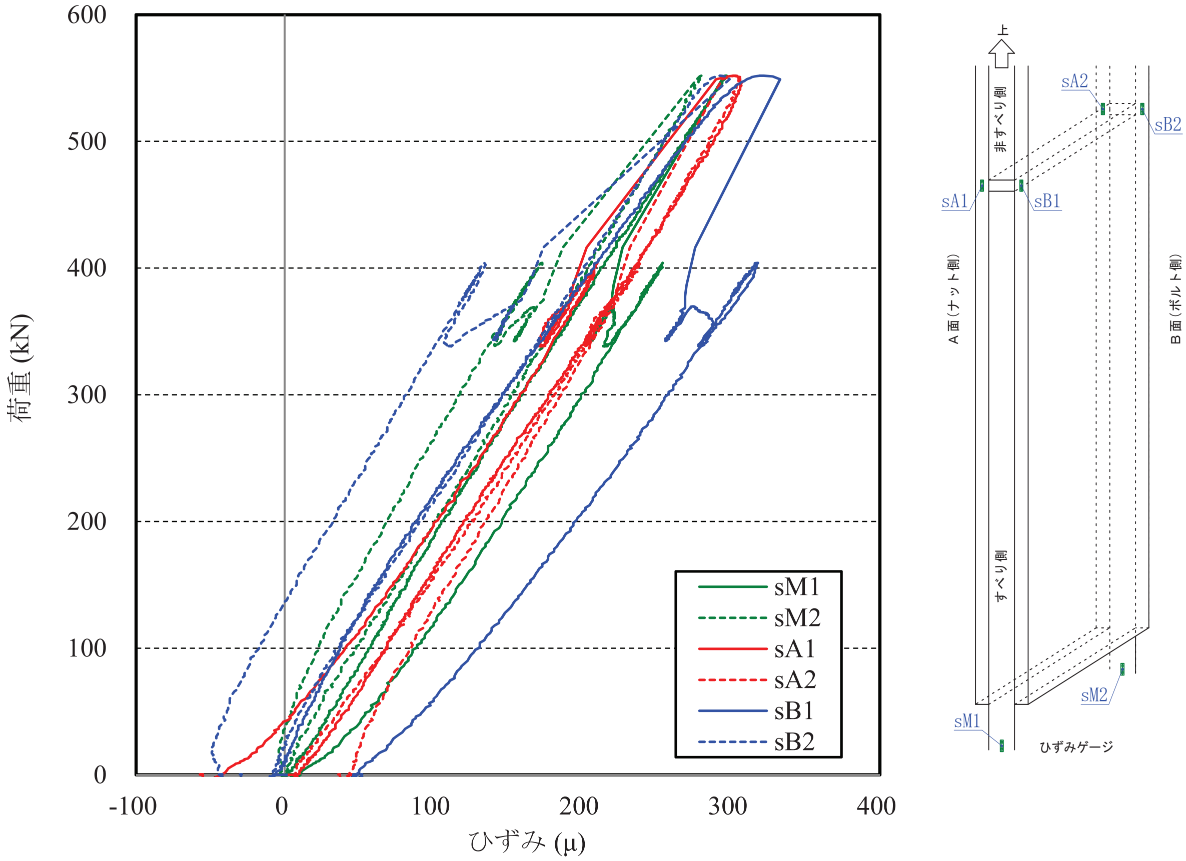
図– 2.7.50 試験体側面のひずみ(試験体 No.3–A)



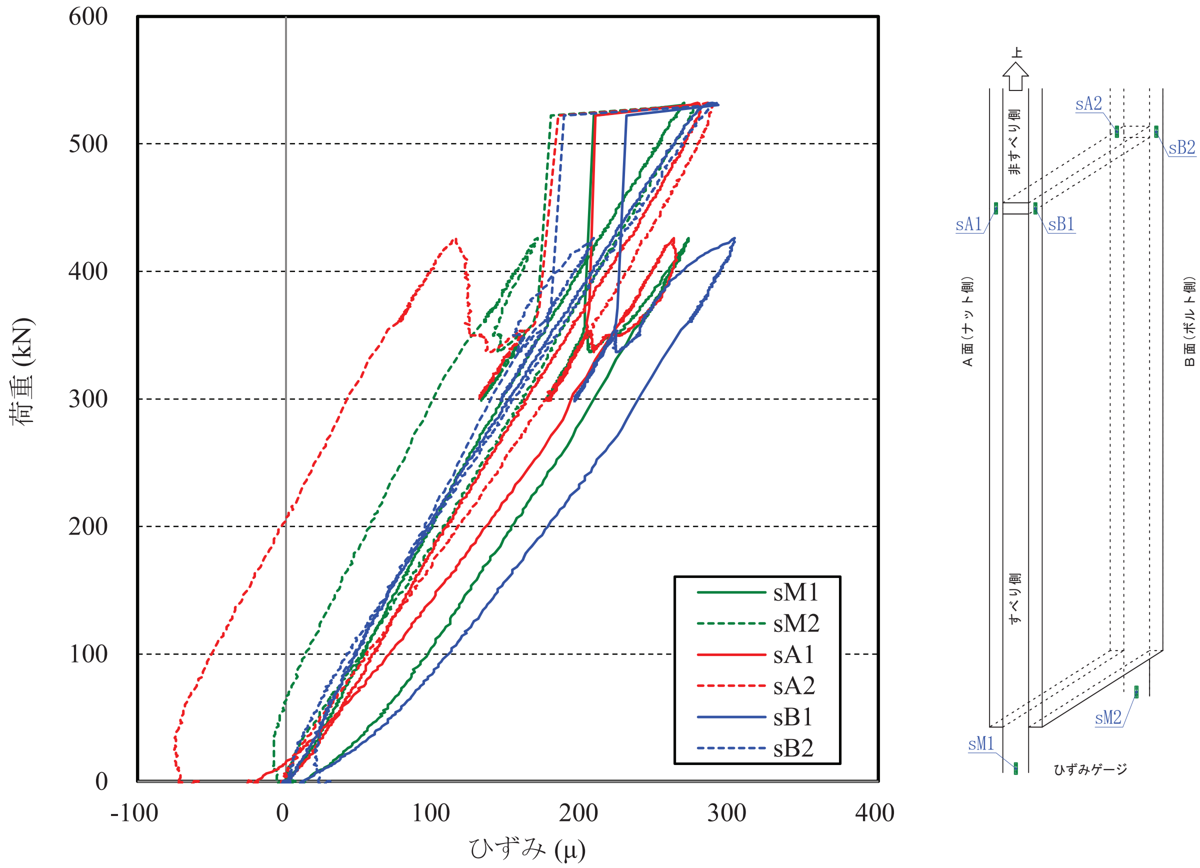
図– 2.7.51 試験体側面のひずみ(試験体 No.3–B)



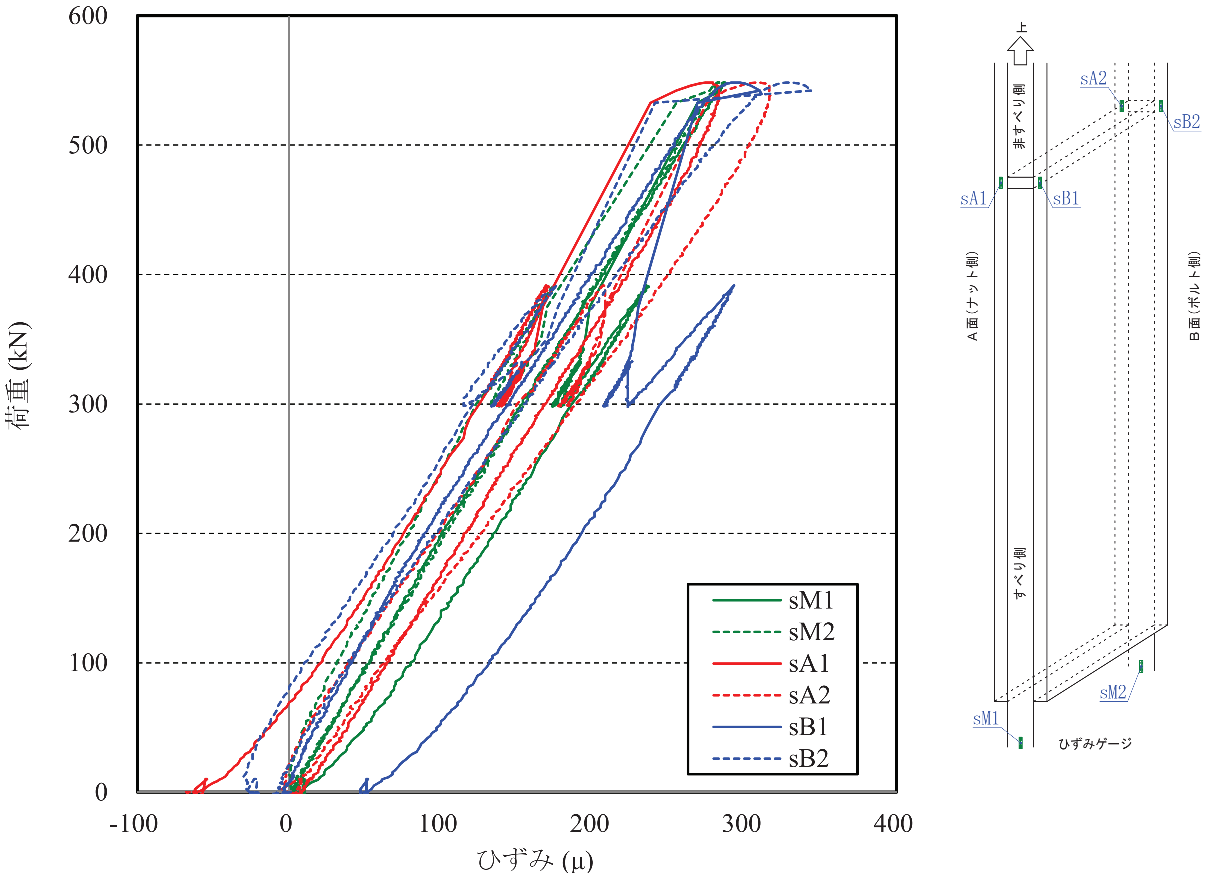
図− 2.7.52 試験体側面のひずみ(試験体 No.3−C)



図− 2.7.53 試験体側面のひずみ(試験体 No.4−A)



図− 2.7.54 試験体側面のひずみ（試験体 No.4−B）



図− 2.7.55 試験体側面のひずみ（試験体 No.4−C）

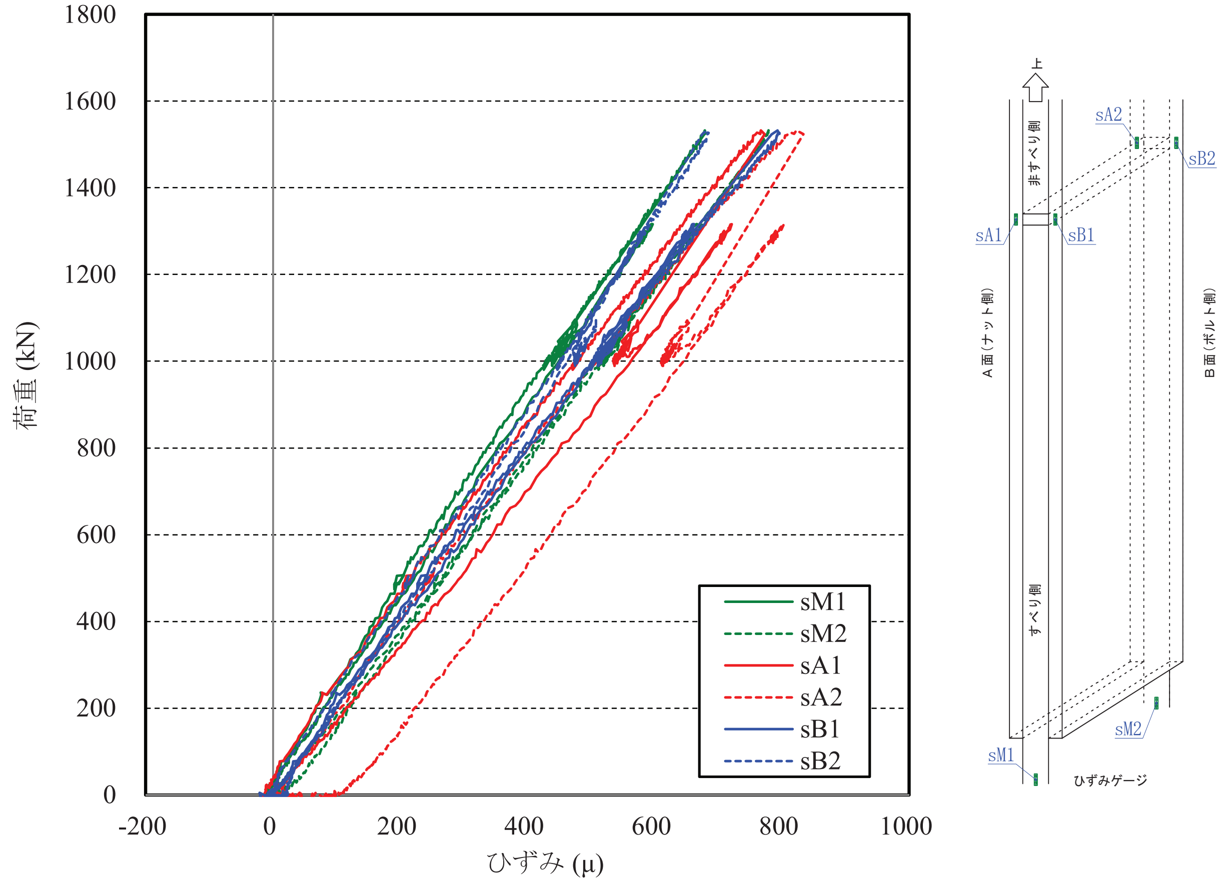


図- 2.7.56 試験体側面のひずみ(試験体 No.5-A)

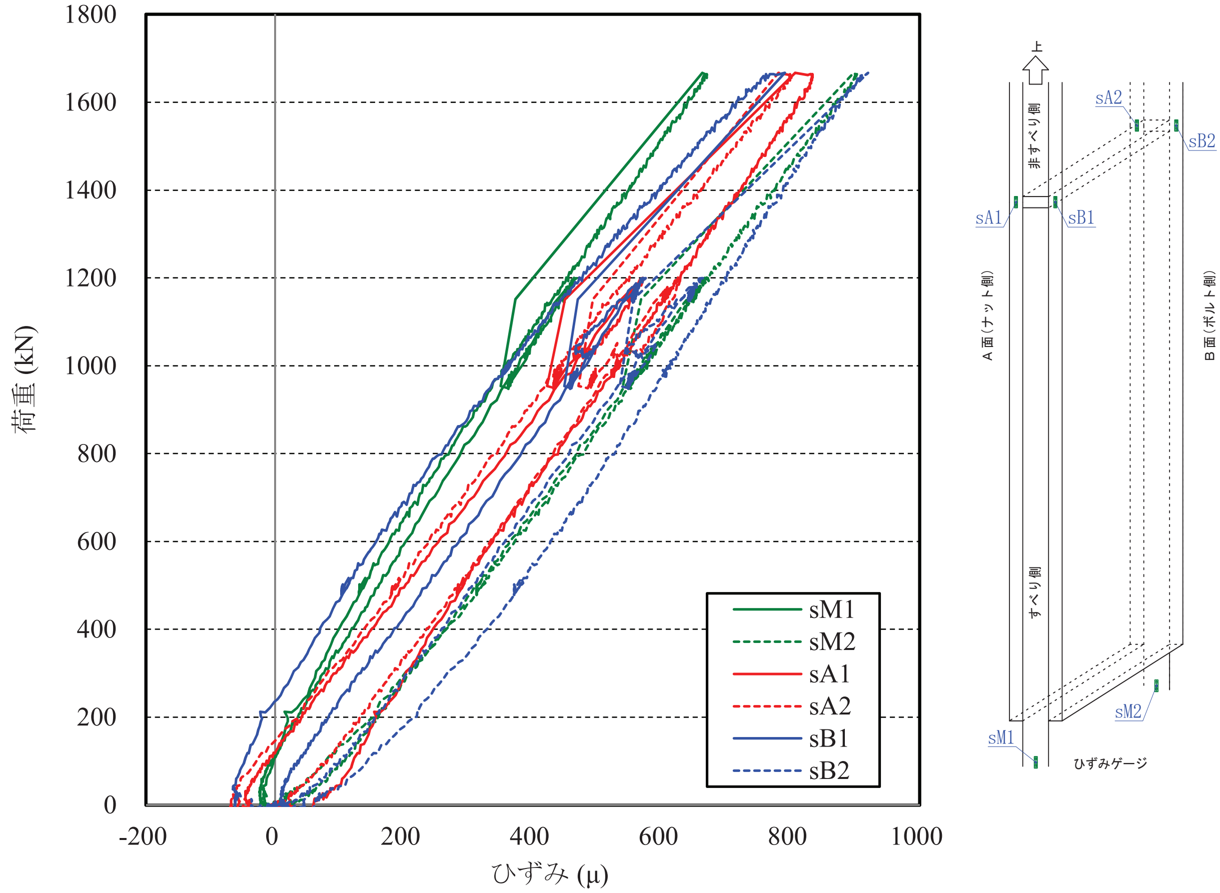
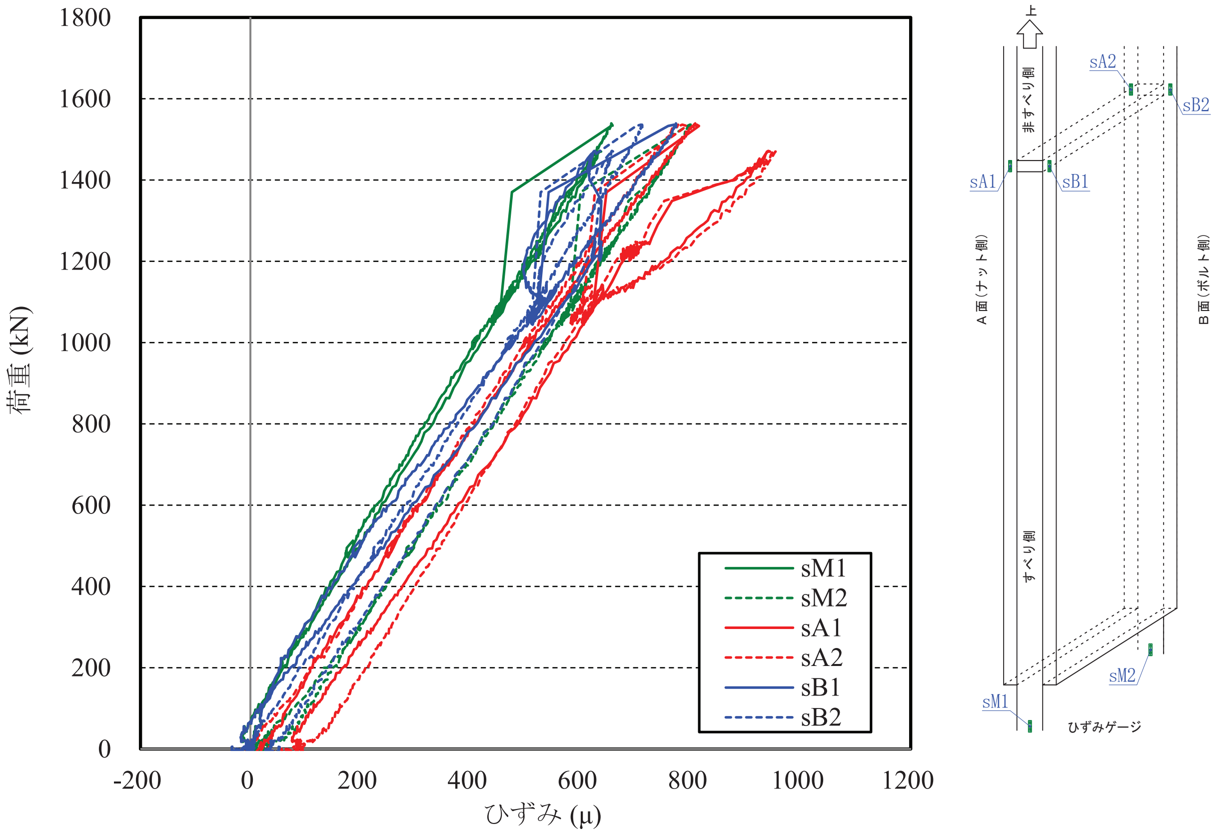
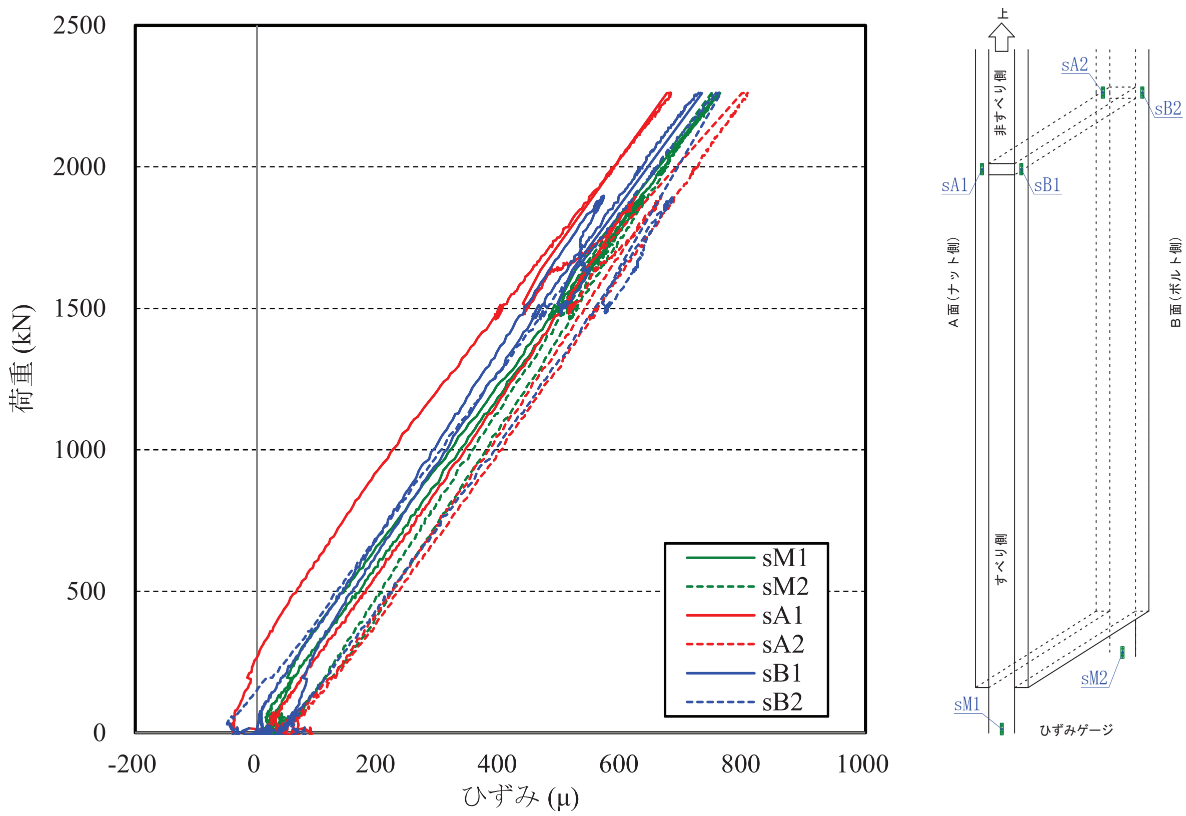


図- 2.7.57 試験体側面のひずみ(試験体 No.5-B)



図− 2.7.58 試験体側面のひずみ（試験体 No.5−C）



図− 2.7.59 試験体側面のひずみ（試験体 No6−A）

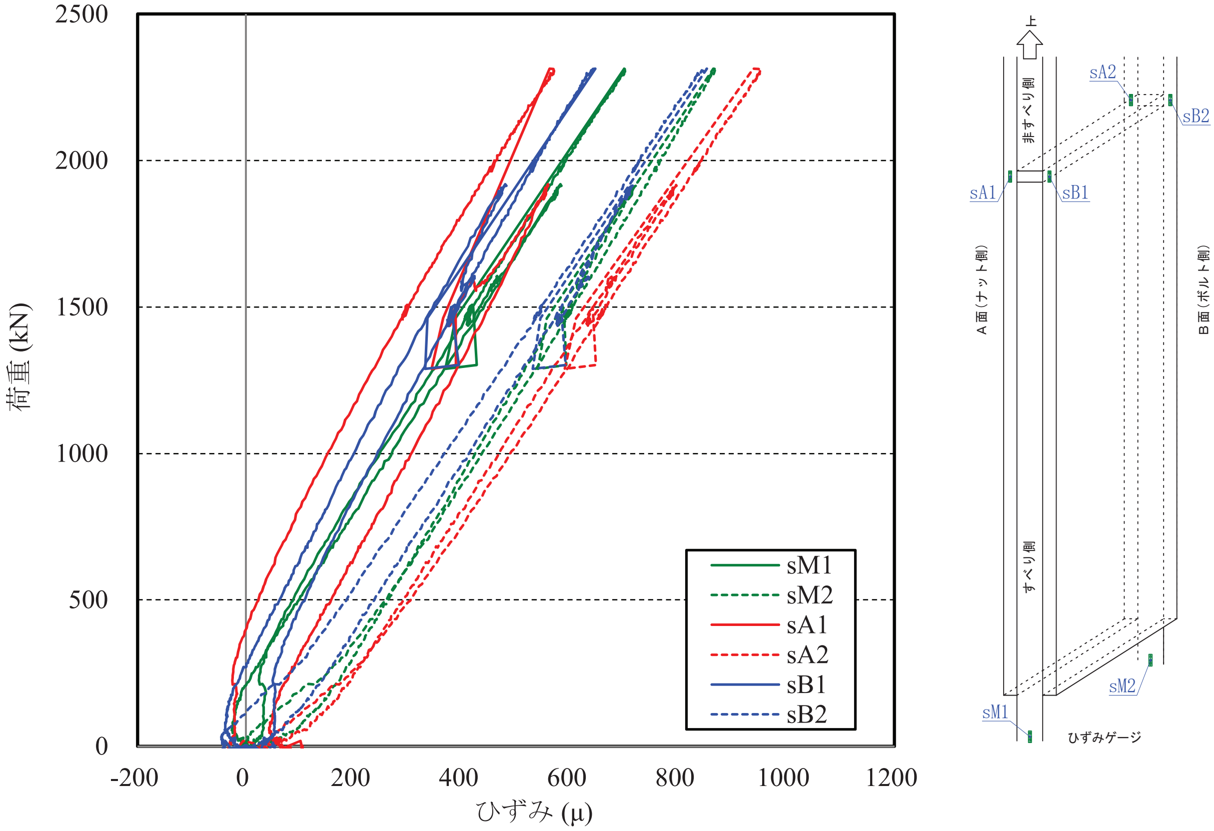


図- 2.7.60 試験体側面のひずみ(試験体 No6-B)

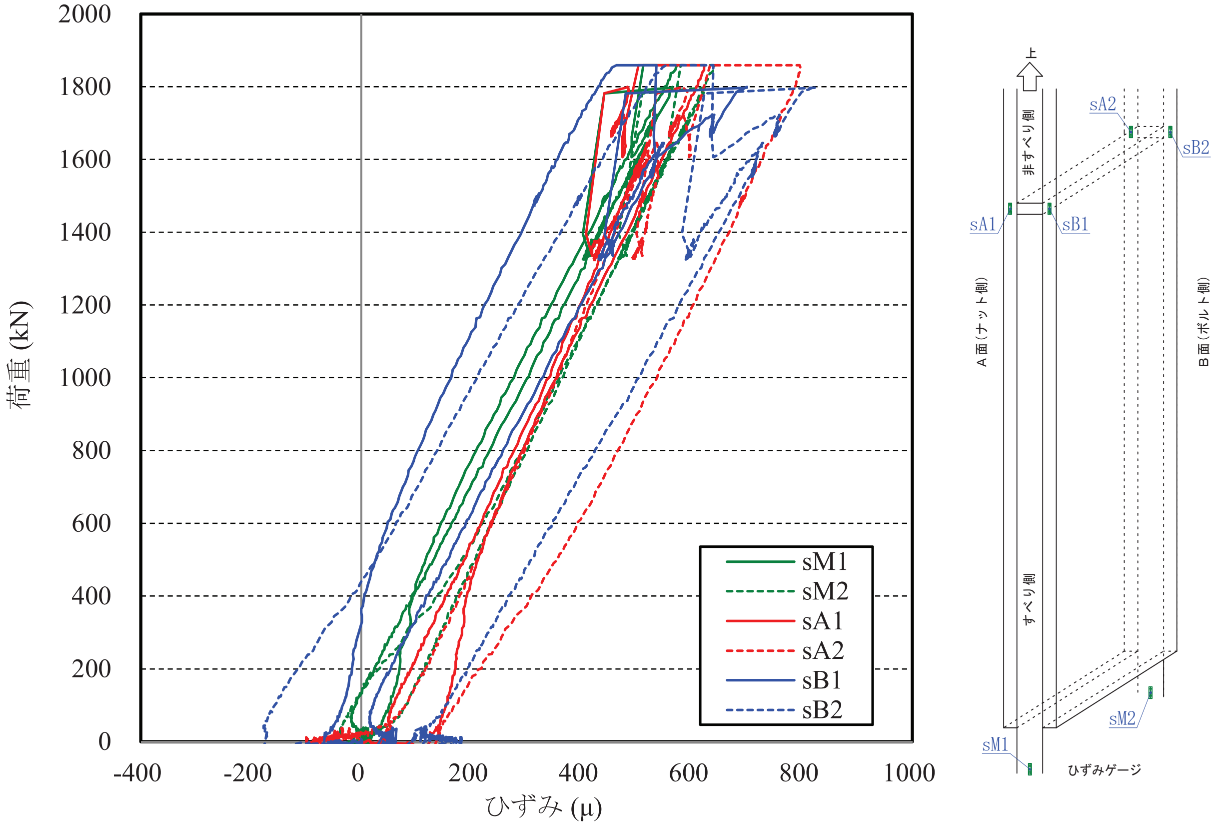
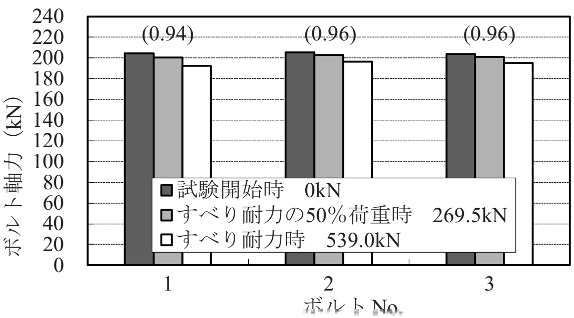


図- 2.7.61 試験体側面のひずみ(試験体 No6-C)

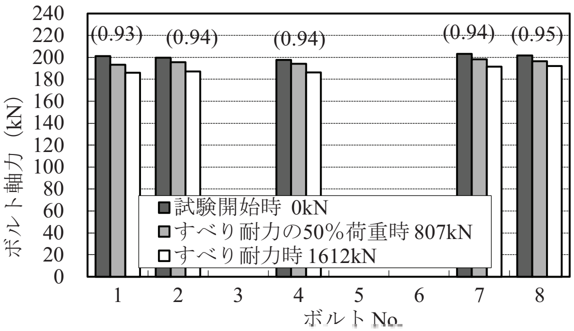
2.7.4　すべり耐力時のボルト軸力残存率

すべり耐力時のボルト軸力残存率のうち，詳細計測を行った試験体の結果を**図- 2.7.62** に示す。なお，試験体 No.6 については，詳細計測を実施した試験体 No.6-C のセットアップ時の不具合により，低いすべり係数となったため，基本計測を実施した試験体 No.6-A の結果を示す。

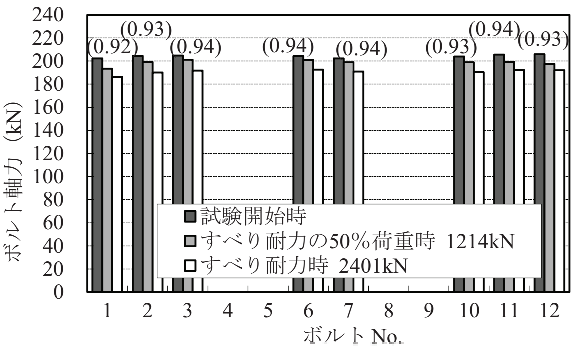
図中の括弧内の数値は，試験開始時（荷重 0kN 時）のボルト軸力に対するすべり耐力時のボルト軸力の比率である。ボルト列数による中央と端部の軸力減少の傾向に関して，8 列や 12 列の試験体にみられるように，多列の場合には内側（ボルト No.1）の方が軸力の減少が若干大きい傾向が見られた。すべり挙動に関する解析的検討 [1),9)]では，母板及び連結板に作用する断面力の偏心から生じる付加曲げの影響による内側の軸力減少について明らかにしており，本試験結果でも同様の挙動によるものと考えられる。



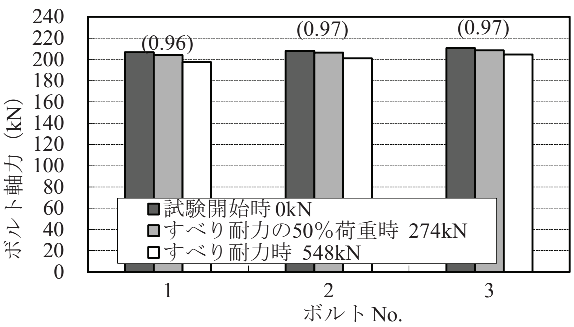
(a) 試験体 No.1-C



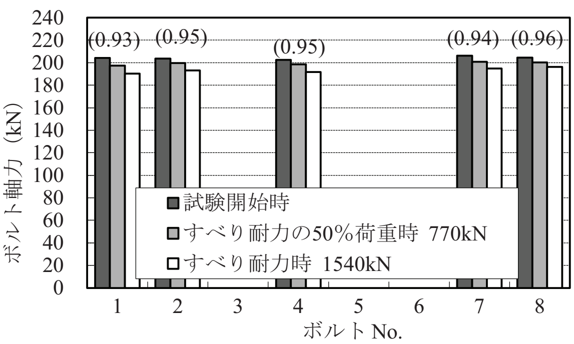
(b) 試験体 No.2-C



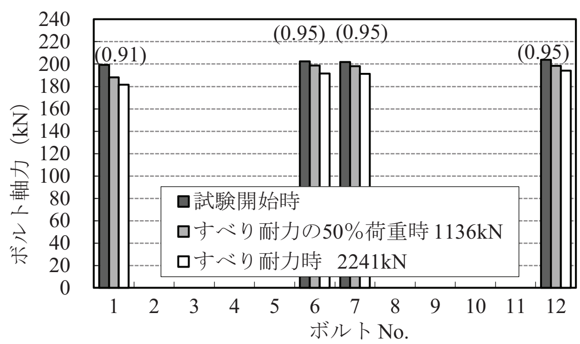
(c) 試験体 No.3-C



(d) 試験体 No.4-C



(e) 試験体 No.5-C



(f) 試験体 No.6-A

図- 2.7.62 すべり耐力時のボルト軸力残存率

ボルト軸力残存率と荷重の関係について，試験体 12-75A を例として**図- 2.7.63** に示す。ボルト軸力に関しては内側（ボルト No.1）では荷重に対する低下の比率（低下率）が大きく，試験開始時からすべり発生まで概ね一定の割合で低下している。一方，中央（ボルト No.6, 7）ではボルト軸力の低下率は小さく，かつすべり直前に急激に低下する挙動がみられる。以上の傾向は 8 列や 12 列の全ての試験体で確認されており，多列の場合の内側のボルト軸力減少が顕著にみられた。

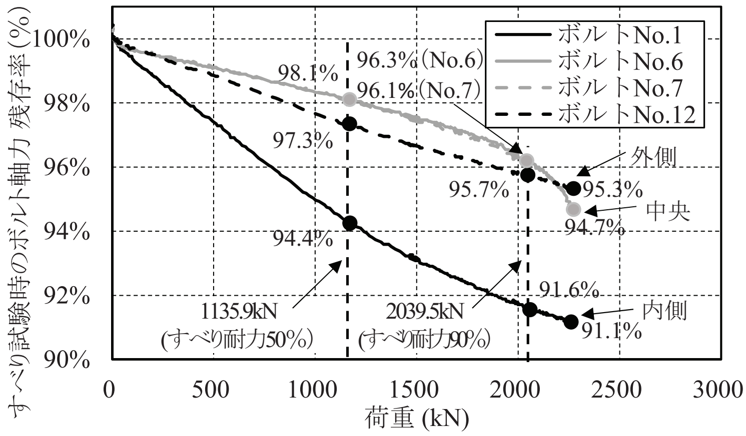
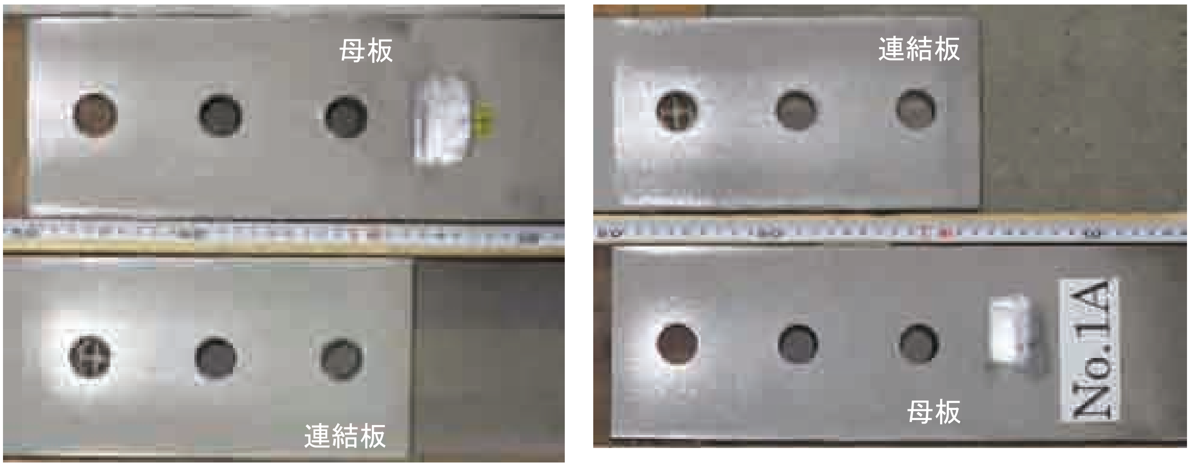


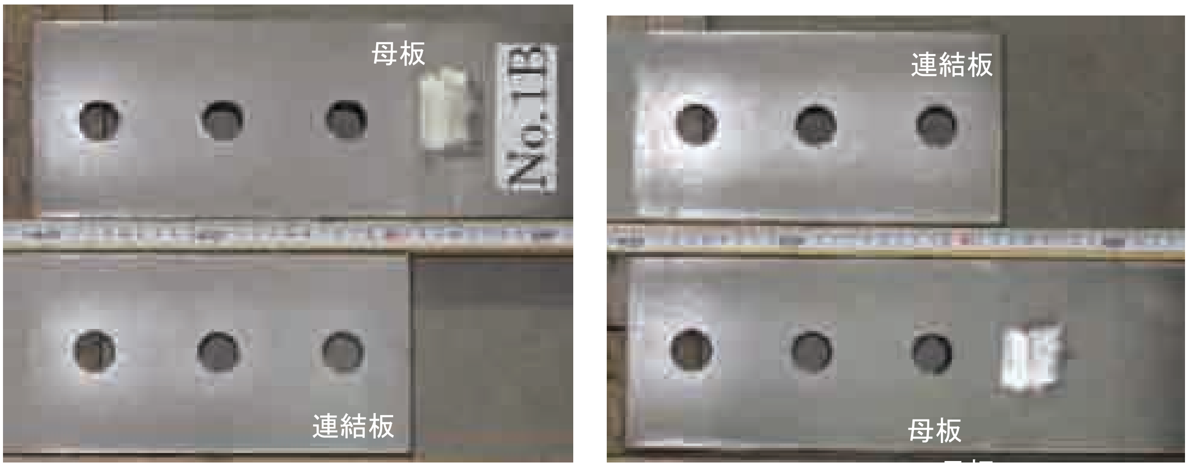
図- 2.7.63 すべり試験時のボルト軸力残存率と荷重の関係（試験体 12-75A）

2.7.5　試験後のすべり面の状況

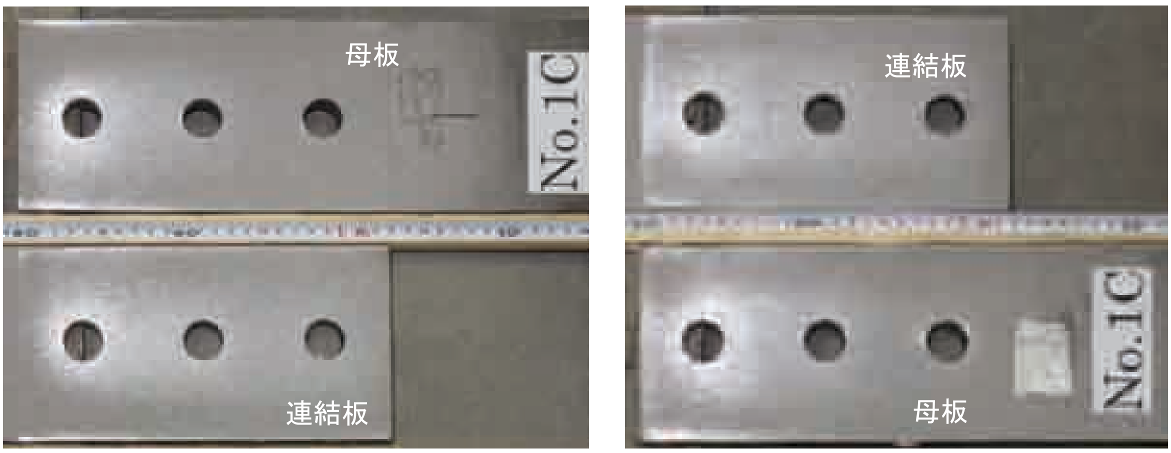
写真-2.7.1 に，各試験体のすべり面の状況を示す。いずれの試験体においても，すべり痕とみられる箇所では，接触面に光沢が生じていた。試験体によってばらつきはあるが，母板，連結板の内側位置で孔まわりにすべり痕がみられるのに対して，外側位置では明確なすべり痕を確認できなかった。



（a） 試験体 No.1-A

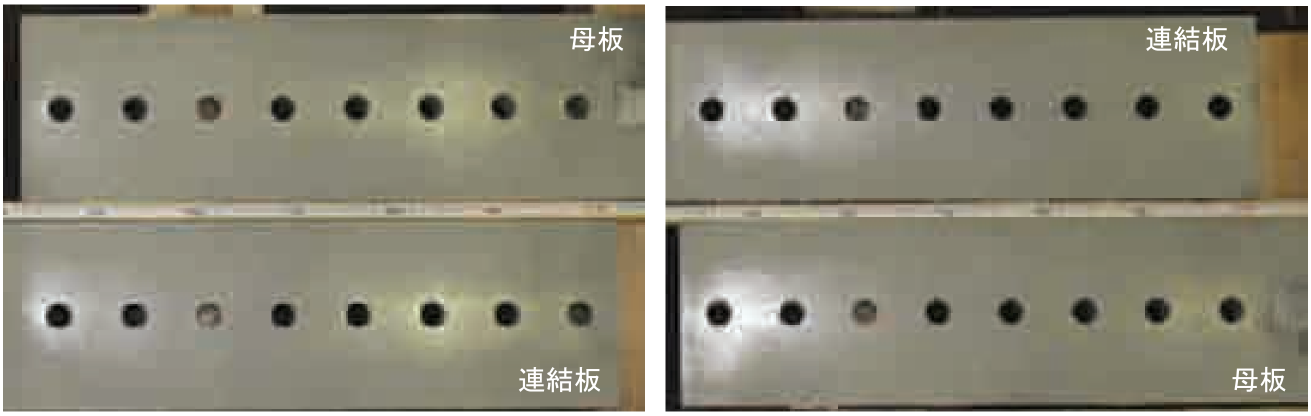


（b） 試験体 No.1-B

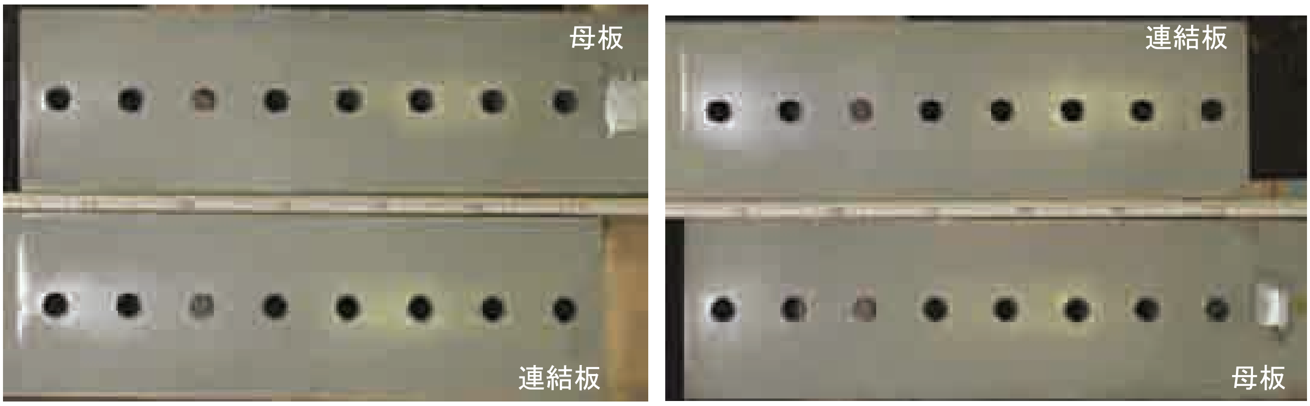


（c） 試験体 No.1-C

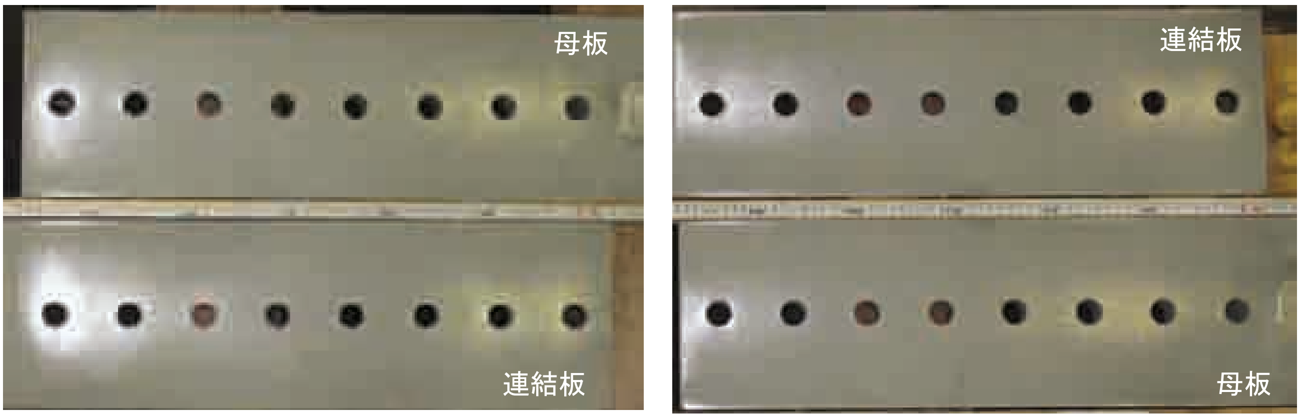
写真- 2.7.1 試験後のすべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



（d） 試験体 No.2−A

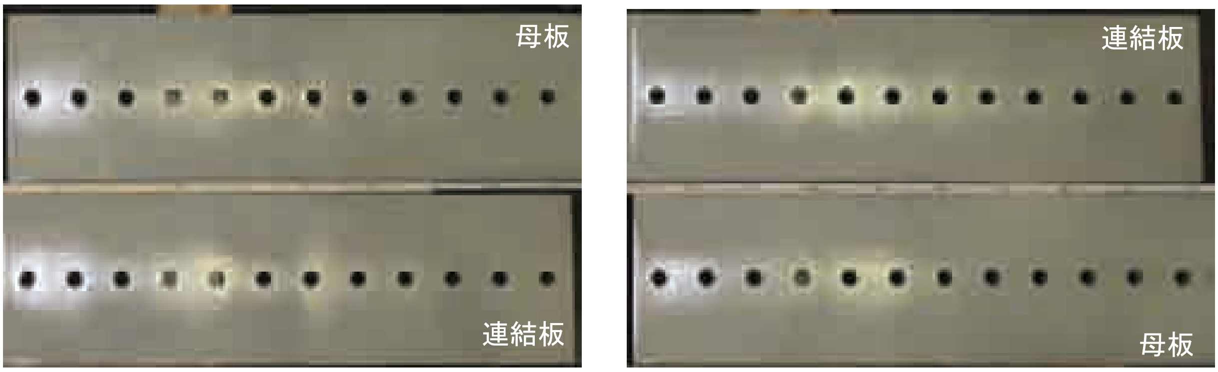


（e） 試験体 No.2−B

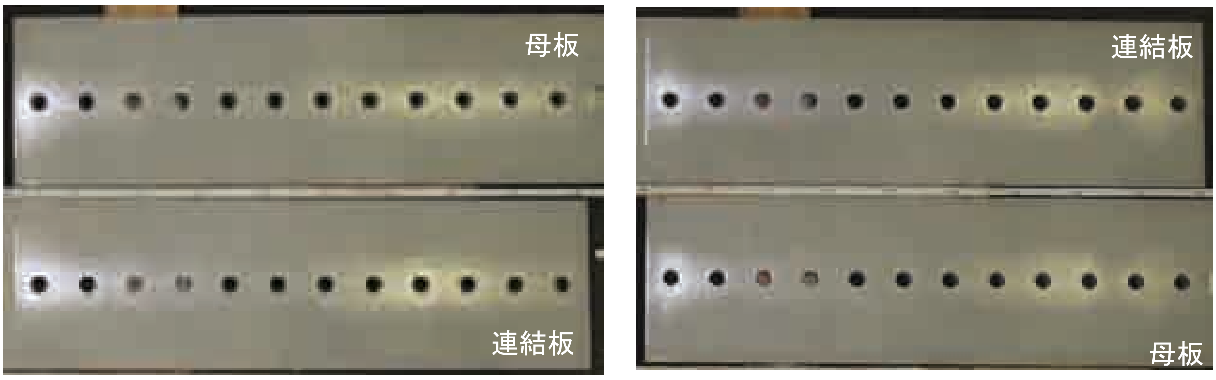


（f） 試験体 No.2−C

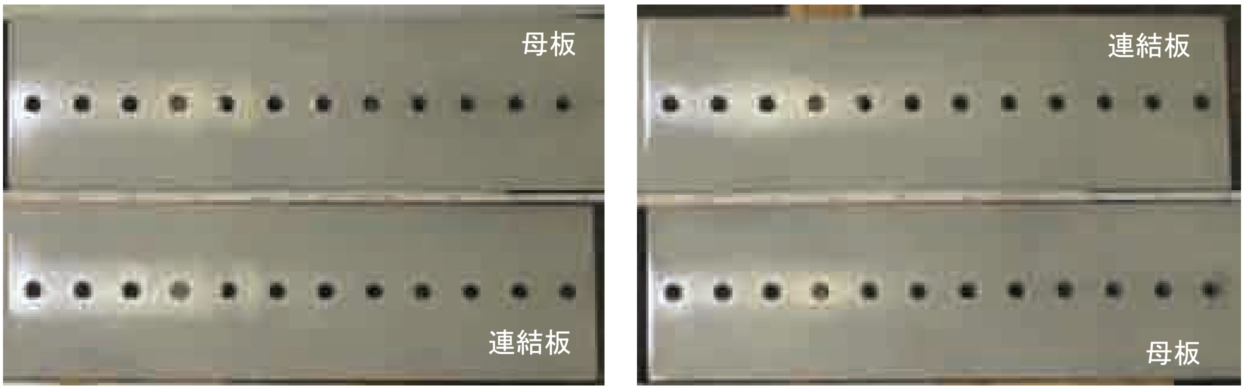
写真− 2.7.1　試験後のすべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）（続き）



（g） 試験体 No.3−A

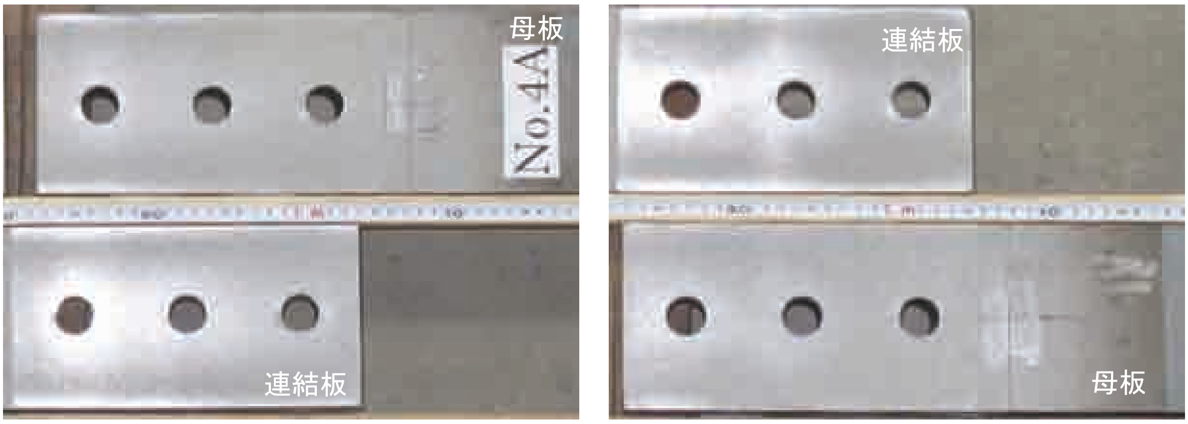


（h） 試験体 No.3−B

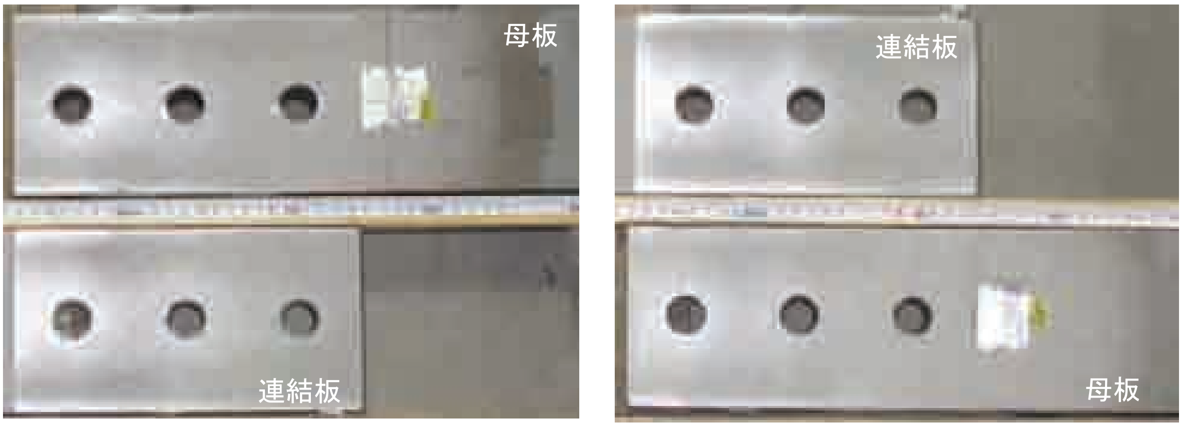


（i） 試験体 No.3−C

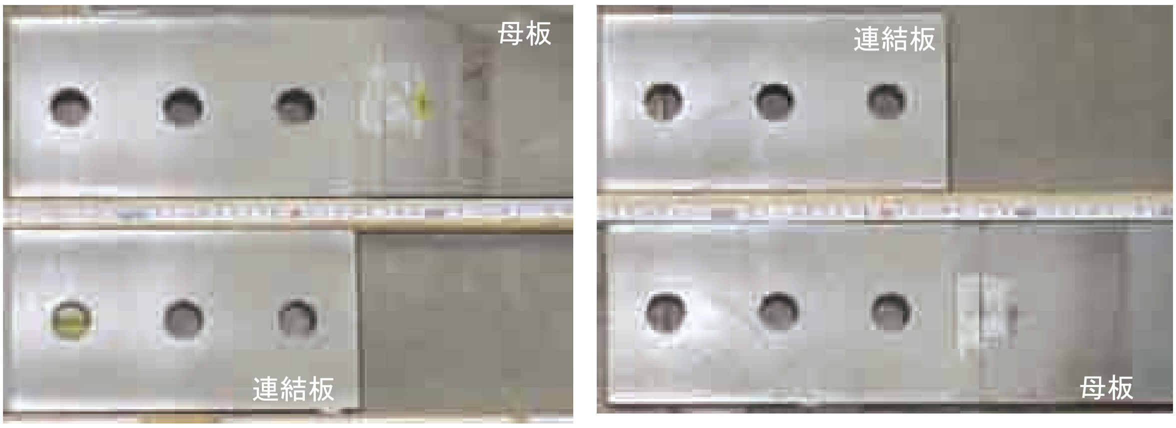
写真− 2.7.1　試験後のすべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）（続き）



(j) 試験体 No.4−A

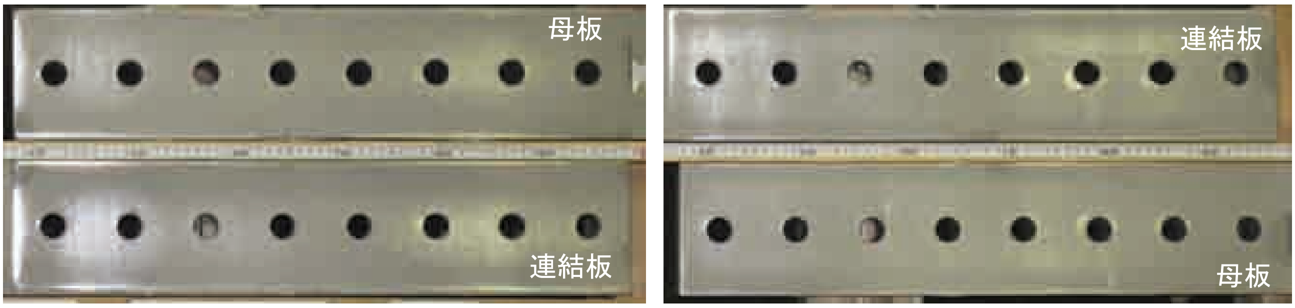


(k) 試験体 No.4−B

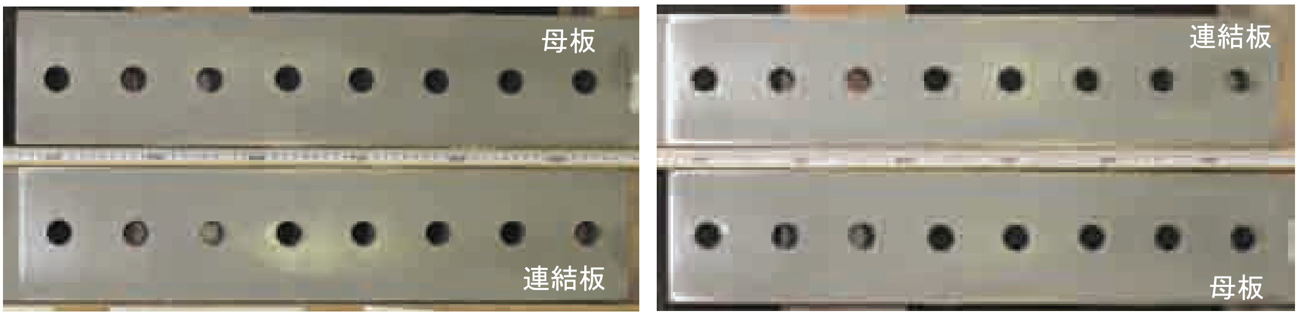


(l) 試験体 No.4−C

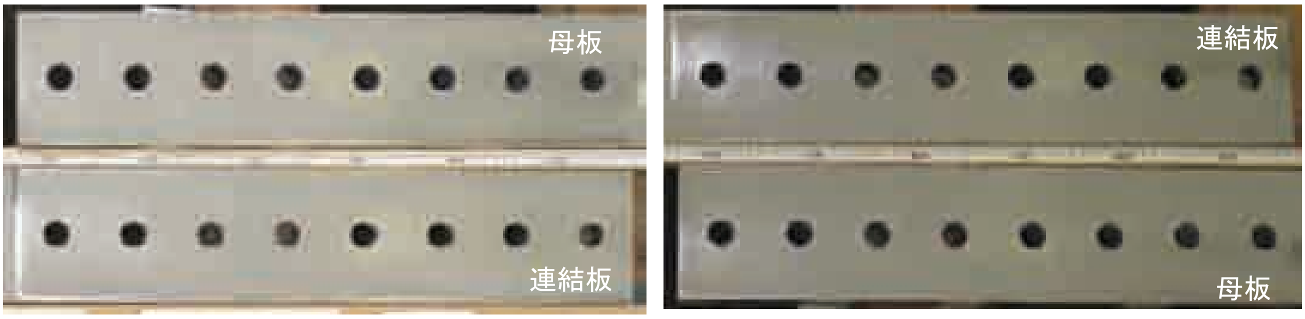
写真− 2.7.1 試験後のすべり面の状況(左:ボルト側, 右:ナット側)(続き)



（m） 試験体 No.5−A

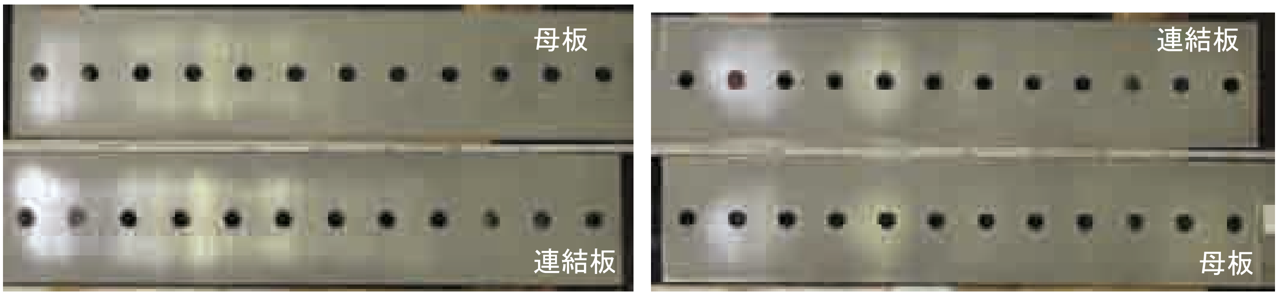


（n） 試験体 No.5−B

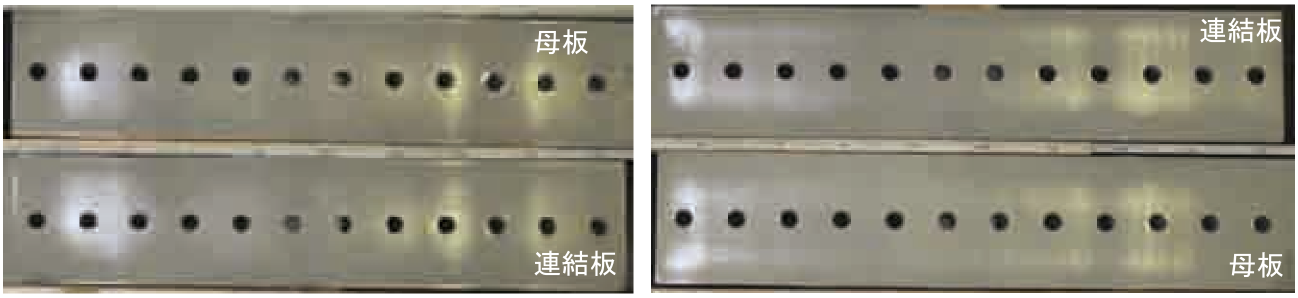


（o） 試験体 No.5−C

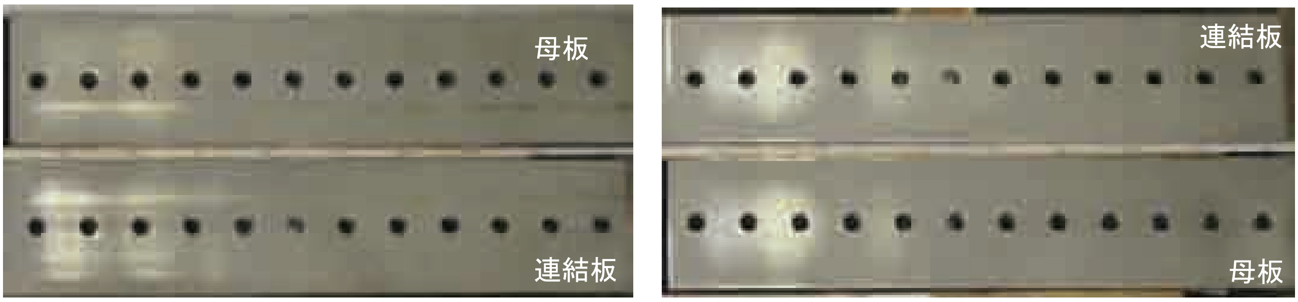
写真− 2.7.1　試験後のすべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）（続き）



（p） 試験体 No.6−A



（q） 試験体 No.6−B



（r） 試験体 No.6−C

写真− 2.7.1 試験後のすべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）（続き）

2.7.6 すべり耐力およびすべり係数

表- 2.7.1 に各試験体のすべり耐力およびすべり係数を示す。試験体 No.6-C については，セットアップ時の不具合により，低いすべり係数となったため，以降の検討・考察では除外することとした。

いずれの試験体も設計すべり係数 0.40 を上回る結果となった。

表- 2.7.1 すべり耐力およびすべり係数

試験体No.	構造諸元					試験結果					
	母板厚(mm)	連結板厚(mm)	ボルト列数	締付軸力(kN)	試験前軸力(kN)	すべり耐力(kN)	すべり係数 μ_0 各値	すべり係数 μ_0 平均	すべり係数 μ_2 各値	すべり係数 μ_2 平均	変動係数
1-A	50	26	3	207.4	205.9	552	0.45	0.45	0.45	0.45	0.02
1-B				207.5	202.3	560	0.46		0.46		
1-C				205.9	204.5	539	0.44		0.44		
2-A			8	206.0	195.2	1,537	0.47	0.48	0.49	0.49	0.03
2-B				209.4	203.0	1,526	0.47		0.47		
2-C				207.2	201.7	1,612	0.49		0.50		
3-A			12	209.4	208.1	2,268	0.46	0.47	0.45	0.47	0.03
3-B				207.2	200.9	2,259	0.46		0.47		
3-C				205.6	204.7	2,401	0.49		0.49		
4-A	75		3	205.7	203.5	552	0.45	0.44	0.45	0.44	0.03
4-B				207.8	209.6	532	0.43		0.42		
4-C				206.0	208.4	548	0.45		0.44		
5-A			8	206.0	201.2	1,532	0.47	0.48	0.48	0.49	0.04
5-B				205.6	203.3	1,667	0.51		0.51		
5-C				205.5	204.8	1,540	0.47		0.47		
6-A			12	205.7	202.5	2,261	0.46	0.46	0.47	0.47	0.01
6-B				205.4	203.1	2,314	0.47		0.47		
6-C				206.5	202.5	1,859	0.38	−	0.38	−	−

2.8　考察

2.8.1　母板厚の影響

図- 2.8.1 に母板厚とボルト締付け時から 7 日後のボルト軸力残存率の関係を示す。ボルト軸力の変化に関して，母板厚による違いは小さいが，母板厚 75mm の方がボルト軸力残存率はやや大きい。連結部が厚くなるとボルト長が長くなり，ボルト長が長いほど軸力残存率が大きくなる傾向は文献 13)においても，無機ジンクリッチペイント仕様の接触面処理の場合に対して報告されている。これは，締付け長さが一定であるのに対して，ボルト軸力減少に影響するねじ部の長さや，接合面のつぶれの厚さの割合が小さくなることによるものと考えられる。

図- 2.8.2 に母板厚とすべり係数 μ_2 の関係を示す。すべり係数 μ_2 は母板厚によらず一定であり，母板厚 50mm と 75mm の間では，板厚による違いは明確にみられない。

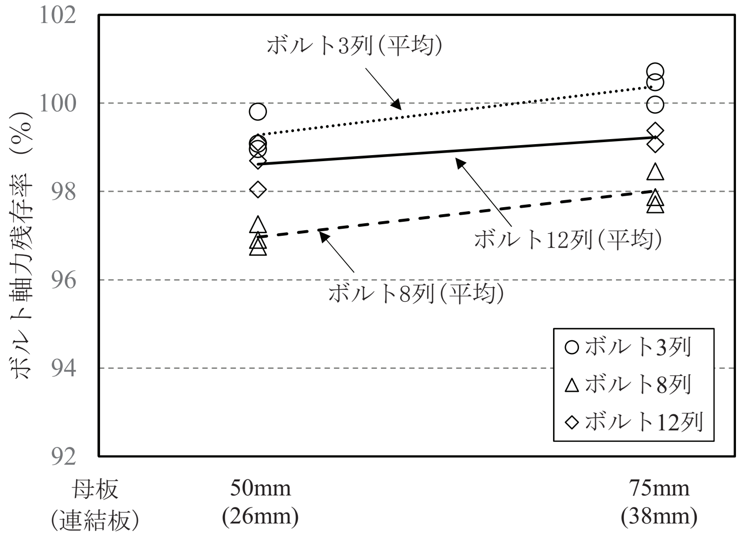


図- 2.8.1 母板厚とボルト軸力残存率(試験前)の関係

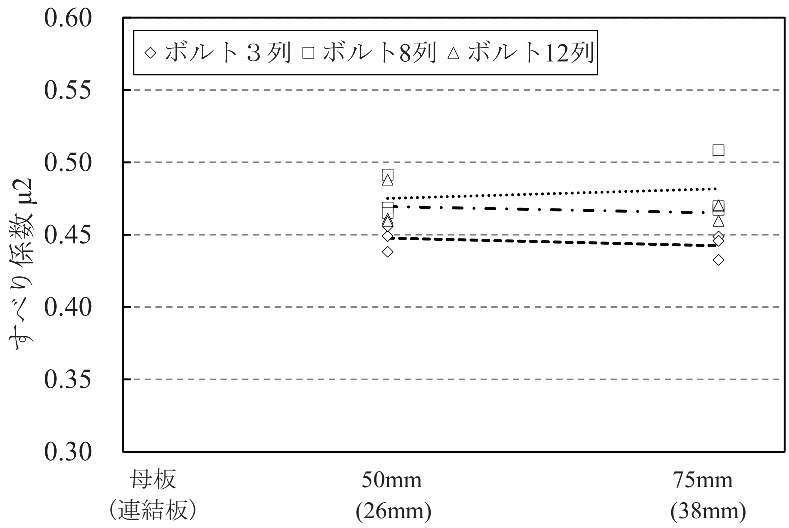


図- 2.8.2 ボルト列数とすべり係数 μ_2 の関係

2.8.2　ボルト列数の影響

図- 2.8.3 にボルト列数とすべり耐力比の関係を示す。ここで，すべり耐力比とは，各試験体のすべり係数 μ_2 の 8 列試験体のすべり係数 μ_2（平均値）に対する比を示す。ボルト列数が 8 列から 12 列に増加すると，8 列の場合と比較してすべり耐力は母板厚 50mm，75mm ともに約 3%低下している。また，図中には，道示 [2)]解説中のボルト列数 12 列に対する低減係数（無機ジンクリッチペイント仕様）の 0.92 より求めたすべり耐力比を示し，本試験のすべり係数の低下程度は，この値よりも小さい傾向にある。なお，ボルト列数 3 列の試験体では，ボルト列数 8 列に比べてすべり係数が小さくなっている。これは，ボルト列数が少ないと，母板間の板厚差や母板及び連結板端部の凹凸等の初期不整の影響を受けやすく，母板と連結板間の密着性を確保しにくくなり，すべり係数が相対的に小さくなるためと考えられる。なお，実構造物の場合，作用力が大きい場合には母板厚が厚くなりボルト列数も必然的に増加する。このため，厚板かつボルト列数が少ない継手が採用されることは実務上ないと考えられる。

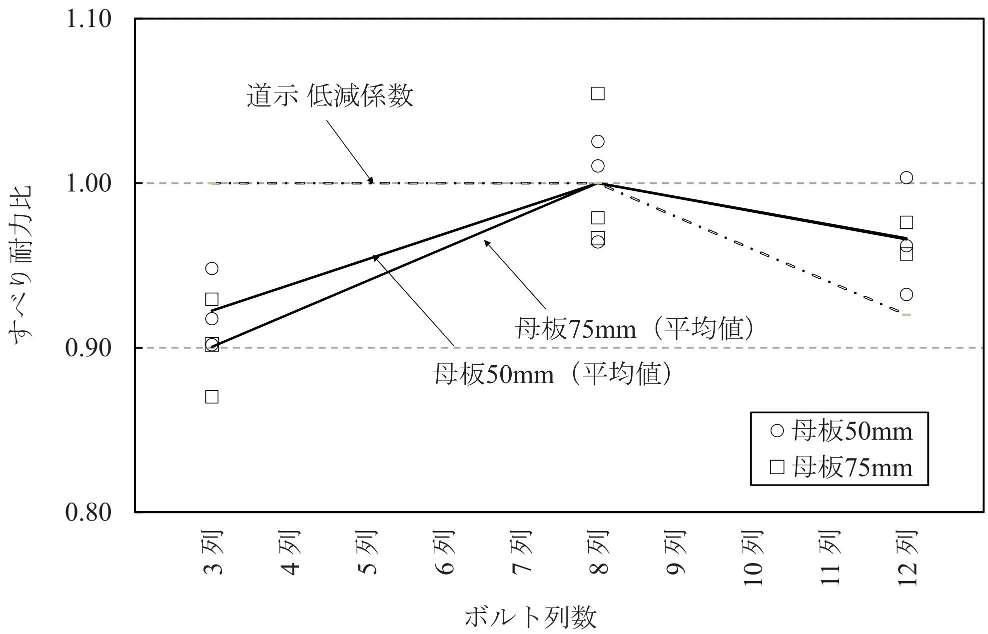


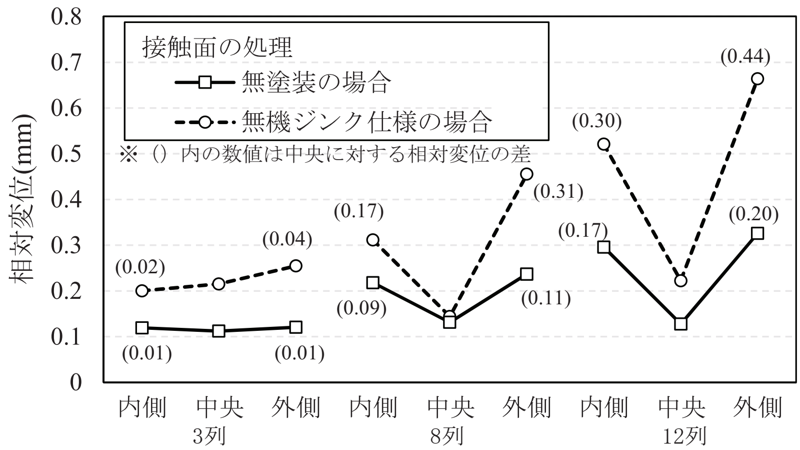
図- 2.8.3 ボルト列数とすべり耐力比の関係

2.8.3　既往の実験結果との比較

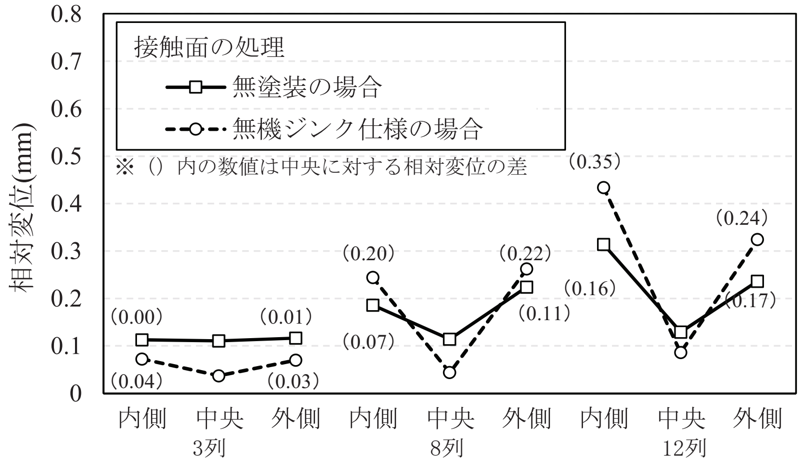
以降の考察では，接触面に無機ジンクリッチペイントを塗装する場合（以下，無機ジンク仕様）の既往検討結果 1),8)との比較を行い，厚板化・多列化にともなうすべり挙動への影響について検討する。

(1)　すべり耐力時の母板-連結板間の相対変位

無機ジンク仕様と本検討の比較を**図- 2.8.4** に示す。接触面の処理によらず，中央に対する端部（外側，内側）の相対変位の差は，ボルト列数の増加に伴い，大きくなる傾向がみられる。なお，無機ジンクを塗布した場合の方がすべり係数が大きいため，同一の板厚，ボルト列数では，無塗装の場合より相対変位は大きくなっている。



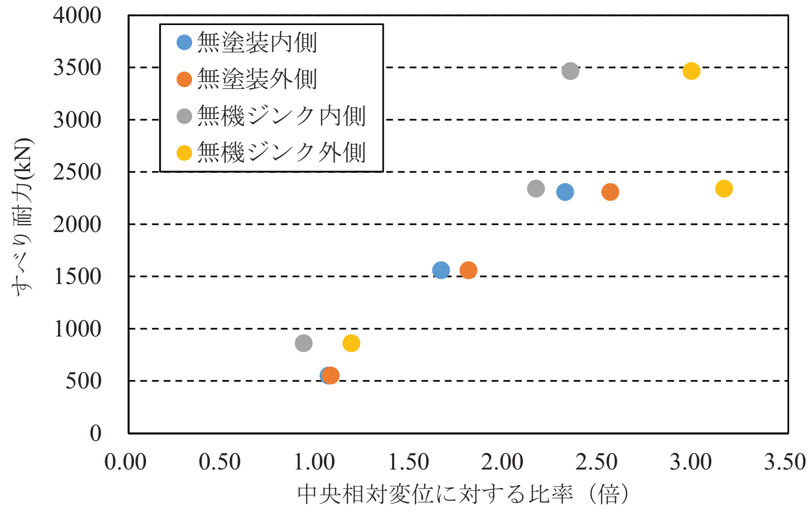
（a）母板厚 50mm の場合



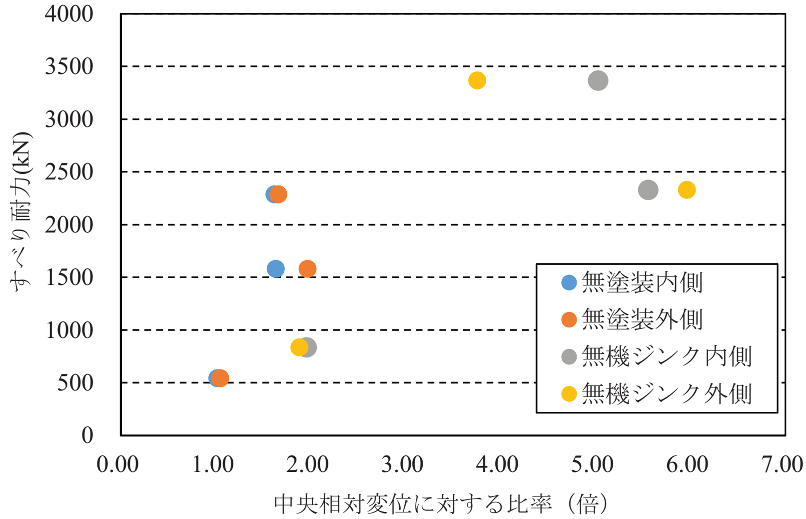
（b）母板厚 75mm の場合

図- 2.8.4 すべり耐力時の母板-連結板間相対変位の無機ジンク仕様との比較

内側・外側の相対変位の中央に対する比率とすべり耐力の関係を**図− 2.8.5** に示す。特に母板厚 50mm の場合，すべり耐力の増加にともない，中央相対変位に対する内側・外側の比率が増加している傾向がみられる。一方，母板厚 75mm の場合は，概ねすべり耐力の増加とともに中央相対変位に対する比率は増加するものの，母板厚 50mm の場合ほど明確な傾向はみられない。



（a）母板厚 50mm の場合

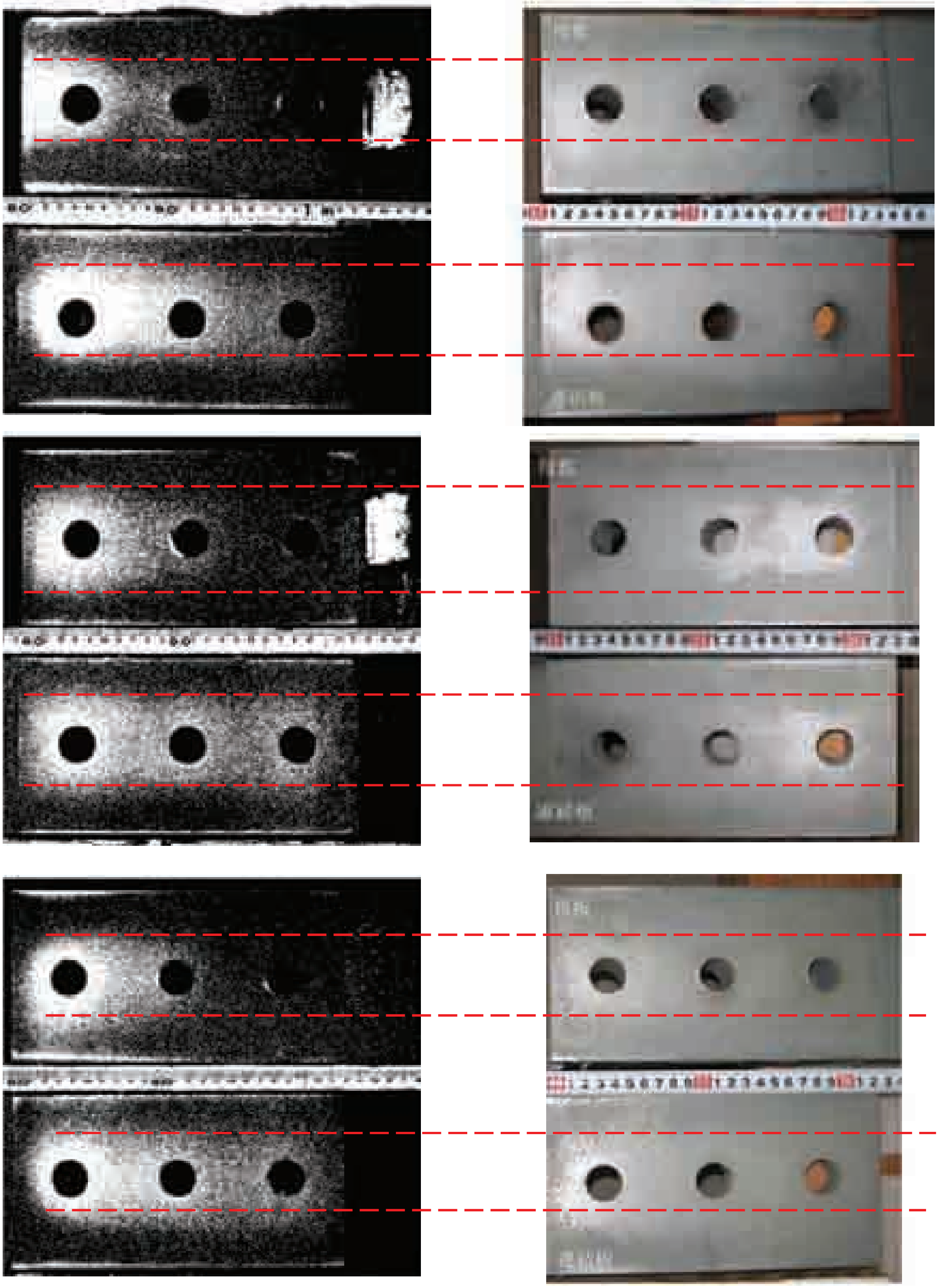


（b）母板厚 75mm の場合

図− 2.8.5 すべり耐力と内側･外側相対変位の中央に対する比率の関係

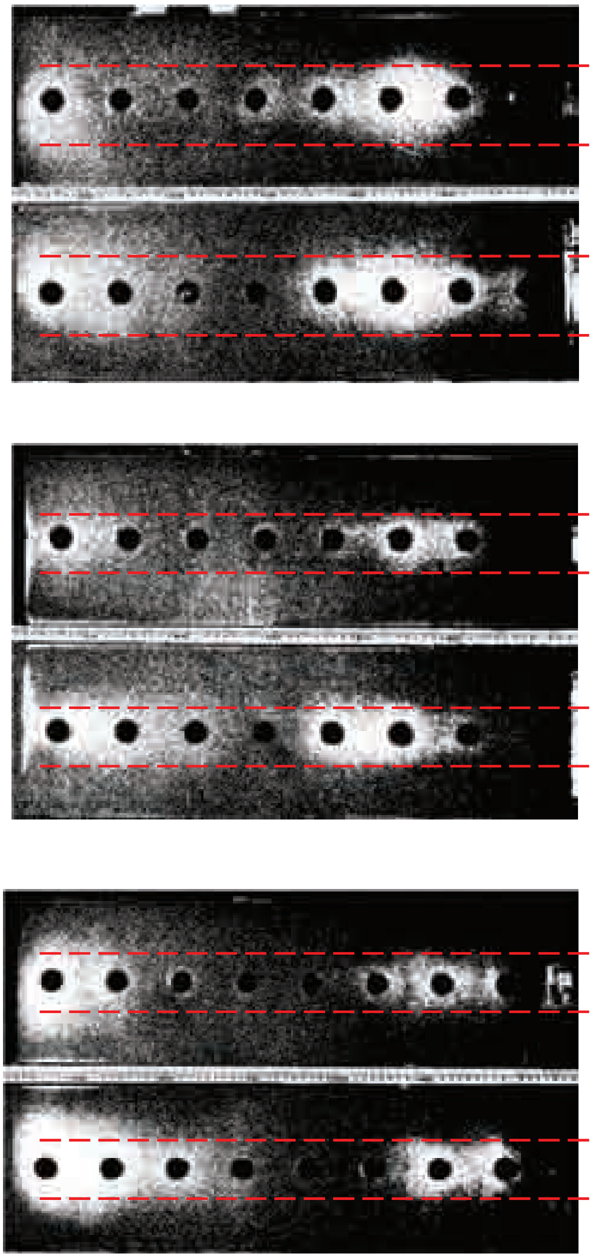
(2) すべり面の状況

図- 2.8.6～**図- 2.8.11** にすべり面の状況を，無塗装の場合と無機ジンク仕様で比較した図を示す。接触面の処理に関わらず, すべり面における幅方向の摩擦範囲は, ほぼ同じであることが確認できる。なお, 以降の図はすべり面におけるボルト側の写真を示し，無塗装の場合はすべり面の発生状況を明確にするため，2 階調化する等の画像処理を行い，赤破線はすべり痕が確認された幅を示す。



(a) 無塗装試験体　　　　(b) 無機ジンク試験体

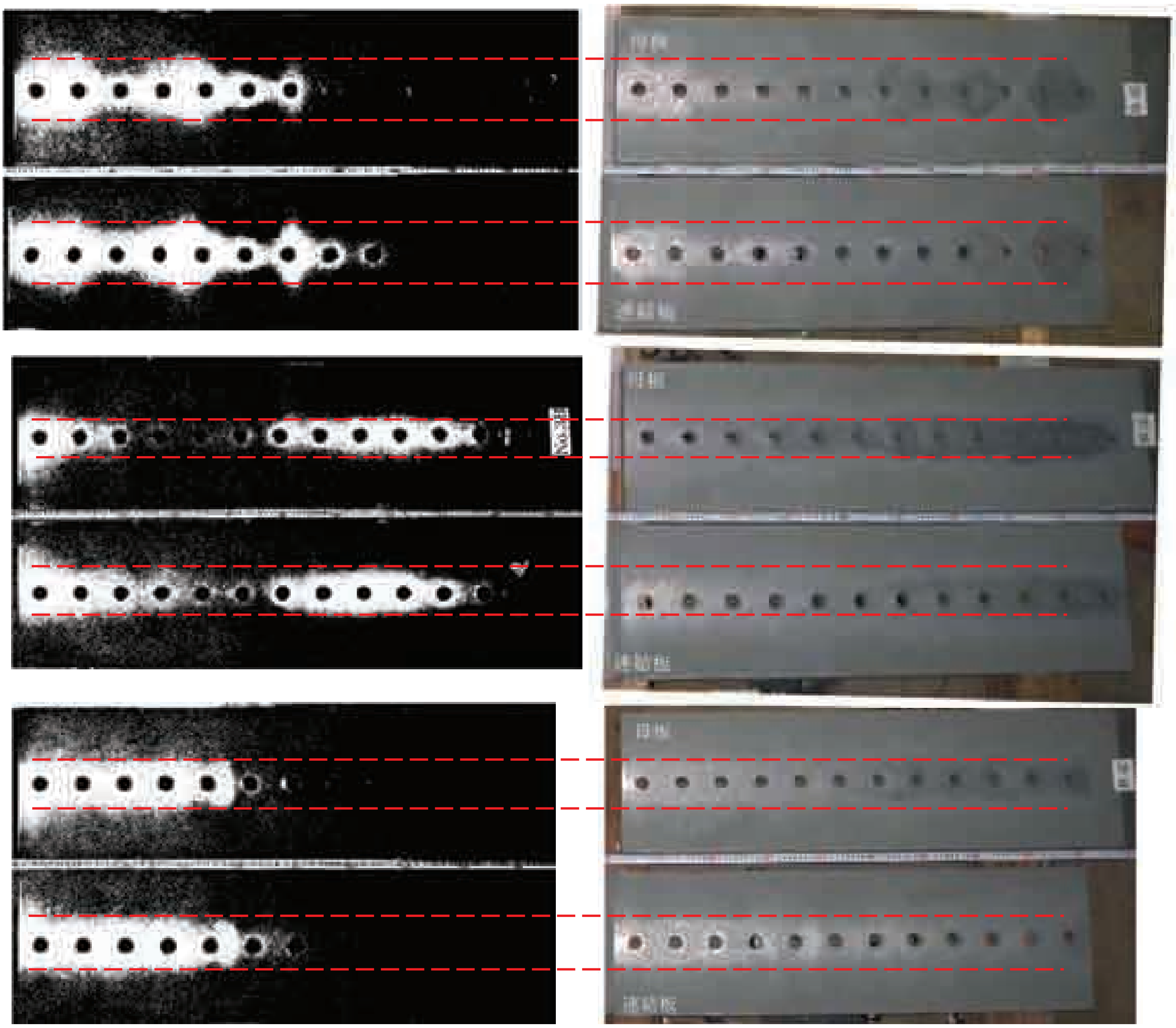
図- 2.8.6 ボルト列数 3 列の試験体におけるすべり面の発生状況（母板厚 50mm）



(a) 無塗装試験体

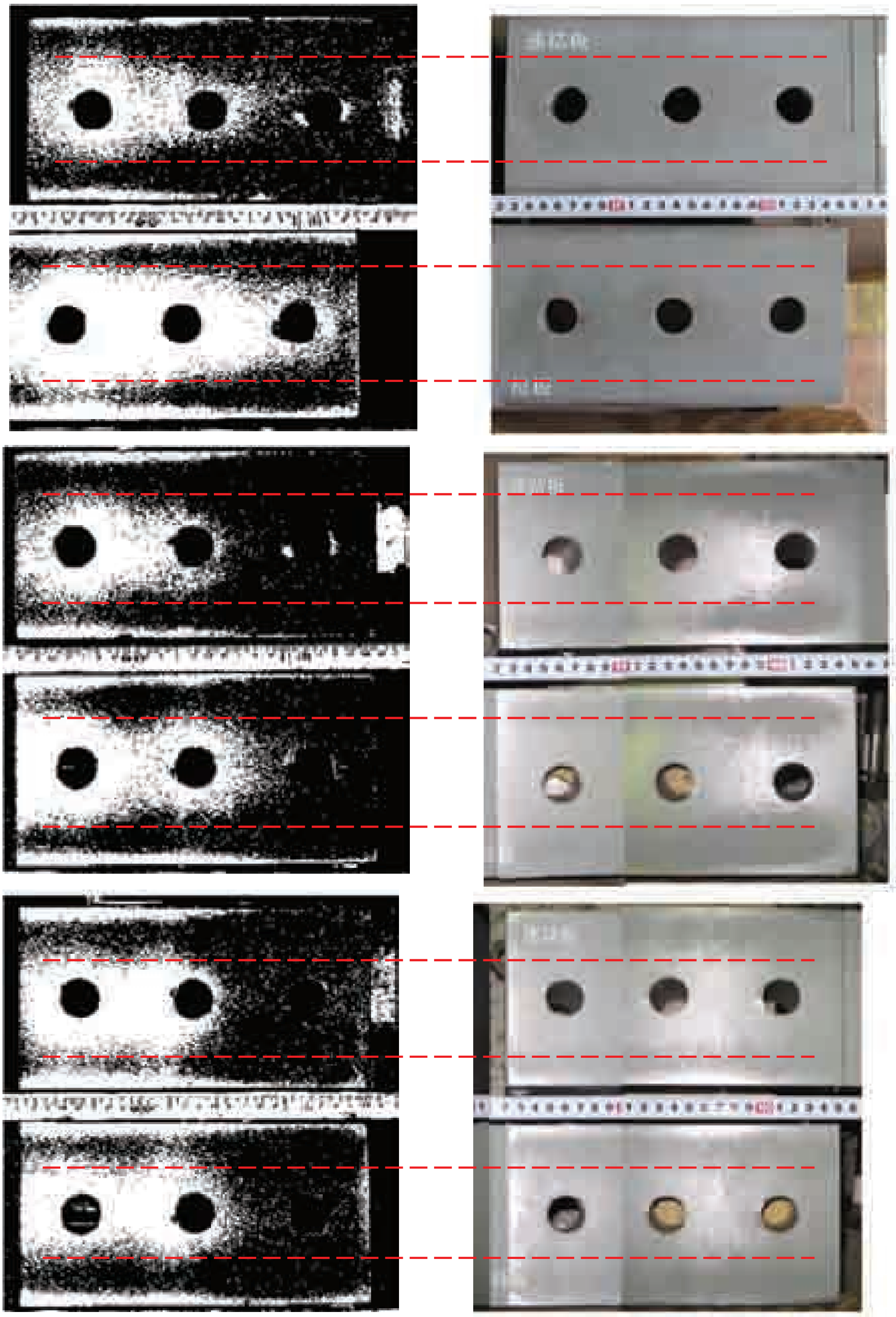
(b) 無機ジンク試験体

図- 2.8.7 ボルト列数 8 列の試験体におけるすべり面の発生状況（母板厚 50mm）



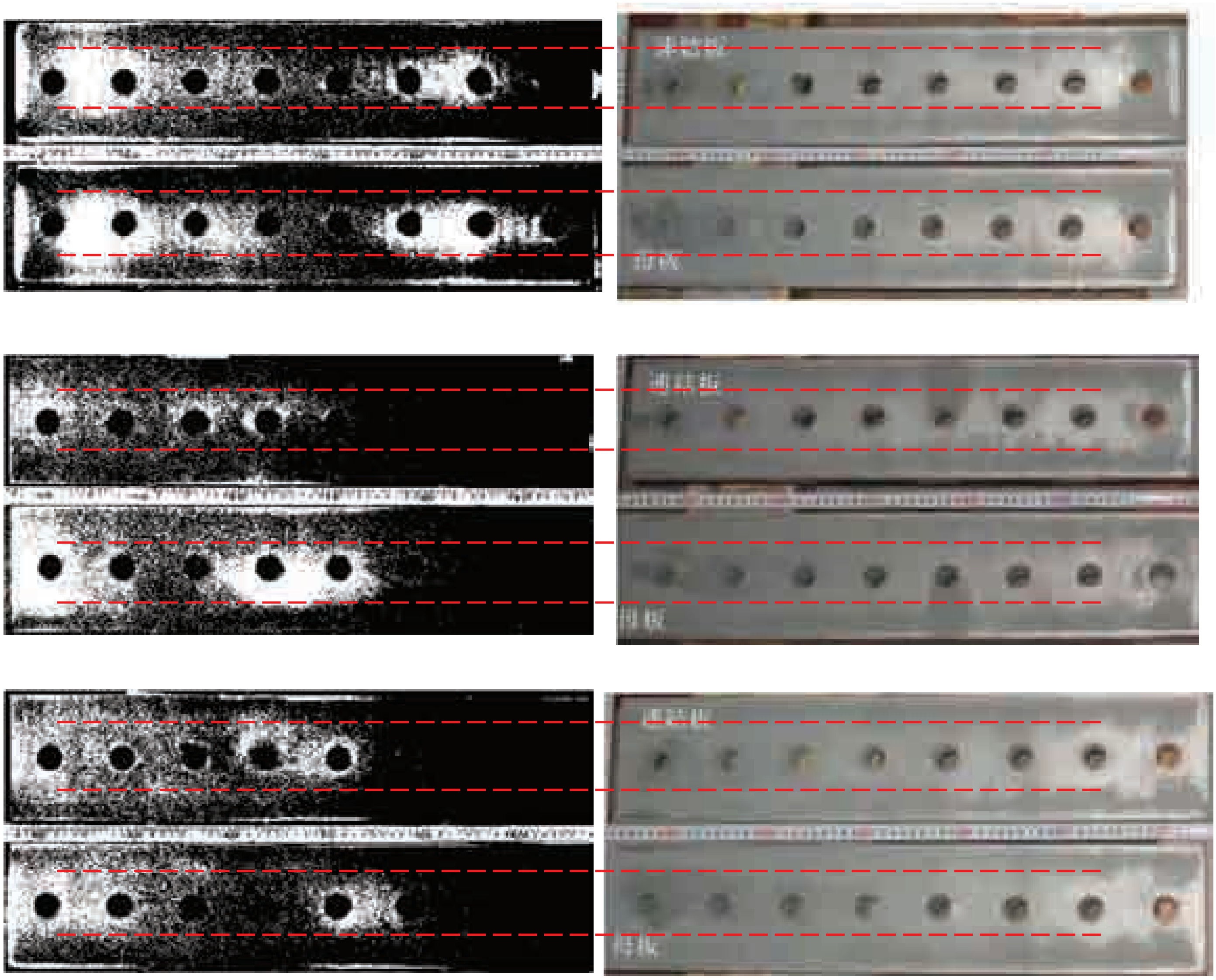
(a) 無塗装試験体　　　　(b) 無機ジンク試験体

図- 2.8.8 ボルト列数 12 列の試験体におけるすべり面の発生状況（母板厚 50mm）



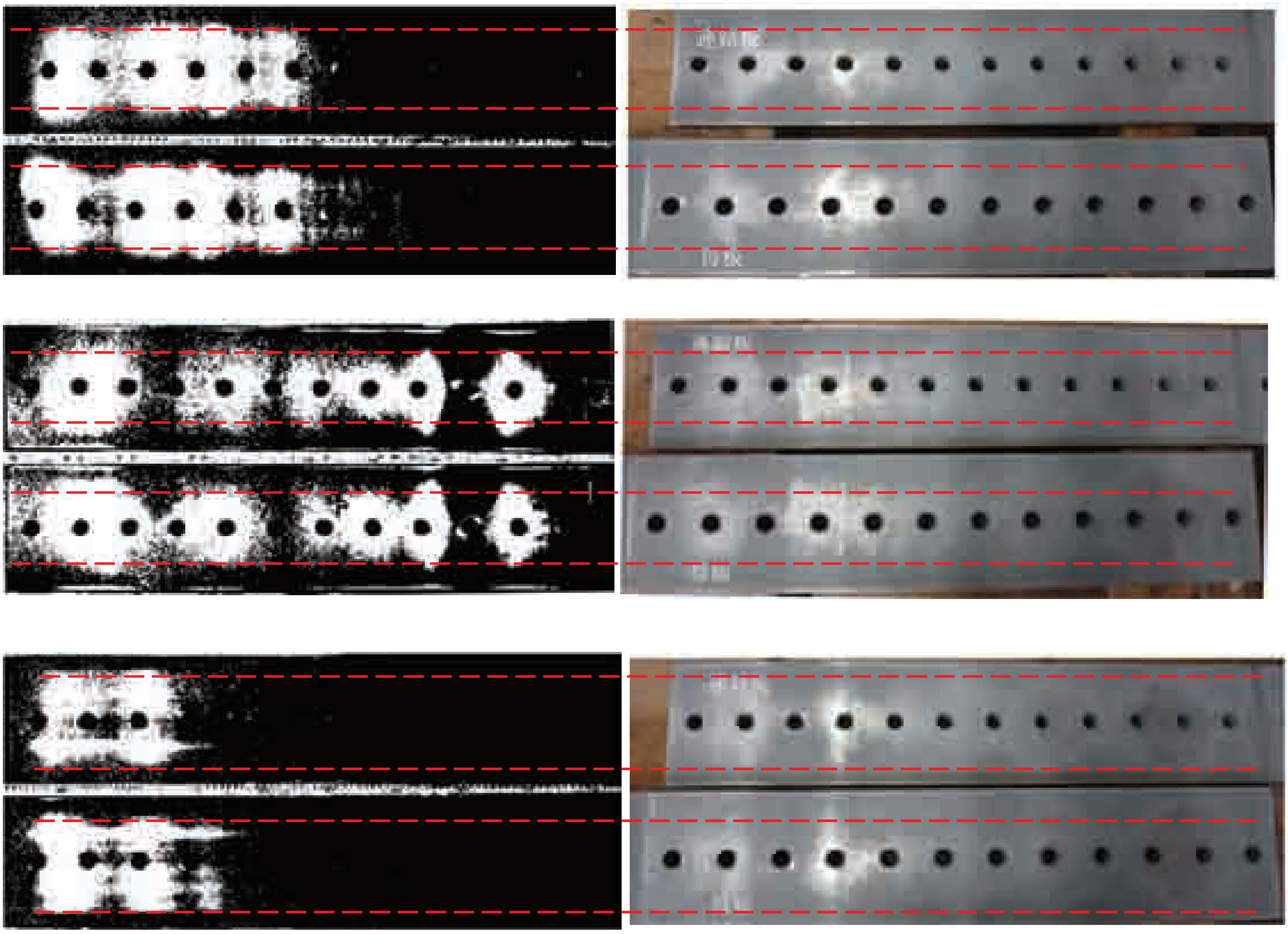
(a) 無塗装試験体　　　　(b) 無機ジンク試験体

図- 2.8.9 ボルト列数 3 列の試験体におけるすべり面の発生状況(母板厚 75mm)



(a) 無塗装試験体　　　(b) 無機ジンク試験体

図- 2.8.10 ボルト列数 8 列の試験体におけるすべり面の発生状況（母板厚 75mm）

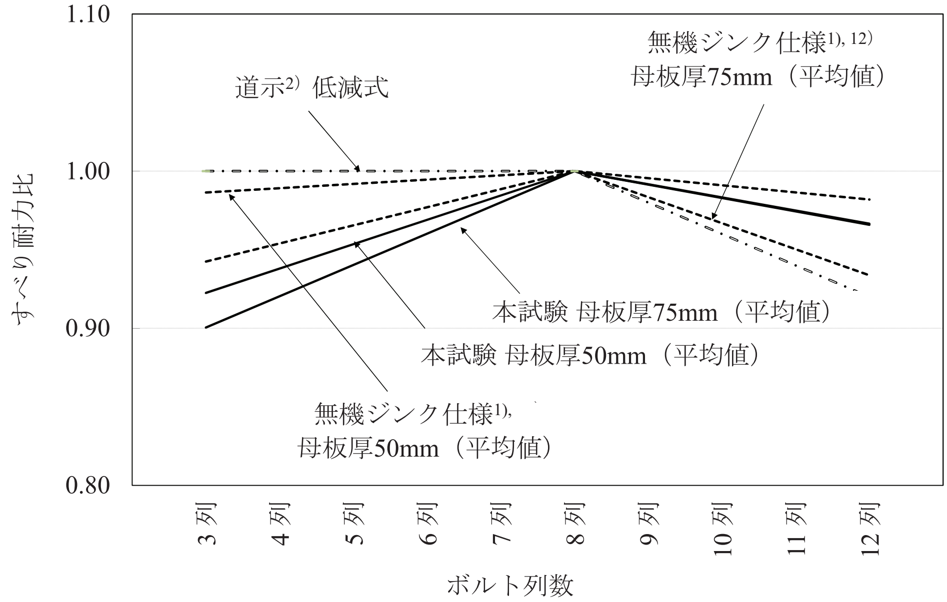


(a) 無塗装試験体　　(b) 無機ジンク試験体

図- 2.8.11 ボルト列数 12 列の試験体におけるすべり面の発生状況（母板厚 75mm）

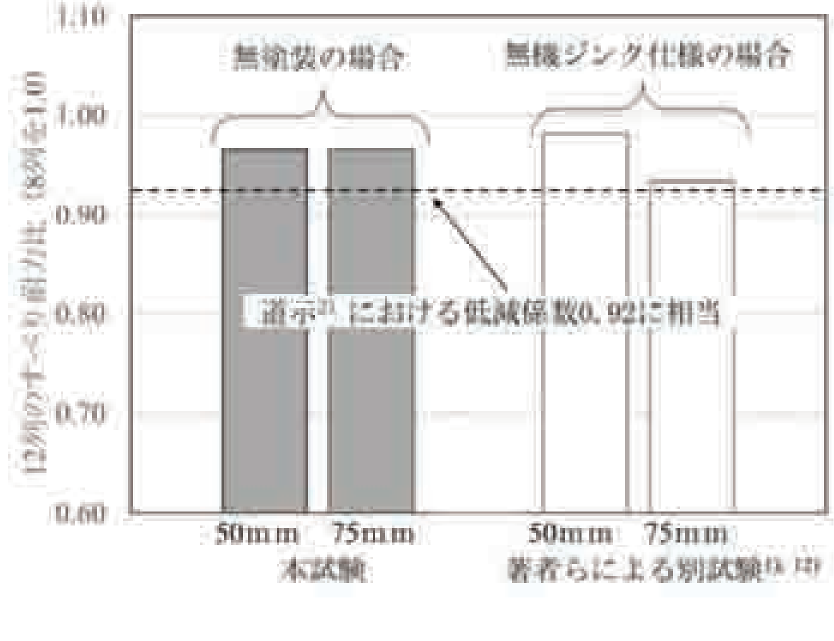
(3) ボルト列数とすべり耐力比の関係

図− 2.8.12 にボルト列数とすべり耐力比の関係を示す。母板厚 50mm，75mm ともに無機ジンク仕様と同様に，多列化に伴うすべり耐力の低下程度となっている。



図− 2.8.12 ボルト列数とすべり耐力の関係

図− 2.8.13 にボルト列数 8 列に対する各列数のすべり耐力比について，本試験結果と接触面に無機ジンクを塗布した場合の試験結果を比較して示す。参考に，図中には無機ジンク仕様の場合の低減係数に相当するすべり耐力比を示す。いずれの場合も，12 列では低減係数の範囲内のすべり耐力の低下がみられる。



図− 2.8.13 8 列に対する 12 列のすべり耐力比の無機ジンク仕様の試験結果との比較

2.5　まとめ

本検討では，接触面を無塗装とした高力ボルト摩擦接合継手を対象に，板厚（50，75mm），ボルト列数（3，8，12 列）をパラメータとした試験体のすべり耐力試験を行い，母板厚及びボルト列数が継手挙動に及ぼす影響について検討した。得られた主な結果を以下にまとめる。

(1) 設計ボルト軸力に対するすべり係数 μ_0 は 0.43～0.51（平均値 0.46）であり，道示に規定されるすべり係数 0.4 を上回った。

(2) 母板厚の影響に関して，母板厚 50mm と 75mm ではすべり係数 μ_2（各試験体の平均値）の違いはほとんど見られなかった。

(3) ボルト列数の影響に関して，ボルト列数 8 列に対する 12 列の場合のすべり係数 μ_2（各試験体の平均値）は，母板厚 50mm，75mm ともに約 3%低下した。

(4) すべり耐力時の母板と連結板間の相対変位に関して，8 列及び 12 列の場合，継手の中央と端部（内側，外側）ではすべり発生荷重に至るまでに差が大きくなる挙動が確認され，端部で作用力が大きくなる傾向にあることが，すべり係数の低下に影響を及ぼしたと考えられる。

(5) ボルト列数の多列化によるすべり係数の低下の傾向，すべり耐力時の継手内の相対変位の不均一さ及びすべり面の発生の傾向は，著者ら[1),8)]が同一試験体を用いて別途実施した，接触面に無機ジンクリッチペイントを塗布した場合のすべり耐力試験の結果と概ね一致していた。

3. 高力ボルト摩擦接合継手試験体の解析的検討

3.1.　高力ボルト摩擦接合継手（砲台配置）のすべり挙動に関する FEM 解析

本章では，プレートガーダー橋の下フランジにみられる高力ボルトを矩形および千鳥に配置したいわゆる砲台配置の高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験結果を踏まえ, FEM 解析により継手の各種の構造諸元がすべり挙動に与える影響を明らかにすることを目的にパラメトリック解析を行った。

はじめに，砲台配置の高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験の試験体と同じ寸法，形状など同諸元の解析を行い, 解析結果と試験結果を比較することにより, 解析の妥当性および再現性の確認を行う。

つぎに，ボルトを砲台配置した継手の各種の構造諸元がすべり挙動に与える影響を明らかにするためにパラメトリック解析を行う。着目する構造諸元として，既往の研究ではボルト列数およびすべり/降伏耐力比 β が増加することですべり係数が低下することが示されており, 本解析でもボルト列数およびすべり/降伏耐力比 β をパラメータとする。また，ボルト配置に関して，実績調査から，ボルト行数については 6 行から最大 10 行まで，千鳥配置部の先端のボルト行数が 8 行から 2 行まで存在することから，ボルト行数およびせん断のボルト行数にも着目してパラメトリック解析を行う。

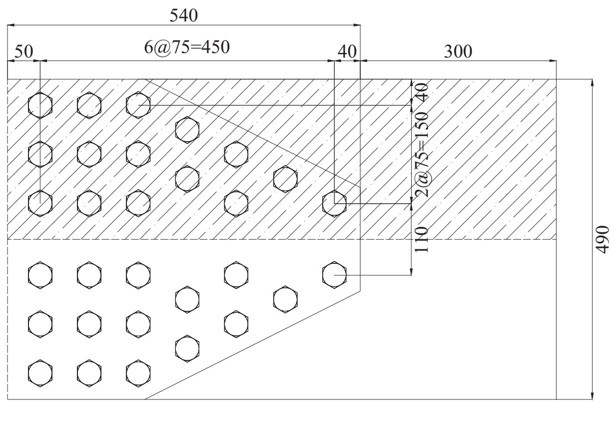
3.2. 解析モデルと解析手法

3.2.1 解析モデルの形状および有限要素

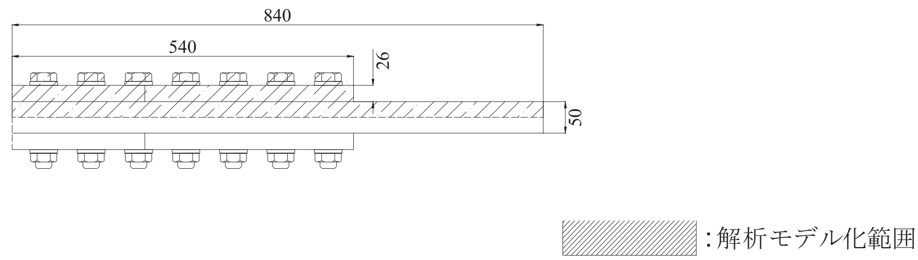
本研究では，汎用構造解析コード Abaqus/Standard[14]を使用し，弾塑性解析を行った。解析対象はプレートガーダー橋の鋼 I 型断面主桁の引張側フランジにおける摩擦接合継手部分である。図-3.2.1 に解析対象の継手形状を示す。図中の斜線部分が解析モデルのモデル化範囲である。継手の形状，荷重状態および変形状態の対称性に基づいて全体の 1/8 をモデル化した。

図-3.2.2 に解析モデルの全体形状およびボルトおよび座金の詳細を示す。高力ボルトはすべり試験でも使用した，F10T（M22）をモデル化し，ボルト孔の中心とボルト軸部中心が一致するように配置している。要素については，高力ボルトおよび連結板は 6 節点ソリッド完全積分要素（Abaqus 要素タイプ：C3D6）および 8 節点ソリッド低減積分要素（Abaqus 要素タイプ：C3D8）を，母板および連結板は 8 節点ソリッド低減積分要素を用いた。要素分割は，母板，連結板，ボルトおよび座金を要素長 5.5mm となるよう分割し，分割数は 3,900～224,000 個程度である。なお，母板の端部から接合面までの部分は，解析時間等を考慮し，要素長を 10～15mm 程度と他の部分よりも大きくした。

また，すべり試験体では，2 枚の母板突き合わせ部に遊間を 10mm 設けていたが，解析モデルでは，それを設けず，連結板軸方向中央の対称面と母板内側端部の面を揃えている。既往の類似の解析 [1]では，その遊間部のモデル化の有無が解析結果に与える影響はほとんどないことが示されており，これ踏まえ，本解析においても，要素数を少なくするため遊間のモデル化を省略している。



(a) 平面図



(b) 側面図

図-3.2.1 解析モデルのモデル化範囲（単位：mm）

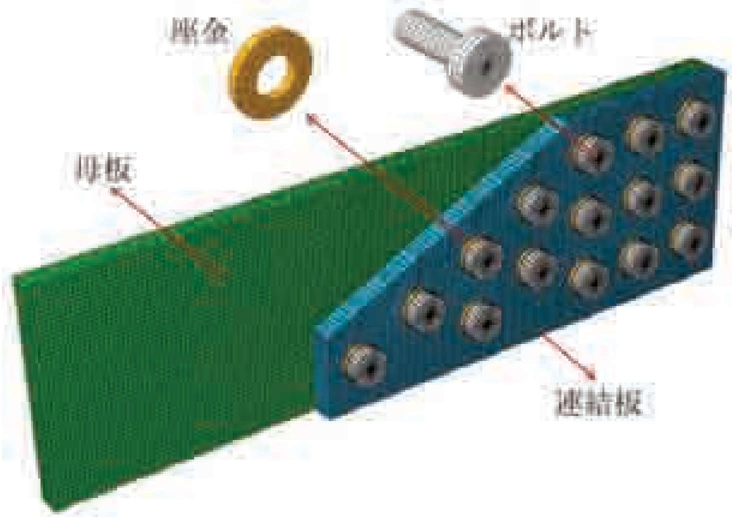


図-3.2.2　解析モデルの全体形状

3.2.2　材料特性

母板および連結板の材料特性は，すべり耐力試験の際に行ったSM490Yの材料強度試験結果に基づいている。ただし，ボルトおよび座金の材料特性は，その強度がすべり挙動に与える影響が小さいと考えられるため，材料強度試験を行わず，公称値を参考に設定している。解析モデルに設定した材料特性（ヤング率およびポアソン比）および応力に対する塑性ひずみの値を**表-3.2.1**に示す。また，その応力－ひずみ関係を**図-3.2.3**に示す。

表-3.2.1　解析に用いる材料特性

(a) 母板（SM490Y）

ヤング率 E (N/mm²)	ポアソン比 ν	応力 σ (N/mm²)	塑性ひずみ ε_p
206,500	0.289	363.3*	0
		363.9	0.0159
		444.7	0.0351
		476.1	0.0528

* 降伏応力

(b) 連結板（SM490Y）

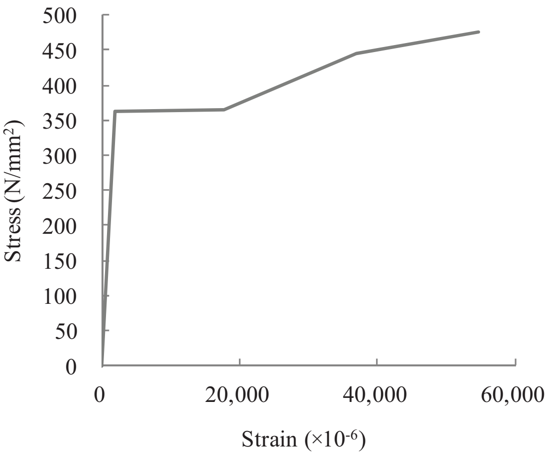
ヤング率 E (N/mm²)	ポアソン比 ν	応力 σ (N/mm²)	塑性ひずみ ε_p
213,400	0.271	375.7*	0
		377.2	0.0168
		400.3	0.0228
		416.4	0.0268

* 降伏応力

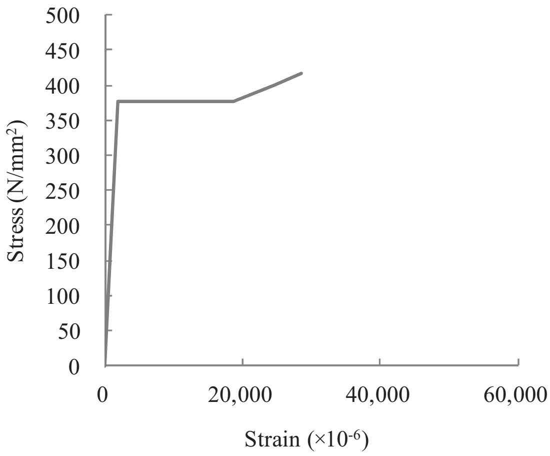
(c) ボルトおよび座金（F10T）

ヤング率 E (N/mm²)	ポアソン比 ν	応力 (N/mm²)	塑性ひずみ ε_p
200,000	0.30	900*	0
		900	0.0044
		1,000	0.0429

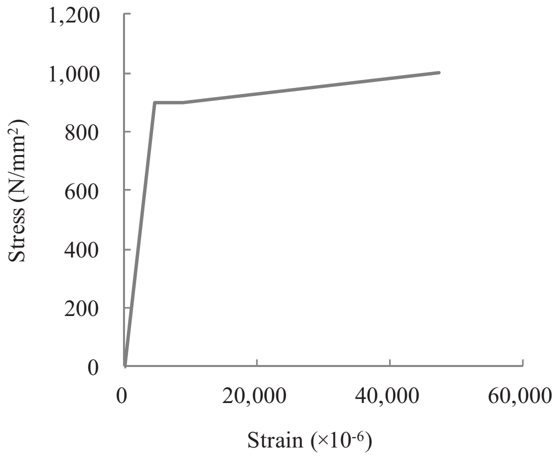
* 降伏応力



(a) 母板（SM490Y）



(b) 連結板（SM490Y）



(c) ボルトおよび座金（F10T）

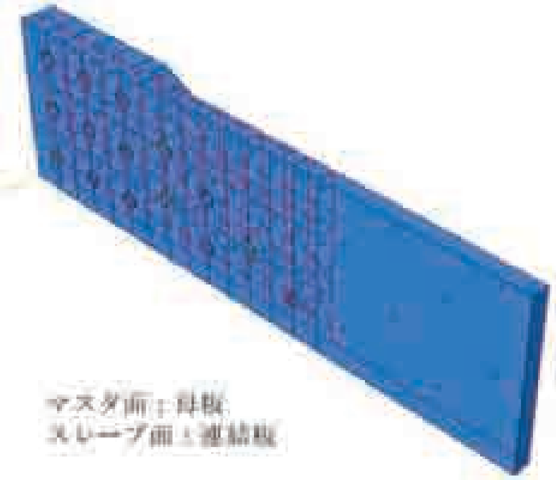
図-3.2.3 解析に設定した材料特性

3.2.3　接触条件

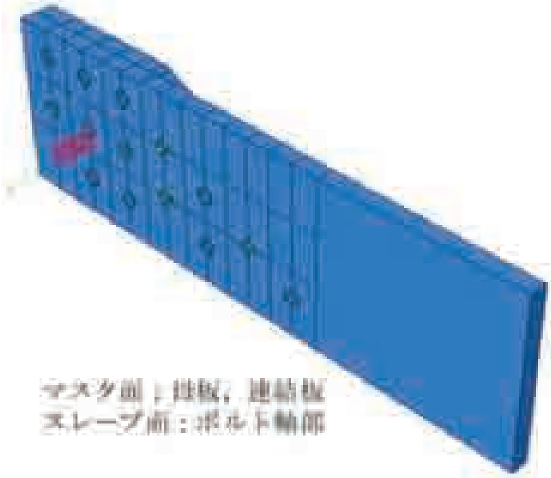
Abaqus/Standard では，接触，離間および固着を表現する「接触相互作用」のモデル化では，接触を設定した様々な位置に条件付拘束を与えて計算する。これらの拘束の位置と条件は，接触定式化で使用される接触の計算手法に従って定められる。Abaqus/Standard では，「節点－サーフェス（Node-to-Surface)」と「サーフェス－サーフェス（Surface-to-Surface)」の計算手法が選択できる。

「サーフェス－サーフェス」の特徴として，接触条件は，「節点－サーフェス」の計算時でのスレーブ節点など計算上の点の位置ではなく，スレーブ面上で平均的に接触条件が与えられため，個々の節点にはわずかな貫入がみられる可能性があるが，マスタ節点がスレーブ面へ大きく貫入が大きくなることはない。このことから，本解析では，「サーフェス－サーフェス（Surface-to-Surface)」の計算手法を選択した。

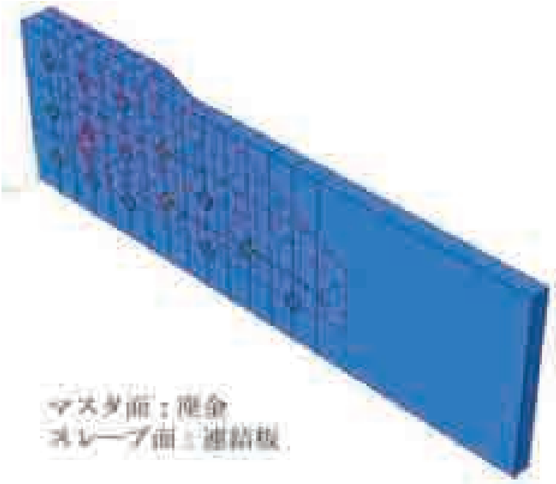
本解析ではマスタ面とスレーブ面を図-3.2.4 に示すように設定した。母板と連結板の接触は，接触面積が小さい連結板をスレーブ面としている。母板および連結板とボルト軸部との接触は，ボルト軸部をスレーブ面で統一している。連結板およびボルト軸部と座金との接触は，座金をマスタ面としている。このように各部材間において，接触，離間および固着状態を再現できるように設定した。すなわち，継手に作用する荷重が小さい場合は接触面の摩擦抵抗により荷重を伝達し，母板－連結板間のすべりが発生した後は，ボルト軸部と母板および連結板が接触し，その部分の支圧により荷重が伝達される状態へ移行する。



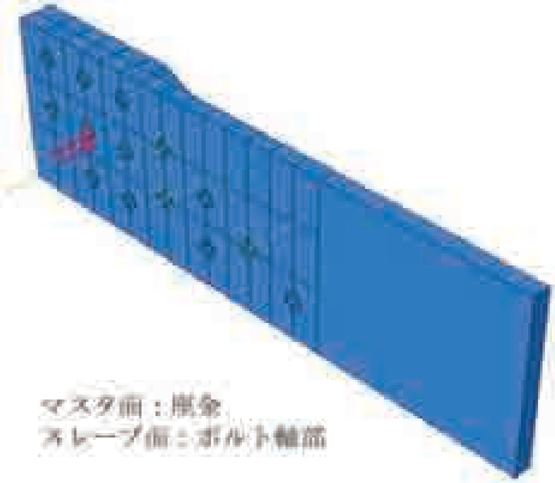
(a) 母板－連結板



(b) ボルト軸部－母板および連結板

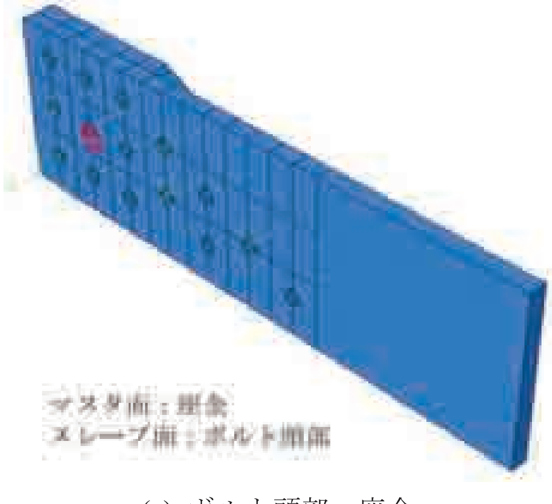


(c) 連結板－座金



(d) ボルト軸部－座金

赤線で囲んだ範囲：接触面を定義した領域



(e) ボルト頭部－座金

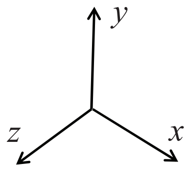


図-3.2.4　接触のマスタ面とスレーブ面の設定

解析における固着およびすべりは，図-3.2.5 に示す Coulomb 摩擦により定義される。すなわち，接触面にはたらくせん断応力が，摩擦係数および接触厚で決定される臨界せん断応力より小さい場合は固着状態ですべりが発生せず，臨界せん断応力を超えて接触面にせん断応力が発生する場合にはすべりが発生する。

また，本解析はすべりメカニズムの解明が目的であり，すべり発生までの評価に着眼点を置いているため，静止摩擦係数と動摩擦係数は等しい値を設定している。各接触面に設定した摩擦係数を表-3.2.2 に示す。母板と連結板，ボルト軸部とボルト，座金と連結板の接触対に対して設定した摩擦係数は 0.5 であり，試験体の接触面処理（無機ジンクリッチペイント塗装）に対応したすべり係数の推奨値[15)]を参考に設定した。

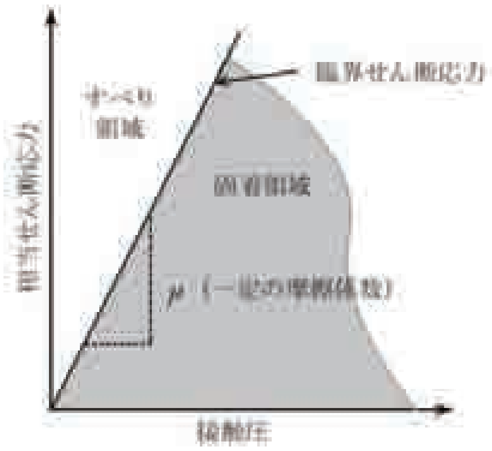


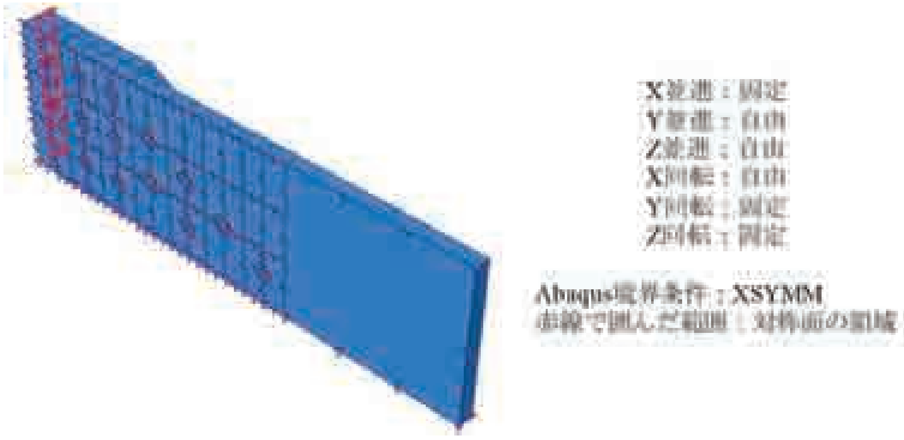
図-3.2.5　基本的な Coulomb 摩擦モデルのすべり領域

表-3.2.2　解析モデルに設定した摩擦係数

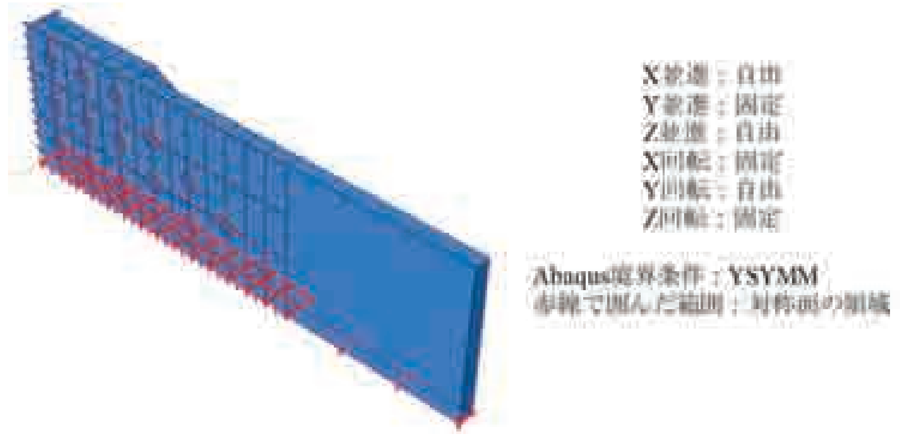
マスタ面	スレーブ面	摩擦係数
母板	連結板	0.5
母板，連結板	ボルト軸部	0.5
座金	連結板	0.5
座金	ボルト軸部	0.5
ボルト頭部	座金	1.0

3.2.4　解析手法

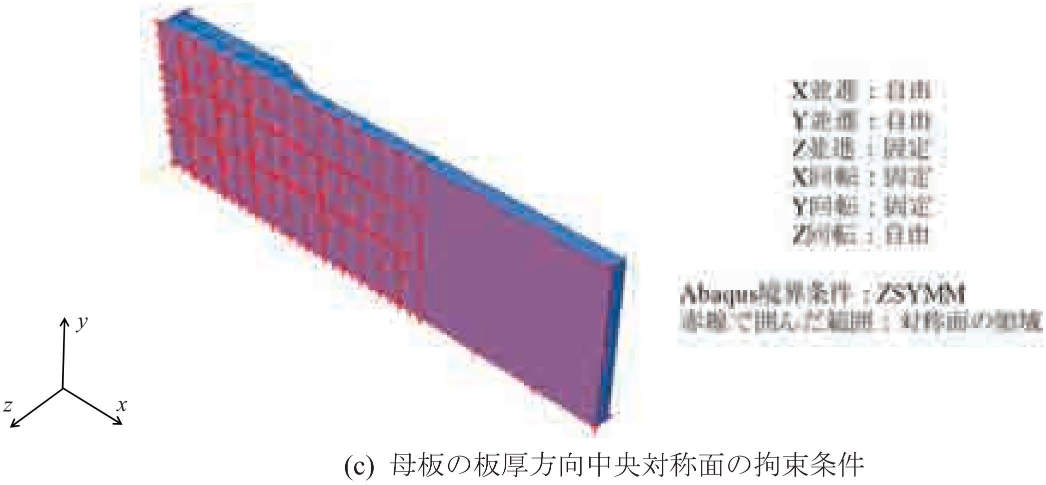
図-3.2.6 に解析モデルに与えた境界条件を示す。解析モデルは継手全体の形状，荷重状態，変形の対称性等を考慮して 1/8 モデルとしているため，それぞれの切断面には対称条件を設定している。切断面は，連結板の軸方向中央の対称面，母板および連結板の板幅方向中央の対称面，および母板の板厚方向中央の対称面の 3 箇所である。なお，ボルト軸部中央の対称面については，対称面に強制変位を与えて所定のボルト軸力をモデル化することから，境界条件を与えていない。



(a) 連結板の軸方向中央対称面の拘束条件



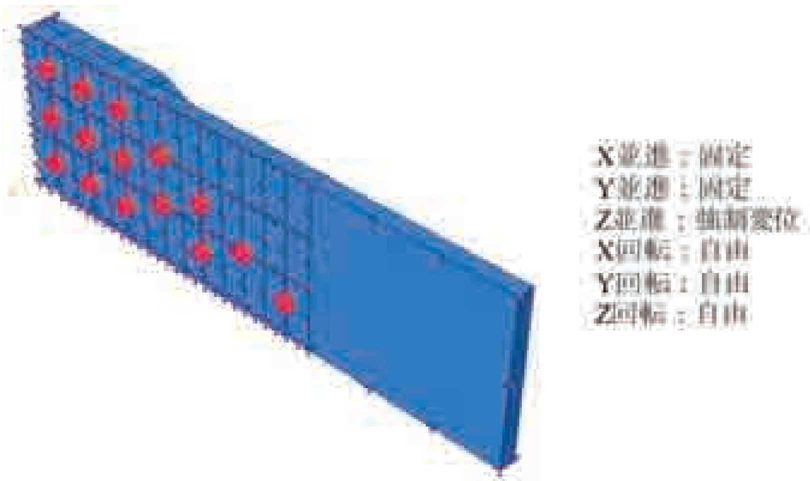
(b) 板幅方向中央の対称面の拘束条件



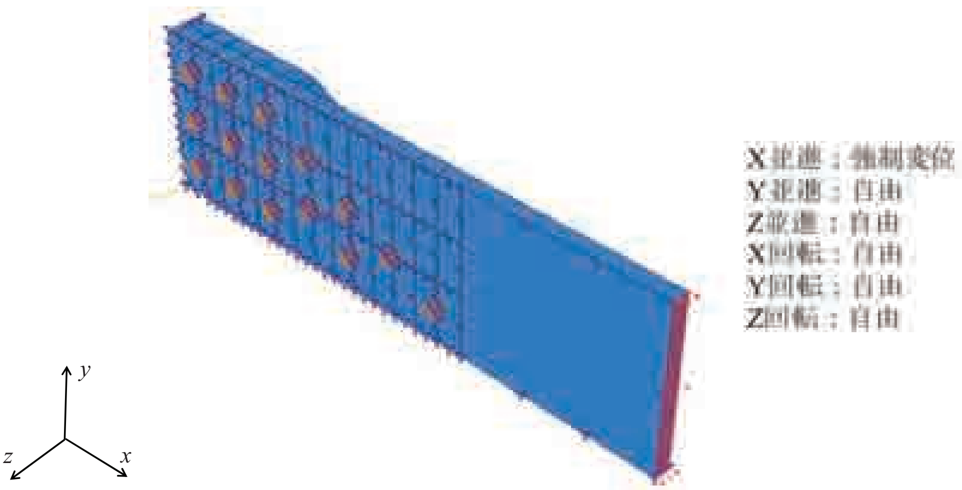
(c) 母板の板厚方向中央対称面の拘束条件

図-3.2.6　解析モデルの境界条件（拘束条件）

図-3.2.7 に解析ステップおよび荷重条件を示す。STEP-1 で設計ボルト軸力（205kN）に相当する強制変位をボルト軸部対称面に与えることでボルト軸力を導入する。STEP-2 では，母板外側の面に強制変位を与えることで継手に引張荷重を作用させる。なお，この時のボルト軸部の境界条件はボルト軸力導入時に与えた強制変位はそのまま STEP-1 から STEP-2 へと継続するが，X 方向および Y 方向の並進は固定から自由へと変更する。



(a) STEP-1　ボルト軸力導入時



(b) STEP-2 母板引張時

図-3.2.7　解析ステップ

3.2.5　解析におけるすべりの定義

既往の厚板多列高力ボルト摩擦接合継手を対象とした解析[9)]では，すべり試験結果および解析結果に基づき母板と連結板の相対変位に着目してすべり発生を定義している。本解析でもその定義と同じく，解析における最大荷重発生時，もしくは図-3.2.8 に示す母板と連結板の接触面の継手軸内側端部から5mm の位置における相対変位が 0.2mm に達したときのうち，継手軸内側相対変位が小さい方の時点をすべり発生と定義する。

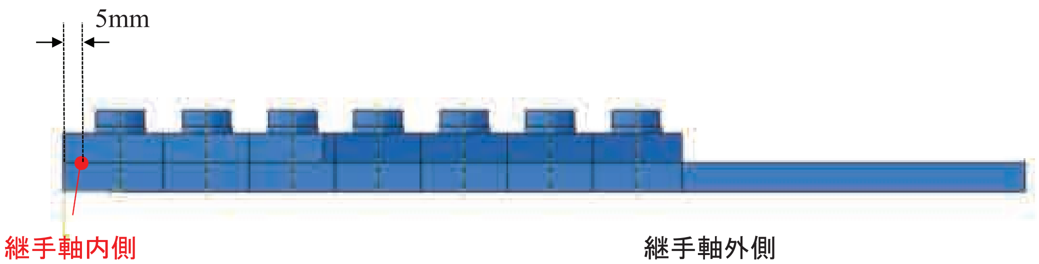


図-3.2.8　継手軸内側の相対変位計測位置

3.3 解析ケース

3.3.1 すべり耐力試験との比較ケース

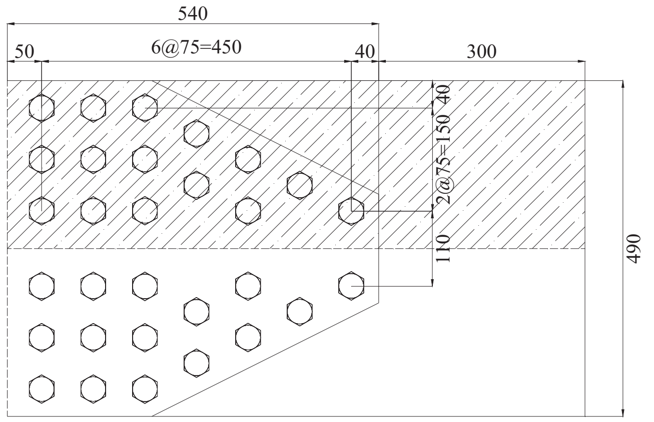
すべり試験結果（付属資料-1 参照）と解析結果を比較し，解析の再現性を確認するために設定した解析ケースの諸元を表-3.3.1 に，解析モデルの寸法および形状を図-3.3.1 に示す。寸法および形状はすべり試験の試験体と同一に設定している。

ケース No.1 は母板と連結板の接合面における摩擦係数を 0.50 に設定したケースである。ケース No.2 はすべり試験により得られたすべり荷重と解析における最大荷重がほぼ一致するように摩擦係数を調整し，摩擦係数を 0.67 に設定したケースである。材料特性は変更しておらず母板の降伏耐力は変化せず，摩擦係数の調整により設計すべり耐力が大きくなり，結果としてすべり/降伏耐力比 β が大きくなっている。

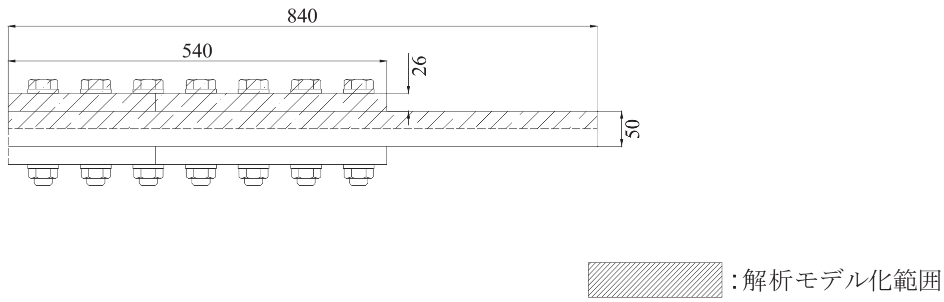
本ケースによる解析結果と，すべり試験によって得られた荷重－相対変位関係，母板および連結板のひずみ，ボルト軸力などの試験結果を比較することで砲台配置された高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動を解明するとともに，解析の再現性を確認する。

表-3.3.1 解析ケース

<table>
<tr><td colspan="2">Case</td><td>No.1</td><td>No.2</td></tr>
<tr><td colspan="2">実験/解析</td><td colspan="2">解析</td></tr>
<tr><td colspan="2">ボルト配置</td><td colspan="2">砲台配置</td></tr>
<tr><td colspan="2">ボルト列数</td><td colspan="2">7</td></tr>
<tr><td colspan="2">ボルト行数</td><td colspan="2">6</td></tr>
<tr><td colspan="2">設計すべり耐力 P_d (kN)</td><td>6,150</td><td>8,241</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ボルトM22(F10T)
孔径24.5mm</td><td>ボルト本数 n</td><td colspan="2">30</td></tr>
<tr><td>目標導入軸力 N_0
(kN/本)</td><td colspan="2">205</td></tr>
<tr><td>母材 SM490Y</td><td>板厚 t_c (mm)</td><td colspan="2">50</td></tr>
<tr><td>連結板 SM490Y</td><td>板厚 t_s (mm)</td><td colspan="2">26</td></tr>
<tr><td colspan="2">試験体幅 W (mm)</td><td colspan="2">490</td></tr>
<tr><td colspan="2">母板降伏耐力 P_{cy} (kN)</td><td colspan="2">6,231</td></tr>
<tr><td colspan="2">連結板板降伏耐力 P_{sy} (kN)</td><td colspan="2">6,701</td></tr>
<tr><td colspan="2">解析すべり/母板降伏耐力比 β</td><td>0.99</td><td>1.32</td></tr>
<tr><td colspan="2">解析連結板/母材降伏耐力比 γ</td><td colspan="2">1.08</td></tr>
<tr><td colspan="2">解析における摩擦係数 μ</td><td>0.50</td><td>0.67</td></tr>
</table>



(a) 平面図



(b) 側面図

図-3.3.1 解析モデルの寸法（単位：mm）

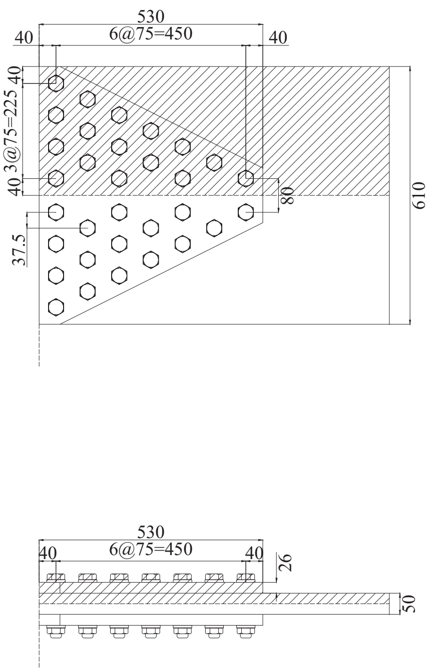
3.3.2　すべり挙動に影響を与える構造諸元の検討ケース

砲台配置の継手の各種構造諸元がすべり挙動へ与える影響を検討するために設定した解析ケースの諸元を**表-3.3.2** に示す。各解析ケースの形状を**図-3.3.2** に示す。

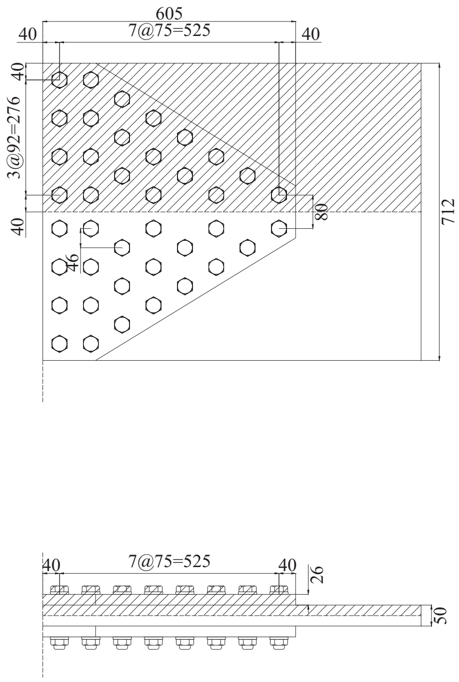
解析ケース名の先頭のアルファベットはボルト配置を示しており，St は砲台配置，G は矩形配置であることを示す。次いで，1 番目の数字は砲台配置の場合は最大ボルト列数を，矩形配置の場合は 1 ボルト線上に並ぶボルト本数を示している。2 番目の数字はすべり/降伏耐力比 β の値を示している。最後に 4top が続くものは，砲台配置における先端ボルト行数が 4 行であることを示し，6row がつくものは矩形部分のボルト行数が 6 行であることを示す。特に記載がないものは，先端ボルト行数 2 行かつ矩形部分のボルト行数が 8 行であることを示す。また，G-8-0.87*および St-11-0.87*は他のケースと異なり，板厚が 100mm であることを示す。

表-3.3.2 解析ケースの緒元

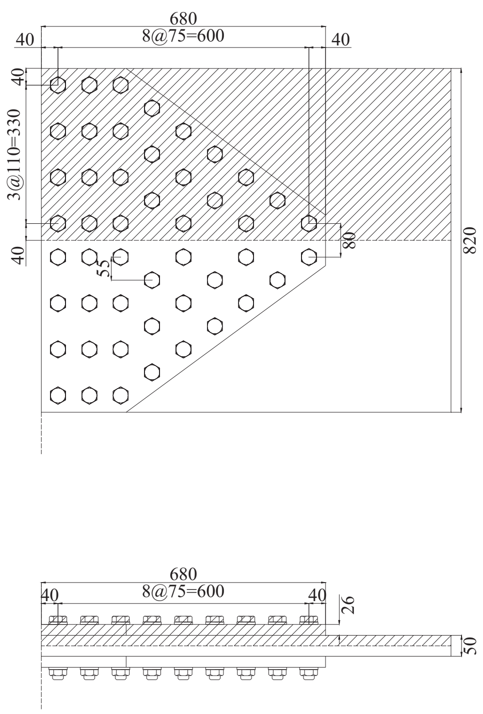
解析ケース	最大ボルト列数	ボルト行数 矩形部分	先端	母板厚 (mm)	連結板厚 (mm)	桁幅 (mm)	継手長さ (mm)	ボルト間隔 (mm) p	g	すべり/降伏耐力比β	連結板/母板降伏耐力比
St-7-0.87	7					610	530		37.5		
St-8-0.87	8					712	605		46.0		
St-9-0.87	9					820	680		55.0	0.87	
St-10-0.87	10					928	755		64.0		
St-12-0.87	12					1112	905		82.0		
St-7-1.20	7					496	530		28.0		
St-8-1.20	8		2			568	605		34.0		
St-9-1.20	9					640	680		40.5	1.20	
St-10-1.20	10					724	755		47.0		
St-11-1.20	11	8				796	830		53.0		
St-12-1.20	12					874	905		59.5		
St-8-1.60	8					478	605		26.5		
St-10-1.60	10			50		592	755		36.0	1.60	
St-12-1.60	12					700	905		45.0		
St-5-0.87_4top	5					562	380		33.5		
St-7-0.87_4top	7					766	530		50.5		
St-8-0.87_4top	8		4			868	605		59.0		
St-10-0.87_4top	10				26	1078	755	75.0	76.5		1.08
St-12-0.87_4top	12					1258	905		94.0		
St-6-0.87_6row	6					460	455		37.5	0.87	
St-7-0.87_6row	7					536	530		47.0		
St-8-0.87_6row	8	6	2			616	605		57.0		
St-10-0.87_6row	10					768	755		76.0		
St-12-0.87_6row	12					928	905		96.0		
G-8-0.87*	8	8	8	100		610	605		75.0	0.87	
G-8-1.74	8	8	8	50		610	605		75.0	1.74	
St-11-0.87*	11			100		610	605		75.0	0.87	
St-11-1.74	11						830		75.0	1.74	
St-8-1.09	8						605			1.09	
St-9-1.31	9					610	680			1.31	
St-10-1.53	10	8	2	50			755			1.53	
St-8-1.30_6row	8						605		37.5	1.30	
St-9-1.51_6row	9					460	680			1.51	
St-10-1.73_6row	10						755			1.73	



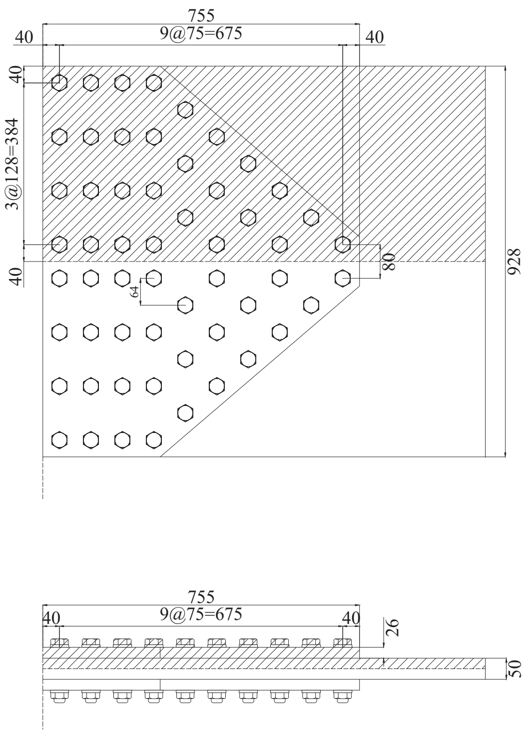
(a) St-7-0.87



(b) St-8-0.87

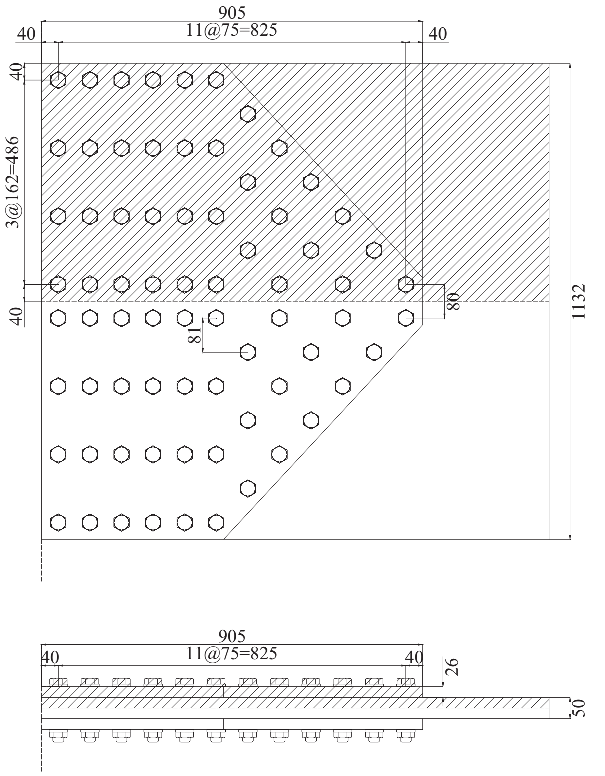


(c) St-9-0.87

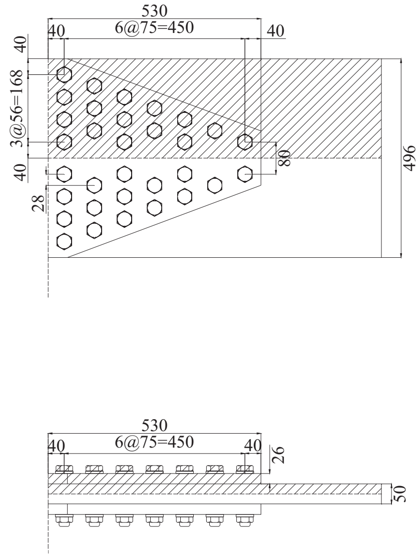


(d) St-10-0.87

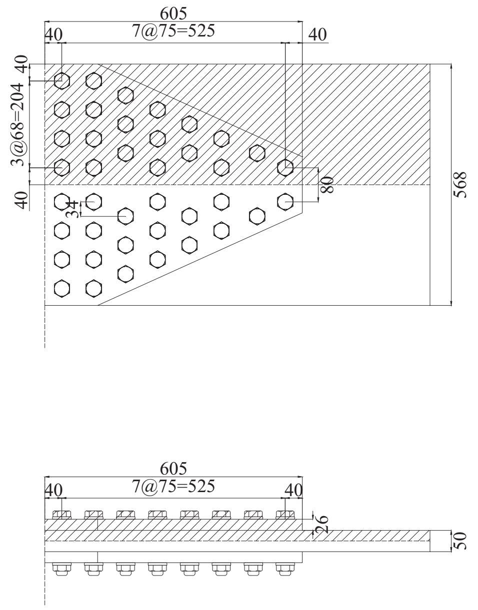
図-3.3.2　解析ケースの形状（単位：mm）（次頁に続く）



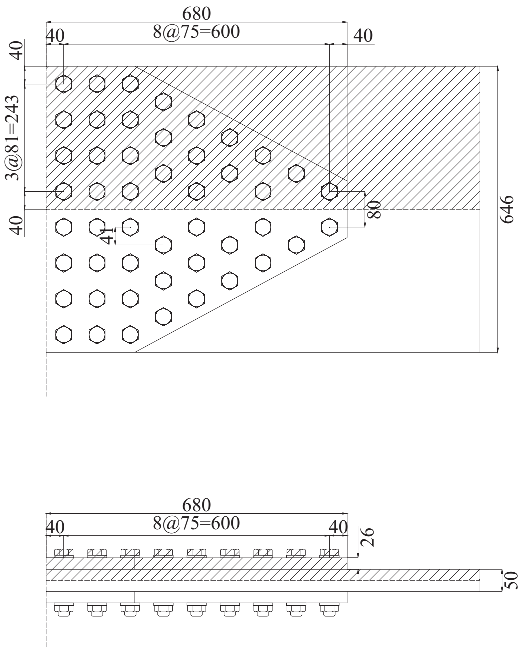
(e) St-12-0.87



(f) St-7-1.20

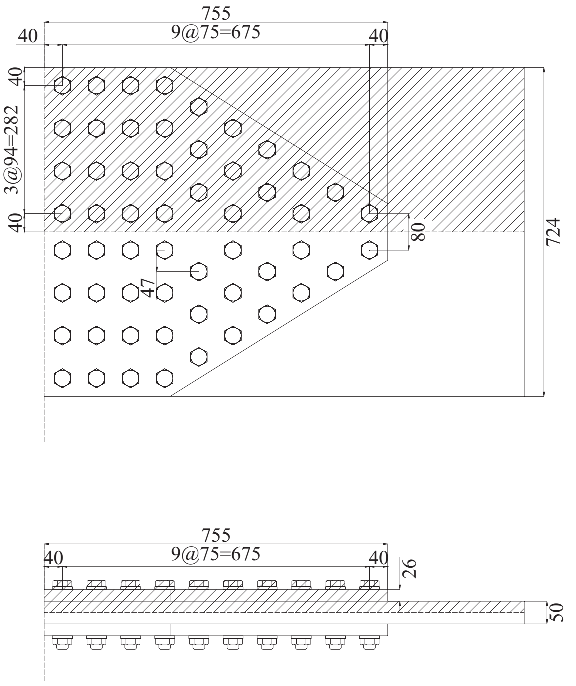


(g) St-8-1.20

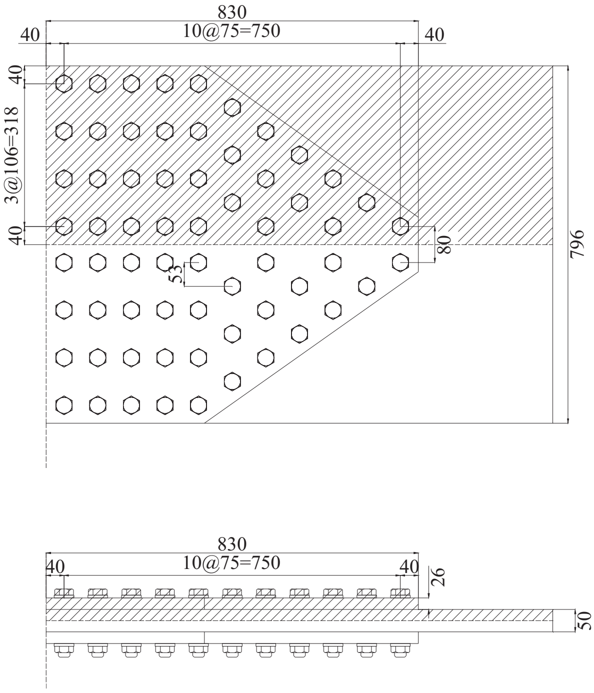


(h) St-9-1.20

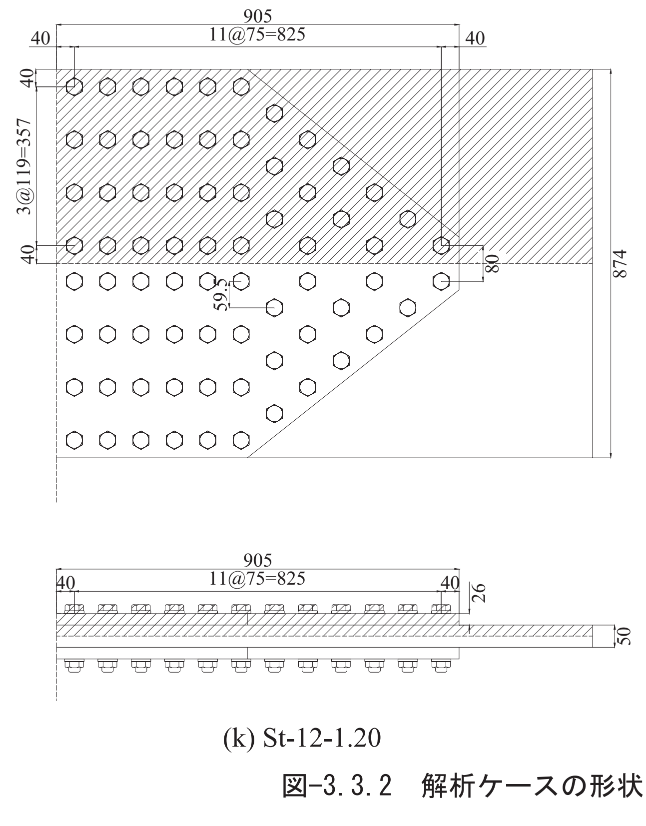
図-3.3.2　解析ケースの形状（単位：mm）（次頁に続く）



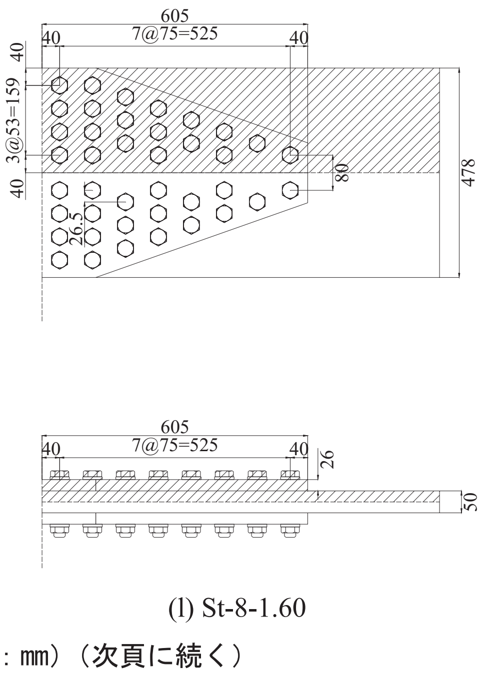
(i) St-10-1.20



(j) St-11-1.20

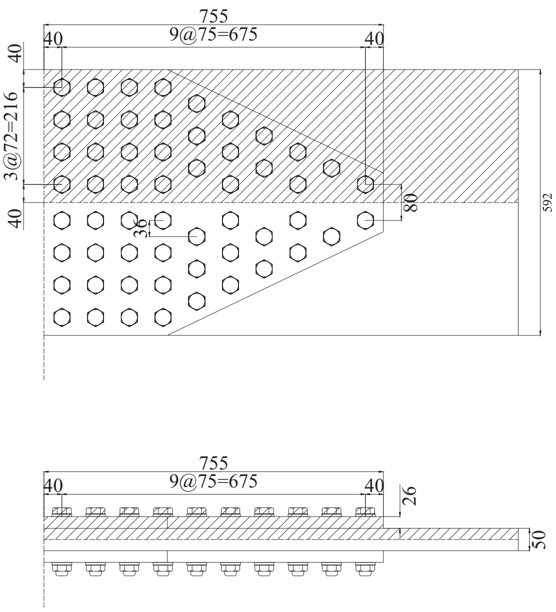


(k) St-12-1.20

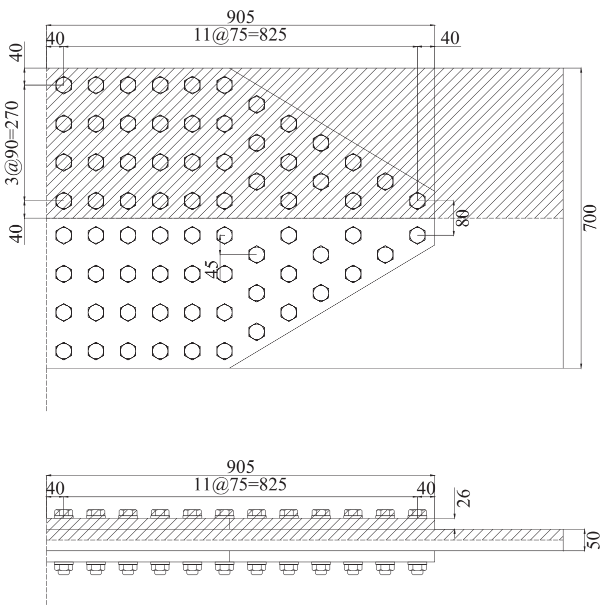


(l) St-8-1.60

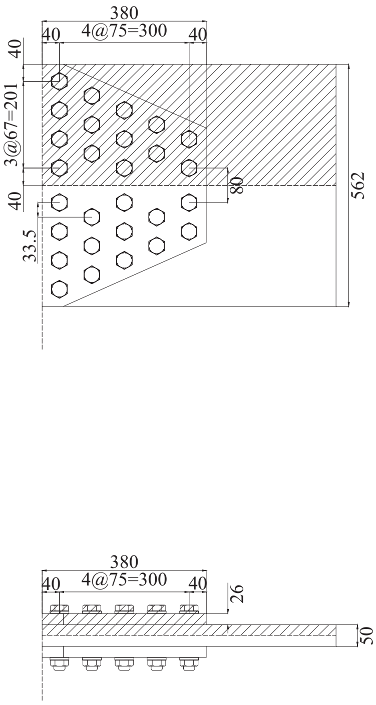
図-3.3.2　解析ケースの形状（単位：mm）（次頁に続く）



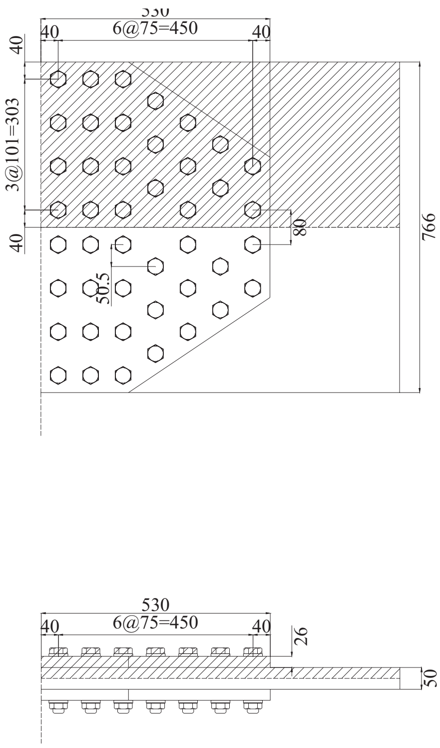
(m) St-10-1.60



(n) St-12-1.60

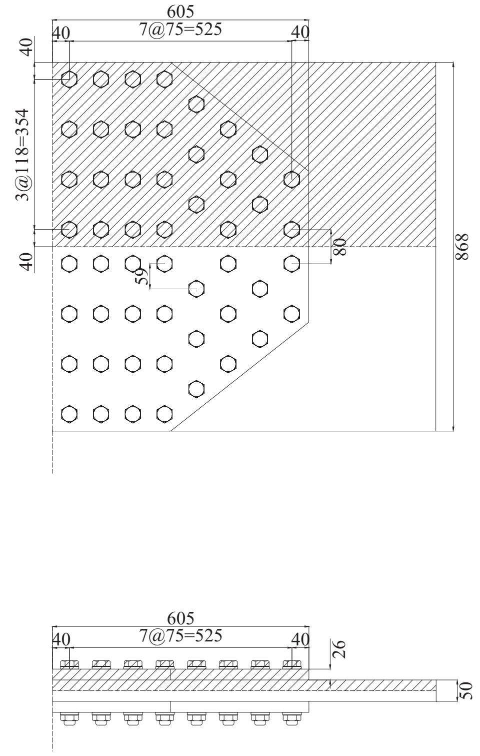


(o) St-5-0.87_4top

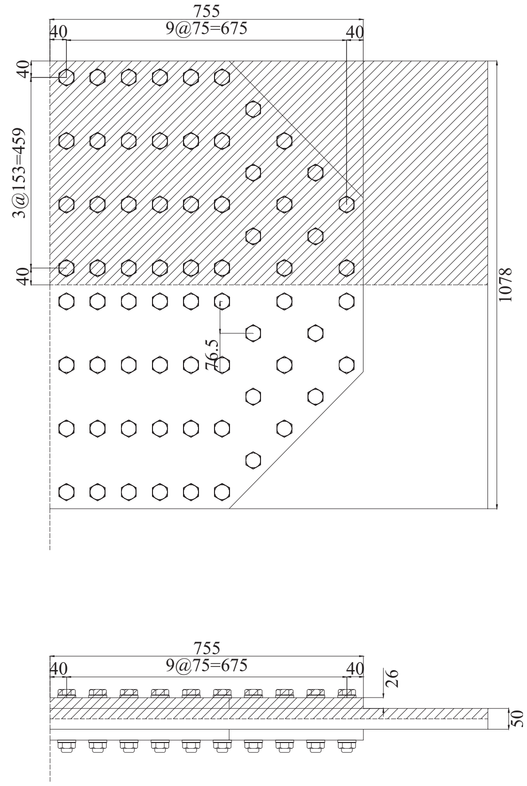


(p) St-7-0.87_4top

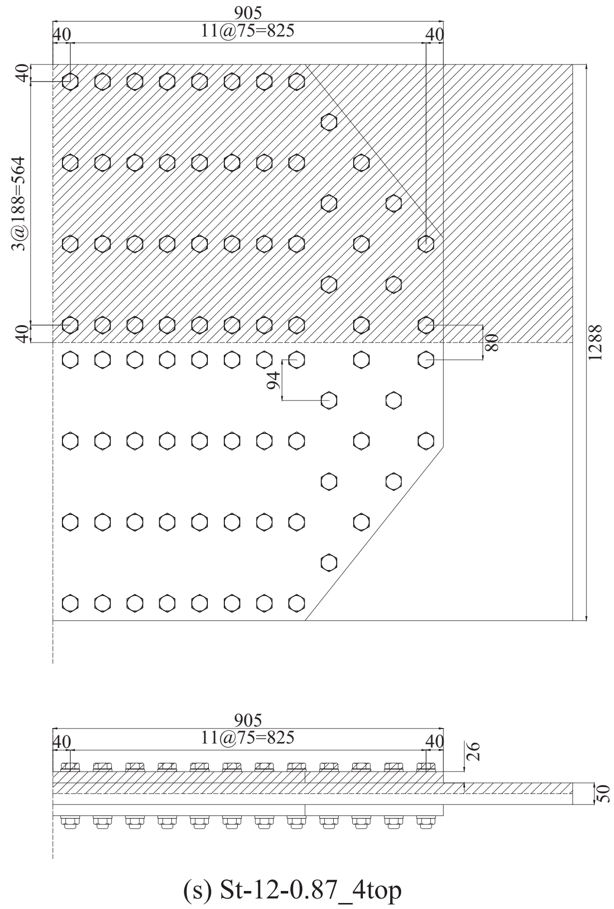
図-3.3.2　解析ケースの形状（単位：mm）（次頁に続く）



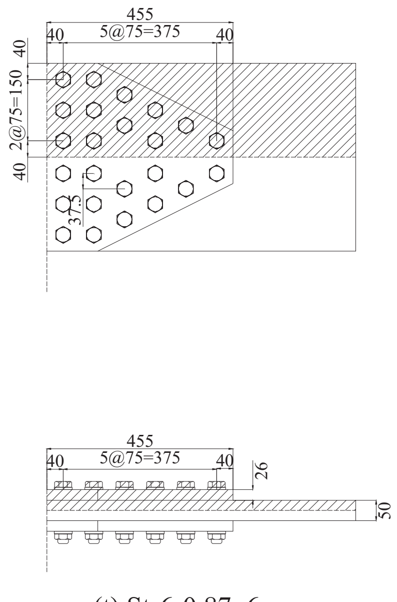
(q) St-8-0.87_4top



(r) St-10-0.87_4top

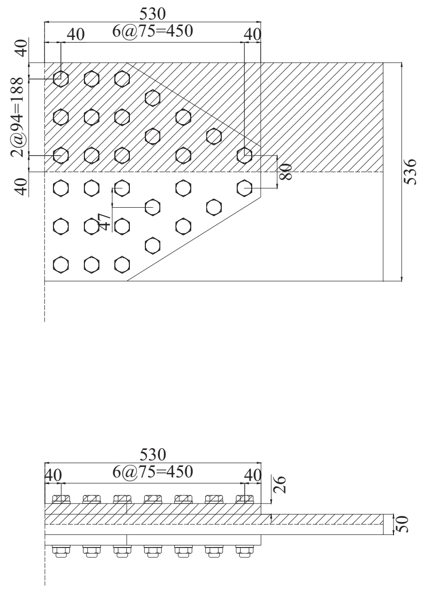


(s) St-12-0.87_4top

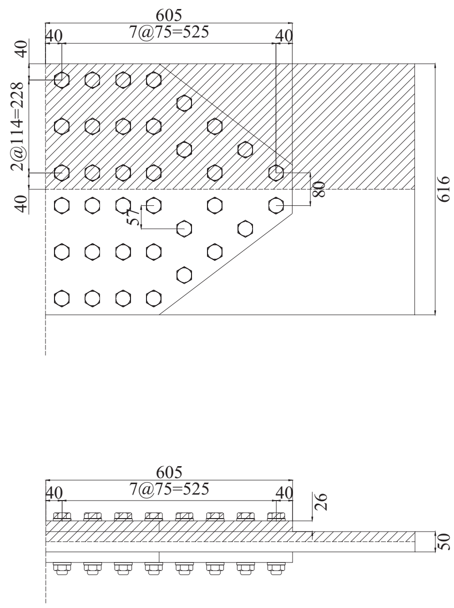


(t) St-6-0.87_6row

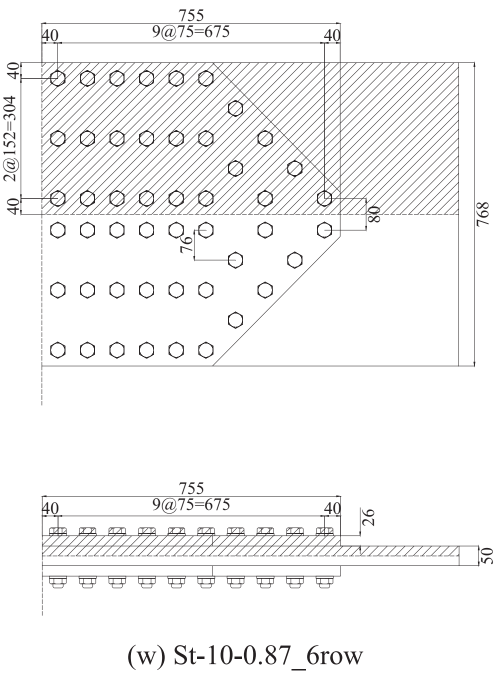
図-3.3.2　解析ケースの形状（単位：mm）（次頁に続く）



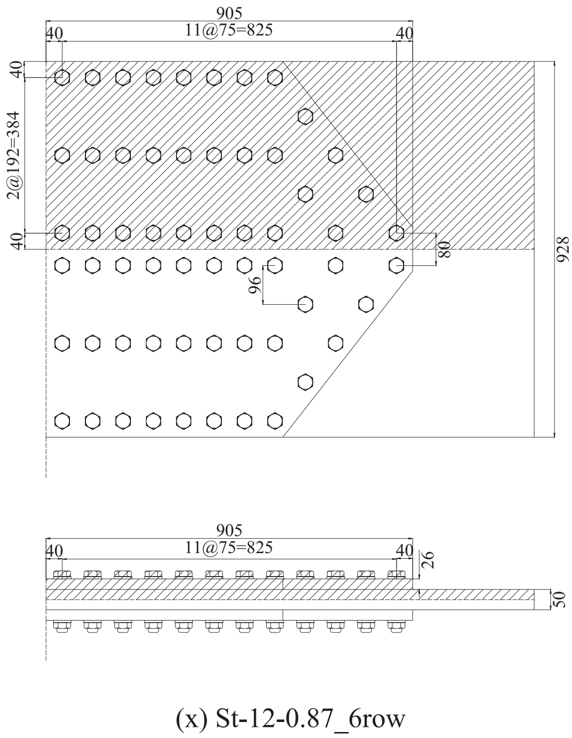
(u) St-7-0.87_6row



(v) St-8-0.87_6row

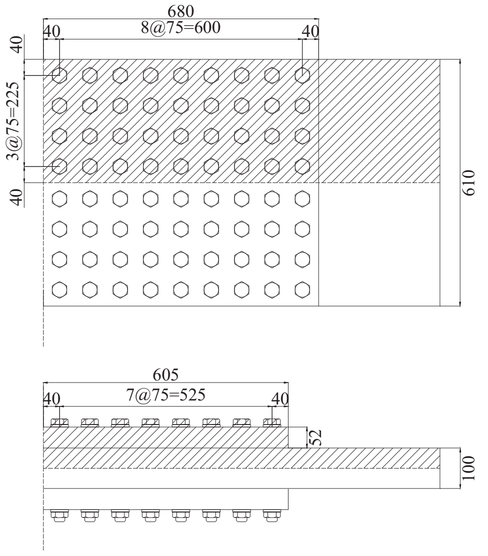


(w) St-10-0.87_6row

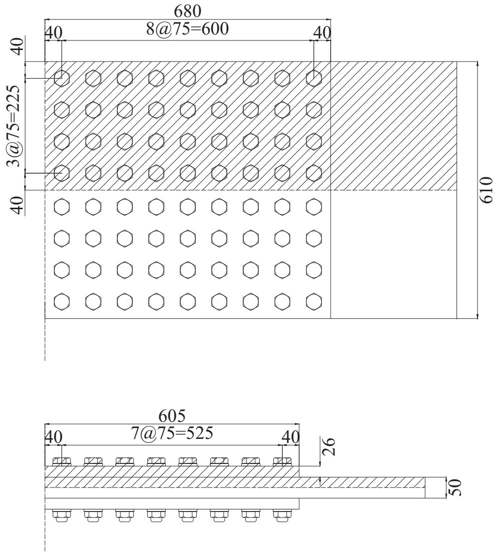


(x) St-12-0.87_6row

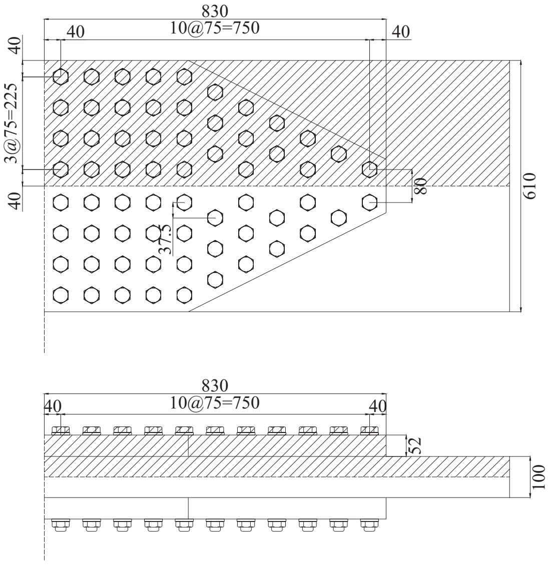
図-3.3.2 解析ケースの形状（単位：mm）（次頁に続く）



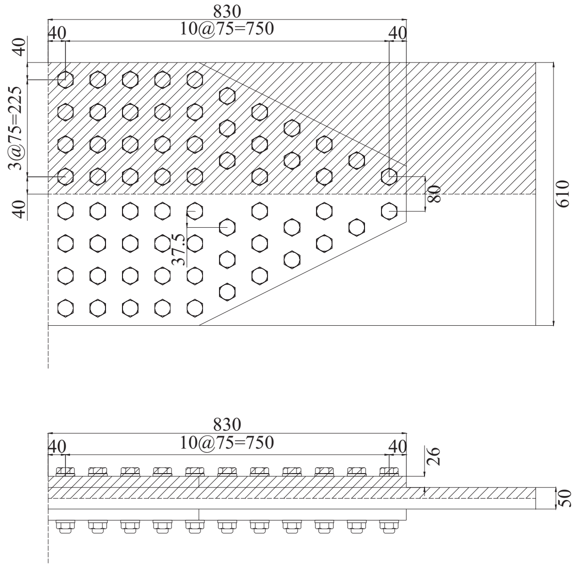
(y) G-8-0.87*



(z) G-8-1.74

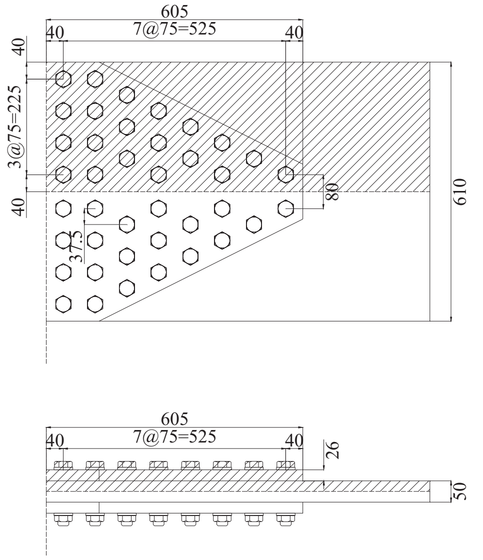


(aa) St-11-0.87*

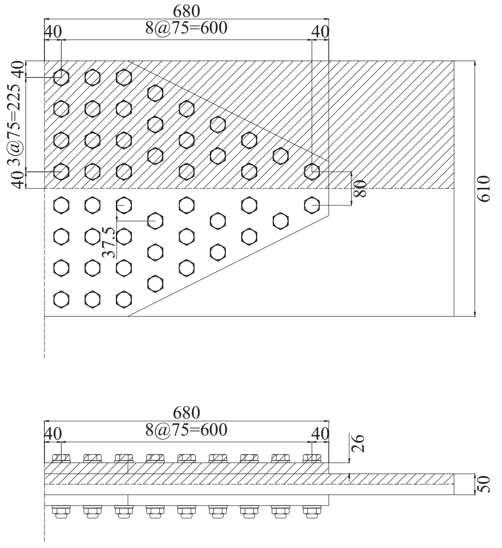


(ab) St-11-1.74

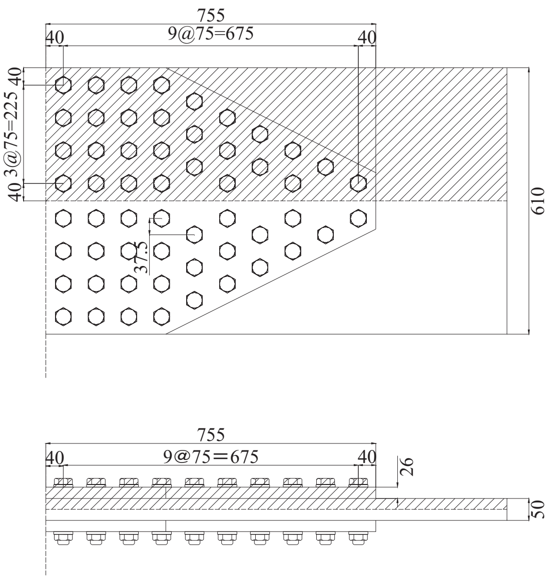
図-3.3.2　解析ケースの形状（単位：mm）（次頁に続く）



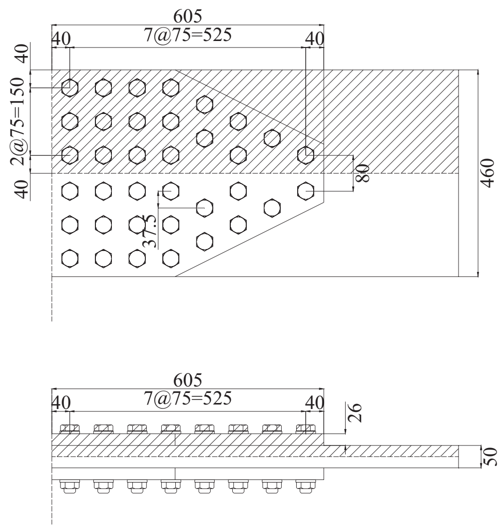
(ac) St-8-1.09



(ad) St-9-1.31

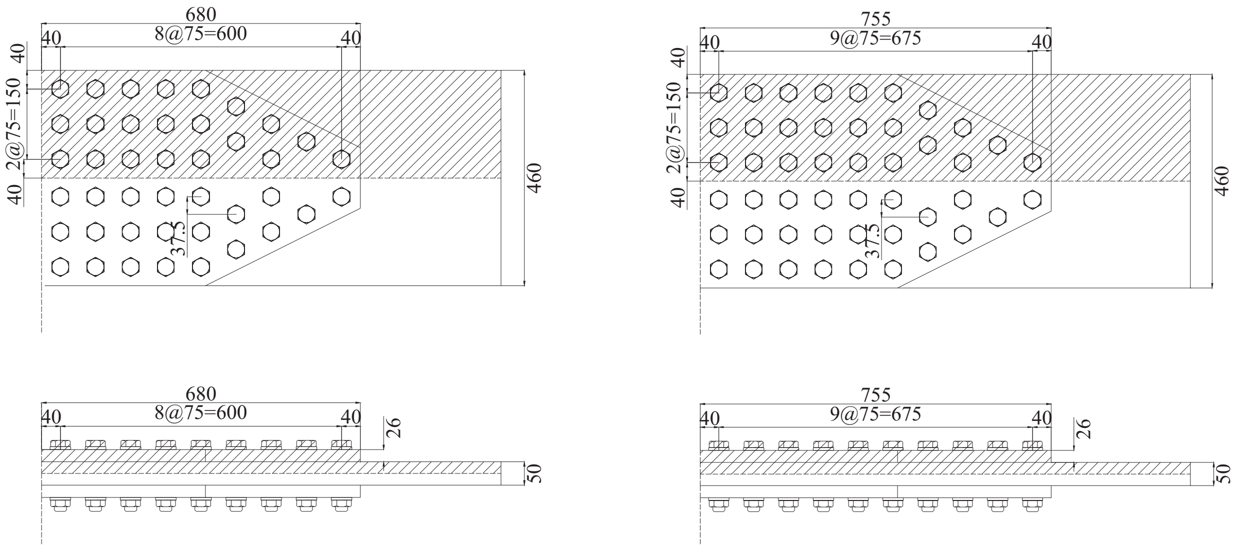


(ae) St-10-1.53



(af) St-8-1.30_6row

図-3.3.2　解析ケースの形状（単位：mm）（次頁に続く）



(ag) St-9-1.51_6row

(ah) St-10-1.73_6row

図-3.3.2　解析ケースの形状（単位：mm）

解析ケースと比較項目の対応状況を表-3.3.3に示す。比較項目に対して，表内で同じ記号が付いた解析ケースを比較することで着目する比較項目の検討を行う。また，D'とD"のように，対になる解析ケースがないものがあるが，これは，各比較項目に対するすべり係数の低下傾向を把握するためのケースである。

比較項目Aとして，矩形部分の行数を8行，先端ボルト行数を2行とした砲台配置継手において，ボルト列数の影響を検討するため，最大ボルト列数を7，8，9，10および12列としたケースを設定した。ボルト列数を増減する際は，千鳥部分のボルト列数は一定のまま，矩形部分の列数で調整している。また，着目したボルト列数のみのすべり挙動への影響を検討するため，各ケースですべり/降伏耐力比βが一定となるよう，継手幅およびボルトゲージを調整し，すべり/降伏耐力比βが0.87のすべり先行型とした。これを基本ケースとする。

次に，比較項目B1，B2として，すべり先行型（β=0.87）および降伏先行型（β=1.74）において，砲台配置と矩形配置のボルト配置による影響を検討するため，同じボルト本数で矩形および砲台に配置したケースを設定した。

さらに，比較項目C1～C4として，すべり/降伏耐力比βがすべり挙動およびすべり耐力に与える影響を検討するため，8, 10および12列の砲台配置継手において，すべり/降伏耐力比βがそれぞれ0.86，1.20および1.60の解析ケースを設定した。各ボルト列数において，すべり/降伏耐力比βがすべり挙動およびすべり耐力に与える影響を検討する。

また，砲台配置された高力ボルト摩擦接合継手の実績調査において，矩形部分のボルト行数として6行から10行，先端ボルト行数として，先端ボルトが2行の実績が最も多く，次いで，4行のものが多かったことから，比較項目D1～D4として，先端ボルト行数がすべり挙動およびすべり耐力に与える影響を検討するため，すべり先行型の継手（すべり/降伏耐力比β=0.87）において，先端ボルト行数を4行とした解析ケースを設定し，基本解析ケースと比較する。

最後に，比較項目E1~E4として，矩形部分のボルト行数についても同様の検討を行うため，すべり先行型（すべり/降伏耐力比β=0.87）かつ，矩形部分のボルト行数が6行の解析ケースを設定し，基本ケースと比較する。

表-3.3.3 解析ケースと比較項目

解析ケース	比較項目				
	ボルト列数	ボルト配置	β	先端 ボルト行	矩形部分 ボルト行
St-7-0.87	A		C'	D1	E1
St-8-0.87	A		C1	D2	E2
St-9-0.87	A		C2	D'	E'
St-10-0.87	A		C3	D3	E3
St-12-0.87	A		C4	D4	E4
St-7-1.20			C''		
St-8-1.20			C1		
St-9-1.20			C2		
St-10-1.20			C3		
St-11-1.20			C'''		
St-12-1.20			C4		
St-8-1.60			C1		
St-10-1.60			C2		
St-12-1.60			C4		
St-5-0.87_4top				D''	
St-7-0.87_4top				D1	
St-8-0.87_4top				D2	
St-10-0.87_4top				D3	
St-12-0.87_4top				D4	
St-6-0.87_6row					E''
St-7-0.87_6row					E1
St-8-0.87_6row					E2
St-10-0.87_6row					E3
St-12-0.87_6row					E4
G-8-0.87*		B1			
G-8-1.74		B2			
St-11-0.87*		B1			
St-11-1.74		B2			
St-8-1.09	継手実績を反映				
St-9-1.31					
St-10-1.53					
St-8-1.30_6row					
St-9-1.51_6row					
St-10-1.73_6row					

3.4 解析結果およびすべり耐力試験結果との比較

3.4.1 すべり荷重およびすべり係数

表-3.4.1 に解析およびすべり試験により得られたすべり荷重，ボルト軸力およびすべり係数を示す。なお，すべり試験の結果は 3 体の平均値である。

解析と実験を比較すると，解析ケース No.2 は実験のすべり荷重と解析のすべり荷重が一致するように摩擦係数を設定したため，実験結果のすべり荷重とほぼ一致し，その差は 1%以下となっている。また，解析ケース No.1 と No.2 において，解析モデルに設定した摩擦係数に対するすべり係数の比を比較すると，No.1 は 0.94，No.2 は 0.89 であり，No.2 の方が摩擦係数に対してすべり係数の低下度が大きくなっている。これは，No.2 の摩擦係数を調整し高くなったため，すべり/降伏耐力比が No.2 の方が大きく，すなわち，すべり時の荷重方向の発生応力が高く，ポアソン効果によるボルト軸力の抜けが大きくなったことが原因と考えられる。

表-3.4.1 解析およびすべり試験の結果

	解析		実験
	No.1	No.2	砲台配置
ボルト列数	7	7	7
すべり荷重*1 (kN)	6,172	7,314	7,349
ボルト軸力*2 (kN)	219	204.7	197.0
すべり係数*3	0.47	0.60	0.62

*1) 解析：最大荷重発生時，もしくは継手内側位置での連結板と母板間の相対変位が 0.2mm に達した時のうち継手内側の相対変位が小さい方の時点

実験：最大荷重発生時

*2) 解析：導入軸力，実験：軸力計測を行ったボルトの試験前軸力

*3) すべり係数算出式：

$$\mu_2 = \frac{P_{SL}}{n \cdot m \cdot N}$$

ここで，　P_{SL}：すべり荷重(kN)，m：摩擦面数(＝2)，n：ボルト本数，N：試験前軸力 (kN)

3.4.2　荷重－相対変位関係

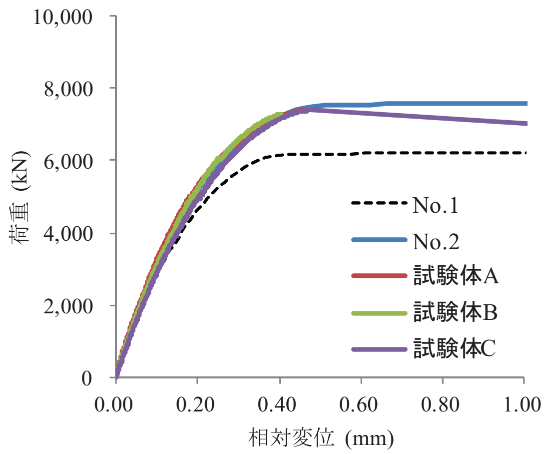
図-3.4.1 に解析および実験で得られた荷重と各箇所の相対変位との関係を示す。すべり試験体は計 3 体で実施したため，試験体 A，B，C の 3 体分の結果を示している。相対変位の測定箇所は**図-3.4.2** に示す通りである。

図-3.4.1 より，すべり試験結果と解析ケース No.2 を比較すると，母材間，継手内側，第 3 列ボルトコバ面位置における相対変位と荷重の関係はよく一致しているといえる。しかし，第 5 列目，第 7 列目および継手軸外側位置における相対変位と荷重の関係は，実験の方が大きくなった。また，解析ケース No.1 と実験を比較するとおよそ 3,000kN までは一致しているが，それ以上の荷重レベルになると解析において接合面の摩擦係数として設定した値が小さいため，実験に比べて，低い荷重レベルで相対変位が大きくなっている。解析ケース No.1 と No.2 で比較でも同様のことがいえる。

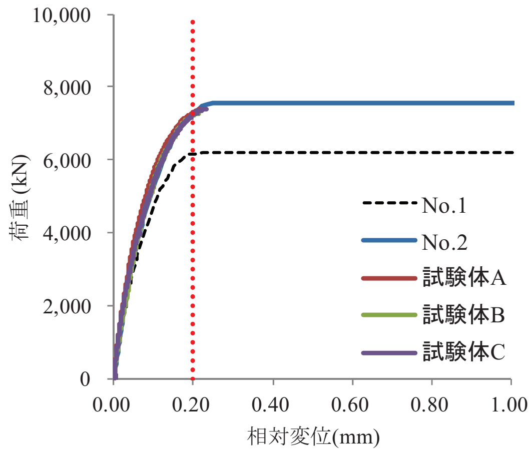
図-3.4.3 にすべり発生時における継手軸方向コバ面の相対変位分布を示す。ここで，解析におけるすべり発生は 3.2.5 で述べた「解析におけるすべりの定義」にしたがい，継手軸内側の相対変位が 0.2mm に達した時点をすべりとしている。

実験および解析ともに母材間の相対変位は大きくなっている。さらに，母材－連結板間の相対変位で比較すると，継手軸内側の相対変位はよく一致しており，すべり試験ではすべり発生時において継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm となっている。また，継手軸中央までは相対変位の分布同様の傾向を示しており，相対変位の最小値は No.1 を除き同程度の結果であった。しかし，継手軸方向の外側では，実験と解析で相対変位に差が生じている。また，解析において，摩擦係数が異なるケース No.1 と No.2 で比較するとすべり発生時における継手外側の相対変位は摩擦係数を 0.67 と高くしたケースの方が大きくなっている。これはケース No.2 の摩擦係数を高く設定したことにより，すべり発生時における作用荷重が大きくなったため，継手外側の方が作用断面力が大きくなり，母板の変位量が大きくなることで，相対変位も大きくなったと考えられる。

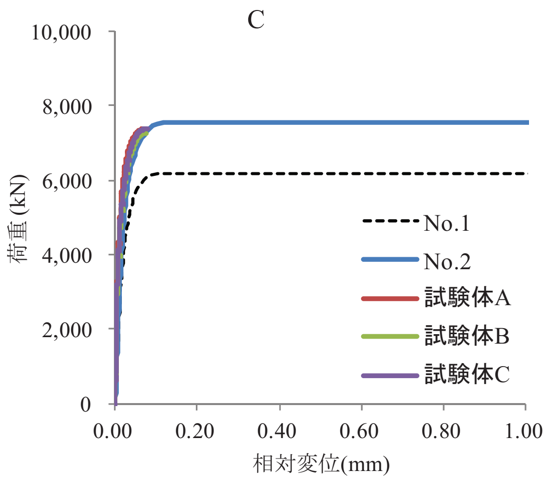
継手軸方向の外側相対変位は作用荷重の大小の影響を受け，一方で継手軸方向の内側ではその影響を受けにくい結果となった。さらに，実験においては，すべり発生時の継手軸方向の内側相対変位がすべての試験体において，0.2mm 程度となったことからも，「解析におけるすべりの定義」を「最大荷重発生時，あるいは継手内側の相対変位が 0.2mm に達した時のうち，継手内側の相対変位が小さい方の時点」とし，すべり荷重およびすべり係数を評価することで，すべり挙動を評価できると考えられる。



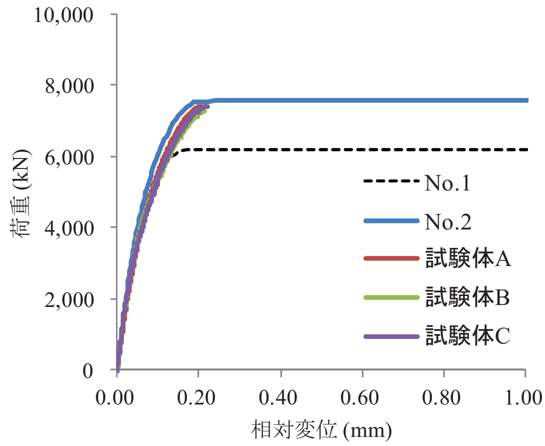
(a) 母材間



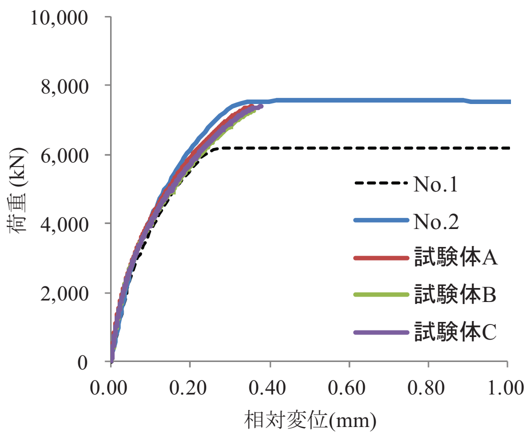
(b) 継手内側



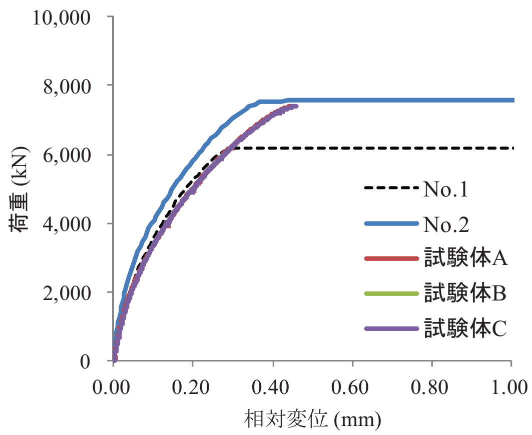
(c) 第 3 列目ボルトコバ面位置



(d) 第 5 列目ボルトコバ面位置

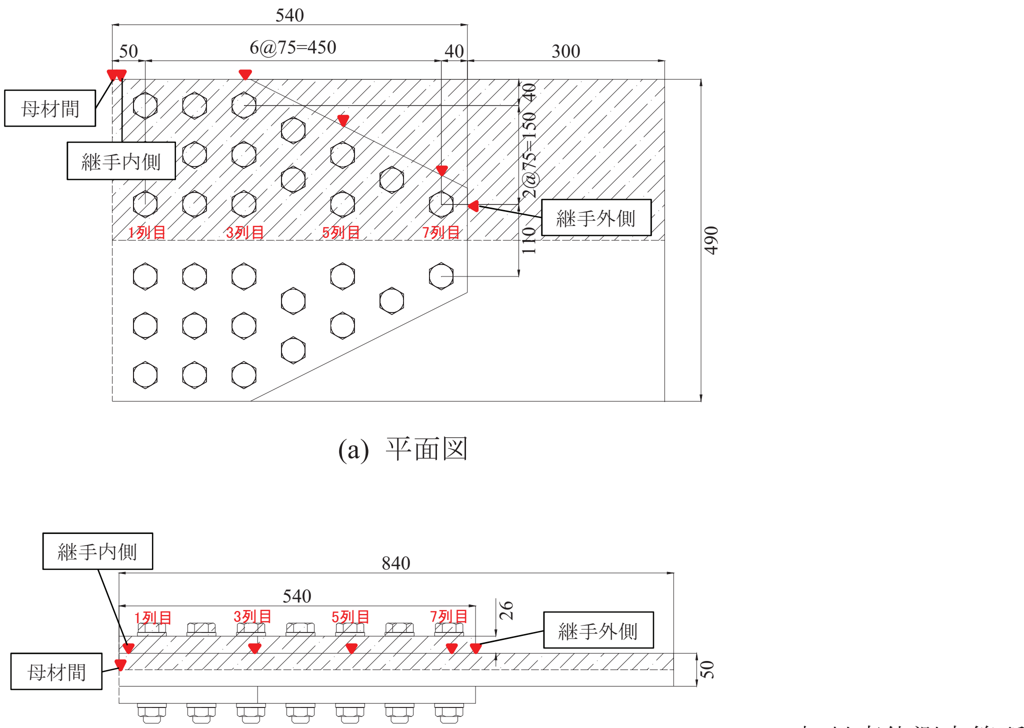


(e) 第 7 列目ボルトコバ面位置



(f) 継手外側

図-3.4.1　荷重ー相対変位関係



(a) 平面図

(b) 側面図

図-3.4.2　相対変位測定箇所

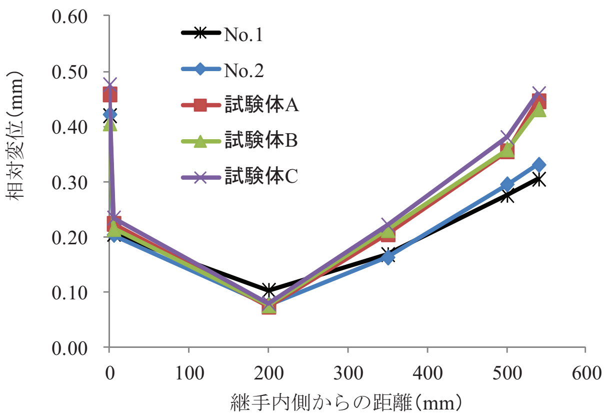


図-3.4.3　継手方向の相対変位分布

3.4.3　ボルト軸力

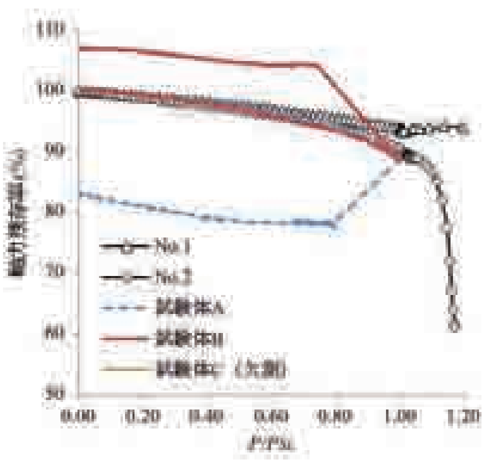
図-3.4.4 に各計測ボルトの荷重とボルト軸力残存率の関係を示す。図の縦軸には軸力残存率を横軸には荷重 P をすべり荷重 P_{SL} で無次元化したものを示している。なお，軸力残存率は式（3.4.1）により求めている。**図-3.4.5** にすべり試験で，ボルト軸力を計測したボルトおよびそのボルト番号を示す。

$$\text{軸力残存率}(\%) = \frac{\text{ボルト軸力(kN)}}{\text{試験前ボルト軸力 (kN)}} \times 100 \qquad (3.4.1)$$

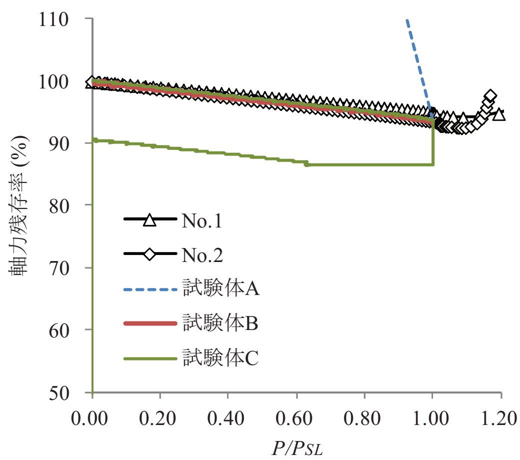
図-3.4.4 より，実験および解析どちらの結果においても，継手軸内側に配置されたボルト（ボルト番号 1，3，9）の軸力残存率の低下が大きくなっている。一方で，その他のボルトはすべり時発生時（P/P_{SL}=1.0）における軸力残存率が試験前軸力の 95%程度となっている。

解析と実験の結果を比較すると，ケース No.1 および No.2 の荷重と軸力残存率の関係は 継手軸内側に配置されたボルト（ボルト番号 1，3，9）を除き，実験とほぼ一致している。しかしながら，ケース No.1 と実験の結果では，継手軸内側に配置されたボルト（ボルト番号 1，3，9）の軸力残存率の低下量が一致しておらず，実験では荷重増加に伴い，軸力残存率の低下率も大きくなり荷重とボルト軸力の関係が曲線的に現れているが，解析では軸力残存率の低下が線形的に現れている。一方で，ケース No.2 と実験結果を比較すると荷重と軸力残存率の関係が再現できており，その低下は同様の傾向を示している。

また，解析において，ケース No.1 と No.2 を比較すると，母板と連結板の摩擦係数を 0.67 に設定したケース No.2 の方がすべり発生時（P/P_{SL}=1.0）における軸力残存率が小さくなっている。これは，摩擦係数を 0.67 と高く設定することで，すべり発生時における荷重レベルが大きくなり，継手軸内側において連結板に作用する断面力も大きくなる。しかし，ケース No.1 と No.2 で継手軸内側の連結板断面形状は一定としているため，断面力が大きくなるケース No.2 の方が継手内側において連結板に作用する平均応力も高くなる。これに伴い，ポアソン効果による連結板の板厚減少が大きくなることで継手軸内側に配置されたボルトの軸力残存率が他のボルトと比較して，小さくなる傾向を示すと考えられる。

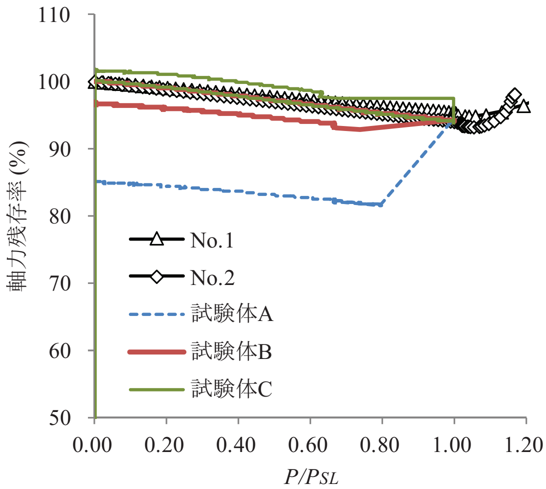


(a) ボルト 9

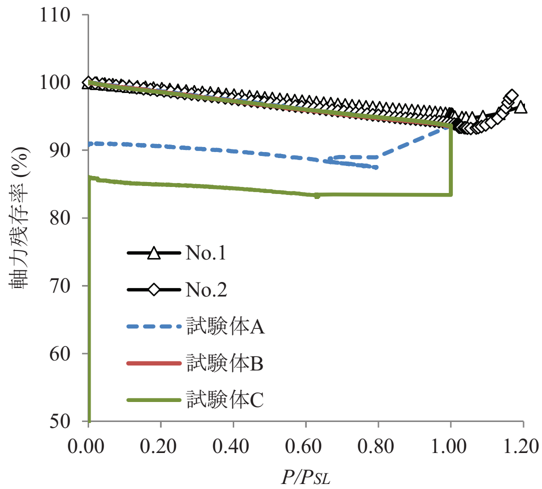


(b) ボルト 13

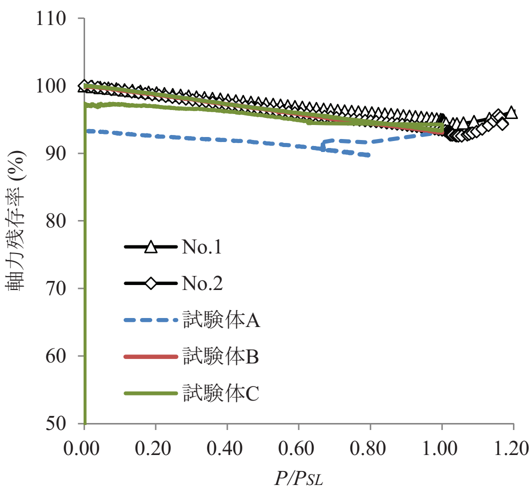
図-3.4.4　荷重とボルト軸力の関係（次頁に続く）



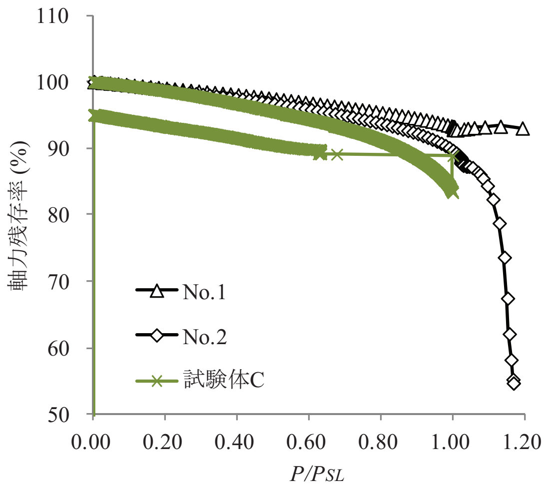
(c) ボルト 17



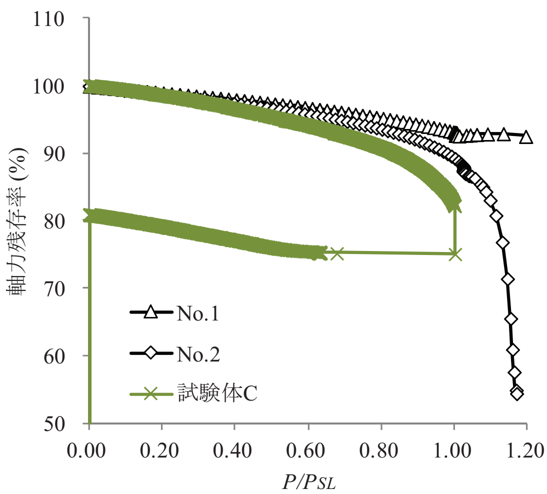
(d) ボルト 18



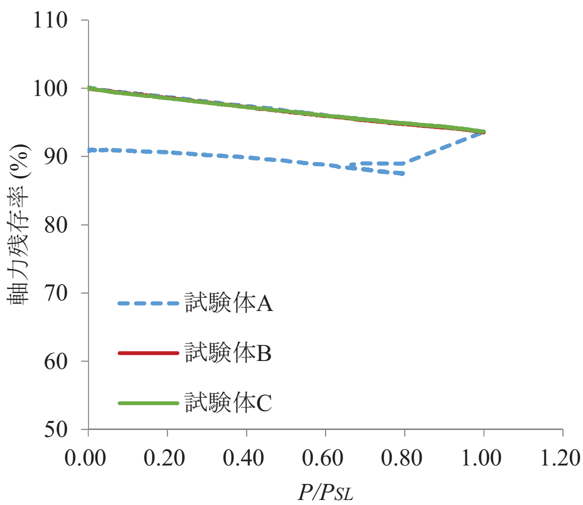
(e) ボルト 25



(f) ボルト 1

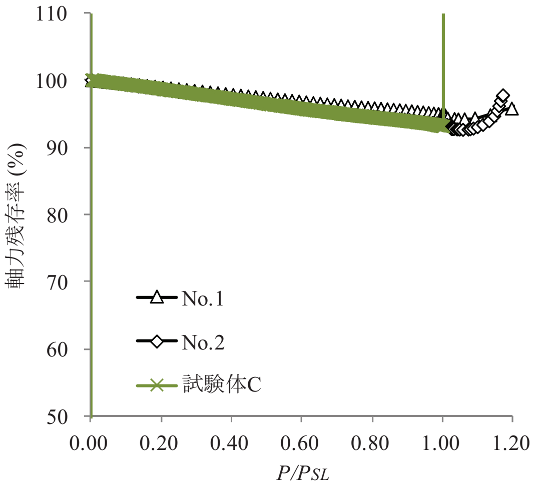


(g) ボルト 3

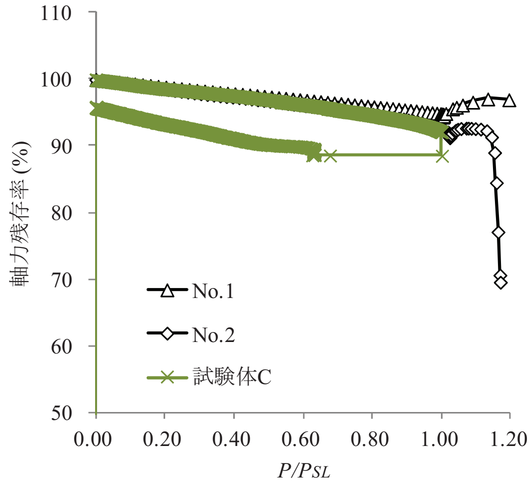


(h) ボルト 8

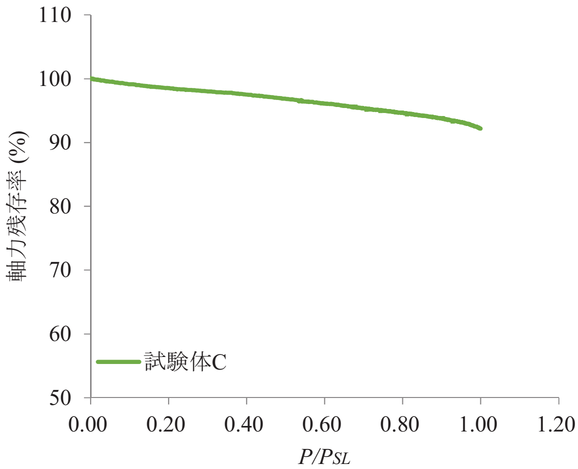
図-3.4.4 荷重とボルト軸力の関係（次頁に続く）



(i)　ボルト 23



(j) ボルト 29



(k) ボルト 30

図-3.4.4　荷重とボルト軸力の関係

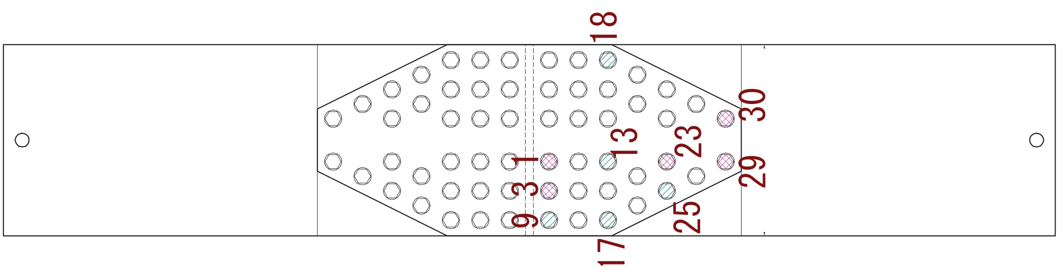


図-3.4.5　計測ボルトの番号

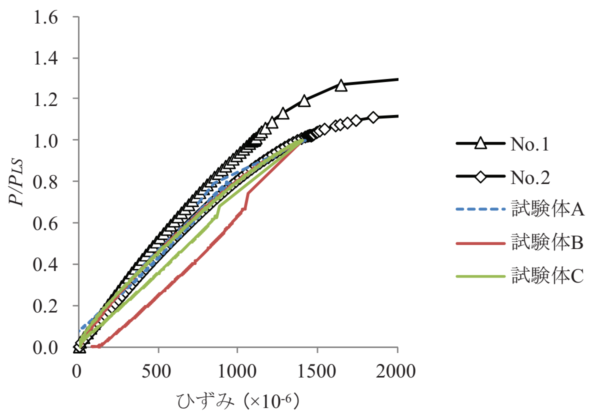
3.4.4　母板および連結板のひずみ

図-3.4.6 にすべり試験と解析により得られた連結板のひずみと荷重の関係を示す。縦軸には，荷重をすべり荷重で無次元化した値を，横軸には，実験あるいは解析によって得られたひずみを示している。**図-3.4.7** には，連結板のひずみ測定箇所および測定箇所の名前を示す。

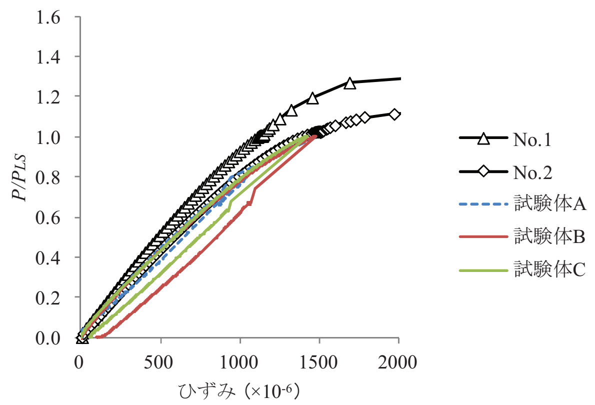
すべり試験と解析ケース No.2 において連結板のひずみと荷重の関係を比較すると，その傾向はよく一致している。しかし，解析ケース No.1 と比較すると，継手軸内側の連結板のひずみと荷重の関係を比較すると，すべり発生時（P/P_{SL}=1.0）におけるひずみがすべり試験と比較して小さくなっている。また，継手軸外側では，すべり試験と解析でのひずみの差が小さくなっている。さらに，解析ケース No.1 と No.2 の比較でも同様の傾向である。これは，一般的に連結板では継手軸外側ほど作用する荷重が小さいため，ひずみ差が小さくなったと考えられる。よって，母板および連結板の摩擦係数が異なったとしても，連結板の継手軸内側と比べて，継手軸外側のひずみはあまり変わらないと考えられる。

図-3.4.8 に母板および連結板のコバ面のひずみ分布を示す。図の縦軸にはひずみを横軸には測定箇所の名前を示す。なお，すべり試験結果はすべり発生時およびすべり発生直後のものを，解析結果はすべり発生時のものを示している。さらに，解析では，千鳥部分の連結板コバ面の斜め方向のひずみは荷重方向と板幅方向の 2 方向のひずみを三平方の定理によりコバ面に沿ったひずみを算出している。**図-3.4.9** に母板および連結板のコバ面のひずみ測定箇所および測定箇所の名前を示す。

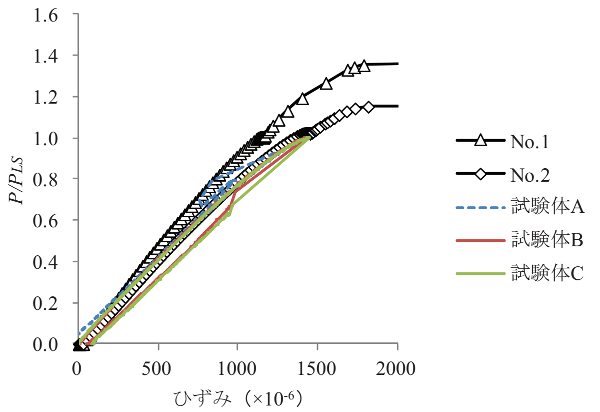
図-3.4.8 より，実験と解析を比較すると，母板のコバ面におけるひずみ分布はすべり試験と解析で傾向が一致しており，解析ケース No.2 の結果は継手軸外側において，そのひずみの値もほぼ等しくなっている。また，連結板においても千鳥部分と矩形部分の境界付近（sM5）の結果を除くとその分布が同じ傾向になっている。解析ケース No.1 と No.2 を比較するとすべり発生時における荷重レベルの違いから母板では継手外側，連結板では継手内側のひずみの値が No.1 の方が低くなっている。



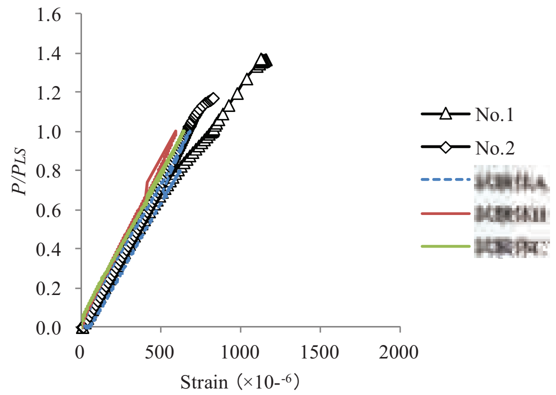
(a) sB10



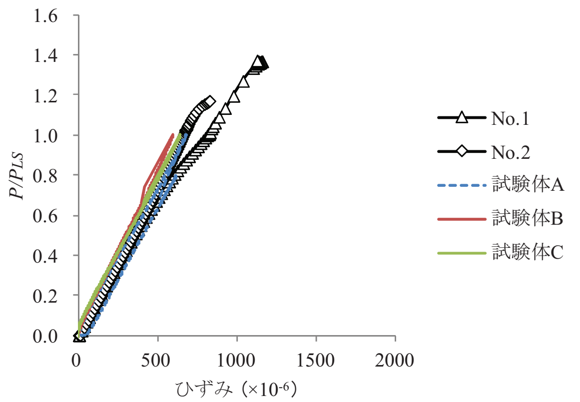
(b) sB11



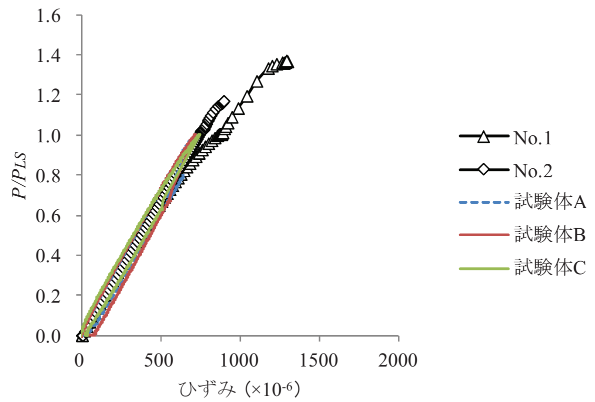
(c) sB12



(d) sB13

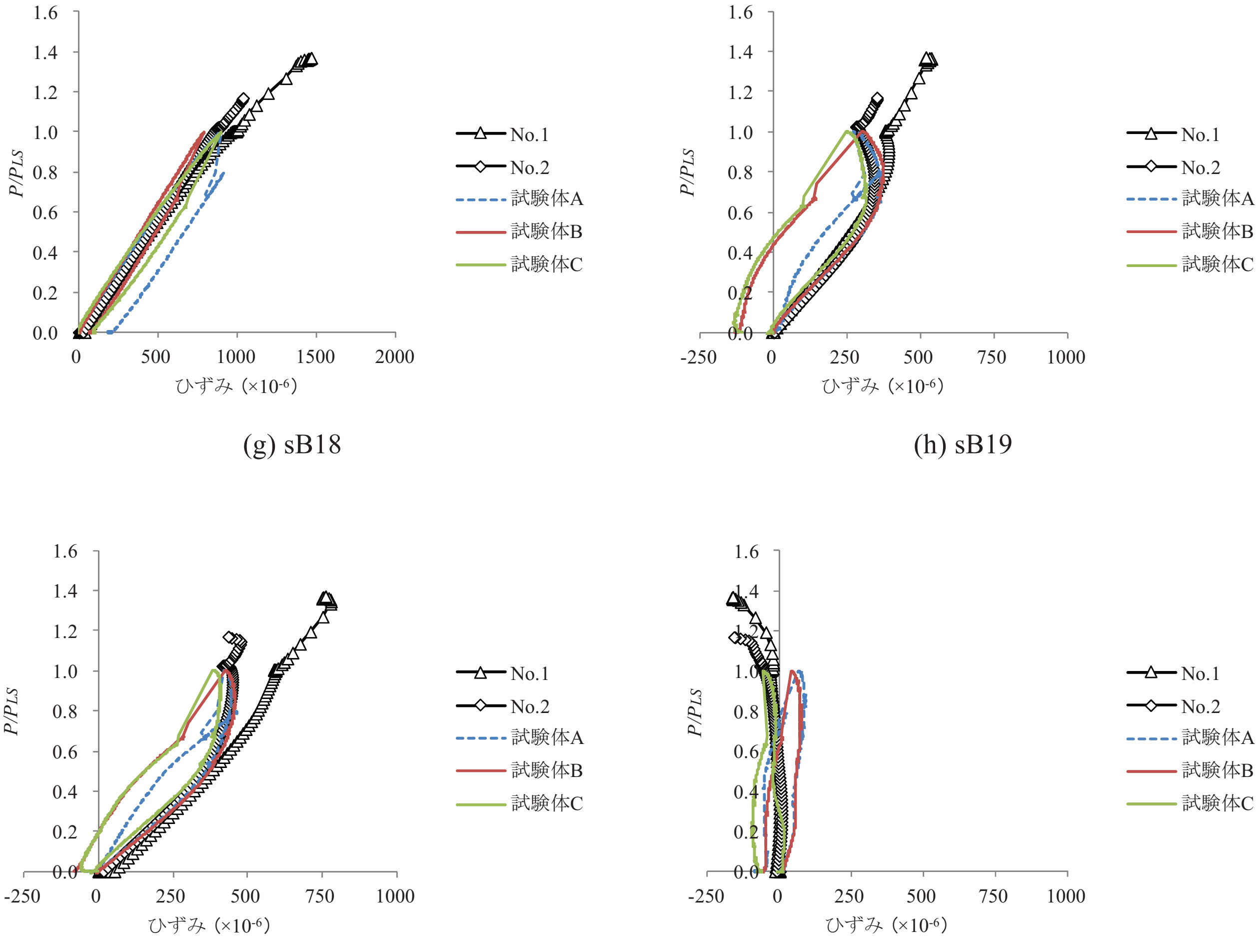


(e) sB14



(f) sB15

図-3.4.6 連結板のひずみ（次頁に続く）



(g) sB18　　(h) sB19

(i) sB20　　(j) sB21

図-3.4.6 連結板のひずみ

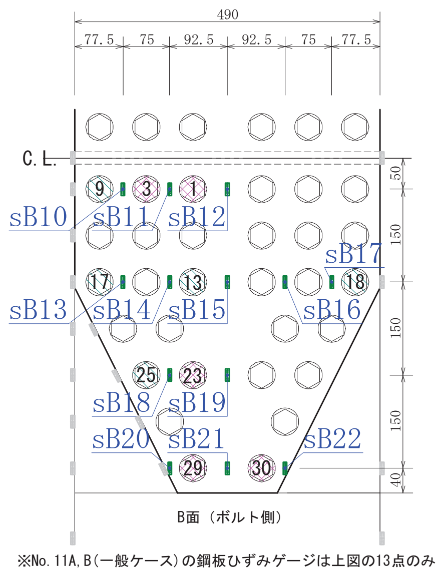
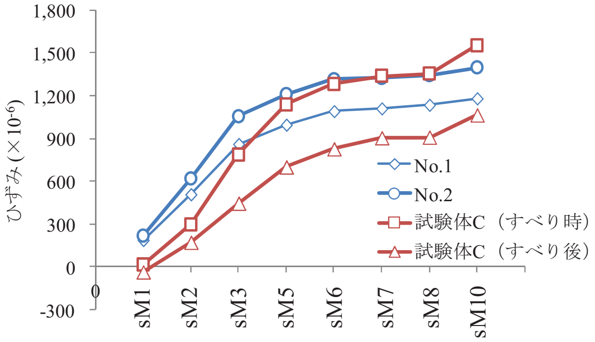
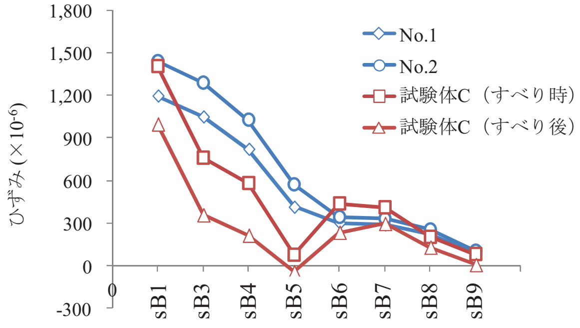


図-3.4.7　連結板ひずみ測定箇所

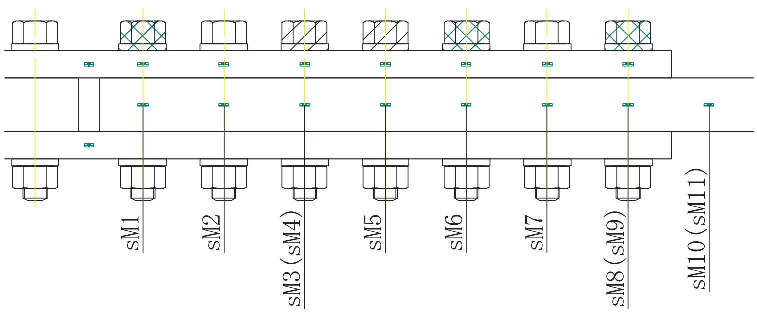


(a) 母板

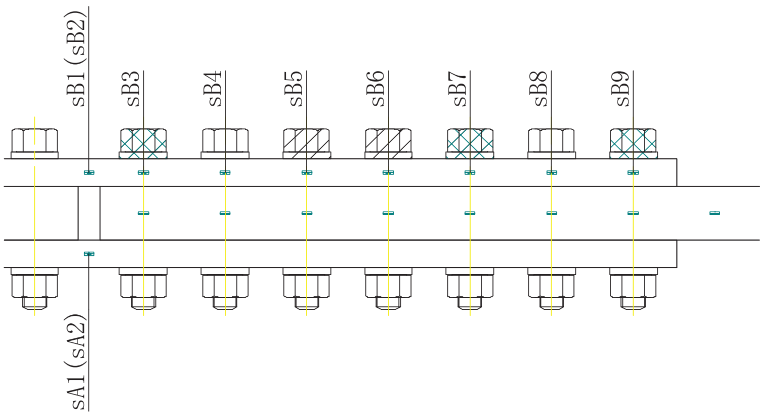


(b) 連結板

図-3.4.8　すべり発生時および直後のコバ面のひずみ



(a) 母板



(b) 連結板

図-3.4.9　母板および連結板コバ面のひずみ測定箇所

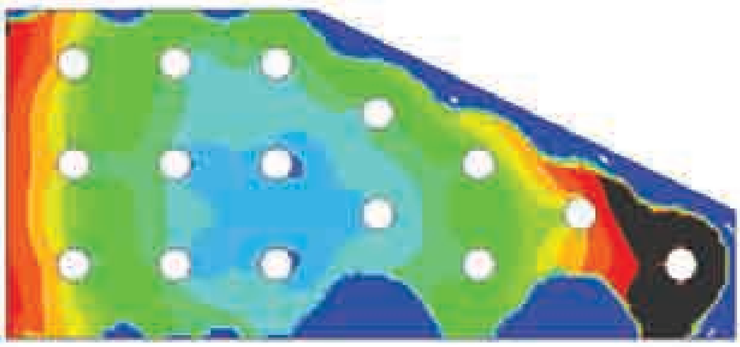
3.4.5　接合面のすべり分布

図-3.4.10 に解析により得られたすべり発生時における接合面のすべり量の分布を示す。図中の黒色に着色した部分は解析におけるすべりの定義の基準のひとつである，相対変位が 0.2mm 以上であることを示す。また，接合面の端部において，相対変位量がほとんどゼロになっている部分がある。これは解析コード Abaqus/Standard の結果表示オプションの機能上，すべり量のコンター図は接合面に離間が生じるまでの相対変位量のみを表示する。そのため，コンター図には離間が生じるまでのすべり量のみが表示されている。端部の青色部分（離間が生じた部分）はボルト軸力の導入とともに発生したため，ボルト軸力により離間が生じたと考えられる。

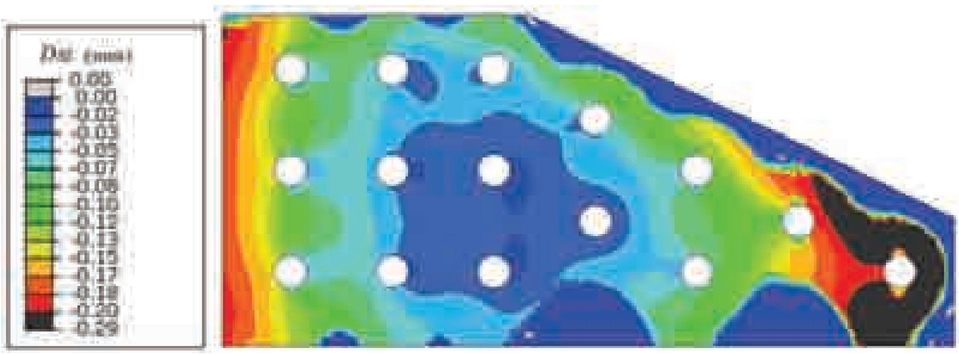
解析ケース No.1 と No.2 の比較では，継手軸中央のおよび継手軸外側の相対変位量が若干異なっていることがわかる。また，その相対変位量は摩擦係数を高く設定した No.2 の方が小さくなっている。しかし，継手軸内側の相対変位量は摩擦係数が異なっても分布傾向はよく似ている。継手軸方向の両端のすべり量が大きくなっている。これは，母板では継手軸方向の外側，連結板では内側の応力が大きくなるため，すべり量は両端でから大きくなったと考えられる。

図-3.4.11 には，すべり試験実施後に試験体を解体した時の母板および連結板の接合面状態を示す。

ボルト孔付近では，母板，連結板ともに無機ジンクリッチペイントが押しつぶされており，無機ジンクリッチペイントの凝集破壊によりすべりが生じていると想定できるすべり痕が観察できた。また，**図-3.4.10** と**図-3.4.11** の結果より，定量的な評価は難しいが，解析結果よりボルト軸力の導入とともに接合面に離間が生じたと考えられる部分において，すべり試験後の接合面状態を観察すると，無機ジンクリッチペイントの塗膜厚が厚く残っている傾向が見られた。このことから，接合面の状態（離間，固着状態）もある程度の再現性が確保できたと考えられる。

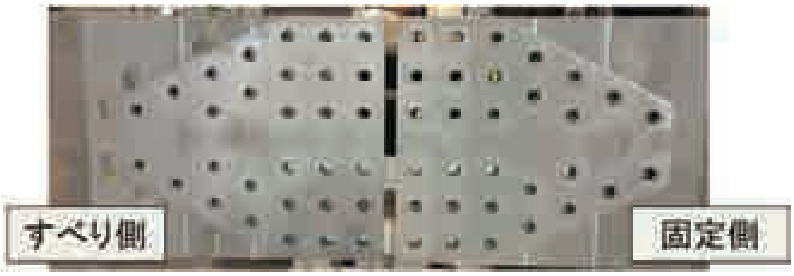


(a) 解析ケース No.1

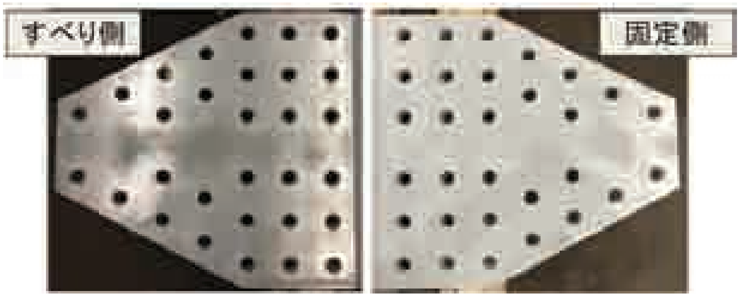


(b) 解析ケース No.2

図-3.4.10 すべり発生時における接合面のすべり量



(a) 母板



(b) 連結板

図-3.4.11　すべり試験後の接合面状況

3.5 継手の構造諸元がすべり挙動に与える影響

3.5.1 ボルト列数の影響

表-3.5.1 に解析結果を，**図-3.5.1** に最大ボルト列数とすべり係数の関係を示す。図より，最大ボルト列数 10 列のケース（St-10-0.87）のすべり係数が最も高く，それと比較して最大ボルト列数 8 列および 9 列（St-8-0.87，St-9-0.87）のすべり係数は若干低下しているがその差は 1%程度とわずかであった。一方で，最大ボルト列数 10 列のすべり係数に対して，最大ボルト列数 12 列で 2%，最大ボルト列数 7 列（St-7-0.87）で約 5%低下している。村越ら [8]，彭ら [9]，亀井ら [16]の研究により，ボルト列数が増加するとすべり係数が低下することが示されているが，本解析において実施した砲台配置された高力ボルト摩擦接合継手ではボルト列数が少ない 7 列の場合においてもすべり係数が低い結果となった。

表-3.5.1 解析結果（ボルト列数）

解析ケース	St-7-0.87	St-8-0.87	St-9-0.87	St-10-0.87	St-12-0.87
導入軸力 (kN)	204.7	204.7	205.3	205.0	205.8
すべり荷重 (kN)	5,655	7,315	8,852	10,393	13,157
すべり係数	0.432	0.447	0.449	0.453	0.444

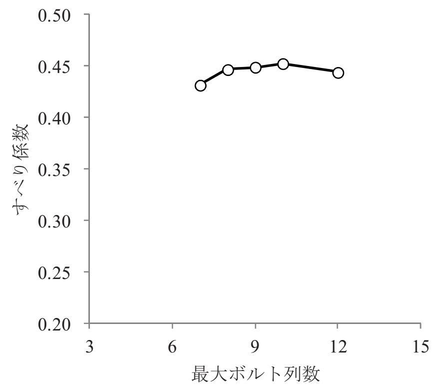
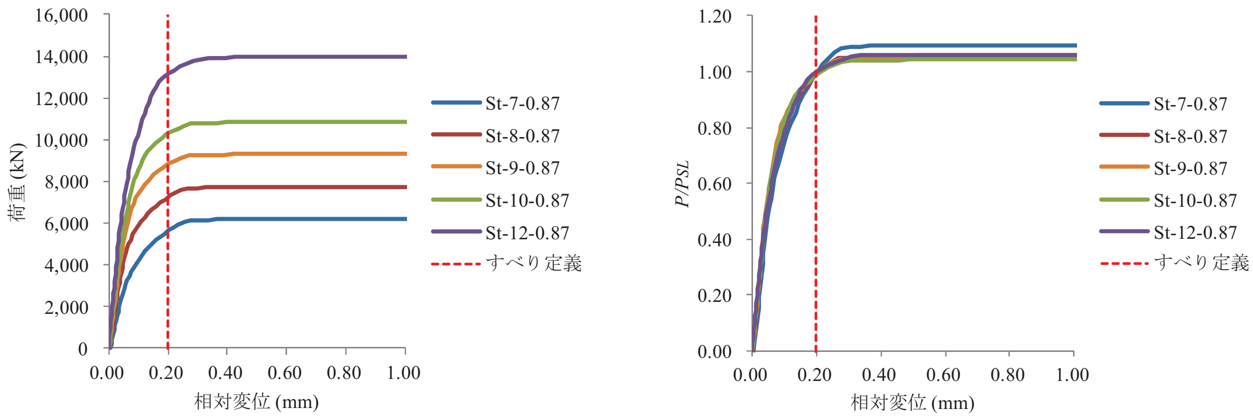


図-3.5.1 最大ボルト列数とすべり係数（ボルト列数）

（1）荷重－相対変位関係

図-3.5.2 に荷重－相対変位関係を示す。図（a）は縦軸に荷重を，横軸には継手軸方向の内側相対変位をそれぞれ示しており，図（b）は縦軸に作用荷重をすべり荷重で無次元化した値を，横軸は（a）と同様に継手軸方向の内側相対変位をそれぞれ示している。

図（a）より，すべてのケースで継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm に達した時点ですべり発生と決定されている。また，図の（b）より，最大ボルト列数が 7 列のケースを除き，最大荷重に対する継手軸方向の相対変位が 0.2mm に達した時点の荷重の比が同程度であることがわかる。一方，すべり係数が最も低い結果となった最大ボルト列数 7 列のケースでは，継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm に達したときの荷重レベルに対して最大荷重が高くなっている。つまり，最大荷重に対して低い荷重段階で内側相対変位が 0.2mm に達することで，最大ボルト列数 7 列のケースのすべり係数が低くなったと考えられる。



(a) 荷重－相対変位関係　　(b) 無次元化荷重－相対変位関係

図-3.5.2　荷重－相対変位関係

（2）すべり性状（相対変位）

図-3.5.3 にすべり発生時における継手軸方向の内側の相対変位分布を示す。縦軸には継手幅方向の外側からの距離（**図-3.5.4** 参照）を，横軸には，相対変位を示す。なお，相対変位を算出した箇所を**図-3.5.4** に示す。

図-3.5.3 より，最大ボルト列数が最も少ない 7 列のケースにおいて継手幅方向の内側相対変位が最も小さくなっている。さらに，継手幅方向の内側相対変位は最大ボルト列数が増加するにつれて，継手幅方向の外側相対変位と同程度になっており，継手幅方向に対して，均等に相対変位が生じている。また，継手幅方向に均等に相対変位が生じているケース（St-12-0.87）において，継手幅方向の外側相対変位と比較すると，内側相対変位は，若干小さくなっている。

これらの解析ケースは，千鳥部分のボルト列数を一定とし，矩形部分のボルト列数を増加させており，すべり/降伏耐力比 β を一定（β=0.87）に保つために，板幅を調整している。これらのことから，継手軸方向の内側における継手幅方向の相対変位分布の差は矩形部分のボルト列数が少なくなること，あるいは，板幅が大きくなることで生じていると考えられる。

図-3.5.5 にすべり発生時における継手軸方向の相対変位分布を示す。図の縦軸に相対変位を，横軸に継手軸方向の内側からの距離を示している。**図-3.5.6** には，相対変位の算出箇所を示している。

図-3.5.5 より，すべり係数が同程度であった最大ボルト列数 8，9，および 10 列のケースでは，軸方向の相対変位の最小値がほぼ同程度となっている。また，すべり係数が低下した最大ボルト列数が 7 列および 12 列の相対変位の最小値は，それら 8，9 および 12 列のケースと比較して小さくなっている。

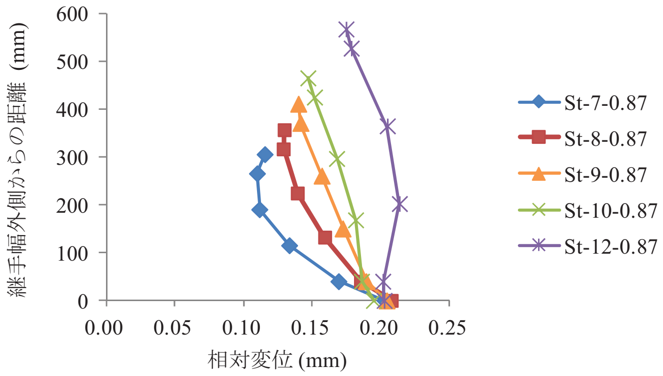


図-3.5.3　すべり発生時における継手軸内側の相対変位分布

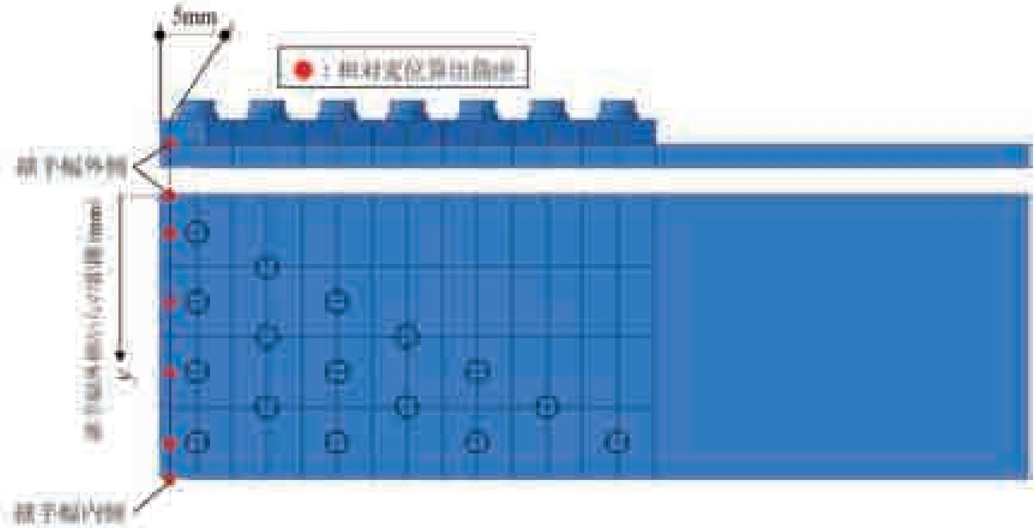


図-3.5.4　相対変位算出箇所

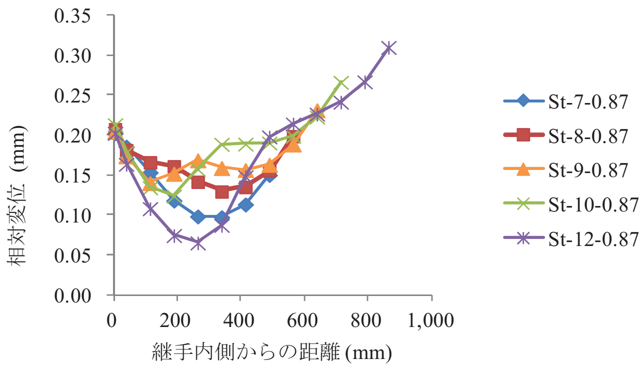


図-3.5.5　すべり発生時における継手方向コバ面の相対変位分布

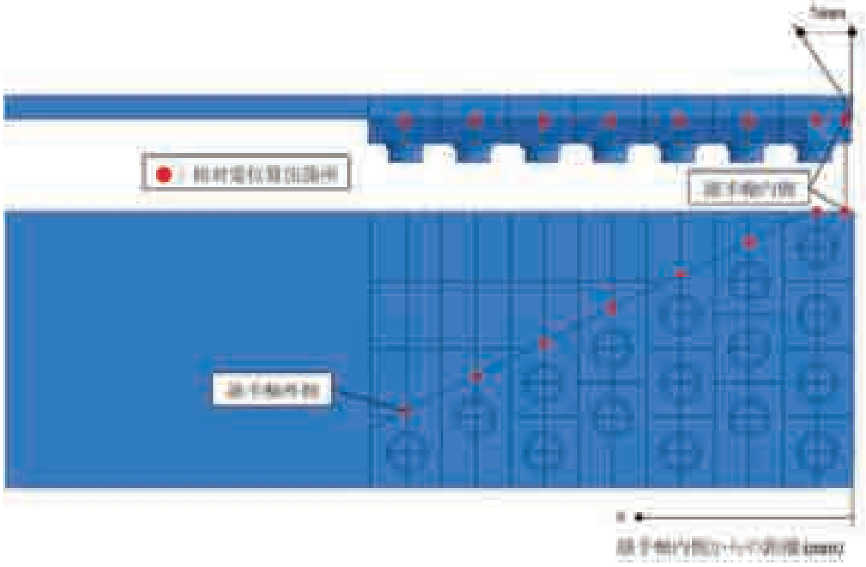


図-3.5.6　相対変位算出箇所

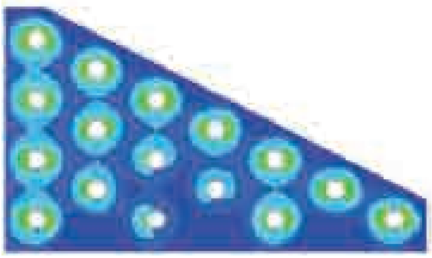
(3) 分担摩擦力

図-3.5.7 にすべり発生時に接合面に作用する継手軸方向の摩擦せん断力を示す。図より，継手軸方向の中央かつ，継手幅方向の内側のボルト孔付近において，他のボルト孔周りと比較してすべり発生時に接合面に作用する摩擦せん断力が低くなっていることがわかる。継手軸方向の中央かつ継手幅方向の内側に配置されたボルトでは，すべり発生時ではボルトが分担できる最大摩擦せん断力に達していない結果となった。また，最大ボルト列数を 7 列，8 列および 9 列としたケースでは，千鳥部分において摩擦せん断力が低下しているのに対して，10 列および 12 列のケースでは，矩形部分において摩擦せん断力が低下している。**図-3.5.2** に示した荷重－相対変位関係において，最大荷重発生時は全ボルトが最大摩擦せん断力に達していることを示す。これらのことから，全ボルトが最大摩擦せん断力に達する前に，継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm に達し，最大荷重に対してすべり荷重が低くなり，すべり係数が低下したといえる。さらに，千鳥部分において分担摩擦力が低下したケース（St-7-0.87，St-8-0.87 および St-9-0.87）では，**図-3.5.3** において，継手幅方向の内側相対変位が小さくなっている。また，**図-3.5.5** を踏まえると，相対変位が最も小さくなっている箇所と摩擦せん断力が低下している箇所が一致しているとみられる。

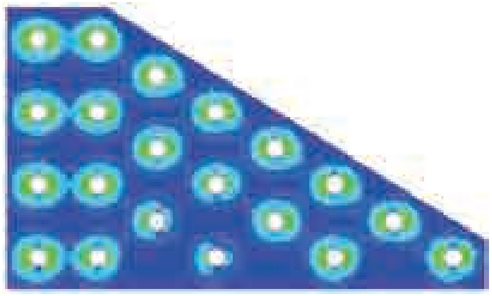
図-3.5.8 にすべり発生時における各列の分担摩擦力および継手幅方向の内側における継手軸方向の相対変位分布を示す。すべり発生時における摩擦せん断力と相対変位に関連性があると考えられること，および継手幅方向の内側かつ継手軸方向の中央の摩擦せん断力が低下していることから，**図-3.5.8** における相対変位の測定箇所は**図-3.5.9** に示す箇所とした。

図-3.5.8 より，すべり発生時において，継手軸方向の中央では各列の分担摩擦力が十分に上昇していない。さらに，継手軸方向の相対変位が最も小さくなっている箇所と分担摩擦力が最も低下している位置が一致しており，分担摩擦力と相対変位に関連性があると考えられる。つまり，分担摩擦力が小さい箇所では，母板 - 連結板間の応力伝達が小さく，作用する応力も小さくなることから，母板および連結板の変形が小さくなり，相対変位も小さくなると考えられる。ボルトの多列化の影響ですべり係数が低下したと考えられる最大ボルト列数 10 列および 12 列のケースを比較すると，継手軸方向の中央相対変位と継手軸方向の外側相対変位の差が 12 列としたケースの方が大きくなっていることがわかる。

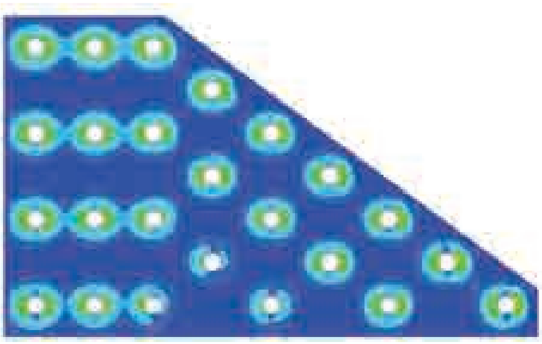
以上より，ボルト列数が増加することで，継手軸方向の中央に配置されたボルトにおいて摩擦による応力伝達がされにくくなり，荷重の低い早期の段階で継手軸方向の内側相対変位および外側相対変位が増加し，部分的にすべりによりすべり荷重が低くなり，すべり係数が低下すると考えられる。



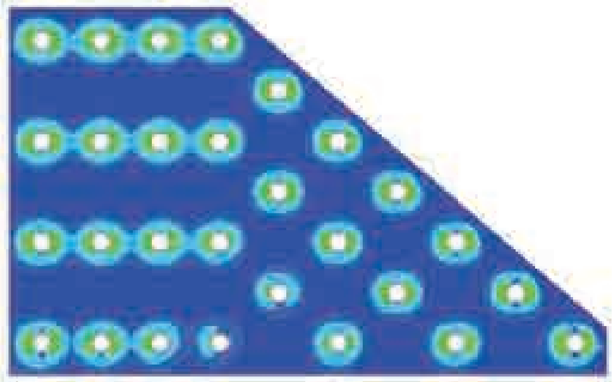
(a) St-7-0.87



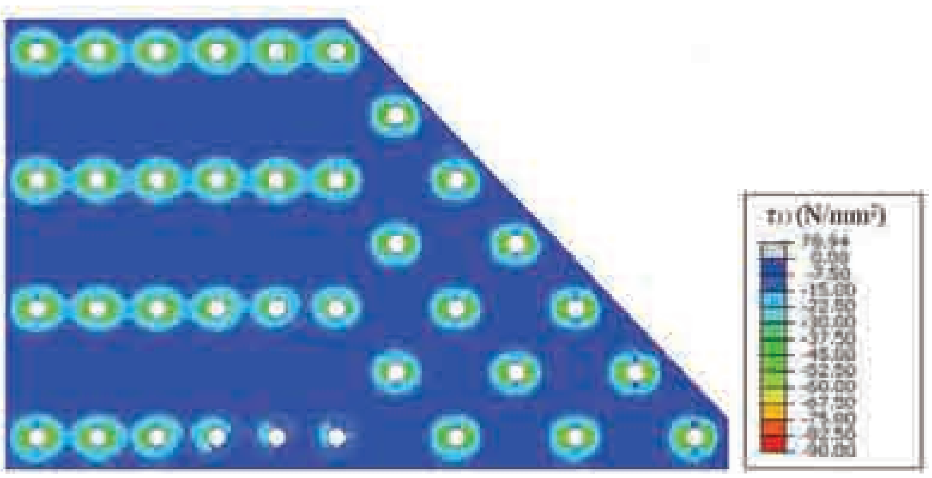
(b) St-8-0.87



(c) St-9-0.87

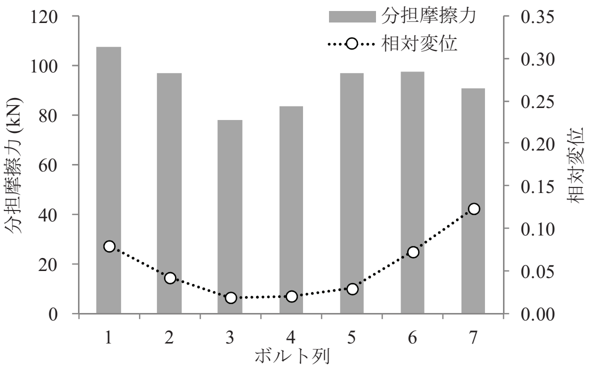


(d) St-10-0.87

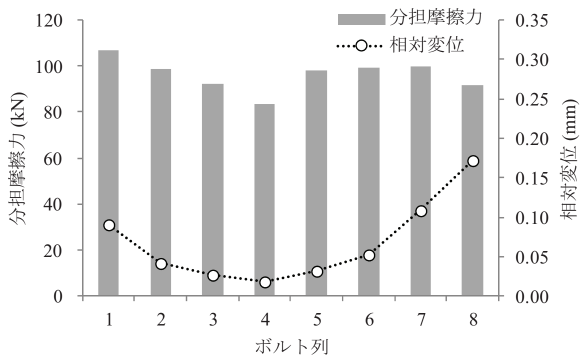


(e) St-12-0.87

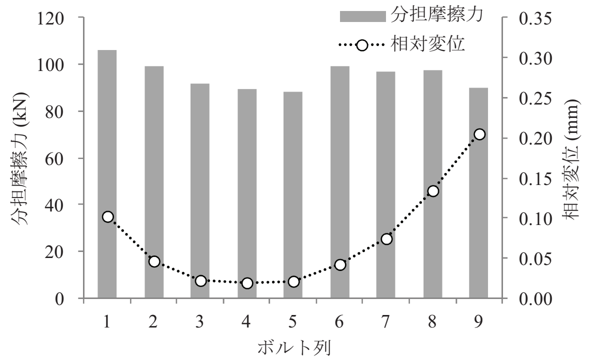
図-3.5.7　すべり発生時における接合面に作用するせん断力分布



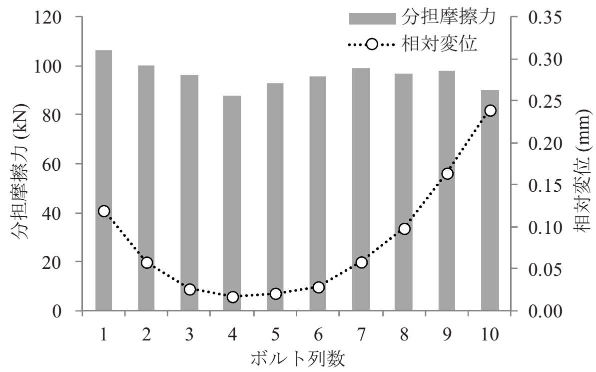
(a) 最大ボルト列数 7 列



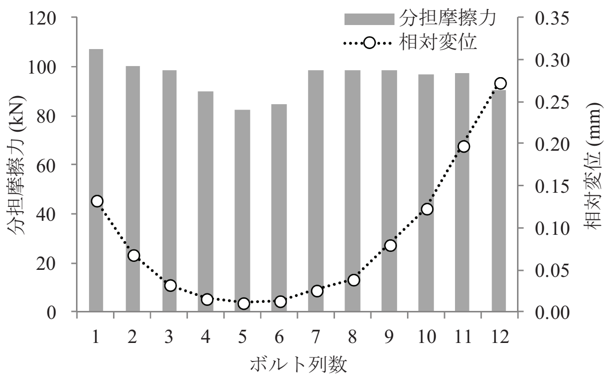
(b) 最大ボルト列数 8 列



(c) 最大ボルト列数 9 列



(d) 最大ボルト列数 10 列



(e) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.8 すべり発生時における分担摩擦力と継手軸方向の相対変位分布

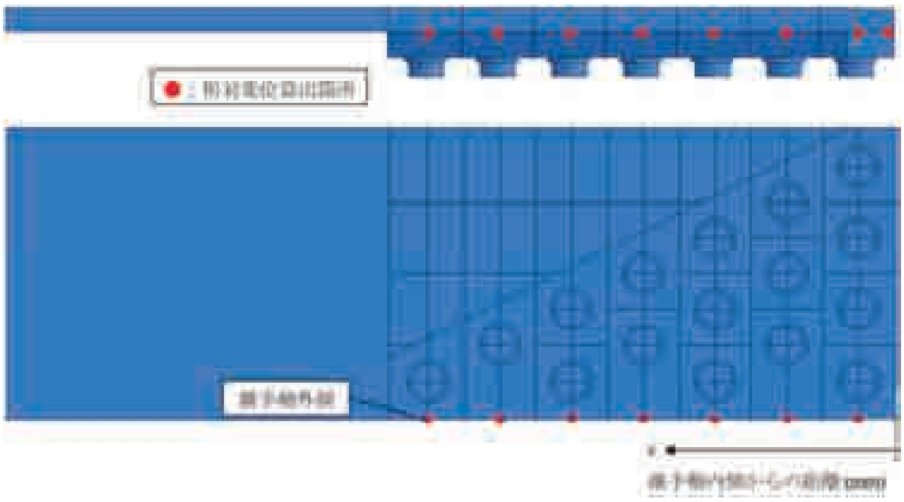
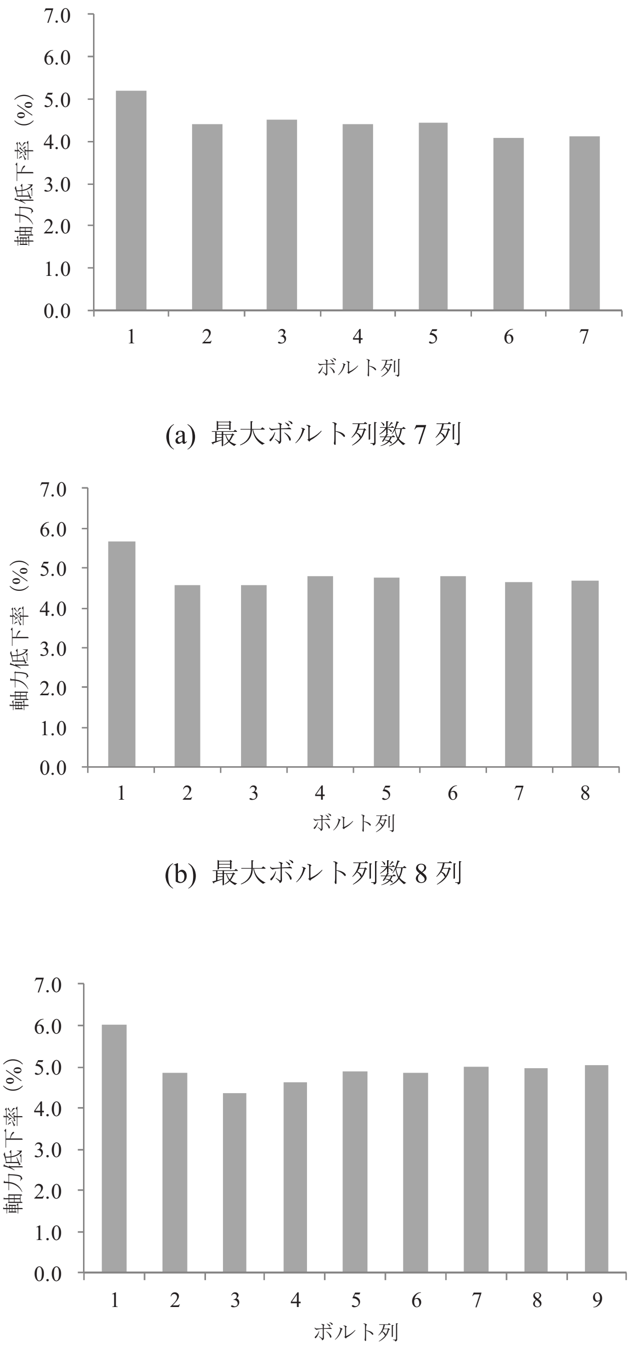


図-3.5.9　相対変位測定箇所

(4) ボルト軸力

図-3.5.10 にすべり発生時におけるボルトの軸力低下率を示す。図の縦軸にはボルトの軸力低下率を，横軸にはボルト列を示す。なお，軸力低下率は，各列に存在するボルトの軸力低下率の平均値を示している。図より，継手軸方向の内側に配置されたボルト（第 1 列目）の軸力低下率が最も大きくなっており，それと比較して外側のボルトの軸力低下率は小さくなっている。また，すべてのケースにおいて，内側に配置されたボルトの軸力低下率は，外側（最外ボルト列）に配置されたボルトの軸力低下率の 1.2 倍程度であった。さらに，継手軸方向の内側に配置されたボルトの軸力低下率はボルトが多列化すると若干，大きくなっている。これは，継手軸方向の内側では，連結板に作用する荷重が大きくなることで，ポアソン効果による板厚減少がその位置において大きくなり，結果として，その位置に配置されたボルトの軸力低下率が大きくなったと考えられる。

最大ボルト列数が 7 列および 8 列のケースでは，継手軸方向の中央に配置されたボルトの軸力低下率は外側に配置されたボルトのそれと同程度となっている。最大ボルト列数が 9 列，10 列および 12 列のケースでは，継手軸方向の外側に配置したボルトの軸力低下率と比較して，継手軸方向の中央に配置したボルトの軸力低下率が小さくなっており，最大ボルト列を 9 列としたケースでは第 3 列目，10 列としたケースでは第 4 列目，12 列としたケースでは第 5，6 列目の軸力低下率が小さくなっている。つまり，ボルトが多列化することで，継手軸方向の中央に配置されたボルトのすべり発生時におけるボルト軸力低下率が小さくなるものの，分担摩擦力が十分に上昇しないため，荷重の低い段階ですべりが発生し，すべり係数が低くなったと考えられる。

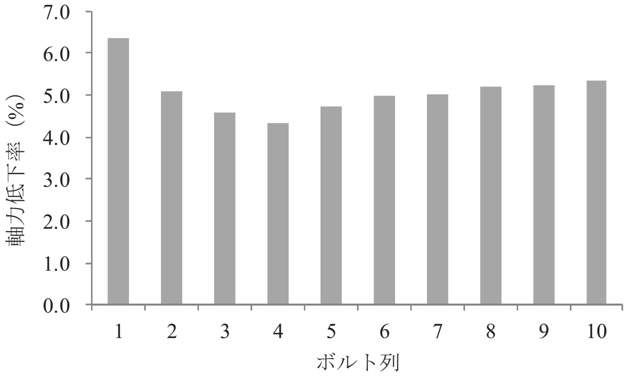


(a) 最大ボルト列数 7 列

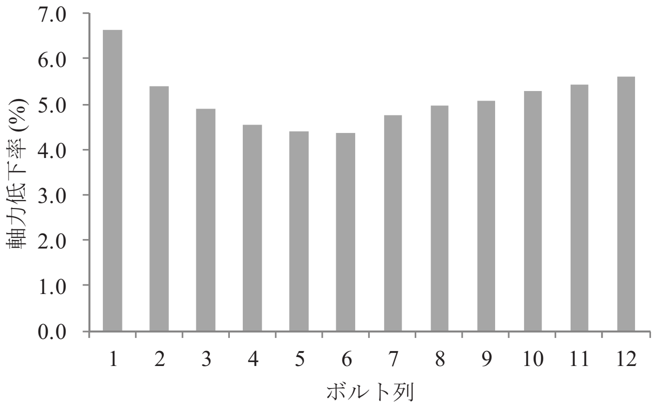
(b) 最大ボルト列数 8 列

(c) 最大ボルト列数 9 列

図-3.5.10　すべり発生時における軸力低下率（次頁に続く）



(d) 最大ボルト列数 10 列



(e) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.10　すべり発生時における軸力低下率

3.5.2　ボルト配置の影響

表-3.5.2 に解析結果を示す。G-8-1.74 および St-11-1.74 はボルト本数およびすべり/降伏耐力比 β を一定とした上で，同じボルト本数とし，配置のみを変化させたケースである。同様に，G-8-0.87*および St-11-0.87*は板厚を増加させることですべり先行型の継手とし，配置のみを変化させたケースである。これら 4 ケースを用いて降伏先行型およびすべり先行型のそれぞれの場合についてボルト配置がすべり挙動に与える影響を検討する。表より，降伏先行型およびすべり先行型それぞれの場合において配置が異なったとしてもすべり係数はほぼ同等となっている。さらに，砲台配置と矩形配置の比較ではボルト本数が同じであるため，すべり荷重も同程度になっている。

表-3.5.2　解析結果（ボルト配置）

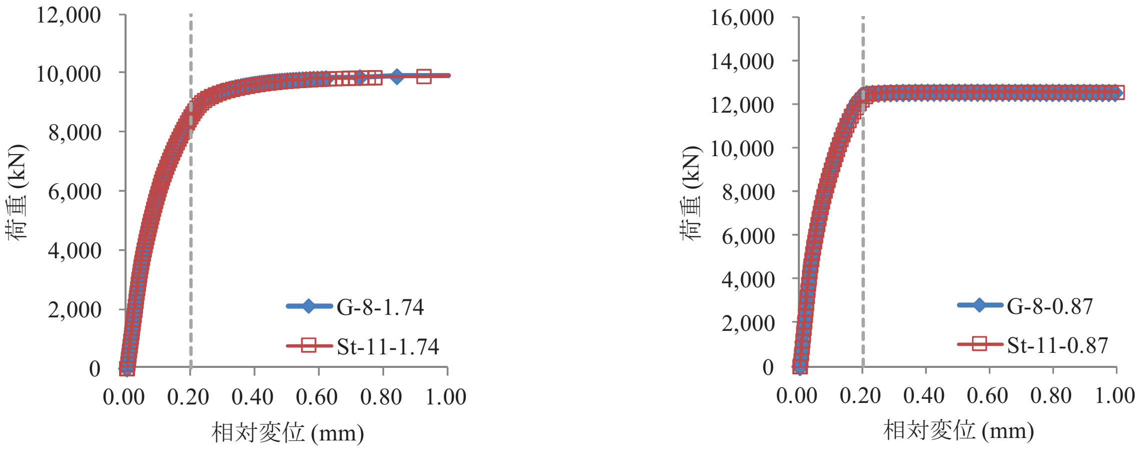
解析ケース	G-8-1.74	St-11-1.74	G-8-0.87*	St-11-0.87*
導入軸力 (kN)	206.7	205.7	205.9	206.4
すべり荷重 (kN)	8,570	8,447	12,388	12,357
すべり係数	0.324	0.321	0.470	0.468

(1) 荷重－相対変位関係

図-3.5.11 に降伏先行型およびすべり先行型の砲台配置と矩形配置において，継手軸方向の内側相対変位が 1.0mm に達するまでの荷重－相対変位関係を示す。図の縦軸には荷重を，横軸には継手軸方向の内側相対変位をそれぞれ示している。また，図中の灰色の破線は解析におけるすべりの定義の一つの指標である継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm であることを示す。

同図より同じボルト本数の矩形配置と砲台配置を比較すると内側相対変位に着目した荷重－相対変位関係はよく一致している。これは，降伏先行型およびすべり先行型いずれの場合においても同じ結果となった。また，いずれのケースにおいても継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm に達した時点ですべり発生と決定されている。

降伏先行型およびすべり先行型で比較すると，降伏先行型の方が低い荷重レベルで内側相対変位が 0.2mm に達しており，これによりすべり係数が低下したといえる。さらに，最大荷重を比較すると，降伏先行型の最大荷重がすべり先行型に比べて，低くなっていることがわかる。



(a) 降伏先行型　　(b) すべり先行型

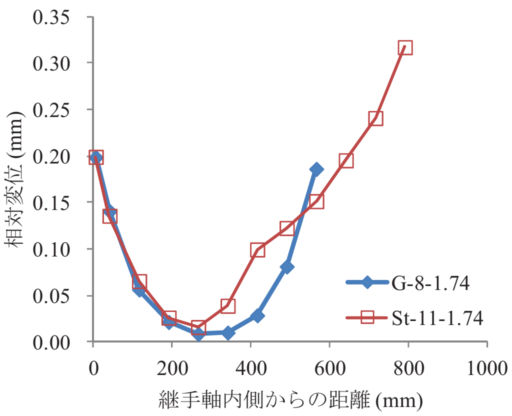
図-3.5.11　荷重－相対変位関係

(2) すべり性状（相対変位）

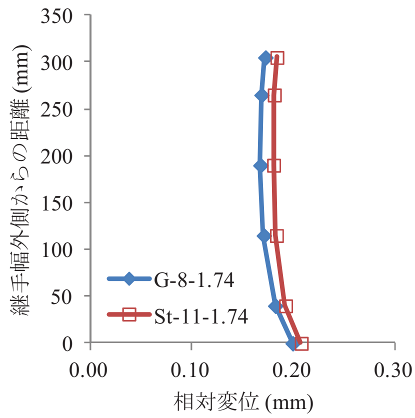
図-3.5.12 および**図-3.5.13** に降伏先行型とすべり先行型の継手について，すべり発生時における継手軸方向の相対変位分布および継手軸方向の内側における幅方向の相対変位分布を示す。

図-3.5.12 (a)に示す継手軸方向の相対変位分布について，すべり先行型の砲台配置と矩形配置で比較すると，継手軸方向の内側から相対変位の最小値を示す位置までの相対変位分布はほぼ一致していることがわかる。さらに，最小値を示す位置から継手軸方向の外側では砲台配置の方が大きな相対変位を示す傾向にあり，継手軸方向の外側においては，砲台配置の相対変位が矩形配置の相対変位に比べて約 1.6 倍程度となっている。また，**図-3.5.13** (a)に示す降伏先行型の砲台配置においても同様に継手軸方向の外側相対変位が矩形配置に比べて，1.6 倍になっている。これは，砲台配置では，継手軸方向の外側に配置しているボルト本数が少なく，その位置における剛性が低くなるため，外側相対変位が矩形配置に比べて大きくなるためと考えられる。また，砲台配置においては，400mm 付近において，相対変位が大きく増加している箇所がある。この箇所は，連結板の断面が変化する位置に相当しており，連結板の断面が減少する位置において相対変位の分布傾向が異なると考えられる。

一方，**図-3.5.12** (b)および，**図-3.5.13** (b)に示す，継手軸方向の内側における幅方向の相対変位分布において，砲台配置と矩形配置で比較すると，ほぼ同じ分布を示している。**図-3.5.13** より，矩形部分のボルト列数が少ないケース（St-7-0.87）において，すべり発生時の継手幅方向の内側相対変位が外側に比べて小さくなっており，矩形部分のボルト本数がある程度確保されているならば，ボルト配置の違いが継手軸方向の内側における幅方向の相対変位分布に与える影響は小さいと考えられる。

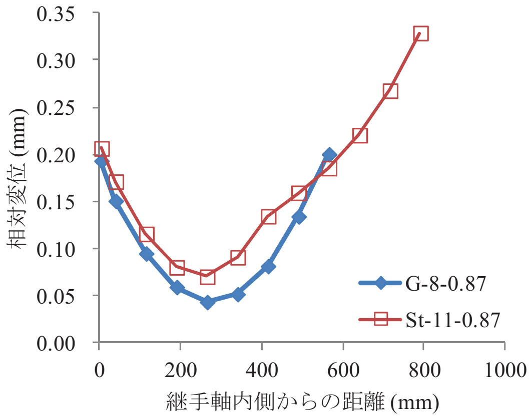


(a) 継手軸方向のコバ面の相対変位分布

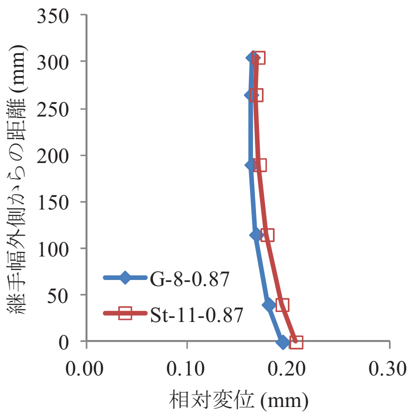


(b) 継手軸内側における幅方向の相対変位分布

図-3.5.12　すべり発生時における相対変位分布（降伏先行型）



(a) 継手軸方向のコバ面の相対変位分布



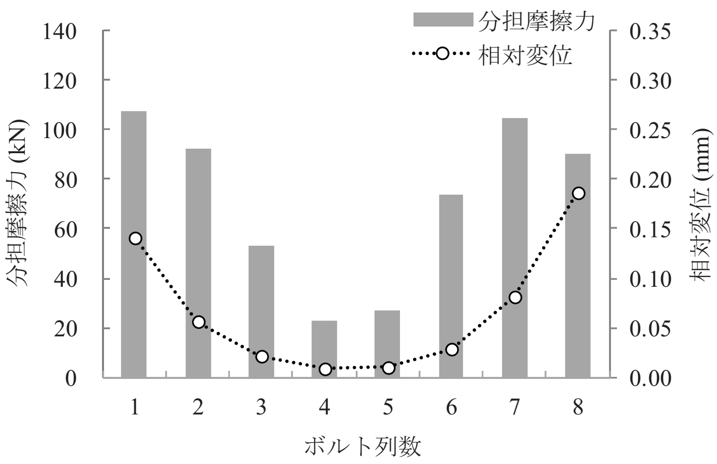
(b) 継手軸内側における幅方向の相対変位分布

図-3.5.13　すべり発生時における相対変位分布（すべり先行型）

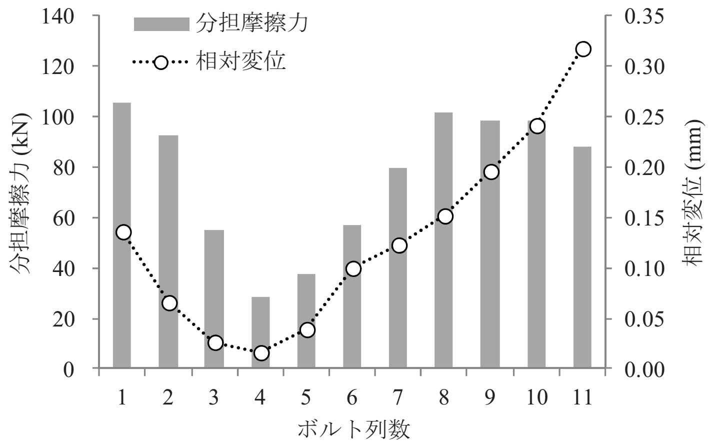
(3) 分担摩擦力

図-3.5.14 に降伏先行型の矩形配置および砲台配置のすべり発生時における各列の分担摩擦力と継手軸方向の相対変位分布を，**図-3.5.15** にすべり先行型の矩形配置および砲台配置のすべり発生時における各列の分担摩擦力と継手軸方向の相対変位分布をそれぞれ示す。図の第 1 縦軸（左側）には分担摩擦力を，第 2 縦軸（右側）には相対変位を，横軸にはボルト列を示す。

図-3.5.14 より降伏先行型の矩形配置および砲台配置ともに，分担摩擦力が最も小さくなっている箇所において相対変位も小さくなっている。しかし，分担摩擦力および相対変位が最小値を示すボルト列が矩形配置と砲台配置とで異なっていることがわかる。矩形配置を砲台配置にすることで継手軸方向の中央に対して対称にボルトが配置されていないことが原因と考えられる。一般に高力ボルト摩擦接合継手が多列化すると母板では継手外側から，連結板では継手内側から分担する断面力が大きくなる [1]。これに伴い，相対変位も継手内側および外側から大きくなる。しかし，砲台配置では継手中央に対して非対称にボルトが配置されており，継手軸方向の最内ボルト列に配置されているボルト 4 本が伝達する荷重に対して，継手外側ではそのボルト本数に等しくなるよう継手外側から 3 列に配置された計 4 本のボルトが同等の荷重を分担すると考えられる。継手内側および継手外側からボルトを数え，ボルト本数が等しくなる箇所に分担摩擦力および相対変位の最小値が現れるものと考えられる。**図-3.5.16** に示すように「ボルト本数中央」と示す位置が「継手長さ中央」からずれることが，矩形配置に対して分担摩擦力および相対変位の分布が異なる原因であると考えられる。また，砲台配置において，相対変位の最小値を示すボルト列が矩形部分内にあることで，継手内側から第 4 列目までの継手軸方向の分担摩擦力の分布が矩形配置と同様の傾向を示し，すべり係数が一致したと考えられる。つまり，矩形部分のボルト列数が少ない場合に，千鳥部分内で相対変位の最小値が現れると想定され，矩形配置と砲台配置ですべり係数が異なると考えられる。よって，矩形部分のボルト列数がある程度確保されているならば，矩形部分における分担摩擦力が矩形配置と砲台配置で同様の結果を示すと考えられることから，砲台配置を等価な矩形配置（ただし，ボルト間隔とボルト行数は同じ）に置き換え，そのときのすべり係数を砲台配置のすべり係数として用いることができる可能性を示唆している。

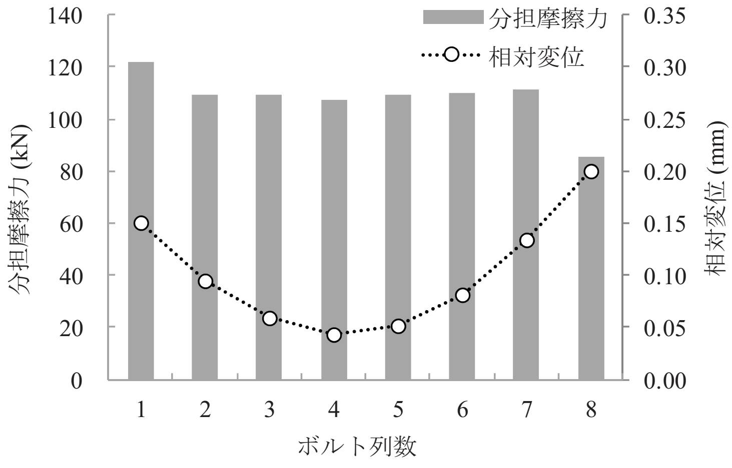


(a) 矩形配置（G-8-1.74）

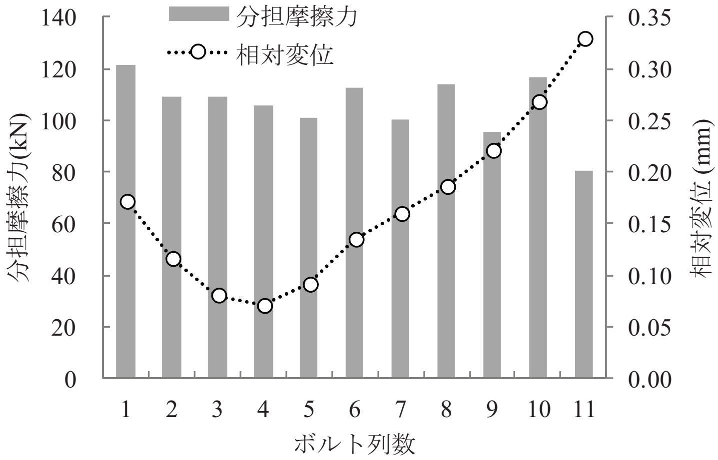


(b) 砲台配置（St-11-1.74）

図-3.5.14　すべり発生時における各列の分担摩擦力（降伏先行型）



(a) 矩形配置（G-8-0.87*）



(b) 砲台配置（St-11-0.87*）

図-3.5.15 すべり発生時における各列の分担摩擦力（すべり先行型）

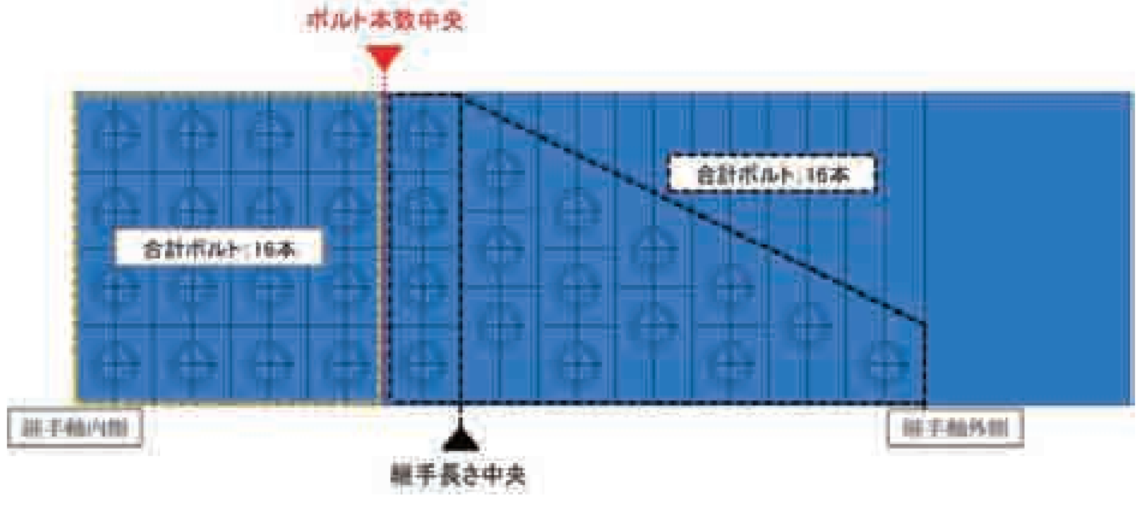
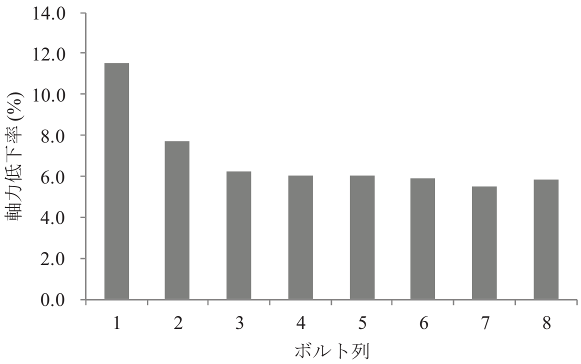


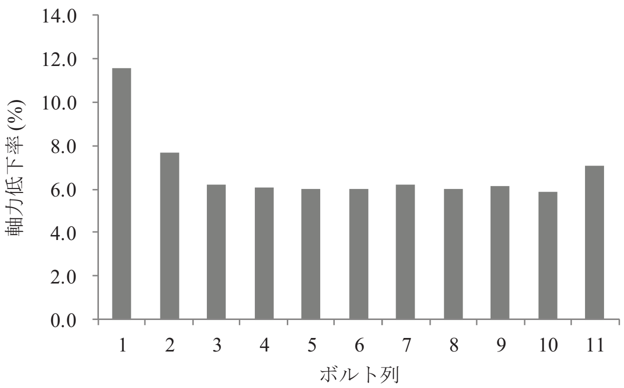
図-3.5.16　ボルト本数中央の例

(4) ボルト軸力

図-3.5.17 および**図-3.5.18** に降伏先行型およびすべり先行型の矩形配置と砲台配置のすべり発生時における軸力低下率を示す。図の縦軸には軸力低下率を，横軸にはボルト列数を示す。なお，ボルト軸力の低下率は各列に存在するボルトの軸力低下率の平均値を示している。いずれのケースにおいても継手軸方向の内側と外側の軸力低下率に差が生じており，継手内側の軸力低下率の方が大きくなっていることがわかる。また，その差は降伏先行型ほど顕著に現れている。これは，継手内側では，連結板に作用する荷重が大きくなることでその箇所における平均応力も高くなるため，それに伴うポアソン効果により連結板の板厚が減少し，継手内側におけるボルト軸力の低下が大きくなったと考えられる。また，**図-3.5.17** に示す降伏先行型としたケースの方が，連結板において継手軸内側に作用する平均応力が大きくなることで，板厚の減少量も大きくなるため，すべり発生時における軸力低下率も大きくなると考えられる。

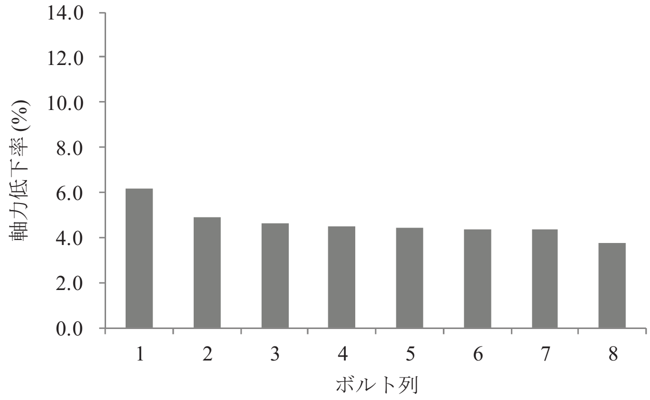


(a) 矩形配置（G-8-1.74）

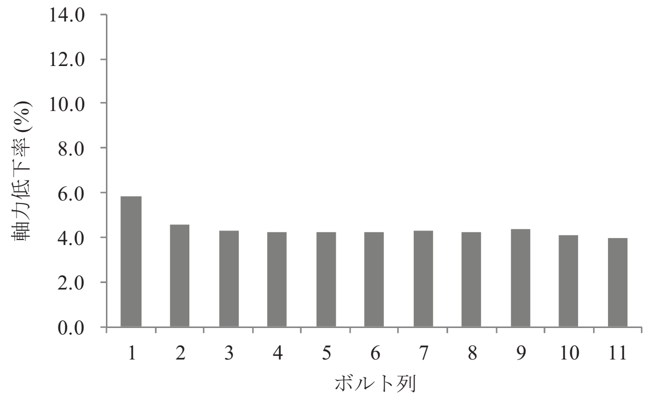


(b) 砲台配置（St-11-1.74）

図-3.5.17　すべり発生時における軸力低下率（降伏先行型）



(a) 矩形配置（G-8-0.87*）



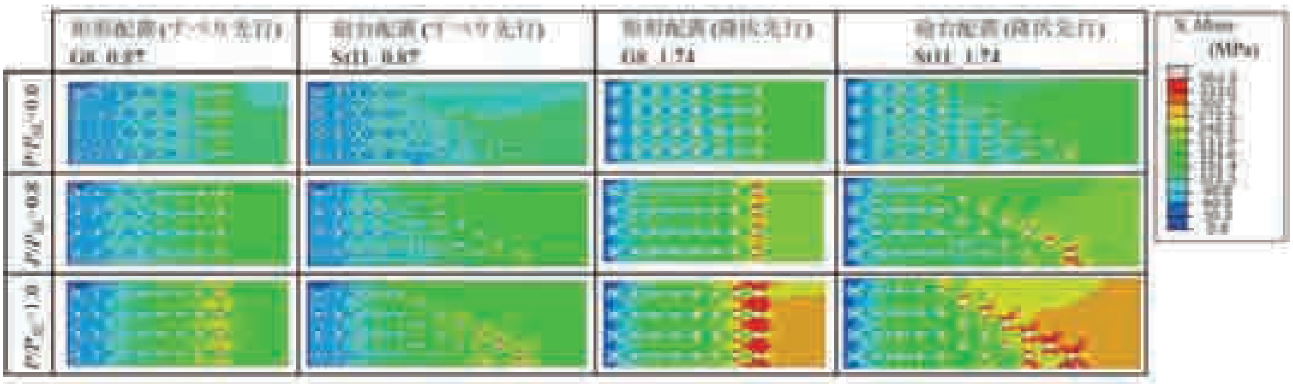
(b) 砲台配置（St-11-0.87*）

図-3.5.18　すべり発生時における軸力低下率（すべり先行型）

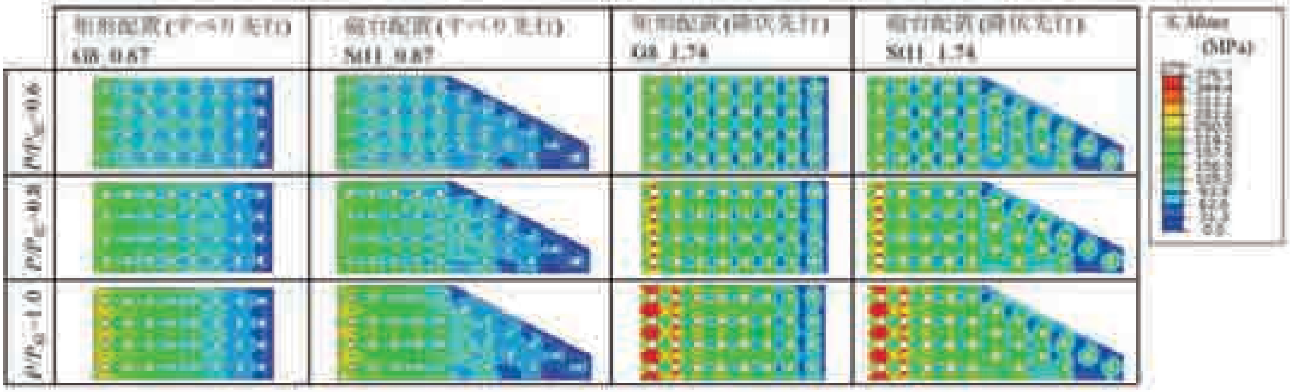
(5) 応力分布

図-3.5.19 に母板および連結板のミーゼス応力分布を示す。図中には作用荷重をすべり荷重で無次元化した値 P/P_{SL} を示しており，P/P_{SL} が 0.6，0.8，1.0 となったときのミーゼス応力をそれぞれ示している。同図より矩形配置と砲台配置を比較すると継手軸方向の内側ではミーゼス応力の分布がほぼ同じ傾向を示しているのに対し，外側では配置の影響が現れている。すべり先行型においては矩形配置・砲台配置ともに継手軸方向の外側の純断面が降伏せず，すべりが発生している。一方で，降伏先行型については，矩形配置の継手外側のボルト列において降伏点あるいはそれ以上の応力に達しており，純断面積が降伏していることがわかる。砲台配置では各ボルト行の継手軸方向の外側ボルト孔付近で局所的に降伏点に近い値を示しているが，純断面の降伏には至っていないことがわかる。これは，砲台配置の場合，継手軸外側において，ボルト孔による断面欠損が抑えられ，高いすべり/降伏耐力比であっても，母板が降伏することなくすべりが生じると考えられる。

連結板については，すべり先行型および降伏先行型それぞれの場合において継手軸方向の内側のミーゼス応力分布は同じ傾向を示している。これは，一般的に連結板では継手軸内側において，作用する断面力が大きくなるため，その位置における断面が砲台配置と矩形配置で変化せず，継手内側における連結板のミーゼス応力分布にも明確な差異が生じないためと考えられる。また，継手軸方向の外側においては，作用する断面力が小さいためミーゼス応力も同程度となっている。



(a) 母板



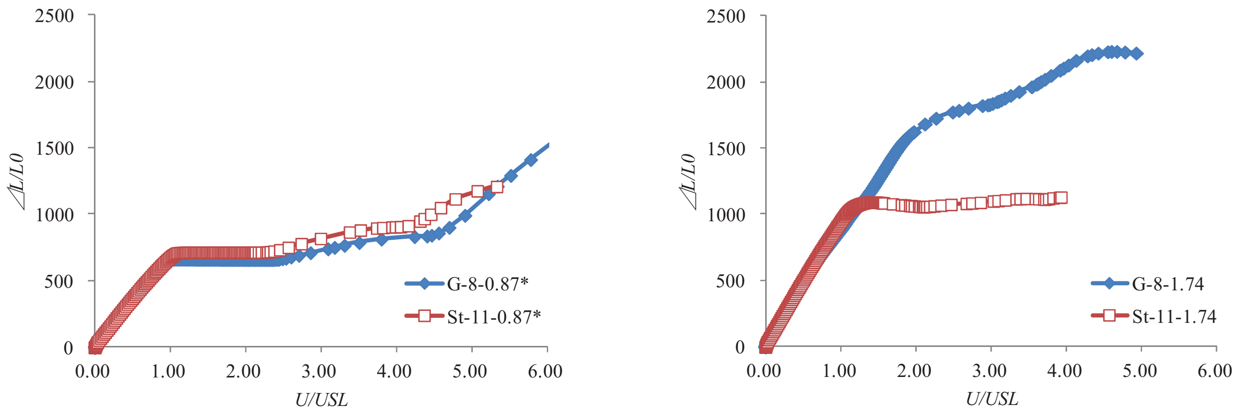
(b) 連結板

図-3.5.19　母板および連結板のミーゼス応力分布

(6) 継手伸び（母板）

図-3.5.20 に継手伸び ΔL と母板端部に与えた強制変位量 U との関係を示す。図の縦軸は $\Delta L/L_0$ を，横軸は U/U_{SL} で，それぞれ初期の継手長さ L_0，すべり時の強制変位量 U_{SL} で無次元化している。$U/U_{SL}=1.0$ はすべり時を表している。初期の継手長さ L_0 を図-3.5.21 に示す。

図より，すべり先行型において，砲台配置と矩形配置では，すべり発生時までは，両者の継手伸びに差はみられず，すべり発生時の傾きは 0 となり，継手伸びが増加することなく母板端部に与えた強制変位が増加している。このことは，いずれの配置についてもすべりが支配的であることを表している。一方，降伏先行型では，すべり発生後，砲台配置では継手伸びが増加することなく，強制変位が増加している。しかし，矩形配置では，すべり発生後も継手長さが増加し続けていることがわかる。これは，矩形配置では，母板外側ボルト列で純断面積が降伏するためと考えられる。つまり，降伏先行型の砲台配置では，孔引きによる断面欠損を低減できることで，すべり発生後に継手軸外側の純断面の降伏が先行する矩形配置よりも，降伏の進展が先端部に集中せず，継手伸び量が抑えられると考えられる。



(a) すべり先行型　　(b) 降伏先行型

図-3.5.20　継手の伸び量

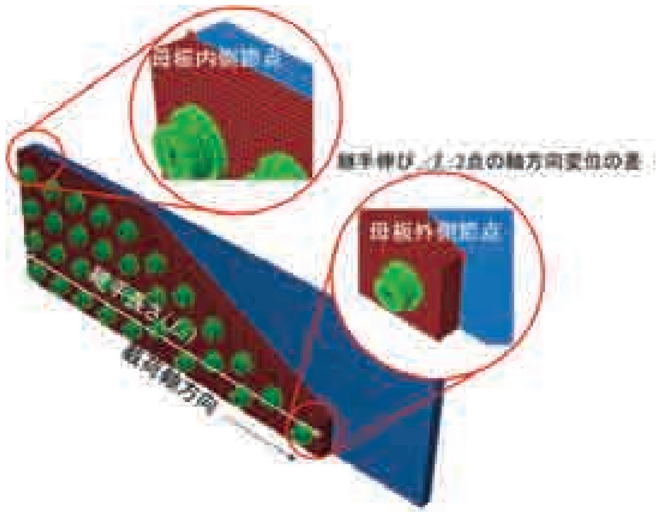


図-3.5.21　継手伸びの算出節点および初期継手長さ

3.5.3　すべり/降伏耐力比βの影響

表-3.5.3 に解析結果を，**図-3.5.22** に最大ボルト列数が 8，10 および 12 列の場合のすべり/降伏耐力比 β とすべり係数の関係をそれぞれ示す。図よりすべり/降伏耐力比 β が大きくなるとすべり係数が低下していることがわかる。また，β が 0.87 のすべり先行型の場合では，最大ボルト列数によらず，すべり係数がほぼ同等であるのに対し，β が 1.20，1.60 と増加すると，最大ボルト列数により，すべり係数の低下度が異なっていることがわかる。その低下度は最大ボルト列数が 8 列および 10 列の場合では，ほぼ同程度に低下しているが，12 列になるとその低下度が大きくなっている。これは，すべり係数が，すべり/降伏耐力比 β の影響のみでなく，ボルト列数の影響によっても，低下していることを示している。

表-3.5.3　解析結果（すべり/降伏耐力比β）

解析ケース	St-8-0.87	St-8-1.20	St-8-1.60	St-10-0.87	St-10-1.20	St-10-1.60	St-12-0.87	St-12-1.20	St-12-160
導入軸力 (kN)	204.7	204.5	204.6	205.0	203.9	203.9	205.8	206.1	205.4
すべり荷重 (kN)	7,315	6,814	6,035	10,393	9,383	8233.96	13,157	11,683	9,687
すべり係数	0.447	0.416	0.369	0.453	0.411	0.361	0.444	0.394	0.328

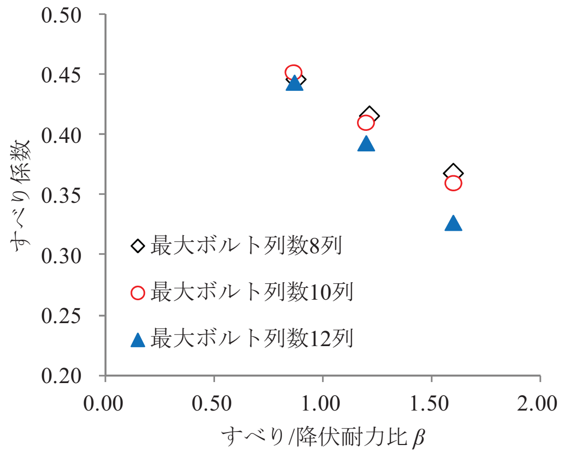


図-3.5.22　すべり/降伏耐力比βとすべり係数の関係

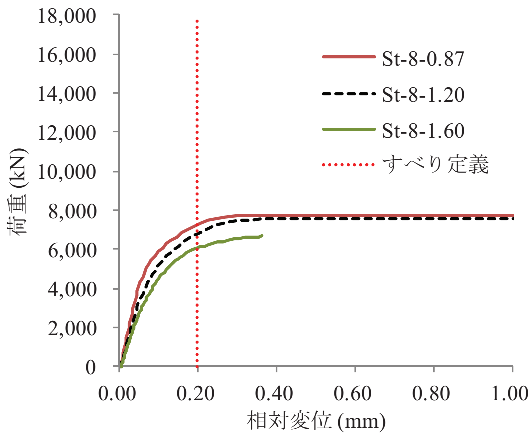
（1）荷重－相対変位関係

図-3.5.23 に 8 列，10 列および 12 列の荷重－相対変位の関係を示す。図の縦軸には荷重を，横軸には継手軸方向の内側相対変位を示している。図中の赤破線はすべり定義の指標のひとつである継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm であることを示す。図より，全ケースにおいて，最大荷重発生時ではなく，内側相対変位が 0.2mm に達した時点ですべり発生と決定されることがわかる。また, 最大ボルト列数が 8, 10 および 12 列のいずれの場合においても，すべり/降伏耐力比 β が大きくなるに従って，より低い荷重レベルで内側相対変位が 0.2mm に達していることがわかる。つまり，すべり/降伏耐力比 β が大きくなることで，母板および連結板の変位量が大きくなり，低い荷重レベルで相対変位量が増大し，すべり係数も低下したと考えられる。

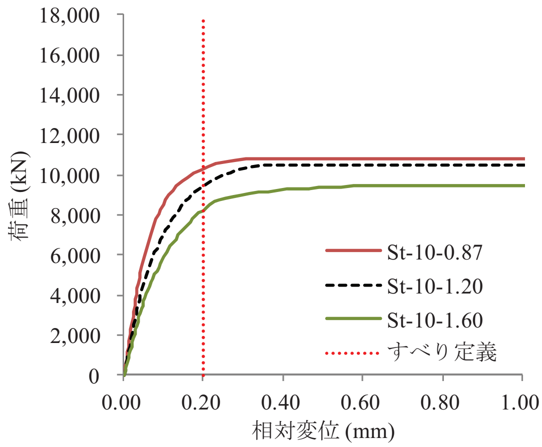
さらに，すべり/降伏耐力比 β が大きくなることで，最大荷重が低下している。これは，すべり/降伏耐力比 β が大きくなることで，ボルト軸力の低下が大きくなったためと考えられる。

図-3.5.24 に β を 1.60 とした場合の最大ボルト列数が 8，10 および 12 列の砲台配置の荷重－相対変位関係を示す。縦軸は荷重をすべり荷重で無次元化した値を示しており，横軸は継手軸内側の相対変位を

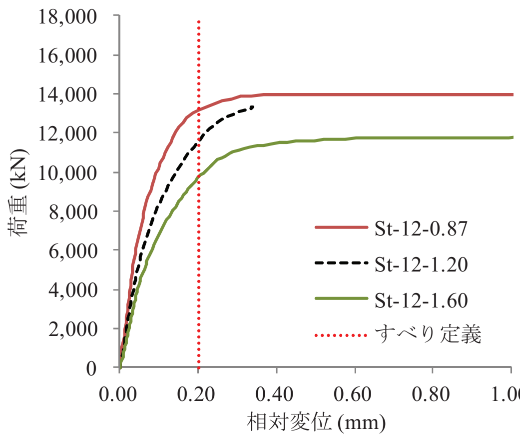
示している。図より，8 列（St-8-1.60）および 10 列（St-10-1.60）の荷重－相対変位関係はほぼ一致していることがわかる。しかし，12 列（St-12-1.60）では，最大荷重に対する内側相対変位が 0.2mm に達した時点の荷重の比が 8 列および 10 列のケースと比較しても小さくなっていることがわかる。このことから，最大ボルト列数を 8 列および 10 列としたケースに比べて，最大ボルト列数が 12 列のケースのすべり係数が大きく低下したと考えられる。



(a) 最大ボルト列数 8 列



(b) 最大ボルト列数 10 列



(c) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.23 荷重－内側相対変位関係

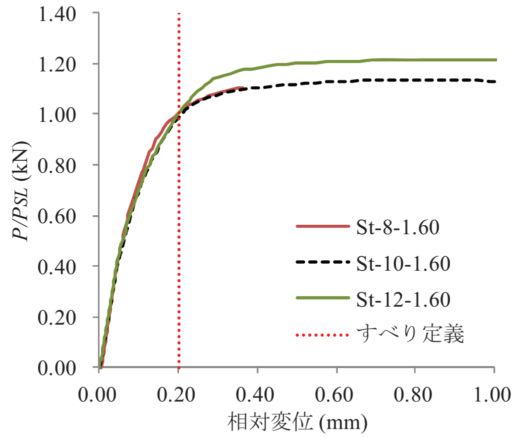


図-3.5.24 荷重－相対変位関係（β=1.60）

(2) すべり性状（相対変位）

図-3.5.25 にすべり発生時における継手軸方向の母板と連結板の相対変位分布（コバ面）を示す。図の縦軸にはコバ面における母板と連結板の相対変位を，縦軸には継手軸方向の内側からの距離を示している。図中の赤破線は**図-3.5.26** に示す砲台配置における連結板の断面変化点の位置を示している。図より，全てのケースにおいて，各コバ面位置の相対変位量に差が生じており，継手軸方向の内側よりも外側の相対変位が大きくなっていることがわかる。また，同じ最大ボルト列数のケースにおいて，すべり/降伏耐力比 β の違いで比較すると，すべり/降伏耐力比 β の値が大きくなると，相対変位量の最小値が小さくなっている。さらに，最大ボルト列数が 8 列の場合，相対変位が最も小さい箇所は，継手のほぼ中央に位置しているのに対して，10 列 12 列では，その箇所が継手中央から矩形部分に寄って位置していることがわかる。これは，**図-3.5.16** に示したように，最大ボルト列数が増加すると継手軸方向の内側および外側から順にボルト本数を数えた際に，全ボルト本数を 2 等分できる位置（ボルト本数中央）に相対変位の最小値が現れるためと考えられる。さらに，連結板の断面変化点付近において，継手軸方向の相対変位の分布傾向が異なっていることがわかる。これは連結板の断面が継手軸方向の外側に向かって減少することで，剛性が異なっていることが原因であることが考えられる。

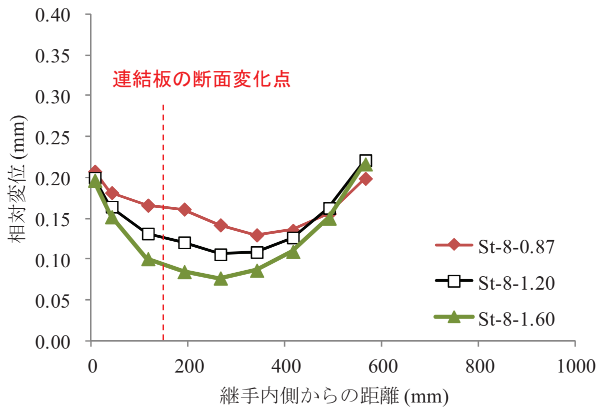
図-3.5.27 にすべり発生時における継手軸方向内側の幅方向の相対変位分布を示す。図の縦軸には，継手幅方向の内側からの距離を，横軸には相対変位を示している。

同図より，すべり発生時における継手軸方向内側の幅方向の相対変位分布は，最大ボルト列数が少なく，板幅が大きくなるほど，継手幅方向の内側と外側の相対変位に差が生じており，内側の相対変位の方が外側に比べて小さくなっている。最大ボルト列数 8 列において，継手幅方向の内側の相対変位に対して，外側の相対変位は 30%~60%程度大きくなっている。また，この差は最大ボルト列数が増加すると小さくなっており，最大ボルト列を 12 列としたケースにおいて，継手幅方向の内側に対して，継手幅方向の外側の相対変位が 13%~16%程度小さくなっている。

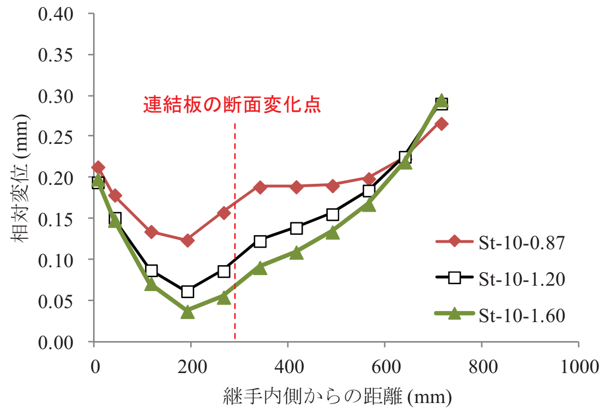
3.3.1 (1)において，すべり/降伏耐力比 β で最大ボルト列数が異なるケースで，同様の比較を行っている。その結果，継手軸方向内側の幅方向の相対変位分布において，ボルト列数が少なくなることで，内側と外側の相対変位に差が生じており，すべり/降伏耐力比 β が継手幅方向の相対変位差に与える影響は小さいと考えられる。

以上のことを踏まえると，板幅およびボルト列数が継手軸方向内側の幅方向の相対変位分布に影響を

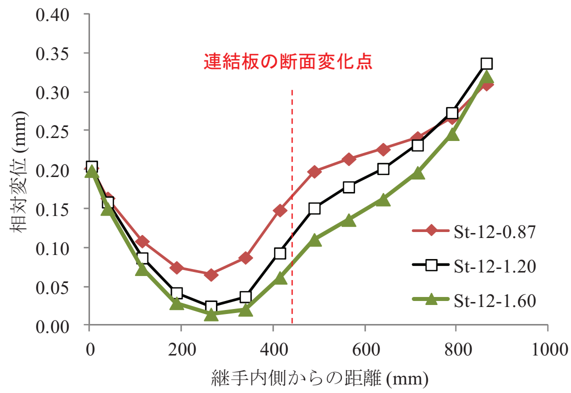
与えていることが考えられる。また，すべり発生時における継手幅方向の内側の相対変位は，板幅が大きくなる，あるいはボルト列数が少なくなることで小さくなると考えられる。



(a) 最大ボルト列数 8 列



(b) 最大ボルト列数 10 列



(c) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.25　すべり発生じにおけるコバ面の相対変位分布

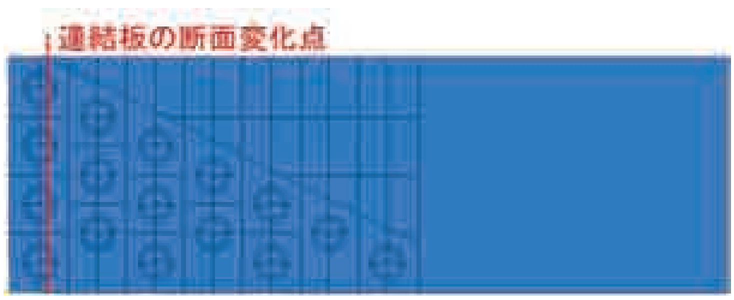
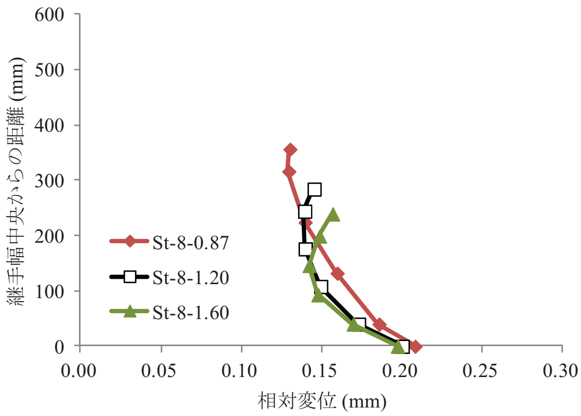
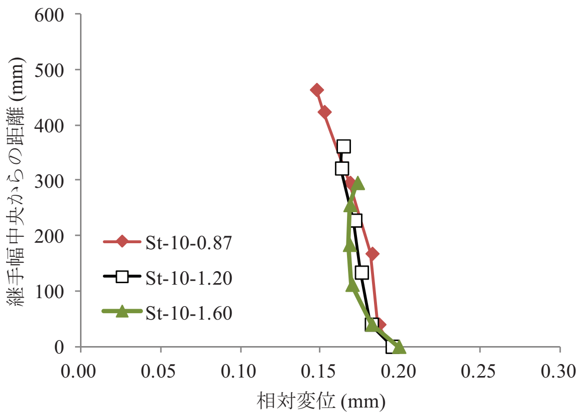


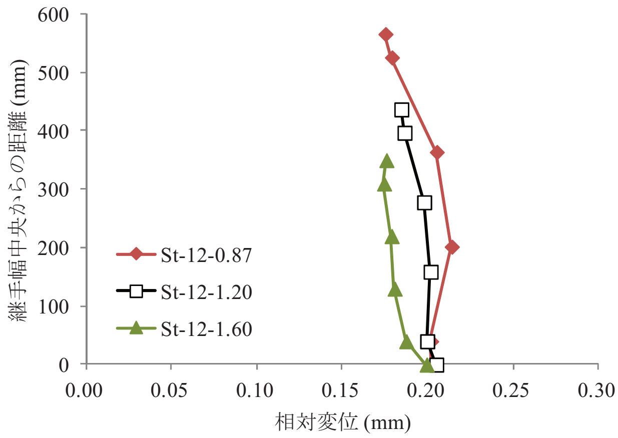
図-3.5.26　砲台配置における連結板の断面変化点



(a) 最大ボルト列数 8 列



(b) 最大ボルト列数 10 列



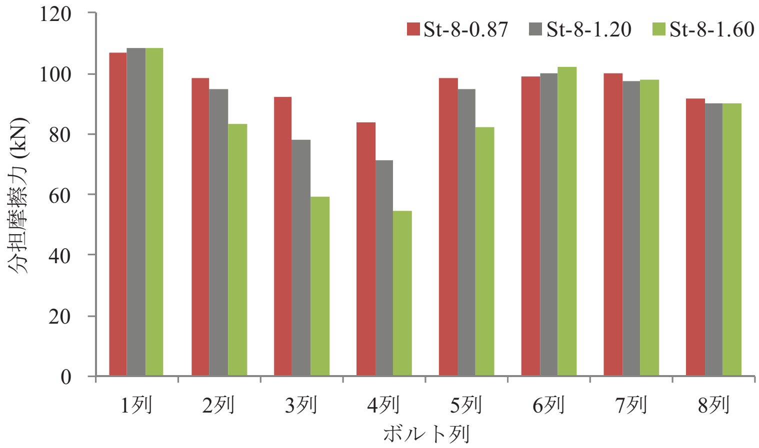
(c) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.27 すべり発生時における継手内側における幅方向の相対変位分布

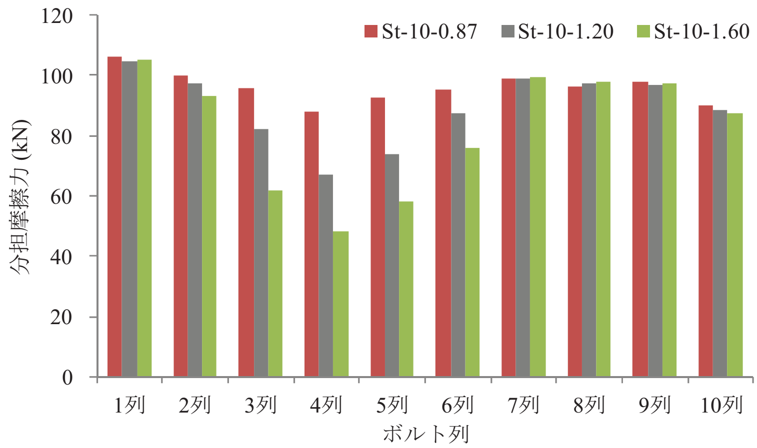
(3) 分担摩擦力

図-3.5.28 に最大ボルト列数ごと（8 列，10 列および 12 列）にすべり発生時における各列の分担摩擦力を示す。図の縦軸には分担摩擦力を，横軸にはボルト列をそれぞれ示す。図より，それぞれのボルト列数の継手において，すべり/降伏耐力比の違いで分担摩擦力を比較すると，すべり/降伏耐力比が大きくなるほど，継手中央において分担摩擦力が低下していることがわかる。さらに，最大ボルト列数が増加するほどすべり/降伏耐力比が大きくなることによる分担摩擦力の低下度は大きくなっている。つまり，この分担摩擦力の低下分だけすべり荷重が低下し，すべり係数が低下していると考えられる。また，分担摩擦力が最小となるボルト列が各最大ボルト列数で一致していることから，すべり/降伏耐力比が増加しても，分担摩擦力の分布傾向自体は変化せず，すべり発生時に作用する分担摩擦力の大きさのみが低下すると考えられる。

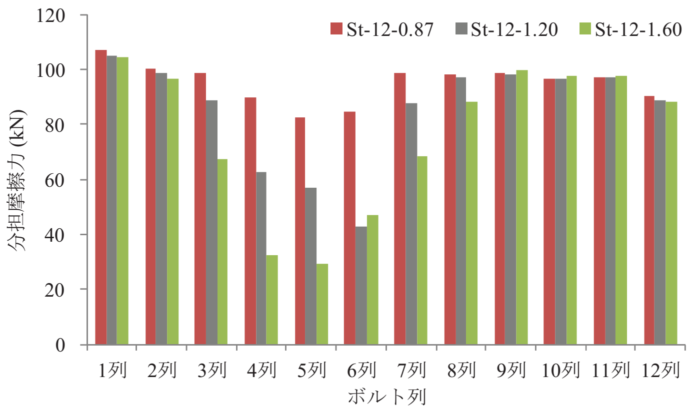
図-3.5.8 で示したように，継手軸方向の分担摩擦力が小さくなる箇所において，相対変位が低下することを踏まえると，すべり/降伏耐力比 β が大きくなることで，連結板および母板の変形が大きくなり，継手軸方向の中央の相対変位が増加する前に継手内側および継手外側の相対変位が大きくなると考えられる。つまり，継手軸方向の内側および外側において，部分的にすべりが発生することですべり係数が低下すると考えられる。



(a) 最大ボルト列数 8 列



(b) 最大ボルト列数 10 列



(c) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.28　すべり発生時における各ボルト列の分担摩擦力

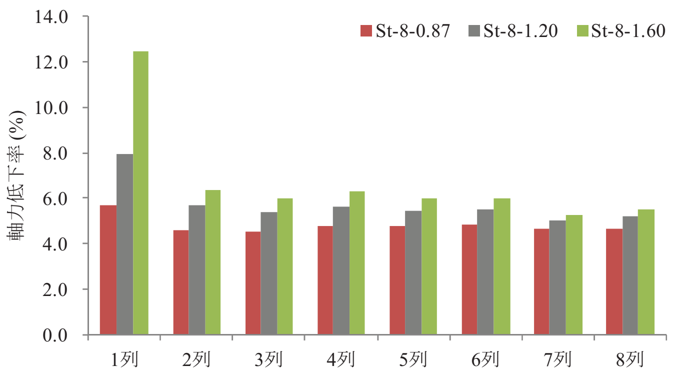
(4) ボルト軸力

図-3.5.29 にすべり発生時におけるボルトの軸力低下率を示す。図の縦軸には軸力低下率を，横軸にはボルト列を示す。また，各列の軸力低下率は，各列に存在するボルトの平均値を示している。

図より，同じ最大ボルト列数のケースにおいて，すべり/降伏耐力比βの違いで比較すると，各列のボルト軸力低下率はすべり/降伏耐力比βの増加に伴って大きくなっている。これは，すべり/降伏耐力比βが大きくなることで，連結板の各列に作用する応力が大きくなり，ポアソン効果による板厚減少が大きくなることが考えられる。

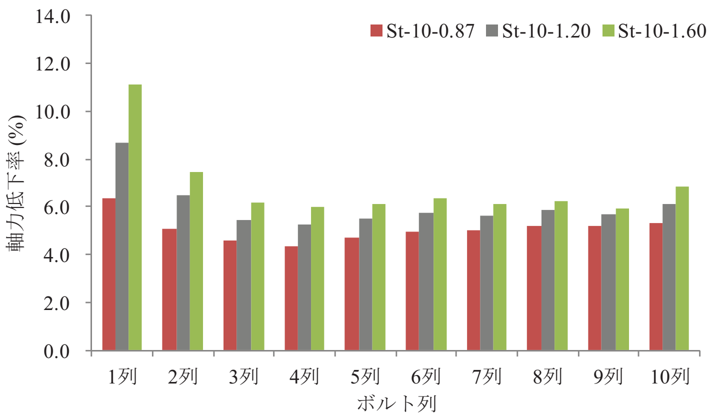
また，継手軸方向の内側ボルト列の軸力低下率は，β=0.87 のケースで約 6~7%，β=1.20 のケースで約 8~9%，β=1.60 のケースで約 10~13%程度の軸力低下率であった。継手軸方向の外側ボルト列の軸力低下率はβ=0.87 のケースで 5~6%，β=1.20 のケースで 5~7%，β=1.60 のケースで 6~7%程度の軸力低下率であった。このことから，すべり/降伏耐力比 β が大きくなるほど，継手軸方向の内側ボルトと外側ボルトの軸力低下率の差が大きくなっている。継手軸方向の外側では，母板のボルト孔付近に応力が集中するが，連結板が存在するため，その応力集中がボルト軸力に与える影響は小さいと考えられる。一方，継手軸方向の内側では，母板に作用する応力は小さくなるが，連結板に作用する応力が大きくなることで，ボルト軸力はポアソン効果による連結板の板厚減少の影響を直接受けると考えられる。これらのことから，各列のボルト軸力低下率はすべり/降伏耐力比βが大きくなるほど大きくなり，継手軸方向の外側ボルトの軸力低下率は，内側ボルトほど，すべり/降伏耐力比βの影響を受けにくいと考えられる。

さらに，同じすべり/降伏耐力比βのケースにおいて，最大ボルト列数の違いで比較すると，最大ボルト列数が多いケースほど，軸力低下率が大きくなる傾向がみられる。しかし，すべり/降伏耐力比 β を 1.60 としたケースでは継手軸方向の内側（第 1 列）のボルト軸力低下率が最大ボルト列数を 8 列としたケースで最も大きくなっている。これは，St-8-1.60 のケースのボルトゲージが 26.5mm と非常に小さいことが原因と考えられる。つまり，すべり/降伏耐力比が大きい継手において，ボルトゲージが小さくなることで，ボルト孔への応力集中に伴い，ボルト間の塑性域が広がり，ボルト軸力が低下すると考えられる。

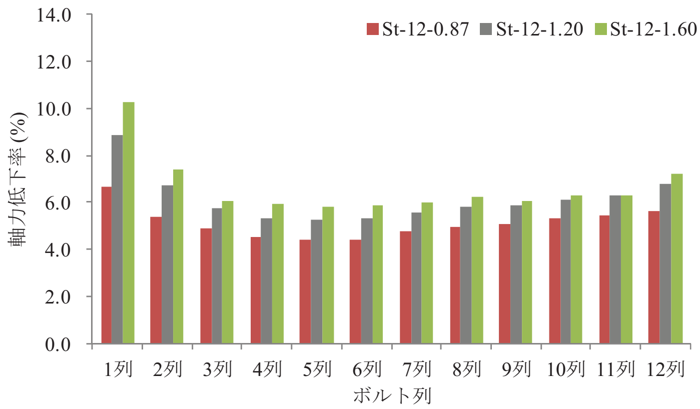


(a) 最大ボルト列数 8 列

図-3.5.29　すべり発生時における軸力低下率（次頁に続く）



(b) 最大ボルト列数 10 列



(c) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.29　すべり発生時における軸力低下率

3.5.4　先端ボルト行数の影響

表-3.5.4 に先端ボルト行数 2 行および先端ボルト 4 行のケースの解析結果を，**図-3.5.30** には最大ボルト列数とすべり係数の関係をそれぞれ示す。表および図より，最大ボルト列数が 10 列から 12 列にかけて先端ボルト行数 2 行のケースと先端ボルト行数 4 行のケースにおいて，すべり係数の低下傾向は異なっているが，すべり係数自体の差は小さく，先端ボルト行数 2 行のケースに対して，先端ボルト行数を 4 行としたケースでは，最大ボルト列数 10 列では 1%程度高く，最大ボルト列数 12 列では，約 1%低下している。一方で最大ボルト列数が 8 列以下の範囲では，先端 4 行としたケースの方がすべり係数が低くなっている。また，その低下は先端ボルト行数 4 行のケースに対して，先端ボルト行数 2 行のケースでは，最大ボルト列数 8 列で約 3%，最大ボルト列数 7 列で約 7%すべり係数が低くなる結果となった。

表-3.5.4　解析結果（先端ボルト行数）

(a) 先端ボルト行数 2 行

解析ケース	St7-0.87	St8-0.87	St9-0.87	St10-0.86	St12-0.87
導入軸力 (kN)	204.7	204.7	205.3	205.0	205.8
すべり荷重 (kN)	5,655	7,315	8,852	10,393	13,157
すべり係数	0.432	0.447	0.449	0.453	0.444

(b) 先端ボルト行数 4 行

解析ケース	St-5-0.87_4top	St-7-0.87-4top	St-8-0.87-4top	St-10-0.87-4top	St-12-0.87-4top
導入軸力 (kN)	205.8	206.1	204.8	204.7	206.0
すべり荷重 (kN)	5,419	8,395	9,845	12,694	15,190
すべり係数	0.470	0.463	0.462	0.456	0.439

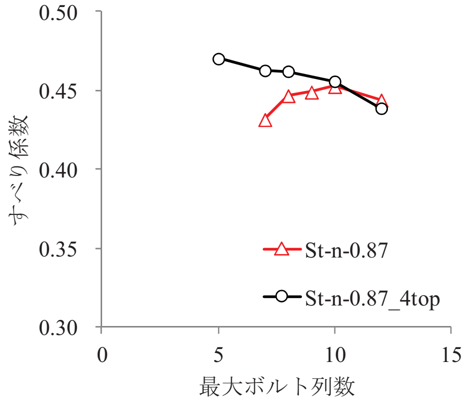
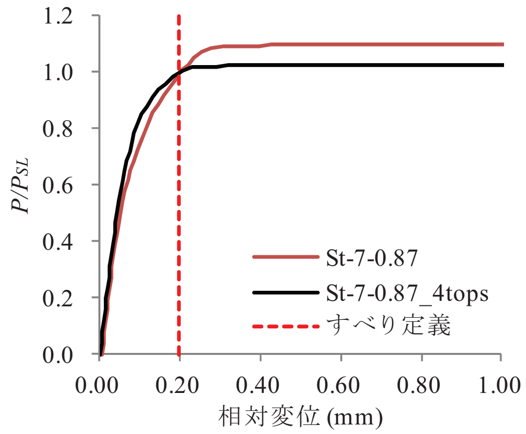


図-3.5.30　最大ボルト列数とすべり係数の関係

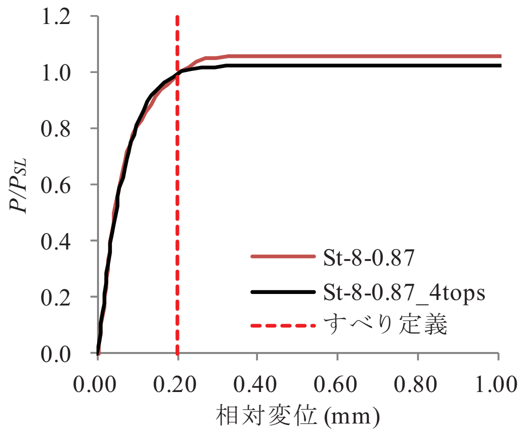
(1) 荷重－相対変位関係

図-3.5.31 に最大ボルト列数ごとに先端ボルト 4 行および先端ボルト 2 行のケースの荷重－相対変位関係をそれぞれ示す。図の縦軸には荷重 P をすべり荷重 P_{SL} で無次元化した値を，横軸には継手軸内側の相対変位をそれぞれ示している。図より，すべてのケースにおいて，継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm に達した時点ですべり発生と決定される。さらにすべり係数が同程度となった，最大ボルト列数が 10 列および 12 列のケースにおいて，継手軸方向の内側相対変位に着目した荷重－相対変位関係はよ

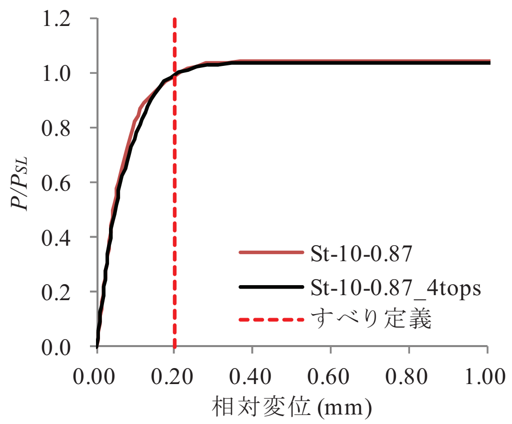
く一致しており，最大荷重に対してすべり荷重のレベルが同程度となっていることにより，すべり係数が同程度になったと考えられる。一方で，先端ボルト行数を 2 行とした場合の方が，4 行とした場合に比べて，すべり係数が小さくなった最大ボルト列数 7 列および 8 列のケースでは，先端ボルト行数を 2 行としたケースにおいて，最大荷重に対して，すべり荷重の荷重レベルが低下することで，すべり係数が小さくなったと考えられる。



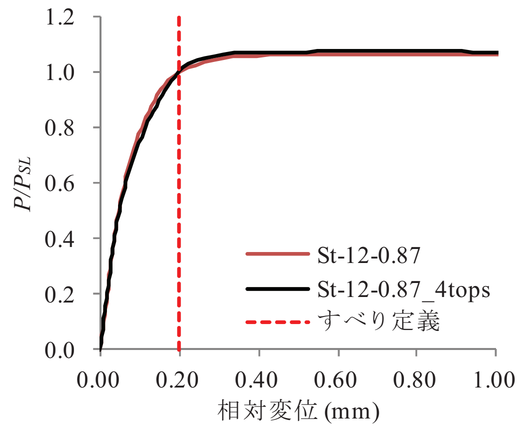
(a) 最大ボルト列数 7 列



(b) 最大ボルト列数 8 列



(c) 最大ボルト列数 10 列



(d) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.31　荷重－相対変位関係

(2) すべり性状（相対変位）

図-3.5.32 にすべり発生時における継手軸方向の母板と連結板の相対変位分布（コバ面）を示す。図の縦軸には相対変位を，横軸には継手軸方向の内側からの距離を示す。図より，最大ボルト列数が 7 列のケースにおいて，先端ボルト行数 2 行のケースおよび先端ボルト行数 4 行のケースで比較すると，継手軸方向の相対変位分布に差が生じており，先端ボルト行数を 4 行としたケースの方が継手軸方向の外側相対変位が大きく，先端ボルト行数を 2 行としたケースの 1.4 倍程度の相対変位が生じている。また，相対変位の最小値も先端ボルト行数 4 行のケースの方が大きくなっており，先端ボルト行を 2 行としたケースに対して，1.4 倍程度となっている。相対変位の最小値を示す箇所は，先端ボルト行数を 4 行としたケースでは，矩形部分で生じており，2 行とした場合では，千鳥部分で生じていることがわかる。

最大ボルト列数を 8 列としたケースでは，7 列としたケースと同様に継手軸方向の外側相対変位が先端ボルト行数を 2 行としたケースよりも 4 行としたケースの方が大きく，相対変位は先端ボルト行数を 2 行としたケースに対し，1.2 倍程度になっている。しかし，相対変位の最小値を比較すると，先端ボルト行数を 2 行としたケースの方が相対変位は大きくなっており，先端ボルト行数を 4 行としたケースに対し，約 1.1 倍となっている。さらに相対変位の最小値が発生する箇所は最大ボルト列数を 7 列としたケースと同様に先端ボルト行数を 4 行とした場合は矩形部分，2 行とした場合では，千鳥部分で生じている。

一方，すべり係数が同程度であった，最大ボルト列数 10 列のケースと 12 列のケースでは，相対変位の最小値は，先端ボルト行数を 2 行としたケースおよび 4 行としたケースともに矩形部分で発生している。

以上のことから，すべり発生時における，継手軸方向の相対変位分布において，相対変位の最小値が千鳥部分で生じることで，最大ボルト列数が 8 列以下の範囲において，先端ボルト行数を 2 行とした場合にすべり係数の低下に関係していると考えられる。

図-3.5.33 にすべり発生時における継手軸内側の継手幅方向の相対変位分布を示す。縦軸には，継手幅方向の外側からの距離を，横軸には相対変位をそれぞれ示している。図より，板幅が小さいほど，継手幅方向の内側の相対変位が外側に比べて小さくなっている。また，継手幅が大きくなると内側の相対変位も大きくなっていることがわかる。つまり，継手幅が大きくなることで，継手幅方向の内側相対変位は外側相対変位と同程度の相対変位が生じ，幅方向に均等に相対変位が生じると考えられる。

図-3.5.34 に板幅と継手幅内側の相対変位との関係を示す。同図より板幅が小さくなると継手軸方向の内側における継手幅方向の内側相対変位小さくなっており，関係性があると考えられる。つまり，先端ボルト行数によらず，継手幅方向の内側相対変位は板幅と関係があると考えられる。

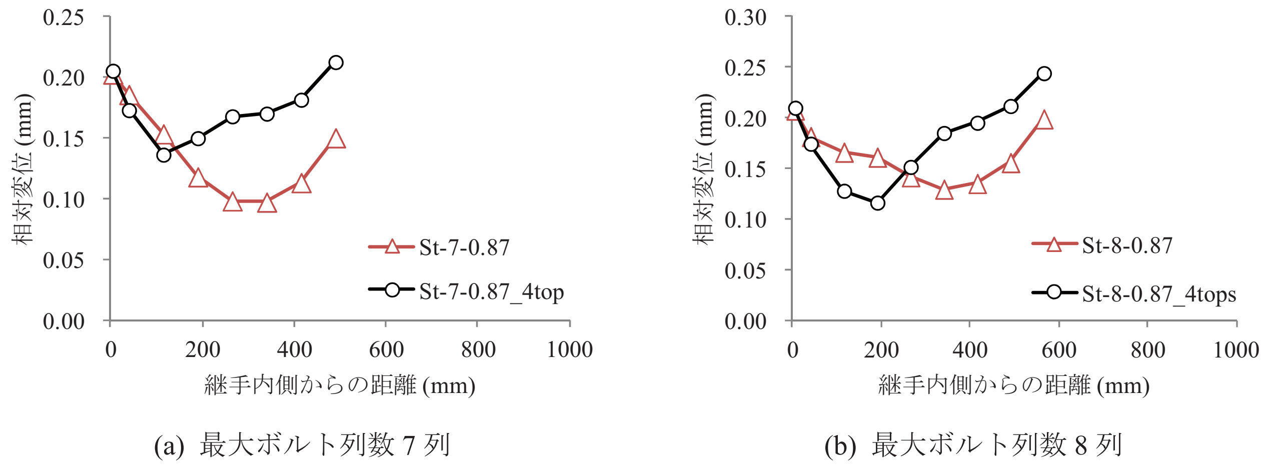
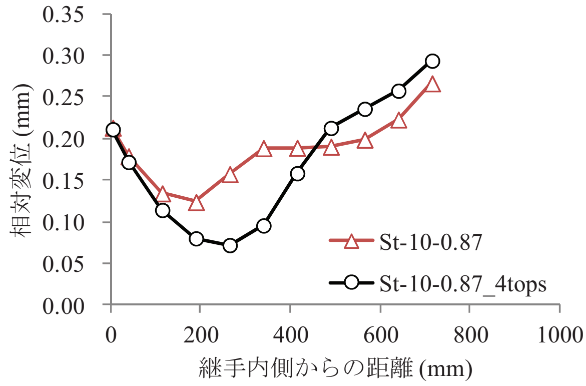
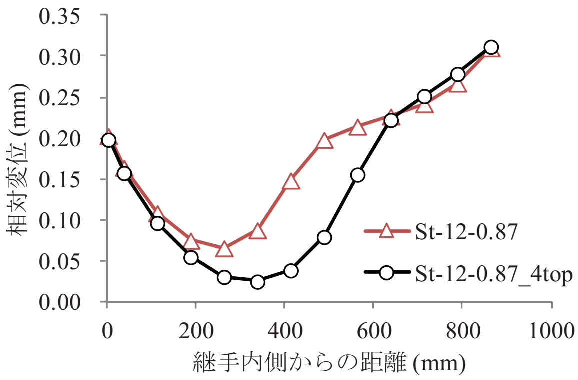


図-3.5.32　すべり発生時における継手軸方向のコバ面の相対変位分布（次頁に続く）



(c) 最大ボルト列数 10 列



(d) 最大ボルト 12 列数

図-3.5.32　すべり発生時における継手軸方向のコバ面の相対変位分布

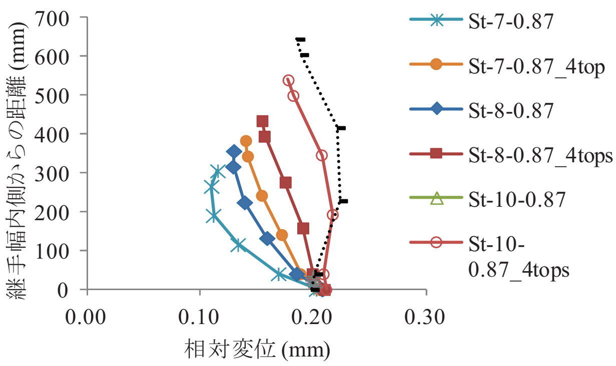


図-3.5.33　すべり発生時における継手内側の相対変位分布

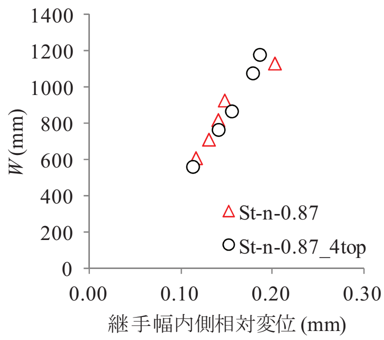


図-3.5.34　板幅と継手幅内側相対変位の関係

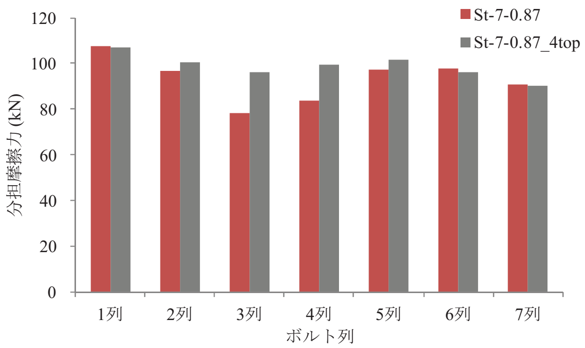
(3) 分担摩擦力

図-3.5.35 にすべり発生時における各ボルト列の分担摩擦力を示す。図より，すべり係数に差があった，最大ボルト列数 7 列および 8 列のケースにおいて，千鳥部分の分担摩擦力が低下していることがわかる。また，その低下位置は最大ボルト列数 7 列の場合では 3 列および 4 列において，8 列の場合では 3 列~5 列において，先端ボルト行数を 2 行としたケースの分担摩擦力が低下している。この差が，すべり係数の差として現れている。

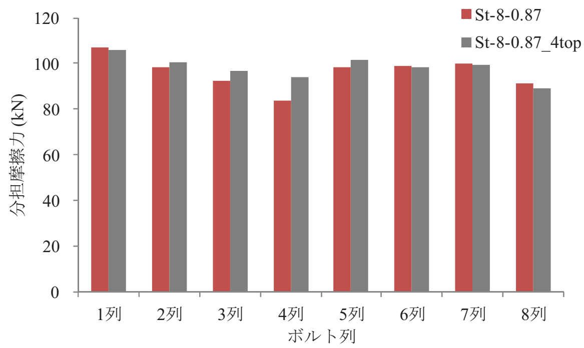
一方，すべり係数が同程度であった最大ボルト列数 10 列および 12 列のケースでは分担摩擦力の分布

が各列とも同程度であることから，すべり係数も同程度になっている。

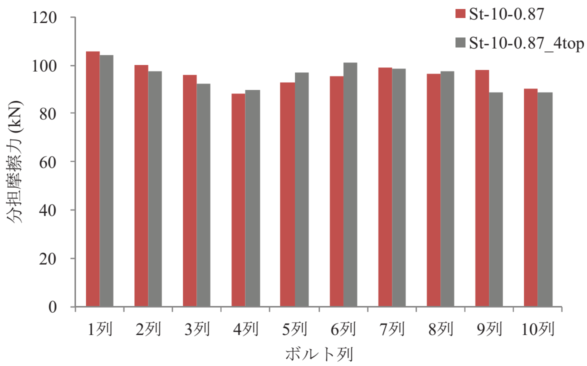
よって，千鳥部分において，分担摩擦力が低下することで，先端ボルト行数を 2 行とした継手においてすべり係数が低下し，その結果として，継手軸方向の内側における幅方向の相対変位分布に差が生じていると考えられる（**図-3.5.33**）。



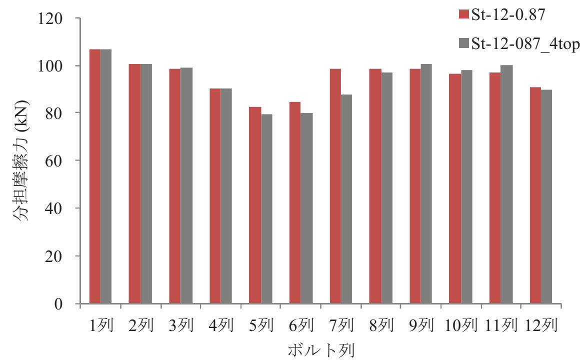
(a) 最大ボルト列数 7 列



(b) 最大ボルト列数 8 列



(c) 最大ボルト列数 10 列



(d) 最大ボルト列数 12 列

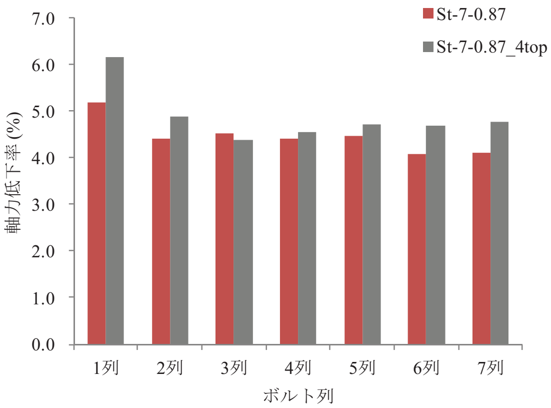
図-3. 5. 35　すべり発生時における各列の分担摩擦力

(4) ボルト軸力

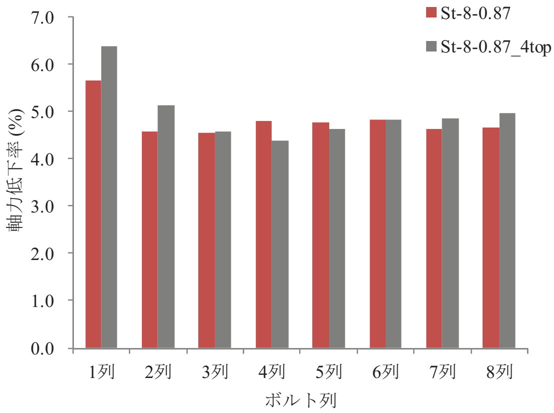
図-3.5.36 にすべり発生時における軸力低下率を示す。ここで，図に示す軸力低下率は，各列に存在するボルトの軸力低下率の平均値を示している。図より，先端ボルト行数の違いについて比較すると，継手軸方向の内側に配置したボルトの軸力低下率が先端ボルト行数を 4 行としたケースの方が軸力低下率が大きくなっている。これは，連結板/母板降伏耐力比 γ が同等であるのに対してすべり荷重が先端ボルト行数を 4 行としたケースの方が大きくなり，継手軸内側において，連結板に作用する応力が高くなるためと考えられる。

継手軸方向の外側ボルト列に着目すると，最大ボルト列数を 7 列および 8 列とした場合では，先端ボルト行数を 4 行としたケースの方が軸力低下率が大きくなっている。一方，最大ボルト列数を 10 列および 12 列とした場合では，先端ボルト行数を 2 行としたケースの方が軸力低下率が大きくなっている。これは，砲台配置のすべり/降伏耐力比 β を連結板との等幅部で算出しているため，すべり/降伏耐力比 β を一定（β=0.87）に保つために，継手幅に合わせてボルトゲージを調整した結果，先端ボルト行数を 4 行としたケースの方がボルトゲージが大きく設定され，千鳥部分において，ボルトゲージを考慮した純

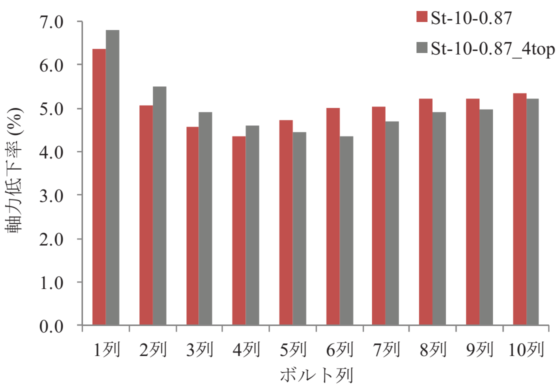
断面積が小さくなったためと考えられる。



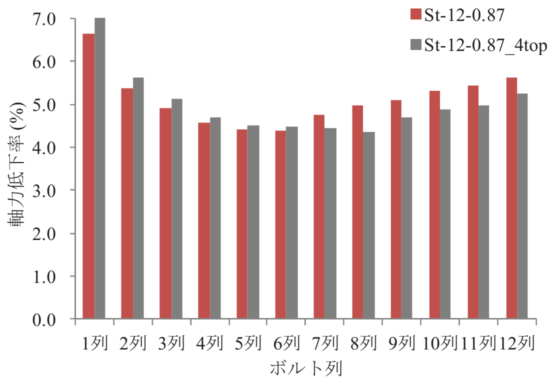
(a) St-7-0.87_4top



(b) St-8-0.87_4top



(c) St-10-0.87_4top



(d) St-12-0.87_4top

図-3.5.36　すべり発生時における軸力低下率

3.5.5　矩形部分のボルト行数の影響

表−3.5.5 に矩形部分のボルト行数を 6 行としたケースおよび 8 行としたケースの解析結果を，**図−3.5.37** に最大ボルト列数とすべり係数の関係を示す。表および図より，最大ボルト列数が 12 列のケースにおいてすべり係数が同程度となっており，その差は 1%以下であった。また，最大ボルト列数が 9 列以下になると，矩形部分を 8 行としたケース（St-n-0.87）のすべり係数が矩形部分のボルト行数を 6 行としたケース（St-n-0.87_6row）に比べて，低下していることがわかる。矩形部分を 6 行としたケースのすべり係数に対し，8 行としたすべり係数との差は最大ボルト列数 7 列で 9%，8 列で 5%，10 列で 2%であった。

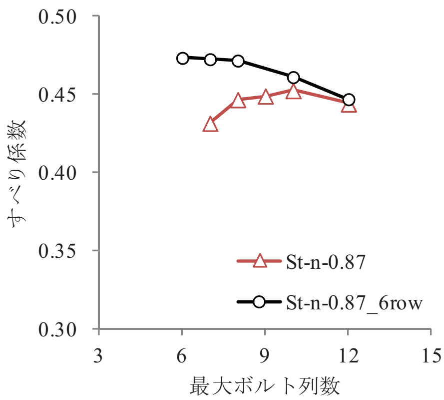
表−3.5.5　解析結果（矩形部分のボルト行数）

(a) 矩形部分 8 行

解析ケース	St7-0.87	St8-0.87	St9-0.87	St10-0.86	St12-0.87
導入軸力 (kN)	204.7	204.7	205.3	205.0	205.8
すべり荷重 (kN)	5,655	7,315	8,852	10,393	13,157
すべり係数	0.432	0.447	0.449	0.453	0.444

(b) 矩形部分 6 行

解析ケース	St-6-0.87_6row	St-7-0.87_6row	St-8-0.87_6row	St-10-0.87_6row	St-12-0.87_6row
導入軸力 (kN)	204.7	206.1	205.9	205.2	204.7
すべり荷重 (kN)	4,653	5,844	6,993	9,085	10,979
すべり係数	0.473	0.473	0.472	0.461	0.447

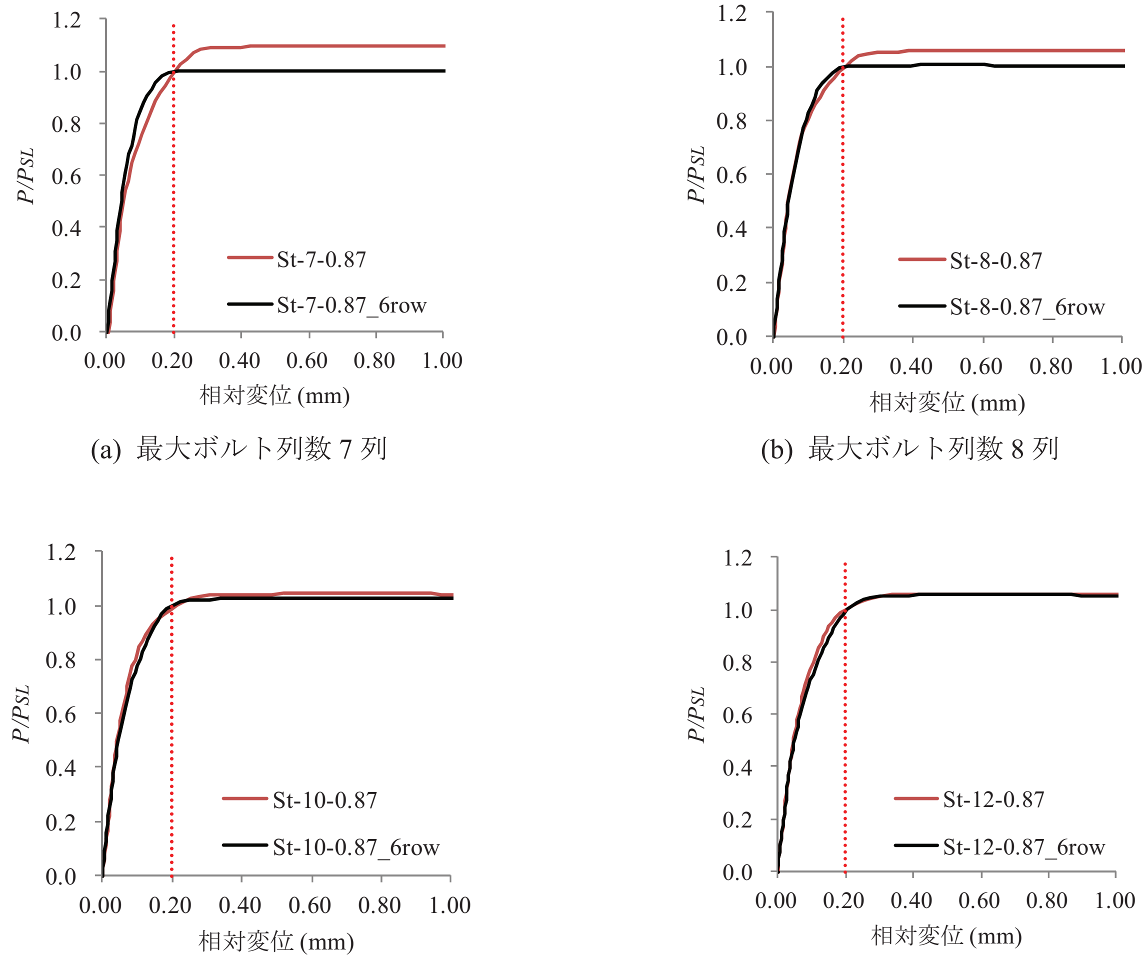


図−3.5.37　最大ボルト列数とすべり係数の関係

(1) 荷重−相対変位関係

図−3.5.38 に継手軸内側に着目した荷重−相対変位関係を示す。図の縦軸には，作用荷重 P をすべり荷重 P_{SL} で無次元化した値を，横軸には相対変位を示している。図より，最大ボルト列数を 7 列および 8 列としたケースにおいて，矩形部分のボルト行数を 6 行としたケース（St-7-0.87_6row，St-8-0.87_6row）は，最大荷重の発生とほぼ同時に継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm に達している。一方で，矩形部分のボルト行数を 8 行としたケース（St-7-0.87，St-8-0.87）では，最大荷重に対して低い荷重レベルで継手軸方向の内側相対変位が 0.2mm に達していることがわかる。これにより，矩形部分のボルト行数を 8 行としたケースにおいてすべり係数が低下したと考えられる。

また，最大ボルト列数を 10 列および 12 列とした場合では，矩形部分のボルト行数を 6 行あるいは 8 行としたケースにおいて，その荷重－相対変位関係が一致しており，継手軸内側の相対変位が 0.2mm に達した時点ですべり発生と決定されている。つまり，最大荷重に対するすべり荷重の比が同程度であり，すべり係数も同程度になったと考えられる。



(a) 最大ボルト列数 7 列　(b) 最大ボルト列数 8 列

(c) 最大ボルト列数 10 列　(d) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.38　荷重－相対変位関係

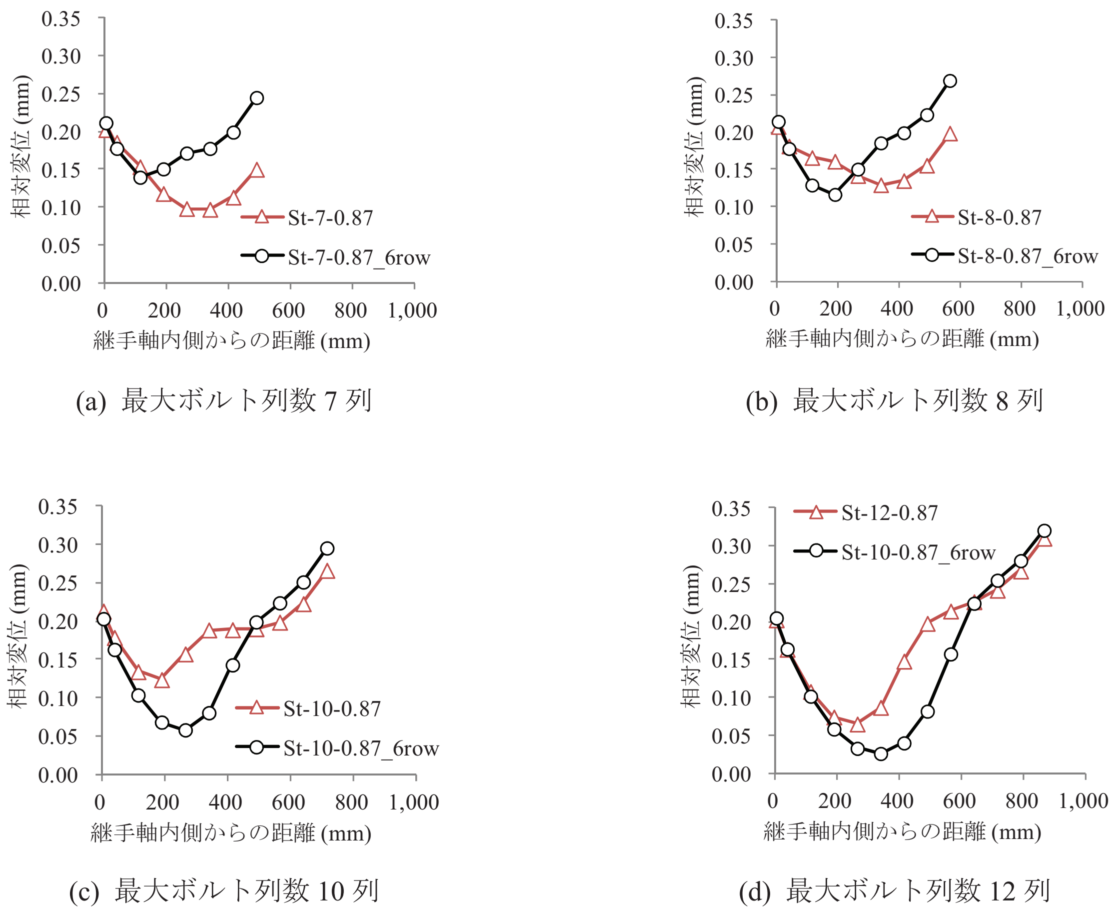
(2) すべり性状

図-3.5.39 にすべり発生時における継手軸方向の相対変位分布を示す。図より，矩形部分を 6 行としたすべてのケースにおいて，継手軸方向の内側相対変位に比べて，外側相対変位は，内側相対変位の 1.2 倍~1.6 倍程度の相対変位が生じている。一方で，矩形部分を 8 行としたケースでは，最大ボルト列数 10 列および 12 列としたケース（St-10-0.87，St-12-0.87）においては，矩形部分を 6 行としたケースと同様に，継手軸方向の内側相対変位に対して，最大ボルト列数 10 列で約 1.2 倍，12 列で約 1.5 倍の相対変位が外側で生じている。しかし，最大ボルト列数を 7 列，8 列としたケース（St-7-0.87，St-8-0.87）では，継手軸方向の内側相対変位に比べて，外側相対変位が同程度，あるいはそれより小さくなっていることがわかる。また，矩形部分のボルト行数を 6 行としたケースにおいて，千鳥部分の相対変位が矩形部分を 8 行としたケースの相対変位に比べて小さくなっている。さらに，矩形部分のボルト行数を 6 行としたケースはすべて矩形部分において，相対変位の最小値が生じているのに対して，矩形部分のボルト行

数を 8 行とした場合では，すべり係数が低くなったケースにおいて，相対変位の最小値が千鳥部分で生じている。

図-3.5.40 にすべり発生時における継手軸内側の継手幅方向の相対変位分布を示す。図の縦軸には，継手幅方向の外側からの距離を，横軸には相対変位をそれぞれ示している。図より，矩形部分のボルト行数によらず，最大ボルト列数が少なくなるほど，継手幅方向の内側と外側の相対変位に差が生じており，継手幅方向の内側相対変位が小さくなっていることがわかる。しかし，矩形部分のボルト行数の違いで比較すると，最大ボルト列数 7 列および 8 列と少ないケースにおいては，矩形部分を 8 行としたケースの方が，継手幅方向の内側相対変位が小さくなっている。また，最大ボルト列数を 10 列および 12 列としたケースにおいて，継手幅方向の内側相対変位が外側のそれと同程度になっている。これらのことから，継手幅方向の相対変位に差が生じること，つまり，継手軸方向の内側において，幅方向に均等にすべりが生じないすべり挙動の違いがすべり係数の低下に関係していると考えられる。

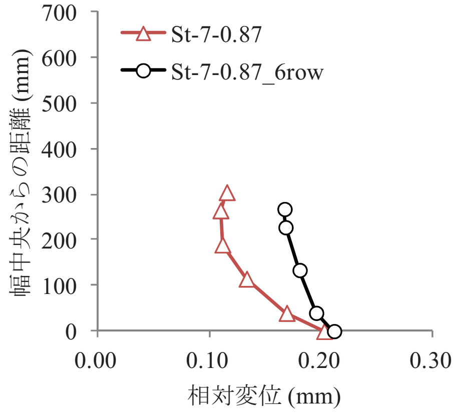
図-3.5.41 に板幅と継手幅内側の相対変位との関係，**図-3.5.42** に矩形部分の長さ *Lg* と継手幅内側の相対変位の関係をそれぞれ示す。**図-3.5.41** より，矩形部分 6 行および 8 行で，板幅と継手幅内側の相対変位の関係に差が生じている。一方で，**図-3.5.42** より，矩形部分の継手長さと板幅内側相対変位の関係では，矩形部分のボルト行数を 6 行および 8 行としたケースでその関係が一致している。このことから，矩形部分の継手長さ *Lg* と継手幅内側の相対変位に関係性があると考えられる。



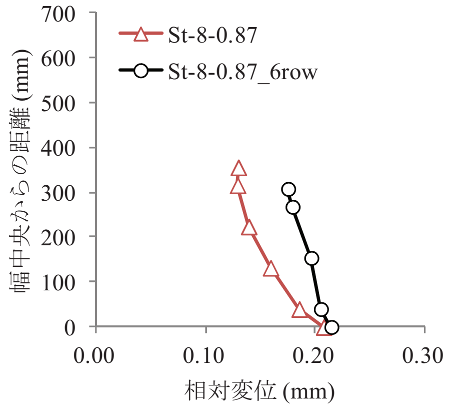
(a) 最大ボルト列数 7 列　(b) 最大ボルト列数 8 列

(c) 最大ボルト列数 10 列　(d) 最大ボルト列数 12 列

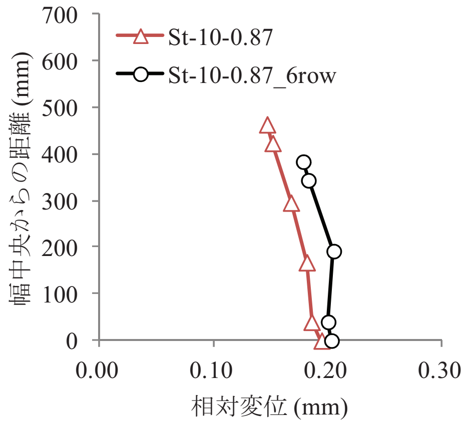
図-3.5.39　すべり発生時における継手軸方向の相対変位分布



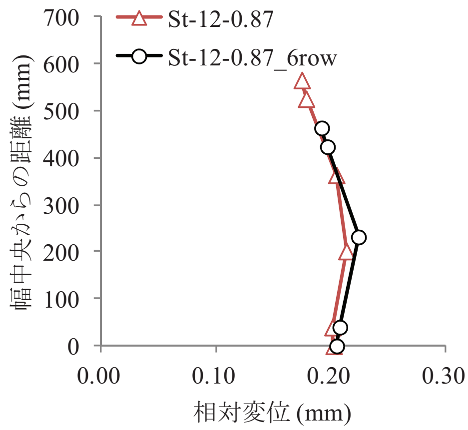
(a) 最大ボルト列数 7 列



(b) 最大ボルト列数 8 列



(c) 最大ボルト列数 10 列



(d) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.40　すべり発生時における継手幅方向の相対変位分布

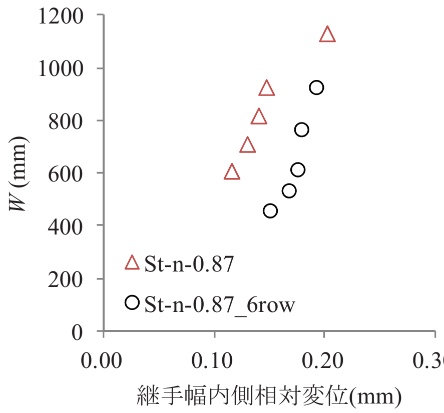


図-3.5.41　板幅と継手幅内側相対変位

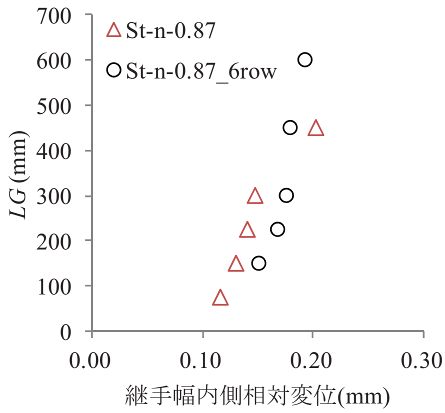


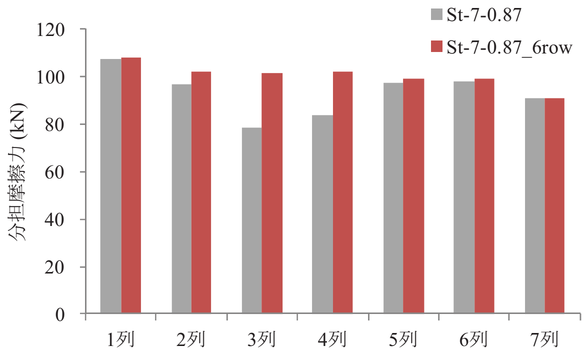
図-3.5.42　矩形部分長さと継手内側相対変位

(3) 分担摩擦力

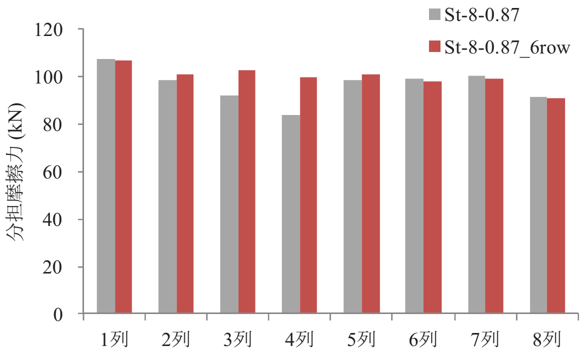
図-3.5.43 にすべり発生時における各列の分担摩擦力を示す。図より，最大ボルト列数を 7 列あるいは 8 列とした場合，3 列目および 4 列目の位置において，矩形部分のボルト行数を 8 列としたケース（St-7-0.87_6row，St-8-0.87_6row）の分担摩擦力が矩形部分を 6 行とした場合に比べて，低下していることが

わかる。この分担摩擦力の低下分だけ，すべり荷重が低下しすべり係数が低下している。また，最大ボルト列数を 10 列あるいは 12 列とした場合では, 各列の分担摩擦力が同程度となっていることがわかる。このことからすべり荷重も同程度となり，すべり係数が一致したと考えられる。

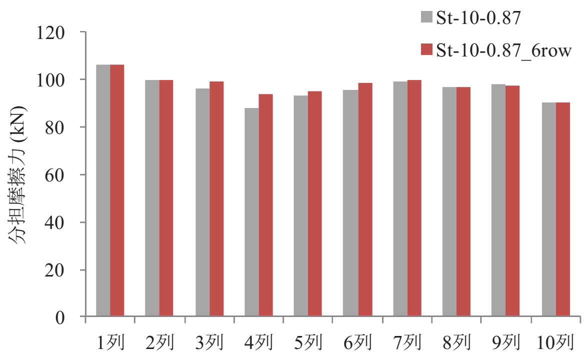
最大ボルト列数 7 列および 8 列のケースにおいて，矩形部分のボルト行数を 6 行とした継手よりもすべり係数が低下した矩形部分 8 行とした継手では，分担摩擦力の低下が千鳥部分で生じている。これにより，すべり係数が低下し，結果として**図-3.5.40** に示した継手幅方向の相対変位分布において，内側と外側で相対変位に差が生じたと考えられる。



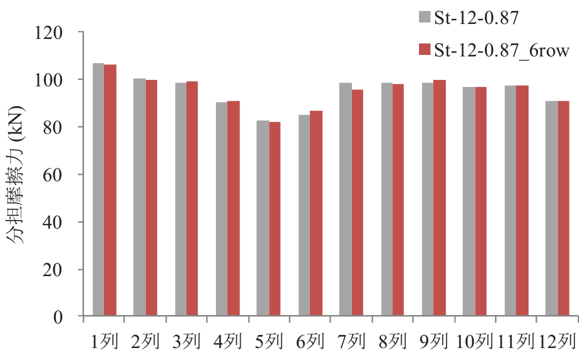
(a) 最大ボルト列数 7 列



(b) 最大ボルト列数 8 列



(c) 最大ボルト列数 10 列

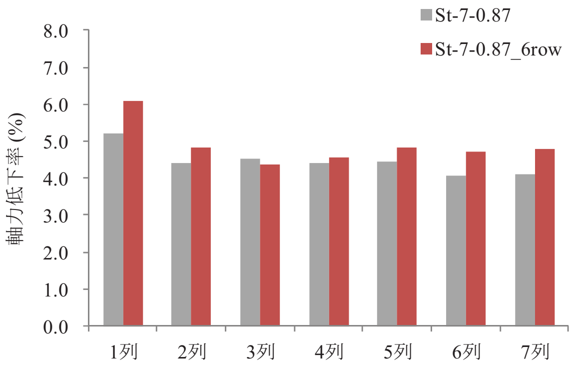


(d) 最大ボルト列数 12 列

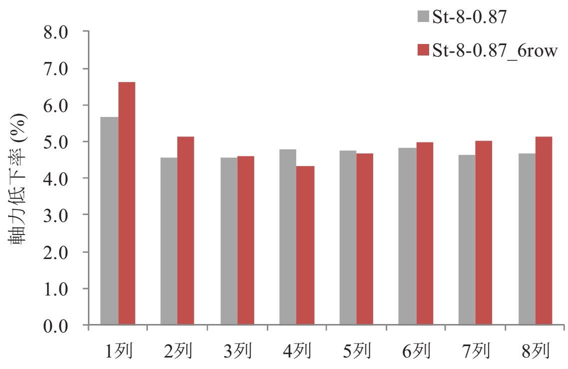
図-3.5.43　すべり発生時における各列の分担摩擦力

(4) ボルト軸力

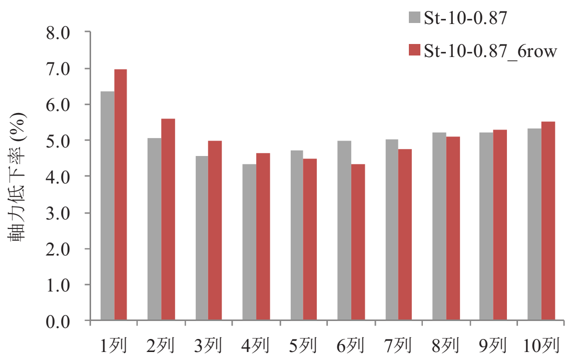
図-3.5.44 にすべり発生時における各列の軸力低下率を示す。図の縦軸には軸力低下率を，横軸には，ボルト列をそれぞれ示している。図より，すべてのケースにおいて，継手軸外側に配置したボルトに比べて，継手軸内側に配置したボルトの軸力低下率が大きくなっている。これは，ポアソン効果による連結板の板厚減少に起因しているものと考えられる。



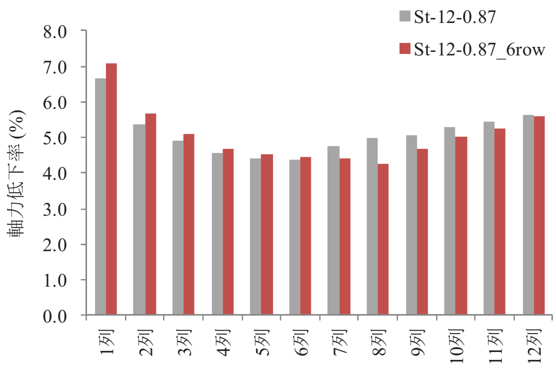
(a) 最大ボルト列数 7 列



(b) 最大ボルト列数 8 列



(c) 最大ボルト列数 10 列



(d) 最大ボルト列数 12 列

図-3.5.44 すべり発生時における軸力低下率

3.6 まとめ

本章では，プレートガーダー橋の下フランジにみられるボルトの矩形配置と千鳥配置とを組み合わせた，いわゆる砲台配置の高力ボルト摩擦接合継手の各種の構造諸元がすべり挙動に与える影響を明らかにすることを目的に，①砲台配置のすべり試験結果と解析結果の比較により，解析の再現性の確認を行い，②その解析モデルを用いて，継手の各種の構造諸元がすべり挙動に与える影響をパラメトリック解析によって検討した。はじめに，砲台配置のすべり試験結果と解析結果の比較による再現性の確認において得られた主な結論をまとめる。

(4) すべり試験のすべり荷重と一致するように摩擦係数を調整した再現解析の No.2 ケースのすべり荷重が 7,314kN と, すべり試験から得られたすべり荷重である 7,349kN との差が 1%以下となり，ほぼ一致することを確認した。また，すべり係数については，No.2 ケースが 0.60，すべり試験が 0.62 と，解析結果の方がやや小さくなったのは，摩擦係数を調整した結果すべり/降伏耐力比 β が高くなったことが関係していると考えられる。

(5) 解析におけるすべり発生の定義を「解析における最大荷重発生時，もしくは母板と連結板の接触面の継手軸内側相対変位が 0.2mm に達したときのうち，継手軸内側相対変位が小さい方の時点」としてすべり荷重を決定した結果，再現解析のすべり荷重がすべり試験結果とほぼ一致したこと，荷重－母板と連結板の相対変位関係について，特に継手軸方向の内側においてすべり試験結果とよく一致したことから，すべりの定義の妥当性を確認した。また，以降のパラメトリック解析もこのすべりの定義によりすべり荷重を評価した。

(6) 継手の引張荷重の作用過程におけるボルト軸力残存率と荷重の関係は，摩擦係数を調整した No.2 ケースとすべり試験結果とがよく一致する結果となった。ボルト軸力は，作用する引張荷重によるポアソン効果で連結板の板厚が減少し低下するため，実験と解析の荷重を同等に一致させることで応力状態もよく一致し，ボルト軸力残存率も一致したと考えられる。

(7) 連結板に作用するひずみと荷重の関係は，摩擦係数を 0.67 と調整した No.2 のケースで，すべり試験結果と良好に一致した。設定した摩擦係数が 0.50 と小さい No.1 のケースでは，生じるひずみの値は試験結果より小さいが，その分布性状はほぼ一致した。

(8) すべり発生時における接合面のすべり量の分布は，摩擦係数の小さい No.1 のケースの方が摩擦抵抗による拘束が小さいため，継手中央および外側の相対変位量は大きくなった。しかしながら，継手内側においては，No.1，No.2 のケースとも相対変位量は摩擦係数の大小によらず同程度であった。

さらに，ボルトを砲台配置した高力ボルト摩擦接合継手の各種の構造諸元がすべり挙動に与える影響を明らかにするために行ったパラメトリック解析で得られた主な結論をまとめる。

1）ボルトが多列化すると，継手軸方向の中央において分担摩擦力が小さくなり，多列ほど継手軸方向の中央と，内側および外側の端部の相対変位の差が大きくなることを確認した。
2）すべり先行型および降伏先行型それぞれの場合において，同じボルト本数の砲台配置および矩形配置のすべり係数は同程度であった。
3）すべり時の継手の伸びは，すべり先行型では，同じボルト本数の砲台配置と矩形配置では同程度であった。対して，降伏先行型の場合は，すべり発生以降，砲台配置の方が継手の伸びが抑えられた。これは，砲台配置の場合，継手外側のボルト本数が少なく，純断面積が大きいため引張荷重による作用応力が低減され，継手伸びが抑えられたと考えられる。
4）すべり/降伏耐力比 β が大きい方がすべり係数は低くなることを確認した。また，その低下度は最大ボルト列数が増加するほど大きくなった。
5）先端ボルト行数が 4 列で，多列によりすべり係数が低下する 10 列および 12 列の場合，先端ボルト行数が 2 列の場合とすべり係数が同等であった。ボルト列数が 7 列および 8 列の場合，先端ボルト行数が 2 列のすべり係数は先端ボルト行数が 4 列の場合と比較し，それぞれ 8%，3%程度低下した。
6）最大ボルト列数が 12 列の場合，砲台配置のうち矩形部分のボルト行数が 6 行あるいは 8 行でも，すべり係数は同程度であった。最大ボルト列数が 7 列，8 列，10 列で，矩形部分のボルト行数が 8 行の場合は，6 行の場合よりもすべり係数が，それぞれ，9%，5%，2%程度低くなった。

4　まとめ

本検討では，接触面を無塗装とした高力ボルト摩擦接合継手を対象に，板厚（50，75mm），ボルト列数（3，8，12 列）をパラメータとした試験体のすべり耐力試験を行い，母板厚及びボルト列数が継手挙動に及ぼす影響について検討した。また，解析的検討ではすべり試験結果との比較により，解析の再現性の確認を行い，その解析モデルを用いて，継手の各種構造諸元がすべり挙動に与える影響をパラメトリック解析によって検討した。得られた主な結論を以下にまとめる。

4.1　すべり耐力試験

(1) 設計ボルト軸力に対するすべり係数 μ_0 は 0.43～0.51（平均値 0.46）であり，道示に規定されるすべり係数 0.4 を上回った。
(2) 母板厚の影響に関して，母板厚 50mm と 75mm ではすべり係数 μ_2（各試験体の平均値）の違いはほとんど見られなかった。
(3) ボルト列数の影響に関して，ボルト列数 8 列に対する 12 列の場合のすべり係数 μ_2（各試験体の平均値）は，母板厚 50mm，75mm ともに約 3%低下した。
(4) すべり耐力時の母板と連結板間の相対変位に関して, 8 列及び 12 列の場合, 継手の中央と端部（内側，外側）ではすべり発生荷重に至るまでに差が大きくなる挙動が確認され，端部で作用力が大きくなる傾向にあることが，すべり係数の低下に影響を及ぼしたと考えられる。
(5) ボルト列数の多列化によるすべり係数の低下の傾向，すべり耐力時の継手内の相対変位の不均一さ及びすべり面の発生の傾向は，著者ら [1),8)] が同一試験体を用いて別途実施した，接触面に無機ジンクリッチペイントを塗布した場合のすべり耐力試験の結果と概ね一致していた。

4.2　解析的検討

(1) すべり試験のすべり荷重と一致するように摩擦係数を調整した再現解析の No.2 ケースのすべり荷重が 7,314kN と，すべり試験から得られたすべり荷重である 7,349kN との差が 1%以下となり，ほぼ一致することを確認した。また，すべり係数については，No.2 ケースが 0.60，すべり試験が 0.62 と，解析結果の方がやや小さくなったのは，摩擦係数を調整した結果すべり/降伏耐力比 β が高くなったことが関係していると考えられる。
(2) 解析におけるすべり発生の定義を「解析における最大荷重発生時，もしくは母板と連結板の接触面の継手軸内側相対変位が 0.2mm に達したときのうち，継手軸内側相対変位が小さい方の時点」としてすべり荷重を決定した結果, 再現解析のすべり荷重がすべり試験結果とほぼ一致したこと, 荷重－母板と連結板の相対変位関係について，特に継手軸方向の内側においてすべり試験結果とよく一致したことから，すべりの定義の妥当性を確認した。また，以降のパラメトリック解析もこのすべりの定義によりすべり荷重を評価した。
(3) 継手の引張荷重の作用過程におけるボルト軸力残存率と荷重の関係は，摩擦係数を調整した No.2 ケースとすべり試験結果とがよく一致する結果となった。ボルト軸力は，作用する引張荷重によるポアソン効果で連結板の板厚が減少し低下するため，実験と解析の荷重を同等に一致させることで応力状態もよく一致し，ボルト軸力残存率も一致したと考えられる。
(4) 連結板に作用するひずみと荷重の関係は，摩擦係数を 0.67 と調整した No.2 のケースで，すべり

試験結果と良好に一致した。設定した摩擦係数が 0.50 と小さい No.1 のケースでは，生じるひずみの値は試験結果より小さいが，その分布性状はほぼ一致した。

(5) すべり発生時における接合面のすべり量の分布は，摩擦係数の小さい No.1 のケースの方が摩擦抵抗による拘束が小さいため，継手中央および外側の相対変位量は大きくなった。しかしながら，継手内側においては，No.1，No2 のケースとも相対変位量は摩擦係数の大小によらず同程度であった。

(6) ボルトが多列化すると，継手軸方向の中央において分担摩擦力が小さくなり，多列ほど継手軸方向の中央と，内側および外側の端部の相対変位の差が大きくなることを確認した。

(7) すべり先行型および降伏先行型それぞれの場合において，同じボルト本数の砲台配置および矩形配置のすべり係数は同程度であった。

(8) すべり時の継手の伸びは，すべり先行型では，同じボルト本数の砲台配置と矩形配置では同程度であった。対して，降伏先行型の場合は，すべり発生以降，砲台配置の方が継手の伸びが抑えられた。これは，砲台配置の場合，継手外側のボルト本数が少なく，純断面積が大きいため引張荷重による作用応力が低減され，継手伸びが抑えられたと考えられる。

(9) すべり/降伏耐力比 β が大きい方がすべり係数は低くなることを確認した。また，その低下度は最大ボルト列数が増加するほど大きくなった。

(10) 先端ボルト行数が 4 列で，多列によりすべり係数が低下する 10 列および 12 列の場合，先端ボルト行数が 2 列の場合とすべり係数が同等であった。ボルト列数が 7 列および 8 列の場合，先端ボルト行数が 2 列のすべり係数は先端ボルト行数が 4 列の場合と比較し，それぞれ 8%，3%程度低下した。

(11) 最大ボルト列数が 12 列の場合，砲台配置のうち矩形部分のボルト行数が 6 行あるいは 8 行でも，すべり係数は同程度であった。最大ボルト列数が 7 列，8 列，10 列で，矩形部分のボルト行数が 8 行の場合は，6 行の場合よりもすべり係数が，それぞれ，9%，5%，2%程度低くなった。

謝辞

本検討を行うにあたり，試験体の一部の製作については，大阪市立大学大学院山口隆司教授が，一般社団法人日本鉄鋼連盟より鋼構造研究・教育助成事業による助成を受けて行ったものである。ここに謝意を表します。

参考文献

1) 独立行政法人 土木研究所, 公立大学法人大阪市立大学: 高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書, 共同研究報告書第428号, 2012.
2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II 鋼橋編, 2012.
3) 建設省土木研究所 構造橋梁部・橋梁研究室: 高力ボルト摩擦接合継手に関する試験調査 (I) 引張荷重を受ける継手のすべり耐力, 土木研究所資料 第1871号, 1982.
4) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II鋼橋編, 1980.
5) 山口隆司, 彭雪, 鈴木康夫, 宮尾修平: 極厚鋼板を対象とした多列高力ボルト摩擦接合継手の力学的挙動に関する実験的研究, 鋼構造論文集, Vol.17, No.66, pp.23–33 , 2010.
6) 馬場賢三, 田島二郎, 平野茂: 太径多列高力ボルト摩擦継手試験, 橋梁と基礎, Vol.19, No.10, pp.8-14, 1985.
7) 玉越隆史, 大久保雅憲, 池田秀継, 加藤浩一：「交換可能損傷制御部材等」の一般橋梁も含めた適用性検討～超高力ボルトの摩擦接合継手の基準化に対する検討～, 平成21年度道路調査費等年度報告, 国土技術政策総合研究所資料第624号, pp.104-105, 2011.
8) 村越潤, 澤田守, 山口隆司, 彭雪, 大嶽敦郎: 接触面に無機ジンクリッチペイントを塗装した厚板・多列の高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験, 土木学会論文集A1, Vol.70, pp.94–104 , 2014.
9) 彭雪, 山口隆司, 高井俊和, 村越潤, 澤田守: 厚板多列高力ボルト摩擦接合継手の構造諸元がすべり挙動に与える影響に関する解析的研究, 土木学会論文集A1, Vol.69, pp.452–466 , 2013.
10) 亀井義典, 池端文哉, 西村宣男: 高力ボルト摩擦接合引張継手の限界状態区分に関する解析的研究, 土木学会論文集, No.584, pp.243–253 , 1998.
11) JIS: JIS G 5903 鋳造ショット及びグリッド, 1975.
12) JIS: JIS B 0601 製品の幾何特性仕様（GPS）−表面性状：輪郭曲線方式−用語, 定義及び表面性状パラメータ, 2013.
13) 南邦明, 森猛, 堀川秀信: 50mm厚鋼板を用いた太径ボルト（M36）継手のすべり耐力試験, 土木学会論文集Ａ, 62, 267–278 , 2006.
14) SIMULIA: Abaqus Analysis User’s Manual, Ver.6.9, 2009.
15) 土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 2006.
16) 亀井義典, 松見正見, 西村宣男: 多列高力ボルト摩擦接合引張継手のすべり強度に関する解析的研究, 土木学会論文集, No.640/I-50, pp.49–60 , 2000.

付属資料

資料 1.　高力ボルト摩擦接合継手（千鳥配置・砲台配置）のすべり耐力試験
資料 2.　高力ボルト摩擦接合継手における接合面の塗装条件および暴露期間がすべり係数に与える影響の検討

資料1. 高力ボルト摩擦接合継手（千鳥配置・砲台配置）のすべり耐力試験

1.1　試験体

1.1.1　試験体寸法

本試験で用いた試験体の基本諸元を表- 1.1.1 に, 試験体の寸法形状を図- 1.1.1, 図- 1.1.2 に示す。なお, 試験体 No.3-D,E,F の寸法形状は本編 2.2 試験体の基本諸元に示すものと同様である。

表- 1.1.1　試験体の基本諸元

試験体 No.	ボルト配置方法	ボルト列数	母板厚（mm）	連結板厚（mm）	母板幅（mm）	母板すべり耐力（kN）	すべり耐力比
3-D,E,F	1 列配置	12	50	26	270	1811	0.40
7-A,B,C		7			120	1148	0.65
8-A,B,C		11			175	1696	0.61
9-A,B,C	千鳥配置	7			195	1968	0.63
10-A,B,C		11			275	2621	0.60
11-A,B,C	砲台配置	7			490	4920	0.78

1.1.2　試験体塗装

試験体の接触面には目標塗膜厚 90μm で無機ジンクリッチペイントを塗布した。接触面以外には無機ジンクリッチプライマーを目標塗膜厚 15μm で塗布した。

写真- 1.1.1 無機ジンクリッチペイントの塗布状況

1.1.3　高力ボルトの締付け

ボルトの締付けは，本編 2.2.3 高力ボルトの締付けに示す方法と同様の方法で行った。

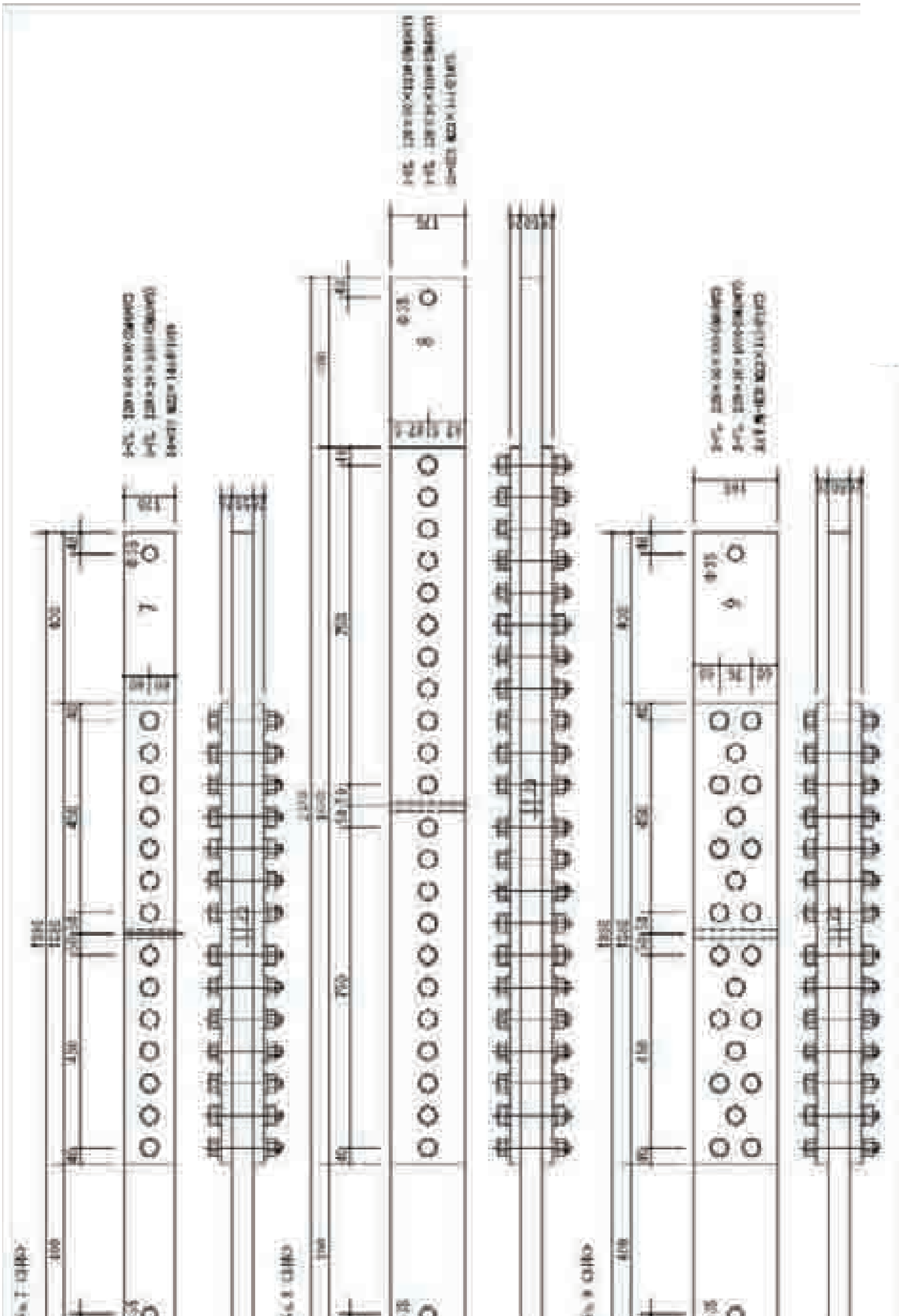


図- 1.1.1 試験体 No.7～9 試験体形状図

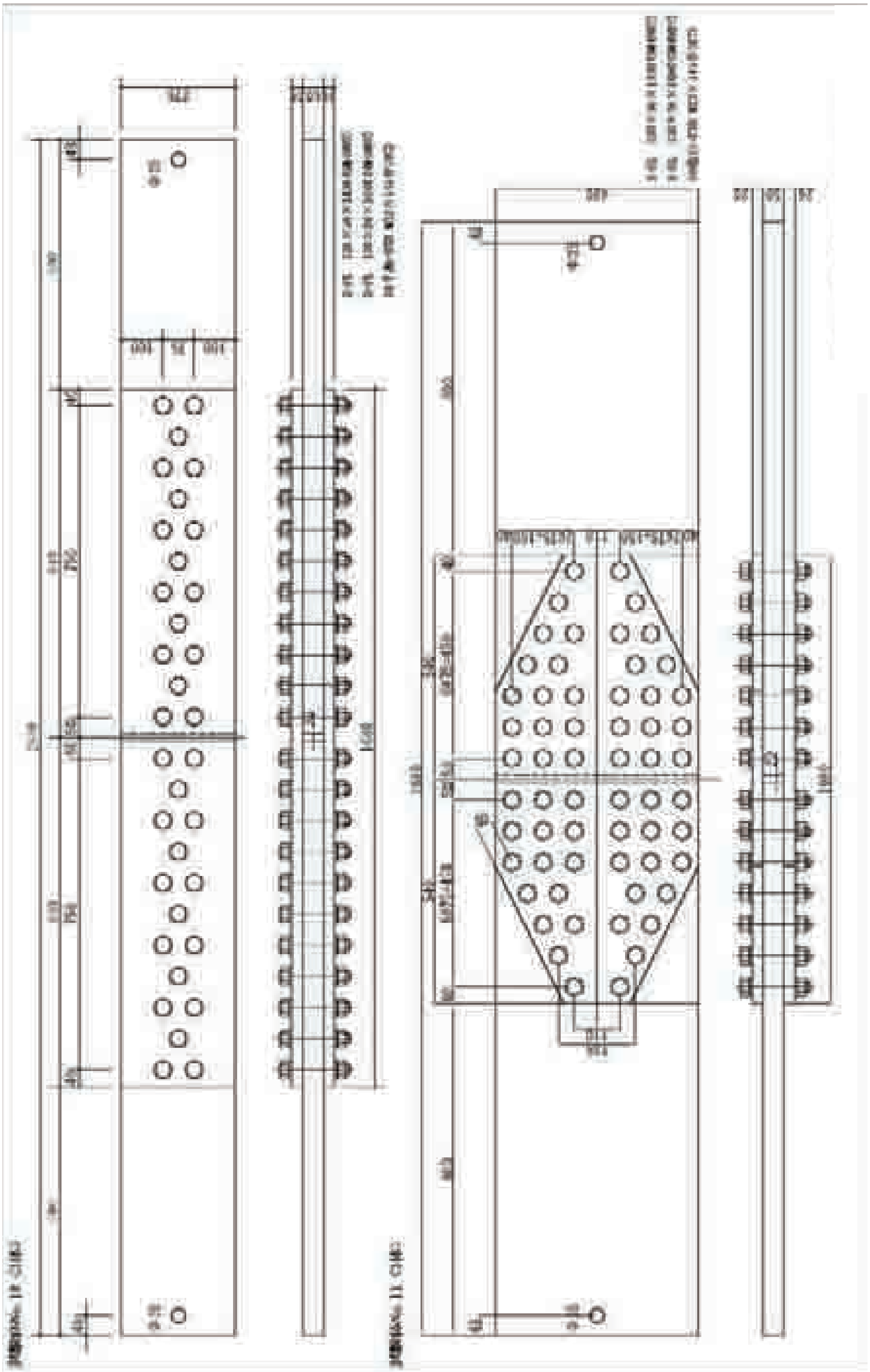


図- 1.1.2 試験体 No.10～11 試験体形状図

1.2 試験体計測および試験方法

1.2.1 試験体の寸法形状，肌すき，表面凹凸形状の計測

本編 2.3.1 試験体の寸法形状，肌すき，表面凹凸形状の計測に示す方法と同様の方法で，試験体の寸法形状，肌すきを計測した。各試験体の寸法形状および初期そり量の測定位置を図- 1.2.1～図- 1.2.4 に示す。

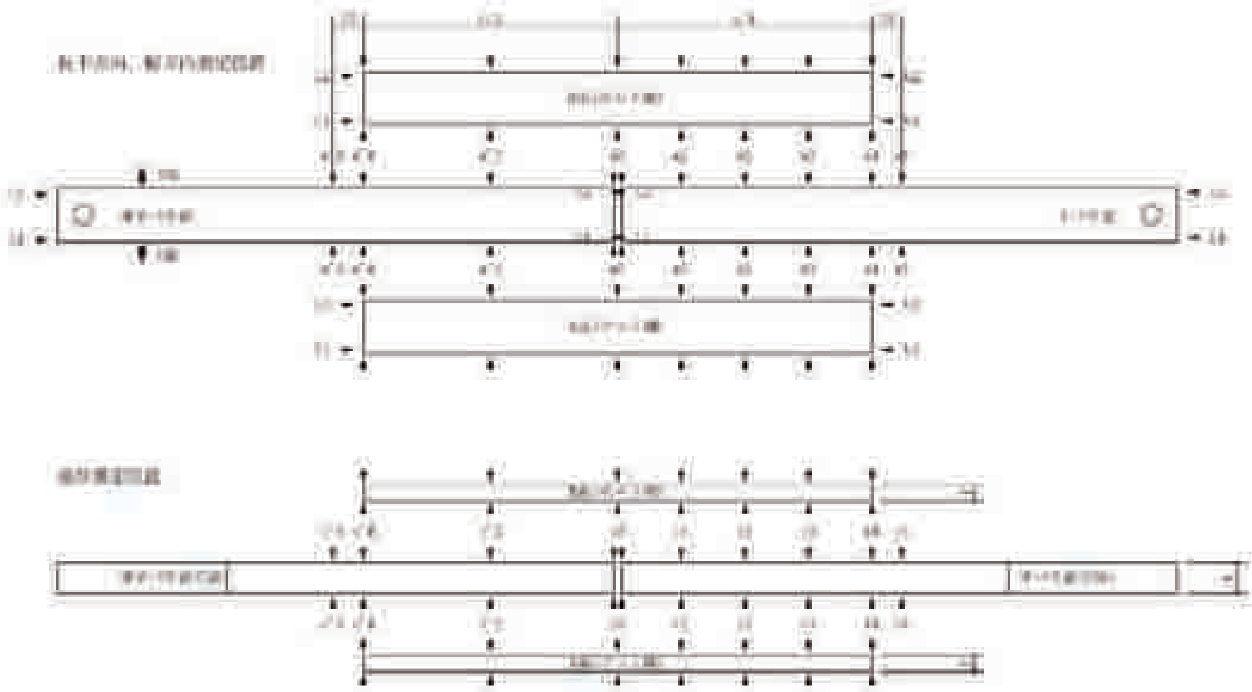


図- 1.2.1 試験体 NO.7～10 寸法形状計測位置図(A 面からの透視図)

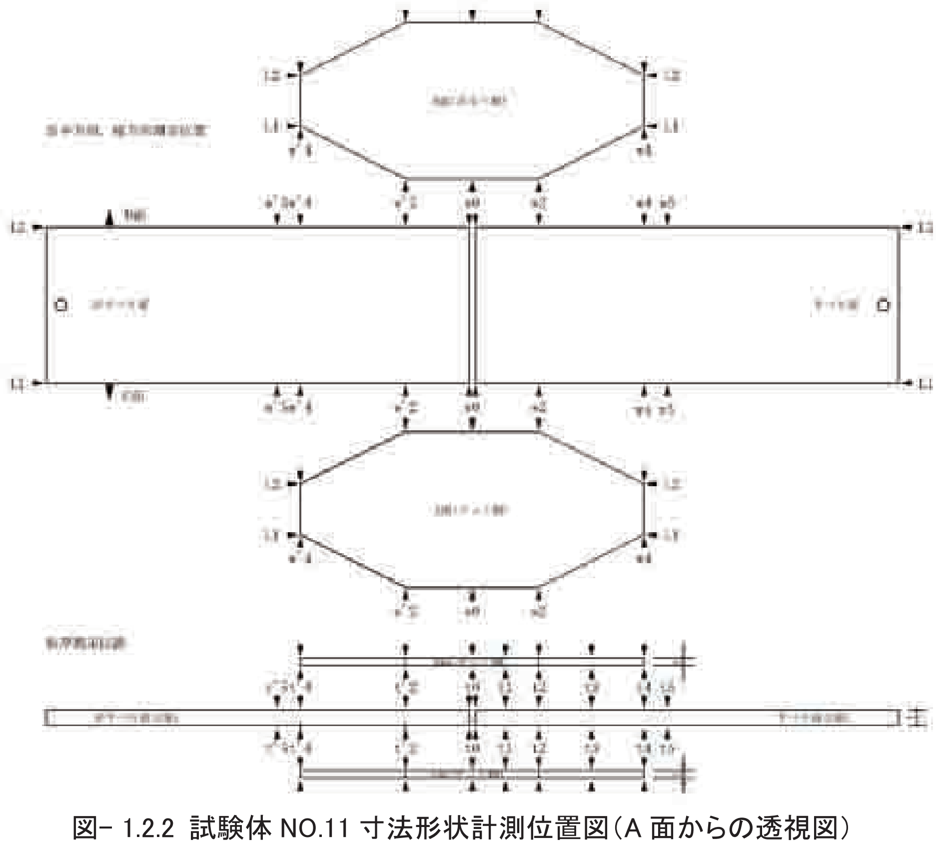


図- 1.2.2 試験体 NO.11 寸法形状計測位置図(A 面からの透視図)

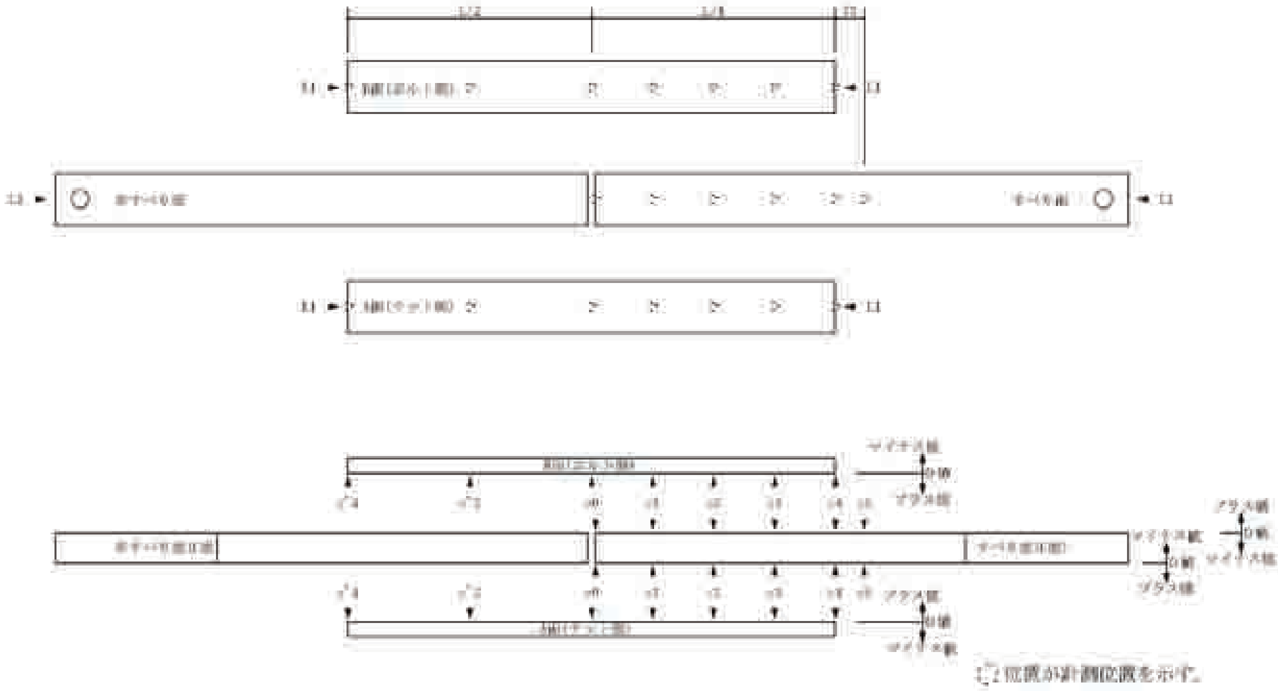


図- 1.2.3 試験体 No.7～10 初期そり量計測位置図(A 面からの透視図)

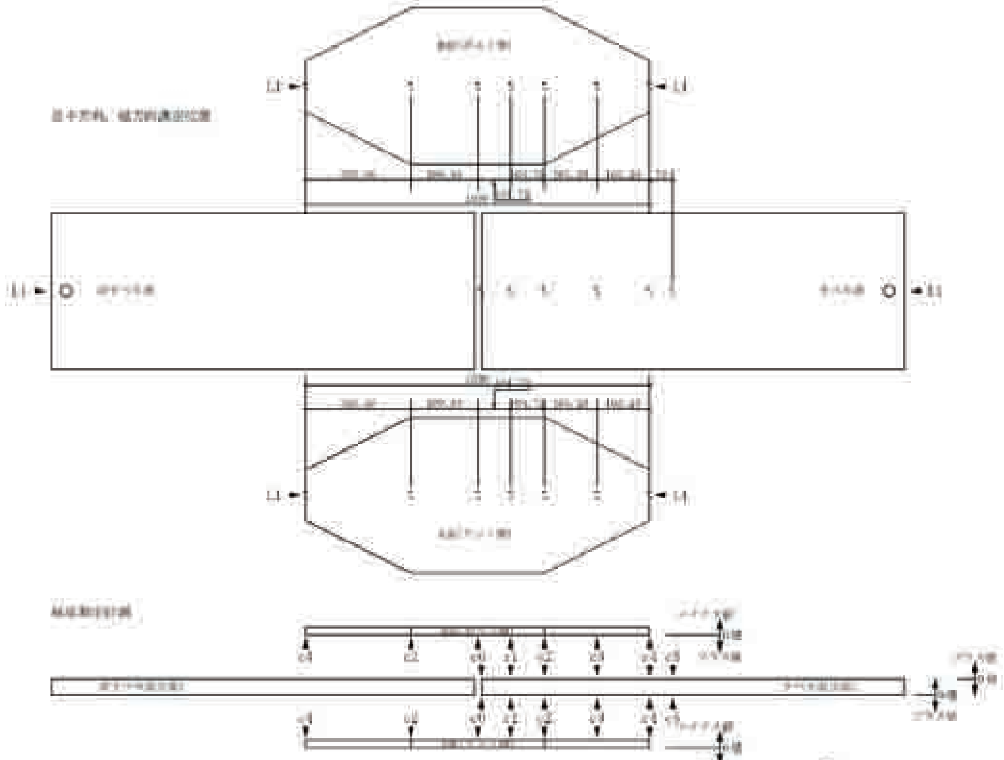


図- 1.2.4 試験体 No11 初期そり量計測位置図(A 面からの透視図)

無機ジンクリッチペイントの膜厚測定は、電磁誘導式の二点調整形電磁微厚計（サンコウ電子研究所 Pro-2）を用いて図- 1.2.5 に示す無機ジンクリッチペイント膜厚測定対象ボルト孔の周辺 4 箇所で計測した。各試験体の塗膜厚計測位置を図- 1.2.6～図- 1.2.10 に示す。

図- 1.2.5 塗膜厚計測位置の概念図

図- 1.2.6 試験体 No.7 塗膜厚計測位置図

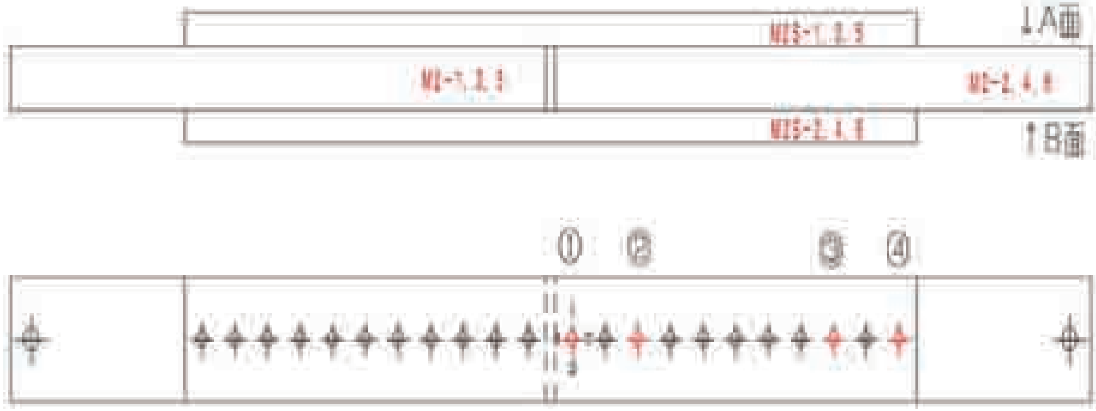


図- 1.2.7 試験体 No.8 塗膜厚計測位置図

図- 1.2.8 試験体 No.9 塗膜厚計測位置図

図- 1.2.9 試験体 No.10 塗膜厚計測位置図

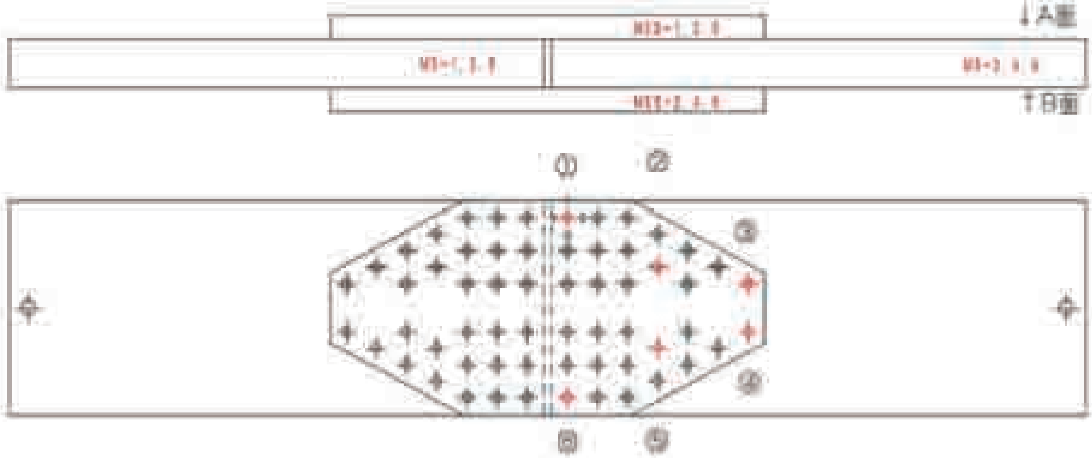


図- 1.2.10 試験体 No.11 塗膜厚計測位置図

1.2.2　ボルト軸力の計測

ボルト締付け後からすべり耐力試験中までのボルト軸力経時変化を計測するため，ひずみゲージを貼付したボルトを対象として，本編 2.3.3 に示した間隔でボルト軸力を計測した。

1.2.3　材料強度

本試験で使用した鋼材(SM490YB)のミルシート値を表- 1.2.1 に示す。

表- 1.2.1 鋼材ミルシート値

板厚(mm)	化学成分 (%)					引張試験 （N/mm^2）	
	C	Si	Mn	P	S	降伏点	引張強さ
26	0.16	0.35	1.39	0.013	0.002	401	544
50	0.16	0.34	1.40	0.018	0.003	455	564

1.2.4　すべり耐力試験

本試験では本編 2.3.5 に示す 30MN 大型構造部材万能試験機（以下，30MN 試験機）を用いた。各試験体のすべり耐力試験における載荷速度を表- 1.2.2 に示す。

表- 1.2.2 すべり耐力試験における各試験体の載荷速度

試験体 No.	載荷速度		
No.3-D	0～ 1500kN 1.5mm/sec 500kN 毎に 3 分間保持	1500～2400kN 0.7mm/sec 2000kN,2200kN,2400kN の各時点で 3 分間保持	2400kN～ 0.3mm/sec 2600kN で 3 分間保持
No.3-E	0～2000kN 1.5mm/sec	2000kN～2600kN 0.7mm/sec	2600kN～ 0.3mm/sec
No.3-F	0～1500kN 1.5mm/sec 500kN 毎に 3 分間保持	1500～2600kN 0.7mm/sec 2000kN,2200kN,2400kN の各時点で 3 分間保持	2400kN～3150kN 0.3mm/sec 2600kN 及び 2600kN～ 3150kN は 50kN 間隔で 3 分間保持
No.7 -A, B, C	0～ 500kN 1.5mm/sec	500～1000kN 0.7mm/sec	1000kN～ 0.3mm/sec
No.8 -A, B, C	0～ 1000kN 1.5mm/sec	1000～1500kN 0.7mm/sec	1500kN～ 0.3mm/sec
No.9 -A, B, C	0～ 1500kN 1.5mm/sec	1500～2000kN 0.7mm/sec	2000kN～ 0.3mm/sec
No.10 -A, B, C	0～ 1500kN 1.5mm/sec	1500～2500kN 0.7mm/sec	2500kN～ 0.3mm/sec
No.11- A, B, C	0～ 4000kN 1.5mm/sec	4000～5000kN 0.7mm/sec	5000kN～ 0.3mm/sec

すべり耐力試験時には，ボルト軸力，継手部両側面のひずみを計測するとともに，クリップゲージにより，母板間の相対変位および母板と連結板間の相対変位を計測した。図- 1.2.11～図- 1.2.16 に各試験体の計測位置を示す。

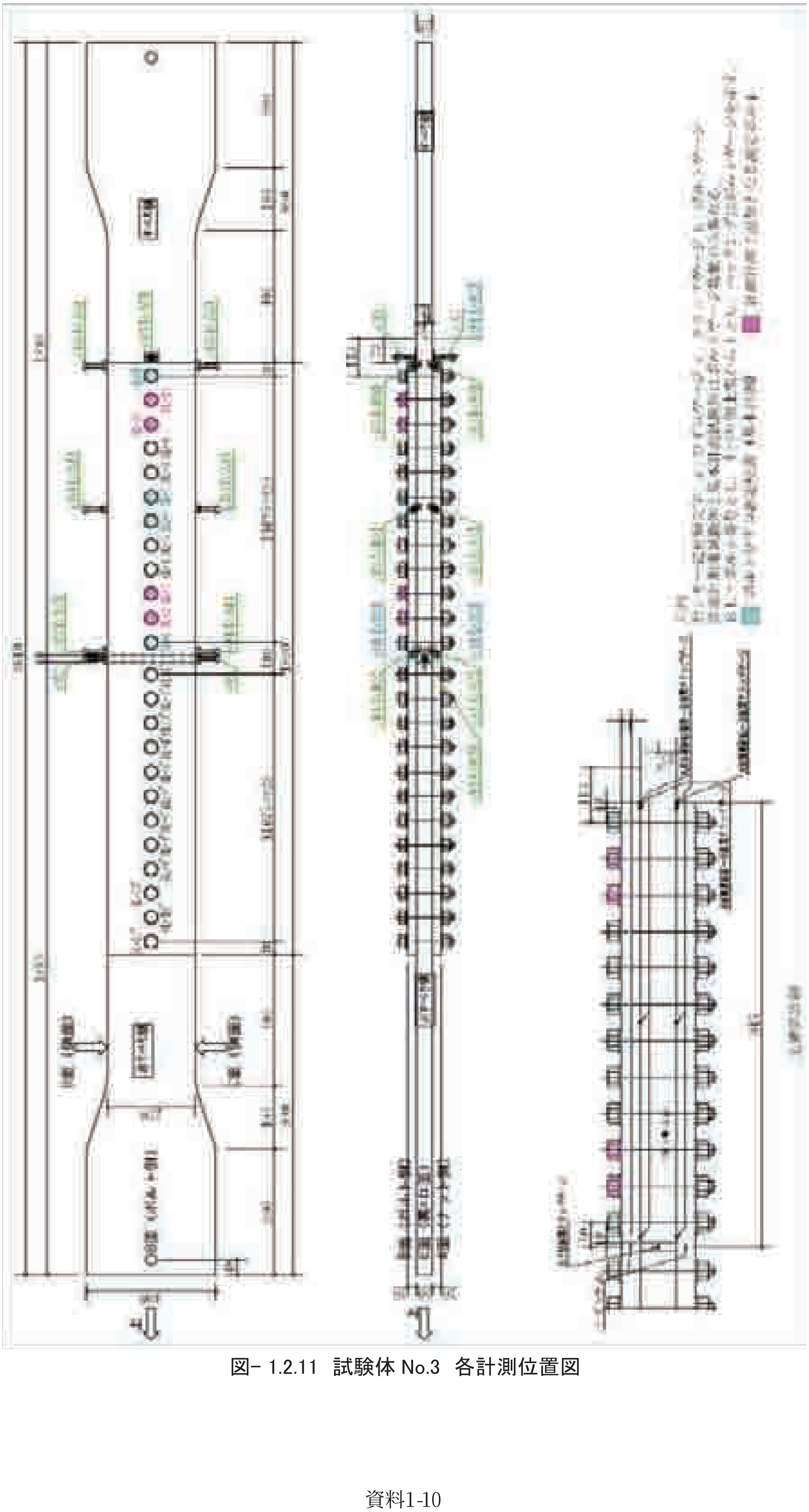


図- 1.2.11 試験体 No.3 各計測位置図

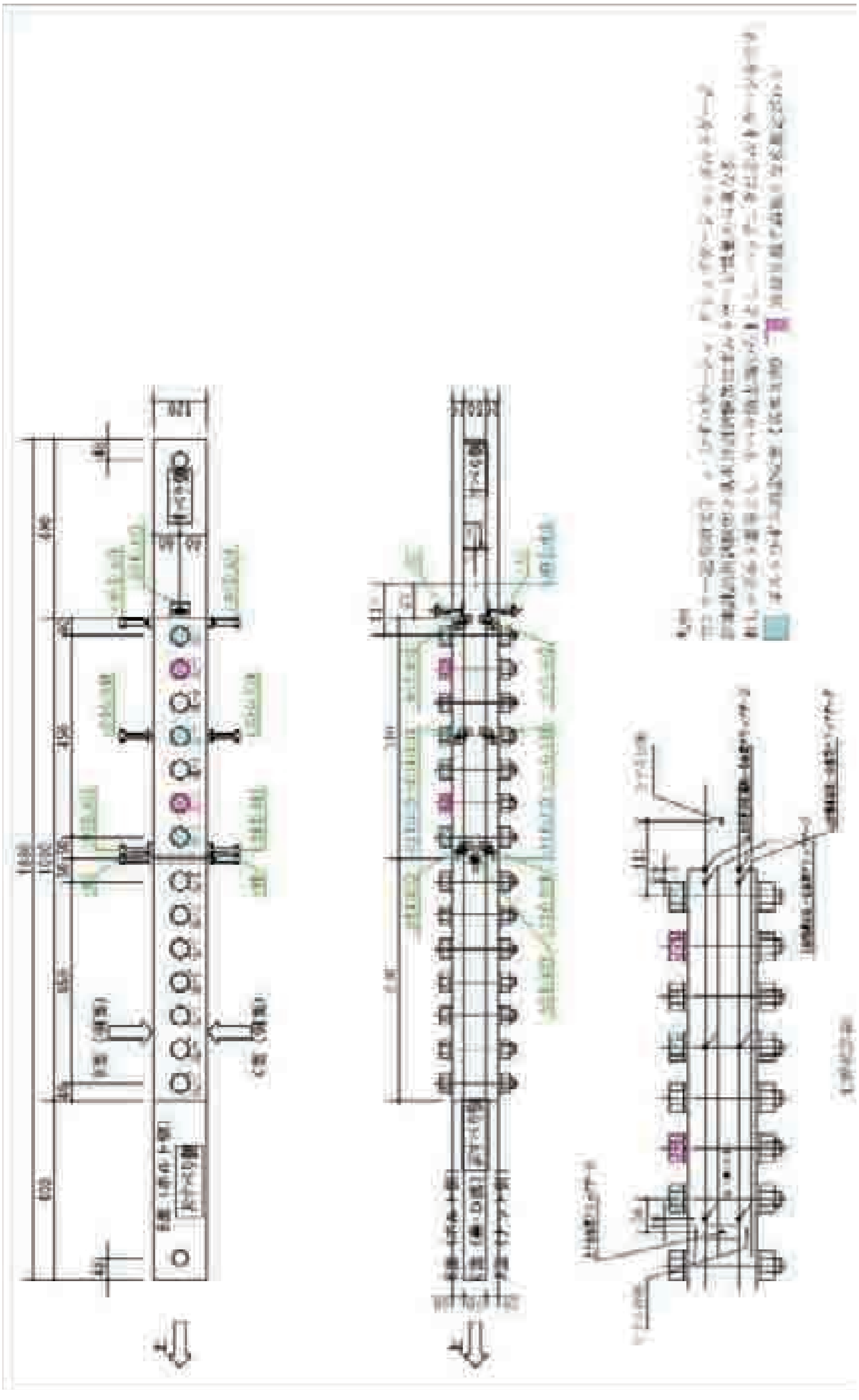


図- 1.2.12 試験体 No.7 各計測位置図

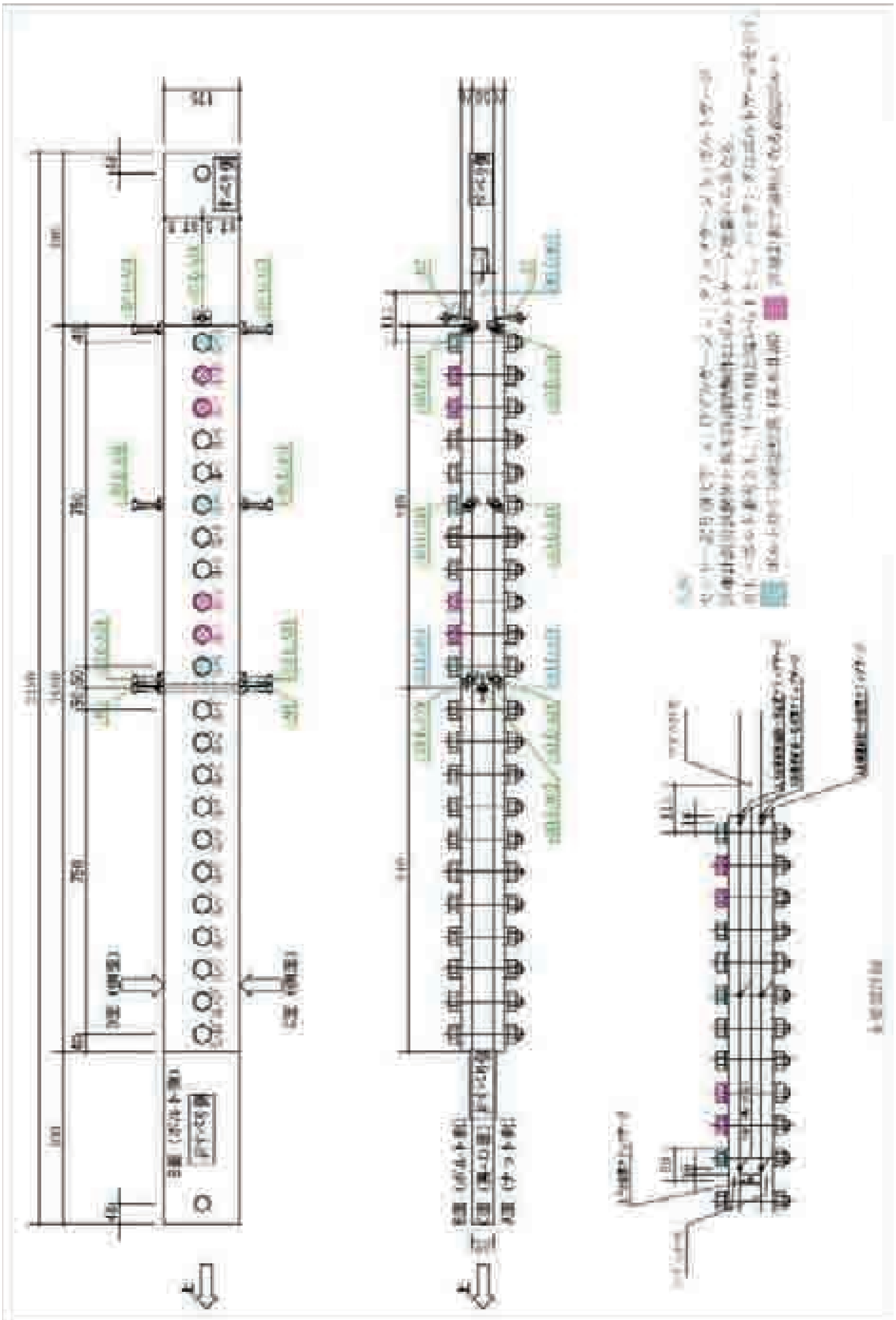


図- 1.2.13 試験体 No.8 各計測位置図

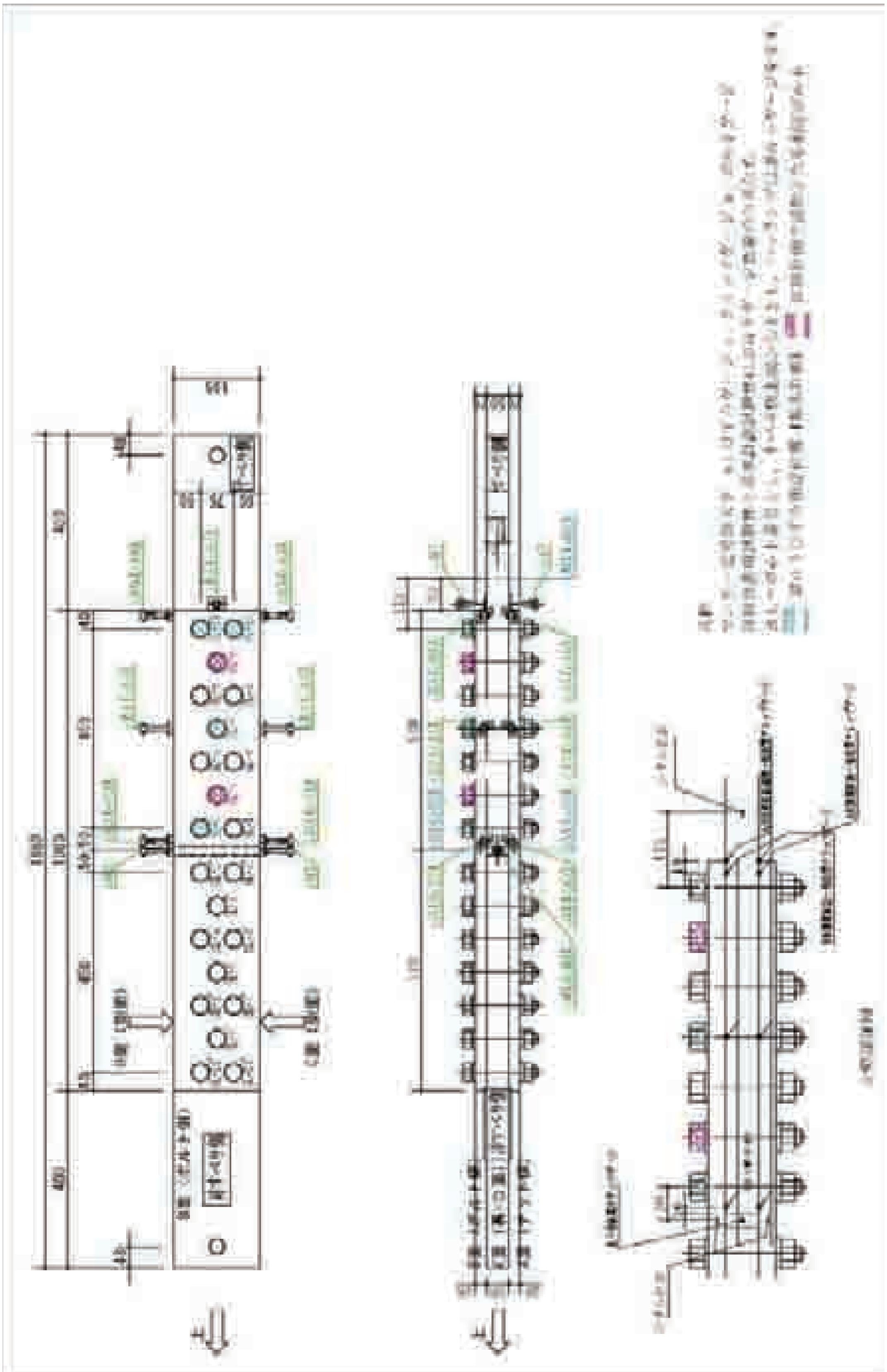


図- 1.2.14 試験体 No.9 計測位置図

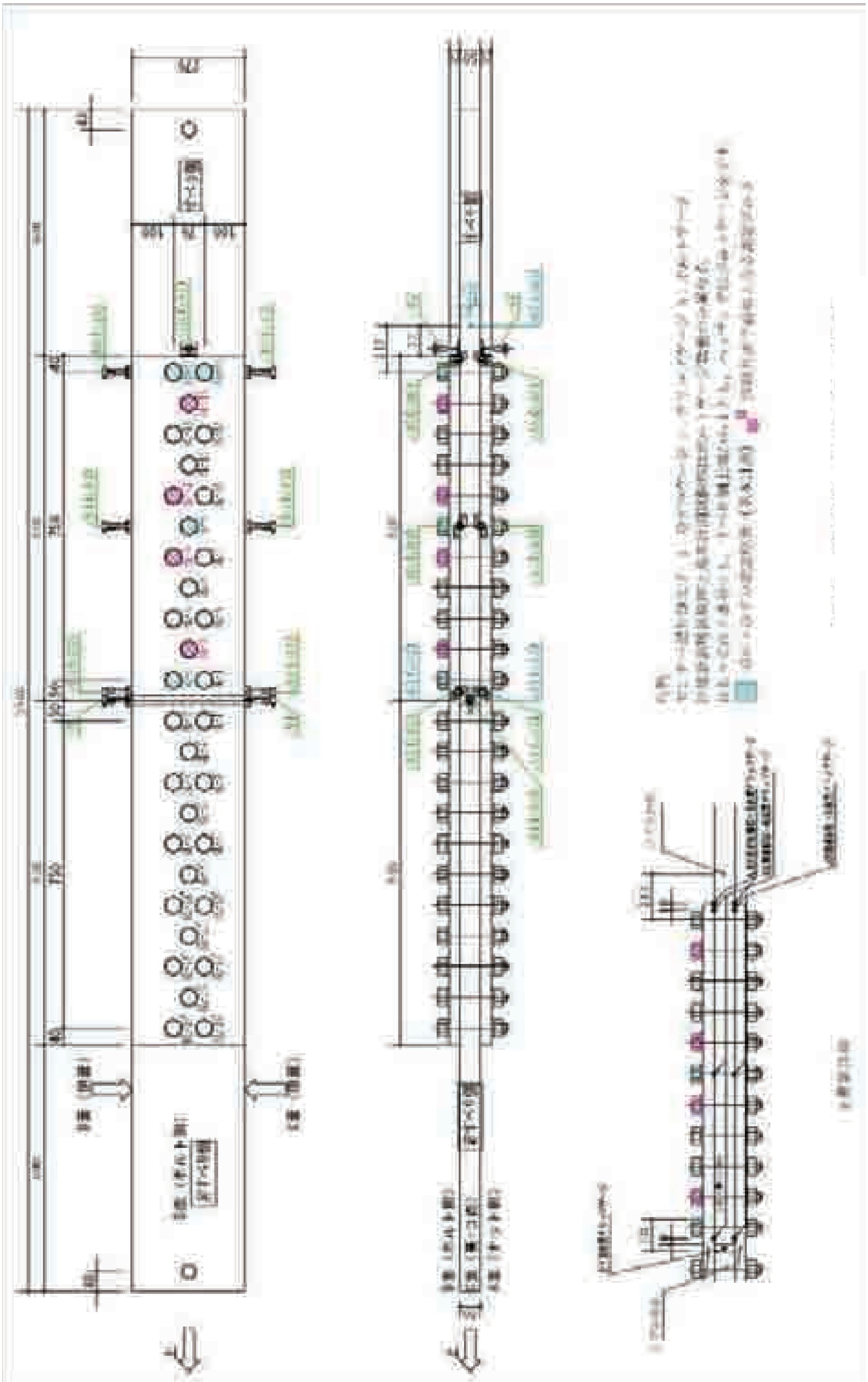
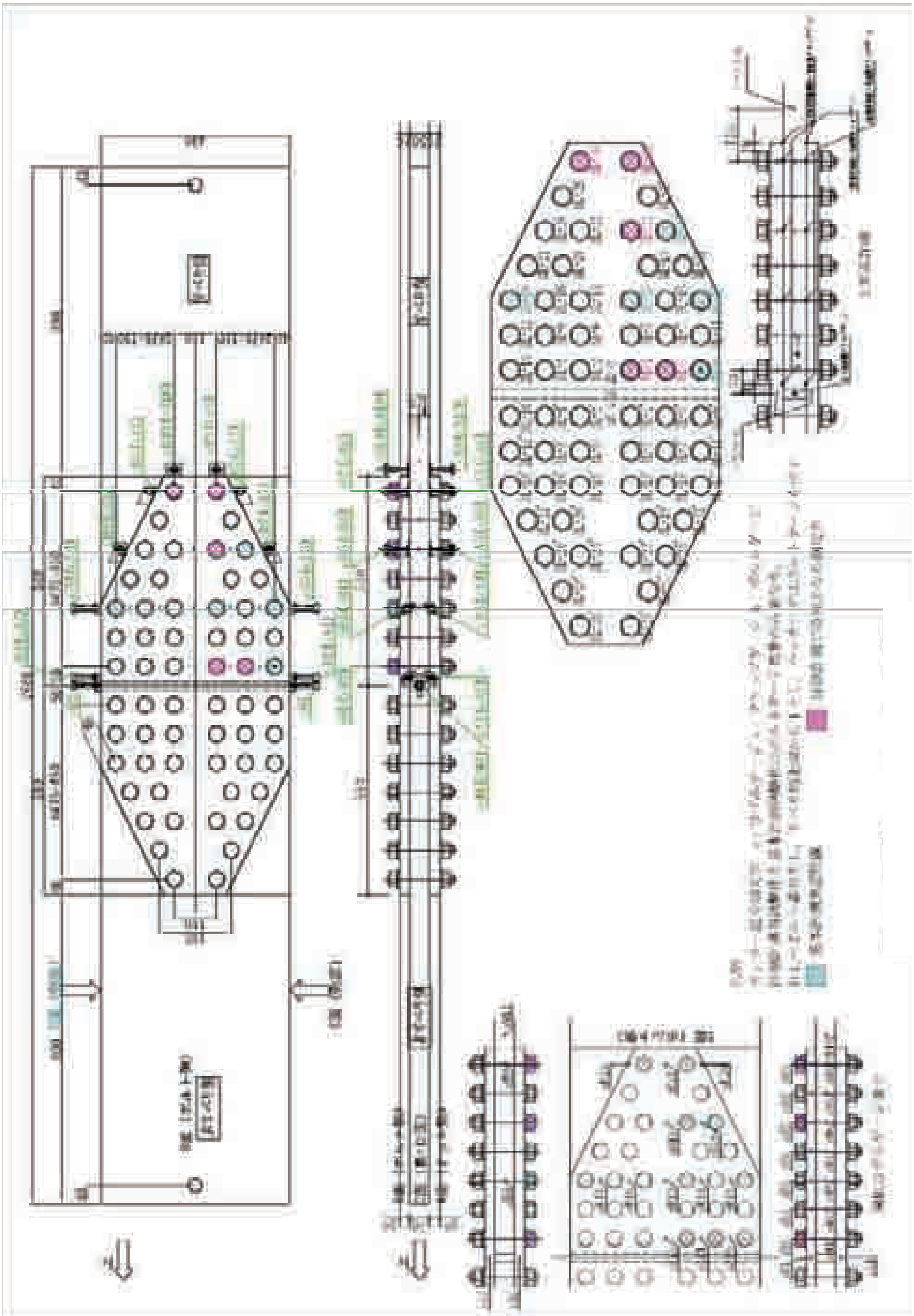


図- 1.2.15 試験体 No.10 計測位置図



図− 1.2.16 試験体 No.11 計測位置図

1.3 試験体の寸法形状，塗膜厚，表面凹凸形状の計測結果

1.3.1 寸法形状

各試験体の寸法形状計測結果を表- 1.3.1～表- 1.3.18 に示す。

表- 1.3.1 試験体 No.3-D 寸法形状計測結果

位置		幅(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)			269.5		269.5		269.5		269.5	269.5	269.5	269.5	
母材		270.5	270.5		270.5		270.0	269.5	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
B面側連結版(ボルト側)			270.0		270.0		270.0		270.0	270.0	270.0	269.5	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.48		26.40		26.29		26.79	26.41	26.31	26.44	
(ナット側)	C面側端部		26.54		26.46		26.35		26.36	26.43	26.40	26.44	
母材	D面側端部	50.92	50.16		50.19		50.38	50.64	50.05	50.04	50.06	50.05	49.87
	C面側端部	50.76	50.56		50.20		50.13	50.26	50.55	50.13	50.66	50.14	50.51
B面側連結版	D面側端部		26.34		26.64		26.29		26.67	26.38	26.38	26.50	
(ボルト側)	C面側端部		26.77		26.29		26.29		26.34	26.36	26.40	26.45	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1828.0	
L1	1829.0	
L2	1894.5	1895.0
L1	1894.5	1894.5
L2	1827.5	
L1	1827.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を 0 値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.32		-0.77		-0.58	-0.36	-0.04	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.01	-0.01	0.50	0.21	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.13	0.25	-0.14	0.08	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.68		-0.77		-0.66	-0.61	-0.37	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	269.5		26.44		1828.5	
母材	270.4	269.9	50.41	50.25	1894.5	1894.8
B面側連結版(ボルト側)	269.9		26.44		1827.3	

表- 1.3.2 試験体 No.3-E 寸法形状計測結果

位置		幅(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)			270.0		270.0		270.0		270.0	270.0	270.0	269.5	
母材		270.0	270.0		270.0		270.0	270.5	270.5	270.0	270.5	270.5	270.0
B面側連結版(ボルト側)			269.5		270.0		270.0		270.0	270.0	270.0	269.5	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.44		26.98		26.74		26.83	27.07	27.10	27.12	
(ナット側)	C面側端部		26.43		26.31		26.32		26.36	26.44	26.44	26.43	
母材	D面側端部	50.67	50.17		50.28		50.63	50.17	50.17	50.11	50.12	50.18	50.04
	C面側端部	50.12	20.21		50.22		50.22	50.00	49.99	49.97	50.00	50.02	49.88
B面側連結版	D面側端部		26.34		26.27		26.55		26.34	26.37	26.39	26.41	
(ボルト側)	C面側端部		26.34		26.37		26.27		26.37	26.38	26.43	26.39	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1829.0	
L1	1828.0	
L2	1894.0	1894.0
L1	1894.5	1894.5
L2	1823.0	
L1	1823.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を 0 値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.84		-1.49		-1.33	-1.01	-0.50	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.23	-0.18	-0.04	0.03	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.21	0.09	0.04	0.02	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.68		-0.73		-0.62	-0.67	-0.42	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	269.9		26.64		1828.5	
母材	270.0	270.3	46.57	50.05	1894.3	1894.3
B面側連結版(ボルト側)	269.9		26.37		1823.3	

表- 1.3.3 試験体 No.3-F 寸法形状計測結果

位置	幅(mm) 非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		270.0		270.0		270.0		270.0	270.0	270.0	269.0	
母材	270.0	270.0		270.0		270.0	270.0	270.0	270.5	270.0	270.0	270.0
B面側連結版(ボルト側)		269.5		269.5		269.5		269.5	270.0	270.0	269.0	

位置		厚さ(mm) 非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.39		26.39		26.37		26.40	26.46	26.49	26.51	
(ナット側)	C面側端部		26.34		26.27		26.42		26.39	26.43	26.39	26.44	
母材	D面側端部	50.08	50.20		50.20		50.16	50.23	50.23	50.25	50.28	50.27	50.12
	C面側端部	50.09	50.27		50.26		50.18	50.17	50.10	50.36	50.10	50.11	50.01
B面側連結版	D面側端部		26.30		26.22		26.24		26.29	26.28	26.31	26.29	
(ボルト側)	C面側端部		26.32		26.25		26.28		26.32	26.35	26.35	26.34	

長さ(mm) 位置	非すべり側	すべり側
L2	1829.0	
L1	1828.0	
L2	1894.0	1894.0
L1	1894.0	1894.5
L2	1828.5	
L1	1829.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値 非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0(中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.82		-0.99		-1.01	-0.63	-0.36	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.01	-0.37	-0.85	-0.18	0.00
	ボルト側:B面							0.00	-0.04	0.32	0.89	0.25	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.66		-0.65		-0.61	-0.33	-0.17	0.00	

位置	幅：平均 (mm) 非すべり側	すべり側	厚さ：平均 (mm) 非すべり側	すべり側	長さ：平均(mm) 非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	269.9		26.41		1828.5	
母材	270.0	270.1	50.18	50.19	1894.0	1894.3
B面側連結版(ボルト側)	269.6		26.30		1828.8	

表- 1.3.4 試験体 No.7-A 寸法形状計測結果

位置	幅(mm) 非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		120.2		120.6		120.5		120.4	120.4	120.3	120.3	
母材	122.1	122.5		122.2		120.7	120.2	120.4	120.6	120.5	120.9	120.7
B面側連結版(ボルト側)		120.1		119.9		119.4		119.1	118.9	118.8	118.5	

位置		厚さ(mm) 非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.42		26.35		26.31		26.30	26.33	26.28	26.35	
(ナット側)	C面側端部		26.40		26.45		26.31		26.35	26.37	26.34	26.29	
母材	D面側端部	49.89	50.01		50.03		50.06	50.44	50.27	50.17	50.13	50.14	50.00
	C面側端部	49.88	50.11		50.13		49.96	50.27	50.22	50.14	50.11	50.08	49.94
B面側連結版	D面側端部		26.25		26.27		26.22		26.27	26.24	26.35	26.40	
(ボルト側)	C面側端部		26.28		26.34		26.26		26.39	26.30	26.35	26.29	

長さ(mm) 位置	非すべり側	すべり側
L2	1078.0	
L1	1078.5	
L2	929.0	929.0
L1	930.0	928.5
L2	1076.0	
L1	1077.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値 非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0(中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		0.03		-0.03		-0.18	-0.20	-0.21	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.00	-0.05	-0.12	-0.16	0.00
	ボルト側:B面							0.00	-0.13	-0.10	0.08	0.18	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		0.01		0.11		0.08	0.04	0.00	0.00	

位置	幅：平均 (mm) 非すべり側	すべり側	厚さ：平均 (mm) 非すべり側	すべり側	長さ：平均(mm) 非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	120.4		26.35		1078.3	
母材	121.9	120.5	50.01	50.16	929.5	928.8
B面側連結版(ボルト側)	119.2		26.30		1076.5	

表- 1.3.5 試験体 No.7-B 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		120.5		120.5		120.6		120.4	120.4	120.3	119.8	
母材	119.4	119.5		119.6		119.8	120.6	121.3	121.5	121.3	121.2	121.0
B面側連結版(ボルト側)		120.4		120.2		120.2		120.2	120.2	120.2	120.1	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.40		26.38		26.49		26.39	26.39	26.39	26.34	
(ナット側)	C面側端部		26.29		26.33		26.34		26.30	26.32	26.31	26.40	
母材	D面側端部	49.83	50.02		50.14		49.94	50.10	50.07	50.12	50.17	50.15	49.89
	C面側端部	49.84	50.11		50.16		49.98	50.00	50.06	50.07	50.19	50.18	49.91
B面側連結版	D面側端部		26.32		26.31		26.26		26.44	26.31	26.29	26.47	
(ボルト側)	C面側端部		26.31		26.25		26.27		26.28	26.47	26.35	26.31	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1078.0	
L1	1077.5	
L2	928.0	928.5
L1	927.5	928.0
L2	1077.0	
L1	1078.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を 0 値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.78		-0.71		-0.54	-0.37	-0.19	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.15	0.30	0.29	0.20	0.00
	ボルト側:B面							0.00	-0.18	-0.31	-0.19	-0.12	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.65		-0.64		-0.55	-0.43	-0.29	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	120.4		26.36		1077.8	
母材	119.6	121.1	50.00	50.08	927.8	928.3
B面側連結版(ボルト側)	120.2		26.33		1077.5	

表- 1.3.6 試験体 No.7-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		118.5		119.2		119.3		119.2	119.1	118.8	118.3	
母材	121.1	121.0		120.3		119.5	120.9	121.1	121.1	121.3	121.3	121.4
B面側連結版(ボルト側)		120.3		120.4		120.5		120.4	120.3	120.2	119.9	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.26		26.21		26.20		26.22	26.26	26.26	26.29	
(ナット側)	C面側端部		26.21		26.16		26.14		26.13	26.15	26.15	26.23	
母材	D面側端部	49.76	50.06		49.95		50.00	49.97	50.01	49.97	50.02	50.03	49.79
	C面側端部	49.78	49.98		50.03		49.97	49.99	50.02	50.02	49.99	50.01	49.77
B面側連結版	D面側端部		26.36		26.25		26.23		26.25	26.39	26.42	26.39	
(ボルト側)	C面側端部		26.35		26.32		26.26		26.30	26.32	26.35	26.39	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1077.5	
L1	1078.0	
L2	928.5	928.0
L1	928.5	929.0
L2	1077.5	
L1	1078.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を 0 値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.12		0.01		0.09	0.08	0.07	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.18	0.04	0.24	0.21	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.02	0.05	0.04	-0.04	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.39		-0.34		-0.23	-0.17	-0.10	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	118.9		26.21		1077.8	
母材	120.5	121.2	49.94	49.97	928.5	928.5
B面側連結版(ボルト側)	120.3		26.33		1077.8	

表- 1.3.7 試験体 No.8-A 寸法形状計測結果

位置		幅(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)			175.2		175.4		175.5		175.4	175.3	175.3	175.3	
母材		175.6	175.6		175.6		175.6	175.7	175.8	175.9	175.7	175.7	175.6
B面側連結版(ボルト側)			175.1		175.6		175.3		175.3	175.2	175.2	175.2	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.32		26.79		26.34		26.48	26.44	26.46	26.67	
(ナット側)	C面側端部		26.35		26.44		26.32		26.38	26.40	26.47	26.44	
母材	D面側端部	50.04	50.22		50.18		50.20	50.15	50.15	50.12	50.23	50.16	50.02
	C面側端部	50.19	50.23		50.20		50.21	50.16	50.09	50.10	50.09	50.11	49.93
B面側連結版	D面側端部		26.33		26.48		26.36		26.31	26.33	26.38	26.36	
(ボルト側)	C面側端部		26.28		26.31		26.22		26.20	26.22	26.22	26.22	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1678.5	
L1	1678.0	
L2	1229.0	1229.0
L1	1229.0	1228.5
L2	1679.0	
L1	1678.5	

位置		初期そり量(mm)　※計測位置両端を０値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		0.27		0.77		0.65	0.61	0.47	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.16	-0.32	-0.23	0.35	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.33	0.58	0.68	0.37	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		0.04		0.31		0.28	0.22	-0.04	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	175.3		26.45		1678.3	
母材	175.6	175.7	50.18	50.11	1229.0	1228.8
B面側連結版(ボルト側)	175.3		26.30		1678.8	

表- 1.3.8 試験体 No.8-B 寸法形状計測結果

位置		幅(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)			175.4		175.6		175.6		175.6	175.6	175.4	175.3	
母材		175.8	175.9		175.6		175.5	175.7	175.7	175.7	175.6	175.5	175.4
B面側連結版(ボルト側)			175.4		175.4		175.5		175.4	175.2	175.1	175.0	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.33		26.31		26.43		26.42	26.44	26.50	26.38	
(ナット側)	C面側端部		26.30		26.27		26.33		26.38	26.42	26.37	26.35	
母材	D面側端部	49.84	50.04		49.97		49.90	49.93	49.98	49.96	49.96	49.98	49.84
	C面側端部	49.96	50.12		50.10		50.05	50.02	50.08	50.08	50.06	50.07	50.31
B面側連結版	D面側端部		26.34		26.75		26.42		26.38	26.35	26.40	26.36	
(ボルト側)	C面側端部		26.38		26.36		26.31		26.28	26.29	26.34	26.27	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1679.0	
L1	1678.0	
L2	1229.5	1229.0
L1	1229.5	1229.0
L2	1678.0	
L1	1678.5	

位置		初期そり量(mm)　※計測位置両端を０値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		0.37		0.64		0.69	0.55	0.45	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.25	-0.19	-0.06	0.16	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.37	0.47	0.59	0.42	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.24		0.22		0.06	-0.48	-0.28	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	175.5		26.37		1678.5	
母材	175.7	175.6	50.00	50.02	1229.5	1229.0
B面側連結版(ボルト側)	175.3		26.37		1678.3	

表- 1.3.9 試験体 No.8-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		175.0		175.4		175.3		175.3	175.3	175.3	175.2	
母材	175.6	175.9		175.6		175.3	175.6	175.7	175.7	175.8	175.8	175.8
B面側連結版(ボルト側)		175.0		175.2		175.4		175.3	175.2	175.2	175.2	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.33		26.33		26.38		26.40	26.44	26.42	26.33	
(ナット側)	C面側端部		26.37		26.29		26.33		26.35	26.39	26.39	26.39	
母材	D面側端部	49.85	50.03		49.99		49.99	49.92	49.98	49.95	49.95	49.99	49.81
	C面側端部	50.11	50.20		50.20		50.17	50.11	50.17	50.12	50.15	50.13	49.93
B面側連結版	D面側端部		26.36		26.43		26.40		26.30	26.34	26.37	26.33	
(ボルト側)	C面側端部		26.31		26.38		26.30		26.24	26.29	26.32	26.26	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1679.0	
L1	1679.5	
L2	1229.0	1229.0
L1	1229.5	1229.0
L2	1678.0	
L1	1678.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.01		0.21		0.32	0.43	0.34	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.26	-0.16	-0.05	0.00	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.34	0.45	0.65	0.52	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		0.34		0.62		0.63	0.36	0.17	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	175.3		26.37		1679.3	
母材	175.6	175.7	50.07	50.02	1229.3	1229.0
B面側連結版(ボルト側)	175.2		26.33		1678.0	

表- 1.3.10 試験体 No.9-A 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		195.1		195.5		195.6		195.6	195.5	195.4	195.0	
母材	195.5	195.5		195.6		195.4	195.2	195.2	195.2	195.3	195.2	195.1
B面側連結版(ボルト側)		195.1		195.5		195.3		195.3	195.3	195.1	194.9	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.26		26.31		26.22		26.25	26.24	26.23	26.22	
(ナット側)	C面側端部		26.40		26.23		26.18		26.13	26.21	26.26	26.52	
母材	D面側端部	49.95	50.09		50.09		50.06	50.10	50.12	50.11	50.08	50.09	49.95
	C面側端部	49.91	50.10		50.05		50.11	50.15	50.07	50.08	50.13	50.06	49.91
B面側連結版	D面側端部		26.36		26.30		26.25		26.16	26.20	26.26	26.45	
(ボルト側)	C面側端部		26.31		26.25		26.24		26.23	26.33	26.26	26.25	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1078.5	
L1	1078.0	
L2	929.0	930.0
L1	929.0	929.5
L2	1078.5	
L1	1079.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		0.22		0.05		-0.19	-0.19	-0.14	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.09	-0.03	-0.05	0.04	0.00
	ボルト側:B面							0.00	-0.10	-0.21	-0.32	-0.46	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.33		-0.27		-0.27	-0.20	-0.10	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	195.4		26.26		1078.3	
母材	195.5	195.2	50.05	50.07	929.0	929.8
B面側連結版(ボルト側)	195.2		26.28		1079.0	

表- 1.3.11 試験体 No.9-B 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		194.4		195.4		195.2		194.9	194.5	194.4	193.9	
母材	195.3	195.3		195.4		195.1	194.8	195.3	195.6	195.4	195.5	195.6
B面側連結版(ボルト側)		194.5		195.5		195.5		195.6	195.4	195.0	194.0	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.31		26.24		26.15		26.21	26.15	26.18	26.17	
(ナット側)	C面側端部		26.38		26.28		26.23		26.19	26.21	26.15	26.18	
母材	D面側端部	49.97	50.17		50.13		50.13	50.19	50.17	50.18	50.16	50.13	49.98
	C面側端部	49.90	50.07		50.09		50.09	50.29	50.08	50.08	50.17	50.02	49.88
B面側連結版	D面側端部		26.48		26.38		26.31		26.36	26.26	26.20	26.24	
(ボルト側)	C面側端部		26.32		26.28		26.33		26.36	26.35	26.34	26.33	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1078.5	
L1	1077.5	
L2	929.0	929.5
L1	929.0	929.0
L2	1077.5	
L1	1079.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.44		-0.37		-0.28	-0.24	-0.10	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.13	0.23	0.13	0.10	0.00
	ボルト側:B面							0.00	-0.09	-0.11	-0.06	0.00	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.43		-0.40		-0.41	-0.24	0.00	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	194.7		26.22		1078.0	
母材	195.3	195.4	50.07	50.11	929.0	929.3
B面側連結版(ボルト側)	195.1		26.32		1078.3	

表- 1.3.12 試験体 No.9-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		195.0		195.4		194.8		194.8	194.5	194.1	193.6	
母材	195.5	195.6		195.6		195.4	195.4	195.6	195.7	195.8	195.8	195.7
B面側連結版(ボルト側)		194.2		195.8		195.5		195.4	195.3	195.0	194.7	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.13		26.19		26.21		26.15	26.22	26.19	26.22	
(ナット側)	C面側端部		26.18		26.19		26.25		26.17	26.24	26.20	26.20	
母材	D面側端部	49.80	50.08		50.02		50.02	49.99	50.04	50.02	50.05	50.01	49.83
	C面側端部	50.01	50.11		50.11		50.18	50.22	50.14	50.30	50.21	50.08	49.87
B面側連結版	D面側端部		26.40		26.31		26.27		26.29	26.30	26.29	26.25	
(ボルト側)	C面側端部		26.24		26.30		26.30		26.32	26.29	26.29	26.26	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1078.0	
L1	1077.5	
L2	929.0	929.0
L1	929.5	929.0
L2	1077.0	
L1	1079.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.53		-0.70		-0.63	-0.53	-0.32	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.10	0.22	0.17	0.06	0.00
	ボルト側:B面							0.00	-0.03	-0.14	-0.11	-0.04	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.47		-0.41		-0.37	-0.37	-0.16	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	194.6		26.20		1077.8	
母材	195.5	195.7	50.04	50.06	929.3	929.0
B面側連結版(ボルト側)	195.1		26.29		1078.0	

表- 1.3.13 試験体 No.10-A 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		274.5		274.5		274.5		275.0	274.5	274.5	275.0	
母材	275.0	275.0		275.0		275.0	275.0	275.0	275.0	275.0	275.0	275.0
B面側連結版(ボルト側)		274.5		274.5		274.5		274.5	274.5	275.0	274.0	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版(ナット側)	D面側端部		26.46		26.61		26.46		26.38	26.39	26.38	26.38	
	C面側端部		26.52		26.41		26.44		26.35	26.46	26.34	26.37	
母材	D面側端部	50.19	50.17		50.19		50.16	50.17	50.11	50.14	50.18	50.16	50.02
	C面側端部	50.18	50.15		50.29		50.17	50.02	50.13	50.08	50.10	50.12	49.92
B面側連結版(ボルト側)	D面側端部		26.44		26.36		26.34		26.25	26.28	26.30	26.36	
	C面側端部		26.52		26.58		26.39		26.36	26.33	26.35	26.37	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1678.5	
L1	1677.5	
L2	1429.5	1429.5
L1	1429.0	1429.5
L2	1677.5	
L1	1679.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.39		-0.57		-0.23	-0.17	-0.13	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.13	0.17	0.18	0.09	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.01	-0.23	-0.17	-0.06	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.59		-0.68		-0.65	-0.55	-0.25	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	274.6		26.43		1678.0	
母材	275.0	275.0	50.19	50.10	1429.3	1429.5
B面側連結版(ボルト側)	274.5		26.37		1678.5	

表- 1.3.14 試験体 No.10-B 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		274.5		274.5		275.0		274.5	275.0	275.0	274.5	
母材	274.5	274.5		275.0		274.5	274.5	274.5	275.0	275.0	275.0	275.0
B面側連結版(ボルト側)		274.5		274.5		274.5		274.5	274.5	274.5	274.0	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版(ナット側)	D面側端部		26.39		26.44		26.35		26.39	26.29	26.30	26.29	
	C面側端部		26.22		26.25		26.22		26.19	26.21	26.30	26.22	
母材	D面側端部	50.06	50.45		50.17		50.07	50.16	50.18	50.15	50.13	50.16	49.98
	C面側端部	50.18	50.00		50.10		50.22	50.18	50.19	50.13	50.17	50.29	50.01
B面側連結版(ボルト側)	D面側端部		26.52		26.46		26.40		26.37	26.33	26.33	26.39	
	C面側端部		26.48		26.51		26.42		26.33	26.42	26.40	26.49	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1678.5	
L1	1678.0	
L2	1429.0	1428.5
L1	1428.5	1429.0
L2	1677.5	
L1	1678.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を0値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.52		-0.59		-0.56	-0.50	-0.27	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.07	0.25	0.21	0.03	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.13	-0.24	-0.12	0.18	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.26		-0.42		-0.33	-0.30	-0.14	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	274.7		26.29		1678.3	
母材	274.6	274.8	50.16	50.14	1428.8	1428.8
B面側連結版(ボルト側)	274.4		26.42		1678.0	

表- 1.3.15 試験体 No.10-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		274.5		274.5		275.0		275.0	275.0	275.0	274.0	
母材	274.0	274.0		274.0		274.0	275.0	275.0	275.0	275.0	275.0	275.0
B面側連結版(ボルト側)		274.0		274.5		274.5		274.5	274.5	274.5	274.5	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.40		26.43		26.38		26.34	26.38	26.34	26.31	
(ナット側)	C面側端部		26.49		26.41		26.37		26.30	26.30	26.34	26.40	
母材	D面側端部	50.23	50.24		50.22		50.19	50.20	50.16	50.14	50.16	50.20	50.04
	C面側端部	49.97	50.14		50.16		50.20	50.26	50.22	50.22	50.22	50.26	50.09
B面側連結版	D面側端部		26.54		26.35		26.30		26.28	26.25	26.26	26.33	
(ボルト側)	C面側端部		26.54		26.43		26.38		26.37	26.36	26.37	26.35	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1678.0	
L1	1679.0	
L2	1429.0	1478.5
L1	1429.0	1429.0
L2	1677.5	
L1	1678.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を 0 値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.05		0.13		0.10	0.02	0.13	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.12	-0.01	0.02	0.13	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.02	-0.12	-0.10	-0.03	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.21		-0.20		-0.24	-0.24	-0.14	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	274.7		26.37		1678.5	
母材	274.0	275.0	50.17	50.18	1429.0	1453.8
B面側連結版(ボルト側)	274.4		26.37		1678.0	

表- 1.3.16 試験体 No.11-A 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		159.0		489.5		489.5			489.5		158.5	
母材	491.0	491.0		490.5		490.5	490.0		490.0		490.5	490.0
B面側連結版(ボルト側)		159.0		489.5		489.5			489.5		158.5	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.43		26.21		26.23		26.19	26.27	26.27	26.48	
(ナット側)	C面側端部		26.35		26.35		26.24		26.32	26.36	26.29	26.25	
母材	D面側端部	49.89	50.08		50.17		50.20	50.12	50.26	50.15	50.21	50.12	50.23
	C面側端部	49.88	50.08		50.19		50.09	50.19	50.19	50.27	50.20	50.41	50.19
B面側連結版	D面側端部		26.35		26.19		26.20		26.23	26.16	26.25	26.52	
(ボルト側)	C面側端部		26.27		26.33		26.28		26.26	26.24	26.24	26.26	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1078.5	
L1	1079.0	
L2	1328.5	1329.0
L1	1330.0	1328.5
L2	1078.5	
L1	1078.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を 0 値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.21		-0.20		-0.20	-0.06	-0.07	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.12	-0.16	-0.01	0.16	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.05	0.11	0.05	-0.11	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.03		-0.05		-0.07	-0.08	0.02	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	159.0		26.30		1078.8	
母材	490.8	490.1	50.07	50.21	1329.3	1328.8
B面側連結版(ボルト側)	159.0		26.27		1078.5	

表- 1.3.17 試験体 No.11-B 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		159.0		489.5		490.0			489.5		159.0	
母材	490.0	490.0		490.0		490.0	490.0		490.0		490.0	490.0
B面側連結版(ボルト側)		160.0		490.0		490.0			489.5		159.0	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.30		26.28		26.26		26.33	26.23	26.25	26.23	
(ナット側)	C面側端部		26.40		26.17		26.16		26.18	26.14	26.19	26.47	
母材	D面側端部	49.95	50.22		50.22		50.27	50.26	50.31	50.28	50.24	50.25	50.13
	C面側端部	50.02	50.17		50.16		50.18	50.26	50.11	50.14	50.16	50.16	50.06
B面側連結版	D面側端部		26.22		26.09		26.13		26.21	26.15	26.18	26.49	
(ボルト側)	C面側端部		26.22		26.28		26.26		26.30	26.25	26.24	26.33	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1079.0	
L1	1078.0	
L2	1329.5	1329.0
L1	1329.5	1329.0
L2	1078.0	
L1	1078.5	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を 0 値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		-0.05		0.18		0.14	0.11	0.15	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	-0.22	-0.14	-0.18	0.16	0.00
	ボルト側:B面							0.00	0.13	0.24	0.23	0.03	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		-0.06		-0.09		-0.09	-0.13	0.03	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	159.0		26.26		1078.5	
母材	490.0	490.0	50.15	50.20	1329.5	1329.0
B面側連結版(ボルト側)	160.0		26.24		1078.3	

表- 1.3.18 試験体 No.11-C 寸法形状計測結果

位置	幅(mm)											
	非すべり側						すべり側					
	w'5	w'4	w'3	w'2	w'1	w0		w1	w2	w3	w4	w5
A面側連結版(ナット側)		159.5		490.0		490.0			490.0		159.0	
母材	490.0	490.0		490.0		490.0	490.0		490.5		491.0	491.0
B面側連結版(ボルト側)		159.0		490.0		490.0			489.5		158.5	

位置		厚さ(mm)											
		非すべり側						すべり側					
		t'5	t'4	t'3	t'2	t'1	t0		t1	t2	t3	t4	t5
A面側連結版	D面側端部		26.29		26.32		26.33		26.20	26.25	26.33	26.30	
(ナット側)	C面側端部		26.46		26.29		26.19		26.21	26.12	26.31	26.50	
母材	D面側端部	50.11	50.21		50.29		50.18	50.16	50.16	50.18	50.18	50.17	50.05
	C面側端部	50.02	50.25		50.21		50.19	50.12	50.13	50.16	50.17	50.09	49.95
B面側連結版	D面側端部		26.29		26.24		26.29		26.32	26.32	26.35	26.31	
(ボルト側)	C面側端部		26.50		26.22		26.21		26.29	26.23	26.30	26.46	

長さ(mm)		
位置	非すべり側	すべり側
L2	1079.0	
L1	1078.5	
L2	1330.0	1328.5
L1	1329.0	1329.0
L2	1079.5	
L1	1078.0	

位置		初期そり量(mm) ※計測位置両端を 0 値とした相対値											
		非すべり側						すべり側					
			c'4	c'3	c'2	c'1	c0 (中央)		c1	c2	c3	c4	c5
A面側連結版(ナット側)			0.00		0.17		0.13		0.02	0.02	-0.10	0.00	
母材	ナット側:A面							0.00	0.27	0.42	0.07	-0.07	0.00
	ボルト側:B面							0.00	-0.31	-0.35	-0.15	0.07	0.00
B面側連結版(ボルト側)			0.00		0.06		-0.10		-0.04	-0.09	-0.01	0.00	

位置	幅：平均 (mm)		厚さ：平均 (mm)		長さ：平均(mm)	
	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側	非すべり側	すべり側
A面側連結版(ナット側)	159.5		26.29		1078.8	
母材	490.0	490.6	50.18	50.13	1329.5	1328.8
B面側連結版(ボルト側)	159.0		26.31		1078.8	

表- 1.3.19～表- 1.3.24 に各試験体の肌すき量計測結果を示す。

表- 1.3.19 試験体 No.3 肌すき量計測結果(mm)

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3	BL-6	BL-7	BL-10	BL-11	BL-12
3D	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0.00	0	0
		D面側	0.06	0.08	0.08	0.1	0	0.06	0.04	0.06
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0.04	0	0	0
		D面側	0.08	0.08	0.1	0.14	0.15	0.08	0.09	0.15
3E	B面(ボルト側)	C面側	0.1	0	0.04	0	0	0	0	0
		D面側	0.13	0	0	0	0.07	0.11	0.1	0.16
	A面(ナット側)	C面側	0.04	0.06	0.00	0.08	0.09	0.12	0.13	0.08
		D面側	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00
3F	B面(ボルト側)	C面側	0.15	0.1	0.04	0.05	0.05	0.12	0.10	0.14
		D面側	0.15	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09
	A面(ナット側)	C面側	0.1	0.1	0.1	0.08	0.04	0.07	0.11	0.11
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0.00

(b)載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3	BL-6	BL-7	BL-10	BL-11	BL-12
3D	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0.00	0	0
		D面側	0.08	0.09	0.08	0.09	0	0.09	0.05	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0.04	0	0	0
		D面側	0.1	0.09	0.1	0.11	0.16	0.11	0.11	0.13
3E	B面(ボルト側)	C面側	0.15	0	0.04	0	0	0	0	0
		D面側	0.12	0	0	0	0.07	0.12	0.12	0.16
	A面(ナット側)	C面側	0	0.06	0.04	0.08	0.1	0.13	0.13	0.10
		D面側	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00
3F	B面(ボルト側)	C面側	0.15	0.12	0.08	0.07	0.07	0.12	0.13	0.14
		D面側	0.15	0.09	0.08	0.08	0.11	0.08	0.06	0.10
	A面(ナット側)	C面側	0.08	0.12	0.13	0.1	0.06	0.09	0.11	0.13
		D面側	0	0	0	0	0	0	0	0.00

表− 1.3.20　試験体 No.7 肌すき量計測結果(mm)

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-4	BL-6	BL-7
7A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
7B	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
7C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0

(b)載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-4	BL-6	BL-7
7A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
7B	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
7C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0

表− 1.3.21 試験体 No.8 肌すき量計測結果(mm)

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3	BL-6	BL-9	BL-10	BL-11
8A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0.04	0.07	0.04	0.05	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0.04	0	0	0.05
		D面側	0	0	0	0	0	0	0
8B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0.05	0	0.04	0	0	0
		D面側	0.06	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0.06	0	0	0	0	0	0
8C	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0

(b)載荷試験前

No.	位置		BL-1	BL-2	BL-3	BL-6	BL-9	BL-10	BL-11
8A	B面 (ボルト側)	C面側	0	0	0	0.06	0.04	0	0
		D面側	0.04	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0.04
		D面側	0	0	0	0	0	0	0
8B	B面 (ボルト側)	C面側	0	0.04	0	0.04	0	0	0
		D面側	0.07	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0.06	0	0	0	0	0	0
8C	B面 (ボルト側)	C面側	0.04	0.04	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0
	A面 (ナット側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0	0	0	0

表− 1.3.22 試験体 No.9 肌すき量計測結果(mm)

(a) 締付け後

<table>
<tr><th>No.</th><th colspan="2">位置</th><th>BL-2</th><th>BL-3</th><th>BL-6</th><th>BL-9</th><th>BL-10,11</th></tr>
<tr><td rowspan="4">9A</td><td rowspan="2">B面
(ボルト側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A面
(ナット側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">9B</td><td rowspan="2">B面
(ボルト側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A面
(ナット側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">9C</td><td rowspan="2">B面
(ボルト側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A面
(ナット側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>

(b)載荷試験前

<table>
<tr><th>No.</th><th colspan="2">位置</th><th>BL-2</th><th>BL-3</th><th>BL-6</th><th>BL-9</th><th>BL-10,11</th></tr>
<tr><td rowspan="4">9A</td><td rowspan="2">B面
(ボルト側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A面
(ナット側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">9B</td><td rowspan="2">B面
(ボルト側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A面
(ナット側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">9C</td><td rowspan="2">B面
(ボルト側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A面
(ナット側)</td><td>C面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>D面側</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>

表− 1.3.23 試験体 No.10 肌すき量計測結果(mm)

(a) 締付け後

No.	位置		BL-2	BL-3	BL-8	BL-9	BL-11	BL-15	BL-16,17
10A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0.11	0.15	0.15	0.15	0.13	0.20	0.20
	A面(ナット側)	C面側	0.10	0.07	0	0.05	0	0	0
		D面側	0	0	0	0.06	0.06	0.05	0.05
10B	B面(ボルト側)	C面側	0	0.08	0	0	0	0	0
		D面側	0	0.08	0.06	0	0	0	0.07
	A面(ナット側)	C面側	0.09	0.08	0.07	0.06	0	0.06	0.07
		D面側	0.09	0.05	0	0.06	0.07	0.10	0.08
10C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0	0.05	0.09	0.06	0.07	0.08	0.08
	A面(ナット側)	C面側	0.09	0.09	0.07	0.08	0.09	0.09	0.08
		D面側	0.06	0	0	0	0	0	0

(b)載荷試験前

No.	位置		BL-2	BL-3	BL-8	BL-9	BL-11	BL-15	BL-16,17
10A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0.13	0.15	0.15	0.15	0.14	0.17	0.17
	A面(ナット側)	C面側	0.08	0.05	0	0	0	0	0
		D面側	0	0.07	0.06	0.05	0.06	0.04	0.04
10B	B面(ボルト側)	C面側	0	0.04	0	0	0	0	0
		D面側	0	0.07	0.06	0	0	0	0.08
	A面(ナット側)	C面側	0.06	0.06	0.06	0.05	0	0	0
		D面側	0.08	0.04	0	0.06	0.06	0.09	0.07
10C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0	0	0	0
		D面側	0.04	0.05	0.08	0.06	0.06	0.07	0.08
	A面(ナット側)	C面側	0.09	0.08	0.04	0.08	0.07	0.07	0.08
		D面側	0.07	0	0	0	0	0	0

表− 1.3.24 試験体 No.11 肌すき量計測結果(mm)

(a) 締付け後

No.	位置		BL-1,3,9	BL-13,17,18	BL-23,25	BL-29,30
11A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
11B	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
11C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0

(b)載荷試験前

No.	位置		BL-1,3,9	BL-13,17,18	BL-23,25	BL-29,30
11A	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
11B	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
11C	B面(ボルト側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0
	A面(ナット側)	C面側	0	0	0	0
		D面側	0	0	0	0

1.3.2　塗膜厚計測結果

各試験体の塗膜厚計測結果を**表- 1.3.25** に示す。

表- 1.3.25　各試験体の塗膜厚計測結果

試験体名称	計測塗膜厚の平均値 (μm)	計測塗膜厚の最小値 (μm)	標準偏差 (μm)
No.7	87	71	8
	82	74	6
	81	73	9
No.8	88	73	11
	81	70	7
	83	74	7
No.9	84	72	12
	83	70	10
	89	75	14
No.10	98	81	9
	96	83	9
	95	78	10
No.11	95	79	10
	96	73	8
	95	72	11

1.4　ボルト軸力の計測結果（試験前）

ボルト締付けからすべり耐力試験までのボルト軸力計測結果を表- 1.4.1 に示す。各試験体のボルト軸力計測結果については図- 1.4.1～図- 1.4.18 に示す。

表- 1.4.1 ボルト軸力残存率の計測結果(試験前)

試験体 No.	ボルト配置方法	構造諸元 母板厚(mm)	構造諸元 連結板厚(mm)	構造諸元 ボルト列数	ボルト軸力 (kN) ① 軸力導入時	ボルト軸力 (kN) ② 7日間経過後	③ 軸力残存率 (②/①)	
3-D	1列配置	50	26	12	206.1	192.0	0.93	0.94
3-E					205.4	193.3	0.94	
3-F※					205.6	193.2	0.94	
7-A				7	205.6	196.3	0.95	0.96
7-B					205.8	196.6	0.96	
7-C※					205.4	196.2	0.96	
8-A				11	206.1	195.7	0.95	0.95
8-B					205.8	195.7	0.95	
8-C※					206.4	193.8	0.94	
9-A	千鳥配置			7	206.6	194.9	0.94	0.94
9-B					209.8	196.1	0.93	
9-C※					206.7	193.8	0.94	
10-A				11	206.0	196.1	0.95	0.95
10-B					206.4	195.5	0.95	
10-C※					206.8	197.2	0.95	
11-A	砲台配置			7	207.7	192.5	0.93	0.94
11-B					206.5	192.4	0.93	
11-C※					206.3	197.1	0.96	

注）※はボルト軸力の詳細計測を実施（図- 1.2.11～図- 1.2.16 参照）

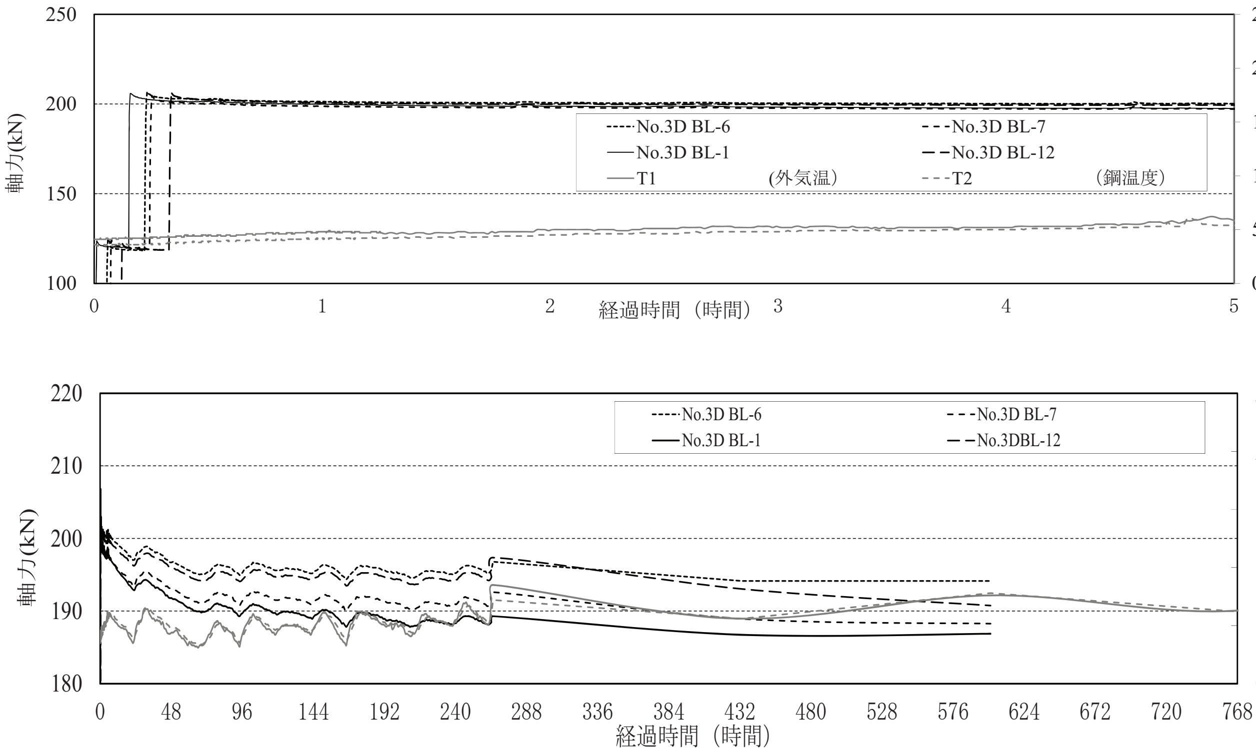


図- 1.4.1 試験体 No.3-D ボルト軸力計測結果（試験前）

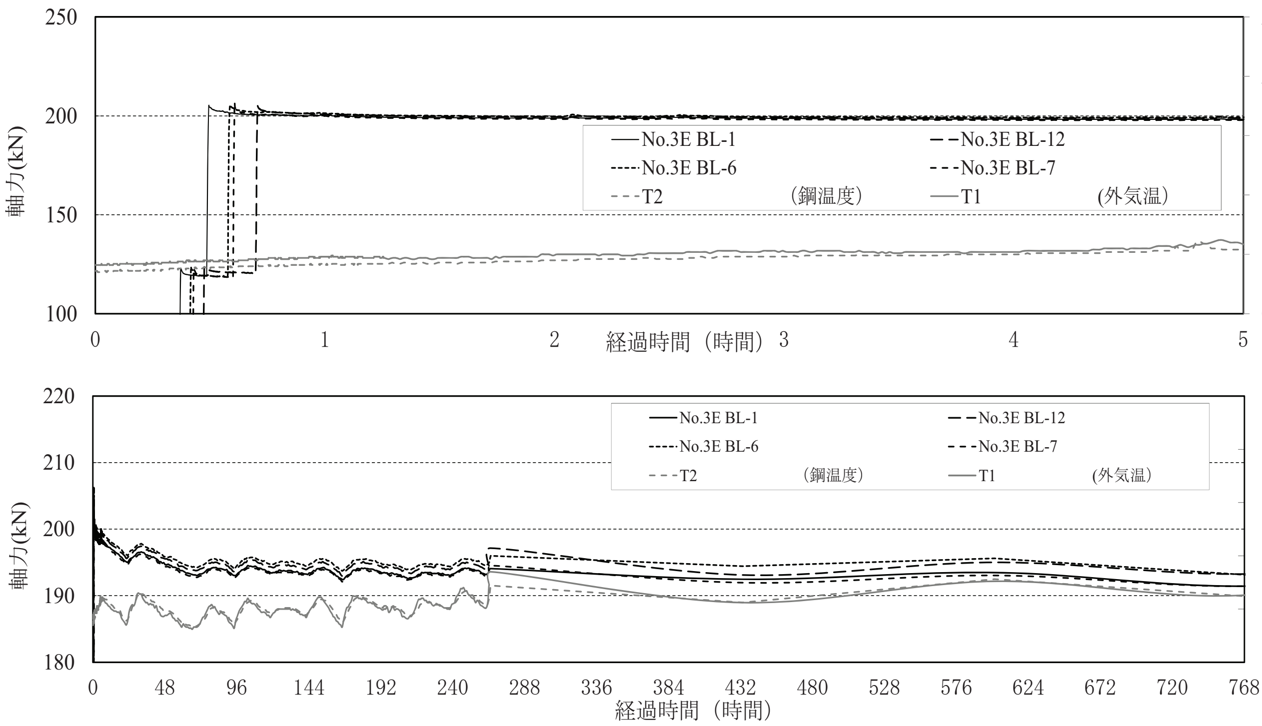
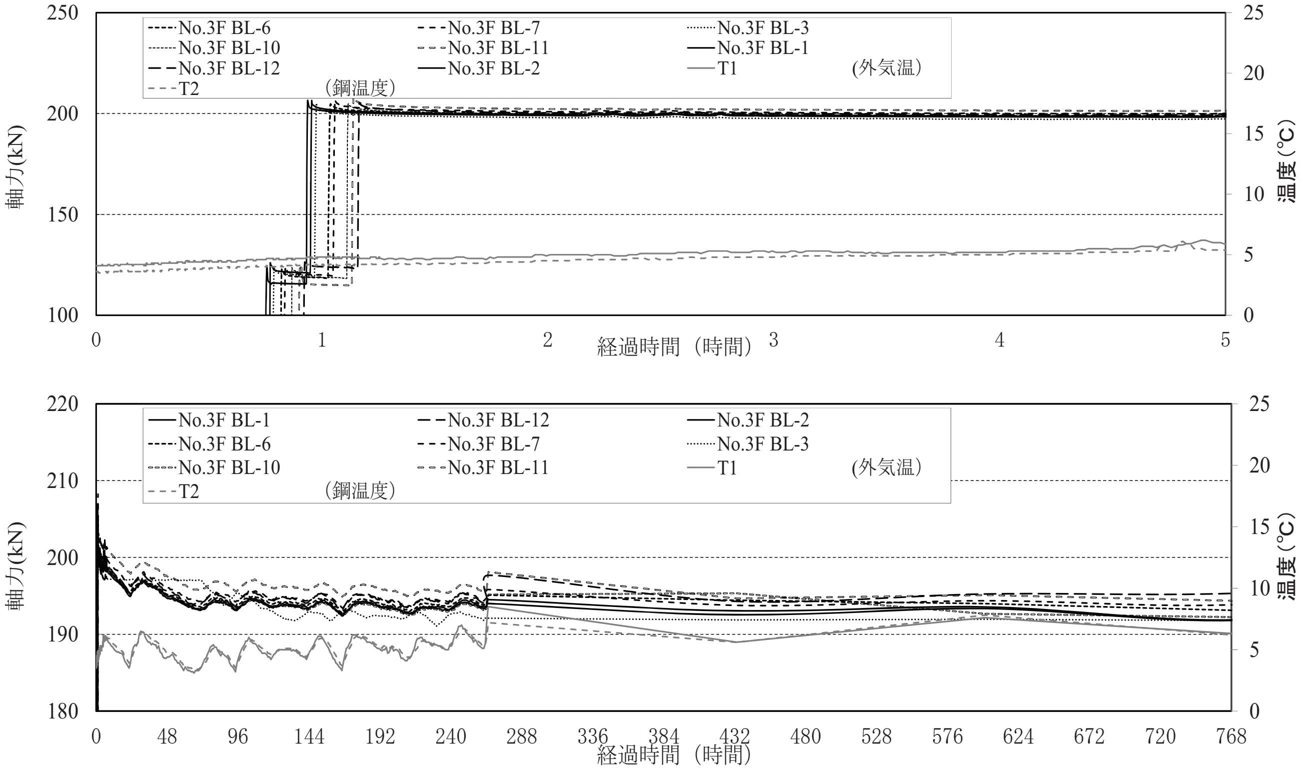
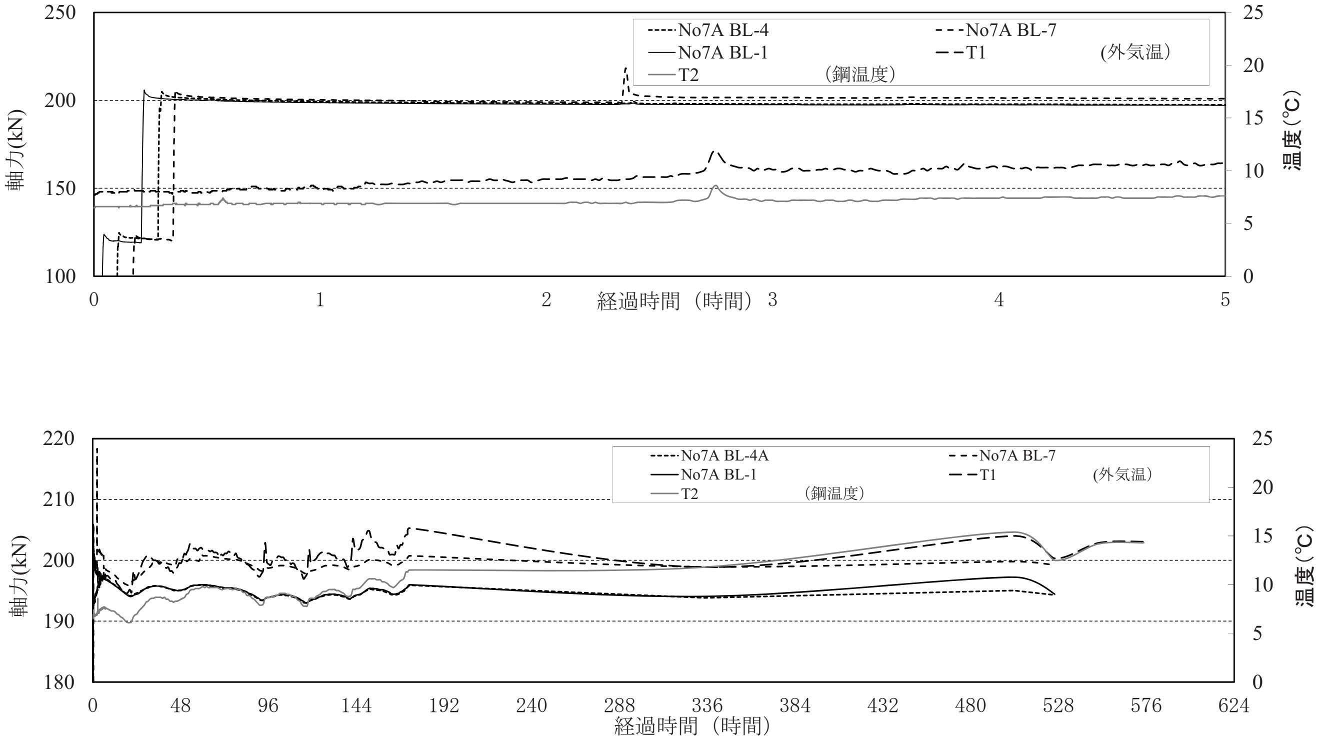


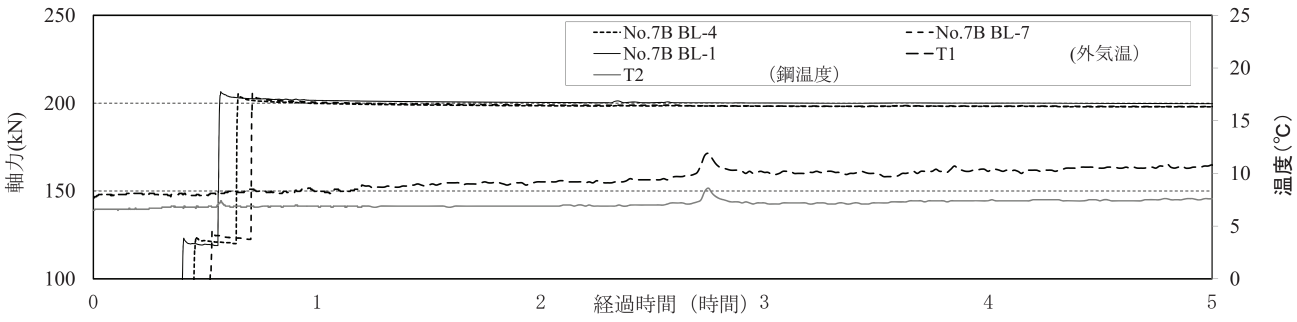
図- 1.4.2 試験体 No.3-E ボルト軸力計測結果（試験前）



図− 1.4.3　試験体 No.3−F ボルト軸力計測結果（試験前）



図− 1.4.4　試験体 No.7−A ボルト軸力計測結果（試験前）



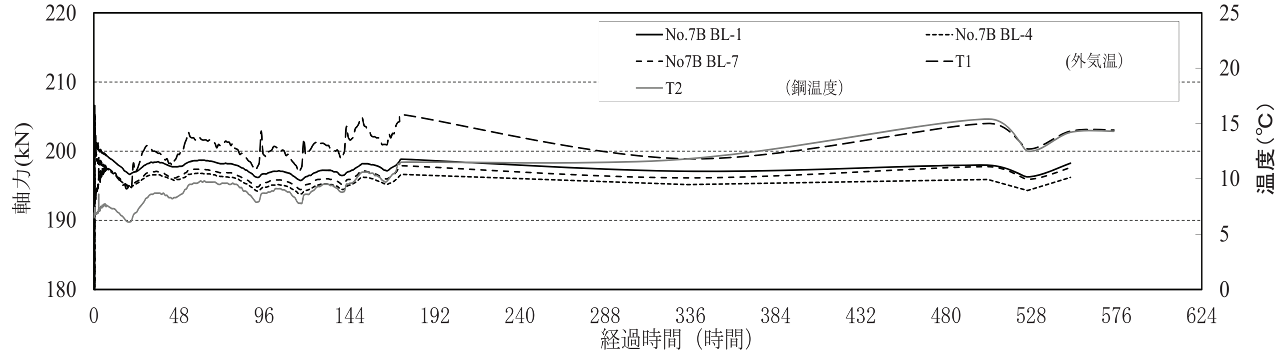
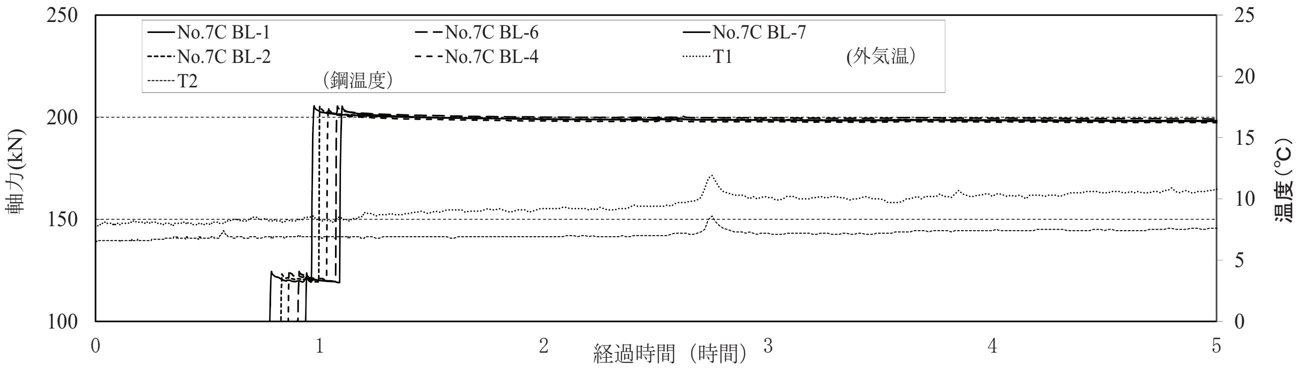


図- 1.4.5 試験体 No.7-B ボルト軸力計測結果（試験前）



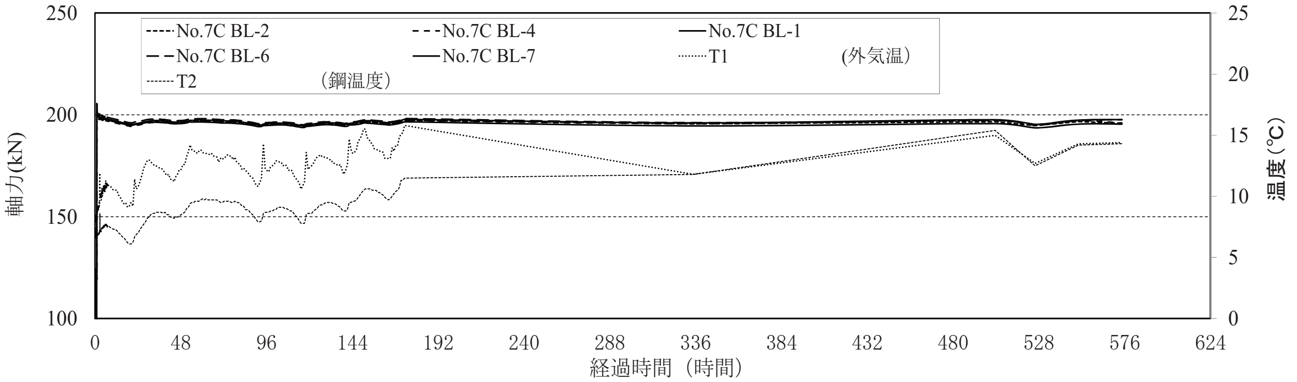


図- 1.4.6 試験体 No.7-C ボルト軸力計測結果（試験前）

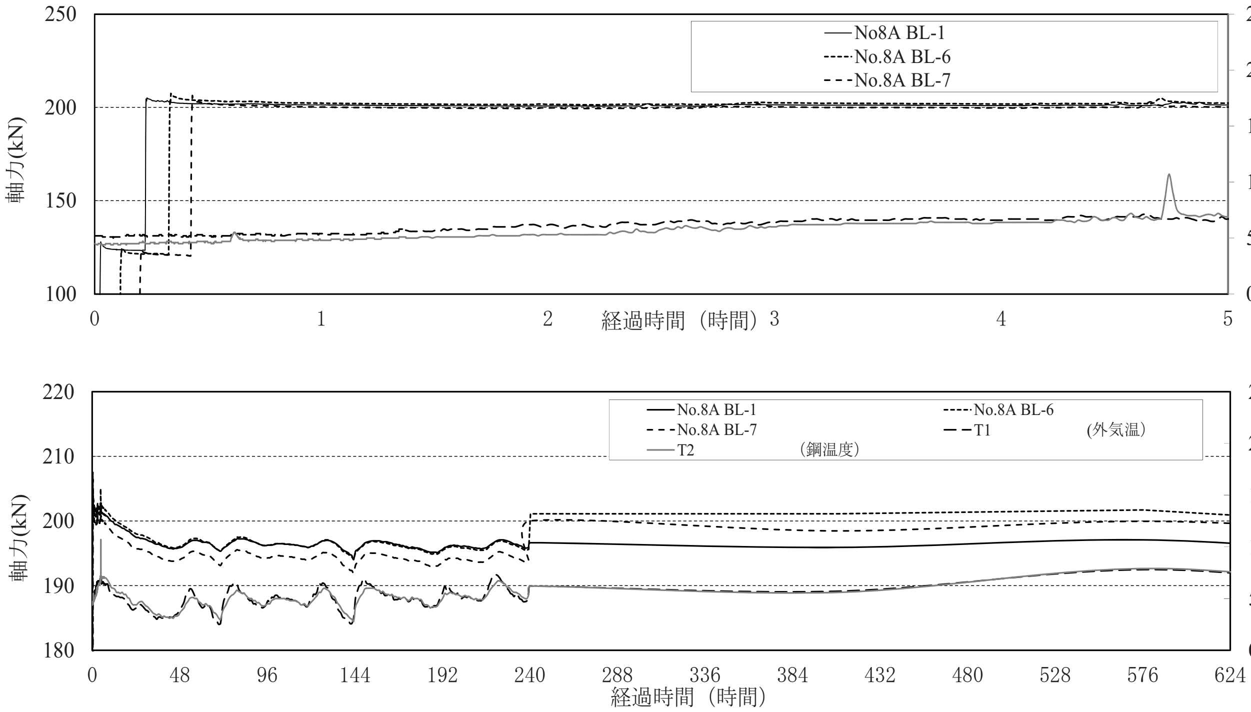


図- 1.4.7 試験体 No.8-A ボルト軸力計測結果（試験前）

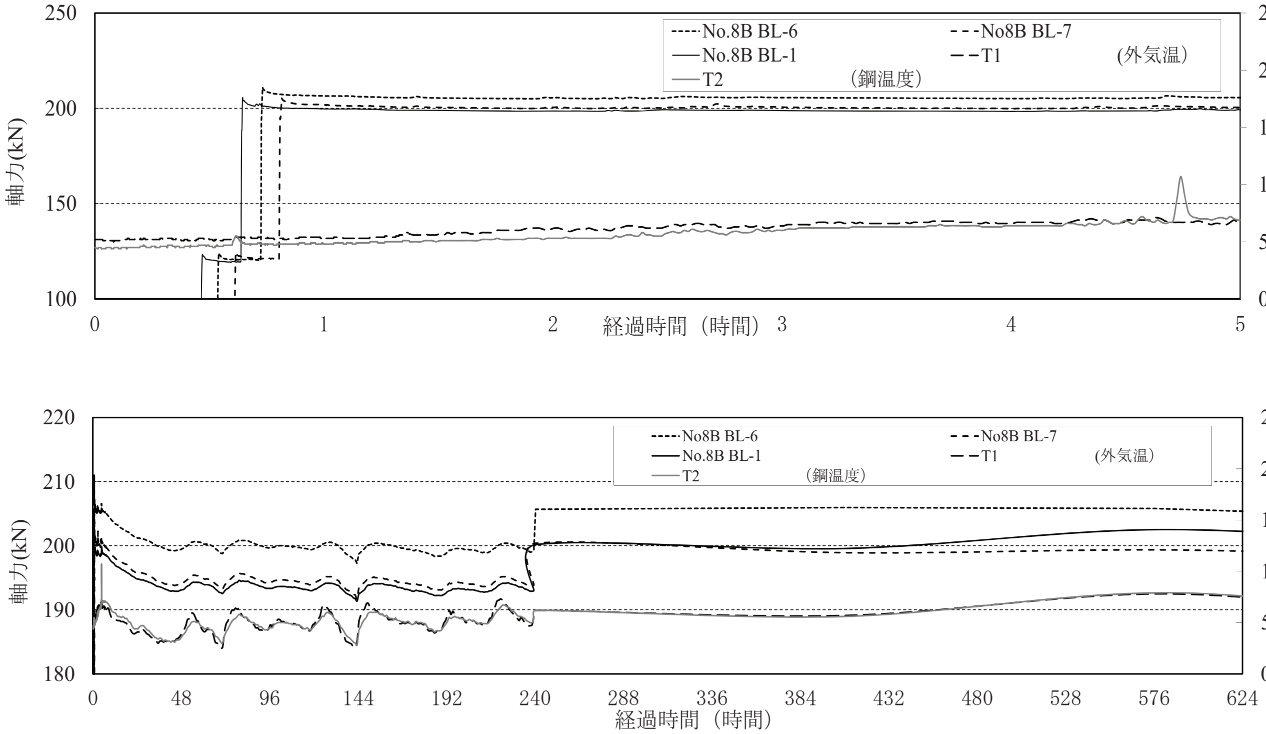


図- 1.4.8 試験体 No.8-B ボルト軸力計測結果（試験前）

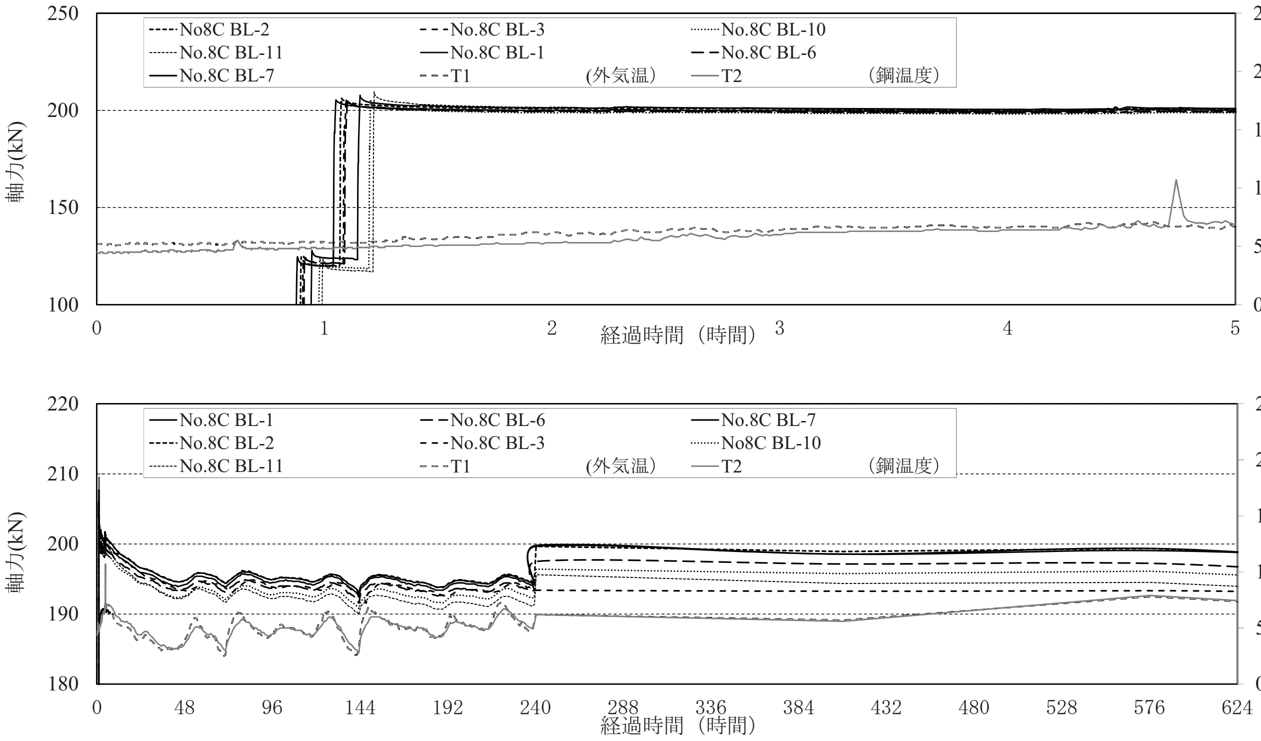


図- 1.4.9 試験体 No.8-C ボルト軸力計測結果(試験前)

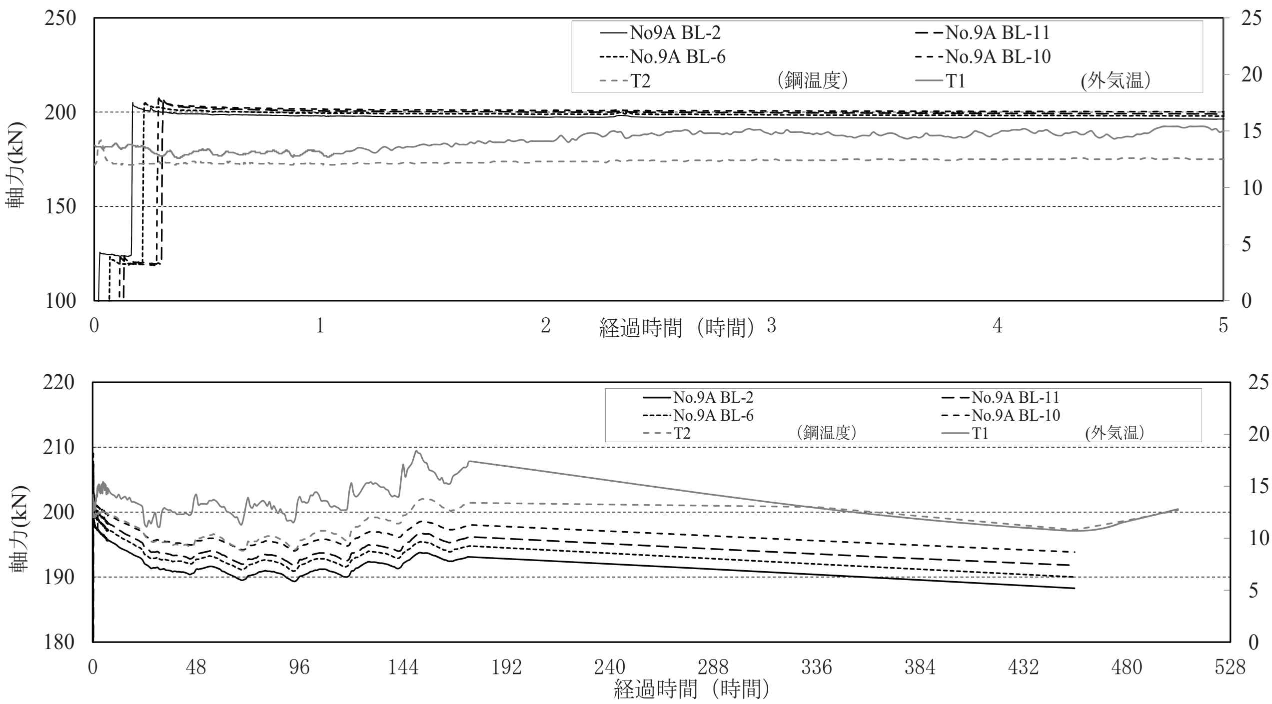
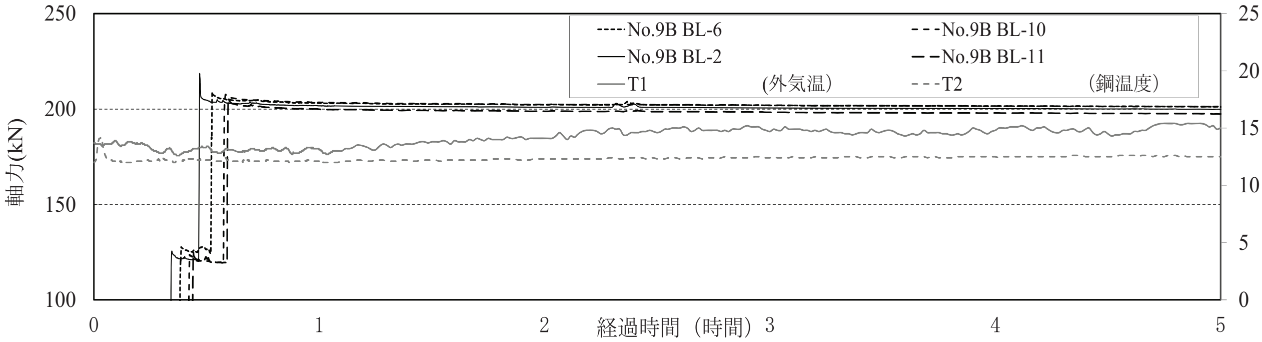


図- 1.4.10 試験体 No.9-A ボルト軸力計測結果(試験前)



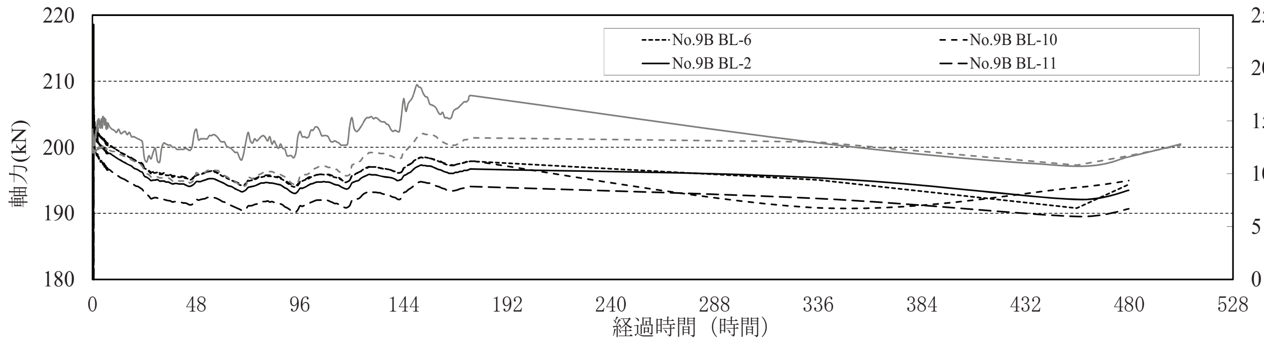
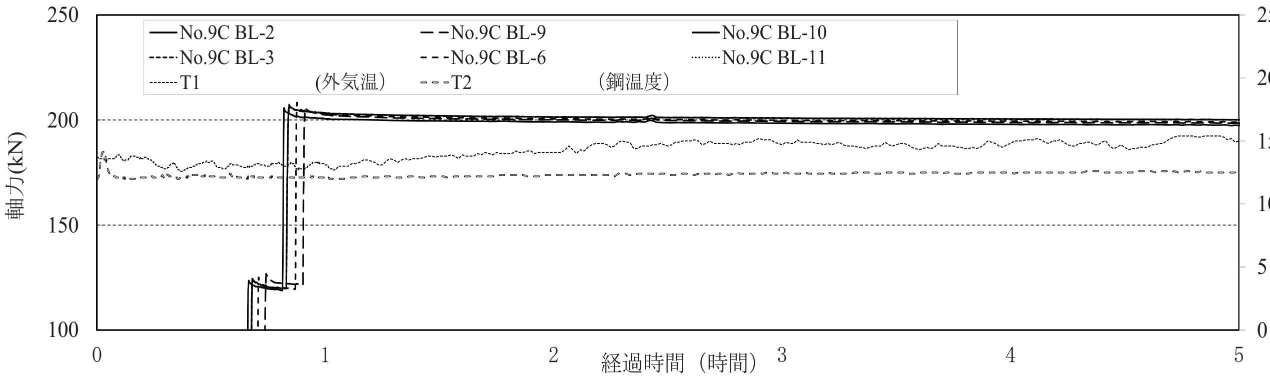


図- 1.4.11 試験体 No.9-B ボルト軸力計測結果（試験前）



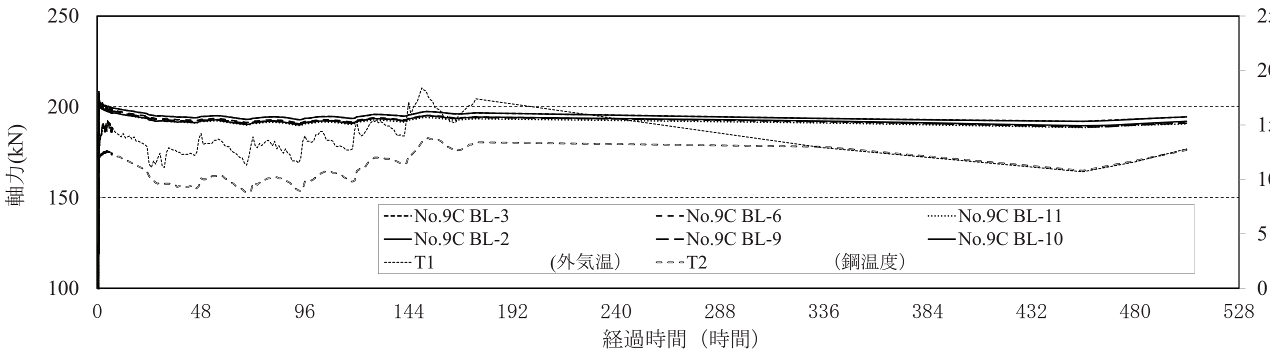


図- 1.4.12 試験体 No.9-C ボルト軸力計測結果（試験前）

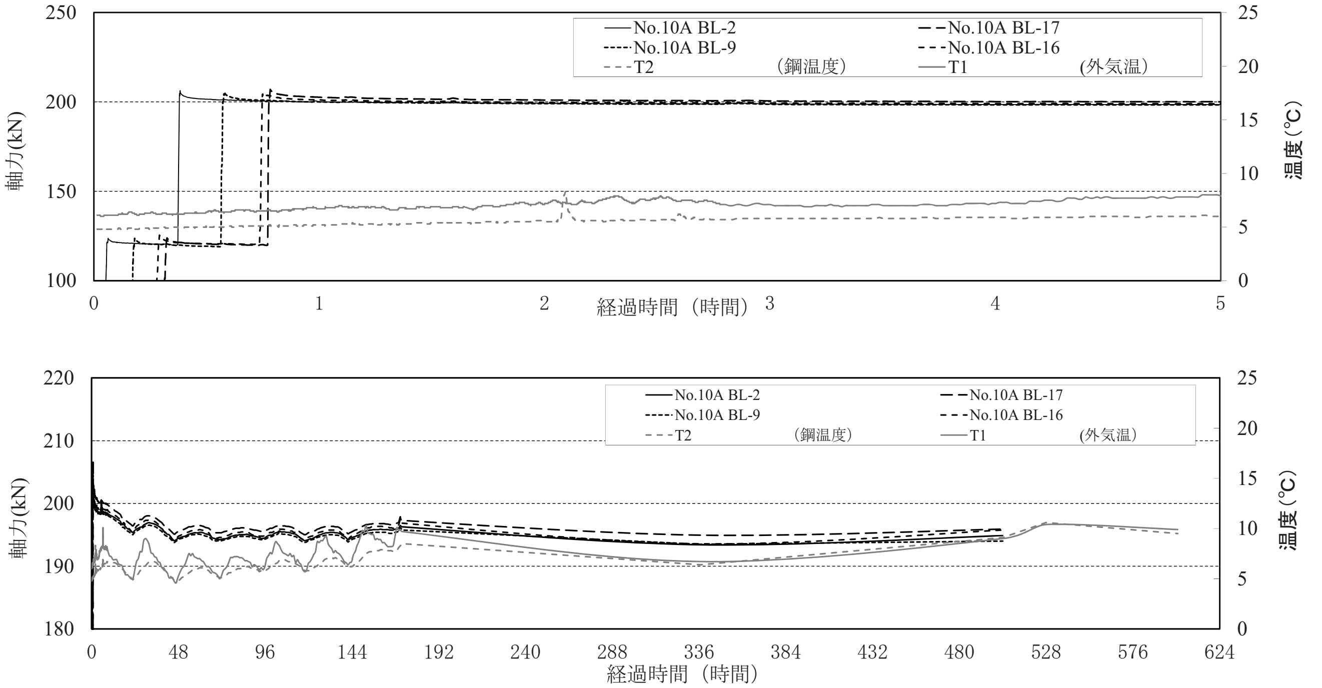


図- 1.4.13 試験体 No.10-A ボルト軸力計測結果（試験前）

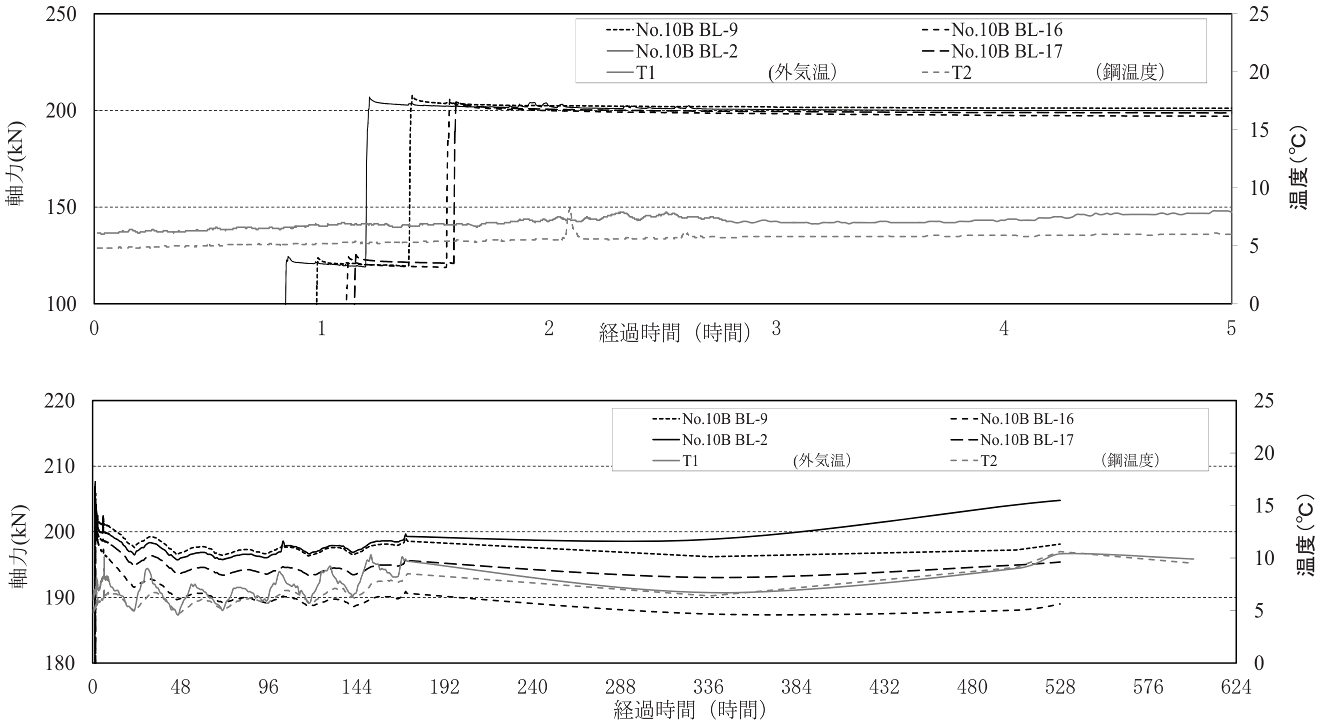


図- 1.4.14 試験体 No.10-B ボルト軸力計測結果（試験前）

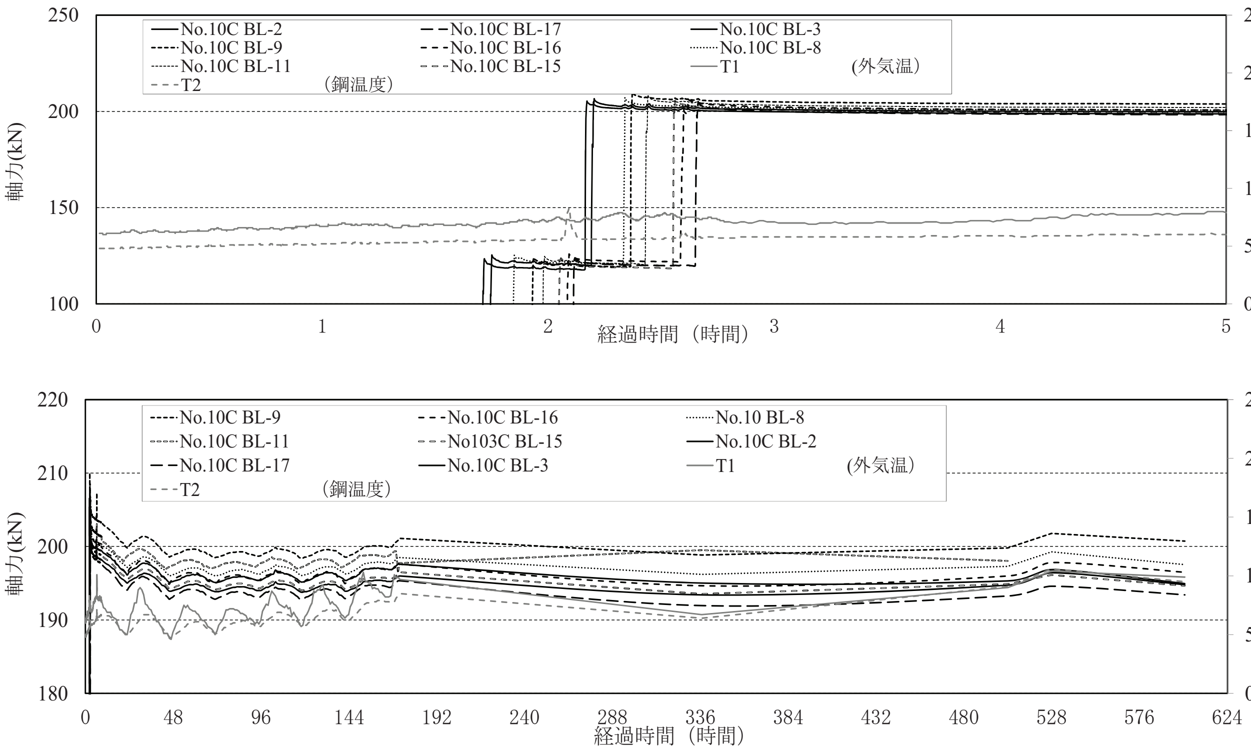


図- 1.4.15 試験体 No.10-C ボルト軸力計測結果（試験前）

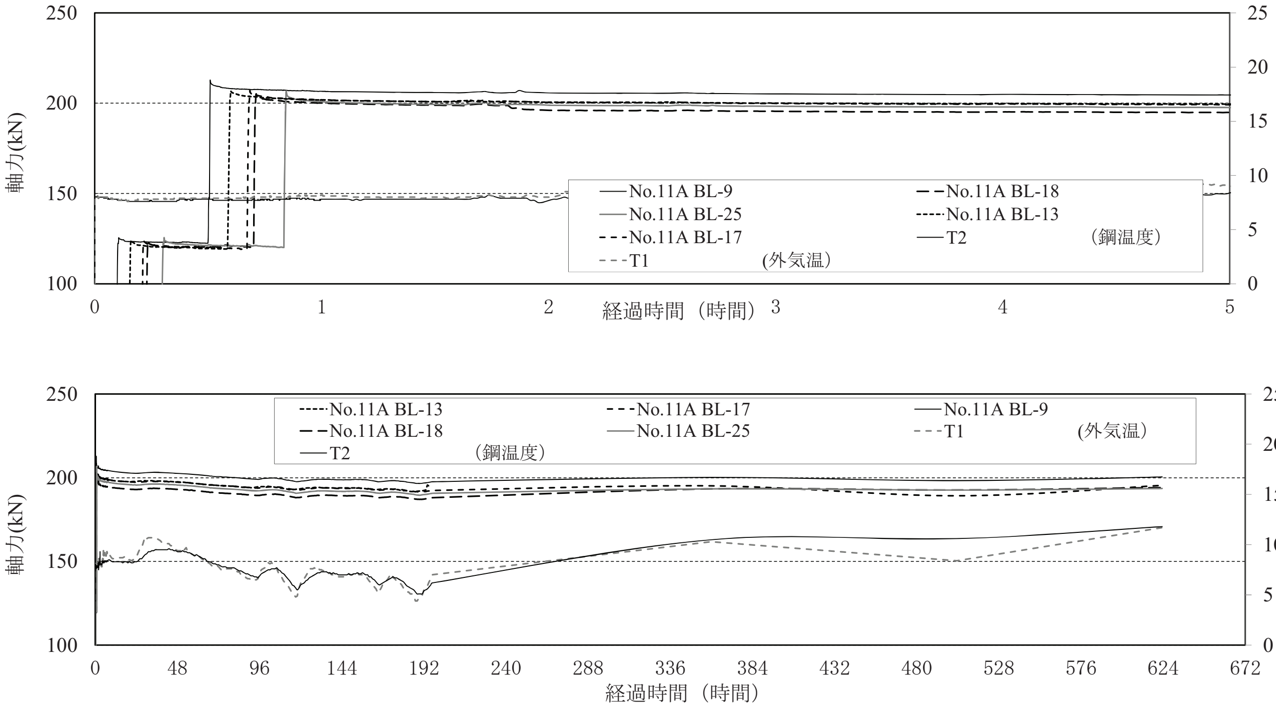


図- 1.4.16 試験体 No.11-A ボルト軸力計測結果（試験前）

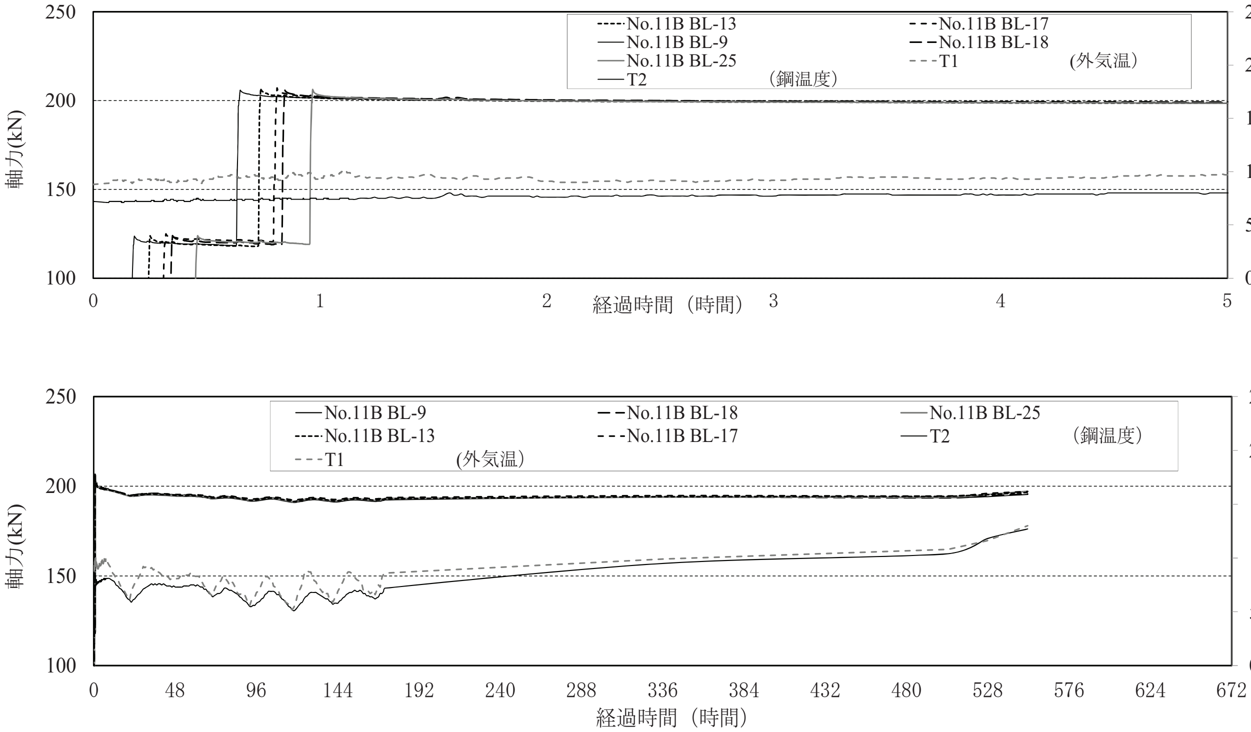


図- 1.4.17 試験体 No.11-B ボルト軸力計測結果（試験前）

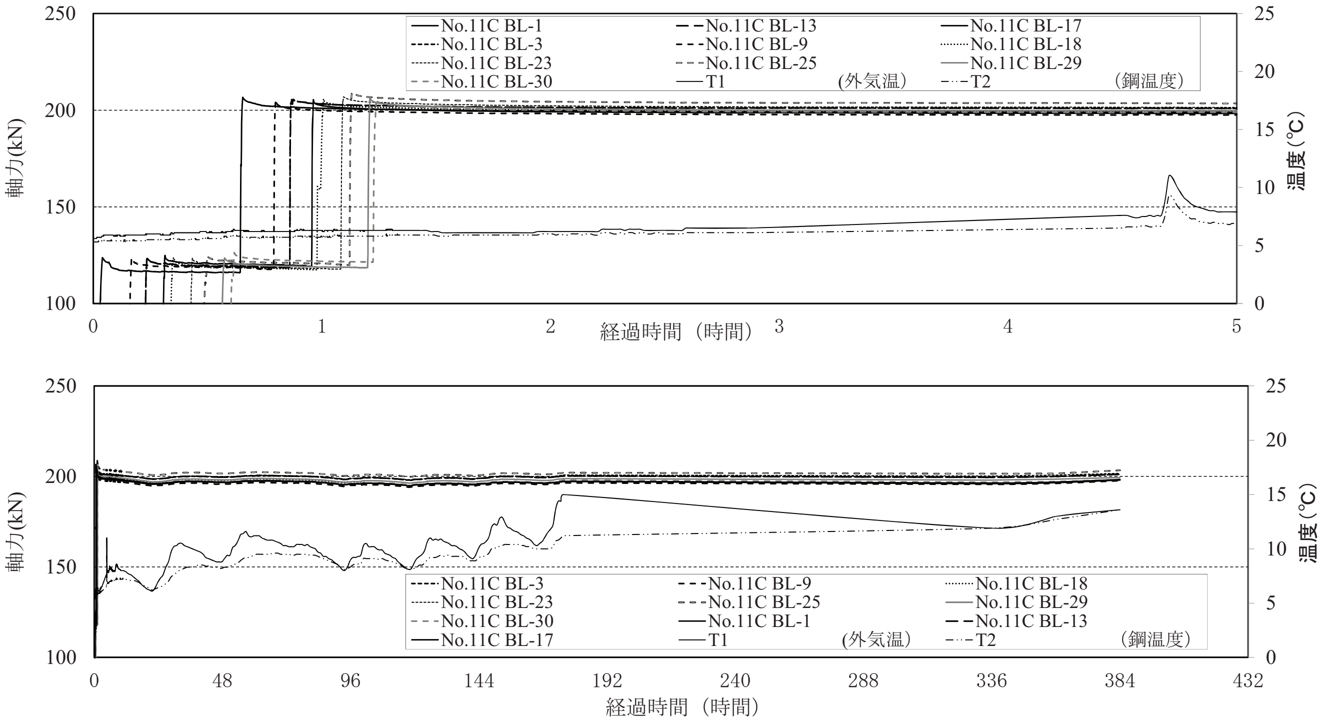


図- 1.4.18 試験体 No.11-C ボルト軸力計測結果（試験前）

1.5　すべり耐力試験結果

1.5.1　荷重変位関係

各試験体の荷重と母板間の変位（以下，変位）の関係を**図- 1.5.1**～**図- 1.5.18** に示す。

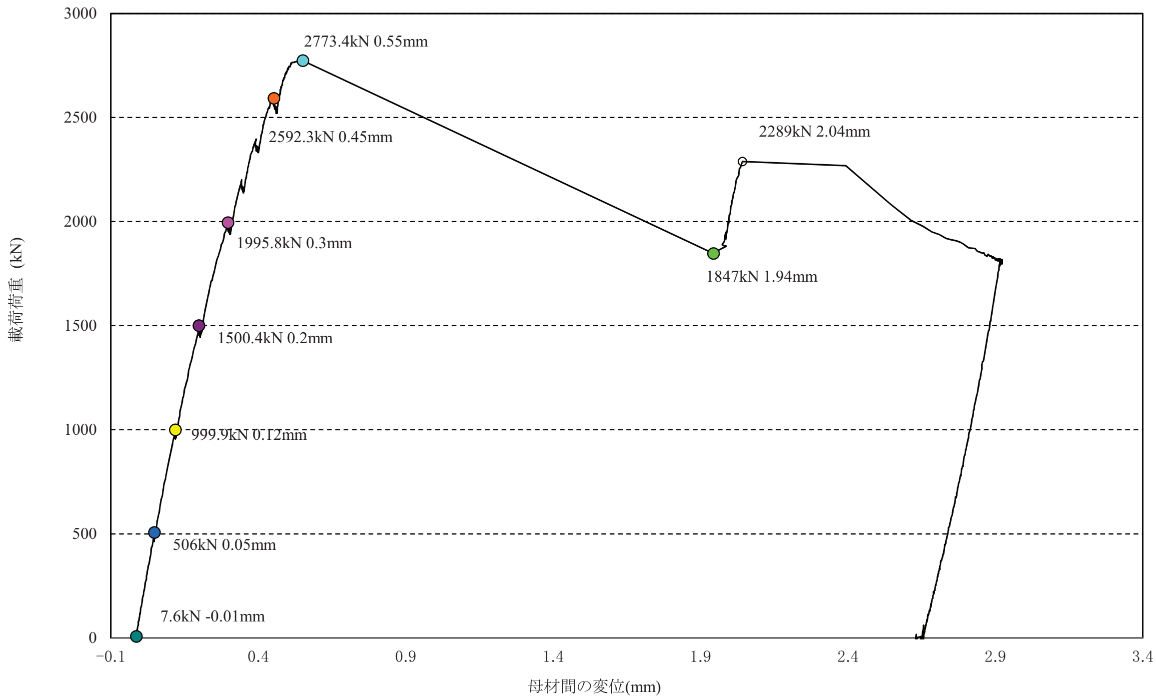


図- 1.5.1 荷重変位関係（試験体 No.3-D）

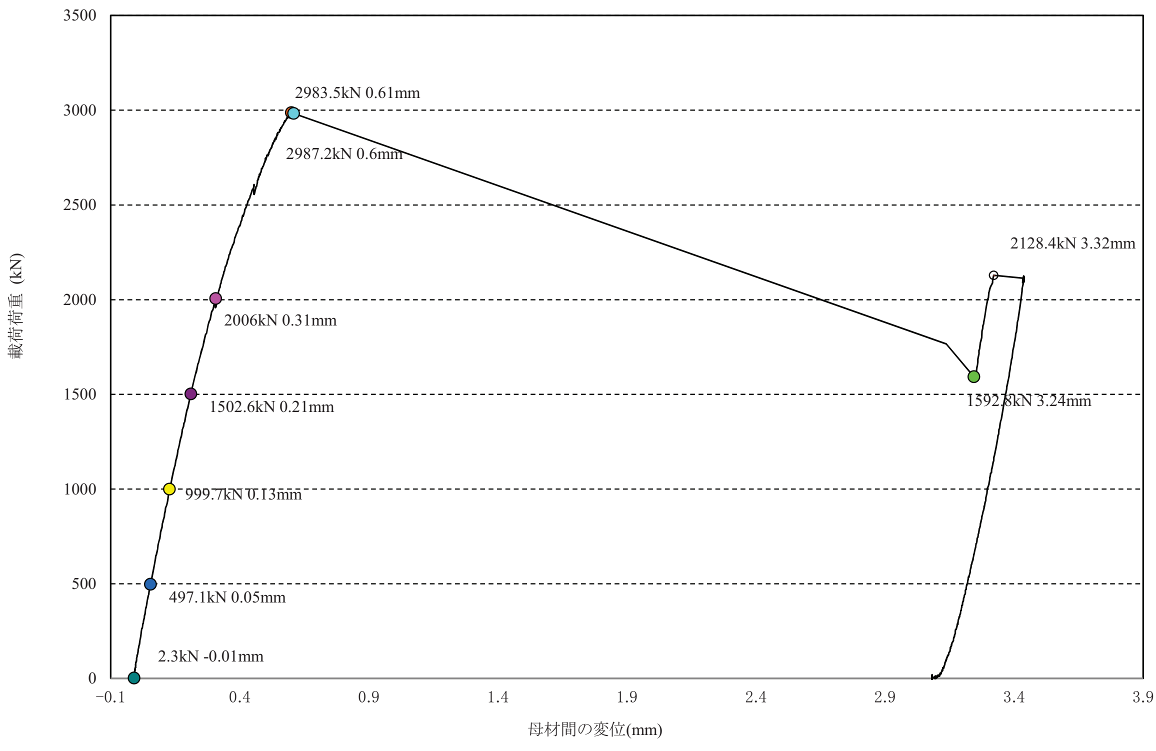


図- 1.5.2 荷重変位関係（試験体 No.3-E）

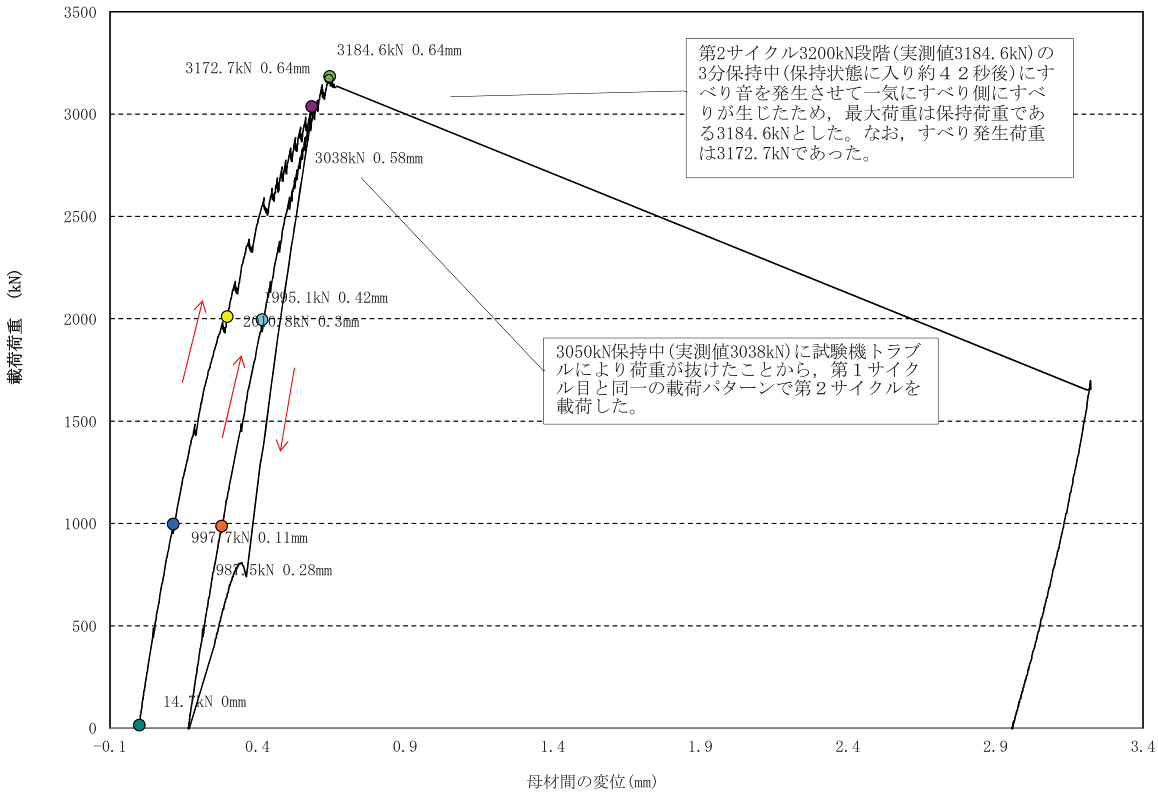


図- 1.5.3 荷重変位関係(試験体 No.3-F)

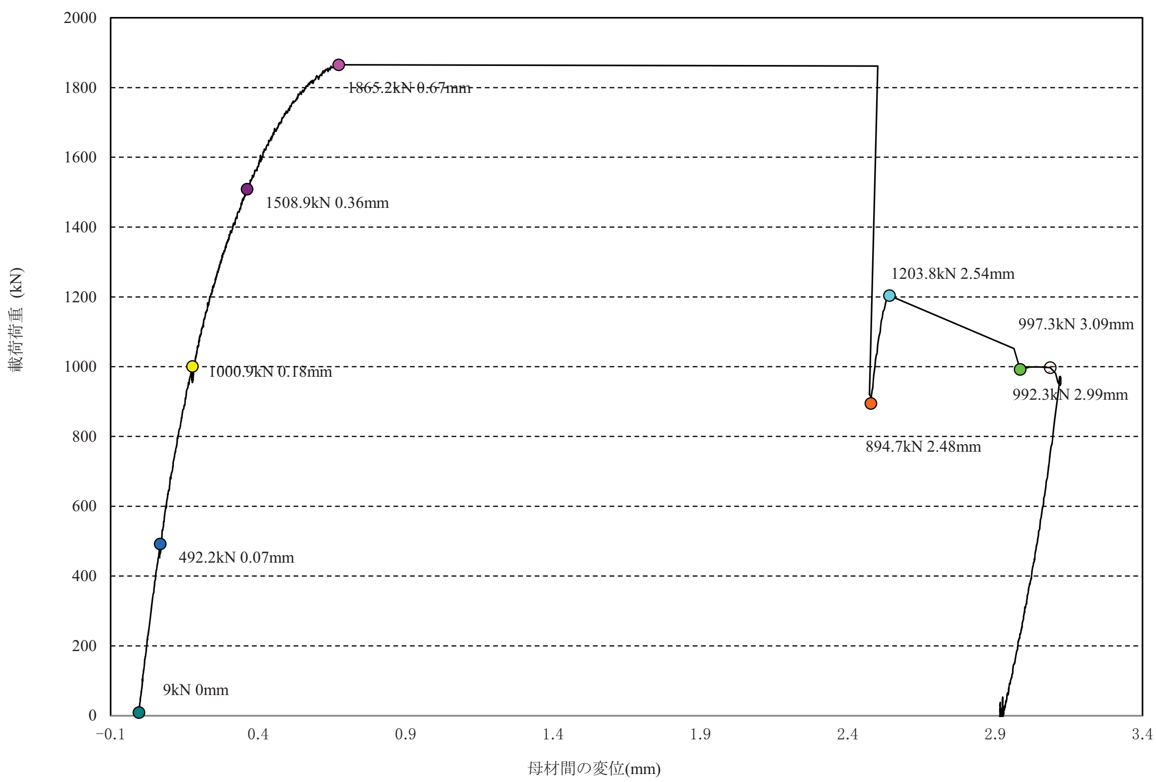


図- 1.5.4 荷重変位関係(試験体 No.7-A)

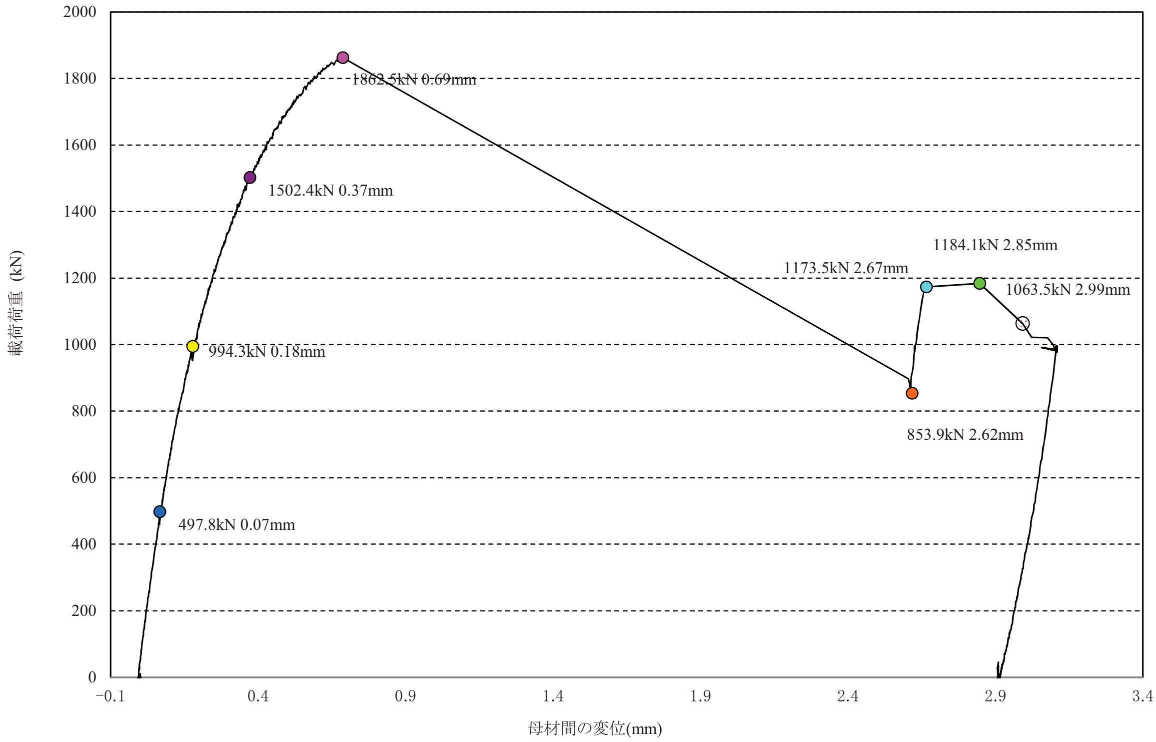


図- 1.5.5 荷重変位関係（試験体 No.7-B）

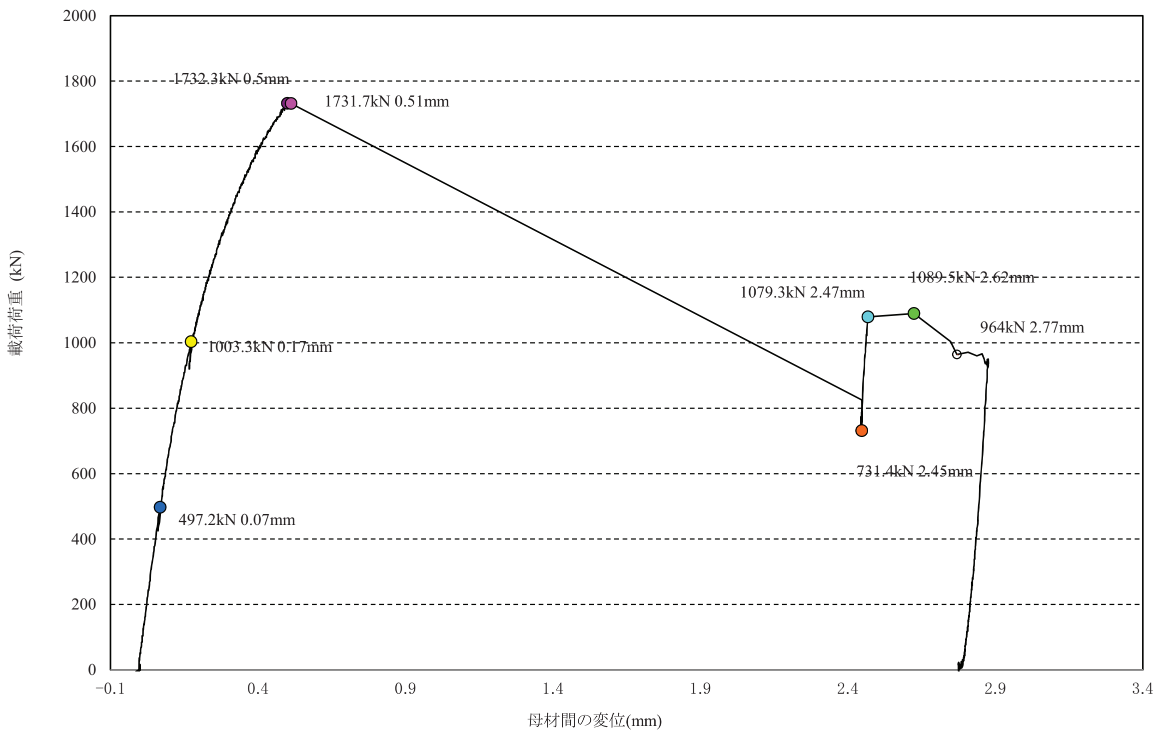


図- 1.5.6 荷重変位関係（試験体 No.7-C）

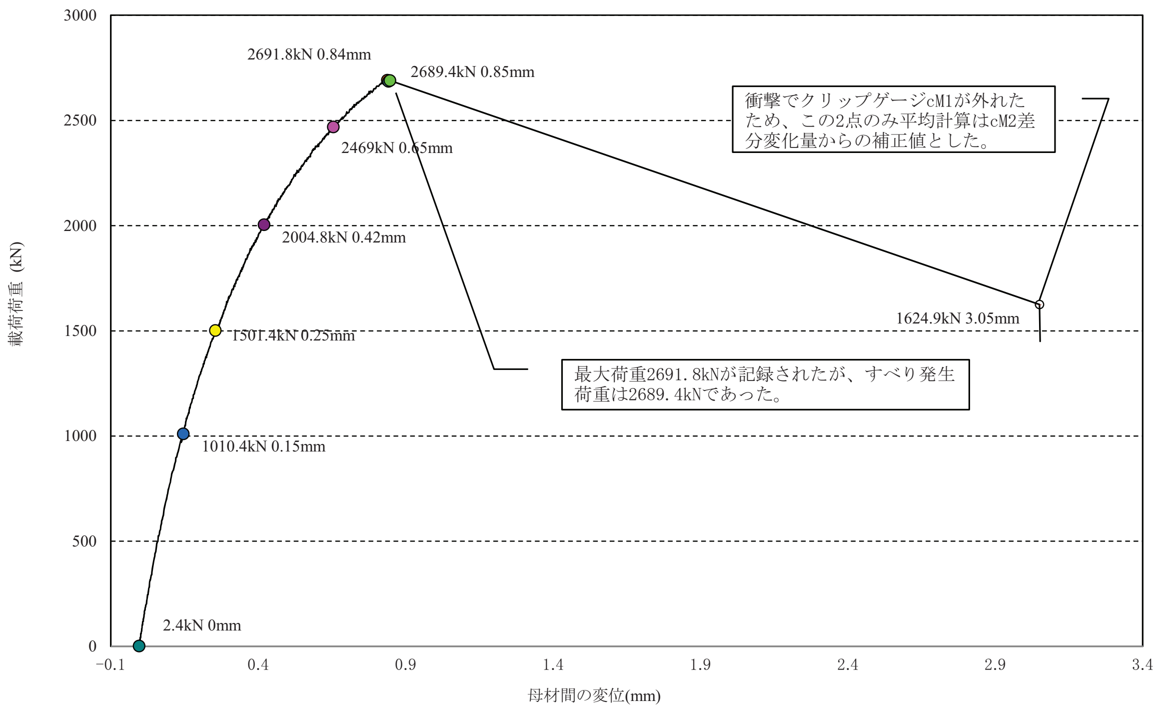


図- 1.5.7 荷重変位関係（試験体 No.8-A）

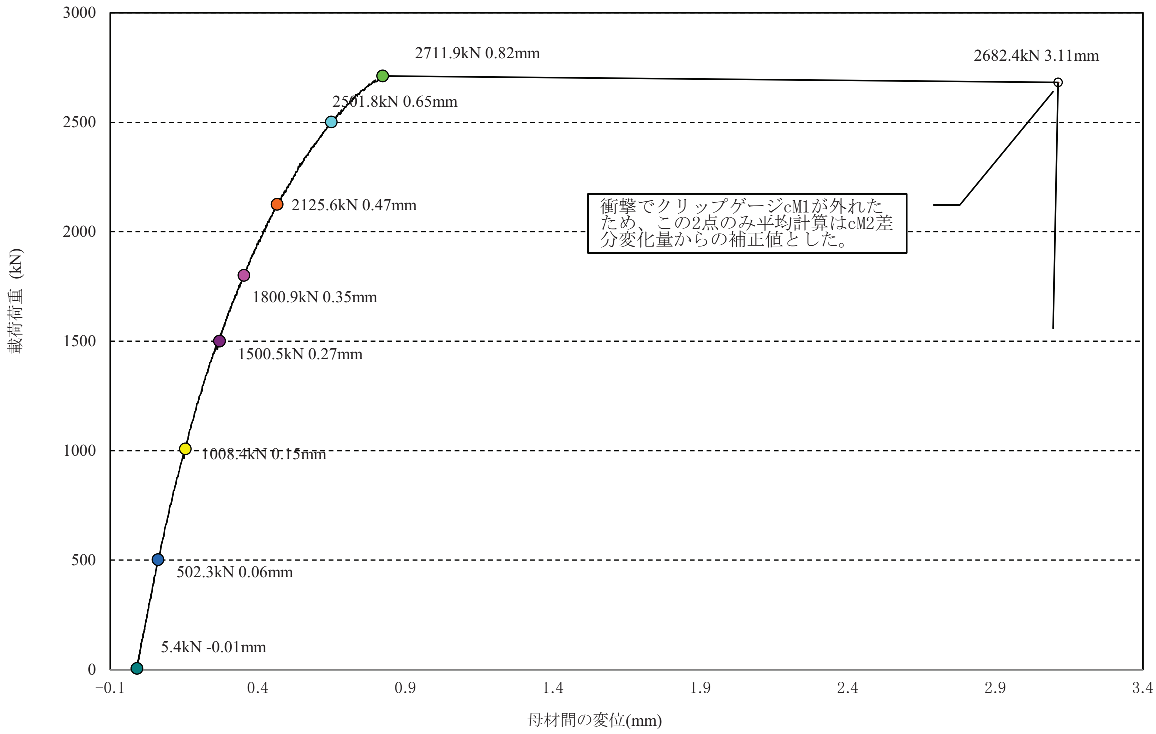


図- 1.5.8 荷重変位関係（試験体 No.8-B）

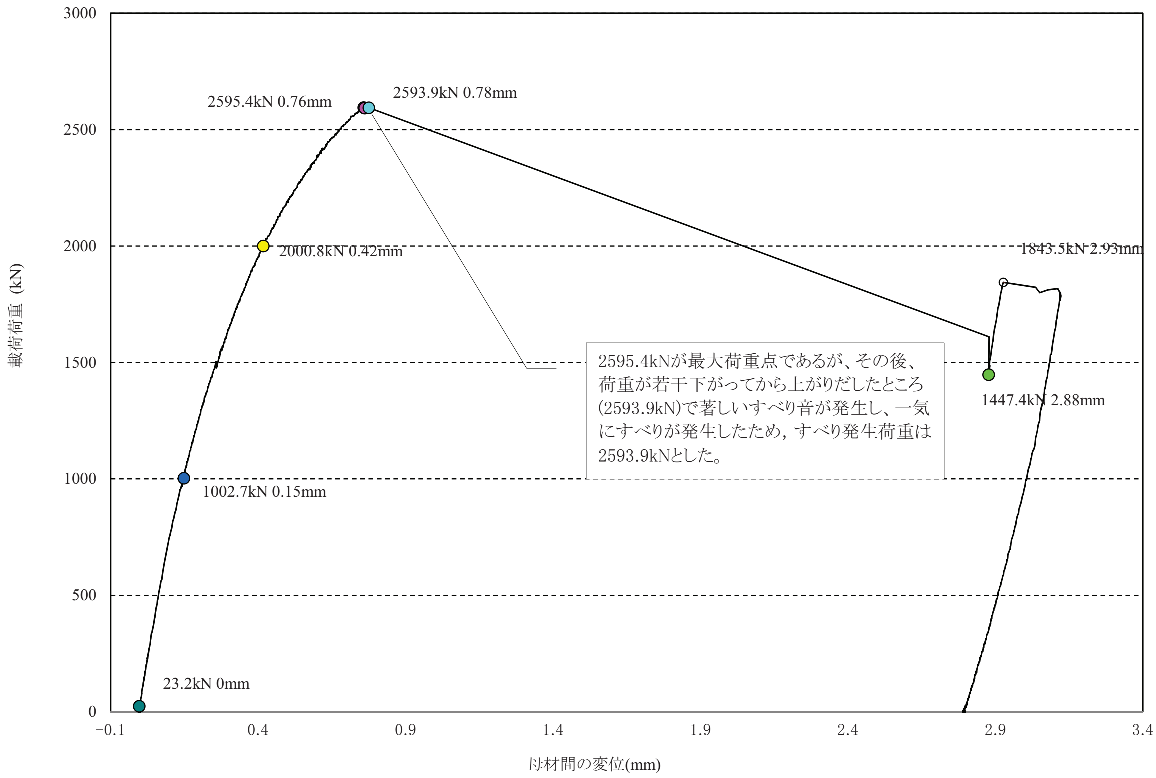


図- 1.5.9 荷重変位関係（試験体 No.8-C）

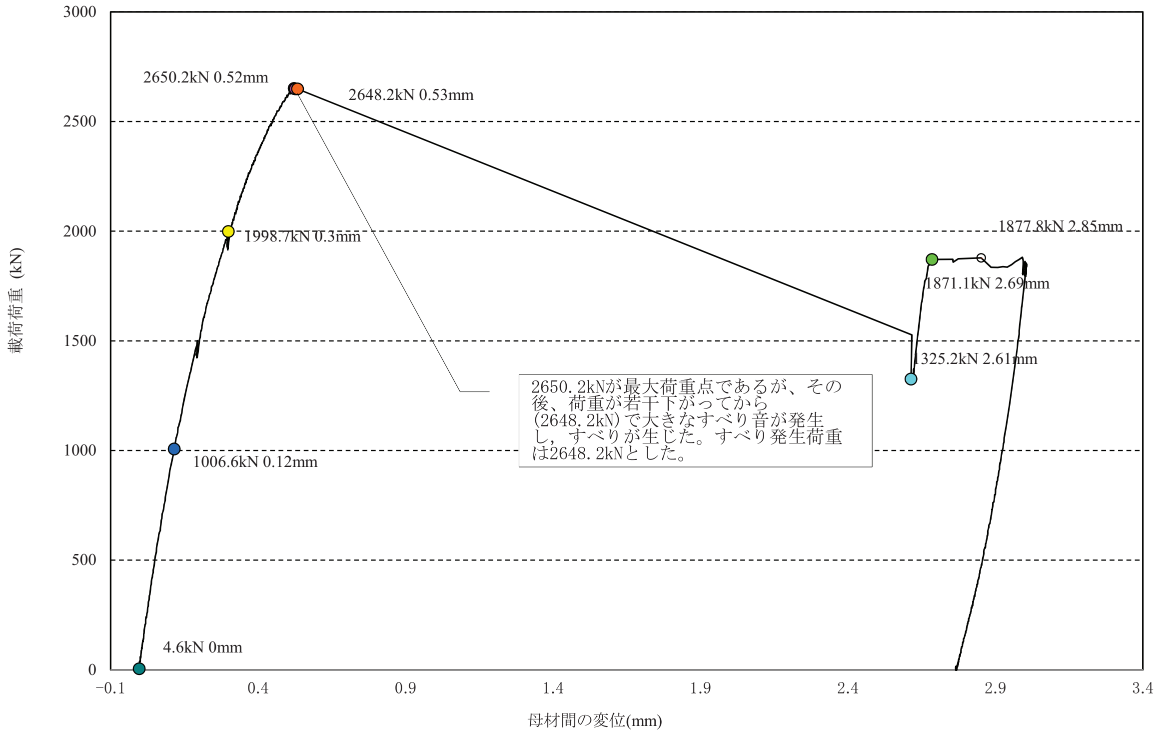


図- 1.5.10 荷重変位関係（試験体 No.9-A）

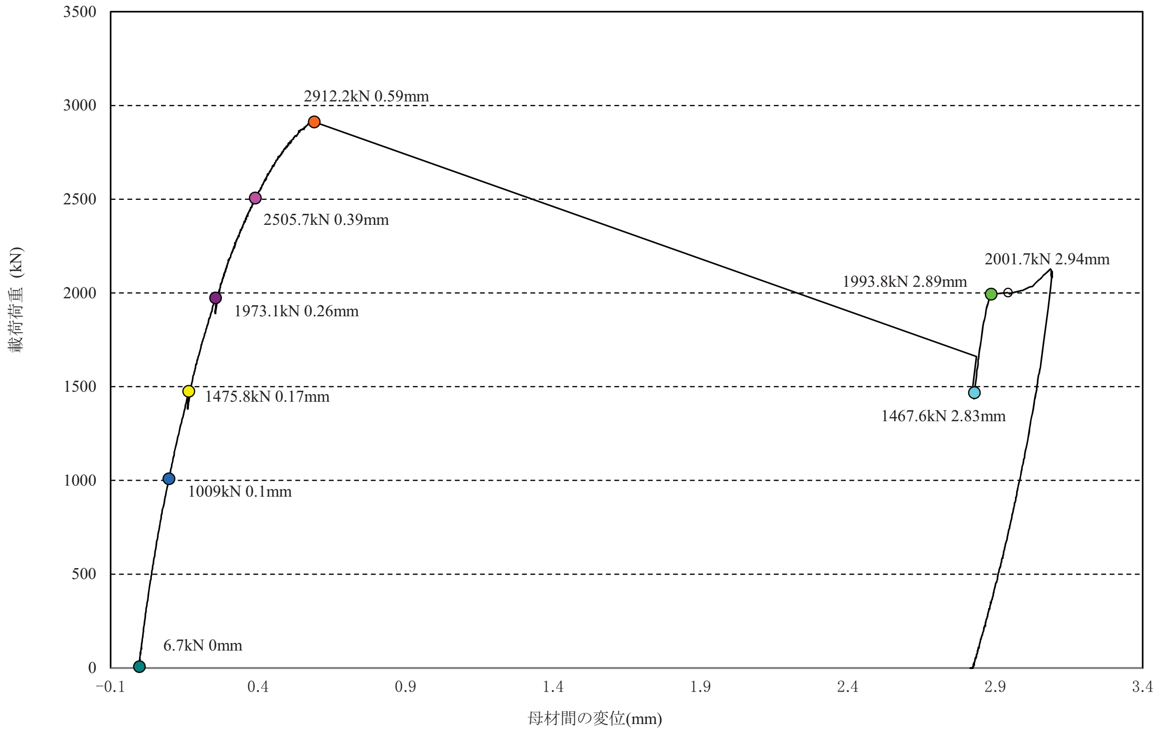


図- 1.5.11 荷重変位関係（試験体 No.9-B）

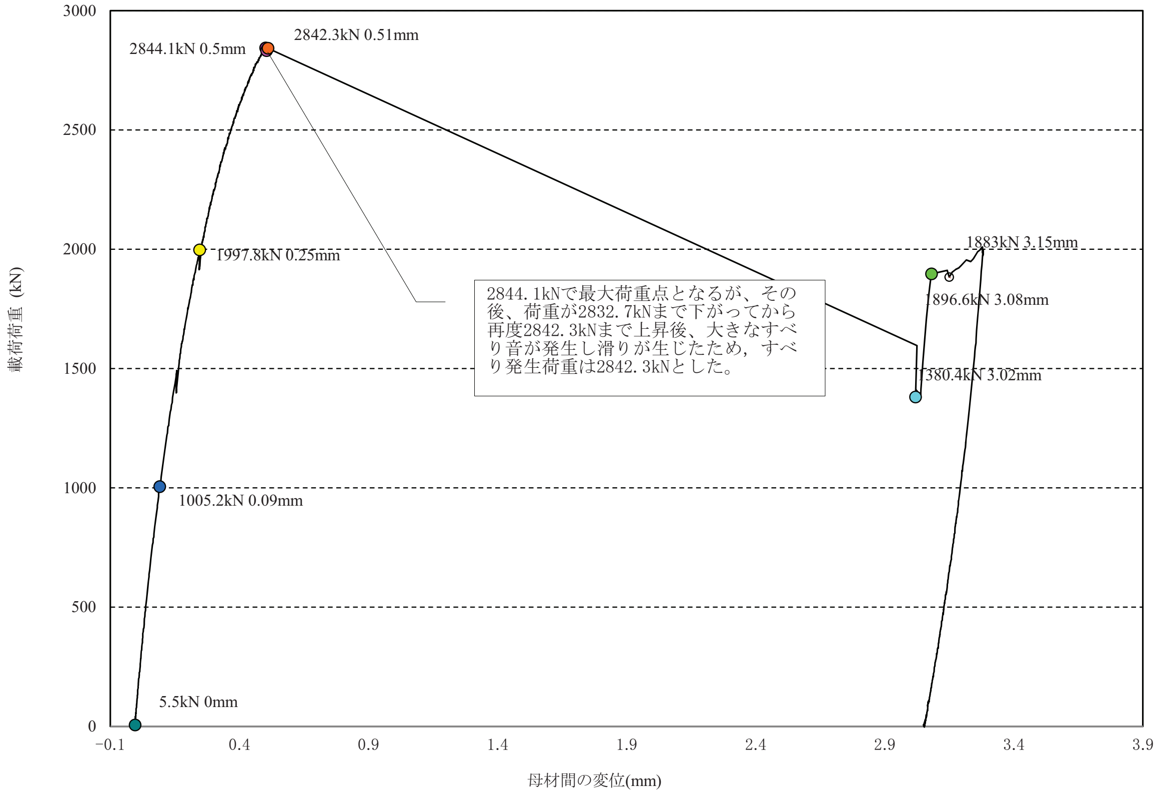
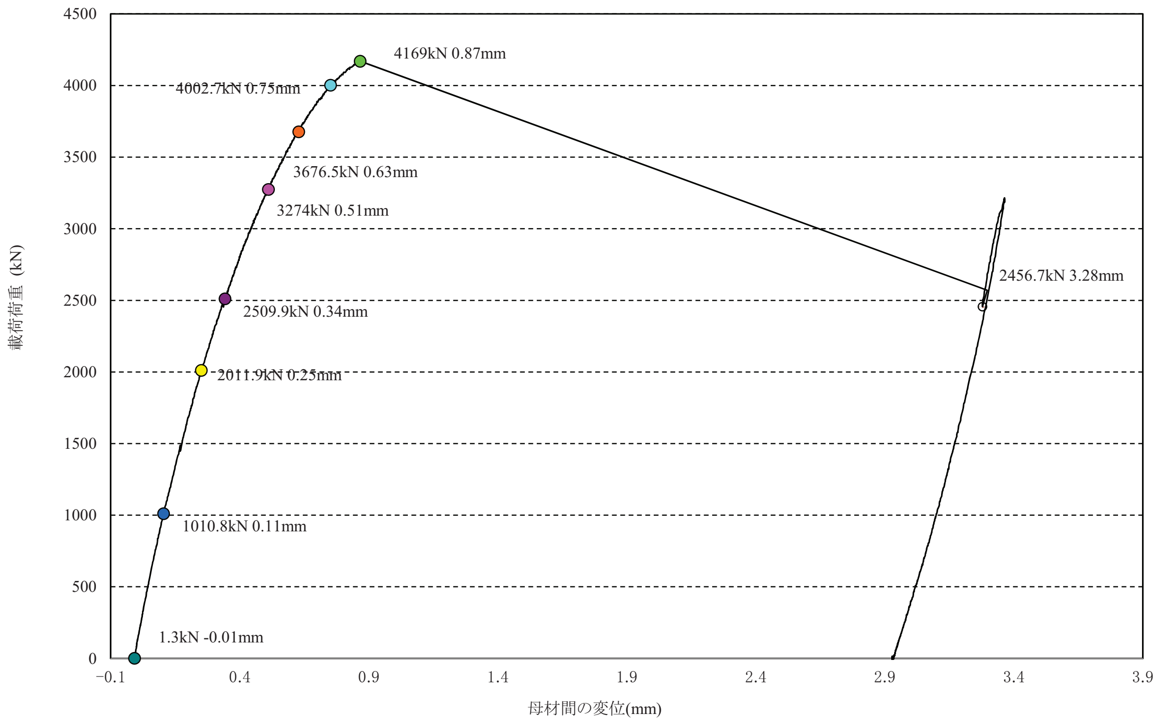
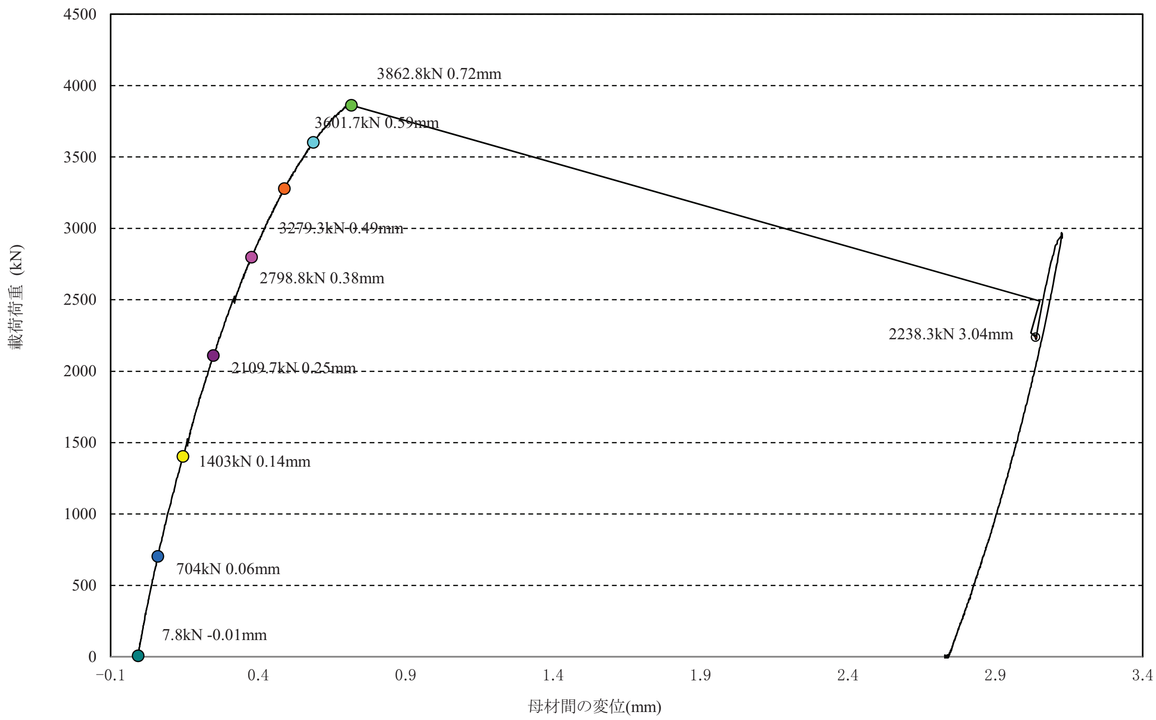


図- 1.5.12 荷重変位関係（試験体 No.9-C）



図− 1.5.13 荷重変位関係（試験体 No.10−A）



図− 1.5.14 荷重変位関係（試験体 No.10−B）

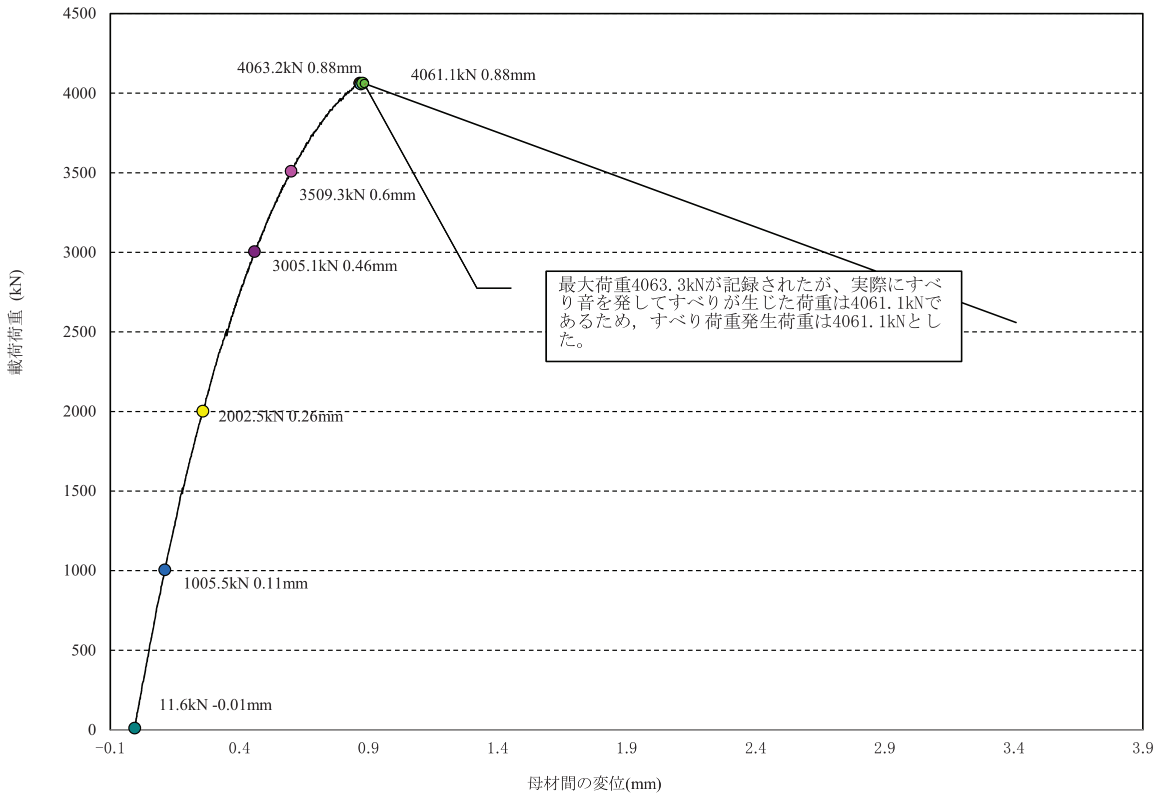


図- 1.5.15 荷重変位関係(試験体 No.10-C)

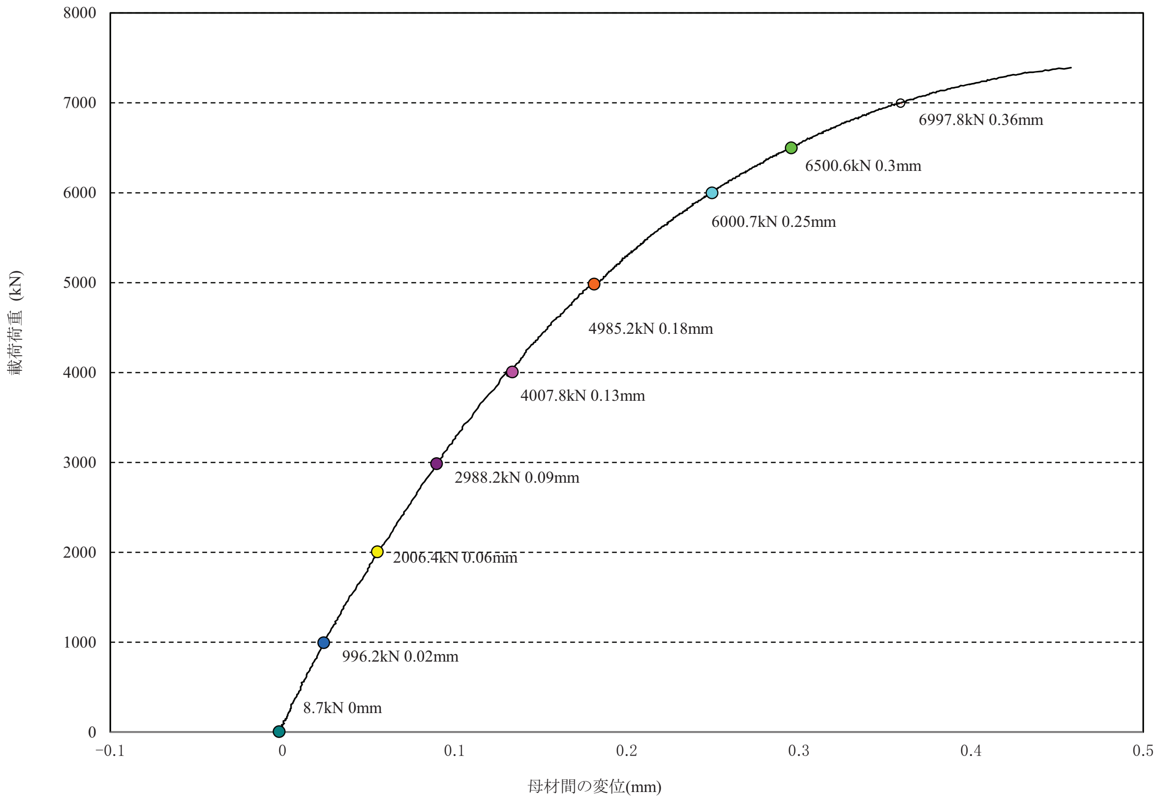


図- 1.5.16 荷重変位関係(試験体 No.11-A)

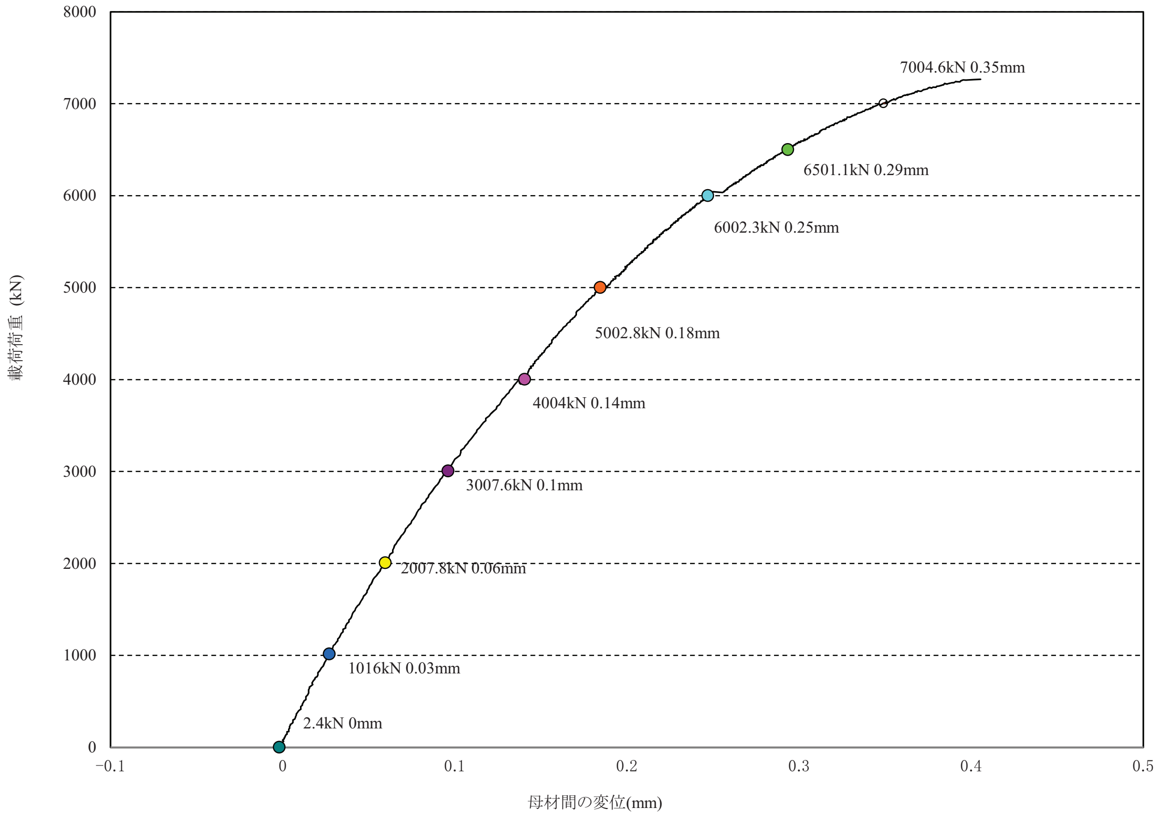


図- 1.5.17 荷重変位関係(試験体 NO.11-B)

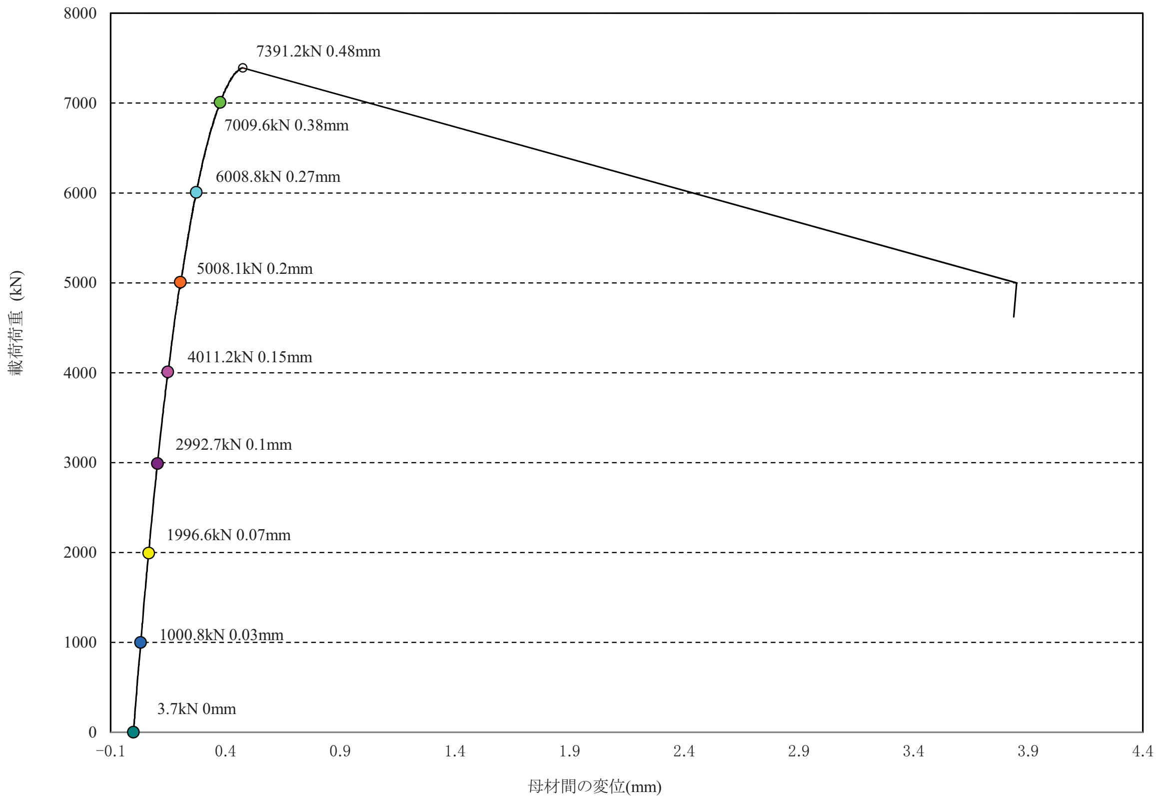


図- 1.5.18 荷重変位関係(試験体 No.11-C)

1.5.2　すべり耐力およびすべり係数

本試験により得られたすべり耐力およびすべり係数を表- 1.5.1 に示す.

表- 1.5.1 すべり係数およびすべり耐力

試験体No.	構造諸元					試験結果				
	母材板厚(mm)	連結板板厚(mm)	ボルト列数	締付軸力(kN)	試験前軸力(kN)	すべり耐力(kN)	すべり係数 μ_0 各値	すべり係数 μ_0 平均	すべり係数 μ_2 各値	すべり係数 μ_2 平均
3-D	50	26	12	206	190	2,773	0.56	0.61	0.61	0.64
3-E				205	196	2,984	0.61		0.63	
3-F				206	198	3,185	0.65		0.67	
7-A			7	206	196	1,865	0.65	0.63	0.68	0.66
7-B				206	197	1,863	0.65		0.67	
7-C				205	195	1,732	0.60		0.63	
8-A			11	206	201	2,689	0.60	0.59	0.61	0.60
8-B				206	206	2,712	0.60		0.60	
8-C				206	201	2,594	0.58		0.59	
9-A			7（千鳥配置）	207	191	2,648	0.54	0.57	0.58	0.61
9-B				210	193	2,912	0.59		0.63	
9-C				207	192	2,842	0.58		0.62	
10-A			11（千鳥配置）	206	195	4,169	0.60	0.58	0.63	0.60
10-B				206	197	3,863	0.55		0.58	
10-C				207	196	4,061	0.58		0.61	
11-A			7（砲台型配置）	208	196	7,391	0.60	0.60	0.63	0.62
11-B				206	196	7,266	0.59		0.62	
11-C				206	199	7,391	0.60		0.62	

1.5.3　試験後のすべり面の状況

写真- 1.5.1～写真- 1.5.21 に各試験体の試験後のすべり面の状況を示す。

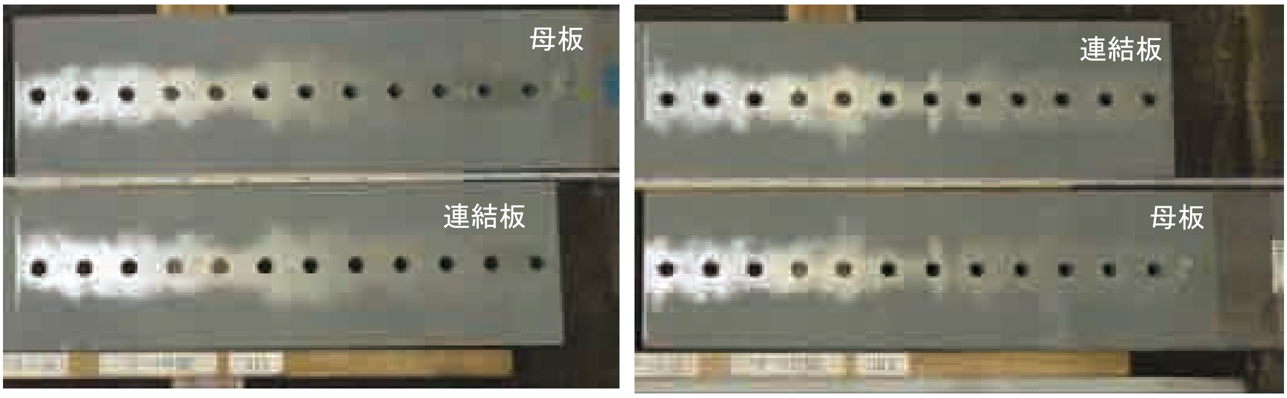


写真- 1.5.1 試験体 No.3-D すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）

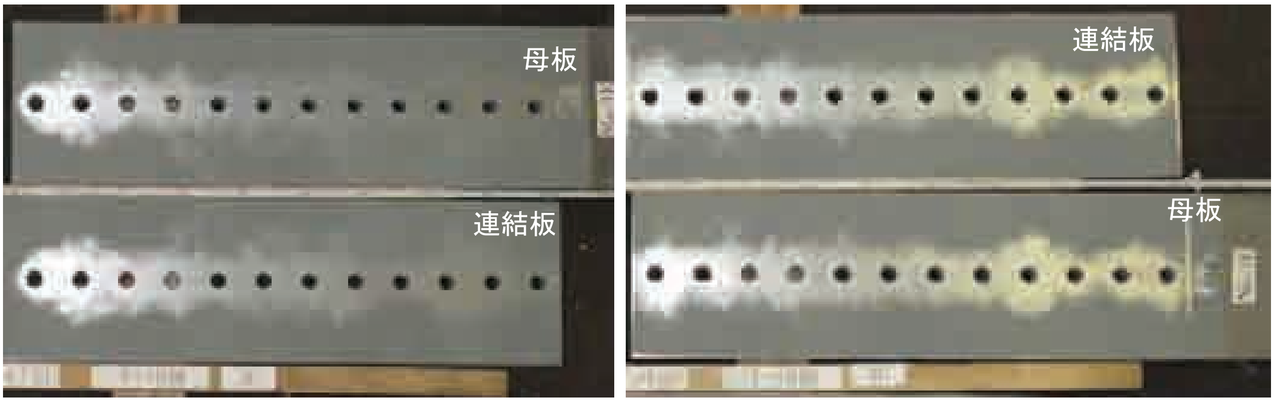


写真- 1.5.2 試験体 No.3-E すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）

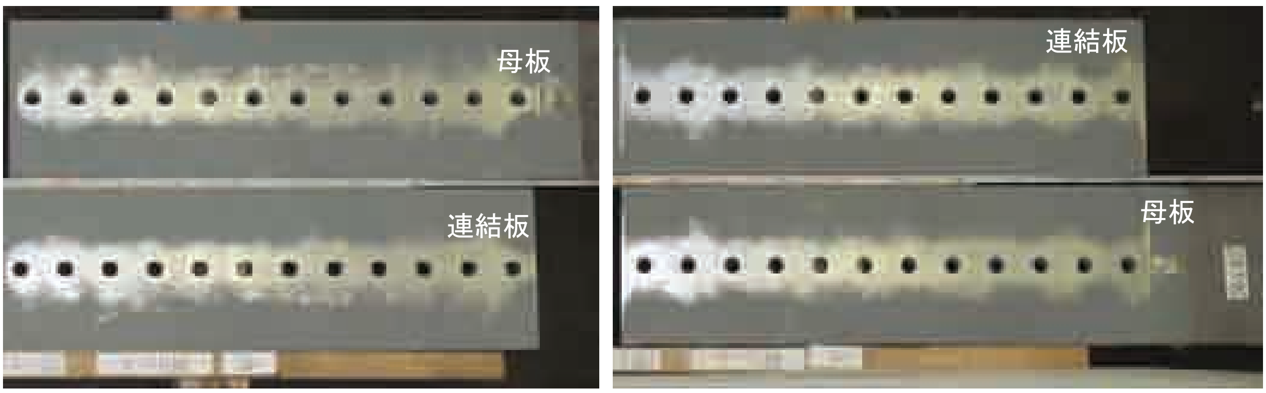
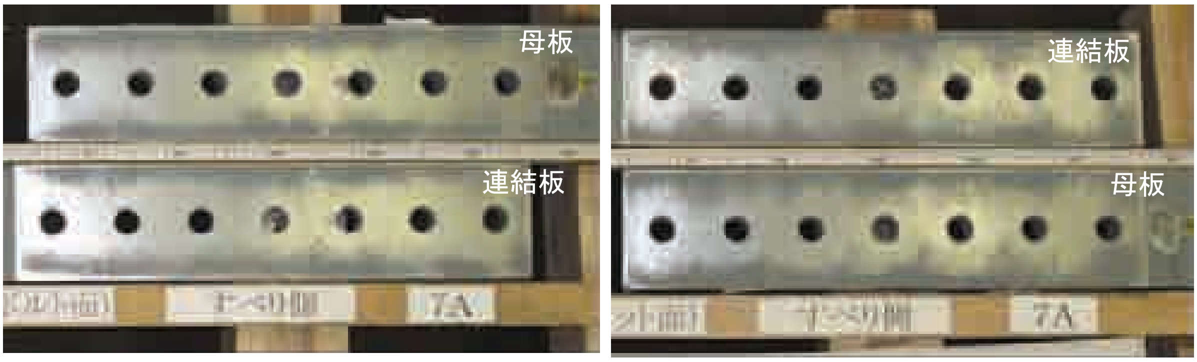
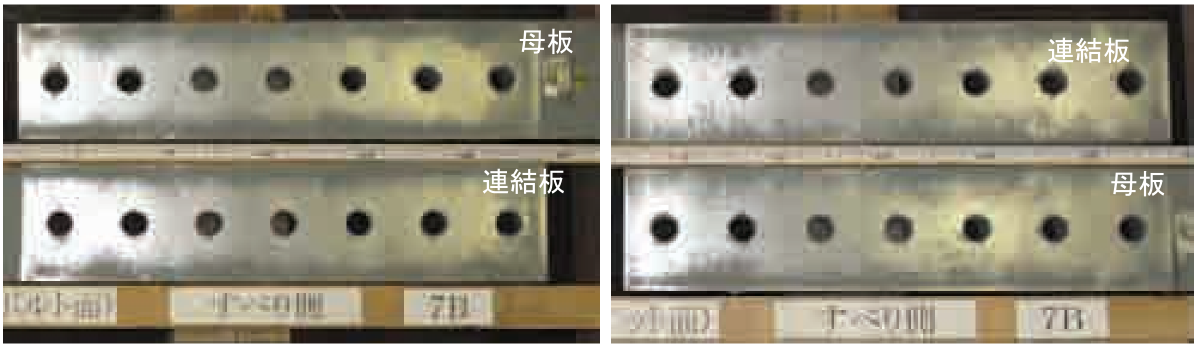


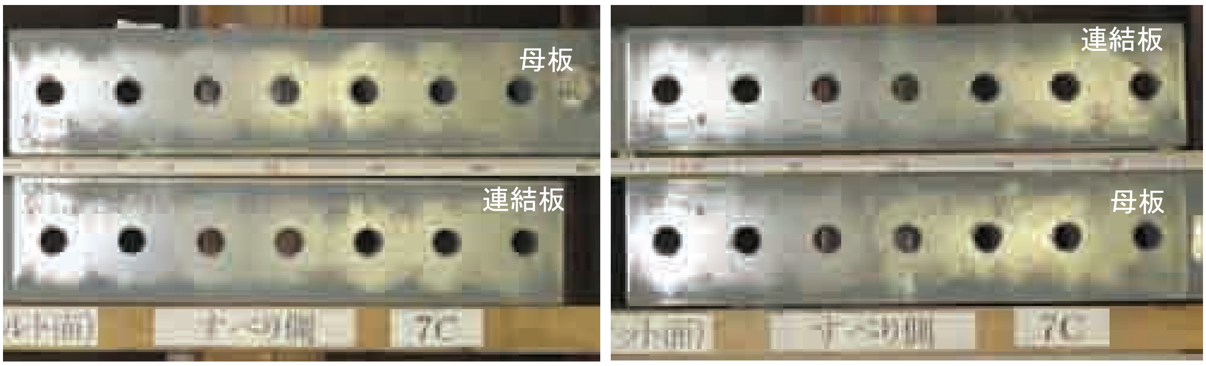
写真- 1.5.3 試験体 No.3-F すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



写真− 1.5.4 試験体 No.7−A すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



写真− 1.5.5 試験体 No.7−B すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



写真− 1.5.6 試験体 No.7−C すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）

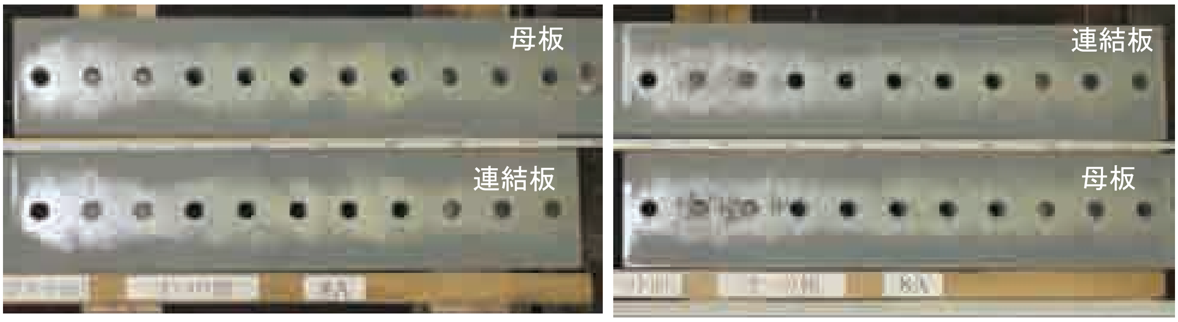


写真- 1.5.7 試験体 No.8-A すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）

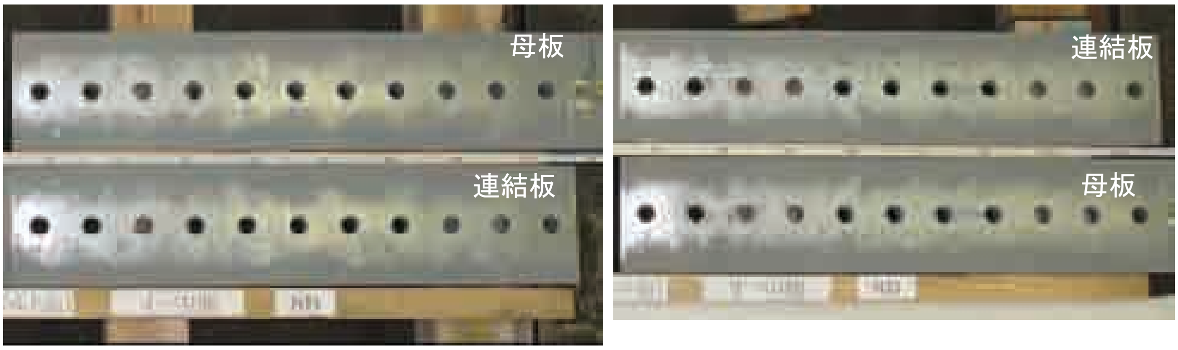


写真- 1.5.8 試験体 No.8-B すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）

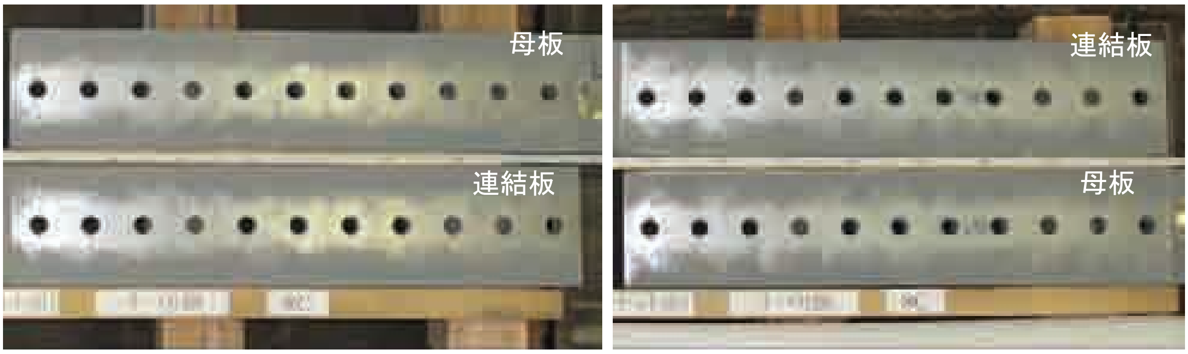
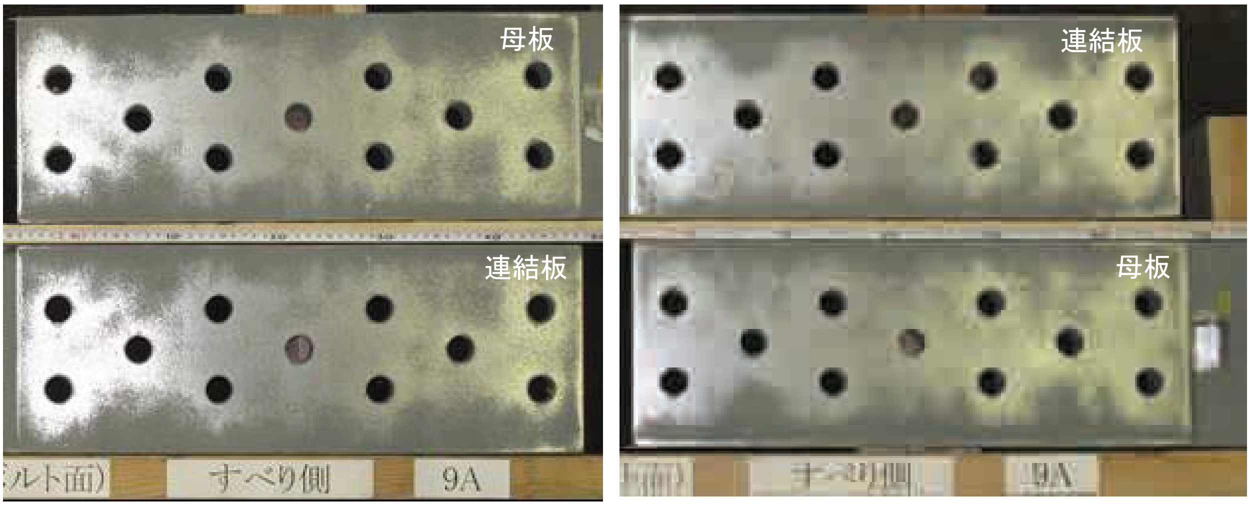
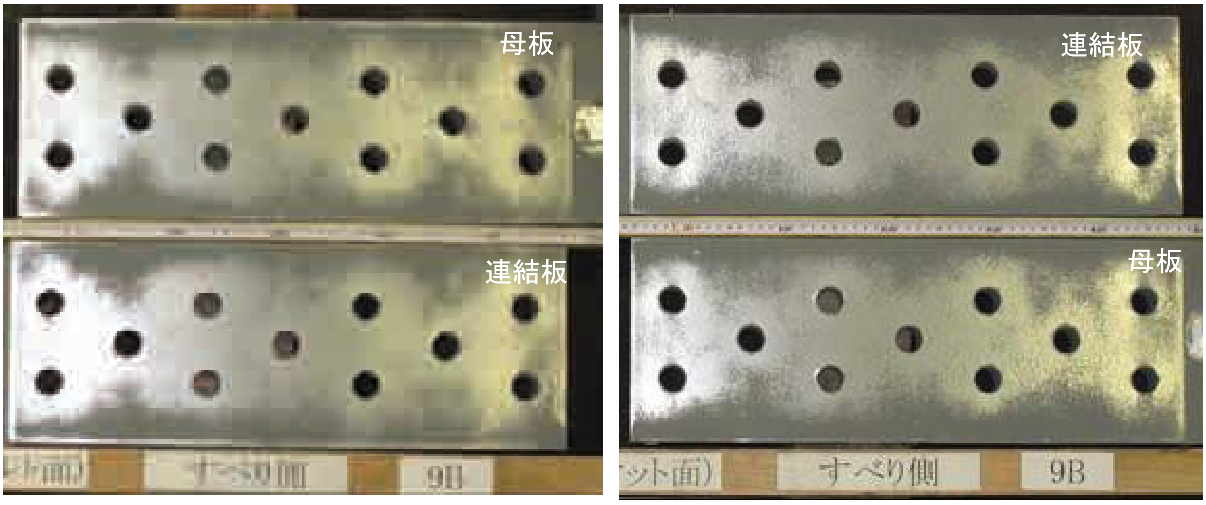


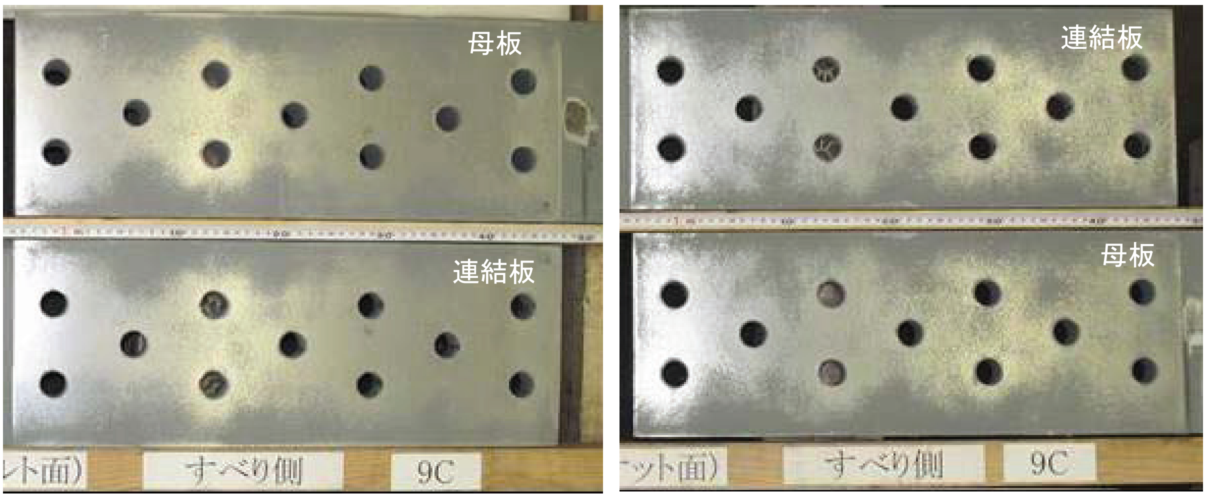
写真- 1.5.9 試験体 No.8-C すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



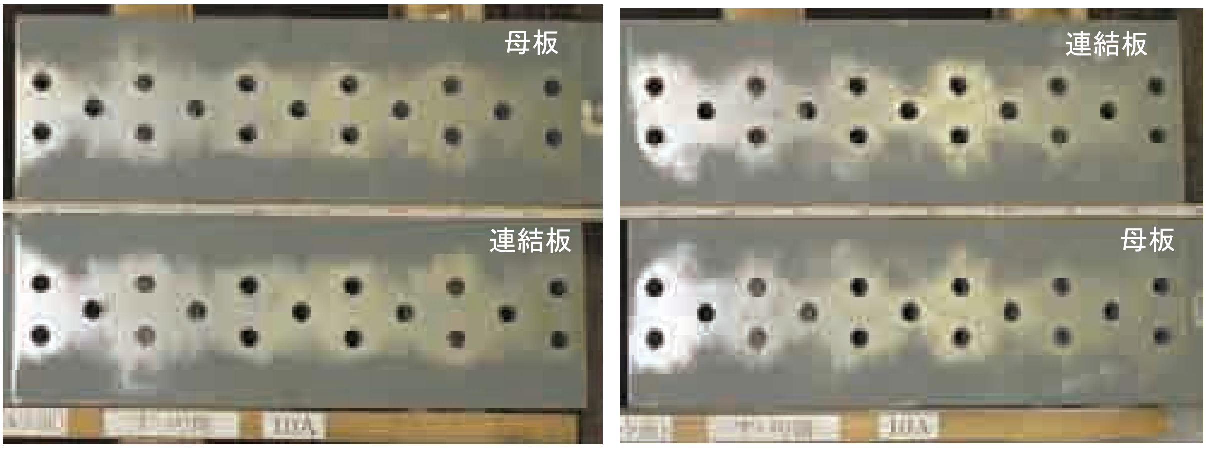
写真− 1.5.10 試験体 No.9−A すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



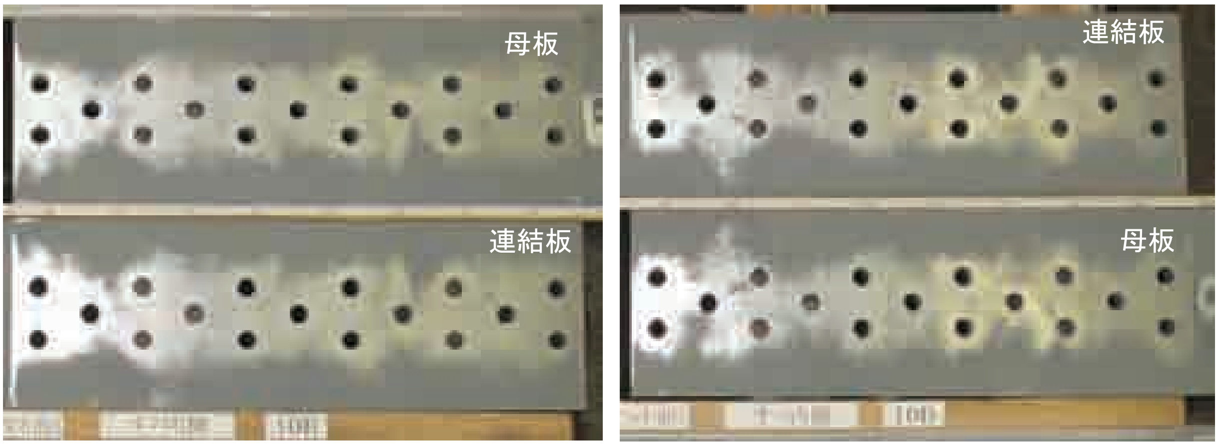
写真− 1.5.11 試験体 No.9−B すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



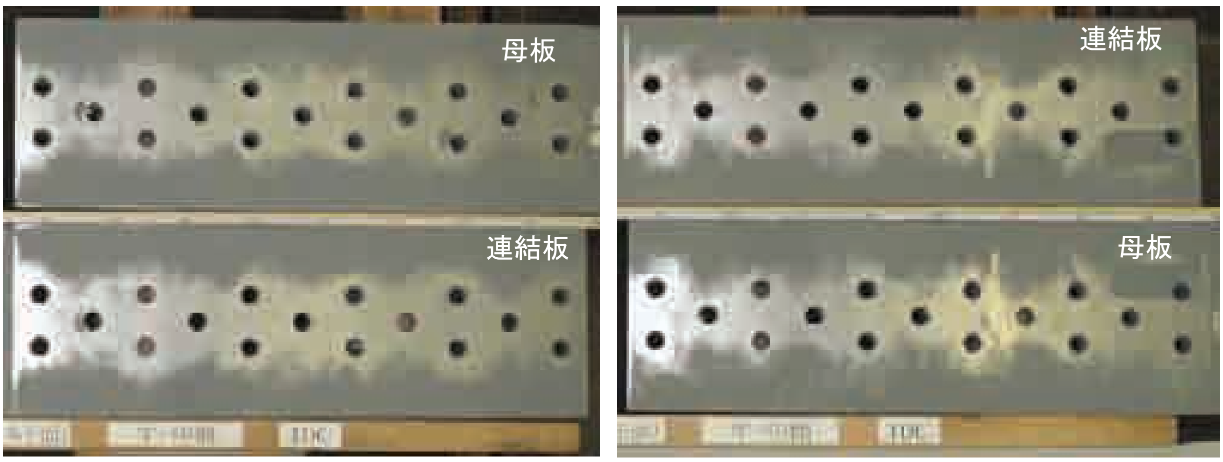
写真− 1.5.12 試験体 No.9−C すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



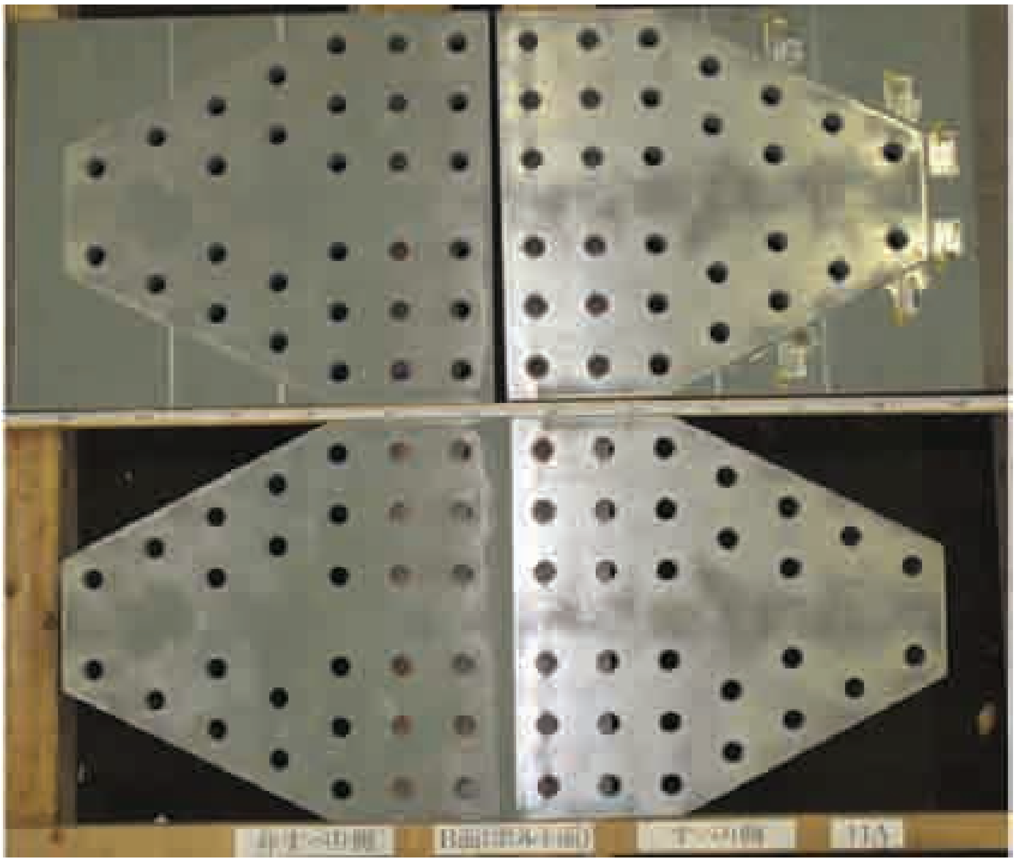
写真− 1.5.13 試験体 No.10−A すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



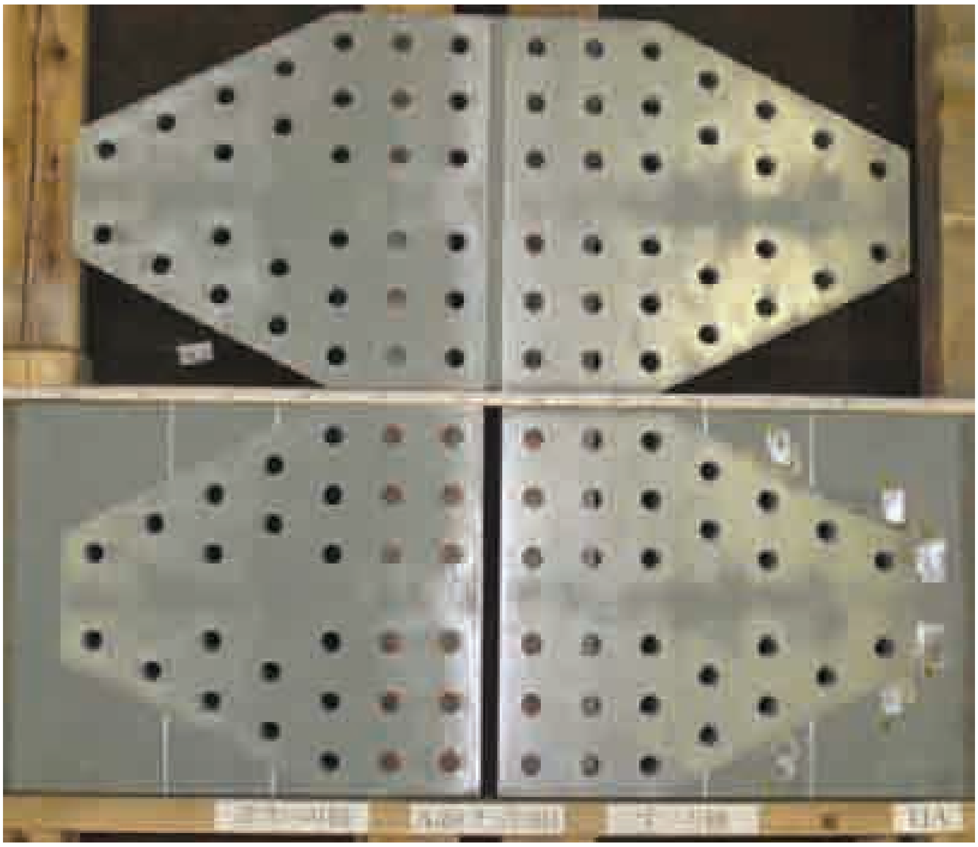
写真− 1.5.14 試験体 No.10−B すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



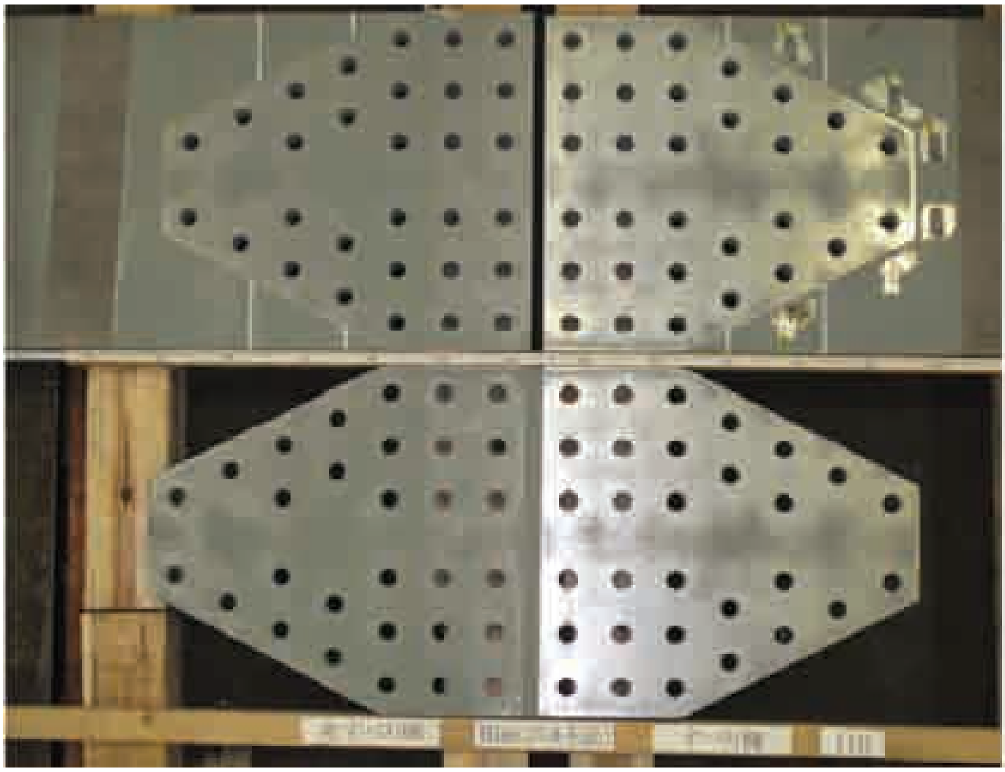
写真− 1.5.15 試験体 No.10−C すべり面の状況（左：ボルト側，右：ナット側）



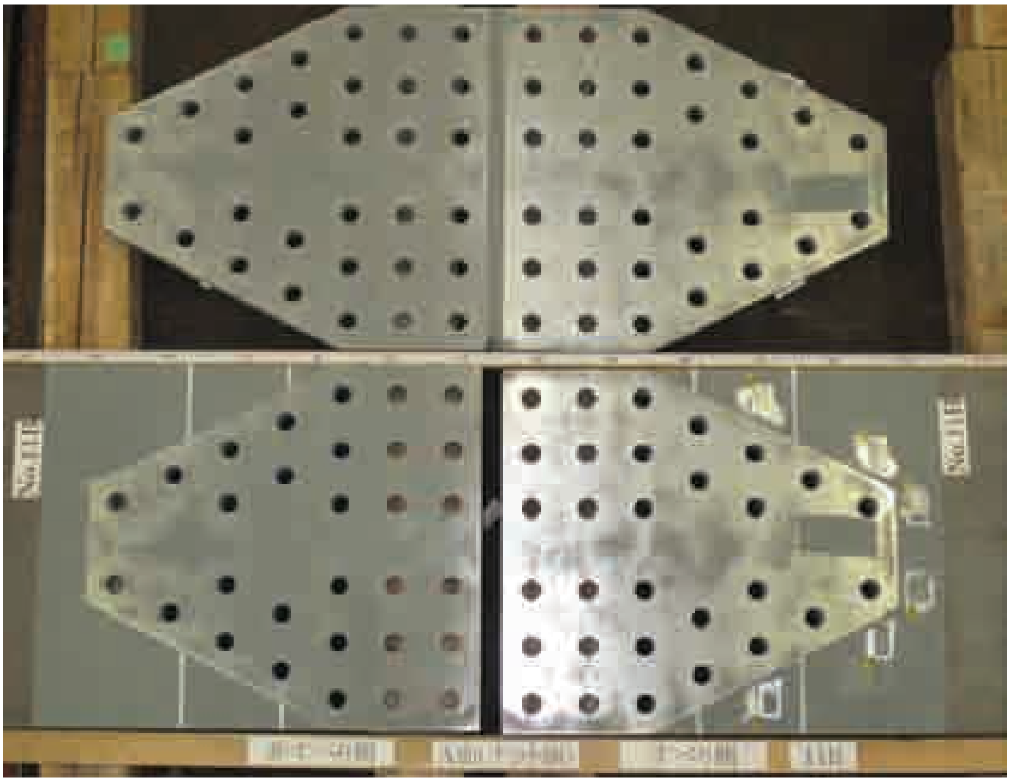
写真− 1.5.16 試験体 No.11−A すべり面の状況（ボルト側）



写真− 1.5.17 No.11−A すべり面の状況（ナット側）



写真– 1.5.18 試験体 No.11–B すべり面の状況（ボルト側）



写真– 1.5.19 No.11–B すべり面の状況（ナット側）

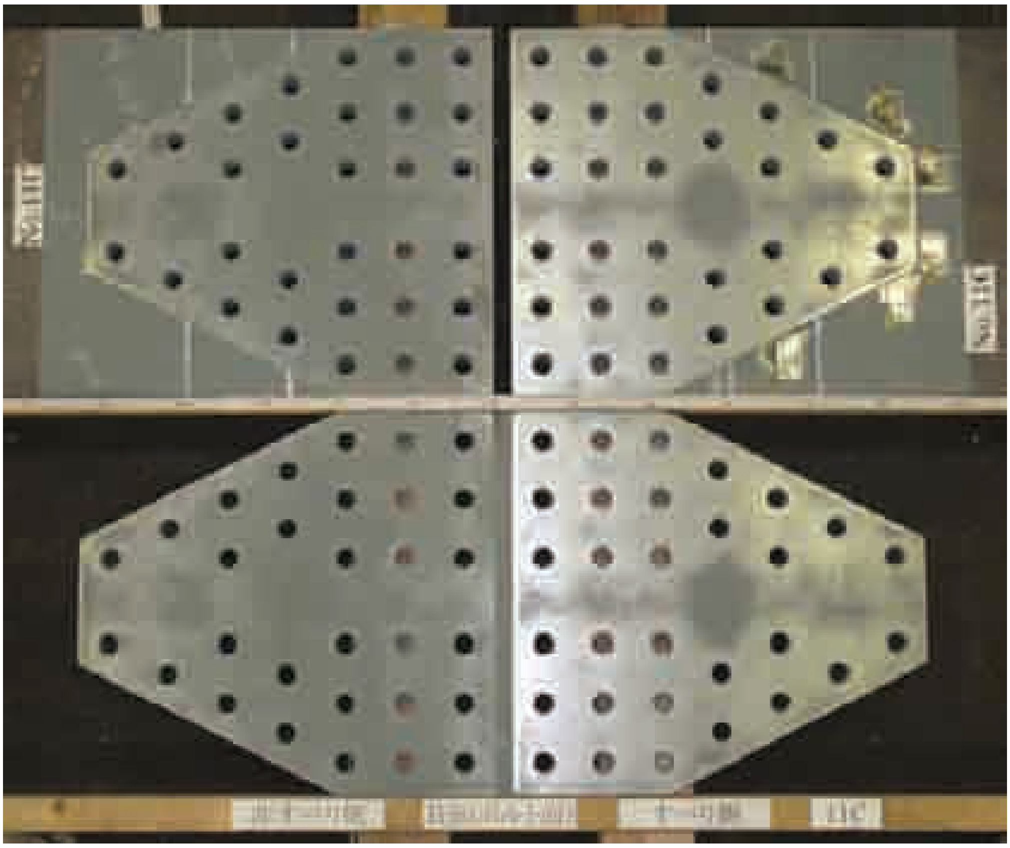


写真- 1.5.20 No.11-C すべり面の状況（ボルト側）

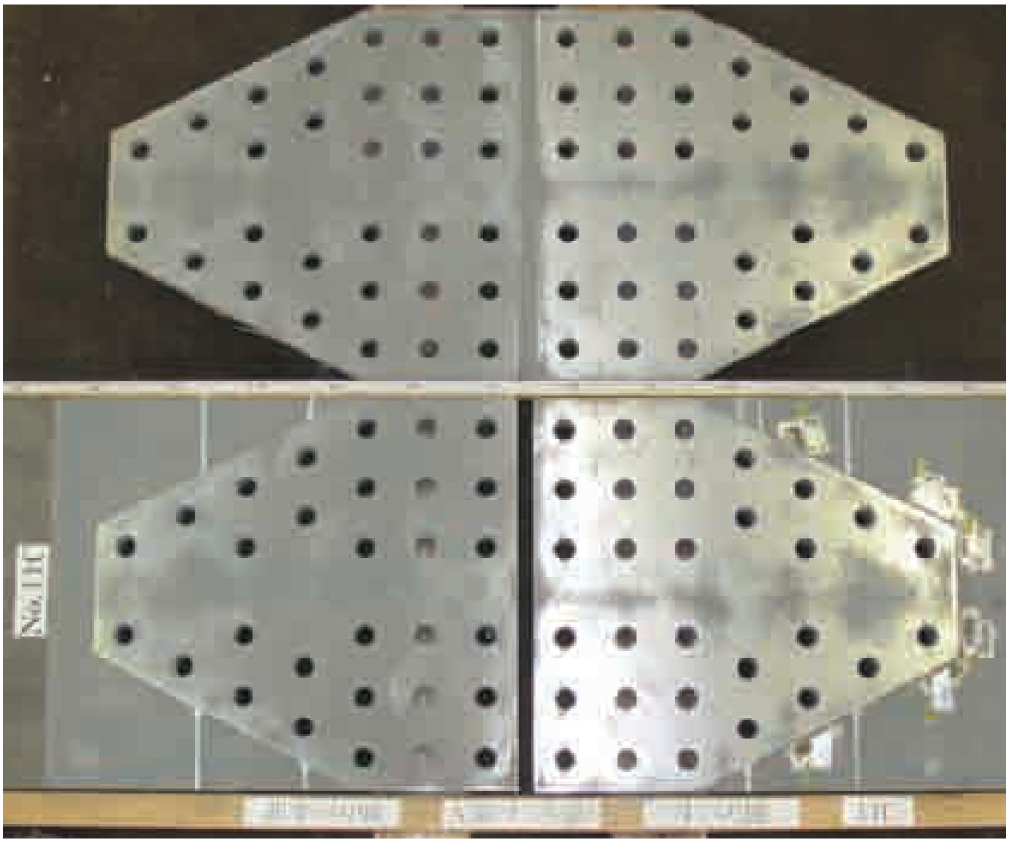


写真- 1.5.21 No.11-C すべり面の状況（ナット側）

資料2. 高力ボルト摩擦接合継手における接合面の塗装条件および暴露期間がすべり係数に与える影響の検討

2.1 はじめに

鋼橋の現場接合における部材の連結には高力ボルト摩擦接合継手が多く採用されている．高力ボルト摩擦接合継手は，ボルトの締付軸力によって生じる部材間の摩擦力を利用するものであり，接合部に十分なすべり耐力を確保するためには，ボルト軸力の管理と同様に接合面の処理についても十分な配慮が必要となる．

これまで，多くの機関において接合面に無機ジンクリッチペイント（以下，無機ジンク）を塗布する場合のすべり係数の検討が行われてきた[例えば1), 2)]．道示[3)]では，接合面において表− 2.1.1 に示す無機ジンク塗装の条件を規定した上で，摩擦接合継手のすべり係数の設計値を 0.45 としている．すべり面の性能は，膜厚と無機ジンク中の亜鉛の組成によるところが大きいと考えられる一方で，表− 2.1.1 以外の塗料の含有成分（例えば，バインダーと呼ばれている樹脂，亜鉛末以外の成分等）については各社で仕様が異なっており，それらがすべり係数及びボルト軸力のリラクセーション特性に与える影響についても確認しておくことが重要と考えられる．また，すべり係数の設計値を満たすためには接合面に塗布する無機ジンクの品質管理は非常に重要となる．

そこで，本研究では，国内の塗料会社 6 社の無機ジンクを用いて，塗膜厚や塗料組成の塗料会社による違い等の塗装条件がすべり耐力に与える影響について高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験により検討を行った．また，鋼橋工事では部材製作から塗装後，工程上，架設完了まで時間を要する場合もあり，塗装後の部材放置期間が継手性能に与える影響については，高力ボルト摩擦接合継手の品質管理の上で明確にしておくことが重要と考えられる．そのため，塗装後の部材の暴露期間および高力ボルト摩擦接合継手の組立後の暴露期間をパラメータとし，その影響についても検討を行った．本論文では，これらの検討結果について報告する．

表− 2.1.1　道示における無機ジンクの塗装条件[3)]

項目	条件
接触面片面あたりの最小乾燥塗膜厚	50μm 以上
接触面の合計乾燥膜厚	100 ~ 200μm
乾燥塗膜中の亜鉛含有量	80% 以上
亜鉛末の粒径（50%平均粒径）	10μm 程度以上

2.2　試験体と試験方法

2.2.1　試験体

本試験で用いた試験体の形状および寸法を**図- 2.2.1** に示す．試験体の母板には 19mm 厚の溶接構造用圧延鋼材 SM490YB を，連結板には 12mm 厚の溶接構造用圧延鋼材 SM490YA を，高力ボルトには M22（F10T）を使用した．試験体寸法は，高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)[4] に示される標準試験片を参考にした．すべり係数を 0.4，使用鋼材の降伏点を 355N/mm^2 （JIS G 31065）の保証値）として，式(1)により算出されるすべり／降伏耐力比 β が 0.64 となるように試験体寸法を調整した．

$$\beta = \frac{\mu \cdot m \cdot n \cdot N_d}{\left(W - d\right) \cdot t_b \cdot \sigma_y} \tag{1}$$

ここで，μ：すべり係数

m：接合面数(=2)

n：ボルト本数

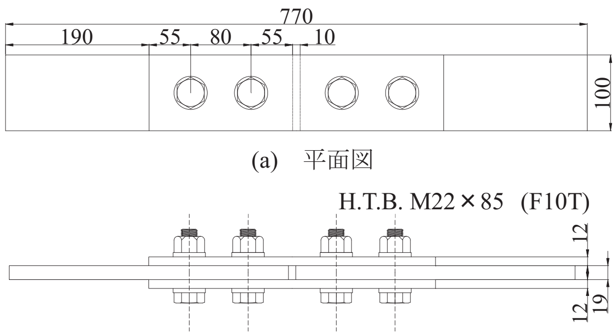
N_d：設計ボルト軸力(205kN)

W：板幅(mm)（=100)

d：孔径(mm)（=24.5）

t_b：母板厚(mm)（=19）

σ_y：保証降伏点　(N/mm^2)



(a)　平面図

(b)　側面図

図- 2.2.1　試験体形状と寸法（単位:mm）

表- 2.2.1 に試験体ケースを示す．**表- 2.2.1** に示す Type-A では，母板と連結板の接合面に塗装する無機ジンクの塗料会社と塗膜厚をパラメータとして比較を行う．部材の塗装から組立まで，および組立からすべり試験までの期間共に 7 日程度とした. なお, 塗装前には接触面に対して素地調整程度として ISO Sa 2.5 を目標にブラスト処理を行い，部材の塗装は同一の施工者が全試験体に対して一括して行った．ここで，試験体ケース名を「A-A-50」のように表し，1 番目のアルファベットは試験体の製作工程を変えた試験ケース(Type-A~C)，2 番目は塗料会社（A 社~F 社)，最後の数字には無機ジンク膜厚（μm）を示すこととする．ここで，塗料会社は橋梁用無機ジンクを取り扱う全 6 社を対象としている．**表- 2.2.2** に各塗料会社の塗料組成を示す．Type-B 及び Type-C は塗料会社，塗膜厚に加え，部材の塗装から組立までの放置期間および組立からすべり試験実施までの放置期間をパラメータとしている．塗装から組立までの放置期間を 7 日程度，組立から引張試験実施までの放置期間を 260 日程度としたものを Type-B とし，逆に塗装から組立までの放置期間を 260 日程度，組立から引張試験までの放置期間を 7 日程度と

したものを Type-C とする．いずれの試験体も，放置期間中，室内にて保管した．なお，室内では空調等による温度管理は実施していない．試験体は Type-A は 5 体，Type-B 及び C は 3 体用意した．

表- 2.2.1　試験体ケース

(a)　Type-A

試験体ケース			Type-A											
			A-50	A-150	B-50	B-150	C-50	C-150	D-50	D-150	E-50	E-150	F-50	F-150
試験体パラメータ	塗料会社		A社		B社		C社		D社		E社		F社	
	片面塗膜厚 (μm)	母板 連結板	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150	50	150
	塗装～組立までの放置期間		7日程度											
	組立～試験までの放置期間		7日程度											
試験体数			5											

(b)　Type-B

試験体ケース			Type-B							
			A-50	A-150	B-50	B-150	C-50	C-150	D-50	D-150
試験体パラメータ	塗料会社		A社		B社		C社		D社	
	片面塗膜厚 (μm)	母板 連結板	50	150	50	150	50	150	50	150
	塗装～組立までの放置期間		7日程度							
	組立～試験までの放置期間		260日程度							
試験体数			3							

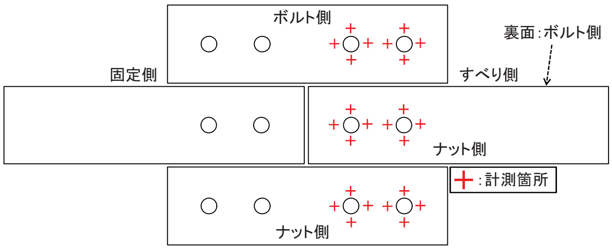
(c)　Type-C

試験体ケース			Type-C							
			A-50	A-150	B-50	B-150	C-50	C-150	D-50	D-150
試験体パラメータ	塗料会社		A社		B社		C社		D社	
	片面塗膜厚 (μm)	母板 連結板	50	150	50	150	50	150	50	150
	塗装～組立までの放置期間		260日程度							
	組立～試験までの放置期間		7日程度							
試験体数			3							

表- 2.2.2 各塗料会社の塗料組成

塗料会社	A社	B社	C社	D社	E社	F社
乾燥塗膜中の亜鉛含有量（%）	82	82	85	80	81	83
亜鉛末の粒径 (50%平均粒径, μｍ)	14	13	18	13	13	16

また，片面の塗装膜厚の目標値は道示の規定値を参考に，下限値として 50μm，それを超えるものとして 150μm の 2 種類とした．Type-A の試験体について，塗装後，電磁式膜厚計を用いて，図- 2.2.2 に示す箇所の膜厚を計測した．母板および連結板のすべり側接合面について 1 点につき 5 回の計測を行い平均値を整理した．計測結果を表- 2.2.3 に示す．表より，50μm に比べて 150μm を目標膜厚とした場合の方が変動係数が小さくなっている．なお，Type-B および Type-C では，目標膜厚 50μm とした場合で，変動係数が比較的小さくなった A 社~C 社および最も大きくなった D 社の塗料を用いることとした．



図－ 2.2.2　電磁式膜厚計による塗膜厚計

表－ 2.2.3　母板および連結板のすべり側接合面の膜厚計

試験体ケース		片面あたりの乾燥塗膜厚（μm）							合計乾燥塗膜厚（μm）			
		母板 ボルト側	母板 ナット側	連結板 ボルト側	連結板 ナット側	①平均値	②標準偏差	変動係数(%) ②÷①×100	ボルト側	ナット側	最小値	最大値
	No.1	53	58	54	57				107	115		
	No.2	57	60	58	55				115	115		
A-50-A	No.3	61	53	53	55	56	3.3	5.92	113	108	107	117
	No.4	52	63	57	52				109	115		
	No.5	54	61	63	55				117	115		
	No.1	155	163	169	148				324	311		
	No.2	154	158	160	170				315	328		
A-150-A	No.3	151	157	150	172	157	7.2	4.55	301	328	300	328
	No.4	151	164	149	152				300	316		
	No.5	147	159	156	161				304	320		
	No.1	49	55	51	50				100	104		
	No.2	51	56	51	54				102	110		
A-50-B	No.3	50	53	54	53	52	2.3	4.47	103	106	100	110
	No.4	47	55	54	51				101	106		
	No.5	49	50	52	51				100	101		
	No.1	156	147	147	149				303	296		
	No.2	148	145	146	150				293	295		
A-150-B	No.3	153	145	159	152	151	5.4	3.57	313	297	293	316
	No.4	168	150	148	152				316	302		
	No.5	153	149	151	150				304	299		
	No.1	59	71	66	70				125	141		
	No.2	62	62	70	60				132	122		
A-50-C	No.3	67	72	70	62	66	3.8	5.80	137	134	122	141
	No.4	66	70	69	63				135	133		
	No.5	63	65	67	69				130	135		
	No.1	155	157	151	154				306	311		
	No.2	156	146	157	148				313	295		
A-150-C	No.3	162	153	155	159	156	5.8	3.70	317	313	295	335
	No.4	161	150	158	158				319	308		
	No.5	148	171	154	165				302	335		
	No.1	68	54	63	71				131	126		
	No.2	67	54	67	71				134	125		
A-50-D	No.3	61	50	62	71	64	6.9	10.74	122	122	122	139
	No.4	72	58	67	70				139	128		
	No.5	71	52	63	70				134	123		
	No.1	163	166	157	154				320	320		
	No.2	155	152	150	155				304	306		
A-150-D	No.3	165	148	165	156	154	6.7	4.32	331	305	291	331
	No.4	155	149	151	150				307	298		
	No.5	150	137	154	154				304	291		
	No.1	52	54	56	59				108	114		
	No.2	56	52	61	62				117	114		
A-50-E	No.3	59	56	62	58	58	4.1	7.07	121	114	108	131
	No.4	58	53	65	59				123	111		
	No.5	64	56	67	58				131	114		
	No.1	151	160	153	162				304	322		
	No.2	149	143	155	169				304	311		
A-150-E	No.3	144	161	148	171	157	7.6	4.85	293	332	293	332
	No.4	153	164	156	162				309	325		
	No.5	159	168	154	159				313	327		
	No.1	72	55	63	73				135	128		
	No.2	67	56	64	69				130	125		
A-50-F	No.3	54	58	69	70	63	6.1	9.60	123	128	117	135
	No.4	60	58	66	65				126	122		
	No.5	63	53	69	64				132	117		
	No.1	146	144	151	152				297	297		
	No.2	145	144	158	154				302	299		
A-150-F	No.3	149	144	159	161	152	5.4	3.59	308	305	297	310
	No.4	152	143	154	157				305	300		
	No.5	157	151	153	156				310	307		

2.2.2　試験体のボルト締付けおよびボルト軸力のリラクセーション計測

高力ボルトの締付はトルクレンチを用いて行い，締付順序は道示に従い，継手の内側から外側に向かって順次締付けた．なお，すべり側（図- 2.2.3）のボルトの軸力は事前に実施したキャリブレーションにより得られたひずみと軸力の関係を用いて管理した．ひずみは文献[4]を参考に図- 2.2.4 に示すように，ボルト軸部に 2 枚のひずみゲージ((株)東京測器研究所製 FLA-5-11-03LH)を対称に貼り付け計測した．締付け作業は 2 度に分けて実施し，1 次締付では，すべり側および非すべり側共に設計ボルト軸力の 60%程度を導入した．2 次締付では，すべり側は設計ボルト軸力の 10%増しの軸力（標準ボルト軸力 226kN）を導入し，非すべり側は設計ボルト軸力の 20%増しの軸力を導入した．

試験体の組立後，実験室内でボルト軸力のリラクセーション計測を行った．その期間はType-AおよびType-Cは7日程度，Type-Bは260日程度とした．計測は，表- 2.2.4に示す間隔で行った．

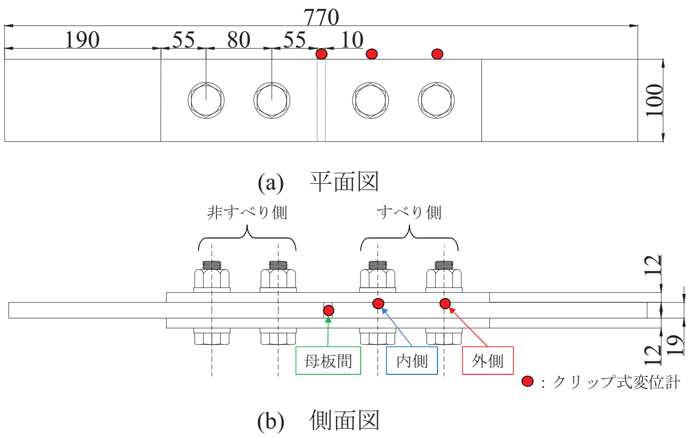


図- 2.2.3　部位の名称と相対変位の計測位置(単位:mm)

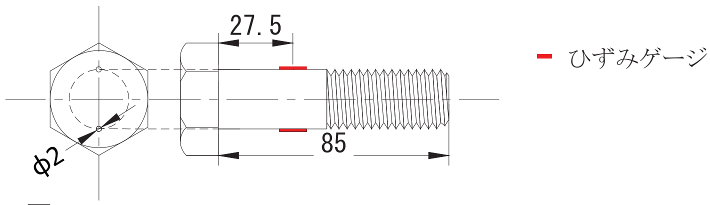


図- 2.2.4　ひずみゲージの貼付け位置(単位:mm)

表- 2.2.4　ボルト軸力の経時変化の計測間隔

	締付作業時	締付終了後	
		0~6時間	6時間~試験前
測定間隔	5秒	1分	1時間

2.2.3　すべり試験

すべり試験は，大阪市立大学所有のアムスラー型万能試験機（載荷能力 1,000kN）を用いて行った．試験体の設置状況を図- 2.2.5 に示す．

試験は，すべり側がすべり荷重に達し，試験体のすべり側の側面において，罫書き線のずれが目視で確認できた時点で終了とした．載荷は荷重が1秒あたり1kN程度増加するように制御した．なお，すべり荷重は鋼構造接合部設計指針[6] を参考に，「内側ボルト位置での母板と連結板の相対変位が0.2mmまでに最大荷重が生じた場合はその最大荷重を，そうでない場合は内側ボルト位置での相対変位が0.2mmに達した時の荷重」をすべり荷重と定義した．

計測項目は載荷荷重，ボルト位置における母板と連結板間の相対変位，母板間の相対変位及びすべり側のボルト軸力とした．相対変位はクリップ式変位計（(株)東京測器研究所製，RA-5）により計測した．その取り付け位置を**図- 2.2.3** に示す．

図- 2.2.5　試験体の設置状況

2.3　試験結果

2.3.1　試験ケース　Type-A

a)　ボルト軸力のリラクセーション

7日後における各塗料会社のボルト軸力の低下率を図- 2.3.1に示す．なお，軸力低下率は式(2)により算出しており，初期締付ボルト軸力には，全ボルト締付完了直後にデータロガー（(株）東京測器研究所製TDS-303）により計測したボルト軸部のひずみの最大値を用いて換算した軸力を用いている．

$$\text{軸力低下率} = \left(1 - \frac{\text{試験前ボルト軸力(kN)}}{\text{初期締付ボルト軸力(kN)}}\right) \times 100 \qquad (2)$$

図より，軸力低下率は膜厚50μmの試験体で4~10%程度であり，150μmの試験体で8~15%程度であった．F社を除き，すべての試験体で膜厚50μmの試験体よりも膜厚150μmの試験体の方が軸力低下率が大きくなった．F社では，試験体によっては膜厚150μmの試験体が50μmの試験体の軸力低下率を下回っているものもみられる．しかしながら，平均値では，全塗料会社において150μmの試験体の軸力低下率の方が50μmの試験体よりも大きくなっていた．このことはボルト軸力の低下が無機ジンクのクリープに支配され，塗膜厚が厚いほど大きいことを示している．また，無機ジンクのクリープはいずれの試験体においても，軸力導入後，1日までに顕著に現れ，1日経過後は緩やかに低下することを確認した．

塗料会社間で軸力低下率の平均値を比較すると50μmおよび150μmの試験体ともにその差は大きいものではない．

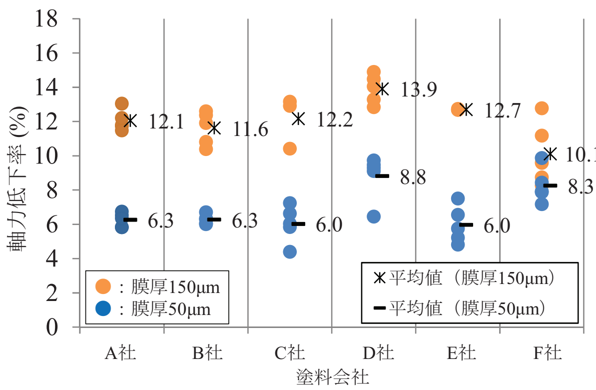


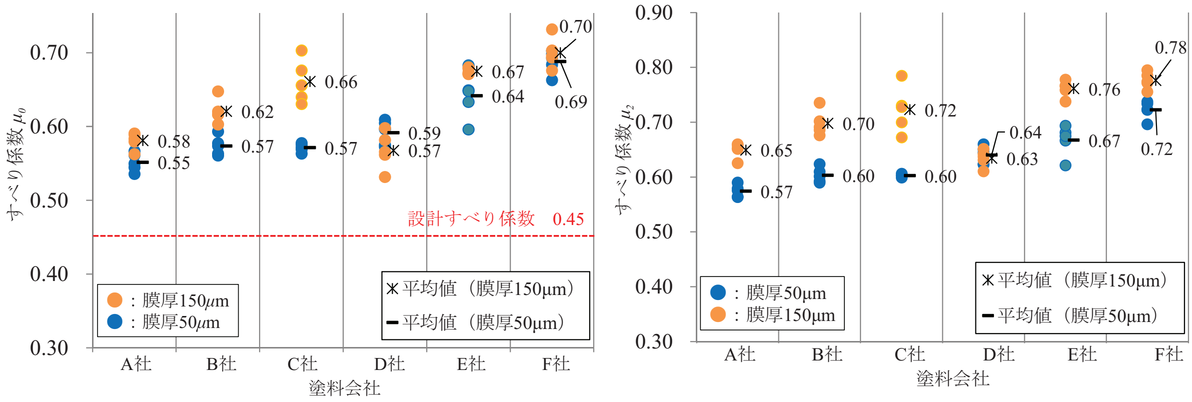
図- 2.3.1　軸力低下率（Type-A 7 日後）

b)　すべり係数

各試験体のすべり試験結果を表- 2.3.1 及び図- 2.3.2 に示す．すべり係数 μ_0，μ_2 および μ_3 は式(3)～(5)により算出した値である．すべり係数の設計値に対する評価は，設計ボルト軸力により算出する μ_0 を用いて行い，無機ジンク膜厚及び塗料会社の影響の分析については，試験前のボルト軸力により算出する μ_2 を用いて行う．μ_3 はすべり時のボルト軸力により算出されるすべり係数であり，摩擦係数に近い値を示す．

表- 2.3.1　すべり試験結果（Type-A）

試験体ケース	No.	導入軸力 (kN)	試験前軸力 (kN)	軸力低下率 (%)	すべり時のボルト軸力 (kN)	すべり荷重 (kN)	すべり係数			μ_2		
							μ_0	μ_2	μ_3	平均値	標準偏差	変動係数 (%)
A-A-50	1	215	202	6.2	189	465	0.57	0.58	0.62	0.57	0.010	1.72
	2	207	195	5.8	184	439	0.54	0.56	0.60			
	3	210	198	5.8	186	447	0.54	0.56	0.60			
	4	208	195	6.6	185	451	0.55	0.58	0.61			
	5	208	195	6.3	183	460	0.56	0.59	0.63			
A-B-50	1	207	195	5.9	183	462	0.56	0.59	0.63	0.60	0.012	2.04
	2	207	194	6.3	181	473	0.58	0.61	0.65			
	3	209	195	6.6	182	487	0.59	0.62	0.67			
	4	209	196	6.2	185	471	0.57	0.60	0.63			
	5	207	195	5.8	181	460	0.56	0.59	0.64			
A-C-50	1	203	193	5.0	181	462	0.56	0.60	0.64	0.60	0.002	0.37
	2	208	196	5.6	183	474	0.58	0.60	0.65			
	3	206	194	5.9	182	467	0.57	0.60	0.64			
	4	210	196	6.6	184	472	0.58	0.60	0.64			
	5	208	193	7.2	181	469	0.57	0.61	0.65			
A-D-50	1	208	189	8.9	173	471	0.57	0.62	0.68	0.64	0.015	2.30
	2	212	192	9.5	176	500	0.61	0.65	0.71			
	3	204	188	7.9	182	469	0.57	0.62	0.64			
	4	209	190	9.2	174	489	0.60	0.64	0.70			
	5	208	188	9.8	173	496	0.60	0.66	0.71			
A-E-50	1	208	197	5.2	183	489	0.60	0.62	0.67	0.67	0.025	3.71
	2	207	195	5.8	182	532	0.65	0.68	0.73			
	3	213	199	6.6	184	531	0.65	0.67	0.72			
	4	208	192	7.4	178	519	0.63	0.67	0.73			
	5	212	202	4.8	186	560	0.68	0.69	0.75			
A-F-50	1	215	198	7.9	182	573	0.70	0.72	0.79	0.72	0.014	2.00
	2	225	207	8.2	187	576	0.70	0.70	0.77			
	3	211	191	9.6	174	561	0.68	0.73	0.81			
	4	213	196	7.7	180	568	0.69	0.72	0.79			
	5	210	184	12.2	163	544	0.66	0.74	0.83			
A-A-150	1	210	186	11.6	172	483	0.59	0.65	0.70	0.65	0.012	1.92
	2	209	184	11.8	177	461	0.56	0.63	0.65			
	3	205	182	11.5	169	479	0.58	0.66	0.71			
	4	211	186	12.1	171	484	0.59	0.65	0.71			
	5	207	180	12.9	167	475	0.58	0.66	0.71			
A-B-150	1	205	183	10.7	171	494	0.60	0.68	0.72	0.70	0.020	2.94
	2	207	181	12.5	170	509	0.62	0.70	0.75			
	3	208	183	12.2	172	505	0.62	0.69	0.73			
	4	205	181	11.8	166	531	0.65	0.74	0.80			
	5	206	184	10.4	189	505	0.62	0.69	0.67			
A-C-150	1	212	184	13.1	169	538	0.66	0.73	0.80	0.72	0.037	5.18
	2	203	184	9.7	167	577	0.70	0.78	0.86			
	3	221	206	6.8	192	554	0.68	0.67	0.72			
	4	207	180	13.0	167	525	0.64	0.73	0.78			
	5	211	185	12.5	170	517	0.63	0.70	0.76			
A-D-150	1	209	179	14.6	147	436	0.53	0.61	0.74	0.63	0.014	2.16
	2	209	183	12.5	163	477	0.58	0.65	0.73			
	3	211	179	14.9	159	461	0.56	0.64	0.73			
	4	210	182	13.3	163	464	0.57	0.64	0.71			
	5	226	194	14.0	174	490	0.60	0.63	0.70			
A-E-150	1	210	182	13.3	166	552	0.67	0.76	0.83	0.76	0.013	1.76
	2	210	187	11.1	181	551	0.67	0.74	0.76			
	3	205	179	12.7	165	550	0.67	0.77	0.83			
	4	205	179	12.7	164	557	0.68	0.78	0.85			
	5	208	182	12.5	167	558	0.68	0.77	0.83			
A-F-150	1	207	184	11.2	168	569	0.69	0.77	0.85	0.78	0.013	1.72
	2	207	182	12.4	163	571	0.70	0.79	0.88			
	3	209	183	12.1	166	554	0.68	0.76	0.83			
	4	208	189	9.4	169	600	0.73	0.79	0.89			
	5	214	186	12.9	167	577	0.70	0.77	0.86			



(a)　すべり係数 μ_0　　　(b) すべり係数 μ_2

図- 2.3.2　すべり係数（Type-A）

$$\mu_0 = \frac{P}{n \cdot m \cdot N_0} \qquad (3)$$

$$\mu_2 = \frac{P}{n \cdot m \cdot N_2} \qquad (4)$$

$$\mu_3 = \frac{P}{n \cdot m \cdot N_3} \qquad (5)$$

ここで，P：すべり荷重(kN)

n：ボルト本数(=2)

m：摩擦面数(=2)

N_0：設計ボルト軸力（=205 kN）

N_2：試験前ボルト軸力（計測値）(kN)

N_3：すべり時のボルト軸力 (kN)

図- 2.3.2(a)より，設計ボルト軸力に対するすべり係数μ_0では，いずれの試験体においても，設計すべり係数0.45よりも十分高い値が得られている．**表- 2.1.1**に示したように道示では設計すべり係数0.45を確保するための塗装条件を規定している．本試験で設定した無機ジンク膜厚50μmの試験体は道示に規定される接触面片面あたりの乾燥塗膜厚および接触面の合計乾燥塗膜厚を満たしている．一方，無機ジンク膜厚 150μmの試験体は片面あたりの乾燥塗膜厚の規定を満たしているが，合計乾燥塗膜厚では規定の上限値である200μmを満たしていない．この場合においても，設計すべり係数0.45よりも高いすべり係数が得られている．

塗料会社ごとに結果を比較するとD社において，片面あたりの塗膜厚が150μmの試験体の方が50μmの試験体よりすべり係数が若干小さくなっていた．しかしながら，すべり係数は下限値で0.53であり，設計すべり係数0.45を上回っていた．これらのことから，仮に合計乾燥塗膜厚200μmを超え，300μm程度になったとしても（試験体A-150-C No.5において，最大値335μm），直ちに設計すべり係数を満たさなくなるほどのものではない結果となった．

試験前軸力に対するすべり係数μ_2では，D社を除いて，すべての試験体で膜厚150µmの試験体の方が50µmの試験体よりもすべり係数μ_2が大きくなった．D社では，膜厚50µmの試験体および膜厚150µmの試験体のすべり係数μ_2が0.64~0.74の間に分布しており，平均値は同程度となっている．

すべり係数 μ_2 の変動係数について，膜厚の違いで比較すると，C 社および E 社を除き，変動係数は2%前後となっている．**図- 2.3.3** にすべり係数 μ_2 の変動係数と膜厚の変動係数との関係を示す．図より，全体として，膜厚の変動に対して，得られるすべり係数の変動が小さいことがわかる．また，D 社および F 社では，膜厚の変動係数が異なっても，すべり係数の変動係数では同程度となっている．一方，B 社および C 社では膜厚の変動係数が同程度であっても，すべり係数の変動係数が大きく異なることがわかる．よって，すべり係数のばらつきは膜厚ではなく，塗料会社間の差異によるものと考えられる．すべり係数のばらつきが塗料会社・塗料組成により生じていることも考えられるため，**表- 2.3.2** に示すように，塗料会社ごとの試験体（50µm の試験体 5 体，150µm の試験体 5 体の合計 10 体）の変動係数を求めた．各試験体のすべり係数を各試験体ケースの平均値により無次元化した値を用いた．表より，C 社が最も変動係数が大きく，膜厚 150µm で 5.2%程度であった．

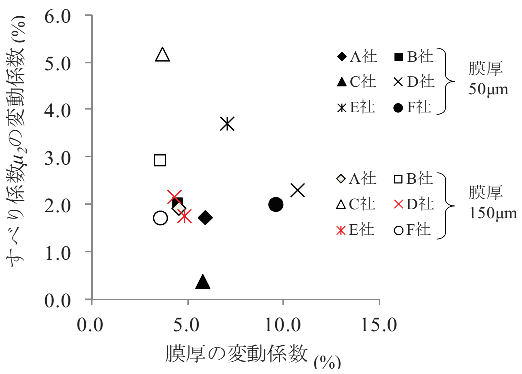


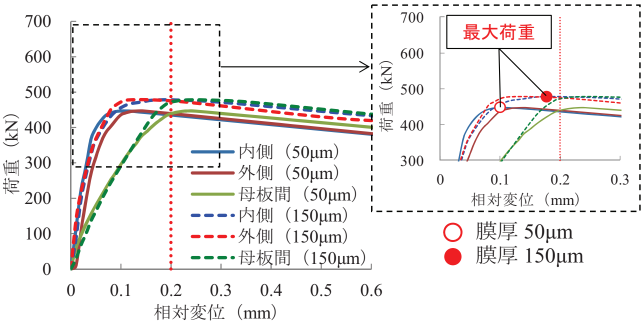
図- 2.3.3　すべり係数の変動係数と膜厚の変動係数（Type-A）

表- 2.3.2　すべり係数の変動係数（塗料会社別）

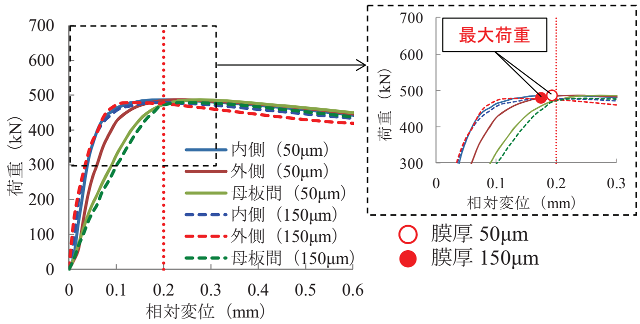
塗料会社	A社	B社	C社	D社	E社	F社
変動係数（%）膜厚50µm	1.72	2.04	0.37	2.30	3.71	2.00
変動係数（%）膜厚150µm	1.92	2.94	5.18	2.16	1.76	1.72
変動係数（%）全体	1.83	2.53	3.67	2.23	2.90	1.87

c)　荷重－相対変位関係

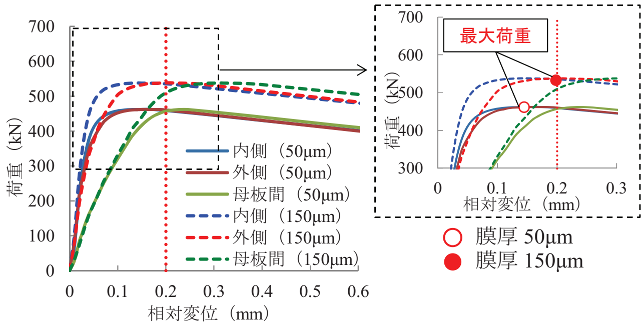
載荷開始から各箇所の相対変位が 0.6mm に達するまでの荷重－相対変位関係を各試験体ケース 1 体ずつを例に**図- 2.3.4** に示す．図中の赤点線はすべり発生の判定基準の 1 つである相対変位が 0.2mm であることを示す．相対変位の計測位置は**図- 2.2.3** に示した通りである．図より，A-D-50，A-D-150 および A-F-150 を除いて，すべての試験体で最大荷重に達した時点ですべり発生と決定されている．すべり判定位置での相対変位が 0.2mm に達した時点ですべりが決定される試験体では，相対変位が 0.2mm 達したときの荷重と最大荷重が同程度になっている．また，各計測位置の荷重－相対変位関係を比較すると，内側と外側では，同じ荷重レベルで同程度の相対変位，あるいは外側の方が若干大きな相対変位が生じていることがわかる．また，母板間の相対変位は内側および外側のそれよりも大きくなっている．これらのことは全試験体において同じ傾向を示している．



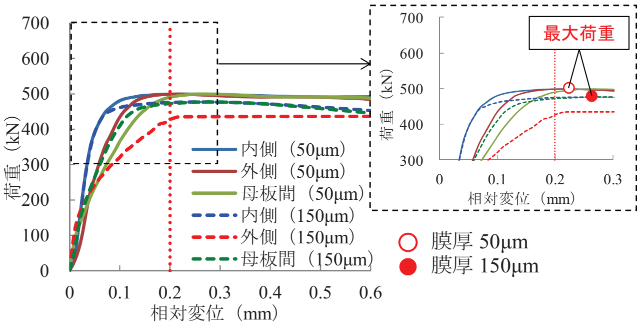
(a)　試験体 A-A-50(No.3)および A-A-150(No.3)



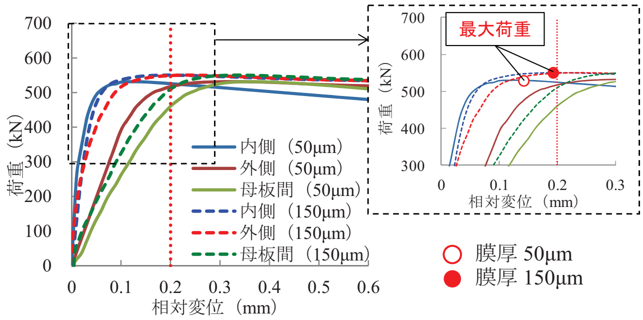
(b)　試験体 A-B-50(No.3)および A-B-150(No.3)



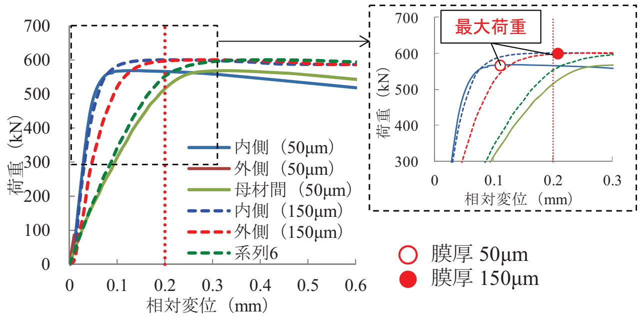
(c)　試験体 A-C-50(No.1) および A-C-150(No.1)



(d)　試験体 A-D-50(No.2) および A-D-150(No.2)



(e)　試験体 A-E-50(No.2)および A-E-150(No.2)



(f)　試験体 A-F-50(No.4)および A-F-150(No.4)

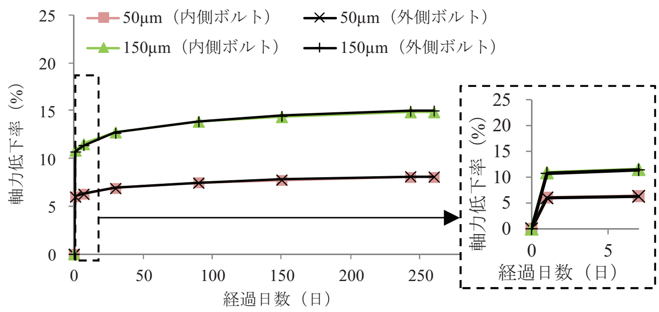
図- 2.3.4　荷重ー相対変位関係（Type-A）

2.3.2　試験ケース Type-B

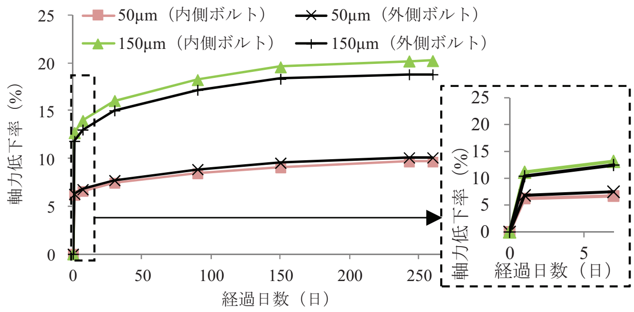
a)　ボルト軸力のリラクセーション

図- 2.3.5に軸力低下率の経時変化を，図- 2.3.6に締付完了から260日後のボルト軸力低下率をそれぞれ示す．図- 2.3.6にはType-AおよびType-Bの軸力低下率の平均値も示している．図- 2.3.5より，ボルト締付から1日経過した時点で，軸力低下率には膜厚の違いによる差異が生じており，50μmの試験体で約6%，150*μ*mの試験体で約13%前後の軸力低下が生じている．また，A社の塗料を用いた試験体では，7日以降の軸力低下率の変化が他の塗料会社と比較して，小さくなっていることがわかる．

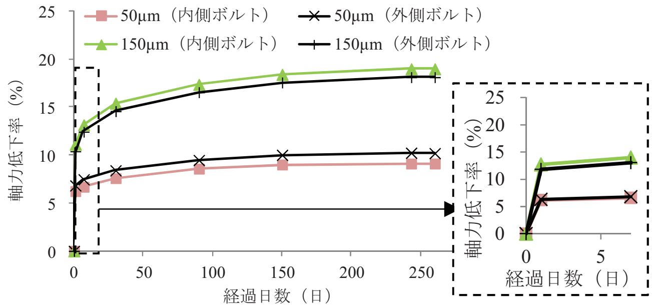
図- 2.3.6 より，軸力低下率（平均値）は，塗料膜厚 50μm の試験体では 9~10%であり，膜厚 150μm の場合では 15~20%程度となっている．締付後の放置期間の違いで軸力低下率の平均値を比較すると，260 日間放置した場合（Type-B）の方が 7 日間程度放置した場合（Type-A）に比べて 1.2~1.7 倍程度，軸力低下率が大きくなっている．また，膜厚 50μm の試験体と比較して，膜厚 150μm の試験体の方が軸力低下率が大きくなっており，無機ジンクの膜厚が厚いほど，期間が長いほど塗膜のクリープの影響が大きい．



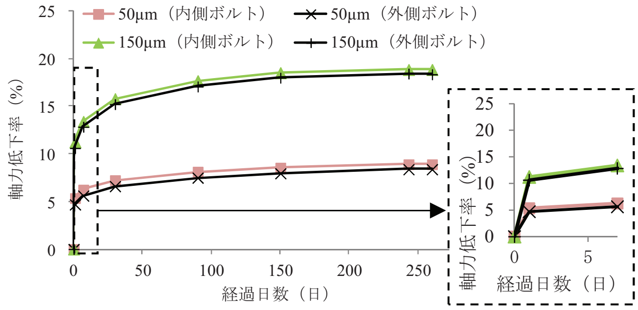
(a)　試験体 B-A-50（No.1）および B-A-150（No.1）



(b)　試験体 B-B-50（No.1）および B-B-150（No.1）



(c)　試験体 B-C-50（No.3）および B-C-150（No.3）



(d)　試験体 B-D-50（No.1）および B-D-150（No.1）

図- 2.3.5　軸力低下率の経時変化（Type-B）

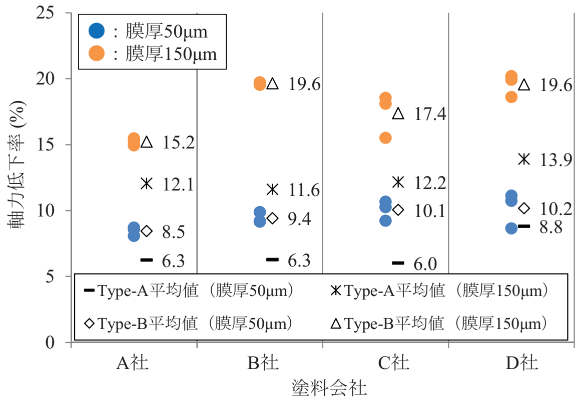


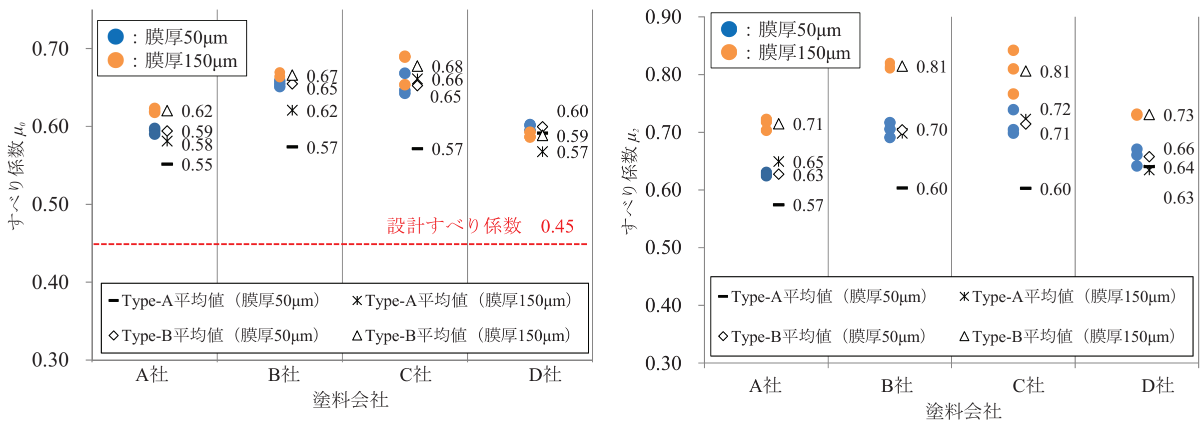
図- 2.3.6　軸力低下率（Type-B　260 日後）

b)　すべり係数

表- 2.3.3にType-Bのすべり試験結果を，**図- 2.3.7**にType-Bの試験により得られた各試験体のすべり係数（μ_0およびμ_2）とその平均値およびType-Aの場合のすべり係数の平均値を示す．試験結果より，設計ボルト軸力に対するすべり係数μ_0では，全ての試験体において，締付完了から260日経過した場合でも設計すべり係数0.45を十分に上回っていることがわかる．さらに締付後7日間放置したType-Aのすべり係数の平均値よりも260日間放置したType-Bのすべり係数が高くなっている．このことは長期間放置したことに伴う軸力低下によって設計すべり係数を下回ることはないことを示している．

表- 2.3.3　すべり試験結果（Type-B）

試験体ケース	No.	導入軸力 (kN)	試験前軸力 (kN)	軸力減衰率 (%)	すべり時のボルト軸力 (kN)	すべり荷重 (kN)	すべり係数			すべり係数 μ_2		
							μ_0	μ_2	μ_3	平均値	標準偏差	変動係数 (%)
B-A-50	1	213	195	8.1	182	488	0.60	0.62	0.67	0.63	0.002	0.39
	2	213	194	8.6	180	490	0.60	0.63	0.68			
	3	212	193	8.7	180	484	0.59	0.63	0.67			
B-B-50	1	217	195	9.9	188	540	0.66	0.69	0.72	0.70	0.011	1.49
	2	206	187	9.2	183	537	0.65	0.72	0.73			
	3	209	189	9.2	181	534	0.65	0.71	0.74			
B-C-50	1	208	185	10.7	176	548	0.67	0.74	0.78	0.71	0.018	2.51
	2	208	187	10.3	179	527	0.64	0.70	0.74			
	3	209	190	9.3	180	530	0.65	0.70	0.74			
B-D-50	1	211	193	8.7	182	494	0.60	0.64	0.68	0.66	0.012	1.84
	2	208	185	11.2	175	488	0.60	0.66	0.70			
	3	206	184	10.8	174	493	0.60	0.67	0.71			
B-A-150	1	212	181	15.0	170	508	0.62	0.70	0.75	0.71	0.008	1.14
	2	209	177	15.5	165	511	0.62	0.72	0.77			
	3	208	176	15.3	167	507	0.62	0.72	0.76			
B-B-150	1	208	168	19.6	162	545	0.66	0.81	0.84	0.81	0.004	0.49
	2	207	166	19.7	160	544	0.66	0.82	0.85			
	3	211	169	19.8	163	549	0.67	0.81	0.84			
B-C-150	1	207	175	15.7	168	536	0.65	0.77	0.80	0.81	0.031	3.85
	2	213	174	18.0	168	565	0.69	0.81	0.84			
	3	206	168	18.6	161	566	0.69	0.84	0.88			
B-D-150	1	205	167	18.6	163	486	0.59	0.73	0.74	0.73	0.001	0.09
	2	206	164	20.2	157	481	0.59	0.73	0.77			
	3	206	165	20.0	158	481	0.59	0.73	0.76			



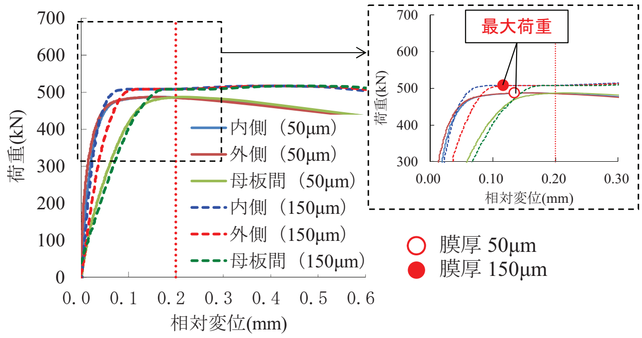
(a)　すべり係数μ_0　　　(b)　すべり係数μ_2

図- 2.3.7　すべり係数（Type-B）

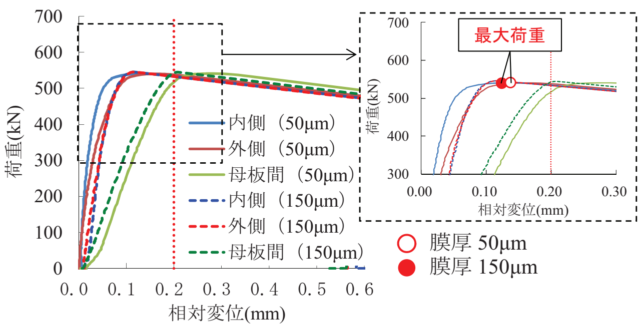
また，試験前軸力に対するすべり係数μ_2において，Type-A 及び Type-B より得られたすべり係数の平均値を比すると，締付から 7 日後にすべり試験を実施した Type-A よりも 260 日間放置した後にすべり試験を実施した Type-B のすべり係数の方が 10~18%程度，高くなっている。このことから，接合面の無機ジンクに膜厚方向に支圧応力が作用した状態で放置することで，母板と連結板の無機ジンク塗膜層の樹脂（バインダー）が変形して両層がなじみ、接合面の密着性が高まることにより，接合面のすべり耐力が増加したものと推測される。

c)　荷重－相対変位関係

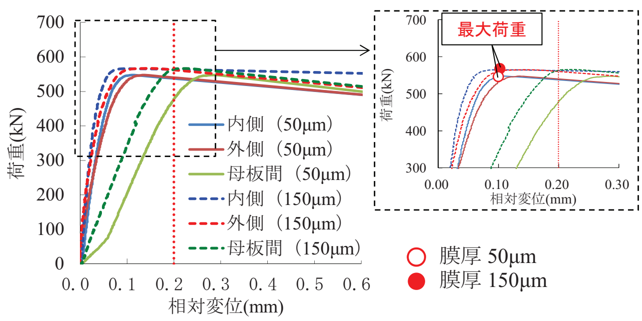
図- 2.3.8にType-B試験の各試験ケース1体ずつの荷重－相対変位関係を例として示す．図より，Type-A試験と同様に最大荷重時にすべり発生と決定されることがわかる．さらに，各部位の相対変位を比較すると，母板間の相対変位が最も大きく，次いで外側，内側の順に相対変位が大きくなっており，この傾向もType-Aと一致している．これらのことから，締付からの放置期間が荷重－相対変位に大きな影響を及ぼすことはないと考えられる．



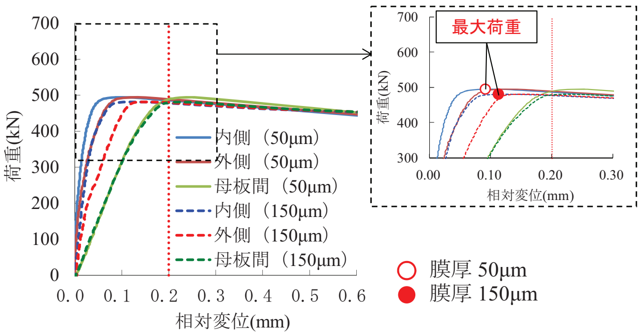
(a)　試験体 B-A-50(No.1)および B-A-150(No.1)



(b)　試験体 B-B-50(No.1)および B-B-150(No.1)



(c)　試験体 B-C-50(No.1)および B-C-150(No.1)



(d)　試験体 B-D-50(No.1)および B-D-150(No.1)

図- 2.3.8　荷重－相対変位関係（Type-B）

2.3.3　試験ケース Type-C

a)　ボルト軸力のリラクセーション

図- 2.3.9にType-Cの試験により得られた各試験体の軸力低下率およびType-Aにより得られた軸力低下率の平均値を示す．図より，無機ジンク膜厚が50μmの試験体では，軸力低下率が8~10%程度であり，膜厚が150μmの試験体では，11~15%程度であった．Type-Aの平均値と比較すると，膜厚50μmでは各試験体の軸力低下率はType-Aの平均値6%より大きくなっているが，膜厚150μmの場合では，Type-Aの平均値13%と同等程度であった．このことから，膜厚が薄い場合，無機ジンク塗装後から組立までの期間が組立後の軸力低下率に何らかの影響を与えているものと考えられる．

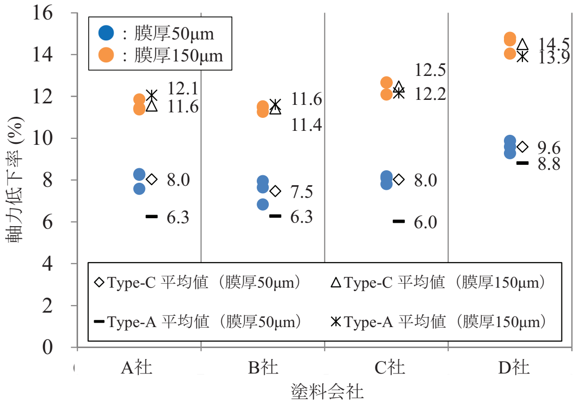


図- 2.3.9　軸力低下率（Type-C 7 日間）

b)　すべり係数

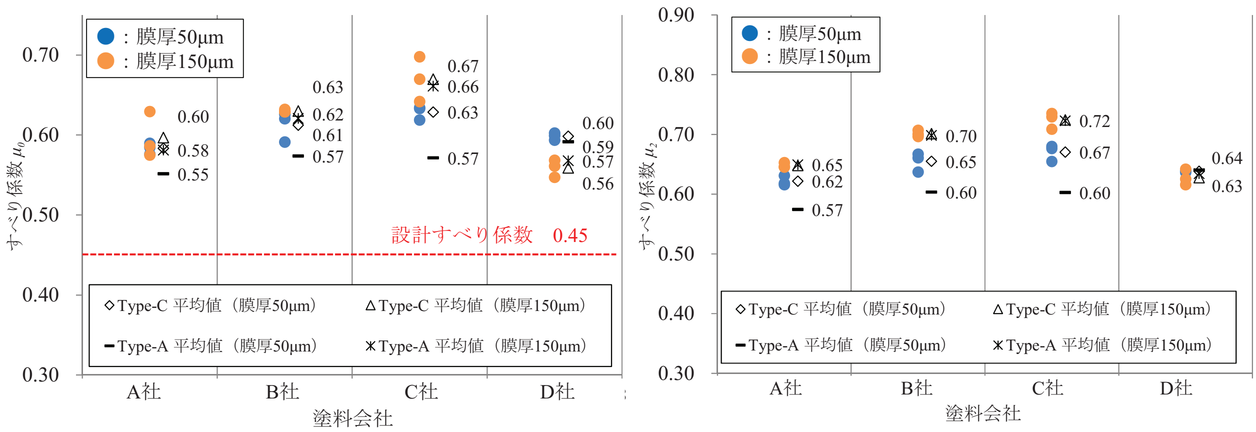
表- 2.3.4にType-Cのすべり試験結果を，**図- 2.3.10**に設計ボルト軸力205kNに対するすべり係数μ_0及び試験前軸力に対するすべり係数μ_2を示す．設計軸力に対するすべり係数では，いずれの試験体も設計すべり係数0.45を超えている．

一方，すべり係数 μ_2 においては，塗料会社 D 社の試験体を除き，150μm の試験体のすべり係数が 50μm の試験体のそれよりも，若干大きくなっている．また，膜厚 50μm および膜厚 150μm のそれぞれの場合で塗料会社間で比較すると，すべり係数の大小は同じ傾向を示している．

さらに，Type-A の平均値と比較すると，膜厚 50μm の試験体では Type-C の試験により得られたすべり係数が同程度あるいは若干大きくなっているが，膜厚 150μm の試験体ではそのすべり係数がほとんど一致していることがわかる．これより，膜厚が厚くなるほど，無機ジンク塗装後から試験体組立までの放置期間はすべり係数にほとんど影響しないと判断できる．

表- 2.3.4　すべり試験結果（Type-C）

試験体ケース	No.	導入軸力 (kN)	試験前軸力 (kN)	軸力低下率 (%)	すべり時のボルト軸力 (kN)	すべり荷重 (kN)	すべり係数			すべり係数　μ_2		
							μ_0	μ_2	μ_3	平均値	標準偏差	変動係数 (%)
C-A-50	1	211	196	7.6	178	483.4	0.59	0.62	0.68	0.62	0.007	1.07
	2	207	190	8.3	171	479.2	0.58	0.63	0.70			
	3	209	192	8.3	173	472.3	0.58	0.62	0.68			
C-B-50	1	216	201	6.8	187	513.1	0.63	0.64	0.69	0.65	0.013	1.96
	2	209	192	8.0	178	508.5	0.62	0.66	0.72			
	3	197	182	7.6	158	484.6	0.59	0.67	0.76			
C-C-50	1	210	194	7.8	180	507.3	0.62	0.65	0.70	0.67	0.011	1.66
	2	208	191	8.2	176	519.9	0.63	0.68	0.74			
	3	209	192	8.1	178	519.1	0.63	0.68	0.73			
C-D-50	1	214	194	9.3	177	493.9	0.60	0.64	0.70	0.64	0.001	0.19
	2	213	192	9.9	175	491.3	0.60	0.64	0.70			
	3	211	191	9.6	172	486.7	0.59	0.64	0.71			
C-A-150	1	226	200	11.5	179	516	0.63	0.65	0.72	0.65	0.003	0.53
	2	208	184	11.5	166	480.7	0.59	0.65	0.73			
	3	207	183	11.9	167	471.3	0.57	0.64	0.71			
C-B-150	1	209	185	11.3	170	515.6	0.63	0.70	0.76	0.70	0.004	0.62
	2	206	182	11.5	166	515.8	0.63	0.71	0.77			
	3	209	185	11.5	169	518.2	0.63	0.70	0.76			
C-C-150	1	205	180	12.1	163	526.2	0.64	0.73	0.80	0.72	0.011	1.56
	2	231	202	12.7	182	572	0.70	0.71	0.79			
	3	214	187	12.7	170	549.1	0.67	0.73	0.81			
C-D-150	1	212	182	14.0	162	448.5	0.55	0.62	0.69	0.63	0.011	1.72
	2	216	184	14.8	165	460.1	0.56	0.63	0.70			
	3	213	182	14.7	166	466	0.57	0.64	0.70			



(a)　すべり係数μ_0　　(b)　すべり係数μ_2

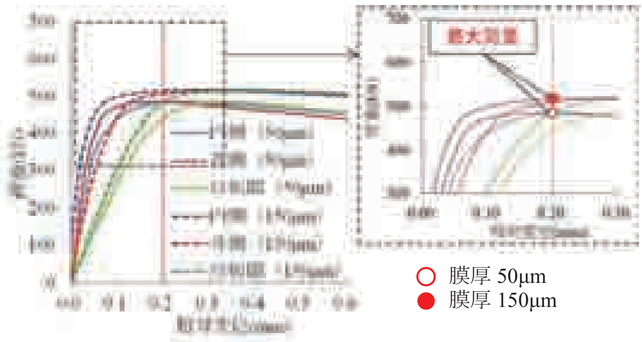
図- 2.3.10　すべり係数（Type-C）

c)　荷重－相対変位関係

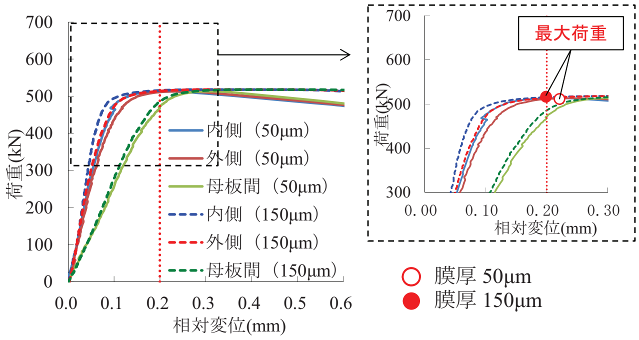
図- 2.3.11に各試験ケースの内，1体の荷重－相対変位関係を例として示す．図より，すべての試験体において，載荷開始から最大荷重に達するまで，母板間，外側，内側の順で相対変位が大きくなっており，Type-A及びType-Bの試験と同様の傾向が観察できる．

また，C 社の膜厚 50μm の試験体を除いて，すべての試験体において，最大荷重ではなく，内側相対変位が 0.2mm に達した時点ですべり発生と決定されている．これは，無機ジンク塗装後，試験体組立までの保存期間を長期としたことが影響していると考えられる．接合面の暴露期間中に，接合面に塵等が

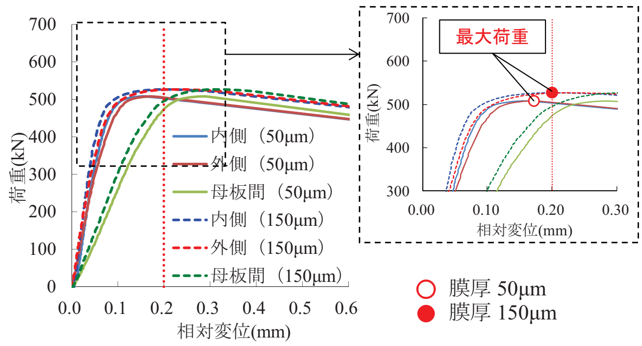
付着し，組立時にそれらを挟み込むことで，すべり挙動が変わった可能性が考えられる．すべり係数では，組立後の放置期間が 1 週間程度の試験体（Type-A）と同等程度もしくは若干大きくなっており，塗装後，長期間保管した後に締付けた場合，そのすべり係数に悪影響を与えることはないと考えられる．



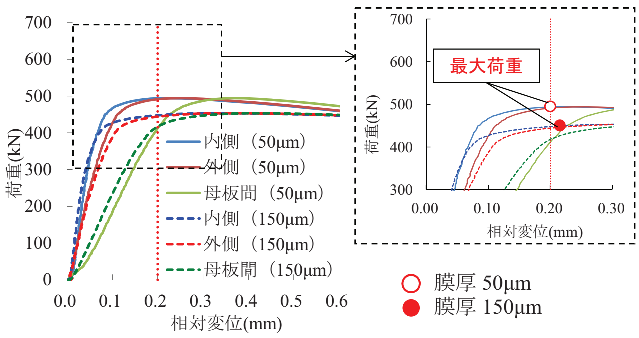
(a)　試験体 C-A-50(No.1)および C-A-150(No.1)



(b)　試験体 C-B-50(No.1)および C-B-150(No.1)



(c)　試験体 C-C-50(No.1)および C-C-150(No.1)



(d)　試験体 C-D-50(No.1)および C-D-150(No.1)

図- 2.3.11　荷重－相対変位関係（Type-C）

2.4　暴露期間の影響

2.4.1　すべり係数

図- 2.4.1 に Type-A，B，C の各試験ケースの試験前軸力に対するすべり係数 μ_2 の平均値を示す．図より，全試験ケースにおいて，Type-B の試験体が最もすべり係数が高くなっていることがわかる．また，Type-C の試験体では，膜厚が 50μm の場合は，Type-A と同等，またはそれ以上のすべり係数が得られており，膜厚 150μm の試験体では Type-A とほぼ同等のすべり係数となっている．このことから，塗装後から組立までの放置期間あるいは組立から載荷までの放置期間が 260 日と長期となってもすべり係数が低下することはないと考えられる．さらに，組立から載荷までの期間を長期とした場合では，締付軸力により無機ジンクのクリープ現象がより収束することで，接合面の密着性が高まり，すべり係数が高くなると考えられる．**図- 2.4.2** にすべり試験後の接合面の状態を示す．なお，Type-A に比べて，Type-B のすべり係数の増加の程度が大きい B 社を例に示している．締付後から試験までの期間を 7 日程度とした試験（Type-A）では，無機ジンクの凝集破壊と界面破壊が混在するような破壊傾向を示し，組立後から試験までの期間を 260 日程度とした試験（Type-B）では，凝集破壊のみの破壊傾向が確認できる．また，すべり係数の変化の程度が大きい膜厚 150µm の試験体において，その破壊傾向の違いが顕著に現れている．ここで，凝集破壊は塗膜層そのものの破壊であり，界面破壊は塗膜層同士の界面で生じる破壊である．締付後から試験までの期間が長くなるにつれて接合面の密着性が高まり，凝集破壊が支配的となることが Type-B のすべり係数が大きくなる一因と考えられる．

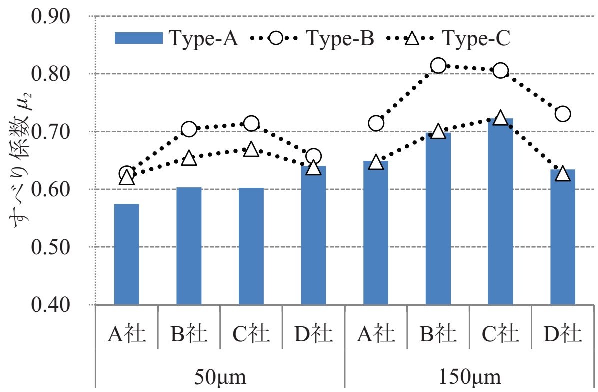
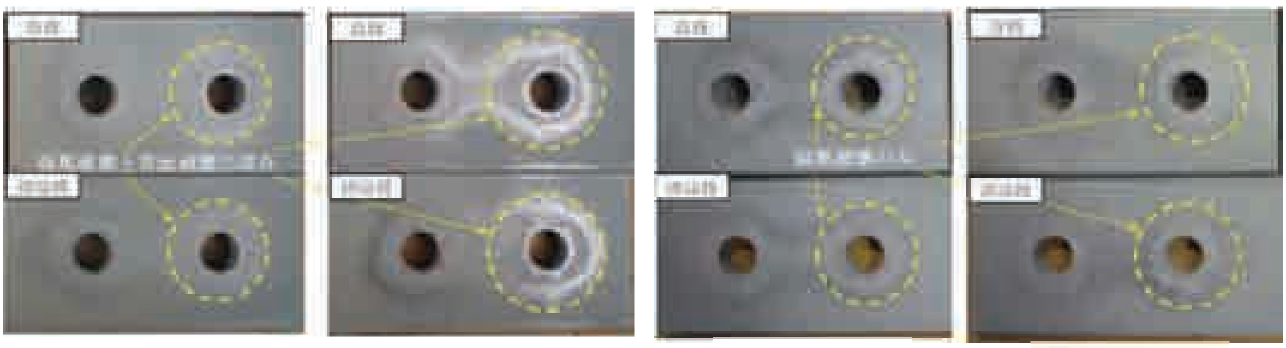


図- 2.4.1　各試験ケースのすべり係数 μ_2（試験体平均）



(i) 50µm　(ii) 150µm　(i) 50µm　(ii) 150µm

(a)　Type-A（ 試験体 A-B-50 および A-B-150）　(b)　Type-B（試験体 B-B-50 および B-B-150）

図- 2.4.2　すべり試験後の接合面の状態

2.4.2　ボルト軸力のリラクセーション

図- 2.4.3にType-A，B，Cの各試験ケースの試験前における軸力低下率を示す．Type-AおよびType-Cは締付けから1週間後の軸力低下率を，Type-Bは締付けから約260日後の軸力低下率を示している．

図より，Type-Bの軸力低下率は，塗料会社によらずType-Aの場合と比較して大きくなっている．これは無機ジンクのクリープの影響であると考えられる．またその大きさは塗膜厚が厚くなるほど大きくなっている．このことから，締付け後，1週間以上，長期に暴露する場合でも，クリープの影響が存在することがわかる．しかし，既に述べたように，設計ボルト軸力に対するすべり係数 μ_2 がType-Aの場合よりも大きくなっていることから，長期的に暴露し，軸力の低下が大きくなったとしても，設計すべり係数を下回ることは考えにくい．

本試験では試験体を室内で保管したことから，風雨に曝されない環境下で暴露する場合では，上記のことが確認できたといえる．

Type-C の軸力低下率は，塗料会社によらず Type-A の場合と比較して，同等程度，またはそれよりも大きくなっている．膜厚が 150μm の試験体では同等程度の軸力低下率であったが，膜厚が 50μm の試験体では，若干軸力低下率が大きくなった．これは，塗装後から，組み立てまでの期間を長期とし，塗装後の部材を長期的に保管することで，膜厚が 50μm と比較的薄い場合にその影響が軸力低下率の増加に繋がったと考えられる．

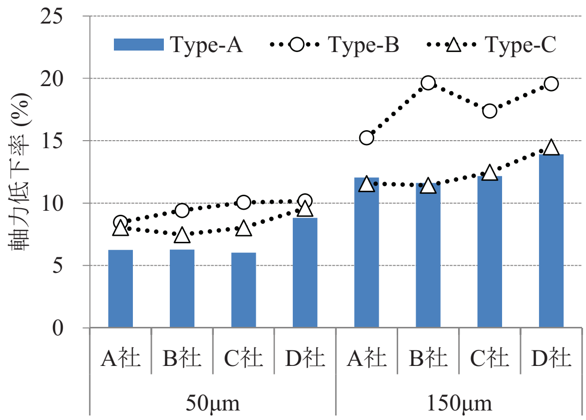


図- 2.4.3　各試験の軸力低下率（試験体平均）

2.5　結論

本研究では，高力ボルト摩擦接合継手を対象に，接合面に塗装する無機ジンクリッチペイントについて，塗料会社，塗膜厚，塗装後から組立までの期間および組立からすべり試験までの期間をパラメータとし，ボルト軸力のリラクセーション計測およびすべり試験を実施し，それらがボルト軸力のリラクセーション特性やすべり係数に与える影響を検討した．得られた主な結果を以下に述べる．

1) すべり試験におけるすべり発生の定義を「ボルト位置での母板と連結板の相対変位が0.2mmに達するまでに最大荷重が生じた場合はその最大荷重を，そうでない場合は内側と外側のどちらかのボルト位置での相対変位が0.2mmに達した時をすべり荷重とする」とした場合，塗料会社，塗膜厚および放置期間によらず，最大荷重あるいは一部で相対変位0.2mmに達した時点ですべり発生と決定されるケースがみられた．ただし，最大荷重と相対変位が0.2mmに達した時点の荷重は同程度であった．
2) 6社の無機ジンクを塗布した試験体（Type-A）において，設計ボルト軸力に対するすべり係数 μ_0 は片面あたりの塗膜厚を50μmおよび150μmとした場合，いずれにおいても，設計すべり係数0.45を十分に上回る結果となった．
3) 6社の無機ジンクを接合面片面あたりに150μm塗布した試験体（Type-A）は，合計乾燥塗膜厚の規定の上限値200μmを超える試験体であった．この場合においても，設計すべり係数0.45を上回っており，仮に合計乾燥塗膜厚が200μmを超えたとしても，直ちに設計すべり係数を満たさなくなるものではないと考えられる．
4) 組立からすべり試験までの放置期間を7日程度とした試験体（Type-A）と，放置期間を260日程度とした試験体（Type-B）を比較すると，そのすべり係数はType-Bの試験体の方が高くなる結果となった．
5) 組立からすべり試験までの期間をパラメータとしたType-AとType-Bの試験体においてその期間中におけるボルト軸力のリラクセーションを比較すると，長期間放置（260日程度）したType-Bにおいて軸力低下率は大きくなった．また，その低下の程度は膜厚を150μmとした試験体の方が大きくなった．
6) Type-A と Type-C の試験結果を比較すると，塗装から組立までの期間を 260 日程度とした Type-C のすべり係数は，膜厚 150μm の試験体では Type-A の場合と同程度，膜厚 50μm の試験体では若干高くなった．また，組立後の軸力低下率は，膜厚 50μm の場合では塗装後から組立までの期間を長期とした Type-C の場合の方が大きくなる傾向がみられた．一方，150μm の場合ではほぼ同程度であった．このことから，塗装面を長期間暴露する場合では，膜厚が薄いほど，組立後の軸力低下率が大きくなると考えられる．

参考文献

1) 独立行政法人土木研究所，公立大学法人大阪市立大学：高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書，共同研究報告書第428号，2012.1.
2) 村越潤，澤田守，山口隆司，彭雪，大嶽敦郎：接触面に無機ジンクリッチペイントを塗装した厚板・多列の高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.70，No.1，pp.94-104，2014.
3) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，2012.
4) 土木学会　鋼構造委員会：鋼構造シリーズ15　高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案），2006.
5) 日本規格協会：JIS G 3106，溶接構造用圧延鋼材，2008.
6) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2012.

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No. 484 March 2016

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754