共同研究報告書
整理番号第522号

連続繊維補強されたＲＣ床版の耐久性評価に関する共同研究報告書（Ｉ）

－連続繊維シートのせん断弾性係数の検討－

令和３年３月

国立研究開発法人土木研究所
一般社団法人繊維補修補強協会
積水化学工業株式会社

Copyright © (2021) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共 同 研 究 報 告 書
第 522 号 2021 年 3 月

連続繊維補強されたＲＣ床版の耐久性評価に関する共同研究報告書（Ｉ）

－連続繊維シートのせん断弾性係数の検討－

国立研究開発法人土木研究所
一般社団法人繊維補修補強協会
積水化学工業株式会社

要旨

本共同研究では，連続繊維シートを用いた床版補強の限界状態設計法確立に向けて，繊維や樹脂の物性の影響を含めた，コンクリートと連続繊維シートの付着特性とその評価法について検討している．その一環として，コンクリートと連続繊維シートの付着特性に影響すると考えられる樹脂のせん断弾性係数を求める試験方法について検討した．樹脂のせん断弾性係数の試験方法は，JIS にも複数の方法が示されているが，それぞれの試験から得られたデータの特性や精度が明確でないなどの点から，複数の試験方法で樹脂のせん断弾性係数を測定した．本報告では，それらの試験で得られたせん断弾性係数の特性を示すとともに，各試験方法の留意点をまとめた．また，それらの結果を踏まえて，連続繊維シートとコンクリートの付着を検討するために適切であると考えられるせん断弾性係数の試験方法を提示した．

キーワード：連続繊維シート，（樹脂の）せん断弾性係数，（樹脂の）強度試験，（FRP の）45°引張試験，平板ねじり試験

共同研究者名簿（平成 29 年度～30 年度）

国立研究開発法人土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

上席研究員	玉越　隆史	（平成 30 年 7 月まで）
上席研究員	上仙　靖	（平成 30 年 7 月より）
主任研究員	田中　良樹	
研究員	佐藤　歩	（平成 29 年 6 月まで）
研究員	村井　啓太	（平成 29 年 7 月から）
交流研究員	澁谷　敦	
交流研究員	藤本　圭太郎	（平成 29 年 5 月より 30 年 4 月まで）
交流研究員	山本　健太郎	（平成 30 年 5 月より）
交流研究員	樋口　祐治	（平成 30 年 4 月より）

一般社団法人 繊維補修補強協会

RC 床版共同研究委員会

委員長	野村　敏雄	株式会社大林組
委員長補佐	佐々木　一成	株式会社大林組

副委員長・炭素繊維シートグループ責任者

新藤　竹文	大成建設株式会社

副委員長・アラミド繊維シートグループ責任者

藤原　保久	三井住友建設株式会社

炭素繊維シートグループ委員

早川　智浩	株式会社大林組	
太田　弘次	株式会社オリエンタルコンサルタンツ	
新井　崇裕	鹿島建設株式会社	
久保　昌史	清水建設株式会社	
滝本　和志	清水建設株式会社	
小倉　浩則	ショーボンド建設株式会社	
並木　渉	株式会社　長大	
小林　雅明	株式会社　長大	
松井　孝洋	東レ株式会社	
近藤　富士夫	東レ株式会社	（平成 29 年 7 月より）
小林　朗	日鉄ケミカル＆マテリアル株式会社	

立石　晶洋　　日鉄ケミカル&マテリアル株式会社

久部　修弘　　三菱ケミカルインフラテック株式会社

（平成 30 年 3 月まで）

山内　征一郎　　三菱ケミカルインフラテック株式会社

（平成 30 年 4 月より）

長谷川　泰聰　　三菱ケミカルインフラテック株式会社

青柳　聖　　八千代エンジニヤリング株式会社

アラミド繊維シートグループ委員

篠崎　裕生　　三井住友建設株式会社

三上　浩　　三井住友建設株式会社

中井　裕司　　前田工繊株式会社

大久保　誠　　前田工繊株式会社

岡村　脩平　　帝人株式会社

吉本　大士　　帝人株式会社　　（平成 30 年 3 月まで）

梶原　大資　　帝人株式会社　　（平成 30 年 4 月より）

倉方　裕史　　帝人株式会社

宮内　理治　　東レ・デュポン株式会社

（平成 30 年 3 月まで）

岡田　泰一　　東レ・デュポン株式会社

（平成 30 年 4 月より）

菊池　美穂　　東レ・デュポン株式会社

（平成 30 年 3 月まで）

廣瀬　めぐみ　　東レ・デュポン株式会社

（平成 30 年 4 月より）

近藤　真一　　ファイベックス株式会社

石井　裕二　　ファイベックス株式会社

井之上　賢一　　ファイベックス株式会社

事務局長　　井部　博

積水化学工業株式会社　　刈茅　孝一

吉田　博次

中尾　亮介

共同研究者名簿（令和元年度～令和 2 年度）

国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

上席研究員　上仙　靖

総括主任研究員　田中　良樹

研究員　村井　啓太　（令和元年 6 月まで）

交流研究員　山本　健太郎　（平成 31 年 4 月まで）

一般社団法人 繊維補修補強協会

RC 床版共同研究委員会

委員長　野村　敏雄　株式会社大林組

委員長補佐　佐々木　一成　株式会社大林組

副委員長・炭素繊維シートグループ責任者

新藤　竹文　大成建設株式会社

副委員長・アラミド繊維シートグループ責任者

藤原　保久　三井住友建設株式会社

炭素繊維シートグループ委員

早川　智浩　株式会社大林組

太田　弘次　株式会社オリエンタルコンサルタンツ

新井　崇裕　鹿島建設株式会社

久保　昌史　清水建設株式会社

滝本　和志　清水建設株式会社

小倉　浩則　ショーボンド建設株式会社

並木　渉　株式会社　長大

川原　将　株式会社　長大

松井　孝洋　東レ株式会社

村井　彰児　東レ株式会社

角倉　浩平　東レ株式会社　（令和元年 9 月より）

立石　晶洋　日鉄ケミカル＆マテリアル株式会社

櫻井　俊太　日鉄ケミカル＆マテリアル株式会社

（令和元年 7 月より）

山内　征一郎　三菱ケミカルインフラテック株式会社

長谷川　泰聰　三菱ケミカルインフラテック株式会社

	齋藤　信人	三菱ケミカルインフラテック株式会社 （令和元年 9 月より）
	青柳　聖	八千代エンジニヤリング株式会社 （令和元年 7 月まで）
	渡辺　遼	八千代エンジニヤリング株式会社 （令和元年 8 月より）

アラミド繊維シートグループ委員

	篠崎　裕生	三井住友建設株式会社
	三上　浩	三井住友建設株式会社
	野並　優二	三井住友建設株式会社（令和元年 9 月より）
	中井　裕司	前田工繊株式会社
	大久保　誠	前田工繊株式会社
	岡村　脩平	帝人株式会社
	倉方　裕史	帝人株式会社
	川口　武	帝人株式会社
	山田　洋輔	東レ・デュポン株式会社
	斎藤　祐亮	東レ・デュポン株式会社 （令和 2 年 3 月まで）
	松井　宏之	東レ・デュポン株式会社 （令和 2 年 4 月より）
	石井　裕二	ファイベックス株式会社
	茄子川　治	ファイベックス株式会社
	井之上　賢一	ファイベックス株式会社
事務局長	井部　博	

目　　次

１．はじめに …… 1

２．連続繊維シートの試験方法及び規格 …… 2

2.1　試験方法 …… 3

2.1.1　試験方法の種類 …… 3

2.1.2　試験結果に基づく各パラメータの計算方法 …… 11

2.2　各機関の規格等 …… 16

３．連続繊維シートのせん断弾性係数に関する試験 …… 20

3.1　使用材料 …… 21

3.2　連続繊維シートの物性試験 …… 25

3.2.1　引張試験 …… 25

3.2.2　面内せん断試験（±45°引張試験） …… 31

3.2.3　平板ねじり試験 …… 37

3.3　樹脂の物性試験 …… 50

3.3.1　引張試験 …… 50

3.3.2　圧縮試験 …… 60

3.3.3　平板ねじり試験 …… 69

４．考察 …… 79

4.1　各試験で得られたせん断弾性係数 …… 79

4.2　各試験方法の留意点 …… 82

4.3　本共同研究で用いるせん断弾性係数の共通試験方法 …… 86

５．まとめ …… 87

参考文献 …… 88

付属資料 …… 89

１．連続繊維シートのせん断弾性係数に関する試験の試験条件の補足 …… 91

２．面内せん断試験（FRP の±45°引張試験）供試体作製の手順 …… 92

３．連続繊維シート及び樹脂の試験成績表 …… 96

４．使用したひずみゲージ …… 102

１．はじめに

コンクリート構造物の補修・補強において，軽さや施工性で有利な連続繊維シートは既に多く利用され，主要な補修・補強工法の一つになっている．しかし，鉄筋コンクリート（RC）床版に適用する同工法は，複数の設計方法が用いられているため，概ね同じ条件の床版であっても使用する繊維や樹脂の種類，及び補強量に大きな相違が生じる場合がある．連続繊維シートで補強した RC 部材の軸引張試験をはじめ，これまで同補強工法に関する多くの研究が行われ，連続繊維シートとコンクリートの付着の評価法，設計法も既に提案されている [1)]．しかし，その付着に関する繊維や樹脂の物性あるいはそれらの組合せの下での物性の評価法はまだ必ずしも明確にされていない．これらの点を踏まえて，本共同研究では，床版補強の限界状態設計法確立に向けて，繊維や樹脂の物性の影響を含めた，コンクリートと連続繊維シートの付着特性とその評価法について検討している．

既往の研究において，コンクリート部材に施工された連続繊維シートの付着強度が，連続繊維シートとコンクリートの間における樹脂の剛性に依存する傾向があることが知られている [2)]．また，FRP による補強にも応用されることの多い，Roberts らのコンクリートの鋼板接着補強の解析的検討では，樹脂層のせん断ばね剛性と法線方向のばね剛性が考慮され，前者には樹脂のせん断弾性係数，後者には樹脂の弾性係数が関わると考えられている [3)]．これらのことから，連続繊維シート補強に用いる樹脂の弾性係数だけでなく，せん断弾性係数も，シートとコンクリートの付着性状を把握する上で必要となる可能性があると考えている．

しかし，連続繊維シートや樹脂のせん断弾性係数の試験はシート補強材の一般の品質検査項目には含まれていない．樹脂のせん断弾性係数の測定方法としては，樹脂の圧縮強度試験や引張強度試験において軸方向及び軸直角方向のひずみからポアソン比を得て，算出で求める方法，FRP の 45°引張試験や樹脂の平板ねじり試験により測定する方法などがある．しかし，試験方法や得られたデータの処理方法などの細かい点で明確でない部分があり，また，それぞれの試験から得られたデータの特性や精度が明確でない．これらのことから，JIS に規定される複数の試験方法を用いて，樹脂のせん断弾性係数を測定することを試みた．これらの中には，樹脂単体ではなく，FRP のために示された試験方法も含まれることから，連続繊維シートと樹脂単体の両方を対象として，せん断弾性係数やポアソン比について，各試験方法の確認も含めて，既存の JIS に規定される試験を行った．

本報告では，第 2 章に JIS 及び土木学会の連続繊維シートに関する試験方法と各機関で示す規格値を，第 3 章に連続繊維シートの各材料のせん断弾性係数に関する試験結果を示す．また，第 4 章では，それらの結果から得られた連続繊維シートと樹脂のせん断弾性係数の特性，及び各試験方法の留意点について述べる．それらの検討を踏まえて，連続繊維シートとコンクリートの付着を検討するために適切であると考えられるせん断弾性係数の試験方法を提示する．

２．連続繊維シートの試験方法及び規格

本共同研究の中で使用されるシート原糸，連続繊維シート，プライマー，パテ，含浸樹脂について，既存の設計規準等で定められている試験方法と規格の調査を行った．原糸の種類は，炭素繊維及びアラミド繊維を対象とした．

図-2.1 にコンクリートと連続繊維シートの断面構成を示す．

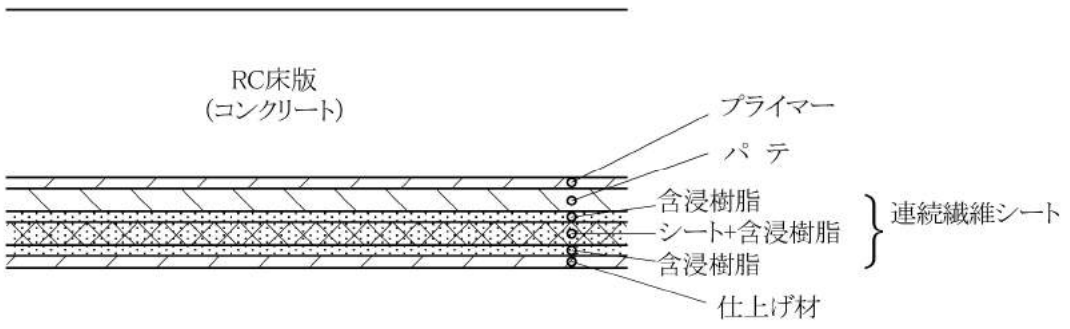


図-2.1　コンクリートと連続繊維シートの断面構成

コンクリートと連続繊維シートの界面には，コンクリート表面近くの強度と付着・接着強度を高めるためのプライマーと，連続繊維シート貼付け面を平滑に仕上げて連続繊維シートの浮きやはく離を防ぐためのパテが存在する．樹脂含浸された連続繊維シートは，シートに含浸されている含浸樹脂の他に，パテとの付着・接着強度を保持するための含浸樹脂層と，仕上げ材との接着強度を保持するための含浸樹脂層があり，サンドイッチ構造のようになっている．

プライマーは，コンクリート表面の平滑化や連続繊維シートとの接着力の向上を目的として塗布される．コンクリート表面部へ浸透し，微細な凹部に入り込むことにより，表面にむらのない平滑化した塗膜を形成できる．

パテは，下地調整材とも不陸修正材とも呼ばれることもあるが，プライマー塗布後に残っている比較的大きい凹凸状態を平面化するために，通常はプライマー塗布後に塗布される．そのため，プライマー，含浸樹脂との高い接着力が求められる．

含浸樹脂は，連続繊維シートに含浸・硬化し，連続繊維シートを繊維強化プラスチックとするためのマトリックス樹脂であり，連続繊維との接着性，連続繊維シートの強度を有効に引き出す施工性，連続繊維内への含浸性が求められる．

2.1　試験方法

2.1.1　試験方法の種類

表-2.1.1 に連続繊維シート及び樹脂の試験方法を，連続繊維シート，樹脂，界面，その他に分類し，指標，単位，規格を調査してまとめた.

JIS 規格に連続繊維シート及び樹脂の試験方法が示されているが，連続繊維シート間の付着強度，連続繊維シートとＲＣ部材の界面の付着・接着強度及び連続繊維シートの耐久性に関する試験等は，JIS 規格にはなく，土木学会規準（JSCE）に規定されている.

表-2.1.1 連続繊維シート及び樹脂の試験方法一覧

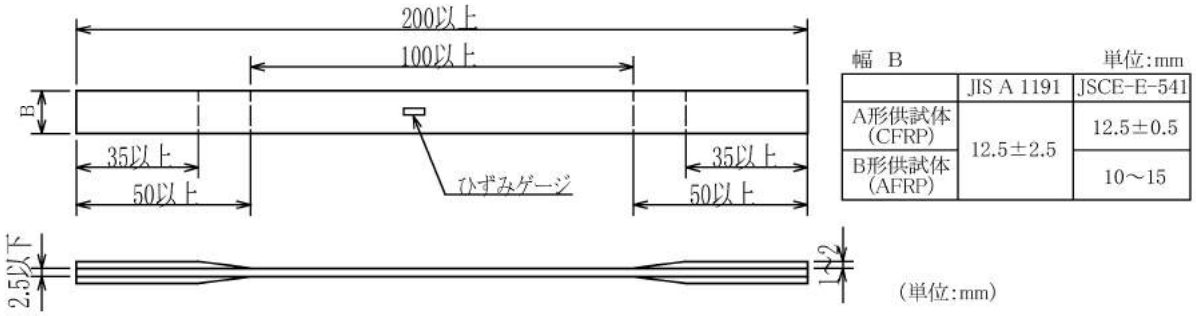
材料名		性能／特性	材料特性及び耐久性			試験方法の規格番号及び規格名称		図-2.1.1との関連
			指標		単位	規格番号	規格名称	
a. シート	a.1 原糸	形状・寸法	単繊維直径		μ	——		
			繊度（糸の太さ）		dtex	JIS		
			より数			JIS		
		質量	比重		g/cm^3	JIS		
		水分	水分率		%	JIS		
		引張	引張強度		N/mm^2	JIS R 7608 ASTM D 7269	炭素繊維-樹脂含浸ヤーン試料を用いた引張特性試験方法 Standard Test Methods for Tensile Testing of Aramid Yarns	
			引張弾性率		N/mm^2	——		
		伸び	破断伸度		%	JIS R 7608 ASTM D 7269	炭素繊維-樹脂含浸ヤーン試料を用いた引張特性試験方法 Standard Test Methods for Tensile Testing of Aramid Yarns	
		導電	体積抵抗率		Ω・cm	JIS		
	a.2 連続繊維シート（FRP）	質量	繊維目付量			JIS		
		引張	引張強度	単層	N/mm^2	JIS A 1191 JSCE E 541	コンクリート補強用連続繊維シートの引張試験方法 連続繊維シートの引張試験方法（案）	a）
				複層	N/mm^2	——		
			弾性係数	単層	N/mm^2	JIS A 1191 JSCE E 541	コンクリート補強用連続繊維シートの引張試験方法 連続繊維シートの引張試験方法（案）	a）
				複層	N/mm^2	——		
		伸び			%	——		
		接合	継手強度		N/mm^2	JSCE E 542	連続繊維シートの継手試験方法（案）	b）
		せん断	せん断弾性係数		N/mm^2	JIS K 7019	繊維強化プラスチック－±45°引張試験による面内せん断特性の求め方	
					N/mm^2	JIS K 7079	炭素繊維強化プラスチックの面内せん断試験方法	
					N/mm^2	JIS K 7021	繊維強化プラスチック－平板ねじり法による面内せん断弾性率の求め方	
		耐疲労	疲労強度	母材	N/mm^2	JSCE E 546	連続繊維シートの引張疲労試験方法	
				継手	N/mm^2	——		
		耐候	引張強度		N/mm^2	JSCE E 547	連続繊維シートの促進暴露試験方法	
			弾性係数		N/mm^2	JSCE E 547	連続繊維シートの促進暴露試験方法	
		耐凍結融解	強度保持率	引張強度	%	JSCE E 548	連続繊維シートの凍結融解試験方法	
				継手強度	%	JSCE E 548	連続繊維シートの凍結融解試験方法	
		耐水	強度保持率	引張強度	%	JSCE E 549	連続繊維シートの耐水，耐酸，耐アルカリ試験方法（案）	
				継手強度	%	JSCE E 549	連続繊維シートの耐水，耐酸，耐アルカリ試験方法（案）	
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	引張強度	%	JSCE E 549	連続繊維シートの耐水，耐酸，耐アルカリ試験方法（案）	
				継手強度	%	JSCE E 549	連続繊維シートの耐水，耐酸，耐アルカリ試験方法（案）	

表-2.1.1　連続繊維シート及び樹脂の試験方法一覧（続き）

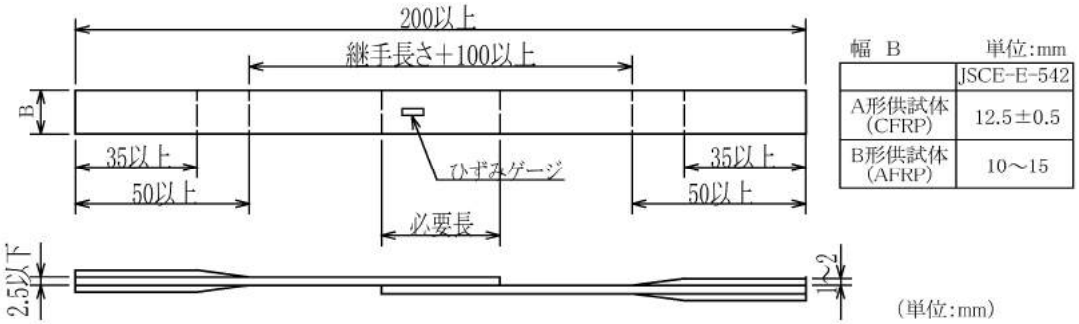
材料名		性能／特性	材料特性及び耐久性		試験方法の規格番号及び規格名称		図-2.1.1との関連
			指標	単位	規格番号	規格名称	
b.　樹脂	b.1 プライマー	質量	比重		JIS K 7112	プラスチック－非発泡プラスチックの密度及び比重の測定方法	
		引張	引張強さ	N/mm^2	JIS K 7161-1	プラスチック－引張特性の求め方—第1部：通則	c)
			引張弾性率	N/mm^2	JIS K 7161-1	プラスチック－引張特性の求め方—第1部：通則	
		圧縮	圧縮強さ	N/mm^2	JIS K 7181	プラスチック－圧縮特性の求め方	d)
			圧縮弾性率	N/mm^2	JIS K 7181	プラスチック－圧縮特性の求め方	
		伸び		%	——		
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	%	——		
		施工	可使時間	時間			
			粘度				
	b.2 パテ	質量	比重		JIS K 7112	プラスチック－非発泡プラスチックの密度及び比重の測定方法	
		引張せん断	引張せん断接着強さ	N/mm^2	JIS A 6850	接着剤－剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法	
		引張	引張強さ	N/mm^2	JIS K 7161-1	プラスチック－引張特性の求め方—第1部：通則	c)
			引張弾性率	N/mm^2	JIS K 7161-1	プラスチック－引張特性の求め方—第1部：通則	
		圧縮	圧縮強さ	N/mm^2	JIS K 7181	プラスチック－圧縮特性の求め方	d)
			圧縮弾性率	N/mm^2	JIS K 7181	プラスチック－圧縮特性の求め方	
		伸び		%	——		
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	%	——		
		施工	可使時間	時間			
	b.3 含浸接着樹脂	質量	比重		JIS K 7112	プラスチック－非発泡プラスチックの密度及び比重の測定方法	
		引張	引張強さ	N/mm^2	JIS K 7161-1	プラスチック－引張特性の求め方—第1部：通則	c)
			引張弾性率	N/mm^2	JIS K 7161-1	プラスチック－引張特性の求め方—第1部：通則	
		圧縮	圧縮強さ	N/mm^2	JIS K 7181	プラスチック－圧縮特性の求め方	d)
			圧縮弾性率	N/mm^2	JIS K 7181	プラスチック－圧縮特性の求め方	
		曲げ	曲げ強さ	N/mm^2	JIS K 7171	プラスチック－曲げ特性の求め方	
		水平せん断	引張せん断接着強さ	N/mm^2	JIS A 6850	接着剤－剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法	
		伸び		%	——		
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	%	——		
		施工	可使時間	時間			
			粘度				

表-2.1.1　連続繊維シート及び樹脂の試験方法一覧（続き）

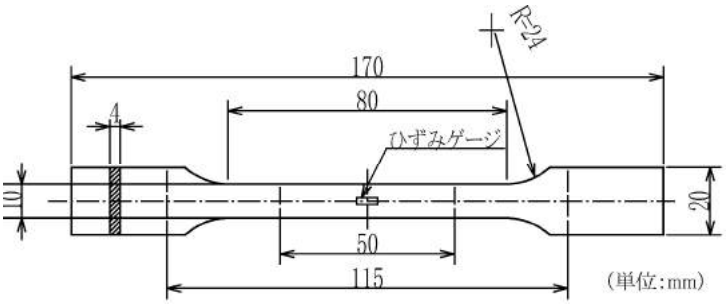
材料名		性能／特性	材料特性及び耐久性			試験方法の規格番号及び規格名称		図-2.1.1との関連
			指標		単位	規格番号	規格名称	
c.　界面	c.1 コンクリート面 ＋プライマー ＋パテ ＋連続繊維シート単層	水平せん断	付着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE E 543	連続繊維シートとコンクリートとの付着試験方法（案）	e)
				ひび割れあり	N/mm^2	——		
		引き剥がし	接着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE E 545	連続繊維シートとコンクリートとの接着試験方法（案）	f)
				ひび割れあり	N/mm^2	——		
			引裂強さ		N/mm^2	——		
		押抜き	最大荷重		N	JSCE K 533	コンクリート片の剥落防止に適用する表面被覆材の押抜き試験方法（案）	g)
			最大荷重時の変位		mm	JSCE K 533	コンクリート片の剥落防止に適用する表面被覆材の押抜き試験方法（案）	
		耐疲労	疲労強度		N/mm^2	——		
		耐水	強度保持率	付着強度	%	JSCE E 549	連続繊維シートの耐水，耐酸，耐アルカリ試験方法（案）	
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	付着強度	%	JSCE E 549	連続繊維シートの耐水，耐酸，耐アルカリ試験方法（案）	
	c.2 コンクリート面 ＋プライマー ＋パテ ＋連続繊維シート複層	水平せん断	付着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE E 543	連続繊維シートとコンクリートとの付着試験方法（案）	e)
				ひび割れあり	N/mm^2	——		
		引き剥がし	接着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE E 545	連続繊維シートとコンクリートとの接着試験方法（案）	f)
				ひび割れあり	N/mm^2	——		
			引裂強さ		N/mm^2	——		
		押抜き	最大荷重		N	JSCE K 533	コンクリート片の剥落防止に適用する表面被覆材の押抜き試験方法（案）	g)
			最大荷重時の変位		mm	JSCE K 533	コンクリート片の剥落防止に適用する表面被覆材の押抜き試験方法（案）	
		耐疲労	疲労強度		N/mm^2	——		
		耐水	強度保持率	付着強度	%	JSCE E 549	連続繊維シートの耐水，耐酸，耐アルカリ試験方法（案）	
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	付着強度	%	JSCE E 549	連続繊維シートの耐水，耐酸，耐アルカリ試験方法（案）	
	c.3 連続繊維シート（FRP） ＋仕上げ材	水平せん断	付着強度	ひび割れなし	N/mm^2	——		
				ひび割れあり	N/mm^2	——		
		引き剥がし	接着強度	ひび割れなし	N/mm^2	——		
				ひび割れあり	N/mm^2	——		
		押抜き	最大荷重		N	JSCE K 533	コンクリート片の剥落防止に適用する表面被覆材の押抜き試験方法（案）	g)
			最大荷重時の変位		mm	JSCE K 533	コンクリート片の剥落防止に適用する表面被覆材の押抜き試験方法（案）	
		耐疲労	疲労強度		N/mm^2	——		
		耐水	強度保持率	付着強度	%	——		
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	付着強度	%	——		



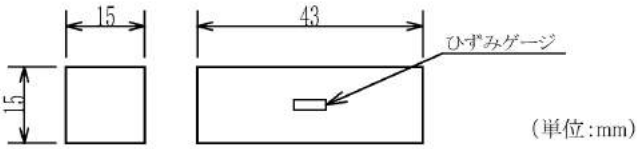
a）連続繊維シート引張試験　供試体の形状（A形およびB形）
JIS A 1191及びJSCE-E-541



b）連続繊維シート接手試験　供試体の形状（A形およびB形）
JSCE-E-542



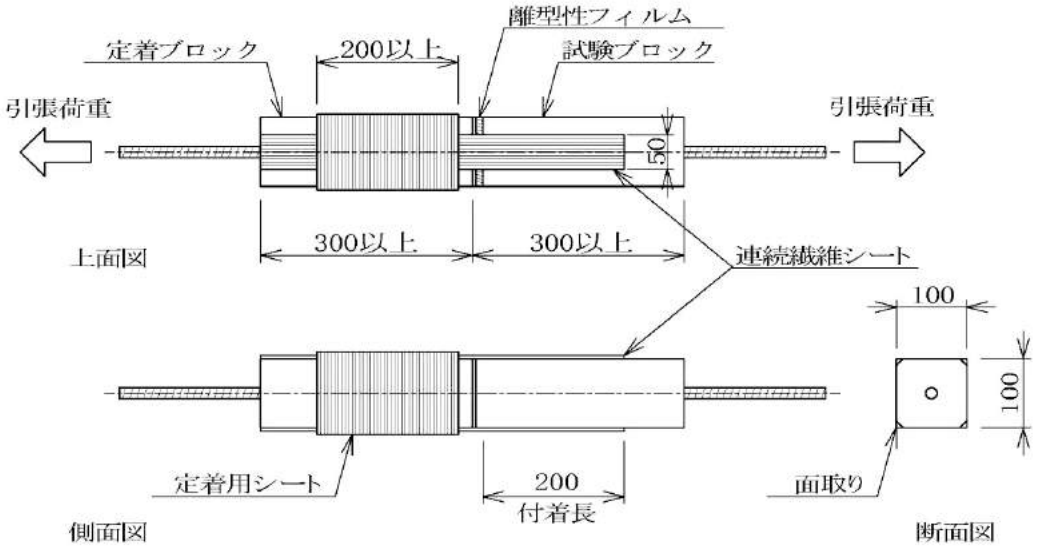
c）プラスチックの引張試験　供試体の形状
JIS K 7161



※ 本圧縮試験は旧JIS K 7208に準拠した形状になっているが，JIS K 7181の角柱で座屈しない条件を満たす．

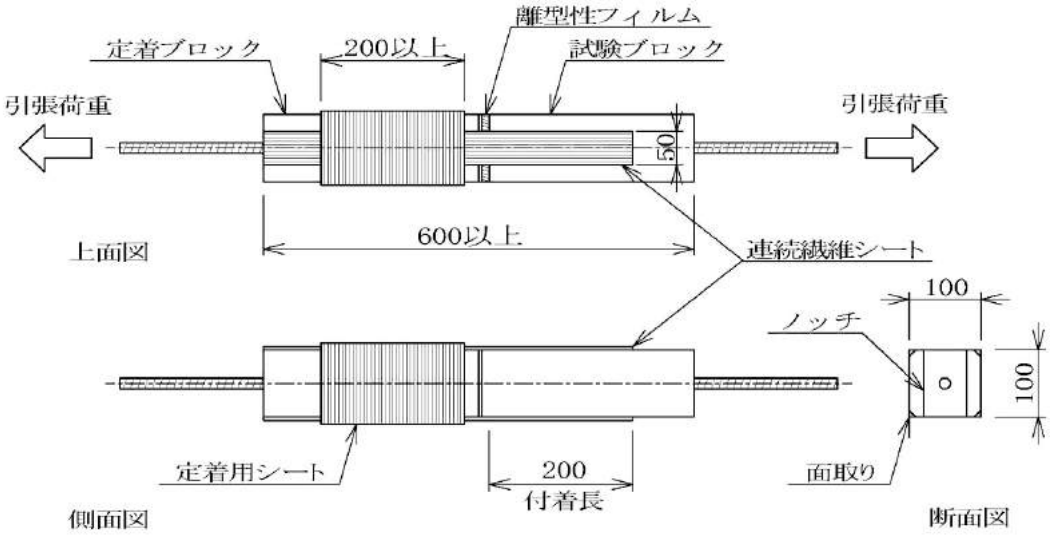
d）プラスチックの圧縮試験　供試体の形状
旧JIS K 7208およびJIS K 7181

図-2.1.1　供試体及び試験方法



（単位：mm）

A形供試体〔分離型〕

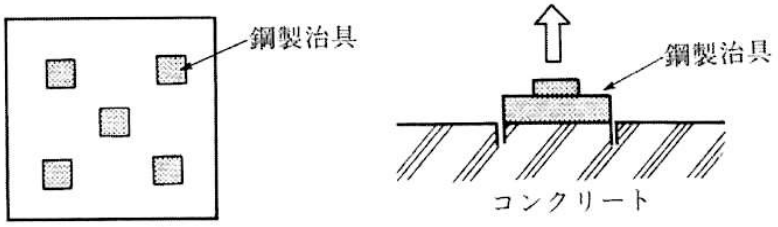


（単位：mm）

B形供試体〔一体型〕

e）連続繊維シートとコンクリートとの付着強度試験　供試体形状
JSCE-E-543

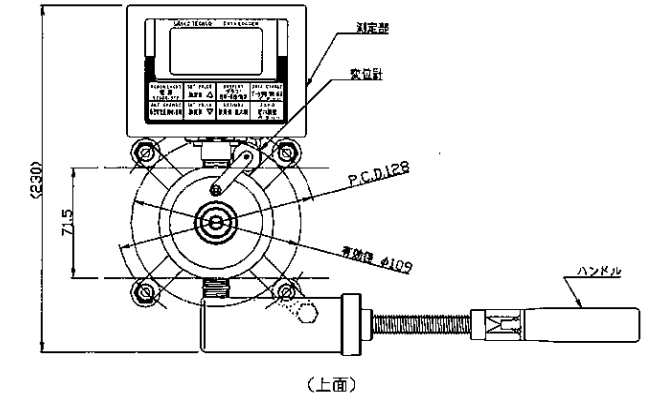
図-2.1.1　供試体及び試験方法（続き）

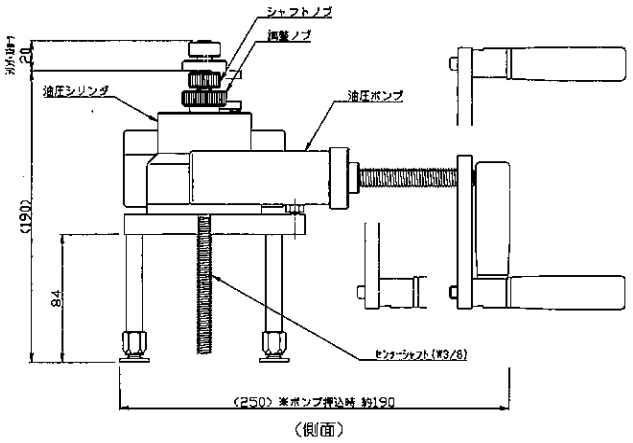


供試体と鋼製治具の取付け

破壊形態による分類

記号	破壊形態
MF	コンクリートの破壊
IF	界面破壊
SF	連続繊維シートの破壊



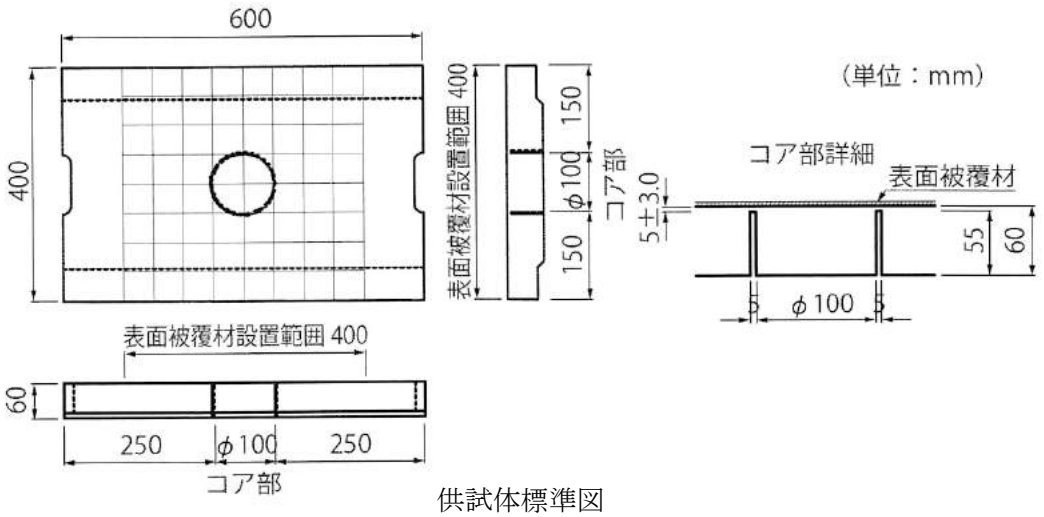


建研式接着試験器の例

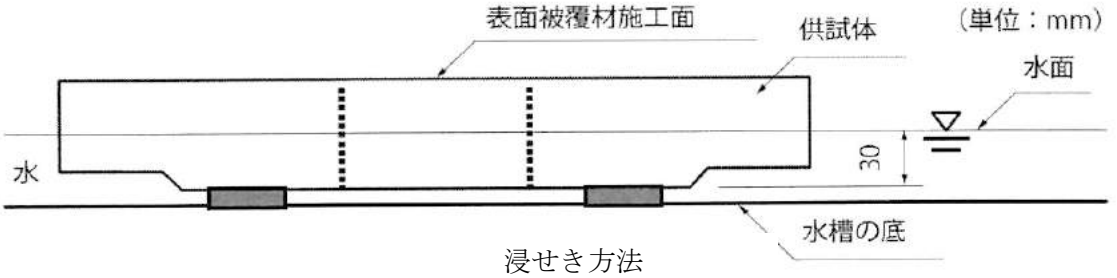
（単位：mm）

f）連続繊維シートとコンクリートとの接着強度試験
JSCE-E-545

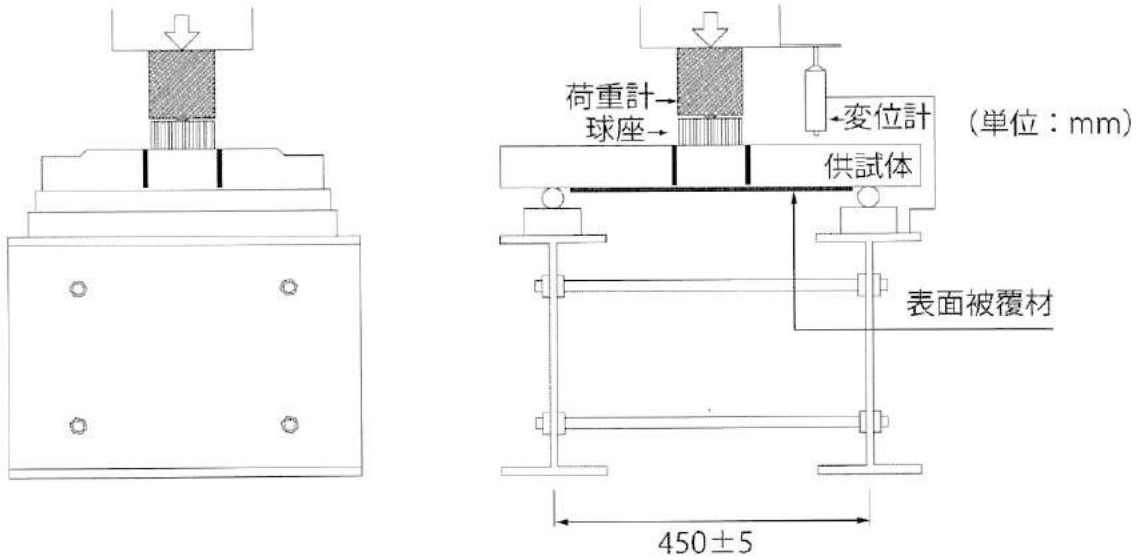
図-2.1.1　供試体及び試験方法（続き）



供試体標準図



浸せき方法



g）供試設置概要および押抜き試験の載荷要領例
JSCE-K-533

図-2.1.1　供試体及び試験方法（続き）

2.1.2　試験結果に基づく各パラメータの計算方法

(1)　連続繊維シート

前項にまとめた試験方法のうち，連続繊維シートのせん断弾性係数の検討に関連する項目について，主要なパラメータの計算方法を表-2.1.2 にまとめた.

連続繊維シートのせん断弾性係数は，JIS A 1191「コンクリート補強用連続繊維シートの引張試験方法」では規定されていない．また，1988 年制定の JIS K 7073「炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法」では，ポアソン比の測定，算出方法が規定されていたが，2008 年に廃版となっている．さらに，アラミド繊維強化プラスチックが対象ではなかった.

連続繊維シートの引張試験の他にも，JIS K 7019「繊維強化プラスチックー±45°引張試験による面内せん断特性の求め方」及び JIS K 7021「繊維強化プラスチックー平板ねじり法による面内せん断弾性率の求め方」についても試験を行い，連続繊維シートのせん断弾性係数を求めた.

(2)　樹脂

樹脂単体のせん断弾性係数は，JIS K 7161-1「プラスチックー引張特性の求め方ー第 1 部 : 通則」及び JIS K 7181「プラスチックー圧縮特性の求め方」に弾性係数，ポアソン比の求め方が示されているので，これらの値からせん断弾性係数を求めることができる．弾性係数は，JIS K 7170「プラスチックー設計データの取得及び提示のための指針」を参照して算出した．ポアソン比を求めるために，二軸方向にひずみゲージを貼り付けて試験を行った．ポアソン比の算出方法は，JIS K 7161-1 の附属書に示されているひずみ範囲から計算することができる.

表-2.1.2　連続繊維補強材及び材料の試験方法及び計算方法

材料	試験方法の規格番号	試験方法の規格名称	試験項目	計算方法
連続繊維シート	JIS A 1191 2004年	コンクリート補強用連続繊維シートの引張試験方法	引張強度	**7.3　引張強度**　引張強度f_uは，次式によって計算し，四捨五入して有効数字3けたに丸める。 $f_u = \frac{F_u}{A_s}$ ここに，f_u ： 引張強度（N/mm^2） F_u ： 最大引張荷重（N） A_s ： 試験片の断面積（mm^2）
	JIS A 1191 2004年	コンクリート補強用連続繊維シートの引張試験方法	弾性係数	**7.4　ヤング係数**　ヤング係数Eは，荷重－ひずみ曲線から，最大引張荷重の20％と50％の値を用いて，次式によって計算し，四捨五入して有効数字3けたに丸める。 $E = \frac{\Delta F}{\Delta\varepsilon \times A_s}$ ここに，E ： ヤング係数（N/mm^2） ΔF ： 最大引張荷重の20％と50％における2点間の荷重差（N） $\Delta\varepsilon$ ： 最大引張荷重の20％と50％におけるひずみの差 A_s ： 試験片の断面積（mm^2）
	JIS K 7073 1988年（廃版）	炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法	ポアソン比	**8.4　ポアソン比**　ポアソン比μ_tは，引張弾性率の計算で用いた荷重の増加分ΔP又は応力の増加分$\Delta\sigma$によって生じる荷重方向のひずみの増加分$\Delta\varepsilon_1$及び直角方向のひずみの増加分$\Delta\varepsilon_2$を読み取り，次式によって算出する。 $\mu_t = \frac{\Delta\varepsilon_2}{\Delta\varepsilon_1}$ ここに，μ_t ： ポアソン比 $\Delta\varepsilon_1$ ： 引張方向のひずみの増加分 $\Delta\varepsilon_2$ ： 引張方向に直角方向のひずみの増加分 **8.5**　引張強さ，引張弾性率及び引張最大ひずみに関する各試験結果は，個々に算出して，その結果の平均値をJIS Z 8401（数値の丸め方）によって有効数字3けたに丸める。ポアソン比は，有効数字2けたに丸める。

注）JIS A 1191 2004年には、ポアソン比の計算方法の記述無
　　ひずみゲージの貼付は引張方向のみ記述されている

表-2.1.2　連続繊維補強材及び材料の試験方法及び計算方法（続き）

材料	試験方法の規格番号	試験方法の規格名称	試験項目	計算方法
連続繊維シート	JIS K 7019	繊維強化プラスチック－±45°引張試験による面内せん断特性の求め方	せん断強度	**10.2　面内せん断強さ**　面内せん断強さτ_{12M}は次式によって算出し，結果をMPaで表示する。 $\tau_{12M} = \frac{F_m}{2 \cdot b \cdot h}$ ここに，τ_{12M} ： 面内せん断強さ（MPa） F_m ： 破壊したときの荷重(N)，又は破壊前に終了した場合は γ_{12}=0.05のときの荷重(N) b ： 試験片の幅（mm） h ： 試験片の厚さ(mm)
	JIS K 7019	繊維強化プラスチック－±45°引張試験による面内せん断特性の求め方	せん断弾性係数	**10.4　面内せん断弾性率**　面内せん断弾性率 G_{12}は次式によって算出し，結果をMPaで表示する。 $G_{12} = \frac{\tau_{12}'' - \tau_{12}'}{\gamma_{12}'' - \gamma_{12}'}$ ここに，G_{12} ： 面内せん断弾性率（MPa） τ_{12}' ： γ_{12}'= 0.001のときのせん断応力 τ_{12}'' ： γ_{12}''= 0.005のときのせん断応力
	JIS K 7021	繊維強化プラスチック－平板ねじり法による面内せん断弾性率の求め方	せん断弾性係数	**10.1　面内せん断弾性率**　たわみw_1及びw_2に対応する荷重F_1及びF_2を求める。(図5参照) 標準の試験片に対して，面内せん断弾性率を次の式によって計算する。 $G_{12} = \frac{3}{4} \times \frac{\Delta a' a'' K}{1000 h^3}$ ここに，G_{12} ： 面内せん断弾性率（MPa） Δ ： $\Delta = \frac{F_2 - F_1}{w_2 - w_1}$ a', a" ： 各方向の平均の幅(mm) h ： 平均の厚さ(mm) K ： 形状補正係数（=0.822） w_1，w_2 ： たわみ（w_1=0.1h，w_2=0.3h） F_1，F_2 ： 対応する荷重（N） 備考　スパンの対角線に対する比が0.95以外のときには，係数Kは次の式によって計算する。 $K = 3s^2 - 2s - 2(1-s)^2 \ln(1-s)$ ここに，s ： $s = \frac{S}{D}$ S： スパンの平均値（mm） D： 対角線の長さ（mm）

表-2.1.2　連続繊維補強材及び材料の試験方法及び計算方法（続き）

材料	試験方法の規格番号	試験方法の規格名称	試験項目	計算方法
プライマーパテ含浸樹脂	JIS K 7161-1	プラスチック－引張特性の求め方－第1部：通則	引張強度	**10.1　応力**　　**3.6**で定義した応力の値は，次式によって算出する。 $\sigma = \frac{F}{A}$ ここに，　σ ： 応力 (MPa) F ： 推定した力 (N) A ： 試験片の初めの断面積 (mm^2) x%ひずみ引張応力のxの値は，関連する製品規格又は受渡当事者間の合意による.
	JIS K 7161-1	プラスチック－引張特性の求め方－第1部：通則	引張弾性係数	**10.3　弾性率** **10.3.1　一般** **3.9**に定義した弾性率は，2点から求める傾き又は回帰直線による傾きいずれかで算出する. **10.3.2　2点から求める傾き** 弾性率は，2点の規定したひずみの値を基に，次式によって算出する. $E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$ ここに，　E_t ： 弾性率 (MPa) σ_1 ： ε_1=0.0005(0.05%)において測定される応力(MPa) σ_2 ： ε_2=0.0025(0.25%)において測定される応力(MPa) **10.3.3　回帰直線による傾き** コンピュータを用いる場合は，応力／ひずみ曲線の弾性率測定のひずみ範囲内で，線形回帰を適用して弾性率E_tを求めることができる.
	JIS K 7181	プラスチック－圧縮特性の求め方	圧縮降伏強度	**10.1　圧縮応力**　　**3.3**で定義した圧縮応力の値は，次式によって算出する。 $\sigma = \frac{F}{A}$ ここに，　σ ： 圧縮応力 (MPa) F ： 圧縮力 (N) A ： 応力をかける前の試験片の断面積 (mm^2)
	JIS K 7181	プラスチック－圧縮特性の求め方	圧縮弾性係数	**10.3　圧縮弾性率**　　**10.2.1**で得られた，二つの規定した圧縮ひずみ値及びそれぞれに対応した圧縮応力に基づいて，**3.13**で定義した圧縮弾性率の値は，次式によって算出する。 $E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$, ここに，　E_c ： 圧縮弾性率 (MPa) σ_1 ： ε_1=0.0005において測定される圧縮応力(MPa) σ_2 ： ε_2=0.0025において測定される圧縮応力(MPa) コンピュータ処理機能付き装置では，二つの規定した圧縮応力及び圧縮ひずみ点を用いた圧縮弾性率Ecの測定は，これらの点の間の曲線部の線形回帰法を適用することができる。

注）JIS K 7181には、ポアソン比の計算方法の記述無

表-2.1.2　連続繊維補強材及び材料の試験方法及び計算方法（続き）

<table>
<tr><th>材料</th><th>試験方法の規格番号</th><th>試験方法の規格名称</th><th>試験項目</th><th>計算方法</th></tr>
<tr><td rowspan="3">プライマー
パテ
含浸樹脂</td><td>JIS K 7161
-1</td><td>プラスチック
－引張特性の求め方
－第1部：通則</td><td>ポアソン比
（引張）</td><td>

10.4　ポアソン比

応力／ひずみ曲線の降伏点（存在すれば）までの範囲で，標線間の長さの関数として，幅又は厚さをプロットする。試験速度を変化させた箇所は，除外する。

幅（厚さ）の変化／標線間距離（長さ）の変化の曲線から傾き$\Delta n/\Delta L_0$を求める。この傾きは，最小2乗法にて計算する。弾性率測定範囲から試験速度を変化させるまでの間の，できる限り大きめのひずみ範囲で，直線部分を用いるのが望ましい。

附属書Bは，$0.3\% \leq \varepsilon < \varepsilon_y$で測定することを推奨している。

ポアソン比は，式(14)で求める。

$$\mu = \frac{\Delta\varepsilon_n}{\Delta\varepsilon_1} = -\frac{L_0}{n_0}\cdot\frac{\Delta n}{\Delta L_0}$$

ここに，　μ ：ポアソン比（無次元）

$\Delta\varepsilon_n$：直交（幅又は厚さ）方向ひずみの減少割合（無次元の比又は％）

$\Delta\varepsilon_1$：長さ方向のひずみの増加割合（無次元の比又は％）

L_0，n_0：長さ方向及び直交方向の初めの距離（mm）

Δn：直交方向の距離の減少量（mm）

n＝bの場合は幅，n＝hの場合は厚さ。

ΔL_0 ：長さ方向の距離の増加量（mm）

ポアソン比は，直交する方向の測定箇所によって，μ_b（幅方向）又はμ_h（厚さ方向）と記載する。評価した範囲の是非は，ΔnとΔL_0との関係（直交方向と長さ方向との寸法変化）から検証できる。

注記　プラスチックは粘弾性物質であるため，ポアソン比は，測定領域の応力に依存する。したがって，長さ方向に対する幅（厚さ）のプロットは，直線にならない。

</td></tr>
<tr><td>JIS K 7161
-1</td><td>プラスチック
－引張特性の求め方
－第1部：通則</td><td>ポアソン比
（引張）</td><td>

附属書B

（参考）

ポアソン比を求めるための伸び計の精確さ

弾性率を求めるひずみ範囲で，ポアソン比を求めることは，望ましくない。

標線間距離の伸びは，1％の精確さで求める必要がある。弾性率の範囲では，多目的試験片で75mmの標線間距離を用いた場合には，伸び計は，1.5μm の精確さで測定しなければならない（5.1.5及び図2参照）。

一般に，ほとんどの熱可塑性樹脂は，ポアソン比が0.4であり，その数字をポアソン比と仮定すると，長さ方向は，150μm増加し，軸方向は，8μm減少することになる。長さ方向と同じ1％の精確さを得るためには，幅方向は，0.1μm以下（0.08μm）の精確さが必要となり，これは極めて厳しい条件になる。ひずみεを0.3％～1.5％の範囲でポアソン比を求めることにすれば，幅の減少は，50μm程度になり，1％の精確さは，0.5μmになる。

</td></tr>
<tr><td>JIS K 7170</td><td>プラスチック
－設計データの取得及び提示のための指針</td><td>弾性係数
ポアソン比</td><td>

5.3　加工設計用データの取得　表13は，表5～表11に示した，加工シミュレーションに必要なデータを求めるための推奨事項である。

表13　加工設計用に必要なデータの取得のために望ましい試験方法

<table>
<tr><th>特性</th><th>変数</th><th>試験方法</th><th>試験片</th><th>推奨試験条件</th></tr>
<tr><td>E_p及びE_n</td><td>T</td><td>JIS K 7162</td><td>試験片は，ISO 294 5
平板から切り出す．</td><td>試験温度23℃；1mm/min；
0.05~0.25%ひずみ範囲</td></tr>
<tr><td>ν_{pn}及びν_{np}</td><td>－</td><td>JIS K 7162</td><td>試験片は，ISO 294 5
平板から切り出す．</td><td>試験温度23℃；1mm/min；
0.05~0.25%ひずみ範囲　注(14)</td></tr>
</table>

(14)　ポアソン比ν_{pn}は，応力－ひずみ曲線の直線部分で測定する。

ポアソン比ν_{np}は，次の式で計算できる。

$$\nu_{np} = \nu_{pn}\cdot E_n/E_p$$

</td></tr>
</table>

2.2　各機関の規格等

連続繊維シート及び構成する材料規格については，各機関の規格を調査して，表-2.2.1 に使用材料の規格値をまとめた.

連続繊維シートについては，強度特性は規定されており，一部の機関では耐候性についても規格が定められている．含浸樹脂については，引張強度や曲げ強度が規定されているが，プライマーとパテについては，樹脂単体の強度特性は規定されていない. 界面については, ほぼ全ての機関が接着強度のみを規定している. しかし，せん断弾性係数については，ポアソン比を含めて規定されていない.

表-2.2.1　使用材料の規格値一覧

材料名		性能／特性	材料特性				関東地整（耐震補強）[4]	NEXCO（耐震補強）[5]	首都高（床版補強）[6]	炭素補強（鉄道耐震）[7]	炭素補強（道路橋全般）[8]	アラミド補強（鉄道耐震）[9]	アラミド補強（道路橋耐震）[10]
			指標		単位	規格	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値
a.　シート	a.1　炭素繊維シート(FRP)	質量	繊維目付量		g/m^2	JIS	200～600	————	EA=96kN/mm以上となる目付量	設計に用いた繊維目付以上	200, 300	————	————
		引張	引張強度	単層	N/mm^2	JIS	3,500	3,400	2,400	設計に用いた引張強度の特性値 f_{CFuk}以上	1,900～3,400	————	————
				複層	N/mm^2		————	————	————	————	————	————	————
			弾性係数	単層	N/mm^2	JIS	————	245,000±36,000	351～484	2.35+0.4/-0.2 x10^6kgf/cm^2	245,000～640,000	————	————
				複層	N/mm^2		————	————	————	————	————	————	————
		伸び			%	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		接合	継手強度		N/mm^2	JSCE	————	3,400	2,400	————	1,900～3,400	————	————
		耐疲労	疲労強度	母材	N/mm^2	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
				継手	N/mm^2		————	————	————	————	————	————	————
		耐候	引張強度		N/mm^2	JSCE	————	2000時間の促進暴露後，著しく低下しないこと	————	————	————	————	————
			接着強度		N/mm^2	JSCE	————		————	————	————	————	————
		耐凍結融解	強度保持率	引張強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
				継手強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐水	強度保持率	引張強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
				継手強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	引張強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
				継手強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
	a.2　アラミド繊維シート(FRP)	質量	繊維目付量	アラミド－1	g/m^2	JIS	280～830	————	————	————	————	280～830	280～830
				アラミド－2	g/m^2	JIS	235～700	————	————	————	————	235～700	235～700
		引張	引張強度	単層アラミド－1	N/mm^2	JIS	2,100	————	————	————	————	2,060	2,060
				単層アラミド－2	N/mm^2	JIS	2,400	————	————	————	————	2,350	2,350
				複層アラミド－1	N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
				複層アラミド－2	N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
			弾性係数	単層アラミド－1	N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	118,000±15,000	118,000±20,000
				単層アラミド－2	N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	78,000±15,000	78,000±20,000
				複層アラミド－1	N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
				複層アラミド－2	N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		伸び		アラミド－1	%	JIS	————	————	————	————	————	————	1.8
				アラミド－2	%	JIS	————	————	————	————	————	————	3.0
		接合	継手強度		N/mm^2	JSCE	————	————	————	————	————	2,060	2,060
		耐疲労	疲労強度	母材	N/mm^2	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
				継手	N/mm^2		————	————	————	————	————	————	————
		耐候	引張強度		N/mm^2	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
			接着強度		N/mm^2	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐凍結融解	強度保持率	引張強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
				継手強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐水	強度保持率	引張強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
				継手強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	引張強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
				継手強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————

表-2.2.1　使用材料の規格値一覧（続き）

材料名		性能／特性	材料特性				関東地整（耐震補強）[4]	NEXCO（耐震補強）[5]	首都高（床版補強）[6]	炭素補強（鉄道耐震）[7]	炭素補強（道路橋全般）[8]	アラミド補強（鉄道耐震）[9]	アラミド補強（道路橋耐震）[10]
			指標		単位	規格	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値
b.　樹脂	b.1 プライマー	質量	比重			JIS	————	※1	————	0.85～1.30	————	0.85～1.25	0.85～1.25
		引き剥がし	接着強度		N/mm^2	JSCE	————	1.5	1.5	※2	0.2 x $f_{ck}^{2/3}$以上	1.5	————
		引張	引張強さ		N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
			引張弾性率		N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		伸び			%	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率		%		————	————	————	————	————	————	————
		施工	可使時間		時間		————	※1	————	————	————	※3	————
			粘度				————	※1	————	————	————	※3	※4
	b.2　パテ	質量	比重			JIS	————	※1	————	————	————	————	————
		引き剥がし	接着強度		N/mm^2	JSCE	————	1.5	1.5	※2	0.2 x $f_{ck}^{2/3}$以上	※5	1.5
		圧縮	圧縮強度		N/mm^2	JIS	————	※1	35	————	コンクリートの設計基準強度以上	————	————
			圧縮弾性係数		N/mm^2	JIS	————	※1	1.0×10^3	————	1,000 ～ 4,000	————	————
		引張せん断	引張せん断接着強さ		N/mm^2	JIS	————	※1	9.8	————	9.8	————	————
		伸び			%	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率		%		————	————	————	————	————	————	————
		施工	可使時間		時間		————	————	————	————	————	————	————
	b.3　含浸樹脂	質量	比重			JIS	————	※1	————	1.0～1.3	————	1.0～1.3	1.0～1.3
		引張	引張強さ		N/mm^2	JIS	————	29	29	300kgf/cm^2以上	29	29	29
			引張弾性率		N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		曲げ	曲げ強さ		N/mm^2	JIS	————	39	39	400kgf/cm^2以上	39	39	39
		水平せん断	引張せん断接着強さ		N/mm^2	JIS	————	9.8	9.8	100kgf/cm^2以上	9.8	9.8	9.8
		伸び			%	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率		%		————	————	————	————	————	————	————
		施工	可使時間		時間		————	※1	————	————	————	※3	0.3
			粘度				————	※1	————	————	————	※3	※4
c.　界面	c.1 コンクリート面 ＋プライマー ＋パテ ＋連続繊維シート単層	水平せん断	付着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE	————	————	————	100kgf/cm^2以上	————	————	————
				ひび割れあり	N/mm^2		————	————	————	※2	————	————	————
		引き剥がし	接着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE	————	1.5	1.5	※2	0.2 x $f_{ck}^{2/3}$以上	※5	1.5
				ひび割れあり	N/mm^2		————	————	————	————	————	————	————
			引裂強さ		N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		押抜き	最大荷重		N	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
			最大荷重時の変位		mm	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐疲労	疲労強度		N/mm^2		————	————	————	————	————	————	————
		耐水	強度保持率	付着強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	付着強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
	c.2 コンクリート面 ＋プライマー ＋パテ ＋連続繊維シート複層	水平せん断	付着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE	————	————	————	100kgf/cm^2以上	————	————	————
				ひび割れあり	N/mm^2		————	————	————	※2	————	————	————
		引き剥がし	接着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE	————	————	————	※2	————	————	————
				ひび割れあり	N/mm^2		————	————	————	————	————	————	————
			引裂強さ		N/mm^2	JIS	————	————	————	————	————	————	————
		押抜き	最大荷重		N	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
			最大荷重時の変位		mm	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐疲労	疲労強度		N/mm^2		————	————	————	————	————	————	————
		耐水	強度保持率	付着強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————
		耐酸・耐アルカリ	強度保持率	付着強度	%	JSCE	————	————	————	————	————	————	————

表-2.2.1　使用材料の規格値一覧（続き）

材料名		性能／特性	材料特性				関東地整（耐震補強）[4]	NEXCO（耐震補強）[5]	首都高（床版補強）[6]	炭素補強（鉄道耐震）[7]	炭素補強（道路橋全般）[8]	アラミド補強（鉄道耐震）[9]	アラミド補強（道路橋耐震）[10]
			指標		単位	規格	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値
	c.3 コンクリート面 ＋プライマー ＋パテ ＋連続繊維シート複層 ＋仕上げ材	水平せん断	付着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE	――――	――――	――――	$100kgf/cm^2$以上	――――	――――	――――
				ひび割れあり	N/mm^2		――――	――――	――――	※2	――――	――――	――――
		引き剥がし	接着強度	ひび割れなし	N/mm^2	JSCE	――――	1.0	1.0	※2	1.0	――――	――――
				ひび割れあり	N/mm^2		――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
		押抜き	最大荷重		N	JSCE	――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
			最大荷重時の変位		mm	JSCE	――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
		耐疲労	――――				――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
		耐水	――――				――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
		耐酸・耐アルカリ	――――				――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
d.　その他	d.1 仕上げ塗料	引き剥がし	仕上げ材A	厚さ1mm	N/mm^2		――――	1.0	――――	――――	――――	――――	――――
			仕上げ材B	厚さ10mm	N/mm^2		――――	1.0	――――	――――	――――	――――	――――
		硬さ	鉛筆硬度			JIS	――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
			クロスカット			JIS	――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
		曲げ	屈曲			JIS	――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
		施工	可使時間		時間		――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
e.　施工	施工時の条件	施工時の温度			℃		――――	5℃以上	5℃以上	――――	5℃以上	5℃以上	5℃以上
		養生時の温度			℃		――――	5℃以上	5℃以上	――――	5℃以上	5℃以上	5℃以上
		施工時の表面水率			%		――――	――――	10%以下	――――	10%以下	表面は乾燥していること	8%未満
		施工時の湿度			%		――――	85%以下	85%以下	――――	85%以下	――――	――――
		施工時の振動					――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――
		養生時の振動					――――	――――	――――	――――	――――	――――	――――

注意事項

※1 物性について確認することが望ましいとされていた.（2016年版）

※2 補強対象コンクリートの引張強度の特性値f_{uk}の1.5倍以上(ただし，f_{uk}が試験によって得られない場合には，$f_{uk}=0.5f'_{ck}{}^{2/3}$としてよい)

※3 可使時間，粘度は施工条件などを考慮して十分に性能を発揮できるものを選択する.

※4 施工条件等を考慮して十分に機能を発揮できるものとする.

※5 補強対象コンクリートの引張強度以上

３．連続繊維シートのせん断弾性係数に関する試験

3 章では表-3.1 に示す試験について，JIS に記載されていない点がわかるように，試験方法の補足を示すとともに試験結果をまとめた.

表-3.1　実施した試験の一覧表

<table>
<tr><th colspan="2">試験項目</th><th colspan="2">材料</th><th>アウトプット</th></tr>
<tr><td rowspan="6">連続繊維シート
物性試験</td><td rowspan="2">引張試験</td><td rowspan="6">連続繊維
シート</td><td>炭素繊維</td><td rowspan="2">引張強度　弾性係数
ポアソン比</td></tr>
<tr><td>アラミド繊維</td></tr>
<tr><td rowspan="2">面内
せん断試験</td><td>炭素繊維</td><td rowspan="2">せん断強度
せん断弾性係数</td></tr>
<tr><td>アラミド繊維</td></tr>
<tr><td rowspan="2">平板ねじり
試験</td><td>炭素繊維</td><td rowspan="2">せん断弾性係数</td></tr>
<tr><td>アラミド繊維</td></tr>
<tr><td rowspan="12">樹脂
物性試験</td><td rowspan="6">引張試験</td><td rowspan="2">プライマー</td><td>炭素用</td><td rowspan="6">引張強度　弾性係数
ポアソン比
せん断弾性係数</td></tr>
<tr><td>アラミド用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">パテ</td><td>炭素用</td></tr>
<tr><td>アラミド用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">含浸樹脂</td><td>炭素用</td></tr>
<tr><td>アラミド用</td></tr>
<tr><td rowspan="6">圧縮試験</td><td rowspan="2">プライマー</td><td>炭素用</td><td rowspan="6">圧縮強度　弾性係数
ポアソン比
せん断弾性係数</td></tr>
<tr><td>アラミド用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">パテ</td><td>炭素用</td></tr>
<tr><td>アラミド用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">含浸樹脂</td><td>炭素用</td></tr>
<tr><td>アラミド用</td></tr>
<tr><td rowspan="2">平板ねじり
試験</td><td rowspan="2">含浸樹脂</td><td>炭素用</td><td rowspan="2">せん断弾性係数</td></tr>
<tr><td>アラミド用</td></tr>
</table>

3.1　使用材料

表-3.1 に示す試験で使用した材料は下記のとおりである.

炭素繊維シート　UT70-60S　目付：600g/㎡

炭素繊維シート用樹脂材料

プライマー	AUP40（冬用）	Lot No.	17J18
パテ	AUF60（冬用）	Lot No.	17J19
含浸樹脂	AUR80（冬用）	Lot No.	17J16

アラミド繊維シート　AK-120　目付：830g/㎡

アラミド繊維シート用樹脂材料

プライマー	E810L（冬用）	Lot No.	主剤：171222CA	硬化剤：171222AA
パテ	E395（冬用）	Lot No.	主剤：18026LA	硬化剤：18025KB
含浸樹脂	E2500（冬用）	Lot No.	主剤：17122FD	硬化剤：17122PA

(1) 炭素繊維シート

炭素繊維シートを写真-3.1.1 に示す．また，使用した炭素繊維シート及び樹脂のミルシートの試験値を社内規格値とともに表-3.1.1 に示す.

使用した炭素繊維シートは一方向高強度型を用い，強度が 3400N/mm^2 で弾性率が 245000N/mm^2，目付が 600g/㎡，設計厚が 0.333mm のものを用いた.

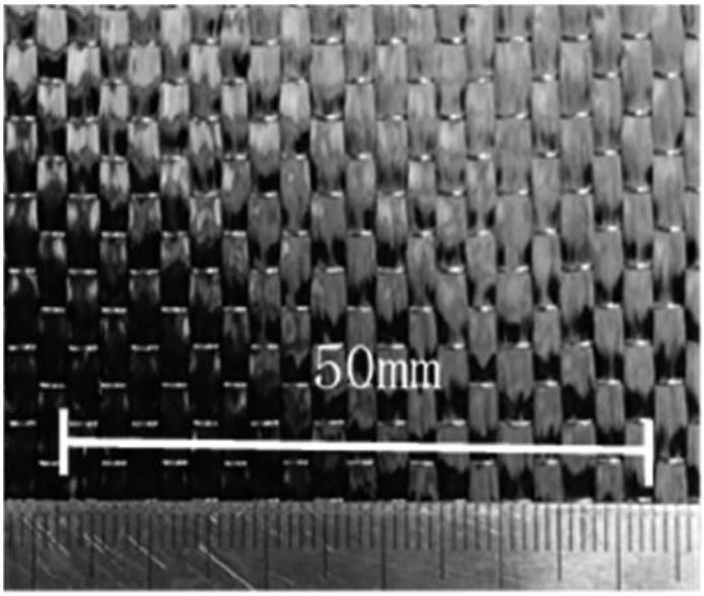


写真-3.1.1　樹脂含浸前の炭素繊維シート

表-3.1.1　炭素繊維シート及び炭素繊維シート用樹脂一覧

品　名　：　炭素繊維シート（1方向）
品　番　：　UT70-60S
Lot No.　：　HA14J1

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
繊維目付量	JIS R 7602	g/㎡	634	600以上
引張強度	JSCE-E-541	N/mm^2	4218	3400以上
ヤング係数	JSCE-E-541	N/mm^2	243000	245000±36000

品　名　：　プライマー
品　番　：　AUP40（冬用）
Lot No.　：　17J18

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
接着強度	JIS A 6909	N/mm^2	4.5	1.5 以上

品　名　：　パテ
品　番　：　AUF60（冬用）
Lot No.　：　17J19

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
接着強度	JIS A 6909	N/mm^2	4.8	2.0 以上

品　名　：　含浸樹脂
品　番　：　AUR80（冬用）
Lot No.　：　17J16

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
引張強度	JIS K 7161	N/mm^2	57.5	30 以上
曲げ強度	JIS K 7171	N/mm^2	82.5	40 以上
引張せん断強度	JIS K 6850	N/mm^2	19.5	10 以上

(2) アラミド繊維シート

アラミド繊維シートを写真-3.1.2 に示す．また，使用したアラミド繊維シート及び樹脂のミルシートの試験値を社内規格値とともに表-3.1.2 に示す.

使用したアラミド繊維シートは, 高弾性型を用い,強度が 2060N/mm^2 で弾性率が 118000N/mm^2,目付が 830g/㎡，設計厚が 0.572mm のものを用いた.

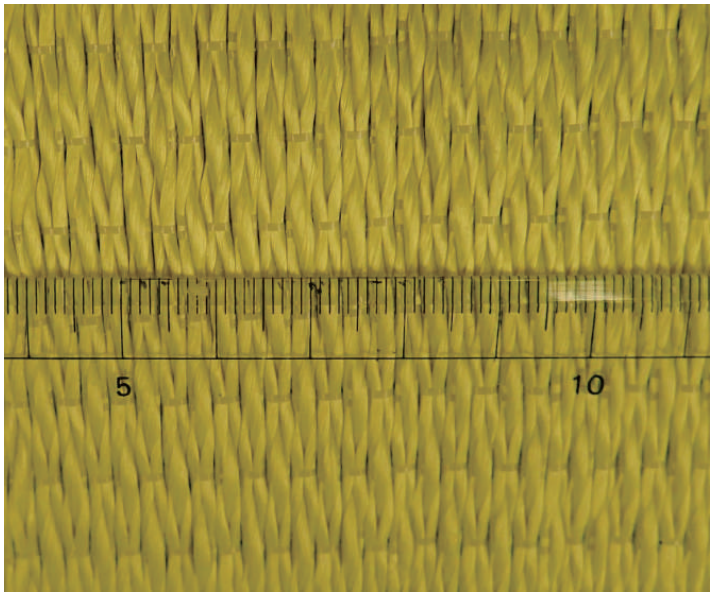


写真-3.1.2　樹脂含浸前のアラミド繊維シート

表-3.1.2　アラミド繊維シート及びアラミド繊維シート用材料一覧

品　名　：　アラミド繊維シート（1方向）
品　番　：　AK-120-10
Lot No.　：　KFS-16T-031

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
繊維目付量	JIS L 1096	g/㎡	889.9	830 以上
引張強度	JIS A 1191	N/mm^2	2170	2060 以上
ヤング係数	JIS A 1191	N/mm^2	127000	118000±20000

品　名　：　アラミド繊維シート（1方向）
品　番　：　AK-120-50
Lot No.　：　KFS-13T-015

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
繊維目付量	JIS L 1096	g/㎡	922.7	830 以上
引張強度	JIS A 1191	N/mm^2	2230	2060 以上
ヤング係数	JIS A 1191	N/mm^2	120000	118000±20000

品　名　：　プライマー
品　番　：　E810LW
Lot No.　：　主剤：171222CA　硬化剤：171222AA

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
接着強度	JIS A 6916	N/mm^2	2.2	1.5 以上

品　名　：　パテ
品　番　：　E395W
Lot No.　：　主剤：18026LA　硬化剤：18025KB

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
接着強度	JIS A 6909	N/mm^2	2.8	1.5 以上

品　名　：　含浸樹脂
品　番　：　E2500W
Lot No.　：　主剤：17122ED　硬化剤：17122PA

名称	試験方法	単位	試験値	規格値
引張強度	JIS K 7161	N/mm^2	52.0	30 以上
曲げ強度	JIS K 7171	N/mm^2	92.0	40 以上
引張せん断強度	JIS K 6850	N/mm^2	26.4	10 以上

アラミド繊維シート　Lot No. KFS-16T-031　：　引張試験，面内せん断試験
Lot No. KFS-13T-015　：　平板ねじり試験

3.2　連続繊維シートの物性試験

3.2.1　引張試験

解析に使用する連続繊維シートの引張強度及び弾性係数を求めるために，引張試験を行った．通常，連続繊維シートの引張試験は JIS A 1191 に準拠して行われるが，本研究では連続繊維シートのポアソン比も解析上重要なファクターと考えられたため，引張強度や弾性係数の他に，試験片を幅広くした試験片にしてポアソン比の測定も行った，

(1) 試験方法

連続繊維シートの引張試験は，JIS A 1191 コンクリート補強用連続繊維シートの引張試験方法に準拠して，炭素繊維シートは東レ株式会社所有の 500kN 万能材料試験機を，アラミド繊維シートはファイベックス株式会社所有の 50kN 万能材料試験機にて試験を行った．

試験片の幅はポアソン比を測定するために基準となる幅を 12.5mm から 25.0mm に変更した．ひずみゲージは片面の軸方向に 1 枚，軸直角方向に 3 枚の計 4 枚を貼り付け，両面で 8 枚貼り付けた．

JIS A 1191 では，A 形試験片と B 形試験片の 2 種類が規定されており，各々の試験片の作成方法は，4.2　試験片の作製に規定されている．A 形試験片の作製方法は既に炭素繊維強化プラスチック用に JIS 化されており，炭素繊維シートの試験片に使用される．B 形試験片は作成の際に両端部の破損した繊維束は取り除き，幅は繊維束の数で規定される．このことは，アラミド補強研究会において既に検討がなされており，アラミド繊維シートの試験片に使用される．

図-3.2.1 に試験片の形状及び寸法を示す．

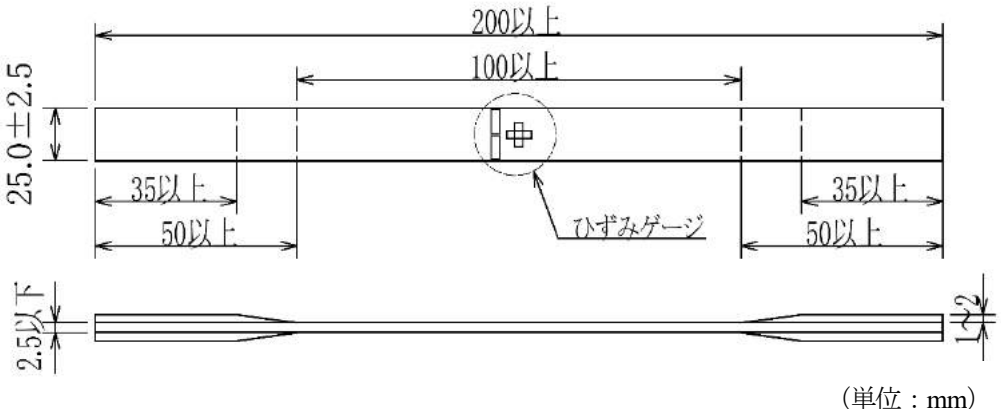


図-3.2.1　試験片の形状及び寸法

引張強度，弾性係数は，JIS A 1191　に従って求めた（表-2.1.2 に示す，以下同様）．ポアソン比の算出については，JIS A 1191 に規定がないため，JIS K 7170 プラスチックー設計データの取得及び提示のための指針に従って，0.1～0.5%ひずみ範囲を使用して求めた．

(2) 試験結果

炭素繊維シートの引張試験結果を表-3.2.1 に示す．なお表内の値は τ_1 より求めた値とする．これは，3 枚のひずみゲージの内，τ_2，τ_3 は試験片の中央から離れており，中央に貼られた τ_1 のひずみと測定値に差があると考えたためである．試験片の破壊様相を写真-3.2.1 に，応力－ひずみの関係を図-3.2.2 に示す．同様に，アラミド繊維シートの引張試験結果を表-3.2.2 に，試験片の破壊様相を写真-3.2.2 に，応力－ひずみの関係を図-3.2.3 に示す．

引張強度及び弾性係数は，炭素繊維シート，アラミド繊維シートともに規格値を満足する結果となった．ポアソン比は, 炭素繊維シートが 0.27, アラミド繊維シートが 0.38 で, 炭素繊維シートの方が小さくなった．

炭素繊維シート及びアラミド繊維シートのポアソン比を求める試験方法として，JIS A 1191 に準拠して試験片の幅を 25mm とする今回の試験方法は，妥当であると考えられる．

表-3.2.1　炭素繊維シート引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	公称厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比
1	24.93	0.333	8.302	36000	4340	226000	0.24
2	25.03	0.333	8.342	37700	4520	235000	0.26
3	25.14	0.333	8.378	31400	3750	237000	0.30
4	25.13	0.333	8.376	34400	4110	235000	0.35
5	25.07	0.333	8.356	34400	4120	237000	0.22
平均値				34800	4170	234000	0.27

注）目付量より求めた厚さの計算値は 0.352mm

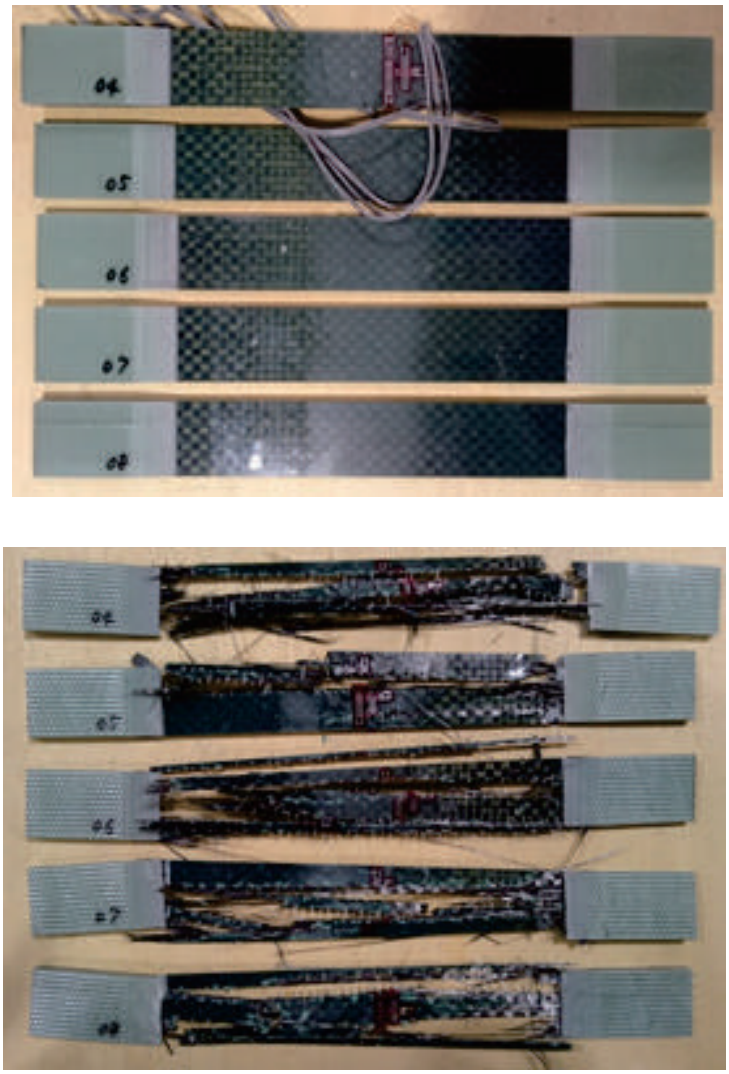


写真-3.2.1　炭素繊維シート試験片の破壊様相

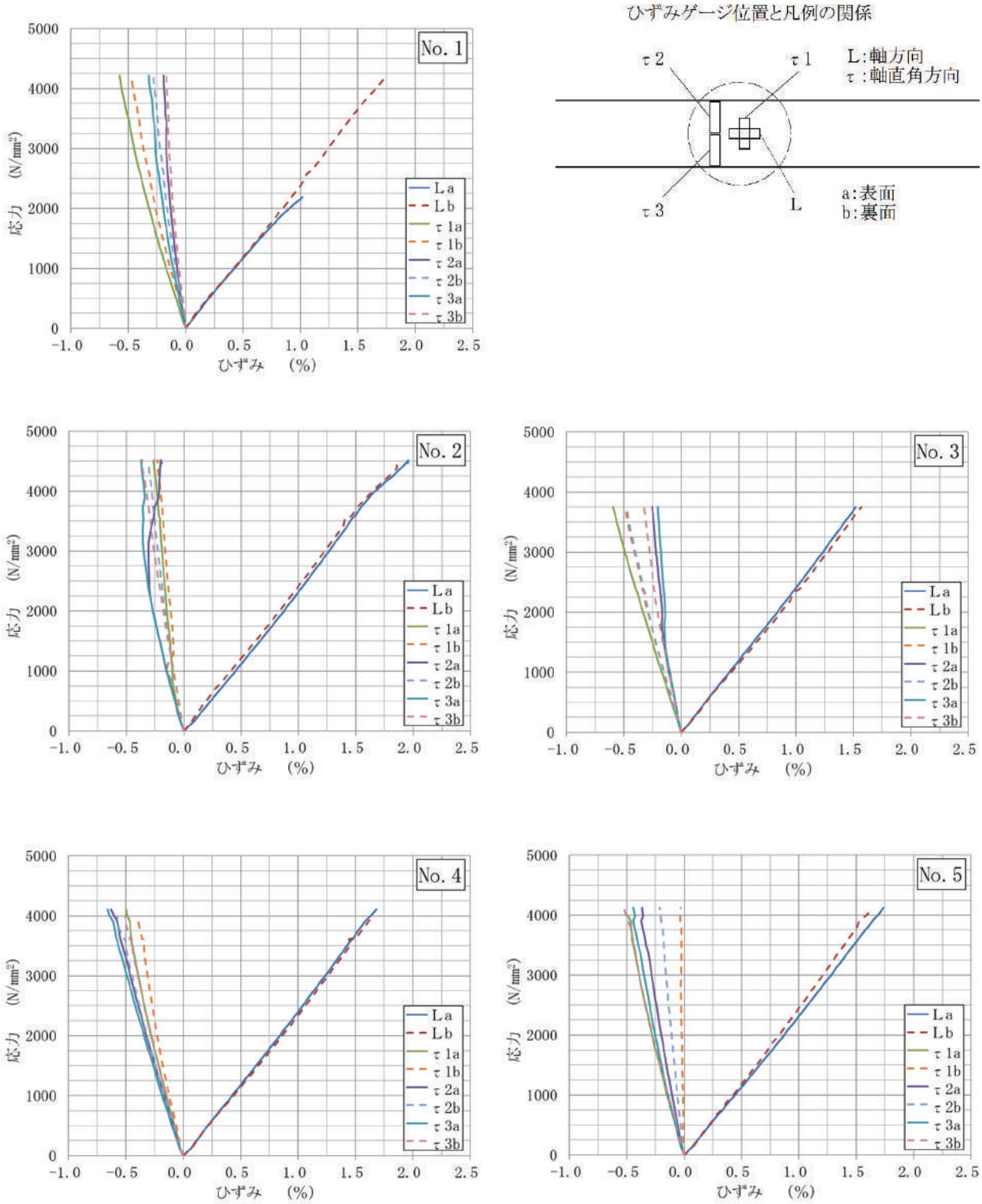
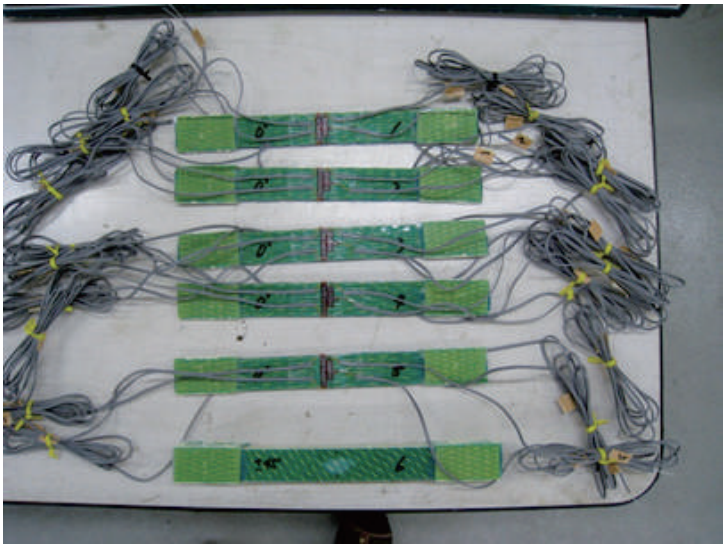


図-3.2.2　炭素繊維シート　応力－ひずみの関係

表-3.2.2　アラミド繊維シート引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	公称厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比
1	22.73	0.572	13.00	32300	2480	111000	0.43
2	22.73	0.572	13.00	33700	2590	106000	0.30
3	22.73	0.572	13.00	32200	2480	109000	0.32
4	22.73	0.572	13.00	32600	2510	113000	0.46
5	22.73	0.572	13.00	31500	2420	109000	0.38
平　均　値				32500	2500	110000	0.38

注）目付量より求めた厚さの計算値は 0.636mm



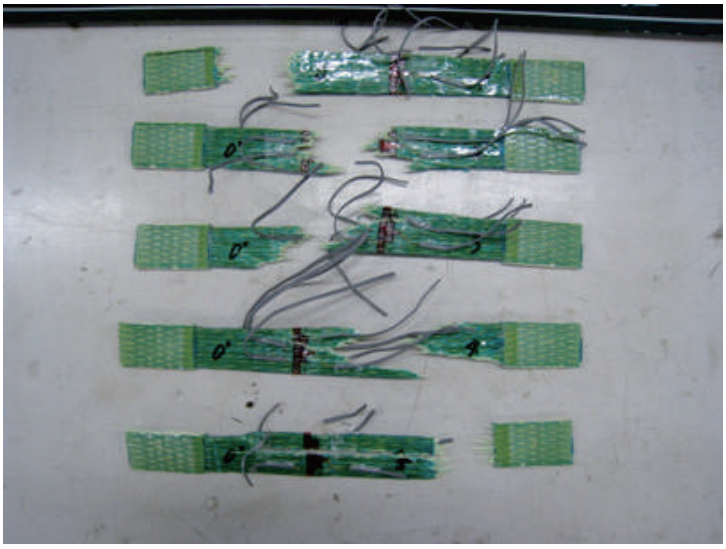


写真-3.2.2　アラミド繊維シート試験片の破壊様相

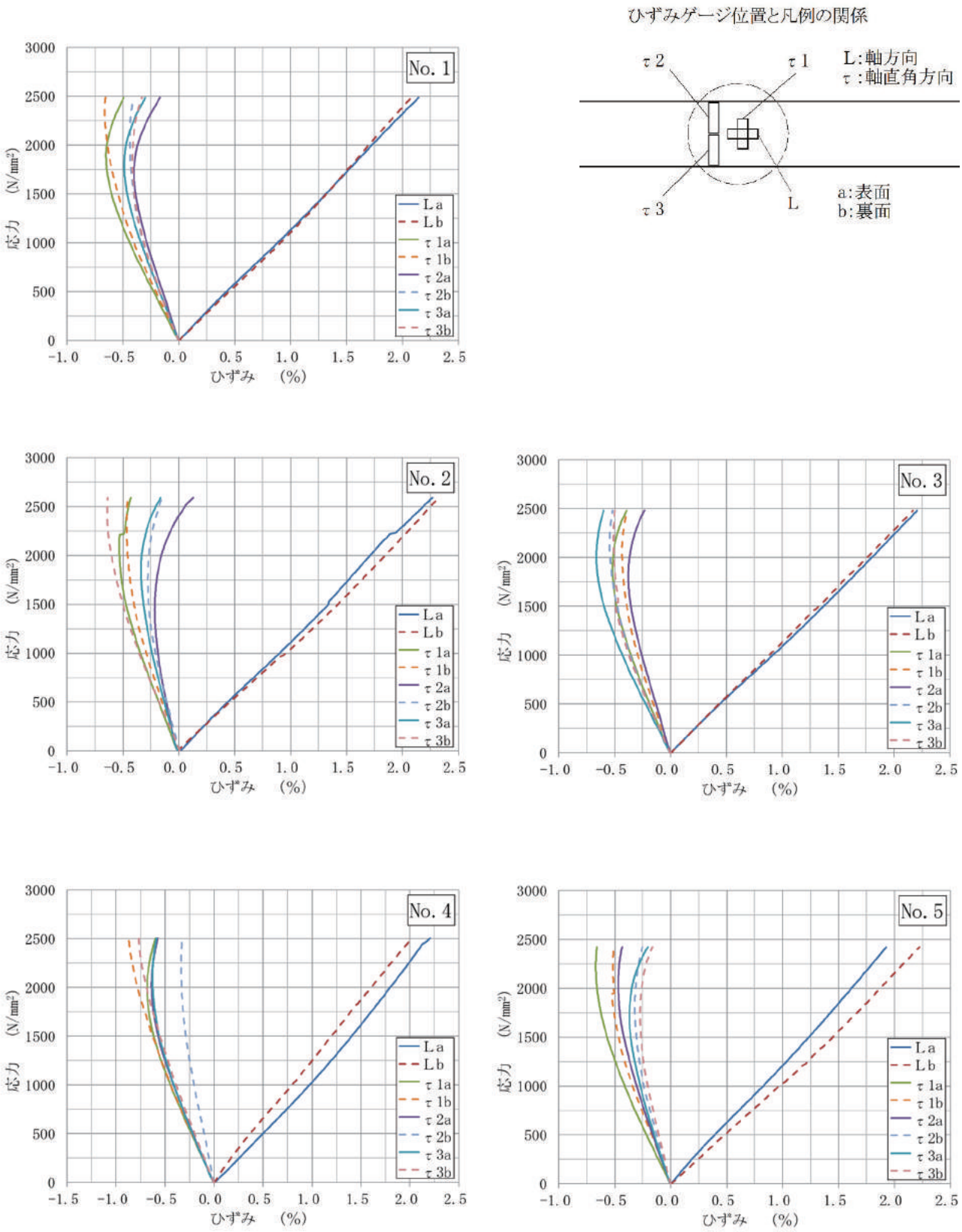


図-3.2.3　アラミド繊維シート　応力ーひずみの関係

3.2.2　面内せん断試験（±45°引張試験）

解析に使用する連続繊維シートのせん断強度およびせん断弾性係数を求めるために, JIS K 7019 に準じて, ±45°方向に繊維配向した場合の面内せん断試験を行った.

連続繊維シートにおける面内せん断試験は，通常，面内せん断弾性率，面内せん断強度及び面内せん断破壊ひずみ等のせん断特性を求めるために行われる．文献[11)]によると，面内せん断試験方法については，以前から各種検討による提案がなされているが，面内せん断試験を行う際に，①強化繊維の配向に関わらずせん断破壊による強度を評価する，② 試験領域内での均一な純せん断応力状態の実現，という２つの条件を満足する簡便な試験法を確立することが難しいため規格基準化されているものが少なかった.

その中で，今回選定の JIS 引張法は，通常の引張試験と同様の試験形態によって連続繊維シートの面内せん断特性を求めるもので，試験片の形状・寸法が連続繊維シート引張試験に用いる試験片とほぼ同形状であるため，試験法の中では簡便な部類である．この方法の場合，面内せん断弾性係数については，薄肉円筒ねじり法等の純せん断応力状態で行われる試験結果との一致が確かめられている.

試験には，表-3.1.1 及び 3.1.2 に示す連続繊維シート及び樹脂を使用した.

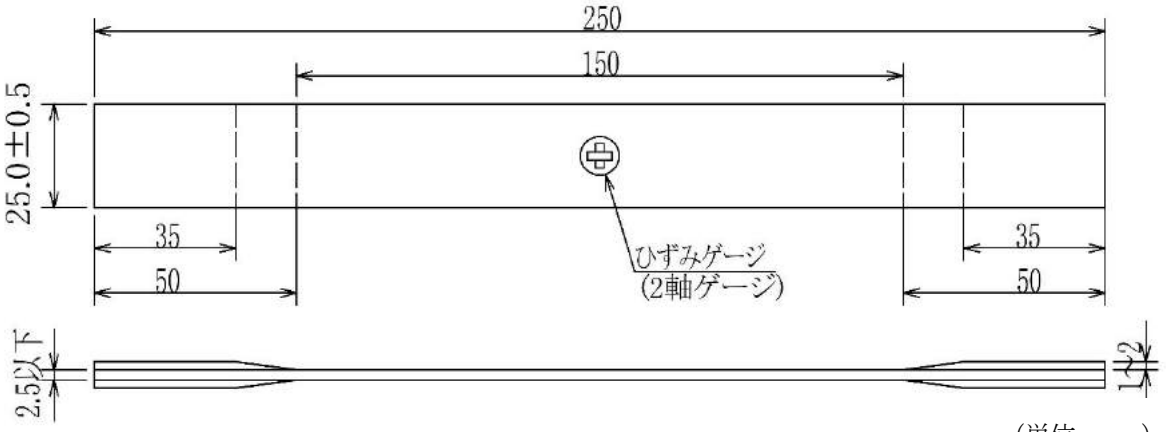
(1) 試験方法

JIS K 7019「繊維強化プラスチック±45°引張試験による面内せん断特性の求め方」に準じて行った．但し，炭素繊維シートについては，炭素繊維シートを対象とした JIS K 7079「炭素繊維強化プラスチックの面内せん断試験方法」もあるため，この JIS も参考にして行った.

試験片は図-3.2.4 に示すように基本サイズを幅 25mm，全長を 250mm とし，積層構成は対称積層[＋45／－45] s とした．JIS では積層数は 16 層となっているが、連続繊維シートは 1 層当たりが厚いため，積層数は 4 層とした.

本試験は通常の管理試験で行われることは少なく，試験片の作製方法も特殊なため，試験片作製方法を付属資料２．に示した.

ひずみゲージは，２軸ゲージとし，試験軸方向（ε_1）と軸直角方向（ε_2）の測定となるように裏表に 1 枚ずつ貼り付けた.



（単位：mm）

図-3.2.4　試験片の形状及び寸法

せん断強度，せん断弾性係数は，JIS K 7019 に従って求めた.

引張試験は炭素繊維シートについては，東レ株式会社所有の 500kN 万能材料試験機にて，アラミド繊維シートについては，ファイベックス株式会社所有の 50kN 万能試験機にて実施した．試験速度は 2mm/min.として試験を行った.

せん断強度（せん断応力）およびせん断弾性係数の算定に用いる厚みは，シートの設計厚ではなく，樹脂を含浸した連続繊維シートの厚みとした.

写真-3.2.3　試験状況

⑵ 試験結果

炭素繊維シートの試験結果を表-3.2.3 に，試験片の破壊様相を写真-3.2.4 及び 3.2.5 に，応力ーひずみの関係を図-3.2.5 にそれぞれ示す．同様に，アラミド繊維シートの試験結果を表-3.2.4 に，試験片の破壊様相を写真-3.2.6 及び 3.2.7 に，応力ーひずみの関係を図-3.2.6 にそれぞれ示す.

破壊は，試験片の幅方向の両端部の試験片強度が不安定な箇所を起点として 45°繊維方向に亀裂が進展した．徐々に層間でせん断破壊が進行して伸長していき，ある載荷荷重でほぼ一定になったところで試験を終了した．そのまま引っ張り続けた場合には，載荷荷重が上がることなく，伸び量に耐えられなくなった時点で破断に至った.

ひずみは曲げの影響をなるべく取り除くため，表裏の平均値を求めたのち，差（$\varepsilon_1-\varepsilon_2$）を取ることでせん断ひずみを算出した.

せん断弾性係数は，炭素繊維シートが約 2000N/mm^2，アラミド繊維シートが約 1000N /mm^2 であった.

表-3.2.3　炭素繊維シート引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	せん断強度 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	25.24	5.35	135.0	9330	34.6	2110
2	25.16	5.67	142.6	9760	34.2	2050
3	25.13	5.71	143.5	9990	34.8	1950
4	25.09	5.81	145.8	9950	34.1	1850
5	25.09	5.74	144.0	9720	33.8	1840
平　均　値				9750	34.3	1960

写真-3.2.4　炭素繊維シート試験片の破壊様相

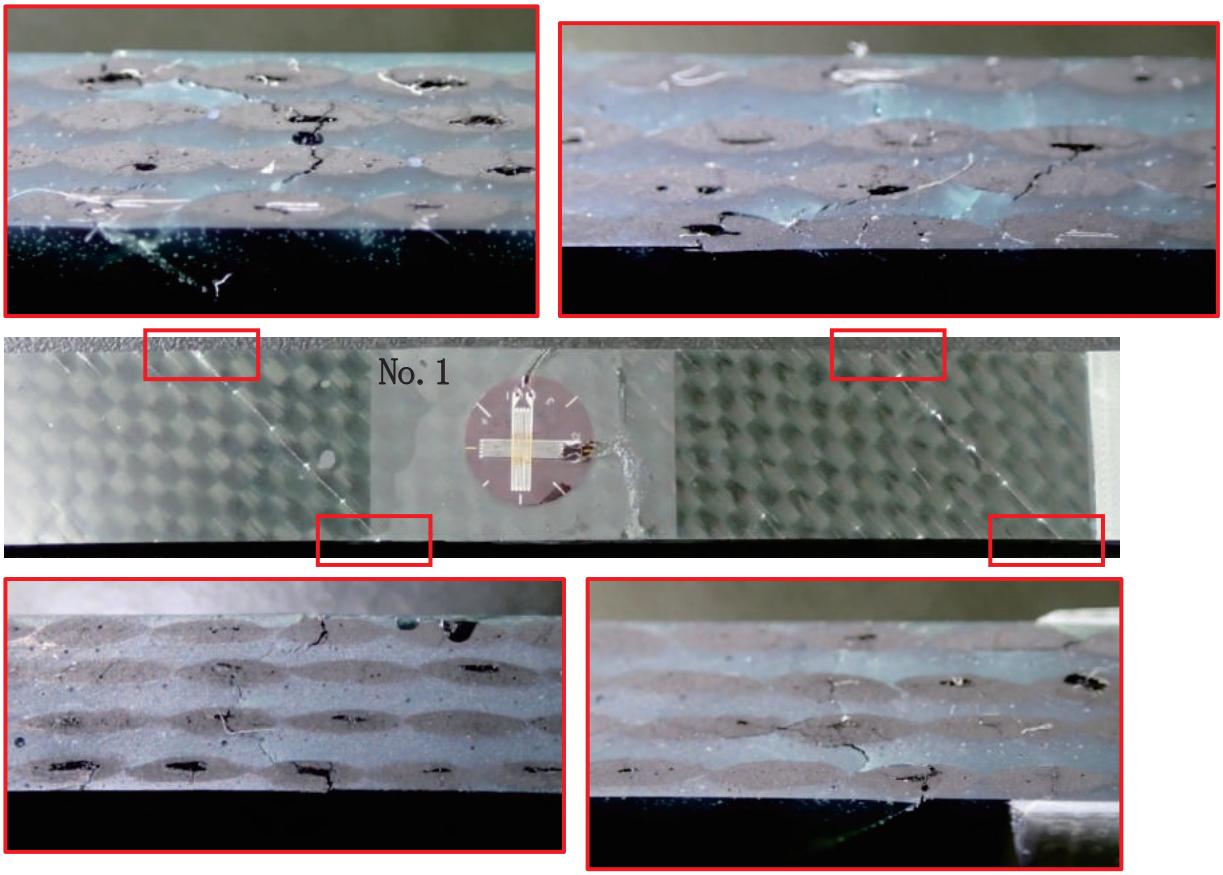


写真-3.2.5　炭素繊維シート試験片破壊様相（断面）

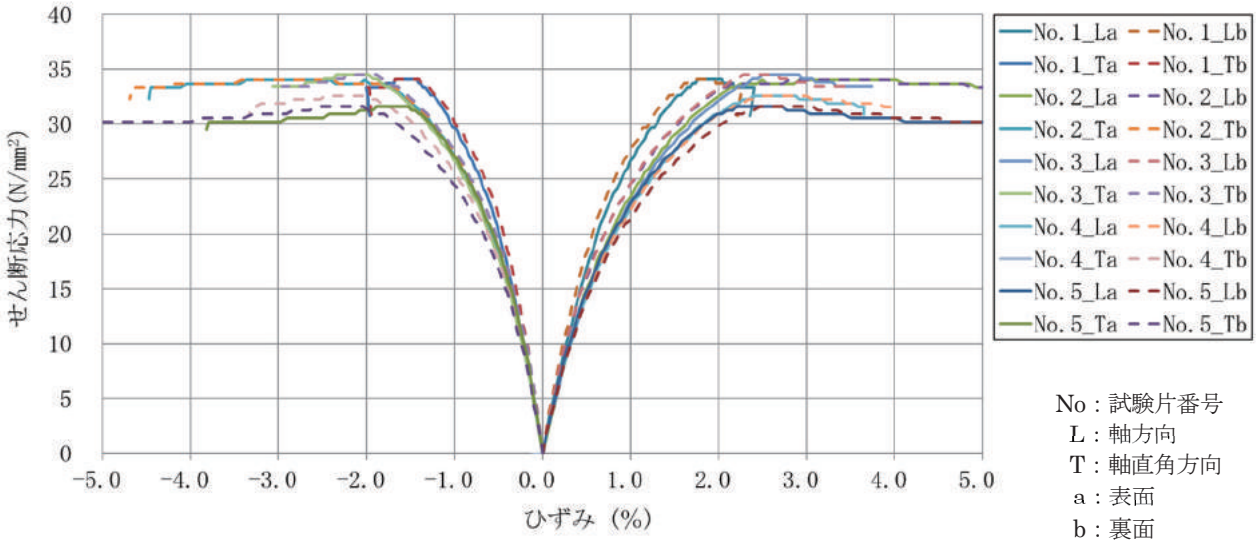


図-3.2.5　炭素繊維シート試験片　面内せん断　応力－ひずみの関係

表-3.2.4　アラミド繊維シート引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	せん断強度 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	25.20	7.30	184.0	6690	18.2	1090
2	25.30	7.29	184.4	6640	18.0	1050
3	25.20	7.28	183.5	6660	18.1	1060
4	25.30	7.31	184.9	6530	17.7	1070
5	25.20	7.31	184.2	6500	17.6	1070
平　均　値				6600	17.9	1070

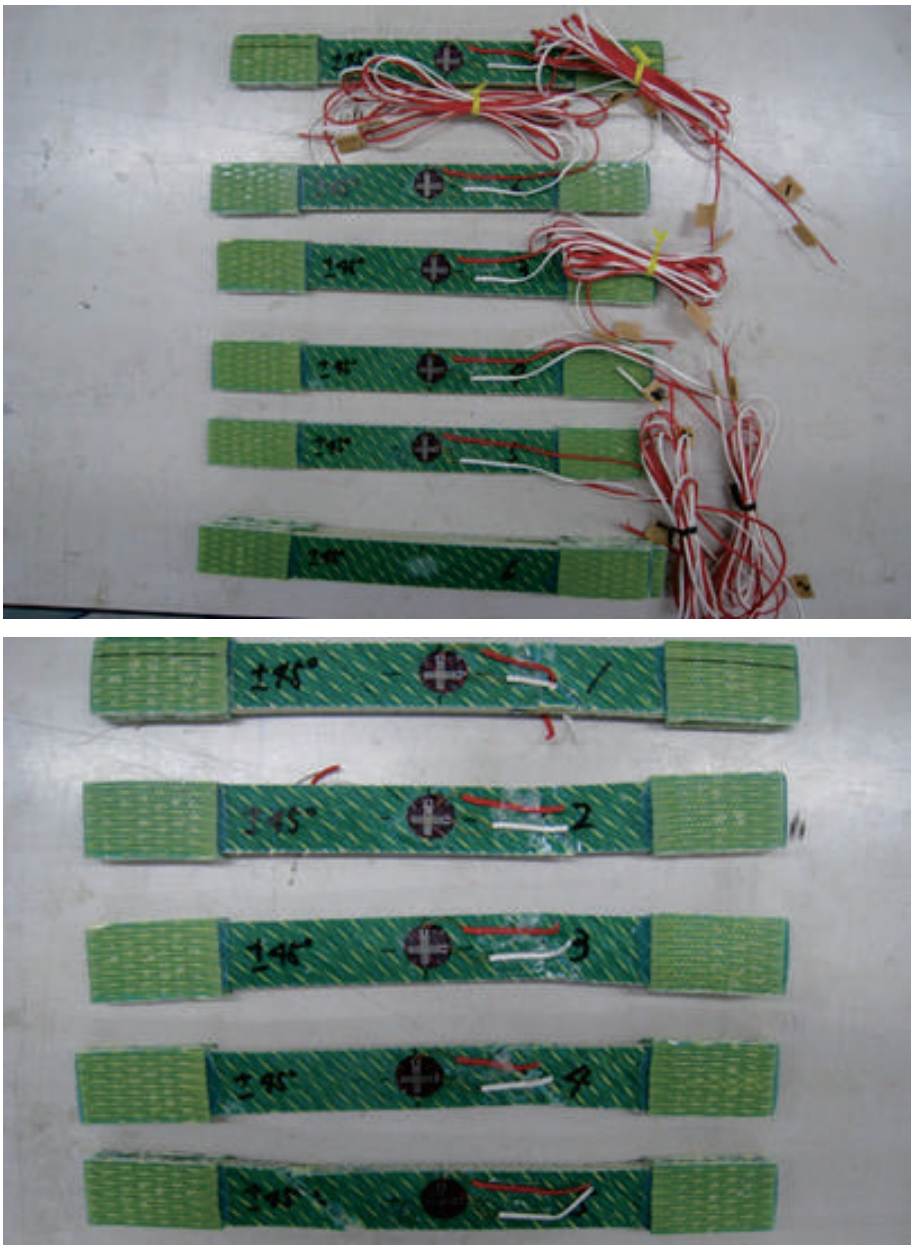


写真-3.2.6　アラミド繊維シート試験片破壊様相

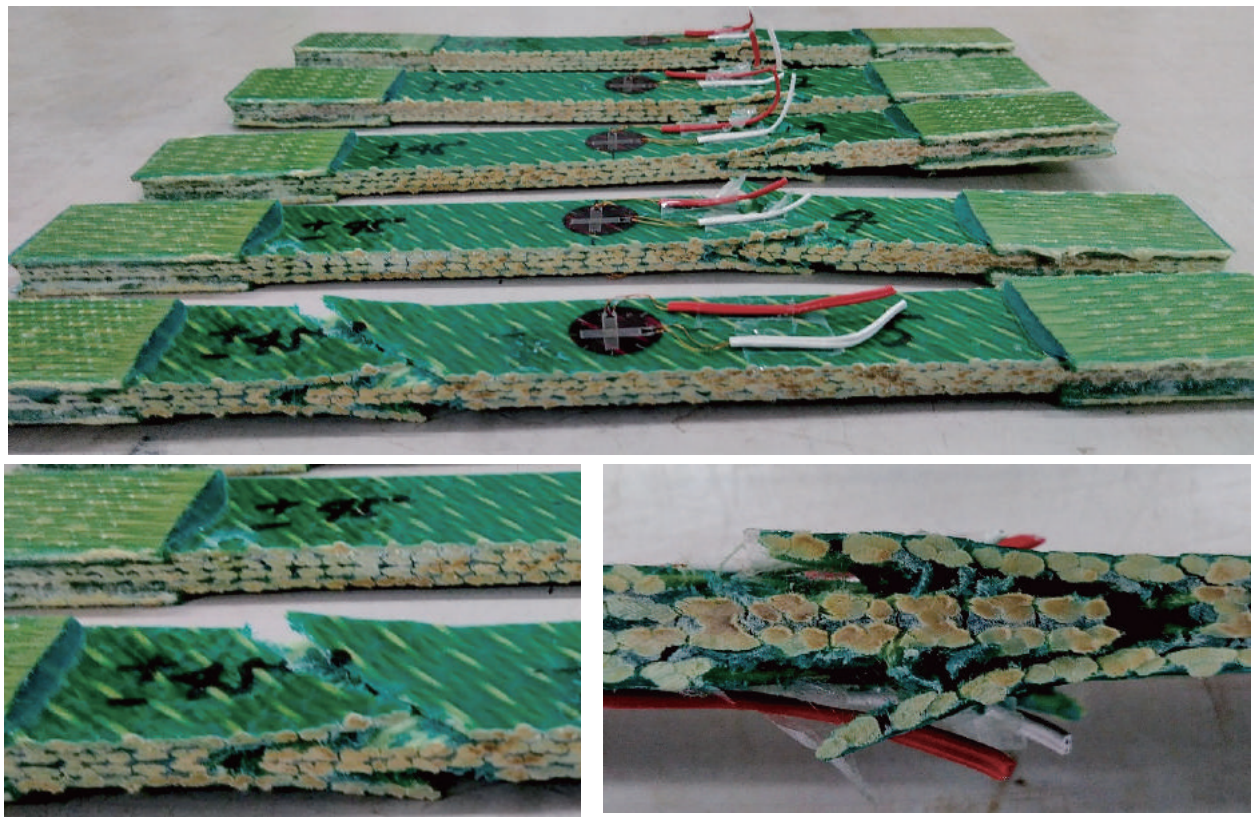


写真-3.2.7　アラミド繊維シート試験片破壊様相（断面）

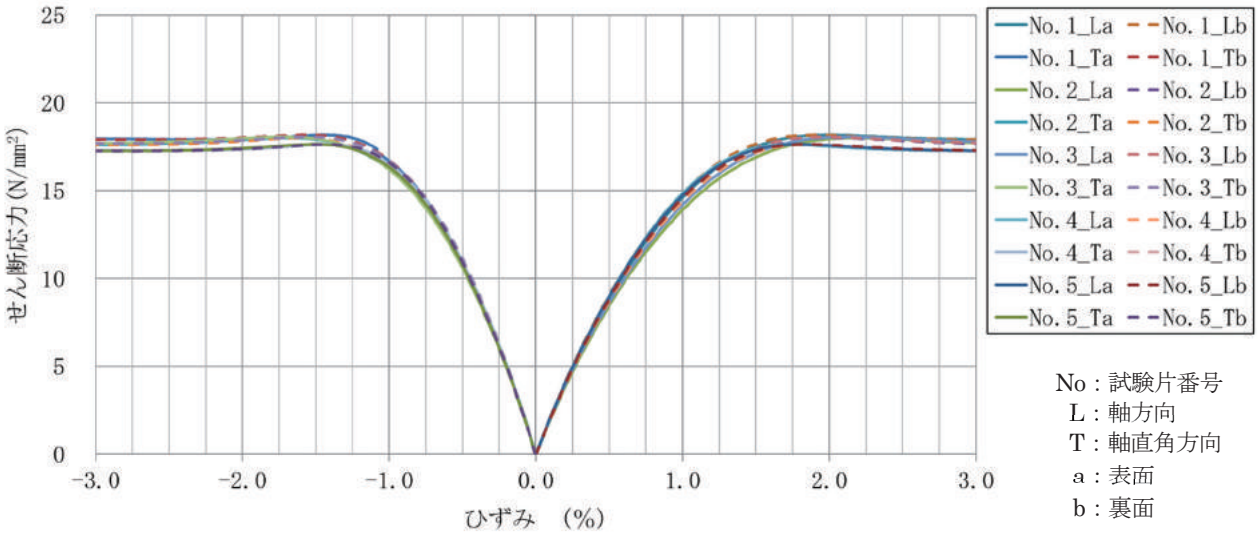


図-3.2.6　アラミド繊維シート試験片　面内せん断　応力ーひずみの関係

3.2.3　平板ねじり試験

(1)　試験方法

連続繊維シートの平板ねじり試験では，JIS K 7021 に準じて 150mm×150mm×層数（1～3 層）×層厚の試験片を用意した．樹脂の種類は，前述の連続繊維シートの静的引張試験に用いた材料と同一ロットの樹脂をそれぞれ用いた．試験片 No.は，シートの種類，層数，番号 1～5 の順に記号で表した．

写真-3.2.8 に，連続繊維シートの平板ねじり試験の状況を示す．載荷は 1kN のロードセルを持つ万能試験機を用いた．載荷点直下の 2 点の変位はレーザ変位計を用いて測定した．板厚の 1/2 程度の変位を目標として，荷重を載荷した．ここでは，試験の特性を把握するため，各試験片について載荷を 5 回連続して繰り返した．測定された荷重－変位のデータから，JIS に記載されている以下の方法によってせん断弾性係数を算定した．

$$G_{12} = \frac{3}{4}\frac{\Delta a' a'' K}{1000 h^3} \tag{3.1}$$

ここに，

$$\Delta = \frac{F_2 - F_1}{w_2 - w_1}$$

G_{12}　：せん断弾性係数（JIS では，面内せん断弾性率，GPa），等方性材料では G に等しい．

注）本文では，N/mm^2 を用いる。GPa = 10^3 N/mm^2

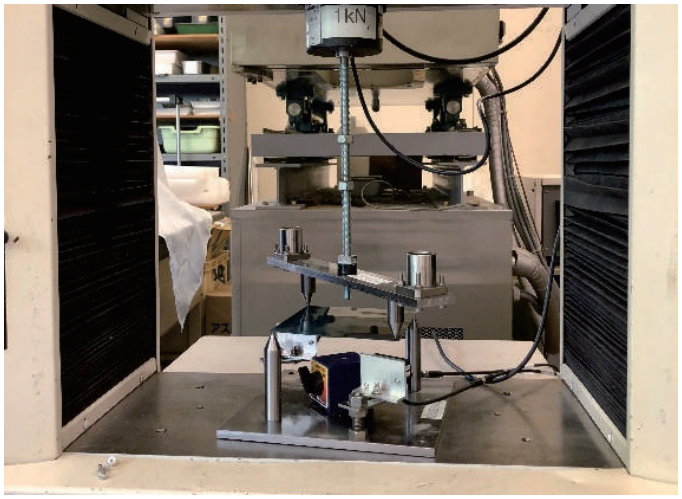
a'，a''：各方向の平均の幅（mm）

h　：平均の厚さ（mm）

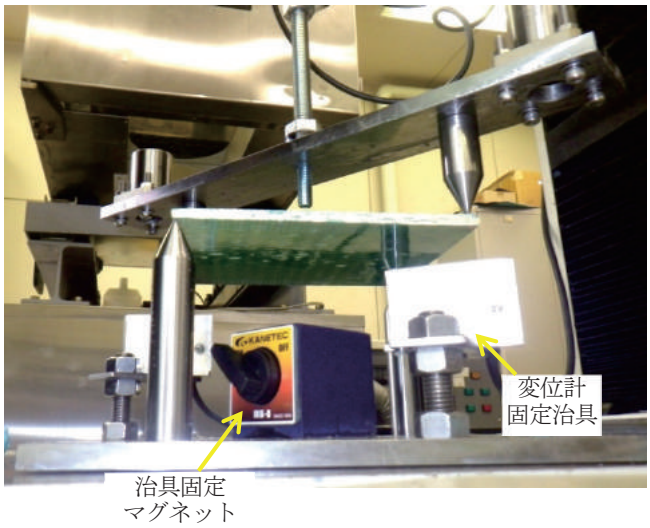
K　：形状補正計数：$K = 0.822$

w_1, w_2　：たわみ：$w_1 = 0.1h$, $w_2 = 0.3h$（mm）

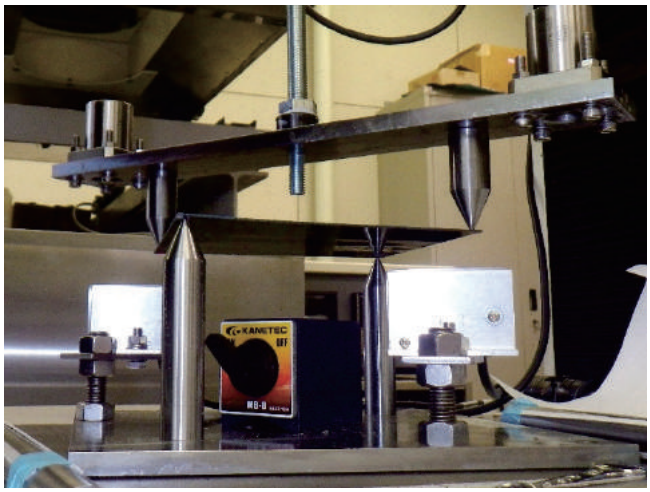
F_1, F_2　：対応する荷重（N）



(a)　全景



(b)　アラミド繊維シートの例



(c)　炭素繊維シートの例

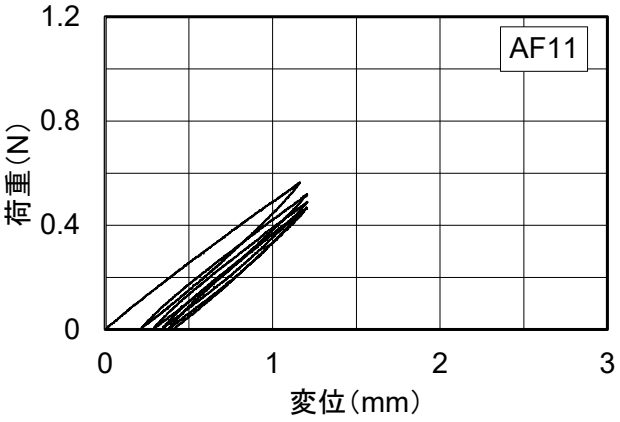
写真-3.2.8　連続繊維シートの平板ねじり試験の試験状況

(2)　試験結果

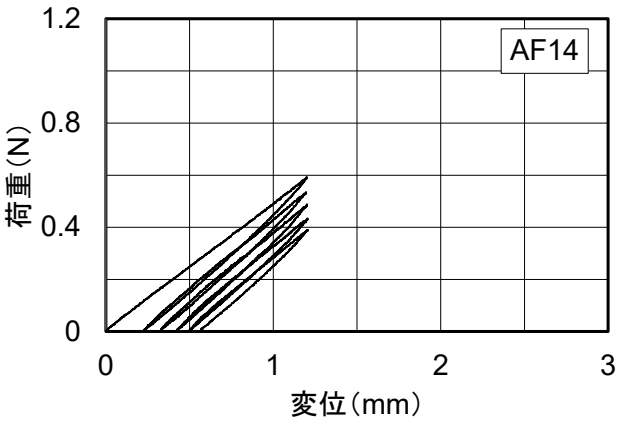
図-3.2.7～図-3.2.12 に，連続繊維シートの平板ねじり試験から得られた荷重－変位の関係を示す．いずれの試験片においても，1 回の載荷で残留変位が大きく，また繰返しにより傾きがやや大きくなる傾向が見られた．同じ材質，同じシート層数であっても，試験片間で傾きや繰返しの影響に違いが見られた．

表-3.2.5～表-3.2.6 に，これらの結果から得られた 1 サイクル目と 5 サイクル目のせん断弾性係数をそれぞれ示す．5 サイクル目における，アラミド繊維シート，1 層の試験片のうち AF15 の結果では，0.3h までのデータが得られていなかったため，測定できた範囲で，最大変位における荷重，変位の値を F_2，w_2 として用いた．また，表-3.2.7 に，各 5 体のせん断弾性係数の平均値，標準偏差，変動係数及び載荷回数の影響を示す．5 サイクル目のせん断弾性係数を 1 サイクル目の値に対する比で繰返し載荷の影響を見てみると，アラミド繊維シートで 12%，炭素繊維シートで 6%の増加が見られた．

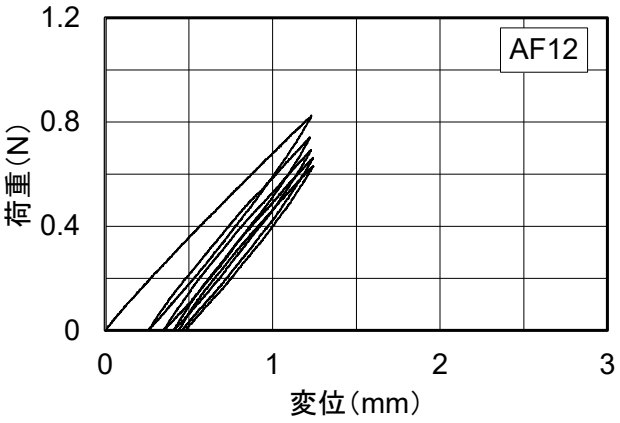
表-3.2.7 に示したせん断弾性係数は，シート層数によってやや違いがあるように思われたので，せん断弾性係数に影響する可能性がある繊維と含浸樹脂の割合の影響を確認しておく．表-3.2.8 に，各試験片に用いた各材料の質量，密度から算出した連続繊維シートの繊維の体積含有率（以下，繊維含有率）V_f を示す．また，図-3.2.13 に参考として連続繊維シートの厚さと繊維含有率 V_f の関係を示す．連続繊維シートの厚さが厚くなるに従い，繊維含有率 V_f が増加する傾向が見られる．図-3.2.14，図-3.2.15 に，連続繊維シートの厚さ及び繊維含有率 V_f とせん断弾性係数の関係をそれぞれ示す．図中，記号を変えて，アラミド繊維シートと炭素繊維シートの結果をそれぞれ示す．いずれも 5 サイクル目の 5 体の平均値で示す．厚さが小さいほど，繊維含有率 V_f が小さく，すなわち含浸樹脂の割合が大きく，せん断弾性係数は低下する傾向にある．その傾向は特に 1 層の場合に明確に見られた．



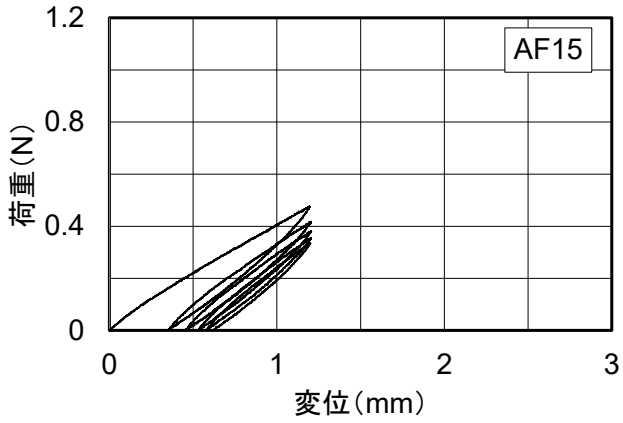
(a)　AF11



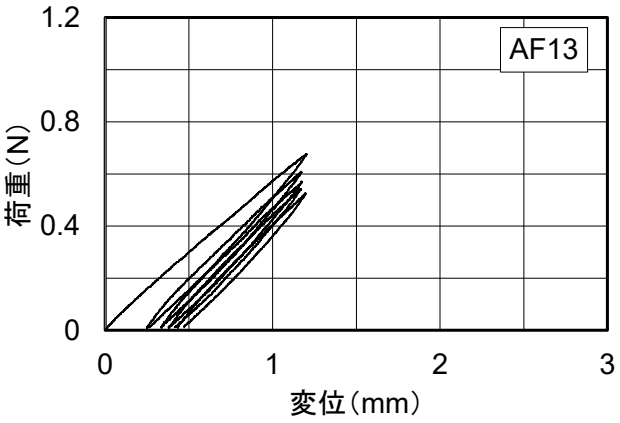
(d)　AF14



(b)　AF12



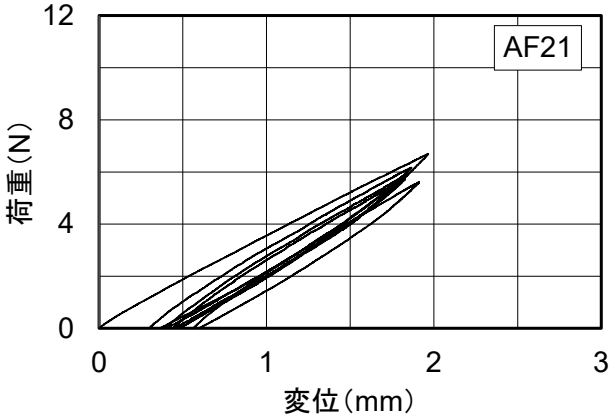
(e)　AF15



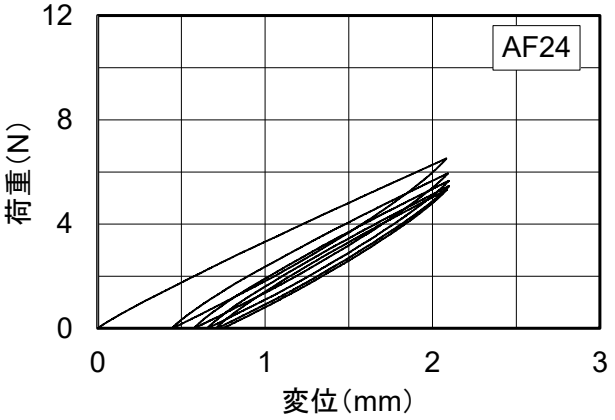
(c)　AF13

図-3.2.7　連続繊維シートの平板ねじり試験における荷重－変位関係

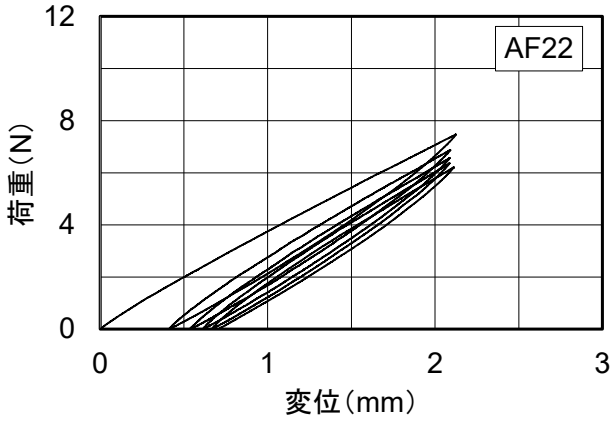
（アラミド繊維用樹脂，1 層）



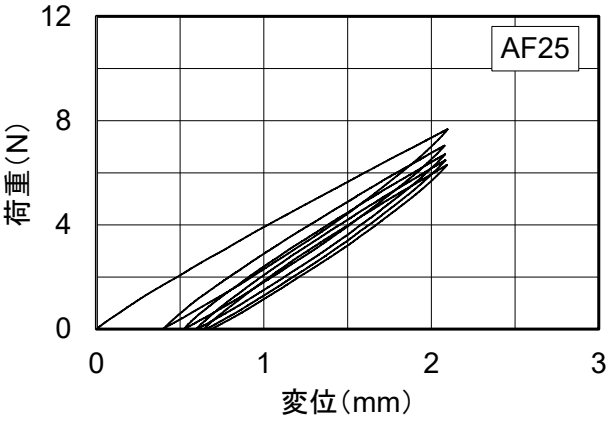
(a)　AF21



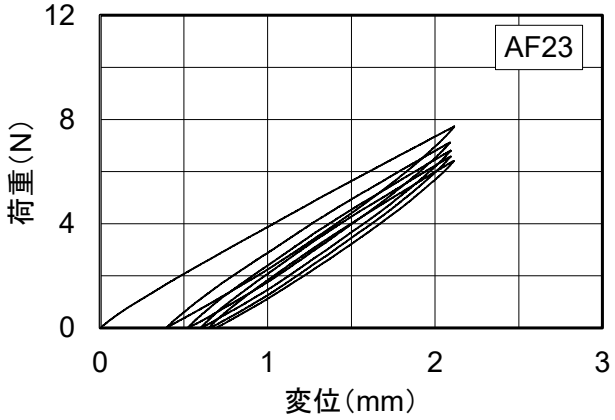
(d)　AF24



(b)　AF22



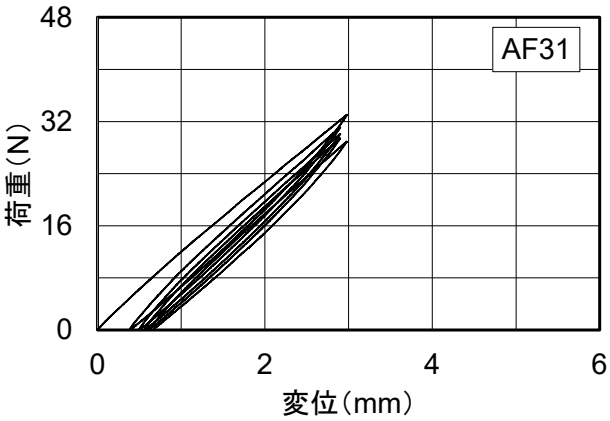
(e)　AF25



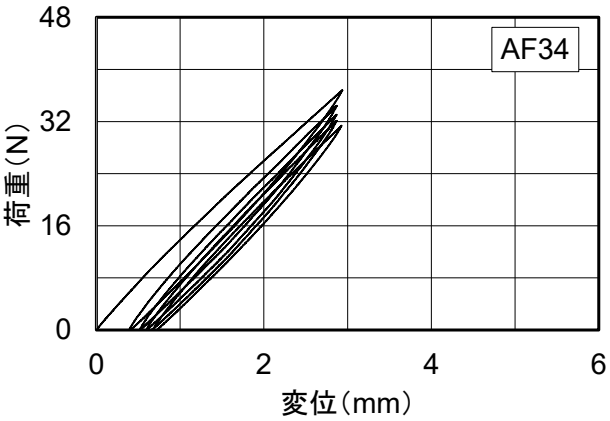
(c)　AF23

図-3.2.8　連続繊維シートの平板ねじり試験における荷重－変位関係

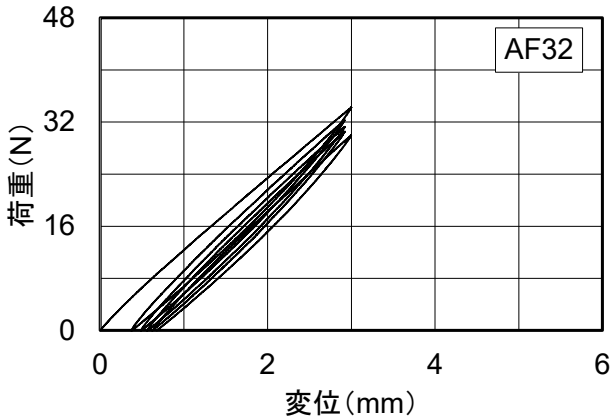
（アラミド繊維用樹脂，2 層）



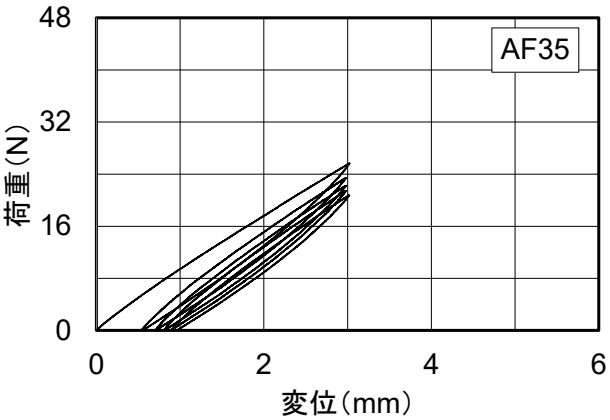
(a)　AF11



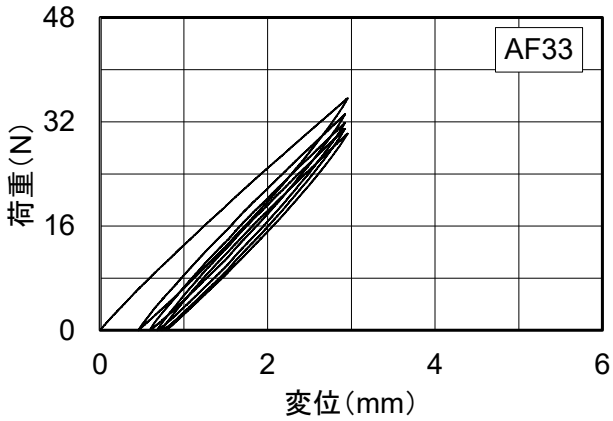
(d)　AF14



(b)　AF12



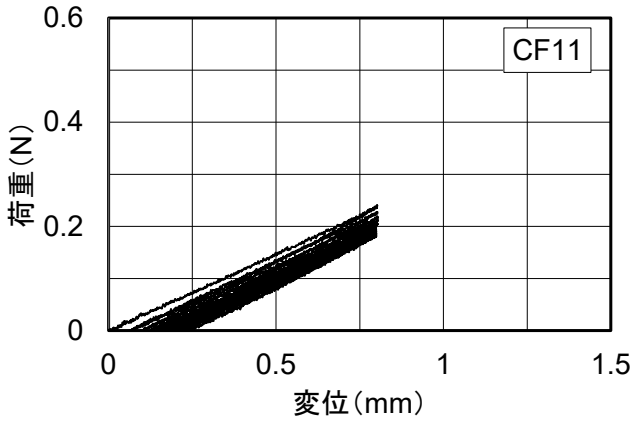
(e)　AF15



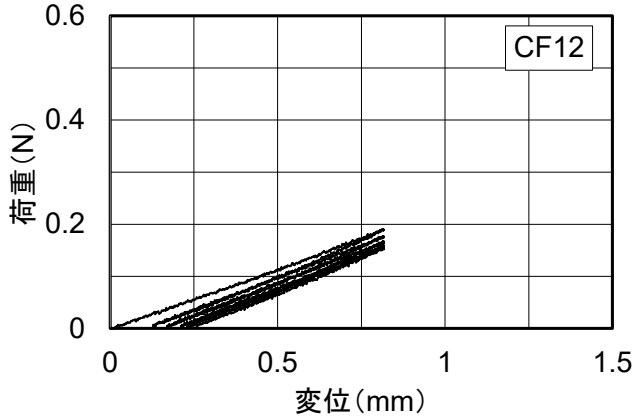
(c)　AF13

図-3.2.9　連続繊維シートの平板ねじり試験における荷重－変位関係

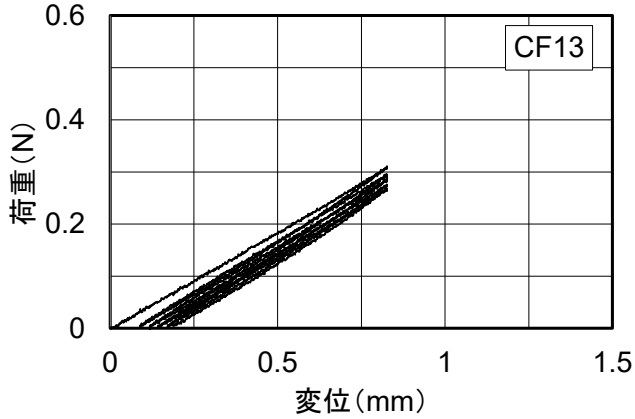
（アラミド繊維用樹脂，3 層）



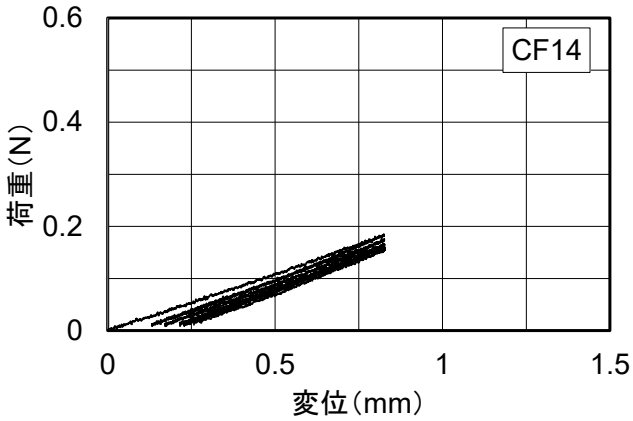
(a)　CF11



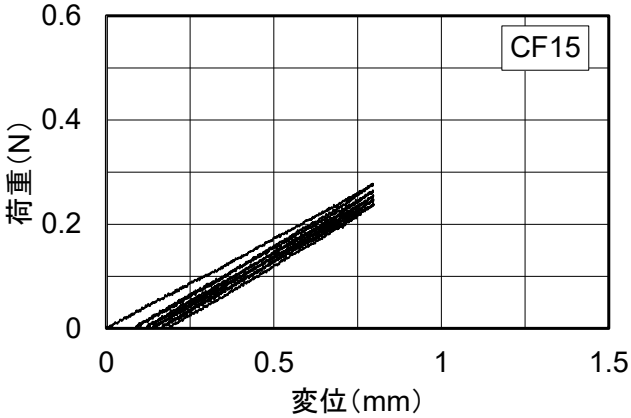
(b)　CF12



(c)　CF13



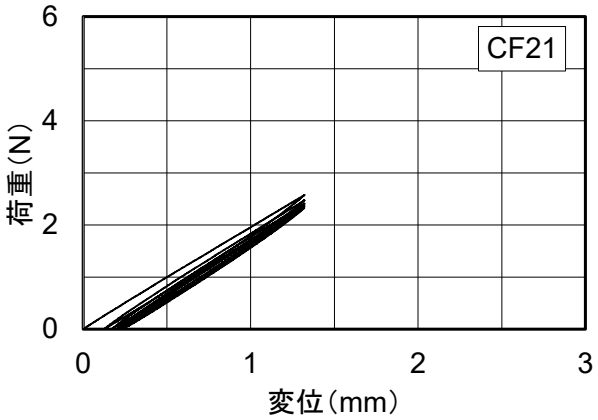
(d)　CF14



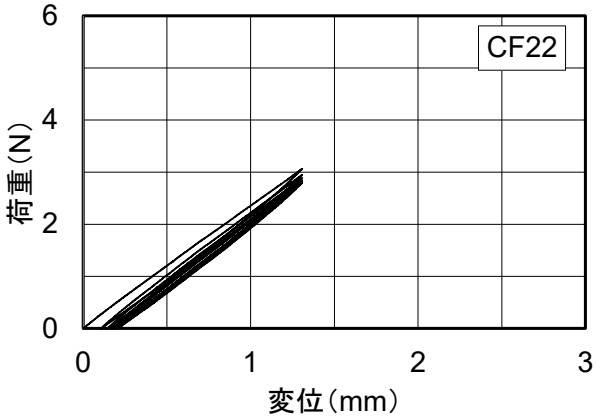
(e)　CF15

図-3.2.10　連続繊維シートの平板ねじり試験における荷重－変位関係

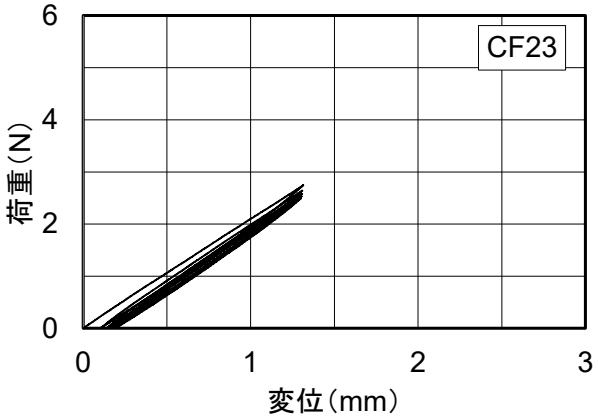
（炭素繊維用樹脂，1 層）



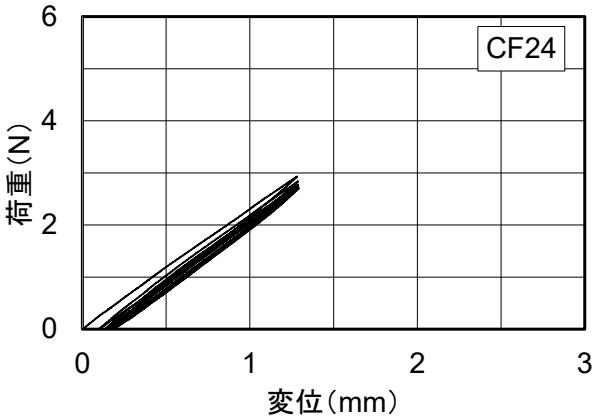
(a)　CF21



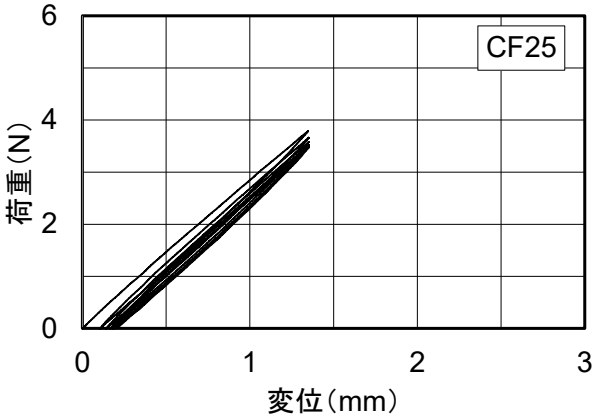
(b)　CF22



(c)　CF23



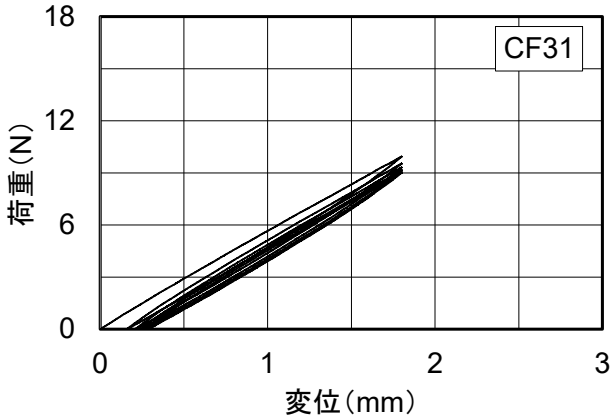
(d)　CF24



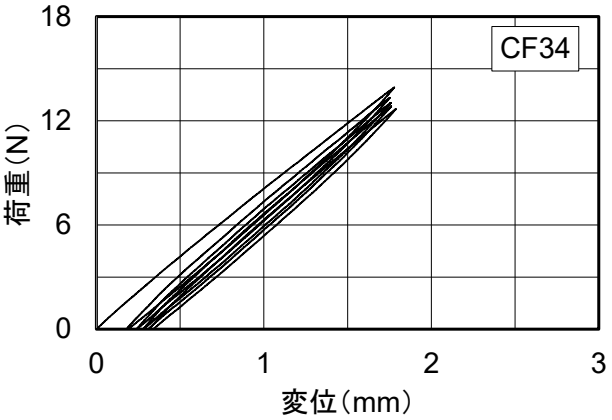
(e)　CF25

図-3.2.11　連続繊維シートの平板ねじり試験における荷重－変位関係

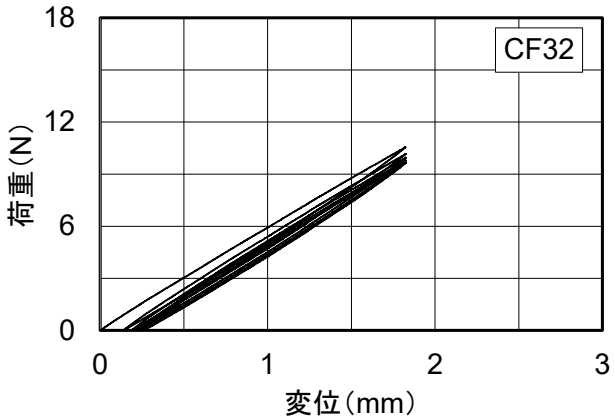
（炭素繊維用樹脂，2 層）



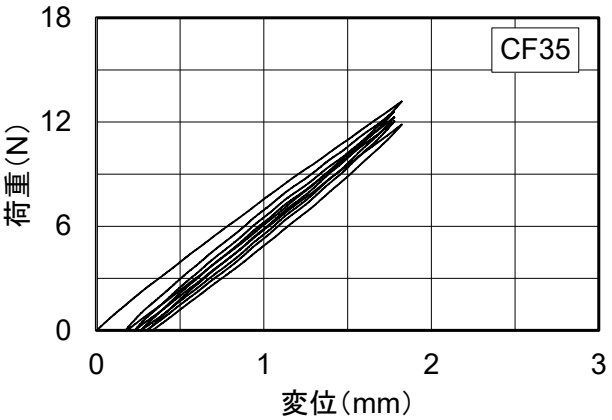
(a)　CF31



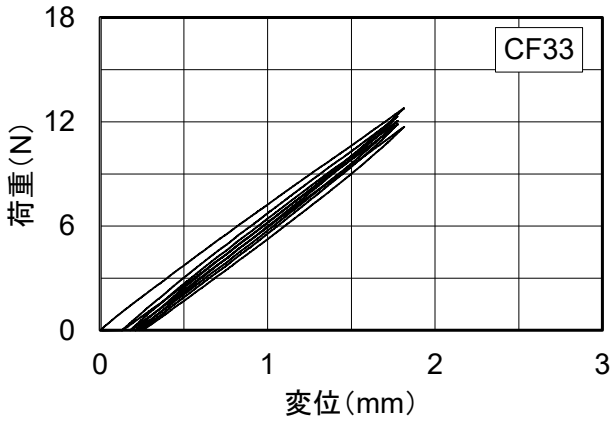
(d)　CF34



(b)　CF32



(e)　CF35



(c)　CF33

図-3.2.12　連続繊維シートの平板ねじり試験における荷重－変位関係

（炭素繊維用樹脂，3 層）

表-3.2.5　連続繊維シートの平板ねじり試験におけるせん断弾性係数測定結果（1 サイクル目）

試験片	a' (mm)	a'' (mm)	h (mm)	F_1 (N)	F_2 (N)	w_1 (mm)	w_2 (mm)	Δ	G_{12} (×10³N/mm²) 測定値	平均値	標準偏差	試験時温度 (°C)
AF11	149	150	2.31	0.123	0.347	0.231	0.692	0.486	0.54	0.57	0.10	24.1
AF12	150	151	2.45	0.180	0.510	0.245	0.735	0.674	0.64			24.1
AF13	150	149	2.29	0.147	0.400	0.228	0.686	0.554	0.64			24.1
AF14	150	150	2.21	0.113	0.326	0.221	0.662	0.481	0.62			24.1
AF15	148	148	2.35	0.115	0.297	0.235	0.704	0.388	0.41			24.6
AF21	150	150	4.22	1.604	4.440	0.421	1.265	3.361	0.62	0.68	0.06	24.6
AF22	151	150	4.09	1.668	4.513	0.408	1.226	3.479	0.71			24.7
AF23	149	150	4.12	1.742	4.714	0.411	1.235	3.607	0.71			24.4
AF24	148	150	4.10	1.462	4.014	0.409	1.229	3.112	0.62			24.3
AF25	149	149	4.07	1.730	4.687	0.407	1.220	3.635	0.74			24.2
AF31	150	151	5.65	6.988	19.572	0.564	1.695	11.121	0.86	0.80	0.08	23.5
AF32	150	150	5.67	7.380	20.155	0.566	1.700	11.269	0.86			23.5
AF33	149	151	5.89	7.990	22.233	0.588	1.768	12.077	0.82			23.5
AF34	150	151	6.03	8.712	23.715	0.602	1.808	12.445	0.79			23.5
AF35	150	151	5.63	5.608	15.129	0.563	1.688	8.460	0.66			23.5
CF11	150	150	1.37	0.040	0.120	0.137	0.410	0.293	1.59	1.59	0.14	24.0
CF12	150	150	1.25	0.028	0.085	0.125	0.375	0.228	1.60			23.9
CF13	150	150	1.50	0.052	0.164	0.149	0.448	0.374	1.55			23.9
CF14	150	150	1.18	0.024	0.075	0.118	0.354	0.216	1.81			23.9
CF15	150	150	1.50	0.050	0.153	0.149	0.448	0.341	1.41			23.8
CF21	150	150	2.35	0.480	1.388	0.234	0.703	1.935	2.08	2.10	0.04	23.7
CF22	150	150	2.48	0.616	1.771	0.247	0.744	2.326	2.12			23.7
CF23	150	150	2.38	0.510	1.509	0.236	0.714	2.093	2.16			23.7
CF24	150	150	2.49	0.603	1.738	0.248	0.745	2.287	2.07			23.7
CF25	150	150	2.65	0.794	2.277	0.265	0.794	2.800	2.09			23.7
CF31	150	150	3.36	1.988	5.694	0.336	1.006	5.527	2.03	2.12	0.18	23.7
CF32	150	150	3.51	2.177	6.223	0.351	1.052	5.775	1.85			23.7
CF33	150	150	3.57	2.692	7.725	0.356	1.070	7.055	2.16			23.8
CF34	150	150	3.65	3.102	8.797	0.364	1.094	7.806	2.23			24.0
CF35	150	150	3.51	2.830	7.933	0.350	1.053	7.259	2.32			24.0

表-3.2.6　連続繊維シートの平板ねじり試験におけるせん断弾性係数測定結果（5 サイクル目）

試験片	a' (mm)	a'' (mm)	h (mm)	F_1 (N)	F_2 (N)	w_1 (mm)	w_2 (mm)	Δ	G_{12} (×10³N/mm²) 測定値	平均値	標準偏差	試験時温度 (℃)
AF11	149	150	2.31	0.154	0.402	0.231	0.693	0.536	0.60	0.64	0.09	24.1
AF12	150	151	2.45	0.222	0.585	0.245	0.735	0.741	0.70			24.1
AF13	150	149	2.29	0.179	0.468	0.228	0.686	0.631	0.73			24.1
AF14	150	150	2.21	0.132	0.363	0.220	0.663	0.523	0.67			24.1
AF15	148	148	2.35	0.148	0.333	0.234	0.617	0.485	0.51			24.6
AF21	150	150	4.22	2.076	5.343	0.422	1.266	3.872	0.71	0.78	0.06	24.6
AF22	151	150	4.09	2.093	5.384	0.408	1.226	4.021	0.82			24.7
AF23	149	150	4.12	2.123	5.541	0.412	1.235	4.154	0.82			24.4
AF24	148	150	4.10	1.878	4.818	0.408	1.229	3.583	0.72			24.3
AF25	149	149	4.07	2.085	5.429	0.407	1.219	4.114	0.84			24.2
AF31	150	151	5.65	8.125	21.470	0.563	1.695	11.793	0.91	0.86	0.08	23.5
AF32	150	150	5.67	8.239	22.116	0.566	1.699	12.247	0.93			23.5
AF33	149	151	5.89	9.316	24.675	0.589	1.768	13.033	0.88			23.5
AF34	150	151	6.03	9.905	25.823	0.603	1.807	13.212	0.84			23.5
AF35	150	151	5.63	6.619	17.088	0.562	1.689	9.289	0.72			23.5
CF11	150	150	1.37	0.047	0.131	0.136	0.409	0.306	1.66	1.70	0.18	24.0
CF12	150	150	1.25	0.034	0.098	0.124	0.375	0.252	1.77			23.9
CF13	150	150	1.50	0.065	0.184	0.150	0.448	0.396	1.64			23.9
CF14	150	150	1.18	0.032	0.088	0.118	0.354	0.235	1.97			23.9
CF15	150	150	1.50	0.058	0.166	0.149	0.449	0.360	1.49			23.8
CF21	150	150	2.35	0.541	1.521	0.233	0.704	2.085	2.24	2.22	0.05	23.7
CF22	150	150	2.48	0.678	1.905	0.248	0.744	2.472	2.25			23.7
CF23	150	150	2.38	0.562	1.617	0.238	0.714	2.218	2.29			23.7
CF24	150	150	2.49	0.660	1.844	0.248	0.744	2.387	2.16			23.7
CF25	150	150	2.65	0.879	2.428	0.264	0.795	2.916	2.17			23.7
CF31	150	150	3.36	2.218	6.093	0.335	1.006	5.771	2.12	2.23	0.21	23.7
CF32	150	150	3.51	2.336	6.594	0.350	1.053	6.059	1.94			23.7
CF33	150	150	3.57	2.914	8.109	0.356	1.069	7.293	2.23			23.8
CF34	150	150	3.65	3.547	9.676	0.364	1.093	8.408	2.41			24.0
CF35	150	150	3.51	3.131	8.488	0.351	1.052	7.637	2.44			24.0

注）5 サイクル目における，アラミド繊維用樹脂，1 層の試験片 AF15 の結果では，0.3h までのデータが得られていなかったため，最大変位における荷重，変位の値を用いた．

表-3.2.7　連続繊維シート平板ねじり試験におけるせん断弾性係数と載荷回数の影響

試験片		せん断弾性係数 G_{12} (×10³N/mm²)						G(5c)/G(1c)
シート	シート層数（厚さ,mm）	1 サイクル目			5 サイクル目			
		平均値 G(1c)	標準偏差	変動係数	平均値 G(5c)	標準偏差	変動係数	
アラミド繊維シート	1（2.32）	0.57	0.10	0.17	0.64	0.09	0.14	1.13
	2（4.12）	0.68	0.06	0.08	0.78	0.06	0.08	1.15
	3（5.77）	0.80	0.08	0.10	0.86	0.08	0.10	1.08
	平均値	**0.68**	－	－	**0.76**	－	－	**1.12**
炭素繊維シート	1（1.36）	1.59	0.14	0.09	1.70	0.18	0.10	1.07
	2（2.47）	2.10	0.04	0.02	2.22	0.05	0.02	1.06
	3（3.52）	2.12	0.18	0.09	2.23	0.21	0.09	1.05
	平均値	**1.94**	－	－	**2.05**	－	－	**1.06**

表-3.2.8　試験片の V_f

種類	層数	計算 V_f（質量から算出，%）
アラミド繊維シート	1	30.6
	2	32.1
	3	35.0
炭素繊維シート	1	27.4
	2	29.3
	3	30.8

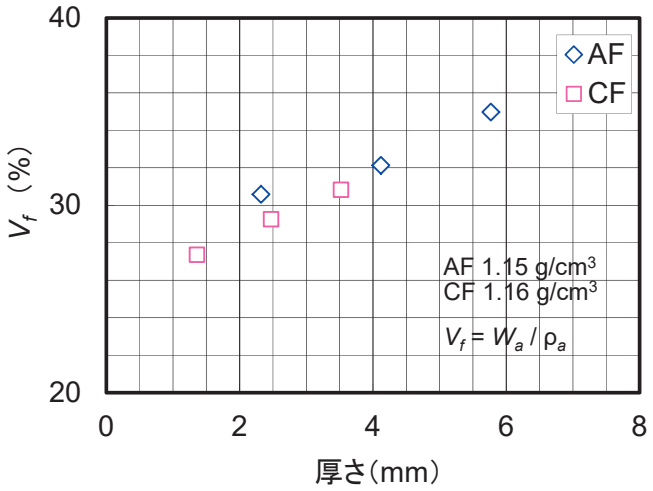


図-3.2.13　FRP ねじり試験の試料における厚さと V_f の関係

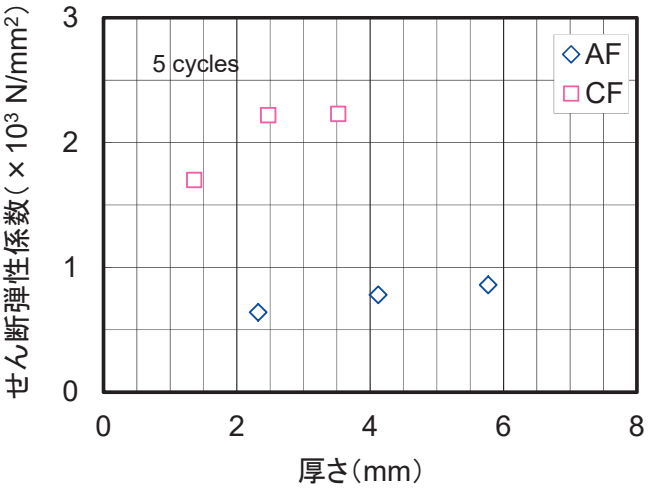


図-3.2.14　試料の厚さとせん断弾性係数の関係

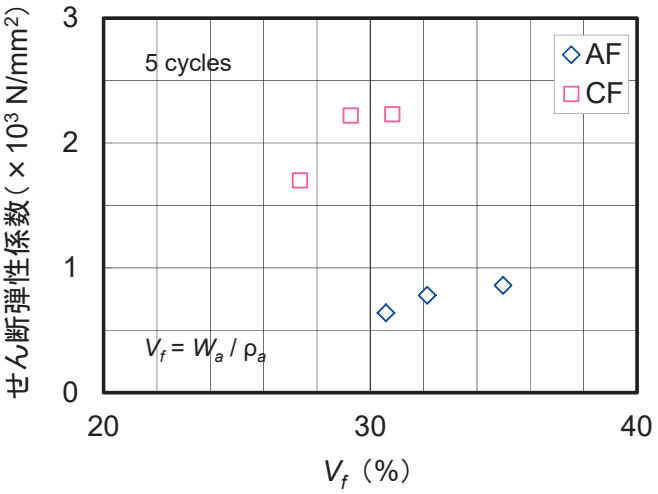


図-3.2.15　試料の V_f とせん断弾性係数の関係

3.3　樹脂の物性試験

3.3.1　引張試験

連続繊維シートの物性を高めるために，含浸樹脂は連続繊維シートの高強度・高弾性を効率的に活かすことが要求される．連続繊維シートの強度発現のためには，連続繊維にかかる応力を断面内で応力分散することが必要である．一方向材料の連続繊維シートにかかる負荷は，ほぼ連続繊維で持つことになるが，連続繊維のみでは全ての単糸（フィラメント）を有効に活用できない．そのため含浸樹脂は，より多くの単糸が有効に負荷を担い，材料強度発現に寄与できるように連続繊維と良好に接着するのみではなく，連続繊維の高弾性を活かせるだけの弾性特性と，繊維と直角方向の強度をある程度保持するための，強度特性が必要である．このような要求性能を踏まえて，連続繊維シートに用いる含浸樹脂としてエポキシ樹脂が用いられる．

さらに，連続繊維シート工法においてプライマー，パテについては樹脂の種類が異なると接着不良などの不具合を生じるおそれがあるため,原則として含浸接着樹脂と同種の樹脂系材料が用いられている.よって，プライマー，パテについても主としてエポキシ樹脂系材料が用いられる．

試験には，前述の表-3.1.1 および表-3.1.2 に示す樹脂を使用した．

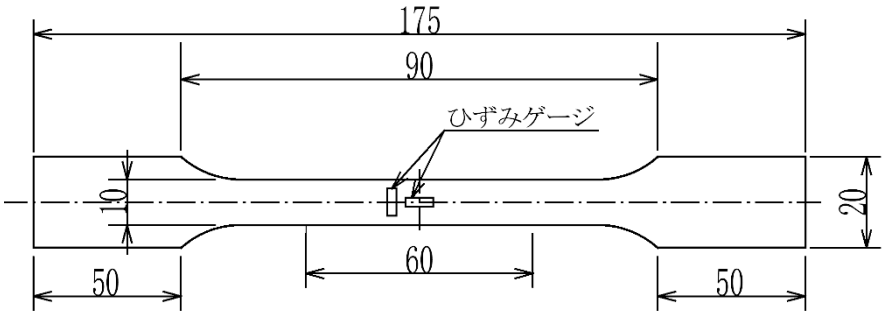
(1) 試験方法

引張試験は，JIS K 7161-1「プラスチック―引張特性の求め方―第一部：通則」に準じて行った．

試験片形状は，JIS K 7161-2 に準じた．ただし，タブ間隔は 90mm とした．図-3.3.1 に示す形状寸法とし，厚さは 4mm とした．

樹脂のせん断弾性係数を求めるために，軸方向弾性係数だけでなく上記の JIS には規定されていないポアソン比の測定を行った．ポアソン比は，試験片の中央付近に載荷方向と載荷直角方向の２方向にひずみゲージを貼り付けて，載荷方向と載荷直角方向の 2 方向のひずみを測定して求めた．

ひずみゲージは，１軸のゲージを選択し，試験軸方向（ε_1）と直角方向（ε_2）の測定となるように上下にずらして貼り付けた．さらにひずみゲージは試験片の表裏へ１枚ずつ貼り付けた．上下にずらしたのは，樹脂の軟らかさを考慮して，ひずみゲージのベースによる拘束を出来る限り小さくしようとしたためである．



（単位：mm）

図-3.3.1　樹脂引張試験片の形状寸法

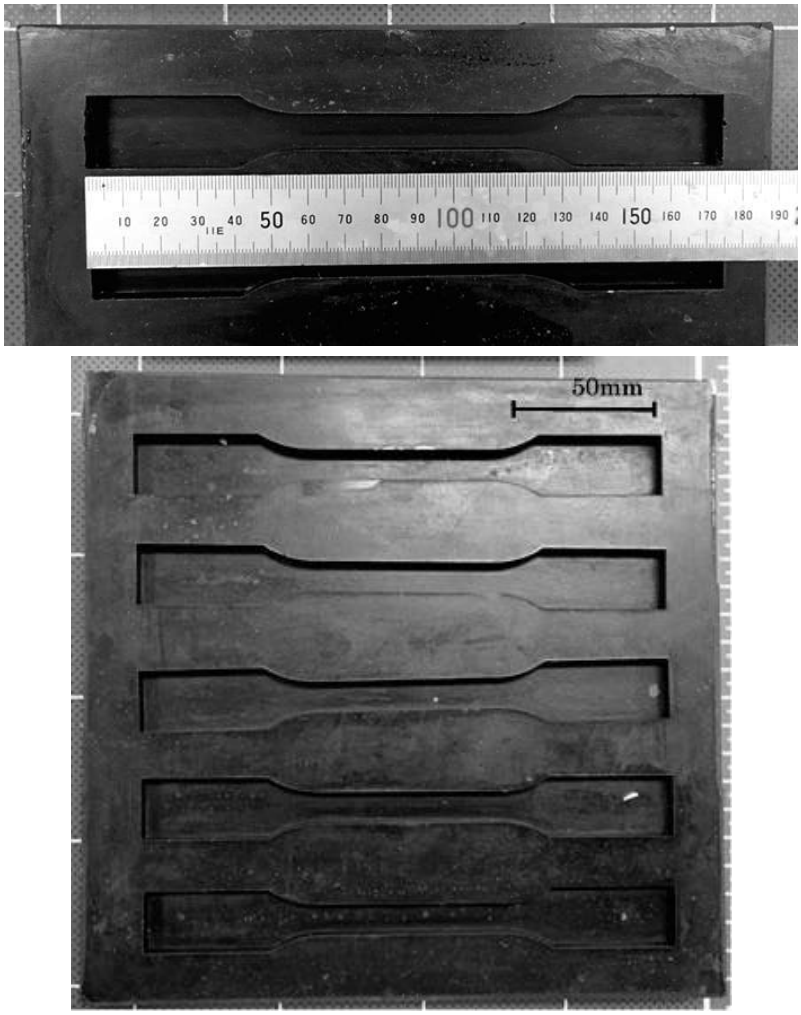


写真-3.3.1　樹脂引張試験片　シリコーン型

試験片の作製について，写真-3.3.1 に示すシリコーン樹脂製の型を用いた作製方法の手順を示す.

試験片は，シリコーン樹脂製の型へ樹脂を注入し硬化させることによって成型を行った．樹脂については主剤・硬化剤を混合後に生じる気泡を除去するため真空脱泡を実施した.

試験片の具体的な作成手順を以下に示す．なお，試験片の作製については，引張試験片，圧縮試験片とも同様の方法にて作製した.

① 樹脂（主剤・硬化剤）の必要量を混合カップ内に取ってムラがなくなるまで混合する.

② 真空脱泡機に入れて，樹脂内の気泡発生が落ち着くまで，1 から 2 分程度真空引きを行う.

③ 離型剤を塗ったシリコーン樹脂製の型へ，空気を巻き込まないように注意しながら②の樹脂を流し入れる.

④ 24 時間ほど静置して，硬化するまで養生を行う.

⑤ 型から外せるほど硬化した状態で型から取り出し，試験するまで 7 日間程度室内にて養生を行う.

⑥ 樹脂の収縮などで所定の平面形状を得られない面については，表面研磨で面出しを行って，形状の微調整を行う（主として圧縮試験片）.

⑦ 所定の位置にひずみゲージを貼り付ける.

炭素繊維シート用樹脂は，東レ株式会社所有の 500kN 万能材料試験機にて，アラミド繊維シート用樹脂は，樹脂メーカーK 社所有のねじ式一軸試験機にて引張試験を実施した．試験速度は 1mm/min.として試験を行った．

引張強度は，JIS K 7161-1 に従って求めた．弾性係数およびポアソン比は，JIS K 7161-1 に従って，0.05%から 0.25%間のひずみから求めた．

せん断弾性係数は，弾性係数とポアソン比から下式によりを求めた．

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \tag{3.2}$$

ここに，　G ： せん断弾性係数 (N/mm^2)

E ： 弾性係数(N/mm^2)

ν ： ポアソン比

樹脂の引張試験状況を，写真-3.3.2 に示す．

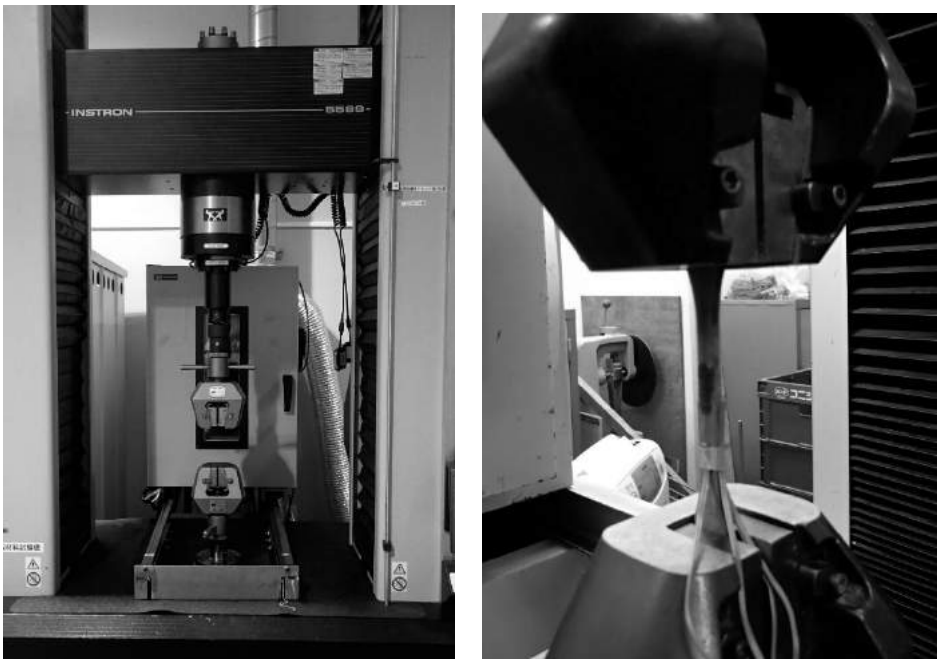


写真-3.3.2　樹脂引張試験状況

(2) 試験結果

炭素繊維シート用樹脂の試験結果を表-3.3.1～表-3.3.3 に, 各試験片の破壊様相を写真-3.3.3～写真-3.3.5 に, 各試験片の応力－ひずみの関係を図-3.3.2～図-3.3.4 にそれぞれに示す．また，アラミド繊維シート用樹脂の試験を表-3.3.4～表-3.3.6 に，各試験片の破壊様相を写真-3.3.6～写真-3.3.8 に，各試験片の応力－ひずみの関係を図-3.3.5～図-3.3.7 にそれぞれに示す.

図中のひずみは，表裏の平均値を示す.

ポアソン比については，炭素繊維シート，アラミド繊維シートとも 0.31～0.37 という安定した結果が得られた.

せん断弾性係数については，どの樹脂の種類においても，5 体の試験結果のばらつきは小さく，安定した結果が得られた． また、どの樹脂の種類においても，炭素繊維シート用樹脂の方がアラミド繊維シート用樹脂よりも大きくなるという結果となった.

表-3.3.1　炭素繊維シート用プライマー引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	10.06	6.09	61.27	3400	55.5	3570	0.39	1280
2	10.03	5.97	59.88	3350	55.9	3270	0.35	1210
3	10.12	5.96	60.32	3330	55.2	3320	0.36	1220
4	10.02	5.98	59.92	3000	50.1	3320	0.37	1210
5	10.15	5.97	60.60	1900	31.4	3290	0.38	1190
平均	10.08	5.99	60.40	3000	49.6	3350	0.37	1220

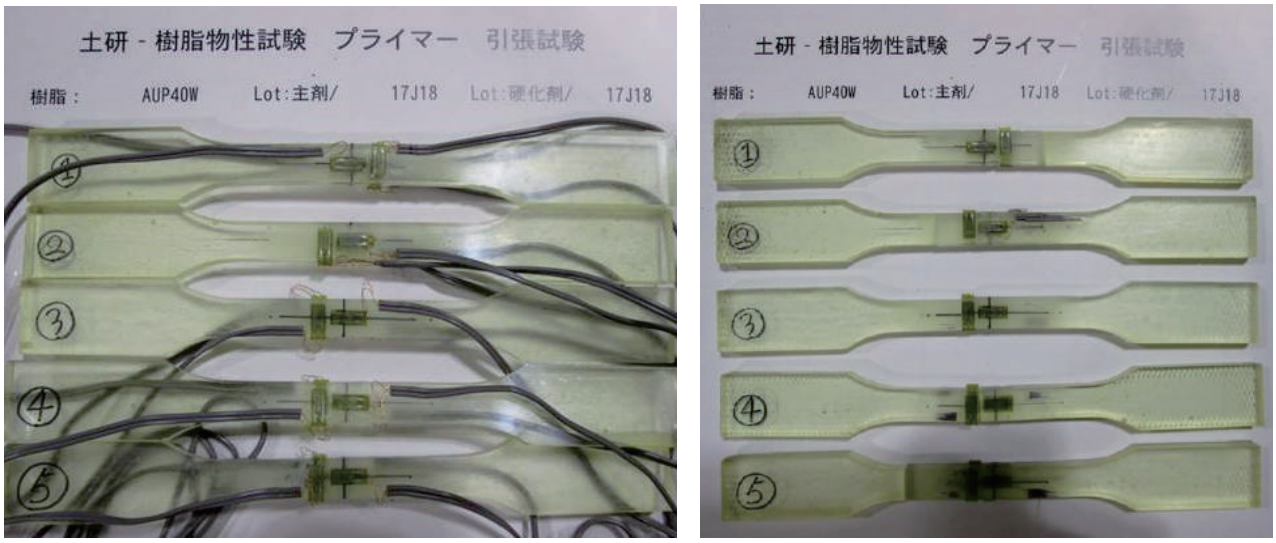


写真-3.3.3　プライマー試験片の破壊様相

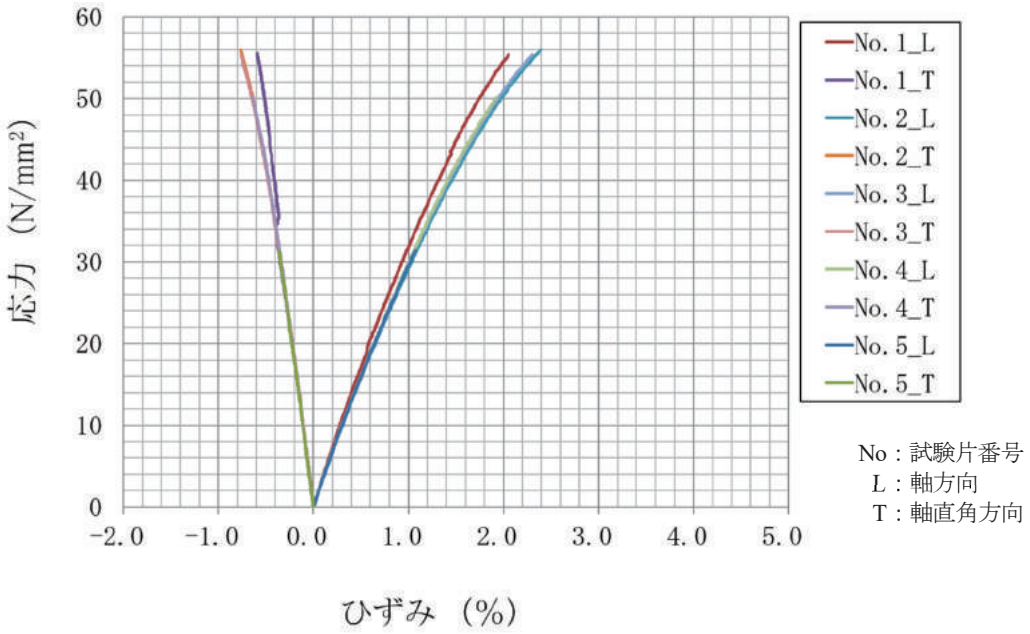


図-3.3.2　プライマーの応力ーひずみ関係（引張）

表-3.3.2　炭素繊維シート用パテ引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	9.94	6.45	64.11	2060	32.1	6880	0.31	2630
2	9.79	6.27	61.38	1080	17.6	6600	0.36	2430
3	10.12	6.12	61.93	1400	22.6	6470	0.33	2430
4	9.99	6.00	59.94	1510	25.2	6970	0.29	2700
5	10.10	6.15	62.12	2020	32.5	6640	0.28	2590
平均	9.99	6.20	61.90	1610	26.0	6710	0.31	2560

写真-3.3.4　パテ試験片の破壊様相

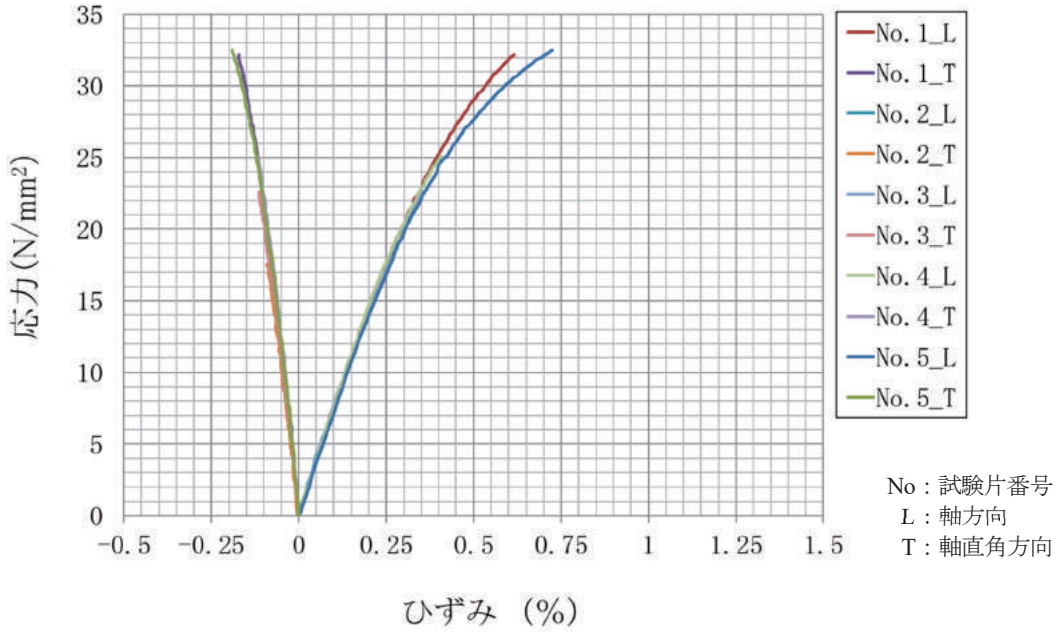


図-3.3.3　パテの応力ーひずみ関係（引張）

表-3.3.3　炭素繊維シート用含浸樹脂引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	10.03	6.27	62.89	3230	51.4	3220	0.35	1190
2	10.04	6.34	63.65	3140	49.3	3090	0.36	1140
3	10.06	6.25	62.88	2960	47.1	3090	0.36	1140
4	10.03	6.40	64.19	2990	46.6	3100	0.39	1120
5	10.05	6.39	64.22	2340	36.4	3110	0.34	1160
平均	10.04	6.33	63.57	2930	46.2	3120	0.36	1150

写真-3.3.5　含浸樹脂試験片の破壊様相

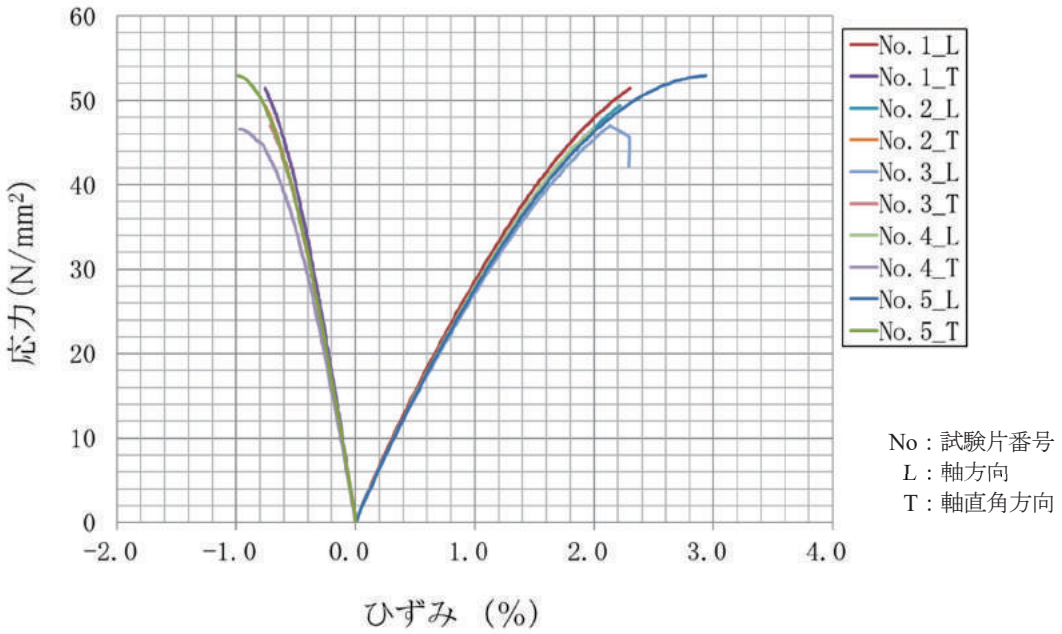


図-3.3.4　含浸樹脂の応力－ひずみ関係（引張）

表-3.3.4　アラミド繊維シート用プライマー引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	9.84	4.03	39.66	2000	50.4	2600	0.38	942
2	9.63	3.98	38.33	1910	49.8	2700	0.37	990
3	9.89	4.02	39.76	1950	49.0	2650	0.37	967
4	9.84	3.88	38.18	1760	46.1	2520	0.37	920
5	9.79	3.87	37.89	1850	48.8	2520	0.37	920
平均	9.80	3.96	38.76	1890	48.8	2600	0.37	948

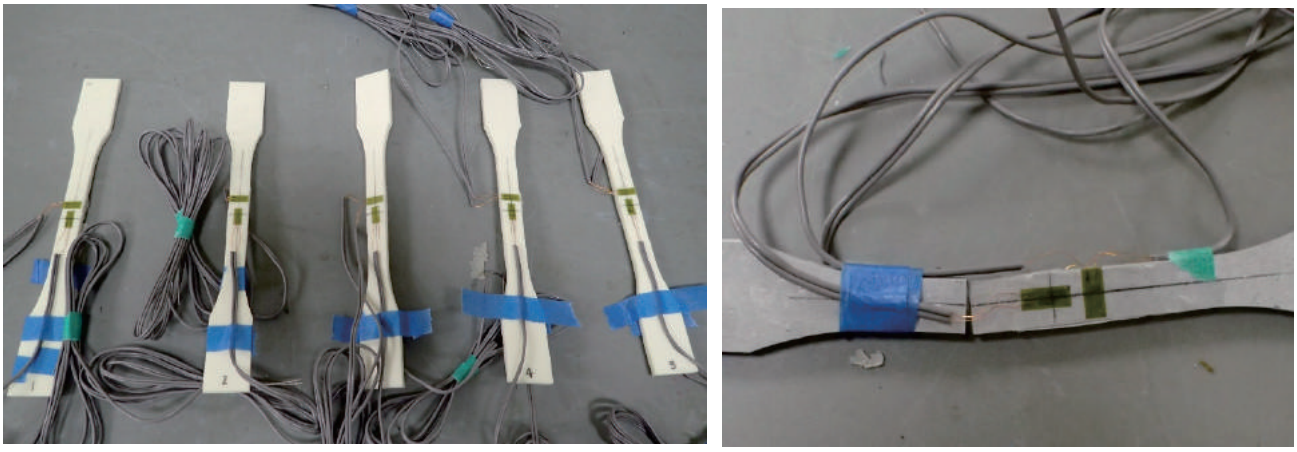


写真-3.3.6　プライマー試験片の破壊様相

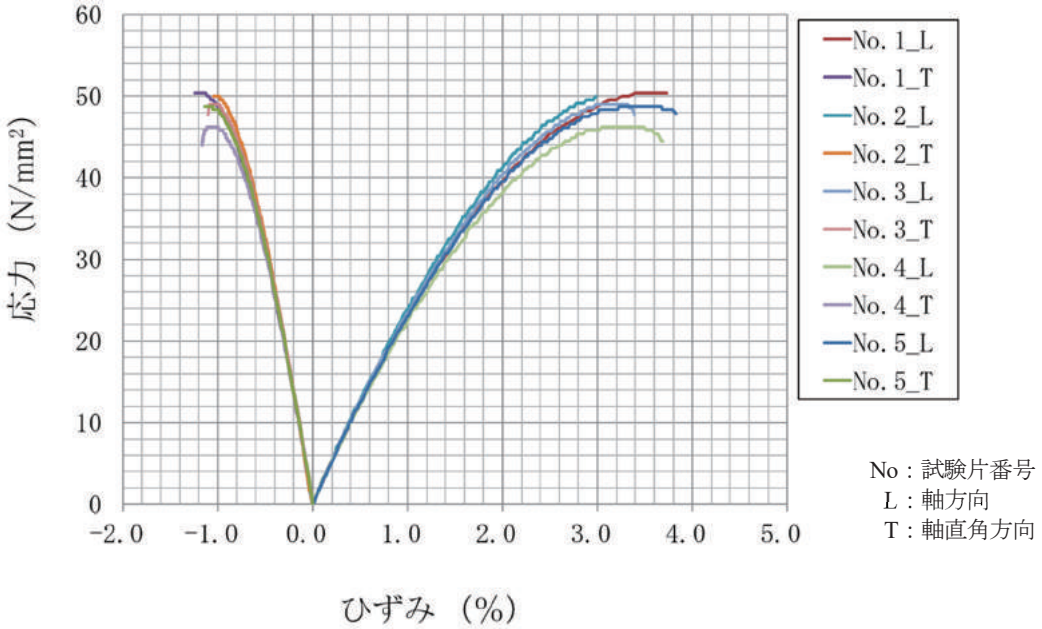


図-3.3.5　プライマーの応力ーひずみ関係（引張）

表-3.3.5　アラミド繊維シート用パテ引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	9.82	4.06	39.87	1000	25.1	3740	0.37	1360
2	9.85	3.97	39.10	920	23.5	2710	0.36	1000
3	9.83	3.93	38.63	780	20.2	3710	0.35	1370
4	9.89	4.04	39.96	930	23.3	3550	0.35	1310
5	10.00	3.97	39.70	920	23.2	3860	0.36	1420
平均	9.88	3.99	39.45	910	23.1	3510	0.36	1290

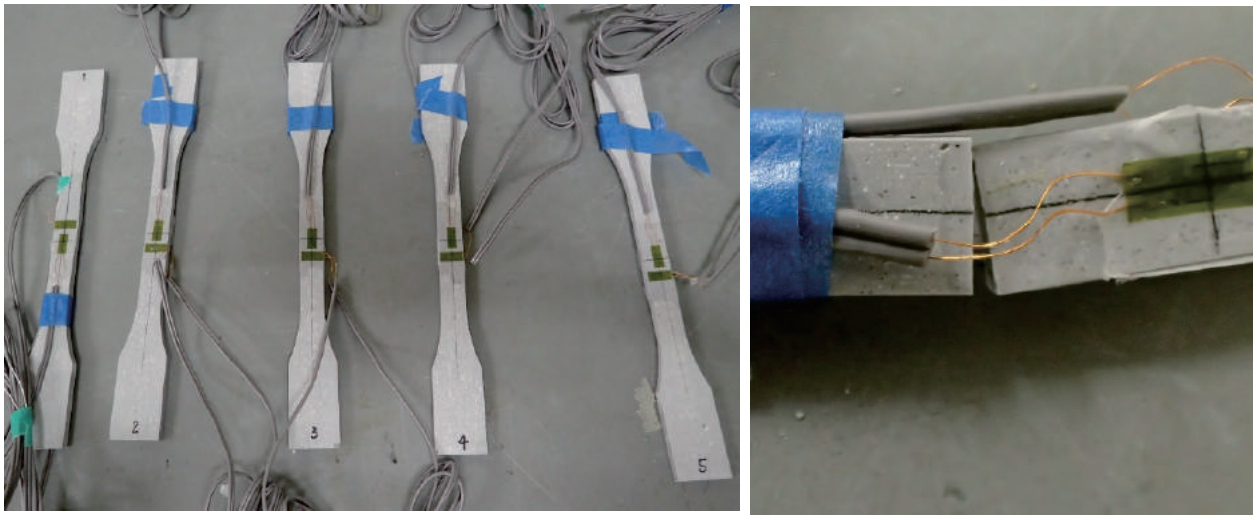


写真-3.3.7　パテ試験片の破壊様相

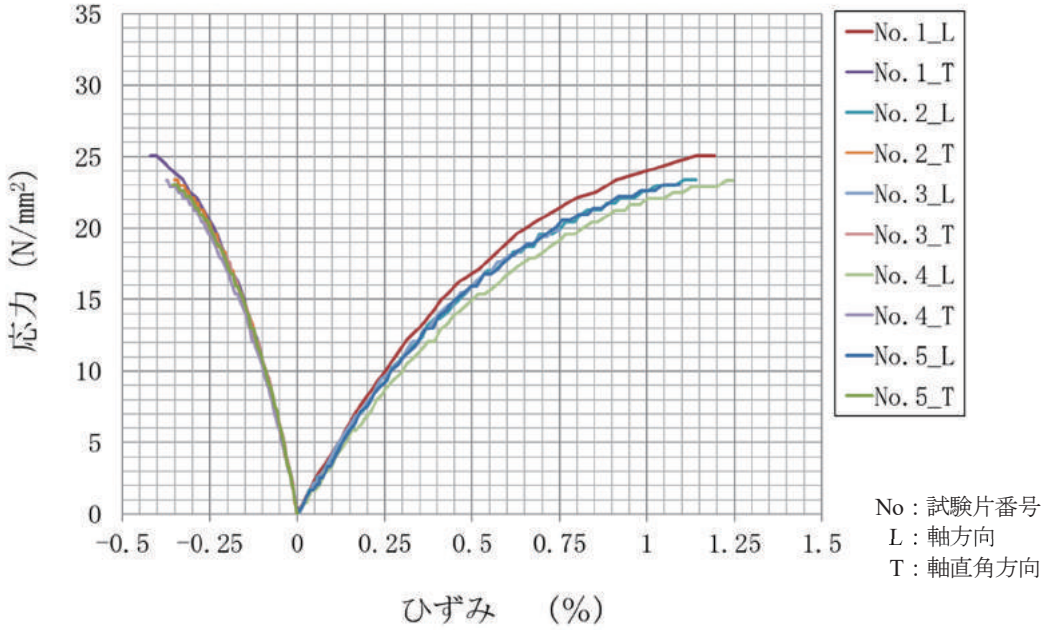


図-3.3.6　パテの応力ーひずみ関係（引張）

表-3.3.6　アラミド繊維シート用含浸樹脂引張試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	9.73	4.28	41.64	1760	42.3	2320	0.36	853
2	9.64	4.19	40.39	1830	45.3	2650	0.37	970
3	9.86	4.28	42.20	1800	42.7	2650	0.38	960
4	9.71	4.25	41.27	1730	41.9	2720	0.39	980
5	9.76	4.27	41.68	1710	41.0	2610	0.36	960
平均	9.74	4.25	41.44	1770	42.6	2590	0.37	945

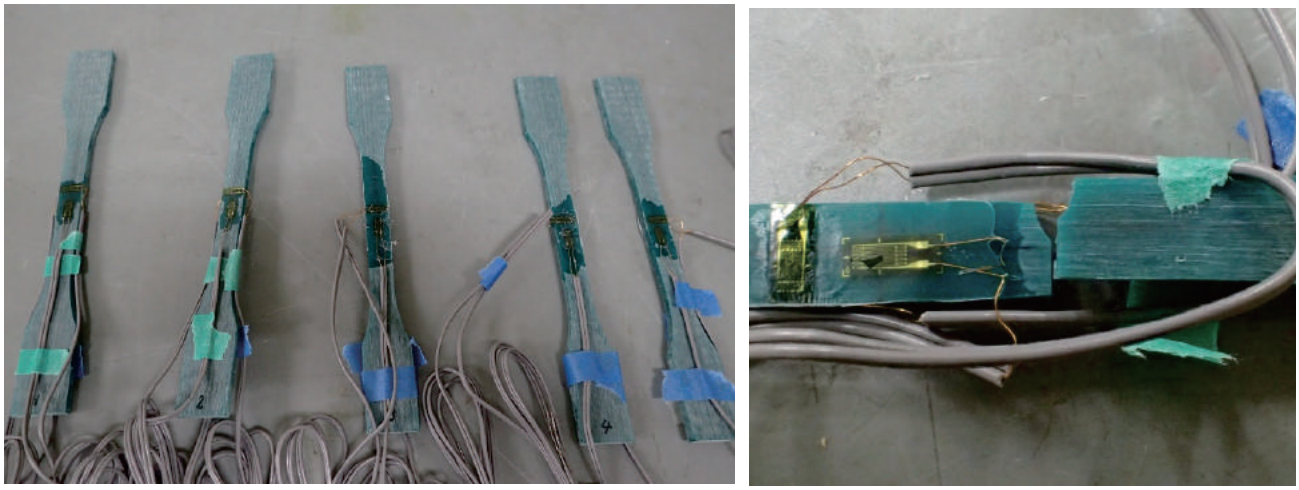


写真-3.3.8　含浸樹脂試験片の破壊様相

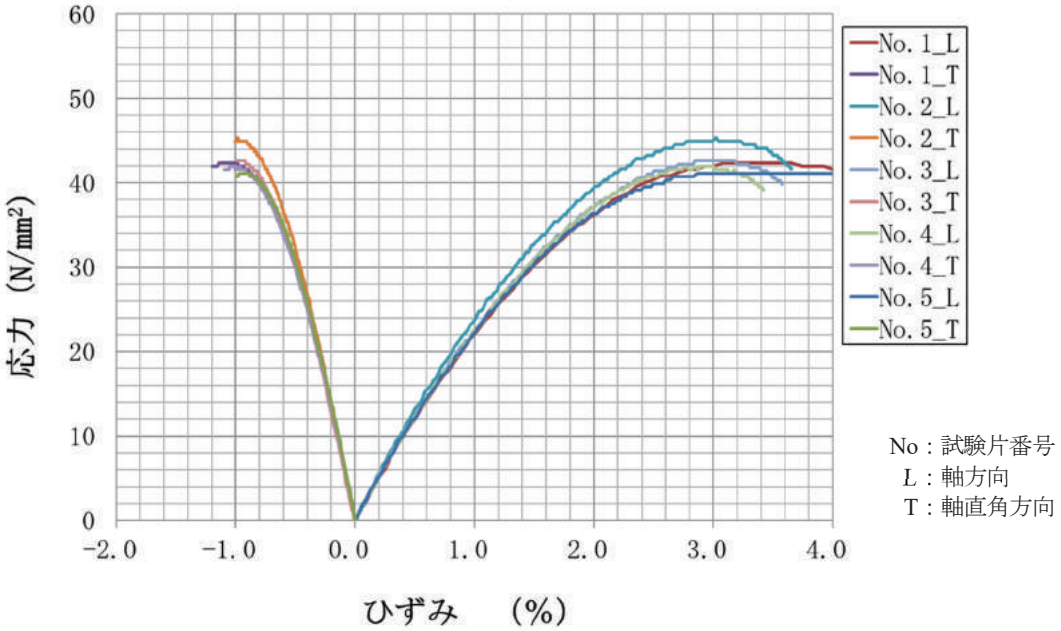


図-3.3.7　含浸樹脂の応力－ひずみ関係（引張）

3.3.2　圧縮試験

樹脂の圧縮特性については，実用上の数値的な目安が示されていないため，機械的特性を把握することを目的として圧縮試験を行った．

文献[12)]によると，圧縮荷重下でのマトリックスの役割は明白であり，高剛性のマトリックス樹脂に支えられていなければ圧縮荷重により連続繊維シートはすぐに座屈し，繊維の荷重負担能力は材料全体として活用されない．繊維座屈を高弾性率樹脂が抑制してはじめて繊維の持つ固有の強度・弾性特性が複合材料物性として発現される．樹脂の圧縮強度は，多くの場合引張強度よりも大きい傾向が見られ，圧縮強度が高く一般的に硬いプラスチックでは脆くなる傾向にあることが知られている．

樹脂のみの圧縮試験の場合，試験片の曲げによる影響を少なくし，座屈せず，また圧縮破壊すると想定される高さをもった試験片が必要となる．このことを考慮して，今回は型成形した四角柱ブロック型の樹脂試験片を用いて試験を実施した．

連続繊維シート補強工法においてプライマー，パテ，含浸樹脂に主として用いられているエポキシ樹脂について評価を行った．

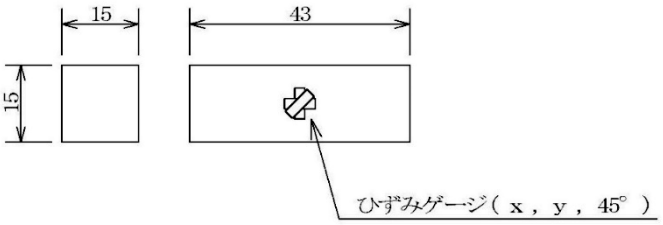
試験には，前述の表-3.1.1 および表-3.1.2 に示す樹脂を使用した．

(1) 試験方法

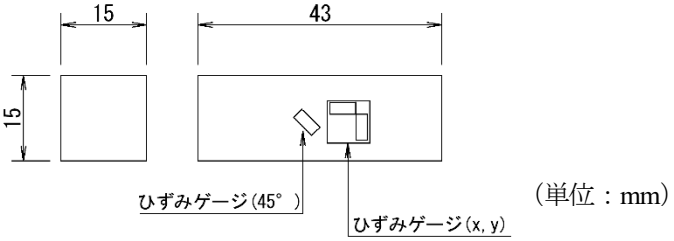
JIS K 7181「プラスチック—圧縮特性の求め方」に準じて行った．

試験片形状は図-3.3.8 にあるように基本サイズを幅 15mm，厚さ 15mm，全長を 43mm の四角柱型の試験片形状とした．試験片の作成は，予め混合後に真空脱泡を行った樹脂をシリコーン型へ流し込み，常温にて養生して硬化後に脱型した．

シリコーン樹脂製の型を用いた作製方法の手順についても，引張試験の試験片と同様に作成した．

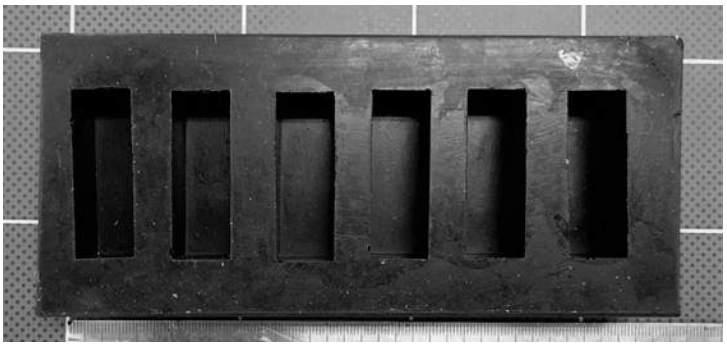


炭素繊維シート用樹脂試験片



アラミド繊維シート用樹脂試験片

図-3.3.8　樹脂圧縮試験片の形状及び寸法



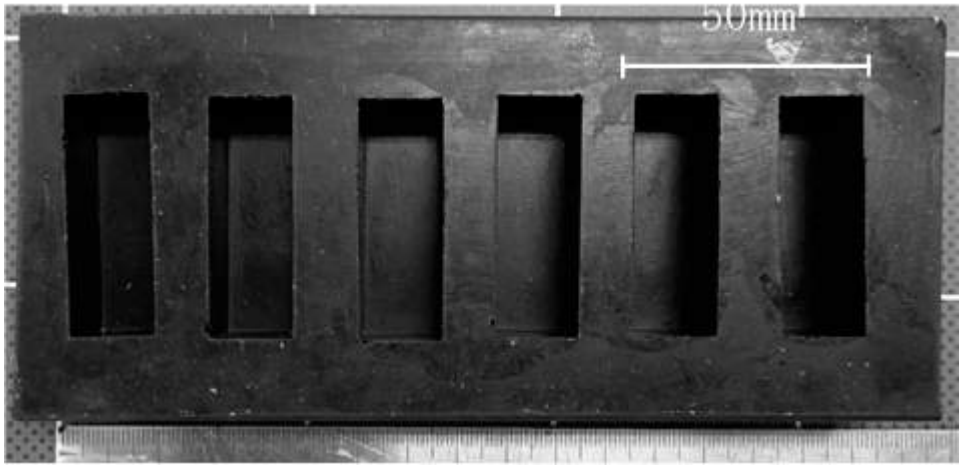


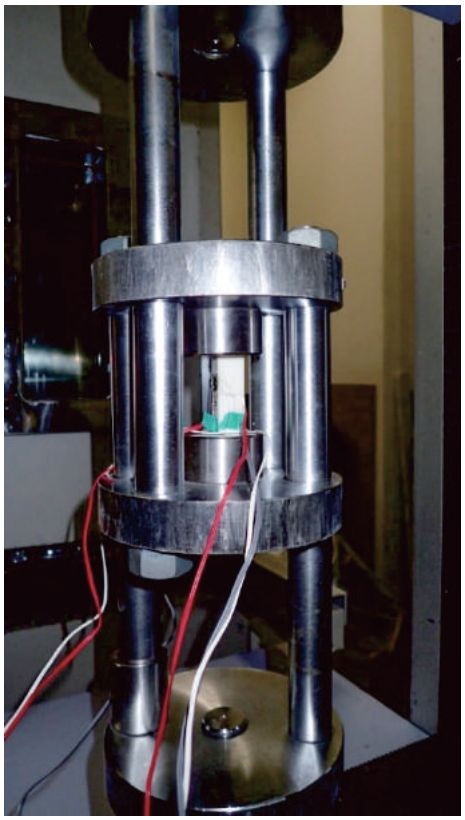
写真-3.3.9　樹脂圧縮試験片　シリコーン型

ひずみゲージについて，炭素繊維シート用樹脂は，3 軸のひずみゲージを選択し，試験軸方向（ε_1）と直角方向（ε_2）45°方向（ε_3）のひずみを測定した．ひずみゲージは，曲げの影響をなるべく取り除くため，試験片の表裏へ 1 枚ずつ貼り付けた．アラミド繊維シート用樹脂は，試験軸方向（ε_1）と直角方向（ε_2）に 2 軸のひずみゲージを貼り付け，45°方向（ε_3）に 1 軸ひずみゲージを貼り付け，3 方向のひずみを測定した．ひずみゲージは，表裏に貼り付けた．

圧縮試験は炭素繊維シート用樹脂については，東レ株式会社所有の 500kN 万能材料試験機にて，アラミド繊維シート用樹脂については，樹脂メーカーK 社所有のねじ式一軸試験機にて実施した．試験速度は 1mm/min.として試験を行った．

圧縮強度は，JIS K 7181 に従って求めた．弾性係数およびポアソン比は，JIS K 7181 に従って，0.05%から 0.25%間のひずみから求めた．

せん断弾性係数は，弾性係数とポアソン比から式 3.2 により求めた．



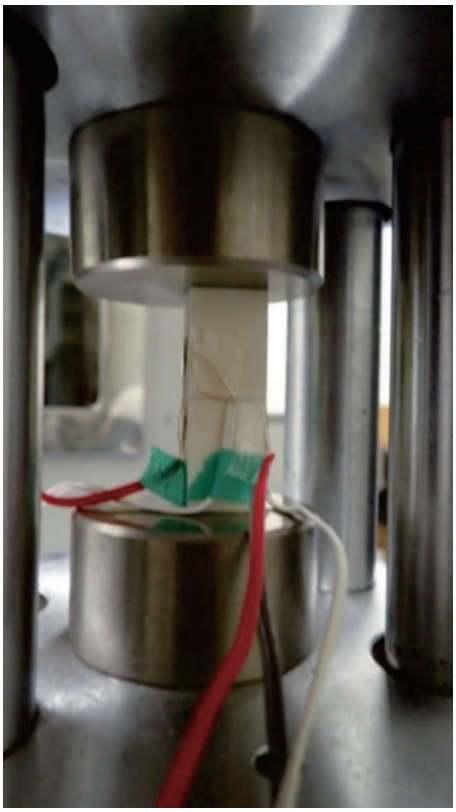


写真-3.3.10　アラミド繊維シート用樹脂圧縮試験機

⑵ 試験結果

炭素繊維シート用樹脂の試験結果を表-3.3.7～表-3.3.9 に，各試験片の破壊様相を写真-3.3.11～写真-3.3.13 に，各試験片の応力－ひずみの関係を図-3.3.9～図-3.3.11 にそれぞれ示す.

同様に，アラミド繊維シート用樹脂の試験結果を表-3.3.10～表-3.3.12 に，各試験片の破壊様相を写真-3.3.14～写真-3.3.16 に，各試験片の応力－ひずみの関係を図-3.3.12～図-3.3.14 にそれぞれ示す.

ひずみは，曲げの影響をなるべく取り除くため，表裏の平均値を使用して引張強度を算出した.

ポアソン比については，炭素繊維シート用樹脂では 0.35～0.41 という結果が得られたが，アラミド繊維シート用樹脂では 0.42～0.46 と炭素繊維シート用樹脂よりも大きな値となった.

せん断弾性係数については，どの樹脂の種類においても，5 体の試験結果のばらつきは小さく，安定した結果が得られた．また、どの樹脂の種類においても，炭素繊維シート用樹脂の方がアラミド繊維シート用樹脂よりも大きくなるという結果となった.

表-3.3.7　炭素繊維シート用プライマー圧縮試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	14.98	15.19	227.5	24900	109	3680	0.41	1300
2	15.00	15.16	227.4	25000	110	3720	0.40	1330
3	15.00	14.84	222.7	24800	111	4010	0.42	1410
4	15.10	15.11	228.1	25200	110	3680	0.41	1300
5	14.89	15.25	227.2	25000	110	3890	0.40	1390
平均	14.99	15.11	226.6	25000	110	3800	0.41	1350

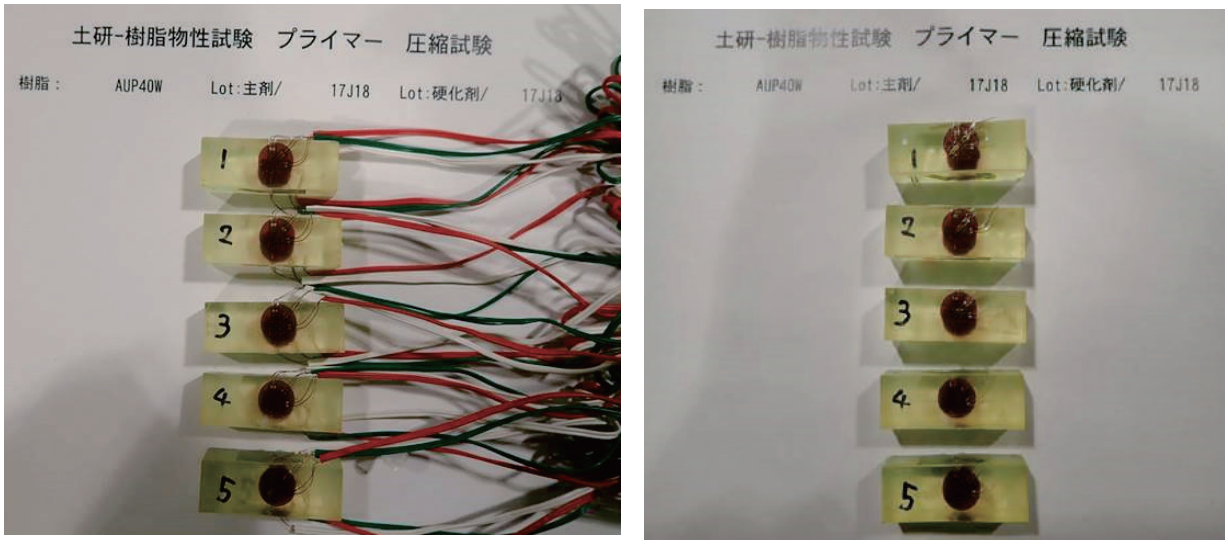


写真-3.3.11　プライマー試験片の破壊様相

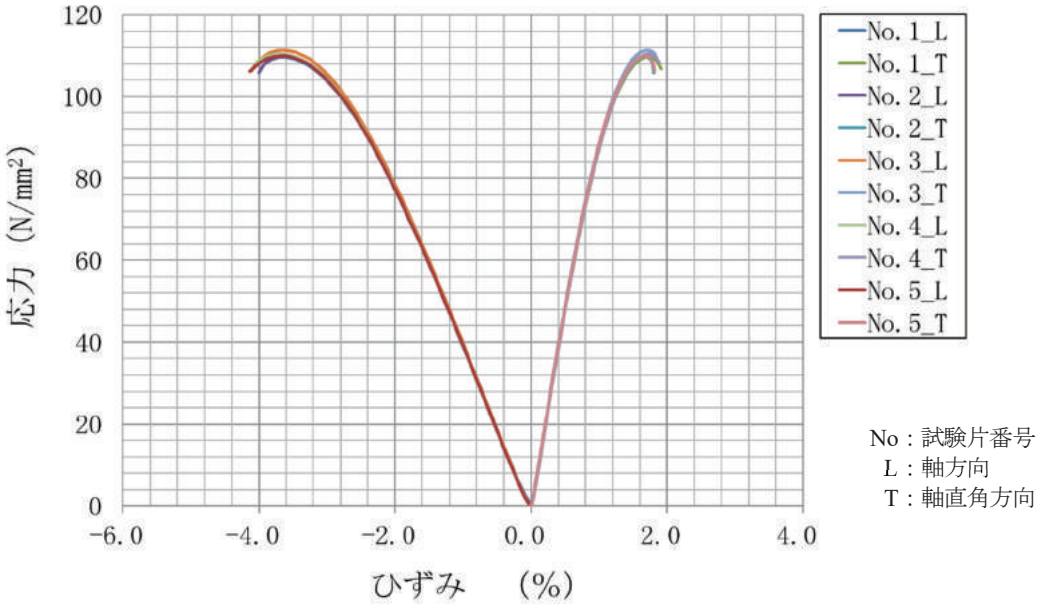


図-3.3.9　プライマーの応力－ひずみ関係（圧縮）

表-3.3.8　炭素繊維シート用パテ圧縮試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	15.06	14.79	222.7	21800	97.9	8220	0.35	3040
2	15.08	14.81	223.3	20900	93.6	8310	0.34	3100
3	14.80	14.91	220.7	21800	98.8	7720	0.35	2860
4	14.79	14.85	219.6	21800	99.3	7750	0.35	2870
5	15.06	15.01	226.1	22200	98.2	7610	0.35	2820
平均	14.96	14.87	222.5	21700	97.6	7920	0.35	2940

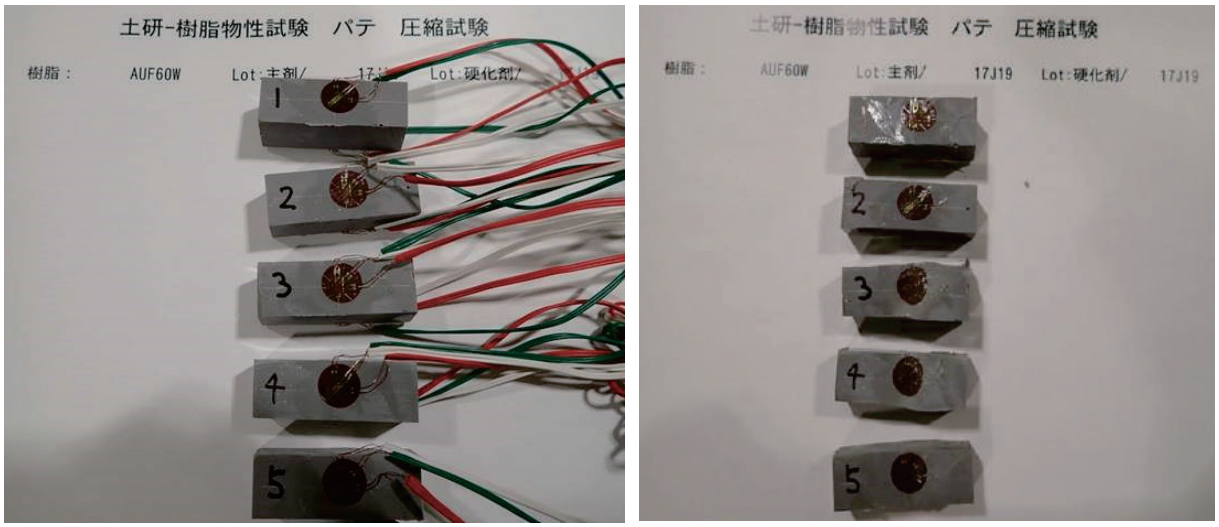


写真-3.3.12　パテ試験片の破壊様相

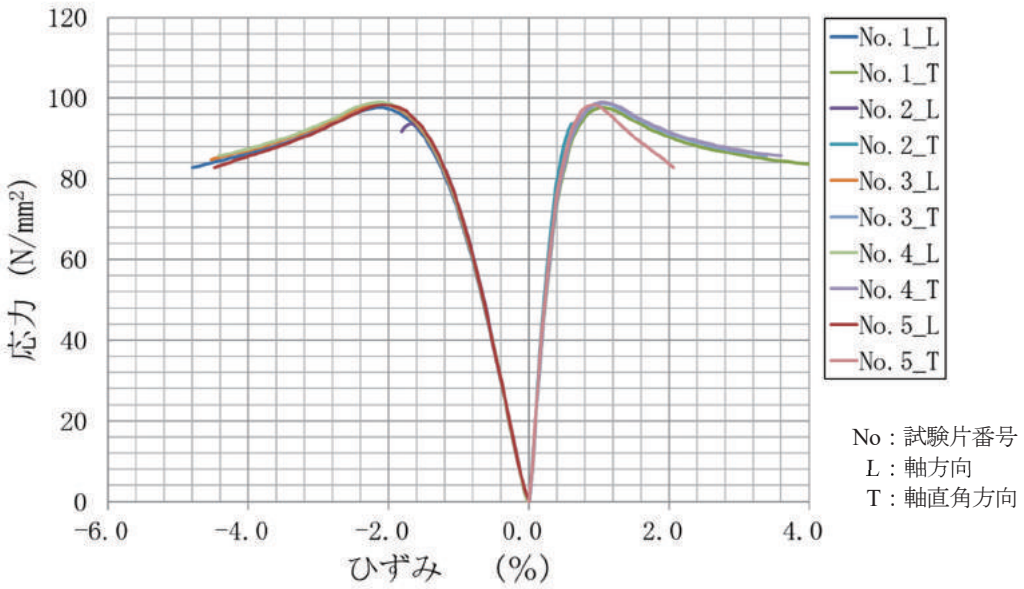


図-3.3.10　パテの応力ーひずみ関係（圧縮）

表-3.3.9　炭素繊維シート用含浸樹脂圧縮試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	14.87	15.12	224.8	23800	106	3810	0.40	1360
2	14.83	15.30	227.0	23500	104	3660	0.40	1310
3	15.00	15.03	225.5	23600	105	3800	0.40	1360
4	14.83	15.06	223.4	23500	105	3970	0.40	1420
5	14.95	15.11	225.9	23900	106	3270	0.40	1170
平均	14.90	15.12	225.3	23700	105	3700	0.40	1320

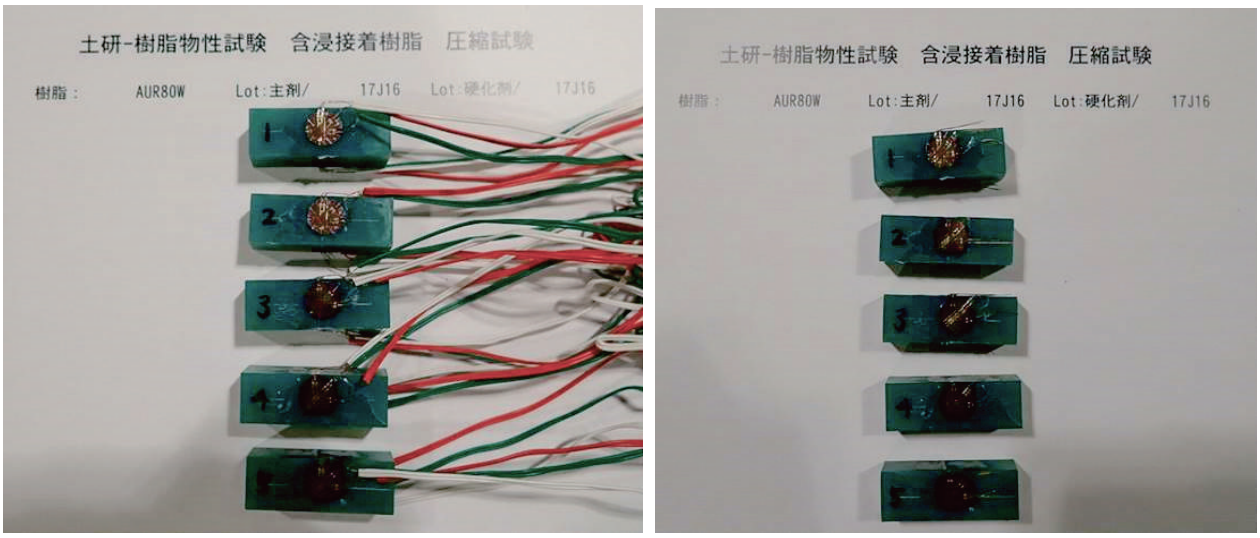


写真-3.3.13　含浸樹脂試験片の破壊様相

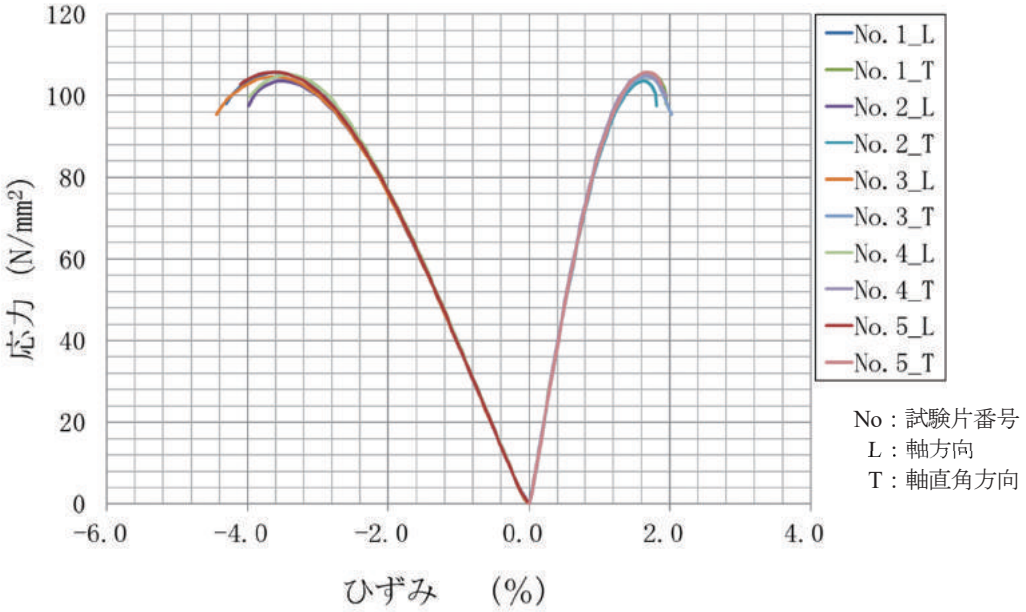


図-3.3.11　含浸樹脂の応力－ひずみ関係（圧縮）

表-3.3.10　アラミド繊維シート用プライマー圧縮試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	15.17	14.90	226.0	17000	75.2	1960	0.51	649
2	15.11	14.92	225.4	16900	75.0	2480	0.49	832
3	15.06	14.98	225.6	16500	73.1	2360	0.48	797
4	15.24	14.99	228.4	17000	74.4	2230	0.45	769
5	14.86	14.99	222.8	16800	75.4	2770	0.39	996
平均	15.09	14.96	225.6	16800	74.6	2360	0.46	809

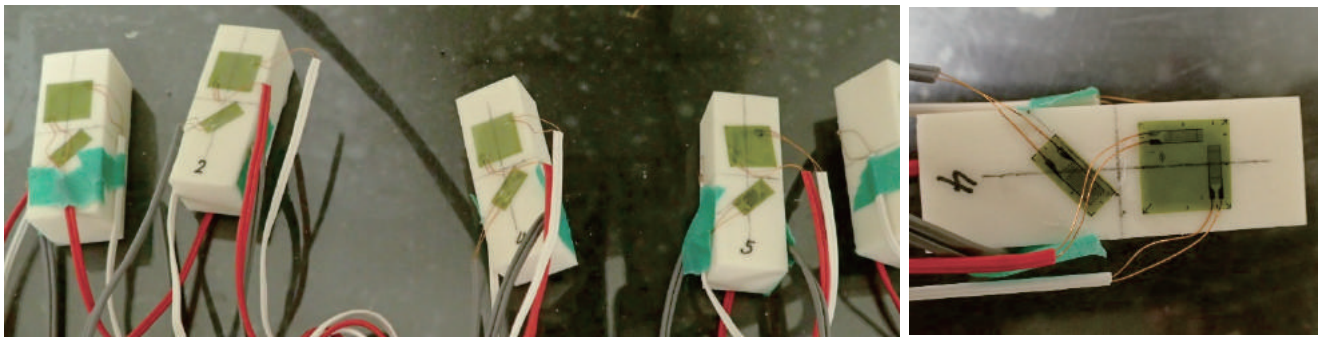


写真-3.3.14　プライマー試験片の破壊様相

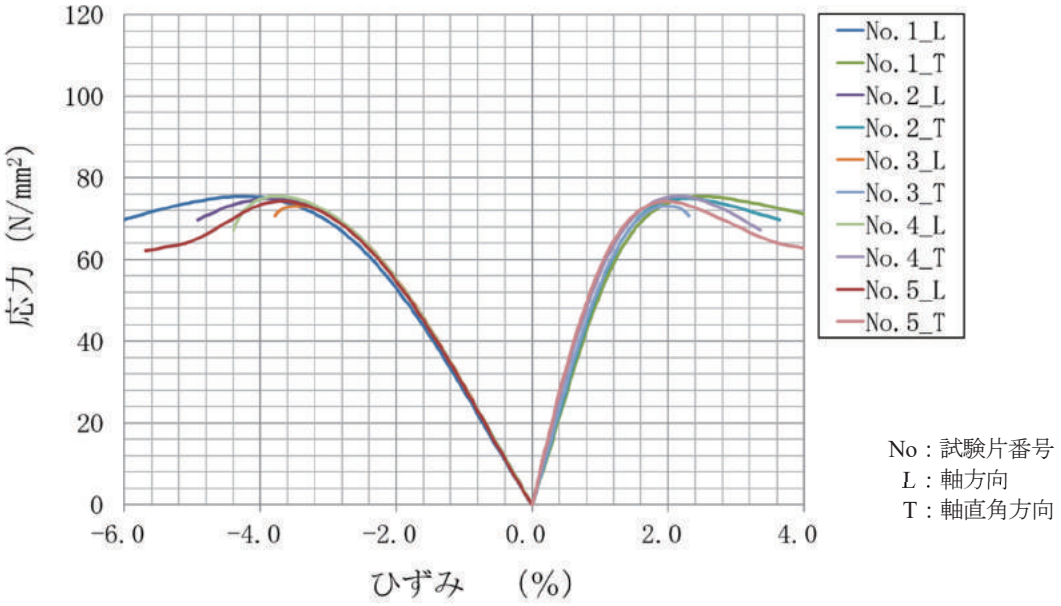


図-3.3.12　プライマーの応力ーひずみ関係（圧縮）

表-3.3.11　アラミド繊維シート用パテ圧縮試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	15.17	14.85	225.3	12100	53.7	2450	0.42	863
2	15.04	15.19	228.5	12700	55.6	4120	0.40	1470
3	14.74	15.27	225.1	11700	52.0	2580	0.42	908
4	14.95	15.05	225.0	12400	55.1	4200	0.43	1470
5	14.80	15.08	223.2	12200	54.7	4070	0.44	1410
平均	14.94	15.09	225.4	12200	54.2	3480	0.42	1220

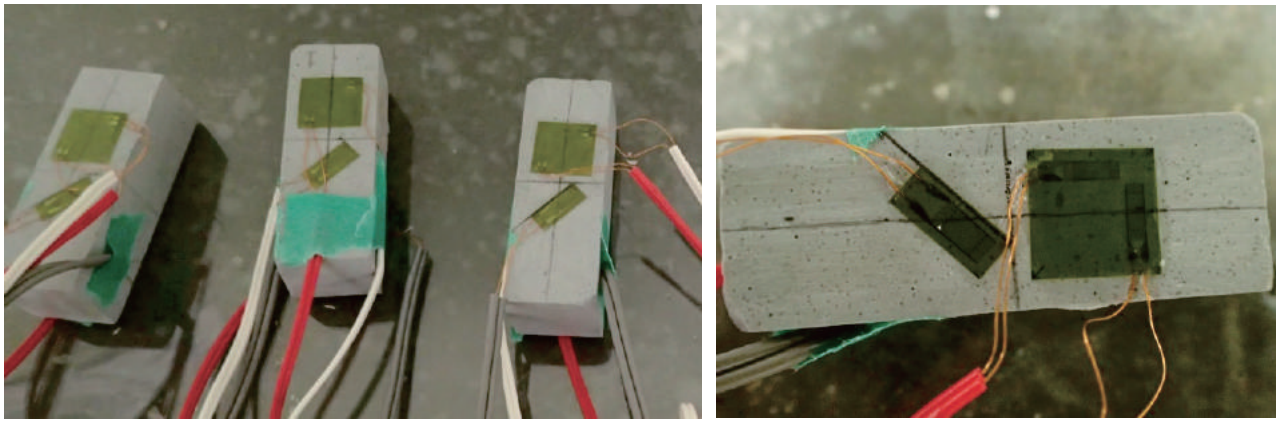


写真-3.3.15　パテ試験片の破壊様相

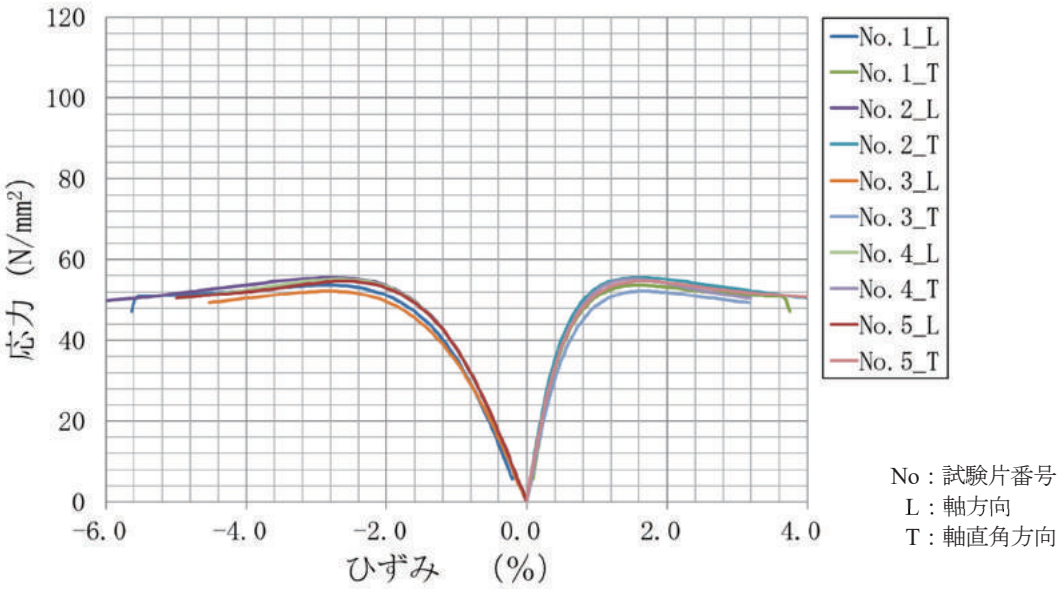


図-3.3.13　パテの応力ーひずみ関係（圧縮）

表-3.3.12　アラミド繊維シート用含浸樹脂圧縮試験結果

番号	試験片幅 (mm)	試験片厚 (mm)	断面積 (mm^2)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm^2)
1	15.05	15.16	228.2	15300	67.0	2210	0.47	750
2	15.26	15.25	232.7	16200	69.6	2560	0.40	914
3	14.60	15.00	219.0	16900	77.2	3230	0.46	1110
4	15.26	15.11	230.6	16200	70.3	3210	0.47	1090
5	15.15	14.77	223.8	16200	72.4	2590	0.35	959
平均	15.06	15.06	226.9	16200	71.3	2760	0.43	965

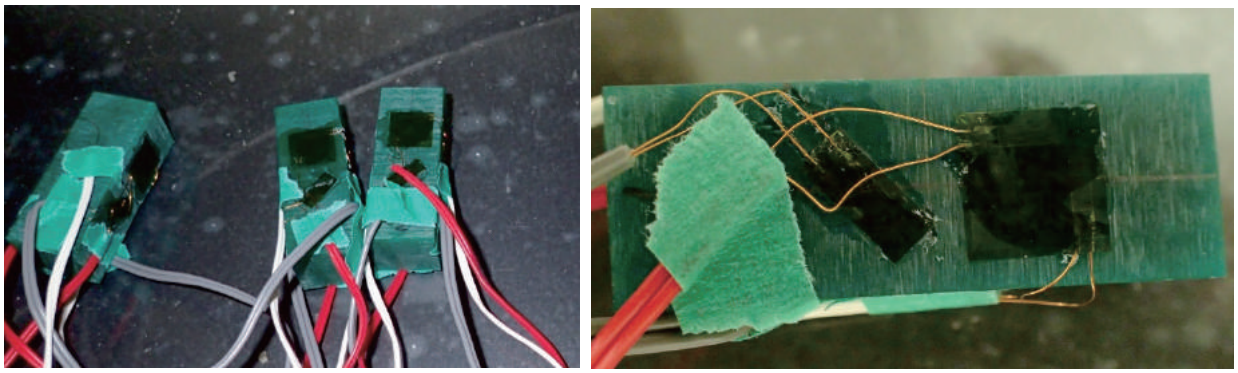


写真-3.3.16　含浸樹脂試験片の破壊様相

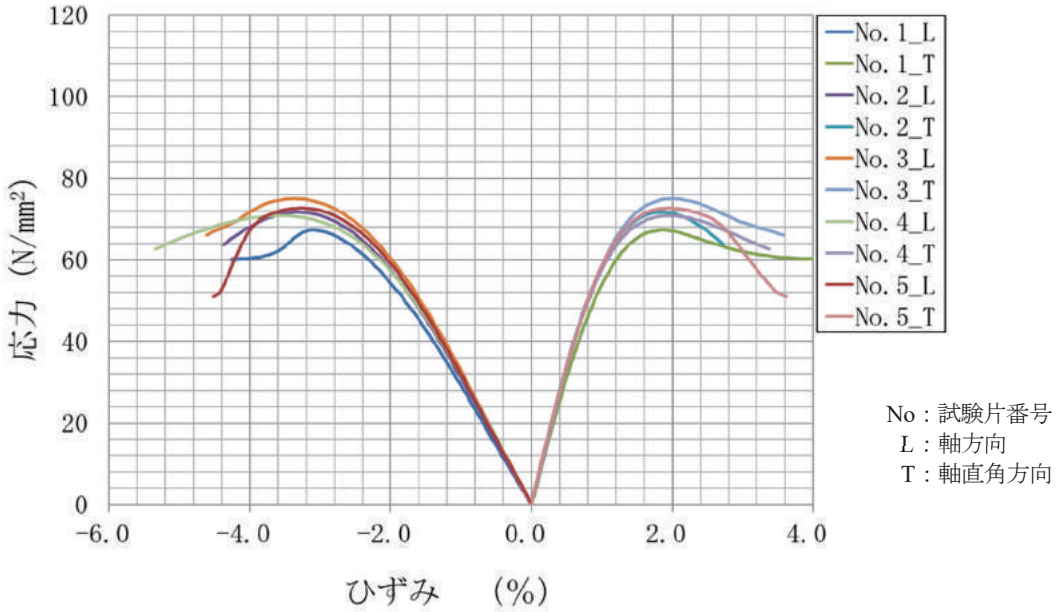


図-3.3.14　含浸樹脂の応力－ひずみ関係（圧縮）

3.3.3　平板ねじり試験

(1)　試験方法

平板ねじり試験を規定した JIS K 7021 は，主として繊維強化プラスチックを対象にしているが，同 JIS には等方性材料にも適用できるとしているので，同試験法に従って含浸樹脂単体を対象にした試験も行った．試験片は 150mm×150mm×樹脂厚として，目標樹脂厚は 2mm と 4mm とした。実測樹脂厚は，JIS において目標樹脂厚の±0.5mm で許容されている範囲であった（表-3.3.13, 3.3.14 に記載）．樹脂の種類は，前述の連続繊維シートの静的引張試験に用いた材料と同一ロットの樹脂をそれぞれ用いた．

樹脂の試験片の製作では，主剤と硬化剤を混ぜた後，真空脱泡を 1 回行った後，型枠に塗布した．型枠は，写真-3.3.17 に示すように，1 枚の鋼板（厚さ 1.5 mm）の上に所定の厚さのアルミ板を側枠として配置した．接着剤硬化後の型枠の剥離を容易にするため，鋼板と樹脂の間にはポリエステルフィルムを配置するとともに，アルミ板には養生テープを巻きつけておいた．型枠に接着剤を塗布した後，写真-3.3.18 のとおり，もう 1 枚の鋼板を被せて，周囲をダブルクリップで固定した．24 時間養生後に脱型した．試験片の製作および養生は，気温 23℃の室内で行った．

写真-3.3.19 に，樹脂単体の平板ねじり試験の状況を示す．載荷は 1kN のロードセルを持つ万能試験機を用いた．載荷点直下の 2 点の変位はレーザ変位計を用いて測定した．板厚の 1/2 程度の変位を目標として，荷重を載荷した．FRP の場合と同様に，試験の特性を把握するため，各試験片について載荷を 5 回連続して繰り返した．測定された荷重－変位のデータから，JIS に記載されている式 3.1（前掲）によってせん断弾性係数を算定した．

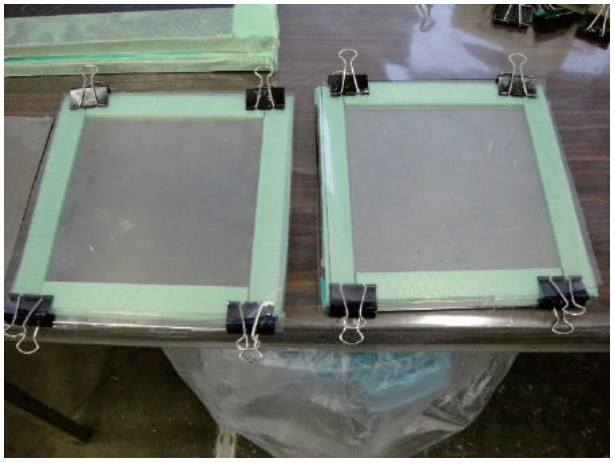


写真-3.3.17　試料作製に用いた型枠

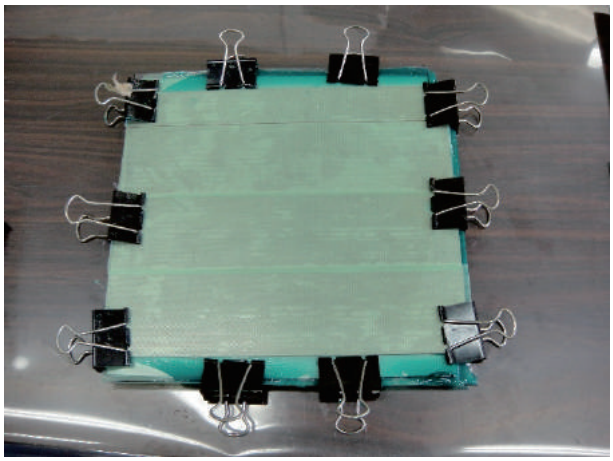
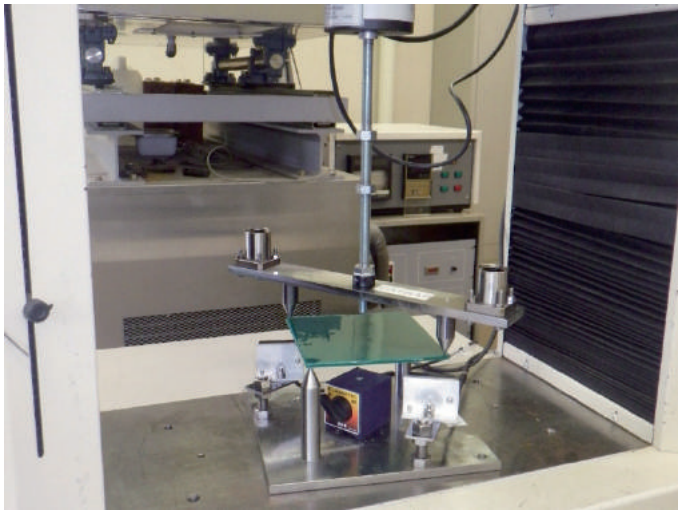
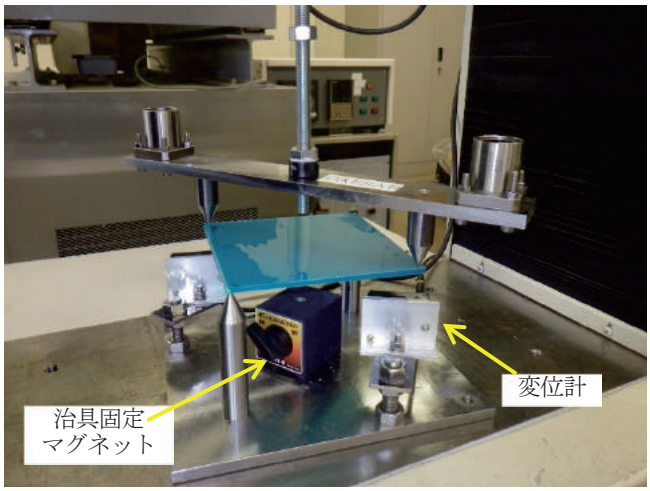
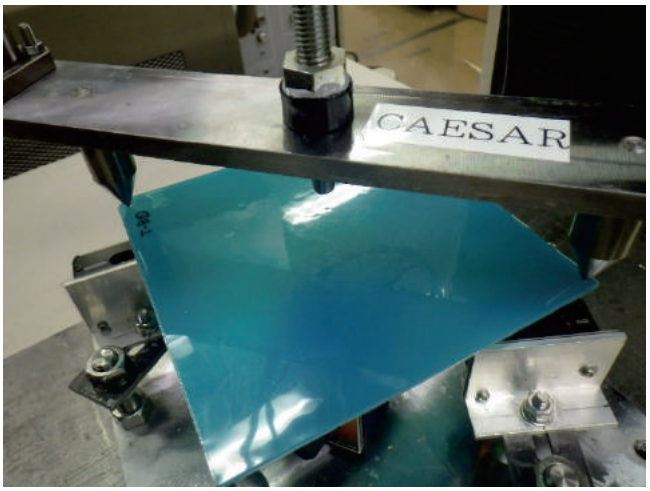


写真-3.3.18　試料を型枠に流し込んだ後の養生



(a)　全景





(b)　拡大

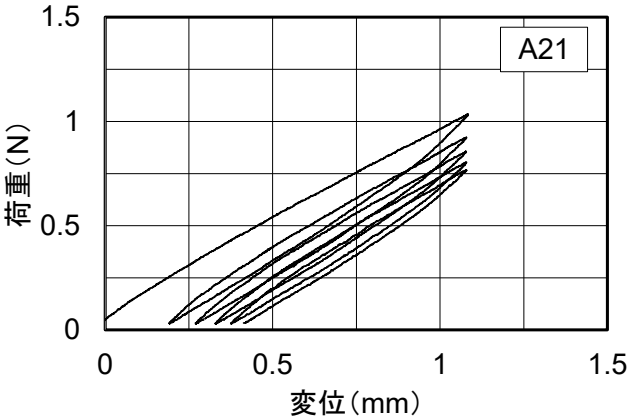
写真-3.3.19　樹脂の平板ねじり試験の試験状況

(2)　試験結果

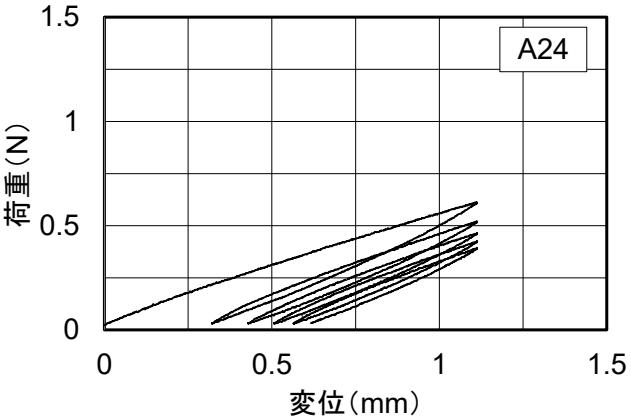
図-3.3.15～図-3.3.18 に，樹脂の平板ねじり試験から得られた荷重－変位の関係を示す．連続繊維シートの試験と同様，いずれの試験片においても，1 回の載荷で残留変位が大きく，また繰返しにより傾きがやや大きくなる傾向が見られた．同じ樹脂，目標樹脂厚であっても，試験片間で傾きや繰返しの影響に違いが見られた．

表-3.3.13～表-3.3.14 に，これらの結果から得られた 1 サイクル目と 5 サイクル目のせん断弾性係数をそれぞれ示す．5 サイクル目における，アラミド繊維用樹脂，目標樹脂厚 2 mm の試験片 A21～A25 の結果では，0.3h までのデータが得られていなかったため，測定できた範囲で，最大変位における荷重，変位の値を F_2，w_2 として用いた．また，表-3.3.15 に，各 5 体のせん断弾性係数の平均値，標準偏差，変動係数及び載荷回数の影響を示す．

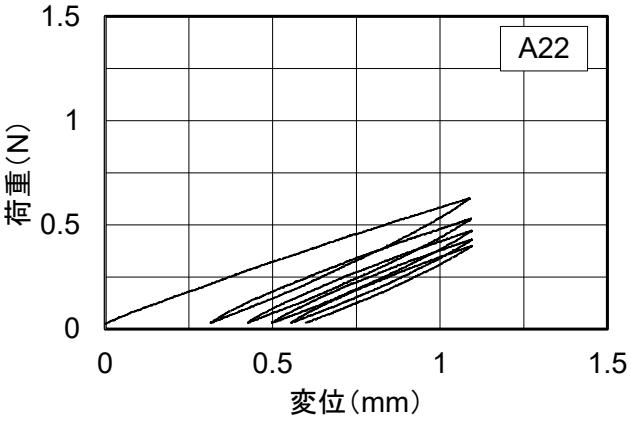
式 3.1 において，樹脂厚が考慮されていることから，目標樹脂厚に関係なく，せん断弾性係数は近い値になると想定されるが，樹脂厚 2 mm のせん断弾性係数の方が同 4mm の場合に比べてやや大きい傾向が見られた．5 サイクル目のせん断弾性係数を 1 サイクル目の値に対する比で繰返し載荷の影響を見てみると，アラミド繊維用樹脂で 8%，炭素繊維用樹脂で 5%の増加が見られた．



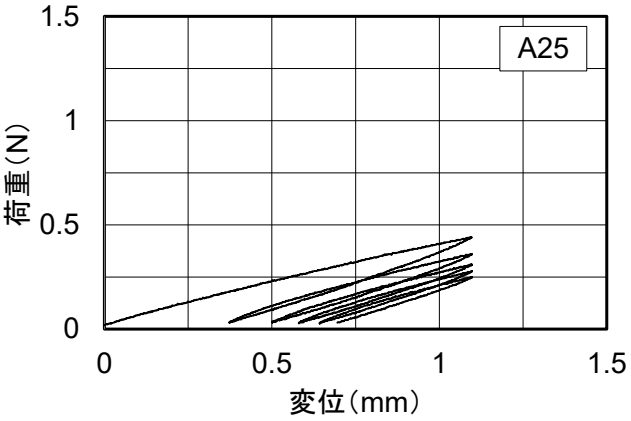
(a)　A21



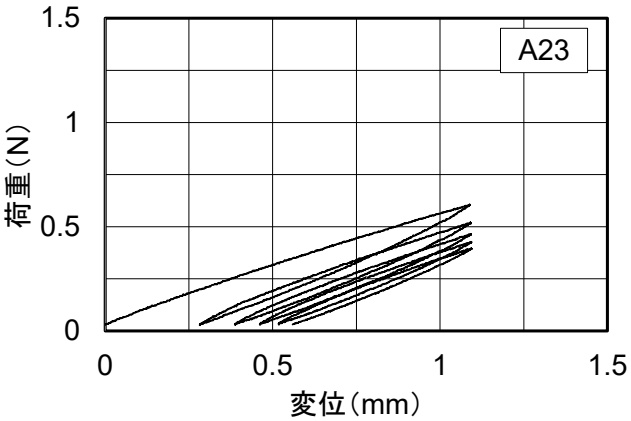
(d)　A24



(b)　A22



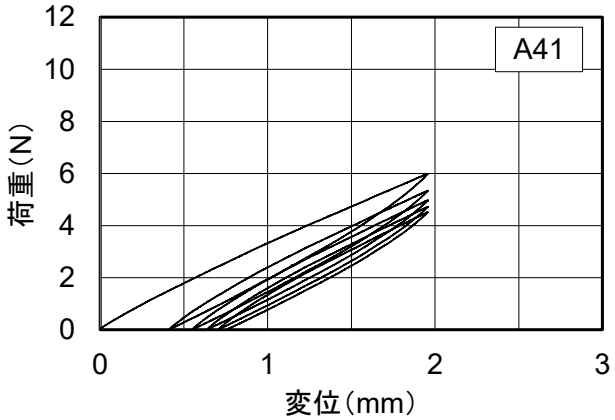
(e)　A25



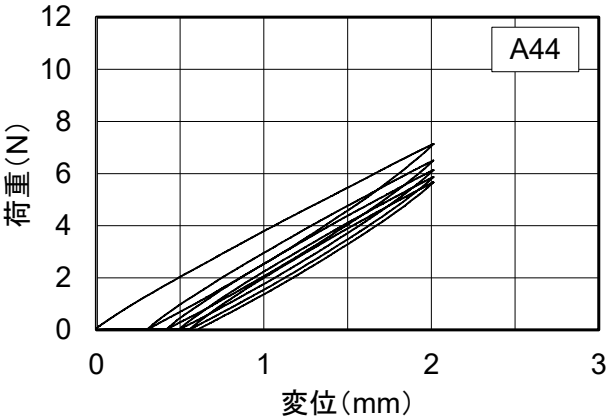
(c)　A23

図-3.3.15　樹脂の平板ねじり試験における荷重－変位関係

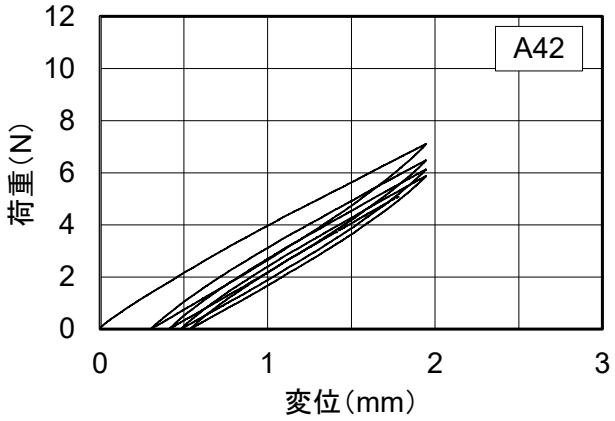
（アラミド繊維用樹脂，樹脂厚 2 mm）



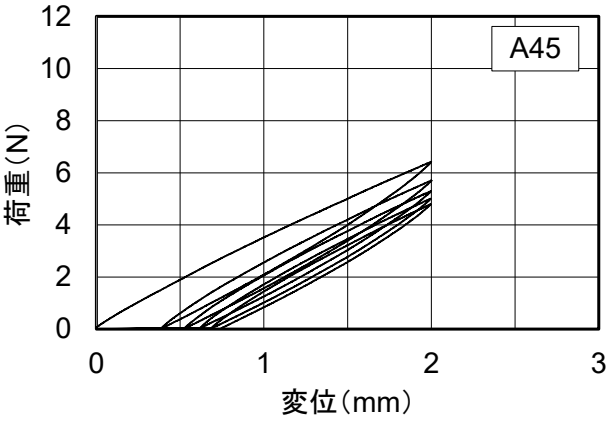
(a)　A41



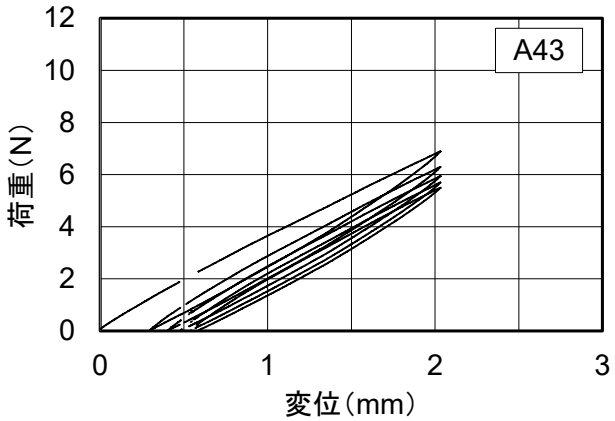
(d)　A44



(b)　A42



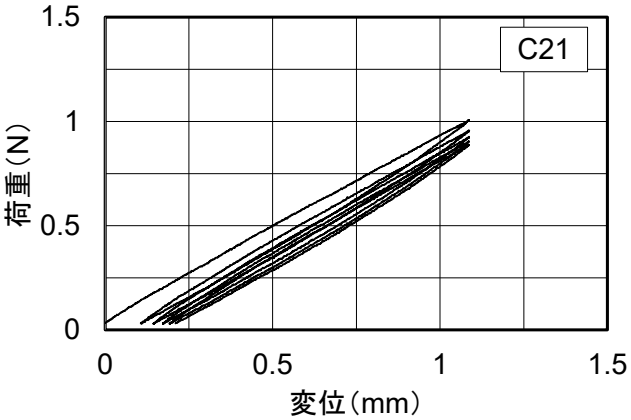
(e)　A45



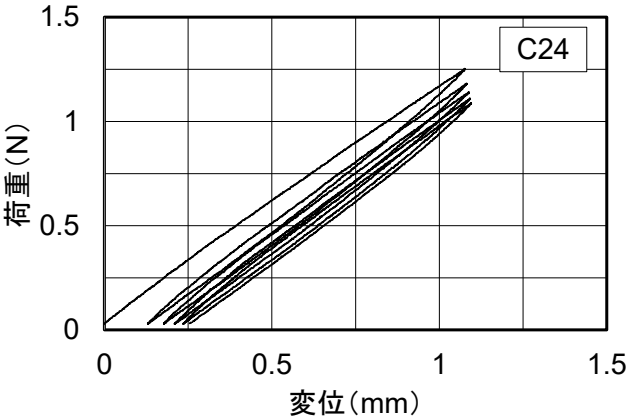
(c)　A43

図-3.3.16　樹脂の平板ねじり試験における荷重－変位関係

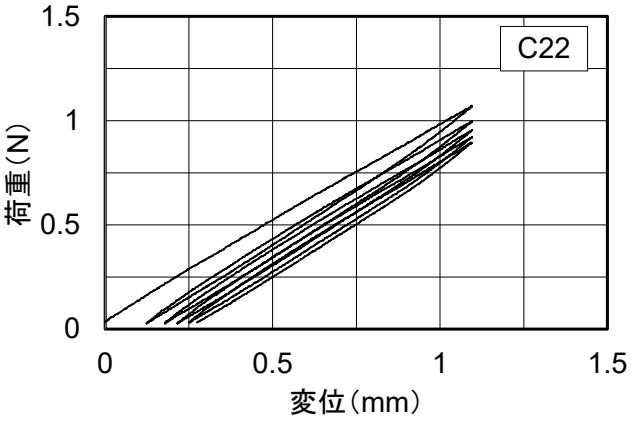
（アラミド繊維用樹脂，樹脂厚 4 mm）



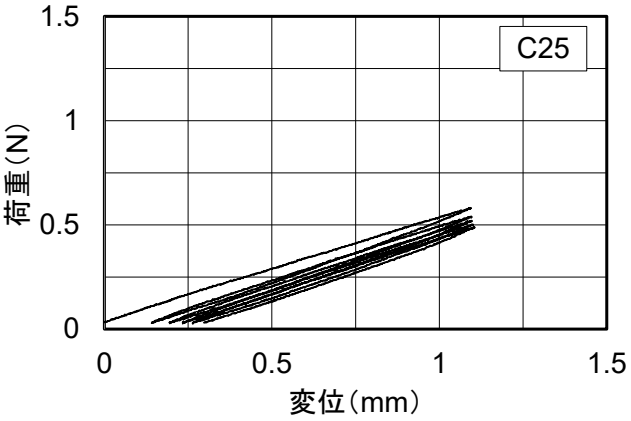
(a)　C21



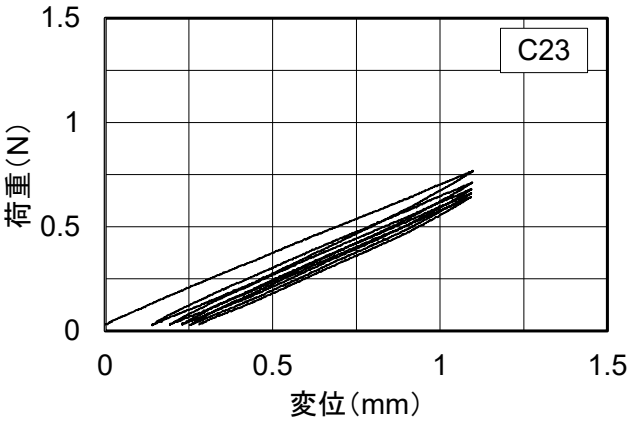
(d)　C24



(b)　C22



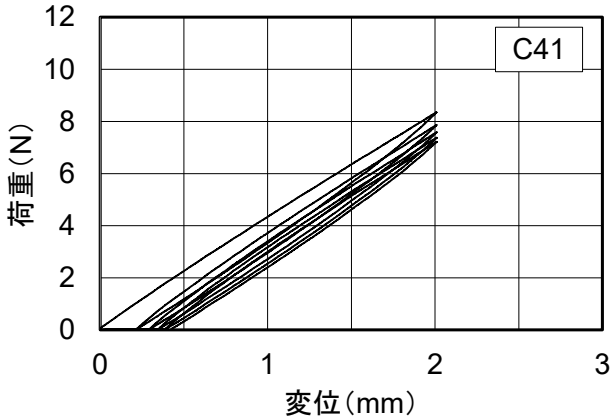
(e)　C25



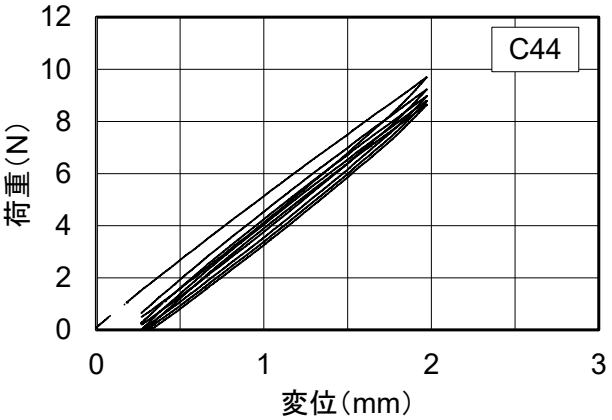
(c)　C23

図-3.3.17　樹脂の平板ねじり試験における荷重－変位関係

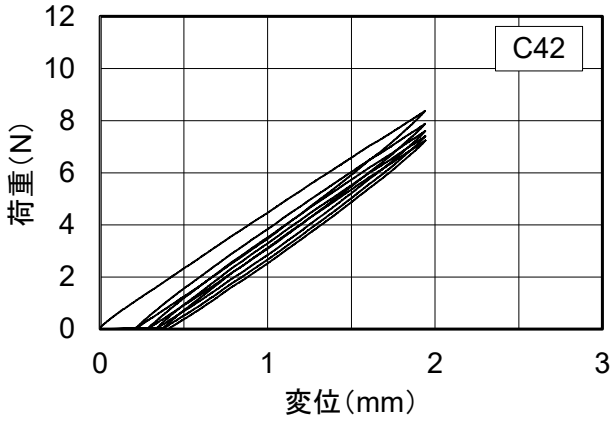
（炭素繊維用樹脂，樹脂厚 2 mm）



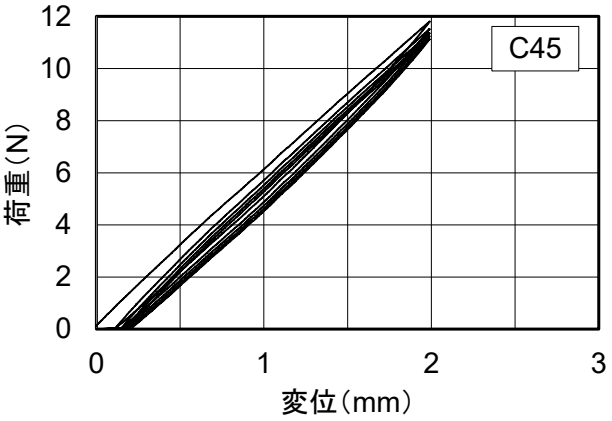
(a)　C41



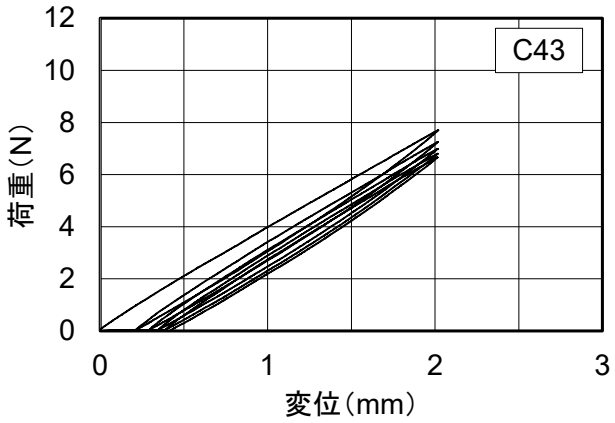
(d)　C44



(b)　C42



(e)　C45



(c)　C43

図-3.3.18　樹脂の平板ねじり試験における荷重－変位関係

（炭素繊維用樹脂，樹脂厚 4 mm）

表-3.3.13　樹脂の平板ねじり試験におけるせん断弾性係数測定結果（1 サイクル目）

試験片 No.	a' (mm)	a'' (mm)	h (mm)	F_1 (N)	F_2 (N)	w_1 (mm)	w_2 (mm)	Δ	G_{12} (×10³N/mm²) 測定値	平均値	標準偏差	試験時温度 (℃)
A21	151	153	2.44	0.262	0.695	0.243	0.730	0.892	0.87	0.69	0.13	24.3
A22	153	152	2.25	0.146	0.400	0.225	0.675	0.566	0.71			24.3
A23	154	150	2.26	0.141	0.381	0.226	0.678	0.531	0.65			24.3
A24	152	152	2.22	0.141	0.378	0.221	0.665	0.533	0.69			24.3
A25	151	150	2.19	0.098	0.271	0.218	0.657	0.394	0.52			24.2
A41	153	154	4.17	1.488	4.018	0.417	1.250	3.035	0.61	0.63	0.05	25.4
A42	149	152	4.23	1.811	4.832	0.423	1.270	3.569	0.66			25.5
A43	152	151	4.14	1.942	4.344	0.388	1.239	2.820	0.56			25.5
A44	151	150	4.16	1.683	4.579	0.416	1.249	3.479	0.67			25.4
A45	157	152	4.15	1.554	4.214	0.415	1.245	3.205	0.66			25.4
C21	152	154	2.22	0.215	0.608	0.222	0.666	0.884	1.16	1.10	0.22	24.0
C22	153	151	2.19	0.225	0.636	0.219	0.655	0.943	1.28			24.3
C23	152	152	2.13	0.153	0.438	0.213	0.639	0.669	0.98			24.3
C24	150	151	2.31	0.281	0.806	0.230	0.691	1.138	1.30			24.3
C25	152	150	2.08	0.113	0.321	0.208	0.624	0.498	0.77			24.2
C41	152	150	4.11	1.821	5.219	0.409	1.230	4.137	0.84	0.95	0.16	25.2
C42	152	150	4.05	1.859	5.328	0.405	1.215	4.284	0.90			25.1
C43	151	151	4.10	1.698	4.767	0.410	1.228	3.752	0.77			25.0
C44	158	151	4.07	2.138	6.127	0.407	1.221	4.898	1.07			24.8
C45	155	152	4.19	2.616	7.517	0.418	1.256	5.848	1.16			24.8

表-3.3.14　樹脂の平板ねじり試験におけるせん断弾性係数測定結果（5 サイクル目）

試験片 No.	a' (mm)	a'' (mm)	h (mm)	F_1 (N)	F_2 (N)	w_1 (mm)	w_2 (mm)	Δ	G_{12} (×10³N/mm²) 実測値	平均値	標準偏差	試験時温度 (℃)
A21	151	153	2.44	0.298	0.735	0.243	0.702	0.951	0.93	0.74	0.14	24.3
A22	153	152	2.25	0.178	0.370	0.224	0.538	0.612	0.76			24.3
A23	154	150	2.26	0.170	0.363	0.225	0.575	0.553	0.68			24.3
A24	152	152	2.22	0.172	0.363	0.221	0.546	0.588	0.76			24.3
A25	151	150	2.19	0.124	0.222	0.219	0.454	0.413	0.55			24.2
A41	153	154	4.17	1.790	4.488	0.417	1.246	3.255	0.65	0.69	0.02	25.4
A42	149	152	4.23	2.007	5.094	0.423	1.248	3.738	0.69			25.5
A43	152	151	4.14	1.787	4.674	0.413	1.240	3.490	0.69			25.5
A44	151	150	4.16	1.874	4.948	0.415	1.249	3.688	0.71			25.4
A45	157	152	4.15	1.802	4.566	0.415	1.244	3.334	0.68			25.4
C21	152	154	2.22	0.240	0.652	0.221	0.666	0.925	1.22	1.15	0.22	24.0
C22	153	151	2.19	0.253	0.681	0.219	0.656	0.978	1.32			24.3
C23	152	152	2.13	0.173	0.473	0.213	0.640	0.704	1.03			24.3
C24	150	151	2.31	0.321	0.867	0.229	0.691	1.183	1.35			24.3
C25	152	150	2.08	0.123	0.347	0.208	0.624	0.537	0.84			24.2
C41	152	150	4.11	2.073	5.598	0.411	1.232	4.294	0.87	0.99	0.16	25.2
C42	152	150	4.05	2.089	5.727	0.405	1.216	4.490	0.94			25.1
C43	151	151	4.10	1.860	5.123	0.409	1.229	3.980	0.81			25.0
C44	158	151	4.07	2.374	6.511	0.407	1.221	5.079	1.10			24.8
C45	155	152	4.19	2.878	7.967	0.419	1.256	6.082	1.20			24.8

注）5 サイクル目における，アラミド繊維用樹脂，目標樹脂厚 2 mm の試験片（A21～A25）の結果では，0.3h までのデータが得られていなかったため，最大変位における荷重，変位の値を用いた．

表-3.3.15　樹脂平板ねじり試験におけるせん断弾性係数と載荷回数の影響

試験片		せん断弾性係数 G_{12} ($\times 10^3$N/mm^2)						G(5c)/G(1c)
樹脂	目標樹脂厚 (mm)	1 サイクル目			5 サイクル目			
		平均値 G(1c)	標準偏差	変動係数	平均値 G(5c)	標準偏差	変動係数	
アラミド繊維用	2	0.69	0.13	0.18	0.74	0.14	0.19	1.07
	4	0.63	0.05	0.07	0.69	0.02	0.03	1.09
	平均値	**0.66**	－	－	**0.71**	－	－	**1.08**
炭素繊維用	2	1.10	0.22	0.20	1.15	0.22	0.19	1.05
	4	0.95	0.16	0.17	0.99	0.16	0.16	1.04
	平均値	**1.02**	－	－	**1.07**	－	－	**1.05**

４．考察

4.1　各試験で得られたせん断弾性係数

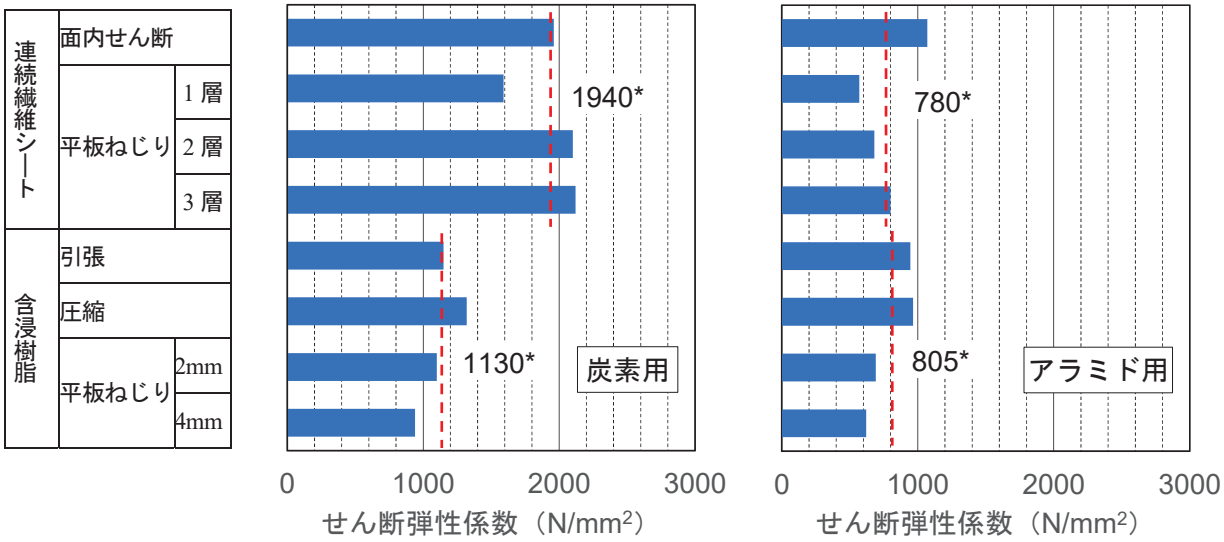
表-4.1 に，3 章で示した試験結果の一覧を示す．これらのうち，連続繊維シートと含浸樹脂のせん断弾性係数について，各試験で得られた値を図-4.1 に示す．炭素繊維用含浸樹脂，アラミド繊維用含浸樹脂ともに，それぞれすべて同じセット（2 液の缶）の樹脂材料を用いて行った各試験の結果である．しかし，試験方法やシート層数，樹脂厚の違いによって，せん断弾性係数の値に違いが見られた．図-4.1 で全体的な傾向を見ると，アラミド繊維の場合のせん断弾性係数は連続繊維シート，含浸樹脂にかかわらず，その違いの範囲が比較的小さい．それに比べて，炭素繊維の場合のせん断弾性係数は，連続繊維シートとして試験した結果と樹脂単体で試験した結果で大きな差が見られる．検討前は，連続繊維シートを用いた試験であっても，得られるせん断弾性係数は含浸樹脂のせん断弾性係数と同等と想定していた．しかし，炭素繊維の場合は，連続繊維シートとして試験すると，せん断弾性係数がその繊維の存在によって改善される傾向がある可能性があると考えられる．一方，アラミド繊維用含浸樹脂の場合は，その傾向が認められなかった．

表-4.1 より，炭素繊維シートの弾性係数はアラミド繊維シートの値の 2.1 倍であり，また引張試験における炭素繊維用樹脂の弾性係数はアラミド繊維用樹脂の値の 1.2 倍であった．また，図-4.1 の図中に示す平均値より，連続繊維シートの場合に，炭素繊維シートのせん断弾性係数はアラミド繊維シートの値の 2.5 倍であり，含浸樹脂の場合に，炭素繊維用樹脂のせん断弾性係数はアラミド繊維用樹脂の値の 1.4 倍であった．これらの結果より，それぞれ若干の差はあるが，せん断弾性係数における炭素繊維シートとアラミド繊維シートの違いは，弾性係数におけるそれらの違いと同程度であり，また含浸樹脂の場合も同様であった．

図-4.2 に，繊維間の含浸樹脂の物性と含浸樹脂単体の物性の違いをイメージ図で示す．上記の結果より，材料構成によっては繊維の影響を受ける可能性があることから，連続繊維シートを用いた面内せん断試験や平板ねじり試験は，繊維間の含浸樹脂の物性（図中の a）を表すものと考えておく必要があることが分かった．一方，コンクリートとの付着に影響すると想定されるコンクリートと連続繊維シートの間における含浸樹脂単体の物性（図中の b）を知るためには，樹脂単体の試験結果の方が適していると考えられる．

表-4.1　連続繊維シート及び樹脂の試験結果一覧表（平均値のみ）

試験項目		試験規格	材料		引張・圧縮強度	弾性係数	ポアソン比	せん断弾性係数	せん断強度	備　　考
					N/mm^2	N/mm^2	－	N/mm^2	N/mm^2	
連続繊維シート物性試験	引張試験	JIS A 1191	連続繊維シート	炭素繊維	4170	234000	0.27			JIS A 1191　弾性係数は最大引張荷重の20%～50%のひずみで算出 JIS K 7170　ポアソン比は0.1%～0.5%のひずみ範囲で算出
				アラミド繊維	2500	110000	0.38			
	面内せん断試験	JIS K 7019		炭素繊維				1960	34.3	せん断弾性係数算出時の厚み5.66mm
				アラミド繊維				1070	17.9	せん断弾性係数算出時の厚み7.30mm
	平板ねじり試験	JIS K 7021		炭素繊維				1590		1層，δ/h=0.1～0.3
								2100		2層，δ/h=0.1～0.3
								2120		3層，δ/h=0.1～0.3
				アラミド繊維				570		1層，δ/h=0.1～0.3
								680		2層，δ/h=0.1～0.3
								800		3層，δ/h=0.1～0.3
樹脂物性試験	引張試験	JIS K 7161-1	プライマー	炭素用	49.6	3350	0.37	1220		弾性係数,ポアソン比は，0.05%～0.25%のひずみ範囲で算出
				アラミド用	48.8	2600	0.37	948		
			パテ	炭素用	26.0	6710	0.31	2560		
				アラミド用	23.1	3510	0.36	1290		
			含浸樹脂	炭素用	46.2	3120	0.36	1150		
				アラミド用	42.6	2590	0.37	945		
	圧縮試験	JIS K 7181	プライマー	炭素用	110	3800	0.41	1350		弾性係数,ポアソン比は，0.05%～0.25%のひずみ範囲で算出
				アラミド用	74.6	2360	0.46	809		
			パテ	炭素用	97.6	7920	0.35	2940		
				アラミド用	54.2	3480	0.42	1220		
			含浸樹脂	炭素用	105	3700	0.40	1320		
				アラミド用	71.3	2940	0.43	965		
	平板ねじり試験	JIS K 7021	含浸樹脂	炭素用				940		t=4mm，δ/h=0.1～0.3
								1100		t=2mm，δ/h=0.1～0.3
				アラミド用				620		t=4mm，δ/h=0.1～0.3
								690		t=2mm，δ/h=0.1～0.3



注）図中の*は，それぞれの平均値を示す．

図-4.1　含浸樹脂のせん断弾性係数の測定結果

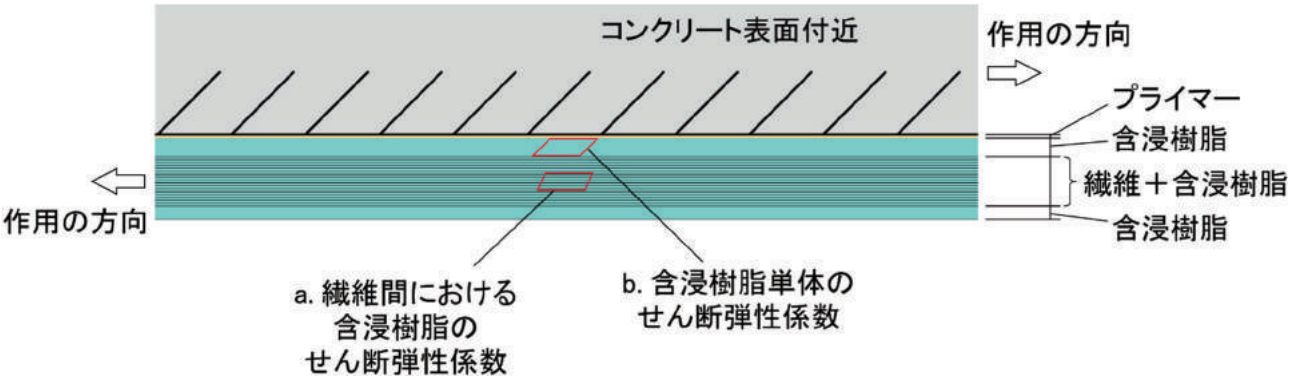


図-4.2　繊維間の含浸樹脂の物性と含浸樹脂単体の物性の違い（概念図）

4.2　各試験方法の留意点

(1) 連続繊維シートの引張試験

連続繊維シートのポアソン比を求める試験方法は JIS や JSCE に無いため，ポアソン比を求める試験方法として，JIS A 1191 に準拠した．ただし，試験片の幅を標準の 12.5mm から 25mm に変更するとともに，試験片中央に軸直角方向にもひずみゲージを貼り付けて試験を実施した．また，本共同研究では軸直角方向のひずみゲージについて，1 軸のひずみゲージを試験片中央付近に片側 3 枚，両面で 6 枚貼り付けて測定した．その結果，試験片の幅方向の両端に貼り付けたひずみゲージによるひずみは，試験片中央付近に貼り付けた場合に比べて小さい値を示していた．このことから，表-4.1 に示す値としては中央の表裏 2 枚のひずみゲージの平均値を使用してポアソン比を算出した．また，この結果から，ポアソン比を測定するときは試験片幅を 25mm とする方がよいと考えられる．幅 12.5mm で軸直角方向にひずみゲージを貼り付ける場合には，その試験片幅に応じて適切なゲージ長のひずみゲージを選択した方がよいと考える．

(2) 連続繊維シートの面内せん断試験

建設用途で使用される連続繊維シートに対して，面内せん断試験が行われることは極めて稀である．本共同研究では，せん断弾性係数が非常に重要な要素であるとの認識から，連続繊維シートの面内せん断試験を行った．JIS K 7019 では，試験片の厚さは 2mm±0.2mm，積層板を作る場合の層数は，バランスト積層（複数の積層にして直交する繊維それぞれの繊維量のバランスが取れた積層）とするために，16 枚と規定されている．しかし，試験に使用する連続繊維シートは，アラミド繊維シートでは 1 層当たりの厚さが厚いことから，バランスト積層を保持した上で積層数を 4 枚とした．それでも，樹脂を含浸させたアラミド繊維シートの厚さは 7mm 以上となったが，一般の万能試験機で載荷することができた．得られた結果は，表-4.1，図-4.1 に示したとおり，平板ねじり試験の結果と同程度であったことから，ここでの試験の範囲では 4 枚としても特段の支障はなかったと考える．

(3) 樹脂の引張試験

樹脂の引張試験方法 JIS K 7161-1 では，弾性係数算出時のひずみの範囲は示されているが、ポアソン比算出時のひずみの範囲について記述が見られなかったため，ポアソン比についての他の JIS の記載を参考にした．検討の当初，弾性係数の算出では JIS どおりに 0.05～0.25%ひずみの範囲のデータを用いるの対して，ポアソン比の算出には JIS K 7161-1 の附属書を参考に 0.3～1.5%ひずみの範囲のデータを用いた．同附属書では，軸直角方向のひずみが比較的小さいことからこの測定範囲を示していたが，せん断弾性係数を求めるためには，弾性係数，ポアソン比ともに同じ範囲のデータを用いるのが適当であると考えられる．このことから，表-4.1 に示したポアソン比は，弾性係数の場合と同様に 0.05%～0.25%ひずみの範囲のデータを用いて算出した．

(4) 樹脂の圧縮試験

表-4.2 及び図-4.3 に示すように，樹脂の圧縮試験による結果では，ポアソン比の算出に 0.3～1.5%ひずみの

範囲のデータを用いると，ポアソン比が 0.5 を超えるような結果が得られた．しかし，上記(3)のとおり，ポアソン比を求める際のひずみの範囲は，樹脂の圧縮試験の場合も同様であると考えられ，0.05%～0.25%ひずみの範囲のデータを用いて算出することで，ポアソン比が 0.5 を超えることは無くなった．

なお，アラミド繊維シート用樹脂の圧縮試験において，軸直角方向のひずみゲージを試験片中央に貼り付けなかった．引張試験と異なり，圧縮試験では圧盤との摩擦の影響により試験片の高さ方向の応力分布が変化すると考えられる．このことから，測定位置が試験片の中心でないと，ポアソン比を正しく測定できない可能性がある．圧縮試験でポアソン比を測定する場合は，ひずみゲージを試験片中央に，軸方向のひずみゲージと直交するように貼り付けるのがよいと考える．

表-4.2　ひずみ範囲の違いによるポアソン比の比較

			0.05～0.25%範囲	0.30～1.50%範囲
引張試験	プライマー	炭素繊維	0.37	0.33
		アラミド繊維	0.37	0.33
	パテ	炭素繊維	0.31	0.32
		アラミド繊維	0.36	0.32
	含浸樹脂	炭素繊維	0.36	0.35
		アラミド繊維	0.37	0.33
圧縮試験	プライマー	炭素繊維	0.41	0.41
		アラミド繊維	0.46	0.49
	パテ	炭素繊維	0.35	0.37
		アラミド繊維	0.42	0.54
	含浸樹脂	炭素繊維	0.40	0.40
		アラミド繊維	0.43	0.50

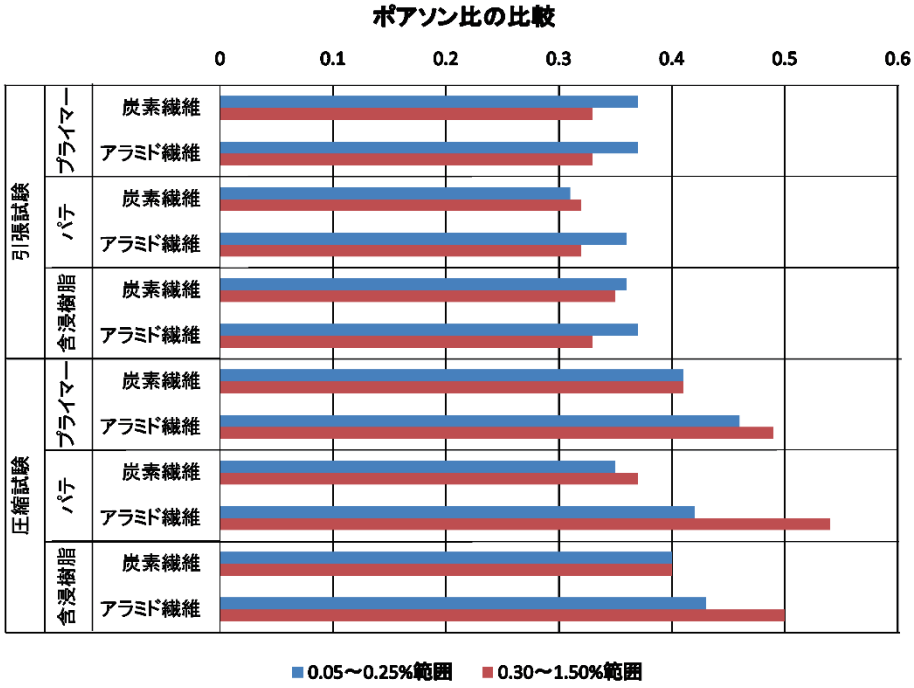


図-4.3　ひずみ範囲の違いによるポアソン比の比較

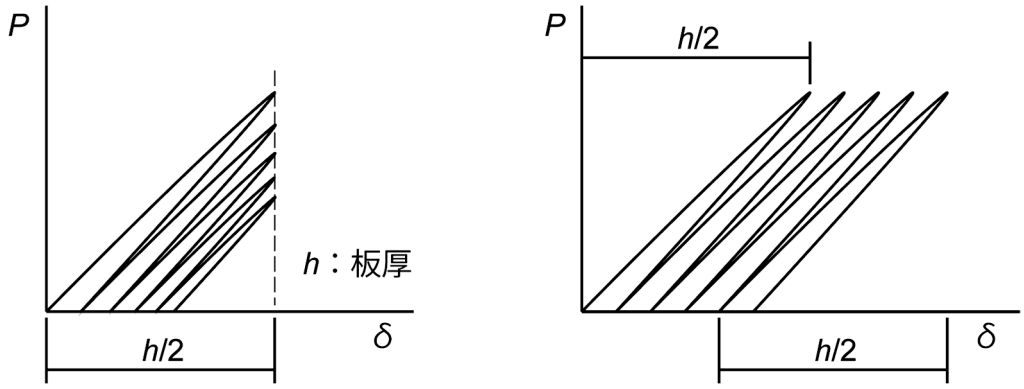
(5) 平板ねじり試験

共同研究のメンバの範囲では，これまで平板ねじり試験を実施したことがなく，本検討の中で載荷治具の製作から試験まで実施した．その中で，今後この平板ねじり試験を実施する際には，次の点に留意する必要があると考える．

1) 治具のディテール，特に治具の固定方法やヒンジの位置については，具体の記載がなかったため，試験を進めながら，治具の修正を要した．今回の方法が必ずしも本来求められる試験方法と合致していたかどうかを必ずしも明確にできていない．

2) JIS では考慮されていない繰返し載荷によって，荷重－変位の傾き，すなわちせん断弾性係数に影響が見られた理由の一つとして，載荷点の局所的なへこみが影響した可能性がある．本来の値を得るためには，載荷点と試験片の間にガラス，アルミ等の薄い板を設置するのがよいと思われる．

3) 本検討では，図-4.4(a)のように，載荷時の変位の上限を $h/2$ としたが，残留変位とともに，変位の範囲が小さくなり，繰返しによって適切な傾きのデータが得られない場合があった．この点から，繰返し載荷を行う場合には，図-4.4(b)のように，残留変位を考慮して，変位の範囲が $h/2$ となるように載荷した方がよいと考えられる．



(a) $h/2$ 以下で繰返し載荷（本検討の場合）　　(b) $h/2$ の範囲で繰返し載荷（推奨*）

*）繰返し載荷する場合．JIS では繰返しを標準としていない．

図-4.4　平板ねじり試験における繰返し載荷のイメージ

4.3　本共同研究で用いるせん断弾性係数の共通試験方法

本共同研究では，シート補強された鉄筋コンクリート部材の軸引張試験や曲げ試験を実施しており，それらの解析の際に,連続繊維シートとコンクリートの間の樹脂層のせん断弾性係数を考慮したいと考えている．その解析のために必要な樹脂のせん断弾性係数を得る方法としては，樹脂層の物性を表す意味で理に適っていること，試験方法が鋼材や連続繊維シートの引張試験と類似しており，新たな治具を必要としない点で比較的簡便であること，表-4.3 に示すとおり，本検討の範囲では結果が比較的安定していたことから，樹脂単体の引張強度試験によるのが適当であると考えられる．同試験において，軸方向及び軸直角方向のひずみからポアソン比を得て，それらの値からせん断弾性係数を算出する際には，前述 4.2(1)に記載したとおり，ポアソン比の算出に用いるデータの範囲を弾性係数の場合と合わせるのがよいと考えられる．

表-4.3　各試験から得られたせん断弾性係数の変動係数

試験項目		試験規格	材料		せん断弾性係数 平均値 N/mm^2	標準偏差 σ	変動係数 CV	備考
連続繊維シート	面内せん断試験	JIS K 7019	連続繊維シート	炭素繊維	1960	198	0.10	
				アラミド繊維	1070	24.1	0.02	
	平板ねじり試験	JIS K 7021		炭素繊維	1590	140	0.09	1 層
					2100	40.0	0.02	2 層
					2120	180	0.09	3 層
				アラミド繊維	570	100	0.17	1 層
					680	60.0	0.08	2 層
					800	80.0	0.10	3 層
樹脂	引張試験	JIS K 7161-1	プライマー	炭素用	1220	42.7	0.03	
				アラミド用	948	60.8	0.06	
			パテ	炭素用	2560	235	0.09	
				アラミド用	1290	330	0.26	
			含浸樹脂	炭素用	1150	39.0	0.03	
				アラミド用	945	63.2	0.07	
	圧縮試験	JIS K 7181	プライマー	炭素用	1350	92.7	0.07	
				アラミド用	809	206	0.25	
			パテ	炭素用	2940	231	0.08	
				アラミド用	1220	533	0.44	
			含浸樹脂	炭素用	1320	186	0.14	
				アラミド用	965	220	0.23	
	平板ねじり試験	JIS K 7021	含浸樹脂	炭素用	950	160	0.17	t = 4mm
					1100	220	0.20	t = 2mm
				アラミド用	630	50.0	0.07	t = 4mm
					690	130	0.18	t = 2mm

注）　t：試験片厚

５．　まとめ

(1)　連続繊維シート及び樹脂の性能試験について，関連する JIS 及び JSCE の試験方法と各機関で示す規格値を第 2 章に取りまとめた.

(2)　連続繊維シート及び樹脂のせん断弾性係数を求めるための試験方法を複数取り上げて，同じセット（同じ缶）の樹脂を用いた，炭素繊維シートとアラミド繊維シート，及びそれらの樹脂単体の各種試験を試みた．第 3 章では，それらの結果を試験方法ごとに示した.

(3)　連続繊維シートと含浸樹脂の各試験から得られたせん断弾性係数について全体的な傾向を見ると，炭素繊維の場合のせん断弾性係数は，連続繊維シートで得られた値が含浸樹脂単体で得られた値に比べて 1.7 倍大きい傾向が見られた．一方アラミド繊維の場合のせん断弾性係数は，連続繊維シートと樹脂単体の差が見られなかった．炭素繊維の場合は，連続繊維シートとして試験すると，せん断弾性係数がその繊維の存在によって改善される可能性があると考えられる．一方，アラミド繊維の場合は，その傾向がほとんど認められなかった.

(4)　コンクリートとの付着性能に影響すると想定される連続繊維シートとコンクリートの間における含浸樹脂単体の物性を知るためには，樹脂単体の試験の方が適していると考えられる．連続繊維シートを用いた面内せん断試験や平板ねじり試験によるせん断弾性係数は，材料構成によっては繊維の影響を受ける可能性があることから，連続繊維シートにおける繊維間の含浸樹脂の物性を表すと考えられる.

(5)　JIS におけるせん断弾性係数を求めるための試験をそれぞれ実施してみて，今後同様の試験を実施する際の留意点を 4.2 にまとめた.

(6)　連続繊維シートとコンクリートの間の樹脂層のせん断弾性係数は，樹脂層の物性を表す意味で理に適っていること，試験方法が比較的簡便であること，結果が比較的安定していたことから，樹脂単体の引張強度試験によるのが適当であると考えられる．同試験によってせん断弾性係数を求める際には，ポアソン比の算出に用いるデータの範囲を弾性係数の場合と合わせるのがよいと考えられる.

参考文献

1) 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針, コンクリートライブラリー101, 土木学会, 2000.7.
2) 新井崇裕，山野辺慎一，荒添正棋，佐藤靖彦：ポリウレア樹脂層を有する炭素繊維シート補強工法の高温時における付着特性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 36(2)，pp.1159-1164，2014
3) Roberts, T.M. and Haji-Kazemi, H.: theoretical study of the behaviour of reinforced concrete beams strengthened by externally bonded steel plates, Proc. Inst. Civil Engineer, Part 2, 87(1), pp. 39-55, 1989
4) 既設橋梁の耐震補強マニュアル（案），国土交通省　関東地方整備局，2005.2
5) 構造物施工管理要領，東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社, 2016.8
6) コンクリート床版補強設計施工要領，首都高速道路株式会社，2014.8
7) 炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針，財団法人 鉄道総合技術研究所, 1996.7
8) コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（III)，共同研究報告書第 235 号，建設省土木研究所，1999.12
9) アラミド繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針, 財団法人 鉄道総合技術研究所, 1996.11
10) アラミド繊維シートによる鉄筋コンクリート橋脚の補強工法設計・施工要領（案），アラミド補強研究会，1998.1
11) 青木義男:高分子基複合材の強度試験法－IV. －面内せん断試験法－, 日本複合材料学会誌, 24, 4, 122-129, 1998
12) 岸肇:FRP 構成素材入門 第 2 章 構成素材と種類 －エポキシ樹脂－, 日本複合材料学会誌, 33, 6, 232-237, 2007

付　属　資　料

１．連続繊維シートのせん断弾性係数に関する試験の試験条件の補足

付表-1.1　連続繊維シートのせん断弾性係数に関する試験の試験条件の補足

試験項目		材料		供試体 作成日	試験 実施日	試験場所	載荷速度 mm/min
連続繊維 シート 物性試験	引張試験	連続繊維 シート	炭素繊維	6月18日	7月6日	東レ 名古屋工場	2.0
			アラミド 繊維	6月18日	6月26日	ファイベックス 名古屋工場	2.0
	面内せん 断試験		炭素繊維	5月14日	No.1～2　6月25日 No.3～5　6月28日	東レ 名古屋工場	2.0
			アラミド 繊維	6月18日	No.1～3　6月26日 No.4～5　6月28日	ファイベックス 名古屋工場	2.0
	平板 ねじり 試験		炭素繊維	3月28日	7月17日	土木研究所	1.0
			アラミド 繊維	3月28日	7月17日	土木研究所	1.0
樹脂 物性試験	引張試験	プライマー	炭素用	6月19日	9月28日	東レ 名古屋工場	1.0
			アラミド用	7月12日	No.1　8月6日 No.2～5　8月23日	樹脂メーカー 浦和研究所	1.0
		パテ	炭素用	6月19日	9月28日	東レ 名古屋工場	1.0
			アラミド用	7月12日	No.1　8月6日 No.2～5　8月23日	樹脂メーカー 浦和研究所	1.0
		含浸樹脂	炭素用	6月19日	9月28日	東レ 名古屋工場	1.0
			アラミド用	7月12日	No.1　8月6日 No.2～5　8月23日	樹脂メーカー 浦和研究所	1.0
	圧縮試験	プライマー	炭素用	6月19日	12月11日	東レ 名古屋工場	1.0
			アラミド用	7月12日	No.1　8月6日 No.2～5　8月23日	樹脂メーカー 浦和研究所	1.0
		パテ	炭素用	6月19日	12月11日	東レ 名古屋工場	1.0
			アラミド用	7月12日	No.1　8月6日 No.2～5　8月23日	樹脂メーカー 浦和研究所	1.0
		含浸樹脂	炭素用	6月19日	12月11日	東レ 名古屋工場	1.0
			アラミド用	7月12日	No.1　8月6日 No.2～5　8月23日	樹脂メーカー 浦和研究所	1.0
	平板ねじ り試験	含浸樹脂	炭素用	3月5日	7月11～12日	土木研究所	1.0
			アラミド用	3月5日	7月11～12日	土木研究所	1.0

注）表中の日付は，いずれも2018年。

２．面内せん断試験（FRP の±45°引張試験）供試体作製の手順

(1)　炭素繊維の場合

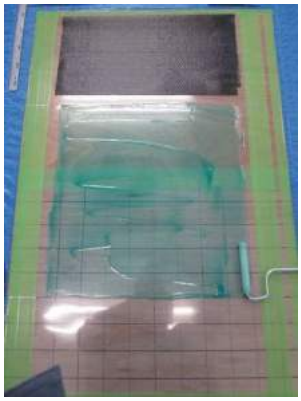
炭素繊維シートを用いた面内せん断試験の供試体作製の手順を示す.

供試体は，[0/90] s で大きめに作製した角板から，45°角度に傾けた状態で 300×300mm サイズの角板を切り出すことにより，試験片サイズの±45°角板を作製した.

炭素繊維シートの作製方法の手順を示す.

① 炭素繊維シートから，400×450mm 角で 4 枚切り出す.

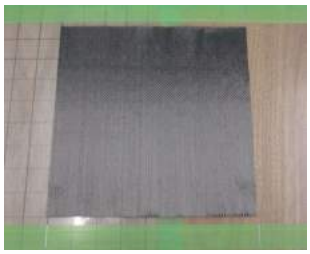
② 離型フィルム上に，下塗り（0.6kg/㎡）分の含浸接着樹脂を 400×450mm サイズに広げる.



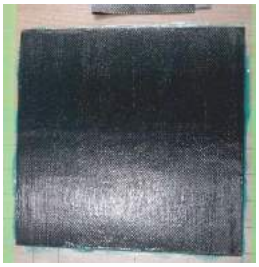
③ 炭素繊維シートを繊維方向に注意して，広げた含浸樹脂の上に置いて全体的に圧力を付与する.

そのまま 30 分から 40 分静置して，樹脂が自然に含浸していくのを待つ.

④ しばらく静置した後に脱泡ローラーを使用して，繊維内に取り込まれている気泡を除去する.

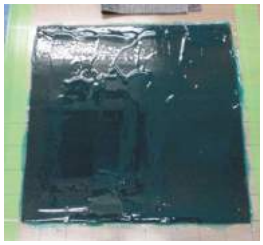


⑤ 十分に気泡を除去した後，炭素繊維シート上に，上塗り（0.2kg/㎡）分の含浸接着樹脂を広げ，気泡を除去するため脱泡ローラーをかける.



⑥十分に気泡を除去した後，炭素繊維シート上に，追い塗り（0.4kg/㎡）分の含浸接着樹脂を広げ，気泡を除去するため脱泡ローラーをかける.

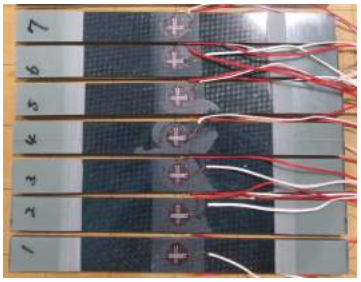
⑦ 手順②の下塗りから手順⑥の追い塗りまでを積層枚数分繰り返す．積層方向に注意する.



⑧　含浸がすべて終わったら離型フィルムを
端部から気泡を抜き出しながら被せる.

⑨　室温で７日間以上養生した後，供試体のタブとして，
ガラス繊維強化板をＫ社製接着剤 E258R で貼り付けた後，
供試体サイズにカットする.

⑩　試験片サイズにカットした後，中央にひずみゲージ
（一般ひずみゲージ（２軸積層型）FCA-10（T 社製））
を貼り付ける.



(2)　アラミド繊維の場合

アラミド繊維シートを用いた面内せん断試験の供試体作製の手順を示す.

供試体は，[0/90] s で大きめに作製した角板から，45°角度に傾けた状態で供試体サイズの角板を切り出すことにより，試験片サイズの±45°角板を作製した.

① アラミド繊維シート AK-120-50 を 500mm 幅で切り出し，含浸台に固定する際の重りとするためのアングル材を基材へセットし，さらにシート上には含浸範囲をマーキングする.

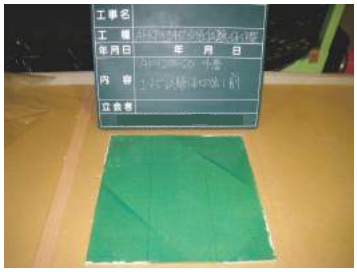
② 含浸台上に下塗り（0.54kg/㎡）分の含浸接着樹脂を 500×500mm サイズに広げる.

③ 下塗り分の樹脂が塗布されている含浸台上に，アラミド繊維シートをアングル材がぶら下がるように固定し，含浸ローラーを用いて樹脂を含浸させる.

④ 下塗りを含浸させたアラミド繊維シート上に，上塗り（0.40kg/㎡）分の樹脂を塗布し，含浸ローラーを用いてアラミド繊維シートに樹脂を含浸させる.

⑤　手順②の下塗りから手順④の上塗りまでを，
積層方向に注意して積層枚数分繰り返す．

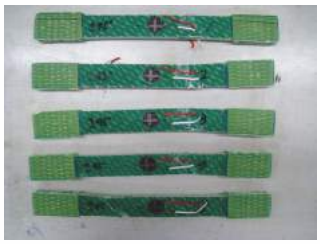
⑥　室温で十分硬化するまで養生した後，電動丸鋸を用いて，供試体サイズにカットする．



⑦　供試体と同材料のアラミド繊維シートを用いて，
供試体のタブサイズ用にカットし，
含浸接着樹脂を規定量分だけ含浸させてタブ成形を行う．

⑧　タブ部分の養生が完了した後，
ひずみゲージを貼り付ける．

⑨　供試体の作製完了．
試験を実施する．



3．連続繊維シート及び樹脂の試験成績表

（1）炭素繊維シート

TORAY
Innovation by Chemistry

東レ株式会社
東京都中央区日本橋室町
2丁目1番1号

TEST REPORT

(TORAYCA® Woven Fabric)

1. Customer お客様	:	国立研究開発法人 土木研究所
2. Record Number 検査証番号	:	TAC-FAB-1911-058
3. Customer Purchase Order No. お客様注文番号	:	ー
4. Date of Shipment 出荷日	:	2015.4.24
5. Specification Code 仕様書番号	:	Not Applicable
6. Type of Woven Fabric (Weave) 品種（織組織）	:	UT70-60S-500（平織）
7. Fabric Lot No. ロット番号	:	HA14J1
8. Total Roll Number（Length）ロール数量（長さ）	:	1 本 （50 m）
9. Production Date 製造日	:	2014.10.10
10. Fiber Type 炭素繊維種	:	TORAYCA® T700SC-24000-50C
11. Test Results of Woven Fabric 測定結果	:	Attached Table I
12. Fiber Characteristics 炭素繊維物性	:	Attached Table II
13. Roll Information ロール情報	:	Attached Table III

Details of the Woven Fabric feature and information are descripted on Tables.
The tests were conducted at the month of prodution.
トレカクロスの検査結果および情報は表に記載の通りです。なお、検査結果および情報は製造月当時ものとなります。

Table I Test Results of Woven Fabric 測定結果

Fabric Lot No. ロット番号	Inspection Item 測定項目			
	Count of yarn 織密度 (Count/25mm)		Width 地幅 (mm)	Areal Weight 目付 (g/m²)
	Warp たて	Fill よこ		
HA14J1	9.5	7.8	500	634.3

Table II Fiber Characteristics (Nominal value) 炭素繊維物性（ノミナル値）

Fiber Type 炭素繊維種	Tensile Strength 引張強度 (MPa)	Tensile Modulus 引張弾性率 (GPa)	Density 密度 (g/cm³)	Size Amount サイズ剤量 (%)
T700SC-24000-50C	4900	230	1.8	<2

Signature　　Date of Issue Dec. 2, 2019

M. Tokunoh / General Manager,
Torayca & Advanced Composites Quality Assurance Dept.,
TORAY INDUSTRIES, INC.

東レ株式会社
複合材料品質保証部 部長
得納 正純

1/2

Table III Roll Information (Length and Appearance) 長さと外観

Lot No. ロット番号	Roll No. ロール番号	Length 長さ (m)		Position 位置	Type 欠点の種類
		Actual 実長	Invoiced 決済長		
HA14J1	033-2	50.5	50.0	-	-

*) "S" length is subtracted from "Actural Length". 「S」長 は「実長」から差し引かれます。

TORAY
Innovation by Chemistry

2019年12月17日

試験成績書

国立研究開発法人 土木研究所 御中

東レ株式会社
複合材料品質保証部

作成	承認

製品名	トレカクロス
製品番号	UT70－60S
LOT番号	HA14J1
試験日	2019年12月11日
試験場所	東レ(株)石川工場 機械測定室

試験項目	単位	試験値	規格値	合否	試験方法
炭素繊維目付	g/m²	634	≧600	合格	JIS R 7602 準拠
引張強度	N/mm^2	4,218	≧3,400	合格	JSCE-E541-2007 準拠
ヤング係数	N/mm^2	2.43×10^5	$(2.45 \pm 0.245) \times 10^5$	合格	

含浸樹脂； AUR80S
測定温度； 23℃
測定点数； n＝5

以上

報告書システム Rev.H

2017年11月17日

試　験　成　績　表

〒103-0011
東京都中央区日本橋大伝馬町12番2号
東レACE株式会社
環境資材部 複合材料課

製品名	AUP40W	Lot. No.　17J18

試験項目	単位	社内規格値	試験値
配合粘度	mPa·s	300～1500	624
可使時間	min	20以上	33
硬化時間	h	10以下	8.1
硬化物比重	—	1.10～1.30	1.16
コンクリート付着強度	N/mm²	2.0以上	4.5

2017年11月17日

試　験　成　績　表

〒103-0011
東京都中央区日本橋大伝馬町12番2号
東レACE株式会社
環境資材部 複合材料課

製品名	AUF60W	Lot. No.　17J19

試験項目	単位	社内規格値	試験値
引張せん断強さ	N/mm²	10以上	17.4
可使時間	min	30以上	46
硬化物比重	—	1.50～1.70	1.64
圧縮強さ	N/mm²	50以上	103.0
圧縮弾性係数	N/mm²	1,500以上	4,860
コンクリート付着強度	N/mm²	2.0以上	4.8

2017年10月26日

試 験 成 績 表

〒103-0011
東京都中央区日本橋大伝馬町12番2号
東レACE株式会社
環境資材部 複合材料課

製品名	AUR80W	Lot. No. 17J16

試験項目	単位	社内規格値	試験値
引張強さ	N/mm²	30以上	57.5
曲げ強さ	N/mm²	40以上	82.5
引張せん断強さ	N/mm²	10以上	19.5
配合粘度	mPa·s	8,000以下	6,260
可使時間	min	20以上	32
硬化時間	h	10以下	7.2
硬化物比重	―	1.07～1.27	1.16
硬度	HDD	75以上	87
圧縮強さ	N/mm²	70以上	104.0
圧縮弾性係数	N/mm²	1,500以上	2,710
コンクリート付着強度	N/mm²	2.0以上	4.5

（2）アラミド繊維シート

平成　年　月　日

試 験 成 績 表

fibex ファイベックス株式会社
〒498-0002 愛知県弥富市東中地1-200
TEL: 0567-67-5885 FAX: 0567-67-5886

承 認	担 当

製品名 ： フィブラシート（1方向）

材料名 ： アラミド繊維

品 番 ： AK－120－50

Lot No ： KFS－16T－031

試験項目	試験方法	単位	試験値	規格値
繊維目付量	JIS L 1096	g/m²	889.9	[平均値] 830 以上
保証耐力	JIS A 1191	kN/m (tf/m)	1240 (127)	[最小値] 1,176 以上 (120以上)
引張強度	JIS A 1191	N/mm²	2,170	[最小値] 2,060 以上
ヤング係数	JIS A 1191	kN/mm²	127	[平均値] 118±20

平成　　年　　月　　日

試　験　成　績　表

FIBRA ファイベックス株式会社
〒498-0002　愛知県弥富市荷中地1-200
TEL: 0567-67-5885　FAX: 0567-67-5886

承　認	担　当

製品名：フィブラシート（1方向）

材料名：アラミド繊維

品　番：AK－120－50

Lot No：KFS－13T－015

試験項目	試験方法	単位	試験値	規格値
繊維目付量	JIS L 1096	g/m^2	922.7	[平均値] 830 以上
保証耐力	JIS A 1191	kN/m (tf/m)	1,270 (130)	[最小値] 1,176 以上 (120以上)
引張強度	JIS A 1191	N/mm^2	2,230	[最小値] 2,060 以上
ヤング係数	JIS A 1191	kN/mm^2	120	[平均値] 118±20

検査－03(3)

97-00234

年　月　日

試験結果報告書

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿御中

コニシ株式会社　滋賀工場
品質保証部
滋賀県甲賀市水口町泉が丘1-12
水口工業団地
Tel 0748-62-4344

製品名　ボンドE810LW
主剤ロット　171222CA
硬化剤ロット　171222AA

試験項目		試験方法	試験条件	単位	規格	検査結果
外観	主剤	目視	－	－	白色粘稠液	合格
	硬化剤				褐色透明液	合格
混合粘度		JIS K 6833-1	23℃	mPa・s	300 ～ 500	435
付着強さ		JIS A 6916 (JIS A 6909)	20℃7日	N/mm^2	1.5 以上	2.2
総合判定		合格				
備考						

97-00235

年　月　日

試験結果報告書

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿御中

コニシ株式会社 滋賀工場
品質保証部
滋賀県甲賀市水口町泉が丘1-12
水口工業団地
Tel 0748-62-4344

製品名　ボンドＥ３９５Ｗ
主剤ロット　１８０２０６ＬＡ
硬化剤ロット　１８０２０５ＫＢ

試験項目		試験方法	試験条件	単位	規　格	検査結果
外観	主剤	目視	－	－	白色パテ状	合格
	硬化剤				黒色パテ状	合格
引張せん断接着強さ		JIS K 6850	20℃７日	N/mm^2	10 以上	20.3
付着強さ		JIS A 6909	20℃７日	N/mm^2	1.5 以上	2.8
総合判定		合　格				
備　考						

97-00302

年　月　日

試験結果報告書

＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿御中

コニシ株式会社 滋賀工場
品質保証部
滋賀県甲賀市水口町泉が丘1-12
水口工業団地
Tel 0748-62-4344

製品名　ボンドＥ２５００Ｗ
主剤ロット　１７１２２１ＥＤ
硬化剤ロット　１７１２２０ＰＡ

試験項目		試験方法	試験条件	単位	規　格	検査結果
外観	主剤	目視	－	－	黄色蛍光色液体	合格
	硬化剤				青色低粘度液体	合格
混合粘度		JIS K 6833-1	20℃	mPa・s	3,500 ～ 8,500	6,990
曲げ強さ		JIS K 7171 JIS K 7203-1995	20℃７日	N/mm^2	40 以上	92
引張強さ		JIS K 7161 JIS K 7113-1995	20℃７日	N/mm^2	30 以上	52
引張せん断接着強さ		JIS K 6850	20℃７日	N/mm^2	12.5 以上	26.4
総合判定		合　格				
備　考						

4．使用したひずみゲージ

付表-4.1　使用したひずみゲージ一覧表

試験項目		試験規格	材料		ひずみゲージ	ゲージ長 (mm)	使用枚数
連続繊維 シート 物性試験	引張試験	JIS A 1191	連続繊維 シート	炭素繊維	一般用（1軸） FLA-5-11-1LJC	5	2枚/体
					一般用（1軸） FLA-10-11-1LJC	10	6枚/体
				アラミド繊維	一般用（1軸） FLA-5-11-1LJC	5	2枚/体
					一般用（1軸） FLA-10-11-1LJC	10	6枚/体
	面内せん 断試験	JIS K 7019		炭素繊維	一般用（2軸積層型） FCA-10-11-1LJB	10	2枚/体
				アラミド繊維	一般用（2軸積層型） FCA-10-11-1LJB	10	2枚/体
樹脂 物性試験	引張試験	JIS K 7161-1	プライマー	炭素繊維 シート用	プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	4枚/体
				アラミド繊維 シート用	プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	4枚/体
			パテ	炭素繊維 シート用	プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	4枚/体
				アラミド繊維 シート用	プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	4枚/体
			含浸樹脂	炭素繊維 シート用	プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	4枚/体
				アラミド繊維 シート用	プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	4枚/体
	圧縮試験	JIS K 7181	プライマー	炭素繊維 シート用	一般用（3軸）※1 KFGS-5-120-D17-11　L1M2S	5	2枚/体
				アラミド繊維 シート用	プラスチック用（2軸） GFCA-3-50-1LJB	3	2枚/体
					プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	2枚/体
			パテ	炭素繊維 シート用	一般用（3軸）※1 KFGS-5-120-D17-11　L1M2S	5	2枚/体
				アラミド繊維 シート用	プラスチック用（2軸） GFCA-3-50-1LJB	3	2枚/体
					プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	2枚/体
			含浸樹脂	炭素繊維 シート用	一般用（3軸）※1 KFGS-5-120-D17-11　L1M2S	5	2枚/体
				アラミド繊維 シート用	プラスチック用（2軸） GFCA-3-50-1LJB	3	2枚/体
					プラスチック用（1軸） GFLA-3-50-1LJC	3	2枚/体

注）　※1 は株式会社共和電業製，その他は株式会社東京測器研究所製

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No. 522 March 2021

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