

積雪寒冷地における柱状道路付属物等の耐久性に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 21

担当チーム：寒地構造チーム

研究担当者：西 弘明、今野久志、三田村 浩、山口 悟

【要旨】

北海道における道路付属物は、積雪寒冷のほか、越波、地震、冬期の暴風雪等といった地域特性を持った様々な影響を受けることになる。従って、安全性を確保しつつ、建設コスト及びライフサイクルコストの低い、耐久性に優れた道路付属物を構築し、維持管理していくためには、これらの影響や現地状況等に配慮した設計施工方法や補修補強法を確立する必要がある。本研究では、新素材を用いた越波防止柵の開発に関する検討、ベースプレート方式の橋梁用防護柵支柱およびガードレール支柱の最適な基部構造に関する検討、さらには固定式視線誘導柱の疲労損傷対策に関する検討を実施した。

キーワード：道路付属物、越波防止柵、橋梁用防護柵、固定式視線誘導柱、疲労損傷対策

I. 新素材を用いた越波防止柵の開発に関する検討

1. はじめに

海岸沿いの道路では、天候の影響により越波が発生することがあり（写真-I-1）、それに伴う交通規制によって、市民生活や産業活動に支障をきたしている。このような越波作用に対して、道路沿いに設置される越波防止柵としては、大きな波圧や飛石に耐えうる性能を有するとともに、採光性に優れ景観にも配慮した構造であることが望まれる。一般的には、従来からH型鋼の支柱と有孔鋼板を組み合わせたものが用いられているが、有孔鋼板からなる越波防止柵は周囲の視界を遮ることから、景観上必ずしも好ましいとは言えない。これらのことから本研究では、透明で採光性に優れかつ耐衝撃性に優れたポリカーボネート折板を活用した越波防止柵の開発に関する検討を行った。



写真-I-1 越波状況の一例

2. 開発の概要

越波防止柵としては、一般的には、鋼製支柱と有孔鋼板を組み合わせたものが用いられているが、落石覆道柱間からの越波に対する対策工などでは、鉄筋コンクリート板や鋼板と採光のためのポリカーボネート平板とを組み合わせたもの、比較的新しい工法としては、半透明のアラミドネット補強シートをパネル化したものなどが採用されている¹⁾。

これらの各種越波対策工に対して、耐衝撃性や採光性に優れ景観にも配慮でき、コスト的にも従来のものより安価な越波防止柵の開発を検討した。ポリカーボネート折板を活用した越波防止柵は、このような事情

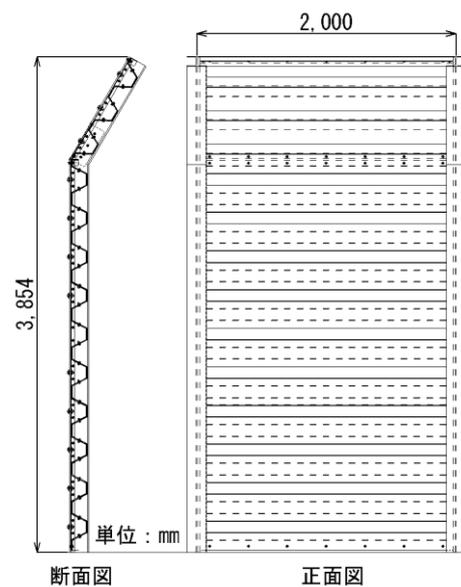


図-I-1 越波防止柵一般図

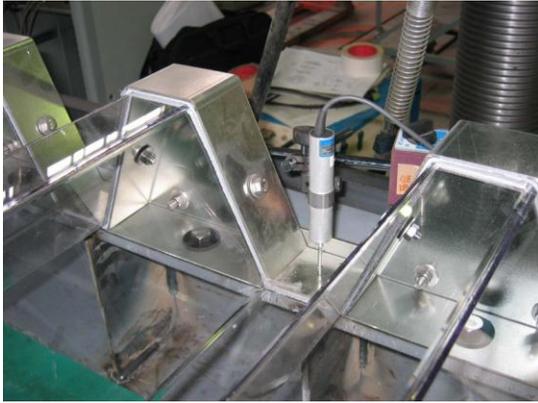


写真-I-2 端部固定金物

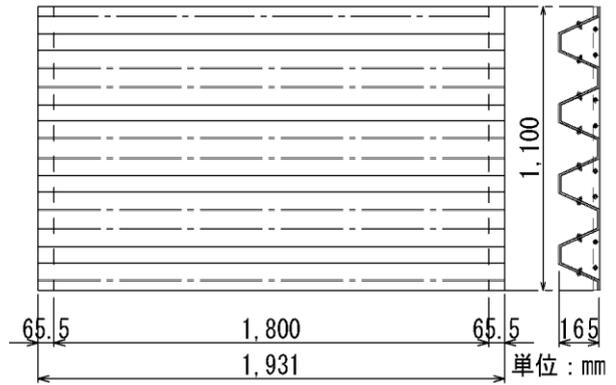


図-I-3 試験体概要

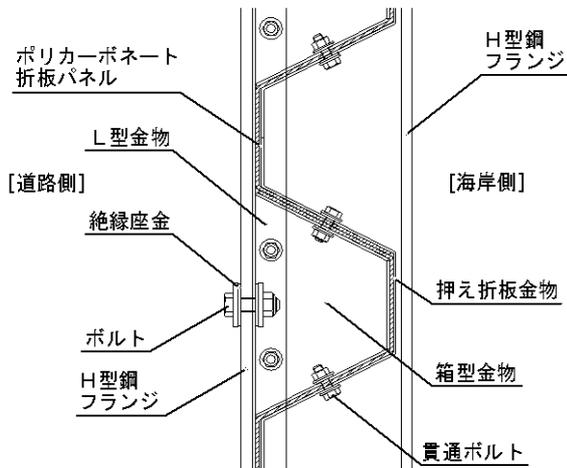


図-I-2 支柱固定部詳細

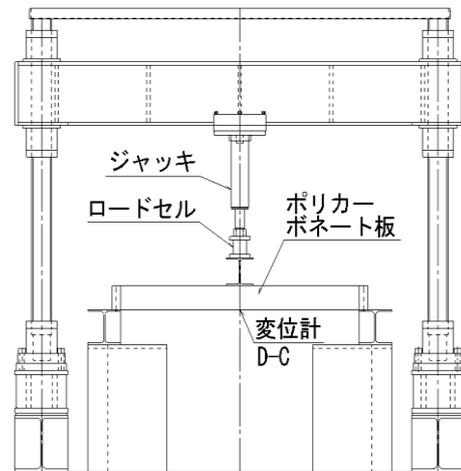


図-I-4 载荷実験概要

に鑑みて開発されたものである（図-I-1）。開発した越波防止柵は、前述の要求性能を満足するために、耐衝撃性・耐候性に優れた両面耐候処理された透明なポリカーボネート板を用い、作用荷重の大きさによって、より経済的な板厚・山高・山間隔を決定し、折板形状にすることによって、大きな断面係数を得ることができ、大きな越波荷重にも耐えうる構造としている。また、ポリカーボネートの平板を採用した場合と比較すると、板厚を極端に薄くすることが可能となり、材料コストを削減することができる。

しかしながら、ポリカーボネート自体は樹脂であり比較的柔らかい素材であることから荷重作用により変形が生じるため、ポリカーボネート板端部の固定方法によっては固定部からのひび割れや破損を起こす場合がある。

この点を解消するため、写真-I-2 に示すように、ポリカーボネート折板の内側に同形状の箱型金物を配置し、その外側には同形状の押え折板金物を配置してポリカーボネート折板を面的に挟み込み、折板の傾斜

部中央を貫通ボルトで固定する構造とした。また、支柱 H 型鋼との固定方法は、図-I-2 に示すように上述の箱型金物を H 型鋼のフランジに直接ボルトで固定するため、ポリカーボネート折板が荷重を受け変形しても、固定金物が追従できるためポリカーボネート折板のひび割れや破損の発生を防止することが可能となった。

3. 実験概要

図-I-3には、実験に使用したポリカーボネート折板試験体の形状寸法を示している。試験体は、厚さ5mmのポリカーボネート板を折り曲げ加工したものであり、長さ1,931mm、幅1,100mm、高さは端部固定金物を含めて165mmである。図-I-4には、実験概要を示している。試験体は、H型鋼（H300）のフランジ上にボルト固定し、2辺支持状態としている。静的荷重は、油圧ジャッキを用い試験体のスパン中央部にH型鋼（H200）を設置し、試験体全幅に対して線荷重としている。また、試験体下部の裾開きを防止するために試験体中央



写真-I-3 載荷実験状況

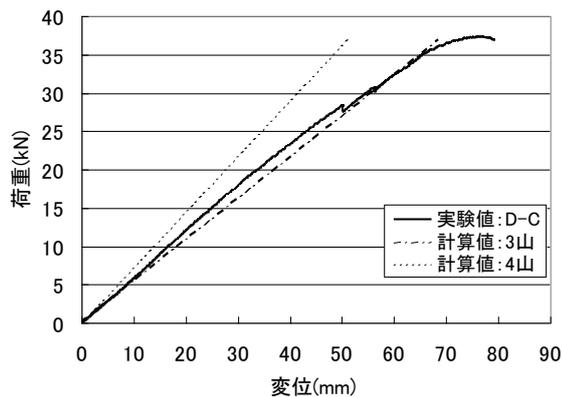


図-I-5 静的載荷実験結果

近傍の下端に鋼材を設置している。写真-I-3に実験状況を示す。計測項目は、載荷荷重、試験体各部の変位であり、実験終了後には試験体両端の固定金物の変形や固定ボルトの破断がないか確認を行った。

4. 実験結果と考察

図-I-5には、載荷荷重と試験体中央部変位の関係を静的計算値とともに示している。静的計算値は、ポリカーボネートの弾性係数および試験体の断面係数を基に梁理論により算定したものであり、試験体全幅の4山(幅 1,100mm)を有効とした場合の他に3山(幅 825mm)を有効とした場合についても示している。

図より、実験結果の荷重-変位関係は、荷重 28kN程度までは両計算値の中間的な値でほぼ弾性的な挙動を示し、その後若干荷重が低下した後、3山の計算値と同様の勾配で荷重-変位が推移し、荷重 35kN以降で変位が大きく増加している。「ポリカーボネート折板構造設計基準」(ポリカーボネート板工業会)におけるポリカーボネート板の許容曲げ応力度 $18.6\text{N}/\text{mm}^2$ から本実験条件における許容荷重を逆算すると 17kNとなる。本越波防止柵に使用するポリカーボネート折板においても上記許容曲げ応力を採用するとすれば、本



図-I-6 現場設置状況

実験結果から許容荷重以内であれば弾性体として設計が可能であること、許容荷重の2倍以上の荷重に対しても、ポリカーボネート折板本体、固定金物、ボルトに損傷は見られず、継続的な使用が可能な状態であることが確認できた。

5. まとめ

本研究により得られた成果を要約すると、以下のとおりである。

- (1) ポリカーボネート折板は弾性係数および断面係数を基に梁理論により弾性体として設計可能である。
- (2) 許容荷重の2倍以上の荷重に対しても、ポリカーボネート折板本体、固定金物、ボルトに損傷は見られず、安全余裕度の大きいことが確認できた。
- (3) 透明で採光性や耐衝撃性に優れたポリカーボネート折板を活用した越波防止柵の実用化が可能となった(図-I-6)。

参考文献

- 1) 巽治、小野俊博、佐々木博一、三田村浩、今野久志、岸徳光：アラムドネット補強シートを用いた越波防止柵の開発、平成16年度土木学会北海道支部論文報告集、第61回

II. 防護柵支柱の基部構造に関する検討

1. はじめに

橋梁用防護柵において支柱の定着方法としては、従来より埋込み方式が採用されている。しかし、近年埋込み方式では支柱四隅のコンクリート部にクラックが発生するなどの課題があり、品質、維持管理の面からベースプレート方式が採用される例も増えている。そこで、ベースプレート方式の橋梁用車両防護柵およびガードレールについて「防護柵の設置基準・同解説(H16.3)～(社)日本道路協会」に示されている静荷重試験方法に基づき、支柱とベースプレートの基部構造の実験検討を行い、最適な基部構造を選定した。

2. 検討方法

「防護柵の設置基準・同解説(H16.3)～(社)日本道路協会」に示されている静荷重試験を行い、支柱とベースプレート接合部の性能が基準を満足しているか確認を行った。(図-II-1)

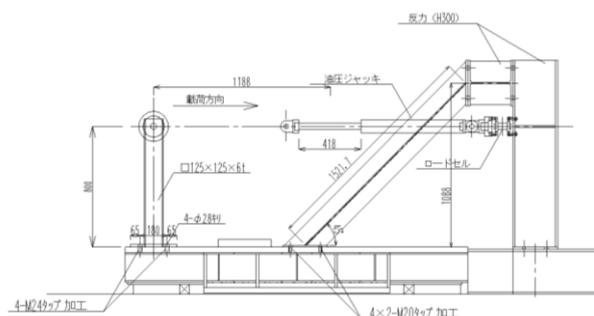


図-II-1 載荷試験方法

3. 性能確認条件

3.1 橋梁用防護柵支柱

橋梁用防護柵については、以下の項目を性能確認条件とした。

- ① 静荷重を載荷させた場合、載荷重位置で 30cm 変形できること。ただし、30cm 変形しても支柱等の破断が激しい場合は性能が満足できないものとする。
- ② 支柱の最大支持力 P_{max} (A 種 : 58.8kN, B 種 : 41.2kN) 以上を確保すること。
- ③ 支柱の極限支持力 P_w (A 種 : 51.9kN, B 種 : 29.4kN) 以上を確保すること。

3.2 ガードレール支柱

- ① 支柱の最大支持力 P_{max} (A 種 : 60.0kN, B 種 : 40.0kN) 以上を確保すること。
- ② 静荷重を載荷させた場合、載荷重位置でタイヤ

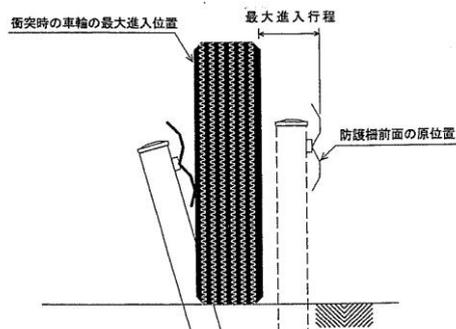


図-II-2 最大進入行程

幅に最大進入行程を加えた値 (A 種 : 270mm, B 種 : 200mm) 以上変形できること。(図-II-2)

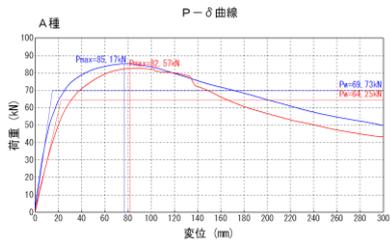
4. 実験結果

4.1 橋梁用防護柵支柱

- ① 支柱とベースプレートにリブが無い場合は、A 種および B 種とも載荷重位置で必要な変形量 30cm 確保せず、リブ上面で破断発生した。
- ② 荷重作用直角方向に設置するリブ位置を引張側に移動することにより最大支持力および極限支持力が高くなることがわかった。(図-II-3)
- ③ リブ高を高くすると最大支持力は高くなるが、座屈後の荷重低減はリブ高の違いによる変化は特に見られないことがわかった。(図-II-4)
- ④ 荷重作用直角方向に設置するリブ位置を中央に近づくほど座屈後の荷重低減を抑えることができたことがわかった。しかし、中央に近づけると引張側の溶接部付近が破断する傾向があるため、あまり中央に近づけることもできないことがわかった。(図-II-5)

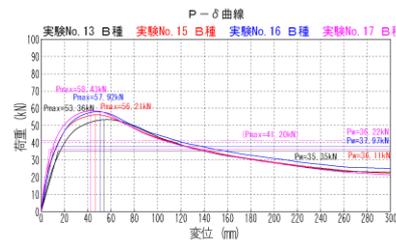
4.2 ガードレール支柱

- ① 割込みリブ方式の基部構造の場合、リブプレートと支柱との溶接部に破断が発生し、支持力が低下する事が確認された。また、最大支持力および変形性能は溶接の精度により大きく左右することも確認された。(写真-II-1 左)
- ② リブを 3 枚 (両側面、背面) とした供試体において、背面側のみリブ高を低くした場合には鋼管前面側 (引張側) の鋼管が破断することが確認された。(写真-II-1 中)
- ③ リブを 3 枚 (両側面、背面) とした供試体において、背面側のリブ高を側面リブと同じにした場合には、目標変形量に至るまでに著しい破断は生じていないことがわかる。(写真-II-1 右)



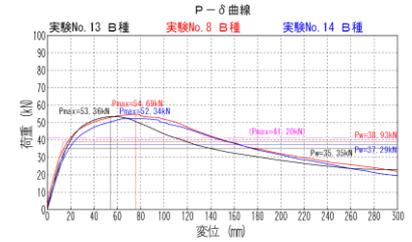
リブ位置による違い
 実験No. 12 A種：横リブ位置引張側(リブ高 80mm)
 実験No. 5 A種：横リブ位置中央(リブ高 80mm)

図-II-3 横方向リブ位置の違いによる荷重-変位曲線



リブ高による違い
 実験No. 13 B種：横リブ位置引張側(リブ高 70mm)
 実験No. 15 B種：横リブ位置引張側(リブ高 80mm)
 実験No. 16 B種：横リブ位置引張側(リブ高 90mm)
 実験No. 17 B種：横リブ位置引張側(リブ高 120mm)

図-II-4 リブ高さの違いによる荷重-変位曲線



側面リブ位置による違い
 実験No. 13 B種：横リブ位置引張側(リブ高70mm)
 実験No. 8 B種：横リブ位置中央(リブ高70mm)
 実験No. 14 B種：横リブ位置圧縮側(リブ高70mm)

図-II-5 横方向リブ位置の違いによる荷重-変位曲線



写真-II-1 実験後の変形状況(ガードレール支柱)

5. まとめ

5.1 橋梁用防護柵支柱

実験の結果より、提案する橋梁用防護柵支柱基部構造を図-II-6に示す。

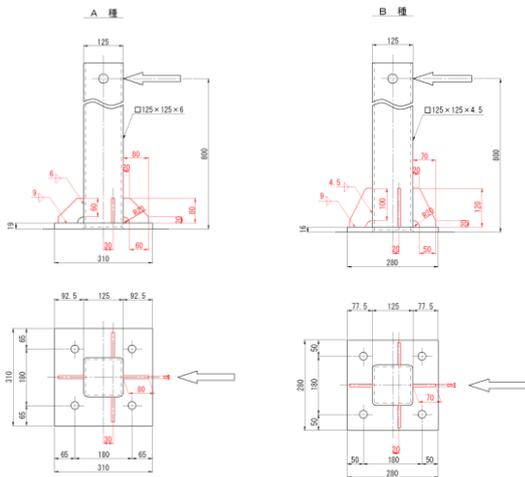


図-II-6 提案した橋梁用防護柵支柱基部構造

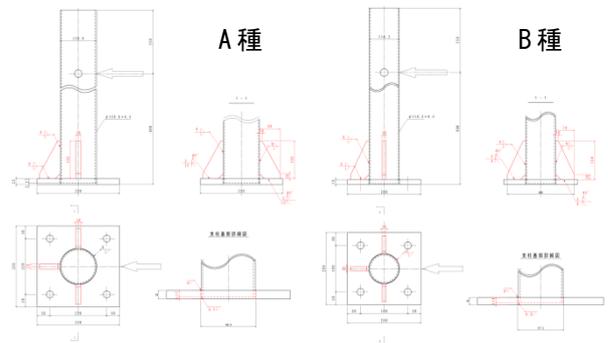


図-II-7 提案したガードレール支柱基部構造

表-II-1 载荷実験結果 (A種)

性能確認結果			性能評価
項目	実験結果	判定	
270mm変形	変形確認	○	○
最大支持力(Pmax)	67.2kN	○	

5.2 ガードレール支柱

ガードレール支柱の最終案を以下のように決定した。

リブ枚数：3枚(両側面および背面)

リブ高：150mm

支柱：ベースプレートに埋め込み溶接

提案する基部構造を図-II-7に示す。

表-II-2 载荷実験結果 (B種)

性能確認結果			性能評価
項目	実験結果	判定	
200mm変形	変形確認	○	○
最大支持力(Pmax)	46.8kN	○	

Ⅲ. 固定式視線誘導柱の疲労損傷対策に関する検討

1. はじめに

北海道の道路沿いには冬期間の除雪作業のために固定式視線誘導柱（矢羽根）が設置されているが、一般国道において損壊事例が発生した(写真-Ⅲ-1、2)。

破損状況は、曲線管に設けられた高さ調整穴のうち、テーパポールより上部に設けられた穴の付近から亀裂が生じ、破損に至ったものである。同様の損傷は、その他の誘導柱においても発生している。

原因としては曲線管部の内側からの腐食により強度が低下したことや高さ調整穴が断面欠損しているため、構造的な弱点となり、当該部において疲労亀裂が発生したことなどが考えられる。また、疲労亀裂が発生した原因は風による影響が考えられる。本研究では、試験体を用いた疲労載荷試験により疲労強度特性を把握すると共に、簡易な補強対策を提案した。

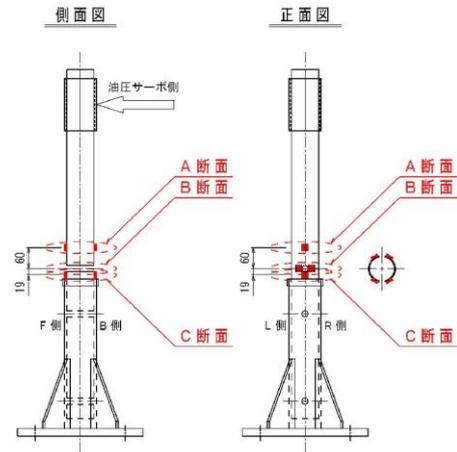


図-Ⅲ-1 試験体概要



写真-Ⅲ-1 固定式視線誘導柱損壊状況



写真-Ⅲ-2 損壊箇所断面状況



写真-Ⅲ-3 試験体設置状況

部分抽出した実験試験体を用いて実験を行った。

試験体概要を図-Ⅲ-1に、試験体設置状況を写真-Ⅲ-3に示す。部分抽出した実験供試体の無補強および補強後の状態に対して油圧サーボを用いて強制加振を行い、供試体に疲労亀裂が発生するまでの載荷回数を記録するとともに、設置したひずみゲージにより補強材設置個所の応力状態の変化を確認する。固定式視線誘導柱の補強方針は、補強実施時の施工性を考慮し、疲労亀裂の発生箇所である高さ調整穴部を部分的に補強する形式とし、現場溶接を要しない方法として検討を行った。

実験ケース一覧を表-Ⅲ-1に示す。疲労実験を実施する際の載荷荷重は、静載荷実験により鋼材の降伏荷重を確認し、降伏荷重の40%の荷重にて疲労実験を実施することとした。

補強材の有効性の判定は、降伏荷重の40%の荷重載荷による疲労実験において、疲労亀裂が発生しないことを確認することとした。

2. 疲労載荷実験

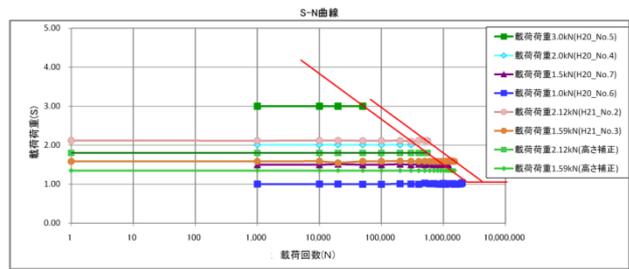
2.1 実験概要

固定式視線誘導柱の補強方法を検討することを目的として、損壊の発生箇所である高さ調整穴位置周辺を

表-III-1 実験ケース一覧

No.	補強有無	補強方法	載荷荷重 (kN)	備考 降伏荷重に対する割合
1	無	-		静載荷
2	無	-	2.12	40%
3	無	-	1.59	30%
4	有	鋼製カバー ボルト2本	2.12	40%
5	有	ワンサイドボルト両側	2.12	40%
6	有	アラミド繊維補強材	2.12	40%
7	有	鋼製カバー ボルト4本	2.12	40%
8	有	ワンサイドボルト両側	1.59	30%

図-III-2 疲労載荷実験結果



3. 実験結果

3.1 無補強実験による S-N 曲線

無補強の実験供試体による疲労実験結果より、S-N 曲線の作成を行い、過年度の実験結果との整合性の確認を行った。

疲労亀裂の発生に至る載荷回数に違いは見られたが、得られた S-N 曲線の傾きは同様であると考えられる。

(図-III-2 参照)

図に示す S-N 曲線のうち、下2つの凡例は、前述した断面欠損位置の変更による、発生応力の変化を補正したものである。

3.2 補強材の検討

各補強材設置時の断面欠損位置近傍における発生ひずみの変化の整理を行った(表-III-2)。

鋼製カバーによる補強は、ひずみゲージ設置位置に補強材を設置することとなるため欠測と考える。

断面欠損位置と同じ高さに設置したひずみゲージの計測値に大きな変化が見られる。補強材を設置した場合の鉛直方向の発生ひずみは、いずれも減少しているが、最も発生ひずみが減少した補強材は「ワンサイドボルト両側設置」(写真-III-4、5)であり、約 30%の低減効果が確認できた。



写真-III-4 ワンサイドボルト設置状況

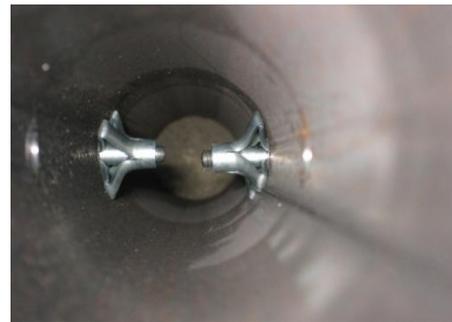


写真-III-5 鋼管内部の状況 (ワンサイドボルト)

4. まとめ

実験結果より、固定式視線誘導柱の補強方法としては、鋼製カバー(ボルト4本)とワンサイドボルトが有効であることが確認できた。最終的に、施工性および経済性等を考慮してワンサイドボルトによる補強を提案工法とすることとした。

表-III-2 実験結果一覧

実験 No	補強方法	載荷荷重	発生ひずみ ($\mu\epsilon$)								実験結果
			FB-CLX	変化	FB-CLY	変化	FB-LX	変化	FB-LY	変化	
2	-	降伏荷重の40%	35	-	-386	-	8	-	-181	-	55万回で破壊
3	-	降伏荷重の30%	26	-	-268	-	-1	-	-148	-	150万回で破壊
4	鋼製カバー ボルト2本タイプ	降伏荷重の40%	13	x	-2	x	-6	-0.75	-185	1.02	50万回で破壊
5	ワンサイドボルト両側	"	41	1.17	-262	0.68	33	4.13	-212	1.17	156万回で破壊
6	アラミド繊維補強材	"	18	0.51	-355	0.92	-21	-2.63	-206	1.14	70万回で破壊
7	鋼製カバー ボルト4本タイプ	"	0	x	-10	x	-34	-4.25	-190	1.05	155万回で破壊
8	ワンサイドボルト両側	降伏荷重の30%	73	2.81	-190	0.71	52	-52	-183	1.24	200万回到達