

高強度 PC スtrandを用いた外ケーブルシステムの開発

星野 康弘^{*1}・西野 元庸^{*2}・前川 智哉^{*3}・齋木 俊秀^{*4}

近年、JIS G 3536 に規定される PC 鋼材に比較し、引張強度が 20 % 程度向上した PC 鋼材が開発されている。今回この高強度 PC 鋼材のうち 7 本より線 ϕ 15.7 のストランドに内部充てん型のエポキシ樹脂塗装を行い、さらにその上にポリエチレンを被覆したストランドを使用し、外ケーブルとしてもっとも汎用性の高いストランドを 19 本束ねたシステムについて、外ケーブルシステムを開発するうえで必要と考えられる試験を行った。その試験概要について紹介する。

キーワード：高強度 PC スtrand、外ケーブル、試験方法、エポキシ樹脂塗装

1. 緒 言

PC 構造物では、効率よくプレストレスを得るために PC スtrandを複数本束ねて一括で緊張するマルチケーブルとマルチ定着具を用いることが多い。しかしながら近年ではコンクリートの高強度化、高じん性化が進み、また断面形状の進歩などから、コンクリート部材の寸法がコンパクト化していることもあり、大容量のマルチケーブルの配置が困難となるケースが増えつつある。とくに定着体が一箇所に多数配置されるような構造の場合、局所的に作用する強大なプレストレスに対抗するため、鉄筋が過密に配置されていることもあり、配置に困難をきわめている。

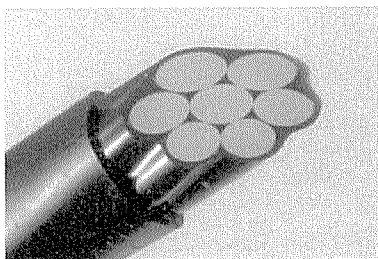


写真-1 ポリエチレン被覆内部充てん型
エポキシ樹脂塗装高強度 PC スtrand

この問題を解決する手段として、JIS G 3536 に規定される規格を超える引張荷重を有する高強度の PC 鋼材を利用し、定着具数、ケーブル数を減らすことは有効である。また使用する定着具数、ケーブル数の減少は、省資源、省エネルギーにも通じ、さらに現場での緊張・配置作業も減少し省力化・急速施工にも役立つ。今回この高強度 PC 鋼材のうち 7 本より線 ϕ 15.7 のストランドに、内部充てん型のエポキシ樹脂塗装を行い、さらにその上にポリエチレンを被覆したストランド（写真-1）について性能確認試験を行った。また外ケーブルとして汎用性の高い 19 本を束ねたシステムについて、外ケーブルシステムを開発するうえで必要と考えられる試験を行った。その試験概要について紹介する。

2. ポリエチレン被覆内部充てん型エポキシ樹脂塗装高強度 PC スtrandの仕様

開発に供したポリエチレン被覆内部充てん型エポキシ樹脂塗装高強度 PC スtrand（以下内部充てん型を省く）の鋼材は、JIS G 3536 に規定される化学成分ではなく、C と Si を多く添加することで強度を高めている。また従来の施工性

表-1 高強度 PC スtrandの化学組成 (wt %)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr
0.98-1.02	0.85-0.95	0.35-0.45	0.018 以下	0.010 以下	0.15 以下	0.20-0.25

表-2 機械的性質

	呼び径	引張荷重 kN 以上	0.2 % 永久伸びに 対する荷重 kN 以上	伸び % 以上	リラクセーション 1 000 時間 % 以上	公称断面積 mm ²	エポキシ塗膜厚 mm
供試材	ϕ 15.7	344	319	5.9	2.65	—	0.68 クラウン部 6 点の平均
エポキシ樹脂塗装 高強度 PC スtrand	ϕ 15.7	335	285	3.5	8	150	0.4 ~ 1.2
エポキシ樹脂 塗装 PC スtrand	ϕ 15.2	261	222	3.5	8	138.7	0.4 ~ 1.2

その他：供試材のポリエチレン膜厚は 2.3 mm

1) クラウン部：PC 鋼材本体の外接円との接点。7 本撚り線の場合外側に 6 本撚られているため 6 点存在する。

^{*1} Yasuhiro Hoshino：住友電工スチールワイヤー (株) PC 技術部 主査

^{*2} Motonobu Nishino：住友電工スチールワイヤー (株) PC 技術部 主査

^{*3} Tomoya Mackawa：住友電工スチールワイヤー (株) PC 技術部

^{*4} Takahide Saiki：住友電工スチールワイヤー (株) PC 技術部

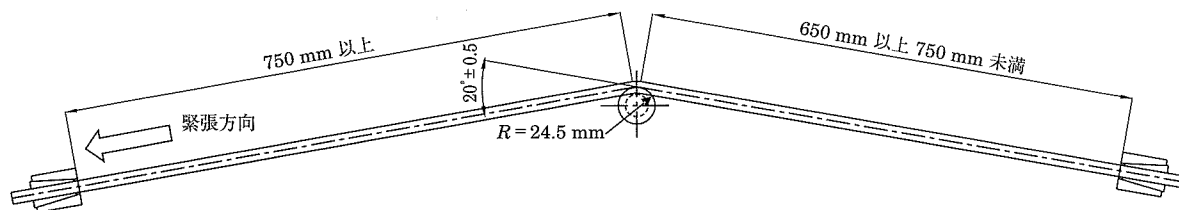


図-1 曲げ引張性能確認試験概略図

を損なうことなく、より大きな引張荷重を得るために線径 $\phi 15.7$ を採用した結果、引張・降伏応力が 20 %、引張・降伏荷重が 28 % 増となっている。化学成分、線径、荷重以外については JIS 規格を踏襲している。

さらにエポキシ樹脂塗装は現在 PC 橋の建設でもっとも多く使用されている 7 本より線の素線隙間に空隙なくエポキシ樹脂が充てんされた塗装であり、その上にポリエチレンを被覆している。

高強度 PC ストランドの化学成分規格値を表-1に、これから記述する試験に使用した供試材の機械的性質について規格も含め表-2に示す。

3. 鋼材本体に対する性能確認試験

3.1 JIS 以外の PC ストランドに対する性能確認試験

JIS 規格以外でも、海外では PC ストランドの性能確認を行う規格や推奨試験が存在する。これらのなかには PC ストランドの引張性能だけでなく、じん性や PC ストランドに対する疲労性能、また水素脆化による遅れ破壊特性を確認するために決められたものもある。表-3に ISO および国際的なコンクリート連盟 *fib* の前身である FIP で推奨されている JIS 規格以外の試験についてまとめ、3.2 ~ 3.4 でそれらの試験について概要を説明する。

表-3 PC 鋼材に対する性能確認試験

	確認事項	参考規格・推奨試験
疲労試験	ストランド本体の疲労性能	ISO 6934-4 1991 1)
曲げ引張試験	局所曲げに対する抵抗性	FIP Recommendations Deflected tensile test September 1996 2)
遅れ破壊促進試験	水素脆化などの遅れ破壊に対する抵抗性	FIP Technical report Tendons August 1995 3)

3.2 高強度 PC ストランドの疲労性能確認試験

高強度 PC ストランドの疲労強度については、コンクリート標準示方書に、実際に使用する PC 鋼材および定着具を用いた疲労試験によって定めるのを原則とする⁴⁾とあるが、疲労試験条件について明確な公的規定はない。一方世界を見ると ISO や *fib* に規定や推奨試験が存在しており、今回 ISO 6934-4 に規定される条件に準じて、PC ストランド本体の疲労試験を行ったところ、破断することなく規格を満足することを確認した。疲労試験の条件を表-4に示す。

3.3 曲げ引張性能確認試験

高強度 PC ストランドではストランドにかかる引張応力が増加していることから、JIS 規格品 SWPR7BL $\phi 15.2$ に比較

表-4 本体疲労試験

上限荷重	全振幅	振幅回数	結果
234.5kN (規格引張荷重の 70 %)	195 N/mm ²	2×10^6 回	破断無 (試験体数 3 本)

し局所曲げに対する強度低下の懸念がある。曲げ引張性能確認試験は、FIP Recommendations Deflected Tensile Test に供試材のサイズごとに試験方法および評価に関する推奨値があり、PC ストランドを強制的に曲げた状態で緊張して破断荷重の規格引張荷重に対する低下率を計測する試験である。試験概略を図-1に示す。図のように供試材を固定できるフレームを製作し 500 kN 横型引張試験機に据え付け、ポリエチレン被覆のないエポキシ樹脂塗装高強度 PC ストランドを用いて 3 本試験を行った結果、強制曲げによる破断荷重の低下率は最大 13 % 程度であり、FIP Recommendations に推奨されている標準的に使用されるような PC ストランドの破断荷重低下率は 28 % 以下という推奨値を満足していることを確認した。

3.4 遅れ破壊促進試験

一般に PC 鋼棒は高強度になるほど遅れ破壊に敏感になる傾向にある。PC 鋼より線は鋼棒と比較し鈍感である⁴⁾が、JIS 規格品と比較して高強度化されており遅れ破壊については十分な検討を行わなければならない。FIP では検討の一つとして腐食溶液に浸して行う促進試験を提案しており、JIS G 3536 SWPR7BL $\phi 15.2$ の中心線、および今回試験に供試している高強度ストランドのエポキシ樹脂塗装前の鋼材の中心線について各 12 体試験を行った。

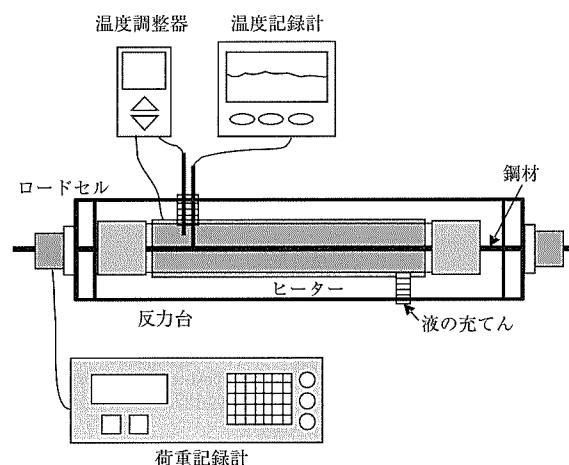


図-2 遅れ破壊試験の概略図

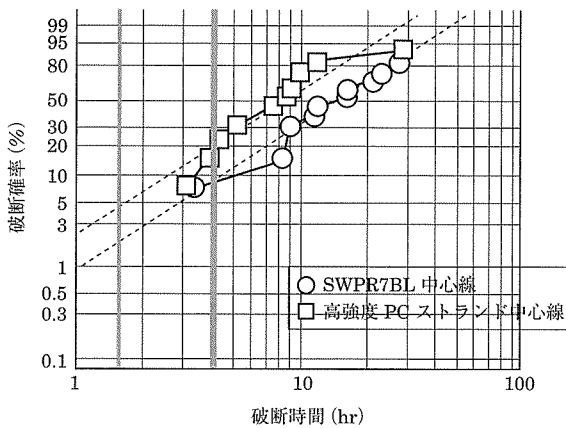


図 - 3 遅れ破壊促進試験結果

試験は、50℃の20%チオシアン酸アンモニウム水溶液に規格引張荷重の80%まで载荷した状態で浸して行った。試験の概略を図-2に、試験結果をワイブルプロットしたものを図-3に示す。また比較材料としてエポキシ樹脂塗装高強度PCストランドについても試験を行った。

結果、高強度品はJIS規格品と比較し若干早めに破断する傾向にあったもののFIPで規定されている最短破断時間が1.5時間以上、50%破断確率が4時間以上という合格ラインは満足した。現在さらに傾向を把握すべく試験を継続して行っている。またエポキシ樹脂塗装高強度PCストランドは500時間経過しても破断に至らなかった。エポキシ樹脂塗装が腐食雰囲気遮断するためであり塗装は遅れ破壊対策として有効と考えられる。

4. 外ケーブルシステムの性能確認試験

定着具の試験については、コンクリート標準示方書にPC定着具および接続具の試験方法として静的引張試験による評価が規定されている。しかしながら、実際に外ケーブルとして使用される環境では、車両走行振動による疲労が定着具に作用する。そのため疲労、つまり動的引張試験についても検討を必要とするが、日本には定着具の動的引張試験に関する明確な公的規定はない。そこで静的引張試験についてはコンクリート標準示方書を、動的引張試験については、FIPの推奨試験により確認を行った。また外ケーブルに防食PCストランドを用い、自由長部および偏向部をノングラウトケーブ

ルとして使用する場合、偏向部での防食塗装の健全性を確認する必要がある。参考としたこれらの規格や推奨試験について表-5にまとめ、定着システム試験について5.で、偏向部塗膜性能確認試験について6.で紹介する。

5. 定着システム試験

5.1 静的引張試験

(1) 一本のストランドによる定着具静的引張試験

今回エポキシ樹脂塗装高強度PCストランドφ15.7用にエポキシ樹脂塗装をはぐことなく定着できるくさびを新たに開発した(図-4)。

そこでくさびの静的引張性能を確認するためまず一本のストランドで横型500kN引張試験機を用いて、静的引張試験を行った。写真-2に試験状況を示す。

表-6に示すとおり、今回開発したくさびは2007年制定コンクリート標準示方書施工編12.7.1.2に規定される「PC鋼材の規格引張荷重に対する破断荷重の割合である定着効率が95%以上であること」を満足することが確認できている。

(2) 19S15.7システム定着具による静的引張試験

19S15.7の外ケーブルシステム定着具について土木学会規準JSCE-E503-1999に規定される定着具と緊張材とを組み合わせた試験を行い、システム定着具としての定着効率を測定した。試験概略を図-5に示す。

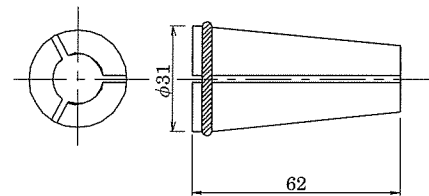


図 - 4 エポキシ樹脂塗装高強度PCストランド用くさび

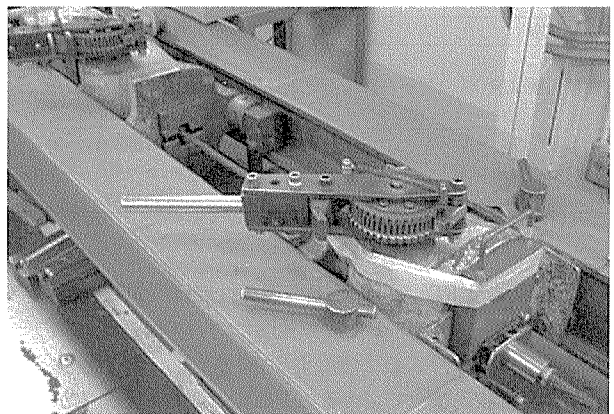


写真 - 2 エポキシ樹脂塗装ストランド一本による引張試験状況

表 - 5 外ケーブルシステム評価試験一覧

試験	求められる性能	参考規格・推奨試験・文献
定着具または接続具と緊張材とを組み合わせた試験	定着効率が95%以上	土木学会 試験方法: JSCE-E 503-1999 評価: コンクリート標準示方書 2007 12.7.1.2
定着具をコンクリートと組み合わせた試験	定着体が規格荷重作用時でも破壊しないこと	
疲労試験	供用時に作用する繰返し荷重で破断しないこと	FIP Recommendations [Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems] June 1993 5)
偏向部塗膜性能確認試験	偏向部における作用力に対して防食層の健全性が確保されていること	文献 6)

表 - 6 静的引張試験結果

項目	高強度用ウェッジφ15.7用		
	1	2	3
破断荷重 (kN)	341	342	341
定着効率 (%)	101.8	102.1	101.8

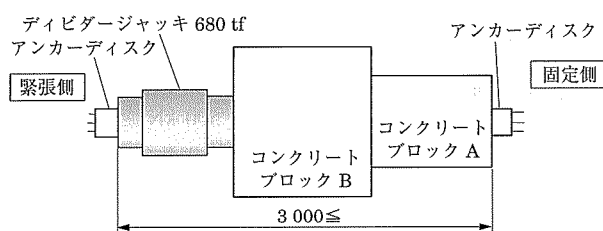


図-5 外ケーブル定着具定着効率試験概略

定着具を埋め込んだコンクリートブロック A をセットし、エポキシ樹脂塗装高強度 PC スtrand 19 本を挿入後にアンカーディスクを取り付け、反対側から 680 tf (6 670 kN) ジャッキで緊張した。試験状況を写真-3 に示す。

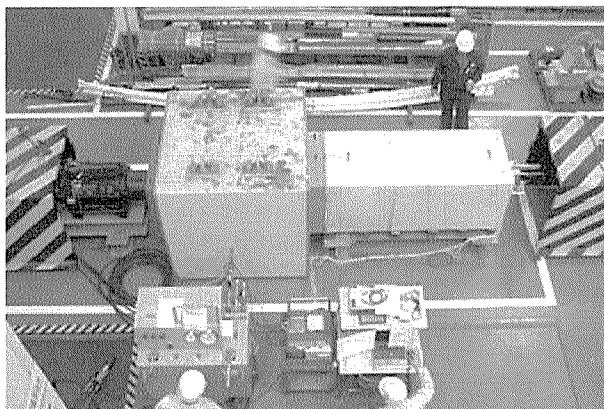


写真-3 外ケーブル定着具定着効率試験状況

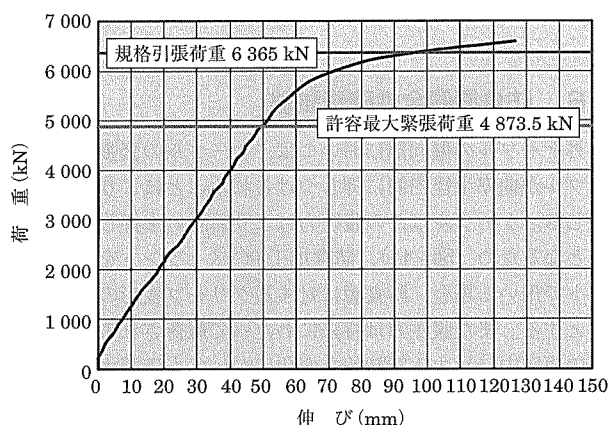


図-6 外ケーブル定着具定着効率試験荷重-伸び曲線

図-6 に荷重-伸び曲線を示す。破断荷重は 6 457 kN, 規格引張荷重に対し 101.4 % ($= 6457 / 335 \times 19$) の定着効率があり、コンクリート標準示方書に規定される規格を満足している。

(3) 外ケーブル定着具埋込みコンクリートブロック荷重試験

19S15.7 の定着体について「PC 工法の定着具および接続具の性能試験方法 2.1」(土木学会規準 JSCE-E503-1999) に従い、定着体を埋め込んだコンクリートブロックを作成し、ケーブルとしての規格引張荷重 ($335 \text{ kN} \times 19 = 6 365 \text{ kN}$) まで単調漸増荷重を行った。この試験では連結ケーブルで使用する外ケーブルへの適用を検討するため、設計基準強度 36 N/mm^2 のコンクリートを打設し材齢 29 日の時点で試験を行った。また緊張力は 28 % 増であるが、コンクリートに埋め込む定着具はディビダーク工法 19S15.2MC システムと同じ部品を用い、補強筋量なども 19S15.2 の定着具に合わせている。試験に供したコンクリートブロック図を図-7 に、試験概略図を図-8 に示す。

本試験では、図-8 に示す変位計を用いて、定着体のコンクリートブロックへのめり込みも計測した。荷重試験の結果も含め試験結果を例として表-7 に示す。

表-7 に示すとおり、荷重試験時の材齢 29 日コンクリー

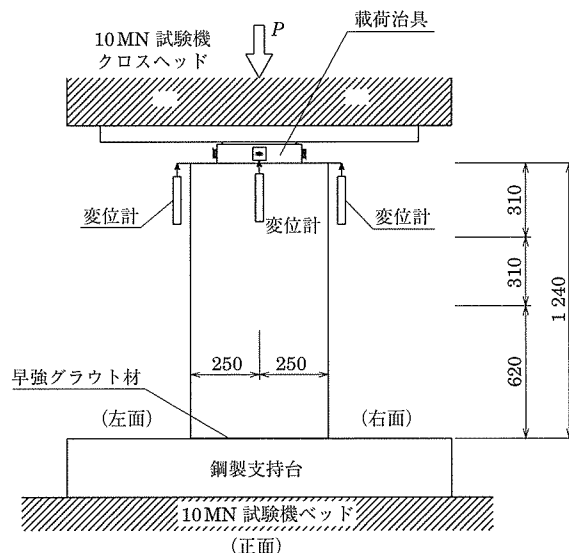


図-8 コンクリートブロック荷重試験概略

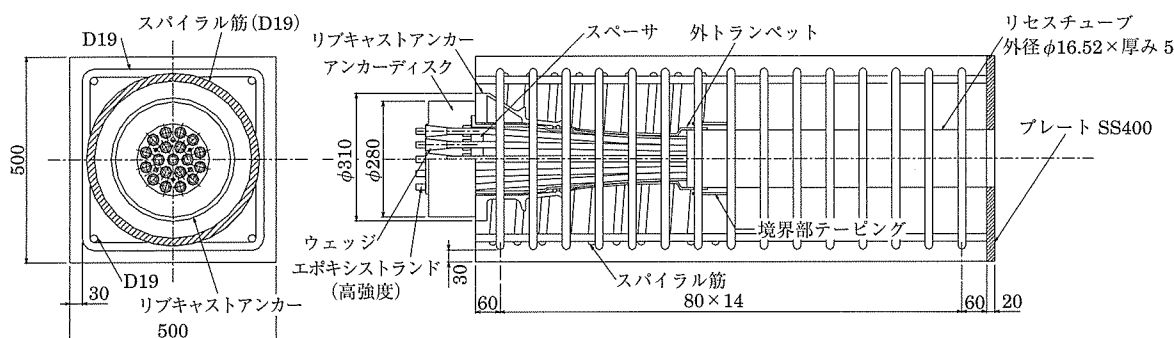


図-7 荷重試験用コンクリートブロック図

表 - 7 試験結果の例

試験時コンクリート強度 (N/mm ²)	40.6					
	41.3					
	41.7					
	Ave.41.2					
ステップ	荷重 (kN)	ひび割れ幅 (mm)				リブキャストアンカーめり込み量 (mm)
		打設上面	打設下面	左側面	右側面	
0.1 Pu	637	—	—	—	—	0.16
0.2 Pu	1 273					0.21
0.3 Pu	1 910					0.26
0.4 Pu	2 546					0.33
0.5 Pu	3 183	無	無	無	無	0.43
0.6 Pu	3 819	無	無	無	無	0.55
0.7 Pu	4 456	0.03	0.03 以下	0.03 以下	0.03	0.73
0.9 Py	4 874	0.04	0.04	0.03 以下	0.04	0.9
0.8 Py	5 092	0.06	0.04	0.03	0.06	1.08
Py	5 415	—	—	—	—	1.27
0.9 Pu	5 729					1.44
0.95 Pu	6 047					1.71
Pu	6 365	0.4	0.1	0.1	0.4	2.22
最大荷重		6 365 kN (1.0 Pu 終了)				

ト強度 41.2 N/mm² のコンクリートで高強度 PC ストランドの規格引張荷重まで載荷してもコンクリートが圧壊することなくコンクリート標準示方書の規定を満足している。またコンクリート標準示方書にはとくに計測する規定はないが、ひび割れ幅についても確認しており、施工時に緊張材に与えられる上限荷重である 0.9 Py 時で 0.04 mm であり、日本コンクリート工学協会発行のコンクリートのひび割れ調査、補修補強指針⁷⁾に記載される補修を必要としないひび割れ幅以下であることを確認した。

5.2 動的引張試験（疲労試験）

(1) 一本のストランドによる定着具動的引張試験

FIP Recommendations⁸⁾では、定着具の疲労試験条件として PC 鋼材に規格引張荷重の 65 % (335 kN × 0.65 = 218) を上限として、80 N/mm² 以上の全振幅を 200 万回与えて破断しないとなっている。そこでまず新開発のくさびの疲労性能を把握するため、全振幅条件を 100, 120, 150, 200 N/mm² として試験を行い、疲労性能曲線を求めた。100 N/mm² の疲労試験については 200 万回まで載荷しても破断せず、また 120 N/mm² については推奨値を超える 500 万回まで繰り返し載荷を行ったが、ストランドが破断することなく、80 N/mm² を超えた振幅でも健全であることが確認された。図 - 9 に疲労性能曲線を示す。図中の矢印は試験体個数を表して

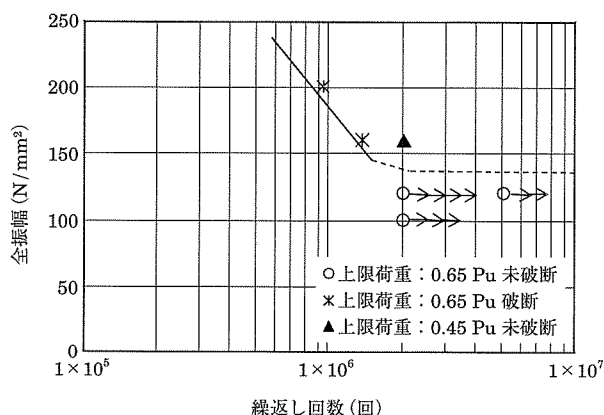


図 - 9 エポキシ樹脂塗装高強度 PC ストランド用くさびの疲労性能曲線

いる。

(2) 19S15.7 外ケーブル定着具の動的引張試験

試験では図 - 10 に示すように 19S15.7 の定着具を埋め込んだコンクリートブロックを縦型 2 500 kN 疲労試験機に据え付けた。また試験機容量の関係で 19 本のストランドすべてを取り付けることができないため、定着体の中でストランドにもっとも角度がつく疲労に対して厳しい条件の最外層ストランド 6 本を選んで試験を行った。試験条件は FIP Recommendations に従い、全振幅を 80 N/mm² として試験をした結果、200 万回を超えて破断せず、推奨値を満足する疲労強度を有していることを確認できた。

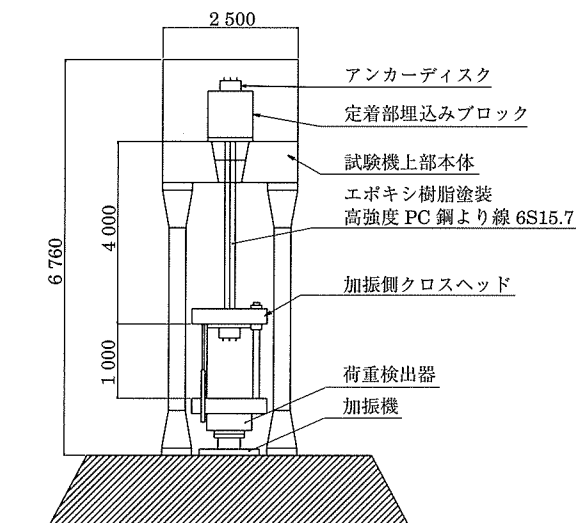


図 - 10 19S15.7 外ケーブル定着具疲労試験概略図

6. 防食層健全性確認試験

外ケーブルの偏向部においては、ケーブルの緊張によりケーブルが曲率半径内側に押しつけられることにより腹圧力を生じる。ケーブルはこの腹圧力によりお互いを押しつけ合う形となるため (図 - 11)、防食加工 PC ストランドをノングラウトで用いる場合、防食層に対するクリープ変形の検討を必要とする。また腹圧力は将来にわたって載荷されるため防食層の腹圧力に対する経時的な変化についても確認する必要がある。

従来のエポキシ樹脂塗装 PC ストランドは、この腹圧力に対し十分な抵抗力があることは確認されている^{6, 9, 10)}が、今回の高強度化に伴い腹圧力も増大するため、あらためてポ

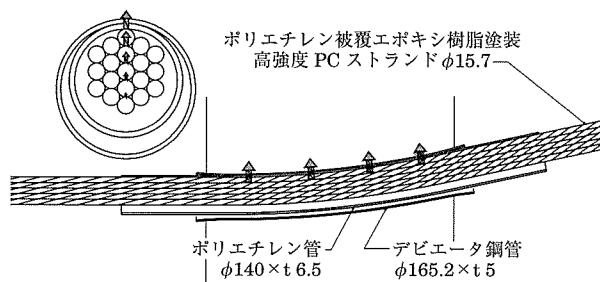


図 - 11 腹圧力概念図

リエチレン被覆エポキシ樹脂塗装高強度 PC ストランドで確認する必要があった。

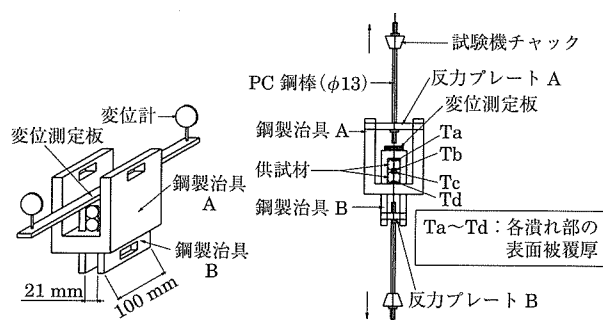
6.1 クリープ試験

偏向管によるコンクリートへの支圧応力度は外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工基準¹⁰⁾にて式 1) により表わされている。

$$\sigma = P/R \cdot b \quad \dots \dots \text{式 1)}$$

σ : 支圧応力度 (N/mm²), P : 緊張力 (N), b : PC 鋼材の設置幅 (mm), R : 曲率半径 (mm)

緊張中の PC ストランドを個別に見た場合、同様の配置であることから同じ計算式により腹圧力が求まると考えられる。また図 - 11 に示すように、曲率内側の PC ストランドは他のケーブルの腹圧力の影響を受けてもっとも押しつぶされており、その力の最大は PC ストランドをより合わせた形で使用するケーブルの 5 段重ね位置と考えられる。そこでこの腹圧力を図 - 12 に示す載荷治具を用い、偏向管の曲率半径 $R = 3 \text{ m}$ で腹圧力を受ける条件をモデル化して、 $20 \pm 5^\circ \text{C}$ の温度条件で 1 000 時間持続的に押しつぶす載荷を行った。載荷は施工時に受ける最大の荷重である降伏点荷重の 90 % (以下 0.9 P_y) 相当の荷重 43 kN を持続的に載荷しており、鋼材のリラクセーションや、コンクリートのクリープなどで荷重が減少する実使用条件よりも厳しい条件の試験となっている。

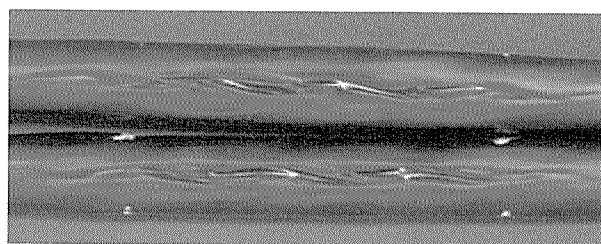


載荷荷重 43 kN $\approx$
 $285 \text{ kN} \times 0.9 \times 5 \text{ 段} \div 3000 \text{ mm} \div 21 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$
 (21 mm, 100 mm は試験治具幅および鋼材接触部の長さ)

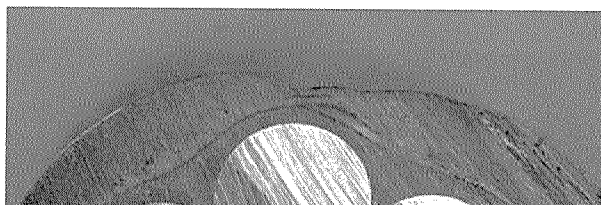
図 - 12 載荷概略図

1 000 時間連続で 0.9 P_y 相当の荷重で押しつぶした結果、写真 - 4 に示すとおりポリエチレン被覆はほぼ押しつぶされているものの単体でも防食が期待できるエポキシ樹脂⁶⁾は塑性変形することなく十分に残存している。

また時間を横軸にして供試材被覆厚のクリープによる減少量を片対数グラフへプロットした結果を図 - 13 に示す。クリープ変形が同様の傾きで進行すると考えた場合、100 年後 (876 600 時間後) にはポリエチレン被覆は完全に押しつぶされてしまうが、ポリエチレンよりも硬度の高いエポキシ塗装の防食層は、過去の得られた知見^{6, 9, 10)}により残存すると考えられる。



(a) 載荷部側面



(b) 載荷部断面

写真 - 4 試験後の防食塗膜状況

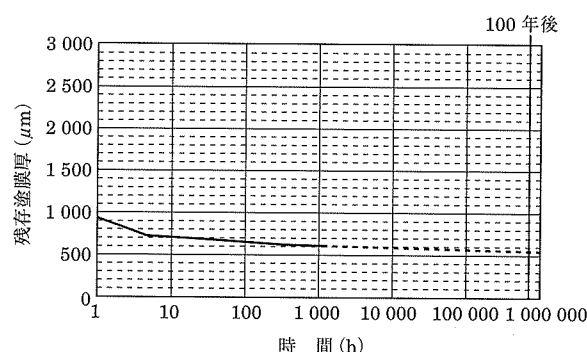


図 - 13 クリープ変形による被覆厚減少量

6.2 偏向部実物大載荷試験

クリープ試験の妥当性と緊張時の擦れの影響を確認するため、実物大の 19S15.7 用偏向部を作成し試験を行った。試験概略を図 - 14 に示す。

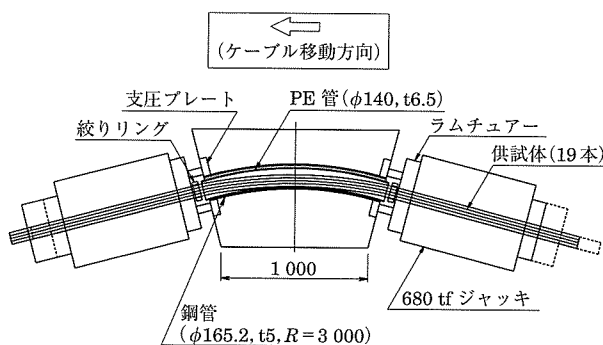


図 - 14 偏向部実物大載荷試験

試験の手順は以下のとおり。

- ① コンクリートブロックの両端にジャッキを配置し 19S15.7 のポリエチレン被覆エポキシ樹脂塗装高強度 PC ストランドを 0.9 P_y まで緊張する。
- ② 緊張時の伸びによるストランドのこすれを再現するため

0.9 Py を保持したまま、100 m のケーブルを両引きした際の伸びに相当する 300 mm を移動量としてケーブルを移動する。

- ③ 300 mm 移動後 24 時間緊張荷重を保持する。
- ④ 24 時間後に解体し腹圧力による影響が予測される箇所の状況を確認する。

解体の結果を写真 - 5, 6 に示す。ポリエチレン被覆がクリープ試験と比較しつつおれず防食層が十分に残存することが確認された。

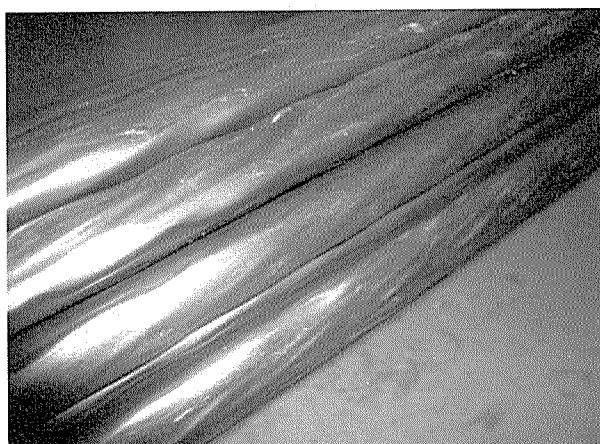


写真 - 5 载荷後のケーブル外観

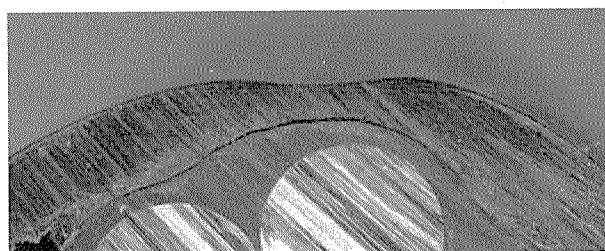


写真 - 6 载荷試験後の腹圧力影響部分の状況（断面）

7. 実物大偏向部耐フレットング性能確認試験

鋼材が接触する場合、その接触 2 面間に微小な相対運動が周期的に繰り返される際にフレットングと呼ばれる摩擦疲

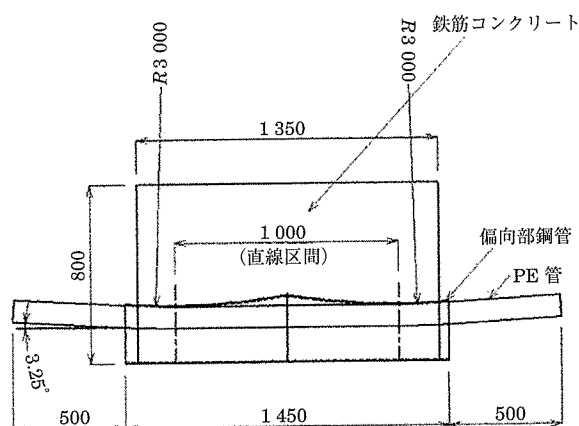


図 - 15 偏向部モデルの詳細

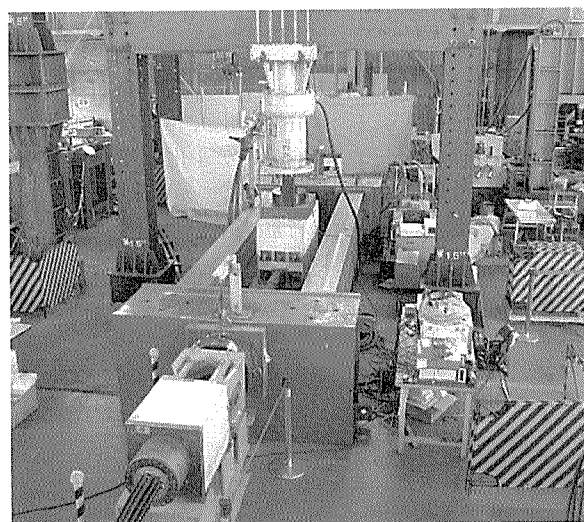


写真 - 7 偏向部フレットング試験状況

勞現象が生じる¹²⁾。外ケーブルの偏向部では、このフレットングによりケーブル本来の性能よりも疲労強度が落ちる場合があり、十分な検討を必要とすることが知られている⁴⁾。

従来のエポキシ樹脂塗装 PC 鋼より線の健全性は確認されているが、防食層健全性確認試験と同様、高強度化による耐フレットング性能への影響を確認するため、実物大の 19S15.7 偏向部をモデル化して性能確認試験を行った。

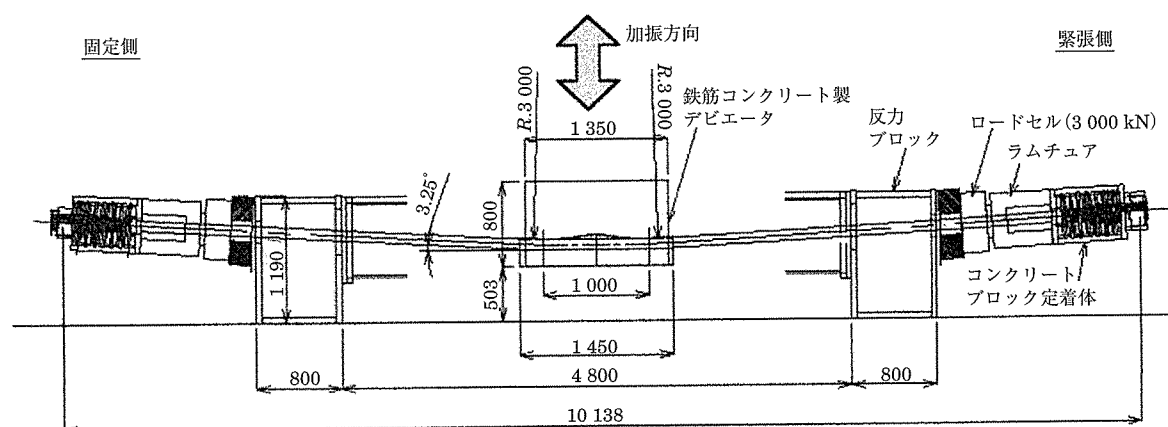


図 - 16 実物大フレットング試験概略図

偏向部のモデルを図 - 15、試験の概略を図 - 16 に試験時の写真を写真 - 7 に示す。過去の実験¹³⁾を参考にケーブルを規格引張荷重の 60 % を上限荷重として、図中央のモデル化した偏向部を± 650 kN アクチュエータを用いて上下に振幅させることで、ケーブルに全振幅 49 N/mm² となるように 300 万回の繰り返し載荷を行った。その結果、300 万回まで破断なく載荷を終了した。

8. まとめと今後の課題

試験により、以下のことが確認された。

- 1) エポキシ樹脂塗装高強度 PC ストランドは新たに開発したくさびを含め ISO の規格値、FIP の推奨値を満足する静的、動的引張性能を有している。
- 2) 高強度 PC ストランド ϕ 15.7 の耐遅れ破壊特性は推奨値を満足している。
- 3) 過去から行われている従来のエポキシ樹脂塗装 PC ストランドと同様の試験を行い、ポリエチレン被覆をしたエポキシ樹脂塗装高強度 PC ストランドの外ケーブルとしての適用について確認できた。

今回の報告はポリエチレン被覆をしたエポキシ樹脂塗装高強度 PC ストランドについての報告であったが、現在ポリエチレン被覆のないエポキシ樹脂塗装高強度 PC ストランドの外ケーブルへの適用評価を進めている。またポリエチレン被覆やエポキシ樹脂塗装などの防食加工を行っていない高強度 PC ストランドの遅れ破壊特性についても評価を継続中であ

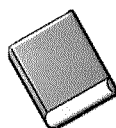
り、機会を改めて報告したい。

本報告が今後の防食加工をした高強度 PC ストランドの外ケーブルへの適用に対する評価の一助になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) ISO6934-4 Steel for the prestressing of concrete 1991
- 2) FIP Recommendations : Deflected tensile test, Sep.1996
- 3) FIP Technical report : Tendons, Aug.1995
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書，2007
- 5) 松山晋作：遅れ破壊，日刊工業新聞社，1989.8
- 6) Yasuhiro Hoshino, Masato Yamada, Motonobu Nishino : External Cable Using Epoxy Coated Strands, fib congress 2002 Osaka, pp.255-262
- 7) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，1987.2
- 8) FIP recommendations : Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems, June. 1993
- 9) 高速道路技術センター：PC 橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル，2001.10
- 10) 三浦尚，角昌隆：内部充填型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線技術の現状，プレストレストコンクリート Vol.45, No.2, Mar.2003
- 11) プレストレストコンクリート技術協会：外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工基準，2005.06
- 12) R.B.WATERHOUSE 著，佐藤準一訳：フレッチング損傷とその防止法，養賢堂，1984.10
- 13) 新井英雄，藤田学，梅津健司，鮎子多浩一，上田多門：大容量 PC 鋼より線の曲げ配置部におけるフレッチング疲労特性，土木学会論文集 No.627 / V-44 pp.205-222 1999

【2009 年 2 月 17 日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

複合橋設計施工規準

定 価 6,825 円／送料 500 円

会員特価 6,000 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版