

## 完全防錆ストランドの開発

南 伊三男\*1・田中 徹\*2・千桐 一芳\*3

### 1. ま え が き

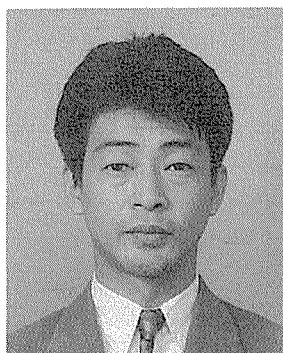
かつてコンクリート系構造物の耐久性は半永久的と言われていた。しかし、近年は、材料（特に骨材）の品質の劣化、無理な設計や施工の不備、環境の悪化、使用状態における作用荷重の増大など、種々の要因によるコンクリート系構造物の早期劣化がおり、単にわが国ばかりでなく、世界各国で鉄筋コンクリート構造物やプレストレストコンクリート構造物に故障が多発している。コンクリート系構造物の耐久性劣化は、鉄筋またはPC鋼材の発錆・腐食に負うところが多い。かつてはコンクリートの中性化が構造物の耐久性を決める重要な要素であった。しかし、昨今は収縮ひび割れの発生、アルカリ骨材反応によるひび割れ発生、塩分の浸透、さらには塩分を含む骨材の使用などにより、鉄筋やPC鋼材の腐食が著しく促進され、これら中性化以外の要因による鋼材の発錆を防止する方策を整えることが急務となっている。特に、塩害による構造物の耐用年数の低下は国際的にも大問題となっており、塩害を抜きにして構造物の耐久性を論ずることはできない状況にある。特に、普通鉄筋と比較して錆びやすい性質を持つPC鋼より線にとつては、防錆対策はきわめて重要である。

本論は、ストランドの表面および内部の素線間に残る空隙を、優れた防錆力を持つ特殊樹脂により完全に被覆

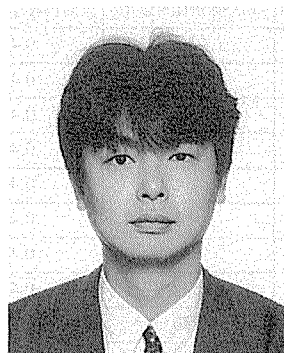
および充填した完全防錆ストランド（以下このように呼称する）の開発の経緯と仕様、およびこれをプレストレストコンクリート材として使用するのに必要な基本試験の結果について述べ、その特徴と有用性について述べたものである。

### 2. 開発の経緯

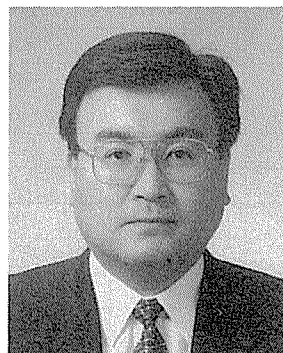
PC鋼材の防錆の必要性が強く要求されるようになったのは、米国およびカナダにおける構造物の塩害問題からである<sup>1)3)</sup>。これらの国では冬期の道路凍結防止用に塩化カルシウムを多量に散布使用するため、これによって橋梁デッキスラブや駐車場建物に著しい鉄筋腐食が発生し、被害件数20万件以上、損害額は200億米ドルに達したという。また英国においては、1985年にウェールズにあるPC橋梁において、グラウトを行ったPCストランドが発錆のため突然破断、落橋し、この落橋を契機に英国運輸省はグラウト工法を全面禁止した。昨年、この禁止はようやく解除された。日本国内においてもPCグラウトに対するマニュアルが作成されたが、グラウト充填試験方法、未充填部分への処理方法等まだ検討課題が残っている。こうしたなか、樹脂等によるPC鋼材の被覆は複層防食システムとして大いに期待できるものと思われる。米国では、1983年に表面エポキシ被覆PCストランドが開発され<sup>4)</sup>、この技術は日本でも普及してきた。



\*1 Isao MINAMI  
フドウ建研(株)  
技術本部



\*2 Tohru TANAKA  
東京製綱(株)  
技術部



\*3 Kazuyoshi CHIKIRI  
ヒエン電工(株)  
事業本部

一方1986年に六車等により被膜厚さ0.4～0.6 mmの表面防錆PCストランドが開発され<sup>5)</sup>、また1992年には、特殊防錆樹脂を加圧注入することによってPCストランドのよりを戻すことなく内部まで浸透させ、表面と内部空隙を同時に被覆、充填した世界で初めての完全防錆ストランドが開発された<sup>6)</sup>。この完全防錆加工は単に7本よりストランドばかりではなく、19本よりストランドにも適用できるものであり、かつ裸ストランドに慣用のくさび定着装置がそのまま使用できるのが特徴である。

### 3. 完全防錆ストランドの概要

完全防錆ストランドは熱可塑性特殊防錆樹脂をストランドの内部空隙に充填すると同時に、外表面を被覆防錆した完全防食PC鋼より線である。製造方法はストランドのよりを戻すことなく原型のままに内部に樹脂を加圧注入し、同時に外面を被覆する独創的なもので、加工速度が速く大量生産が可能である。この加工方法は単に7本よりストランドだけでなく19本よりストランドにも適用可能であり、19本よりストランドの実用品もすでに完成している。表面被覆の標準厚さは0.4 mmで、使用樹脂の特性から表面被膜を薄くしても製造過程でのピンホールは発生しない。使用防錆樹脂の破断伸びは300%以上であり、ストランド素線との接着性も高く製造基準でピンホール0を標準としているのも特筆すべき特徴である。また従来慣用の定着用くさびがそのまま使用できるという利点もある。図-1は完全防錆ストランド各種の姿図および断面を图示したものである。7本よりストランドではφ15.2 mmまで、19本よりストランドではφ21.8 mmまでのJISストランド各サイズのものを用意されている。種類としては、標準型完全防錆ストランド、標準型の表面樹脂に溝を形成し、付着性能を高めた高付

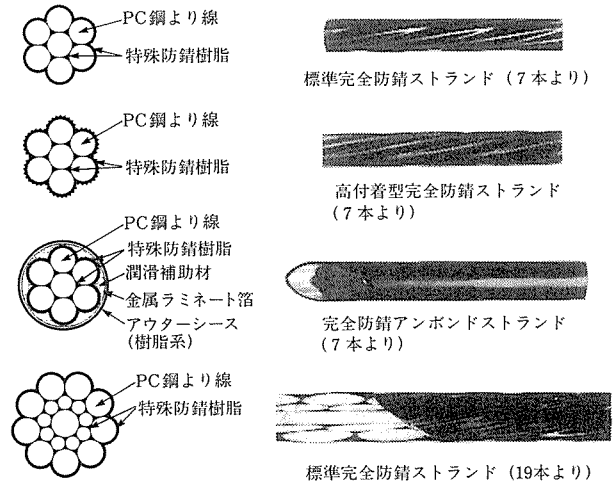


図-1 完全防錆ストランド各種の形状

着型、そして標準型の全周に潤滑補助材を充填し、その外面に樹脂系アウターシースを施したアンボンドストランドがある。さらに防錆効果を高めるために樹脂系アウターシースの内面に金属ラミネート箔を融着し水分・湿気を完全に遮断したのも用意している。表-1.1から表-1.3に各ストランドの仕様を一覧にして示す。

### 4. 充填・被覆材の防食性能に関する試験

完全防錆ストランドの防食性能を確認するために、以下の試験を実施した。

#### 4.1 塩水噴霧試験

防錆樹脂の防錆力の促進試験法に塩水噴霧試験がある。この試験は種々の鋼製品の耐塩分抵抗性を調べる標準試験法としてJISに規定され広く活用されている。塩水噴霧試験槽中に両端切断面をシリコンシールしたストランド試験片を入れ、温度35度の中で塩化ナトリウム

表-1.1 完全防錆ストランド標準型(SUPRO/S)

記号	PC鋼より線 (JIS G 3536)					完全防錆ストランドの仕様		
	公称径(mm)	公称断面積(mm <sup>2</sup> )	単位質量(g/m)	引張荷重(kN以上)	降伏荷重(kN以上)	表面被覆厚さ(mm)	被覆外径(mm)	単位質量(g/m)
(7本より) SWPR 7A	9.3	51.61	405	88.8	75.5	0.4	10.1	429
	10.8	69.68	546	120	102	0.4	11.6	572
	12.4	92.90	729	160	136	0.4	13.2	761
	15.2	138.70	1 101	240	204	0.4	16.0	1 153
(7本より) SWPR 7B	9.5	54.84	432	102	86.8	0.4	10.3	455
	11.1	74.19	580	138	118	0.4	11.9	611
	12.7	98.71	774	183	156	0.4	13.5	810
	15.2	138.70	1 101	261	222	0.4	16.0	1 153
(19本より) SWPR 19	17.8	208.40	1 652	387	330	0.4	18.8	1 709
	19.3	243.70	1 931	451	387	0.4	20.3	1 997
	20.3	270.90	2 149	495	422	0.4	21.3	2 220
	21.8	312.90	2 482	573	495	0.4	22.8	2 562

[注]:降伏荷重は0.2%永久伸びに対する荷重を示す。

表 - 1.2 完全防錆ストランド高付着型 (SUPRO/B)

記号	PC鋼より線 (JIS G 3536)					完全防錆ストランドボンド型の仕様				
	公称径 (mm)	公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	単位質量 (g/m)	引張荷重 (kN以上)	降伏荷重 (kN以上)	表面被覆厚さ (mm)	山		被覆外径 (mm)	単位質量 (g/m)
							高さ(mm)	数		
(7本より) SWPR 7A	9.3	51.61	405	88.8	75.5	0.4	0.15	50	10.4	432
	10.8	69.68	546	120	102	0.4	0.15	60	11.9	575
	12.4	92.90	729	160	136	0.4	0.15	75	13.5	765
	15.2	138.70	1 101	240	204	0.4	0.15	90	16.3	1 157
(7本より) SWPR 7B	9.5	54.84	432	102	86.8	0.4	0.15	60	10.6	458
	11.1	74.19	580	138	118	0.4	0.15	60	12.2	614
	12.7	98.71	774	183	156	0.4	0.15	75	13.8	814
	15.2	138.70	1 101	261	222	0.4	0.15	90	16.3	1 157
(19本より) SWPR 19	17.8	208.40	1 652	387	330	0.4	0.15	100	19.1	1 714
	19.3	243.70	1 931	451	387	0.4	0.15	120	20.6	2 002
	20.3	270.90	2 149	495	422	0.4	0.15	120	21.6	2 225
	21.8	312.90	2 482	573	495	0.4	0.15	125	23.1	2 567

[注]: 降伏荷重は0.2%永久伸びに対する荷重を示す。

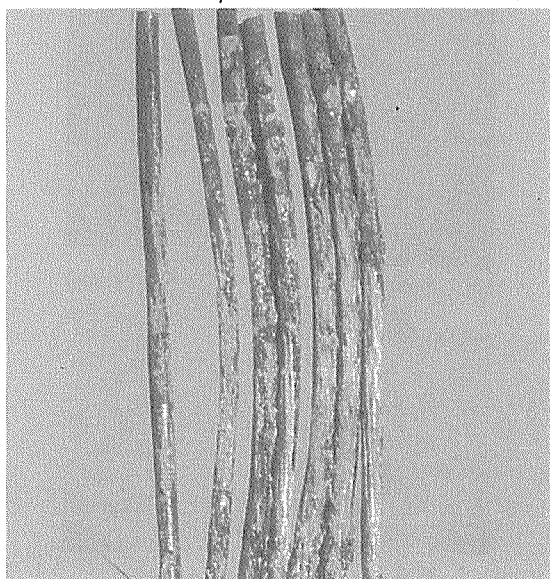
表 - 1.3 完全防錆アンボンドストランド (SUPRO/SUB)

記号	PC鋼より線 (JIS G 3536)			完全防錆アンボンドストランドの仕様					
	公称径 (mm)	公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	単位質量 (g/m)	表面被覆厚さ (mm)	アウターシース		被覆外径 (mm)	潤滑補助材 単位質量(g/m)	単位質量 (g/m)
					厚さ(mm)	公差(mm)			
(7本より) SWPR 7A	12.7	98.71	774	0.4	1.0	±0.2	16.5	35	891
	15.2	138.70	1 101	0.4	1.0	±0.2	19.0	41	1 248
(19本より) SWPR 19	17.8	208.40	1 652	0.4	1.2	±0.2	22.2	48	1 820
	19.3	243.70	1 931	0.4	1.2	±0.2	23.6	53	2 131
	21.8	312.90	2 482	0.4	1.2	±0.2	26.2	59	2 771

5% 溶液を2 000時間噴霧した後、被覆樹脂を除去して内部の錆発生状況を目視により観察した。φ 15.2mm完全防錆ストランドの結果を一例として写真-1に示す。錆の発生はまったく見られなかった。さらに追加試験として、試験体中央部1カ所において防錆被覆に幅1 mm、長さ10mmのスリット傷を付けPC鋼より線を露出させた

ものについて1 000時間塩水噴霧試験を行ったが、PC鋼より線露出部以外に錆の発生は認められず、露出部から周辺部の表面被覆間への錆の進行もほとんどなかった。これは防錆被覆材の素線への接着が良好であることを示すものである。

無被覆PC鋼より線 φ 15.2mm (2 000時間後の状況)



SUPRO/S- φ 15.2mm (2 000時間後の状況)

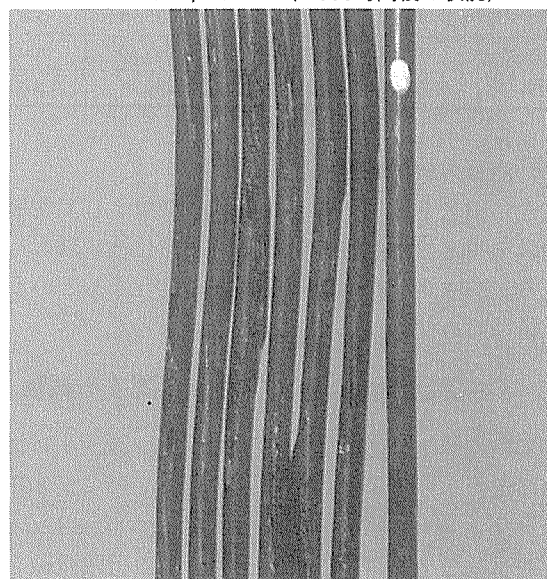


写真-1 2 000時間塩水噴霧試験結果

### 4.2 水密試験

鋼材の発錆は、塩分や酸素が水分や湿気中に含まれた状態でコンクリート内に浸透することによって起こる。従って、水分の防錆被膜からの浸透を完全に遮断できるかどうかを判定することが必要である。水密試験は塩分浸透による発錆に対し過酷な状態におかれる船舶用電線について行われるもので、高圧力下における水分の浸透を調べる試験である。表-2はφ15.2mm完全防錆ストランドの水密試験結果である。20kgf/cm<sup>2</sup>という高水圧下60分間保持においても水分浸透は認められなかった。この試験結果は表面被膜にピンホールが皆無であることを示すものである。

表-2 水密試験結果

水圧(kgf/mm <sup>2</sup> )	0.5	2.0	5.0	10.0	20.0
保持時間(分)	5	5	5	20	60
水分浸透量(mg)	No.1	0	0	0	0
	No.2	0	0	0	0

### 4.3 耐薬品性能試験

耐酸・アルカリについても試験を行っている。ストランドの両端切断面をシリコンシールした後、pH=2の強酸およびpH=11の強アルカリ溶液にそれぞれ20時間浸漬する試験を行った。φ12.7mmおよびφ15.2mmストランドの結果を表-3に示す。いずれの防錆加工ストランドも酸・アルカリに浸食されず、耐薬品安定性に富むことが確認された。

表-3 強酸、強アルカリ溶液20時間浸漬試験結果

浸漬溶液	ストランド公称径(mm)	浸透前重量(g)	浸透後重量(g)	減量(g)
強酸溶液(pH=2)	φ12.7	165.55	165.56	+0.01
	φ15.2	235.90	235.90	±0
強アルカリ溶液(pH=13)	φ12.7	165.40	165.40	±0
	φ15.2	240.15	240.15	±0

### 4.4 耐紫外線劣化性試験

完全防錆ストランドをアウトケーブルとして使用する場合を想定し、JIS規定の耐紫外線劣化性試験も行っている。2000時間の紫外線照射後も劣化なしという良好な結果であった。

## 5. くさび定着耐力および性能に関する試験

すでに述べたように、この完全防錆ストランドは従来慣用の定着くさびをそのまま使用できる。そこでVSLモノストランドくさび定着装置を両端に用いたφ12.7mmおよびφ15.2mm完全防錆ストランドの引張試験を行い、引張強度および、くさびのかん合状況を調べた。写

真-2はその試験状況である。引張試験結果は表-4の通りで、いずれもJIS規格強度を上回っている。なお写真-3にプレストレス導入時のくさびのかん合状況を示す。くさび頭部のくさび受けからの突出は約1mmでストランドと、くさびのかん合状況はきわめて良好であった。

さらに、下限0.6Pu、振幅10kg/mm<sup>2</sup>の200万回繰返し引張疲労試験および、0.5Pu~0.9Pu間の50回低サイクル疲労試験も行っている。結果を表-5に示すが、200万回繰返しにおいてφ12.7mm、φ15.2mmとも破断せず良好な結果を示した。

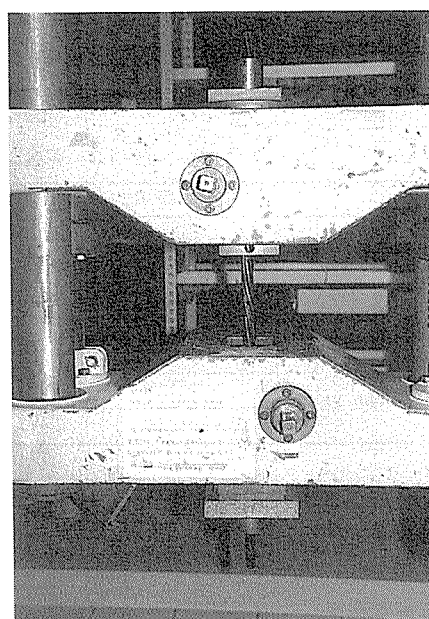


写真-2 引張試験の状況

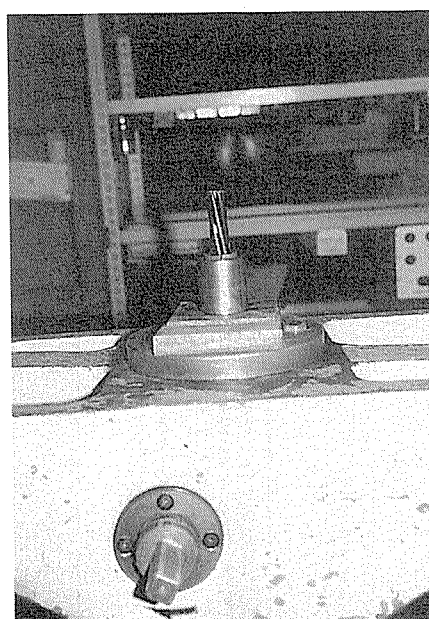


写真-3 定着時くさびかん合状況

表-4 引張試験結果

ストランド公称径 (mm)	試験 No.	破断荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	伸び (%)	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
φ 12.7	1	188.3	171.6	9.83	192.2
	2	186.3			
	3	186.3			
JIS規格値		183.4	155.9	3.5以上	—
φ 15.2	1	262.8	235.4	8.26	193.2
	2	262.8			
	3	261.8			
JIS規格値		260.9	221.6	3.5以上	—

[注]: 降伏荷重は0.2%永久伸びに対する荷重を示す。

表-5 繰返し疲労試験結果

試験項目	ストランド公称径	φ 12.7mm	φ 15.2mm	
200万回疲労試験	下限荷重 (kN)	110.0	156.5	
	上限荷重 (kN)	119.7	170.1	
	試験結果	200万回繰返し載荷によるストランド素線の破断なし		
50回低サイクル疲労試験	下限荷重 (kN)	91.7	130.4	
	上限荷重 (kN)	165.0	234.8	
	めり込み量 (mm)*	1サイクル	1.200	0.510
		10サイクル	1.285	0.760
		20サイクル	1.285	0.800
		30サイクル	1.285	0.820
		40サイクル	1.285	0.830
50サイクル	1.325**	0.960**		

\* 各繰返しサイクル上限荷重時の累積めり込み量  
 \*\* 50サイクル目の上限荷重は規格破断強度の95%まで増加し、その時の累積めり込み量を記載

## 6. ポストテンション材における性能試験

### 6.1 摩擦係数測定実験

防錆ストランドを通常のポストテンションPC部材の緊張材に使用する際には摩擦係数がどれくらいになるのかを確認する必要がある。そこで図-2に示す幅3.5m、長さ24m、厚さ0.5mの床板中に、薄鉄板製シース中に入れた12~φ 12.7mm完全防錆ストランドケーブルを、0~0.288rad.の角度変化を与えて配置し、一端から200 tonジャッキで緊張、他端にセットしたロードセルにより緊張力の摩擦による減少を測定した。実験結果から得られた摩擦係数を以下に示す。

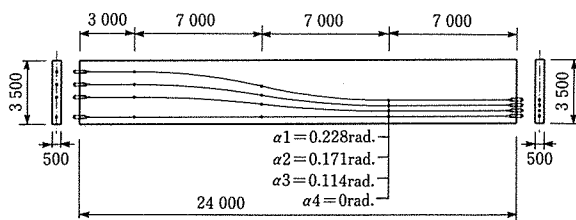


図-2 摩擦係数測定実験ストランド配線図

- 単位長さ当たりに対する摩擦係数:  $\lambda = 0.0029 \text{ 1/m}$
- 角度変化に対する摩擦係数:

$$\mu = 0.252 \sim 0.380 \quad 1/\text{rad.}$$

$$\text{平均} 0.3253 \quad 1/\text{rad.}$$

摩擦係数の値としては裸ストランドとほぼ同程度であったが、実験で使用した完全防錆ストランドの防錆樹脂の硬度が現在のものよりやや軟らかいものを用いたため、実際はこの値よりももう少し小さい摩擦係数になると思われる。

### 6.2 緊張作業時の定着確認試験

防錆ストランドは表面被膜の分厚くなるためジャッキとアンカーヘッドのクリアランスが変化する。この影響を確認するために、クリアランスを図-3に示すように4~10mmと変化させ緊張定着実験を行った。その結果、くさびの定着ずれおよびストランドの滑りは認められず、クリアランスとくさびセット量はほぼ同じ値であった。さらに定着後、くさびをはずし、くさびと完全防錆ストランドのかん合状況を調べた結果、クリアランス6mm以上であればストランドの滑りはまったく認められないことが確認できた。ちなみに裸ストランドの標準クリアランスは4mmである。

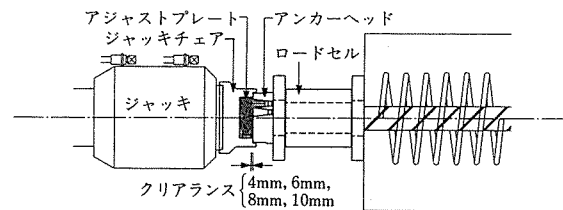


図-3 緊張作業時定着確認試験

## 7. 付着改良型完全防錆ストランドの開発

樹脂系の被覆材は表面の滑らかさ故に総じて付着性能が劣る。完全防錆ストランドをプレストレストコンクリート部材の緊張材に用いる場合、付着性能の改善は必要不可欠である。そこで付着性能改善を目的として、様々な工夫を防錆被膜表面に施した。最初に試みたのが、樹脂表面への砂の吹付けである。砂の吹付けは表面樹脂の硬化前に行った。この砂付防錆ストランドによる付着性能試験として、プレテン導入時プレストレス伝達試験を行っている。試験は、9.3φの砂付防錆ストランドをプレテンベッド上で緊張し、長さ3m断面10cm×24cmの梁型にコンクリートを打設、材令7日でプレストレスを徐々に導入し、ストランドが配置されたレベルのコンクリート面に貼付した歪ゲージにより、コンクリートの圧縮歪分布を測定した。試験時のコンクリート強度は36MPaであった。結果を図-4に示す。試験結果から導入力50.69 kNおよび69.04 kN時のプレストレス伝達長さはそれぞれ50cm, 57cmであり、これはストラン

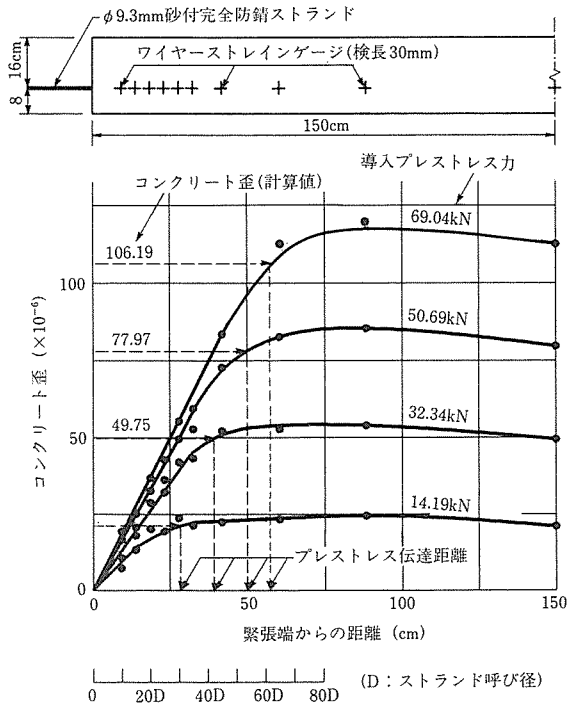


図-4 プレテン導入時プレストレス伝達試験結果

ト呼び径のそれぞれ53.8倍、61.3倍に相当する。この試験結果より砂付防錆ストランドがプレテンション用緊張材として使用可能であることを確認した。

しかしながら、砂吹付加工を防錆被膜に施す場合、防錆樹脂と砂の硬度差から樹脂に傷をつけ防錆性能を損なう危惧が生じた。そこで、表面防錆樹脂そのものに溝加工を施した付着改良型完全防錆ストランドが考案された。そして、種々の溝タイプの加工を施した防錆ストランドについて付着性能試験を行い、その改良効果を検討した。詳細は文献<sup>7)</sup>を参考にされたい。本論ではこのうちポストテンション梁の曲げ載荷試験結果を簡単に述べる。

試験に使用した付着改良型ストランドは標準の完全防錆ストランドに高さ0.2mmの溝加工を行ったもので、溝加工後の溝底から測った表面防錆層の厚さは標準厚さ0.4mmである。試験には溝付方向の角度で3種類の溝加工を施したφ15.2mmのストランドを使用した。また比較のため裸ストランドおよび標準完全防錆ストランドについても実験を行った。図-5はこれを示したもので、BSは裸ストランド、CSは標準完全防錆ストランド、CBa、CBb、CBcは付着改良型ストランドである。これら5種類のストランドについて図-6に示すポストテンション梁の曲げ載荷試験を行った。供試梁の一覧を表-6に示す。コンクリートの圧縮強度は試験時で67.8MPaであった。供試梁各シリーズにおいてグラウト強度または膨張剤の有無が各々のストランドの付着性能に与える影響をみるために、表-7に示す3種類のグラウトを用い、5種

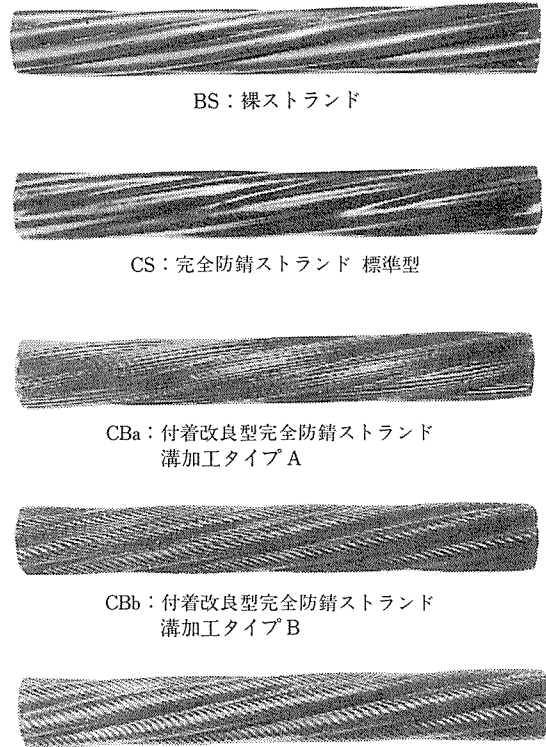


図-5 使用ストランドの形状

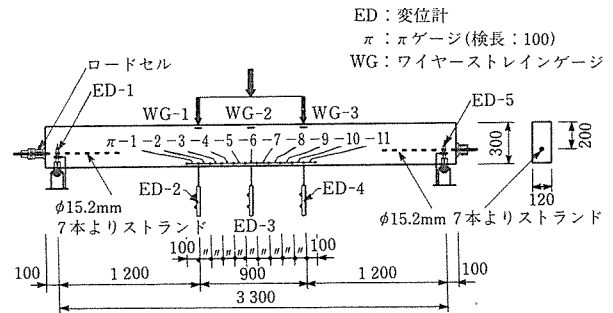


図-6 梁曲げ載荷試験装置概要

表-6 梁曲げ試験供試梁一覧

シリーズ	供試梁 No.	使用ストランド種類	グラウト種類
BS	BS-1	裸ストランド	LE
	BS-2		HE
	BS-3		H
CS	CS-1	完全防錆ストランド	LE
	CS-2		HE
	CS-3		H
CBa	CBa-1	完全防錆ストランド 溝加工タイプA (ストランド逆方向型)	LE
	CBa-2		HE
	CBa-3		H
CBb	CBb-1	完全防錆ストランド 溝加工タイプB (ストランド逆方向型)	LE
	CBb-2		HE
	CBb-3		H
CBc	CBc-1	完全防錆ストランド 溝加工タイプC (ストランド逆方向型, 角度大)	LE
	CBc-2		HE
	CBc-3		H

類のストランドそれぞれに対する3本の供試梁につきこれら3種類のグラウトを施工した。各供試梁は、材令4週

で図-6に示す荷重条件および測定装置のもとで漸増曲げ荷重試験を行った。荷重は容量1000kNのサーボコントロール型の試験機で行った。

試験結果より得られたひび割れ発生モーメントと曲げ破壊モーメントをそれぞれの計算値とあわせて表-8に示す。曲げひび割れモーメントは各供試梁とも同様の値を示した。曲げ破壊モーメントに関しては、溝加工のない標準完全防錆ストランドを用いたCSシリーズの供試梁が計算値を下回ったが、溝加工を行ったストランド

を使用したCBa, CBb, CBc各シリーズでは裸ストランドを使用したBSシリーズとほぼ同等の値を得た。なお表-8には、各試験体の平均のひび割れ間隔およびひび割れ発生後のモーメントの増分12.5kN・m時の平均ひび割れ幅の数値を示しているが、これらの数値を各シリーズ別にわかりやすく比較したものが図-7である。平均ひび割れ幅に関してはCSシリーズは大きな値を示しているが、付着改良型のシリーズではa, b, cの順に改善されていくのが確認できる。ひび割れ間隔については、CS-3が大きな値を示しCSシリーズ3体のバラツキが大きい。付着改良型のシリーズでは、CBa-3とCBc-3が比較の間隔が広がっているものの、裸ストランドとほぼ同間隔といえる。グラウト種類が付着性能に与える影響は完全防錆ストランドを用いた各シリーズの梁No.3に見ることができる。これらの梁には高強度グラウトが注入されているにもかかわらず、平均ひび割れ幅や鋼材端部引張力の発生から付着性能の低下が見られ、その結果、曲

表-7 グラウトの種類一覧

種類記号	対応する梁 No.	W/C	混和剤			梁試験時圧縮強度 (MPa)
			特性	呼び膨張率 (24時間)	使用量 (C×%)	
LE	1	0.46	高流動性膨張剤含	5.3%	1.0	22.1
HE	2	0.35	高流動性膨張剤含	4.0%	1.2	48.0
H	3	0.45	高流動性	-0.4%	1.0	44.2

表-8 梁曲げ荷重試験結果一覧

供試梁 No.	ひび割れ発生モーメント			曲げ破壊モーメント			曲げ破壊時中央たわみ (mm)	平均ひび割れ間隔 (mm)	平均ひび割れ幅 (mm)	鋼材端部引張力発生時の荷重モーメント (kN・m)	曲げ破壊時鋼材端部引張力 (kN)
	*①実験値 (kN・m)	**②計算値 (kN・m)	①/②	*③実験値 (kN・m)	**④計算値 (kN・m)	③/④					
BS-1	26.3(43.9)	28.2	0.94	50.0(83.3)	45.7	1.09	49.2	301	0.67	—	0
BS-2	27.5(45.8)	28.1	0.98	48.9(81.5)		1.07	39.7	292	0.91	—	0
BS-3	27.4(45.7)	28.1	0.98	48.5(80.9)		1.06	43.8	278	0.86	—	0
CS-1	27.6(46.0)	27.6	1.00	45.6(76.0)		1.00	40.2	371	2.23	36.5	22.6
CS-2	25.7(42.9)	27.6	0.93	43.5(72.6)		0.95	39.8	309	1.67	33.5	24.9
CS-3	25.7(42.9)	27.5	0.93	43.1(71.9)		0.94	39.5	660	3.53	28.1	36.6
CBa-1	27.6(46.0)	28.0	0.99	48.2(80.3)		1.05	46.3	304	1.51	44.7	5.3
CBa-2	26.4(44.0)	28.3	0.93	47.5(79.2)		1.04	47.3	295	1.21	44.7	5.3
CBa-3	25.4(42.4)	27.4	0.93	46.7(77.8)		1.02	53.4	407	1.77	37.1	22.3
CBb-1	26.5(44.2)	27.2	0.97	49.5(82.5)		1.08	51.3	368	1.13	—	0
CBb-2	26.5(44.1)	27.7	0.96	49.5(82.6)		1.08	55.6	352	1.07	—	0
CBb-3	26.4(44.0)	27.4	0.96	47.5(79.1)		1.04	47.5	359	1.46	40.0	1.6
CBc-1	25.9(43.1)	28.2	0.92	48.0(80.0)	1.05	39.3	339	1.06	—	0	
CBc-2	26.3(43.8)	27.9	0.94	48.8(81.4)	1.07	45.6	339	1.09	—	0	
CBc-3	25.4(42.3)	27.7	0.92	46.2(77.1)	1.01	40.0	385	1.16	40.0	0.8	

\* ()内は試験時の荷重P(kN)値  
 \*\* 試験梁自重によるモーメント1.15kN・mは計算値より差引いている

+ 応力ブロック係数  $k_1k_3=0.62$ , 重心軸比  $k_2=0.39$   
 ++ ひび割れ発生後のモーメントの増分 12.5kN・m時の平均ひび割れ幅

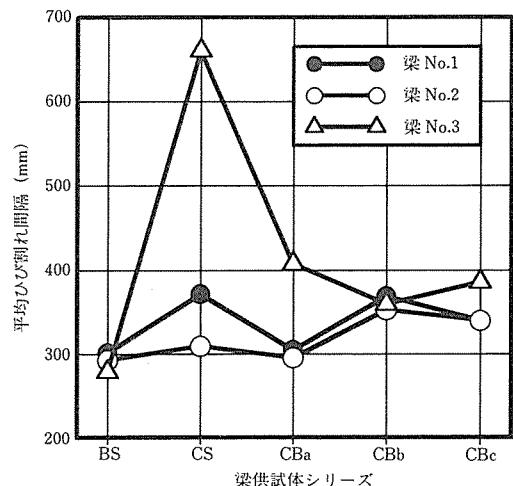
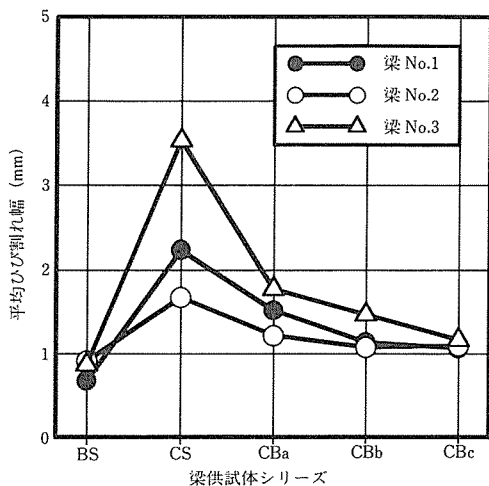


図-7 平均ひび割れ幅および平均ひび割れ間隔



げ破壊モーメントがそれぞれの梁No.1, No.2に比べやや小さな値を示した。この結果は膨張性グラウトが樹脂被膜ストランドとの付着特性改善に有効であることを示唆するものである。以上の試験結果より、今回の試験に使用した付着改良型完全防錆ストランドのうち、溝加工をストランドのよりに対して逆方向にしたもの（CBb, CBcタイプ）がポストテンション緊張材に適用可能であることが判断でき、この種のタイプを高付着型として採用していく方向で現在なお改良を加えている。

### 8. 完全防錆ストランドの使用実例

完全防錆ストランドの主な使用例とその仕様を表-9に挙げる。写真-4および図-8は某総合体育館の完成写真とその使用状況図で、海岸線の建築物の耐久性を目的とした防錆ストランドの利用である。写真-5および図-9は某学校建物の梁補強に、アウトケーブルとして使用した例である。写真の教室は理科実験室であり、完全防錆ストランドの耐薬品性が採用の決め手となった。

表-9 完全防錆ストランド使用例

工事年度	工事内容	仕様、数量等
平成4年	1)建物用途 総合体育館建設工事 2)使用部位 現場打PCキール梁32ケーブル 3)使用工法 VSL工法 4)目的 海岸線構造物の耐久性構造	SUPRO/S 15.2mm 20 ton 12本/ケーブル
平成5年	1)建物用途 漁業荷捌場 2)使用部位 フロアポストテンション6000M 3)使用工法 VSL工法 4)目的 海岸線構造物の耐久性構造	SUPRO/SUB (アンボンド) 15.2mm 13.2 ton
平成6年	1)建物用途 格納庫 2)使用部位 不陸調整スラブ3000M 3)使用工法 VSL工法 4)目的 海岸線構造物の耐久性構造	SUPRO/SUB (アンボンド) 15.2mm 30 ton
平成7年	1)建物用途 病院 2)使用部位 ポストテンション大梁6本 3)使用工法 VSL工法 4)目的 耐薬品性	SUPRO/SUB (アンボンド) 12.7mm 16ケーブル
平成8年	1)建物用途 学校 2)使用部位 大梁補強アウトケーブル 3)使用工法 VSL工法 4)目的 アウトケーブルの耐久性	SUPRO/S 15.2mm 14.4mスパン 180ケーブル

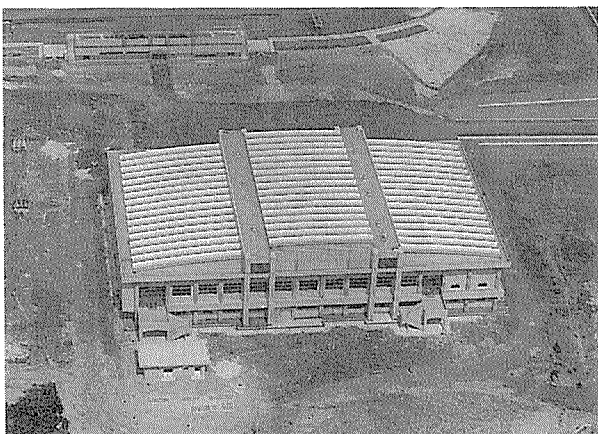


写真-4



写真-5 梁補強アウトケーブル

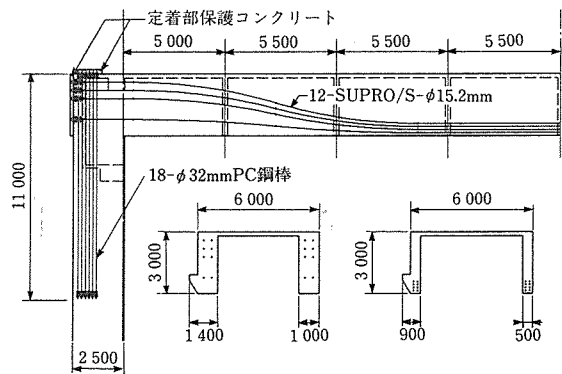


図-8 某総合体育館大梁への使用状況

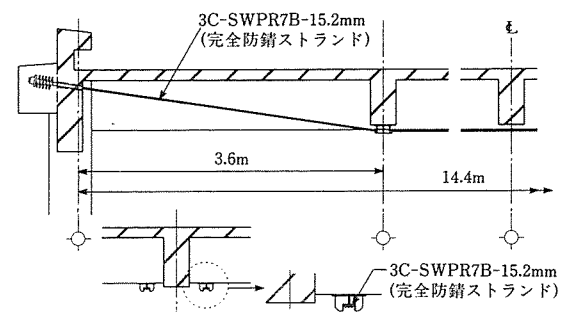


図-9 梁補強アウトケーブルへの使用例

### 9. おわりに

完全防錆ストランドは、単にストランドの表面だけではなく、ストランドの内部空間までも防錆樹脂で防錆処理した理想的な完全防錆高耐久性ストランドである。その製造方法はストランド素線のよりを戻すことなく内部に樹脂を加圧注入し、同時に外面を被覆するという他に類を見ないものである。万一、表面樹脂に何らかの傷がついても先の塩水噴霧試験に証明されるようにそこから先の錆の進行を防ぎ、ストランド先端からの水分の浸透も心配する必要がない。また、より戻しによるストラン



ドの機械的性質の劣化を考慮することもない。完全防錆ストランドの使用によりPC構造物の耐久性は著しく増大することは確実である。

なお、この完全防錆ストランドの基本型および高付着のアイデアは六車によるものであり、その基本アイデアに従って、このストランドをプレストレストコンクリート材として使用するのに必要な基本性能試験および改良をVSLジャパン株式会社、ヒエン電工株式会社、昭和コンクリート工業株式会社、住建コンクリート工業株式会社、フドウ建研株式会社、神鋼鋼線工業株式会社、東京製鋼株式会社で構成する高耐久構造研究会メンバー各社により行ったことを付記する。

#### 参 考 文 献

- 1) R.D. Browne: Durability of Reinforced Concrete Structures, Proc. of Pacific Concrete Conference (Auckland, New Zealand), Vol. 3, pp.847-886, Nov. 1988.
- 2) C.A. Peterson: Survey of Parking Structure Deterioration and Distress, Concrete International, Vol.1 No.3, pp. 53-61, March 1980.
- 3) W.Podolny: Corrosion of Prestressing Steels and Its Mitigation, PCI Journal, Vol.37 No.5, pp.34-35, Sept./Oct.1992.
- 4) V.Dorsten, F. F. Hunt & H.K. Preston: Epoxy coated seven-wire strand for prestressed concrete, PCI Journal, Vol. 29 No.4, pp.12-129, July-August 1984.
- 5) H. Muguruma, F. Watanabe & M. Nishiyama: Development of new corrosion protection prestressing tendons and their use in bonded and unbonded prestressed concrete members, Proc. of the Pacific Concrete Conference, Vol. 2, pp.581-590, 1988.11.
- 6) K. Takeda, S. Kikuchi, I. Minami & H. Muguruma: Development of new corrosion protection prestressing strand, Proc. of the FIP Symposium Modern Prestressing Techniques and Their Applications, Vol.3. pp.1717-1724, 1993.10.
- 7) 六車, 内田, 竹田, 南 : 樹脂防錆ストランドの付着改善に関する研究, 第6回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp.611-616, 1996.10.

【1997年4月11日受付】