

シースの現状と低摩擦化

橋 田 敏 之*

1. ま え が き

シースは、ポストテンション方式による PC 構造物において、緊張材の収容孔を形成する不可欠な材料であるにもかかわらず、通常の使用条件下ではほぼ満足できる性能にあるところから、昭和 30 年代の初期から基本的な改良が行われないうま現在に至っているものと考えられる。

しかし最近の構造物の計画の発展から高性能シースへの期待が生じており、シース形状、低摩擦化等の検討も行われるようになってきている。

ここでは、シースの現状を主に、最近検討が進んでいる低摩擦シースの概要を述べ、長大シースを使用する経済的な PC 構造物のきっかけとなる資料を提供するものとする。

2. 緊張材の縦移動を得る方法

ポストテンション方式による PC 構造物ではコンクリートが硬化後に緊張力を導入する。この際、PC 鋼材の周囲にはシースと PC 鋼材の接触による摩擦、粘着力等が作用して PC 鋼材端に与えられた緊張力を低減するように作用する。

シースには、そのためコンクリートから PC 鋼材を隔離し、緊張力が安定にかつ有効に導入し得るような機能が要求されている。

このような目的のためには鋼板製のシースによるほか、次のような方法をとることもできる。

- 1) PC 鋼材の周囲に潤滑材、剝離材を塗付する。
- 2) コンクリートの硬化前に緊張材を包囲する切欠き円孔を鋼管等を引き抜いて形成する。
- 3) 膨張性材料（チューブ）を膨張させてコンクリート中に埋設し、コンクリートが硬化後に引き抜いてダクトを形成する。
- 4) コンクリート部材の外側に緊張材を配置する（アウトサイドケーブル）。

3. シースの種類とその用途

現在、シースとしては冷間圧延鋼板が広く使用されて

おり、緊張材の緊張力、緊張材の挿入方法、配置形状などによって鋼板厚、シース径、シースのコルゲーション（波形）等がそれぞれに適するように選択使用できるようになっている。

3.1 薄鋼板を用いた縦継目円筒シース

PC の初期には、円筒状および箱筒状のシースが広範囲に使用された。

このシースは縦方向に継目をもつもので、一端には受け口を設け、はめ込み構造で接合でき、継目にはゴムシール等により水密を確保するようにしていた。

しかしながらこのタイプのシースは、曲線形状配置が不適当で作業時荷重（作業員の踏付け、内部振動機の衝撃）による潰れ、シースのジョイント部からのモルタル漏れ、シースの折線配置による摩擦の増加等数多くの欠点があり、昭和 32 年頃には 3.2 に述べるスパイラル状シースに取って代わることとなった。

3.2 らせん状の折曲げ継目をもつコルゲートシース（スパイラル状シース）

わが国で圧倒的に使用量が多いのがこの“スパイラル状シース”である。

このシースは、らせん形に波形状のひだとかしめ継目が冷間塑性加工によって付けられており、そのため部分的な押圧力による潰れが生じにくく、施工に伴う損傷も少ない。曲線配置は円滑に行うことができ、そのため摩擦が減少でき、PC 鋼材はグラウトによって全周にわたって包まれ易いなど著しい改善が行われた。

らせん状の継目の間の波形（図-1 参照）は、シースの剛性の増加のほかグラウトの流動およびせん断付着を増加させる作用がある。

シースは、PC 鋼材が挿入された状態で現地に搬入される場合もあるが、通常は 4 m 程度の定尺で現場に搬入し配置される。まれに現地において帯鋼よりシースに加工して使用することもある。

スパイラル状シースは、図-1、表-1 に示す各種の形状のものが製作されている。

タイプ 1000 は、最も一般的な形状で肉厚も通常のものであるが、太径シースでは、作業時の荷重に対して潰れが生じやすくなるため、太径（12.4 mm 12 本より緊張材以上）のシースで PC 鋼材をコンクリート硬化後

* 日本国有鉄道鉄道技術研究所主任研究員

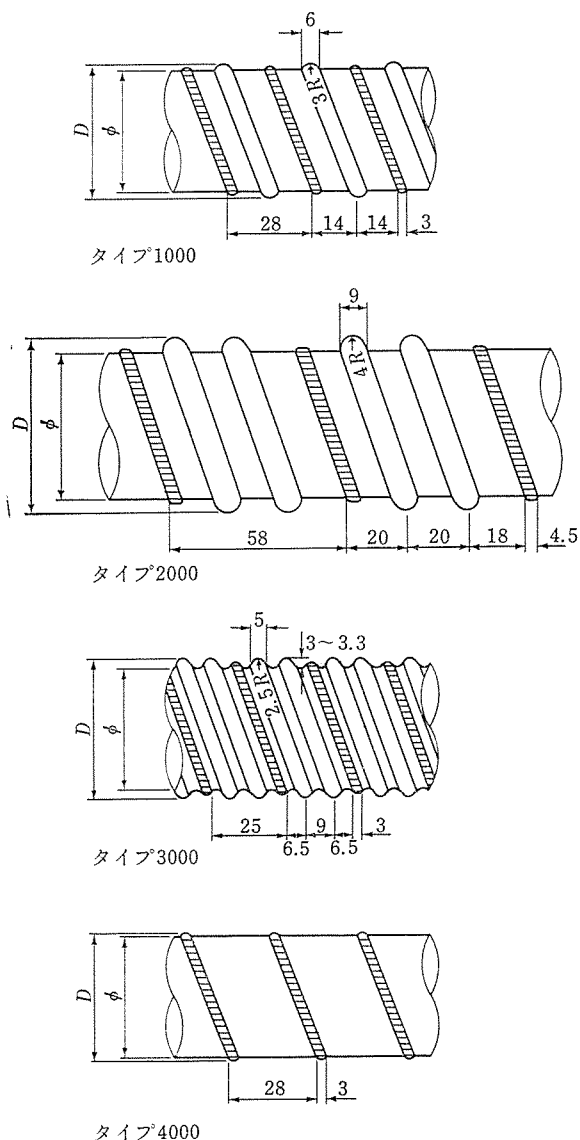


図-1 “スパイラル状シース”の形状

に挿入する場合には鋼板厚が大で曲げ配置を容易にするため大きな波形が付けられているタイプ 2000 が使用される。

タイプ 3000 は、波形を数多くかつ大きくして、シースを小半径で配置する場合に使用できるように柔軟性を与えたものであり、PC 鋼材をヘアピン状に小さな半径で曲げて配置する場合に使用できる。

タイプ 4000 は柔軟性が極めて少ないため曲線配置が困難であり、横締め鋼材等で曲げ配置が特に少ない場合に用いる。

施工上の理由から特にシースの潰れに対する配慮が要求される場合（たとえば押し出し工法）には特に鋼板厚の大きい特別厚肉シース（スパイラルシースとして最大限の肉厚）が使用されることもある。

フレシネー工法では上記各種のシースと緊張材ごとの

表-1 市販スパイラルシースの種別と寸法例

I. スパイラルシース				
タイプ No.	形状・種別・用途	内径(φ) (mm)	外径(D) (mm)	鋼板厚 (mm)
1000	標準コルゲーション 普通肉厚	20, 23, 26, 28	φ+2.5	0.23
		30, 32, 35, 38		
		40, 42, 45	φ+3.0	0.25
		50, 52, 55, 58		
		60, 62, 65		
		70, 72		
80, 82, 85	φ+3.0	0.30		
90				
		90以上は 5mm 間隔で 130 まで		
2000	標準コルゲーション 厚肉タイプ	70, 80	φ+7.0	0.4
		90, 105, 130		0.5
3000	2重コルゲーション (WSタイプ)	35, 40, 45	φ+6.0	0.25
		50, 55		
		60, 65	φ+7.0	0.30
		70		
		70以上は 5mmピッチで 130 まで		
4000	横締め用、内接ジョイントシース用 (Sタイプ)	26, 28, 30, 35	φ+1.9	0.23
		40, 42, 45	φ+2.0	0.25
		50, 52, 55	φ+2.4	0.30
		62, 65, 70		
II. 特別厚肉シース 肉厚の最大限として次のものの製造が可能				
		φ 30~ 32 に対し	0.25mm	
		35~ 42	0.35	
		45~ 65	0.40	
		70~ 95	0.50	
		100~105	0.60	
		110~130	1.0	

使用区分を表-2 のように「フレシネー工法施工基準」に定めている。

上記スパイラル状シースと近似した製品として、縦方向に溶接継手を有し、ローラーにより波形加工を施したシースもあるが、わが国では製造されていない。

スパイラル状シースは一般には真円形断面が用いられるが、特殊用途として長円形、箱形、多角形のものも製造が可能である。

3.3 潤滑コーティング材

直線配置で短い鋼より線、PC 鋼棒などに対しては、シースの代用として瀝青材などの粘性材が使用されることもあるが、長期間にわたって付着が生じない欠点もっている。

瀝青材の代りにグリースを用いる場合もあるが、防錆の点から瀝青材より劣り、腐食を受けやすい戸外における部材としては一般に使用されない。

瀝青材コーティングでは、低温で緊張時の鋼材の移動抵抗が大きいので保温が必要になる。

表-2 F.K.K. フレシネー工法用シースの標準寸法（フレシネー工法施工基準より）

呼 称	シ ー ス 幹 部					標準的適用 テンドンユニットの種類	PC鋼材の挿入時期
	内 径 I.D.(mm)	外 径 E.D.(mm)	鋼 厚 (mm)	概算重量 (kg/m)	長 さ (mm)		
1026	26	28.5	0.23	0.20	定尺は 4m 他は特注	1T13 および 1T15 (埋)	コンクリートの打設前にシース 中に PC 鋼材を挿入する場合
1028	28	30.5	0.23	0.22		1T13 および 1T15 (後) 1T18 および 1T19 (埋)	
(1030)	(30)	(33)	(0.23)	(0.25)			
1032	32	35	0.23	0.26	1T18 および 1T19 (後)		
1035	35	38	0.23	0.28	12φ5, 12φ5D, 1T22 (埋)		
1038	38	41	0.23	0.29	1T22 (後)		
(1040)	(40)	(43)	(0.25)	(0.32)			
1045	45	48	0.25	0.36	12φ7		
1050	50	53	0.30	0.53	12φ8, 12φ7D		
1055	55	58	0.30	0.56	12φ8D		
(1062)	(62)	(65)	(0.30)	(0.62)			
1065	65	68	0.30	0.64	12T13, 12V13		
1070	70	73	0.30	0.72	12T13 (背)		
1075	75	78	0.30	0.80	12T15, 12V15, 8K15		
1082	82	85	0.30	0.94	12T15 (背)		
2070	70	77	0.40	0.96	定尺は 4m 他は特注	12T13, 12V13	コンクリートの打設後にシース 中に PC 鋼材を挿入する場合、 またはプッシングマシンを使用 して PC 鋼材を挿入する場合
2080	80	87	0.40	1.20		12T15, 12V15	
2095	95	102	0.50	2.00		19K15, 27K13	
2105	105	112	0.50	2.34		27K15, 37K13	
2130	130	137	0.60	3.17		37K15, 55K13	

[注] (埋) 埋込型支圧板使用の場合 (後) 後付型支圧板使用の場合
 () 予 備
 (背) 定着具の背後約 1 m の区間
 12φ5D, 12φ5 デッドアンカーボタンヘッドを使用する場合
 12φ7D, 12φ7 デッドアンカーボタンヘッドを使用する場合
 12φ8D, 12φ8 デッドアンカーボタンヘッドを使用する場合

国鉄では、ポストテンション方式 PC まくら木に使用する PC 鋼棒の潤滑コーティングに、JIS K 2207 (石油アスファルト) に規定されるストレートアスファルトを灯油に溶解し 0.3 mm 厚に塗付するように示方している。

プレストレス導入時の PC 鋼棒温度は、アスファルトの場合 35°C 以上と示方している。なお低温においても緊張力の導入が可能な潤滑コーティング材料も開発され使用に供されている。

3.4 レオンハルト工法用長方形断面シース

レオンハルト工法では、緊張材を集中配置するため長方形シースを用いることは良く知られている。

シースは鋼板として一般構造用圧延鋼材 SS 41, 冷間圧延鋼板 3 種 SPC 3 が用いられる。

屈曲部シースおよびラップ状シースは大きな緊張時の反力を受けるので厚 4 mm 程度の厚板を電気溶接によって溝状に形成する。直線部シースは肉厚 1 mm 前後の薄鋼板を用い剛性を増し、かつコンクリートとの付着を高めるため波形加工を施す。ラップ状シースの付着に対してはアングルを溶接する。

屈曲部シースには PC 鋼材との摩擦を軽減するため支圧力が作用する面と側面にすべり板 (0.5 mm 厚ミガキ帯鋼) を用いる。このすべり板には融点 80°C 以上のパラフィン塗付する (以上 図-2)。

直線部シースは、連続した滑らかな曲線にできないた

め、側面から見ると折線状の配置となる。

シース内にはさらに PC 鋼材の配置をそろえ PC 鋼材に緊張力を与えたのちも正規の位置になるように間隔材を屈曲部で 10 cm, 直線部では 1.0~1.2 m 間隔に配置する。

3.5 アウトサイドケーブル

ブロック工法を用いる場合で、レオンハルト工法では、PC ケーブルを主桁断面外に配置せざるをえない。図-3 はアウトサイドケーブルの例を示した。

4. シースの試験

シースは作業中の踏付け、コンクリート打込み中の内部振動機の衝撃、コンクリートの圧力等に対してシースの形状を確保でき、ペースト漏れなどが生じてはならない。シースの品質が上記の条件を有するかどうかを確かめる試験方法には各種のものが試みられている。

プレストレストコンクリート標準示方書 (土木学会 53 年) には、局所的な外力および等圧外力を加えたシースに水セメント比 50% のセメントペーストを 30 分間封入レグラウトの漏れ状況を調査する方法と、シース内径の 30 倍の曲率半径に曲げ配置したシースに前記条件のセメントペーストを封入して漏れ状況を調査する二つの方法を解説に示している。なお試験の項目、方法については責任技術者の指示に従わなければならないとしているが、製造者により提供される試験結果によってシース

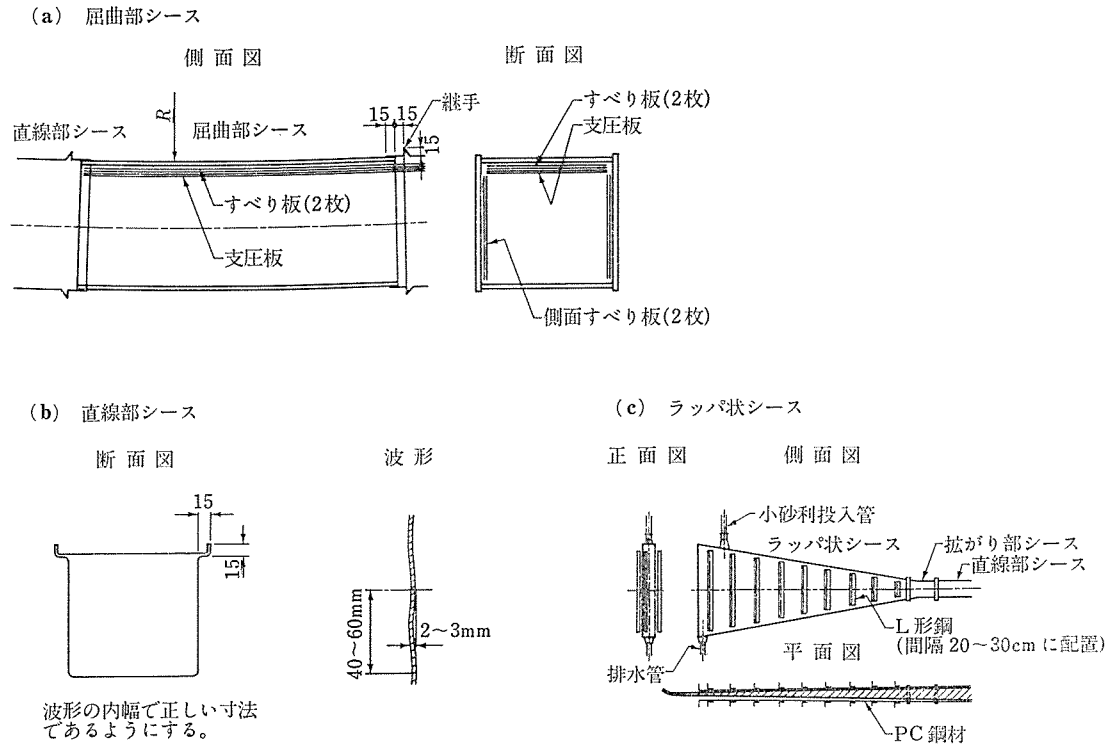
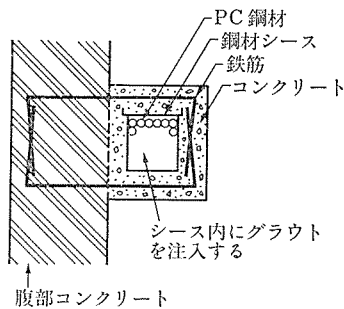


図-2 レオンハルト工法用シース構造

(a) 鋼製シースを使う場合



(b) 鋼製シースを使わない場合

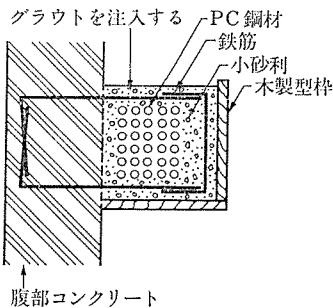


図-3 アウトサイドケーブルの例

の品質を確認してもよいとしている。

5. シースと PC 鋼材間の摩擦の軽減

シースと PC 鋼材間の摩擦は、大型で複雑な構造物

ほど意外に大きな値を示すことがある。施工現場において摩擦測定を行って初めて気がつき愕然とすることがある。

この理由は、PC 鋼材の配置が設計で考えるような円滑な曲線に配置されておらず、設計では鉛直方向の曲上げ角だけであるが、実際には水平方向の角変化やあるいは数多くの波打ちがあることがあり、また長大橋等では、プレストレスの時期までに PC 鋼材シースが長期間空中に放置されて発錆し、摩擦係数が増大するものと想像できる。

シースと PC 鋼材間の摩擦係数の平均値は、過去の事例から 0.2~0.6 程度のもが見られ、特に摩擦が大きいものでは 0.7⁷⁾ のものもある。

ところで現実の作業においては桁長が短く、したがって PC 鋼材の長さが短い場合には PC 鋼材端緊張力に余裕があり所定の緊張力の導入が可能であるため、緊張管理図上において摩擦係数に応じた緊張力の導入を行うことができるのである。しかしながら PC 鋼材長が、40 m を超えるような桁では、緊張時の PC 鋼材端の緊張力の最大値を鋼材端緊張力が超えることになり減摩等の作業が必要になる。

摩擦係数は以上の理由から長い PC 鋼材では所定の緊張力を導入するため過大になることが許されないことになる。また長大ケーブルは PC 鋼材とシース間の摩擦係数の値から一定長のものに制限を受けることにな

表-3 有効緊張応力度および導入緊張力率

摩擦係数 (μ)	曲上げ角度 α (ラジアン)	P C 鋼材 の 長 さ			
		60m		100m	
		$\frac{P_j}{P_i} \times 100$ (%)	σ_{pe}	$\frac{P_j}{P_i} \times 100$ (%)	σ_{pe}
0.14	0.087 (5°)	90	$0.56 \times \sigma_{pu}$	87	$0.54 \times \sigma_{pu}$
	0.349 (20°)	87	$0.54 \times "$	83	$0.51 \times "$
	0.524 (30°)	84	$0.52 \times "$	81	$0.50 \times "$
	0.873 (50°)	80	$0.50 \times "$	78	$0.48 \times "$
	1.745 (100°)	71	$0.44 \times "$	69	$0.43 \times "$
0.40	0.087 (5°)	79	$0.49 \times "$	71	$0.44 \times "$
	0.349 (20°)	71	$0.44 \times "$	64	$0.40 \times "$
	0.524 (30°)	66	$0.41 \times "$	60	$0.37 \times "$
	0.873 (50°)	58	$0.36 \times "$	52	$0.32 \times "$
	1.745 (100°)	41	$0.25 \times "$	37	$0.23 \times "$

P_i : PC 鋼材端部の緊張力
 P_j : PC 鋼材中央の緊張力
 σ_{pe} : クリープ乾燥収縮後の有効引張応力度

る。

表-3 は、PC 鋼材長が 60 m および 100 m の場合の μ および曲上げ角が変化した場合の鋼材端緊張力 P_i と鋼材中央の導入緊張力 P_j の百分率および有効係数 η を 0.8 として求めた有効導入応力度の計算値を示したものであるが、鋼材長が 100 m の場合、 $\mu=0.40$ で 100 度の角変化では σ_{pe} は $0.23 \sigma_{pu}$ となり、連続桁においてこの程度の PC 鋼材を用いた場合、いかに緊張材が有効に用いられないかを示している。一方、 μ 値が 0.14 では σ_{pe} は 0.43 、 P_j/P_i は 0.69 となり、この程度の摩擦係数の場合には PC 鋼材引張強度が有効に使用できることを示すものである。冗長な説明は省略するが、表-3 は長大ケーブルの場合の摩擦係数の影響を定量的に理解するのに役立つものと考えられる。

現場においては、応用動作として石鹼液、水溶性グリースなどを用いた減摩が行われる。しかしながら筆者の経験した例ではその効果がわずかで、減摩材の水洗い等による除去に多大の注意を払わなければならない、明確な減摩の保証も得られないため減摩方法としては不十分なものと考えられる。

文献 1) によれば、2~5 μ 厚の亜鉛メッキを施した鋼板をスパイラル状シースに加工したものと従来のメッキを施さない同タイプのシースについて種々の試験を行っているが、摩擦係数の比較を表-4 のように示している。

この例ではシースに錆がない場合には、 μ 値はほぼ両シースとも同程度であるが、シースを 1 か月の戸外放置により発錆させた結果、 μ 値は 1.4~1.6 倍の増加を示している。表-4 に示されるように μ 値は、亜鉛メッキの場合が最も小さく 0.25 となっているが、PC 鋼材にさびが生じると亜鉛メッキが施されたシースでも 0.41

表-4 シースの摩擦測定結果

使用したケーブル	PC 鋼材状況	シース種別	P_1/P_2	$\mu + \lambda r$	μ	比率
12 ϕ 8 mm	新	メッキ	1.46	0.286	0.252	62
		裸新	1.52	0.327	0.287	71
		さび	1.75	0.460	0.404	100
シース内径 45 mm	さび	メッキ	1.78	0.477	0.420	91
		裸新	1.75	0.460	0.404	88
		さび	1.87	0.523	0.460	100
		メッキ	1.47	0.279	0.245	71
12 ϕ 12.4 mm	新	裸新	1.49	0.293	0.257	75
		さび	1.68	0.392	0.344	100
		メッキ	1.72	0.430	0.378	82
シース内径 60 mm	さび	裸新	1.78	0.466	0.410	89
		さび	1.89	0.523	0.460	100
		メッキ	1.47	0.279	0.245	71

と増加しており、亜鉛メッキの効果が少ないことを示している。

筆者等はシースと PC 鋼材間の摩擦を効果的に減少することを目的として、シース内面に金属間の減摩材として有効なポリテトラフルオロエチレン樹脂の微粉末を主体とする固体潤滑被膜を結合材によってコーティングする減摩方法を開発し、このコーティングを施したシース（減摩シースと呼ぶ）と従来のシースおよびこれに石鹼水を散水したシース等について PC 鋼材がさびているものといないものについての摩擦係数の比較測定を行った。

PC 鋼材は ϕ 21.8 mm 19 本より PC 鋼より線を用い、さびは大気中に 6 か月にわたる長期放置を行っている。

シースは内径 35 mm のスパイラル状シース、長さ 100 mm を用い内面に前記の処理を行った。

載荷方法は、図-4 に示すように半割りした相対する

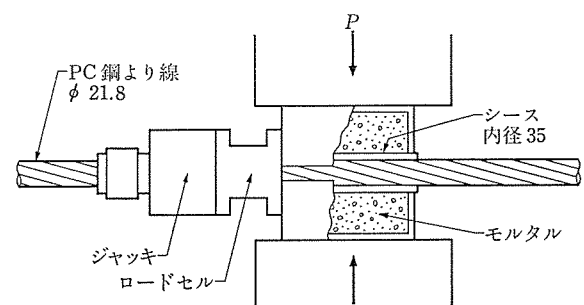
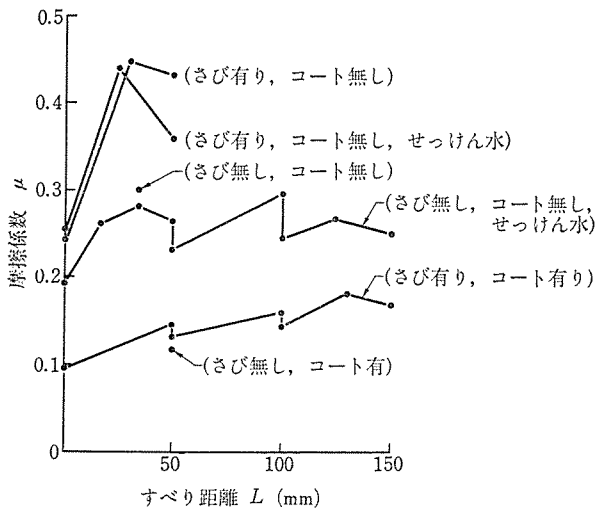


図-4 摩擦試験装置

シース内面を PC 鋼より線に押圧し、ジャッキを操作してジャッキ荷重をロードセルにより検出した。

試験の結果を図-5 に、また摩擦試験における最大摩擦係数を表-5 に示した。

試験結果によれば、予測したとおり減摩シースの効果は他の一般シースを卓越しており、さびのある PC 鋼



図—5 摩擦試験結果

表—5 ポリテトラフルオロエチレン樹脂粒体特殊減摩材のコーティング効果

PC鋼材の状況	シースの処理	μ_{max}
さびなし	さびなし	0.30
	さびなし+石鹼水	0.28
	減摩シーシ (PTFE コート)	0.12
さびあり (6か月大気中 に放置)	さびなし	0.45
	さびなし+石鹼水	0.44
	減摩シーシ (PTFE シーシ)	0.14

材の場合においても減摩シーシの効果はほとんど変化がないことを示している。なお減摩シーシにさびを生じさせたケースについて試験が行われていないのは、減摩材被覆が実用上十分な防錆効果を有することを考慮したためである。

6. あとがき

シーシの現状を中心にシーシの積極的な減摩方法、意

義などについて若干ふれた。

レオンハルト工法では、集中ケーブル方式という工法の性格から特に減摩についてパラフィンを用いて解決をはかっている。

一方、分散タイプのシーシでは、上記のような必要性がなかったため減摩についての検討が不十分であった。

この報告の減摩シーシは、減摩効果が極めて大きいことを実験室段階の試験では示した。

この程度の減摩シーシが実用化されると工事費の節減に寄与できるだけでなく、構造形式にも影響を与えることができる。例えば下路 PC 桁は連続構造とすることにより主方向の PC 鋼材および定着具が節減できる。このような観点から二、三の下路連続 PC 桁が計画されているが、下路桁の連続構造では主ケーブルの腹部での途中定着が形態上好ましくないため桁端部まで延伸することとなる。その場合に減摩シーシを活用することにより導入緊張力を高くすることができ、PC 下路連続構造をさらに有利にする。

最後に、本文の減摩シーシの基礎試験の実施についてはオイレス工業(株)構造構器の関係の方々熱心な御協力が得られたことを記し謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 宮崎義成：亜鉛メッキシーシに関する各種試験研究，プレストレストコンクリート，Vol. 13, No. 5, Oct. 1971
- 2) Fritz Leonhardt：Prestressed Concrete Design and Construction
- 3) 土木学会：プレストレストコンクリート標準示方書，昭和 53 年
- 4) 土木学会：レオンハルト工法設計施工指針
- 5) 上村実：スパイラルシーシの概要，他シーシメーカーパンフレット類
- 6) F.K.K.：フレッシュ工法，施工基準
- 7) 橋田敏之：PC 鋼材腐食と取扱上の注意，構造物設計資料，1966-12, No. 8

◀刊行物案内▶

PC くい基礎の最近の進歩

—PC ぐいの正しい使い方—

体 裁：A4判 246 ページ

定 価：2000 円 (会員特価 1800 円) 送 料：800 円

内 容：1) PC くい，2) PC くい基礎の設計，3) PC ぐいの施工，4) 超高強度コンクリートくい，超大径くい

お申込みは代金を添え，(社)プレストレストコンクリート技術協会へ