

## プレストレストコンクリート用プラスチック製シースの付着性能の試験方法

横浜国立大学

○尾関 淳

横浜国立大学大学院 正会員 Ph. D.

椿 龍哉

Abstract : High-density polyethylen is used for a plastic sheath for prestressed concrete. Therefore, it is necessary to check the bond performance. There is a test method for this purpose to examine if the unity of the concrete around sheath, sheath itself and grout inside sheath is assured to be equivalent to that of a metal sheath. In this study a test method for plastic sheath with inner diameter used in practice has been examined by experiment and numerical analysis if the test method can be applied to the whole range of inner diameter of sheath without changing the test apparatus for various inner diameters. Using the loading method that applies a compressive force to the grout inside sheath, the appropriateness of the modified test method has been confirmed from the test results on bond strength, crack width, and so on.

Key words : Bond performance, Plastic sheath, Test method, Inner diameter of sheath

## 1. はじめに

2007年制定のコンクリート標準示方書（土木学会）の施工編：特殊コンクリート，12章プレストレストコンクリート，「12.4.3 シース」<sup>1)</sup>では，塩害対策等，特に耐久性が要求される場合には，通常のシースの要求性能に加えて，塩化物イオン，水，空気等に対する遮断性を高めておくことがPC鋼材を腐食から保護するうえで極めて重要であるので，プラスチック製シースを用いることを原則とする，とされている。プラスチック製シースの試験方法としては，（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会（PC建協）が1995年に「ポリエチレン製シース実用化試験報告書」<sup>2)</sup>の中で，各種試験方法を示している。一方，国外では，2000年のfib Bulletin No. 7<sup>3)</sup>に，プラスチック製シースの各種の品質規格と試験方法が示されている。

プレストレストコンクリート用のプラスチック製シースには，高密度ポリエチレンを用いるため，シースの付着性能を確認する必要がある。このために，シース周辺のコンクリート，シース本体，シース内のグラウトの一体性が確保でき，金属製シースと同等の付着性能があることを試験により調べる試験方法<sup>4)</sup>が制定されている。その試験方法では，シースの内径（D）により供試体のコンクリート部分を囲む角型鋼管の寸法が表-1のように与えられる（記号は図-1を参照）。

表-1 付着性能試験用の供試体の寸法

シースの内径	a (mm)	h (mm)	角型鋼管の断面寸法 (mm)
80mm以下	150	シースの内径 の3倍以下	150 x 150 x t4.5
80mmより大	200		200 x 200 x t4.5

シースの付着性能には，角型鋼管の拘束の影響が考えられ，シース内径に応じた角型鋼管を用いることは合理的であると考えられる。一方，一般に用いられるシース内径の範囲では，角型鋼管の寸法を一つに統一することができれば，試験方法の単純化につながる。すなわち，使用する角型鋼管を1種類にすることによる試験方法の単純化，また，大きい寸法の角型鋼管にすることによる作業空間の拡大によるシース設置等，供試体製作の作業性向上が期待される。シースの付着試験方法のより円滑な

実施のためには、このような簡単化と作業性向上が有用と成り得ると思われる。

本研究では、前述のような背景のもとに、現在流通している一般に用いられる範囲のシース内径に対して、シース内径に依存しない試験方法の可能性を解析と実験により検討した。シース内のグラウト部分に圧縮力を作用させる载荷方法を用い、得られた付着応力度、ひび割れ幅等の結果から、シース内径に依存しない試験方法の妥当性を確認する。

2. シースの付着性能試験方法の有限要素法による検討

シースの付着性能に及ぼす角型鋼管の寸法の影響について、付着性能試験の適用範囲内の挙動における概略の傾向を有限要素解析により調べた。付着性能試験用の供試体は図-1に示されるように、中心部のグラウト、シース、コンクリート、角型鋼管で構成される。対称性から1/4領域を解析対象とする。シースとコンクリートの界面は、実際のシース表面の凹凸形状を平均化してモデル化している。要素分割例は図-2(a)に、解析に用いられた材料定数は表-2に示す。供試体の高さhは100mmである。

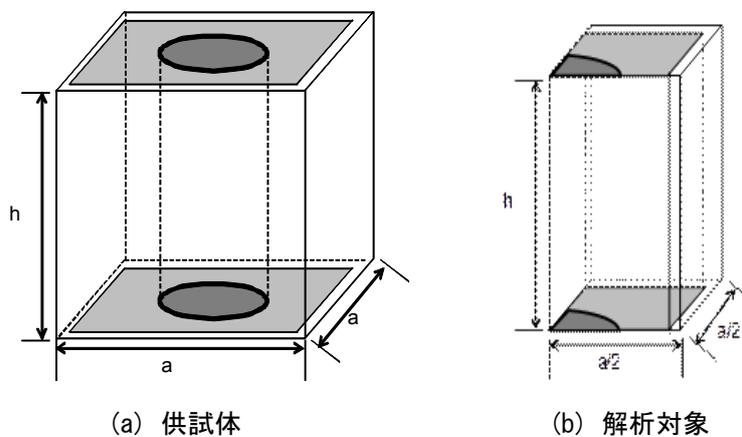


図-1 付着性能試験用の供試体

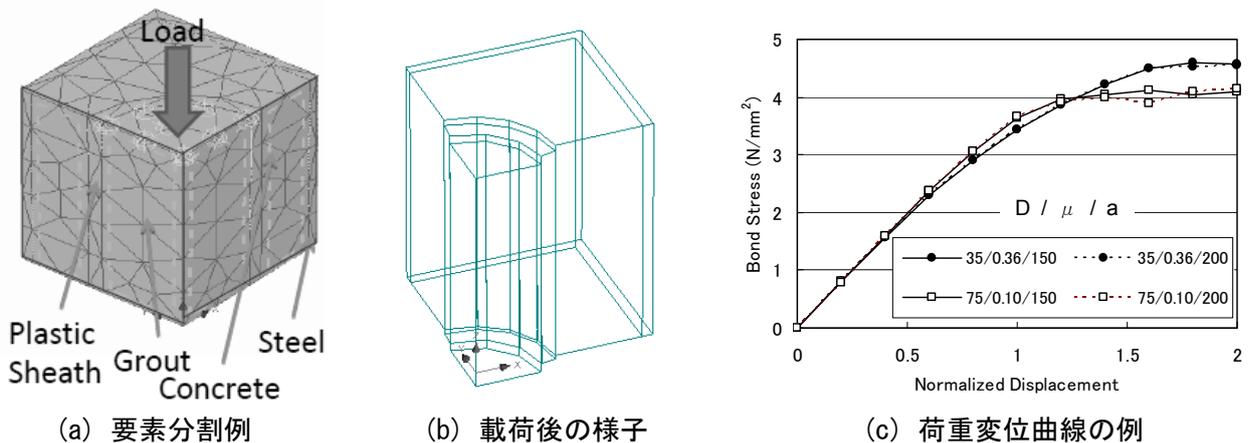


図-2 有限要素法による解析

表-2 解析に用いられた材料定数

(1) グラウト	3D等方性	(3) コンクリート	3D等方性	(5) 界面	3D界面
弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.0x10 <sup>4</sup>	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.0x10 <sup>4</sup>	法線剛性	1.0x10 <sup>8</sup>
ポアソン比	0.20	ポアソン比	0.20	接線剛性	1.0x10 <sup>8</sup>
(2) シース	3D等方性	(4) 角型鋼管	3D等方性	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	4.0
弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	1.3x10 <sup>3</sup>	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.0x10 <sup>5</sup>	粘着力 (N/mm <sup>2</sup> )	4.0
ポアソン比	0.38	ポアソン比	0.30	摩擦係数	0.10/0.36

表-3 最大付着応力度の計算値

摩擦係数	$\mu = 0.10$			$\mu = 0.36$		
	(1) a=150mm	(2) a=200mm	比率 (2) / (1)	(3) a=150mm	(4) a=200mm	比率 (4) / (3)
シース内径 (mm)						
35	4.213	4.307	1.022	4.764	4.679	0.982
45	4.198	4.302	1.025	4.708	4.638	0.985
55	4.157	4.159	1.000	4.624	4.622	1.000
65	4.185	4.159	9.994	4.571	4.537	0.992
75	4.139	4.209	1.107	4.542	4.467	0.984
95	4.208	4.179	0.993	4.562	4.938	1.082
110	4.123	4.209	1.021	4.696	4.589	0.977

注：最大付着応力度の単位は $N/mm^2$ であり，その計算は参考文献4)による。

グラウト，シース，コンクリート，角型鋼管は等方線形弾性，シース・グラウト間，シース・コンクリート間の界面は，引張は引張強度で応力開放，圧縮は弾性，せん断はバイリニア完全弾塑性の応力ひずみ関係，および引張無視の平面キャップを有するMohr-Coulomb破壊規準によりモデル化した。

荷重は，グラウト部分の上面に鉛直方向の強制変位として与えた。載荷は20ステップに分けて行い，1ステップ当り0.02mmの変位を与えた。供試体コンクリート部分と角型鋼管の下面の変位は固定して供試体を支持した。解析にはNewton-Raphson法を用いた。

図-2 (b)に載荷後の様子を示す。グラウト部が押し込まれ，それに伴い，シース周辺でずれが生じている。図-2 (c)に荷重変位曲線の例をシース内径 $D$ ，摩擦係数 $\mu$ ，角型鋼管外側辺長 $a$ のいくつかの組合せに対して最大付着応力度の付近までを示す。ここに，変位は荷重作用点の荷重方向の変位で基準値0.1mmで除してある。表-3にシース内径が35～110mmのときの最大付着応力度を示す。角型鋼管の外側1辺の寸法 $a$ が150mmと200mmの場合で，差が小さいことがわかる。

### 3. シースの付着性能試験方法の実験による検討

#### 3. 1 試験方法の概要

プラスチック製シースの付着性能に及ぼす角型鋼管の拘束の影響を，供試体を用いて調べた。試験方法は，付着性能試験方法<sup>4)</sup>による。載荷前の供試体の例を図-3 (a)に示す。載荷方法を図-3 (b)に示す。荷重はグラウト部分の上面に載荷用鋼製円柱を置いて与え，供試体の下の穴あき支圧板を受けるように設置した荷重計で測定した。載荷点の変位は載荷用鋼製円柱の上に鋼板を水平に置き，その両端に変位計を設置して測定した。

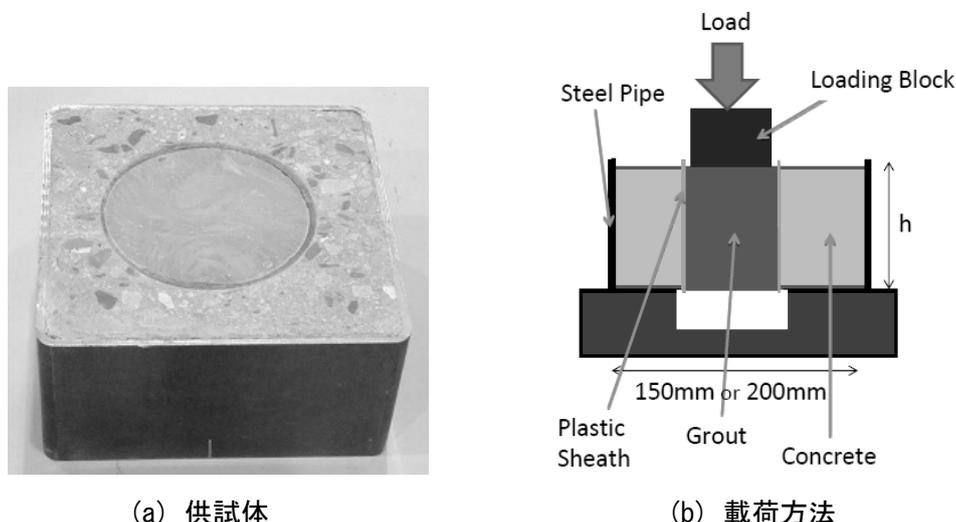


図-3 供試体と載荷方法

表-4 供試体用コンクリートに用いられた材料の特性

材料	種類	特性
セメント	早強ポルトランドセメント	密度3.14g/cm <sup>3</sup>
細骨材 (1回目)	千葉県君津市産山砂	密度2.60g/cm <sup>3</sup> , 吸水率2.99%
細骨材 (2回目)	千葉県君津市産山砂	密度2.69, 吸水率1.19%
粗骨材 (1回目)	埼玉県産石灰砕石	密度2.69, 吸水率0.59, 最大寸法20mm
粗骨材 (2回目)	硬質砂岩	密度2.66, 吸水率1.02, 最大寸法20mm
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物等の複合体

表-5 供試体用グラウトに用いられた材料の特性

材料	種類	特性
セメント	早強ポルトランドセメント	密度3.14g/cm <sup>3</sup>
混和剤	グラウト用混和剤	ノンブリーディング・低粘性型

表-6 供試体用コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		W	C	S	G	SP
36.1	41.2	168	467	683	1009	140 / 327*

注：\* 数字は各々1回目と2回目の量を示す。目標強度55N/mm<sup>2</sup>, 最大骨材寸法20mm。

表-7 供試体の寸法, シース内外径

供試体記号	供試体寸法 (mm)	シース内径 (mm)	シース外径 (mm)	供試体記号	供試体寸法 (mm)	シース内径 (mm)	シース外径 (mm)
A	150x150 x100	35	41	E	200x200 x100	35	41
B		55	67	F		55	67
C		75	88	G		75	88
D		110	131	H		110	131

### 3. 2 供試体

供試体用コンクリートに用いられた材料の特性は表-4に、供試体用グラウトに用いられた材料の特性は表-5に、供試体用コンクリートの配合は表-6に示す。コンクリートの打込みは、シース内径が35mmと75mmは1回目、55mmと110mmは2回目に行った。スランプと空気量は、各々、1回目は9.5cm, 1.5%, 2回目は5.3cm, 1.7%であった。

グラウトはコンクリートの材齢が3日で注入した。水セメント比は40%, 混和剤の混入量は1%である。混和剤はノンブリーディング・低粘性型を用いた。

シースは内径が35mm, 55mm, 75mm, 110mmのものを用いた。シースの材質は高密度ポリエチレンで、形状はスパイラル状である。角型鋼管は、断面外側の1辺の長さaが150mmと200mmのものを用いた。鋼管の材質は一般構造用鋼で、鋼板の厚さは4.5mmである。供試体の高さhは100mmである。供試体の個数は、同一実験条件に対して各3個である。供試体の種類の一覧を表-7に示す。

供試体はコンクリートの材齢が6日以降は恒温恒湿室（温度20℃, 湿度60%）で気中養生を行った。

### 3. 3 载荷・計測

コンクリートの圧縮強度が40N/mm<sup>2</sup>以上、グラウトの圧縮強度が30N/mm<sup>2</sup>以上であることを確認し、载荷試験を行った。

载荷速度は、供試体に衝撃を与えないように、平均5mm/分以下になるようにする。本実験では、約1.2mm/分であった。計測項目は、荷重および加力治具位置の载荷方向変位である。変位は0.1mm以下の

精度で計測する。供試体コンクリート部の上下面のひび割れ幅は、載荷終了後にデジタルマイクロスコープで計測した。

### 3. 4 実験結果

#### (1) 材料特性

コンクリートの付着性能試験時の圧縮強度は、打込み1回目と2回目で、各々、 $63.6\text{N/mm}^2$ 、 $53.3\text{N/mm}^2$ であった。グラウトの付着性能試験時の圧縮強度は、打込み1回目と2回目で、各々、 $58.9\text{N/mm}^2$ 、 $67.1\text{N/mm}^2$ であった。

#### (2) 荷重変位曲線

荷重変位曲線は図-4に示す。実線が $a=150\text{mm}$ 、破線が $a=200\text{mm}$ の結果である。載荷初期は勾配が小さく、荷重が増加するにつれて剛性が大きくなり、 $3\text{mm}$ 程度の変位で最大荷重に達し、その後は荷重が減少する傾向がある。載荷初期の勾配が小さい部分は、シースとグラウトやコンクリートとの界面付近におけるシースの弾性変形を含めた初期変形が完了するまでの状態を表すと考えられる。また、最大荷重後の荷重減少は、シース下端部が供試体底面から押し抜かれること、シースとグラウトまたはコンクリートとの付着が劣化すること、コンクリート部分にひび割れが発生すること等により起こると考えられる。

シース内径 $110\text{mm}$ で供試体寸法が $a=150\text{mm}$ の供試体Dでは、シースと角型鋼管の間のコンクリートを打ち込むスペースが少なく、コンクリートの厚さが小さいことから、 $a=200\text{mm}$ の場合と比べて最大荷重が小さくなっている。また、コンクリートのひび割れ後、角型鋼管の変形が見られた。その他の場合では、最大荷重の大きさは、平均して、 $a=150\text{mm}$ と $a=200\text{mm}$ では大きな差がなく、最大付着応力度で8%程度の差であることがわかる(表-8参照)。

シース内径 $55\text{mm}$ と $110\text{mm}$ では、除荷の様子も示され、完全に除荷した後も変位が小さくなる傾向が見られる。これは、引き延ばされていたシースが、時間とともにもどる性質があることを示し、変形に時間依存性があることがわかる。このことから載荷速度を規定する意義が確認された。

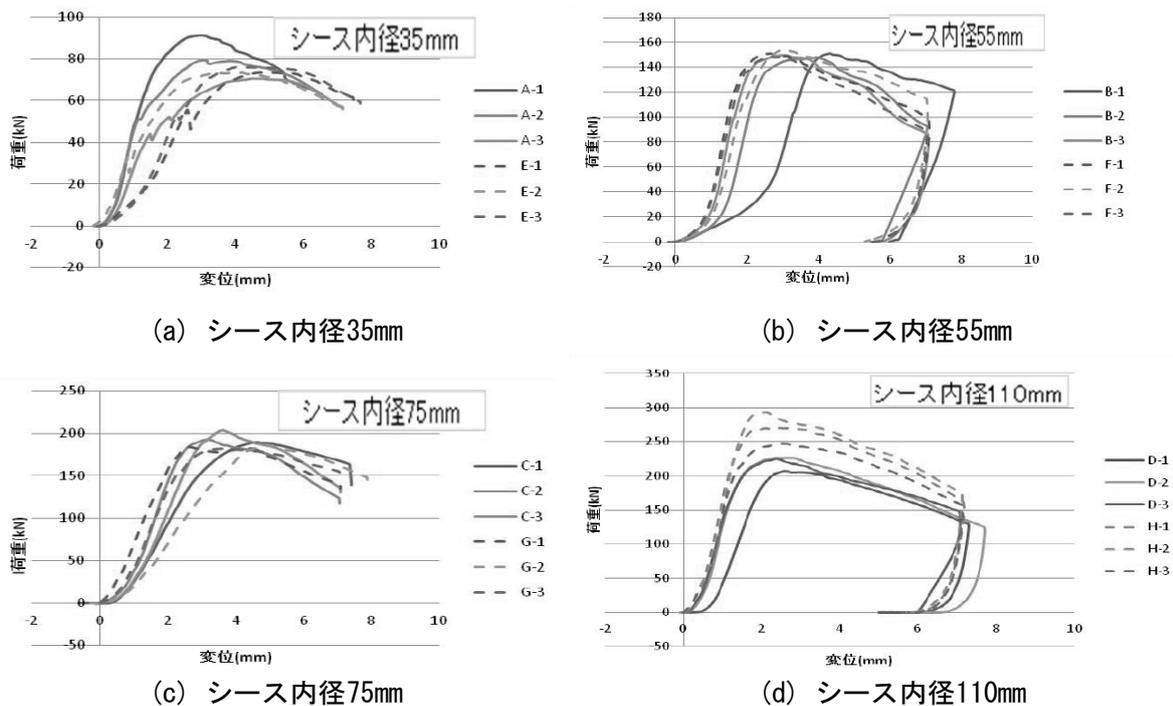
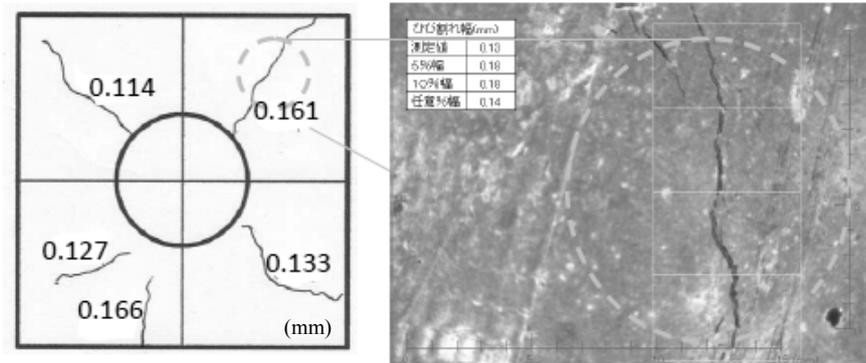


図-4 荷重変位曲線

(3) ひび割れ状況

供試体Bのコンクリート部分のひび割れ状況 (下面) の例を図-5に示す。また、各シース内径ごとの平均ひび割れ幅を、表-8に示す。ひび割れ幅は0.2mm程度であり、角型鋼管の寸法の大きいa=200mmの方が平均ひび割れ幅がやや大きいことがわかる。



(a) ひび割れ幅

(b) ひび割れ詳細

図-5 ひび割れ状況

表-8 平均ひび割れ幅と最大付着応力度

シース内径 (mm)	平均ひび割れ幅 (mm)		最大付着応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
	(1) a=150mm	(2) a=200mm	(3) a=150mm	(4) a=200mm	(5) (4)/(3)
35	0.166	0.216	7.319	6.767	0.925
55	0.140	0.150	8.667	8.742	1.009
75	0.142	0.195	8.302	7.815	0.941
110	0.238	0.226	6.345	7.818	1.232

4. まとめ

プラスチック製シースの付着性能試験方法について、解析および実験によりシース内径と供試体寸法の関係について調べ、次のような結論が得られた。

- (1) 角型鋼管の寸法がシースの最大付着応力度に与える影響は8%程度である。
- (2) シースの内径によらず、ひび割れ幅は0.2mm程度である。
- (3) (1), (2)より、プラスチック製シースの付着性能試験では、1辺の寸法がa=200mmの角型鋼管を種々のシース内径に対して一律に用いても、シース内径により角型鋼管の寸法を変えた場合との差は小さい。ただし、シース内径は、現在流通している一般的なシースの最大内径の110mm程度以内とする。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書【施工編】，2007年制定，12章 プレストレストコンクリート，12.4.3 シース，土木学会，p.369，2007.
- 2) 施工部会・非鉄シース研究小委員会：ポリエチレン製シース実用化試験報告書，(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会，1995.
- 3) fib: Corrugated plastic ducts for internal bonded post-tensioning, fib Bulletin No.7, Annex8 Bond Behaviour of Tendon, p.40, 2000.
- 4) 土木学会：プレストレストコンクリート用プラスチック製シースの付着性能試験方法 (案) (JSCE-E 710-2010)，2010年制定 コンクリート標準示方書 規準編，土木学会，p.202-205, 2010.