

極太径29.0mmプレグラウト高強度PC鋼より線の開発

住友電エスチールワイヤー(株)		○田中 秀一
住友電エスチールワイヤー(株)	正会員	大島 克仁
住友電エスチールワイヤー(株)	正会員	松原 喜之
住友電エスチールワイヤー(株)	正会員	山田 真人

1. はじめに

JISに規定されている19本撚りPC鋼より線 (φ28.6mm, SWPR19L) に対し、最大試験力および0.2%永久伸びに対する試験力が約1.2倍の極太径19本撚りプレグラウト高強度PC鋼より線 (φ29.0mm) を開発した (写真-1)。本製品は防食被覆加工であるプレグラウト技術を用いており、高強度化に加え、優れた耐食性および施工性を有している。また同時に、引張特性や疲労特性などの性能を満足する定着システムを開発した。外ケーブルでの採用実績が増加している7本撚り高強度PC鋼より線に加え、本開発により、鋼材本数やコンクリートボリュームの削減など、更なる省エネルギー・省資源化に寄与することができる。そこで本報では、極太径19本撚りプレグラウト高強度PC鋼より線 (φ29.0mm) および定着システムの開発について報告する。

2. 極太径19本撚りプレグラウト高強度PC鋼より線の開発

2.1 機械的特性

極太径19本撚り高強度PC鋼より線の機械的特性および化学成分値を表-1, 2に示す。19本撚り高強度PC鋼より線は既に「高強度PC鋼材を用いたPC構造物の設計施工指針¹⁾」により規格化されているが、その最大試験力はJIS規定の製品に対し10~15%程度向上しているのみである。一方で、極太径19本撚り高強度PC鋼より線は、JIS G3502 SWRS82Bに対するCやSi添加量の増加や、伸線およびホットストレッチ条件、線径の最適化を図ることによって、JIS規格1.2倍の最大試験力および0.2%永久伸びに対する試験力を有することに成功した。引張特性に加え、高強度化により特性の低下が懸念されるリラクセーション特性および遅れ破壊特性について以下に示す。



写真-1 外観

表-1 機械的特性

	線径 (mm)	最大試験力 (kN)	0.2%永久伸び に対する試験力 (kN)	伸び (%)	リラクセーション値 (%)
極太径29.0mm高強度PC鋼より線 (住友電エスチールワイヤー規格)	29.0 +0.6, -0.25	≥ 1139	≥ 969	≥ 3.5	≤ 2.5
参考 : 高強度PC鋼より線 (高強度PC鋼材を用いた PC構造物の設計施工指針)	28.6 +0.6, -0.25	≥ 1044	≥ 888	≥ 3.5	≤ 2.5
参考 : PC鋼より線 (JIS G 3536 SWPR19L)	28.6 +0.6, -0.25	≥ 949	≥ 807	≥ 3.5	≤ 2.5

(1) 引張試験

極太径29.0mm高強度PC鋼より線の引張試験結果を表-3に示す。試験の結果、最大試験力および0.2%永久伸びに対する試験力とともに、JIS規格荷重の1.2倍を満足した。また、高強度であるにも関わらず、JIS規格品と同程度の伸び値を示しており、JIS規格品と遜色のないじん性を有している。

表-2 化学成分値

(wt%)					
C	Si	Mn	P	S	Cu
0.95 - 1.02	0.90 - 1.50	0.35 - 0.45	0.024 max.	0.01 max.	0.15 max.

表-3 29.0mm 高強度 PC 鋼より線の引張試験結果例

	最大試験力 (kN)	0.2%永久伸びに対する試験力 (kN)	伸び (%)
極太径高強度PC鋼より線 (29.0mm)	1161	1030	5.7
参考：PC鋼より線 (SWPR19L 28.6mm)	972	886	5.3

(2) リラクゼーション試験

極太径29.0mm高強度PC鋼より線のリラクゼーション試験結果を図-1に示す。試験はJIS Z2276に則って行い、初期試験力はJIS規格最大試験力の1.2倍 (1139kN) の70%とした。試験の結果、1000時間後のリラクゼーション値は0.99%であり、JIS G 3536に規定される低リラクゼーション品の規格 (2.5%以下) を満足した。

(3) 遅れ破壊抵抗性試験

遅れ破壊抵抗性試験は「高強度PC鋼材を用いたPC構造物の設計施工指針¹⁾」に準拠し、50℃のチオシアン酸溶液 (NH4SCN (20wt%)) 中で、より線の中心線を最大試験力の80%で載荷し、その破断時間を測定した。極太径29.0mm高強度PC鋼より線の遅れ破壊抵抗性試験結果を図-2に示す。試験の結果、「高強度PC鋼材を用いたPC構造物の設計施工指針¹⁾」に規定された最小値が1.5時間以上および累積破断確率50%のときの破断時間が4時間以上を満足した。

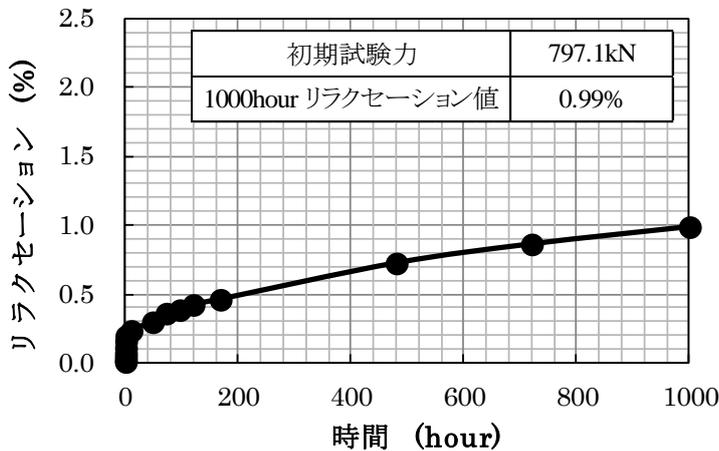


図-1 リラクゼーション試験結果

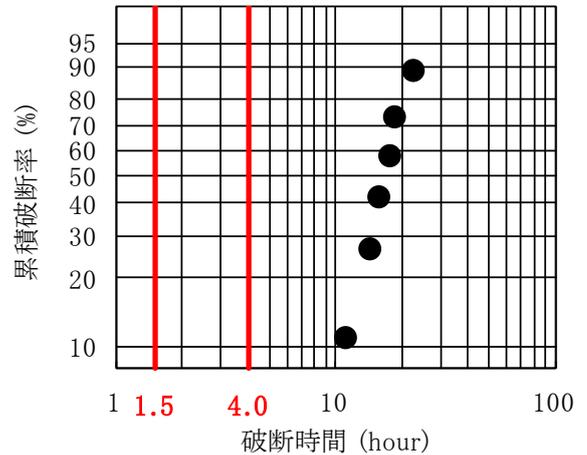


図-2 遅れ破壊抵抗性試験結果

3. プレグラウト加工

極太径29.0mmプレグラウト高強度PC鋼より線には「エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針 (案), 土木学会²⁾」に規定されるプレグラウト加工を施した。そのため、本製品は1000時間の塩水噴霧試験 (JIS G 2371) や耐アルカリ試験 (ASTM G20) を満足する優れた耐食性を有している。

3. 1 プレグラウト加工後の形状寸法

プレグラウト加工後の形状寸法を図-3に示す。従来品のφ28.6mmプレグラウトPC鋼より線の形状寸法に対し、付着特性に影響を及ぼす凸部と凹部の径差および耐食性に影響を及ぼす凸部の樹脂被覆厚さは同一とし、凸部径、凹部径およびリブ部径は鋼材径に対応して僅かに外径を大きくした。

項目	開発品 φ 29.0mm	参考:従来品 φ 28.6mm
凸部と凹部の径差	0.5 mm 以上	同左
凸部の被覆樹脂厚さ	1.2 mm 以上	同左
凸部径(参考値)	34.0~40.0mm	34.0~38.0mm
凹部径(参考値)	30.0~35.5mm	30.0~33.5mm
リブ部径	47 mm 以下	45 mm 以下

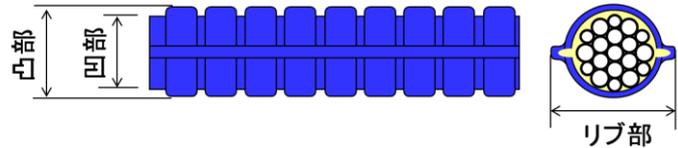


図-3 プレグラウト加工後の形状寸法

3. 2 プレグラウトPC鋼材の付着特性試験

「エポキシ樹脂を用いた高性能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案), 土木学会²⁾」に規定されるプレグラウトPC鋼材の付着特性試験を行った。試験結果を表-4, 試験状況を写真-2に示す。試験の結果、PCグラウトを施した被覆無しPC鋼より線φ29.0mmと同等の付着強度を示した。

表-4 付着試験結果

	付着強度 (N/mm ²)
極太径高強度プレグラウト PC鋼より線(29.0mm)	6.9
PCグラウトを施した極太径 高強度PC鋼より線(29.0mm)	6.2

4. シングルストランド定着システムの開発

極太径19本撚りプレグラウト高強度PC鋼より線のシングル定着具を開発した。開発したシングル定着具(オスコーンおよびメスコーン)の寸法および材質を図-4に示す。本定着具を用いて以下に示す定着効率試験および定着具疲労試験を実施し、その健全性を評価した。

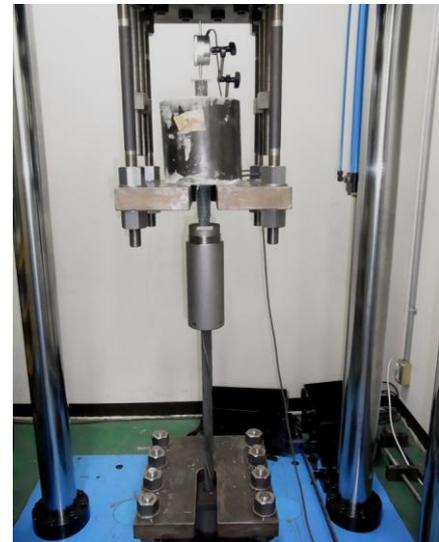


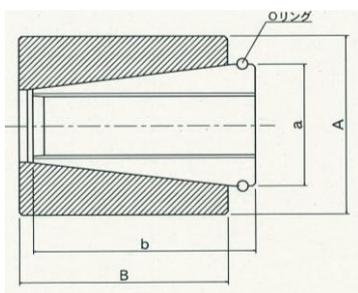
写真-2 付着特性試験状況

4. 1 定着具と緊張材を組み合わせた性能試験

「コンクリート標準示方書【施工編:特殊コンクリート】³⁾」に規定される静的引張試験で定着具の定着効率を測定した。対規格破断荷重95%以上を満足し、その結果を表-5に示す。

4. 2 定着具と緊張材を組み合わせた耐疲労性試験

「FIP Recommendation for the acceptance of post-tensioning systems, 1993⁴⁾」に規定される上限荷重0.65Pu, 変動応力幅80MPa, 繰返回数200万回の耐疲労性試験を実施した。その結果、200万回の繰返し後も未破断であり、十分な疲労耐久性が示された。



部品名	寸法		材質	記号	備考
メスコーン	A (mm)	100	焼き入れ性を保証した構造用鋼鋼材 (JIS G 4052)	SCM435H	熱処理品
	B (mm)	102			
オスコーン	a (mm)	58		SCM415H	
	b (mm)	106			

図-4 シングル定着具の寸法および材質

4. 3 その他定着システムの仕様

緊張力導入時のコンクリート強度 27N/mm^2 にて「コンクリート標準示方書【施工編：特殊コンクリート】³⁾」に規定されたコンクリート載荷試験を行い、ケーブルの配置間隔、グリッド筋および支圧プレートの標準仕様を決定した(図-5, 6)。緊張機器として、1S29.0 専用のジャッキおよびジャッキ用グリップを開発し、繰り返し緊張試験により、耐久性を確認している。その他、セット量(7mm)の計測やグリップキャップなど付属品の準備も併せ、設計や施工に必要な一連の技術事項を確認した。

表-5 定着効率試験結果

No.	最大引張荷重 (kN)	定着効率 (%)
		対規格破断荷重 (95%以上)
1	1135	99.6
2	1136	99.7
3	1136	99.7

規格破断荷重：1139kN

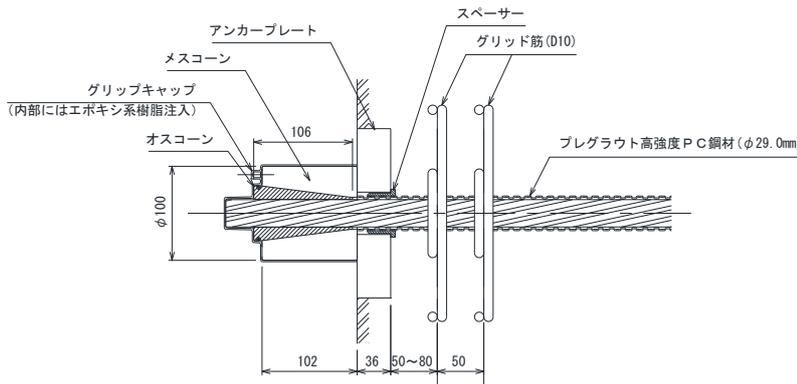


図-5 1S29.0 システム組立図

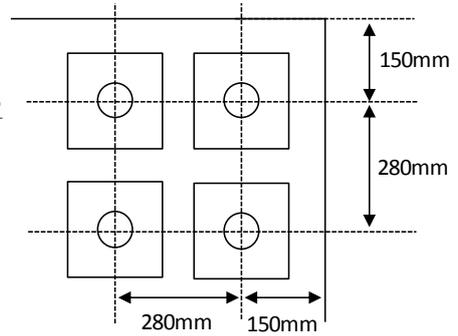


図-6 1S29.0 最小配置間隔

5. まとめ

極太径29.0mm プレグラウト高強度PC鋼より線およびシングル定着システムの特長を以下に示す。

- ・ JISに規定されている19本撚りPC鋼より線 (φ28.6mm, SWPR19L) に対し、約1.2倍の最大試験力および0.2%永久伸びに対する試験力を有している。
- ・ 「エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針 (案), 土木学会²⁾」に規定されたプレグラウト加工を施しており、優れた耐食性を有している。
- ・ シングル定着具は、「コンクリート標準示方書【施工編：特殊コンクリート】³⁾」に規定された定着具と緊張材を組み合わせた性能試験および「FIP Recommendation for the acceptance of post-tensioning systems, 1993⁴⁾」に規定された定着具と緊張材を組み合わせた耐疲労性試験を満足する。
- ・ その他、ケーブルの配置間隔やグリッド筋、支圧プレート等を決定し、専用ジャッキやジャッキ用グリップを開発することで、一連の設計および施工に必要なシステムを揃えた。

本稿における極太径29.0mmプレグラウト高強度PC鋼より線の用途はコンクリート躯体内に配置される内ケーブル仕様であるが、躯体外側に配置されるプレグラウト加工の凹凸が無い外ケーブル仕様も製造可能である。本開発品が普及することで、更なる鋼材本数の低減によるコンクリート部材寸法の縮小化や環境負荷低減、省資源・省エネルギー化、工期短縮に寄与することができれば幸いである。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会, 高強度PC鋼材を用いたPC構造物の設計施工指針, 2011
- 2) 土木学会, エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針 (案), 2010
- 3) 土木学会, コンクリート標準示方書【施工編：特殊コンクリート】, 2012
- 4) FIP, Recommendation for the acceptance of post-tensioning systems, 1993