

極太径 29.0mm プレグラウト高強度 PC 鋼より線の開発

田中 秀一*1・大島 克仁*2・松原 喜之*3・山田 真人*4

JIS に規定されている 19 本撚り PC 鋼より線 (φ28.6 mm, 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 (φ29.0 mm) を開発した。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、さらなる省エネルギー・省資源化に寄与することができる。そこで本稿では、極太径 29.0 mm プレグラウト高強度 PC 鋼より線および定着システムの開発について報告する。

キーワード：高強度 PC 鋼より線、19 本撚り PC 鋼より線、プレグラウト被覆

1. はじめに

高強度 PC 鋼より線は、現行の JIS 規格 (JIS G 3536) に規定される PC 鋼より線に対して、強度を約 20 % 高めた PC 鋼より線である。高強度化を実現することで、鋼材の製造や運搬の過程では省資源・省エネルギーに、構造部材として用いられた場合にはコンクリートボリュームの削減・軽量化、さらには上部工の軽量化により、基礎、橋脚の断面減少につながることで、省資源など環境への負荷低減にも寄与する。また、現場作業の省力化にもなることで総合的にコスト削減を可能にし、ケーブル本数が減ることで維持点検の際の省力化、コスト削減も可能である。当社では現在までに 7 本撚り φ15.7 mm の高強度 PC 鋼より線を開発し、秋葉原の AKIBA Bridge や国土交通省九州地方整備局の矢部川大橋や高速道路の高架橋などに採用され、好評を得ている。

高強度 PC 鋼より線のニーズが高まるなか、世界最高荷重を有する PC 鋼より線として φ29.0 mm の 19 本撚り高強度 PC 鋼より線を開発し、さらにプレグラウト加工を施すことで、耐食性や施工性に優れた高強度 PC 鋼より線の提供を可能とした (写真 - 1)。

2. 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 鋼より線はすでに「高強度 PC 鋼材を用いた PC 構造物の設計施工指針」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、

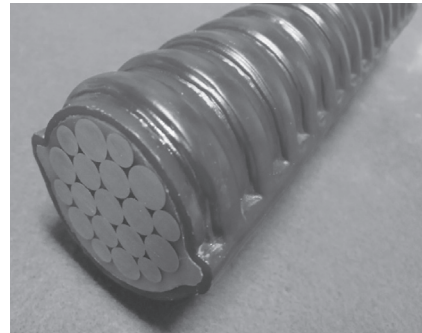


写真 - 1 外 観

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。

2.1 引張試験

極太径 29.0 mm 高強度 PC 鋼より線の引張試験結果を図 - 1、荷重 - 伸び曲線の一例を図 - 2 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。

2.2 リラクセーション試験

極太径 29.0 mm 高強度 PC 鋼より線のリラクセーション試験結果を図 - 3 に示す。試験は JIS Z 2276 に則って行い、初期試験力は JIS 規格最大試験力の 1.2 倍 (1 139 kN) の 70 % とした。試験の結果、1 000 時間後のリラクセーション値は 0.99 % であり、JIS G 3536 に規定される低リラクセ

*1 Shuichi TANAKA : 住友電工スチールワイヤー (株) PC 技術部

*2 Katsuhito OOSHIMA : 住友電工スチールワイヤー (株) PC 技術部

*3 Yoshiyuki MATSUBARA : 住友電工スチールワイヤー (株) PC 技術部

*4 Masato YAMADA : 住友電工スチールワイヤー (株) PC 技術部

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 (%)	リラクゼーション値 (%)
極太径 29.0 mm 高強度 PC 鋼より線 (住友電工スチールワイヤー規格)	29.0 + 0.6, -0.25	≧ 1 139	≧ 996	≧ 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	≧ 1 044	≧ 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

表 - 2 化学成分値 (%)

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.

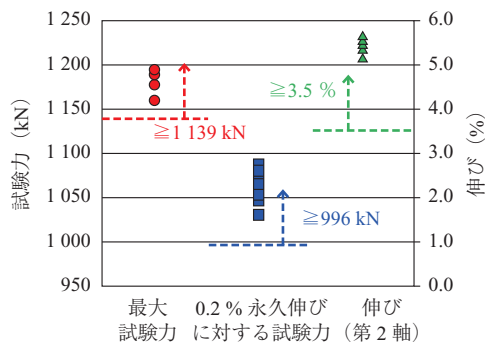


図 - 1 極太径高強度 PC 鋼より線の引張試験結果

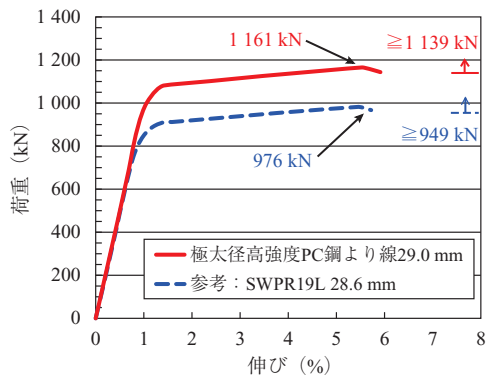


図 - 2 荷重伸び曲線 (一例)

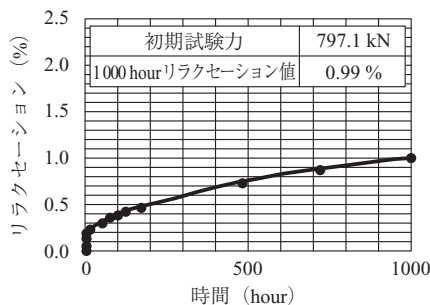


図 - 3 リラクゼーション試験結果

ーション品の規格 (2.5 % 以下) を満足した。

2.3 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 (20 wt %)) 中で、より線の中心線を最大試験力の 80 % で载荷し、その破断時間を測定した。極太径 29.0 mm 高強度 PC 鋼より線の遅れ破壊抵抗性試験結果を図 - 4、試験状況を写真 - 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。

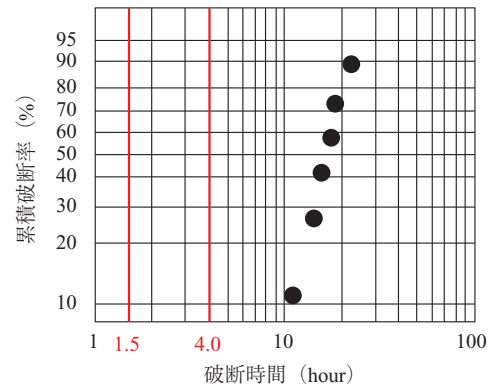


図 - 4 遅れ破壊抵抗性試験結果

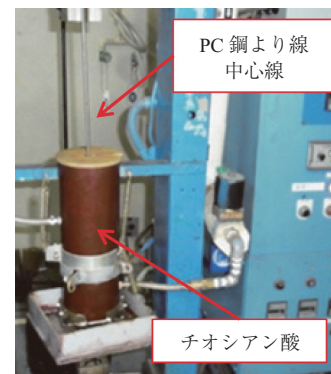


写真 - 2 遅れ破壊抵抗性試験状況

3. プレグラウト加工

極太径 29.0 mm 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 - 5 に示す。従来品のφ28.6 mm 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，リップ部径は同一とし，凸部径および凹部径は鋼材径に対応してわずかに外径を大きくした。

項目	開発品 φ29.0 mm	参考：従来品 φ28.6 mm
凸部と凹部の径差	≥0.5 mm	同左
凸部の被覆樹脂厚さ	≥1.2 mm	同左
リップ部径	≤45 mm	同左
凸部径（参考値）	34.0 - 40.0 mm	34.0 - 38.0 mm
凹部径（参考値）	30.0 - 35.5 mm	30.0 - 33.5 mm

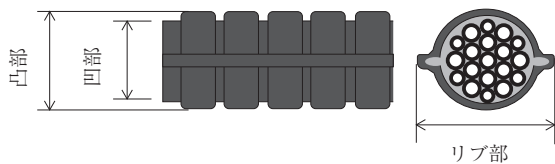


図 - 5 プレグラウト加工後の形状寸法

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 PC 鋼材の付着特性試験を行った。試験状況を写真 - 3，試験結果を表 - 3 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φ29.0 mm と同等の付着強度を示した。

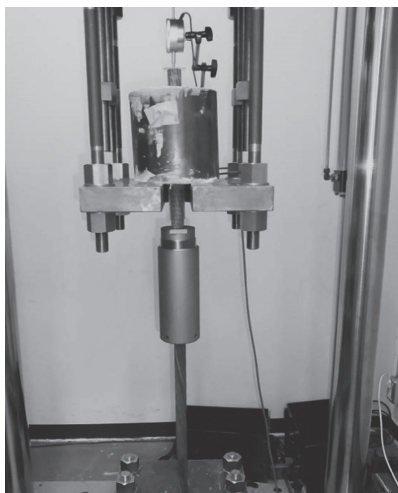


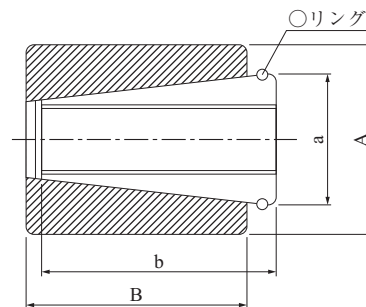
写真 - 3 試験状況

表 - 3 付着特性試験結果

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

4. シングルストランド定着システム

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 - 6 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。



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

図 - 6 シングル定着具

4.1 定着具とコンクリート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 - 4，試験状況を写真 - 4 に示す。

表 - 4 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	1 135	99.6
2	1 136	99.7
3	1 136	99.7

規格破断荷重：1 139 kN

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 0.65 Pu，変動応力幅 80 MPa，繰返回数 200 万回の耐疲労性試験を実施した。試験状況を写真 - 5 に示す。その結果，200 万回繰り

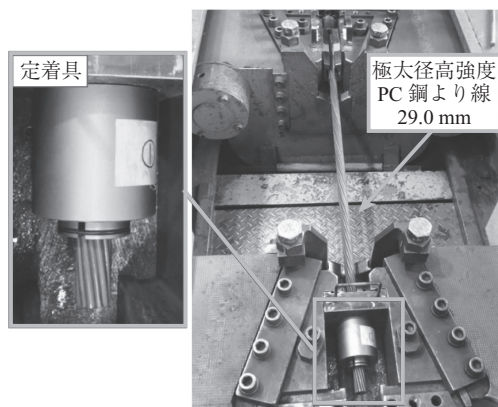


写真 - 4 定着効率試験状況

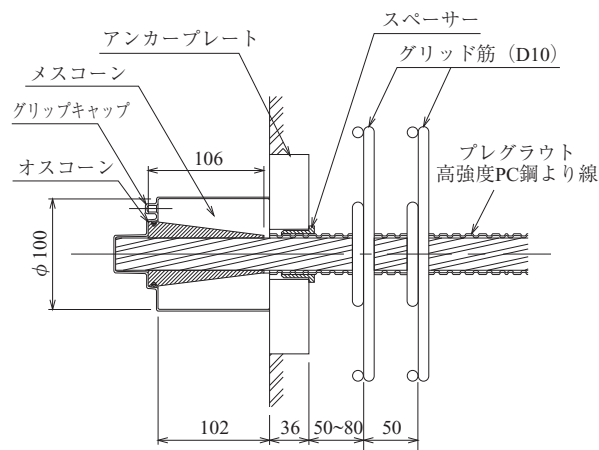


図 - 7 1S29.0 システム組立図

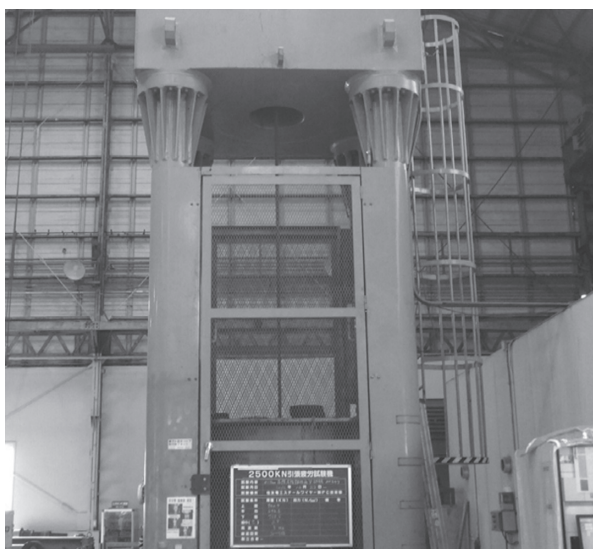


写真 - 5 定着具疲労試験状況

返し後も未破断であり、十分な疲労耐久性が示された。

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 27 N/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、本定着システムに用いる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 - 7)。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ドを開発し、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 (7 mm) の計測やグリッド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。

5. おわりに

極太径 29.0 mm 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 (φ28.6

mm, 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 posttensioning 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、定着システムに用いるグリッド筋、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ドを開発することで、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 29.0 mm 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、さら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 posttensioning systems, 1993

【2014 年 10 月 31 日受付】