

7本より21.8mm ECF高強度(2000MPa級)ストランドの開発

住友電エスチールワイヤー(株)	正会員	○中上	晋志
住友電エスチールワイヤー(株)	正会員	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

キーワード：PC鋼より線，高強度，エポキシ被覆，高耐久化

1. はじめに

場所打ち部を伴うプレキャスト桁の横締めケーブルの高耐久化を目的として、ポリエチレンシース（以下、PEシース）と防食PC鋼材を適用しようとする、シースの接続部のディテールとシース外径の拡大化の影響によって、床版部断面の変更を余儀なくされる場合がある。このようなケースにおいても、部材断面を変更することなく、PEシース+セメントグラウト+防食PC鋼材によって多重防食機構を実現することを目的とした太径ECF（内部充填型エポキシ樹脂被覆）ストランドの開発をこれまで進めており、先般7本より17.8mm ECF高強度ストランド¹⁾を開発し、実用化するに至った。今回、より大容量のストランドのニーズに応えるべく、さらに太径の7本より21.8mm ECF高強度ストランドを新たに開発した(写真-1)。7本より線とすることで鋼材素線間のエポキシ樹脂充填を確実なものとし、「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)²⁾」（以下、土木学会指針）のECFストランドに関する諸規定を満足するものである。また、17.8mm ECF高強度ストランドの高強度技術を応用することで、7本より線でありながら、現行のJIS規格「PC鋼線及びPC鋼より線」（JIS G 3536）に規定される19本より21.8mmストランドと同等以上の最大試験力（引張力）が得られている。

本稿では21.8mm ECF高強度ストランドとその定着システムの開発および性能確認試験の結果について報告する。なお、本稿における高強度とは、JISに規定される1860N/mm²級を超える範囲のものを指す。

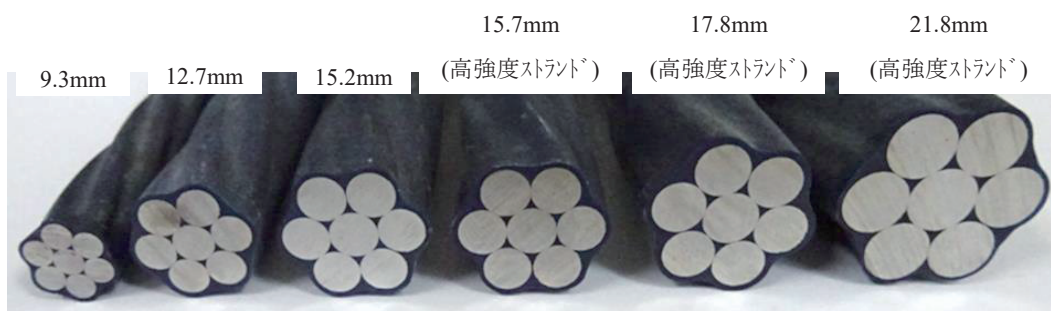


写真-1 ECF ストランドの外観

2. 被覆のない状態での21.8mm高強度ストランドの機械的性質

21.8mm高強度ストランドの機械的性質および化学成分値を表-1, 2に示す。21.8mm高強度ストランドは、JIS G 3536で規定されている「ピアノ線材」（JIS G 3502）に対してCやSiの含有量が高い特殊な線材を用い、伸線およびより線工程のホットストレッチ条件の最適化によって、強度が約10%向上している。このストランドは7本よりの素線構成のため、同径の19本より線よりも鋼材断面積が小さくなっているものの、強度の向上によって、従来の19本より21.8mm PC鋼より線以上の最大試験力および0.2%永久伸びに対する試験力を達成している。被覆のない21.8mm高強度ストランドの機械的性能

について、性能確認試験の結果を以下に示す。

表-1 機械的性質 (自主規格)

	線径 (mm)	最大試験力		0.2%永久伸びに対する試験力		伸び (%)	(参考) 公称断面積 (mm ²)
		(kN)	強度 (N/mm ²)	(kN)	強度 (N/mm ²)		
7本より21.8mm 高強度ストランド (自主規格)	21.8mm +0.6-0.25	≥ 573	≥ 2004	≥ 495	≥ 1731	≥ 3.5	285.9
参考: 19本より21.8mmストランド (JIS G 3536 SWPR19L)			≥ 1831		≥ 1582		312.9

表-2 化学成分値 (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu
高強度ストランド	0.95 - 1.02	0.85 - 1.50	0.30 - 0.50	≤ 0.024	≤ 0.010	≤ 0.15
参考: SWRS 82B (JIS G 3502)	0.80 - 0.85	0.12 - 0.35	0.60 - 0.90	≤ 0.025	≤ 0.025	≤ 0.20

21.8mm高強度ストランドの引張試験結果として荷重-伸び曲線を図-1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は、JIS規格品の荷重を上回り、表-1に規定する機械的性質(自主規格)を満足した。また、JIS規格品と同程度の伸び値を示しており、じん性を損なうことなく高強度化を達成している。

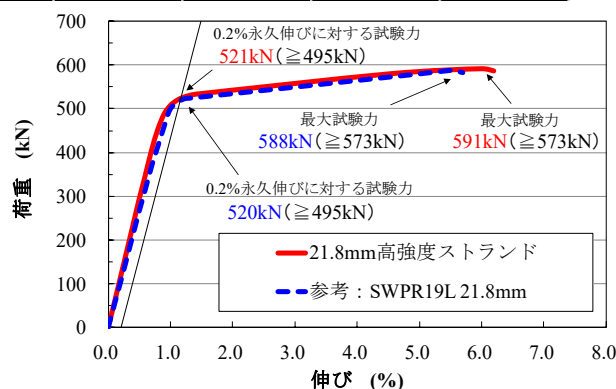


図-1 本開発品の荷重-伸び曲線の一部

3. 21.8mmECF高強度ストランドの諸特性

21.8mmECF高強度ストランドは土木学会指針²⁾に準拠したエポキシ被覆加工を施している。クラウン部の平均膜厚0.4~0.9mmおよび各クラウン部の膜厚0.4~1.2mmの被覆厚であり、全長ピンホールのない耐食性に優れたエポキシ被覆を有する。21.8mmECF高強度ストランドのリラクセーション特性、被覆密着性について性能確認試験の結果を以下に示す。

3.1 リラクセーション試験

21.8mmECF高強度ストランドのリラクセーション試験結果を図-2に示す。試験は「金属材料の引張リラクセーション試験方法」(JIS Z 2276)に則って行い、初期試験力は最大試験力(573kN)の70%とした。結果、1000時間後のリラクセーション推定値は4.3%であり、文献³⁾に規定される6.5%以下を満足した。

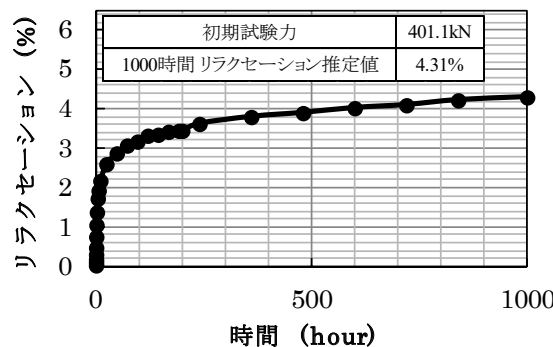


図-2 リラクセーション試験結果

3.2 被覆密着性試験

21.8mmECF高強度ストランドの曲げ試験および引張破断試験結果を写真-2および写真-3に示す。いずれの試験も「内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線試験方法-被覆密着性試験-」(JSCE-E731)に準拠して実施した。曲げ試験は20±2℃において鋼材公称径の32倍の円筒に180度巻き付けた状

態で試験を行い、エポキシ被覆の損傷およびピンホールは認められない結果であった。引張破断試験の結果、破断部近傍において被覆の剥落および飛散がなく、ECFストランドとしてはもっとも高い破断時の衝撃にかかわらず、優れた被覆密着性を示した。



写真-2 曲げ試験結果

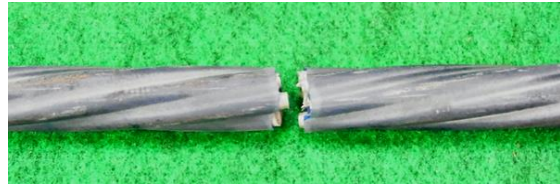
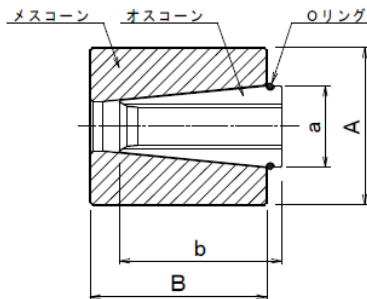


写真-3 引張破断試験結果

4. シングルストランド用定着システムに関する試験

21.8mmECF高強度ストランドに用いる定着システムを開発した。開発したシングルストランド用定着具(オスコーンおよびメスコーン)の寸法および材質を図-3に示す。定着具を用いて以下に示す引張試験および耐疲労性試験を実施し、その健全性を評価した。



部品名	寸法		材質	記号	備考
メスコーン	A[mm]	80	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]	90			
オスコーン	a[mm]	49.5		SCM415H	
	b[mm]	90			

図-3 シングルストランド用定着具

4.1 定着具と緊張材を組み合わせた定着効率試験

「コンクリート標準示方書【施工編：特殊コンクリート】⁴⁾」に規定される静的定着効率試験を行い、定着具の定着効率を測定した。その結果を表-3に、試験状況を写真-4に示す。対最大試験力95%以上の規準を満足することを確認した。

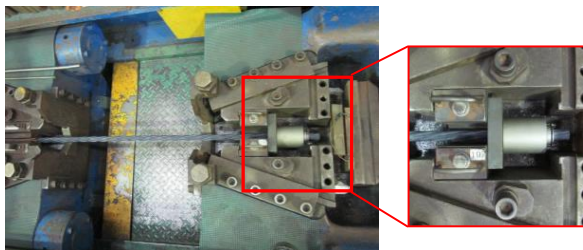


写真-4 定着効率試験状況

表-3 定着効率試験結果

No.	破断荷重 (kN)	定着効率 (%) (≥ 対最大試験力95%)
1	598	104.4
2	596	104.0
3	590	103.0

4.2 定着具と緊張材を組み合わせた耐疲労性試験

耐疲労性試験は、「FIP Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems⁵⁾」に規定される上限荷重0.65Pu、変動応力幅80MPaの条件で実施した。結果、200万回繰り返し後も鋼材は破断しておらず、十分な疲労耐久性が示された。

4.3 シングルストランド用定着システム

21.8mmECF高強度ストランドを用いたシングルストランド用定着システムの一例を図-5に示す。規格破断荷重が現行のJISに規定される19本より21.8mmストランドと同等であることから、グリッド筋、支圧プレートおよび配置間隔の仕様は19本より21.8mmストランドの仕様と共通とした。

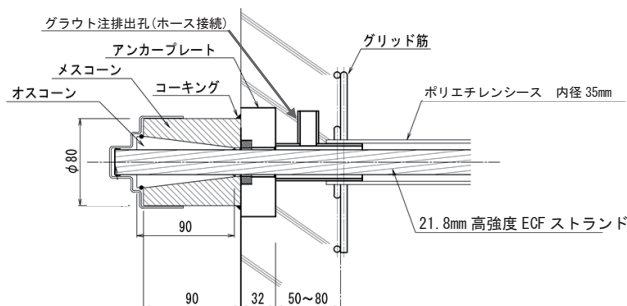


図-5 21.8mmECF 高強度ストランド用定着システム(一例)

4.4 PEシースのすり減り抵抗性試験

PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)⁶⁾に従い、ケーブルの最小曲げ半径(100D)、0.7Puの引張力を想定した腹圧力を50℃でPC鋼材に載荷した状態でPEシースの上を移動させた(図-6)。試験後のシース残留肉厚を表-4に示す。いずれもシース残留肉厚は1.5mm以上であり、同指針の規格を満足した。試験後のECF高強度ストランドの被覆厚の減少は認められず、良好なすり減り抵抗性を示した。

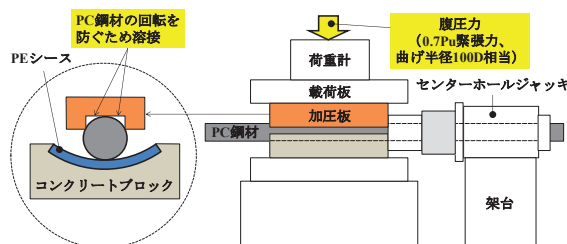


図-6 擦り減り抵抗性試験方法

表-4 擦り減り抵抗性試験結果

	1本目	2本目	3本目	平均
試験前肉厚	2.86	2.86	2.82	2.85
試験後残留肉厚 ($\geq 1.5\text{mm}$)	1.97	1.89	1.99	1.95
擦り減り量	0.89	0.97	0.83	0.90

※最小曲げ半径：100D，試験温度50℃

4.5 可とう性

21.8mmECF高強度ストランドの可とう性の確認結果を写真-5に示す。定着部への挿入を想定しストランドを水平に偏向させたところ、約2mの曲げ半径で挿入可能であった。本開発品が一定の可とう性を有しており、施工性が良好であることが確認された。

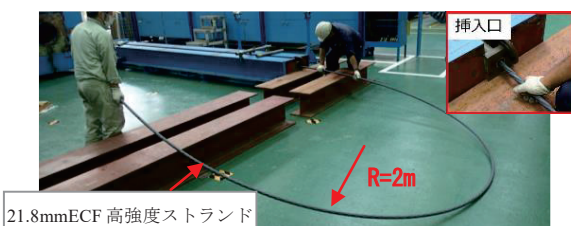


写真-5 可とう性の確認

5. おわりに

JISに規定されている19本より21.8mmストランドと同等以上の最大試験力や0.2%永久伸びに対する試験力を有した7本より21.8mmECF高強度ストランドおよびその定着システムを新たに開発し、各種の性能試験を満足することを確認した。

プレキャスト部材を用いた構造は工場製作の優れた耐久性が確保されやすい一方で、シースの不連続部や場所打ちコンクリートとの境界部に課題が生じやすいとも言える。本稿における21.8mmECF高強度ストランドは止水性が課題となる部材間の接続部でもECFストランドの優れた耐食性により、高耐久化に貢献できる製品であると考えている。本開発品が普及することで、構造物の長寿命化およびライフサイクルコストの低減に寄与することができれば幸いである。

参考文献

- 1) 第24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：17.8mmECF 高強度(2105MPa級)ストランドの開発, 2015
- 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) 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
- 4) 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
- 5) FIP：Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems, 1993
- 6) プレストレストコンクリート工学会：PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案), 2015