

17.8mmECF高強度(2100MPa級)ストランドの開発

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

1. はじめに

ECFストランド(内部充填型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線)は、PC橋の耐久性や施工性向上のため、外ケーブルを中心に数多く適用され、塩害地域では内ケーブルやプレテンション部材としても活用されてきた。今般、プレキャスト部材の横締めケーブルにおいても、部材断面を大きくすることなく塩害や凍害に対する高耐久化が求められている。

このような状況の中、従来から横締めケーブルとして用いられている被覆のない19本より線およびプレグラウトPC鋼材に対し、7本より線の17.8mmECF高強度ストランドを新たに開発した。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容易にし、「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)¹⁾」のECFストランドに関する諸特性を満足するものである。本製品はPEシースおよびグラウトとの組み合わせにより多重防食機構を形成し、高い耐食性を有する。また、現在まで多数の橋梁への適用が進んでいる15.7mmECF高強度ストランドおよび先般実用化した極大径29.0mmプレグラウト高強度ストランド²⁾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17.8mmストランド以上の最大試験力が得られている。

本稿では17.8mmECF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(写真-1)。

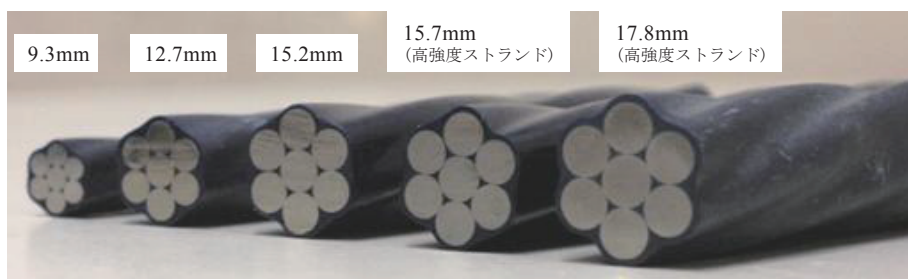


写真-1 ECFストランドの外観

2. 被覆のない17.8mm高強度ストランドの機械的性質

17.8mm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。17.8mm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15%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17.8mmPC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17.8mm高強度ストランドの機械的性能および遅れ破壊抵抗性について、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)

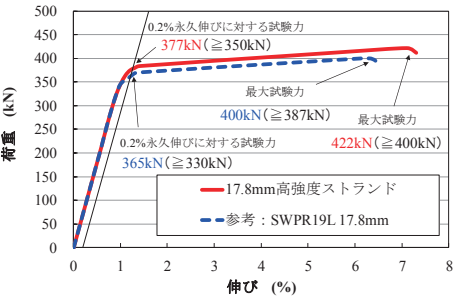
	線径 (mm)	最大試験力		0.2%永久伸びに対する試験力		伸び (%)	公称断面積 (mm ²)
		(kN)	強度 (N/mm ²)	(kN)	強度 (N/mm ²)		
7本より 17.8mm高強度ストランド	17.8 mm +0.6 -0.25	≧ 400	≧ 2105	≧ 350	≧ 1842	≧ 3.5	190.0
参考： 19本より 17.8mmストランド (JIS G 3536 SWPR19L)	17.8 mm +0.6 -0.25	≧ 387	≧ 1857	≧ 330	≧ 1583	≧ 3.5	208.4

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 max.	0.01 max.	0.15 max.
参考： SWRS 82B (JIS G 3502)	0.80-0.85	0.12-0.35	0.60-0.90	0.025 max.	0.025 max.	0.20 max.

2.1 引張試験

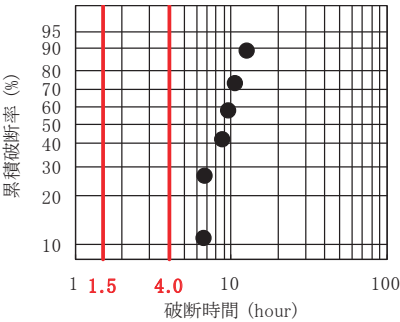
17.8mm高強度ストランドの引張試験結果として荷重－伸び曲線を図－１に示す。試験の結果，最大試験力および0.2%永久伸びに対する試験力は，JIS規格品の荷重を上回り，表－１に規定する機械的性質（自主規格）を満足した。また，JIS規格品と同程度の伸び値を示しており，じん性を損なうことなく高強度化を達成している。



図－１ 本開発品の荷重－伸び曲線の一部

2.2 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³⁾」に準拠し，50℃のチオシアン酸溶液(NH4SCN(20wt%))に浸漬し，より線の中心線を実際の最大試験力の80%で载荷した状態で，その破断時間を測定した。17.8mm高強度ストランドの遅れ破壊抵抗性試験結果を図－２に示す。試験の結果，規格の最小破断時間が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時間以上であることを満足した。



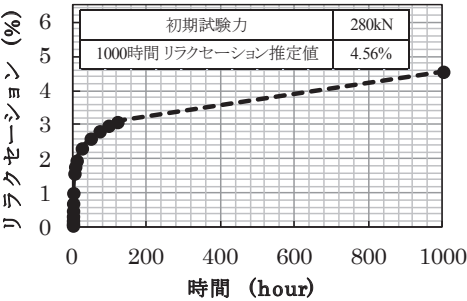
図－２ 本開発品の遅れ破壊抵抗性試験結果

3. 17.8mmECF高強度ストランドの諸特性

17.8mmECF高強度ストランドは文献¹⁾に準拠したエポキシ被覆加工を施しているため，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。

3.1 リラクセーション試験

17.8mmECF高強度ストランドのリラクセーション試験結果を図－３に示す。試験は「金属材料の引張り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(400kN)の70%とした。試験の結果，1000時間後のリラクセーション推定値は5.0%であり，文献¹⁾に規定される6.5%以下を満足した。



図－３ 本開発品のリラクセーション試験結果

3.2 被覆密着性

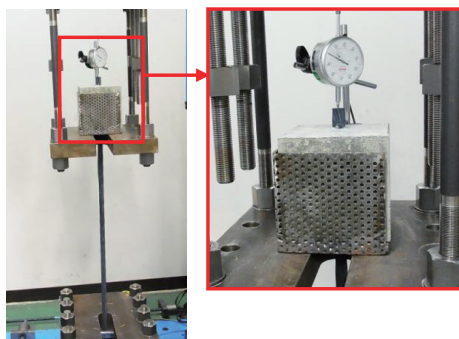
17.8mmECF高強度ストランドの曲げ試験および引張破断試験結果を写真－2に示す。いずれの試験も「内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線試験方法-被覆密着性試験-」(JSCE-E 731)に準拠して実施した。曲げ試験は $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ において鋼材公称径の32倍の円筒に 180° 巻き付けた状態で試験を行い、エポキシ被覆の損傷およびピンホールは認められない結果であった。引張破断試験の結果、破断部近傍において被覆の剥落および飛散がなく、ECFストランドとしては最も高い破断時の衝撃に関わらず、優れた被覆密着性を示した。



写真－2 本開発品の曲げ試験および引張破断試験結果

3.3 付着型ECFストランドの付着特性試験

文献¹⁾に規定されるECFストランドの付着特性試験を行った。試験状況を写真－3に、試験結果を表－3に示す。試験の結果、被覆のない17.8mm高強度ストランドと同等以上の付着強度を示した。



写真－3 付着特性試験状況

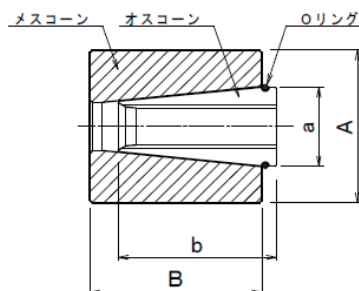
表－3 本開発品の付着特性試験結果

	付着強度 (N/mm^2)
17.8mmECF高強度ストランド	0.97
被覆のない 17.8mm高強度ストランド	0.81

4. シングルストランド定着システムに関する試験

17.8mmECF高強度ストランドに用いる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。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。

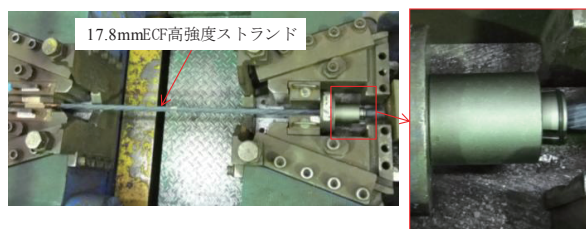
	メスコーン		オスコーン	
寸法 (mm)	A	B	a	b
	65	75	37	75
材質	焼入性を保証した 構造用鋼鋼材(JIS G 4052)			
記号	SCM435H		SCM415H	
備考	熱処理品			



図－4 シングル定着体

4.1 定着具と緊張材を組み合わせた引張試験

「コンクリート標準示方書【施工編：特殊コンクリート】⁴⁾」に規定される静的引張試験を行い、定着具の定着効率を測定した。その結果を表－4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。



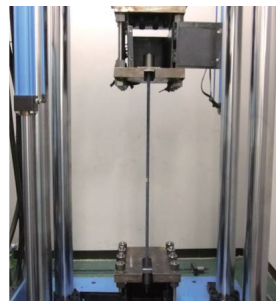
写真－4 引張試験の状況

表－4 本開発品の定着効率試験結果

No.	破断荷重(kN)	定着効率(%) ($\geq$ 対最大試験力95%)
1	422	106
2	420	105
3	407	102

4.2 定着具と緊張材を組み合わせた耐疲労性試験

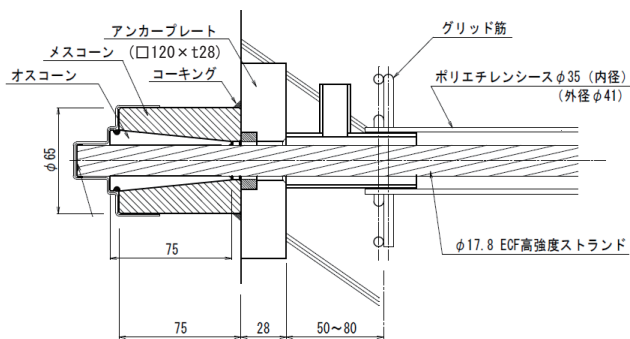
耐疲労性試験は、「FIP Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems⁵⁾」に規定される上限荷重0.65Pu、変動応力幅80MPaの条件で実施した。試験状況を写真－5に示す。その結果、200万回繰返し後も鋼材は破断しておらず、十分な疲労耐久性が示された。



4.3 定着具とコンクリートを組み合わせた荷重伝達試験

写真－5 耐疲労性試験の状況

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】⁴⁾に規定される荷重伝達試験を行い、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などを決定した(図－5)。



図－5 17.8mm ECF高強度ストランド用定着システム図(一例)

5. おわりに

JISに規定されている19本より17.8mmストランド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17.8mm ECF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。

本稿における17.8mm ECF高強度ストランドはプレキャスト部材などの横締めケーブルに使用されている被覆のないPCストランドとシースの組み合わせに対し、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、構造物のライフサイクルコストの低減および長寿命化に寄与することができれば幸いである。

参考文献

- 1) 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
- 2) 第23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：極太径29.0mmプレグラウト高強度PC鋼より線の開発，2014
- 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