

# 高強度鋼繊維補強モルタルの開発と プレストレストコンクリート構造物への適用に関する実験的研究

技術本部

技術研究所

桜田道博

## 1. はじめに

近年、高耐久、長寿命、ライフサイクルコストの低減、軽量化、耐震性の向上、桁高の低減など、コンクリート構造物への要求は多様化している。このような要求に対応する一つの方法として高強度コンクリート(一般に設計基準強度  $60\text{N/mm}^2$  以上)の使用が挙げられる。高強度コンクリートは高い圧縮強度を有するためコンクリート構造物の断面の縮小や軽量化が可能となり、地震時の慣性力の低減などが期待される。さらに、硬化体の組織が緻密で劣化因子が侵入しにくいこと、中性化、塩害、凍結融解などに対する耐久性が向上し、コンクリート構造物の長寿命化やライフサイクルコストの低減が可能になると考えられる。一方、高強度コンクリートの課題として、①ひび割れが発生しやすいこと、②破壊時に脆性的な挙動を示すこと、③フレッシュ時の施工性が低下すること、および④粗骨材を厳選する必要があることなどが挙げられる。そこで、これら高強度コンクリートの課題を解決する方法として粗骨材を使用しないこと、および鋼繊維を混入してひび割れと脆性的な破壊を抑制することを考え、鋼繊維を混入したセメント系の高強度材料(以降、高強度鋼繊維補強モルタル)を開発することとした(写真-1, 写真-2)。さらに、高強度鋼繊維補強モルタル(設計基準強度  $120\text{N/mm}^2$ )を有効に活用する方法として低桁高橋(桁高支間比  $1/30$  以下)や塔状構造物に適用することを考え、通常のコンクリートでは実現困難な付加価値の高いプレストレストコンクリート(以降、PC)構造物の実現を目指した(写真-3, 写真-4)。本研究では高強度鋼繊維補強モルタルを開発し、実際の PC 構造物に適用することを目的とし、各種材料試験、はり供試体による曲げ載荷実験、せん断載荷実験などを行った。本研究の成果をまとめ、早稲田大学大学院 創造理工学研究科の関博教授(現名誉教授)のご指導のもと博士論文を執筆したのでその概要を紹介する。

## 2. 高強度鋼繊維補強モルタルの開発

高強度鋼繊維補強モルタルの配合を決定し、材料特性を把握するため、試し練りと表-1 に示す材料試験を行った。なお、早期に強度を発現させること、およびクリープ・乾燥収縮によるプレストレスの低下を抑制するため、高強度鋼繊維補強モルタルでは蒸気養生を行うことを前提とした。試し練りおよび材料試験の結果から得られた知見を以下に示す。

- ①所要の強度(設計基準強度  $f_{ck} 120\text{N/mm}^2$ )、材料分離抵抗性、充てん性などを満足する配合として表-2 を決定した。
- ②同じ圧縮強度のコンクリートと比較すると、割裂引張強度は同程度、ヤング係数は15%程度低くなった。



写真-1 高強度鋼繊維補強モルタル



写真-2 鋼繊維

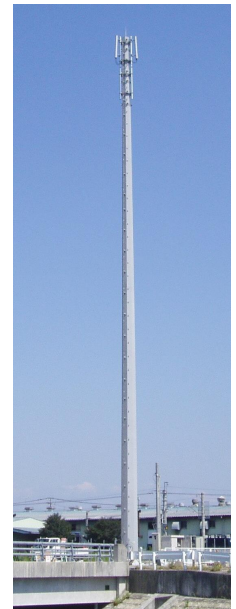


写真-4 塔状構造物



写真-3 低桁高橋(カムテックス常石栈橋)

表-1 材料試験の項目

試験項目	試験方法	備考
(1) 圧縮強度試験	JIS A 1108	円柱供試体( $\phi 10 \times 20\text{cm}$ )
(2) 静弾性係数試験	JIS A 1149	コンプレッションメータ使用
(3) 割裂引張強度試験	JIS A 1113	円柱供試体( $\phi 10 \times 20\text{cm}$ )
(4) 曲げ強度試験	JIS A 1106	角柱供試体
(5) クリープ試験	JIS 原案	
(6) 乾燥収縮試験	JIS A 1129	
(7) 促進中性化試験	JIS A 1153	
(8) 凍結融解試験	JIS A 1148	A 法(水中凍結水中融解)
(9) 塩分拡散係数試験	JSCE-G572	浸せき法

表-2 高強度鋼繊維補強モルタルの配合

$f_{ck}$ ( $\text{N/mm}^2$ )	スランブ フロー (mm)	水セメ ント比 (%)	Air (%)	鋼繊維 混入率 (vol.%)	単位量			
					水 ( $\text{kg/m}^3$ )	セメント* ( $\text{kg/m}^3$ )	細骨材 ( $\text{L/m}^3$ )	鋼繊維 ( $\text{kg/m}^3$ )
120	750±100	17	2.0	0.5	210	1235	369	40

\*セメントにはシリカフェーム混入セメントを使用

- ③蒸気養生直後から1年後までのクリープ係数および乾燥収縮ひずみはそれぞれ、0.75程度および  $400\mu$ 程度となった。
- ④高強度鋼繊維補強モルタルは中性化、凍結融解および塩害に対して十分な耐久性を有していた。

⑤以上の結果から、高強度鋼繊維補強モルタルを PC 構造物に適用する際に必要な材料特性が確認された。

### 3. 高強度鋼繊維補強モルタルを用いた部材の構造特性

高強度鋼繊維補強モルタルを実際の PC 構造物に適用するには、部材としての構造特性を把握する必要がある。そこで、PC はり供試体を製作し、曲げ載荷実験およびせん断載荷実験を行った。

#### 3.1 曲げ載荷実験

供試体は、鋼繊維の有無をパラメータとした 2 体とした。断面寸法は、幅 0.4m、桁高 0.4m、の I 形断面とし、支間は 12.0m、桁高支間比は 1/30 とした(図-1)。供試体の製作はプレキャストセグメント工法で行い、3つのプレキャストセグメントにポストテンション方式でプレストレスを導入して一体化した。載荷は単純支持した供試体の中央部に 2 点集中荷重を静的に作用させて行った。その際の純曲げ区間は 1m とした。曲げ載荷実験の結果から得られた知見を以下に示す。

①PC はり供試体のひび割れ発生モーメントおよび曲げ耐力は、通常のコンクリートを用いた PC はりと同様の設計手法で安全側に評価できることが確認された。

②曲げ破壊時の終局ひずみは圧縮強度をヤング係数で除した値とほぼ一致した。

③鋼繊維を混入することで、ひび割れ発生モーメント、曲げ耐力およびひび割れの分散性が向上した。また、曲げ破壊時の脆性的な破壊も大きく改善された。

④鋼繊維を混入していない供試体の曲げひび割れ幅は、コンクリート標準示方書の曲げひび割れ算定式とほぼ一致した。一方、鋼繊維を混入した供試体に関しては、鋼繊維がひび割れ間隔に及ぼす影響を考慮したひび割れ幅算定式を提案し、ひび割れ幅を適切に評価できることを確認した。

#### 3.2 せん断載荷実験

供試体はプレストレスの有無、鋼繊維の有無、せん断補強鉄筋の有無をパラメータとした 8 体とした。断面は、幅 0.10m、高さ 0.40m の矩形とし、支間は 2.4m とした(図-2)。曲げ破壊を先行させないため引張鋼材には公称直径 36mm の PC 鋼棒を 2 段に配置した。せん断載荷実験の結果から得られた知見を以下に示す。

①斜めひび割れ発生荷重およびせん断破壊荷重はコンクリート標準示方書に準拠して算出した計算値を上回っており、せん断耐力は通常の PC はりと同様の手法で安全側に評価できることが確認された。

②鋼繊維を混入することで、斜めひび割れ発生荷重およびせん断破壊荷重の向上が認められた。

③鋼繊維の混入がモルタルの負担するせん断力  $V_c$  に及ぼす影響、斜めひび割れの角度がせん断補強鉄筋の負担するせん断力  $V_s$  に及ぼす影響、および鋼繊維が負担するせん断力  $V_f$  を考慮したせん断耐力式を提案し、提案した式により高強度鋼繊維補強モルタルを用いた部材のせん断耐力を適切に評価できることを確認した。

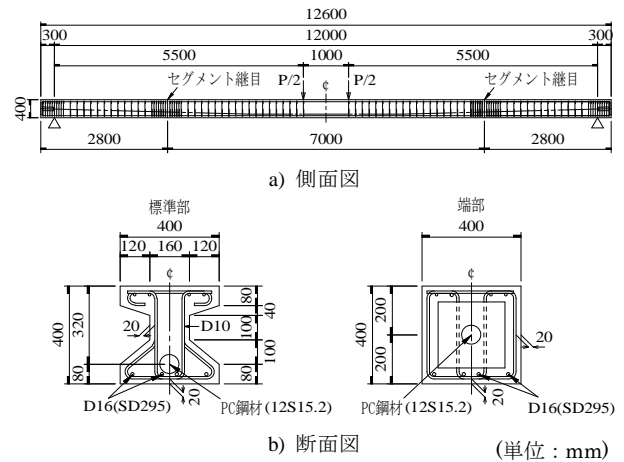


図-1 供試体一般図(曲げ載荷実験)

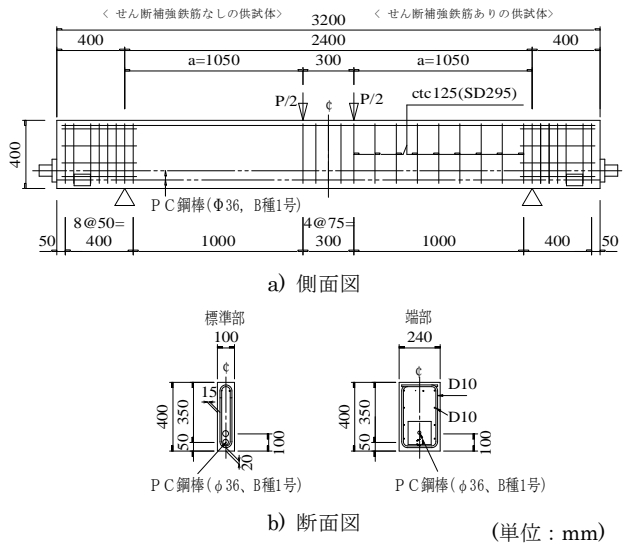


図-2 供試体一般図(せん断載荷実験)

## 4. まとめ

以上の材料試験、曲げ載荷実験およびせん断載荷実験に加え、試設計や施工性実験などを行い、高強度鋼繊維補強モルタルを用いた PC 構造物の実現可能性を検討した。その結果、桁高支間比が 1/47 の低桁高橋梁や、海上の厳しい塩害環境においても高い耐久性を有する PC 橋が実現した(写真-3)。また、高さ 40m の携帯電話のアンテナ塔にも適用され、部材の薄肉化、それに伴う軽量化、架設の簡素化および地震時慣性力の低減などが可能となり、スレンダーで景観性の良い塔状構造物が実現した(写真-4)。以上より、高強度鋼繊維補強モルタルを用いることで、通常のコンクリートでは実現困難な付加価値の高い PC 構造物を実現できることが確認された。

**Key Words** : 高強度鋼繊維補強モルタル, クリープ, 乾燥収縮, 塩分拡散係数, 曲げひび割れ幅, 曲げ耐力, せん断耐力



桜田道博