

高強度繊維補強モルタルを使用した PC 構造物

桜田道博*1・大山博明*2・森 拓也*3・二羽淳一郎*4

概要 設計基準強度が 120 MPa の高強度繊維補強モルタルを開発し、これを低桁高 PC 橋や塔状構造物に適用するための検討を行った。高強度繊維補強モルタルの各種材料試験、PC 梁供試体や塔状供試体の載荷実験、等を行った結果、高強度繊維補強モルタルを使用した低桁高 PC 橋および塔状構造物の実用化は十分可能であることが確認された。高強度繊維補強モルタルは低桁高 PC 橋および塔状構造物に実際の構造物として採用され、通常のコンクリートでは不可能な PC 構造物を経済的に実現できることが確認された。

キーワード：高強度繊維補強モルタル、クリープ、乾燥収縮、塩分拡散係数、低桁高橋、桁高支間比、塔状構造物

1. はじめに

近年、セメントや化学混和剤等の高性能化により、設計基準強度が 100 MPa を超える高強度コンクリートが実用化されている。高強度コンクリートにおいて粗骨材は流動性の低下、強度のばらつき、および強度の頭打ち現象の原因となることがあり、高強度になるほど粗骨材を厳選する必要がある。そこで、粗骨材を使用せず、代わりに鋼繊維を混入したセメント系の高強度材料（以降、高強度繊維補強モルタル）を開発した^{1),2)}。高強度繊維補強モルタルおよび鋼繊維の写真をそれぞれ、写真-1 および写真-2 に示す。高強度繊維補強モルタルは、粗骨材を使用しないため、骨材をそれほど厳選することなく、優れた流動性、自己充てん性および設計基準強度 120 MPa の高強度が得られる。また、鋼繊維を添加していることから自己収縮等によるひび割れを防止することや高強度コンクリート特有の脆性的な破壊形態を防止することが可能になる^{1)~4)}。高強度繊維補強モルタルと同様に、粗骨材を使用せず、鋼繊維を混入した超高強度繊維補強コンクリート（以降、UFC）が既に開発されているが^{5),6)}、高強度繊維補強モルタルは UFC ほどの高強度が発現しない点と、部材に鉄筋を配置して鋼繊維の混入量を少なくすることで経済性を高めた点が UFC と異なっている。

高強度繊維補強モルタルの開発にあたっては、各種材料試験を行い、強度、耐久性、クリープ・乾燥収縮性状、等を確認した。また、高強度繊維補強モルタルの適用方法として、低桁高のプレストレストコンクリート（以降、PC）橋および塔状構造物を考え、載荷実験によりこれらを実用化するための検討を行った。高強度繊維補強モ



写真-1 高強度繊維補強モルタル



写真-2 鋼繊維

ルタルを使用した低桁高 PC 橋および塔状構造物は、実際の構造物に採用され、本モルタルを使用することで部材の薄肉化、低桁高化、および高耐久性化が可能となり、通常のコンクリートでは実現できない構造物を経済的に実現できることが確認された。本文では高強度繊維補強モルタルの材料特性、PC 部材としての特性および実際の PC 構造物に適用した事例を紹介する。

2. 高強度繊維補強モルタルの性状

2.1 使用材料および配合

高強度繊維補強モルタルの使用材料および示方配合の例をそれぞれ、表-1 および表-2 に示す。高強度繊維補強モルタルは経済性を考慮し、シリカフェーム混入セメント、天然細骨材、鋼繊維および高性能減水剤等をそれぞれ計量した後に練り混ぜるノンプレミックス方式とし、練混ぜにも通常のコンクリート用の実機ミキサを使用す

*1 さくらだ・みちひろ/㈱ピーエス三菱 技術本部 土木技術部 主任研究員（正会員）

*2 おおやま・ひろあき/㈱ピーエス三菱 技術本部 土木技術部 グループリーダー（正会員）

*3 もり・たくや/㈱ピーエス三菱 名古屋支店長

*4 にわ・じゅんいちろう/東京工業大学大学院教授（正会員）

表-1 使用材料 (例)

材 料	記号	仕 様
セメント	C	シリカフェウムセメント, 密度 3.08 g/cm ³
鋼繊維	SF	引張強度 2 340 MPa, アスペクト比 81 長さ 13 mm, 径 0.16 mm, 密度 7.85 g/cm ³
細骨材	S	砕砂 (東根産), 表乾密度 2.57 g/cm ³ 吸水率 1.03%, 最大寸法 5 mm
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系

表-2 示方配合 (例)

f'_{ck} (MPa)	W/C (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)				SP/C (%)
			W	C	S	SF*	
120	17	2.0	210	1 235	948	40	3.0

*鋼繊維混入率 0.5 vol.%

ることとした。また、本モルタルを使用した部材には通常のコンクリート部材と同様、鉄筋を配置し、鋼繊維の混入率を 0.5 vol.% まで少なくすることでさらに経済性を高めた。なお、鋼繊維は自己収縮等によるひび割れと、高強度コンクリート特有の脆性的な破壊を防止する目的で混入しており、混入率が 0.5 vol.% で鉄筋を配置した部材に収縮ひび割れが発生しないこと、および破壊形態が脆性的でないことは施工実験、各種載荷実験および実構造物の製作により確認した^{2)~4)}。高強度繊維補強モルタルの養生方法は、早期に強度を発現させること、および自己収縮によるひび割れを防止するため図-1 に示す

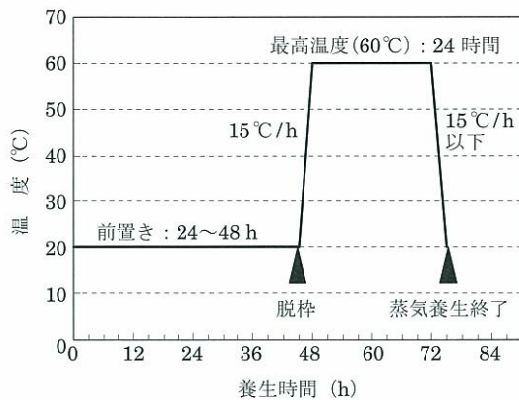


図-1 養生方法

表-3 強度性状

		高強度繊維補強 モルタル	普通 コンクリート	比
設計基準強度	MPa	120	40	3.0
引張強度	MPa	8.0	2.7	3.0
曲げ強度	MPa	15.0	5.3	2.8
ヤング係数	GPa	40	33	1.2

蒸気養生を行うことを前提とした。

2.2 強度性状

高強度繊維補強モルタルの蒸気養生直後の強度性状を表-3 に示す。高強度繊維補強モルタルの各強度は、設計基準強度が 120 MPa (配合強度で 150 MPa)、曲げ強度が 15 MPa、引張強度が 8.0 MPa であり、通常の PC 橋に使用するコンクリートの 3 倍程度の強度を有している。なお、表-3 の強度性状は鋼繊維混入率が 0.5 vol.% (表-2 の配合) における値であるが、鋼繊維混入率が大きくなっても曲げ強度が大きくなるのみで、圧縮強度、引張強度およびヤング係数はほとんど変化しないことが確認されている。

2.3 耐久性

促進中性化試験、凍結融解試験および塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験 (浸せき法) の結果をそれぞれ、図-2、図-3 および表-4 に示す。これらの耐久性に関する試験結果は表-2 の配合で鋼繊維を混入しない条件で

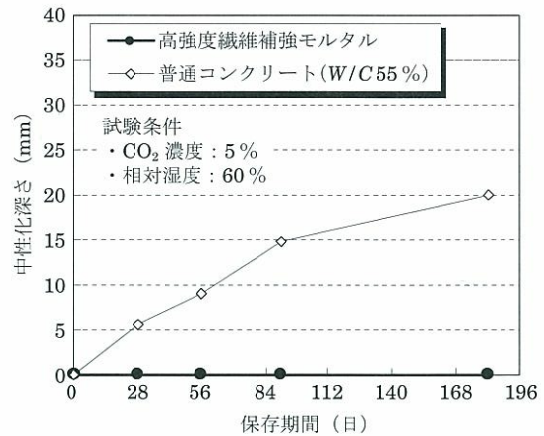


図-2 促進中性化試験結果

Prestressed Concrete Structures made with High Strength Fiber Reinforced Mortar

By M. Sakurada, H. Ohyama, T. Mori and J. Niwa

Concrete Journal, Vol.45, No.7, pp.46~53, Jul. 2007

Synopsis High strength fiber reinforced mortar was developed and its applicability for towers and low height bridge girders was studied. Various material experiments and the loading experiments of tower and girder specimens were conducted. As a result, it showed that it is possible to construct the towers and low height bridge girders by high strength fiber reinforced mortar. High strength fiber reinforced mortar was already applied to the low height bridge girders and towers. In addition, it can be economically applied to the prestressed concrete structures whereas ordinary concrete cannot be adopted.

Keywords : high strength fiber reinforced mortar, creep, drying shrinkage, diffusion coefficient of chloride ions, low height bridge girders, girder height to span ratio, tower structures

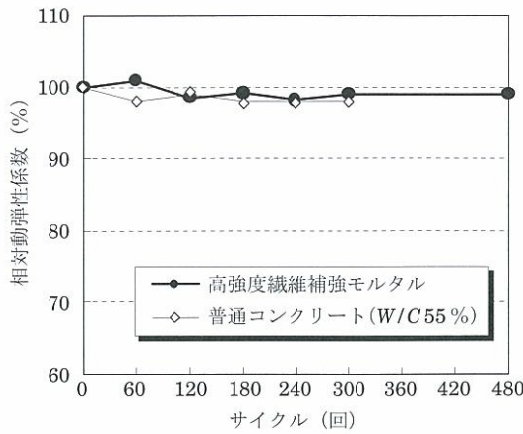


図-3 凍結融解試験結果 (A 法)

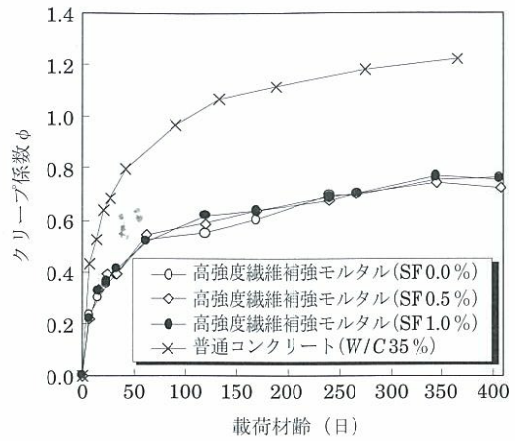


図-5 クリープ試験結果

表-4 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm²/年)

高強度繊維補強モルタル	普通コンクリート (W/C 36%)
0.0217*	0.463**

*JSCE-G 572-2003 により求めた試験値,

** $\log D_p = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5$ により算出¹⁾

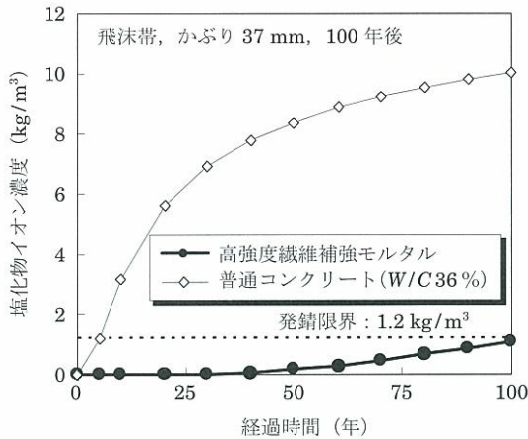


図-4 鉄筋位置の塩化物イオン濃度

行ったものである。高強度繊維補強モルタルは、水セメント比が 17% と小さいため、普通コンクリートに比べ、中性化、凍結融解および塩害に対して高い耐久性を有していることがわかる。特に、見掛けの塩分拡散係数は 0.0217 cm²/年で、通常の PC 橋に使用されるコンクリート (W/C=36%)¹⁾ の 1/20 程度となっている。コンクリート標準示方書⁸⁾ に準拠して、飛沫帯がかぶり 37 mm の条件で、鋼材位置の塩化物イオン濃度の経時変化を算出した結果を図-4 に示す。鋼材位置の塩化物イオン濃度は 100 年後においても発錆限界の 1.2 kg/m³ 以下であり、高強度繊維補強モルタルは、かぶり 37 mm 以上あれば飛沫帯においても 100 年の耐久性を有すると考えられる。

2.4 クリープ・乾燥収縮性状

クリープ試験および乾燥収縮試験の結果をそれぞれ、図-5 および図-6 に示す。比較のため普通コンクリート (W/C=35%、単位水量 150 kg/m³) の試験結果も示す。ここで、高強度繊維補強モルタルの試験結果は蒸気養生

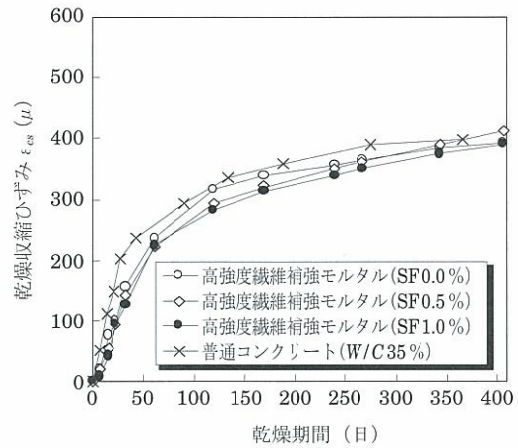


図-6 乾燥収縮試験結果

終了後の材齢 3 日からの値であり、普通コンクリート試験結果は標準養生終了後の材齢 28 日からの値である。高強度繊維補強モルタルのクリープ係数は 0.75 程度であり、普通コンクリートの 6 割程度となっている。一方、乾燥収縮ひずみは 300~400 μ 程度であり、普通コンクリートと同程度の値になっている。高強度繊維補強モルタルに関しては表-2 の配合で鋼繊維の混入率を 0 vol.%、0.5 vol.% および 1.0 vol.% とした試験を行ったが、鋼繊維の混入率によるクリープ係数および乾燥収縮ひずみの違いはほとんど認められず、鋼繊維の混入率がクリープおよび乾燥収縮性状に及ぼす影響はほとんどないことが確認された。

3. PC 部材としての性状

高強度繊維補強モルタルを低桁高 PC 橋や塔状構造物等の実際の PC 構造物に適用するには、PC 部材としての性状を確認する必要がある。そこで、高強度繊維補強モルタルで PC 梁供試体および塔状供試体を製作し、載荷実験を行った。

3.1 PC 梁供試体の曲げ破壊実験^{2),3)}

(1) 実験方法

高強度繊維補強モルタルを使用した PC 梁の曲げ性状を確認するため、鋼繊維の有無をパラメータとした供試

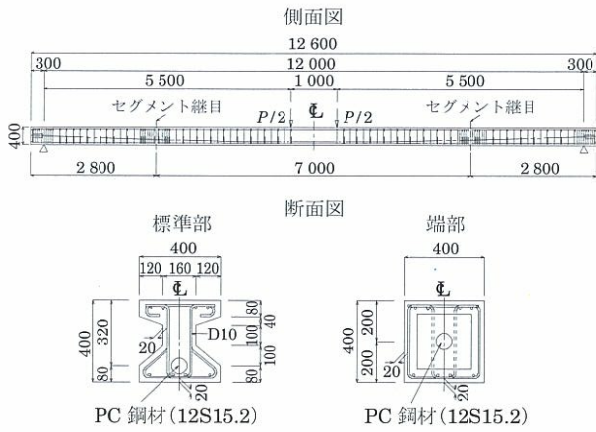


図-7 供試体一般図

表-5 供試体の諸元

供試体	断面寸法		ファイバー 添加量 (vol.%)	桁高 支間比	支間 (m)	有効 緊張力 (kN)
	幅 (m)	高 (m)				
B-4	0.40	0.40	0.0	1/30	12.0	1886
B-5	0.40	0.40	1.0	1/30	12.0	1886

体を製作し、荷重実験を行った。供試体一般図および供試体の諸元をそれぞれ、図-7および表-5に示す。供試体は、3ブロックに分け、プレキャストセグメント工法で製作した。供試体の桁高支間比は1/30とした。プレストレスはポストテンション方式で導入した。

(2) 実験結果

曲げ破壊実験の結果を図-8に示す。高強度繊維補強モルタルを使用したPC梁供試体のひび割れ発生荷重および曲げ破壊荷重は、鋼繊維の有無にかかわらず計算値を上回った。この結果より、高強度繊維補強モルタルを使用したPC梁でも、通常のPC梁と同様、平面保持の仮定や破壊抵抗モーメントにより、ひび割れ発生モーメントや曲げ耐力を安全側に評価できることが確認された。供試体の破壊状況を写真-3に示す。鋼繊維を混入していない供試体は断面全体が爆裂する脆性的な破壊形態であったが、鋼繊維を混入した供試体は梁上縁の圧壊で破壊しており、脆性的な破壊は認められなかった。これにより、鋼繊維を混入することで高強度コンクリート特有

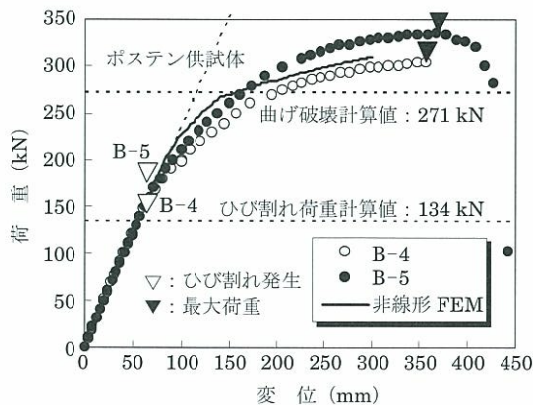


図-8 荷重と変位との関係

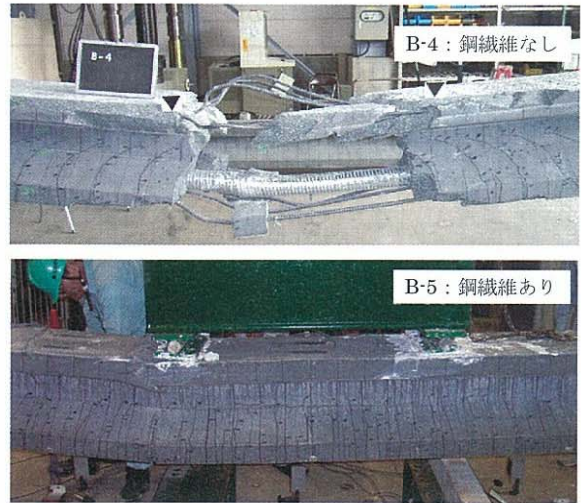


写真-3 破壊状況

の脆性的な破壊形態を改善できることが確認された。この他、鋼繊維の混入により、曲げ耐力やひび割れ分散性が向上することも確認された。

3.2 PC梁供試体のせん断破壊実験^{2),3)}

(1) 実験方法

高強度繊維補強モルタルを使用したPC梁部材のせん断性状を確認するため、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、等をパラメータとした供試体を製作し、荷重実験を行った。せん断破壊実験における供試体の一般図および諸元をそれぞれ、図-9および表-6に示す。

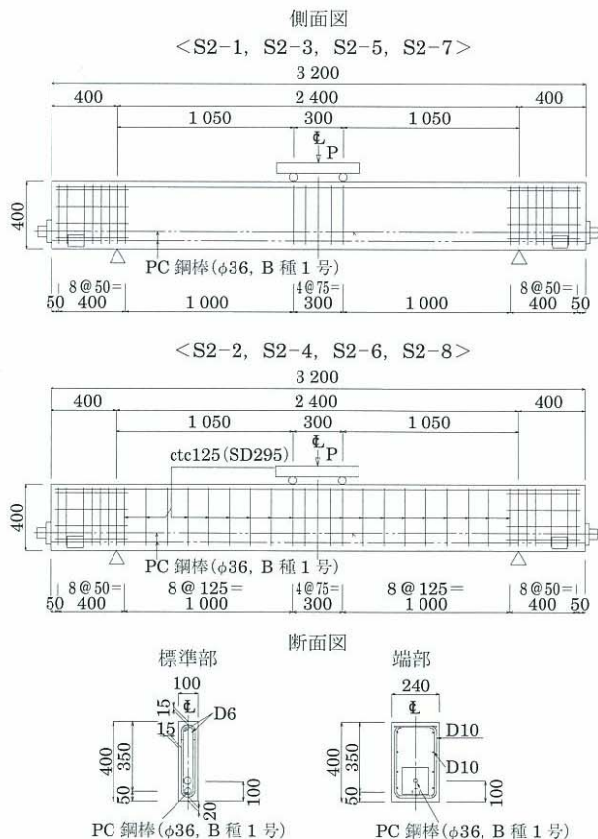


図-9 供試体一般図

表-6 供試体の諸元

供試体番号	部材種類	SF混入量 (vol.%)	有効高 d (m)	a/d	せん断補強筋	有効緊張力 P_e (kN)
S 2-1	RC	0.0	0.35	3.0	無	0
S 2-2	RC	0.0	0.35	3.0	D 10 c/c 125	0
S 2-3	RC	0.5	0.35	3.0	無	0
S 2-4	RC	0.5	0.35	3.0	D 6 c/c 125	0
S 2-5	PC	0.0	0.35	3.0	無	155
S 2-6	PC	0.0	0.35	3.0	D 10 c/c 125	155
S 2-7	PC	0.5	0.35	3.0	無	155
S 2-8	PC	0.5	0.35	3.0	D 6 c/c 125	155

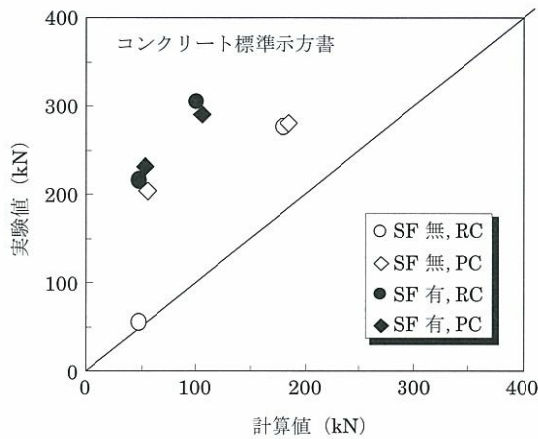


図-10 せん断破壊実験の結果

(2) 実験結果

せん断破壊実験の結果を図-10に示す。横軸の計算値はコンクリート標準示方書に準拠して求めたせん断耐力の計算値で、縦軸は実験により得られたPC梁供試体のせん断耐力である。図-10より、実験値はすべて計算値を上回っており、高強度繊維補強モルタルを使用したPC梁のせん断耐力は、コンクリート標準示方書のせん断耐力算定式で安全側に評価できることが確認された。また、鋼繊維を混入した供試体(図中の黒印)のせん断耐力は、計算値に比べて大きく、鋼繊維の混入によりせん断耐力が向上することも確認された。せん断性状とは直接は関係ないが、鋼繊維を混入しなかった供試体では載荷前に収縮ひび割れが発生した。鋼繊維を0.5 vol.%混入した供試体には収縮ひび割れは認められなかったことから、鋼繊維の混入は収縮ひび割れの防止にも効果があると考えられる。

3.3 塔状供試体の載荷実験⁴⁾

(1) 実験方法

高強度繊維補強モルタルの塔状構造物としての性状を確認するため、塔状供試体を製作し、載荷実験を行った。供試体一般図を図-11に示す。供試体はプレキャストセグメント工法で製作し、プレキャストセグメントはフーチング部に定着した鉛直方向のPC鋼棒($\phi 32$ mm)によりプレストレスを導入することで一体化した。PC鋼棒の有効緊張力は6972 kN (=581 kN/本 \times 12本)と

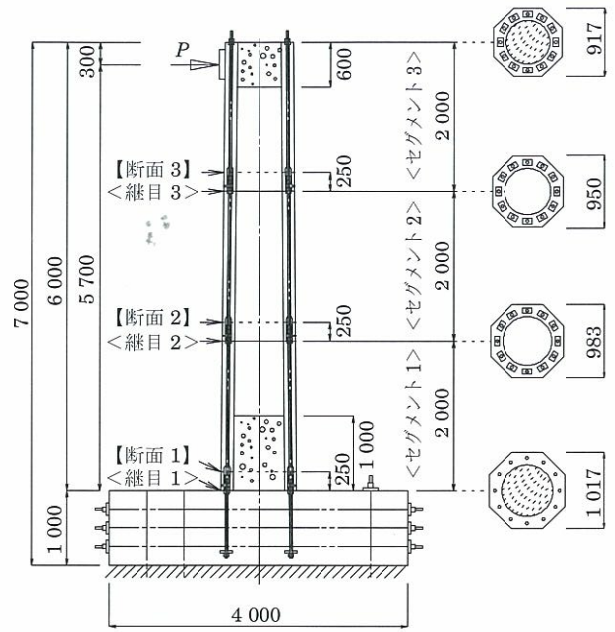


図-11 供試体一般図

した。

(2) 実験結果

実験結果を図-12および表-7に示す。ひび割れ発生荷重、PC鋼材の降伏荷重および曲げ破壊荷重の計算値は通常のPC部材と同様、平面保持の仮定および破壊抵抗モーメントにより算出した。図-12より、塔状供試体のひび割れ発生荷重、PC鋼材降伏荷重および曲げ破壊荷重は計算値を上回っており、高強度繊維補強モルタルを使用した塔状構造物も通常のPC部材と同様の手法で、曲げ性状を安全側に評価できることが確認された。供試体の破壊状況を写真-4に示す。供試体の破壊形態は、PC鋼棒が降伏した後に圧縮縁が圧壊する曲げ引張破壊

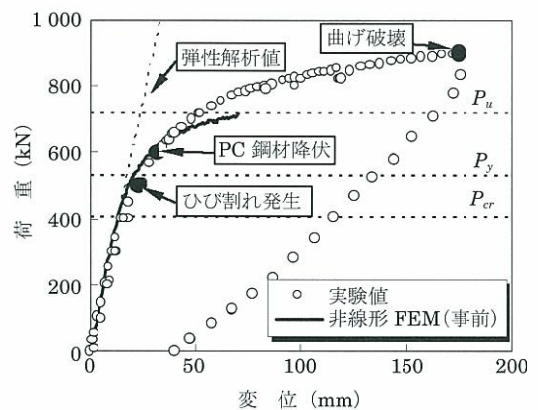


図-12 荷重-変位曲線の結果

表-7 実験値と計算値との比較

	実験値 (kN)	計算値 (kN)	比
ひび割れ発生荷重 P_{cr}	499	404	1.24
PC鋼材降伏荷重 P_y	597	527	1.13
曲げ破壊荷重 P_u	899	719	1.25



写真-4 破壊状況（基部圧縮縁）

であった。鋼繊維の混入率は 0.5 vol.% であったが PC 梁供試体と同様、断面全体が破壊するような脆性的な破壊は認められなかった。

4. 適用事例

4.1 低桁高 PC 橋への適用

PC 橋は桁高が低くなると、図-13 に示すとおり荷重により発生する曲げ応力度が大きくなるため、これを打ち消すための大きなプレストレスを導入する必要がある。大きなプレストレスを導入するには、主桁の強度を大きくすることが有効であり、高強度繊維補強モルタルを PC 橋へ使用することで、桁高支間比が 1/40 程度の低桁高橋を実現できる（通常の PC 橋の桁高支間比は 1/20 程度）。また、桁本数を減らすことができるため、経済的な低桁高橋も可能となる。これまでの施工実績を表-8 に示す。

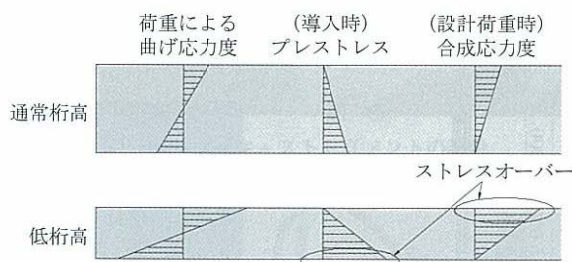


図-13 低桁高 PC 橋の応力状態

(1) 豆飼橋¹⁰⁾

豆飼橋の完成状況、打設状況、架設状況をそれぞれ、写真-5、写真-6 および写真-7 に示す。豆飼橋は橋長 26.0 m、支間 25.2 m、幅員 6.0 m の単純 PCT 桁橋であり、高強度繊維補強モルタルが適用されたはじめての低桁高 PC 橋である。原案は通常の PCT 桁橋（設計基



写真-5 豆飼橋



写真-6 主桁打設状況



写真-7 架設状況

表-8 高強度繊維補強モルタルを使用した低桁高 PC 橋の実績

	豆飼橋	皆喜橋	カムテックス社の常石栈橋
橋種	道路橋 (A 活荷重)	道路橋 (B 活荷重)	栈橋 (群集荷重)
構造形式	単径間 PCT 桁橋 (ポステン方式)	2 径間単純 PC 床版橋 (プレテン方式)	単径間 PC 床版橋 (ポステン方式)
設計基準強度	120 MPa	120 MPa	120 MPa
鋼繊維混入率	0.5 vol.%	1.0 vol.%	0.5 vol.%
橋長	26.0 m	17.7 m	26.4 m
支間長	25.2 m	8.8 m	25.6 m
桁高	1.05 m (支間中央部), 0.85 m (端部)	0.3 m	0.55 m
桁高支間比	1/24~1/30	1/29	1/47
発注者	常陸太田市	備前市	(株)カムテックス
工期	2005.12.7~2006.3.30	2006.2.15~2006.5.31	2006.7.10~2006.12.20

準強度 40 MPa) であったが、高強度繊維補強モルタルを使用することで桁端部の桁高を低くすることができ、アプローチ部の土工事を減らすことが可能となった。本橋はプレキャストセグメント工法で施工され、移動式クレーンにより架設した。完成から1年後の豆飼橋の外観を写真-8に示す。完成から1年が経過した豆飼橋において、主桁表面の点錆やひび割れ等の不具合は認められなかった。

(2) 皆喜橋¹¹⁾

皆喜橋の完成状況を写真-9に示す。皆喜橋は、損傷したRC上部工を撤去し、架け替える工事であったが、有効幅員が4.3mから5.0mに拡幅されること、および下部工はそのまま使用されることから、上部工はできる限り軽量化する必要があった。しかしながら、本橋は飛沫帯に位置するため、道路橋示方書の規定に準拠すると、かぶりを70mmとしなければならず、上部工の軽量化が困難であった。そこで、かぶりが40mm程度でも100年の耐久性を有し、桁高の低減により上部工を軽量化できる高強度繊維補強モルタルを用いた低桁高PC橋



写真-8 1年後の外観



写真-9 皆喜橋



写真-10 カムテックス社の常石栈橋

が採用された。プレストレスの導入はプレテンション方式により行われ、架設は移動式クレーンにより行われた。

(3) カムテックス社の常石栈橋

カムテックス社の常石栈橋の完成状況を写真-10に示す。本橋は海上の飛沫帯に位置する栈橋である。以前は鋼製の栈橋であったが、腐食による損傷が激しかったために架け替えることとなった。元の鋼製栈橋と同程度の桁高で塩害に対して100年の耐久性を有し、メンテナンスをほとんど必要としないことから、高強度繊維補強モルタルを使用した低桁高PC橋が採用された。支間25.6mに対し桁高は550mmであり、道路橋ではないが桁高支間比1/47を実現している。低桁高を実現するため、主桁には19S15.2のPCケーブルを4本配置した。プレストレス導入時の主桁の圧縮応力度は35MPa程度であり、通常のコンクリートでは実現できないPC構造物といえる。

4.2 塔状構造物への適用

高強度繊維補強モルタルは塔状構造物にも適用され、高さ40mの携帯電話のアンテナ塔に採用された(図-14、写真-11)。携帯電話のアンテナ塔は一般に鋼製の塔とされるが、高強度繊維補強モルタルを使用することで、鋼製の塔に比べ耐久性が高く、経済的となることから採用された。八角形断面で長さが5mのプレキャストセグメントを工場で製作し、フーチングに定着した鉛直方向のPC鋼棒でプレストレスを導入して構築した(写真-12~写真-15)。本アンテナ塔の径は、基部で1167mm、頂部で500mmであり、高強度繊維補強モルタルを用いることにより鋼製塔と同等のスレンダーな形状が実現した。また、通常のコンクリートでは部材厚が250mm以上となるが、本アンテナ塔では部材厚を170mm

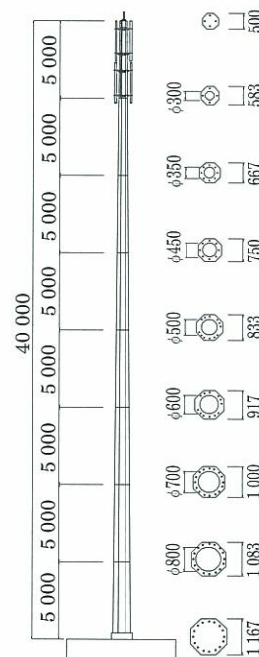


図-14 一般図

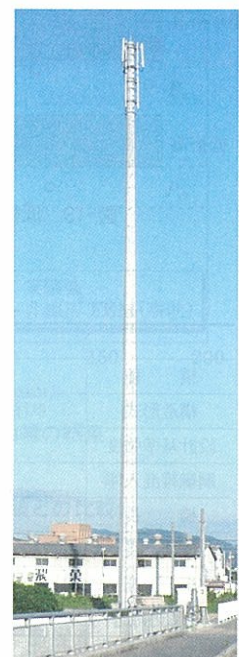


写真-11 アンテナ塔



写真-12 打設状況



写真-13 プレキャストセグメント完成状況



写真-14 プレキャストセグメントの架設



写真-15 緊張状況

程度まで薄くすることができ、部材の薄肉化に伴う軽量化により、架設の簡素化と耐震性の向上が可能となった。市街地に建設されるアンテナ塔では景観性が重視される

場合も多く、ボルト継目がない、このような塔状構造物は景観性の面でも有効と考えられる。

5. まとめ

設計基準強度が 120 MPa の高強度繊維補強モルタルの材料特性、PC 部材としての特性および実際の PC 構造物に採用された事例を紹介した。各種材料試験と載荷実験の結果より、粗骨材を使用せず、代わりに鋼繊維を混入した高強度繊維補強モルタルは、優れた流動性、自己充てん性および高強度を有し、自己収縮によるひび割れや脆性的な破壊も防止できることが確認された。また、高強度繊維補強モルタルが使用された施工実績より、桁高支間比が 1/47 の低桁高橋梁、高い耐久性を有する橋梁およびスレンダーな塔状構造物など、通常のコンクリートでは不可能な PC 構造物を経済的に実現できることが実証された。このように、高強度コンクリートや高強度材料を PC 構造物に使用するメリットは大きく、今後、高強度材料を PC 構造物に適用する事例は増えると考えられる。本文が高強度材料を使用した PC 構造物の普及の一助となれば幸いである。

謝 辞 高強度繊維補強モルタルの開発にあたっては宇部三菱セメント(株)の千葉博英氏、中永秀彦氏、(株)宇部三菱セメント研究所の大西利勝氏および田中久順氏に多くの助言をいただいた。ここに、ご協力頂いた関係各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 雨宮美子・桜田道博・渡辺浩良・森 拓也：超高強度繊維補強モルタルの性状とそれを用いた低桁高 PC 橋の試設計，プレストレストコンクリート技術協会，第 13 回シンポジウム論文集，pp.585～588，2004.10
- 2) 桜田道博・雨宮美子・渡辺浩良・森 拓也：ダックスビーム工法（超高強度低桁高 PC 橋）の開発，ピーエス三菱技報，3号，2005.10
- 3) 雨宮美子・桜田道博・森 拓也・二羽淳一郎：超高強度繊維補強モルタルを用いた PC 梁の性状，コンクリート工学年次論文集，pp.1657～1662，2005.7
- 4) 桜田道博・大山博明・森 拓也・二羽淳一郎：超高強度繊維補強モルタルを使用した塔状構造物に関する実験的研究，プレストレストコンクリート技術協会，第 15 回シンポジウム論文集，pp.449～454，2006.10
- 5) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー113，2004.9
- 6) 二羽淳一郎ほか：高強度コンクリート・高機能コンクリートの PC 橋への適用，プレストレストコンクリート技術協会，第 35 回技術講習会資料，pp.91～108，2007.2
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編，pp.171～175，2002.3
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]，pp.24～28，2002.3
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書 [施工編]，p.80，2002.3
- 10) 宮前俊之・菊池拓夫・木村和典・小西隆宏：豆飯橋の設計，プレストレストコンクリート技術協会，第 15 回シンポジウム論文集，pp.29～32，2006.10
- 11) 岩井利裕・亀沢直弘・藤岡 靖・石田邦洋：超高強度繊維補強モルタルを用いた PC プレテンション桁の施工―皆喜橋―，プレストレストコンクリート技術協会，第 15 回シンポジウム論文集，pp.33～36，2006.10