超高強度高じん性複合材料を用いた低桁高 PC 橋の試設計

(株)ピーエス三菱　正会員○桜田道博　　(株)ピーエス三菱　正会員　雨宮美子
(株)ピーエス三菱　正会員　渡辺浩良　　(株)ピーエス三菱　正会員　大浦　隆

１．はじめに

近年，高強度で高じん性を有するセメント系複合材料が各機関で開発されており，その適用方法もさかんに検討されている[1)]．特にフランスでは BSI(Beton Special Industiel)や RPC(Reactive Powder Concrete)など，圧縮強度が 150MPa を超えるものも開発されており，これらに関する指針案(超高強度繊維補強コンクリート指針案)も出版されている．しかしながら，これまでのセメント系複合材料は，高価，練混ぜ・施工・養生が煩雑，等の理由であまり普及していないのが現状であり，安価で汎用性があるセメント系複合材料があればその適用範囲はさらに拡大すると考えられる．そこで，市販のシリカフューム混入セメントおよび天然普通骨材使用した比較的安価で，練混ぜ・施工・養生が容易な超高強度・高じん性材料を開発した(以降，超高強材料と呼ぶ)．この超高強度材料は，写真-1 に示す厚さ 9cm，高さ 3m のモニュメントに使用され，良好な施工性と超高強度(圧縮強度 150MPa 以上)を有することが確認されている．安価で汎用性のある本材料の適用方法はいくつか考えられるが，高い圧縮強度が要求される低桁高 PC 橋への適用が最も効果的と考え，本材料を用いた低桁高 PC 橋の試設計を行った．本報告では，超高強度材料の概要および本材料を用いた低桁高 PC 橋の試設計について述べる．

写真-1　モニュメント

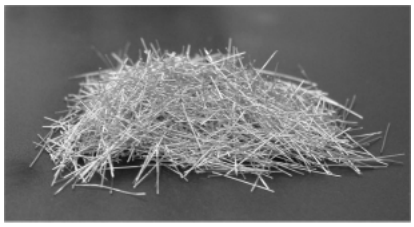

写真-2　スチールファイバー

表-1　超高強度材料の強度性状

	超高強度複合材料	通常コンクリート
圧縮強度　σ'_c	150MPa 以上	60MPa
曲げ強度　σ_b	20MPa 以上	6.4MPa
引張強度　σ_t	9.0MPa	3.5MPa
弾性係数　E_c	45GPa	35GPa

表-2　配合例

W/C (%)	繊維量 (vol.%)	単位量(kg/m^3)			
		W	C	S	SF
20%	1.0～3.0	213	1065	1065	79～237

*W：水，C：セメント，S：細骨材，SF：スチールファイバー

２．超高強度高じん性複合材料

超高強度材料は，セメント，細骨材，およびスチールファイバー(写真-2)などで構成されており，粗骨材は含んでいない．本材料の強度性状および配合例をそれぞれ，表-1 および表-2 に示す．本材料の特徴は以下のとおりである．

(1) 超高強度：150MPa 以上の圧縮強度が発現する．

(2) 高じん性：ひび割れ発生後のじん性が大きいことから鉄筋を省略することも可能となる．鉄筋が不要となることにより，部材を薄くでき，構造物の軽量化も図れる．

(3) 高耐久性：W/C が 20%以下と小さいため，優れた中性化抵抗性，塩分浸透抵抗性を有する．

(4) 経済性：市販のシリカフューム混入セメントと天然普通骨材を使用し，通常のミキサで練混ぜできることから，比較的安価となる．

(5) 施工性：粗骨材を混入していないこと，およびシリカフュームの分散性がよいセメントを使用していることから，低水セメント比でも施工性は良好である．

(6) 練混ぜ：特殊なミキサは必要なく，通常のコンクリートミキサで練混ぜ可能である．そのため，プレキャスト製品だけでなく，場所打ち工法へも適用できると考えられる．

キーワード　超高強度，高じん性，セメント系複合材料，スチールファイバー，低桁高，PC 橋
連絡先　〒104-8215　東京都中央区銀座 7-16-12　(株)ピーエス三菱土木技術部第一部　TEL 03-4562-3071

３．低桁高 PC 橋の試設計

通常，低桁高 PC 橋(桁高支間比が 1/25 程度以下)では，大きなプレストレスを導入する必要があるため，プレストレス導入時および設計荷重作用時に，主桁の圧縮応力度が許容応力度を上回る場合がある．そのため，これまでの低桁高工法では，主桁の圧縮応力度を打ち消すための作業や補強材が必要となり，低桁高 PC 橋は通常桁高の PC 橋に比べ，コスト高となる傾向にあった．そこで，高い圧縮応力度を有する超高強度材料を低桁高 PC 橋へ適用することを考え，その適用性を試設計により検討した．

(1) 設計条件

設計条件および材料の設計用値をそれぞれ，表-3 および表-4 に示す．試設計の対象は支間 45.0m，幅員 12.0m の単純桁橋とした．施工方法は，プレキャストセグメント(主桁 3 分割)を工場製作し，現場ヤードでプレストレスを導入し一体化して架設する方法とした．主桁には超高強度材料を，場所打ちの間詰め部には普通コンクリート(f'_{ck}80MPa)を使用した．設計用値は，フランスの超高強度繊維補強コンクリート指針案 [2]およびコンクリート標準示方書に準じて定めた．超高強度材料の許容圧縮応力度は $0.4f'_{ck}$ とした．本検討では超高強度材料を使用することで桁高(桁高支間比)をどの程度まで小さくできるかを検討した．

表-3　設計条件

形　　式	ポストテンション単純桁橋
工　　法	プレキャストセグメント工法
活 荷 重	B 活荷重
橋　長	46.0m
桁　長	45.9m
支　間 L	45.0m
幅　員	12.0m
斜　角	90°00’00”

表-4　設計用値

		単位	主　桁 (超高強度材料)	場所打ち部 (通常ｺﾝｸﾘｰﾄ)
設計基準強度 f'_{ck}		MPa	150	40
プレストレス導入時圧縮強度		MPa	60.0	34.0
許容曲げ圧縮応力度	プレ導入直後	MPa	60.0	19.0
	設計荷重時	MPa	60.0	14.0
許容曲げ引張応力度	プレ導入直後	MPa	-2.5	0.0
	設計荷重時	MPa	-2.5	0.0
許容せん断応力度	設計荷重時	MPa	3.75	0.55
	終局荷重時	MPa	6.50	5.3
許容斜引張応力度	死荷重時	MPa	3.75	1.0
	設計荷重時	MPa	3.75	2.0
弾性係数 E_c		GPa	45	31
クリープ係数 ϕ		－	1.0	2.6
乾燥収縮 ε_{cs}		μ	150	200

(2) 試設計結果

試設計の結果得られた低桁高 PC 橋の橋梁一般図および合成応力度をそれぞれ，図-1 および表-5 に示す．超高強度材料の許容圧縮応力度が 60MPa と大きいため，大容量 PC ケーブル(19S15.2)を主桁 1 本あたり 4 本配置することができ，桁高を 1.28m(桁高支間比で 1/35)まで低減することができた．応力的には，さらに桁高を小さくすることも可能であったが，たわみ制限(L/500)によりこの桁高となった．以上の結果から超高強度材料(f'_{ck}150MPa)を使用することで，主桁の圧縮応力度を打ち消すための作業や緊張材が不要となり，経済的な低桁高 PC 橋が可能になると考えられる．今回の検討では，桁高支間比の限界を検討したが，今後は経済的な桁高支間比を試設計により明らかにする必要がある．

表-5　主桁および間詰め部の合成応力度

			合成応力度*(MPa)
主桁支間中央	導入時	上縁	3.4 （＞-2.5 OK）
		下縁	51.9 （＜60.0 OK）
	設計時	上縁	31.1 （＜60.0 OK）
		下縁	0.3 （＞-2.5 OK）
主桁ｾｸﾞﾒﾝﾄ継目部	設計時	上縁	26.6 （＜60.0 OK）
		下縁	6.7 （＞-2.5 OK）
	活荷重1.7 倍時	上縁	32.0 （　－　）
		下縁	-2.4 （＞-3.0**OK）
間詰め部支間中央	設計時	上縁	13.3 （＜14.0 OK）
		下縁	－

*(　)内は許容応力度，**セグメント継目部の許容応力度

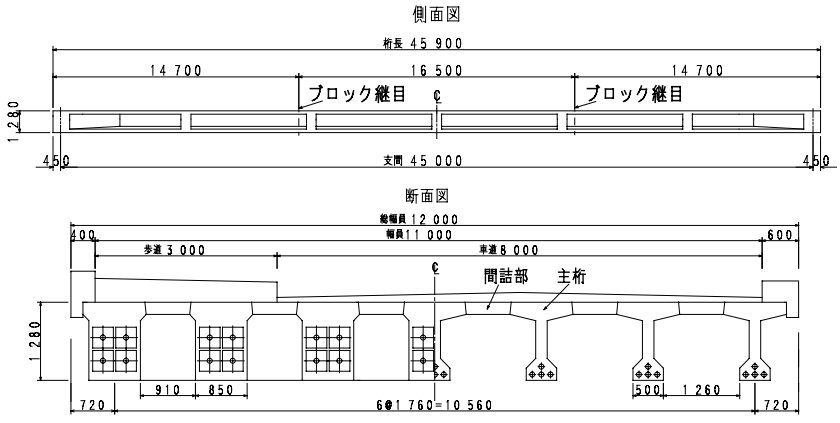

図-1　低桁高 PC 橋一般図(桁高支間比 1/35)

参考文献

1) 日本コンクリート工学協会：高靭性セメント複合材料を知る・作る・使う，2002.1
2) SETRA-AFGC: Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concrete, Interim Recommendation, 2002.1