

フライアッシュを用いたプレテンションPCT桁橋(宮坂橋歩道橋)の施工

(株)ピーエス三菱 正会員 工博 ○桜田道博
 (株)ピーエス三菱 正会員 工修 山村 智
 金沢大学 正会員 工博 鳥居和之
 石川県 土木部 山中章平

1. はじめに

近年、プレストレストコンクリート(以降、PCと呼ぶ)構造物の品質向上、耐久性向上、長寿命化および環境負荷の低減などが求められている。石炭火力発電所などから年間1000万t以上排出されるフライアッシュ(以降、FA)は、混和材として用いることでコンクリートが緻密化し、塩害に対する耐久性の向上やアルカリシリカ反応の抑制などが図れるとされている^{1),2)}。さらに、コンクリートのCO₂排出量の低減や未利用資源の有効活用などの環境負荷の低減にもつながることから、フライアッシュをPC構造物に積極的に用いることが望まれている。これまで、フライアッシュを用いたコンクリート(以降、フライアッシュコンクリート)の材料特性、耐久性およびPC梁としての構造特性が検討され、フライアッシュ用いたPC構造物の実用化が十分可能であることが確認されたため^{3), 4)}、石川県の宮坂橋歩道橋でフライアッシュを用いたPC橋が試験的に採用されることとなった。宮坂橋歩道橋は、橋長22.7m、幅員3.3mの歩道橋であり、フライアッシュ(結合材に対する分量15%)を用いた日本初のプレテンションPCT桁橋である。フライアッシュコンクリートでは、スランプロスが大きい傾向にあること、初期強度が低いことおよび初期の湿潤養生が強度や耐久性に及ぼす影響が大きいことなどに留意する必要がある。適用にあたってはこれらを検討した。本報告では、フライアッシュコンクリートの配合検討および宮坂橋歩道橋の施工について述べる。

2. 橋梁の概要

宮坂橋歩道橋の一般図および橋梁概要をそれぞれ、図-1および表-1に示す。宮坂橋歩道橋は、橋長22.7m、幅員3.3m、支間長21.9mのプレテンションPCT桁橋であり、フライアッシュを用いたPC桁が適用された。本橋はプレテンション方式のPC桁橋であることから、初期の強度発現、ASR抑制効果などを総合的に考慮し、結合材に占めるフライアッシュの割合は15%とした。

表-1 橋梁概要

構造形式	プレテンション方式PC単純T桁橋
橋長	22.7m
支間長	21.9m
幅員	3.3m
活荷重	群衆荷重(3.5kN/m ²)
斜角	60°
発注者	石川県
工期	平成26年3月14日～8月29日

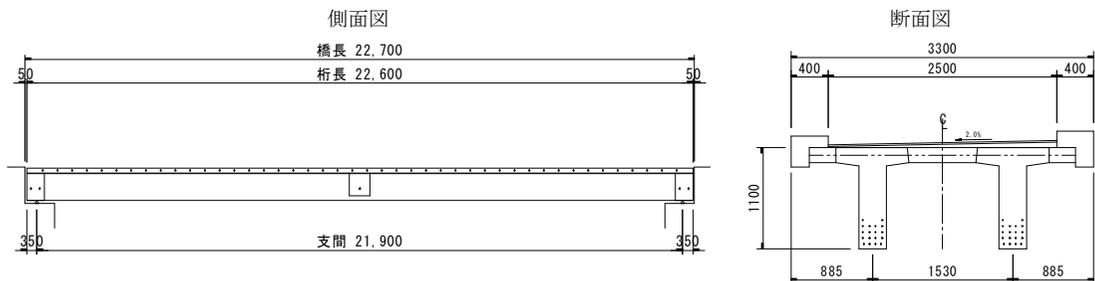


図-1 橋梁一般図

3. フライアッシュコンクリートの配合検討

3.1 コンクリートへの要求性能

宮坂橋歩道橋の主桁コンクリートへの要求性能を表-2に示す。フライアッシュコンクリートで表-2の要求性能を満足するよう試し練りを行い、フレッシュ性状および強度性状を確認し、所要の性能を満足する配合を決定した。

表-2 コンクリートへの要求性能

設計基準強度 f_{ck} (材齢28日)	50N/mm ²
プレストレス導入時強度(材齢14時間)	35N/mm ²
スランブ	18±2.5cm
空気量	4.5±1.5%
粗骨材最大寸法	20mm

3.2 試し練り

(1) 使用材料および配合

使用材料および配合をそれぞれ、表-3および表-4に示す。使用材料は宮坂橋歩道橋の主桁を製作する工場のものでした。配合は水結合材比W/Bをパラメータとした3種類とし、B/Wと圧縮強度の関係から所要の圧縮強度が得られるW/Bを検討した。なお、単位水量は通常のJIS桁用のコンクリート(早強セメント単味、設計基準強度50N/mm²)と同様の150kg/m³とした。

表-3 使用材料

材料	記号	仕様
セメント	C	早強セメント(太平洋セメント社製) 密度 3.14g/cm ³
混和材	FA	フライアッシュ(北陸電力社製) 密度 2.48g/cm ³ , 比表面積 4600cm ² /g
細骨材	S	川砂(富山県庄川産), 表乾密度 2.59g/cm ³ , 吸水率 1.78%, FM2.72
粗骨材	G	砕石(富山県庄川産), 表乾密度 2.62g/cm ³ , 吸水率 1.35%, FM3.66
高性能減水剤	SP	マイティ 21LV(花王社製)
AE剤	AE	ヴィンソル(山宗化学社製)

(2) 練混ぜ方法および養生方法

練混ぜ方法および養生方法をそれぞれ、図-2および図-3に示す。コンクリートの練混ぜには、公称容量55Lの強制練り水平二軸ミキサを使用し、1バッチの練混ぜ量は30Lとした。宮坂橋歩道橋はプレテンション方式であるため、材齢14時間でプレストレス導入強度が得られるよう図-3に示す蒸気養生を行った。フライアッシュコンクリートでは、蒸気養生後の湿潤養生が材齢28日以降の圧縮強度に寄与することが確認されているため³⁾、蒸気養生後の供試体はさらに3日間、湿潤養生を行った。

表-4 配合

配合名	W/B (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
				W	B		S	G
					C	FA		
FA30	30	4.5	43.6	150	425	75	720	942
FA33	33	4.5	44.2	150	386	68	747	954
FA36	36	4.5	44.8	150	354	63	771	960

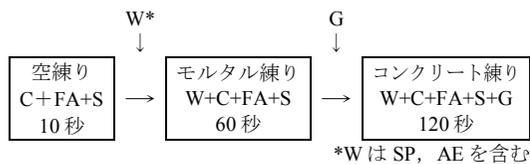


図-2 練混ぜ方法

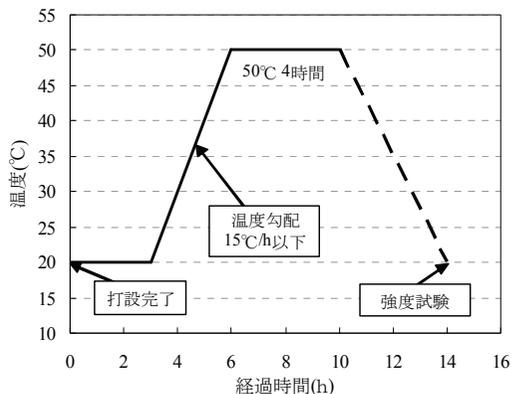


図-3 蒸気養生の方法

表-5 試し練りの結果

配合名	W/B (%)	単位量(kg/m ³)					SP/B (%)	AE/B (%)	スランブ (cm)			空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度(N/mm ²)			
		W	B		S	G			練上り直後	15分後	コンクリート			材齢14時間	材齢7日	材齢14日	材齢28日
			C	FA													
FA30	30	150	425	75	720	942	0.60	0.04	19.0	—	4.5	19.5	53.2	68.9	72.5	73.9	
FA33	33	150	386	68	747	954	0.55	0.03	18.5	11.0	4.8	19.4	44.8	61.8	66.3	73.9	
FA36	36	150	354	63	771	960	0.50	0.02	17.5	—	4.5	19.9	39.7	55.3	59.2	62.3	

3.3 試し練りの結果

試し練りの結果を表-5 に示す。試し練りの結果、混和剤の量を調整することで所要のフレッシュ性状を満足することが確認された。また、材料分離などは認められず、良好なフレッシュ性状であった。

3.4 スランプロスの検討

フライアッシュコンクリート(FA33)のスランプの経時変化を図-4 に示す。フライアッシュコンクリートは、スランプの経時変化が大きく、練上がり時のスランプを目標値 $12 \pm 2.5\text{cm}$ に設定すると打設終了前(15分/バッチ程度を想定)にスランプが目標値を下回ることが確認された。そこで、15分後のスランプが目標値を下回らないよう練上がり直後のスランプを 18cm に設定した。なお、フライアッシュコンクリートでスランプロスが大きいのは、プレストレス導入時強度を得るための水結合材比 W/B が通常のコンクリートに比べ小さく単位結合材量が増えることや未燃カーボンなどの影響による考えられる。

3.5 B/Wと圧縮強度の検討

材齢14時間(プレストレス導入時)および材齢28日における結合材水比B/Wと圧縮強度との関係を図-5に示す。比較のため、材齢14時間の図には、H単味(通常の早強セメント単味のコンクリート)のB/Wと圧縮強度の関係も示した。なお、材齢14時間および材齢28日における配合強度は工場の実績よりそれぞれ、 41.5N/mm^2 (変動係数9%)および 54.8N/mm^2 (変動係数5%)とした。図-5より、所要の圧縮強度を満足するコンクリートのW/Bは材齢14時間の配合強度で決定され、 $34.8\% (=24.4 / [41.5 + 28.5])$ となった。FAとH単味の材齢14時間の強度を比較すると、フライアッシュコンクリートのほうが若干低いもののW/Bを3%程度低くすることで、通常のコンクリート(早強セメント単味)と同等のプレストレス導入時強度が得られることが確認された。

3.6 配合の決定

以上の検討の結果より決定した配合を表-6 に示す。この配合で実機試験を行い、所要のフレッシュ性状および圧縮強度を満足することを確認したうえで、宮坂橋歩道橋の主桁を製作した。

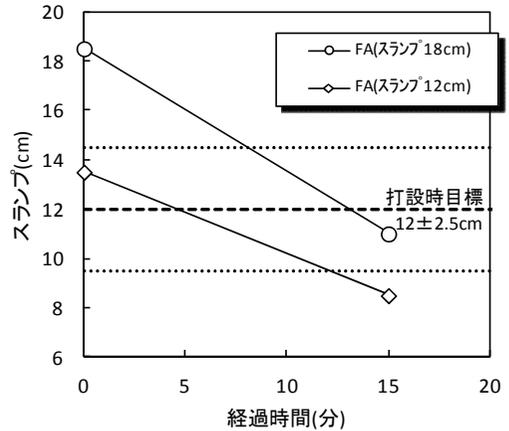


図-4 スランプの経時変化

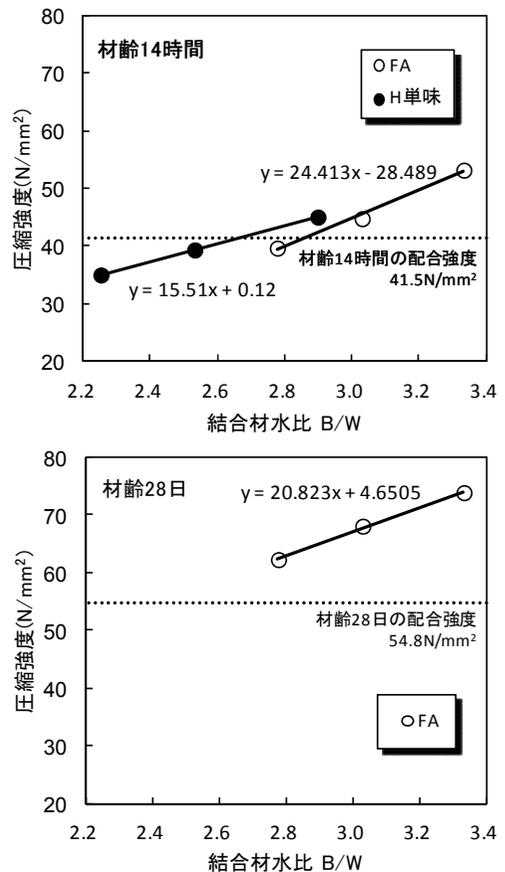


図-5 B/Wと圧縮強度との関係

表-6 宮坂橋歩道橋の配合

設計基準 強度 (N/mm ²)	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					SP/B (%)	AE/B (%)
						W	B		S	G		
							C	FA				
50	20	18±2.5	4.5±1.5	34.8	44.6	150	366	65	762	958	0.50	0.03



写真-1 ミスト養生状況



写真-2 架設状況



写真-3 完成した宮坂橋歩道橋

4. 主桁の製作および架設

主桁の製作は(株)ピーエス三菱七尾工場で行った。練上り直後のスランブは15.5cmで規定値18±2.5cmの下限であったが、打設中のワーカビリティは良好であった。フライアッシュコンクリートでは蒸気養生後の湿潤養生が圧縮強度や耐久性に及ぼす影響が大きいため³⁾、蒸気養生終了後は5日間ミスト養生を行い、主桁を湿潤状態に保持した(写真-1)。その結果、脱枠時および材齢28日の圧縮強度はそれぞれ、46.5N/mm²および56.3N/mm²となり、所要の圧縮強度を満足した。製作した主桁は現場に運搬し、移動式クレーンにより架設した(写真-2)。スランブロス対策として練上り直後のスランブを18cmに大きくすることで、初期強度を発現させるためW/Bを3%程度下げることおよび蒸気養生後にミスト養生を5日間行うことで主桁の品質を確保し、宮坂橋歩道橋を無事完成させることができた(写真-3)。

5. まとめ

フライアッシュコンクリートの配合検討および宮坂橋歩道橋の施工から得られた知見を以下に示す。

- ①単位水量を 150kg/m³、水結合材比を 34.8%、フライアッシュの置換率を 15%とすることで、所要のフレッシュ性状および圧縮強度が得られた。
- ②スランブロス対策として練上り直後のスランブを 18cm に大きくすることで、初期強度を発現させるため早強セメント単味のコンクリートより W/B を 3%程度下げること、および蒸気養生後の主桁にミスト養生を行い 5 日間湿潤状態に保つことで、フライアッシュを用いた PC 桁の品質を確保することができた。
- ③宮坂橋歩道橋の完成により、フライアッシュを用いたコンクリートが PC 橋に適用できることが実証された。今後は PC 橋の品質向上、耐久性向上(特に ASR)、および環境負荷の低減のため、フライアッシュが PC 構造物に積極的に採用されることが望まれる。

参考文献

- 1) 俵道和, 呉承寧, 石川嘉崇, 滝上邦彦: プレストレストコンクリートへのフライアッシュの適用性に関する基礎試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp197-202, 2011
- 2) 鳥居和之: フライアッシュの活用によるコンクリートの高耐久化—北陸地方の ASR 問題への取り組みと情報発信—, 電力土木, No.357, p11-15, 2012
- 3) 山村智, 鈴木雅博, 小林和弘, 鳥居和之: 分級フライアッシュを用いたコンクリートのプレテンション PC 桁への適用に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.181-186, 2013.7
- 4) 山村智, 鈴木雅博, 小林和弘, 鳥居和之: 分級フライアッシュを用いたコンクリートの PC 桁への適用に関する研究, プレストレストコンクリート工学会, 第22回シンポジウム論文集, pp.515-520, 2013.7