

宮坂橋歩道橋の施工

— フライアッシュを用いた日本初の PCT 桁橋 —

桜田 道博*1・山村 智*2・小林 和弘*3・鳥居 和之*4

宮坂橋歩道橋は、橋長 22.7 m、幅員 3.3 m の歩道橋であり、フライアッシュを用いた日本初のプレテンション PCT 桁橋である。フライアッシュを用いることで環境負荷の低減および耐久性の向上などが図れることから本橋で試験的に採用された。本報告では、フライアッシュを宮坂橋歩道橋に適用する際に行った配合の検討、およびフライアッシュを用いた PC 桁の品質確保対策について述べる。

キーワード：フライアッシュ、プレテンション、PCT 桁橋、初期強度、湿潤養生

1. はじめに

高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の多くが供用から 50 年を迎え、社会インフラの維持管理や更新が注目されている。財政の逼迫や少子高齢化が進行するなか、今後、新設・更新されるプレストレストコンクリート（以降、PC）構造物には、耐久性や品質の向上による長寿命化が求められる。一方、石炭火力発電所などから年間 1 000 万 t 以上産出されるフライアッシュは、混和材として用いることでコンクリートが緻密化し、塩害やアルカリ骨材反応に対する耐久性が向上する^{1,2)}。さらに、セメントの一部をフライアッシュに置換することでコンクリートの CO₂ 排出量の低減や未利用資源の有効活用など、環境負荷の低減にもつながることから、産学官よりフライアッシュを PC 構造物に積極的に利用することが望まれている³⁾。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、フライアッシュを用いた 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^{4,5,6)}、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 22.7 m、幅員 3.3 m の歩道橋であり、フライアッシュ（結合材に対する置換率 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、フライアッシュを宮坂橋歩道橋に適用する際に行った配合の検討、および主桁製作時に実施した品質確保対策について述べる。

2. 橋梁概要

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 22.7 m、幅員 3.3 m、支間長 21.9 m のプレテンション PCT 桁橋であり、フライアッシュコンクリートが PC 桁に適用された。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、結合材に対するフライアッシュの置換率は 15%（フライアッシュセメント B 種相当）とした。なお、間詰部や地覆などの場所打ちコンクリートには通常のコンクリートを使用した。

3. コンクリートの配合の検討

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。表 - 2 の要求性能を満足するようフライアッシュコンクリートの試し練りを行い、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。



*1 Michihiro SAKURADA

(株)ピーエス三菱
技術本部 技術研究所



*2 Satoshi YAMAMURA

(株)ピーエス三菱
大阪支店 技術部



*3 Kazuhiro KOBAYASHI

(株)ピーエス三菱
名古屋支店 金沢営業所



*4 Kazuyuki TORII

金沢大学 理工研究域
環境デザイン学系

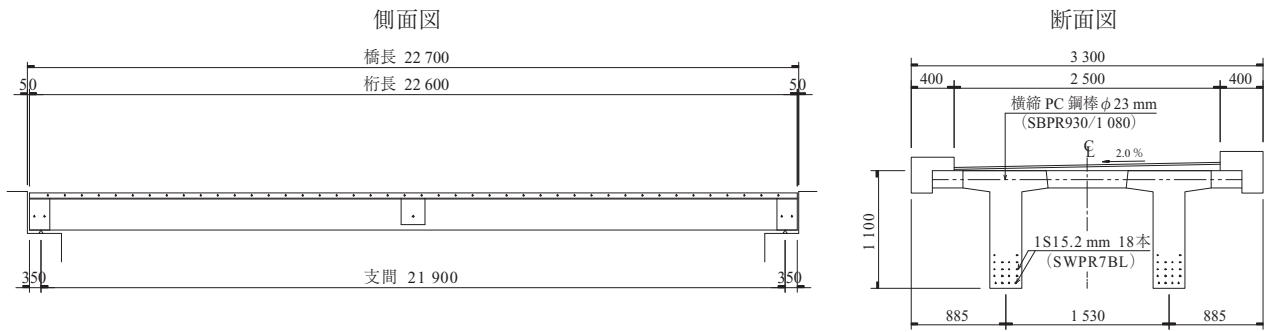


図 - 1 一般図

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	22.7 m
支間長	21.9 m
幅員	3.3 m
活荷重	群集荷重 (3.5 kN/m ²)
斜角	60°
発注者	石川県
架設位置	主要地方道 七尾輪島線 石川県鳳珠郡穴水町字此木～地藏坊 地内
工期	平成 26 年 3 月 14 日～8 月 29 日

表 - 3 使用材料

材料	記号	仕様
セメント	C	早強ポルトランドセメント 密度 3.14 g/cm ³
混和材	FA	分級フライアッシュ (七尾大田火力発電所産), 密度 2.48 g/cm ³ , 比表面積 4 600 cm ² /g
細骨材	S	川砂 (富山県庄川産), 表乾密度 2.58 g/cm ³ , 吸水率 1.78 %, FM2.72
粗骨材	G	碎石 (富山県庄川産), 表乾密度 2.61 g/cm ³ , 吸水率 1.35 %, FM6.66
高性能減水剤	SP	ポリエーテル系
AE 剤	AE	アニオン系界面活性剤

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)	50 N/mm ²
プレストレス導入時強度 (材齢 14 時間)	35 N/mm ²
スランプ	18 ± 2.5 cm
空気量	4.5 ± 1.5 %
粗骨材最大寸法	20 mm

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

3.2 試し練りの概要

(1) 使用材料および配合

試し練り時の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が常用しているものとした。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 50 N/mm²) と同様の 150 kg/m³ とした。

(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 55 L 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 30 L 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。なお、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により材齢 28 日以降の圧縮強度が向上することが確認されているが⁴⁾、水結合材比を安全側に決定するため、試し練りにおいては蒸気養生後の供試体の湿潤養生は行わなかった。

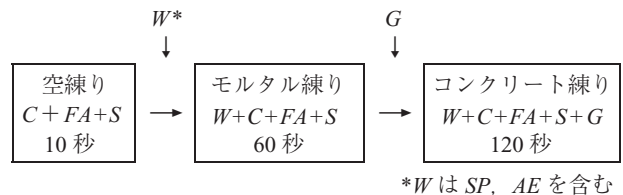


図 - 2 練混ぜ方法

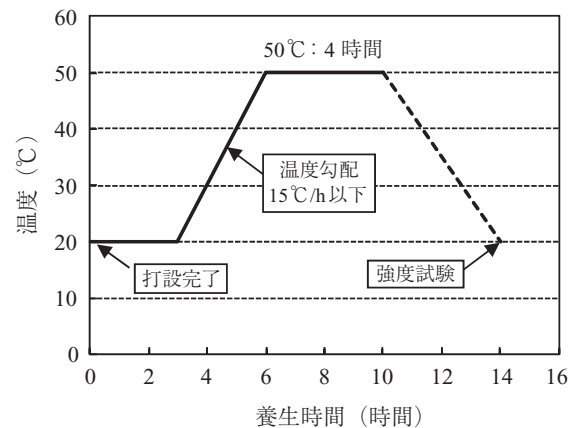


図 - 3 蒸気養生の方法

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			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が得られた。

3.4 スランブロスの検討

フライアッシュコンクリート (FA33) のスランブの経時変化を図 - 4 に示す。フライアッシュコンクリートは、スランブの経時変化が大きく、練上り時のスランブを目標値 12 ± 2.5 cm に設定すると打設終了前 (15 分/バッチ程度を想定) にスランブが目標値を下回ることが確認された。そこで、15 分後のスランブが目標値を下回らないよう練上り直後のスランブを 18 cm に設定した。なお、フライアッシュコンクリートでスランブロスが大きいのは、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と考えられる。

3.5 B/W と圧縮強度との関係

フライアッシュコンクリートの材齢 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 (通常の早強ポルトランド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、41.5 N/mm² (変動係数 9%) および 54.8 N/mm² (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。フライアッシュコンクリート (図中 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。

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 15.5 cm で規定値 18 ± 2.5 cm 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

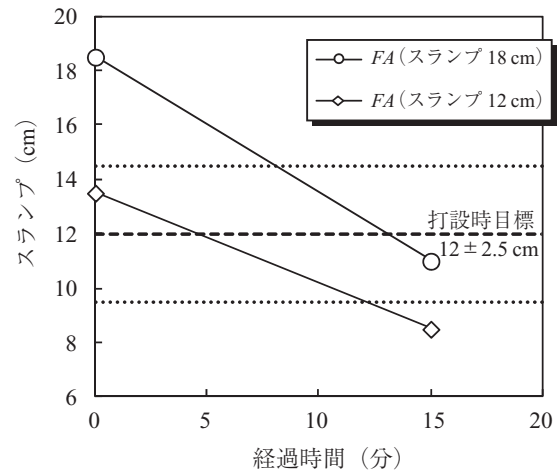


図 - 4 スランブの経時変化

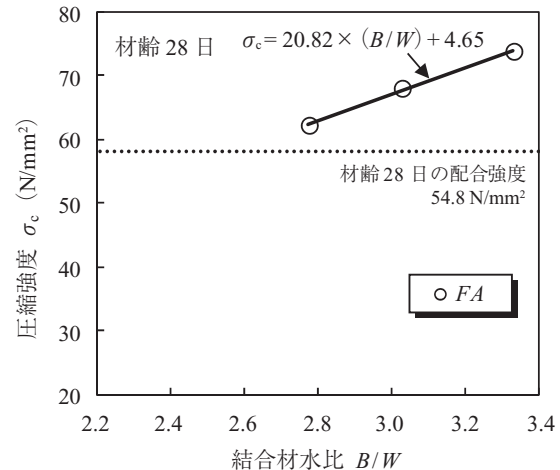
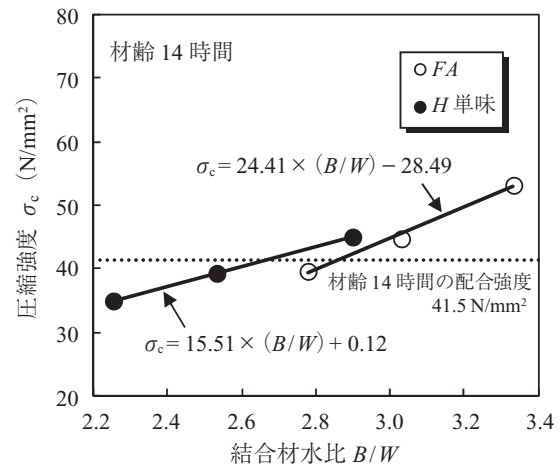


図 - 5 B/W と圧縮強度との関係

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 添加量 (B×%)	AE 添加量 (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

縮強度や耐久性に及ぼす影響が大きい⁴⁾ため、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、46.5 N/mm²および56.3 N/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18 cmに大きくすること、初期強度を発現させるため早強ポルトランドセメント単味の配合よりも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)。なお、宮坂橋歩道橋は完成から3年が経過するが、ひび割れや異常なたわみ等の不具合は発生しておらず、健全であることが確認されている。



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

5. ま と め

フライアッシュを用いた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以下の知見が得られた。

- 1) 単位水量を150 kg/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18 cmに大きくすること、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、フライアッシュコンクリートを用いた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コンクリートが問題なくPC橋に適用できることが実証された。
- 4) 今後はPC橋の品質向上、耐久性向上(とくにASR)、および環境負荷の低減のため、フライアッシュをPC構造物に積極的に活用することが望まれる。

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) 北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会報告書, (富山・石川・福井版), 2013
- 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
- 5) 山村智, 桜田道博, 小林和弘, 鳥居和之: フライアッシュコン

- クリートのPC橋梁への適用に関する実用化研究, プレストレストコンクリート, Vol.57, No.5, pp.46-53, 2015.9
- 6) 金沢大学 SIP-WG2 (ASR 部会): コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントの開発 研究成果報告書 -北陸地方におけるASR問題の解決を目指して-, 2016.9

[2017年8月28日受付]