

# フライアッシュを用いた PCT 桁橋の施工

## －宮坂橋歩道橋－

|       |       |      |
|-------|-------|------|
| 技術本部  | 技術研究所 | 桜田道博 |
| 技術本部  | 技術研究所 | 山村智  |
| 名古屋支店 | 金沢営業所 | 小林和弘 |
| 名古屋支店 | 七尾工場  | 西尾貢  |

**概要：**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。

**Key Words：**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

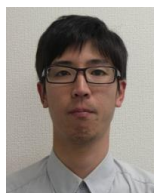
近年、プレストレストコンクリート(以降、PC と呼ぶ)構造物の品質向上、耐久性向上、長寿命化および環境負荷の低減などが求められている。石炭火力発電所などから年間 1000 万 t 以上排出されるフライアッシュ(以降、FA)は、混和材として用いることでコンクリートが緻密化し、塩害に対する耐久性の向上やアルカリシリカ反応の抑制などが図れるとされている<sup>1),2)</sup>。さらに、コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量の低減や未利用資源の有効活用などの環境負荷の低減にもつながることから、フライアッシュを PC 構造物に積極的に用いることが望まれている。これまで、フライアッシ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<sup>3),4)</sup>、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、および製品工場で実施した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。

### 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 22.7m、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。



桜田道博



山村智



小林和弘



西尾貢

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%とした。

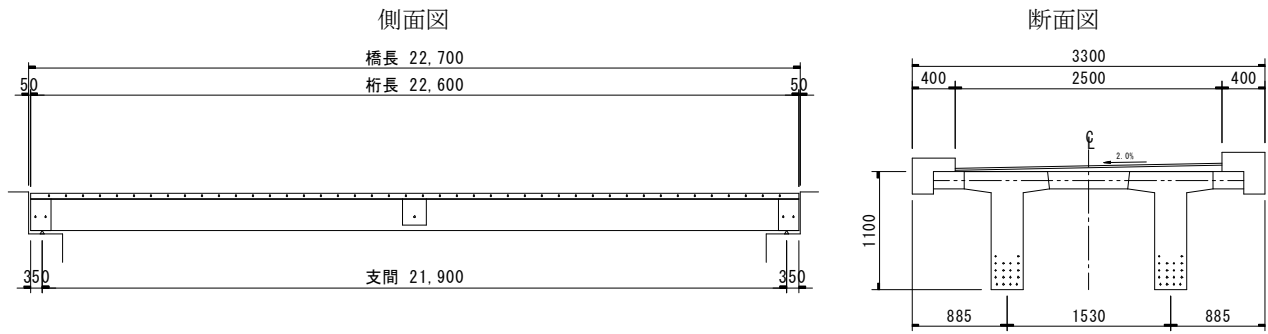


図-1 一般図

### 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。フライアッシュを用いたコンクリートで表-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。

#### 3.2 試し練り

##### 3.2.1 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/mm<sup>2</sup>)と同様の150kg/m<sup>3</sup>とした。

##### 3.2.2 使用材料および配合

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<sup>3)</sup>、蒸気養生後の供試体はさらに3日間、湿潤養生を行った。

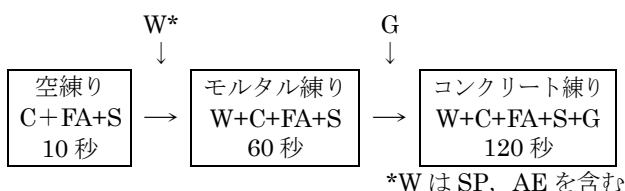


図-2 練混ぜ方法

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  | 群集荷重(3.5kN/m <sup>2</sup> ) |
| 斜 角  | 60°                         |
| 発注者  | 石川県                         |
| 工 期  | 平成26年3月14日～8月29日            |

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

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)<br>密度 3.14g/cm <sup>3</sup>                               |
| 混和材    | FA | 分級フライアッシュ(北陸電力社製)<br>密度 2.48g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 4600cm <sup>2</sup> /g |
| 細骨材    | S  | 川砂(富山県庄川産), 表乾密度<br>2.59g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.78%, FM2.72               |
| 粗骨材    | G  | 碎石(富山県庄川産), 表乾密度<br>2.62g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.35%, FM6.66               |
| 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)                                                               |

表-4 配合

| 配合名  | W/B (%) | 空気量 (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |     |     |
|------|---------|---------|---------|-------------------------|-----|----|-----|-----|
|      |         |         |         | 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 |

表-5 試し練りの結果

| 配合名  | W/B<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |     |     | SP/B<br>(%) | AE/B<br>(%) | スランプ <sup>®</sup> (cm) |          | 空気量<br>(%) | コンクリート<br>温度<br>(°C) | 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> ) |          |           |           |
|------|------------|-------------------------|-----|----|-----|-----|-------------|-------------|------------------------|----------|------------|----------------------|--------------------------|----------|-----------|-----------|
|      |            | W                       | B   |    | S   | G   |             |             | 練上り<br>直後              | 15分<br>後 |            |                      | 材齢<br>14時間               | 材齢<br>7日 | 材齢<br>14日 | 材齢<br>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      |

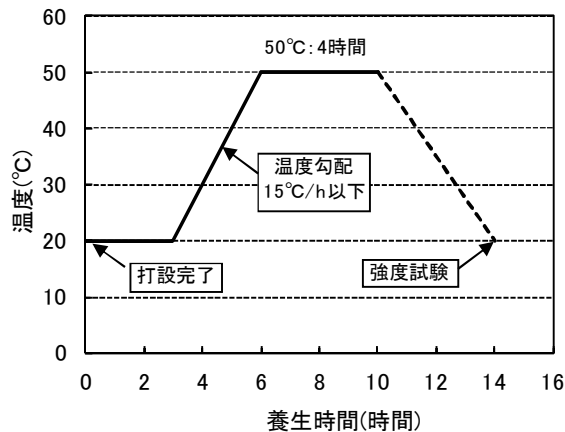


図-3 蒸気養生の方法

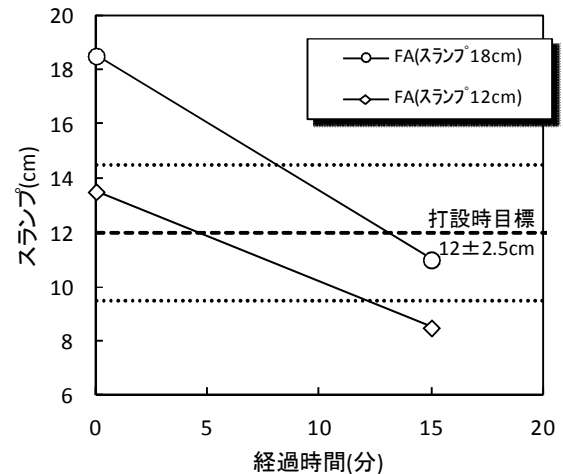


図-4 スランプの経時変化

### 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と考えられる。

### 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 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 における配合強度は工場の実績よりそれぞれ、 $41.5 \text{ N/mm}^2$ (変動係

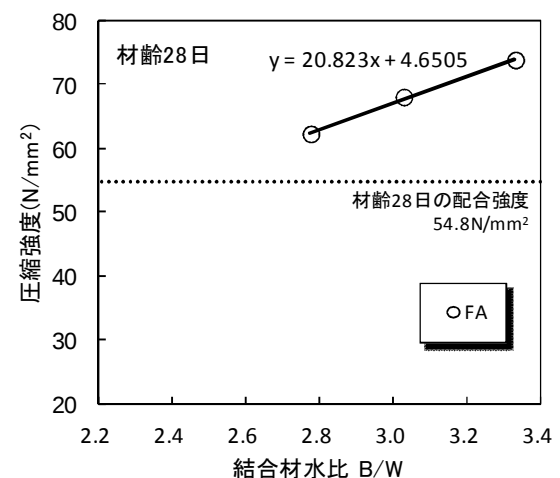
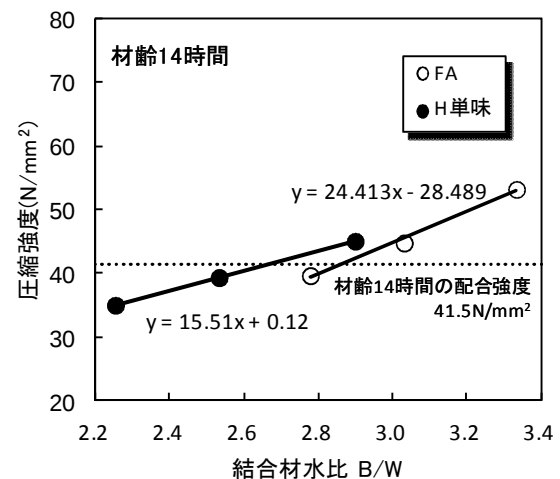


図-5 B/W と圧縮強度との関係

数 9%)および  $54.8\text{N/mm}^2$  (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。

表-6 宮坂橋歩道橋の配合

| 設計基準<br>強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 粗骨材<br>最大寸法<br>(mm) | スランプ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | W/B<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |     |     | SP<br>添加量<br>(B×%) | AE<br>添加量<br>(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               |

## 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プは  $15.5\text{cm}$  で規定値  $18\pm 2.5\text{cm}$  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縮強度や耐久性に及ぼす影響が大きい<sup>3)</sup>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,  $46.5\text{N/mm}^2$  および  $56.3\text{N/mm}^2$  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)。スランプロス対策として練上り直後のスランプを  $18\text{cm}$  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)。



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の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  $150\text{kg/m}^3$ 、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スランプロス対策として練上り直後のスランプを 18cm 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。

## 謝辞

宮坂橋歩道橋にフライアッシュを用いたコンクリートを適用するにあたり、金沢大学の鳥居和之教授にご指導をいただいた。また、主桁製作では当社七尾工場 製品グループの上田文弥氏にご支援をいただいた。ここにご協力いただいた関係各位に感謝の意を表す。

## 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ー北陸地方の ASR 問題への取り組みと情報発信ー, 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