

改質フライアッシュを用いたプレキャストPC部材の時間依存性挙動

川田建設(株) 正会員 修士(工学) ○水戸 健介
川田建設(株) 正会員 北野 勇一

キーワード：改質フライアッシュ，プレキャストPC部材，暴露試験，時間依存性挙動

1. はじめに

近年，インフラの長寿命化を目指し，PC構造物の更なる耐久性向上が要求される場合がある。この対応として石炭火力発電所の副産物であるフライアッシュを活用する手段もあるが，炭種や発電状況によりフライアッシュの物性が変化し，PC構造物の品質や生産性を損なうことも想定される。そこで，筆者らは600～950℃の高温に加熱し物性を改質したフライアッシュ（以下，改質フライアッシュ）に着目し，製作した試験桁の載荷試験を通じて，改質フライアッシュを用いたプレキャストPC部材の構造特性を明らかにした¹⁾。また，さらに長期的な力学的挙動と耐久性を検証するため，この試験桁を暴露試験に供した。本稿では，材齢90日時点までに得られた試験桁の経時的な力学的挙動について報告する。

2. 試験桁の概要と試験方法

コンクリートの配合を表-1に示す。FA試験桁にはセメント重量の12%に相当する改質フライアッシュを混入したコンクリート，H試験桁にはN工場（栃木県大田原市）で使用される早強コンクリートを用いた。両配合ともプレストレス導入時強度35N/mm²，設計基準強度50N/mm²を確保するものである。

試験桁の配筋およびひずみゲージ設置位置を図-1に示す。試験桁は支間長24.0mのプレテンション方式プレキャストPCT桁（JIS A 5373のBG24適合品）とし，FA試験桁とH試験桁を各1本ずつ製作した。両試験桁支間中央の引張鉄筋および圧縮鉄筋にはひずみゲージを設置し，蒸気養生を行い材齢1日でプレストレスを導入した。

その後，試験桁はN工場敷地内（屋外）に所定の支間で支持した状態で暴露し，継時的に鉄筋ひずみの測定，キャンパー量の測定（レベル測量による）および載荷試験を実施した。試験桁載荷試験時のたわみ量は図-2に示す支間中央に設置した変位計CLの測定値から変位計A1，A2の平均値を差し引いた値とした。

表-1 コンクリート配合

試験桁	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	B		S	G
			HC	FA		
FA	34.2	162	422	51	706	980
H	38.4	162	422	0	765	980

HC：早強セメント（密度 3.14g/cm³），FA：改質フライアッシュ（II種，密度 2.26 g/cm³，比表面積 3840 cm²/g）

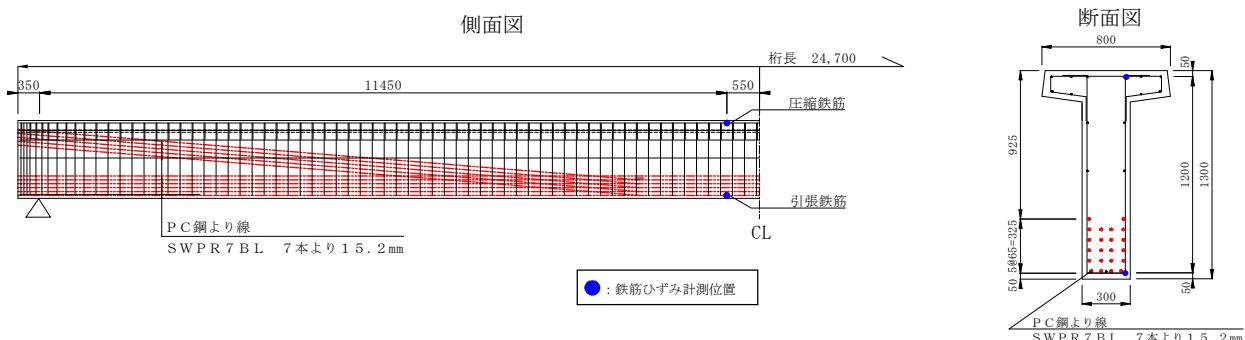


図-1 試験桁の配筋およびひずみゲージ設置位置

別途、試験桁の製作時に採取したφ100×200mmの円柱供試体について標準養生を行い、継続的に圧縮強度試験 (JIS A 1108) を実施した。

3. 試験結果

3.1 圧縮強度の経時変化

図-3に圧縮強度試験結果を示す。FA試験桁に用いた改質フライアッシュコンクリートは、H試験桁に用いた早強コンクリートよりも長期強度の増進が認められた。

3.2 鉄筋ひずみの経時変化

試験桁の支間中央に設置したひずみゲージの測定結果を図-4に示す。ひずみ測定結果は図中の“実測”として示したが、H試験桁の引張鉄筋ひずみは材齢28日でゲージの断線により計測不能となった。また、図-4には鉄筋拘束の影響を式(1)²⁾により考慮した場合の鉄筋応力の変動量を、設計上求められる鉄筋応力に加算し、鉄筋のヤング係数 (2.0×10⁵N/mm²) で除した計算値 (図中の“計算”) を合わせて示した。

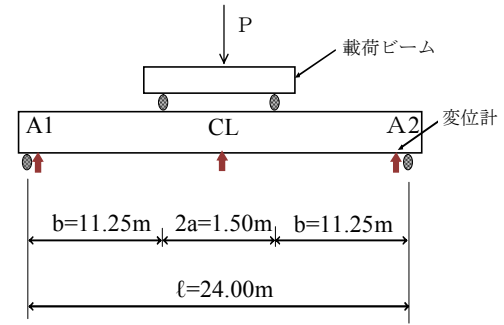


図-2 荷重試験要領

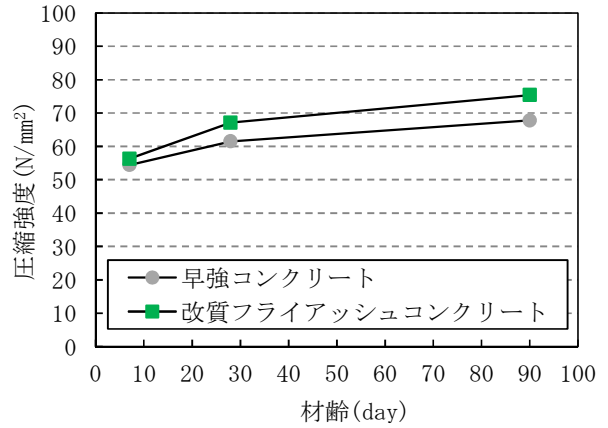


図-3 圧縮強度の経時変化 (標準養生)

$$\begin{Bmatrix} \Delta\sigma_{scs,k} \\ \Delta\sigma_{s'cs,k} \end{Bmatrix} = n_{s,k} \begin{bmatrix} 1 + \alpha_{ssk} + \alpha_{psk} n_{ps} \beta_{13} & \alpha_{s'sk} + \alpha_{psk} n_{ps} \beta_{23} \\ \alpha_{ss'k} + \alpha_{ps'k} n_{ps} \beta_{13} & 1 + \alpha_{s's'k} + \alpha_{ps'k} n_{ps} \beta_{23} \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \phi_k (\sigma_{cps,k} + \sigma_{cds,k}) + E_{c,k} \varepsilon'_{cs,k} \\ \phi_k (\sigma_{cps',k} + \sigma_{cds',k}) + E_{c,k} \varepsilon'_{cs',k} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$\Delta\sigma_{scs,k}$: プレストレス導入後のコンクリートのクリープおよび収縮による引張鉄筋の応力の変動量

$\Delta\sigma_{s'cs,k}$: プレストレス導入後のコンクリートのクリープおよび収縮による圧縮鉄筋の応力の変動量
クリープ係数および収縮は道路橋示方書³⁾により算出し、自己収縮はないものとみなした。

図-4より、FA試験桁およびH試験桁で実測された鉄筋ひずみは、鉄筋拘束の影響を考慮した計算値と同程度となること分かる。

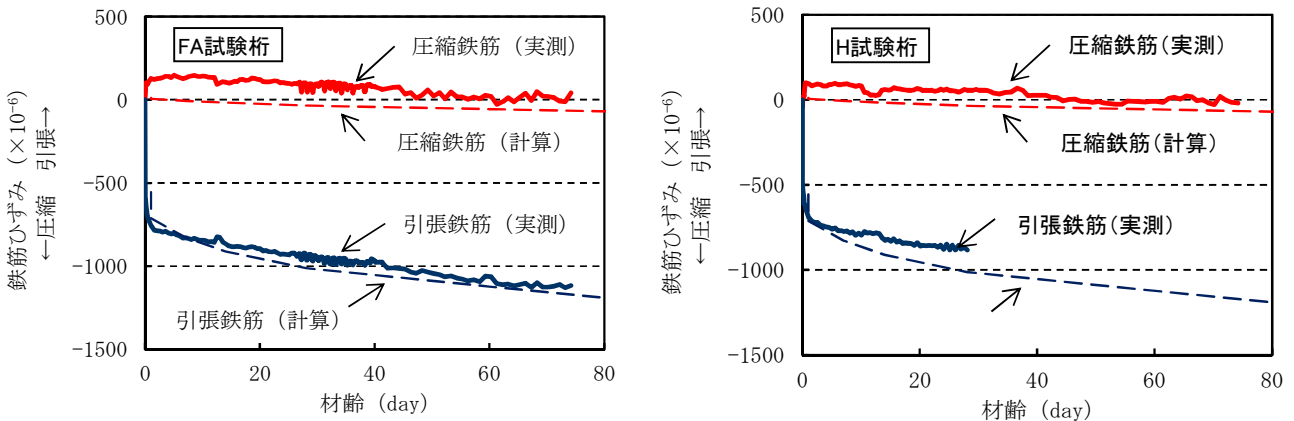


図-4 鉄筋ひずみの経時変化

表-2 コンクリート合成応力度 (N/mm²)

計算条件		設計計算	厳密計算
導入直後	上縁	-0.3	-0.3
	下縁	17.6	17.6
設計荷重時	上縁	9.6	9.5
	下縁	0.5	0.2

注) 厳密計算は、鉄筋拘束の影響を考慮した。

また、今回の試験桁と同じプレキャストPCT桁BG24を用いて建設された実橋⁴⁾の設計計算と、前出の式(1)により得られる鉄筋拘束を考慮した厳密計算によるコンクリート合成応力度を表-2に示す。これによると、クリープおよび乾燥収縮が完了する設計荷重時において、厳密計算の結果は設計計算に比べて0.3N/mm²以下の範囲で圧縮応力が減少する結果となった。

以上より、実測された鉄筋ひずみは厳密計算と同程度になることから、プレキャストPC部材の使用性能に与える鉄筋拘束の影響は改質フライアッシュを用いた場合においても長期的に概ね無視できるといえる。

3. 3 キャンバー量の経時変化

試験桁のキャンバー量測定状況を写真-1に、測定結果を図-5に示す。FA試験桁およびH試験桁で実測されたキャンバー量はプレストレス導入時で40mm程度の上反りであったが、経時的にさらに上反りが進行し、材齢90日時点で70mm程度に達した。道路橋示方書に基づく設計値と比べると、両試験桁の実測キャンバー量は同程度以下であり、材齢90日時点のクリープ係数を逆算すると、 $\phi=1.0$ (設計上は $\phi=1.3$)と推定された。

3. 4 載荷試験結果の経時変化

材齢10日、40日、90日で載荷試験を実施した結果、いずれの材齢においても、ひび割れの発生は認められなかった。また、FA試験桁およびH試験桁におけるひび割れ試験曲げモーメントに相当する荷重載荷時の実測たわみを図-6に示す。図中のたわみ量の設計値はPC鋼材と鉄筋を換算した断面2次モーメントと設計上の静弾性係数 $E=3.3 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ を用いて式(2)で算出した。

$$\delta = \frac{P \cdot b}{48EI} \times (3l^2 - 4b^2) \quad (2)$$

δ : たわみ量 (mm)

P : 荷重 (ひび割れ試験曲げモーメントに相当する荷重 : 318.0kN)

I : 断面2次モーメント (PC鋼材と鉄筋を換算した断面2次モーメント : $8.27 \times 10^{10} \text{mm}^4$)



写真-1 キャンバー量測定状況

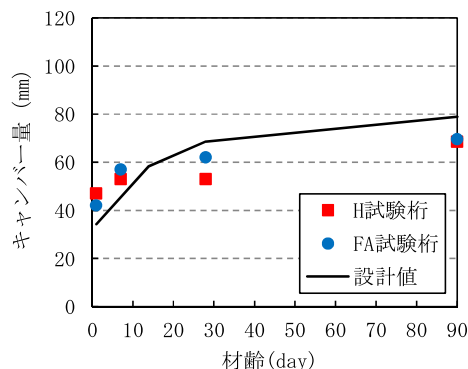


図-5 キャンバー量の経時変化

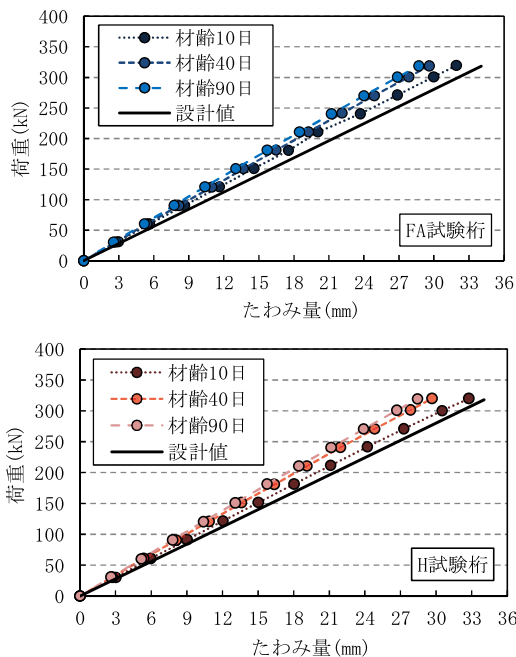


図-6 載荷試験結果

いずれの材齢においても実測たわみは設計値よりも同程度以下で、かつ、材齢の進行に伴いたわみ量が低減される傾向であった。

ひび割れ試験曲げモーメントに相当する荷重載荷時のたわみ量と、載荷試験を実施した材齢10日、40日、90日における標準養生を行った円柱供試体の静弾性係数との関係を整理した結果を図-7に示す。載荷試験によるたわみ量が材齢の進行とともに低減する理由としては、図-7からわかるように、静弾性係数が材齢の進行とともに増大していることが影響しているためと考えられる。一般に、蒸気養生を行った円柱供試体は安全側の品質管理として気中養生による強度管理がなされるが、改質フライアッシュを用いたプレキャストPC部材に関しては蒸気養生後に湿潤養生などの追加養生を行わずとも、標準養生並みの長期強度の増進がなされたものと推察される。

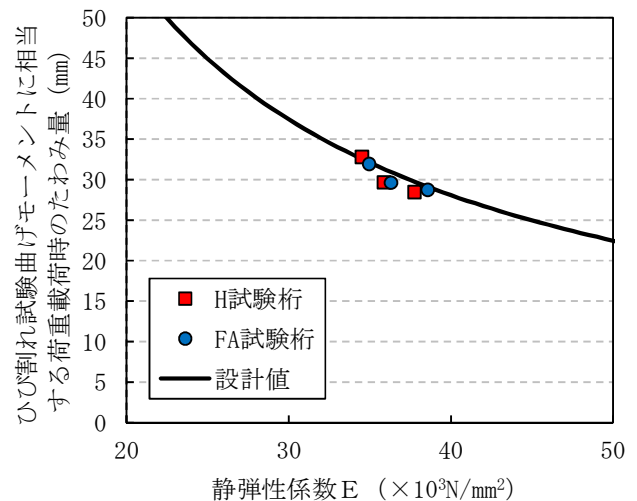


図-7 載荷試験に与える静弾性係数の影響

4. まとめ

改質フライアッシュを用いたプレキャストPC桁の暴露試験を行い、材齢90日時点までに得られた試験結果より、次のことが確認された。

- 1) 改質フライアッシュを用いたコンクリートは、標準養生を行った場合、早強コンクリートよりも長期強度が増進する。
- 2) 改質フライアッシュを用いたプレキャストPC部材で実測された鉄筋ひずみは、鉄筋拘束の影響を考慮した計算値と同程度となる。
- 3) 改質フライアッシュを用いたプレキャストPC部材の実測キャンパー量は道路橋示方書に基づく設計値と同程度以下であり、材齢90日時点のクリープ係数は $\phi=1.0$ (設計 $\phi=1.3$)と推定された。
- 4) 改質フライアッシュを用いたプレキャストPC部材について経時的に載荷試験を実施した結果、いずれの材齢においても、ひび割れの発生は認められなかった。また、実測たわみはいずれの材齢においても設計値と同程度で、かつ、材齢の進行に伴いたわみ量が低減される傾向であった。

【参考文献】

- 1) 水戸健介, 北野勇一, 堀池一男, 野村綾介: フライアッシュコンクリートを用いたPC試験桁の製作と載荷試験, 第25回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 419-422, 2016. 10
- 2) 土木学会; 2012年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp. 397-400, 2013. 3
- 3) 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. 36-44, 2012. 3
- 4) 水戸健介: 栃木県初のフライアッシュを用いたコンクリート橋の報告, 土木学会関東支部栃木会平成28年度研究発表会, pp. 21-24, 2017. 1