

場所打ちPC橋への適用を想定したフライアッシュコンクリートの強度発現

三井住友建設(株) 正会員 博(工) ○佐々木 亘
 三井住友建設(株) 正会員 石澤 正大
 三井住友建設(株) 正会員 梶 哲義
 三井住友建設(株) 正会員 博(工) 谷口 秀明

キーワード：早強ポルトランドセメント，フライアッシュ，初期強度，静弾性係数，クリープ係数

1. はじめに

副産物の有効利用やコンクリート構造物の高耐久化といった観点から，セメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材で置き換えたコンクリートの検討が活発になり，PC 上部工への適用拡大に向けた検討も行われている¹⁾。本稿では場所打ち PC 上部工への適用を想定し，実際のレディーミクストコンクリート工場で調達可能な材料を用いた，早強ポルトランドセメントの一部をフライアッシュで置き換えたコンクリートの強度発現性および圧縮クリープ特性について報告する。

2. 圧縮強度発現

2.1 実験概要

(1) 使用材料

表-1 に使用材料を示す。骨材は実際のレディーミクストコンクリート工場で使用されているものであり，フライアッシュも，当該工場の立地地域で製造され入手可能な JIS II 種灰である。AE 剤はフライアッシュ用ではない一般的なものを使用した。

(2) コンクリートの配合

表-2 に検討を行ったコンクリートの配合を示す。基準となる配合は，設計基準強度 40 N/mm² 程度の場所打ち PC 部

表-1 使用材料

材料	種類，物性など	記号	
セメント	早強ポルトランドセメント，密度 3.14 g/cm ³	C	B
フライアッシュ	SiO ₂ 65.8%，強熱減量 2.4%，ブレン比表面積 3770 cm ² /g，フロー値比 107%，活性度指数 87% (28d)，106% (91d)，密度 2.21 g/cm ³	FA	
細骨材	砕砂(表乾密度 2.70 g/cm ³ ，吸水率 1.25%)と山砂(表乾密度 2.55 g/cm ³ ，吸水率 2.16%)を質量比 6:4 で混合	S	
粗骨材	砕石 2505(表乾密度 2.74 g/cm ³ ，吸水率 0.51%)	G	
化学混和剤	高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸エーテル系化合物)	SP	
	AE 剤 (変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤)	AE	

材に使用されるレディーミクストコンクリートを想定した配合である。この基準配合に対し，フライアッシュの置換率 (FA/B，質量比率) を 10, 15, 20%とした配合の強度発現性について検討を行った。

水結合材比 (W/B) は，FA/B によって 2 または 3 水準とした。すなわち，W/B を基準配合と同様とした値，水セメント比 (W/C) を基準配合と同様としフライアッシュを外割で計算した値，ならびに FA/B = 15% および FA/B = 20% では前述の 2 水準の中間的な値とした 2 ~ 3 水準である。FA/B = 15% および FA/B = 20% での中間的な水準の W/B は，FA/B = 10% でのフライアッシュを外割で計算した W/B と同じ値に設定した。

単位水量 (W) は，単位結合材量や単位ペースト容積が過大とならないよう W/B が小さくなるに伴って減じた。また，W/B が小さくなるほどフレッシュ時の粘性は増大するため，施工性を確保するためには，一般に，W/B が小さくなるほどスランプを大きくする必要がある。このことから，スランプが大きくなってもプラスチックな状態となるよう，W/B が小さくなるに伴って単位粗骨材絶対容積を減じた。

表-2 にはフレッシュ性状に関する試験結果も併せて示している。W/B が一定の条件では，基準配合に対して，フライアッシュを用いた配合では高性能 AE 減水剤 (SP) の使用量を増加させることなくスランプが増

表-2 コンクリートの配合およびフレッシュ試験結果

FA/B [%]	W/B [%]	s/a [%]	単位粗骨材絶対容積 [m ³ /m ³]	空気量 [%]	単位量 [kg/m ³]						SP [B×%]	測定結果	
					W	B		S	G	スランプ [cm]		空気量 [%]	
						C	FA						
0	38.0	40.1	0.384	4.5	171	450	450	0	678	1052	1.05	14.0	4.4
10	38.0	39.5	0.384		171	450	405	45	663	1052	1.05	19.5	5.2
	34.2	42.9	0.360		165	482	434	48	713	986	1.30	18.5	4.5
15	38.0	39.1	0.384		171	450	382	68	652	1052	1.00	17.0	5.7
	34.2	42.5	0.360		165	482	410	72	702	986	1.25	17.5	5.4
	32.3	44.3	0.350		160	495	421	74	734	959	1.40	16.0	4.4
20	38.0	38.9	0.384		171	450	360	90	644	1052	0.90	16.0	5.0
	34.2	42.3	0.360		165	482	386	96	697	986	1.20	17.5	5.6
	30.4	45.5	0.340		155	510	408	102	750	932	1.60	15.5	3.9

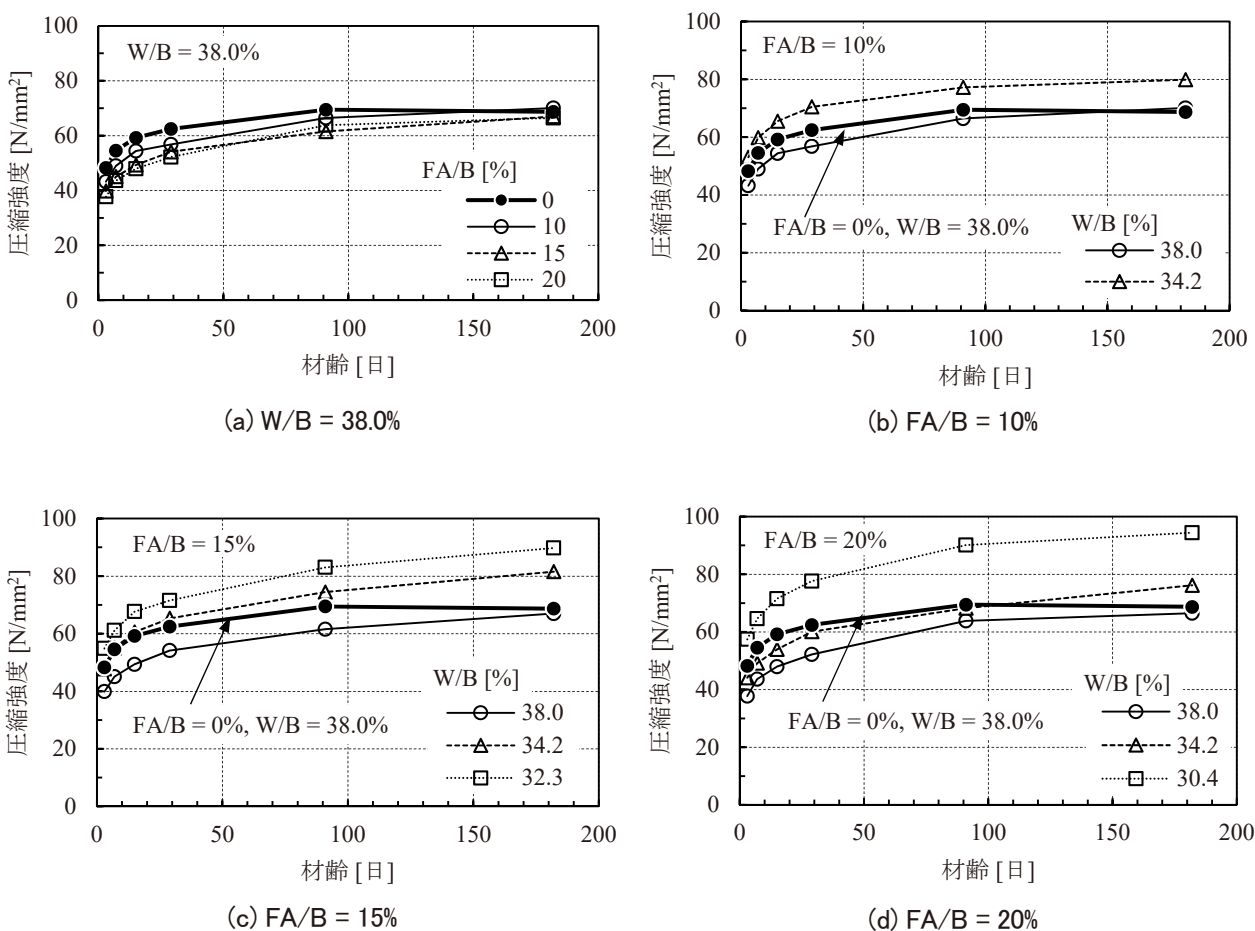


図-1 材齢と圧縮強度の関係

大した。空気量はAE剤の使用量によって調整し、実測値は3.9~5.7%の範囲であった。

(3) 供試体および測定方法

コンクリートの練混ぜは公称容量 55 リットルの強制二軸ミキサにより行い、1バッチあたりの練混ぜ量は35リットルとした。練混ぜは、粗骨材を除いた材料によるモルタル練りを90秒行った後、粗骨材を投入しコンクリート練りを90秒行うことを基本とした。一般にW/Bが小さくなると練混ぜ時間を増加させる必

要が生じるが、本実験ではFA/B=20%でW/B=30.4%の配合においてのみ、コンクリート練りを120秒に延長した。練上りが完了しフレッシュ性状の確認を行った後、ただちにφ100×200 mmの円柱供試体を作製した。強度発現性の確認として圧縮強度試験 (JIS A 1108) および静弾性係数試験 (JIS A 1149) を実施した。供試体は材齢1日で脱型後、標準水中養生を行った。試験材齢は3, 7, 14, 28, 91, 182日とした。

2.2 実験結果および考察

(1) 圧縮強度

図-1 に材齢と圧縮強度の関係を示す。図-1(a)より、早強ポルトランドセメント単味のコンクリートに対して、W/Bが一定の条件ではFA/Bが大きくなるほど全体的に圧縮強度は小さくなる傾向にあるが、FA/B = 15%とFA/B = 20%の差異は比較的小さい。また、フライアッシュを使用した配合では、早強ポルトランドセメント単味の配合に比べて長期材齢まで強度増進がみられるため、W/B一定の条件でも長期材齢になるほどFA/Bの影響は小さくなった。

圧縮強度試験結果から、結合材水比 (B/W) と圧縮強度の関係求めた。一例として材齢7日におけるB/Wと圧縮強度の関係を図-2に示す。いずれの材齢においても、図-2に示したようにB/Wと圧縮強度の関係はFA/Bによらず同程度の傾きを持った直線関係が得られた。また、初期材齢ではFA/Bの増加に伴って圧縮強度が小さくなるのが分かる。これらの結果を用いて、FA/Bごとに、各材齢において早強ポルトランドセメント単味のコンクリートと同程度の圧縮強度が得られるW/Bを求めて図示したものが図-3である。一般に工程に与える影響の大きい初期材齢に着目すると、早強ポルトランドセメント単味に対してFA/B = 10%ではW/Bを2%程度、FA/B = 15%では3.5%程度、FA/B = 20%では5%程度低減することで、早強ポルトランドセメント単味と同程度の圧縮強度が得られることが分かった。本検討におけるFA/B = 20%の結果は、既往の研究¹⁾と同様の傾向であった。また、早強ポルトランドセメント単味と同程度の圧縮強度が得られるW/Bは、材齢7日以降は材齢と共に大きくなっていることが確認でき、十分な養生が行われればフライアッシュのポズラン反応により長期的に強度が増進することを示している。

(2) 静弾性係数

図-4に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図中にはコンクリート標準示方書²⁾に示される、不静定力の計算に用いる圧縮強度とヤング係数の関係式から求められる値も併せて示している。本実験で得られた値は、

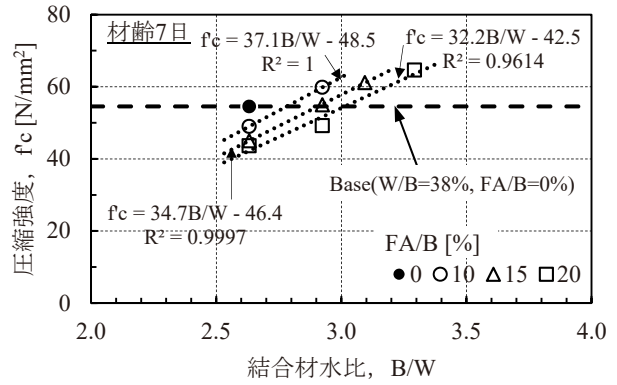


図-2 結合材水比と圧縮強度の関係の一例

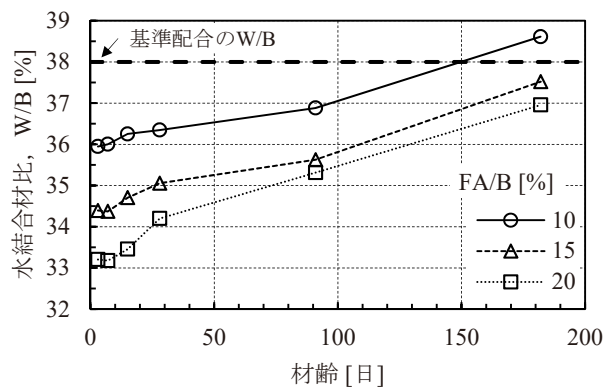


図-3 早強ポルトランドセメント単味のコンクリートと同程度の圧縮強度が得られるW/B

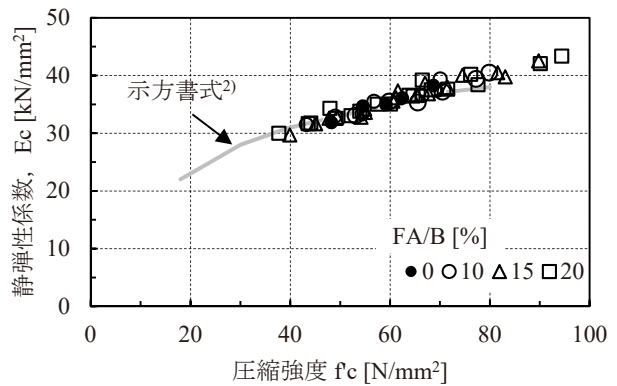


図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係

示方書の式から得られる値とほぼ同様であり、FA/B やその他の配合要因の影響は確認されなかった。

3. 圧縮クリープ特性

第2章の結果を踏まえて、JIS A 1157 に準じて圧縮クリープ試験を実施した。ただし、荷重開始材齢は実際の PC 上部工工事における工程も考慮して材齢3日とした。コンクリートの材料および FA/B の水準は第2章と同様であるが、W/B は

図-3 に基づいて材齢3日の圧縮強度が同程度となるよう設定した。表-3 に圧縮クリープ試験を実施したコンクリートの配合と材齢3日での圧縮強度および静弾性係数の測定結果を示す。想定したとおり、各配合で概ね同程度の圧縮強度が得られた。

図-5 に荷重期間とクリープ係数の関係を示す。FA/B によるクリープ係数の差異は小さく、いずれも荷重期間の対数に対して直線関係となっている。すなわち、静弾性係数と同様にクリープ係数に与えるフライアッシュの影響は小さいことが明らかとなった。

4. まとめ

本稿では、場所打ち PC 上部工への適用を想定し、実際のレディーミクストコンクリート工場で調達可能な材料を用いた、早強ポルトランドセメントの一部をフライアッシュで置き換えたコンクリートの強度発現性および圧縮クリープ特性について検討を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) W/B 一定の条件において、初期材齢ではフライアッシュの置換率が大きくなるほど圧縮強度が小さいが、材齢が大きくなるほどその差は縮まる。
- (2) B/W と圧縮強度の関係はフライアッシュを用いても直線関係を示し、置換率が 10~20%の範囲では置換率によらず近似直線の傾きは同程度となる。
- (3) 早強ポルトランドセメント単味のコンクリートに対して、フライアッシュの置換率 (FA/B) 10%では W/B を 2%程度、FA/B = 15%では W/B を 3.5%程度、FA/B = 20%では W/B を 5%程度低減することで、材齢 3~7日における圧縮強度を同程度とすることができる。
- (4) 静弾性係数やクリープ係数に与えるフライアッシュの影響は小さい。

参考文献

- 1) (国研)土木研究所, (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会: 低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書(II)-混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル(案)-, 共同研究報告書, 第 472 号, 2016. 1
- 2) 土木学会: 2012 年版コンクリート標準示方書 [設計編], 2013. 3

表-3 圧縮クリープ試験の配合

FA/B [%]	W/B [%]	W [kg/m ³]	s/a [%]	単位粗骨材絶対容積 [m ³ /m ³]	荷重開始時 (材齢 3 日)	
					圧縮強度 [N/mm ²]	静弾性係数 [kN/mm ²]
0	38.0	171	40.1	0.384	51.4	32.9
10	36.0	170	39.0	0.384	52.5	33.3
15	34.4	165	42.6	0.360	52.5	33.1
20	33.2	160	44.4	0.350	53.9	33.5

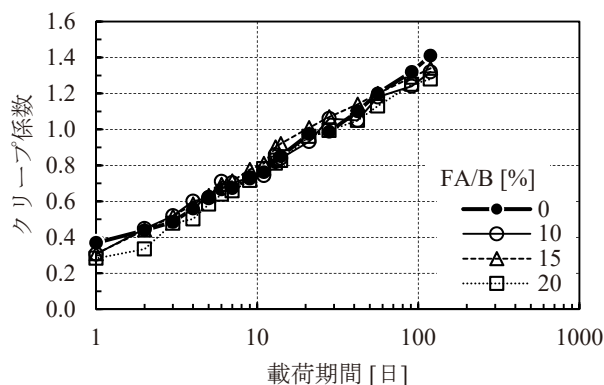


図-5 荷重期間とクリープ係数の関係