

実施工を考慮した北陸産フライアッシュコンクリートの圧縮クリープに関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○笠倉亮太, 渡辺健, 三倉寛明, 岡本大
(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 進藤良則, 石井秀和, 井上翔, 下津達也

1. はじめに

フライアッシュ (以下, FA) を用いたコンクリートは, その材料特性に関する研究¹⁾は多いものの, 実構造物の施工を想定した検討は少ない. また, FA コンクリートは, 普通, 早強セメントを用いたコンクリートより強度発現が遅く, 中性化の進行が早いことが指摘されており²⁾, 鉄道構造物においても使用が限定的となっている. 本論文では, 北陸地方における鉄道構造物の施工を想定し, 該当地域にて産出される FA, 骨材を用いたコンクリートの強度特性に関する検討を実施した.

2. 使用材料および配合

本検討において使用したコンクリートの使用材料および配合を表 1, 2 に示す.

コンクリートは RC 構造物を対象とした RC 配合 (呼び 27-12-25), PC 構造物を対象とした PC 配合 (呼び 40-12-25) とした. RC 配合では, 普通セメントを用いたコンクリート (以下, N) とセメントの一部を FA にて内割り置換したコンクリート (以下, N+F) とし, N+F は置換率を約 15% と 25% の 2 水準とした. なお, 置換率約 15% は, 既往の研究³⁾にて使用した配合である. また, 置換率 25% とした N+F は置換率の上昇に伴う, 圧縮強度管理のための水結合材比 W/B の調整は行っていない. 一方, PC 配合は, 早強セメントを用いたコンクリート (以下, H) とセメントの一部を FA にて内割り置換したコンクリート (以下, H+F) とし, 置換率は 15% である. PC 配合は, 実施工および PC 桁施工管理の手引き⁴⁾を参考に, $\sigma_3=34\text{N/mm}^2$ を満たす配合とした.

なお, 全配合ともに, 実施工を想定しているため, 該当地域の代表的 2 プラント (A, B プラント) における実機練りコンクリートとした.

3. 実験概要

実験は, 圧縮強度試験, 静弾性係数試験および PC 配合を対象とした圧縮クリープ試験を実施した. 圧縮強度, 静弾性係数試験はそれぞれ, JIS A 1108, JIS A 1149 に従った. 圧縮クリープ試験は, JIS A 1157 を参考に, PC 桁施工管理の手引き⁴⁾に示される導入緊張力の上限值である 20N/mm^2 を材齢 3 日または 7 日にて載荷した. 供試体は, 前述の各配合のコンクリートに対して, 実施工を想定した封緘養生を行っている. なお, 養生期間は, コンクリート標準示方書[施工編]⁵⁾に示される湿潤養生期間の標準 (普通, 早強ポルトランドセメント, 混合セメント B 種) を参考に想定される外気温から設

表 1 使用材料

使用材料	A プラント		B プラント	
	N (H)	N (H)+F	N (H)	N (H)+F
セメント	普通 (早強) ポルトランド			
フライアッシュ	F	七尾産	—	敦賀産
細骨材	S1	手取川産 (5mm)	九頭竜川下流産 (5mm)	
	S2	手取川産 (2.5mm)	あわら市地内産 (1.2mm)	
粗骨材	G1	手取川産 (5-25mm)	九頭竜川下流産 (25mm)	
	G2	—	九頭竜川下流産 (10mm)	

表 2 配合

配合	打設時期	F/(C+F) (%)	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)					
				セメント C	混和材 F	水 W	細骨材 S1 S2	粗骨材 G1 G2	
A プラント	N	冬	0	306	—	162	550 239	994	—
		夏	—	315	—	167	535 231	994	—
	N+F	冬	17	262	54	156	540 234	1000	—
		夏	25	242	81	159	524 229	1000	—
	H	冬	0	380	—	152	524 229	989	—
		夏	15	329	58	147	509 221	1007	—
B プラント	N	冬	0	326	—	161	592 197	798	200
		夏	—	336	—	166	584 195	790	197
	N+F	冬	15	288	51	159	574 192	800	200
		夏	25	262	87	164	563 188	786	196
	H	冬	0	383	—	155	555 185	810	203
		夏	15	385	68	163	480 160	810	203

定した. ここで, RC 配合 (置換率 0, 約 15%)³⁾は冬季打設, PC 配合および RC 配合 (置換率 0, 25%) は夏季打設のため, 封緘養生の期間が異なっている.

4. 実験結果および考察

(1) 圧縮強度および静弾性係数

圧縮強度と材齢の関係を図 1, N または H との圧縮強度比を図 2, 圧縮強度と静弾性係数の関係を図 3 に示す. なお, 図 3 中には, 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造⁶⁾ (以下, 鉄道標準) に示される圧縮強度と弾性係数の関係を併せて示す.

図 1 に示す圧縮強度は材齢 28 日にて呼び強度 ($=f_{ck}$) を満足した. 図 2 に示す N または H との圧縮強度比において, PC 配合は, 材齢 91 日までは 0.8, 0.9 とほぼ一定値を示した. 早強セメントの使用により, 材齢初期でセメントの水和反応が進んだため, FA のポズラン反応が促進されたものと考えられる. なお, それぞれのプラントでの圧縮強度比の相違は, 単位セメント量の相違によるものと推察される. 一方, 置換率約 15% の RC 配合では, 圧縮強度比が材齢初期の 0.8 程度から材齢の進行とともに 0.9 程度と増加した. 材齢の進行とともにポズラン反応が進んだものと考えられる. なお, 置換率 25% とすることで, 材齢初期の圧縮強度比は 0.7 程度に低下している. 材齢とともに, 置換率 15% 程度の圧縮強度比 0.9 程度に漸近した. 材齢初期の圧縮強度比の低下は, 打設時期の相違による N との圧縮強度差によるものである. しかしながら, N+F は環境温度条件により強度増進が進むことを示している. このため,

キーワード フライアッシュ, 圧縮強度, 圧縮クリープ, 養生条件, 置換率

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 Tel:042-573-7281

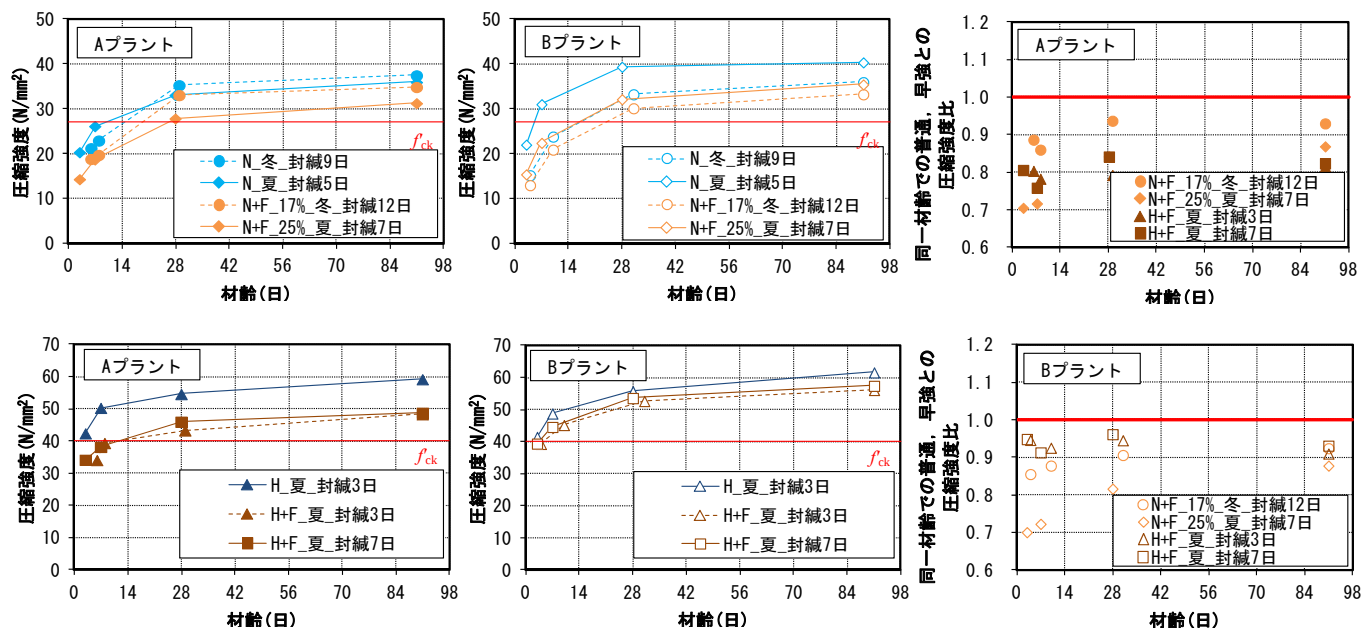


図1 圧縮強度と材齢の関係

図2 普通または早強との圧縮強度比

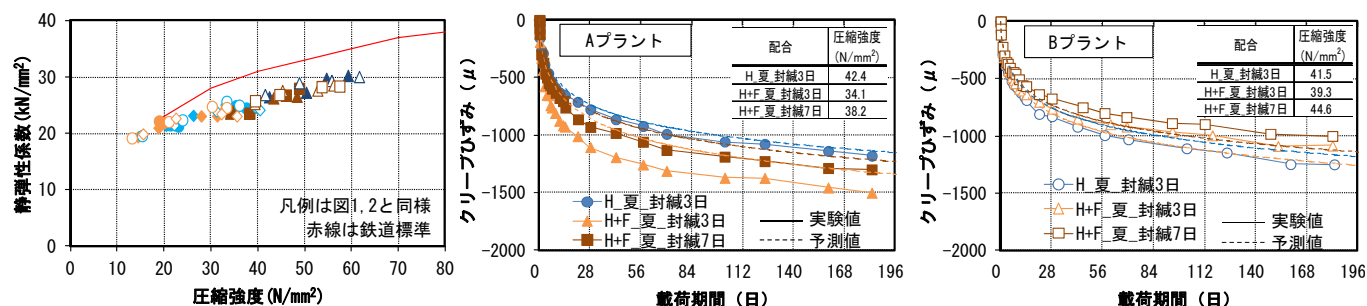


図3 圧縮強度と静弾性係数の関係

図4 クリープひずみ

FA コンクリートでは、置換率や環境温度に応じ、適切な材齢にて圧縮強度の特性値を設定する必要がある。

図3に示すN+F, H+Fの静弾性係数は、N, Hと圧縮強度が同等であれば、静弾性係数も同等であることを示している。また、鉄道標準⁶⁾に示される値と比較し、0.85程度とやや小さい値を示している。これは、N, Hも同様な傾向であるため、FA置換に起因するものではなく、使用骨材の影響と考えられる。

(2) 圧縮クリープ

クリープひずみを図4に示す。なお、図中には、 $f_{ck}=80\text{N/mm}^2$ 以下に適用可能な鉄道標準⁶⁾に示される予測式による試算結果、持続載荷開始日の圧縮強度を併せて示している。なお、鉄道標準に示される予測式は、コンクリート標準示方書[設計編]⁷⁾(以下、設計編)と同式である。

図4に示すクリープひずみは、概ね持続載荷開始時の圧縮強度が小さいほど大きくなる傾向を示している。FAの置換により、圧縮強度が低下することにより、クリープひずみが大きくなるものと考えられる。FAコンクリートをPC構造物に使用する場合は、適切な強度および材齢での緊張管理が必要となる。また、クリープひずみの予測値は、一般的に±50%程度のばらつきが報告されているが⁷⁾、H+Fのクリープひずみはその範囲内

に収まっており、鉄道標準⁶⁾、設計編⁷⁾による予測値と同等としてよいものと判断される。

5. おわりに

本実験で得られた知見を以下に示す。

- 1) 置換率15%程度のFAコンクリートは、普通、早強コンクリートとの圧縮強度比が0.8から0.9程度となる。
- 2) FAコンクリートの圧縮強度に対する静弾性係数は、普通、早強コンクリートと同等であるが、鉄道標準に示される値の0.85程度となる。
- 3) 同一材齢に持続載荷を実施すると、FAコンクリートは早強コンクリートに対して同一材齢での圧縮強度が小さいため、クリープひずみが大きくなる。

謝辞 本研究の実施にあたり、「コンクリート構造物の長期耐久性向上検討会」において貴重なご意見を頂きました。金沢大学鳥居和之教授をはじめ、関係者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 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), 2013.6, 2)土木学会：コンクリートライフサイクル132 循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術, 2009,
- 3) 三倉寛明他：供試体の製作方法及び養生条件がフライアッシュコンクリートの強度発現に与える影響, 土木学会第71回年次学術講演会, V-135, 2016,
- 4) 鉄道・運輸機構：PC桁施工管理の手引き, 2014, 5)土木学会：コンクリート標準示方書[施工編], 2012, 6)鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造, 2004, 7)土木学会：コンクリート標準示方書[設計編], 2012