蒸気養生した高強度フライアッシュコンクリートにおける廃瓦骨材の内部養生効果

広島大学大学院　学生会員　○村岸祐輔，土居直樹
中国電力株式会社　非会員　石森慎一郎
広島大学大学院　正会員　小川由布子，半井健一郎
広島大学大学院　フェロー会員　河合研至，佐藤良一

1. はじめに

石炭火力発電所の副産物であるフライアッシュ(FA)の有効利用が求められている．現在，FA コンクリートの普通コンクリートよりも初期強度が低く，長い湿潤養生期間を必要とする点を改善するための研究が進められている．温品らは，内部養生材である廃瓦骨材(PCA)を用いて，FA コンクリートの強度発現性の向上および収縮の低減を報告している [1]．一方，近年 FA のプレストレストコンクリート(PC)への適用が検討されており，蒸気養生することで初期強度が改善され，材齢初期においてプレストレス導入が可能であることが確認されているが，長期強度発現性の低下が指摘されている [2]．

本研究は，FA をプレキャスト PC に利用することを目的とし，蒸気養生および封緘養生した FA コンクリートの強度発現性および収縮特性に対する PCA の内部養生が，どの程度長期性状に効果を発揮できるかを検討した．

2. 実験概要

使用材料を表-1 に，配合を表-2 に示す．水結合材比を W/B=30%と一定とし，FA は内割置換して用い，置換率を 0，20，40mass%とした．これら 3 配合に PCA を 0，10vol%置換した計 6 配合とした．スランプおよび空気量は，それぞれ 18±2cm，4.5±1.0%を目標とし高性能 AE 減水剤および AE 剤で調整した．蒸気養生は図-1 に示すとおり，蒸気を供給し，温度履歴を与え，材齢 24 時間で脱型し，20±1℃，60±5%RH の恒温恒湿室に静置した．封緘養生は，打込み直後から 20±1℃，60±5%RH の恒温恒湿室に静置した．圧縮強度試験は JIS A 1108 に従い，材齢 1，7，28，70 および 91 日に行った．埋込みひずみゲージを 100×100×400mm の角柱供試体に設置し収縮を測定した．また，所定の材齢において，100×100×400mm の角柱供試体の質量を測定した．

表-1　使用材料

材料	種類	特性	記号
セメント	早強ポルトランドセメント	密度：3.14g/cm^3，比表面積：4490cm^2/g	HC
混和材	フライアッシュ（JISⅡ種）	密度：2.33g/cm^3，比表面積：3200cm^2/g	FA
細骨材	砕砂（黒瀬産）	表乾密度：2.60g/cm^3，吸水率：1.16% F.M.：2.88	S
粗骨材	砕石（黒瀬産）	表乾密度：2.62g/cm^3，吸水率：0.62% 寸法：5-13mm(6号)，13-20mm（5号）	G
	廃瓦粗骨材（丸惣産）	表乾密度：2.26g/cm^3，吸水率：8.7% 寸法：5-13mm(6号)	PCA
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸化合物	AD1
	AE剤	高アルキルカルボン酸系	AD2

表-2　配合表

配合記号	W/(C+FA) (%)	Air (%)	s/a	単位量(kg/m^3)						
				W	C	FA	S	混合砕石		
								G1305	G2013	PCA
HF0-G0	30	4.5	0.47	165	550	0	751	512	342	0
HF0-G10								427		74
HF20-G0			0.46		440	110	714	512		0
HF20-G10								427		74
HF40-G0			0.44		330	220	677	512		0
HF40-G10								427		74

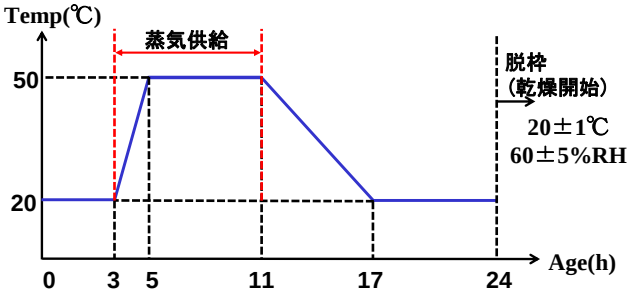

図-1　蒸気養生の概要

3. 実験結果および考察

3.1　力学特性

3.1.1　蒸気養生した場合

図-2 に蒸気養生した場合の圧縮強度試験結果を示す．図に示すように W/B=30%にすれば FA 置換率が 40%であっても材齢 1 日でプレストレス導入可能な圧縮強度(35N/mm^2)[3]を満足した．また，FA 置換した場合，内部養生の有無にかかわらず，FA 無置換に比べて材齢 1 日から 7 日までの強度発現が顕著であり，さらに内部養生による強度増加は FA40%置換で顕著である．次いでそれぞれの長期強度の視

点から材齢 91 日までの圧縮強度を材齢 1 日の圧縮強度で正規化した結果を図-3 に示す．これによれば，長期強度の伸びは FA が増加するにつれて大きく，増加率の視点では，内部養生効果は FA20%置換で材齢 1 日強度が低いため認められるものの，材齢 1 日強度を考慮すれば全体的に認められない．そこで，強度自体への効果を検討するため，内部養生した各コンクリートの圧縮強度を内部養生なしの場合のそれで正規化した結果を図-4 に示す．この図に示すように内部養生効果は FA40%置換が最も高い．これは FA0%および 20%置換の場合，FA40%置換に比べセメント量が多く，蒸気養生されているものの，内部養生水が不足したためと考えられる．

3.1.2　封緘養生した場合

図-5 に封緘養生した場合の圧縮強度試験結果を示す．W/B=30%にすれば FA 置換率が 20%までは材齢 1 日でプレストレス導入可能な圧縮強度を満足した．蒸気養生した場合と同様にそれぞれの長期強度の視点から材齢 91 日までの圧縮強度を材齢 1 日の圧縮強度で正規化した結果を図-6 に示す．これによれば，強度の増加率は材齢 1 日から 7 日までと 28 日以降が大きく，特に前者は大きい．また，FA 置換率が増加するにつれて大きく，内部養生効果は全体的には高いと言えない．そこで，強度自体への効果を検討するため，内部養生した各コンクリートの圧縮強度を内部養生なしの場合のそれで正規化した結果を図-7 に示す．この図からも内部養生効果は，蒸気養生の場合と同様 FA40%置換が最も高いことが認められる．しかし，FA40%置換での内部養生効果は，蒸気養生した場合において，材齢の経過によってあまり変わらないのに対し，封緘養生した場合においては，最も効果が低い FA0%置換とほぼ同様に 28 日以降増加傾向を示しており，FA 置換に対する規則性は見いだせない．しかし，図 - 5 に示すように，FA0%および FA20%置換への内部養生効果はそれほど大きくはないので，この検討範囲では FA40%置換の場合のみ明確に効果があると言える．

3.2　収縮特性

3.2.1　蒸気養生した場合

図-8 に凝結開始と推定される時点からの収縮の経時変化を示す．FA40%置換の自己収縮は，他に比べて小さいもの，PCA 置換にかかわらず乾燥後の収

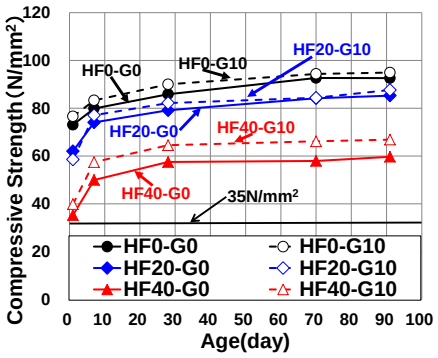

図-2　圧縮強度試験結果(蒸気養生)

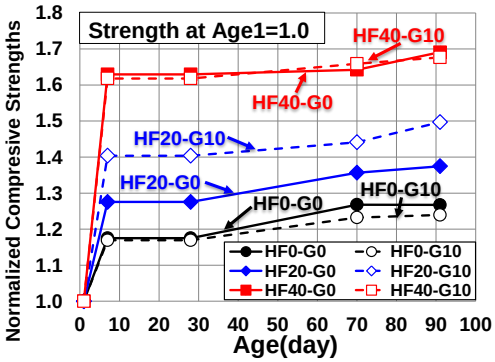

図-3　材齢 1 日強度に対する各材齢強度比(蒸気養生)

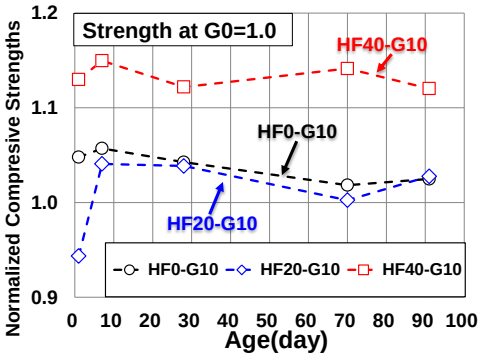

図-4　圧縮強度発現への PCA 内部養生効果(蒸気養生)

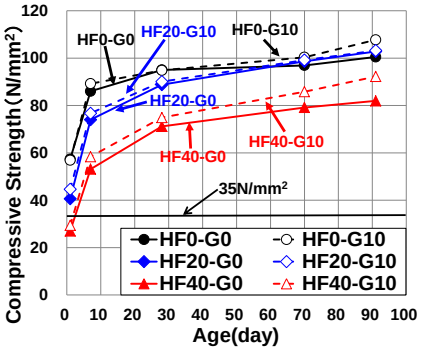

図-5　圧縮強度試験結果(封緘養生)

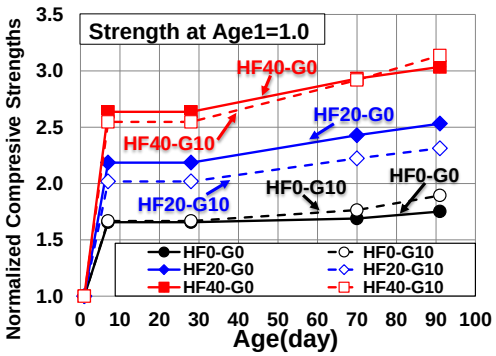

図-6　材齢 1 日強度に対する
各材齢強度比(封緘養生)

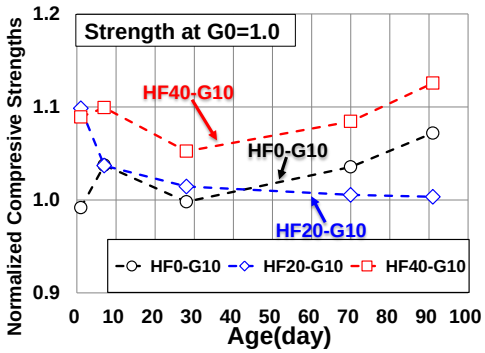

図-7　圧縮強度発現への
PCA 内部養生効果(封緘養生)

縮速度は大きく，FA20%置換もこれに近い傾向がある．PCA による収縮低減効果は FA 無置換にみられる．FA の高い収縮増加率は図-9 に示すように，FA の置換率が大きくなるほど質量減少率が大きくなり，大きな空隙とともに収縮を生じさせうる細孔も FA 無置換に近い容積を有していることによると思われる．また，FA0%および 20%置換において，質量減少率と収縮の関係に対する PCA の影響は大きくはないがセメント硬化体を粗な構造にする傾向がある．

3.2.2　封緘養生した場合

図-10 に凝結開始と推定される時点からの収縮の経時変化を示す．PCA を混入することで，FA の混入にかかわらず内部養生効果により自己収縮が低減された．しかし，内部養生効果による収縮低減量は，FA 置換率が小さいほど顕著にみられる．これは，FA 置換率が小さくなるほど，水セメント比が小さくなり，その水和反応に対応して細孔中の凝集水が減少し，相対湿度が低下して自己乾燥が生じるが，その結果内部養生水が供給されて自己乾燥を抑制したためと考えられる．

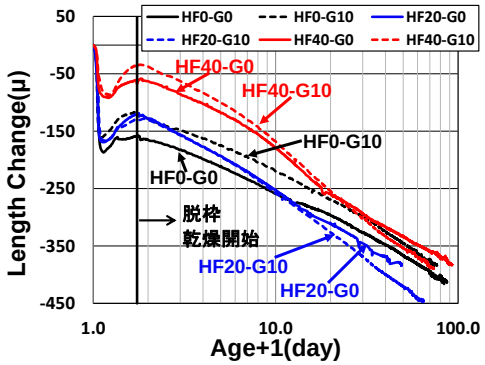

図-8　収縮の経時変化(蒸気養生)

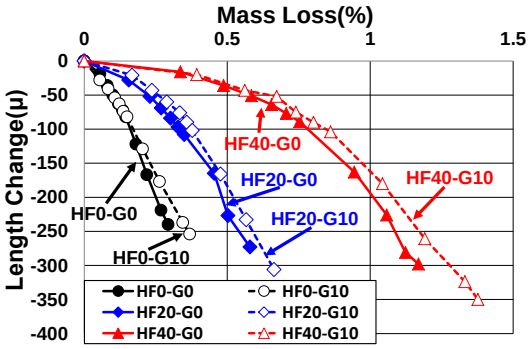

図-9　質量減少率と収縮の関係
(蒸気養生)

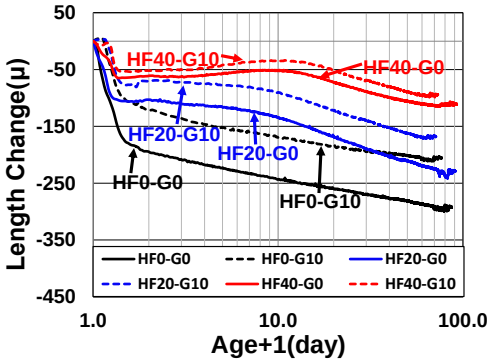

図-10　収縮の経時変化(封緘養生)

4.　結論

(1)　蒸気養生した場合，W/B=30%にすれば，FA40%置換しても，材齢 1 日でプレストレス導入可能な圧縮強度が得られた．FA40%置換した場合において，PCA の内部養生効果による強度増加が顕著であった．また，PCA の長期的な強度発現性に対して内部養生効果は，全体的には認められなかった．性に対して内部養生効果は，全体的には認められなかった．

(2)　封緘養生した場合，蒸気養生した場合と同様に

FA40%置換において，廃瓦粗骨材の内部養生効果が顕著に現れた．また，長期強度の伸びは FA 置換率が増大するにつれて高くなるが，PCA 混入による圧縮強度増大は得られなかった．

(3) 蒸気養生した場合，FA40%置換すると自己収縮が低減されたが，乾燥収縮増加率が大きくなった．これは，FA20%置換した場合にも，認められた．FA 無置換の場合，PCA の内部養生による収縮低減効果が認められた．

(4) 封緘養生した場合，FA の置換率にかかわらず，内部養生により，自己収縮が低減された．また，FA 置換率が小さいほど，収縮低減量は大きくなった．

参考文献

1) 温品達也ほか:廃瓦の内部養生によるフライアッシュ混入コンクリートの性能向上に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp. 241-246，2009

2) 俵道和ほか:プレストレス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, pp.197-202, 2011

3) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書[施工編]，pp.314-315，2013