

高強度フライアッシュコンクリートの強度発現に対する 廃瓦粗骨材の内部養生効果の検討

広島大学大学院	学生会員	○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	学生会員	Mwangi M MACHARIA
広島大学大学院	正会員	小川 由布子
広島大学大学院	フェロー会員	河合 研至
広島大学大学院	フェロー会員	佐藤 良一

1. はじめに

環境負荷低減を目的として、建設リサイクル法やグリーン購入法が制定され、石炭焼却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。しかし、フライアッシュを混和したコンクリート(FA コンクリート)は、普通コンクリートよりも初期の強度が低く、長い湿潤養生期間を必要とすることから、十分に活用されていない。また、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いる¹⁾が、長期強度の発現が標準養生と比べ劣ることが指摘されている。

一方、超高強度コンクリートはその低水比のために自己収縮によるひび割れの問題を有しており、高吸水率の人工軽量骨材などの多孔材料を使用した内部養生法が用いられる場合があるが、置換率の増大に伴って圧縮強度の頭打ちが起こるとの報告もされている²⁾。

これらに対し、BS812による破砕値が相対的に小さく、適度な吸水率を有する廃瓦骨材を高強度コンクリートの内部養生材に利用する研究が行われ、高強度化

と自己収縮低減に有効であると報告されている³⁾。

そこで温品⁴⁾らは FA コンクリートに対して粗骨材の一部を廃瓦で置換し、廃瓦の内部養生効果を検討した。それによればセメント硬化体は緻密化し、自己収縮が低減され、長期の圧縮強度が増加するが、初期強度の改善は確認されなかった。

以上の背景より、本研究では PC を想定し、早強ポルトランドセメント(HC)を使用し蒸気養生を行った場合の廃瓦粗骨材の内部養生効果を検討する。

2. 実験概要

(1) 使用材料と配合

使用材料を表-1に示す。セメントには、HCを使用した。混和材としてFAをセメントの質量比20%を置換して使用した。細骨材には、黒瀬産石英斑岩砕砂(S)および戸高産石灰石砕砂(LS)を用いた。粗骨材は、黒瀬産石英斑岩砕石(G)および廃瓦粗骨材(PCA)を用いた。表-1に示すようにPCAの吸水率はおよそ9%、破砕値は21%である。

表-1 コンクリートの使用材料

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(JIS II種)	密度2.23g/cm ³ ,比表面積:3200cm ² /g	FA
細骨材	石英斑岩砕砂(黒瀬産)	表乾密度:2.60g/cm ³ ,吸水率:1.16%	S
	石灰石砕砂(戸高産)	表乾密度:2.65g/cm ³ ,吸水率:1.22%	LS
粗骨材	石英斑岩砕石(黒瀬産)	表乾密度:2.62g/cm ³ ,吸水率:0.636%,破砕値:12%,寸法:5-20mm	G
	廃瓦粗骨材(江津産)	表乾密度:2.26g/cm ³ ,吸水率:8.92%,破砕値:21%,寸法:5-20mm	PCA
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸化合物	AD1
	空気量調整剤	ポリアルキレングリコール誘導体	AD2

表-2 コンクリートの配合

配合記号	W/B	Air(%)	s/a	単位量(kg/m ³)							添加量(B×%)	
				W	B		細骨材		粗骨材		混和剤	
					HC	FA	S	LS	G	PCA	AD1	AD2
HC	0.3	2.0	0.47	165	550	-	469	319	888	-	1.9	0.005
HC-G10			0.47	165	550	-	469	319	800	77	1.2	0.005
HC-G20			0.47	165	550	-	469	319	711	153	1.4	0.006
HC-FA20			0.46	165	440	110	447	304	888	-	1.8	0.004
HC-FA20-G10			0.46	165	440	110	447	304	800	77	1.4	0.004
HC-FA20-G20			0.46	165	440	110	447	304	711	153	1.2	0.003

表-2にコンクリートの配合を示す.水結合材比 W/B=30%とし,粗骨材容積の0, 10, 20%を廃瓦置換したもの, それら3配合にFAを20%置換した計6配合とした.スランプフロー600±100mmとし,高性能AE減水剤で調整した.

(2) 養生条件

蒸気養生の温度履歴を図-1に示す.打設後20±1°C, 60±5%RHの恒温恒湿室で前置き3時間,その後蒸気養生室内にて昇温速度15°C/hr.で50°Cまで温度を上げ,6時間50°C一定を保つ.その後,蒸気養生室の扉を開け自然冷却を行う.この際に急冷を避けるため,テフロンシートにて供試体に蒸気養生室外の空気が直接触れないようにした.脱枠は材齢1日に行い,その後,上記の恒温恒湿室にて保管した.

(3) 測定項目と測定方法

検討測定項目は圧縮強度,水酸化カルシウム量および長さ変化とした.圧縮強度はコンクリートの圧縮試験法(JIS A1108)に準拠した.水酸化カルシウム量の測定はFAのポズラン反応を間接的に評価するために行い,測定材齢は1,28日とした.この測定の具体的な方法は次のようである.すなわち,試料は別途実施した割裂引張強度試験直後の供試体中央部から採取したモルタルとし,示差熱重量分析法(TG-DTA)によって試料中の水酸化カルシウムCa(OH)₂の含有量を測定した.この含有量と試料の質量および骨材含有量を用いて試料ペースト中のCa(OH)₂含有量を算出した.長さ変化はコンタクトゲージ法(JIS A1129-2)に従い,100×100×400(mm)の角柱供試体を作製し,材齢1日後から測定した.したがって,実測値には材齢1日までの自己収縮は含まれていない.

3. 実験結果

(1) 圧縮強度発現

図-2にFAを混和しない場合の圧縮強度発現への廃瓦骨材の内部養生効果を示す.内部養生効果は全材齢において認められ,その効果はHC-G20の方がHC-G10より高く,材齢7日以降が3日までより顕著となっている.これは水結合材比がW/B=30%と小さく,またセメント量も550kg/m³と多いためG20と比べG10の内部養生水では不十分であること,さらに材齢7日までの水和反応の促進に貢献していることを意味していると考えられる.

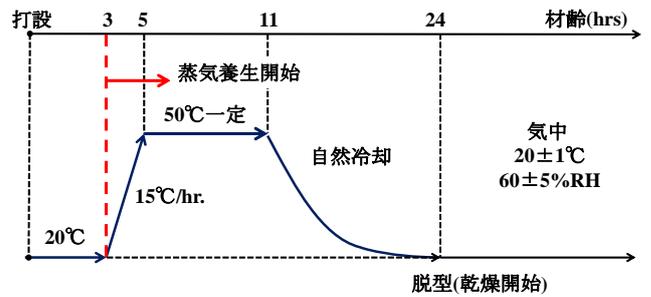


図-1 蒸気養生の温度履歴

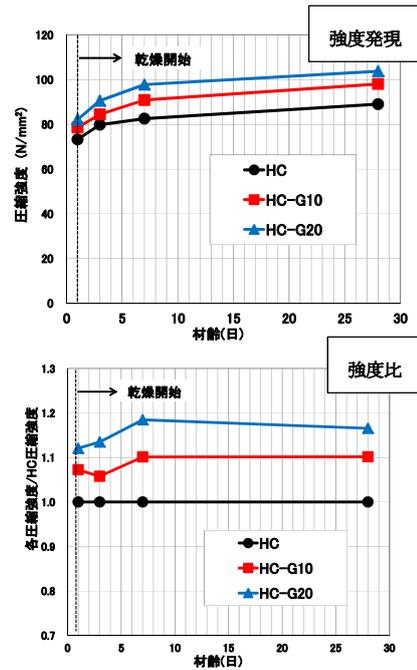


図-2 圧縮強度発現への廃瓦骨材の内部養生効果

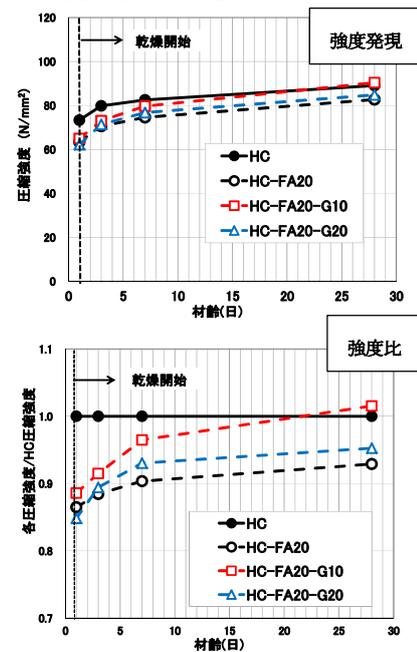


図-3 FAコンクリートの圧縮強度発現への廃瓦骨材の内部養生効果

図-3 に FA コンクリートの圧縮強度発現への廃瓦骨材の内部養生効果を示す。蒸気養生を行うことで FA コンクリートであっても材齢 1 日からプレストレス導入に必要となる 35N/mm^2 を大きく上回る 60N/mm^2 以上を得た。廃瓦骨材置換を行った場合、材齢 1 日の HC-FA20-G20 を除き、いずれの置換率の場合も無置換の HC-FA20 に比べ強度は高い。さらに廃瓦置換率 10%の HC-FA20-G10 は置換率 20%の HC-FA20-G20 に比べ、強度および材齢 7 日以降の増加率がともに高く、材齢 28 日では HC と同等以上となった。FA 無置換と異なり G20 より G10 の方の内部養生効果が高い理由として、FA 無混和に比べセメント量が 20%少なく細孔内の湿度低下が比較的遅いため内部養生水の供給もこれに合わせて徐々に行われること、またこの内部養生水の供給によりポズラン反応が比較的促進されやすいことが考えられる。

(2) 水酸化カルシウム量

図-4 は、FA 混和および内部養生が Ca(OH)_2 量の含有率に与える影響を示す。ここで含有率とは、セメント硬化体の質量に対する Ca(OH)_2 質量の比である。蒸気養生のみの HC を 1.0 とした場合に対する FA 混和、FA 混和+内部養生した場合の材齢 1, 28 日の値と比較して示した。これによれば、FA 混和のみの場合は Ca(OH)_2 量が材齢 1 日でも 20%低減している。内部養生を行えば FA 無混入では水和が促進され Ca(OH)_2 量が 20%程度以上増大した。しかし FA を混入し内部養生を行えば、この増大した値に対する比率は材齢 1 日でも 20-30%低減し、その後徐々に低減することが認められる。

Ca(OH)_2 含有率に及ぼす廃瓦置換率の影響を図-5 に示す。同図では、FA 混和が 20%であるので HC の場合は 80%の値を示している。FA を混和した場合のコンクリート中の Ca(OH)_2 量が廃瓦置換率にかかわらず HC の 80%量よりも小さいが、廃瓦置換の有無による差は 20%置換が若干小さく、ポズラン反応も若干進行していると考えられる。しかし、この結果は強度増進がポズラン反応に強く依存するとすれば図-3 の結果と対応しない。これから 10%置換の強度増進が大きいのは内部養生により HC の水和が進行し緻密は硬化体が生成されたことによると考えられる。

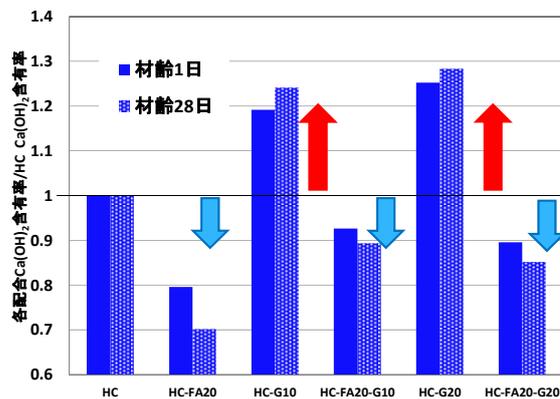


図-4 HC=1.0 とした場合の Ca(OH)_2 量の経時的変化

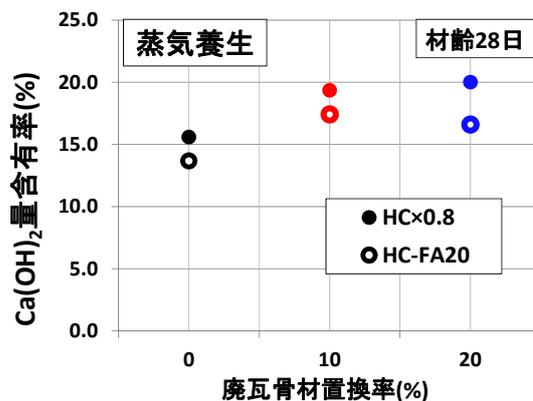


図-5 Ca(OH)_2 の生成、消費に与える内部養生および FA の影響

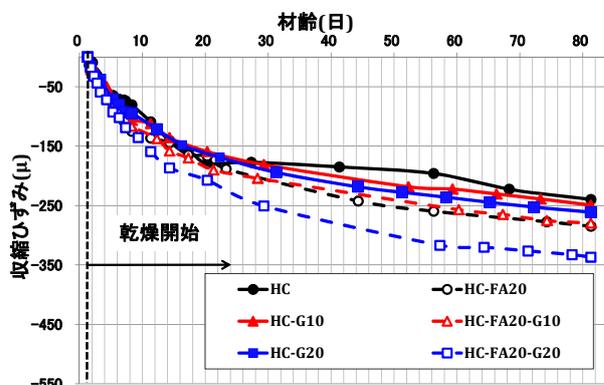


図-6 蒸気養生したコンクリートの乾燥収縮に及ぼす内部養生および FA の影響

(3) 長さ変化

収縮ひずみと材齢の関係を図-6 に示す。廃瓦骨材置換による材齢 1 日の乾燥後の収縮低減は確認されなかった。内部養生により収縮が低減するという既往の研究³⁴⁾のように、打込み後から材齢 1 日までの自己収縮を考慮すれば収縮量に差が出る可能性があるため、今後の課題としたい。

4. 結果

- (1) HC および HC-FA は、廃瓦骨材置換することにより HC-FA20-G10 の材齢 1 日を除き、圧縮強度が増加し、内部養生の効果を得た。HC-FA20-G10 は材齢 28 日で HC と同程度となった。
- (2) Ca(OH)₂ 量考察の結果、廃瓦骨材置換によって蒸気養生後もセメントの反応および FA のポズラン反応が進行している可能性が確認されたが、圧縮強度増進との関連性は確認されなかった。
- (3) 収縮量からは廃瓦骨材の内部養生効果による乾燥収縮低減は確認されなかったが、これについては今後、蒸気養生中の収縮ひずみを計測する実験的検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 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
- 2) 日紫喜剛啓ほか；自己収縮を低減した 150N/mm² 級超高強度コンクリートに関する実験的検討, 土木学会論文集, No.781, V-66, pp.101-112, 2005
- 3) 鈴木雅博ほか；廃瓦粗骨材を用いた超強度コンクリートの変形と拘束応力に関する検討, コンクリート工学年次論文集集, vol.29, No.1, pp651~656, 2007
- 4) 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