

廃瓦内部養生による高強度フライアッシュコンクリートの基礎力学特性

広島大学大学院
中国電力株式会社
広島大学大学院
広島大学大学院
広島大学大学院
広島大学大学院

学生会員
非会員
正会員
フェロー会員
フェロー会員
学生会員

○土居 直樹
石森 慎一郎
小川 由布子
河合 研至
佐藤 良一
Mwangi M MACHARIA

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)は、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(FAC)は初期の強度が低く、長い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。この中で、近年 FA のプレストレストコンクリート(PC)工場製品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。

温品²⁾らは FAC 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、内部養生により、セメント硬化体は緻密化し、自己収縮が低減され、長期の圧縮強度は増加するが、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強度特性に対する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。FA はセメントに対して質量比 20%を置換し、FA への養生水の供給を目的に内部養生材として粗骨材の一部を廃瓦(PCA)で置換して用いた。配合表を表-2 に示す。水結合材比は、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。スランブフロー 600±100mm とし、高性能 AE 減水剤で調整した。養生条件は蒸気および封緘養生とし、蒸気養生の温度履歴を図-1 に示す。封緘養生は打設後 20±1℃、60±5%RH の恒温恒湿室にて保管した。

(2) 測定項目と測定方法

検討試験項目は圧縮強度(JIS A 1108)、割裂引張強度(JIS

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(JIS II 種)	密度2.23g/cm ³ 比表面積:3200cm ² /g	FA
細骨材	石英岩砕砂(黒潮産)	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	石英岩砕石(黒潮産)	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 配合表

配合記号	W/B	Air(%)	s/a	単位量(kg/m ³)								添加量(B×%)	
				W	B			粗骨材			PCA	混和剤	
					HC	FA	S	LS	G	PGA		AD1	AD2
HC	0.3	2.0	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	0.008
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

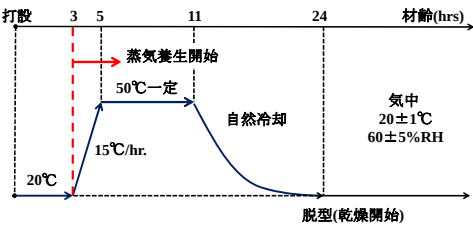


図-1 蒸気養生の温度履歴

A 1113)、ヤング係数(JIS A 1149)および水酸化カルシウム量とした。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、28日とした。この測定の具体的な方法は次のようである。試料は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。

3. 試験結果および考察

(1) 力学特性

図-2 に養生条件ごとの圧縮強度発現を示す。材齢 1 日の圧縮強度蒸気養生を行うことで封緘養生に比べ大きく上回る 60N/mm²以上を得た。HC は両養生条件において全材齢で内部養生効果は認められ、その効果は

HC-G20の方がHC-G10より高い。これは水結合材比が $W/B=30\%$ と小さく、セメント量も多いためG20と比べG10の内部養生水では不十分であることを意味していると考えられる。一方、FACは両養生条件において廃瓦置換率10%のHC-FA20-G10が置換率20%のHC-FA20-G20に比べ強度が高く、材齢28日ではHCと同等以上となった。FA無混和と異なりG10の方が高い理由として、HCが20%少なく細孔内の湿度低下が比較的に遅いため内部養生水の供給も徐々に行われることが考えられる。

図-3に割裂引張強度と圧縮強度の関係を示す。蒸気養生を行った場合、同一圧縮強度に対する割裂引張強度は封緘養生に比べ小さい。これは、蒸気養生を行うことにより電気泳動試験による実効拡散係数が増大する¹⁾ことを考慮すれば、微細なひび割れが生じていることによると考えられる。

図-4にヤング係数と圧縮強度の関係を示す。図に示すように、ヤング係数は養生条件に依存せず、また無置換に比べて若干小さい傾向があるものの廃瓦置換による影響はほとんどないと言えよう。

(2) 水酸化カルシウム量

図-5に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量に及ぼす廃瓦置換率の影響を示す。FA混和が20%であることを考慮して、HCの80%量の値を示す。FACの $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は廃瓦置換率に拘わらずFA無混和より小さい。廃瓦置換による消費は20%置換が大きく、それに対応してポゾラン反応も進行していると考えられる。しかし、この結果は圧縮強度増進がポゾラン反応に強く依存するとすれば図-2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な硬化体が生成されたことによると考えられる。

4. 結論

- (1) FACは蒸気、封緘両養生条件において廃瓦置換率10%の方が20%の場合に比べ強度が高く、材齢28日では無置換と同等以上となった。
- (2) 同一圧縮強度に対する割裂引張強度は、廃瓦置換の有無に拘わらず蒸気養生を行った場合の方が封緘養生の場合より小さいが、ヤング係数は養生条件および廃瓦置換の有無に拘わらずおおむね同等であった。
- (3) FACの $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量は廃瓦置換率に拘わらず無混和より小さい。廃瓦置換による消費率は20%置換が大きく、それに対応してポゾラン反応も進行していると考えられる。しかし、圧縮強度発現との対応は確認されなかった。

参考文献

- 1) 俵道とほか; 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) 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

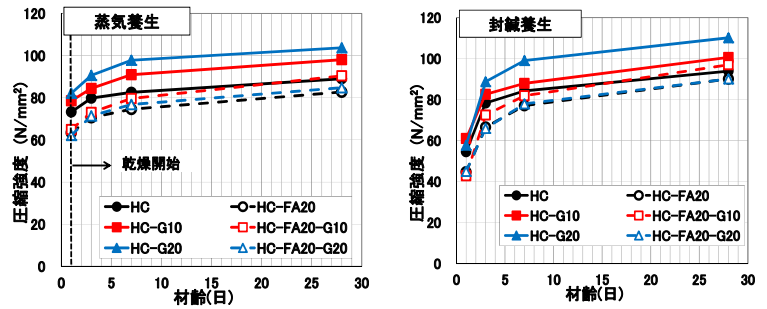


図-2 各養生条件の圧縮強度発現

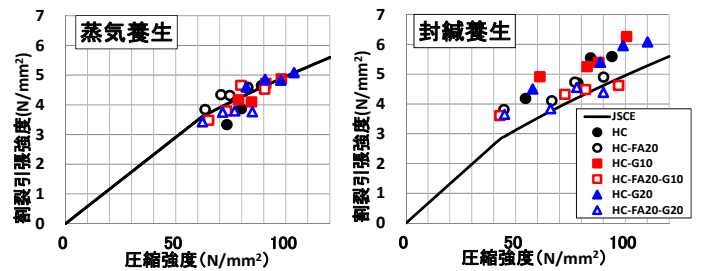


図-3 割裂引張強度と圧縮強度の関係

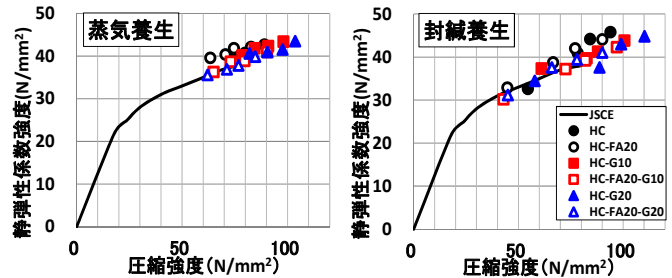


図-4 ヤング係数と圧縮強度の関係

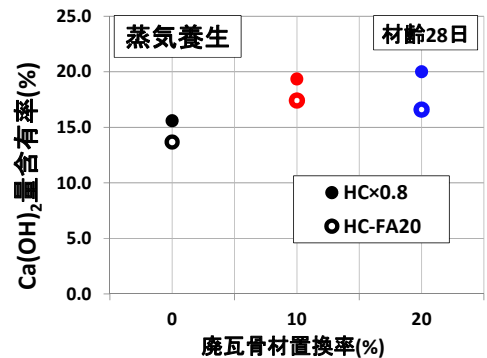


図-6 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成および消費