

廃瓦粗骨材による高強度コンクリートの内部養生効果

広島大学大学院	学生会員	○温品 達也
中国電力(株)	正会員	清木 祥平
中国高圧コンクリート(株)	正会員	中川 信矢
広島大学大学院	フェロー会員	佐藤 良一

1. はじめに

低水セメント比の高強度コンクリートでは、水和反応過程において、セメントペーストが自己乾燥することによる自己収縮が発生し、ひび割れが生じやすいことが知られている。これを抑制する手法として、膨張材による膨張ひずみを与える方法¹⁾、収縮低減剤により乾燥収縮を抑制する方法、またその併用¹⁾がある。

また、近年、高含水率の軽量骨材を内部養生材として使用し、収縮低減を行う方法が提案されている²⁾。これは相対湿度の低下したセメントペーストに湿度勾配を利用し、軽量骨材の水分を供給する手法であり、自己乾燥を抑制することを意図している。内部養生の利点は自己収縮抑制によるひび割れの低減にとどまらず、強度増進、透水性の低減、耐久性の増加もあるとの報告がある³⁾。しかし、一方で、軽量骨材を内部養生材として使用した場合、使用量の増加により収縮低減効果はあるが、圧縮強度の頭打ちが起こるとの報告もされており⁴⁾、高強度コンクリートへの内部養生材の適用は十分に検討されていない。これらに対し、強度が高く、適度な吸水率を有する廃瓦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する結果が報告されている⁵⁾。

本報告では、普通セメントコンクリートを用いた低水セメント比の高強度コンクリートにおいて、廃瓦による内部養生法の適用を実験的に検討した。

2. 実験概要

(1) 内部養生材

内部養生材として廃瓦を粗骨材の一部として使用する。廃瓦の外観を写真-1に示す。廃瓦は瓦の生産工程の不良品として発生する廃棄物である。廃瓦は鳥取県で年間約5,200t、島根県(石州瓦)で年間約20,000tが発生しており⁶⁾、有効利用が望まれている。廃瓦は島根県江津産を粉砕し、5-20mmにふ

るいわけを行ったものを用いる。廃瓦のコンクリート用粗骨材としての物性値は表-1のとおりである。人工軽量骨材よりも破砕値が低く硬い、硬質砂岩よりも吸水率が高い廃瓦に着目し、内部養生材として粗骨材の一部と置換し用いることとした。

(2) 使用材料と配合

本研究の使用材料は、結合材に普通ポルトランドセメントを用いた。骨材は粗骨材として山口産硬質砂岩および江津産廃瓦(3日間吸水)、細骨材として黒瀬産砕砂および戸高産石灰石砕砂を用いた。石灰石砕砂はコンクリートの流動性向上機能を有し、混和剤使用量減少によるコンクリート製造コスト削減を目的に使用するものである。

示方配合を表-2に示す。水結合材比ごとに普通セメントコンクリート、普通セメントコンクリートの粗骨材容積の40%を廃瓦置換したものの2配合とした。単位水量(W)165kgには廃瓦の吸水は含まれていない。廃瓦の吸水分(ΔW)は24kgであった。

養生条件は気中養生(室温20℃、湿度60%の室内に暴露)、封緘養生(強度試験材齢まで型枠内で養生)、水中養生(水温20℃)の3養生とした。封緘養生において、良い結果が得られた場合、早期の脱枠、膜養生剤の利用などを今後検討していく。

混和剤として、水結合材比:W/B=50、40%にはAE減水剤、W/B=30、20%には高性能減水剤を使用した。



写真-1 廃瓦(3日間吸水)

表 - 1 使用材料

使用材料	種類	性質	記号
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm^3 ,比表面積 $3260\text{cm}^2/\text{g}$	C
細骨材	砕砂(東広島市黒瀬産)	表乾密度 2.60g/cm^3 吸水率 1.13%	S
	石灰石砕砂(戸高産)	表乾密度 2.70g/cm^3 吸水率 0.93%	LS
粗骨材	砕石(山口県産硬質砂岩)	表乾密度 2.67g/cm^3 ,吸水率 0.56% 破砕値 12% ,最大寸法 20mm	G
	廃瓦粗骨材(江津産)	表乾密度 2.24g/cm^3 ,吸水率 8.58% 破砕値 21% ,最大寸法 20mm	CG
混和剤	AE助剤	リグニンスルホン酸塩 とポオカシカルボン酸	混和剤
	高性能減水剤	ポリカルボン酸系化合物	

(3) 測定方法

測定項目は、圧縮強度、ヤング係数、細孔径分布(材齢 7, 28 日)、自己収縮量である。

圧縮強度はコンクリートの圧縮試験法(JIS A1108),割裂引張強度はコンクリートの割裂引張強度試験法(JIS A1113)に準拠した。

細孔径分布は、強度試験直後の供試体から中央モルタル部分のみを採取し、水和を停止させた後、水銀圧入法ポロシメーターを用い細孔径ごとの細孔容積を測定した。

自己収縮量は、コンクリート長軸方向の両側面に鋼製ボルトを固定し、コンクリートの凝結始発から 24 時間まではレーザー変位計(精度 $1/1000\text{mm}$)で、その後はコンタクトゲージ法によって長さ変化を測定した。供試体は $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ のコンクリート供試体とした。コンクリートの自由な変形が型枠に拘束されるのを防ぐための措置は、「コンクリートの自己収縮応力試験法」⁷⁾に準拠した。

3. 実験結果

(1) 力学特性

図 - 1 に材齢 28 日における気中養生の圧縮強度の試験結果を示す。図中の B/W は 廃瓦中の水分($\Delta W = 24\text{kg}$)を単位水量に含めた総水量を W(単位水量: $165\text{kg} + \Delta W : 24\text{kg}$)とした場合の結果を示して

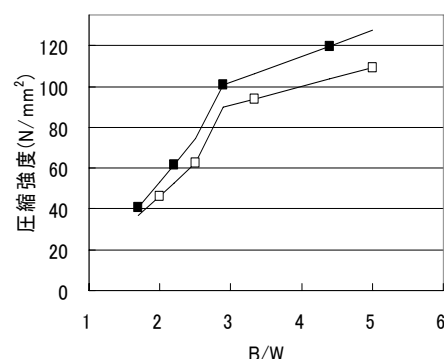
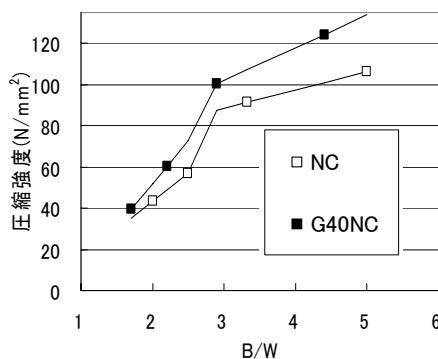
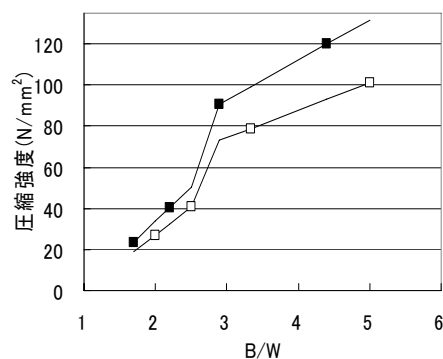


図 - 1 圧縮強度(気中養生, 材齢 28 日) 図 - 2 圧縮強度(封緘養生, 材齢 28 日) 図 - 3 圧縮強度(水中養生, 材齢 28 日)

表 - 2 示方配合

配合記号	W/C	空気量 (%)	s/a	単位量(kg/m³)						
				W	C	混合砂		G	G(廃瓦)	
						S	LS			
NC	0.5	4.5	0.471	165	330	504	349	852	972	-
G40NC					330	504	349	852	583	308
NC	0.4	4.5	0.450	165	413	463	320	783	972	-
G40NC					413	463	320	783	583	308
NC	0.3	2.0	0.532	165	550	532	368	900	804	-
G40NC					550	532	368	900	482	254
NC	0.2	2.0	0.459	165	825	397	275	671	803	-
G40NC					825	397	275	671	482	254

いる。内部養生水を無視した場合の B/W=2.0, 2.5, 3.3, 5.0 は、内部養生水を考慮すれば、B/W= 1.7, 2.2, 3.3, 4.4 となる。実際の水和反応に使われる水量は、練り混ぜ水の水のみと総水量の間にあると考えられる。W/B=50%と 20%の廃瓦置換あり(G40NC)と廃瓦置換なし(NC)を比較すると、廃瓦置換により W/B=50%の場合は 強度が増加(24%)するのに対し、W/B=20%の場合は、強度が増加(30%)する結果となった。W/B=20%で強度増加が大きい理由は、未反応のセメント粒子が多く存在し、これが廃瓦から供給される内部養生水により、水和反応を起こしたものと推測される。

図 - 2 に材齢 28 日における封緘養生の圧縮強度の試験結果を示す。W/B=50%と 20%の廃瓦置換あり(G40NC)と廃瓦置換なし(NC)を比較すると、W/B=50%の場合、廃瓦置換により強度が増加(20%)するのに対し、W/B=20%の場合、廃瓦置換により強度が増加(26%)する結果となった。なお、廃瓦置換の G40NC おいて圧縮強度 124.4N/mm^2 の高強度を示しており、人工軽量骨材を用いた場合の課題であった内部養生材の適用による圧縮強度の頭打ちは確認できなかった。

図 - 3 に材齢 28 日における水中養生の圧縮強度

の試験結果を示す。W/B=50%と20%の廃瓦置換あり(G40NC)と廃瓦置換なし(NC)を比較すると、W/B=50%の場合、廃瓦置換により強度が増加(15%)するのに対し、W/B=20%の場合、廃瓦置換により強度が増加(16%)する結果となった。B/Wが増加することによる廃瓦置換の効果は、水中養生の場合、気中養生、封緘養生における強度増加よりも低い傾向にあった。

図-4に材齢28日における封緘養生のヤング係数の試験結果を示す。円柱供試体を用いて圧縮強度試験を行う際に、最大荷重の3分の1までの荷重において、各荷重における供試体の収縮量を測定し、応力、ひずみ曲線を描きヤング係数を求めた。廃瓦で置換することによって、ヤング係数が若干低下している。

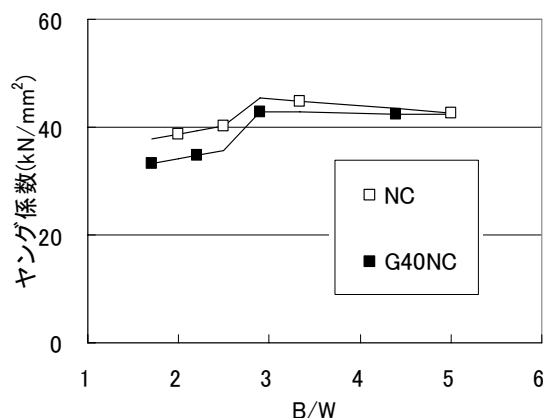


図-4 ヤング係数(封緘養生, 材齢28日)

(2) 細孔径分布

図-5に水結合材比50%, 28日材齢, 気中養生の細孔径分布の結果を示す。累積細孔容積の空隙総量は、廃瓦置換なしに比較し、廃瓦置換ありの場合

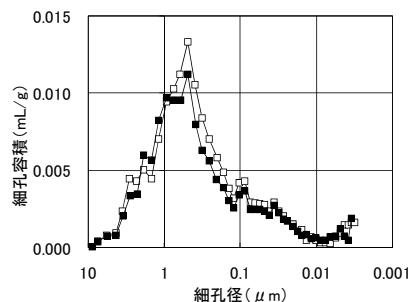
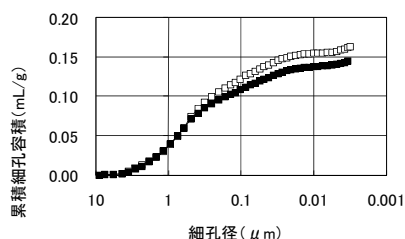


図-5 細孔径分布

(W/B=50%, 気中養生, 材齢28日)

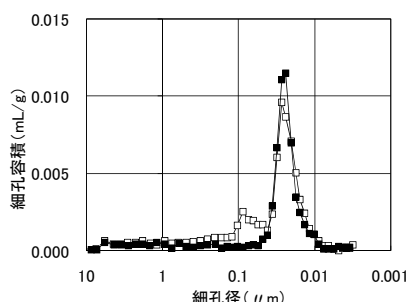
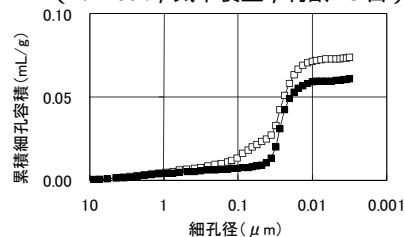


図-8 細孔径分布

(W/B=20%, 気中養生, 材齢28日)

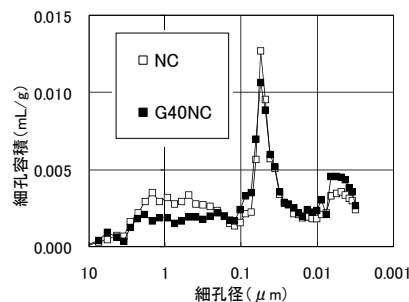
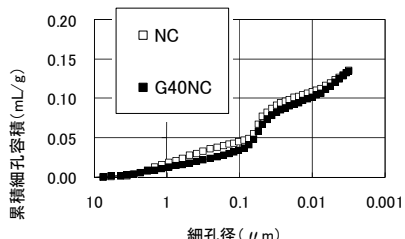


図-6 細孔径分布

(W/B=50%, 封緘養生, 材齢28日)

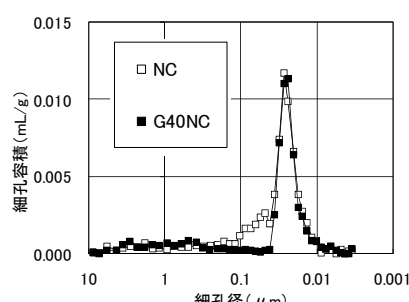
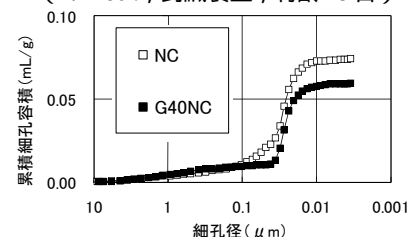


図-9 細孔径分布

(W/B=20%, 封緘養生, 材齢28日)

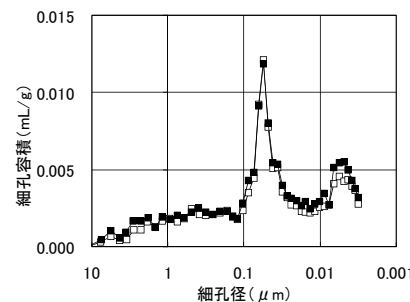
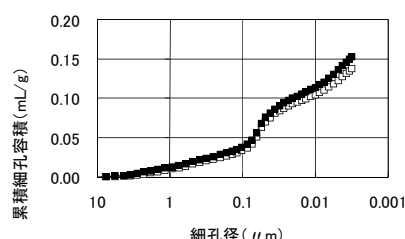


図-7 細孔径分布

(W/B=50%, 封緘養生, 材齢28日)

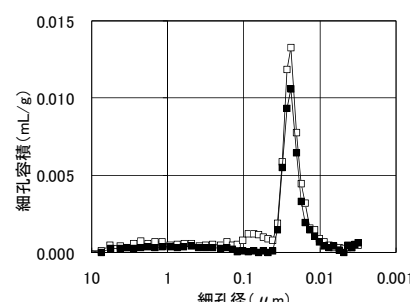
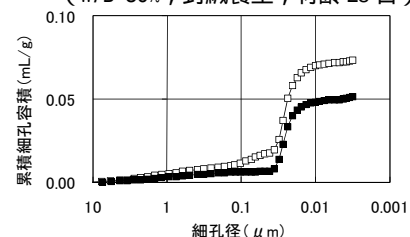


図-10 細孔径分布

(W/B=20%, 封緘養生, 材齢28日)

は低下している。細孔径分布においては、廃瓦置換の有無に係わらずほぼ同様の値である。図 - 6 に水結合材比 50%, 28 日材齢, 封緘養生の細孔径分布の試験結果を示す。累積細孔容積の空隙総量は廃瓦置換の有無に係わらずほぼ同様の値である。しかし, 細孔径分布をみると, 比較的大きな細孔径($0.1\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$)において, 廃瓦置換なしに比較し, 廃瓦置換ありの場合, 容積が低下している。図 - 7 に水結合材比 50%, 28 日材齢, 水中養生の細孔径分布の結果を示す。累積細孔容積の空隙総量は, 廃瓦置換なしに比較し, 廃瓦置換ありの場合は低下している。細孔径分布においては, 廃瓦置換の有無に係わらずほぼ同様の値である。以上, 各養生条件共に廃瓦置換により, 緻密な細孔構造となっていることが分かる。透水性, 透気性などの耐久性に優れたコンクリートとなっていることが推測される。

図 - 8 に水結合材比 20%, 28 日材齢, 気中養生の細孔径分布の試験結果を示す。廃瓦置換を行った場合, 空隙総量が減少している。細孔径分布をみると, 比較的大きな細孔径($0.07\mu\text{m} \sim 0.1\mu\text{m}$)において, 廃瓦置換なしに比較し, 廃瓦置換ありの場合, 容積が低下している。図 - 9, 図 - 10 に示す同供試体の封緘養生および気中養生の細孔径分布もほぼ同様となった。

(3) 自己収縮量

図 - 11 に水結合材比 20%, 28 日材齢, 封緘養生の自己収縮量の試験結果を示す。廃瓦置換のあり, なしの自己収縮量を比較すると, 廃瓦置換なしの場合 510μ 程度であった自己収縮量が, 廃瓦置換ありの場合 250μ 程度と廃瓦置換により, 自己収縮量が 50% 程度低減されている。

4. 結論

(1) 廃瓦粗骨材で内部養生したコンクリート (G40NC) の圧縮強度は, 内部養生水を考慮した場合の $W/B=0.5 \sim 0.2$ の範囲で廃瓦無置換のコンクリート (NC) の圧縮強度と同等以上であり, 廃瓦による内部養生効果は W/B が小さくなるにつれ顕著になる。

(2) $W/B=0.5, 0.2$ の材齢 28 日において, 廃瓦粗骨材で内部養生したコンクリート (G40NC) の比較的大きな毛細管空隙は, 普通コンクリート (NC) より小さく, 緻密である。

(3) 自己収縮ひずみは, 廃瓦の内部養生効果によ

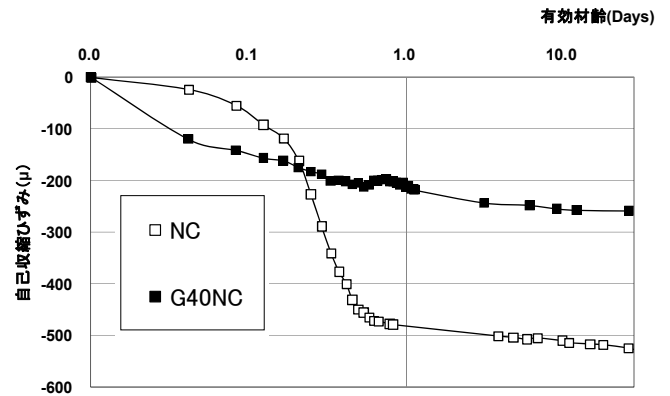


図 - 1 1 自己収縮量 ($W/B=20\%$, 封緘養生)

って, 50% 程度低減された。

5. 今後の課題

今後は, フライアッシュ等の混和材を用いたコンクリートに対し, 内部養生の手法を適用することにより, 初期の乾燥を防ぎ, 高い耐久性持ち, なお且つ自己収縮を低減した高強度コンクリートの開発を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 谷村充, 高強度コンクリートの収縮低減と RC 曲げ部材の使用性能評価に関する研究, 広島大学学位論文, 2005
- 2) P.Lura, K.van Breugel, The Influence of Moisture Flow from the LWA to the Paste on the early-age Deformations, 6th International Symposium on High Strength / High Performance Concrete, pp.1149-1160, 2002
- 3) Dale P.Bentz, P.Lura, John W.Roberts, Mixture Proportioning for Internal Curing, Concrete International, Vol.27, No.2, pp.35-40, 2005
- 4) 日紫喜剛啓ほか, 自己収縮を低減した 150N/mm^2 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
- 5) 鈴木雅博, 丸山一平, 川畑智亮, 佐藤良一, 廃瓦粗骨材を用いた超強度コンクリートの变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, vol.29, No.1, pp.651~656, 2007
- 6) 鳥取県, <http://www.pref.tottori.lg.jp/secure/79937/haikawara.pdf>
- 7) 日本コンクリート工学協会, JCI 規準集 (1997 ~ 2002 年), pp.565-567, 2004