

高炉 B 種コンクリートに対する廃瓦粗骨材による内部養生効果の検討

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○重松 明
広島大学大学院工学研究科 学生会員 温品達也
国土交通省中国地方整備局 木村 守
広島大学大学院工学研究科 フェロー会員 佐藤良一

1. はじめに

今日、建築リサイクル法やグリーン購入法などの個別リサイクル法が制定され、環境負荷低減が重要視されるようになり、高炉スラグは活用が進み実構造物に広く使用されている。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは普通ポルトランドセメント単味の場合より水和反応が遅いため、水和に長期間を要する傾向にあり、強度発現は、養生中、特に乾湿の影響を強く受ける傾向がある。

一般のコンクリート以上に養生、特に初期材齢における湿潤養生の良否が、硬化後のコンクリートの品質に大きな影響を及ぼす。初期に乾燥を受けると、その後湿潤状態を保っても、強度発現が悪くなるとともに、耐久性の低下および乾燥収縮が増大することもある。このため高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの湿潤養生期間は普通ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートの場合よりも長くする必要があり¹⁾が、実構造物においては工期短縮が求められる、養生が十分に行われない傾向にある。

また近年、高含水率の人口軽量骨材を内部養生材として使い、圧縮強度の増加や自己収縮低減を行う手法が提案されている²⁾。これは乾燥中のセメントペーストへ内部養生材から水分を供給し、自己乾燥を抑制しようという手法である。内部養生の効果は収縮低減だけでなく、強度発現、水密性の向上、化学抵抗性にも及ぶことが報告されている³⁾。しかし一方で既存の軽量骨材の置換率を大きくすると、圧縮強度の頭打ちなどの問題があることも報告されている⁴⁾。そこで適度な含水率と強度を持つ廃瓦を使用し、廃瓦粗骨材によるコンクリートの内部養生効果を検討した研究により、圧縮強度増進および収縮低減などの成果が報告されている⁵⁾。

そこで本研究では、水結合材比(W/B)55%での高炉 B 種コンクリートに対する廃瓦の内部養生効果を実験的に検討し、最適な廃瓦置換率および内部養生効果による力学特性の向上を把握することを目的とする。

2 実験概要

2.1 使用材料

本研究におけるコンクリートの作製に使用した材料を、表-1に示す。結合材には普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種を用いた。骨材は粗骨材として山口県産硬質砂岩砕石および江津産廃瓦、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。廃瓦粗骨材は島根県江津産で、カオリン粘土を焼成して作製した瓦の不適合品を用いた。写真1に示すように破碎して、5-20mmにふるい分けをおこなったものを7日間吸水させ、表乾状態にして使用した。混和剤はAE剤およびAE減水剤を使用した。配合表を表-2に示す。G10およびG20は廃瓦の置換率、10%および20%を意味する。使用材料は打設2日前に実験棟の養生室(20℃、湿度60%)で保管し材料温度を一定にする。養生条件を図-1に示す。養生条件は材齢7日気中暴露、封緘の2種類で検討した。



写真-1 廃瓦粗骨材

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	OPC
	高炉セメントB種	密度 3.02g/cm ³	BB
細骨材	砕砂 (広島県東広島市黒瀬町産)	表乾密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 1.06%	S
	石灰砕砂 (戸高鉱山産)	表乾密度 2.65g/cm ³ , 吸水率 1.22%	LS
粗骨材	砕石 (広島県東広島市黒瀬町産)	表乾密度 2.62g/cm ³ , 吸水率 0.69%	G
	廃瓦粗骨材 (江津産)	表乾 2.26g/cm ³ , 吸水率 9.44%	CG

表-2 配合表

配合記号	W/(C+BF)	s/a	単位量(kg/m ³)							
			W	C	BF	混合砂			G	CG
						S	LS	S+LS		
OPC	0.55	0.471	175	318	-	499	339	838	942	-
BB	0.55	0.467	175	-	318	492	334	826	942	-
BB-G20	0.55	0.467	175	-	318	492	334	826	753	162
BB-G10	0.55	0.467	175	-	318	492	334	826	848	81

材齢 7 日気中暴露 (以下 7 日気中暴露) は, 材齢 7 日まで封緘養生し, その後, 温度 20℃, 湿度 60% 条件下で気中養生するものである。

2.2 実験方法

測定項目は, 圧縮強度, 自己収縮と乾燥収縮ひずみおよび細孔径分布である。自己収縮と乾燥収縮ひずみは 100×100×400mm の角柱供試体の長さ変化を, 材齢 72 時間まではレーザー変位計(1/1000mm 精度), その後はコンタクトゲージ法により測定して求めた。細孔径分布は, 水銀圧入式ポロシメータにより, 各養生条件の供試体について材齢 7, 28 日に測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 圧縮強度

図-2 に 7 日気中暴露における圧縮強度試験の結果を示す。なお材齢 3 日, 7 日は封緘養生の強度である。材齢 3 日, 7 日では普通コンクリートと比較し, 高炉 B 種コンクリートの強度は, 廃瓦置換の有無に関わらず低い。材齢 28 日では廃瓦置換することで高炉 B 種コンクリートの強度を上回り, 普通コンクリートに対しても強度増加が確認された。図-3 に 7 日気中暴露における高炉 B 種コンクリート(BB) の強度を 1 とし廃瓦粗骨材を置換したもの(BB-G10, BB-G20)の比をとったものを示す。材齢 28 日に渡り,

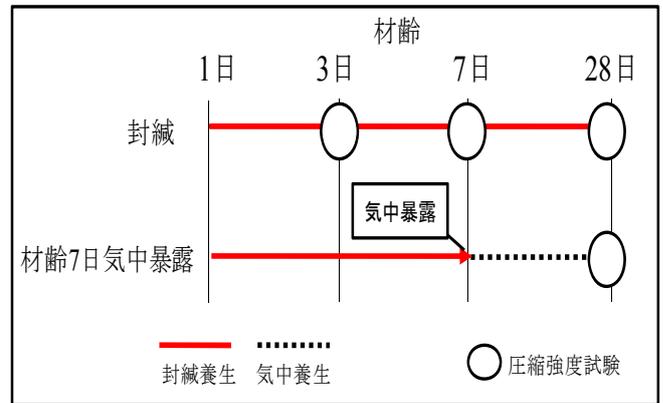


図-1 養生条件

廃瓦を 10%置換すると強度が増加することが確認され, 材齢 28 日では 14%の強度増加であった。廃瓦を 20%置換すると材齢 7 日までは廃瓦無置換と比較し, 同等かそれ以下であるが, 材齢 28 日では 13%の強度増加が確認された。材齢 3 日で無置換に対し強度が低下した原因として, 封緘養生によりコンクリート内部の水分減少が小さかったこと, 廃瓦粗骨材の強度が小さいことなどが考えられる。

材齢 7 日までは, 廃瓦置換率 10%の強度増加が大きかったが, 材齢 28 日では, 廃瓦置換率による差は確認されなかった。これらの強度増加は廃瓦粗骨材の内部養生効果によるものだと考えられる。

図-4 に封緘における圧縮強度試験の結果を示す。材齢 7 日まで, 普通コンクリートの強度が最も大きい, しかし材齢 28 日では高炉 B 種コンクリートが

普通コンクリートと同等の強度を示した。廃瓦を置換することで普通コンクリートに対し10%程度の強度増加が確認された。図-5に封緘における高炉B種コンクリート(BB)の強度を1とし廃瓦粗骨材を置換したもの(BB-G10, BB-G20)の比をとったものを示す。材齢28日に渡り、廃瓦を10%置換すると無置換より強度が増加した。廃瓦を20%置換すると、材齢3日では無置換に対し5%程度の強度低下がみられるが、材齢7日ではほぼ同等、材齢28日では7%程度の強度増加が確認された。

材齢3日、7日では、廃瓦置換率10%の強度増加が大きかったが、材齢28日では、廃瓦置換率による差は確認されなかった。封緘よりも7日気中暴露において廃瓦置換による強度増加が大きく、乾燥の影響を受けると内部養生効果が大きくなると考えられる。

3.2 廃瓦の置換率が圧縮強度と空隙量に及ぼす影響

図-6, 図-7にW/B=0.55の高炉B種コンクリートにおける、廃瓦の置換率が圧縮強度・空隙量に及ぼす影響について、7日気中暴露および封緘で養生したものを示す。図-6より、材齢7日において、廃瓦置換により、累積細孔容積の減少および圧縮強度の増加の傾向がみられる。材齢28日では、廃瓦を10%置換した場合、累積細孔容積が8%減少、圧縮強度が13%増加し、これらは廃瓦の内部養生効果によるものと類推される。図-7の封緘養生においても廃瓦を置換することで、累積細孔容積の減少や圧縮強度の増加の傾向はみられるが、先の材齢7日気中暴露ほどの影響は確認されなかった。また両養生条件の傾向として、材齢7日では廃瓦の置換による累積細孔容積の差は小さくほぼ同等であり、圧縮強度においても廃瓦置換による強度増加は小さい。しかし材齢28日では廃瓦を置換することで空隙量が材齢7日より大きく減少する傾向が確認でき、圧縮強度の増加も確認された。乾燥の影響を受ける7日気中暴露では、コンクリート内部に廃瓦の内部養生水が浸出し水和反応が促進されたと考えられる。そのため乾燥の影響を受けない封緘養生したものより、廃瓦置換の影響が大きかったと考えられる。

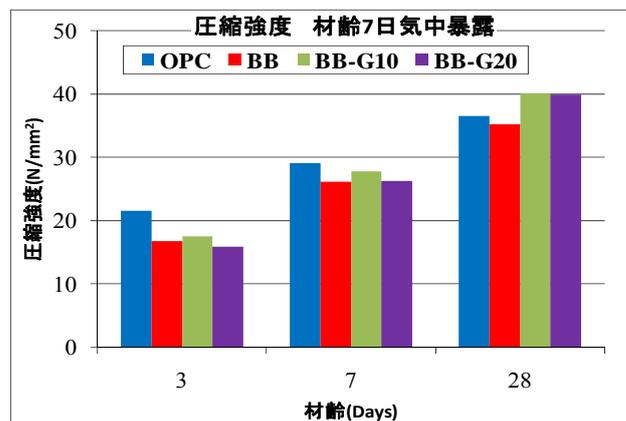


図-2 圧縮強度試験結果

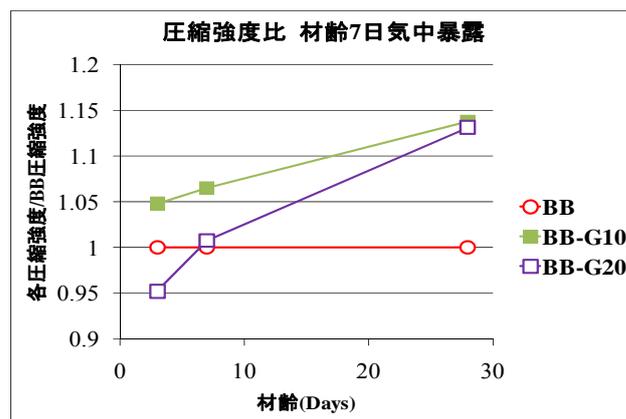


図-3 圧縮強度比

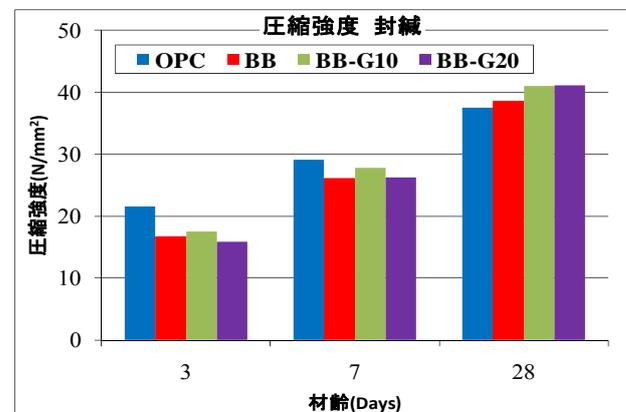


図-4 圧縮強度試験結果

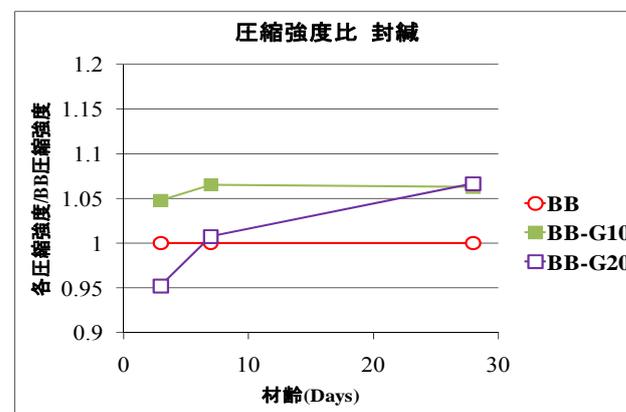


図-5 圧縮強度比

3.3 収縮ひずみ

図-8 に W/B=0.55 における廃瓦粗骨材が自己縮と乾燥収縮ひずみに及ぼす影響について示す。実線は自己収縮ひずみ、破線は材齢 7 日からの乾燥条件下の収縮ひずみを示している。普通コンクリート(OPC)および高炉 B 種コンクリート(BB)に対し、廃瓦置換した高炉 B 種コンクリート(BB-G10, G20)の自己収縮および乾燥収縮が大きくなる傾向がみられ、廃瓦の内部養生効果による収縮低減は確認されなかった。

4. 結果

W/B=0.55 で高炉 B 種コンクリートに廃瓦を置換すると、内部養生効果により、強度増加およびコンクリート内部の空隙量が減少する。封緘養生したもののより、乾燥の影響を受ける材齢 7 日気中暴露での効果が大きかった。材齢 28 日において廃瓦置換率 10%と 20%の圧縮強度は同等であったが、材齢 3 日、7 日では置換率 10%の強度増加が大きかったことから、廃瓦置換率は 10%が有効であると考えられる。廃瓦の内部養生効果による収縮低減は確認されなかった。

参考文献

- 1) 土木学会：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針，Vol.17, No. 5, pp.87-95, 1979.5
- 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, Jhon W.Roberts: mixture prorortioning 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/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
- 5) 鈴木雅博ほか：廃瓦粗骨材を用いた超高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, Vol.29, No.1, p p 651-656, 2007

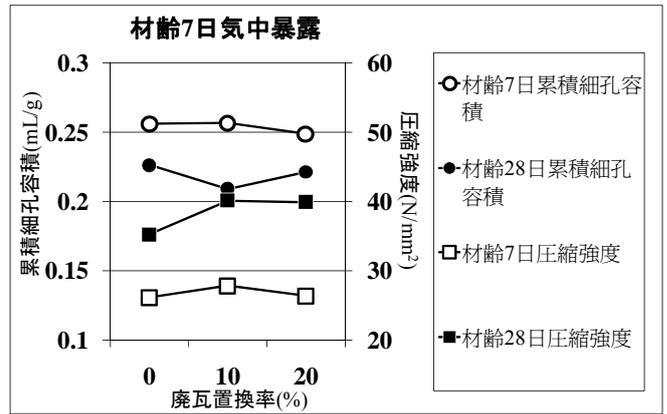


図-6 廃瓦の置換率が強度，空隙量に及ぼす影響

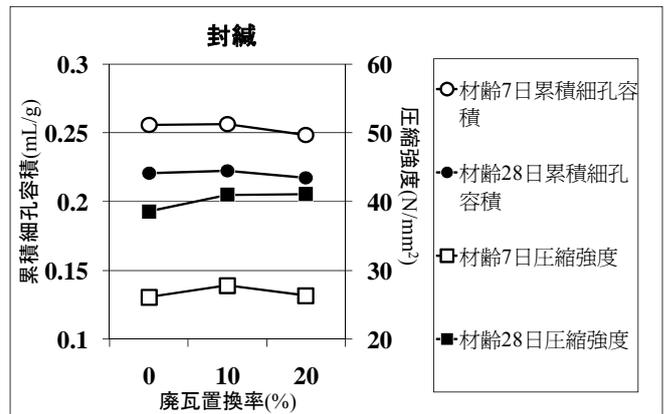


図-7 廃瓦の置換率が強度，空隙量に及ぼす影響

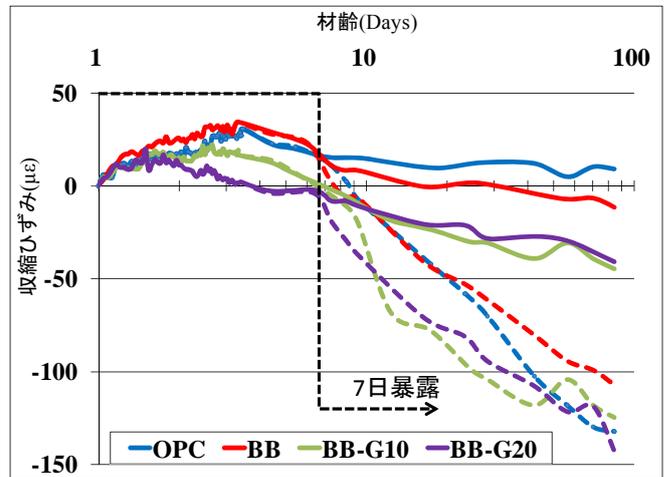


図-8 収縮ひずみ