

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○大西裕士
広島大学大学院工学研究科 学生会員 重松 明
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 B 種セメントを用いたコンクリートは活用が進み、実構造物に広く使用されている。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、強度発現が低下するとともに耐久性の低下なども起こりうるとされているが、実構造物においては工期短縮が求められ、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用い、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¹⁾。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²⁾。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³⁾。そこで、適度な吸水率と高い強度を持つ廃瓦粗骨材を内部養生材として早期脱枠を想定した高炉 B 種コンクリートに用い、圧縮強度、細孔径分布、長さ変化などに関わる特性の向上について実験的に検討した。その結果、強度の改善や細孔構造の緻密化が認められた⁴⁾。

本研究では、廃瓦細骨材による内部養生効果を実験的に検討する。これは廃瓦細骨材置換の方が廃瓦粗骨材置換よりもコンクリート中に均一に分布し、セメントと接する面積が大きくなることから、より高い内部養生効果を得られるであろうという考えに基づいている。検討項目は、初期材齢から材齢 91 日

までの圧縮強度発現から強度比較を行い、累積細孔容積率から内部の空隙状態を検討する。また、廃瓦粗骨材と廃瓦細骨材の内部養生効果の比較をして優劣を検討する。

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、高炉スラグ 40~45%置換のプレミックスセメントである高炉 B 種を使用した。骨材は粗骨材として黒瀬町産石英砕石および江津産廃瓦、細骨材として黒瀬町産石英砕砂、戸高鉾山産石灰砕砂、江津産廃瓦を用いた。廃瓦骨材は、カオリン粘土を焼成して作製した瓦の不適合品を用いており、7 日間吸水させ、表乾状態にしたものを使用した。混和剤は AE 剤および AE 減水剤を使用した。使用材料は打設 2 日前に養生室 (20℃、湿度 60%) で保管し材料温度を一定にした。また、高炉スラグを用いたコンクリートは練混ぜ温度が強度発現に影響を与えるため、練混ぜ温度を 10℃以上とした。

2.2 配合

配合表を表-2 に示す。普通コンクリートを NC、高炉 B 種コンクリートを BB と表す。G10 および G20 は廃瓦粗骨材の置換率 10%および 20%を意味しており、S12 および S24 は廃瓦細骨材の置換率 12%および 24%を意味する。水結合材比(W/B)は 0.55 とする。廃瓦粗骨材と廃瓦細骨材の内部養生効果を比較するため、廃瓦の総吸水量が同じになるように置換率を調整した。

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 3.16 g/cm^3	NC
	高炉セメントB種	密度 3.02 g/cm^3	BB
細骨材	石英砕砂（広島県東広島市黒瀬町産）	表乾密度 2.60 g/cm^3 、吸水率1.06%	S
	石灰砕砂（戸高鉱山産）	表乾密度 2.65 g/cm^3 、吸水率1.22%	LS
	廃瓦細骨材（江津産）	表乾密度 2.29 g/cm^3 、吸水率8.61%	瓦細
粗骨材	石英碎石（広島県東広島市黒瀬町産）	表乾密度 2.62 g/cm^3 、吸水率0.69%	G
	廃瓦粗骨材（江津産）	表乾密度 2.26 g/cm^3 、吸水率9.44%	瓦粗
混和材	AE剤	ポリアルキレングリコール誘導体	混和剤
	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体	

表－2 配合表

配合記号	W/B	空気量(%)	s/a	単位量 (Kg/m ³)							
				W	C	BB	混合砂			G	瓦粗
							S	LS	瓦細		
NC	0.55	4.5	0.47	175	318	—	499	339	—	942	—
BB					—	318	492	334		929	
BB-G20										753	162
BB-G10										848	81
BB-S24							378	257	178	929	—
BB-S12							438	298	89		

2.3 実験方法

各実験の測定項目は、圧縮強度、細孔径分布である。圧縮強度は、養生条件ごとに材齢3・7・28・91日で測定し、材齢と温度依存性等を考慮できる式⁵⁾から算出した。細孔径分布は各養生条件に対し、材齢7・28日に水銀圧入式ポロシメータにより測定し、モルタルの細孔径量を把握する。養生条件を図－1に示す。養生条件は材齢7日気中曝露、封緘養生の2種類で検討した。材齢7日気中曝露は、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。

養生条件	材齡(Days)			
	3	7	28	91
材齡7日気中曝露	封緘		→気中曝露	
封緘	封緘			

図－1 養生条件

ではBBと比較し、BB-G・BB-Sともに強度が劣っている。BB-G10は材齢7日以降3%～24%上回り、BB-G20は材齢7日で3%劣るが、材齢28日以降13%～18%上回った。BB-S12は材齢7日で3%劣り、材齢28日以降は7%～10%上回った。BB-S24は材齢7日で2%劣り、材齢28日以降、7%～8%上回った。BBと比較して、BB-G・BB-Sともに、材齢経過にともない強度の増加割合が増している。これらの強度増加は廃瓦骨材の内部養生効果によるものだと考えられる。また、材齢3日や、材齢7日でBBに対し強度が劣った原因として、初期材齢では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ためと推測される。

図－4に封緘における圧縮強度試験の結果を示す。封緘養生の材齢3日、材齢7日の考察は上記と同じなので省略する。BBはNCと比較し材齢28日で同等、材齢91日になると3%強度が上回った。図－5に封緘におけるBBの強度を1としBB-G・BB-Sと

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度

図－2に材齢7日気中曝露の圧縮強度試験結果を示す。なお材齢7日までは封緘養生の結果である。材齢3日、7日ではNCと比較し、BB、BB-G、BB-Sの強度は、廃瓦置換の有無に関わらず劣る。BBは材齢28日でもNCに劣っており、材齢91日になると同等の強度となった。BB-G・BB-Sは材齢28日以降、NCと比較して、同等以上の結果となった。図－3に材齢7日気中曝露におけるBBの強度を1としBB-G・BB-Sとの比をとったものを示す。材齢3日

の比をとったものを示す。BB-G10 は材齢 28 日以降 6%～8% 上回り, BB-G20 は材齢 28 日以降 7%～11% 上回った。BB-S12 は材齢 28 日・材齢 91 日ともにほぼ同等となった。BB-S24 は材齢 28 日以降 3%～5% 上回った。

封緘よりも材齢 7 日気中曝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顕著に現れると考察する。また、材齢 7 日気中曝露・封緘ともに BB-S よりも BB-G の方が高い強度が得られた。

3.2 累積細孔容積率

図-6 に材齢 7 日気中曝露の材齢 28 日における累積細孔容積率を示す。まず、NC は最も累積細孔容積率が高い。累積細孔容積率も $0.05\mu\text{m}$ 以上の割合が最も高く、最もコンクリート内部の細孔構造が緻密ではない。BB-G・BB-S は BB と比較して多少ではあるが、累積細孔容積が減少している。また、累積細孔容積率を比較すると、BB は $0.05\mu\text{m}$ 以上の細孔径の累積細孔容積率が BB-G・BB-S に比べ高い。これらのことから、廃瓦骨材の内部養生効果により、コンクリート内部の細孔構造が緻密化したと考えられる。図-7 に封緘の材齢 28 日における累積細孔容積率を示す。NC の累積細孔容積と比較して BB, BB-G および BB-S に大きな差異はない。NC の累積細孔容積率は $0.1\mu\text{m}$ 以上の細孔径の累積細孔容積率が BB, BB-G および BB-S に比べ高い。次に、BB と比較して BB-S12 は累積細孔容積が減少しているが、BB-G10, BB-G20 および BB-S24 は大きな差異はない。また、累積細孔容積率を比較すると、BB-G・BB-S は BB と比較して大きな差異はない。

早期乾燥条件の材齢 7 日気中曝露では廃瓦骨材の内部養生効果により細孔構造の緻密化が得られたが、封緘では廃瓦骨材の大きな効果は得られなかった。また、BB-G と BB-S を比較すると細孔容積率より BB-S の方がコンクリート内部の細孔構造が緻密化するという結果が得られた。

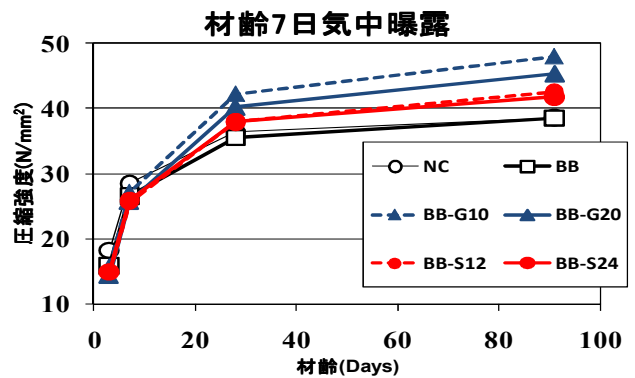


図-2 圧縮強度試験結果

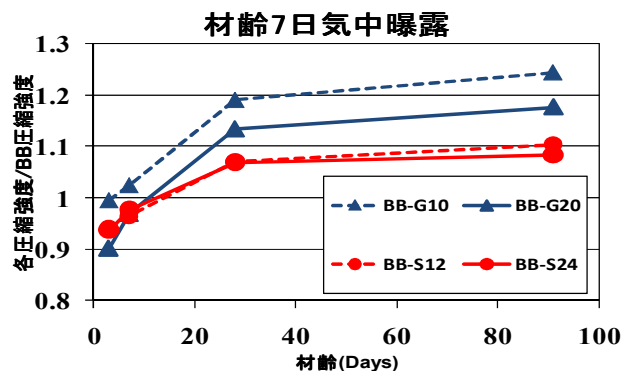


図-3 BB との圧縮強度比

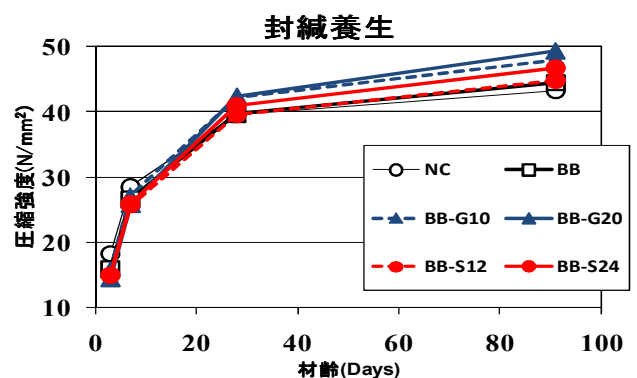


図-4 圧縮強度試験結果

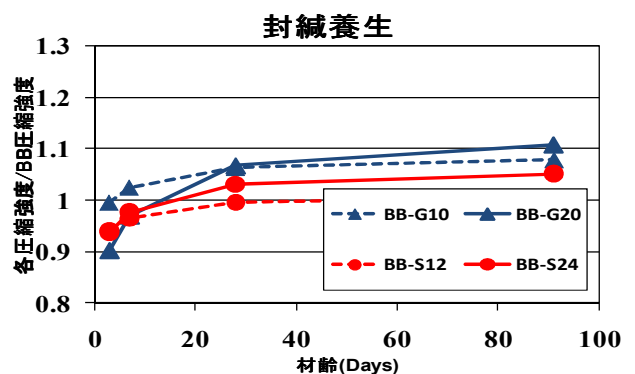


図-5 BB との圧縮強度比

4. 結論

W/B=0.55 で BB 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細孔構造が緻密化する。封緘養生したものより、乾燥の影響を受ける材齢 7 日気中曝露での効果が大きかった。BB-G と BB-S の内部養生効果を比較すると、強度増加において BB-G の方が大きかったが、コンクリート内部の細孔構造は BB-S の方が緻密化する。

参考文献

- 1) 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
- 2) Dale P.Bentz, P.Lura, Jhon W.Roberts: mixture prorortioning for Internal Curing , Concrete International, Vol.27, No.2, pp.35-40, 2005
- 3) 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
- 4) 重松明ほか：廃瓦粗骨材の内部養生による高炉 B 種コンクリートの性能向上について, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.205-210, 2009
- 5) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, pp.47-51

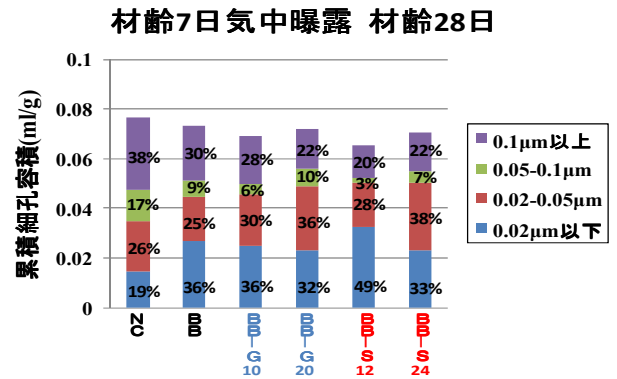


図-6 累積細孔容積率

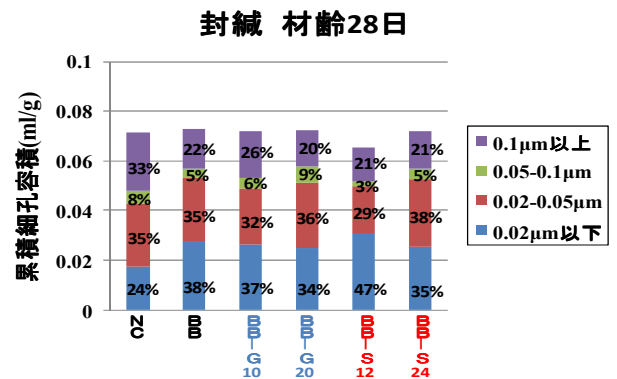


図-7 累積細孔容積率