

廃瓦粗骨材および廃瓦細骨材により内部養生した高炉セメント B 種コンクリートの耐凍害性

広島大学 学生会員 ○桐本 大司
広島大学 正会員 小川 由布子
広島大学 フェロー会員 河合 研至

1. はじめに

現在、内部養生材として、屋根瓦の製造時に発生する規格外品を破砕した廃瓦骨材の利用が提案されている。廃瓦骨材は、従来の内部養生材（人工軽量骨材）と普通骨材の中間的な吸水率および破砕値を有し、より長い湿潤養生が必要とされる高炉セメント B 種コンクリートにおける強度増進などの内部養生効果が報告されている¹⁾。
一方、吸水率の高い内部養生材の使用は、コンクリート中の凍結可能水を増加させることから、一般にコンクリートの耐凍害性を低下させることが懸念されている²⁾。しかし、内部養生効果による組織の緻密化によりコンクリートの耐凍害性が改善される可能性も示唆されており³⁾、統一的な評価ができていないのが現状である。また、廃瓦粗骨材と廃瓦細骨材で内部養生効果の相違は未解明である。そこで本研究では、廃瓦骨材の内部養生効果と耐凍害性の関連性を明らかとすることを目的とし、廃瓦骨材の置換率や養生条件がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表 1 に示す。セメントには高炉セメント B 種を用いた。普通骨材として、粗骨材には石英斑岩碎石を、細骨材には石英斑岩砕砂を使用した。廃瓦粗骨材および廃瓦細骨材（島根県江津産石州瓦）は 7 日間以上水に浸し、十分に吸水させたものを表乾状態に調整して使用した。
コンクリートの配合を表 2 に示す。水セメント比 (W/C) は 0.50、単位水量は 170kg/m³、細骨材率は 46.6%とし、廃瓦無置換(BBC)、廃瓦粗骨材 20vol%、50vol%置換(G20、G50)、廃瓦細骨材 23vol%、58vol%置換(S23、S58)の 5 配合のコンクリートを作製した。ここで G20 と S23、G50 と S58 はそれぞれ、内部養生水量が等しくなるように設定した。目標スランブおよび空気量はそれぞれ 10±2cm、4.5±0.5%とし、AE 減水剤および AE 剤を用いて調整を行った。表 2 にフレッシュ性状の実測値を付記する。

2.2 養生条件

養生条件は材齢 3 日まで封緘養生後気中曝露 (3D)、材齢 7 日まで封緘養生後気中曝露 (7D)、封緘養生 (S) の 3 条件とした。打設後、20℃の室内において封緘養生し、気中曝露を行う供試体は、材齢 3 日および 7 日に脱型し 20℃、60%R.H.の環境に静置した。

2.3 実験項目および試験方法

凍結融解試験は、JIS A1148 に準拠し、材齢 28 日に A 法(水中凍結融解試験)を開始した。凍結融解 30 サイクル毎に供試体のたわみ振動の一次共鳴振動数および質量を測定し、相対動弾性係数、耐久性指数および質量変化率を算出した。
質量測定は、気中曝露する供試体について 100x100x400mm の角柱供試体を用いて行った。質量減少はすべて水分の逸散とし、各配合の練混ぜ時に含まれる水分量の理論値と質量減少量を用いて、コンクリート中の水分量を求めた。さらにこの水分量に凍結融解サイクル初期における質量増加分の最大値までを吸水

キーワード 廃瓦粗骨材、廃瓦細骨材、内部養生、水分残存量、養生条件、凍結融解抵抗性

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 構造材料工学研究室 TEL082-424-7786

表 1 使用材料

使用材料	種類	物理特性
セメント	高炉セメントB種	密度3.04g/cm ³ 、比表面積3860cm ² /g
細骨材	石英斑岩砕砂	表乾密度2.61g/cm ³ 、吸水率1.06%
	廃瓦細骨材	表乾密度2.28g/cm ³ 、吸水率9.75%
	石英斑岩砕石2010	表乾密度2.62g/cm ³ 、吸水率0.68%
粗骨材	石英斑岩砕石1505	表乾密度2.62g/cm ³ 、吸水率0.66%
	廃瓦粗骨材1305	表乾密度2.26g/cm ³ 、吸水率9.08%
	AE剤	特殊アニオン界面活性剤
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸塩ポリカルボン酸系化合物

表 2 コンクリートの配合

配合名	単位量(kg/m ³)								AE剤 (C×%)	AE減水剤 (C×%)	空気量 (%)	スランブ (cm)
	W	C	細骨材			粗骨材						
			計	砕砂	廃瓦	計	砕石	廃瓦				
BBC	170	340	783	783	0	977	977	0	0.0050	0.0025	5.2	12.0
G20			783	783	0	951	781	170	0.0030	0.0035	4.1	11.0
G50			783	783	0	913	490	423	0.0030	0.0035	4.0	11.0
S23			760	603	157	977	977	0	0.0060	0.0020	4.8	12.0
S58			726	329	397	977	977	0	0.0060	0.0020	4.7	10.5

量として加えたものを水分残存量と定義した。この水分残存量には、凍結可能な自由水と、水和反応により消費され水和物として存在しているものが含まれる。

3. 実験結果および考察

凍結融解試験で測定した相対動弾性係数から算出した、耐久性指数を図1に示す。図1より、G50-SおよびS58のすべての養生条件を除いて、一般に耐凍害性を有するとされる耐久性指数60以上となった。また、S23のすべての養生条件のものでBBCの耐久性指数を上回っており、コンクリートの耐凍害性の向上が確認された。一方、廃瓦骨材の置換率が50%程度であっても、廃瓦を粗骨材として用い、一定期間封緘養生した後に気中曝露することで高い耐凍害性を示した。

図2, 3に廃瓦骨材置換率20%程度の場合および廃瓦骨材置換率50%程度の場合の質量減少率を示す。これらの図より、いずれの置換率の場合も封緘養生期間の短い供試体ほど、また廃瓦を粗骨材として置換した場合よりも細骨材として置換した場合の方が凍結融解サイクル初期の質量増加が大きく、その後の質量減少率も大きいことがわかる。廃瓦を細骨材として置換した場合の方が、粗骨材として置換した場合と比べて、コンクリートの表面近くまで廃瓦が存在することから、表面付近の廃瓦細骨材自体が凍結融解作用により劣化し、スケーリング抵抗性が劣ると示唆される。

図4に耐久性指数と水分残存量の関係を示す。耐久性指数が60未満となったものは廃瓦骨材の置換率が50%程度であり、水分残存量が多い傾向があることがわかる。一方、廃瓦骨材の置換率が50%程度であっても、廃瓦を粗骨材として用い、一定期間封緘養生した後に気中曝露した場合(G50-3D, G50-7D)は、気中曝露により逸散した水分量の方が凍結融解サイクル初期の吸水量よりも多く、水分残存量が少なくなったことで高い耐凍害性を示したと考えられる。

4. 結論

- (1) 廃瓦骨材置換率が20%程度であれば、粗骨材置換、細骨材置換にかかわらず耐久性指数は60以上となり、十分な耐凍害性を有することがわかった。特に細骨材置換の場合、耐凍害性の向上が認められた。
- (2) 廃瓦骨材置換率が50%を超えると、耐久性指数は60未満となる場合が多い。しかし、粗骨材置換の場合は一定期間封緘養生後に気中曝露すると耐久性指数は60以上となる場合がある。

謝辞

本研究における凍結融解試験は、株式会社トクヤマの御協力を得て行ったものである。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 重松明ら：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.
- 2) 橘大介ら：高強度コンクリートの耐凍害性改善方法について、土木学会論文集, No.496/V-24, pp.51-60, 1994.
- 3) Yildirim, S. T.: Effect of internal curing on the strength, drying shrinkage and freeze-thaw resistance of concrete containing recycled concrete aggregates, Construction and Building Materials, Vol.91, pp.288-296, 2015.

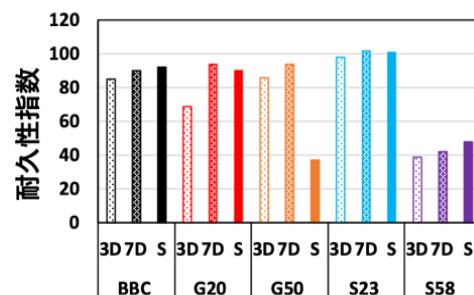


図1 耐久性指数

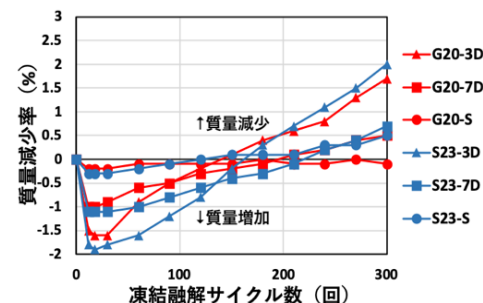


図2 質量減少率(G20, S23)

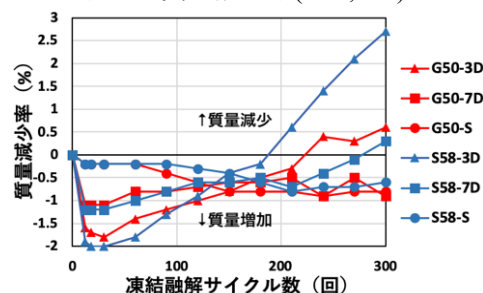


図3 質量減少率(G50, S58)

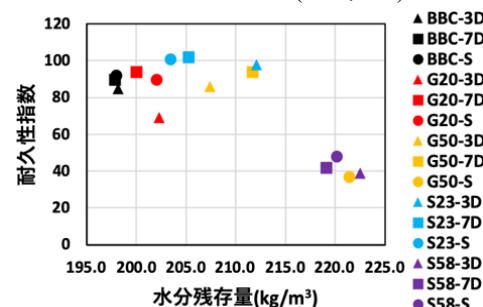


図4 耐久性指数と水分残存量の関係