

コンクリートの表層透気性に対する廃瓦骨材の内部養生効果

広島大学 学生会員 ○重田 あずさ
広島大学 正会員 小川 由布子
広島大学 正会員 半井 健一郎
広島大学 フェロー会員 河合 研至

1. はじめに

廃棄物である廃瓦は多孔質で吸水率が高く、コンクリート中に内部養生材として用いることで自己収縮低減および強度増進の効果を得ることができている^{1) 2)}。一方、コンクリートの物質移動抵抗性に対する廃瓦骨材の内部養生効果については研究報告が少ない。そこで本研究では、コンクリートの物質移動抵抗性としての表層品質に着目し、廃瓦骨材による内部養生がコンクリートの表層透気性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2. 1. 供試体概要

本研究で使用した材料の物理特性を表 1 に示す。セメントには高炉セメント B 種を用い、廃瓦骨材は 5-13mm 寸法のを粗骨材、1-5mm 寸法のを細骨材として用い、7 日以上水に漬け吸水させたものを表乾状態にして用いた。

本研究で検討した配合を表 2 に示す。水セメント比は 0.35、細骨材率は 0.403、目標スランプおよび空気量はそれぞれ 10±2cm および 4.5±0.5%として、廃瓦骨材を異なる置換条件で適用した 6 種類のコンクリートを作製した。置換条件は、廃瓦無置換 (BBC)，廃瓦粗骨材 10、20vol%置換 (G10、G20)，廃瓦細骨材 14、27vol%置換 (S14、S27)，廃瓦粗骨材 10vol%置換および廃瓦細骨材 14vol%置換を同時に施したもの (G10S14) の 6 種類である。なお、S14 および S27 の廃瓦細骨材置換率はそれぞれ、G10 および G20 と内部養生水量が等しくなるように設定した。コンクリート 1m³あたりの内部養生水量は、G10 および S14 で約 7kg、G20、S27、G10S14 で約 14kg である。

上記の配合条件で 100x100x400mm の角柱供試体を作製した。供試体は、打設後型枠内で 20℃ の恒温条件下で封緘養生を行い、材齢 7 日に脱型し 20℃、60%RH の恒温恒湿室内に静置した。

2. 2. 表層品質に関する測定

測定項目は、表層透気性および表面含水率の 2 種類とした。表層透気性は、ダブルチャンバー法 (トレント法) による透気係数の測定結果から検討した。透気係数は大きいほど表層が緻密でなく空気を通しやすいことを表し、コンクリートの劣化因子を侵入させやすい状態であると考えることができる。ダブルチャンバー法では、チャンバー内の圧力を真空ポンプにより減圧し、減圧停止後の空気流入による圧力上昇を測定して式 (1) を用いて透気係数を算出する。

$$kT = \left(\frac{V_c}{A}\right) \frac{\mu}{2\varepsilon P_a} \left[\frac{l_n \frac{P_a + \Delta P_t}{P_a - \Delta P_t}}{\sqrt{t} - \sqrt{t_0}} \right]^2 \dots (1)$$

表 1 使用材料の物理特性

使用材料	種類	記号	物理特性
セメント	高炉セメント B 種	BB	密度 3.04g/cm ³ 、比表面積 3710cm ² /g
細骨材	石英斑岩砕砂	S	表乾密度 2.61g/cm ³ 、吸水率 1.04%
	廃瓦細骨材	PCFA	表乾密度 2.28g/cm ³ 、吸水率 9.75%
粗骨材	石英斑岩碎石	G	表乾密度 2.62g/cm ³ 、吸水率 0.67%
	廃瓦粗骨材	PCCA	表乾密度 2.26g/cm ³ 、吸水率 9.08%

表 2 配合

配合名	(PCFA)	(PCCA)	単位量 (kg/m ³)							
	廃瓦細骨材 置換率 (%)	廃瓦粗骨材 置換率 (%)	水	セメント	細骨材			粗骨材		
					計	S	PCFA	計	G	PCCA
BBC	0	0	170	486	658	658	0	977	977	0
G10	0	10	170	486	658	658	0	964	880	84
G20	0	20	170	486	658	658	0	951	781	170
S14	14	0	170	486	647	569	78	977	977	0
S27	27	0	170	486	635	480	155	977	977	0
G10S14	14	10	170	486	647	569	78	964	880	84

キーワード 内部養生，廃瓦骨材，表層透気性，表面含水率

連絡先 〒739-8527 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 TEL:082-422-7786

ここで、 kT ：トレント法による表層透気係数 (m^2)、 V_c ：内部チャンバーの容積 (m^3)、 A ：内部チャンバー（仮定した栓流）の断面積 (m^2)、 μ ：空気の粘性係数 ($=2.0 \times 10^{-5} N \cdot s/m^2$)、 ε ：コンクリート $1m^3$ あたりの空隙率の想定値 (m^3/m^3)、 P_a ：大気圧 (N/m^2)、 ΔP_t ：試験終了までの内部チャンバーの圧力上昇 (N/m^2)、 t ：減圧開始から測定終了までの時間 (s)、 t_0 ：減圧開始から減圧停止までの時間 ($=60s$) としている。透気係数の算出に用いるコンクリートの空隙率 ε は従来、 $0.15m^3/m^3$ と想定され³⁾、普通骨材中の空隙において空気の流入は生じないと考えられている。一方、多孔質材料である廃瓦骨材は普通骨材よりも空隙を多く有し、廃瓦骨材置換した配合でコンクリート $1m^3$ あたりに用いた廃瓦が有する空隙量は、G10 および S14 では約 $0.007m^3/m^3$ 、G20、S27 および G10S14 では約 $0.014m^3/m^3$ である。従って、廃瓦骨材が有する空隙量を考慮した ε は G10 および S14 では $0.157m^3/m^3$ 、G20、S27 および G10S14 では $0.164m^3/m^3$ と想定することができる。本研究では、廃瓦骨材が有する空隙量を考慮していない場合と考慮した場合の両条件の ε を用いて透気係数を算出し比較した。

測定は材齢 28, 32, 56, 90, 182 日に行い、角柱供試体の $100 \times 400mm$ 側面上の 2 点を測定点とし、幾何平均（対数平均）を求めた。

ここで、表層透気係数の測定結果は表面含水率の影響を大きく受けることが知られている⁵⁾⁶⁾。実際にスイスの規格では、表層透気試験を実施する際の目安として表面含水率は 5.5%以下とされ、5.5%を超える場合には表層透気性を適切に評価できないとされている⁵⁾⁶⁾。従って本研究では、表層透気係数測定時の供試体測定面において、表面含水率も測定することとした。

3. 実験結果および考察

表面含水率および透気係数の測定結果をそれぞれ図 1 および図 2 に、表面含水率と透気係数との関係を図 3 に示す。表面含水率は、材齢 28 日には 5.5%を超えている配合があったが材齢 32 日に再度測定すると全て 5.5%以下となった。従って、以降の考察は材齢 32 日以降の結果を用いて行う。

図 1 より、特に S14 および S27 以外の配合で、材齢 90 日までの表面含水率の変化が 90 日以降の変化よりも大きく、コンクリート表面の乾燥は材齢 90 日以前に進みやすいものと考えられる。一方、廃瓦骨材を細骨材のみに置換した S14 および S27 では、材齢に関わらず 182 日まで乾燥が徐々に進行し、表面含水率が BBC に近

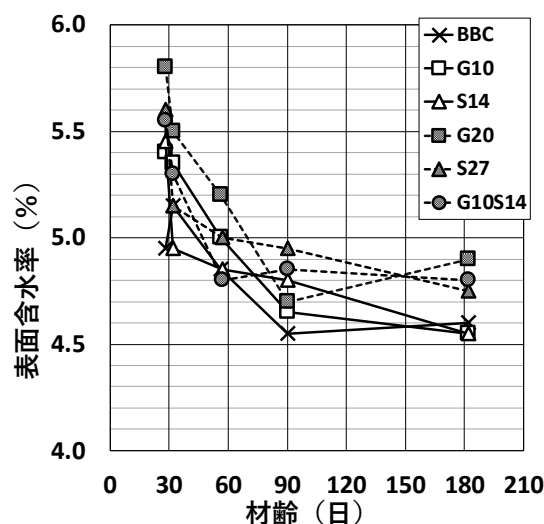


図 1 表面含水率測定結果

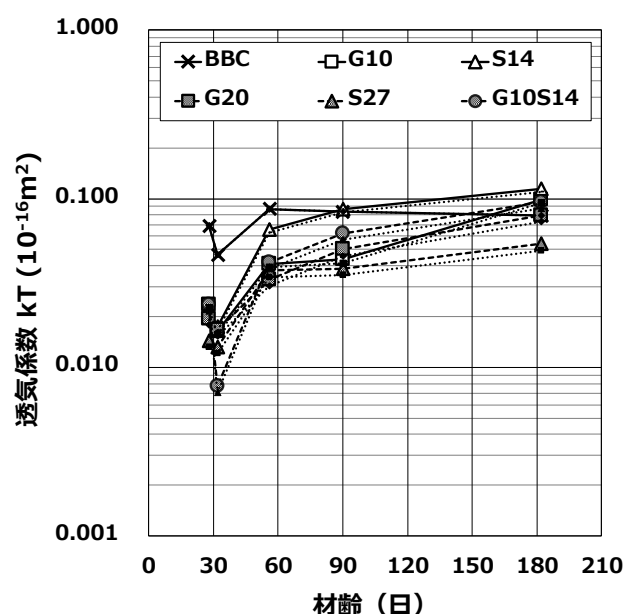


図 2 透気係数測定結果

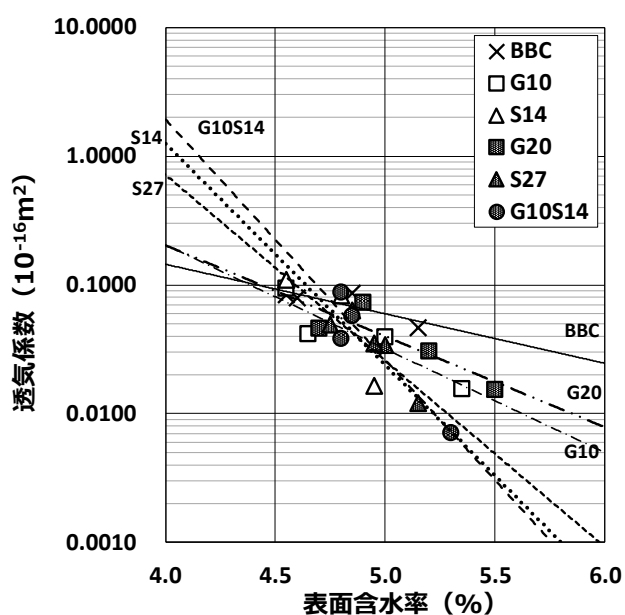


図 3 表面含水率と透気係数の関係

く乾燥が徐々に進行し、表面含水率が BBC に近

づいている傾向が見られる。さらに、材齢 182 日の結果に着目すると、G20、S27 および G10S14 でコンクリートの表面含水率が比較的高いことから、廃瓦骨材の置換量が多い方がコンクリート表面の水分保持能力を高めることができる可能性がある。

図 2 において、廃瓦が有する空隙量を考慮しない共通の ε を用いて算出した透気係数を実線および破線で、廃瓦の空隙量を考慮した ε を用いた場合の結果を点線で示している。廃瓦骨材が有する空隙量を考慮することで、内部養生水量 7kg を含んだ G10 および S14 では約 4%、内部養生水量 14kg を含んだ G20、S27、G10S14 では約 8%、算出される透気係数が低下した。この低下は、骨材中には空気が流入しないと仮定して求めた実線および破線で表される結果から、廃瓦骨材の空隙による影響を除いたものである。従って、廃瓦骨材の空隙量を考慮して算出された透気係数は、本研究で用いたコンクリート中のセメントペースト部のみににおける透気係数に等しいと考えることができる。

次に、透気係数の測定結果を材齢ごとに見ると、材齢 90 日までは、空隙量の考慮の有無に関わらず、廃瓦骨材置換した配合の値は BBC の値よりも全体的に小さい結果となった。このことから、コンクリート表面の乾燥が進みやすい材齢 90 日までの表層透気係数を、廃瓦置換により低減することができるものと考えられる。一方、材齢 32 日から 182 日にかけて、廃瓦骨材置換した配合の透気係数の増加量は BBC よりも大きく、材齢 182 日には G10、S14、G10S14 が BBC を上回り、他の配合も、BBC の値に徐々に近づいている。従って、コンクリート表層の乾燥が進むと廃瓦骨材置換した配合の透気係数が BBC の透気係数を上回る、すなわち、乾燥が進行したコンクリート表層の物質透過性は廃瓦置換によって増大してしまうことが推察される。この現象は、材齢の経過とともに内部養生水のセメントペーストへの供給が進み廃瓦骨材中の水が消費され、骨材の空隙中に空気が流入することで表層透気係数を高めてしまうことによるものと考えられる。ただし、材齢 182 日の透気係数が最も大きい S14 は、無置換コンクリートよりも透気係数が 30%大きく、前述の廃瓦骨材置換の空隙量をもたらすと考えられる透気係数の増加量 4%よりもはるかに大きい。このことから、廃瓦骨材が空隙を有していること以外に、透気係数を大きくする要因があると考えられるが、本研究ではその推定には至っていない。

表面含水率と透気係数との関係を表した図 3 において、透気係数には廃瓦骨材が有する空隙量を考慮して算出したものを用いている。また、図中の直線群は、各配合のプロットを線形近似したものである。この直線の傾きから、いずれの配合についても、コンクリート表面が徐々に乾燥して表面含水率が小さくなるにつれて透気係数は上昇していく傾向がみられ、図 1 および図 2 で述べてきた傾向と一致する。さらに、表面含水率の変化に伴う透気係数の変化率は配合ごとに異なり、特に含水率が低下すると、細骨材置換を施した S14、S27、G10S14 の透気係数が他配合と比べて大きくなった。反対に、廃瓦骨材無置換の場合に最も透気係数が小さくなる傾向にあった。図 2 より得られた、廃瓦細骨材置換によって表面含水率を長期的に保持しやすくさせる可能性があるという結果と併せて考えると、コンクリートの細骨材に廃瓦骨材を置換した場合、表面含水率は低下しにくいものの、含水率が低下してしまうと透気係数は他配合に比べて大きくなってしまう可能性が考えられる。ただし、既往の研究では、配合等により透気係数に差が生じる場合でも、透気係数の変化率に大きな差は生じておらず⁹⁾、本研究の結果とは異なる。しかしその要因は定かでないため、今後さらなる検討が必要である。

3. 結論

- (1) 廃瓦骨材の置換量を多くすることでコンクリート表面の含水率をやや高い状態に保つことができる可能性がある。
- (2) いずれの配合においても材齢の経過とともに乾燥が進み透気係数は大きくなった。材齢 90 日までは廃瓦骨材置換により表層透気性の向上効果が見られたが、材齢 32 日から 182 日にかけて、廃瓦骨材置換した配合の透気係数も上昇し、材齢 182 日になると無置換コンクリートの透気係数を上回る配合もあった。

- (3) 廃瓦骨材の内部養生水が、セメントペーストの水和反応や乾燥により完全に消失したと仮定すると、廃瓦粗骨材置換率 10%相当の置換により約 4%、粗骨材置換率 20%相当の置換により約 8%、透気係数は増加し、コンクリート表層の物質透過性を大きくする方向に影響を与える可能性がある。
- (4) 表面含水率と透気係数との関係から、含水率が低下すると、細骨材置換を施したコンクリートの透気係数は他配合と比べて大きくなり、廃瓦無置換のコンクリートの透気係数が最も小さくなる傾向があった。

謝辞

本研究の一部は、国土交通省の「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」による研究助成を受けて実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 鈴木雅博, 丸山一平, 川畑智亮, 佐藤良一: 廃瓦骨材を用いた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, pp.651-656, 2007.
- 2) M. M. Macharia, 小川由布子, 山口克己, 佐藤良一: 廃瓦骨材を活用した RC はりのせん断強度, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.481-486, 2014.
- 3) R. J. Torrent: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Materials and Structures, 25, pp.358-365, 1992.
- 4) 蔵重勲, 廣永道彦: 脱型材齢や暴露環境がコンクリートの強度特性や表層透気性ならびに中性化抵抗性に及ぼす影響の実験的評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.623-628, 2010.
- 5) M. Romer: Effect of moisture and concrete composition on the torrent permeability measurement, Materials and Structures, 38(5), pp.541-547, 2005.
- 6) R. Torrent, F. Moro, and A. Jornet, Coping with the Effect of Moisture on Air-Permeability measurements, RILEM International workshop on performance-based specification and control of concrete durability, Zagreb, Croati, 2014.