

廃瓦と塩分の併用によるコンクリートの初期強度増進と収縮低減

広島大学大学院 学生会員 ○山中翔太
 広島大学大学院 正会員 半井健一郎

1. はじめに

日本の屋根瓦は使用後、そのほとんどが埋め立て処分されており、その量は年間15000tにも上る。しかしながら、特有の形状から埋め立て効率が悪く、再資源化が必要とされる^{1), 2)}。

重松ら³⁾は、高炉セメント (BB) を結合材として廃瓦骨材 (PCA) を使用したコンクリートにおいて、強度増進および収縮低減といった良好な結果を報告している。しかし沿岸部で使用された屋根瓦は、飛来塩分など、塩分の影響も検討しなければならない。

そこで濱本ら⁴⁾は、BBを結合材に用い、塩分を含有した廃瓦粗骨材 (PCCA) を置換したコンクリートにおいて強度増進および収縮低減といった良好な結果を報告している。しかしながらPCAの骨材寸法やPCAに供給する塩分量が異なる場合のコンクリートの挙動は明らかになっていない。

そこで本研究では、BBを結合材とし、PCAの寸法および塩分量を変化させ、コンクリートの力学的特性を検討した。なお、塩害を回避するため、無筋コンクリートへの使用に供するものとする。

2. 実験概要

2.1 配合

表-1に配合を示す。配合名は、以下に示すように【高炉セメント (水セメント比 50) -骨材種類-練混ぜ水種類】となっており、太字は塩分含有を示す。

水セメント比はすべて50%に統一した。廃瓦の置換率は粗骨材を40vol%の容積置換とし、廃瓦細骨材 (PCFA) に置換する場合は、粗骨材に置換した場合と吸水量が等しくなるよう、48vol%容積置換とした。PCAは塩分を含有したPCCAおよびPCFA (GPs, SPs) と塩分を含有しないPCCAおよびPCFA (GP, SP) を用意した。塩分量の違いを比較するため、練混ぜ水については、塩分を含まないもの (W)、濃度の薄いもの (Wsw)、PCAに吸水させた塩分量と同量の塩水 (Wsm)、および濃度の濃いもの (Wss) の4水準とした。さらにPCAの効果を検討するためにPCAを使用しないもの (0) を用意した。

試験は、長さ変化試験、水分逸散量試験、圧縮強度試験、水銀圧入試験の4種類を実施した。なお、質量減少率は、以下の式(1)のように定義した。

$$\Delta W = \frac{W - W_0}{W} \times 100 \quad (1)$$

表-1 配合表

配合記号	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)						添加量 (C×%)		添加量 (kg/m ³)
			セメント	水	細骨材		粗骨材	混和剤	食塩		
					W	PCFA				S	PCCA
	%	%	BB	W	PCFA	S	PCCA	G	AD	AE	Salt
BB(50)-0-W				170	0	781	0	967	0.2	0.04	0
BB(50)-0-Wsm				170	0	781	0	967	0.3	0.4	24.6
BB(50)-0-Wss				170	0	781	0	967	0.2	0.06	23.8
BB(50)-GP-W				170	0	781	336	580	0.4	0.1	0
BB(50)-GPs-W				170	0	781	336	580	0.4	0	7.52
BB(50)-GP-Wsm				170	0	781	336	580	0.1	0.2	7.52
BB(50)-GP-Wss				170	0	781	336	580	0.4	0	23.8
BB(50)-GP-Wsw				170	0	781	336	580	0.4	0.1	0.42
BB(50)-SP-W				170	328	406	0	967	0.3	0.05	0
BB(50)-SPs-W				170	328	406	0	967	0.4	0.05	9.42
BB(50)-SP-Wsm				170	328	406	0	967	0.4	0.05	9.42

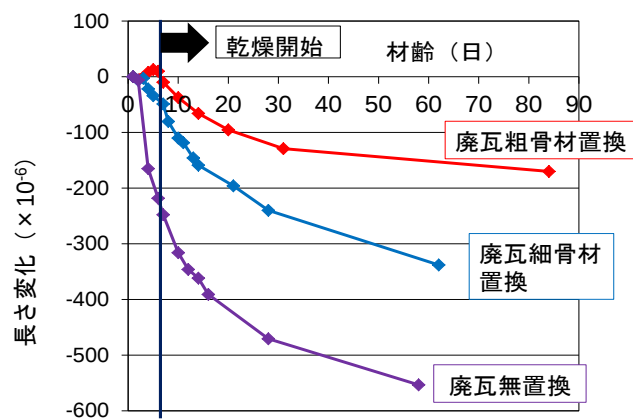


図-1 長さ変化の経時変化
(含有塩分量 7kg/m³程度)

ここで、 ΔW : 質量減少率 (%), W : 任意の材齢における質量 (kg), W_0 : 材齢7日における質量 (kg) を示す。

3. 実験結果

以下に実験結果を示す。

3.1 長さ変化

長さ変化試験の結果を図-1に示す。図-1では、膨張を正、収縮を負としている。PCAに置換した場合には、PCA無置換に比べ、収縮が大幅に低減していることが認められる。これは、PCCAからの内部養生水の供給に加え、内部養生水から塩水が供給されたために蒸気圧降下が起こり、水分の蒸発が妨げられたことが一因であると考えられる。また、廃瓦骨材の種類の影響を、材齢60日程度の段階での収縮ひずみで比較すると、無置換と比較し、PCCAに置換した場合は約70%、PCFAに置換した場合は約40%の収縮が低減していることがわかった。

キーワード 廃瓦骨材, 圧縮強度, 収縮, 水分逸散, 細孔構造, 塩分

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院社会基盤環境工学専攻 Tel 082-424-7791

3.2 水分逸散

質量減少率の経時変化を図-2に示す。PCAを置換することで質量減少率は大きくなった。これは、コンクリート質量の約1%を占めるPCAの内部養生水の一部が逸散したためである。

3.3 圧縮強度

図-3に、材齢7日の圧縮強度試験の結果を、塩分量との関係により示す。塩分を供給しない場合、PCAの内部養生効果により、無置換と比較して圧縮強度が増加した。一方で、塩分を廃瓦あるいは練混ぜ水によって供給した場合、いずれの配合においても、圧縮強度が増加し、増加の程度は塩分量が多くなるほど大きくなった。この塩分供給による初期強度の増加は、塩化ナトリウムが凝結、硬化促進剤の役割を果たしており、 C_3S の加水分解を促進し、その後の反応により、カルシウムイオンの過飽和度が高まり、 $C-S-H$ の水和物の結晶核の析出と結晶の成長が進むことで、凝結が促進されることが原因であると考えられる⁵⁾。さらに、 C_3A もしくはモノサルフェートとの反応によることにより、フリーデル氏塩が生成される。また、 $C-S-H$ を主とした水和物に塩分が固定されたため、空隙が充填されたこと⁵⁾などによると考えられる。

廃瓦骨材の種類の影響に関しては、PCFAに置換した場合よりもPCCAに置換した場合に、圧縮強度が増加した。これは、PCCAから内部養生水がセメントペーストに供給されることで、特に粗骨材周辺での水和反応が促進され、普通コンクリートの弱点となる遷移帯が改質されたためと推察される。骨材周りの遷移帯は骨材寸法が大きくなるほど厚くなるために粗骨材界面の影響が大きく⁶⁾、PCFAへ含有させたことの効果は顕著にはならなかったものと考えられる。

3.5 細孔径分布

累積細孔容量と材齢7日の圧縮強度の関係を図-4に示す。50nm以上の空隙量が多いほど、圧縮強度が低下する傾向が確認された。特にPCA内から塩分を供給した場合に、50nm以上の空隙量が少なくなっていることから、コンクリート内部が緻密になっていることが確認できた。

4. 結論

本研究の結果、以下の知見が得られた。

- (1) 圧縮強度は、塩分量が多くなるにつれて増加し、増加の割合はPCCAに置換した際に顕著であった。
- (2) 材齢60日における収縮ひずみは、PCCAに置換した場合、無置換に比べ約70%と、顕著に低減した。PCFAに置換した場合は、約40%の低減した。
- (3) 細孔径分布は、塩分量が多い場合に50nm以上の空隙量が少なくなり、それに伴って強度が増加した。

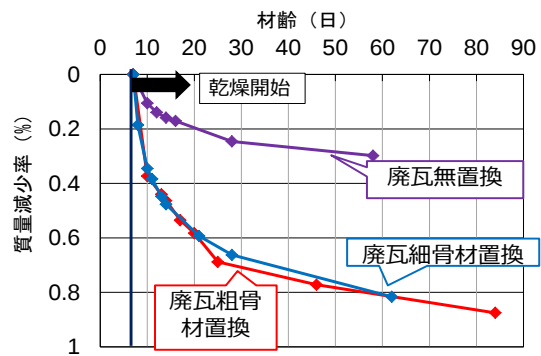


図-2 水分逸散の経時変化

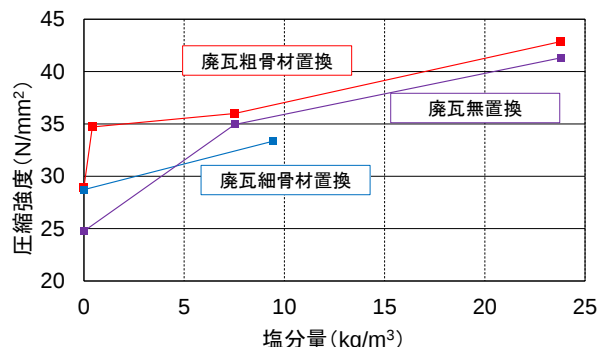


図-3 塩分量が圧縮強度に及ぼす影響 (材齢7日)

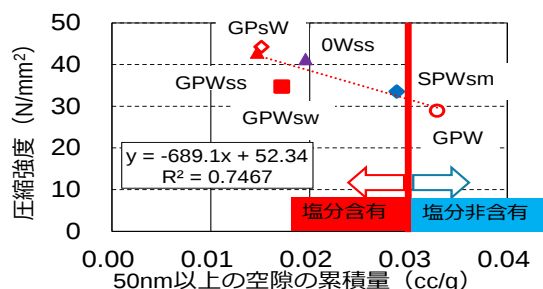


図-4 累積細孔容量と圧縮強度の関係 (材齢7日)

参考文献

- 1) 瓦粉砕物を骨材とした被覆ブロックの試作, 島根県, 産業技術センター, 研究報告, 第43号, pp.34~41, 2013
- 2) 兵庫県瓦工事業組合 (<http://www.hyogo-yane.com/>)
- 3) 重松 明ほか: 高炉B種コンクリートに関する廃瓦粗骨材による内部養生効果の検討, コンクリート工学会年次論文集, Vol.31, No.1, pp.205~210, 2009
- 4) 濱本 夏美ほか: 塩分含有廃瓦骨材によるコンクリートの内部養生効果, コンクリート工学会年次論文集, Vol.35, No.1, pp.643~648, 2013
- 5) 大川 裕: セメント・コンクリートの凝結コントロール 技術の確立とその応用研究, 鳥取大学, 博士論文, 1998
- 6) 石田 剛朗ほか: コンクリート中における塩化物イオンの反応・移動のモデル化, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.861~866, 2004
- 7) 内川 浩ほか: 硬化モルタル及びコンクリート中の遷移帯厚さの評価並びに遷移帯厚さと強度との関係の検討: コンクリート工学論文集, 第4巻第2号, pp.1~8, 1993.7