

高炉セメント B 種コンクリートの中性化抵抗性に対する廃瓦骨材の内部養生効果

広島大学 学生会員 ○井上 祐輔
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

普通ポルトランドセメントに比べ水和反応が緩やかに生じる高炉セメント B 種を用いたコンクリートは、初期材齢において十分な湿潤養生が必要とされている。これに対し、適度な吸水率および破砕値を有する廃瓦骨材を用いた内部養生を高炉セメントコンクリートに適用した研究が報告されており、細孔構造の緻密化、強度増進などが確認されている¹⁾。一方で、中性化抵抗性や塩化物イオン浸透抵抗性等の耐久性に対する廃瓦の内部養生効果に関する報告は少ない。特に、鉄筋コンクリート構造物において、かぶりコンクリートの中性化は内部鋼材腐食の原因になることから、廃瓦骨材を用いたコンクリートの実用化に向けて、内部養生と中性化の関係についてより詳細な検討が必要である。

本研究では、廃瓦骨材による内部養生が高炉セメント B 種コンクリートの中性化抵抗性に与える影響を明らかにすることを目的とし、促進中性化試験を行うとともに、コンクリート表層透気性および細孔構造と中性化抵抗性との関係性についても検討した。

2. 実験概要

セメントには高炉セメント B 種を使用した。単位水量は 170 kg/m^3 、水セメント比 (W/C) は 35% および 50% とし、細骨材率はそれぞれ 41.6%、44.6% とした。目標スランプ値は $10.0 \pm 2.0 \text{ cm}$ 、目標空気量は $4.5 \pm 0.5\%$ とし、混和剤を用いて調整した。廃瓦骨材無置換 (50BBC, 35BBC)、廃瓦粗骨材 30vol% 置換 (50G30, 35G30)、廃瓦細骨材 40vol%、45vol% 置換 (50S40, 35S45) の 6 配合のコンクリートを作製し、 $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ 角柱供試体を準備した。廃瓦細骨材の置換率は、各水セメント比で吸水量が廃瓦粗骨材と同じになるように調整した。

供試体は打設後打込み面を封緘し、 20°C の恒温室

内で封緘養生した。材齢 7 日に脱型後、 20°C 、60%RH の恒温恒湿室内に静置した。なお、脱型後は $100 \times 400 \text{ mm}$ の 1 側面を曝露面とし、これ以外の 5 面をアルミ粘着テープで被覆した。

検討項目は、促進中性化速度係数、表層透気係数、細孔径分布の 3 項目とした。促進中性化試験は JIS A 1153 に準拠して行った。供試体は材齢 35 日以降促進中性化槽内 (20°C 、60%RH、 CO_2 濃度 5.0%) に静置し、促進中性化開始材齢、開始 1 週間後、4 週間後、9 週間後に中性化深さの測定を行った。各配合につき供試体を 2 体用いて測定を行い、1 体あたり 10 点、合計 20 点の中性化深さの平均値を促進中性化深さとして算出した。中性化反応は $\sqrt{t}$ 則に従うものとし、中性化期間の平方根と促進中性化深さの回帰直線の傾きを促進中性化速度係数として算出した。細孔径分布試験は、中性化深さ測定後の供試体割裂部分から曝露面から 5mm、さらに 5mm から 10mm を切り出し、粒径 2.5mm 以上 5mm 以下のモルタル部分を採取し試料とし、水銀圧入式ポロシメータにて行った。なお廃瓦細骨材を用いた配合では、試料中の廃瓦細骨材を取り除くこととした。表層透気係数はトレント法によって測定し、促進中性化試験と同様に材齢 35 日以降促進中性化槽内に静置した供試体を用いた。測定材齢は促進中性化深さの測定材齢と同様とした。

3. 実験結果および考察

図 1、および 2 に促進中性化深さ、表 1 に促進中性化速度係数を示す。50BBC、50G30、50S40 の促進中性化深さは同程度であり、廃瓦骨材置換による中性化抵抗性の向上はみられなかった。また、W/C=35% の配合では中性化の進行が十分ではなく、廃瓦骨材の置換による影響は確認されなかったため、今後長期材齢での検討が必要である。

キーワード 高炉スラグ、廃瓦骨材、内部養生、中性化、細孔構造、表層透気性

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院先進理工系科学研究科 構造材料工学研究室
TEL 082-424-7786

図3に表層透気係数(kT)を示す。廃瓦を混入した50G30および50S40は50BBCと比較して、 kT は小さい値を示したが、材齢経過に伴う増大が著しく、促進中性化9週時点で同程度かそれ以上になっている。表層透気係数 kT はコンクリート表層付近の含水状態に影響される。廃瓦を用いた場合、コンクリート表層部に存在する水分が多く、瓦に含まれる水分がセメントの水和に用いられず余剰水となり、材齢の経過に伴って曝露面から逸散することにより、粗大な細孔や連続空隙が増加し、 kT が増加したと考えられる。一方で35G30および35S45の kT は材齢によらず35BBCよりも小さい値を示しており、これはコンクリート表層部に存在する水分が多いことに加え、細孔構造が緻密であるために、水分の逸散が小さいためであると推察する。低水セメント比の配合では廃瓦骨材置換によってコンクリート表層の透気性が抑えられる可能性が示唆された。

図4に曝露面から深さ方向に5mmまでの総細孔容積を示す。W/Cに関わらず、廃瓦骨材を置換した配合では、無置換の配合と比較して総細孔容積が大きく、廃瓦骨材置換によるコンクリート表層域の細孔構造の緻密化は確認できなかった。特に50G30および50S45では、促進中性化4週までに細孔径 $0.2\text{--}1\mu\text{m}$ の細孔容積に増加がみられ、細孔構造を粗大にする可能性が示唆された。なお、50S40および35S45では試料中に廃瓦細骨材が混入してしまったため、細孔容積が大きく現れている。

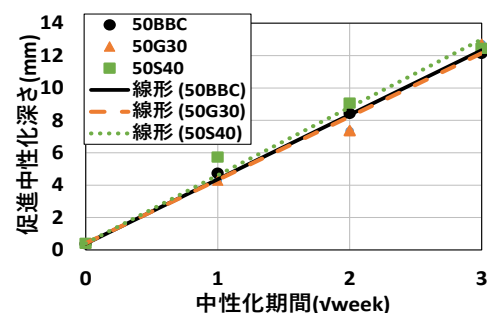


図1 促進中性化深さ(W/C=50%)

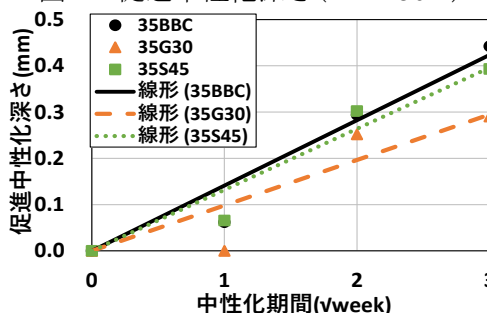


図2 促進中性化深さ(W/C=35%)

表1 促進中性化速度係数($\text{mm}/\sqrt{\text{week}}$)

50BBC	50G30	50S40	35BBC	35G30	35S45
3.89	4.44	3.95	0.156	0.142	0.112
0.988	0.987	0.985	0.976	0.914	0.977

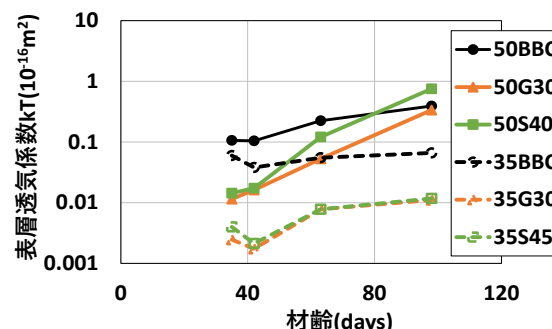
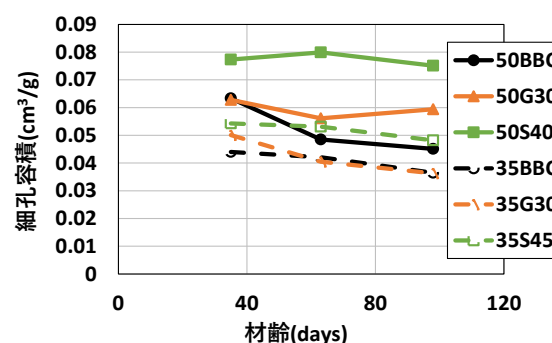
図3 表層透気係数 kT 

図4 曝露面から深さ5mmまでの総細孔容積

4. 結論

廃瓦骨材置換による中性化抵抗性の向上は確認できなかった。また、廃瓦骨材の使用はコンクリート表層の透気性を増大させ、細孔構造を粗大にすることが確認され、これらは特にW/C=50%の配合で顕著であった。瓦に含まれる内部養生水の一部はセメントの水和に用いられることなく余剰水となり、曝路面からの水分の逸散が増大し、細孔構造を粗大にすることで、炭酸ガスの侵入が抑制されず、中性化の進行を抑えられなかったと推察する。一方で、中性化抵抗性と表層透気性および細孔容積との明確な相関関係は得られず、W/Cの違いや廃瓦骨材置換の有無によって異なる傾向を示した。

参考文献

- 1) Sato, R., Shigematsu, A., Nukushina, T., & Kimura, M.: Improvement of properties of portland blast furnace cement type B concrete by internal curing using ceramic roof material waste, Journal of Materials in Civil Engineering, 23(6), pp.777-782, 2011.