

異なる置換率のフライアッシュセメントペーストにおいて 廃瓦粗骨材が形成する遷移帯の微視的検討

広島大学 学生会員 ○岡本 和馬
 広島大学 学生会員 陰迫 良
 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

石炭火力発電の副産物であるフライアッシュは、資源循環や環境負荷低減の観点から、コンクリート用混和材としての活用が望まれている。しかし、フライアッシュコンクリートは初期強度の低下などの課題により、その利用率は低い。一方、既往の研究では廃瓦骨材の内部養生によるフライアッシュの反応の促進¹⁾およびフライアッシュコンクリートの強度増加^{2,3)}が報告されているが、その影響の程度は明らかでない。本研究では、廃瓦の内部養生がフライアッシュセメントペーストの硬度に与える影響を明らかにすることを目的とし、混入した廃瓦骨材が形成するフライアッシュセメントペースト中の遷移帯に着目し微視的検討を行った。

2. 実験概要

セメントには早強ポルトランドセメント(密度 3.14 g/cm^3 , 比表面積 $4290 \text{ cm}^2/\text{g}$)、フライアッシュは JIS A 6201 の II 種に相当するもの(密度 2.23 g/cm^3 , 比表面積 $3530 \text{ cm}^2/\text{g}$)を用いた。粗骨材には廃瓦粗骨材(表乾密度 2.28 g/cm^3 , 吸水率 9.75%)および石英斑岩碎石(表乾密度 2.62 g/cm^3 , 吸水率 0.67%)を用いた。廃瓦粗骨材は 7 日間以上吸水を行った後、表乾状態に調整して使用した。水結合材比は 0.40 とし、フライアッシュ置換率をセメント質量の 20% (HF20)、 40% (HF40)としたペーストを作製した。供試体は、内寸 $21 \times 21 \times 20 \text{ mm}$ のアルミニウム製型枠にペーストを打ち込み、供試体中央に廃瓦骨材あるいは碎石を一つ混入して作製した。養生方法は 20°C の封緘養生とした。各試験材齢(7 日, 28 日, 91 日)において厚さ 5 mm 程度の薄片に切断し、骨材周辺を対象として、フライアッシュ反応率、ビッカース硬度を測定した。フライアッシュ反応率試験には、塩酸と炭酸ナトリウムを用いた選択溶解法⁴⁾を適用した。試料は、骨材境界から約 $2 \sim 3 \text{ mm}$ までの領域の部分グラインダーおよびニッパーを用いて採取した後、ボールミルを用いて $150 \mu\text{m}$ 以下の粉末状にしたものを用いた。ビッカース硬度の測定には微小硬度計を用いた。試験に供する $21 \times 21 \text{ mm}$ の面を No.400 および No.800 の研磨剤を用いて研磨し、2-プロパノールで超音波洗浄後 1 日真空乾燥させ、骨材とペーストの境界面から 5 mm までの硬度を 3~5 方向測定した。測定値の標準偏差は 5.0 HV 以内であった。

3. 実験結果および考察

(1) 廃瓦骨材がフライアッシュ反応率に及ぼす影響

図 1 に骨材周辺のペースト中のフライアッシュ反応率を示す。フライアッシュ置換率にかかわらず、廃瓦を混入した場合、碎石の場合と比べ、フライアッシュの反応率が高くなった。特に、HF20 の場合は材齢 7 日から、 40% の場合は 28 日以降において、フライアッシュの反応率が高くなっており、廃瓦の内部養生により骨材周りのペースト相におけるフライアッシュの反応が促進されていることが明らかとなった。

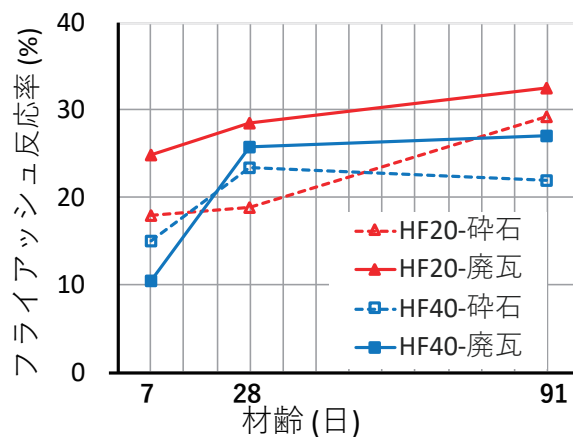


図 1 骨材周辺のフライアッシュ反応率

キーワード フライアッシュ, 廃瓦粗骨材, 遷移帯, ビッカース硬度, フライアッシュ反応率

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 TEL 082-424-7786

(2) 骨材周辺のビッカース硬度

材齢 91 日における HF20 のペースト供試体のビッカース硬度の分布を図 2 に示す。骨材周辺およそ 100 μm までの範囲の硬度がそれ以降より低く、遷移帯が形成されているのがわかる。また、図中に示すとおり、廃瓦周辺の遷移帯の厚さは碎石と比較して薄い。さらに、遷移帯とされるおよそ 100 μm までの範囲において、廃瓦混入の場合に硬度が上昇していることが確認できた。これは、廃瓦の内部養生効果によりフライアッシュおよびセメントの反応が促進され、遷移帯の組織が密実となっているためと考えられる。この傾向は他の材齢および HF40 の場合も同様であった。

廃瓦を混入したペースト供試体のビッカース硬度の碎石を混入した場合に対する比を図 3 に示す。硬度の比は骨材に近いほど高く、骨材からの距離が長くなるほど 1 に近づいている。これは、廃瓦の内部養生効果が骨材近傍において顕著であり、この影響は骨材から離れるにつれて小さくなっていることを示している。硬度の比が 1.05 (図中の破線) より高い場合に廃瓦の影響を受けていると考え、この影響範囲は HF20 では最大約 300 μm (材齢 7 日)、HF40 では最大約 100 μm (材齢 7 日)と、フライアッシュ置換率が高い場合に狭くなった。一方、HF40 に着目すると、材齢 28 日の硬度比が高く、全ての配合、材齢で最大の 1.28 を示した。これは、廃瓦周辺のフライアッシュの反応率が材齢 7 日から 28 日にかけて碎石の場合と比較して著しく向上することと整合する。HF40 において、廃瓦の内部養生は影響範囲は狭いが、その硬度への影響は骨材の非常に近傍で顕著であると考えられる。また、材齢 91 日においても、硬度の上昇は材齢 28 日に比べ小さいが同様に硬度の上昇が確認できた。

(3) 遷移帯厚さとフライアッシュ反応率の関係

フライアッシュ反応率と遷移帯厚さの関係を図 4 に示す。HF40 の材齢 7 日を除いたいずれの場合においても、廃瓦を配置した場合に遷移帯の厚さが低減され、さらにフライアッシュ反応率が増加した。これは廃瓦の内部養生効果がフライアッシュの反応を促進し、遷移帯の厚さを低減させていることを示している。HF40 の材齢 7 日は、廃瓦を配置した場合、フライアッシュ反応率は碎石を配置した場合に比べ低い数値を示しているが、遷移帯厚さは薄い。これは廃瓦がセメントの水和反応も促進することにより遷移帯厚さを低減させている可能性を示している。廃瓦を配置した場合、碎石を配置した場合に対し、HF20 では、材齢 7 日で 200 μm 、材齢 28 日で 55 μm 、材齢 91 日で 25 μm の遷移帯厚さの低減が生じていた。一方、HF40 における廃瓦による遷移帯厚さの低減は、材齢 7 日で 100 μm 、材齢 28 日で 100 μm 、材齢 91 日で 10 μm であった。HF20-廃瓦の場合、遷移帯厚さの低減が材齢 7 日から顕著であり、廃瓦周辺のフライアッシュ反応率が材齢 7 日以降に碎石の場合と比較して高くなることと整合している。また、HF40-廃瓦の場合、先述のとおりセメントの水和反応が遷移帯厚さの低減に関係していることを考慮すると、遷移帯厚さの低減は材齢 7、28 日で顕著であり、廃瓦周辺の

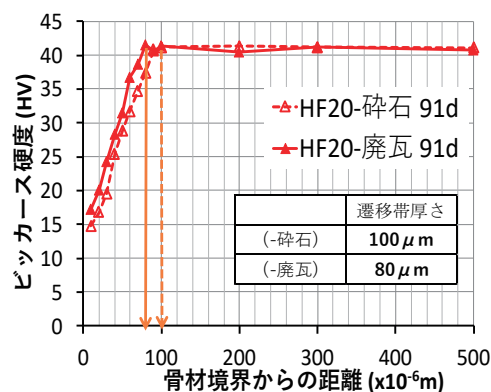


図 2 置換率 20%におけるビッカース硬度

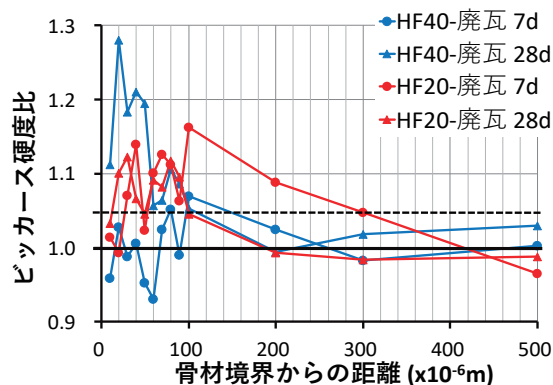


図 3 置換率 40%におけるビッカース硬度比

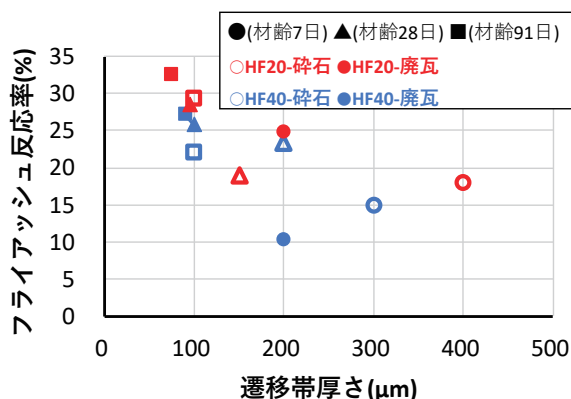


図 4 フライアッシュ反応率と遷移帯厚さの関係

フライアッシュの反応率が材齢 28 日以降に碎石の場合と比較して高くなることと整合している。

また、HF20-廃瓦の場合、廃瓦周辺のフライアッシュの反応率の増加および遷移帯厚さの低減が材齢 28 日から 91 日においても継続していることが確認できるが、HF40-廃瓦の場合、材齢 28 日と材齢 91 日におけるフライアッシュの反応率および遷移帯厚さはほとんど同じであった。フライアッシュ置換率が增大するとポゾラン反応が十分に進行しない傾向があるとされている⁵⁾。材齢 91 日において、HF20-廃瓦は HF40-廃瓦に比べ、フライアッシュ反応率が高い数値を示しており、遷移帯厚さも低減している。これは、廃瓦の内部養生効果によりフライアッシュの反応や遷移帯厚さの低減を促進することができ、フライアッシュ置換率が低い場合、その効果が長期材齢においても顕著である可能性を示している。

4. 結論

- (1) フライアッシュセメントペーストに混入した廃瓦骨材周辺におけるフライアッシュの反応率は、碎石の場合よりも高くなることが明らかとなった。
- (2) 廃瓦骨材周辺の遷移帯の厚さはフライアッシュ置換率にかかわらず、碎石の場合と比較して薄くなった。内部養生の影響範囲はフライアッシュ置換率 20%で 300 μ m、フライアッシュ置換率 40%で 100 μ m であった。また、内部養生による硬度の増大は材齢 28 日のフライアッシュ置換率 40%において顕著であった。
- (3) 廃瓦の内部養生効果によって、フライアッシュおよびセメントの反応が促進され、遷移帯の厚さが低減することが示された。また、フライアッシュ置換率が低い場合、長期材齢においてこの廃瓦の内部養生効果が顕著である可能性がある。

参考文献

- 1) Bui, P. T. et al.: Internal curing of Class-F fly-ash concrete using high-volume roof-tile waste aggregate. Materials and Structures, Vol. 50, (2017)
- 2) 温品達也ほか：廃瓦の内部養生によるフライアッシュ混入コンクリートの性能向上に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.241–246 (2009)
- 3) Y. Ogawa et al.: Effects of porous ceramic roof tile waste aggregate on strength development and carbonation resistance of steam-cured fly ash concrete, Construction and Building Materials, Vol.236, 117462 (2020)
- 4) 大沢栄也ほか：フライアッシュ-セメント系水和におけるフライアッシュの反応率、セメント・コンクリート論文集、No.53、pp96-99 (1999)
- 5) 上野敦ほか：養生温度及び置換率がフライアッシュの反応性に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、No.1、pp.215–220 (2006)