

海砂混合による高炉水砕スラグの強度発現および水和反応の進行抑制効果

山口大学大学院 学生会員 ○中村奨哉 正 会 員 松田 博
正 会 員 原 弘行 学生会員 石井祐充

1. はじめに

銑鉄の製造過程で生産される高炉水砕スラグ（以下：水砕スラグ）は、水と接触し得る環境下では水和反応によって硬化する潜在水硬性を持つ。この性質は盛土材や裏込め材等への利用に際しては強度の経時的増加やそれに伴う土圧低減効果が発揮され非常に有効に作用する。しかし、軟弱地盤の改良のために低置換率サンドコンパクションパイル（SCP）工法に適用する場合、水和反応による支持力発現や透水性の低下が生じることが報告されている。この場合、低置換率 SCP 工法において要求される高い透水性が保持できないことや杭体への応力集中が生じるため、杭間粘性土の密度増加を期待する当工法の材料として水砕スラグを用いることは難しい。しかしながら、水砕スラグに他の材料を混合させることで早期における過度な硬化を抑制できると考えられることから、本研究では、海砂混合による水砕スラグの強度発現および水和反応の進行抑制効果を定量的に調べた。

2. 実験概要

水砕スラグと海砂の物理特性および粒径加積曲線を表-1、図-1 に示す。水砕スラグと海砂の混合供試体は以下の手順で作製した。まず、2mm ふるいを通過した水砕スラグと海砂を所定の割合で混合した後、真空容器内で脱気して直径 5cm、高さ 10cm のプラスチックモールドに水中落下法で充填する。海砂混合率は水砕スラグの乾燥質量に対して 0, 20, 30, 40%とした。このとき、海砂未混合の試料における相対密度 $Dr=80\%$ を基準とし、海砂混合率にかかわらず、乾燥密度が一定となるようにした。硬化促進を図るため、浸漬水に海水を用い、 80°C の恒温室内で養生した。固液比は 1:1.4、養生時間は 0, 3, 7, 14, 28, 56 日と設定した。養生後の供試体に対して一軸圧縮試験および水和反応率試験を実施した。水和反応率の測定方法としては、近藤らが提案したサリチル酸・アセトン・メタノール溶液を用いた選択溶解法¹⁾を採用した。本研究では、養生水に海水を用いているため、乾燥過程で粒子表面に付着する塩分が混合溶液に溶解することを考慮し、塩分量補正も同時に行った。反応率の算出には式(1), (2)を用いた。

$$R_i = \frac{M_h}{M(1 - Li_g(100 - r) - Li_m \cdot r) - m_{sa}} \times 100 \quad (1)$$

$$R = 100 - R_i \quad (2)$$

ここに、 R_i ：未反応率(%), M_h ：強熱後の混合砂の質量(g), M ：混合砂の質量(g), m_{sa} ：塩分質量(g), R ：水和反応率(%), Li_g ：水砕スラグの強熱減量(g), Li_m ：海砂の強熱減量(g), r ：海砂混合率(%)である。

表-1 試料の物理特性

	GBFS	Marine sand
Soil particle density ρ_s (g/cm ³)	2.705	2.650
Maximum void ratio e_{max}	1.242	0.885
Minimum void ratio e_{min}	0.866	0.615
Ignition loss Li (%)	0.231	4.213

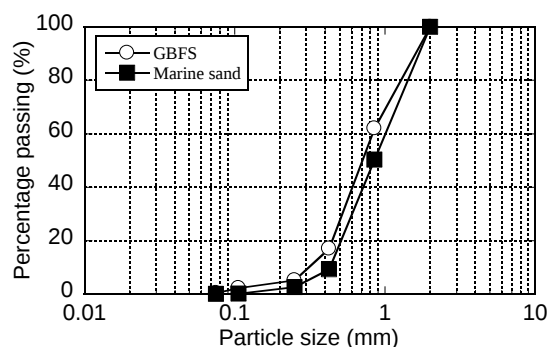


図-1 粒径加積曲線

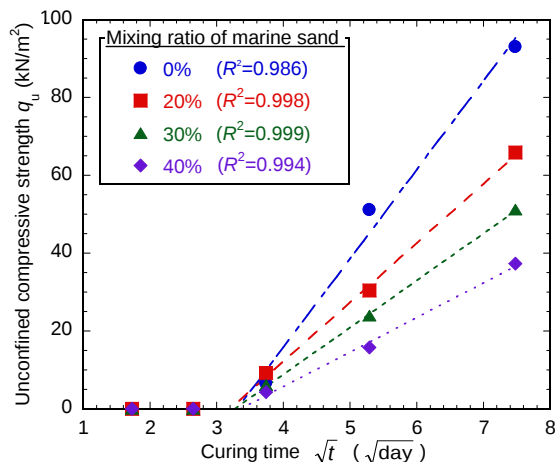


図-2 一軸圧縮強度と養生時間の関係

キーワード 高炉水砕スラグ、海砂、水和反応

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院 理工学研究科 TEL 0836-85-9325

3. 実験結果と考察

図-2 は一軸圧縮強度と養生時間の関係を示したもので、横軸は養生時間の平方根としている。破線は実験値を式(3)で近似したものである。

$$q_u = A\sqrt{t} + B \quad (3)$$

ここに、 A ：強度増加係数、 t ：養生時間、 B ：実験定数である。近似直線はいずれのケースも決定係数 R^2 が 0.98 以上となり精度良く近似できた。

図-3 に海砂混合率と A_r/A_0 の関係を示す。 A_r/A_0 は海砂混合供試体の強度増加係数 A_r (添え字の r は海砂混合率) を海砂未混合供試体の強度増加係数 A_0 で除して正規化したものである。 $r < 40\%$ について A_r/A_0 の値は海砂混合率の増加に伴って一様に減少する傾向がみられ、図中の式で表現することができた。

図-4 は水和反応率の経時変化を示したもので、水和反応率はいずれの海砂混合率の場合も、養生時間の増加とともに増加している。また、海砂混合率が高い場合ほど水和反応率の値は小さくなっており、海砂の混合によって供試体の水和反応が鈍化することが確認できた。ここで、海砂混合率が水和反応の進行に及ぼす影響を検討するため、水和反応率を供試体中の水砕スラグが占める割合で正規化した。これを正規化反応率として次式で求めた。

$$R_n = \frac{R}{(1-r/100)} \quad (4)$$

ここに、 R_n ：正規化反応率(%), R ：各海砂混合率の供試体の水和反応率(%), r ：海砂混合率(%)である。

図-5 に各海砂混合率供試体の正規化反応率を示す。海砂混合率が水和反応率に及ぼす影響が小さくなっている。しかし、海砂混合率が増加すると正規化反応率は小さくなる傾向がみられる。これは、海砂混合率が高い場合ほど、カルシウム等の成分が溶出して、水和反応が生じやすい環境に推移するまでに時間を要するためと推察される。このことから、海砂を混合すると単に水砕スラグの割合の減少に応じて水和反応率が減少するだけでなく、水和反応が生じやすい環境への移行期間が長くなり、大きな水和反応の進行抑制効果を発揮すると考えられる。

4. まとめ

本研究では、水砕スラグを低置換率 SCP 工法へ適用するための基礎的な検討として、海砂を混合した水砕スラグの水和反応と強度特性について調べた。得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 水砕スラグに海砂を混合すると強度増進が抑制される。また、海砂を混合した水砕スラグの強度増加に関わる実験式を示した。
- 2) 海砂混合率の増加とともに水和反応率が減少し、水和反応が生じやすい環境への移行期間が長くなる。

参考文献

- 1) 近藤連一・大沢栄也：高炉水砕スラグの定量およびセメント中のスラグの水和反応速度に関する研究，窯業協会誌，Vol.77, pp.39-46, 1969.

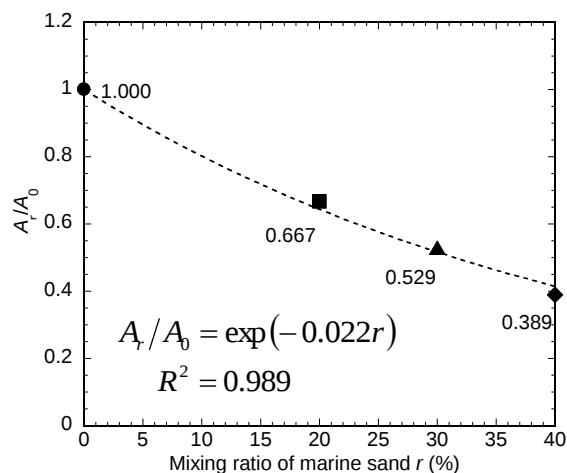


図-3 海砂混合率と A_r/A_0 の関係

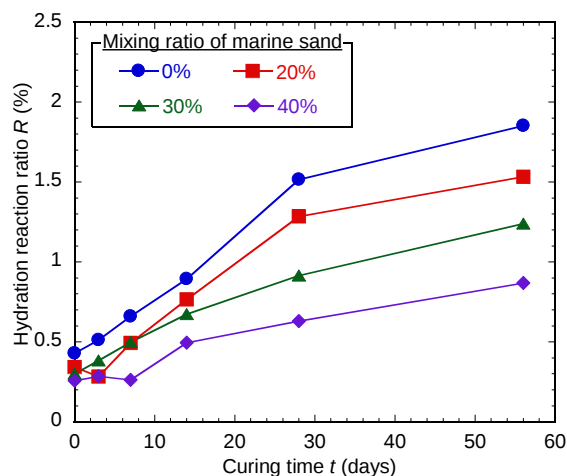


図-4 水和反応率の経時変化

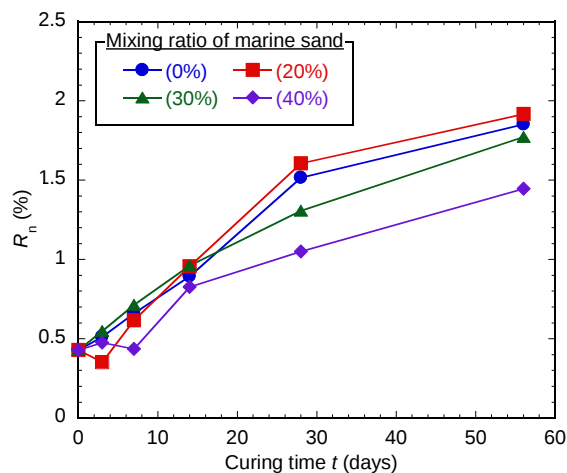


図-5 各海砂混合率供試体の正規化反応率