

潜在水硬性による水砕スラグの微視的構造の変化

横浜国立大学・都市イノベーション学府 学生会員 ○ 石野 守
 横浜国立大学・都市イノベーション研究院 正会員 菊本 統

1. はじめに

港湾等の裏込めや埋立材として用いられる高炉水砕スラグは水と反応して経時的に剛性・強度が増加する潜在水硬性をもつことが指摘されている^{例えぱ1)}。本研究では、微細構造と析出成分の経時的变化を観察し、潜在水硬性による剛性・強度増加メカニズムを考察した。

2. 微視的観察と成分分析の概要

粒子接触点近傍や間隙間隙の変化の観察と析出する物質の特定を目的として、所定の条件で養生した試験体を3つの手法により観察・分析した。

a) SEMによる水砕スラグの微視的観察

直径20mmの試験体を作成して養生を繰返し、選定した4点を走査型電子顕微鏡(SEM)により定点観察した(図1)。各観測点では図2のように拡大倍率を変えて粒子接触部や間隙の変化を観察した。養生は、菊池ら¹⁾が潜在水硬性の顕著な発現を確認した養生条件を踏まえて、人工海水中での80℃の高温条件で行い、刺激剤として質量比で15%のスラグ微粉末を添加した。

b) XRDによる水砕スラグの析出物の成分分析

定点観察試料と同一条件で養生した試料をすりつぶして、X線回折法(XRD)による成分分析を行った。養生日数は11日である。

c) SEM-EDSによる元素マッピング

a)の微視的観察では析出物の正体を特定できないため、SEM-EDSによる元素マッピングも行った。EDSは

特性X線を検出して試料表面の元素を分析する手法である。SEM観察と同条件で作成した試験体を繰り返し養生し、経時的に分析した。

3. 結果と考察

a) 水砕スラグの潜在水硬性と析出物の形成過程

図3はSEMによる観察点bの間隙構造の経時的变化の観察結果である。初期状態では明瞭に粒子間の間隙

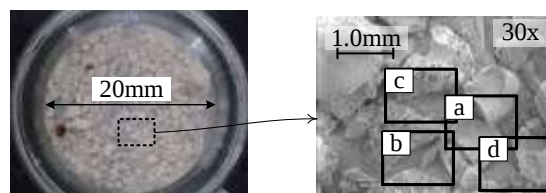


図1 水砕スラグの試験体と定点観察位置

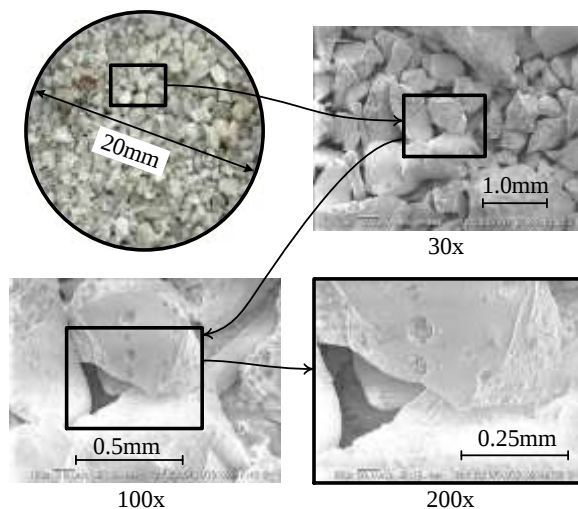


図2 SEMによる観察手順

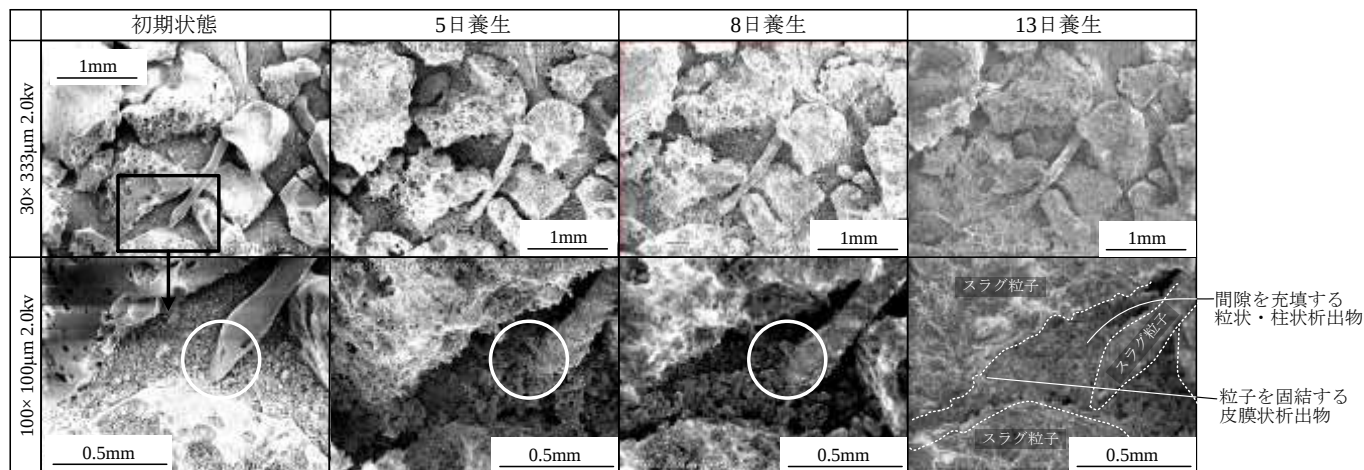


図3 観察点bにおける経時変化(上段30倍, 下段100倍)

キーワード 水砕スラグ, スラグ微粉末, 潜在水硬性, SEM, XRD, SEM-EDS

連絡先 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL 045-339-4030

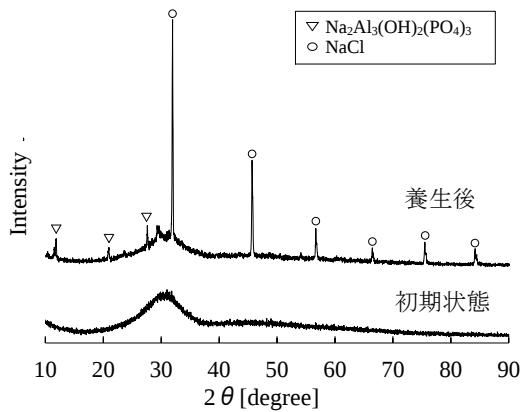


図4 XRDによる成分分析の結果

を確認できるのに対して、養生期間を経るにつれ粒子表面や間隙全体に細かい粒状の析出物が現れた。養生13日の下段の拡大図では、粒子間を粒状の析出物が埋める様子を確認できる。これにより、粒子間を接着する効果あるいは間隙を充填する効果が発揮され、従来の力学試験で確認されてきた剛性・強度の増加効果が発揮されたものと推察する。ただし、力学特性の変化との定量的な関連性は、今後、粒子間のマイクロな力学試験により議論されるべきであろう。

b) 養生前後の結晶構造の同定

養生前後の水砕スラグ試料のX線結晶構造分析の結果を図4に示す。初期状態では非結晶体特有の緩やかな強度ピークを示しており、特定の結晶構造をもつ化合物の存在は認められない。養生後の強度ピークは、人工海水に由来するNaClと、人工海水とスラグ由来の元素が結びついた $\text{Na}_2\text{Al}_3(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_3$ が検出された。ただし、XRDは試料全体をすりつぶして分析する必要があるため、SEMで観察した様々な形状の析出物自体の構成元素は特定できないことから、SEM-EDSによる元素マッピングを行った。

c) SEM-EDSによる析出物の同定

7日養生の試料に対して行ったSEM-EDSによる元素マッピングの結果を図5に示す。マッピングは予め指定した元素ごとに行っており、特定された元素をカラーで示している。図より、SEMによる定点観察で確認した柱状析出物はCa、S、Oを主な構成元素とした CaSO_4 と推察される。また、間隙を充填するように形成された粒状析出物はスラグ粒子が本来もつP、Mg、Al、Siなどの元素と人工海水由来のNaClであるとわかった。

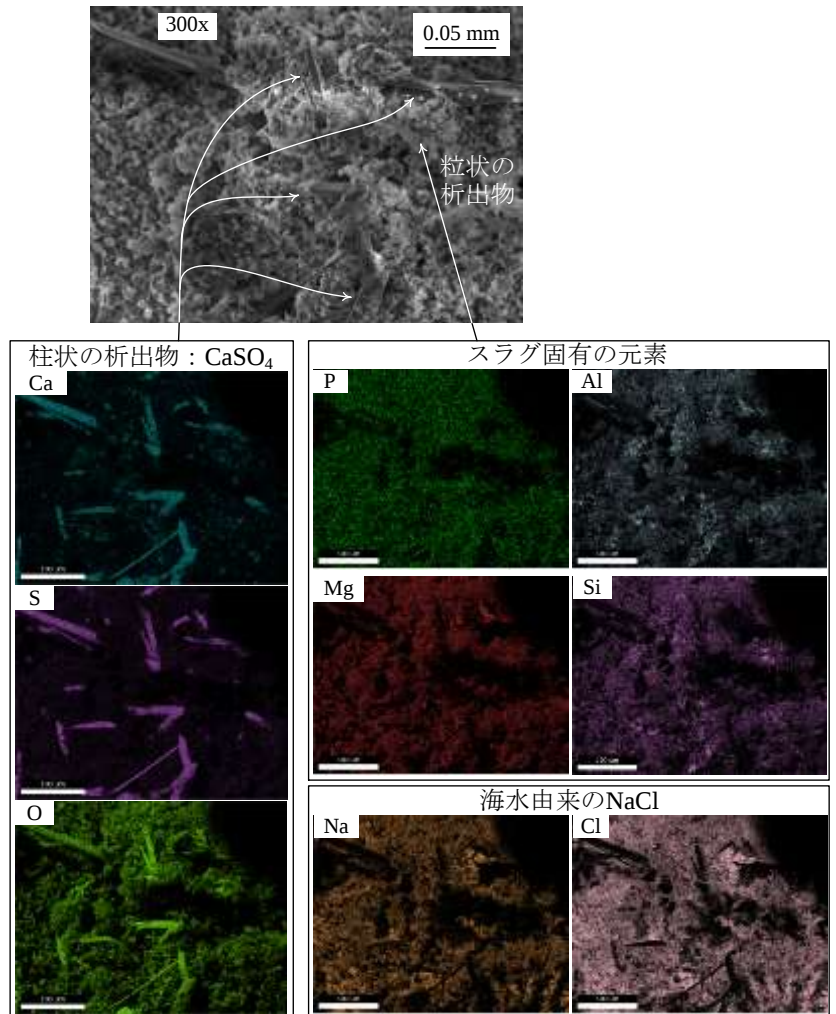


図5 SEM-EDSによる析出物の拡大写真と元素マッピング

従来の潜在水硬性の発現メカニズムにおける、スラグ粒子の成分が溶出する記述とも今回の元素マッピングは適合する。菊池らの実験¹⁾において、海水養生下でスラグ微粉末を添加した試験体の強度・剛性が効果的に増加した理由は、海水由来の元素とスラグ由来の元素が互いに結びつき、析出物が生成しやすい条件になっていたためと考えられる。

4. まとめ

SEMによる定点観察により、析出物の生成過程を観察し粒状の析出物が粒子間を埋め潜在水硬性による剛性・強度増加に起因していると推察した。また、XRDとSEM-EDSの分析の結果から、析出物はスラグ固有の元素と人工海水由来の元素で構成されるNaClや CaSO_4 化合物であることが分かった。

参考文献 1) 菊池ら：高炉水砕スラグの硬化促進方法と硬化強度評価法の検討, 土木学会論文集C, Vol. 67, No. 1, pp. 145-159, 2011