

石炭灰を使用した粒状地盤材料の強度発現機構

(財)四国産業・技術振興センター 正 会 員 ○岩原 廣彦
 四国電力株式会社 正 会 員 佐々木勝教
 香川大学工学部 正 会 員 山中 稔
 香川大学工学部 正 会 員 長谷川修一

1. はじめに

筆者らが開発したフライアッシュを主原料とする粒状地盤材料¹⁾（以下「粒状材」という）には、ごく稀に重金属等の溶出量が土壌環境基準を超える場合があるため、溶出を抑制する目的で消石灰を少量添加することとしている。消石灰を少量添加することにより粒状材の強度が増加することが判明した。本稿では、その原因を確認するために実施した粒状材の細孔構造に関する各種試験結果を報告する。

2. 使用材料（配合）と一軸圧縮強度

今回、試験対象とした粒状材の使用材料（配合）を表-1に示す。粒状材は、フライアッシュやセメントなどの粉体材料を均等に攪拌・混合した後、水を加え、粉体同士を結合・成長、造粒させたものである（写真-1）。

表-1 使用材料（配合）

材 料 名	フライアッシュ JISⅡ種相当 (%)	高炉セメント B種 (%)	水 (%)	消石灰 (%)
配合 No. 1	100	7	25	0
配合 No. 2	100	7	25	6

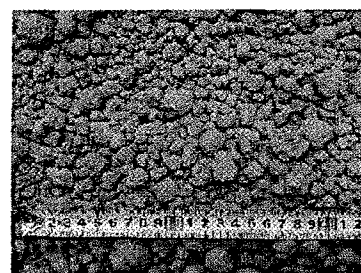


写真-1 粒状地盤材料の外観

図-1に一軸圧縮強度試験結果を示す。図-1から、セメントおよび水が同一添加量であるにも係わらず、消石灰を使用しない場合（配合 No. 1）は材齢 28 日以降強度の増加は認められないが、消石灰を使用した場合（配合 No. 2）は材齢 28 日から材齢 91 日までの強度増進が大きくなった。これは、消石灰添加によるカルシウム濃度の増加が硬化体中の細孔構造に影響を及ぼしたためと推測される。

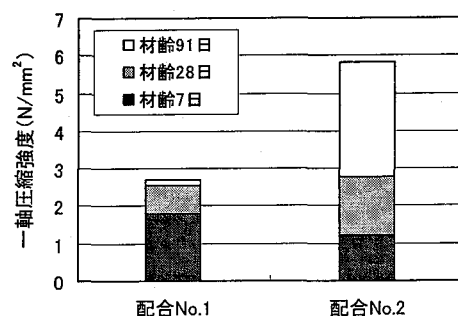


図-1 一軸圧縮強度試験結果

3. 細孔径分布測定および電子顕微鏡観察結果

粒状材の強度増進が消石灰添加に伴う硬化体の細孔構造の変化によるものか確認するため、細孔径分布測定および電子顕微鏡観察を実施した。ここでは、測定した細孔径分布のヒストグラム（横軸：細孔径の大きさ、縦軸：頻度）と粒状材から採取した平坦な研磨薄片の観察結果を示す。なお、試験には材齢 28 日の粒状材を用いている。

1) 消石灰未使用の硬化体（配合 No. 1）の場合

図-2に細孔径分布のヒストグラムを、写真-2に硬化体（フライアッシュ粒子間の水和物）の電子顕微鏡観察結果を示す。図-2より細孔径の分布には、二つの頻度の山が認められる。このうち孔径の小さい空隙の山 ($0.72\mu\text{m}$) は毛細管空隙（水和物間の隙間）であり、孔径の大きい粗い方の空隙の山 ($6.98\mu\text{m}$) はセメントにより結合したフライアッシュ粒子間の空隙と考えられる。

また、別途実施した EPMA 分析の結果、フライアッシュ粒子間にフライアッシュのアルミノシリケートガラスにカルシウムと水が結合した CSH ゲルよりカルシウム成分が少ないゲル物質¹⁾²⁾が生成されてい

ることが判明している。

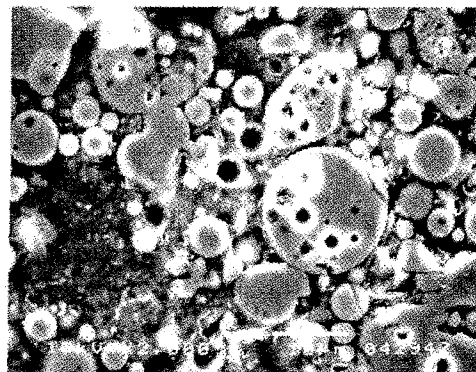
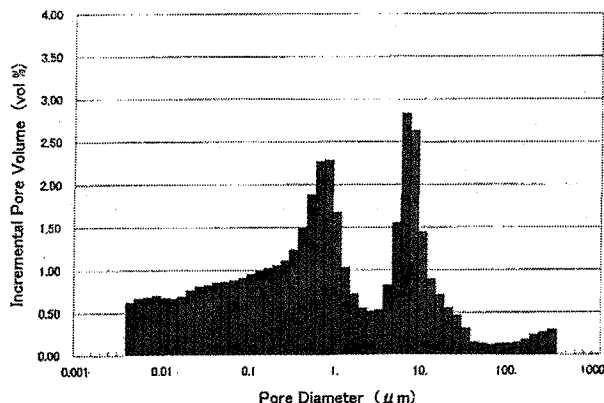


図-2 細孔径分布のヒストグラム（消石灰無） 写真-2 硬化体の電子顕微鏡写真×2000（消石灰無）

2) 消石灰使用の硬化体（配合 No. 2）の場合

図-3に細孔径分布のヒストグラムを、写真-3に硬化体（フライアッシュ粒子間の水和物）の電子顕微鏡観察結果を示す。図-3より消石灰未使用の場合に比べて、孔径が数十Åの微細なゲル空隙量が多くなっており、消石灰を使用することで硬化体の組織が緻密になっていることがわかる。これは、硬化体中のカルシウム成分の増加に伴うCSHゲル¹⁾²⁾生成量の増加により、微細なゲル空隙（ $0.040\mu\text{m} = 40\text{\AA}$ ）が発達し、フライアッシュ粒子間の空隙や毛細管空隙が充填されたことによると考えられる（写真-3）。

また、別途実施したEPMA分析の結果、硬化体中に生成されたCSHゲルなどにより組織構造が緻密化され、長期強度の増加については硬化体中のカルシウムの増加に伴い、水和反応が促進され、フライアッシュのポゾラン反応と相まって、ゲル状水和物による組織構造の緻密化が長期的に起こり、強度が増進されたと推察される。

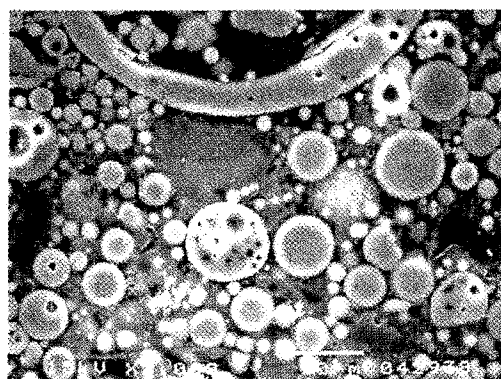
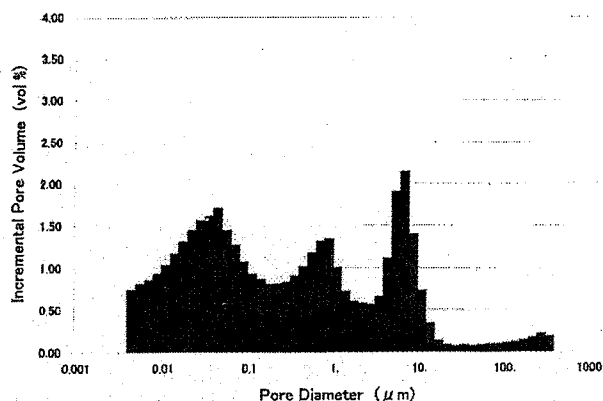


図-3 細孔径分布のヒストグラム（消石灰有）

写真-3 硬化体の電子顕微鏡写真×2000（消石灰有）

4. まとめ

粒状材は消石灰を添加することで一軸圧縮強度が長期的に増進する。これは、消石灰添加によりフライアッシュ粒子間のカルシウム濃度が高まり、典型的なCSHゲル¹⁾²⁾の生成量の増加により、微細なゲル空隙が発達し、フライアッシュ粒子間の空隙や毛細管空隙が充填されたこと（組織の緻密化）によると考えられる。

参考文献

- 1) 岩原・佐々木・石井：フライアッシュを主原料とした天然粒状代替材の開発，電力土木，No.317，pp.9-19，2005.5.
- 2) 岩原・佐々木・石井・森・田邊：石炭灰を原料とした粒状地盤材料の細部構造と土質力学特性，地盤工学会第50回地盤工学シンポジウム論文集，pp121-128，2005.11.