

フライアッシュを主原料とした粒状地盤材料の細孔構造

四国電力
四国電力
四国産業技術振興センター
森技術事務所

○正会員
正会員
正会員
フェロー

佐々木勝教
石井 光裕
岩原 廣彦
森 邦夫

1. はじめに

フライアッシュを主原料とする粒状地盤材料¹⁾（以下「粒状地盤材料」という）は配合の違いにより、一軸圧縮強度など強度特性に違いが認められる。本稿では、その原因を確認するために実施した粒状地盤材料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地盤材料の使用材料（配合）を表-1に示す。粒状地盤材料は、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）。

なお、使用材料の性状変動により、粒状地盤材料からごく稀に重金属等の溶出量が土壤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。

表-1 使用材料（配合）

材 料 名	フライアッシュ (%)	高炉セメント (%)	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

表-1の配合における一軸圧縮強度試験結果を図-1に示す。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。

3. 細孔径分布測定および電子顕微鏡観察結果

粒状地盤材料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検討するため、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）と粒状地盤材料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日の粒状地盤材料を用いている。

1) 消石灰未使用の硬化体（配合 No.1）の場合

測定した細孔径分布のヒストグラムを図-2、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写真-2に示す。

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。細かい空隙の山（ $0.72\mu\text{m}$ ）は毛細管空隙（水和物間の隙間）、一方の粗い方の空隙の山（ $6.98\mu\text{m}$ ）はフライアッシュ粒子間の空隙と考えられる。

また、写真-2よりフライアッシュ表面～粒子間に生じているゲル状水和物は、破断面観察時に認められた箔状～針状の水和物¹⁾の集合体に相当すると推察される。なお、箔状～針状の水和物は別途実施したEPMA分析の結果、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CASHゲル¹⁾²⁾（ポズラン反応により生成され、CSHゲルよりカルシウム成分が少ない）であることが判明している。

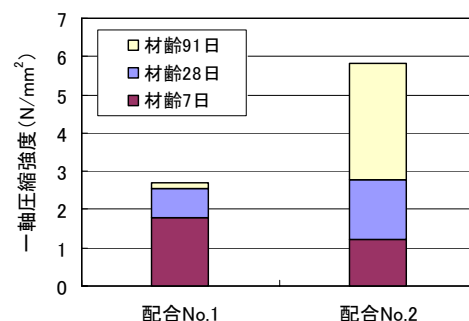


図-1 一軸圧縮強度試験結果

キーワード フライアッシュ、セメント、消石灰、粒状材、細孔径分布

連絡先 〒760-8573 高松市丸の内2番5号 四国電力(株) 土木建築部 TEL 087-821-5061

2) 消石灰使用の硬化体（配合 No.2）の場合

測定した細孔径分布のヒストグラムを図-3、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写真-3に示す。

図-3より消石灰を使用することで硬化体の組織が緻密になることが確認できた。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。

また、写真-3よりフライアッシュ表面～粒子間のゲル状水和物は、消石灰未使用時に比べて生成が目立つうえ、外形もややケバ立っているようである。これは別途実施した EPMA 分析の結果、フライアッシュ表面のゲル状水和物は CASH ゲルであるが、そこから離れたフライアッシュ粒子間のゲル状水和物は CASH ゲルよりもカルシウム成分が多く、アルミニウム成分の少ない CSH ゲルであることを確認している。

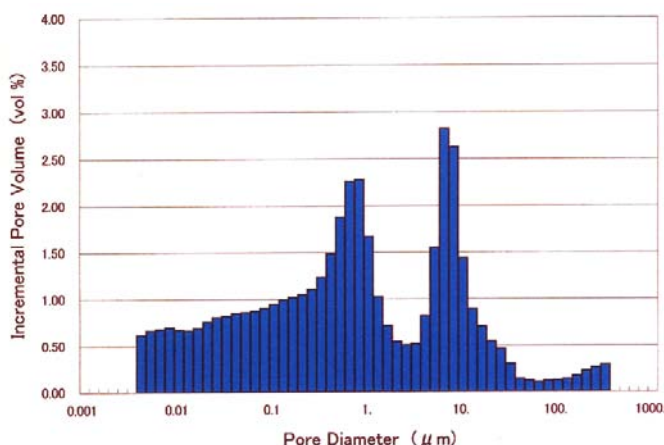


図-2 細孔径分布のヒストグラム（消石灰なし）

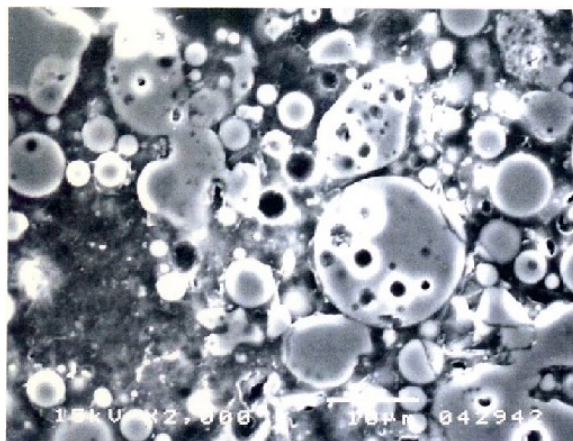


写真-2 硬化体の電子顕微鏡写真×2000（消石灰なし）

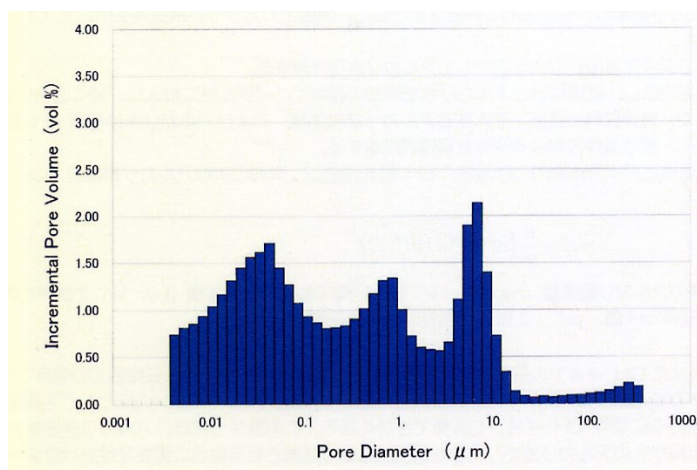


図-3 細孔径分布のヒストグラム（消石灰あり）

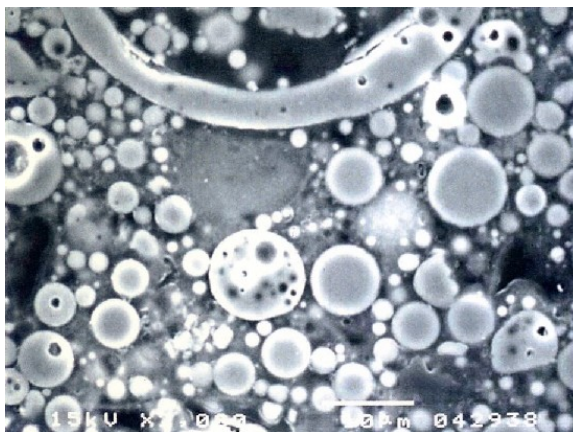


写真-3 硬化体の電子顕微鏡写真×2000（消石灰あり）

4. まとめ

粒状地盤材料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、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。また、硬化体中の微細なゲル空隙の発達が、組織の緻密化による強度増進作用だけでなく、重金属等の固定効果を高くもたらしめていると考えられる。

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.