無水セッコウの結晶子サイズの小径化によるセメント系固化材の一軸圧縮強さの向上

(株)デイ・シイ　正会員　○帖佐　智行
同上　正会員　築地　優
同上　正会員　藤原　了
同上　正会員　二戸　信和

１．はじめに

火山灰質粘性土（以下，ローム）および高有機質土のような土質は固化が困難なため，セメント系固化材の添加量が多量に必要となる．そのため，固化が困難である土質を低添加量となるセメント系固化材が要求されている．セメント系固化材の強度発現において主要な役割を果たす反応は，エーライトの水和によるカルシウムシリケート水和物とエトリンガイト（以下，AFt）の生成である．とくに，AFt は材齢初期から生成されるため，セメント系固化材の強度発現に AFt の生成が重要である．また，AFt の生成には，無水セッコウのような硫酸塩が重要となる[1)]．筆者らはこれまでに無水セッコウの粒径に着目し，粒径の異なる無水セッコウを用いたセメント系固化材の強度発現性（一軸圧縮強さ）の確認を行い，無水セッコウの結晶子サイズが小さくなるほど，一軸圧縮強さが向上することを把握[2)]している．しかしながら，その報告[2)]では，対象土がロームの 1 種類，セメント系固化材添加量も 1 水準のみであり，無水セッコウの結晶子サイズと一軸圧縮強さとの関係の再現性が必要である．そのため，本実験では，対象土やセメント系固化材添加量の水準の増加により，無水セッコウの結晶子サイズの小径化によるセメント系固化材の一軸圧縮強さの向上効果の再確認を実施した．

２．実験概要

（１）使用材料

本実験で使用した無水セッコウの特徴を表 1 に示す．無水セッコウはそれぞれ粒径の異なる 5 種類を使用し，これらの粒径はレーザー回折式粒度分布測定器を用いて測定し，結晶子サイズは回折 X 線分析リートベルト解析で求めた．表 1 の D_{50} は，50%累積体積通過径である．ここで，CS11，CS7，および CS3 は，CS18 を分級により試製した．CS3 と同一粒径である CS3G は，CS18 を粉砕により試製した．

表1　無水セッコウの特徴

記号	D_{50} (μm)	ブレーン比表面積 (cm^2/g)	結晶子サイズ (nm)
CS18	17.7	3,800	135
CS11	10.7	4,920	132
CS7	7.2	6,020	106
CS3	3.1	12,980	89
CS3G	3.2	10,660	42

本実験で使用したセメント系固化材は，表 1 に示す粒径の異なる 5 種類の無水セッコウ 1 種類と普通ポルトランドセメントを母体とした結合材を質量比で 15 : 85 とし，結合材が異なる 3 種類のセメント系固化材を用いた．試料土は，湿潤密度 1.344Mg/m^3，含水比 134%のロームと，湿潤密度 1.147Mg/m^3，含水比 275%の高有機質土を用いた．

（２）実験水準および練混ぜ

実験水準を表 2 に示す．セメント系固化材の添加量，または無水セッコウの種類を変更したセメント系固化材を使用した合計 25 水準について一軸圧縮強さを確認した．練混ぜは 1.5L 練りとし，1 分 30 秒練混ぜ→掻き落とし→1 分 30 秒練混ぜとし，回転数 160rpm のソイルミキサにて行った．

表2　実験水準

試料土	固化材添加量 (kg/m^3)		固化材	無水セッコウ				
	150	250		CS18	CS11	CS7	CS3	CS3G
ローム	○	○	A	○	○	○	○	○
ローム	○	○	B	○	○	○	○	○
高有機	○		C	○	○	○	○	○

（３）実験項目および測定方法

キーワード　無水セッコウ，結晶子サイズ，セメント系固化材，エトリンガイト，一軸圧縮強さ
連絡先　神奈川県川崎市川崎区浅野町 1-17　（株）デイ・シイ 技術センター　TEL044-333-0618　FAX 044-355-4010

© Japan Society of Civil Engineers

一軸圧縮強さは，JCAS L-01:2006 に準じ，φ50×100mm の円柱供試体を作成し，材齢は 7，28 日で行った．水和熱測定は，W/B=50%のセメント系固化材のペーストを作成し，双子型伝導熱量計を用い，材齢 3 日までの積算発熱量を測定した．

3．実験結果および考察

結晶子サイズと材齢 7 日，または 28 日の一軸圧縮強さとの関係を図 1，図 2 に，積算発熱量と材齢 7 日，または 28 日の一軸圧縮強さとの関係を図 3，図 4 に示す．

図 1，図 2 より，一軸圧縮強さは，セメント系固化材添加量に関らず無水セッコウの結晶子サイズが小さくなるほど，材齢 7 日，28 日ともに大きくなることが確認された．つぎに，図 3，図 4 より，積算発熱量が大きいほど，一軸圧縮強さは大きくなった．筆者らの研究[2)]では，AFt のピーク面積比と無水セッコウの結晶子サイズ，または積算発熱量との間で高い相関が確認されている。つまり，無水セッコウの結晶子サイズが小さくなるほど，無水セッコウの溶解速度が早くなるため，セメントの水和発熱による積算発熱量が大きくなり，AFt 相の生成量が多くなったと考察している．

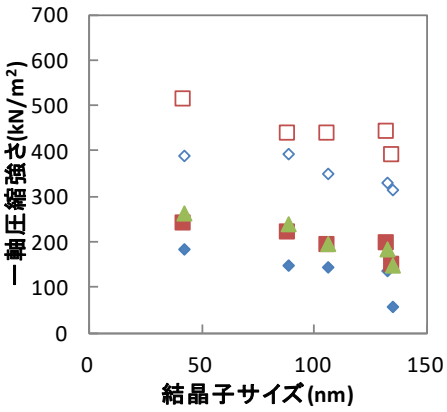

図1 結晶子サイズと圧縮強さ(材齢7日)

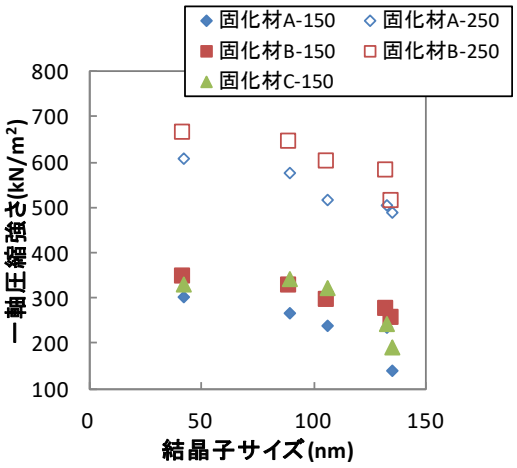

図2 結晶子サイズと圧縮強さ(材齢28日)

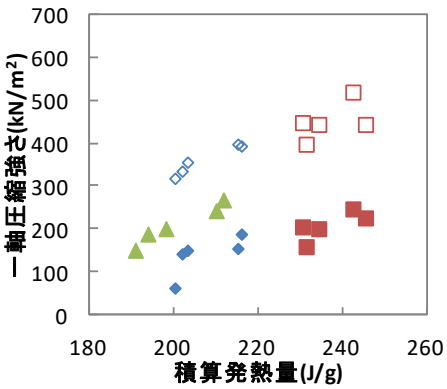

図3 積算発熱量と圧縮強さ(材齢7日)

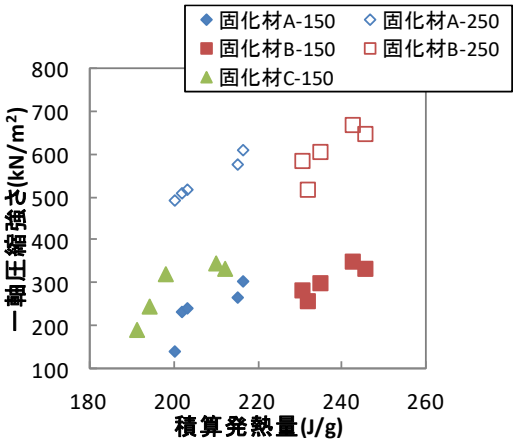

図4 積算発熱量と圧縮強さ(材齢28日)

したがって，本実験においても，無水セッコウの結晶子サイズが小さくなるほど，AFt 相の生成量が多くなり，一軸圧縮強さが向上したと推測できる．そのため，結晶子サイズを小径化した無水セッコウは，一軸圧縮強さの向上，あるいはセメント系固化材の添加量の低減には，有効な混和材であると考えられる．

4．まとめ

結晶子サイズの異なる 5 種類の無水セッコウを用いてセメント系固化材を試製し，結晶子サイズの小径化による一軸圧縮強さの向上効果について確認を行った結果，以下の知見を得た．

(1) 無水セッコウの結晶子サイズが小さくなるほど，セメント系固化材自体の水和反応による積算発熱量が増加し，一軸圧縮強さが大きくなることが分かった．これは，AFt 相の生成量が増加するためと推測された．

(2) 結晶子サイズを小径化した無水セッコウは，一軸圧縮強さの向上，あるいはセメント系固化材の添加量の低減には，有効な混和材である．

【参考文献】

1) 野崎隆人：セメント系固化材の水和，無機マテリアル学会，Vol.27，No.405，pp.57-62，2020

2) 帖佐智行ほか：粒径の異なる無水セッコウを用いたセメント系固化材の一軸圧縮強さ，土木学会，令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会，Ⅲ-342，2020

© Japan Society of Civil Engineers