

金沢大学工学部 正員 川村 満紀
 正員 加場 重正
 正員 鳥居 和之

1. 目的

脱硫石膏の有効利用を目的とする一連の実験において、セメントまたは石灰安定処理土における添加セメント量または石灰量の一部分を脱硫石膏で置換えることによって安定処理土の一軸圧縮強度はかなり増加することがすでに明らかになった¹⁾。脱硫石膏-セメントまたは石灰安定処理土において生成するセメントバチルスは強度を発生させると同時にかなり大きな膨張をひき起こす。したがって、あまり多量のセメントバチルスの生成は強度に望ましくない影響をあたえる。脱硫石膏を土質安定処理剤として有効に利用するためには、これら安定処理土における反応生成物および形成される内部構造の特徴を把握することが重要である。本報告は示差走査熱量計(DSC)および走査型電子顕微鏡を用いて、脱硫石膏を添加した処理土における反応の特徴および反応生成物の形態を強度特性と関連づけながら検討するものである。さらに、セメントバチルスによる膨張によって生ずる内部構造欠陥に敏感であると考えられるくり返し荷重下における疲労特性についても報告する。

2. 実験概要

使用した土試料は砂質土(金沢市卯辰山産)および3種類の粘性土(粘性土I、IIおよび丸谷粘土)である。脱硫石膏は2水塩のものであり、棒状の石膏粒子(直径50~100 μ m, 長さ300~700 μ m)の表面は写真-1に示すようになる。使用セメントおよび石灰は普通ポルトランドセメント(N社製)および工業用消石灰である。強度試験用供試体の一部分より採取した試料片について走査型電子顕微鏡(ASM-SX島津社製)による観察を行った。DSC曲線(アルミナ標準試料, 容器はアルミニウム, 加熱速度10 $^{\circ}$ K/分)はサーモフレックス(理学電気(株)製)によって得たものである。疲労試験はサーボハルサ(島津社製)によって行なった。

3. 実験結果および考察

(1) 脱硫石膏-セメントまたは石灰安定処理土のDSC曲線

図-1および図-2は各材令における安定処理された丸谷粘土のDSC曲線である。図-1より明らかになるように、140 $^{\circ}$ Cにおける石膏による吸熱ピークは材令とともに小さくなると同時に460 $^{\circ}$ Cの消石灰によるピークも材令とともに小さくなり、材令180日において消失している。一方、おもにエトリンガイトによるものと思われる120 $^{\circ}$ Cにおける吸熱ピークは材令とともに大きくなっている。これらの事実より丸谷粘土の脱硫石膏-石灰安定処理土においては、石膏-消石灰-粘土間の反応は180日材令までの長期間にわたって継続し、材令とともにセメントバチルスの量が増加して行くことがわかる。しかし

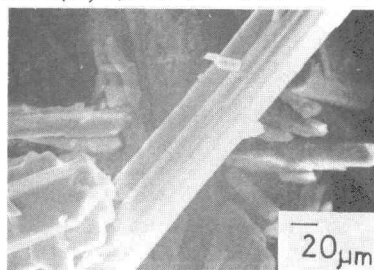
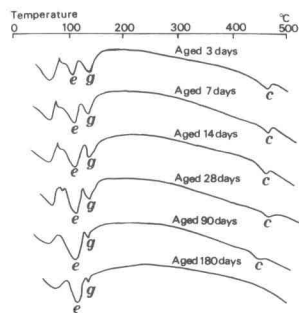
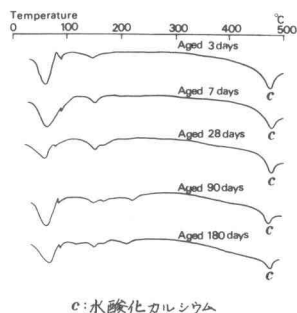


写真-1. 脱硫石膏粒子のSEM像



e: エトリンガイト
 g: 石膏
 c: 水酸化カルシウム

図-1. 脱硫石膏-消石灰安定処理土のDSC曲線
 (土: 丸谷粘土, 石膏/石灰=1, 添加量=20%)



c: 水酸化カルシウム

図-2. 消石灰処理土のDSC曲線
 (土: 丸谷粘土, 添加量=20%)

、石灰処理土のDSC曲線(図-2)にみられるC-S-H gel (150℃におけるピーク)、 C_4AH_3 (170℃のピーク)等によるピークは脱硫石膏-石灰処理土のDSC曲線(図-1)には存在しない。さらに九谷粘土の石膏-消石灰安定処理土の一軸圧縮強度は図-3に示すように180日材令まで増加し続けることから判断して強度の発生はおもにセメントバチルスによるものといえる。また、材令にともなって増大する120℃におけるかなり大きな吸熱ピークの存在および後述するSEM像によって観察された反応生成物の形態より考えて生成するセメントバチルスは高硫酸適型のエトリンガイトであると推察される²⁾。

(2) 走査型電子顕微鏡による観察

写真-2は脱硫石膏-セメント安定処理土(7日材令)の内部構造を示すものである。7日材令では全体としてエトリンガイトの針状結晶の生成はみられないが、供試体を破断する際に離脱した石膏粒子跡のSEM像(写真-3)より判断して、比較的大きな石膏粒子が粘土と接触している部分には初期材令においてすでに針状結晶が生成し、強度発生に寄与しているようである。写真-4は写真-2にみられる石膏粒子の表面を拡大したものである。写真-1と写真-4の比較より、なめらかな表面は溶解し、いちぢるしく変化していることがわかる。

(3) 脱硫石膏-セメントまたは-石灰安定処理土の疲労特性

図-4は粘性土Ⅱを用いた各種安定処理土のS-N曲線である。図-4より、脱硫石膏添加土はセメントまたは消石灰のみを添加したものより小さい耐久限度および疲労寿命を示すことがわかる。石膏-石灰処理土の耐久限度および疲労寿命は石膏-セメント処理土よりも大きく低下している。

前者および後者の7日材令における膨張量はそれぞれ14.4%および2.9%であることから考えて、このような耐久限度および疲労寿命の低下はセメントバチルス生成による体積膨張に起因するものと思われる。すなわちSEM像にもみられるように粘土中の石膏粒子周辺よりエトリンガイトが生成しはじめたということから判断して、局部的膨張によって生じた内部欠陥が疲労寿命および耐久限度を低下させるものと考えられる。参考文献

1) 柳嶋川村、鳥居、高瀬、土と基礎、No.1、27、16.5、1978

2) 有泉大場、土木研究所報告、119号、4239

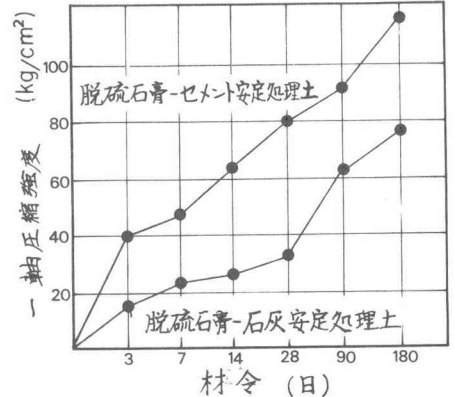


図-3 脱硫石膏-消石灰安定処理土の一軸圧縮強度と材令の関係 (土:九谷粘土、石膏/石灰=1、添加量:20%)

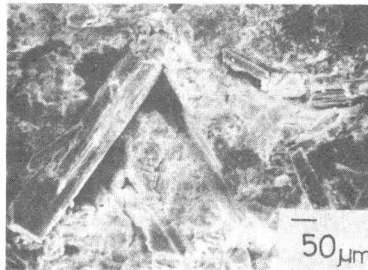


写真-2. 脱硫石膏-セメント安定処理土供試体(土:九谷粘土、石膏/セメント=1、添加量:20%)破断面のSEM像

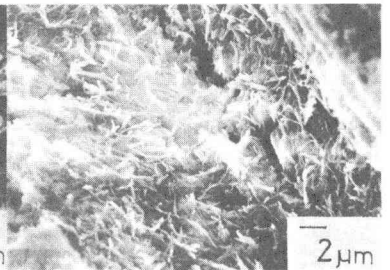


写真-3. 写真-2において石膏粒子が離脱した跡の拡大写真

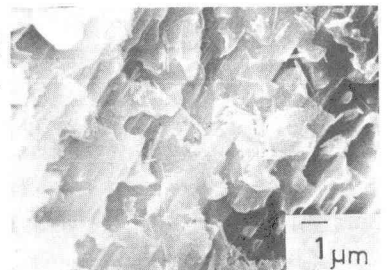


写真-4. 写真-2における石膏粒子表面の拡大写真

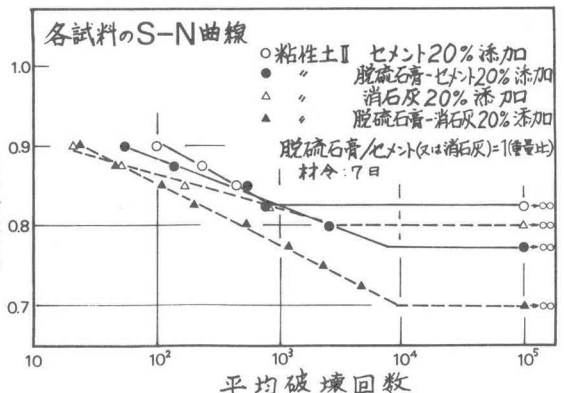


図-4 各種安定処理土のS-N曲線