

京都大学工学部 正会員 嘉門 雅史
 阪神高速道路公団 正会員 ○浜田 信彦

1. はじめに

近年、高含水比条件下の超軟弱地盤を固化処理するために、その多量の余剰水の処理に焦点をあてた工法が用いられる。すなわち、エトリンガイトが生成時に多量の水を結晶水として取込むことに着目した安定処理工法であり、石灰やセメントと硫酸基、アルミ分の含有物の混合体が用いられる。しかしながら安定処理の目的が地盤支持力の増大にあれば、得られるエトリンガイトの役割に関し、単に定性的のみでなく定量的に示す必要があり、他の石灰やセメントのボゾラン反応との関係で明らかにしなければならない。本研究ではこのような観点から、高含水比粘性土の処理に際して、石灰・セメント・硫酸アルミニウムの割合および全体の添加率を種々変えて、得られるエトリンガイトやCSH系の反応生成物が改良効果に及ぼす影響を比較検討したものである。

2. 実験の方法

本研究で用いた高含水比粘性土は、比重2.591, LL=126.1%, PI=72.1%, 粒度はコロイド分49.1%, 粘土分26.6%, シルト分24.0%で細粒分の多い高塑性琵琶湖粘土である。安定処理材は、ポルトランドセメント、生石灰(1:2)を粉末材として、硫酸アルミニウム等を液体材として組合せ、その配合比(重量比)を9:1, 8:2, 7:3, 6:4の4種類とし、添加量を乾土重量に対して5, 10, 15, 20, 30, 40(%)の6種とした。なお、処理対象土の初期含水比は150%である。強度測定用の試料は土質工学会締固めを伴わない安定処理土の作成方法基準によって行った。反応性分析用試料は、一軸圧縮試験後の供試体の一部を用いた。短期養生では反応生成物の確認がX線回折では困難であったため、90, 360, 720日養生の試料を用いた。ここでは、X線回折法を反応生成物の定量に用いたが、これは測定条件を同一にした時、回折X線強度が結晶性物質の量に比例することを利用したものである。すなわち、ゴニオメータの 2θ を反応生成物の主要ピークの発現角度に設定し、定時計数法で40秒間カウントし、その値を h とする。次にバックグラウンドを除去するためにゴニオメータの角度を調整し直し、同じく40秒間カウントして h' とする。この $(h-h')$ を反応生成物のX線強度とみなして反応生成物の相対的な生成量とした。エトリンガイトの $2\theta=9.08^\circ$, CSH系及びトベルモライトの $2\theta=29.06^\circ$ とした。なお走査型電子顕微鏡(SEM)によって反応生成物の存在を確認した。

3. 反応生成物の強度へ及ぼす影響

図-1, 2はSEMによって観察された反応生成物と原土である。安定材の増加に伴ってエトリンガイトの針状結晶が顕著にみられ、粘土粒子間に織込まれている状況が良く観察される。

このような反応生成物を定量的に表わすために、ボゾラン反応系のCSH(I), (II), トベルモライト群とエトリンガイトとについてX線強度による生成量を示したものが

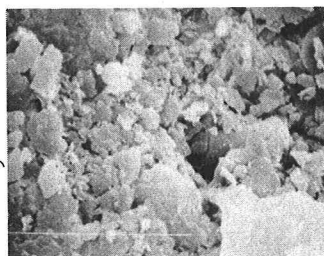


図-1 原土のSEM写真
 カオリナイトが主要粘土鉱物

×5000

5 μm

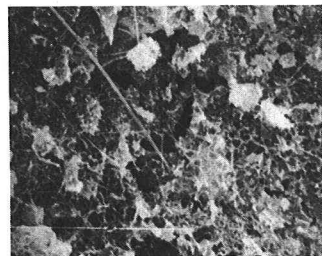


図-2 安定材 8:1, 30%添加土, 360日養生
 エトリンガイトとCSH系の織込み

×5000

5 μm

図-3 である。安定処理材の種類によって分布に差を生じ、硫酸アルミニウム分の多い6:4の配合比の安定処理材のものに、当然ながら多量のエトリンガイトの生成がみられている。

CSH(I), CSH(II), トペルモライトの主要ピークは360, 720日等の長期養生に伴って明確になり、同時に q_u 値の増大がみられるようになる。一方エトリンガイトも同様であって、その示性式 $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ に示されるように

余剰水の結晶水化、含水量の適正化によるボゾラン反応促進効果

などが考えられる。しかしながら、得られる強度については、必ずしもエトリンガイト生成量と対応せず、同一添加量で比較した場合、逆比例の関係で、強度の減少を示している。これらの結果を反応生成量と強度の関係で示した

のが図-4, 5である。以上、いずれの反応生

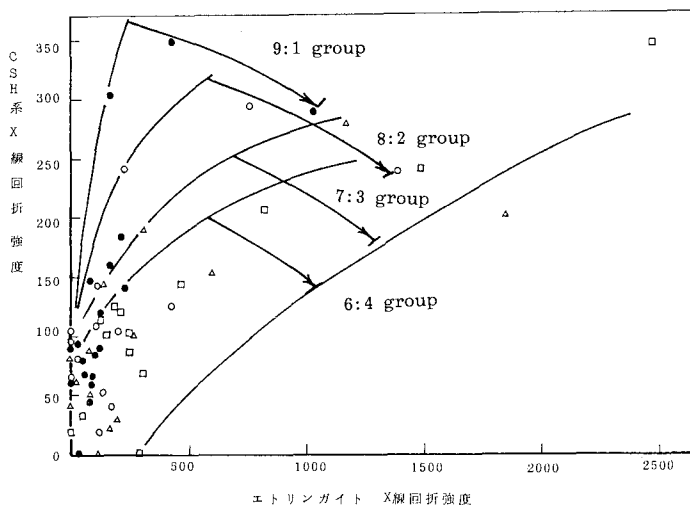


図-3 エトリンガイトとCSH系とのX線強度の関係

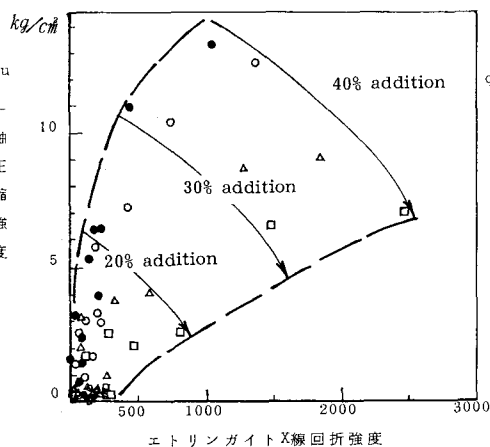


図-4 q_u とエトリンガイト量

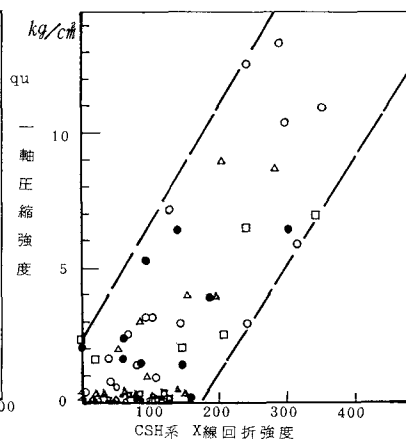


図-5 q_u とCSH系生成量

成物についても、同一配合比では反応生成量の増加に伴い強度も増大するが、配合比の差、すなわち硫酸アルミニウム量によるエトリンガイトの差は、ボゾラン反応によるCSH系の多いものでもエトリンガイトの増加で強度低下をきたすことがわかる。これは石灰・セメント系処理土の固化強度としてやはりボゾラン反応に目標をおくべきことを示すものである。

4. おわりに

石灰・セメント系安定処理において、高含水比粘性土の余剰水の結晶化という点で有効なエトリンガイトと、従来から土-石灰-セメント-水系の主要反応と考えられているボゾラン反応の生成物(CSH系)の両者について、その生成量と一軸圧縮強度との相関を明らかにした。エトリンガイトの生成はそれなりの効果を示すものの、土質安定処理効果、特に強度増大の獲得の観点からは、必ずしも有利とはいいがたく、石灰あるいはセメント量を高めた上で、C-S-H系の反応を追う方が安定処理効果が上るものと結論される。末尾ながら、御指導・御援助をいただいた京都大学名誉教授松尾新一郎先生、同教授赤井浩一先生に深く感謝いたします。