

ソイルセメントコラム打設に伴う周辺粘土のフラクチャ現象に関する実験

佐賀大学 理工学部 学 〇林 謙謹
 佐賀大学 大学院 学 沈 水龍
 佐賀大学 理工学部 正 三浦哲彦
 テノックス(株) 正 溝口栄二郎

1. はじめに 深層混合処理工法に関する最近の研究によると、軟弱地盤に対する補強効果は、コラムの強度だけではなく、周辺粘土地盤の強度増加も関与していることが分かった¹⁾。後者に関する原因として、コラムから粘土へのイオン拡散と、固化材浸出による粘土の強度増加が考えられる。固化材の浸出に関して周辺地盤に発生したフラクチャクラックが関与している可能性がある。本研究は周辺粘土におけるフラクチャ現象を確認するための室内実験である。

2. コラム打設に伴う周辺地盤に及ぼす二つの作用力 ソイルセメントや石灰コラムは、改良材の粉体またはスラリーを土中に注入しながら、攪拌翼を回転させて現場の土と混ぜて構築される。コラムを打設する際に周辺地盤に二つの作用力が働いている。その一つは、改良材の注入による膨張圧力であり、他の一つは、攪拌翼の回転による周辺粘土へのせん断力である。この二つの作用力の大きさは、施工方法や地盤条件によって異なる。改良材の注入圧力は、施工方法によって 10 数 kPa から数 1000kPa の範囲にあると思われる。

図-1 は、周辺地盤が非排水条件として求めた改良スラリー注入による(スラリーの体積率)周辺地盤への膨張圧力率 $\Delta P/c$ である。 $\Delta P/c$ は、修正カムクレモデルを用いて二次元の FEM で求めた。上の横軸はスラリーが水セメント比 100%に対するセメントの配合量を示している。また、ハイドロフラクチャ圧力範囲²³⁾も示している。この図に見られるように、セメント配合量 2~4%の条件で、周辺地盤への膨張圧力は最小フラクチャ圧力を越えており、コラム打設によってフラクチャを生じる可能性を示唆している。また、周辺粘土には攪拌翼の回転によるせん断力が作用しているので、フラクチャクラック発生の可能性は一層高い。以下の実験では、このフラクチャを生じるメカニズムについて考察する。

3. 実験概要 次の二つの実験を行った。第一は、室内ベーンせん断装置を用いてせん断による周辺粘土のフラクチャ現象をシミュレートした。実験では、不攪乱有明粘土を直径 75mm、高さ 60mm、壁厚さ 7mm のポリ塩化ビニール(PVC)容器に詰めて、試験装置の台座に固定し、ベーンヘッド(直径 20mm)をサンプル中に挿入した。台座が回転すると周辺粘土にせん断力が働く。試料の物性値は土粒子の密度 $\rho_s=2.62\text{g/cm}^3$ 、自然含水比 $w_n=91.3\%$ 、塑性指数 $I_p=49.9$ 、液性限界 $w_L=89.9\%$ 、塑性限界 $w_p=40.1\%$ 、粒度特性(粘土 C=65%、シルト SI=25%、細砂 SF=9.5%、S=砂 0.5%)であった。

第二は、室内模型コラム打設装置¹⁾を用いて、フラクチャー現象に関する実験を行った。模型地盤にコラム(直径 10cm、長さ 15cm)を打設し、周辺地盤における化学性質の経時変化を調べた。模型地盤は、十分に練り返した有明粘土を内径 30cm、高さ 30cm の円筒形モールドに入れ、表面荷重 11.3kPa、上下排水の条件で約 41 日間圧密して用意した。試料の初期物性値は、 $\rho_s=2.63\text{g/cm}^3$ 、 $w_n=147.8\%$ 、 $I_p=56.5$ 、 $w_L=98.1\%$ 、 $w_p=41.6\%$ 、電気伝導率 $E_c=3.56\sim3.78\text{mS/cm}$ 、 $\text{pH}=8.22\sim8.55$ 、粒度特性(C=70%、SI=25%、SF=4.5%、S=0.5%)であった。図-2 は層厚は 18cm のモデル地盤の特性である。改良材は消石灰スラリーであり、配合量は 15%であった。

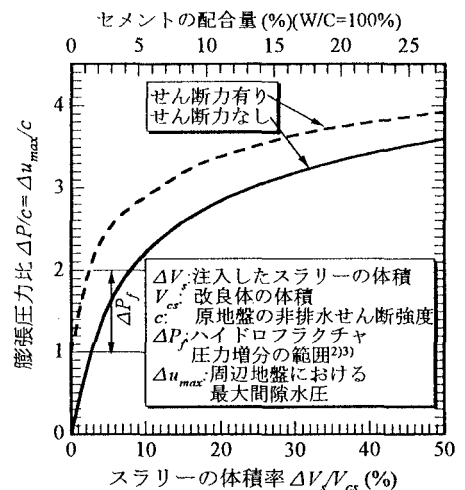


図-1 せん断と膨張による膨張圧力とスラリーの体積、配合量の関係

スラリーは消石灰：水=100%の条件で作った。スラリーの化学性質は $E_c=6.27\text{mS/cm}$, $\text{pH}=12.7$ であった。

4. 実験結果および考察 図-3 は、室内ベーンせん断による周辺粘土におけるフラクチャモードである。これから見られるように回転が始まった直後にベーンの四つの翼から螺旋形の放射クラックを発生し、その後外側へ展開していく。回転角度が 10° を過ぎるとクラック長は $5\sim 10\text{mm}$ に達した。この時、同時に四つの翼からベーン外周に沿って環状のクラックが出ていた。回転角度が 20° を過ぎると螺旋形の放射クラックが最も長くなり、そのときのクラック分布範囲は $30\sim 40\text{mm}$ ($1.5\sim 2R_w$, 翼直径) であった。回転角度が 30° を過ぎると環状クラックの長さは $5\sim 8\text{mm}$ になり、同時に環状クラックから第二の螺旋形の放射クラックが見られた。ベーン翼の回転角度が 270° を過ぎると、翼直径の円に接するクラックが円になった。さらに翼が回転すると、翼の近傍の粘土は攪乱状態を示した。 360° を過ぎると、翼の近傍は十分練り返された領域を形成した。円筒形の土が翼に付着して、翼を取り出した後に円形空筒が生じていた。空筒の内壁にはクラックは認められなかったが、周辺粘土中には、なおクラックは存在していた。

[周辺粘土における化学性質の変化] 図-4 は、モルドにおけるコラム打設後の粘土中の pH , E_c の変化である。同図によって、打設した後 1.5 日に、改良材がコラムから $9\sim 14\text{cm}$ 離れたところに溶出していることが認められる。実測データはバラツキが大きいイオンの溶出はかなり早いことが分かる。

[改良材の粘土中の移動速度] イオンの周辺粘土への溶出速度はかなり早いことが見出された。もし、イオンが土の間隙を通じてのみ溶出するとすれば、改良材の移動速度は $6\sim 9\text{cm/日}$ である。この粘土の相当透水係数 k_{he} は $k_{he}=6\sim 9\text{cm/日}=(6.95\sim 10.8)\times 10^{-5}\text{cm/s}$ であるのに対して、標準圧密試験により得た透水係数 $k_h=(4.74\sim 8.1)\times 10^{-8}\text{cm/s}$ であった。これらの比較により、コラム周辺粘土の透水能力は予測された値より 850 倍から 2000 倍も大きいことが確認された。

[周辺粘土へのイオン溶出メカニズム] 前述のことから、コラム打設によって周辺粘土中にフラクチャクラックが発生し、これらを通じて固化材、イオンが周辺粘土へ急速に溶出するというメカニズムが明らかにされたと考える。

5. まとめ 1) 攪拌によって周辺粘土におけるフラクチャクラックを生じることを明らかにした。2) フラクチャクラックは、攪拌翼によるせん断フラクチャクラックと、攪拌翼と改良材注入によるハイドロフラクチャである。3) イオンが周辺粘土中へ急速に溶出するのは、ハイドロフラクチャを通じることで説明できる。

参考文献 1) 三浦哲彦ら (1997), “ソイルセメント改良体打設に伴う周辺粘土のせん断強度変化”, 土木学会論文集, (投稿中). 2) Mori, A. and Tamura, M. (1987), “Hydrofracturing pressure of cohesive soils,” *Soils and Foundations*, Vol.27, No.1, pp.14-22. 3) Yanagisawa, E. and Panah, A.K. (1994), “Two-dimensional study of hydraulic fracturing criteria in cohesive soils,” *Soils and Foundations*, Vol.34, No.1, pp.1-9.

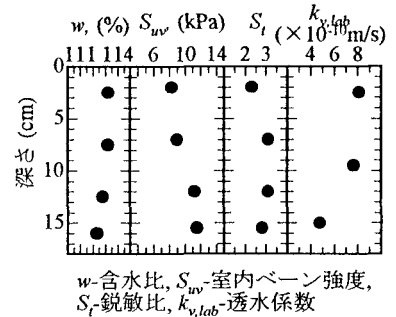


図-2 再圧密後の模型地盤の特性

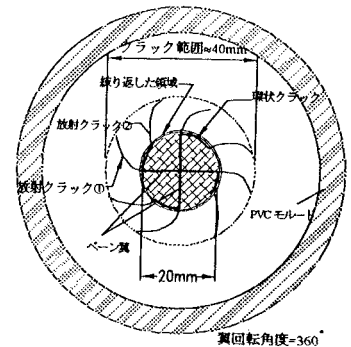


図-3 せん断によるフラクチャモード

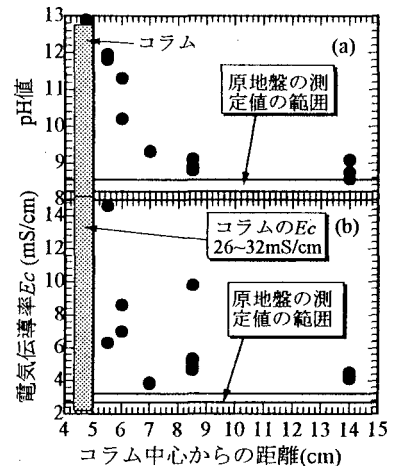


図-4 コラム打1.5日後の周辺地盤におけるpHと電気伝導率