

京都大学工学部 学生員 ○上田 聖  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 木戸 隆之祐  
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 木村 亮

## 1. はじめに

地中連続壁工法などの基礎工法では、安定液を用いて地盤が掘削される。安定液とはベントナイト<sup>1)</sup>を主成分とする泥水であり、溝壁面に泥膜を形成し溝壁を保護する<sup>2)</sup>。過去の模型実験により、地盤の粒径や透水係数が小さいほど溝壁が安定化する傾向や、泥膜の形成と溝壁安定の関連性が明らかになっている<sup>3), 4)</sup>。しかし、安定液が浸潤する際の土粒子間隙の状態を微視的に観察した事例はない。

本研究では、安定液浸潤試験にX線CT撮影を適用し、浸潤前後の土粒子間隙の状態を可視化した。

## 2. 安定液浸潤試験の概要

本試験は、水で飽和化した試料に対し安定液を鉛直下向きに浸潤させ、試料下部から排水した累積流量を測定する試験である。また、安定液浸潤前後に供試体のX線CT撮影を行う。実現場では安定液が地盤に対し水平に浸潤するが、本試験ではCT撮影を行う都合上、安定液の浸潤を鉛直方向に設定した。

試料には、豊浦砂、珪砂5号、珪砂3号の3種類をそれぞれ用いた。粒径及び透水係数の大小関係は、豊浦砂 < 珪砂5号 < 珪砂3号である。供試体は、水中落下法により相対密度60%を目標として作製した。安定液は、ベントナイト(クニゲルV2)：CMC(クニポリマーA、粘度調整剤)=7.0%：0.1%の配合で攪拌装置を用いて作製し、試作段階における溶け残りを考慮してベントナイト濃度 $6.00 \pm 0.50\%$ を許容した<sup>4)</sup>。表1に実験ケースを示す。

以下に試験手順を示す。

- (1) タンクで脱気水を作製し、正圧をかけてアクリル製供試体装置の試料投入部分まで飽和化する。
- (2) 水中落下法で供試体を作製する。
- (3) 供試体が崩れない程度の小さな正圧をタンクにかけ、攪拌装置までの経路を脱気水でゆっくりと飽和化する(図1(a))。
- (4) 安定液浸潤前のCT撮影を行う。
- (5) 脱気しながら攪拌装置で安定液を作製する。

(6) 攪拌装置に50 kPaの正圧をかけ電磁弁を開放して安定液を試料に浸潤させると同時に、経路下部で累積流量を測定する(図1(b))。

(7) 安定液浸潤後のCT撮影を行う。

表1における安定液供給圧力は、手順(6)での攪拌装置にかける正圧の値を表す。CT撮影は、安定液の浸潤でより大きな変化が期待できる供試体上端部を撮影領域に含むようにして撮影を行った。

## 3. 試験結果

### 3.1. 安定液浸潤後の外観

写真1に安定液浸潤後の供試体上面の様子を示す。50T及び50S5のケースでは断面全体を覆う膜が形成され、既往の知見<sup>3), 4)</sup>と概ね合致した。一方、50S3のケースでは一部試料が露出していた。

表1に示す累積流量収束時間は、安定液の浸潤開始から下部での排水が停止するまでの時間を表す。50S3のケースでは、試料上部の膜が不完全であるにもかかわらず排水が停止しているため、試料上部だけでなく、内部でも間隙が閉塞したと考えられる。

表1 実験ケースと累積流量収束時間

Case	試料	相対密度 [%]	安定液供給圧力 [kPa]	累積流量収束時間 [s]
50T	豊浦砂	50.9	50.0	15
50S5	珪砂5号	46.3		20
50S3	珪砂3号	74.1		35

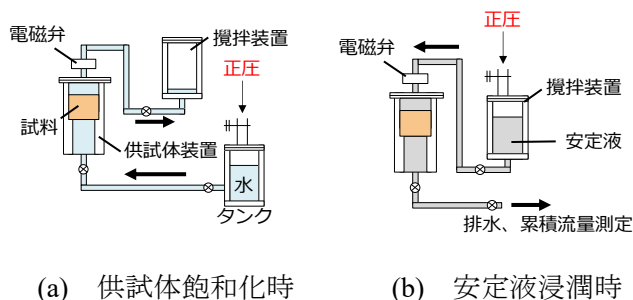


図1 試験機構の概略図

### 3.2. 累積流量の考察

図2に累積流量と浸潤時間の関係を示す。グラフが横ばいになるにつれて、排水が停止したことを表す。試験開始後3秒ほど累積流量が増加していないのは、電磁弁の開放に時間を要するためである。図2及び表1より、粒径や透水係数が大きくなるほど、排水が停止するまでの時間は長く、累積流量は多いことが分かる。また、排水が停止するまでのグラフの勾配（単位浸潤時間あたりの累積流量増分）と各試料の透水性の大小関係は一致している。

### 3.3 X線CT画像の分析

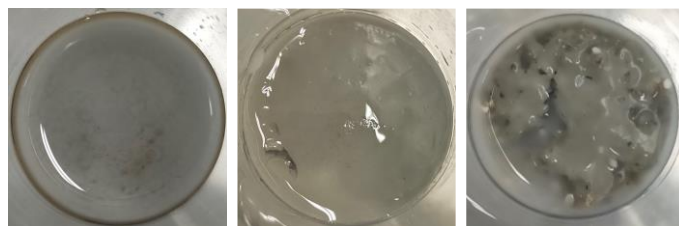
図3に安定液浸潤前後のX線CT撮影によって得られた、50S3のケースでの試料上端面における水平断面画像を示す。図3(a)における色の明るい部分は土粒子を、色の暗い部分は間隙水及びアクリルを表している。図3(b)と比較すると、安定液の浸潤により色が明るくなっている間隙が見られ、この部分にベントナイトが目詰まりしたと考えられる。一方、ベントナイトが目詰まりしていない間隙も確認でき、目詰まりしやすい間隙があると考えられ、そのような特徴の分析が今後の課題である。なお、このような変化は50T及び50S5のケースでは試料上部の間隙のみで見られたため、形成された膜が排水停止に至った主な原因と考えられる。一方、50S3のケースでは試料中央部や下部の間隙でも図3(b)に示すような変化が見られたため、内部の間隙でもベントナイトによる閉塞が発生していることが裏付けられた。

### 4. 結論

試料の粒径や透水係数が小さいほど、間隙はベントナイトによって短時間で閉塞し、上端面を一様に閉塞させる良好な膜が形成されることが分かり、既往の知見<sup>3), 4)</sup>と概ね合致した。また、X線CT撮影により安定液浸潤前後の土粒子間隙を可視化した結果、供試体内部の間隙にベントナイトが目詰まりしている状況を明らかにできた。

### 5. 謝辞

本研究に用いたベントナイト及びCMCは、クニミネ工業株式会社から提供を受け、安定液に関する参考資料などを含め、多くのご支援を賜った。ここに記して謝意を表す。



(a) 50T (b) 50S5 (c) 50S3  
写真1 安定液浸潤後の供試体上面の様子

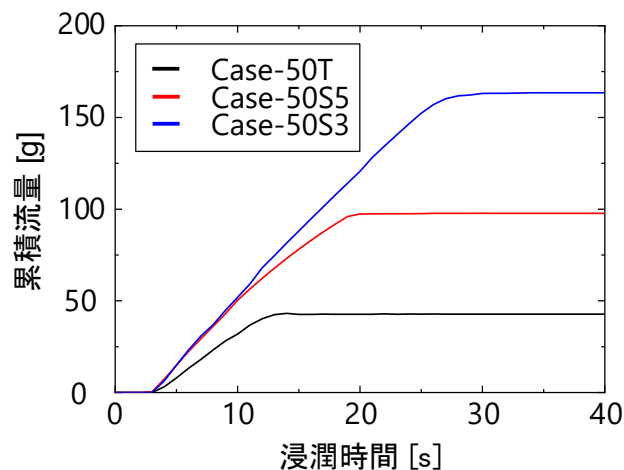
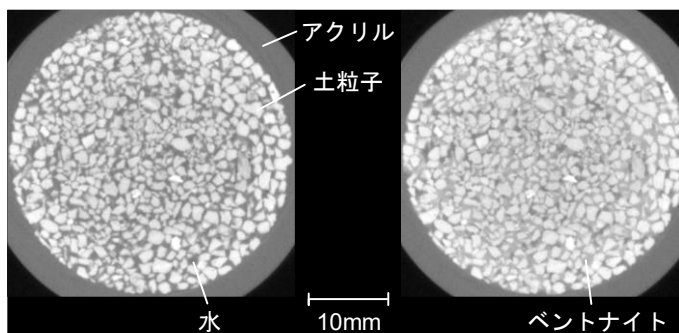


図2 累積流量-浸潤時間関係



(a) 安定液浸潤前 (b) 安定液浸潤後  
図3 試料上部の水平断面画像 (Case-50S3)

### 参考文献

- 1) 鬼形正伸：ベントナイトの特性とその応用，粘土科学，Vol.46，No.2，pp.131-138，2007.
- 2) 佐々木 寛，西村 義，武井正明：地中連続壁の施工について一試験施工結果を踏まえた本施工の状況について一，第60回北海道開発技術研究発表会，No.28，pp.1-6，2016.
- 3) 名倉克博，樋口雄一：砂地盤における地下連続壁掘削溝の安定性について，地盤と建設，Vol.10，No.1，pp.25-28，1992.
- 4) クニミネ工業株式会社 黒磯研究所：場所打ちコンクリート杭の施工と管理 3.3.5 孔内水の管理に関わる掲載データの試験報告 結果報告書，pp.1-28，2017.