

未固結地盤の陥没現象に対する室内模型実験

電力中央研究所 正会員 ○ 小早川博亮

久野春彦

電力中央研究所 正会員

塩竈裕三

正会員

末永 弘

1. はじめに

未固結地盤地表部において、地表が陥没する事象が散見されている。その原因の一つとしてパイピングによる土砂流出が考えられている¹⁾。パイピングが生じる条件を把握することは、発生個所の特定、陥没に対する対策工の施工を考える上で重要である。しかし、パイピングによる土砂流出現象を具体的に把握した事例はほとんどない。

そこで、室内パイピング試験時の土砂流出現象を、X線CTスキャナを用いて観察した²⁾。その結果パイピングによって生じた可能性のある空隙が確認されたものの、試験前後のCT画像の観察のみであったため、空隙の発生過程は不明であった。本報告では、空隙の発生・成長過程を明らかにするために、試験の最中にもX線CTスキャナで観察可能とした装置を用いて実験した結果について述べる。

2. 実験の概要

(1) 室内パイピング試験

室内パイピング試験装置の概要図を図1に示す。試験は、円筒容器（内径100mm、高さ250mm）に供試体を作成し、供試体上端から下端部の排水孔（直径5mm）方向へ通水するものである。上端部には圧力が加えられる仕組みとなっており、圧力センサで記録している。下部排水孔は直線状に流下した流量を計測し、浸透した水の濁りを目視で確認できるようにしている。

試験は、まず円筒容器に所定の密度および含水比を満たすように供試体を作製し、円筒容器を台座の上に設置し、装置全体をX線CTスキャナにより撮影する。次に、円筒容器上部から水を満たす。本実験では実際の地盤の条件に近い不飽和であるほうがパイピングが生じる可能性が高く、実験の目的に適っていると考え、供試体を飽和させるための操作は特に行わなかった。円筒容器下部排水孔からの水を確認した後、下部コックを閉じ、円筒容器の上蓋を閉じ、圧力を載荷できるようにする。水圧は、10kPaまでは2kPa毎、50kPaまでは5kPa毎、100kPaまでは10kPa毎、さらに100kPa以降は120,150kPaと昇圧し、180kPaまで圧力を上昇させ、各圧力段階でそれぞれ一定時間圧力を保持し、下部からの流量測定と、流量測定後のX線CTスキャナによる撮影を繰り返した。

本実験では、医療用ヘリカルX線CTスキャナ（東芝メディカルシステムズ社製、Aquilion64）を利用した。本装置はベッドを移動させつつX線撮影を行い、ベッド上の試験体の内部構造を螺旋状にデータ取得することにより、一回の撮影で試験体の3次元画像を取得することができる。空間分解能は最小0.35mmで、スキャンに要する時間は数秒程度である。X線CTスキャナの撮影によって取得されるCT値は、水で0、空気では-1000の値を示し、値が大きいほど密度が大きいことを意味する。

(2) 対象試料と実験条件

実験に用いた試料は、土石流堆積物分布地域で生じた陥没箇所の周辺から採取した地盤材料を用いた。地盤の粒度組成を図2に示す。対象地盤の湿潤密度は「RI計器による土の密度試験方法（JGS1614）」によって求め、 $\rho_t = 1.23(\text{g}/\text{cm}^3)$ を得た。また、含水比は46.2%であった。以上の条件を踏まえ、供試体の湿潤密度は $\rho_t = 1.2, 1.23, 1.3(\text{g}/\text{cm}^3)$ の3ケースとし、含水比はすべて46.2%になるように調整した。

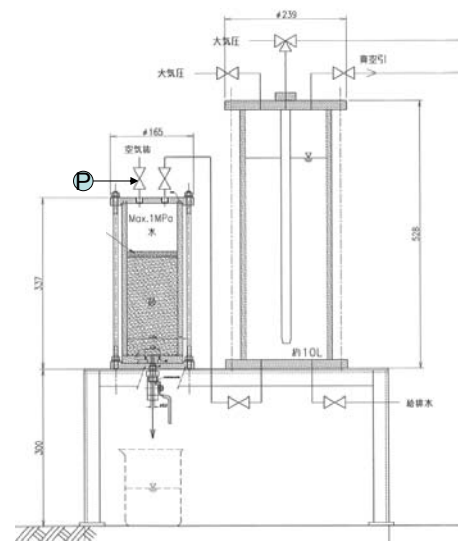


図-1 実験装置の概要

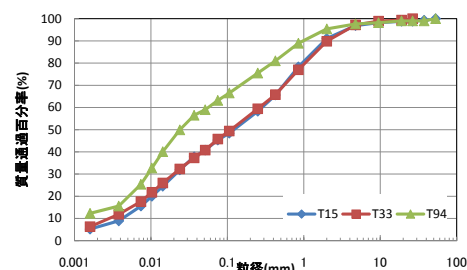


図-2 対象地盤の粒径加積曲線

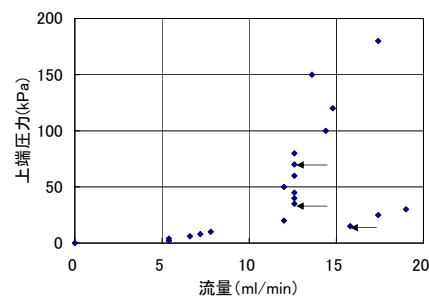


図-3 試験時の流量－上端圧力の関係

キーワード：未固結地盤，陥没，X線CT

〒270-1194 我孫子市我孫子 1646 E-mail:h-koba@criepi.denken.or.jp

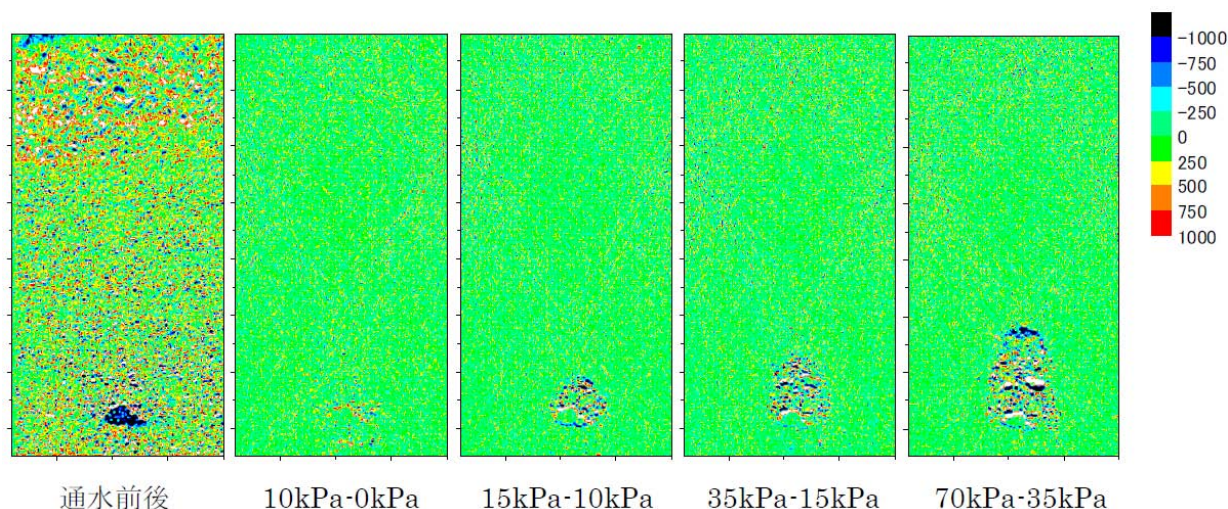


図-4 円筒中央における CT 値の変化

3. 実験結果と考察

前報²⁾と同一条件 ($\rho_t = 1.2(\text{g}/\text{cm}^3)$) の結果について述べる。実験によって得られた供試体の上端圧力と流量の関係を図3に示す。圧力と流量の関係は、明確な相関関係が認められない。これは、試料の粒子の移動による試料内部の空隙の変化が反映され、流量が変化しているものと考えられる。図中矢印で示した流量と圧力が不連続に変化する 15kPa, 35kPa, 70kPa に着目し、各段階での CT 値と前の段階のものとの差をとり、変化量を算定したものを図4に示す。図示した断面は透水円筒の排水孔の中央での鉛直断面であり、長方形の範囲は透水円筒に設置された供試体の範囲と一致している。図には着目する圧力段階以外に、通水前後での変化量と、圧力と流量の関係がほぼ線形である 0-10kPa の変化量も併せて示している。通水前後の変化断面より、通水直後は水で満たされることにより全域にわたって CT 値の変化が認められる。特に試料上部では CT 値の増加を示している暖色系の領域が認められるのに対し、排水孔直上部では空隙を示す CT 値の減少した領域が認められる。これは、通水直後に排水孔からの試料流出とともに生じたものである。上端圧力を 10kPa まで上昇させていく過程 (10kPa-0kPa) では、先に生じた空隙上部に暖色系の帯状の領域が認められ、その上部に寒色系の領域が認められる。これは空洞の上部が徐々に沈下することによって生じた領域 (密度の増加) であり、ゆるみが進行することにより、密度の低い領域が上部に広がっていることを示している。この暖色系の帯状の領域の上に寒色系の領域が分布する傾向の繰り返しは、その後の上端圧力の上昇過程 (15-10kPa, 35-15Pa, 70-35kPa) においても同様に認められることから、今回の実験では、圧力の上昇に伴ってゆるみが進行することにより、密度の低い領域 (あるいは空洞) が上部へ進展していくことを示している。

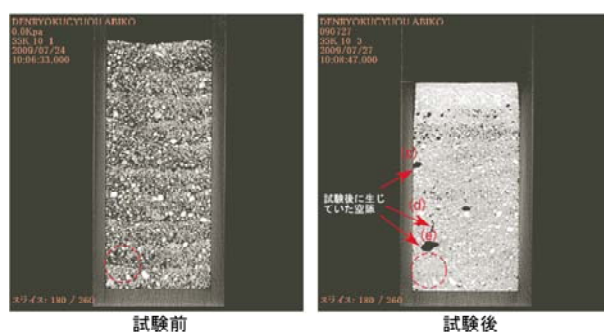
以上の結果は、前報²⁾で得られた「空洞の下部の礫の配置に、試験前後で変化が認められない」という実験結果と異なっている (図5の点線で囲んだ領域)。前報で確認された空洞は、透水円筒の側面に近い箇所であり、排水孔と連結する空隙は確認できなかったのに対し、今回確認された空洞は、排水孔直上であり CT 値の変化の様子からも排水孔との関係は明らかである。これは、前報で確認された空洞は、排水孔からの流出とは直接関係のない可能性を示している。前報で確認された空洞が出現する要因として、地盤内に残存する空気が考えられる。供試体を設置した後に上部から通水する際に、ある箇所では空気がトラップされ、ある箇所では排気されるなどの状態が生じる。その結果、空気がトラップされた箇所は空洞として出現し、排気された空気の通り道は空隙として残存する可能性もある。これは、地盤内に残留する空気・水・土骨格の配置と、各相の力の釣り合いの相互関係により生じるものであり、このような空洞の形成に対しては気体相を考慮して検討する必要があることを示している。

4. まとめ

陥没の生じた未固結地盤から採取した材料による室内試験の結果、材料の流出によるゆるみの発生と流出の継続に伴うゆるみの進展により、空洞が上部へ成長していく現象を確認した。また、ゆるみの進展によらない空洞の発生には地盤内の空気の影響がある可能性を示した。

参考文献

- 1) 久野春彦, 小早川博亮, 塩竈裕三, 末永弘: 未固結地盤陥没メカニズムの検証. 地盤工学会誌, Vol. 59, No. 9, pp. 10-13, 2009.
- 2) 小早川博亮, 久野春彦, 末永弘, 塩竈裕三: X 線 CT スキャナによる未固結地盤陥没現象を模擬した室内パイピング試験の観察. 第 45 回地盤工学研究発表会平成 22 年度発表講演集, 2010.

図-5 試験前後の CT 画像²⁾