地盤内空気閉塞による空気圧上昇と破壊現象の基礎的検討

東京大学工学系研究科・日本学術振興会研究員 DC 学生会員 〇佐藤 真理 東京大学生産技術研究所 正会員 桑野 玲子

1. はじめに

地盤内の間隙空気閉塞による影響が近年指摘されている^{1),2)}。本研究では集中豪雨等により急激な地下水位上昇、 表層地盤の飽和が発生した際に、地盤内に空気が閉塞される事で空気圧が上昇し、表層地盤が破壊される現象が起 きる可能性を一次元円筒試験により検証した。

2. 実験装置・手順

実験装置の模式図を図1に示す。高さ約30cm、径5cmのアクリル円筒底部中央に 直径約1cmの穴をあけ、その穴にチューブを繋ぎ、チューブから外部の水タンク に接続し、タンク上部にロードセルを取付け吊るす事で水の流入量を計測した。水 タンクには水面上部から圧力をかける事で水の流入速度を調整した。なお流入させ た水は脱気水である。アクリル円筒内は底部の穴からの土砂流出を防ぐため乾燥し た濾紙を敷き、3.5cm層毎の厚さの締め固めにより円筒内に供試体を作成した。こ の供試体は自然乾燥させた"不飽和地盤"である。実験開始直前に供試体上に一定 厚さの高含水比地盤(以後"飽和地盤"と表記)を設置し、表層地盤が水の浸透を受 けている状態を再現した。その後飽和地盤表層部鉛直方向の変位を測るために供試 体上端部にレーザー変位計を設置した。円筒底部から高さ10cmの場所に直径約 4mmの穴が空いておりチューブを通して低容量差圧計に接続する事で地盤内の空 気圧を水頭差として測定した。なお穴から水がチューブに漏出するのを防ぐために 空気のみを通すフィルターを穴とチューブの間に設置した。不飽和地盤内では測定 位置に因らず空気圧がほぼ一定である事が佐藤ら(2011) いにより確認されている。



図1 実験装置模式図

3. 実験条件

実験条件を表1に示す。ケース名は表1のように略称をつけ以後の説明 で用いた。実験では内部不飽和地盤の厚さ、表層飽和地盤の厚さ、水タ ンクに負荷する圧力(水の流入速度)、を変化させた。実験材料は江戸崎砂 (pdmax=1.76g/cm³, W_{opt}=14.2%, ps=2.705g/cm³, e_{min}= 0.868, e_{max} = 1.383)であり自然乾燥状態での含水比は約1.5%であった。江戸崎砂の粒 度分布を図2に示す。飽和地盤の含水比は30%(飽和度100%以上)とし た。なお上部地盤の含水比が20%(飽和度約73%)の条件で実験を行った 際、空気圧上昇は見られたものの破壊は発生しなかった。



| ケース略称 | 不飽和地盤厚さ(cm) | 飽和地盤厚さ(cm) | 水タンク負荷圧力(kPa) |
|-----------|-------------|------------|---------------|
| 10kpa3.5L | 21.1 | 3.5 | 10 |
| 10kpa3.5S | 17.7 | 3.5 | 10 |
| 10kpa7.0 | 17.2 | 7.0 | 10 |
| 30kpa7.0 | 17.4 | 7.0 | 30 |

表 1 実験条件

4. 実験結果

水を流入させる事で図3に示すように鉛直方向に地盤が持ちあがり飽和層と不飽和層の境界で空気層が形成された。 水頭差(空気圧)の測定結果を図4に、レーザー変位計の測定結果を図5に、水の流入量を図6に示す。図4と図6 より、水の流入開始とともに空気圧が上昇しており、水の流入速度に空気圧の上昇速度が比例している事がわかっ

| キーワード | 空気圧,不飽和地盤,集中豪雨,表層崩壊 | | |
|-------|--------------------------------|---------------------|----------|
| 連絡先 | 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 Bw304 | 東京大学生産技術研究所 TEL03-5 | 452–6845 |

た。また表層部の変位は空気圧がある程度上昇した後に発生した。各ケースでの表層変位の変化開始時点での水の 流入量と空気圧の関係を表2に示す。水の流入量は流入開始時にバルブをひねる事で急激に変化した分を補正した 値である。り飽和層と不飽和層の厚さがそれぞれ等しい条件(10kpa7.0 と 30kpa7.0)では水の流入速度によらず変 形が発生する空気圧、水の流入量がほぼ等しかった。飽和層が厚い程破壊が生じる空気圧が高かった。また不飽和 層が他の条件より厚いケース10kpa3.5Lでは変位が発生するまでの空気圧上昇が大きく、水の流入量が多かった。



5. 考察とまとめ

実験結果より変位が発生するまでの空気圧 と水の流入量の結果に着目し、実験中の飽和 地盤からの空気の流出が無い事、空気圧が不 飽和地盤内への水の流入による間隙空気体 積の減少により発生している事を仮定して

"計算上の空気圧" = (初期間隙空気体 積)/(初期間隙空気体積) – (水の流入量)を算 出した。初期間隙空気体積は不飽和地盤の体 積、密度と初期含水比から推定した。計算上 の空気圧と実際に計測された空気圧の比較 を図7に示す。図7より空気圧上昇発生前は 誤差があるものの空気圧上昇発生後(水の流



入開始後)はほぼ計算結果と実際の計測結果が一致する事が示され、実際に空気圧の上昇により上部飽和地盤が持ち 上げられ変位が発生している事が分かった。この閉塞空気圧の上昇による破壊現象は実地盤でも十分起きうると考 えられ、今後は2次元模型実験などより実地盤に近い条件で検証を行う必要がある。また空気圧上昇により表層弱 部が破壊され、その部分の空気圧が低下し水の流入が集中する、パイピングを促進している可能性など、空気圧上 昇による破壊現象が地盤に及ぼす影響についても今後検討していく予定である。

参考文献:1) 佐藤真理、桑野玲子(2011)「地中に閉塞された空気圧上昇による地盤の局所破壊に関する基礎実験」、 生産研究、第 63 巻 pp.399-402 2) 吉本憲正、山田菜生、兵動正幸、中田幸男(2010.9) 「間隙空気の圧縮を伴う不 飽和鉛直浸透実験」、土木学会第 65 回年次学術講演会(札幌)、pp.275-276