

地中管路に作用する地盤流動力実験と解析検証

神戸大学工学研究科 学生会員 ○劉 中元

神戸大学工学研究科 フェロー 高田 至郎

神戸大学工学研究科 正会員 鉄田 泰子

配水用ポリエチレンパイプシステム協会 非会員 福島 修司

1. はじめに

2004 年新潟県中越地震では大規模な斜面崩壊などにより水道・ガス・通信用中継光ケーブルなど多くの管体・継手などが破断・損傷の被害を受けた。とくに本地震でポリエチレン管が切断されたのは日本ではじめての事例である。これまでに斜面崩壊などにおける管路挙動が分析された事例は少なく、地盤流動時の地盤流動力などについては十分に明らかにされていない。そこで、本研究では斜面崩壊時に管路に作用する流動力を把握するために、土槽模型を製作し管路に流動力を与える室内実験¹⁾を行った。さらに、流動力を地盤ばねで評価することの有効性について数値解析で検討した。

2. 実験概要

本実験は幅 200cm×奥行 100cm×高さ 60cm のアクリル板土槽に管路を埋設し、クレーンにより土槽に所定の傾斜角度を与え、その後下流側押さえ蓋鋼板を瞬時に開放することで地盤流動を管路に与えている。図 1 に実験装置の土槽と計測点を示す。実験用管路は水道用配水用ポリエチレン管（呼び径 50）及び塩化ビニル（呼び径 40）である。管路は断面中心位置が上流側より 150cm、砂表面より 20cm の位置に埋設した。管地盤材料には砂を用い、自由落下させた緩詰め砂の密度を調整しながら 5 回に分けて、40cm の厚さまで敷き詰めた。管路はボルトを通してロードセルと一体化しており管路端部はヒンジ機構とした。計測項目はビデオカメラによる地盤流動軌跡、変位計による管路端変位量（右、左）、ロードセル（右、左）による管路に作用する荷重および 10 箇所のひずみゲージ（ひずみゲージ間隔 $d=15.8\text{cm}$ ）による管路曲げひずみである。アクリル板土槽の側面には一定間隔で鉛直に色砂を引いており砂表面から 8cm ごとの深さに計測点を置いた。図 2 の側面図における点は流速を測るための計測点の番号である。実験ケースは表 1 に示すとおり、傾斜角度と管種を変えた 5 ケースとした。また表 1 に砂の単位体積重量と平均含水比を示す。

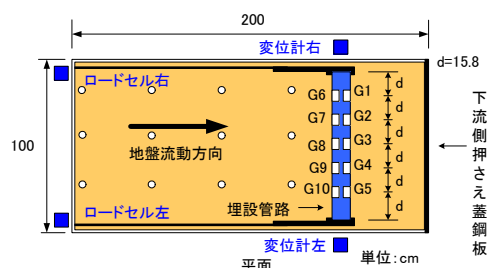


図 1 実験装置平面図

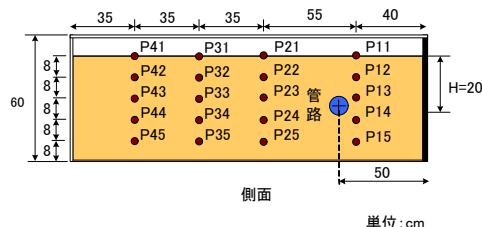


図 2 実験装置側面図

表 1 実験ケース

実験ケース	傾斜角度 θ (度)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	含水比(%)	管路規格	流動時間(s)
1	25	13.5	3.6	ポリエチレン管 外径(D)6.3cm 管厚(t)0.58cm スパン長(L)95cm	2
2	20	12.4	3.8		4
3	25	12.4	3.9		3.3
4	20	12.9	6.9	塩化ビニル管 外径(D)4.84cm 管厚(t)0.4cmスパン長(L)95cm	4
5	25	12.6	6.2		1.8

3. 実験結果

図 3 に各ケース地盤流動力と地盤流動変位の関係を示す。地盤流動力は管路に貼付したひずみゲージにより計測した曲げひずみから荷重分布を推定して算出したものであり、地盤流動変位は P45 の軌跡から算出したものである。地盤が流動し始めると、ほぼ一定の流動力が作用することが知られた。流動変位が 20～60cm では地盤流動力は徐々に増加し 50cm に達したときピークを示す。最大地盤流動力はポリエチレン管のケースで 1.71N/cm^2 、塩化ビニル管のケースで 2.36N/cm^2 である。口径が小さい場合には上載圧が若干大きくなるため、地盤流動力は大きくなる傾向がある。図 4 に管路中心深さの上載圧 $\gamma H / \cos \theta$ で正規化した地盤流動力

キーワード 斜面崩壊, 地中管路, 室内実験, 地盤流動力, 個別要素法

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL 078-803-6047

$F \cos \theta / \gamma H D L$ と外径 D で正規化した流動変位 Y/D の関係を示す。本実験結果では正規化最大地盤流動力 $F \cos \theta / \gamma H D L$ が 5~9 程度になることが分かった。Trautmann ら²⁾は水平土槽において強制変位を与えて Y/D が 3.5 の緩詰め砂に対してほぼ同様の結果を得ている。変位・地盤・流動力との関係は本実験の結果と整合的であるといえる。口径が小さい場合、 Y/D は増加するため最大正規化した地盤流動力も増加している。また、本研究は緩詰め砂地盤であるため初期流動力が小さく、Trautmann らの結果ほどピークが明瞭ではない。さらに、実験ケース 1 の場合、地盤表面や底部では徐々に流動速度が増加して最大 0.8m/s 程度になるが、管路背後地盤の流動速度は周辺地盤よりも遅く、画像判別できる限りで最大 0.39m/s である。実験装置の制約があるが、管路に作用する流動速度範囲内では流動速度に応じて地盤流動力が増加することはなかった。

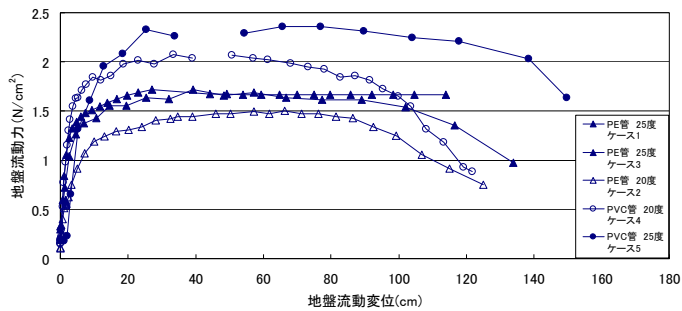


図3 地盤流動力と地盤流動変位の関係

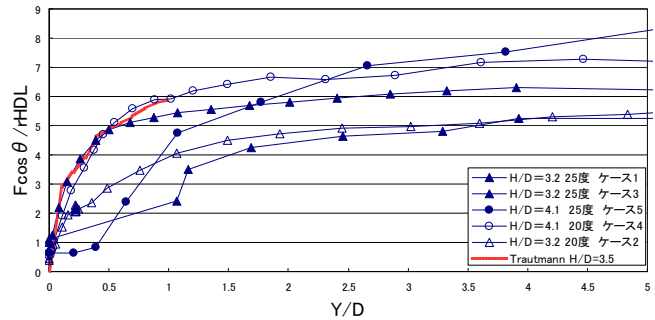


図4 正規化した地盤拘束力と地盤変位の関係

4. 解析モデルと結果

地盤流動力を地盤ばねと流動速度で表現することを試みて、個別要素法によって表 1 の実験ケース 1 を再現させた。図 5 に解析モデルを示す。全長 0.95m のポリエチレン管 0.16 m 単位を一つの要素として分割している。それぞれの管要素と地盤要素を地盤ばねで連結し、地盤要素に流動速度を与えた。図 6 に解析に用いた地盤ばね特性を示す。図 6 の地盤流動変位は図 2 中の P45 点の軌跡から得られた変位である。地盤流動速度は、流動開始 0.6 秒後までは P44 の流動速度と同じものを管路に与え、0.6 秒以後は撮影画像から読み取れた 0.39m/s の一定流動速度を与えた。図 7 に実験から得られた管中央の曲げモーメントと解析の曲げモーメントの比較を示す。実験では、流動開始後 0.5 秒まで、曲げモーメントが増え、0.5 秒~1.5 秒までは 0.09 kN・m 程度のほぼ一定の流動力が作用している。本解析結果は実験の応答をよく再現していることがわかった。実験では、管路背後での地盤流動速度に限界があったが、今後は解析を用いてさらに速い流動速度によって生じる地盤流動力について検討していく必要がある。

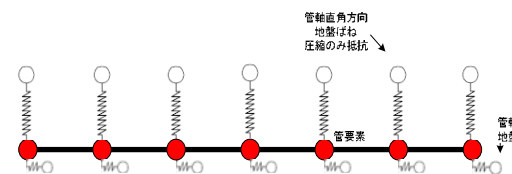


図5 解析モデル

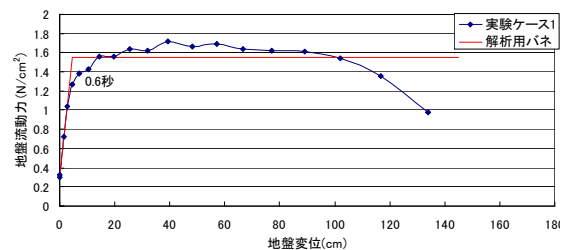


図6 解析用地盤ばね

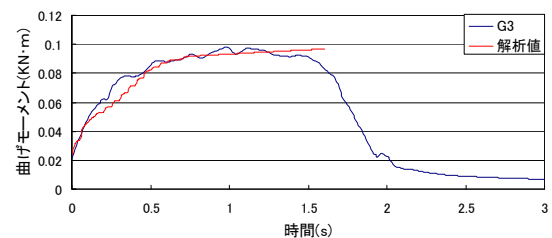


図7 管中央の曲げモーメントの比較

参考文献

- 1) 劉中元, 高田至郎, 鋤田泰子, 福島修司: 地中管路に作用する地盤流動力に関する研究, 平成 20 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 2008
- 2) Trautmann, C. H., O'rourke, T. D: Lateral force -displacement response of buried pipe, J. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111, No.9, pp.1077-1092, Sep.1985