

埋設管周辺地盤の締固め条件による摩擦力の速度依存性に関する実験

神戸大学工学部	学生会員	○稲瀬	友樹
神戸大学大学院	正会員	鋤田	泰子
神戸大学大学院	学生会員	平山	智章
京都大学防災研究所	正会員	澤田	純男

1. はじめに

地中管路の耐震設計では、周辺地盤に対して管路の見かけの質量が小さいために慣性力を無視した、疑似静的な解析手法が用いられるのが一般的である。しかし、管路が軸方向に変位する際には、管路の周りにある土粒子が移動して再配置するため、周辺地盤の締固め条件や管路の移動速度・変位量が管路に働く摩擦力に影響すると考えられる。また、土槽内管路の引き抜き実験は低速で行われるが、本研究は、振動台に管路が敷設された土槽を設置し、高速または低速で土槽を移動させることにより、速度・変位による摩擦力への影響を実験によって明らかにする。

2. 実験方法

振動台を用いて管路に働く摩擦力を測定するために以下の要領で実験を行った。一軸振動台の上に図-1に示すように土槽(長さ:1,600mm, 高さ:1,020mm, 奥行き:840mm)を設置し、土槽に管を貫通させて埋設する。管端部に取り付けたロードセルが反力壁に接するようにして実験を開始する。振動台に固定している土槽を加振することで、埋設管と地盤の間に相対変位を発生させる。この方法では管の慣性力が生じず、直接管路に作用する摩擦力を測定することができる。

本実験では埋設管としてPE ϕ 75 (長さ:1,900mm, 外径:90mm, 管厚:7.5mm) とダクタイル管 ϕ 75 (長さ:2,000mm, 外径:93mm, 管厚:9mm) を使用した。PE ϕ 75は剛性が低く、载荷すると地盤に拘束されてない箇所で応力集中を受ける恐れがあったため、管の中に鉄製の軸芯を通し、両端にははらみ出しを防ぐために10cm程の鋼管を巻いた。

本実験では、管路の上下部10cmまで検討地盤で充填させ、その上の地盤は他の土または土嚢を置き、上載圧がケース間で同じとなるようにした。実際の土槽と実験装置の様子を図-2に示す。

3. 実験ケース

実験は管路・管路周りの砂・加振速度を変え、全8ケースの実験を行った。実験ケースをまとめたものを表-1に示す。高速時には最大60cm/s, 低速時には最大4cm/s程度が管路に作用する。実験には現在の管路敷設工法に推奨されている細粒砂である掛津古砂と、締固めがよくなるように細粒分の多い刃金土と光明寺土を用いた。これらの実験で使用した砂の一面せん断試験の結果を図-3に載せる。ケース1~4はポリエチレン管を使用した。ポリエチレン管には乾燥した掛津古砂と最適含水比の光明寺土を使用し、その中で低速と高速の実験を行った。ケース5~8ではダクタイル管を使用した。管路周りには、掛津古砂と刃金土を体積比1:1で混合した土と、光明寺土を使用し、低速と高速の実験を行った。

キーワード 埋設管, 摩擦力, 速度, 変位

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1 TEL078-803-6047

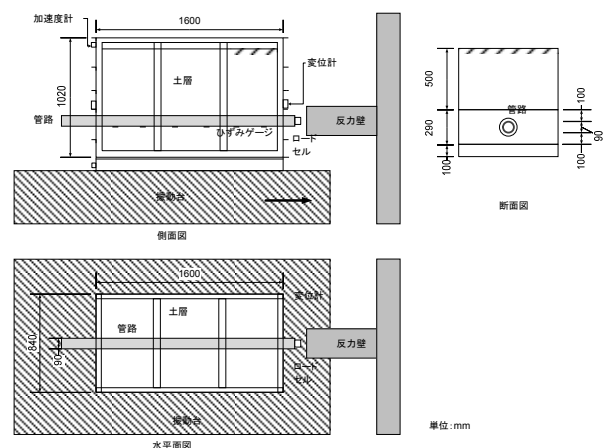


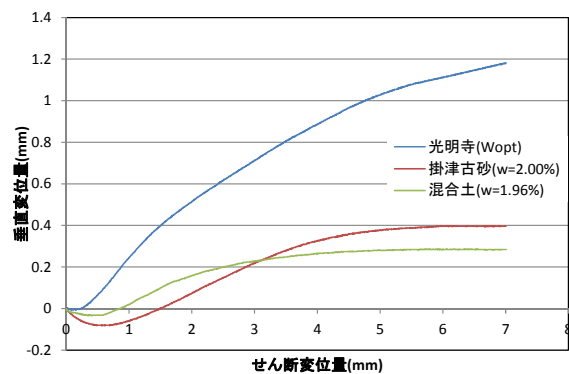
図-1 実験装置概要図



図-2 実験装置の様子

表-1 実験ケース

	管路	速度	管路周り	含水比(%)
ケース1	ポリエチレン管	低速	掛津古砂	2.00
ケース2	ポリエチレン管	高速	掛津古砂	2.00
ケース3	ポリエチレン管	低速	光明寺	24.27
ケース4	ポリエチレン管	高速	光明寺	24.27
ケース5	ダクティル管	低速	混合土	1.96
ケース6	ダクティル管	高速	混合土	1.96
ケース7	ダクティル管	低速	光明寺	24.27
ケース8	ダクティル管	高速	光明寺	24.27

図-3 一面せん断試験 ($\sigma_v=50\text{kPa}$)

3. 実験結果

本実験は管路や管路周りの砂，土槽の移動速度を変えて全8ケース行った．振動台が移動することで土槽と管路に相対変位が生じる．管路により地盤に接する面積が異なるために，管路に発生した摩擦力を管路の表面積で除した周面あたりの摩擦力で整理した．その摩擦力と相対変位との関係を図-4に示す．

ケース1では変位直後に摩擦力が急激に増加し，変位が2mm程度で地盤と管路の間にすべりが生じて摩擦力はほぼ一定の値に落ち着く．ケース2では，高速で変位したために再配置が完了するまでに相対変位が生じたのでケース1の低速時よりも摩擦力が出ず，すべりが生じるまでの変位が低速に比べて長くなった．しかし，最終的にはケース1と同程度の摩擦力に落ち着いた．ケース3ではケース1と同様に相対変位が生じた直後に最大の摩擦力が働いているが，地盤がよく締まっているためにピーク時の摩擦力は砂の時よりも大きく，その後急速に減少している．ケース4もケース2と同様であった．ダクティル管のケース5からケース8においても，低速実験では変位が生じた直後に摩擦力が最大になり，その後は管路周りが乾燥状態であるケース3と同様に緩やかに減少し，高速実験では締め固まりによらず砂の低速時よりも降伏時の摩擦力は下回り，その後すべり時の摩擦力に漸増することがわかった．

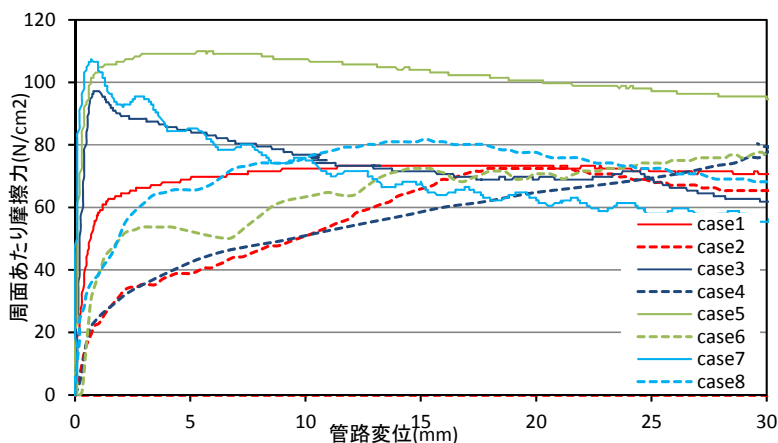


図-4 摩擦力-変位関係

4. まとめ

以上の実験より，管路の剛性や摩擦面の違いはあるものの，速度による摩擦力の傾向は変わらなかった．管路にかかる摩擦力は，締め固め条件に因らず4cm/s程度の低速時の方が大きな最大摩擦力を示し，60cm/s程度の高速時にはそれよりも小さな摩擦力で降伏し，相対変位の増加とともに低速すべり時の摩擦力に漸増する傾向がみられた．また，現行の施工では用いられないような締め固め条件にすると，低速時の最大摩擦力は砂で締め固めた時よりも大きくなることが示された．以上のことから，管路に作用する摩擦力には速度依存性があることがあり，さらに，締め固め条件が良いと管路の変位とともに正のダイレタンシーが作用して大きな摩擦力がかかることが示された．しかし，正のダイレタンシーが見られるのは本実験の低速時であり，高速時には土粒子の再配置にかかる時間よりも管路の移動が速いために体積膨張による摩擦力への影響は見られなかった．

【参考文献】

- 1) 島村一訓，竹之内博行，三木千壽，福澤小太郎：実大実験による埋設パイプラインの軸方向動的地盤ばね特性の研究，土木学会論文集，No.612/I-46, pp.55-66, 1991.
- 2) 平山智章，鍛田泰子，澤田純男：小型模型実験による管路・地盤間に働く摩擦力の速度依存性，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.72, No.4(印刷中) 2016.