

## 埋設管の水平方向地盤拘束力－変位に関する実験的評価

神戸大学	学生会員	○緒方	太郎
神戸大学	正会員	鋏田	泰子
JFE エンジニアリング	正会員	長谷川	延広
神戸大学	正会員	大室	秀樹

## 1. 研究目的

埋設管の耐震設計において応答変位法で管路の耐力照査する場合に、管路と地盤との動的相互作用を説明する地盤ばねの特性は不可欠である。管軸直角方向の地盤ばね特性の諸元は、土槽内の埋設管が移動する場合の水平方向の地盤拘束力と変位との関係を実験結果から定式化されている。しかし、実験対象となる口径や埋設深さは限定的であり、既存の埋設管路延長の大部分を占める小口径や様々な埋設深さに対して実験は行われていない<sup>1)2)</sup>。本研究は、埋設管の地震応答解析や耐震設計に必要な諸元を得るために、埋設管の地盤拘束力－変位関係を実験から明らかにすることを目的とする。本報では、著者らの既報<sup>3)</sup>の実験装置を改良し、様々な口径や埋設深さに対して行った実験結果を報告する。

## 2. 実験方法

(1) 地盤拘束力測定装置：本研究では、図-1 に示す実験装置を用いて、土槽内に埋設された供試管を水平方向に引張ることにより、埋設管に作用する地盤拘束力と変位の関係を測定した。土槽内径の大きさは、長さ 1600mm、高さ 910mm、奥行き 810mm である。土槽の全側面は鋼板で製作されている。土槽壁面による拘束の影響を減らすため、供試管の管中心は移動方向側（図左側）の土槽壁面から 1200mm の位置に設置した。また、鉛直方向については、管中心は土槽底面から 240mm の位置に設置し、土被り厚は供試管の外径に応じた試験ケースに合わせて変更した。供試管の長さはいずれも 700mm で、土槽境界部の影響が出ないように土槽内壁面から 55mm ずつクリアランスを確保している。供試管にはφ20mm の鋼棒を管に貫通させてボルトで固定した。鋼棒のすべり摩擦の影響を減らすため、供試管の移動前方方向の鋼棒部分は PVC 管でケーシングした。鋼棒の剛性が十分あるため、供試管の水平移動時に供試管が上向きに移動することはない。供試管の変位計測は、油圧ジャッキの両側に設置したシリンダーガイドに沿って 2 つの巻込型変位計で行った。供試管の稼働機構は、図-1 に示す引張装置を土槽外側に固定し、油圧ジャッキが伸びて反力壁を押し出すことで、鋼棒に引張力が作用して供試管が移動するものである。荷重方法は、人力によるポンプで油圧ジャッキに加圧した。

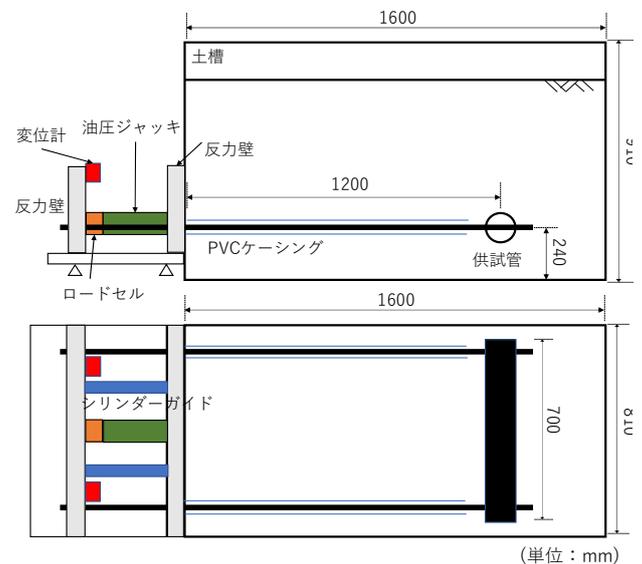


図-1 装置概要

(2) 地盤材料の物理特性：本実験で使用した地盤材料は珪砂 8 号相当の砂で、細粒分が 2%程度若干含まれる。砂の締固め試験の結果から実験には最適含水比  $w_{opt}=22\%$  の締固め度 90%のドライ側として、含水比は 10%で調整した。総重量と締固め後の体積から締固め度を管理した結果、土槽全体の締固め度は 91.2%、単位体積重量は  $13.8\text{kN/m}^3$  となった。また、一面せん断試験より、 $c=0.011\text{N/mm}^2$ 、 $\phi=34^\circ$  が得られた。

キーワード 埋設管，地盤拘束力，地盤ばね

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台 1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL078-803-6047

(3) 実験ケース：本実験で使用した供試管は、鋼管(STK400)  $\phi 50$  (外径 60.5mm, 管厚 3.2mm),  $\phi 100$  (外径 114.3mm, 管厚 4.9mm),  $\phi 150$  (外径 165.2mm, 管厚 5.5mm) の3種類である。土被り厚は、管径ごとに変更した。 $\phi 50$  に関しては2D, 4D, 6D, 10D (Dは管外径),  $\phi 100$  に関しては, 2D, 4D, 6D,  $\phi 150$  に関しては, 2D, 3D, 4D とし, 計10ケースを実施した。また,  $\phi 50$  の10D と  $\phi 100$  の6D,  $\phi 150$  の4D のケースについては, 上層から2D相当分の地盤は, その土被り厚で換算した重量を土のう袋で載積した。実験の再現性を確認するために, 各ケースにおいて2~3回試験を実施している。本実験は2021年3月に神戸大学工学部構造実験室において実施した。

### 3. 実験結果

水平方向引張試験の地盤拘束力と変位との関係を口径ごとにそれぞれ図-2 から図-4 に示す。縦軸の地盤拘束力はロードセルで計測された荷重を管路投影面積 (外径 $\times$ 管路長 700mm) で除した値である。また, 図中に示す H/D の H は地表から管中心までの埋設深さ, D は外径である。既報ではワイヤーで引っ張っていたために, そのたわみの伸びで初期勾配が緩やかになっていたが, 実験装置の改良により引張開始直後に荷重が作用することを確認した。図中にみられる変位数 mm ごとに反力が若干除荷されるのは, ポンプの特性によるものである。また, 同じ埋設深さで行った既報<sup>3)</sup>の実験と比較すると地盤拘束力は若干小さくなった。これは管路位置から土槽内壁までの距離を十分にとった効果と考えられる。

地盤拘束力と変位との関係は変位 5~20mm 近くまで変位に比例して地盤拘束力は増加し, 降伏のピークを過ぎれば地盤拘束力は一定の値に収束する。ただし, 口径が大きくなるにつれて, 降伏後も地盤拘束力は増加し, 明瞭な降伏点を見ることはできなかった。最大地盤拘束力およびその時の変位は, いずれも H/D が大きくなれば増加する傾向を示した。同一の地盤材料を用いて一連の実験を行っているが, 地盤ばね係数 (=最大地盤拘束力/その時の変位) は口径が小さくなるにつれて大きくなることも明らかになった。地盤ばね係数は S 波速度等の諸元から算出しているが, 口径に応じてその値は異なることも今後検討する必要がある。地盤拘束力と変位の関係については, 無次元化した値で分析を進め, 現行設計値との関係についても整理する予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針, 2013
- 2) American Lifeline Alliance: Seismic Guidelines for Water Pipelines, 2005.
- 3) 緒方太郎, 鋤田泰子, 長谷川延広：管路に作用する地盤反力の異方性評価実験, 土木学会地震工学委員会, 第11回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム, 2021

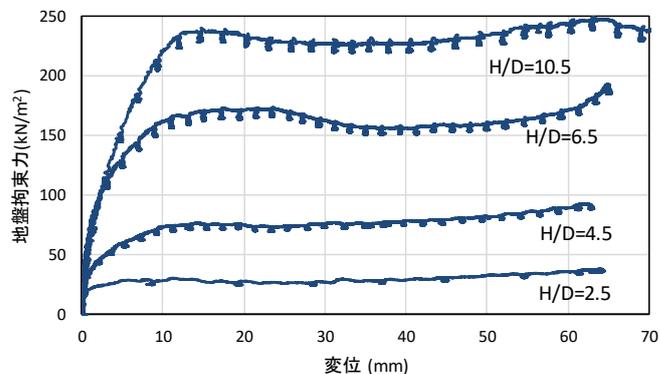


図-2 SP  $\phi 50$  の地盤拘束力-変位関係

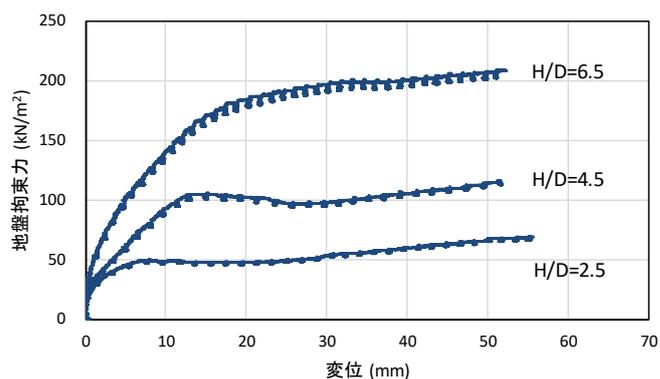


図-3 SP  $\phi 100$  の地盤拘束力-変位関係

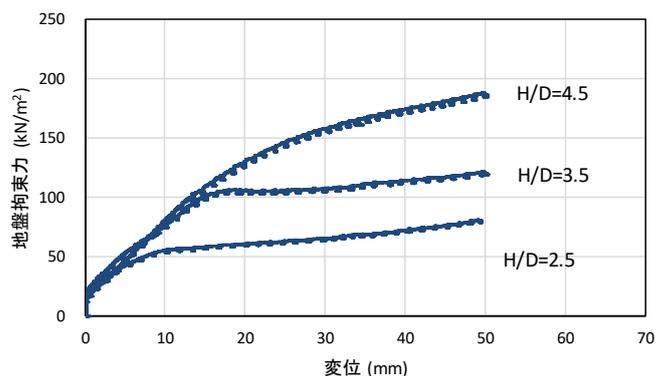


図-4 SP  $\phi 150$  の地盤拘束力-変位関係