

土粒子模型による管路継手部の摩擦力和粒子軌跡との関係

神戸大学工学部 学生会員 ○山村 優
 神戸大学大学院 正会員 鋤田 泰子

1. はじめに

現行の埋設管路の耐震設計指針において、高圧ガス導管では、摩擦力を埋設管の表面積で除したせん断応力と相対変位の関係をバイリニア型で示し、すべりが生じる時のせん断応力である限界せん断応力を規定している。埋設管と地盤の間に相対変位が生じる際には、管路周辺の土粒子が再配置されるため、地盤と埋設管の間に働く摩擦力を正しく評価するためには土粒子の再配置のメカニズムを明らかにする必要がある。また、埋設管の多くは継手部を有しているため、管軸方向の管路と地盤の間の摩擦の他に、凸部による摩擦抵抗も含まれる。著者らの既往の管路引き抜き実験^{1), 2)}では上載圧や締固め、せん断力の速度などによる摩擦を検討していたが、継手部の摩擦については十分検討されていない。そこで本研究では、管路と地盤土粒子との挙動を2次元断面に置き換えた模型実験を行い、継手部周辺に土粒子の動きからミクロ的に摩擦メカニズムを明らかにすることを目的としている。

2. アルミ棒を用いた模型実験の方法

(1) 試験装置：試験装置は、埋設管の軸方向断面の上部に見立てた塩化ビニル板（以後、底板と呼ぶ）の上にアルミ棒を敷き詰め、地盤の土粒子を二次元断面で再現したもので、ハンドルを回すことで底板にせん断変位を与えるものである。図-1に試験装置の様子を、図-2に試験装置の概要図をそれぞれ示す。敷き詰めたアルミ棒は円柱で、直径は1.6mm、長さは50mmである。



図-1 試験装置の様子

構築した二次元断面の領域は長さ500mm、高さ100mm、奥行き50mmとした。また、画像分析を行なえるように、中央部の長さ400mm、高さ80mmはアクリル板で固定して可視領域としている。

(2) 計測機器：圧縮型ロードセルの一つを土粒子の上部に鋼材を介して設置し、上載圧を計測・調整し、もう一つを底板とハンドルの間に設置して押し込み荷重を計測した。ここで計測した押し込み荷重は底板面に働く摩擦力として評価する。また、底板の両端にバネ式の変位計(CDP-25, 東京測器)を設置し、底板の変位を計測する。

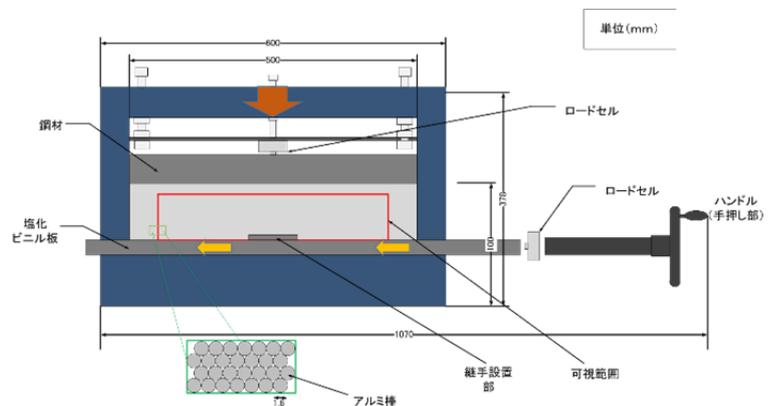


図-2 試験装置概要図

(3) 実験ケース：実験は上載圧、継手の条件を変更し、それぞれの条件について3回ずつ行う。上載圧は、地盤の密度を 1.7g/cm^3 としたときの地盤深さ0.4m、1.0mに相当する荷重に設定する。継手の条件を設定するにあたっては、実際の管材の継手部の受け口の管厚を参考にした厚さ7mmの継手（継手A）を作製した。また、継手の厚さの違いによる摩擦機構の差異を明らかにするために厚さ14mmの継手（継手B）も用意した。押し込み速度はハンドルを回す速度によって手動調節するものとし、約5mm/sで実験を行った。

キーワード 摩擦メカニズム 継手 模型実験 粒子軌跡

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

3. 実験結果

分析においては、底板の変位と押し込み荷重との関係を基本に分析する。図-3は継手が無いケースの変位-荷重関係を示す。上載圧の大きいケースでは摩擦と変位の関係が明瞭なバイリニア型になり、小さいケースでもそれに近い結果が得られた。押し込み荷重を上載荷重で除して算出した摩擦係数は0.4程度になり、すべりに至る変位は2.0mm程度になった。

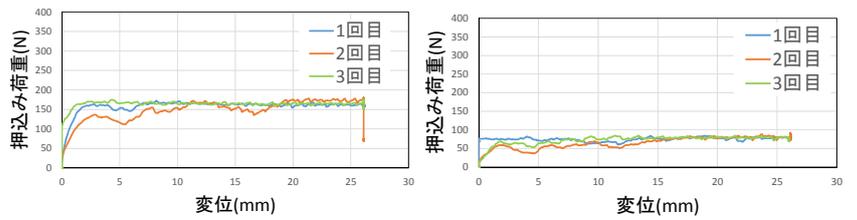
図-4に継手があるケースでの変位-荷重関係を示す。継手Aを用いたケースと継手Bを用いたケースのうち上載圧の小さいものでは変位と共に荷重が単純増加する傾向がみられた。一方で継手Bを用いたケースのうち上載圧の大きなものでは、変位初期にピークが生じ、その後一定値に収束する傾向があった。この結果より、継手の大きさだけでなく締固め条件で摩擦力にピークが現れると考えられる。

4. 土粒子の移動軌跡

実験の撮影画像から土粒子の軌跡を求めた。具体的には、ランダムに配置したマーカー土粒子の一定の時間毎の画像を比較した。継手Bを用いて埋設深さを1.0mに設定したケースの結果を図-5に示す。継手部の変位は底板との境界点で示している。全体図より、継手より上部の粒子が鉛直変位していることが分かる。また、継手周辺では粒子が渦巻くように動いていることが分かる。この挙動により、鉛直方向への力が発生して拘束圧が増加することが考えられる。継手Aを用いたケースではこのような傾向は緩やかなものであったため、拘束圧の増加が押し込み荷重の違いに現れた要因ではないかと考えられる。粒子軌跡についてはさらに詳細に検討し、摩擦力への影響を明らかにする予定である。

参考文献

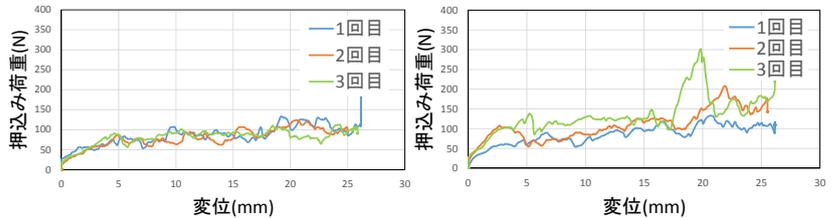
- 1) 鉾田泰子, 稲瀬友樹, 澤田純男: 振動台を用いた管軸方向地盤ばねの速度依存に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1/Vol.73/No. 4/I_376 - I_384, 2017.9 ;
- 2) 鉾田泰子, 稲瀬友樹, 澤田純男: 振動台を用いた管軸方向地盤ばねの速度依存に関する実験的研究 (その2), 土木学会論文集 A1/Vol. 74/No. 4/I_568 - I_577, 2018.11



(a)埋設深さ 1.0m

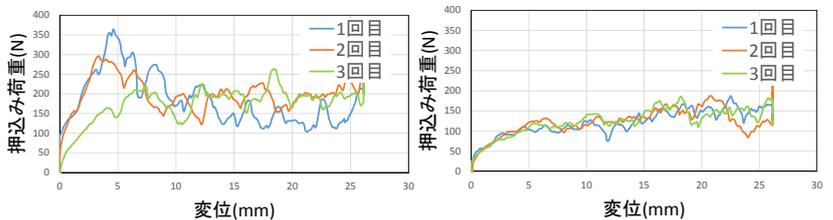
(b)埋設深さ 0.4m

図-3 継手が無いケースでの変位-摩擦関係



(a) 継手 A ・ 埋設深さ 1.0m

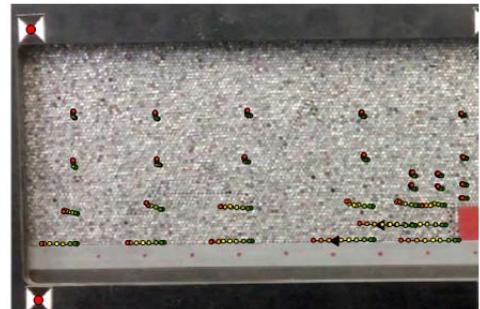
(b) 継手 A ・ 埋設深さ 0.4m



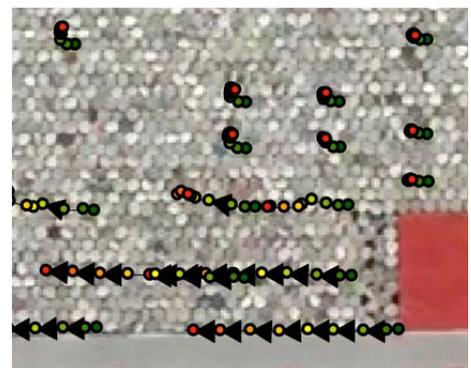
(c) 継手 B ・ 埋設深さ 1.0m

(d) 継手 B ・ 埋設深さ 0.4m

図-4 継手があるケースでの変位 - 摩擦関係



(a)全体の移動軌跡



(b)継手周辺の移動軌跡

図-5 継手部前方の土粒子軌跡