第Ⅰ部門　　土粒子模型を用いた継手部の摩擦メカニズムの可視化

神戸大学工学部　学生会員　○山村　優
神戸大学大学院　正会員　鍬田　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[1)]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ときには，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[2), 3)]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）の上にアルミ棒のみを敷き詰め，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．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．

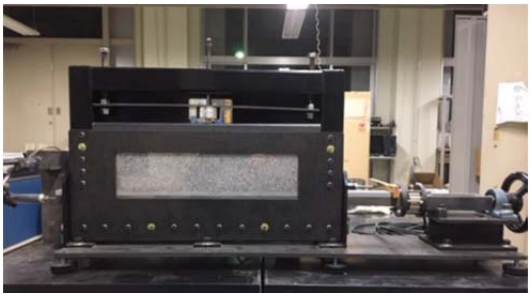


図-1　試験装置の様子

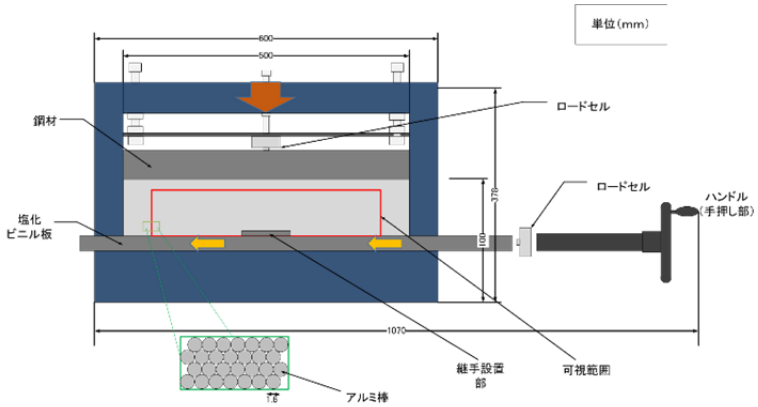


図-2 試験装置概要図

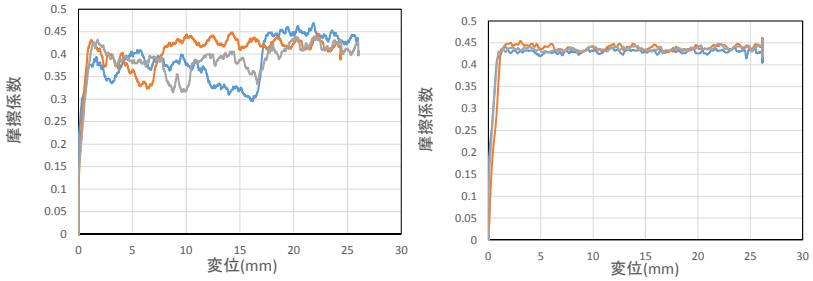
(2)　計測機器：圧縮型ロードセルの一つを土粒子の上部に鋼材を介して設置し，上載圧を計測・調整し，もう一つを底板とハンドルの間に設置して押込み荷重を計測した．ここで計測した押込み荷重は底板面に働く摩擦力として評価する．また，底板の両端にバネ式の変位計(CDP-25，東京測器)を設置し，底板の変位を計測する．

(3)　実験ケース：実験は上載圧，押込み速度，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，0.7m，1.0mに相当する荷重に設定する．押込み速度は，低速(約1.0mm/s)と高速(約4.0mm/s)の2パターンで行う．押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，標準砂と実験に使用したアルミ棒の直径比(約5倍)を考慮した厚さ21mmの継手（継手B）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A）も用意した．

Yu YAMAMURA and Yasuko KUWATA, kuwata@kobe-u.ac.jp

3. 実験結果

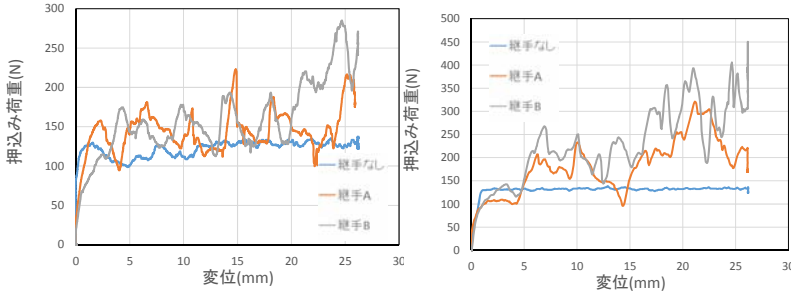
分析においては，底板の変位と押し込み荷重との関係を基本に分析する．図-3 は継手が無いケースで変位と摩擦係数との関係を示す．摩擦係数は押し込み荷重を上載荷重で除したものである。高速変位のケースでは摩擦と変位の関係が明瞭なバイリニア型になり，低速のケースでもそれに近い結果が得られた．上載圧の異なるケースでも，摩擦係数が 0.43 程度で安定していた．また，すべりに至る変位は 1.5mm 程度であった．



(a)低速・埋設深さ 1.0m　　(b)高速・埋設深さ 1.0m

図-3 継手が無いケースでの変位－摩擦係数関係

図-4 に継手厚さによる押し込み荷重の比較を示す．継手が厚くなれば摩擦が大きくなっているが，変位に対して摩擦力が単純増加するのではなく波打つような挙動を示した．荷重領域に対して土粒子が大きいために，土粒子が継手凸部を乗り越える時の上向き拘束圧が掛かる一方で，間隙が大きくなると拘束圧が急激に抜けるためと考えられる．また，押し込み荷重が安定しておらず，速度による明瞭な傾向が見つけられなかった．

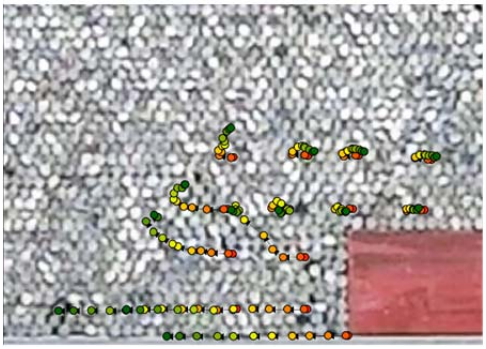


(a) 低速・埋設深さ 0.7m　　(b)高速・埋設深さ 0.7m

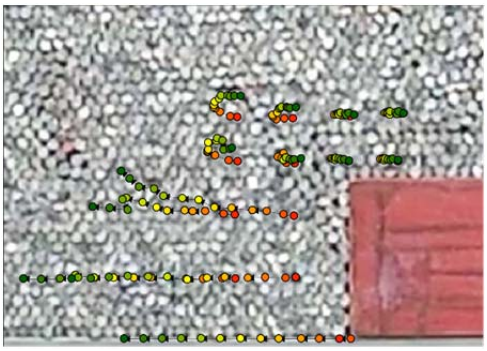
図-4 継手厚さによる押し込み荷重の比較

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．その結果を図-5 に示す．継手部の変位は底板との境界点で示している．図は，高速のケースでの結果を示しているが，低速のケースでも同様の結果が得られた．粒子軌跡より，継手上部の土粒子の上下変位は少なく、継手前方角が通過すると進行方向と逆向きに変位する．継手前方では土粒子が渦巻くように動いていることが分かる．とくに継手前部ではその渦が大きく，その分大きな鉛直変位が生じている．このことから，継手の凸部による摩擦力の増加の要因は，継手前部の粒子が鉛直変位することによって地盤の拘束圧が増加することにより摩擦力が大きくなったと考えられる．また，継手の厚さと粒子の変位量の相関が弱いことが継手厚さによる摩擦力の差異が生じなかった要因の一つと考えられる．



(a)継手 A・高速・埋設深さ 1.0m



(b)継手 B・高速・埋設深さ 1.0m

図-5　継手部前方の土粒子軌跡

【参考文献】

1)（社）日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針， 2000.

2)鍬田泰子，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.

3)鍬田泰子，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.