液状化地盤における水平荷重を受ける埋設管の動的挙動に関する遠心模型実験

愛媛大学　学生会員　○濱田倫平　正会員　小野耕平　正会員　岡村未対

1.　はじめに

埋設管の屈曲部では，内水圧によってスラスト力と呼ばれる不均衡力が水平方向に作用する。スラスト力は常時は受働土圧による水平抵抗力に支えられているものの，地震動により地盤が液状化すると抵抗力が失われる。抵抗力の低下に伴って埋設管が水平変位し，継手の抜け出し被害が発生すると考えられているものの [1]，地震時の詳細な変位挙動については明らかになっていない。本研究では，スラスト力を受ける埋設管の変位挙動と周辺地盤の相互作用を，応答加速度や過剰間隙水圧，慣性力の観点から明らかにすることを目的に，遠心力場で加振実験を行った。

2. 実験概要

模型地盤の概要図を図 1 に示す。模型地盤はジュラルミン製の剛土槽内に豊浦砂を相対密度 50%になるように空中落下させて作製した。模型管には直径 30 mm，長さ 120 mm のアルミニウム製丸棒を使用し，飽和地盤と同密度になるように質量を調整した。模型管と錘を滑車を介して繋ぐことで錘の自重を水平荷重に変換し，模型管に作用するスラスト力を再現した。図 1 に示すように間隙水圧計，加速度計，レーザー変位計を設置し，変位計で計測した錘の鉛直変位を模型管の水平変位とみなした。模型は地盤内の空気を二酸化炭素で置換した後，-95 kPa の負圧下で 40 cSt のメトローズ水溶液により飽和させた。

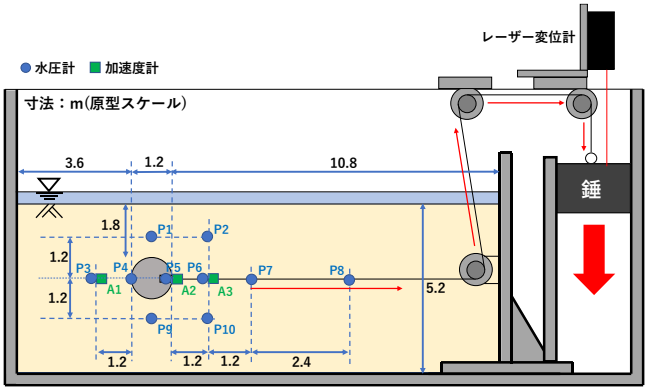

図 1　実験模型図

水平荷重の大きさを変化させた 2 ケースの実験を遠心加速度 40G 場で実施した。40G 場での荷重が Case1, 2 それぞれ原型スケールで 160 kN, 320 kN となるように錘の質量を調整した。遠心載荷開始直前に水平荷重を載荷し，遠心加速度 40G に到達後，原型スケールで 250 gal, 28 s の加振を行った。以降，水平荷重の載荷方向を前面側，その反対方向を背面側と定義し，実験結果は原型スケールで示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 液状化挙動

両ケースで同様の挙動が確認されたため，Case1 の実験結果を中心に図 2 に示す。過剰間隙水圧比（P6）の応答から，入力波を受けて管の前面側は液状化に至っていることが確認できる。同地点の加速度（A3）は，水圧比が 1 に達した 11 s 付近でスパイク状の応答を示し，その後減衰するとともに位相差を生じている。液状化に伴う前面側地盤の強度低下を引き金とし，管は水平変位を開始する。管は正方向（前進）と負方向（後退）の移動を繰り返しながら前面側に変位を蓄積している。背面側地盤では管の移動に伴い地盤が膨張挙動を示すため，水圧比（P3）は低下し，負圧を生じている。

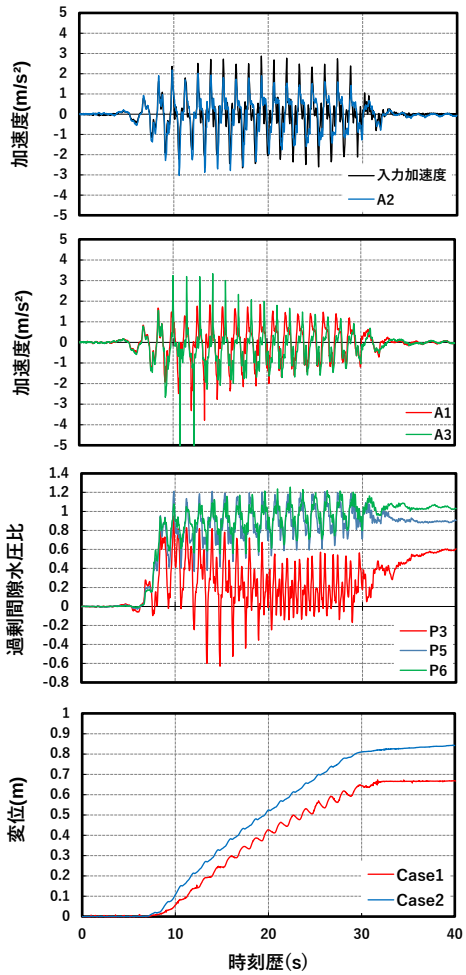

図 2　各時刻歴(Case1, 2)

3.2 管の変位メカニズム

図 2 の変位の時刻歴を拡大したものを図 3 に示す。図中に示したように前進・後退移動を定義すると，Case1 の方が後退量および後退に要する時間がともに大きいことがわかる。そこで，加振一波当たりの管の前進・後退移動量を求めた時刻歴を図 4 に示す。両ケースで前進量に大きな違いは認められないが，後退量は水平荷重の小さい Case1 で大きく，Case2 ではほとんどない。Case1 の後退量の合計は Case2 の約 6 倍に達し，後退量の差がそのまま累積変位量の差として現れている。

図 5 に前面側（P5）の過剰間隙水圧比の時刻歴を拡大したものを示す。前進開始時（t=19.3 s）には過剰間隙水圧は最大値を示し，後退開始時（t=20.0 s）には低い値を示していることがわかる。図 6 には両時点における過剰間隙水圧比の分布図を示す。分布図から，前進開始時は前面側地盤の大部分が液状化していることがわかる。一方，後退開始時には前面側の管近傍の水圧比は 0.7 程度まで低下し，地表面に近いほど水圧比は小さいことがわかる。前面側地盤の水圧比の低下に伴う強度の回復により，前面側地盤が管の前進移動を妨げる反力を発揮し，管を後退させていると推察される。水平荷重が小さいほど，この反力の影響が相対的に増加するため後退移動量が増加し，累積変位量の減少に繋がったと考えられる。

3.3 慣性力の影響

図 7 に地震動による慣性力と管の変位の関係（Case1）を示す。慣性力は，管の加速度（A2）に管の質量を乗じて算出し，前進方向を正とした。慣性力は管が大きく前進する際には負の値，後退する際には正の値を示していることから，進行方向とは常に逆向きに作用している。慣性力は最大で約 20 kN であり，その大きさは Case1 の水平荷重に対して 13%程度であることから，スラスト力のような多大な水平荷重が作用する管に対する慣性力の影響は小さいといえる。

4. おわりに

本研究では，スラスト力による管の変位挙動と液状化時における周辺地盤との相互作用の解明を目的として，遠心力場で模型管の水平載荷実験を実施した。水平荷重を受ける埋設管は液状化発生時において前進後退を繰り返しながら変位を蓄積していくことがわかった。前進・後退移動ともに過剰間隙水圧の変動が支配的な要因であることが示された。

参考文献

1) 河端ら：液状化地盤内における内圧管路屈曲部スラスト防護工法の動的挙動に関する検討, 土木学会論文集, 67(3), 399-406.

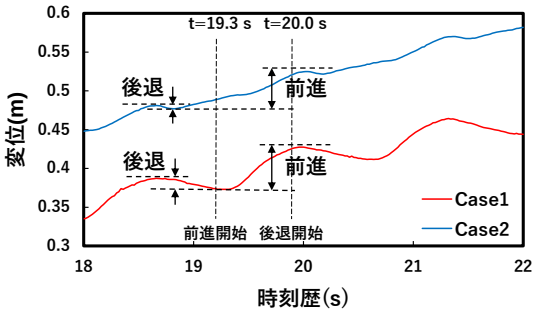

図 3　変位の時刻歴

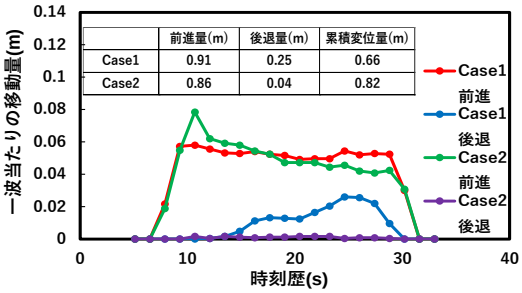

図 4　加振一波当たりの移動量

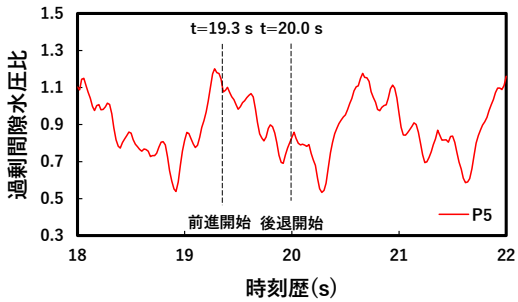

図 5　水圧比の時刻歴(Case1)

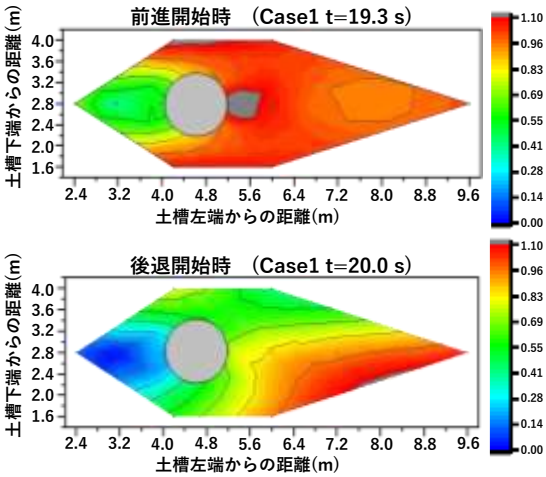

図 6　水圧比分布(Case1)

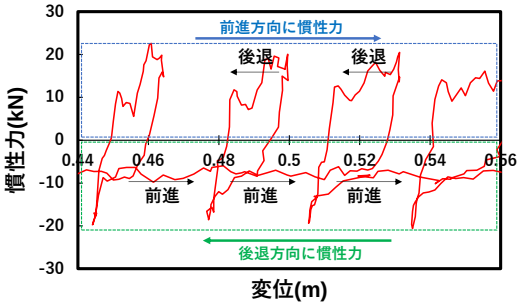

図 7　慣性力と変位の関係(Case1)