

液状化時における埋設パイプラインの水平変位メカニズムの検証

愛媛大学 学生会員 ○星川拓哉 正会員 小野耕平 正会員 岡村未対

1. はじめに

圧力管路の屈曲部には、内水圧によってスラスト力と呼ばれる力が常に作用している。周辺の埋戻し地盤が液状化するとスラスト力を支持する水平抵抗力が失われ、管路が水平方向へ変位することで継手の抜け出し被害が発生すると考えられている。本研究では、スラスト力作用下における液状化時の管路変位メカニズムを検討する目的で、模型管の水平荷重実験を行った。

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%（乾燥密度 1.48g/cm^3 ）になるように空中落下させて作製した。模型管には直径30mmのアルミニウム製丸棒を使用し、模型管の両側部には間隙水圧計を埋め込んだ。埋設管の中央には荷重計を介して荷重用のアルミニウム製ロッドを直角方向に固定した。止水カラーを介して土槽外部からアクチュエータで荷重した。模型は地盤内の空気を二酸化炭素で置換した後、 -95kPa の負圧下で20cStのメトローズ水溶液により飽和させた。

実験はすべて遠心加速度 $20g$ 場で実施した。実験条件を表1に示す。本実験では、既往研究¹⁾で採用した変位制御の水平荷重手法ではなく、スラスト力を再現する上でより適当と考えられる荷重制御での水平荷重を行った。実験手順として、スラスト力を模擬した一定の水平荷重を模型管に加え、管の変位が安定したことを確認した後、荷重を与えた状態を保持したまま原型スケールで40秒間の水平加振を行った。周辺地盤の過剰間隙水圧が消散した後、入力加速度を増加させて次の加振を実施した。これを計3回繰り返した。実験結果は全て原型スケールで示す。

3. 実験結果

図2に、振動台加速度、水平抵抗力、変位量、過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。過剰間隙水圧比は管側部の間隙水圧計（P2）で計測された過剰間隙水圧を初期有効土被り圧で除すことにより求めた。

まず、埋設管は水平方向の先行荷重を受け、それにより地盤から約 30kN/m の水平抵抗力を計測していることがわかる。このとき、管は 0.08m 程度変位した後に移動を停止しており、地盤の発揮する水平抵抗力が先行荷重と釣り合った状態であると判断できる。その後、90秒頃から 60gal で1回目の加振を行った。水平抵抗力は慣性力の影響を受けて大きく変動しているものの、加振終了後には若干増加していることがわかる。加振による過剰間隙水圧の蓄積は確認できないものの、この間にも管は 0.019m 程度わずかに移動している。これらの結果は、加振の影響によって止水カラー部の摩擦が低下し、管に加わる水平荷重が増加したことを示唆している。続いて、 80gal で2回目の加振を行った。2回目の加振では、過剰間隙水圧比は最大で0.3程度まで上昇している。過剰間隙水圧の上昇に伴って水平抵抗力は一時的に 25kN/m 程度まで低下しているものの、その後の過剰間隙水圧比の消散に応じて水平抵抗力は再び回復している。埋設管の最終変位量は約

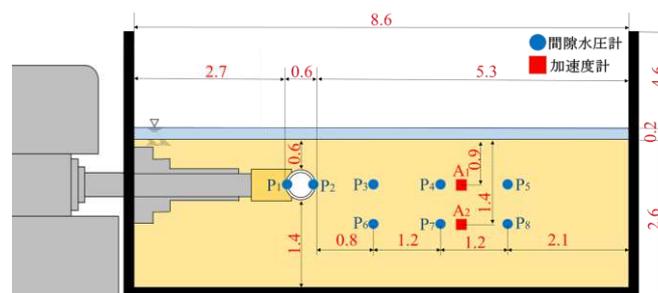


図1 模型概要

表1 実験条件

	入力加速度 (gal)	水平荷重 (kN/m)
Shake1	60	36 (加振は連続的に実施)
Shake2	80	
Shake3	150	

0.036m であり 1 回目の加振時よりも変位量は大きい。最後に、150gal で 3 回目の加振を行った。加振開始直後、過剰間隙水圧は即座に上昇を開始し、過剰間隙水圧比は 1.0 に達していることから地盤は液状化していると判断される。管を支える水平抵抗力は急激に低下し、それに応じて管が大きく移動を開始している。埋設管の最終変位量は約 0.71m であり、管は 0.015m/s 程度の等速度で移動している。

図 3 に、Shake3 における埋設管の水平変位量と過剰間隙水圧比の関係を示す。グラフから、水圧比の上昇に応じて管の変位が開始し、水圧比が 0.3 程度まで上昇した段階で変位量は急増していることがわかる。水圧比が 1.0 に達している間、変位量は増加を続けているものの、加振終了後 ($\delta=0.53m$) においても水圧比の消散により抵抗力の回復が生じるまでの間、管の変位は継続している。水圧比が 0.4 程度まで低下した段階で変位の進行は停止しているが、このときの抵抗力は既に加振前の抵抗力である 35kN/m 程度まで回復していることが図 2 から確認できる。

図 4 には、ケース毎の最終変位量と最大過剰間隙水圧比の関係をプロットした。グラフから、液状化に至らないほどの水圧比の上昇であっても埋設管は変位しており、水圧比と変位量には正の相関があることがわかる。一方で、液状化に達した Shake3 の変位量は他ケースと比較して大幅に大きく、単純な比例関係にはないといえる。ここで、図 5 に各ケースにおける水圧上昇過程の水平抵抗力と過剰間隙水圧比の関係を示す。振動による変動が大きいためそれぞれ隣接平均で平滑化し、さらに水平抵抗力は各ケースで計測した初期値で正規化した。グラフから、液状化に至った Shake3 では、水平抵抗力は水圧比の上昇に伴って概ね線形に低下する関係にあることがわかる。一方、Shake2 では水圧比の上昇に対する抵抗力の低下率が Shake3 に比較して小さく、図 4 で示した関係と相関があることがわかる。

4. まとめ

遠心力場において模型管の水平載荷実験を実施し、スラスト力作用下における液状化時の管の水平変位メカニズムを検討した。地盤の過剰間隙水圧比の上昇に応じて水平荷重を支持する水平抵抗力が低下することにより、管が水平変位を開始するというメカニズムを明らかにできた。また、液状化に至らないほどの水圧比の上昇によっても管が変位する場合があることがわかった。

参考文献

- 1) 小野ら：PIV 解析による埋設管周辺地盤の液状化時挙動の観察，土木学会第 73 回年次学術講演会，III-357, 2018

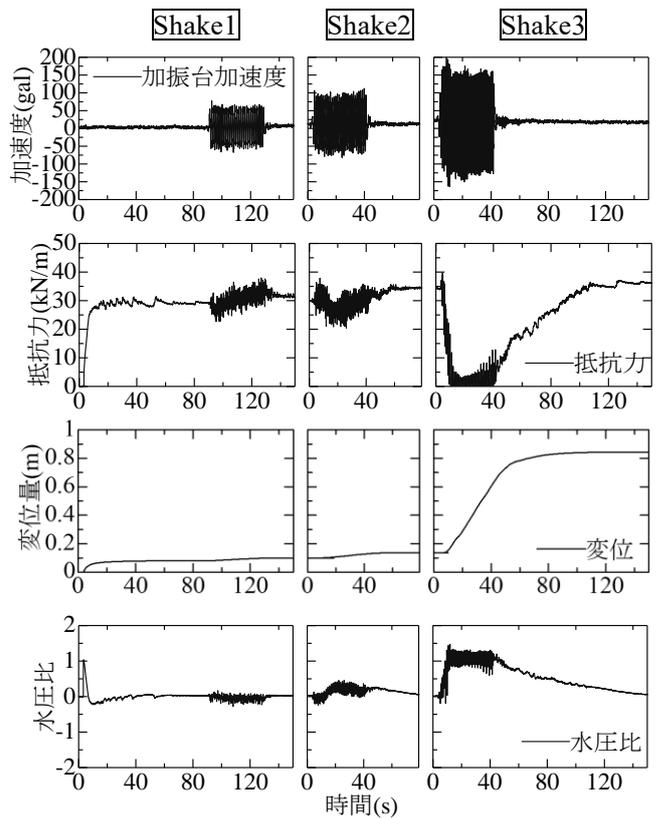


図 2 各時刻歴

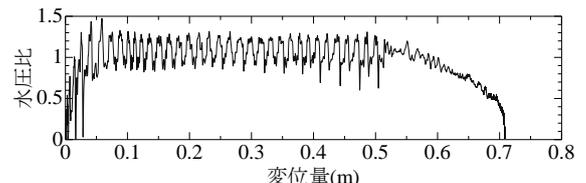


図 3 水平変位量と水圧比の関係 (Case3)

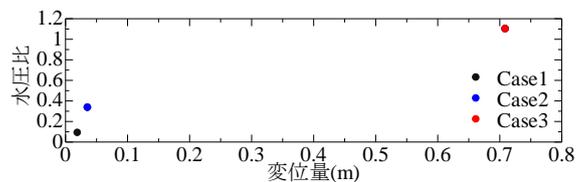


図 4 最終変位量と最大水圧比の関係

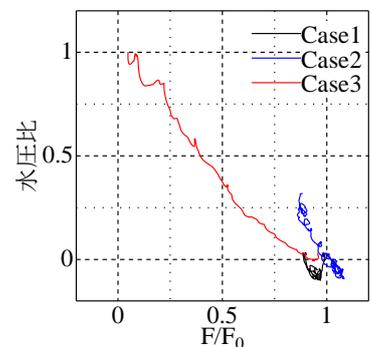


図 5 抵抗力と水圧比の関係