

(132) 液状化地盤—埋設管系の復元力特性の評価

金沢大学工学部 正会員 ○北浦 勝
金沢大学工学部 正会員 宮島 昌克

1. はじめに

液状化をはじめとする、地震によって引き起こされる地盤変状は、地中埋設管の被害に大きな影響を及ぼしている。近年、液状化はもとより液状化によって引き起こされる地盤の永久変形に関する研究が活発に行われ、多くの知見が得られている。これらの知見をもとに地中埋設管の挙動を解析し、地中埋設管の耐震性を向上させるためには、液状化地盤—埋設管系の挙動特性を解明する必要がある。このような観点から本研究では、地中埋設管の挙動解析において重要な要因となる液状化地盤—埋設管系の復元力特性を、実験を通して評価しようとした。

2. 実験の概要

図1に実験装置の概略図を示す。振動台（島津製作所製、EHV-3）上に設置した鋼製の砂箱（幅500mm×長さ1500mm×高さ350mm）に、比較的細砂で均一な手取川の川砂（有効径0.1mm、均等係数2.6、粒径はほぼ0.1mmから0.6mmの間に分布している）を用いて模型砂層を作成した。地中埋設管模型としては、直径43mmの鋼管を使用し、その一端を荷重計（東京測器研究所製、TCLZ-10KA）を介して不動点に固定した。したがって、振動台によって砂箱を変位させることにより、地盤と埋設管の間に相対変位が生ずることになる。砂箱の壁面と不動点の間に変位計（東京測器研究所製、OU-20）を取り付け、砂箱と埋設管の相対変位を測定した。また、自由端側にはスポンジをはさみ込み、地盤が埋設管の端面を押すことを防いでいる。水圧計（豊田工機製、PMS-5M）を埋設管と同じ深さに設置し、過剰間隙水圧を測定するとともに、小型加速度計（東京測器研究所製、A2）を砂箱の外側に取りつけ、入力加速度を測定した。

実験は静的実験と動的実験の2種類について行った。静的実験では、振動台の速度が0.1mm/secで一定である三角波の1サイクル分を強制変位として管軸方向に砂箱に作用させ実験を行い、復元力特性を検討した。また、動的実験では、振動台を調和波加振することにより模型地盤に液状化を発生させ、液状化過程における復元力特性をとらえようとした。

3. 静的実験結果とその考察

変位計で計測された相対変位と荷重計で測定された摩擦復元力とを、復元力履歴曲線として表した一例が図2である。同図より、摩擦復元力特性をバイリニア型モデルで近似できると判断し、図3に示すような復元力特性モデルを考えた。すなわち、同図におけるばね定数 K_1 、 K_2 を用いて復元力特性を整理することを考える。

まず、模型地盤と埋設管との間にすべりの生ずるときのすべり出し変位と摩擦係数を求めた。復元力履歴曲線からすべり出し変位を直接読み取ることが困難であるので、本研究においては、図3に示した α_1 の1/2を近似的にすべり出し変位とした。また、すべりが生ずるときの摩擦係数 s は、図3に示した y_1 の値を埋設管の単位長さあたりに換算した値 f と、管径 d 、管表面に作用する有効応力 p を用いて、次式で評価した。

$$s = f / (\pi \cdot d \cdot p)$$

上載土圧を数種類変化させて実験を行い、摩擦係数と有効応力との関係を求めたものが図4である。同図によれば、摩擦係数は有効応力に関わらずほぼ一定の値を示し、0.18～0.25となっている。高田が乾燥砂とアルミ管を用いて行った実験によれば、摩擦係数は0.15～0.45となっている¹⁾。本実験とは諸条件が異なっ

ているものの有効応力に関わらずほぼ一定値を示すという傾向は類似している。一方、すべり出し変位と有効応力の関係は図5に示すとおりである。両者の間にはほぼ比例関係のあることがわかるが、この結果も高田の実験結果¹⁾と対応している。

つぎに、図3に示した K_1 、 K_2 を用いて復元力特性を整理した。 K_1 、 K_2 と有効応力との関係をそれぞれ示したものが図6、図7である。これらの図より、 K_1 は有効応力に関わらずほぼ一定の値であり、一方 K_2 は有効応力にはほぼ比例していることがわかる。

4. 動的実験結果とその考察

図8に過剰間隙水圧の蓄積に伴う復元力履歴曲線の変化の一例を示す。同図は埋設深さが15cm、入力加速度が100galで5Hzの調和波の場合の実験結果である。同図より、過剰間隙水圧の上昇に伴って復元力履歴曲線全体の傾きが小さくなっていく様子がよくわかる。なお、同図では完全液化化時のD点においても復元力履歴曲線は多少の傾きを有しているが、これは自由端側にはさみ込んだスポンジの影響であることが予備実験より確認されているので、以下の考察においてはこの影響を取り除いている。

まず、埋設深さを5cm、10cm、15cmの3通りにして加振実験を行った。実験結果を、過剰間隙水圧の変化に伴う K_1 、 K_2 (図3参照) の変化として整理し、有効応力との関係で示したものがそれぞれ図9、図10である。図9によれば、 K_1 は多少ばらついているものの静的実験の図6と同様に有効応力に関わらずほぼ一定であるが、有効応力が 1 gf/cm^2 以下のところで急激に低下している。このときは、地盤がほぼ完全に液化化しているので、復元力履歴曲線はほとんど傾きを有しておらず、したがって K_1 、 K_2 のそれぞれに分解してとらえることが困難であるので、さらに詳細に検討する必要がある。一方、図10によれば、 K_2 は有効応力とほぼ比例関係にあることがわかる。各々の値を静的実験のそれと比較すると、有効応力が 1 gf/cm^2 以下のところを除いては動的実験における K_1 は静的実験のそれの約0.6倍程度の値となっている。一方、 K_2 については静的実験の方が非常に小さい値となっている。これは、振動台の性能上の制約から、動的実験における最大変位振幅が最大でも1mm以下であるのに対し、静的実験におけるそれは2.7mmで一定であるので、静的実験においては地盤の非線形性の影響が大きく現れ、その結果 K_2 の値が小さくなっているものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、液化化地盤—埋設管系の復元力特性を、静的実験および動的実験を通して明らかにしようとした。その結果、液化化過程における復元力特性が、有効応力に比例する地盤ばねと、本実験においては有効応力が 1 gf/cm^2 より大きいときには有効応力に関わらずに一定値を有するという特性を持つ地盤ばねとの組み合わせにより表すことのできる事が明らかとなった。今後は、図3に示した力学モデルの物理的意味について考察するとともに、加振振動数や振幅をはじめとするさまざまなパラメタがこれらの地盤ばねに及ぼす影響について検討していく必要がある。

最後に、本研究の一部が文部省科学研究費奨励研究(A)(No. 62750421)の補助によって行われたことを記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 高田至郎：埋設管路—地盤系の復元力特性と地震応答解析，土木学会論文報告集，No. 249，pp. 1～11，1976。

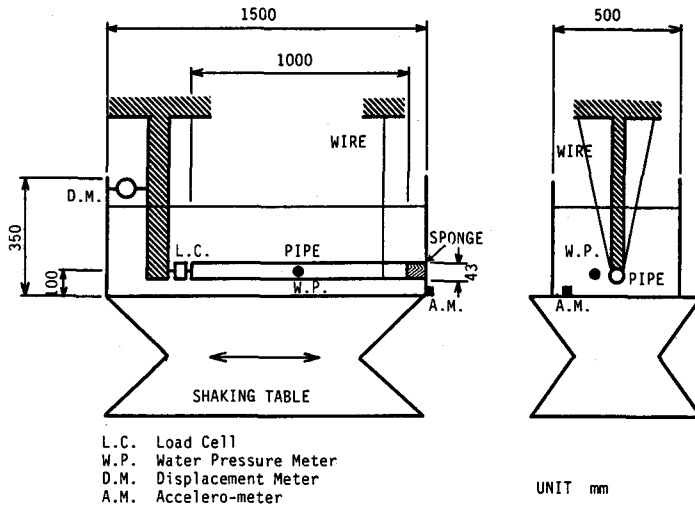


図1 実験概略図

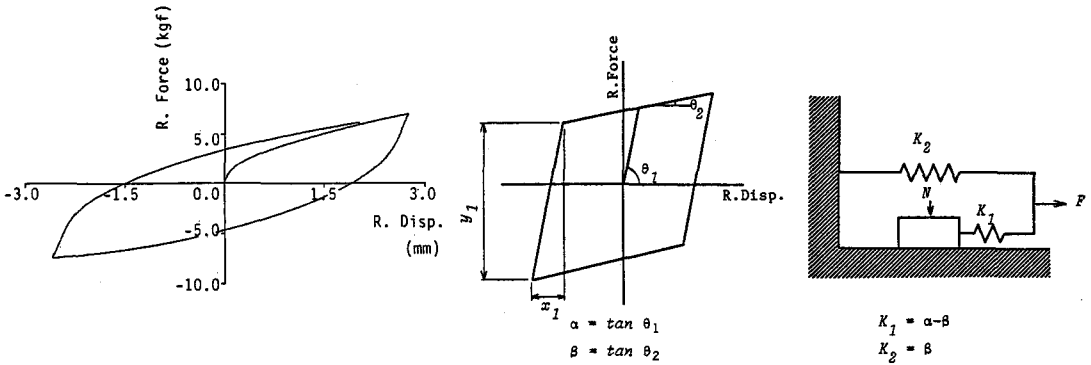


図2 静的実験における復元力履歴曲線

図3 復元力特性モデル

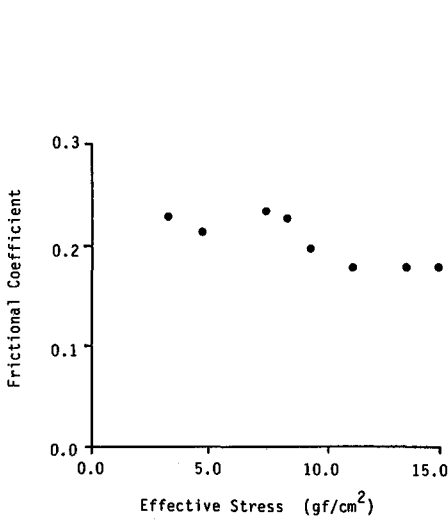


図4 摩擦係数と有効応力との関係

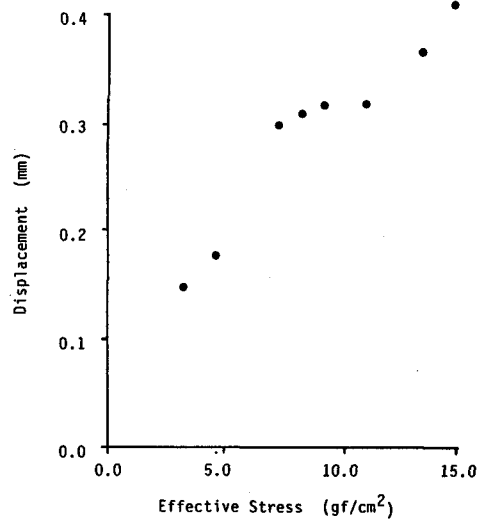


図5 すべり出し変位と有効応力との関係

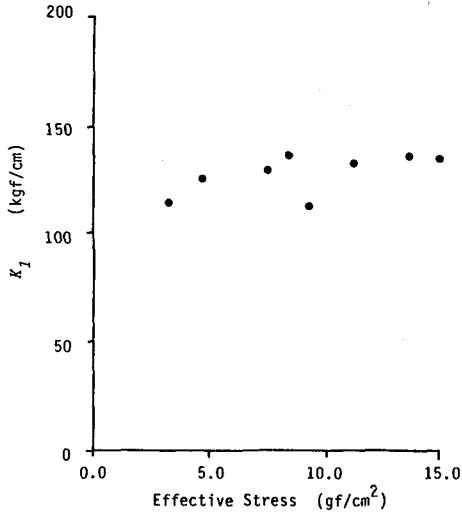


図6 K_1 と有効応力との関係 (静的実験)

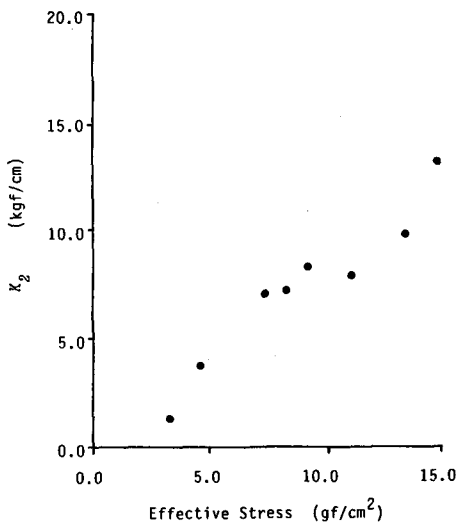


図7 K_2 と有効応力との関係 (静的実験)

図10 K_2 と有効応力との関係 (動的実験)

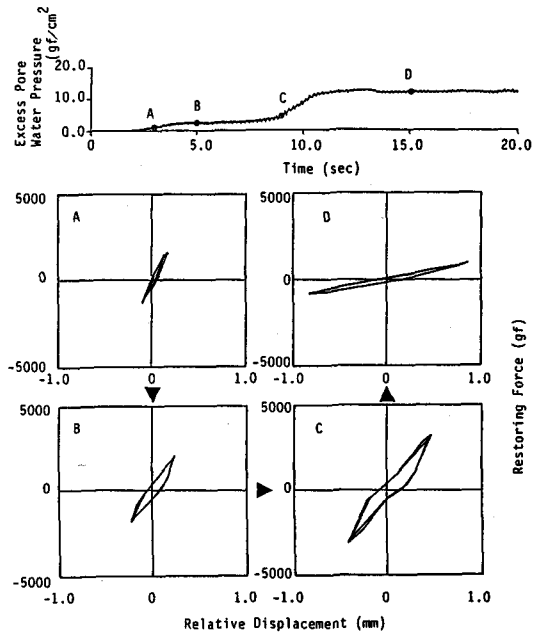


図8 動的実験における復元力履歴曲線

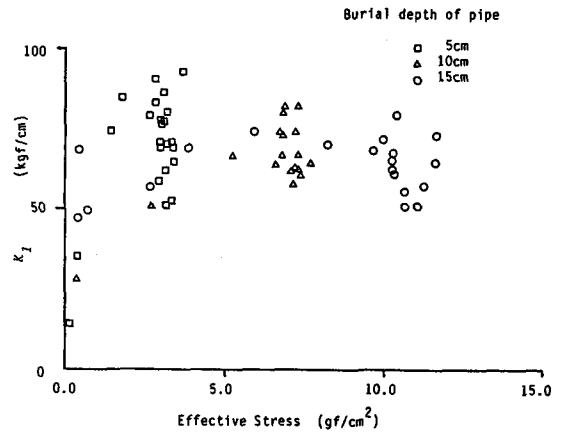


図9 K_1 と有効応力との関係 (動的実験)

