

管路に対する液状化土の復元力について

熊本大学工学部	正員	○松本 英敏
熊本大学工学部	正員	秋吉 卓
熊本大学工学部		平川 忠敏
八代工業高等専門学校	正員	淵田 邦彦

1. まえがき 液状化の発生については、多くの調査・研究から明らかにされ、予測手法として確立されつつある。しかしながら、液状化が構造物へ与える効果については不明な点も多く、著者らもこれまで埋設管への地震力という観点から報告してきた。^{1),2)} 今回は、砂槽側壁を可動にして砂槽に、一様なせん断振動が生じやすくして、振動実験を行ったが、得られた砂と管体との復元力特性を、等価な1自由度系のばね係数・粘性係数および摩擦係数に分解して、有効応力等で整理して検討を加えた。

2. 実験の概要 本研究で用いた実験装置は、図1のように、レール上に起振機(八千代製作所製)と砂槽(幅380×長さ980×高さ400mm)を固定し、これをころの上に載せて、水平加振するもので、砂槽中には均等係数3.46の比較的均一な川砂を厚さ300mmまで入れた。塩ビパイプ(φ42×長さ740mm)の中央部に土圧計・水圧計(ST研究所製、最大0.1kgf/cm²(9.8kPa)、PM10-01)、せん断歪計(ST研究所製、最大10⁻⁴rad、SS10-00001)及び加速度計(新興通信工業製、2G、BA-2L)を取り付けたものを管模型とし、砂槽中に水平に埋設した。ゆる詰め状態の飽和砂地盤を何度でも容易に作製するために、砂槽底部に砂を噴き上げるためのパイプ(φ18mm)を配置し、水を勢いよく注入できるようにした。

またこれまででは、砂槽側壁を固定していたので液状化の範囲が砂槽中心部に限られていたが、今回は両側壁を回転可能として、砂中の加速度分布の測定からほぼ一様な液状化が生じていることが確かめられた。なお本実験では、砂と管模型の相似比を考えずに、砂槽の液状化が生じやすい条件ということで、加振振動数を12Hzに選んだ。

3. データ処理 各ピックアップの出力は動ひずみ計で増幅してデータレコーダに記録したが、管体及び砂槽加速度の3~30Hz内での積分による相対変位を求め、これと管表面のせん断応力との同時記録をマイコンで処理して、砂中の管体の地震時復元力特性を得た。なお、履歴復元力を一自由度系の等価なばね係数k、粘性係数cおよび摩擦係数f_cに変換する際には、これら係数間の相関は無視した： $k = \int r \cdot x \, dt / \int x^2 \, dt$ 、 $c = \int r \cdot \dot{x} \, dt / \int \dot{x}^2 \, dt$ 、 $f_c = \int \tau_p \cdot \text{sign}(\dot{x}) \, dt / (T \sigma_v)$

ただし、x、 \dot{x} = 管体と砂槽の相対変位と速度、r = 復元力(単位面積当たり)、 τ_p = 管軸方向の管表面せん断応力、 $T = t_2 - t_1 = 1$ サイクルの時間積分。時間ステップは加振振動数が12Hzであることを考慮し、0.01secとしたが、砂槽側壁の改良により液状化継続時間が伸びたため、今回は記録のAD変換を40.96sec(N=4096)まで行った。

4. 実験結果とその評価 図2は管体を12cmの深さに設置した場合の結果の一部であるが、最上段と2段目の時刻歴はそれぞれ高速フーリエ変換により、管体及び砂槽の絶対加速度から変位を求めたものである。本実験における加振装置は、図1のように制御装置を有していないので波形が乱れているが、液状化時は管体が静止状態に近いこと、有効応力が激減するが時刻とともに徐々に回復して行く、それにつれて管体表面のせん断応力が回復していき、管体の絶対変位も回復してくる。しかし管体と砂槽の相対

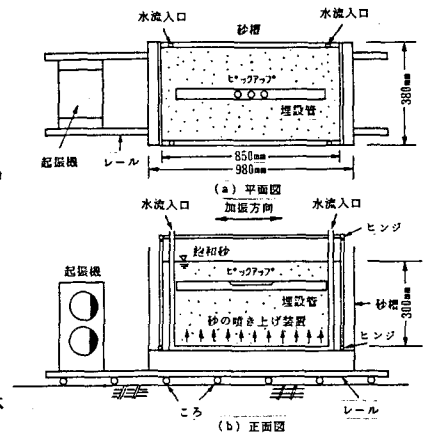


図1 実験装置の概略図

変位は液状化とともに急減することが分る。

本実験では、管体復元力として、管体の全慣性力を管表面積で除して、単位面積当りの平均復元力 r として定義することにした。図3は、その復元力の典型的な履歴曲線の例を示したものであるが、前半の液状化中では復元力は相対変位に対して平坦であり、摩擦のみで説明しうようであり、一方後半の液状化終了間際には復元力は相対変位に依存するようになり、非線形な弾性的特性を持つようになる。このように管拘束力が増すとともに図2(1)のように、管体は地盤に追従して動くようになり、この時点では応答変位法による耐震設計が妥当といえよう。

図4は、等価粘性係数 c 、等価ばね係数 k 、摩擦係数(=管表面最大せん断応力/有効応力) f_c の時刻歴である。 c, k は液状化開始前が大きく、それだけ管変動を抑制する効果を持つが、液状化後は有効応力の回復と対応している。一方 f_c は0.5より0.2低度まで減少しており、数値的には北浦³⁾の結果よりやや大きめである。

図5は等価係数と有効応力との対応であるが、説明は後日にゆずる。

参考文献1)秋吉・他：61年度土木学会西部支部発表会、2)淵田・他：第19回地震工学研究発表会、3)北浦他：同2)。

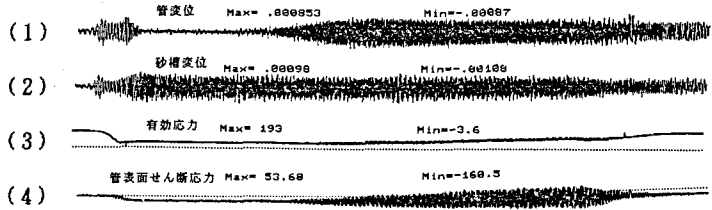


図2 管(軸方向)変位,砂槽変位,有効応力,管表面せん断応力の時刻歴(管理設深:-12cm)

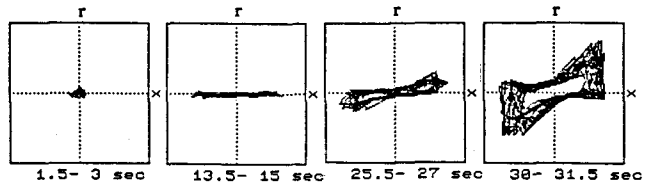


図3 管体復元力-相対変位曲線の例(管理設深:-12cm)

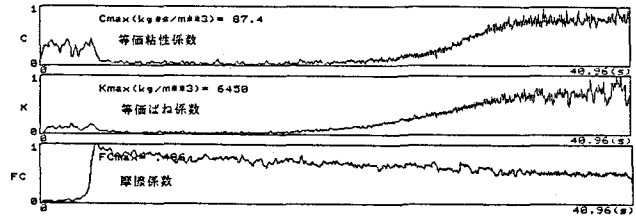


図4 管体復元力の等価粘性係数(c),等価ばね係数(k),摩擦係数(fc)の時刻歴(管理設深:-12cm)

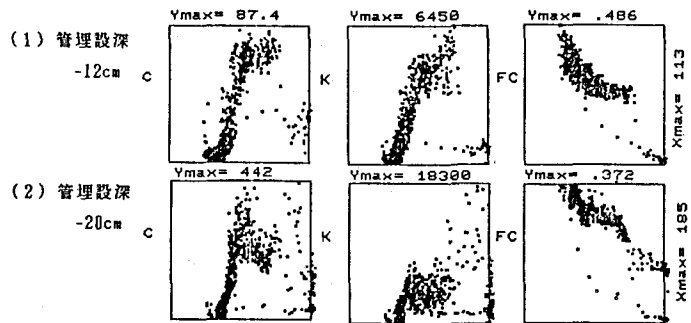


図5 等価係数 c, k, f_c と有効応力 σ_v' との関係