

日本鋼管株式会社 正会員 吉田常松

日本鋼管株式会社 正会員 ○植松幹夫

1. まえがき 砂地盤の液状化現象については現在、発生機構の解明に関しかなりの研究が進んでいる。しかし、地中構造物への動的な影響に関しては研究が始まったばかりで、国内では文献(1)、(2)等の研究が目につく。「道路橋耐震設計指針」(日本道路協会)によると液状化が予想される地盤では、耐震設計に際し地盤の支持力を無視すると規定している。しかし、液状化時の地盤の支持力の機構については未知の所が多く、支持力無視の規定が安全側にあるのかどうかは疑問の余地がある。事実、上記論文では、液状化途中で地中構造物に多大の変位が発生したと述べている。この現象は液状化時には単に地盤の支持力を無視するだけでなく、地盤～地中構造物をひとつの振動系とみなす必要があることを示唆している。

本実験は、特に杭構造物を対象として、砂地盤の液状化と支持力の関係を、土槽を用いた振動実験により定性的に調べたものである。尚、特に現地盤との相似は考慮していない。

2. 実験装置および実験方法 図-1に実験装置の全体図を示す。用いた砂は鋳物砂である。杭模型はアクリル樹脂製で土槽底に固定した。杭には歪ゲージ、圧力計、加速度計および変位計を取付けた。杭の空中での固有振動数は6.4 Hzである。また、砂中には加速度計を埋込み、砂層の変位を計測した。更に、土槽壁には間げき水圧計を置き液状化の進行状態を観測した。

実験は次の順によった。①予め水を張った土槽内に砂を落込み飽和砂層を造る。②約0.1 Gで加振し液状化を発生させる。③液状化完了後引き続き約0.3, 0.5 G等で加振し、液状化実験を繰返す。

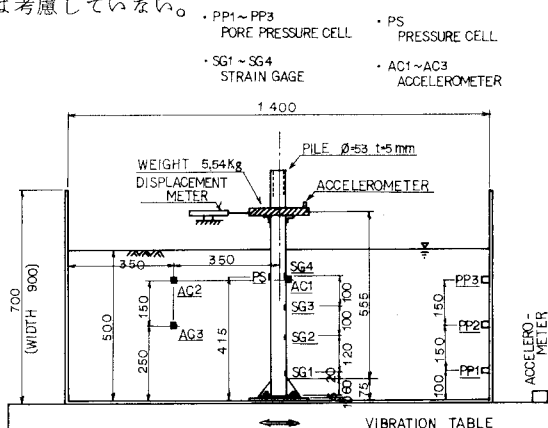


FIG. 1 EXPERIMENTAL APPARATUS.

3. 実験結果 液状化時の杭および砂層の挙動の典型的な例を表-1, 図-2, 3に示す。これらは砂層が全層に亘って急速に液状化した場合の測定結果である。表-1は杭に発生する曲げモーメント、杭頭変位、加速度等を示す。また、図-2, 3は砂層と杭の挙動を時系列で示したものである。

3-1 杭模型の動的挙動について(杭に発生する曲げモーメント、変位、加速度等。表-1)

液状化が進行し、終了するにつれて杭は次の様に特徴的な挙動を示す。①砂層は加振後数秒でほぼ全層が液状化状態になるが、この液状化途中に於て杭模型には過大な曲げモーメントが発生する。同入力加速度で空中加振した場合と比較すると杭の固定端付近で約5.5倍のモーメントが発生しており、応力的には極めて危険な状態にあると言える。②全層が完全に液状化し、けん濁状態にある時は杭の応答量は①に比べて急激に減少し、空中の場合とほぼ同等の値を示す様になる。③加振後数十秒して砂層は底部から徐々に締固まり1~2分で全層が再び安定状態に回復するが、回復後の杭の応答は締固まった砂層に影響を受け、曲げモーメントは杭中腹で大きな値を示す様になり、高周波数の応答が生じて来る。

以上の様に全層(急速)液状化が起きると、加振直後の液状化進行中に杭の応答量は最大となり、応力的には最悪の状態を呈す様になる。

3-2 杭模型と砂層の動的相互作用について(図-2, 3)

杭に取付けた圧力計、加速度計および砂中の加速度計より、動土圧および杭と砂層の相対変位を比較すると、杭と砂層の動的挙動については次の様なものと推定する事が出来る。①〔液状化進行中〕杭変位と土圧

TABLE - 1

入力の加速度
3.01 gal

	液化前	液化後
単位体積重量 γ	2.03 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	2.09 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
閉鎖比 e	0.625	0.540
相対密度 D_r	60 %	90 %

閉鎖比が水圧の上昇

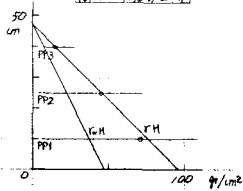
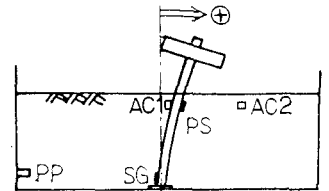
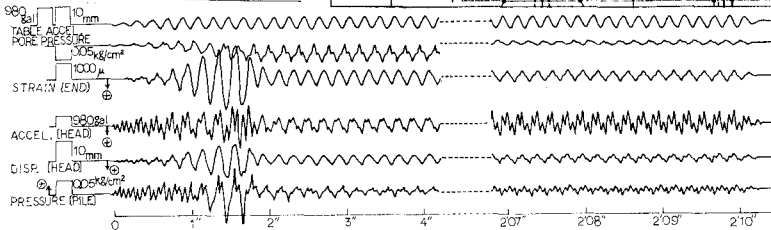


FIG-2 EXAMPLE OF RECORDS



PP - PORE PRESSURE

PS - PRESSURE CELL

SG - STRAIN GAGE

AC1,2 ACCELEROMETER
(ACC. → DISP.)

とが同位相になった時が杭の応答量が最大になる。すなわち砂は杭の付加質量的な形で杭に力を及ぼしている事が分かる。従って砂層は杭の動きを拘束する様な支持機構は存在せず、逆に杭の動きを促進させる様な挙動を示すという事が出来る。②〔完全液状化〕砂層の全層が液状化すると砂層の絶対変位は0となる。すなわち砂層のせん断剛性は0とみなされる。杭の応答量は空中加振の場合と同様なので、液状化した砂層では杭に対する抵抗、付加質量等は考慮する必要がなく、地盤の支持力は0と規定する事が出来る。③〔液状化終了〕液状化が完全に終了すると全層が締固まるため、砂層の剛性が高くなり振動変位も小さくなるが、逆に高振動数の振動成分が現われる。

4. 液状化砂層の振動モデル

液状化する砂層中の構造物は砂層の動的挙動に大きく影響を受ける。本研究より砂層の動特性の変化は以下の様な振動モデルと考えられる。

砂層はある締固まり状態に対応してある一定の剛性を持つ。ところが、液状化が進行するにつれて、砂層の持つ剛性が低下すると、砂層の持つ固有振動数も低下すると考えられる。砂層は上層から液状化が進行するが、本実験の様に全層が一度に液状化する様な場合は、全層が均質に剛性低下をきたすと見てよいであろう。この剛性低下すなわち固有振動数の低下の途中で外力(地震)の卓越振動数と一致する点があると、砂層は全層がほぼ共振状態に入り応答量が增大すると考えられる。従って、砂中に構造物が存在する場合は、砂層の動きが構造物を強制して過大の応答を発生させる恐れがあると言えよう。

(1) 鹿籠, 佐藤, 伯野「不完全液状化の地中構造物に及ぼす影響」土木学会年次講演会, 1973

(2) 小坪, 直江, 園田「構造物周辺地盤の流動化に関する実験的研究」土木学会年次講演会, 1974