

III-164 構造物との連成振動を考慮した地盤の液状化実験

電力中央研究所 ○国生 剛治 江刺 靖行
桜井 彰雄

まえがき 新潟地震以来各方面で精力的に進められてきた砂質土の地震時液状化の研究により、液状化の生ずる力学的メカニズムが解明され、液状化発生条件がある程度定量的に求められるようになってきた。特に三軸試験機などを使った室内での動的せん断試験による砂の要素試験が液状化研究に果たした役割が大であったが一方土槽中に飽和砂によるモデル地盤を作り振動台上で液状化を生ぜしめる実験もいくつか行なわれ、液状化にともなう地盤の全体的挙動の理解に役立ってきた。今まで行なわれた液状化の研究は水平な自然地盤が地震力を受けた場合を想定したものが多いが、液状化による構造物の被害を考える場合には当然構造物近傍の地盤を対象としなければならない。地上構造物基礎周辺の地盤は構造物の自重によって拘束圧と初期せん断応力が自然地盤より大きくなっており、さらに地震時に地盤と構造物との連成振動により複雑な動的せん断応力を受ける。このような複雑な応力状態は三軸試験機をはじめとする砂の要素試験ではなかなか再現できない。また排水の条件も自然地盤より複雑であることなどから、土槽中に作った砂地盤による模型実験の有用性が相対的に高いと考えられる。今回は吉見ら⁽²⁾の研究と類似の方法による小さな土槽を用いた実験結果の要点を報告する。

方法 実験に用いた土槽は図・1に示すような幅 60 cm ×高さ 30.5 cm ×奥行き 10.0 cm と小型のもので、側板は 30 mm 厚さのアクリル製である。透明な側板を通して液状化現象の進行状況を 16 mm の映画に撮影するために砂の内部と側板に接する部分との間にあまり大きな液状化挙動の差が生じないように土槽の奥行きは 10 cm という小さな値にとった。土槽の底にはポーラスメタルをしきその下にドレーンパイプをのべ、外部から給水、排水が容易にできる他、透水試験もできるようになっている。砂層の両端にはウーリーフォームを入れて壁との間の緩衝を図った。用いた砂は岐阜県産の準標準砂とよばれるマサ系の山砂で粒度構成は豊洲標準砂とほぼ同じである。構造物モデルは密度 1.60 のモルタル製で、大きさは $12\text{ cm} \times 12\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ である。砂層を作るに当っては土槽中に煮沸して脱気した水を張り、その中にやはり煮沸脱気した砂を層状に落し下ろした。振動台に入力した正弦振動の振動数は $2\text{ Hz} \sim 10\text{ Hz}$ とかなり大きな値であるが、これはモデルのサイズがかなり小さいため地盤へ建物連成系の固有振動数がかなり高いこと(微小振動におけるロッキング振動では $60 \sim 70\text{ Hz}$)と、排水の距離が短いため多少でも相似則を満足させるためである。今想定される地盤での地震の卓越振動を 1 Hz と考えると、モデル砂層と同じ透水係数(定 $4 \times 10^{-2}\text{ cm/sec}$)とすると、大略基準中 $1.2 \sim 3.2\text{ m}$ の構造物を対象としていえると考えられる。

結果 全部で16回の実験を行なったが、そのうちの3例について述べる。図・2は $f=10\text{ Hz}$ 、加速度 100 gal の正弦波を与えた場合の各部の加速度、間隙水圧、構造物の沈下量の時間的変化を示したものである。振動開始から3波(約3秒)ほどで地表の加速度応答はほとんどゼロになるのに対し、構造物のロッキング振動は時間とともに大きくなってゆく。地表より 15.5 cm 下の間隙水圧は約5秒くらいで最大値をとった後減少するのに対して、地表より 5.5 cm 下の水圧は約3秒以後ほぼ一定値を保つ。すなわち $t=0.3\text{ sec}$ から振動の終る 3.75 sec まで地表より 5.5 cm の深さの部分は完全に液状化し、地表より 15.5 cm の深さでは液状化は生じていない。構造物の直下の圧力計は同じ深さの地中の点よりも20%程度小さな値を示しており、

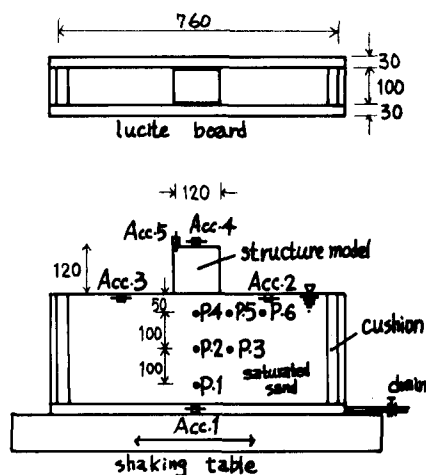
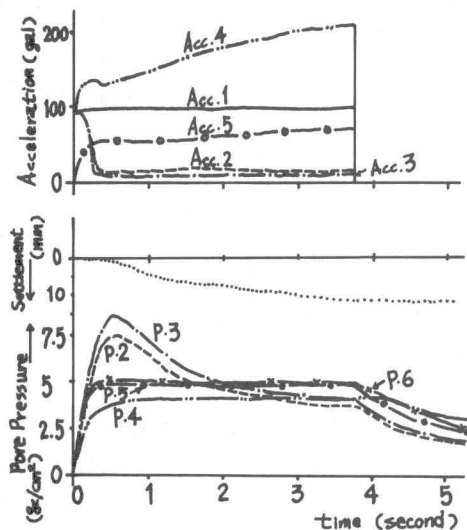
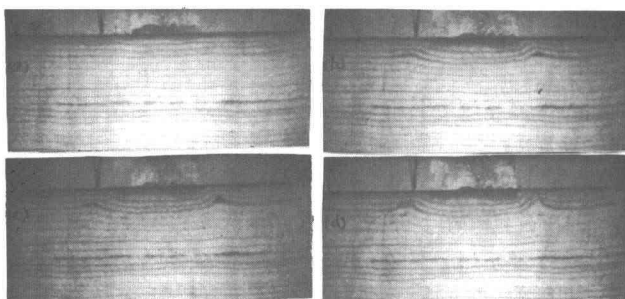


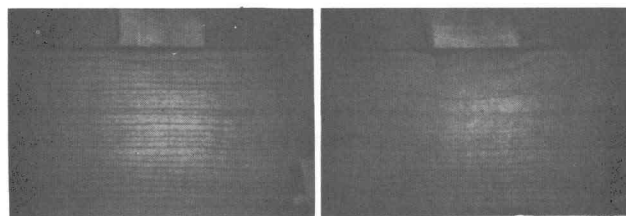
図-1. 装置概要



図・2 加速度・沈下・間隙圧の時間的变化
(実験 23)



写真・1 (a) $t=0$ (b) $t=2.0 \text{ sec}$ (c) $t=2.25 \text{ sec}$ (d) $t=2.75 \text{ sec}$.
(実験 23)

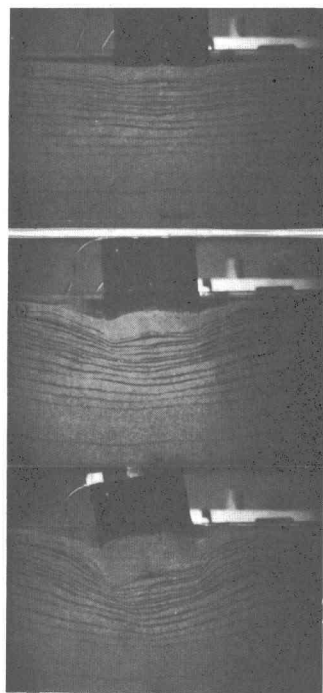


液状化前

液状化後

写真・2. (実験 24)

構造物直下の砂が液状化しにくいことを示している。写真1(図1)と同じ実験において砂層中にはさまざまな微粒子からなる橋が液状化にともなって生じた上昇水流によって消されてゆく過程を示したものである。 $t=2$ 秒において基礎端より約2.5 cm、地表から深さ約2.5 cmのあたりに間隙水が集中し始め $t=3.25$ 秒に至って地表に対する。この間の流速は約 50 cm/sec で当然のことながらDarcyの法則とその透水係数 $k=4 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ はあてはまらない。液状化後も基礎直下の橋模様は消えずに残っており、同じ深さの他の部分より液状化が生じにくいことを示している。写真2は $f=27 \text{ Hz}$ の正弦波による実験での橋模様の変化である。この場合は写真1のような間隙水の明瞭な集中は生じず、むしろ基礎直下の橋がぼけるような傾向がある。これは土槽の側壁と構造物の間のわずかな隙間を目先して基礎直下の余剰間隙水が側壁に沿って上昇してくるためではないかと考えている。写真3は色づけした砂で砂層に橋模様をつけ、それにより液状化で構造物が沈下する時の地盤変形の様子を観察したものである。沈下にもない基礎の端から徐々にすべり線が発達し、静的破壊と同じような三角形のクサビ形領域が見られ、その部分の土は基礎と一体となって沈下してゆくことが明らかにみられる。すなわち液状化による構造物の破壊にも静的な支持力理論が適用できることを写真3は示唆していると考えられる。すなわち地震時に生ずる基礎周辺の間隙水圧分布を推定し、初期有効応力から差し引いた値を用いて支持力計算をすることが可能であろう。



(a) $t=0$ (b) $t=2.5 \text{ sec}$ (c) $t=4.0 \text{ sec}$.
写真・3. (実験 11)

謝辞 本研究に対して東京電力(株)建設部土木課の田村副長、鈴木和三郎氏から各種の援助を受けた。また理科大学4年鈴木順一君、日本大学3年滝川和男君のたいなる協力を得た。深く感謝いたします。

参考文献 (1) 国生 「せん断土槽による砂の液状化実験」 第9回土質工学研究発表会 昭和49年
(2) 時松、桑原、吉見、木村 「構造物近傍の液状化発生条件」 第10回土質工学研究発表会 昭和50年