

液状化による直接基礎の沈下に関する遠心載荷模型実験

大成建設（株）土木技術研究所 正会員 藤原斉郁¹⁾
 大成建設（株）土木技術研究所 正会員 堀越研一¹⁾
 東京電機大学 理工学部 正会員 安田 進²⁾
 東京電力（株）工務部 正会員 河村直明³⁾

1. はじめに

筆者らはこれまで、地盤の液状化に伴う基礎の沈下挙動についてフーチング基礎モデルによる遠心載荷模型実験（50g）を実施してきた^{1)~6)}。本報では、より一般的な直接基礎を対象とし沈下量への基礎形状比の影響に着目した実験結果について述べる。なお、本報内での数値は断りのない限り実物換算で記述している。

2. 実験概要および結果

実験は幅940×高さ300×奥行き200mmの剛土槽内に、空中落下法により厚さ200mm（いずれも円スケール）の豊浦砂からなる地盤を作成後、シリコンオイル（50cSt）により飽和し、さらに地表面部に2種類の基礎幅（7.5m, 3.0m）の直接基礎モデルを設置後、正弦波にて加振した。図-1 に実験モデル、表-1 に実験ケースおよび実験条件の一覧表を示す。なお、各ケースとも、アルミ製の基礎モデル（奥行き方向寸法：198mm）の厚さを $t=30\text{mm}$ （円スケール）とし、自重による接地圧を 4 tf/m^2 （約40kPa）となるように調整した。図-2 に Case-1 における地盤の加速度応答および過剰間隙水圧比の経時変化を示す。加速度応答は一般部（A6）で減衰が見られ、この減衰傾向は地表面部ほど著しい傾向であった。一方、過剰間隙水圧は加振開始直後に上昇しているが、一般部（P19）で水圧比1付近まで上昇しているのに対し、基礎直下部（P10）では上昇が抑制されていた。なお、過剰間隙水圧比は基礎モデルを剛体とした二次元FEM解析により求めた各測点の初期有効上載圧から求めている。以上のような傾向はCase-2も同様であった。

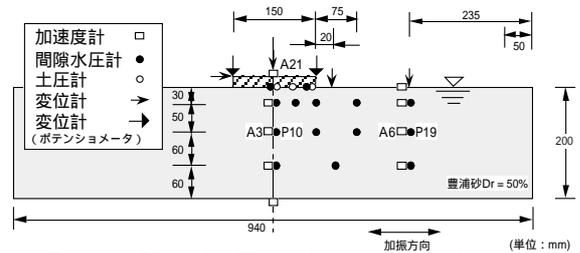


図-1 実験モデル図（寸法はモデルスケール）

表-1 実験ケースおよび実験条件一覧表

Case	基礎幅 (m)	地盤層厚 (m)	相対密度 Dr (%)	間隙流体	上載荷重 (tf/m ²)	入力波 波数	最大加速度 (Gal)
1	7.5	10.0	49.1	シリコンオイル (50cSt)	4.0	正弦波 1Hz 20	100
2	3.0	10.0	49.2	シリコンオイル (50cSt)	4.0	正弦波 1Hz 20	100

図-3 に加振時の基礎の沈下経時変化を示すが、加振開始とともに沈下を開始し、加振終了とともに沈下がほぼ終了するなど、主要な沈下は加振中に発生していた。Yoshimi らによる実験結果⁷⁾では、液状化層厚に対する基礎幅の比が大きくなるほど沈下量は小さくなるのに対し、本実験では最終沈下量がCase-1で276 mm、Case-2で271 mmであり、両ケースでの差はほとんど見られなかった。図-4には過剰間隙水圧測定値から求めた加振終了時における水圧比コンタ - 図を示すが、基礎幅が大きいほど、水圧の上昇が抑制されているエリア（球根）が大きい様子が見られる。なお、両ケースとも基礎直下地盤下部では水圧比が0.7前後であった。

3. 実験結果の考察

本実験では、加振による基礎モデルの沈下挙動として、基礎幅の違いによる沈下量にあまり差が見られなかった。加振開始とともに沈下が始まり、加振終了とともに主要な沈下は終了し、過剰間隙水

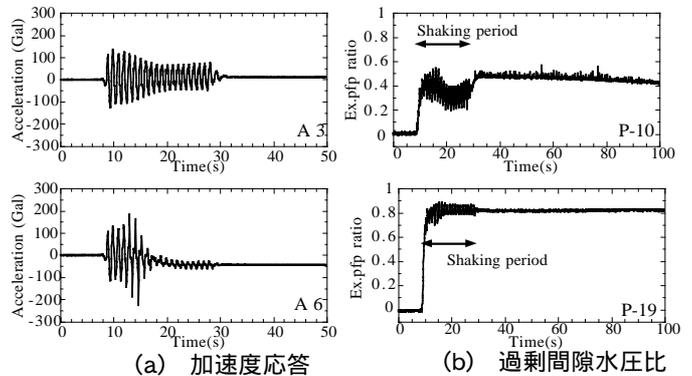


図-2 実験結果（Case-1）

キ - ワ - ド：遠心載荷実験，液状化，直接基礎，沈下

1) 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 045-814-7236
 3) 〒110-0015 東京都千代田区内幸町1-1-3 03-4216-1111

2) 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 0492-96-2911

圧の消散中の沈下は非常に少なかった，ことが大きな特徴として挙げられる．これらは，筆者らが実施した既往のフーチング基礎モデルによる実験結果とは異なっており，ここでは，これらの要因について考察を行った．以下に要因とその内容を示す．

基礎幅と液状化層厚との比率：基礎幅に比べて液状化層厚が薄い場合，球根が地盤下部にまで達し沈下が抑制される．また，排水距離が短いために水圧の消散が早い，基礎の入力波が地表に伝わりやすいなどの現象が考えられる．本実験では，基礎幅の違いにより球根の発生状況は異なるものの，加振終了とともに主要な沈下が終了する現象の一原因であると考えられる．

基礎モデルの自重：本実験では基礎モデルの自重を調整することにより所定の接地圧を確保した．このため，基礎直下地盤において過剰間隙水圧の上昇が抑制され，かつ，基礎（土槽底面）との距離が短い場合，入力加速度が直接基礎に伝達され慣性力の影響を受けることになる．接地圧平均値が同一でも，Case-1の場合，基礎全体の質量が大きいためCase-2よりも慣性力の影響が大きいと考えられる．図-5に加振による基礎の加速度応答の経時変化を示す．また，加振終了とともに主要な沈下が終了した点からも，沈下に対する慣性力の影響は大きいものと思われる．なお，フーチングによる実験では，上載荷重の載荷方法が異なり，慣性力の影響のない条件で実施した．

2次元モデルと3次元モデル：基礎幅の大小にもよるが，本モデルのように幅の広い土槽による2次元モデルにおいても，基礎の接地圧に関してモデルの奥行き方向も含めた3次元的な分布の影響の確認が必要であると思われる．

基礎の浮力：基礎の沈下に伴う浮力の発生により，当初の接地圧の条件よりも構造物に作用する下向きの合力が低くなり，沈下が抑制される方向に働いたものと思われる．この点についても，フーチングによる実験では最初から基礎は地中にあり，浮力の発生は問題とはならなかった．

その他の要因：その他のフーチング基礎モデルによる実験との相違点としては，基礎の根入れの有無，せん断土槽と剛土槽の違いなどが挙げられ，基礎直下の過剰間隙水圧の消散速度や入力波の伝達状況に影響しているものと思われる．

以上のように，それぞれのモデルにおいて基礎の沈下を増加させる要因や抑制させる要因が重なり，結果として基礎幅による沈下量の差があまり見られなかったものと思われる．すなわち，得られた沈下量が同じでも，そのメカニズムが異なっている可能性が高いものと思われる．今後はパラメトリックに各要因に対する影響の度合いについて，より詳細に検討を行って行きたい．

あとがき 本研究は，（財）地震予知総合研究振興会の「液状化等による永久変位に対する対策技術の開発」ワーキングメンバーによって遂行された．メンバー各位に感謝の意を表す．

参考文献：

- 1) 田中他，川崎他，酒見他，送電鉄塔基礎の遠心模型振動実験-その1~4，土木学会年次学術講演会，1996,1997,1998. 2) Kawasaki, Sakai, Yasuda & Satoh, Earthquake-induced settlement of an isolated footing power transmission tower, Proc. Centrifuge98, 1998. 3) 安保他，送電鉄塔基礎の沈下対策工に関する遠心載荷実験，土木学会年次学術講演会，1999. 4) 藤原他，送電鉄塔基礎の沈下対策工効果，土木学会年次学術講演会，2000. 5) 藤原他，液状化によるフーチング基礎の沈下メカニズムに関する一考察，土木学会年次学術講演会，2001. 6) Fujiwara, Yasuda, Satoh, Abo, Horikoshi & Kawamura, Countermeasures against settlement of power transmission tower due to liquefaction, Proc. XV ICSMGE Satellite conference, 2001. 7) Yoshimi and Tokimatsu, Settlement of buildings on saturated sand during earthquakes, Soils & Foundations, Vol.17, No.1, 1977.

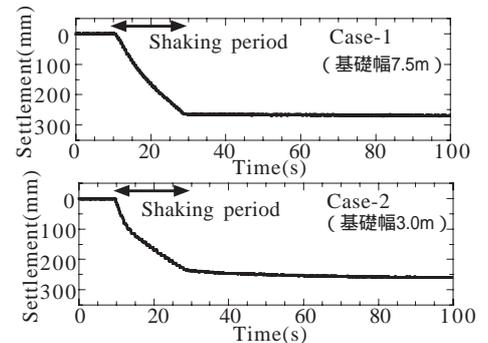


図-3 基礎沈下の経時変化

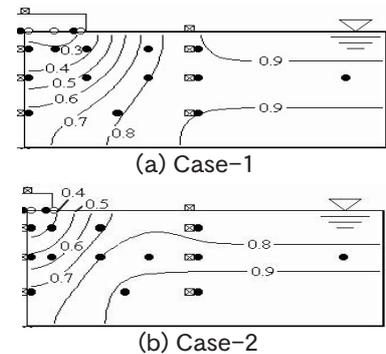


図-4 過剰間隙水圧比コンター図
(加振終了時)

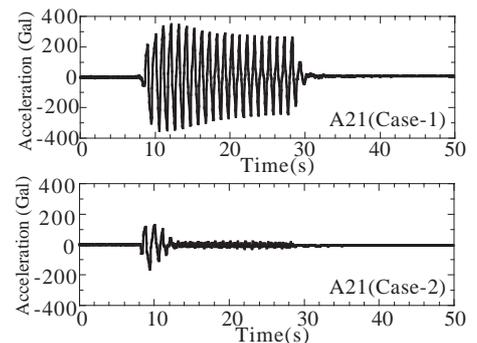


図-5 基礎の加速度応答