

III-34

飽和砂地盤の液状化実験とその有効応力解析例について

大林組技術研究所 正員 ○ 松 田 隆
同 上 正員 後 藤 洋 三

1. まえがき

飽和砂地盤の動的挙動把握に模型振動実験は有効であり、すでに多くの実施例が報告されている。今回、これら既往の実験例に比し大型の部類に属す模型飽和砂地盤において液状化を再現させ、さらにその結果に対応するシミュレーション解析を実施した。本報は、せん断土槽を用いた液状化実験の概要と間隙水圧上昇過程を追跡した数値解析結果(弾塑性有効応力FEM手法『DIANA-J』を使用)を示すものである。

2. 実験概要

(1) 模型地盤: 実験に用いた装置は内寸法2.5m×1.5m高さ2mの大型せん断土槽である(図-1)。試料砂は2mm以下に粒度調整された山砂を使用した(表-1)。模型地盤は、土槽内への試料砂投入後、砂層全体のボイリングによる土粒子の浮遊と排水による沈降過程により形成した。この地盤形成過程で間隙の気泡はほぼ排出されていることから、地下水位を地表面に設定した模型地盤は飽和度の高い状態とみなせる。このとき模型地盤の平均的な単位体積重量は1.88t/m³、相対密度は31%である。

(2) 入力波: 入力には正弦波とランダム波の2種である。入力条件を表-2に、振動台加速度波形を図-2に示す。

(3) 実験結果: ケースS4の応答加速度波形(図-4)、間隙水圧上昇過程(図-3)及びケースS7の消散過程(図-5)を示す。1m以浅の砂層はほぼ3波目で完全に液状化し、その後の加速度応答は非常に小さくなっている。間隙水圧の上昇は砂層中央P14から始まり、下層部では加振終了後に最大となる。図-6に各ケースにおける最大間隙水圧分布をS、Fに分けて示すが、加速度レベルの増大と共に下層に液状化域が広がる様子は共通している。地盤の水平方向の一様性は、同深位置(ex.A-12,-22,-32、P-14,-24,-34)の波形が液状化の前後を通して一致していることから確認される。砂層(2m)全体が液状化するケースでの地表沈下量は27mmであり、平均的な鉛直方向の最終ひずみは1.35%となる。このひずみ量と間隙水圧消散時間から透水係数を逆算すると 4.4×10^{-2} cm/secとなる。

3. 解析方法

解析に用いた構成式は、間隙水圧上昇過程に関してはEndochronic理論(Densificationモデル)、降伏条件に関してはDrucker-Prager則に従ったものである。このモデルでは全ひずみ ϵ は有効応力に関する ϵ' と自生体積ひずみ ϵ_v の和で与えられる。自生体積ひずみ ϵ_v は固有のパラメーターA、Bと損傷パラメーター κ により次式で定義される。

$$[\text{全ひずみ}] \quad \epsilon = \epsilon' + \epsilon_v \quad [\text{自生体積ひずみ}] \quad \epsilon_v = \frac{A}{B} \ln(1 + B\kappa)$$

せん断剛性Gは拘束圧の1/2乗に比例すると仮定したうえで、このG分布を用いたモデルでの固有値が実験で求められる模型地盤の伝達関数のピーク振動数(5.7Hz)に一致するよう算定した。また、解析モデル形状は、実験結果から模型地盤の水平方向一様性が確認されていることで、土柱モデルとし、砂層を深さ方向に13分割した。

当検討に用いた各パラメーターの値を表-3に示す。

4. 解析結果

全層がほぼ液状化したと思われるケースF5と、上層部のみ液状化しているケースF3に対応する解析例を図-7～-9にそれぞれ示す。間隙水圧の上昇を実験結果と比較すると、F3、F5ともに液状化しているP12やF5のP14では良好な一致といえるが、液状化しきらないP18では解析結果のほうが初期において高くなり、後半においては実験値まで上昇しきれない傾向がある(図-7)。これは、Densificationパラメーターや間隙率を深さ方向一定としたことが原因の一つとして考えられる。応答加速度は液状化前や下層の拘束圧の高い領域では、実験結果と解析結果との一致はみられるが、液状化の進展にしたがい両者の差は大きくなる(図-8)。ただし、土粒子が浮遊するような状態は解析対象からはずれており、実験計測上においても困難な領域でもある。変形図からは土柱中央部付近に大きな変形がみられ、実験結果もこの位置で大きな加速度分布を示し、傾向は合致している(図-9)。

5. おわりに

大型せん断土槽を用いた液状化実験とその結果に対応させた解析を実施し、弾塑性有効応力FEM手法『DIANA

A-J』は間隙水圧上昇過程をほぼ良好に追跡し得ることがわかった。今後、モデルパラメーターのより適切な設定を試み、構造体との相互作用も含めさらに検討を続ける予定である。

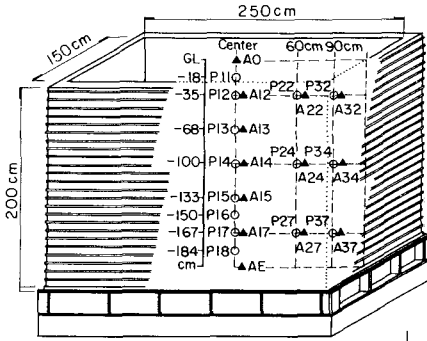


図-1 大型せん断土槽と計器配置

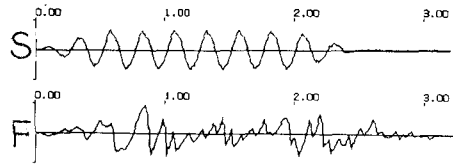


図-2 入力加速度波形

表-1 試料砂

平均粒径	0.32mm
均等係数	2.67
最小間隙比	0.644
最大間隙比	1.068
土粒子比重	2.704

表-2 実験ケース

入力波特性	Sin波-4Hz-10波~図-2a							El Centro 時間軸1/2 ~図-2b				
ケース	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	F1	F2	F3	F4	F5
台加速度gal	19.9	27.1	57.3	80.3	112.	184.	207.	24.2	40.0	60.6	92.7	131.

ケース S7

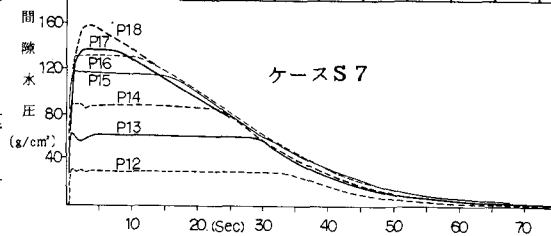


図-5 間隙水圧消散過程

表-3 解析諸定数

せん断剛性 (t/m²)	500(最下層) 170(最上層)
ポアソン比	0.4
透水係数 (m/sec)	2.0×10^{-4}
内部摩擦角 (度)	3.0
間隙率 (%)	45.8
Densification	A=0.04 B=15.0
モデルパラメーター	$\kappa=1.0$

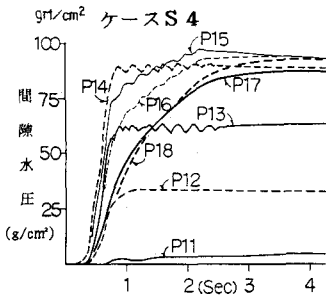


図-3 間隙水圧上昇過程

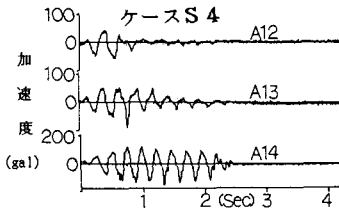


図-4 応答加速度波形

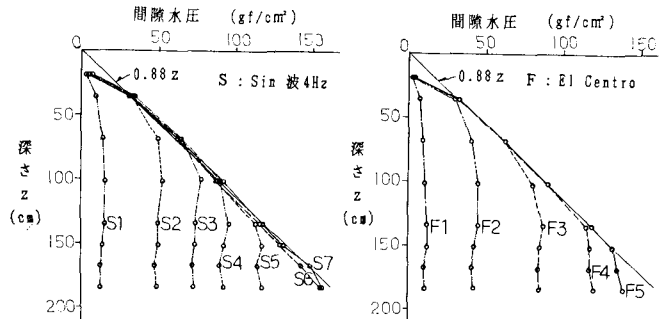


図-6 最大間隙水圧分布

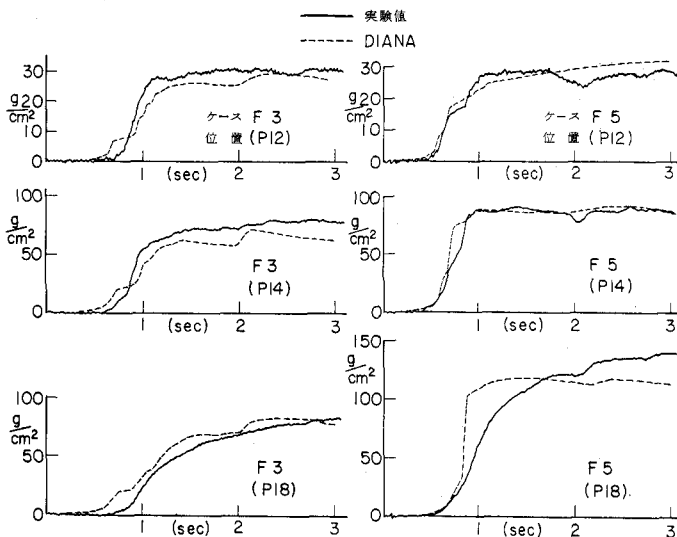


図-7 間隙水圧上昇過程の比較

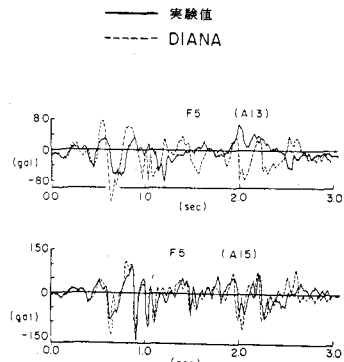


図-8 応答加速度波形の比較

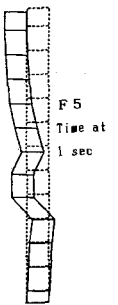


図-9 変形状状