

京都大学大学院 正会員 岡二三生・小高猛司  
 京都大学大学院 学生会員 森本 良・○喜多信代

**1. はじめに** 盛土を有する砂地盤の耐震性能の評価を目的とし、新たに開発した有限変形理論に基づく3次元液状化解析コードLIQCA-FDを用いて液状化解析を行った。本報では、建設省(現国土交通省)の土木研究所で行われた遠心力模型実験を題材にし、シミュレーションを行った結果を示す。同時に、微小ひずみ理論に基づく3次元液状化解析法LIQCA-3D(8節点モデル)及びLIQCA-208(20節点モデル)

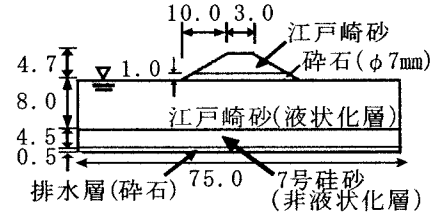


図1：模型概要

表1：実験条件

飽和前の江戸崎砂層(相対密度)	飽和前の7号硅砂層(g/cm <sup>3</sup> )	遠心载荷前の盛土湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	盛土砕石層乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )	間隙流体	地下水位(m)	入力波
1.379(69%)	1.578	1.736	1.544	水	GL	サイン波

による解析結果との比較を行い、有限変形液状化解析法の適用性を検討する。

**2. 支配方程式の定式化**

支配方程式の定式化には

updated-Lagrange法を用い、構成式にはOka et al.<sup>1)</sup>による非線形移動硬化則に基づく砂の繰り返し弾塑性構成式を用いる。二相系の運動方程式、流体相の連続式、砂の繰り返し弾塑性構成式及び有効応力の定義式について、有限要素法(FEM)による空間離散化、Newmarkのβ法と差分法(FDM)による時間離散化を行い、未知数を節点加速度及び間隙水圧とするu-p formulation

表2：解析に用いたパラメータ

	江戸崎砂	7号硅砂
初期間隙比	0.856	0.673
単位体積重量	1.91	1.980
圧縮指数	0.018	0.025
膨潤係数	0.0055	0.0025
初期せん断剛性比	873	908
変相角	28	28
破壊角	34	45
変相応力比	0.909	0.909
破壊応力比	1.122	1.511
硬化関数中のパラメータ1	2200	1500
硬化関数中のパラメータ2	30	20
硬化関数中のパラメータ3	0	0
Fading memory	2000	2000
ダイレイタンシー係数1	5	1
ダイレイタンシー係数2	1.5	9
塑性基準ひずみ	0.0050	0.015
弾性基準ひずみ	0.001	0.1
透水係数	8.50E-04	1.30E-03

による定式化を行う。

**3. 模型実験<sup>2)3)</sup>の概要**

図1に実験で用いた模型地盤の概要を示す。実験は50Gの遠心加速度場にて行われ、図の寸法は全て模型の50倍の原型スケールで示している。実験で

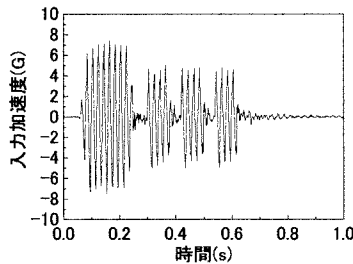


図2：模擬地震波の加速度

用いた試料は、江戸崎砂、7号硅砂及び平均粒径7mmの砕石である。表1に実験条件を、図2

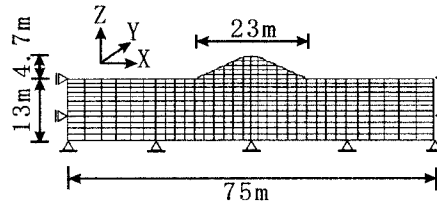


図3：メッシュモデル

に模型スケールにおける模擬地震波の加速度を示す。

**4. シミュレーション**

解析に用いたメッシュモデルを図3に示し、解析に用いたパラメータを表2に示す。要素はすべて四角柱とみなした。Y方向全節点拘束、地盤両側面X方向拘束、地盤底面全方向拘束とした。地盤表面と盛土部分のみ排水とした。

LIQCA-FD 及び LIQCA-208 は要素数 424、節点数 3216 とし、LIQCA-3D は要素数 424、節点数 948 とし、解析を行った。なお、LIQCA-FD および LIQCA-208 は要素を 6 面体 20 節点のアイソパラメトリック要素を用い、間隙水圧は格子点の 8 節点で定義した。LIQCA-3D は格子点の 8 節点で定義し、間隙水圧は要素中心で定

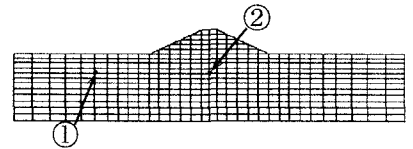


図 4：出力点位置

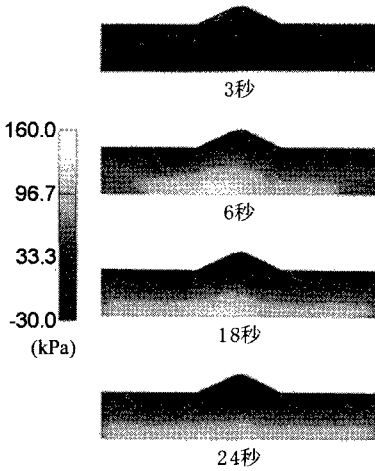


図 5：間隙水圧分布

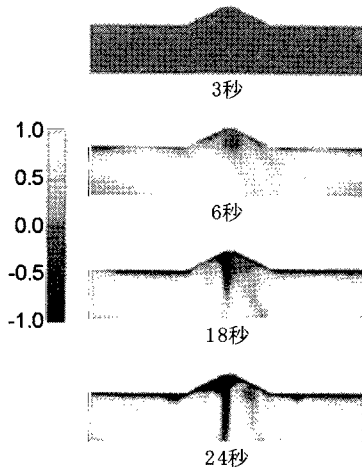


図 6：相対有効応力比図

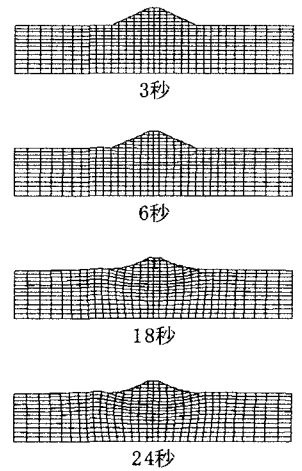


図 7：変形図

義した。間隙水圧分布、相対有効応力比図、変形図及び図 4 に示す出力点における応答加速度の解析結果を図 5～図 8 に示す。変形図は実際の 5 倍で表している。なお、相対有効応力比は、  
 (相対有効応力比) = 1 - (平均有効応力) / (初期平均有効応力) で定義している。

LIQCA-FD の解析結果における間隙水圧分布や相対有効応力比図において、加震後間隙水圧が上昇し、有効応力が減少しており、実際の現象に添ったものが得られたといえる。応答加速度について、LIQCA-FD 解析結果は LIQCA-208 及び LIQCA-3D 解析結果よりも若干小さいものの、ほぼ同様の傾向であった。しかし、どの解析法においても液状化に伴う減衰は出ておらず、パラメータの再検討が必要であると考えられる。今回の解析において、LIQCA-FD、LIQCA-208 及び LIQCA-3D は間隙水圧、有効応力、変形及び応答加速度のどれをとっても、近い結果を得た。今回は有限変形解析特有の解析結果を得るには至らなかったが、今後はより適切なパラメータを設定して、さらなる検討を進める予定である。詳細は当日発表する。

**参考文献** 1) Oka, F., Yashima, A., Tateishi, A., Taguchi, Y. and Yamashita, S.: A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic strain dependency of the shear modulus, *Geotechnique* 49(5), pp.661-680, 1999. 2) 建設省土木研究所耐震技術研究センター動土質研究室：法先固化改良による盛土の耐震対策効果に関する動的遠心模型実験報告書，土木研究所資料第 3688 号，2000. 3) 岡村未対、田本修一、松尾修：地盤の液状化による盛土の沈下挙動に関する遠心模型実験、第 34 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp.2089-2090, 1999.

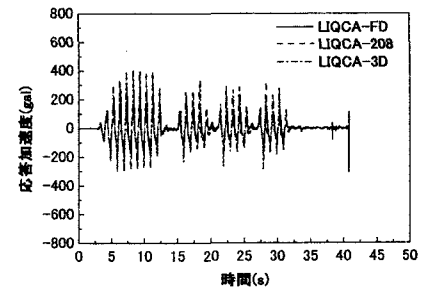


図 8-1：応答加速度①

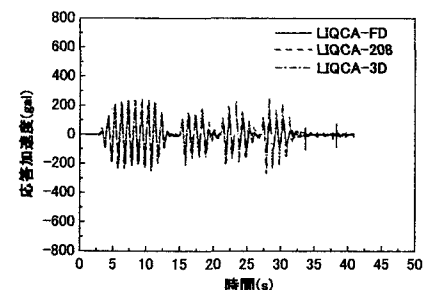


図 8-2：応答加速度②