

III-332

液状化時の砂の $e \sim p$ 曲線と過剰間隙水圧消散解析

東電設計(株) 正 ○溜 幸生
 東京大学工学部 正 東畑郁生
 東京大学工学部 正 石原研而

1. はじめに

緩い砂地盤は、振動を受けることにより内部で過剰間隙水圧が発生し、それは時間の経過とともに消散していくことは周知の事実である。これまで、液状化にともなう砂地盤の過剰間隙水圧の消散および地表面の沈下過程に関する解析は、圧密方程式に基づいた方法¹⁾で行われている。この際、地盤の圧縮性の設定を厳密に考えないと初期に沈下が急激におこって後ほど進行しなくなるという結果が得られる。実際には、液状化時に砂粒子の沈殿は下から上へ進行していき、それにともなう沈下は等速度でおこる結果となる²⁾。ここでは、圧縮性に関するパラメータを段階的に追跡していく有限要素法に基づいて実験と一致する解析結果を得たのでそれについて報告する。

2. 液状化時の砂粒子の沈殿を考慮した $e \sim p$ 曲線

圧密試験などから得られる $e \sim \log p$ 曲線は、圧縮指数や体積圧縮係数を計算するための基となるデータであり、粘土の圧密や液状化後の過剰間隙水圧消散過程に関する解析を行う場合に不可欠なものである。緩い砂地盤は、振動が加えられることにより有効応力がほぼ0の状態では地盤内の砂粒子が沈殿して体積収縮をおこすが、過剰間隙水圧消散解析を行うにあたっては、この現象が e と p の関係において考慮され解析に用いられるべきである。そこで、有効応力が0のときは砂粒子の沈殿前の状態であり、液状化前における間隙比を与え、有効応力が0でないときは沈殿によって再堆積した状態における $e \sim p$ 関係を与える曲線を用いると合理的である。ここではこのような $e \sim p$ 曲線を解析に用いることを提案し、例として鉛直浸透試験により得た衝撃による液状化時の e と p の関係(吉見, 1975)³⁾を基に作成した曲線を図-1に示す。この曲線は、有効応力が小さいときは急激に間隙比が減少し、大きくなるほど緩やかに減少する形となる。

3. 解析方法および解析結果

解析方法は圧密方程式に基づいた1次元有限要素法であり⁴⁾、間隙水圧を空間に関して1次の形状関数で表し、重みつき残差法により方程式をたて時間ステップ毎に直接に積分するものである。解析モデルは結果の比較のために過去に行われた振動台実験の地盤モデルを基に作成した。解析モデルおよび解析に用いた諸定数を図-2に示し、インプットデータである $e \sim p$ 関係は表-1に示す値を対数補間した。尚、本解析例においては数値計算の都合上、有効応力が微小な値(ここでは 0.0001 kgf/cm^2)をとるとき完全液状化状態と定義した。

表-1 解析に用いた $e \sim p$ 関係

Vertical effective stress p (kgf/cm ²)	Void ratio e
0.0 (0.0001)	0.810
0.001	0.650
1.000	0.640

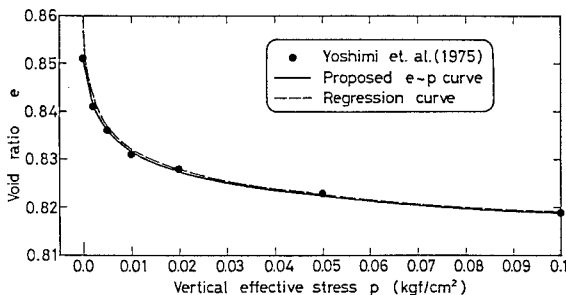


図-1 ここで提案する $e \sim p$ 曲線の例

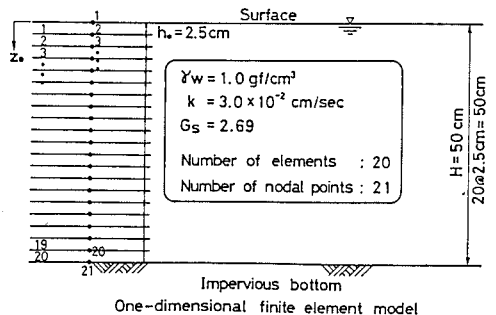


図-2 1次元有限要素モデル

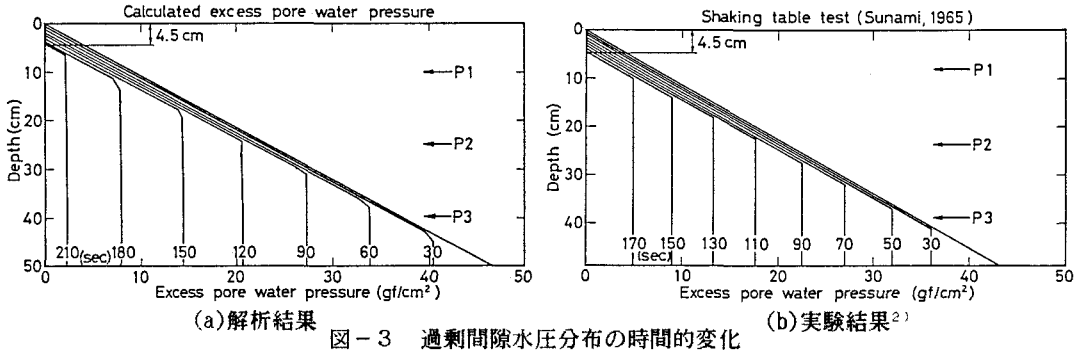


図-3 過剰間隙水圧分布の時間的変化

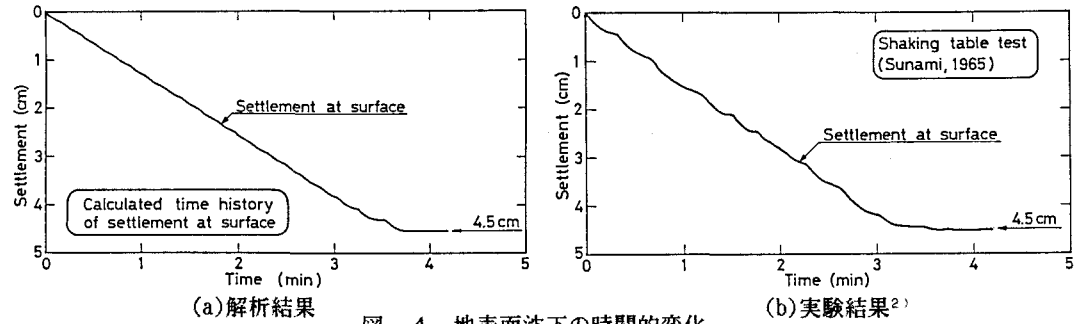


図-4 地表面沈下の時間的変化

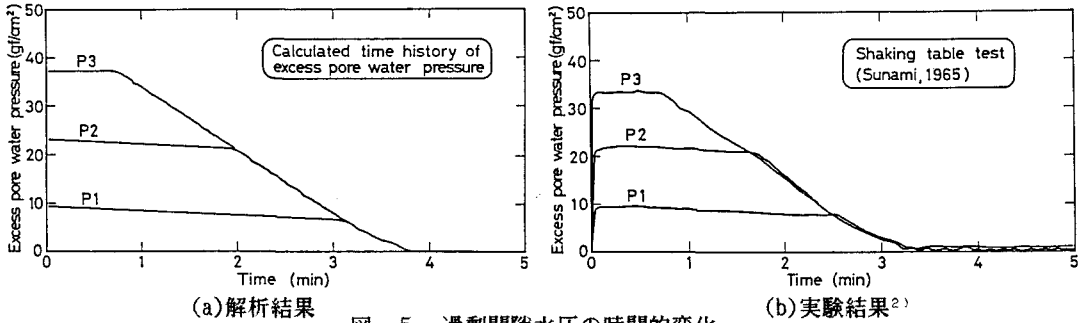


図-5 過剰間隙水圧の時間的変化

結果として、過剰間隙水圧の深度分布、地表面沈下、計測点における過剰間隙水圧のそれぞれの時間的変化について、解析結果と過去に行われた振動台実験結果(陶浪, 1965)²⁾をそれぞれ図-3、図-4、図-5に示す。これらを見てわかるように、解析結果はいずれも実験結果と定性的にはまったく同じ傾向を示しており、定量的にも沈下終了までの時間はいずれの場合も3分～4分でありおよそ一致している。

4. むすび

ここで提案する液状化時の砂の $e \sim p$ 曲線をインプットデータとして、圧密方程式に基づいた有限要素法によって、完全に液状化した模型砂地盤の過剰間隙水圧消散および地表面の沈下過程を定性的かつ定量的に再現できることがわかった。

参考文献

- 1) Y. Yoshimi: Pore pressure dissipation ratio for a nonlinear consolidation problem (closure), *Soils and Foundations*, Vol. 28, No. 3, pp. 182-184, Sept. 1988.
- 2) 陶浪貞彦: 不安定飽和砂の振動時性状、*日本建築学会論文報告集*、第114号、pp. 1-10, 1965.
- 3) Y. Yoshimi, et. al.: One dimensional volume change characteristics of sands under very low confining stresses, *Soils and Foundations*, Vol. 15, No. 3, pp. 51-60, Sept. 1975.
- 4) I. Towhata, K. S. Ryall: Undrained strength of underconsolidated clays and its application to stability analysis of submarine slopes under rapid sedimentation, *Soils and Foundations*, Vol. 30, No. 1, pp. 100-114, Mar. 1990.