

二次元液状化解析法について

岐阜大学工学部 正会員 岡 二三生
 京都大学防災研 正会員 八嶋 厚
 ○岐阜大学大学院 学生員 加藤 満

1. はじめに

近年、有効応力法とよばれる液状化解析法の進歩が目覚ましいが、実際問題に適用するにあたり、解析法の信頼性を確かめることは重要である。そこで本研究では、岡らがすでに開発している二次元液状化解析プログラム¹⁾を改良し、より現実的な問題に対する挙動解析²⁾を行うとともに、精度の検討を行った。ここでは、一次元半無限弾性体の表面に動的荷重が作用する問題について行った精度の検討について報告する。

2. 解析方法について

本研究では、Biotの二相混合体理論³⁾に立脚した釣合方程式と連続方程式を、有限要素法と差分法によって離散化⁴⁾した支配方程式を用いた。なお、質量マトリックスはlumped mass matrix、時間積分にはニューマークの β 法⁵⁾を用い、連立方程式はガウスの消去法で解いた。

3. 精度の検討

本報告では、一次元半無限弾性体の表面にFig. 1 に示すような荷重、すなわちステップ荷重、正弦波荷重、スパイク波荷重が作用したそれぞれの場合について、ラプラス変換によって得た理論解⁶⁾と、本解析による数値解によって精度の検討を行う。材料パラメータは、Table 1 に示すように Simonら⁶⁾が用いたものを採用した。また本解析では、解析モデルとして、Fig. 2 に示すような深さ100m、幅1mの飽和弾性柱を100個の要素に等分割したものをを用いた。荷重条件はFig. 1 に示す三つのパターンで、要素辺201-202 に作用させる。境界条件としては、節点1、2は固定、側方は水平方向固定とし、要素辺201-202のみ排水可としている。なお、ニューマークの β 法におけるパラメータは、最も安定するといわれる $\beta=0.3025$ 、 $\gamma=0.6$ を用い、時間増分は $\Delta t=0.008\text{sec}$ を用いた。ここで、差分解の収束、差分スキームの安定のための条件であるCFL (Courant-Friedrichs-Lewy) 条件⁷⁾を満たすことは波動問題を解くに当たって重要であるが、この解析条件では $L_r=0.83 \leq 1$ となり、差分スキームの安定条件を満足している。

結果として、Fig. 3、Fig. 4、Fig. 5 は、それぞれステップ荷重、正弦波荷重、スパイク波荷重が作用した場合の理論解と数値解を示している。図中の縦軸は要素辺201-202における無次元化された変位、横軸は無次元化された時間であり、破線は理論解、丸印は本解析による数値解である。ステップ荷重が作用した場合正弦波荷重が作用した場合については、定性的、定量的に理論解を再現できるが、スパイク波荷重が作用した場合については、定性的にはよく表現しているものの、最大変位、最終変位に違いがみられた。また、ここには示していないが、本解析による数値解は、解析モデルである飽和弾性柱の深さや、メッシュサイズに依存する傾向もみられた。

以上から、材料パラメータが特殊な値という条件のもとではあるが、本解析法で用いた、例えば定式化における仮定や、数値解析に用いた近似は、解析を行うにあたって問題のない範囲のものであることが明らかとなり、本解析法の信頼性が確かめられた。

4. 参考文献

- 1) Oka, F. & Abe, T., 1984, 8th WCEE, Vol. 3, pp. 111-118.
- 2) 柴田徹、岡二三生ら：FEM-FDMによる二次元液状化問題の解析、第20回地震工学研究発表会、1989.
- 3) Biot, M. A., Journ. Acous. Soc. America., 1956.
- 4) 赤井浩一ら、土木学会論文報告集、No. 269, 1978.
- 5) 戸川隼人：有限要素法による振動解析、サイエンス社、pp. 41-44.
- 6) Simon, B. R. et al., 1984, Int. J. Num. & Anal. Methods in Geo., Vol. 8, pp. 381-398.
- 7) 矢嶋信男、野木達夫：発展方程式の数値解析、岩波書店、pp. 43-48.

Table 1 材料パラメーター

質量密度 ρ	0.306	[kg/m ³]	Laméの定数	μ	1250	[N/m ²]
液相の質量密度 ρ_f	0.2977	[kg/m ³]		λ	833.3	[N/m ²]
透水係数 k	0.01425	[m/sec]	土粒子の体積弾性係数 K_s	∞	[N/m ²]	
間隙率 n	0.333		間隙水の体積弾性係数 K_f	0.3999×10^5	[N/m ²]	
弾性波速度 V_c	635.1	[m/sec]	液相の単位体積重量 γ_w	2.917	[N/m ³]	

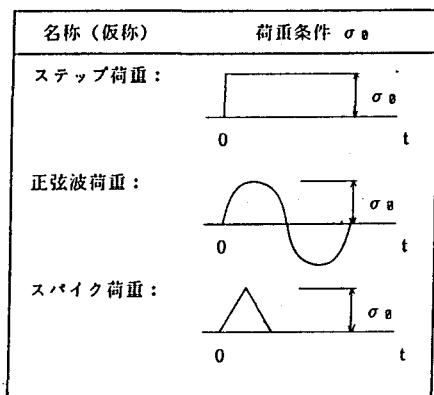


Fig. 1 荷重条件

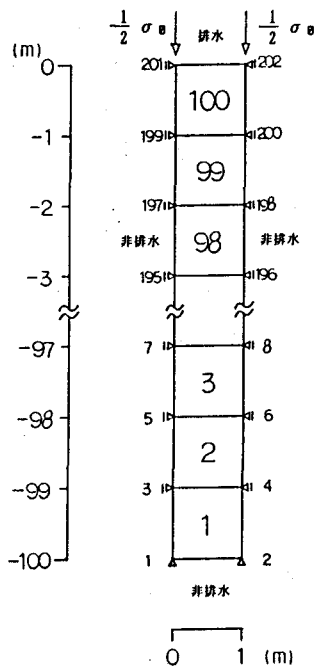


Fig. 2 解析モデル

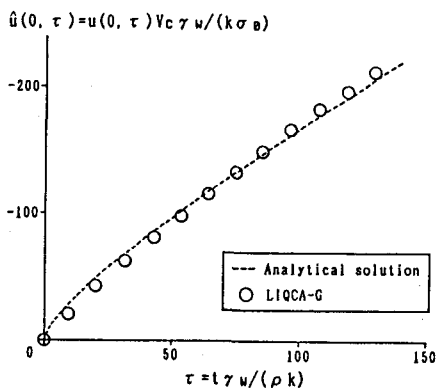


Fig. 3 理論解・数値解比較図(ステップ波荷重)

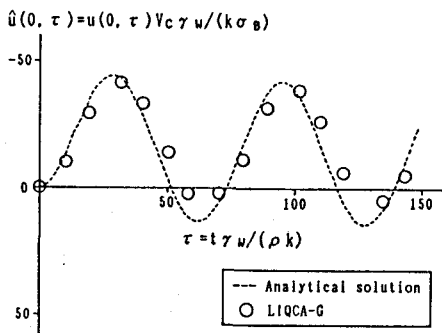


Fig. 4 理論解・数値解比較図(正弦波荷重)

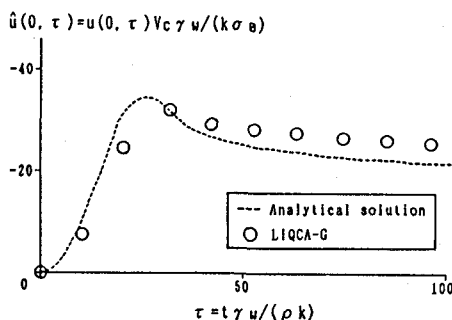


Fig. 5 理論解・数値解比較図(スパイク波荷重)