

III-14 FEMによる地盤材料の3次元液状化解析

東北大学大学院 学生員 ○清水 幹夫
 東北大学工学部 正員 佐武 正雄
 同上 正員 岸野 佑次

1. まえがき

1964年の新潟地震、1983年の日本海中部地震において、多くの液状化現象がみられ、これにより多くの被害が発生している。これまで、飽和した砂地盤に発生する液状化には、砂の密度、透水性、地震の大きさや、振動の継続時間などの要因が影響すると考えられてきた。したがって、これらの諸要因と、液状化との関係を検討する必要がある。本研究では、3次元有限要素法により、地盤材料の単純なモデルを用いて、地震波の大きさ、砂の強度及び透水性の相異が、モデルにおよぼす影響をシミュレーション解析した。

2. 解析方法

土の構成則としては、非関連流動則を採用し、繰り返し載荷を考慮した、Ghaboussi-Momenモデル¹⁾を用いた。ただしGhaboussi-Momenモデルは、単一降伏面を有するモデルであるが、ここでは、土の挙動を、せん断降伏状態と、圧密降伏状態に分けて取り扱うことを目的として、せん断降伏面の他に、圧密降伏面を導入した、2面降伏面を有する改良モデルとした。基本方程式は、Biotの多孔質体運動理論に準じた二相系方程式であるが、次の2つの仮定、1)液体の慣性力項を無視、2)土粒子及び液体は非圧縮性、を設けて簡略化した。

$$\sigma_{ij,j} - p_{,i} + \rho b_i = \rho u_{i,t} \quad (1)$$

$$p_{,i} + (\rho_r b / k) u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここに、 σ_{ij} ：有効応力、 p ：間隙水圧、 b_i ：物体力、 u_i ：砂粒子の相対変位、 k ：透水係数、 ρ ：混合相の密度、 ρ_r ：水の密度である。

解析では、式(1)、(2)を相対変位 u_i 及び間隙水圧 p を変量とした連立方程式とし、有限要素法(3次元四面体要素)によって離散化している。数値積分法として、Newmarkの β 法を用いた。

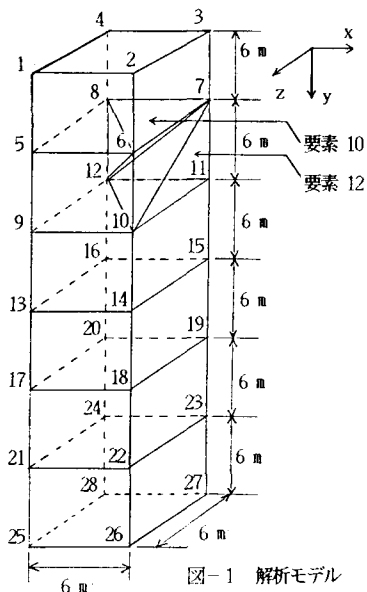
3. 地盤モデルの液状化解析

図-1に解析モデルを示す。境界条件は、図の節点25、28をx方向固定節点、節点25~28をy方向固定節点とし、z方向は、加振方向がx方向のみであることより、変位をゼロとした。軟弱地盤に対しては上記の弾塑性モデルとした。ただし、地下水位が浅では弾性体とし、地下水位は深さ6mの位置に設定した。また、各側方境界からの排水はないものとする。

弾性定数はRichartの実験式を用い、土質諸定数は豊浦標準砂の実験データを参考にした。解析は、基礎からの入力加速度として、図-2に示す地震波を想定した波をもちい、x方向のみに、時間刻みを0.01秒として1秒間加振した。

4. 解析結果の一例と考察

ここでは、表-1に示す3つの異なる境界条件および土質定数のケース、すなわちケース1、ケース2、ケース3を対象として解析を行った結果を紹介する。図-3-1から図-3-3は、それぞれのケース1からケース3に対する、図-1における要素10と12の時間-間隙圧関係であり、図-4-1から図-4-3は、同じく節点3、7、11の時間-水平方向変位(x方向)関係である。



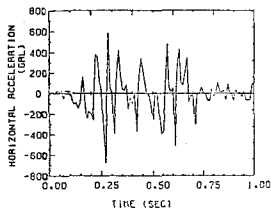


図-2 入力加速度波形

表-1. 解析条件

層	圧縮強度 (k p a)			せん断弾性係数 (k p a)			地下水面の 上方への透水性
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース1	ケース2	ケース3	
1	1.63	1.63	1.00	30	30	20	ケース1
2	1.63	1.63	1.00	30	30	20	あり
3	1.63	1.63	1.00	30	30	20	ケース2
4	1.74	1.74	1.10	30	30	20	なし
5	1.74	1.74	1.10	30	30	20	ケース3
6	1.74	1.74	1.10	30	30	20	なし

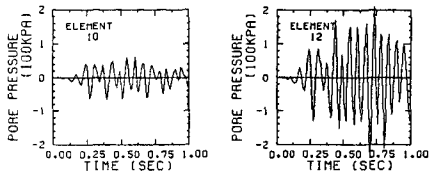


図-3-1 時間-間隙圧関係(ケース1)

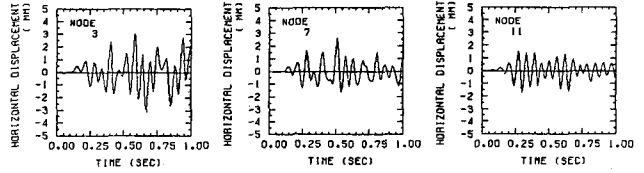


図-4-1 時間-水平方向変位関係(ケース1)

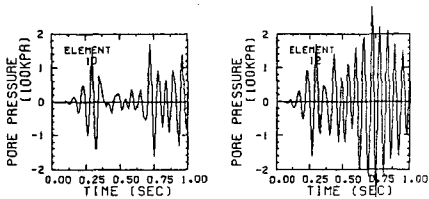


図-3-2 同 上 (ケース2)

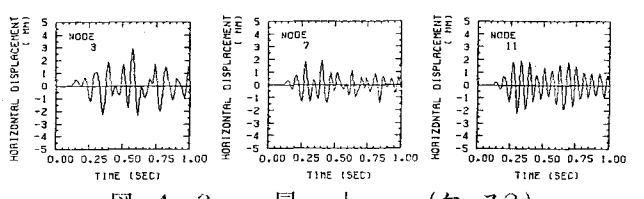


図-4-2 同 上 (ケース2)

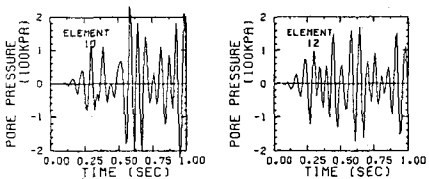


図-3-3 同 上 (ケース3)

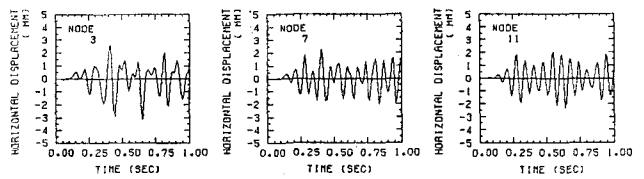


図-4-3 同 上 (ケース3)

ケース1の間隙圧を示した図-3-1の、要素10の間隙圧の振幅は、他のケースのものに比べて小さいことがわかる。これは、要素10が上方への透水を考慮したことにより間隙圧が0となる節点を含んでいるためと思われる。また、同じ透水なしの条件でも、強度の大きな場合とは、振動の減衰が少ないために、間隙圧振幅の低下が比較的小さいことが示されている。一般に、この時間-間隙圧関係はモデルの振動モードに追従した変化を示していると考えられる。図-4-1と、図-4-2とを比較すると、ケース1とケース2については大きな差異は認められない。また、図-4-2と図-4-3との間にも顕著な差はみられないが、これは、地盤のモデルを構成する要素のほとんどが、破壊領域に達していないためと考えられる。

5. あとがき

ここで紹介した解析結果は、図-3の示す通り、間隙圧の蓄積がみられず、完全な液状化は起こっていない。従来の研究¹⁾においては、液状化は傾斜基盤のような不規則な基盤上に発生しやすいことが報告されている。したがって、本文において間隙圧の上昇がみられなかった原因の一つとして、水平方向の歪の不均一さの影響がないことが挙げられる。今後は、こうした地盤の不規則性も考慮した解析を研究課題としたい。

《参考文献》

1) Ghaboussi, J. and H. Momen: Plasticity model for cyclic behavior of Sands, Proc. 3rd Int. conf. on Numerical Methods in Geomechanics, Aachen, pp. 423-434, 1979

2) 草間茂基: 傾斜基盤付近における液状化を考慮した地盤の振動特性、平成元年2月