

三菱地所(株) 正員 ○草間 茂基
 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、埋設管の被害及び地盤の液状化現象は傾斜基盤のような不規則な基盤上に多く発生した。従って、埋設管等の耐震性向上を図るには、傾斜基盤付近での地盤変形メカニズム並びにそれが地中構造物に及ぼす影響について検討する必要がある。本研究では、傾斜基盤付近の領域が水平加速度を受けたときの地盤震動特性を調べるため、3次元応答解析を行った。解析では、実地盤と対応した3次元に広がる傾斜基盤付近を有限要素法によりモデル化し、実際の地震被害との比較検討並びに基盤傾斜の影響による地盤変形特性について考察した。

2. 解析方法

土の構成式は繰り返し載荷を考慮したGhaboussi・Momenモデル¹⁾を用いた。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に2つの仮定、1)水と土粒子骨格との相対的な速度及び加速度項は無視、2)水及び土粒子は非圧縮性を設け簡略化した。

$$\sigma'_{ij,j} - p_{,i} + \rho b_i = \rho u_{i,t} \quad (1)$$

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

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_f :水の密度

解析では、式(1)・(2)を相対変位 u_i 及び間隙水圧 p を未知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($\beta=0.25$)を用いている。

3. 傾斜基盤を有する地盤の液状化解析

図-1に解析モデルを示す。地盤は秋田県鹿市脇本地区の地盤を想定したものである。軟弱地盤に対しては上記の弾塑性モデルとしたが、地下水位以浅では弾性体としている。硬い地盤は、せん断弾性定数が同じレベルの軟弱地盤の5倍の弾性体とした。地下水位は深さ6mの位置に設定し、地下水位以浅の間隙水圧をゼロとした。また、各境界面からの排水はないものとした。地盤の透水係数 k は間隙比によって変化し、地表での値を $k=1 \times 10^{-4}$ (m/sec)とし、弾性定数はRichartの実験式を用いた。また、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、基盤からの入力加速度として、図-2に示す最大片振幅70galの地震波を想定した波を用い、 x 方向のみに時間刻みを0.01秒として1秒間加振した。下端との相対変位をゼロとし、 X 軸方向に垂直な面にはLysmerの粘性境界を導入した。 z 方向に垂直な面は加振方向が x 方向のみであることより、 z 方向の変位はゼロとした。

4. 応答解析結果と考察

図-3は、地表面における水平方向の平均変位分布図、図-4は、地表面上の節点(節点A,B,C)の水平変位図である。本解析で用いる変位とは基盤と

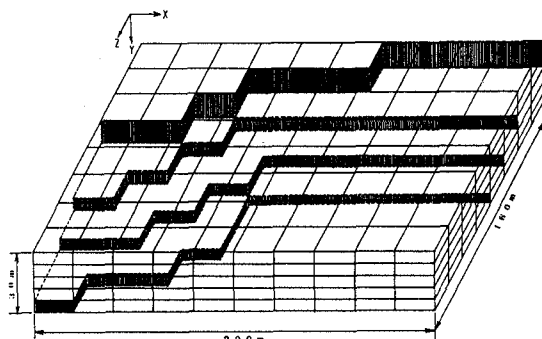


図-1 解析モデル

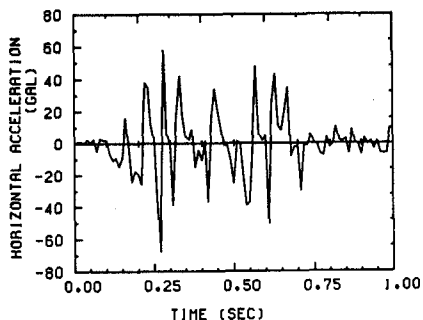


図-2 入力加速度波形

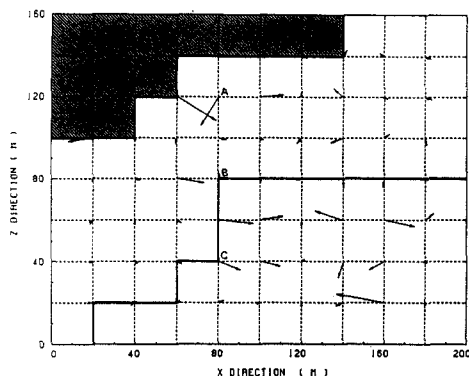


図-3 水平変位分布図(地表面)

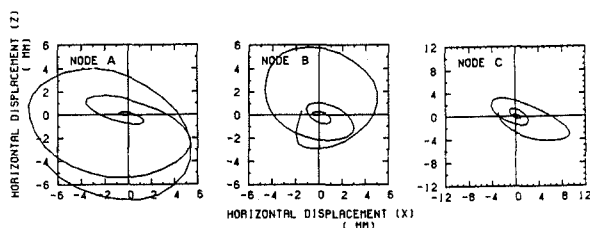


図-4 水平変位図（節点A, B, C）

の相対変位である。変位応答は傾斜基盤よりやや離れた水平基盤上で大きな値を示している。変位ベクトルは斜面方向と同じ向きに卓越しており、軟弱地盤は斜面に沿って滑る向きに変形していることがわかる。図-5は、地表面における鉛直方向の平均変位分布図である。傾斜基盤上から水平基盤上にかけて広範囲にわたって応答がみられる。応答値から軟弱地盤は沈下傾向を示していることがわかる。図-6は、深さ6～12mの地点における過剰間隙水圧比分布図、図-7は過剰間隙水圧比の上昇がみられた要素（要素D, E, F）の間隙水圧の時刻歴である。傾斜基盤付近において間隙水圧の上昇していることがわかる。しかしながら、加振時間が1秒と短く、また、地下水位が6mと低く設定したため、完全な液状化状態になるほどの間隙水圧の上昇はみられなかった。図-8は、地表面上の3つのラインに沿った節点における時間-平均変位、標準偏差関係である。これによると、各ラインに沿った平均変位は加振時間にほぼ比例して増加している。また、過剰間隙水圧比の上昇がみられた領域近傍を通るラインの標準偏差は、加振から0.50秒以後に急激な増加がみられ、間隙水圧の上昇と共に地盤応答の不均一性はより増加する傾向を示した。

5. あとがき

地盤の設定条件など完全ではないが、解析地盤モデルは想定した地盤の被害分布図と一致する傾向を示した。その結果、傾斜基盤付近における地盤変形特性は、液状化が深く関与していることがわかった。また、軟弱地盤は斜面の向きに沿って滑り、沈下傾向を示した。さらに、間隙水圧の上昇は傾斜基盤付近で大きいことがわかった。解析結果において、明らかに境界面による不当な影響が一部見られるが、今後の検討課題としたい。

《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) 浅田秋江：1983年日本海中部地震における秋田県男鹿市脇本地区の地盤変状に及ぼした地盤構造の影響に関する調査研究、昭和61年9月

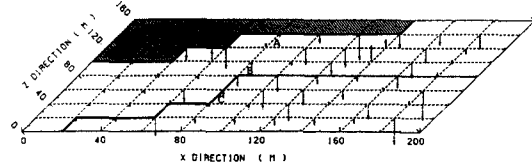


図-5 鉛直変位分布図（地表面）

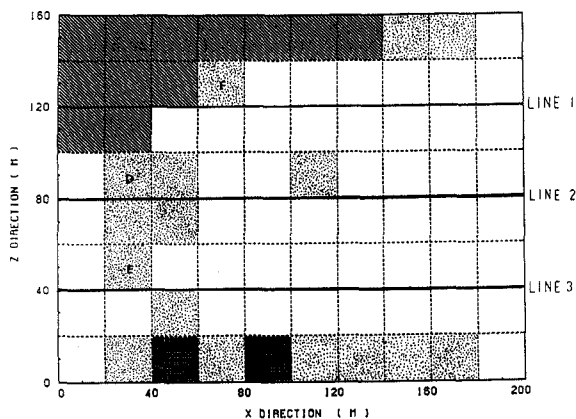
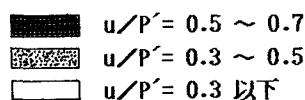


図-6 過剰間隙水圧比分布図（深さ6～12m）

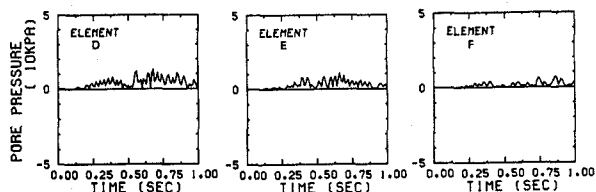


図-7 時間-間隙水圧関係（要素D, E, F）

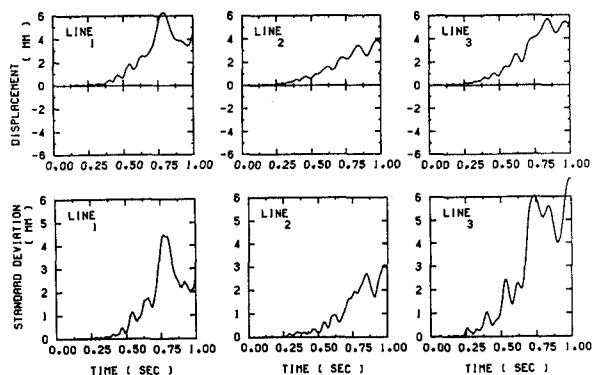


図-8 時間-平均変位、標準偏差関係（地表面）