

# Ⅲ-1 1 傾斜基盤付近における地盤の液状化解析

東北大学工学部 学生員 ○草間 茂基  
 同上 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、傾斜基盤付近における地盤の液状化解析を行い、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Ghoussi・Momenモデル<sup>1)</sup>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層系方程式とした。

$$\sigma'_{i,jj} - P_{,i} + \rho_w g_i = \rho_w u_{i,jj} \quad (1)$$

$$P_{,i,i} + (\rho_f r g / k) u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

$\sigma'_{i,jj}$ :有効応力,  $P$ :間隙水圧,  $u_{i,jj}$ :砂粒子の変位  
 $\rho_f$ :水の密度,  $g$ :重力加速度,  $k$ :透水係数

解析では、式(1)・(2)を変位  $u_i$  及び間隙水圧  $P$  の連立方程式とし、3次元有限要素法によって離散化している。数値積分法としてNewmarkの $\beta$ 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、表-1には地盤条件とモデル・パラメータを示す。地盤は秋田県男鹿市脇本地区<sup>2)</sup>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はゼロとした。また、各境界面からの排水はないものとした。透水係数は $1 \times 10^{-4}$ (m/sec)、弾性定数はRichartの実験式を用いた。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のランダム波を用い、 $x$ 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 $x$ 方向のみでありことにより、 $z$ 方向の変位はゼロとした。

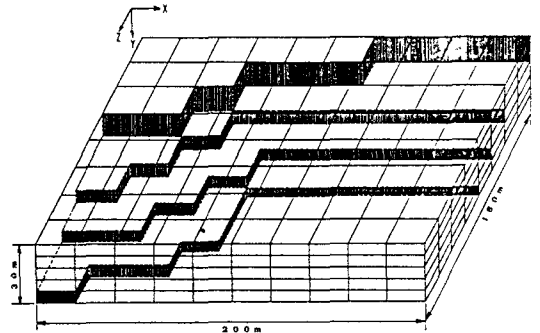


図-1 解析モデル

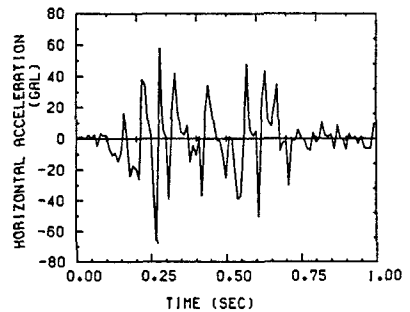


図-2 入力加速度波形

表-1 地盤条件及びモデル・パラメータ

| 地層区分    | S波速度<br>(m/s) | 相対密度<br>$D_r(\%)$ | 破壊・パラメータ |      | $\sigma'_{11} / \sigma'_{22} / \sigma'_{33} - \sigma'_{12} / \sigma'_{23} / \sigma'_{31}$ |              |              |
|---------|---------------|-------------------|----------|------|---|--------------|--------------|
|         |               |                   | M        | K    | $\epsilon_1$  | $\epsilon_2$ | $\epsilon_3$ |
| 3m ローム  | 130           | 63                | 1.63     | 0.61 | 0.10  | 0.50         | 0.77         |
| 3m 新砂丘層 | 130           | 63                | 1.63     | 0.61 | 0.10  | 0.50         | 0.77         |
| 4m 新砂丘層 | 160           | 63                | 1.74     | 0.60 | 0.10  | 0.50         | 0.77         |
| 5m 古    | 230           | 78                | 1.74     | 0.60 | 0.10  | 0.50         | 0.77         |
| 5m 砂    | 230           | 78                | 1.74     | 0.60 | 0.10  | 0.50         | 0.77         |
| 5m 砂    | 250           | 78                | 1.74     | 0.60 | 0.10  | 0.50         | 0.77         |
| 5m 層    | 250           | 78                | 1.74     | 0.60 | 0.10  | 0.50         | 0.77         |

$\epsilon_1: 0.0002$   
 $\epsilon_2: 0.0002$   
 $\epsilon_3: 0.0002$

#### 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すべる向きに変形していることがわかる。図-4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に従った変形傾向を示していることがわかる。図-5は、深さ6~12mの地点における過剰間隙水圧比分布である。傾斜基盤付近において間隙水圧が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。間隙水圧の上昇は加振から0.75秒以後発生しているものがほとんどであった。図-6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、間隙水圧の上昇が始まった0.75秒以後に変位応答が大きくなっている。また、間隙水圧上昇に伴って各ラインにおける標準偏差が多くなっており、液状化の発生により地盤応答の不均一性はより増加する傾向を示した。深さ1~2mにある埋設管もこれとほぼ同じ傾向を示すものと考えられ、埋設管の被害は液状化を伴った地盤の不均一変形の影響があると考えられる。

#### 5. あとがき

傾斜基盤付近における液状化の3次元有限要素解析を行った。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の液状化は、地盤変形に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すべり、沈下を伴って変形が進行する傾向がみられた。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みられるが、今後の検討課題としたい。

#### 《参考文献》

- 1) Ghabouss, 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藤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

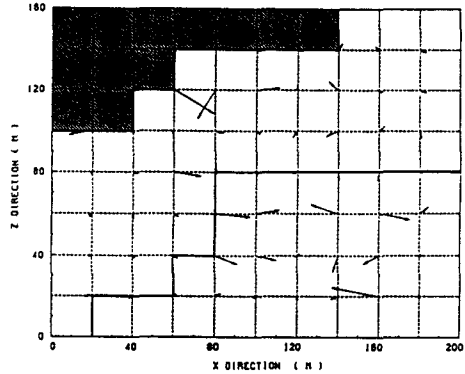


図-3 水平変位分布図 (地表面)

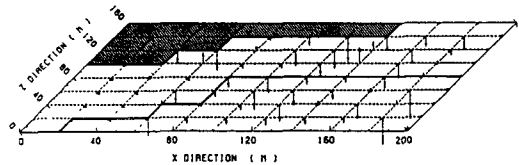


図-4 鉛直変位分布図 (地表面)

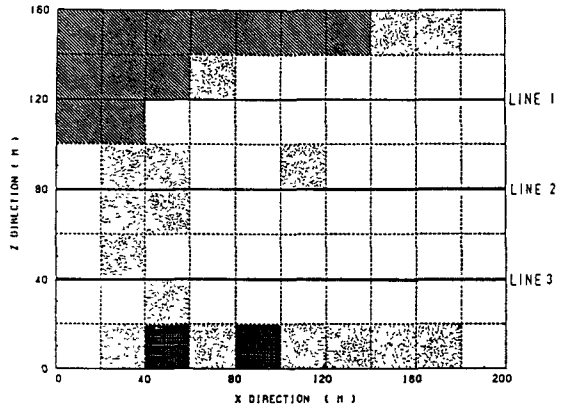
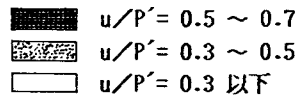


図-5 過剰間隙水圧比分布図 (深さ6m)

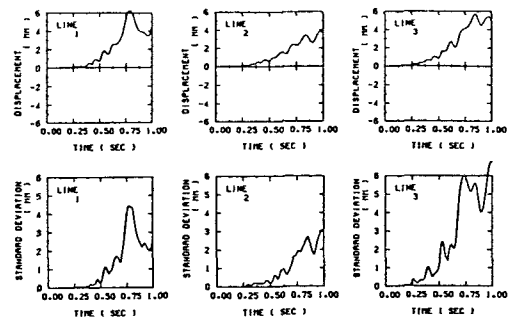


図-6 時間-平均変位、標準偏差関係 (地表面)