

## 地盤改良の液状化防止効果に関する解析的研究

熊本大学工学部 学員○上川 恭範

同上 正員 平井 弘義

## 1. はじめに

日本海中部地震においては硬い地盤と軟らかい地盤の境界付近において埋設管等に液状化被害が多発した。このような境界付近での非排水二次元液状化特性が有限要素法によって解析された<sup>2)</sup>。本研究ではこれを発展させ、透水性の影響を考慮した解析を試み、地盤改良の液状化防止効果について検討する。

## 2. 解析方法と構成モデル

解析においては、透水を考慮した液状化を仮定し、次の3式を基本方程式<sup>3)</sup>とする。

$$\sigma_{ij} - (\sigma_{ij} p)_{,j} + p g_i = \rho \ddot{u}_i \quad (1)$$

$$-p_{,i} + \rho_l g_i = \rho_l \ddot{u}_{li} + \beta \dot{\epsilon}_{ii} \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon}_{ii} + n \dot{p} / K_f = 0 \quad (3)$$

ここで、 $\sigma_{ij}$  は有効応力、 $p$  は間隙水圧、 $\rho$  は混合相の密度、 $g_i$  は重力加速度、 $\ddot{u}_i$  は土粒子骨格の加速度、 $\rho_l$  は液体の密度、 $\ddot{u}_{li}$  は液体の相対変位速度、 $\dot{\epsilon}_{ii}$  は体積ひずみ、 $n$  は間隙率、 $K_f$  は水の圧縮係数である。

降伏関数 $f$ と塑性ポテンシャル $g$ 、および硬化パラメータ速度 $\dot{\gamma}$ は次式で表わされる。

$$f_1 = J_2 + \beta I_1^2 + \gamma_1 I_1 = 0 \quad (4)$$

$$g_1 = \sqrt{J_2} / I_1 - M \ln |I_1 / I_0| = 0 \quad (5)$$

$$\dot{\gamma}_1 = \gamma_1 T_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}^{(p)} / 3 + \gamma_2 T_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}^{(p)} \quad (6)$$

変相線を越えての除荷時には次式を適用する。

$$f_2 = J_2 + \beta I_1^2 + \gamma_2 I_1 = 0 \quad (7)$$

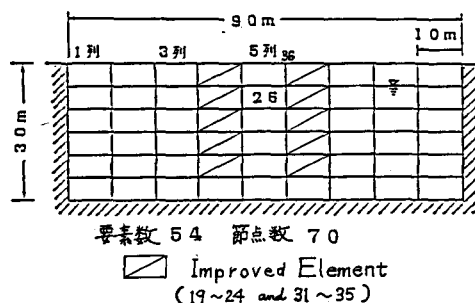
$$g_2 = I_1 + \gamma_3 = 0 \quad (8)$$

$$\dot{\gamma}_2 = \gamma_3 T_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}^{(p)} / 3 \quad (9)$$

ここに、 $J_2$ 、 $I_1$  はそれぞれ偏差応力の2次、応力の1次不変量、 $\beta$ 、 $M$ 、 $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 、 $\gamma_3$  は材料定数、 $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 、 $I_0$  は硬化パラメータ、 $T_{ij}$  は偏差応力、 $\dot{\epsilon}_{ij}^{(p)}$  は塑性ひずみ速度を示す。図1は地盤を54の要素に分割して、境界条件は周囲を基盤と考えているので、境界において水平・鉛直方向の変位を固定している。本解析では、要素19~23、31~35を改良することにより接点36と要素26において改良前とどのような違いがあるかを検討している。又、基盤に対して図2に示すような水平加速度を入力しておこなうものとし、入力加速度の最大片振幅を50 Galとしている。地盤のモデルは、新潟地盤を用い、土質諸定数は、Seedらによるものを参考にしている。初期状態 $K_0$ 値は0.5とした。

## 3. 結果 および考察

改良地盤材料のせん断弾性係数とポアソン比をそれぞれ3000 kgf/cm<sup>2</sup>と0.4とし、改良前後においてどれ



要素数 54 節点数 70

Improved Element  
(19~24 and 31~35)

図1 要素分割図

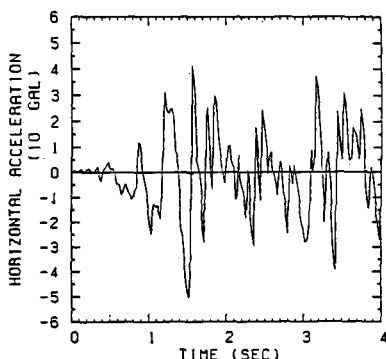


図2 入力加速度(水平方向)

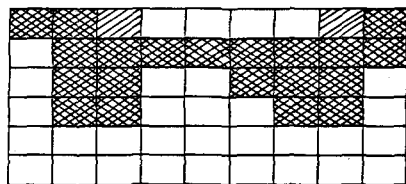
けの違いがあるかを解析する。図3は破壊要素の比較である。改良土の破壊された要素の数が減少していることがわかる。要素26の周辺を改良土によって囲むことによって液状化がみられなくなったことがわかる。又、要素の破壊は表面に近いところで起こっている。図4は、接点36の時間と水平方向加速度を示している。約2秒までの間は改良土と未改良土の違いはみられないが、2秒以後からは少しずつ両者の違いがみられ、改良土の方が比較的、応答加速度が小さくなっている。図5は要素26の時間と過剰間隙水圧との関係を示している。間隙水圧は入力加速度が大きくなる1秒前後から発生し上昇していく。両者を比較すると明らかに違いがみられ、改良土の間隙水圧は最終的に未改良土の場合の約1/10の値となっている。

これらの解析結果をまとめると次のようなことがわかる。改良前では表面に近い領域で液状化が生じやすく、側方境界からやや離れた要素に多く液状化がみられる。一方、改良後においては、改良土および改良土に囲まれた地盤要素の液状化はみられない。これは改良地盤で囲まれる領域がせん断変形を起こしにくいためと考えられる。今後更に液状化防止効果に関する追加解析をおこなって検討する必要があると考えられる。

### 参考文献

- 1). 日本海中部地震による管路の被害調査, (財)建設工学研究振興会, 1984
- 2). 第40回年次学術講演会講演概要集
- 3). O.C.Zienkiewicz and P.Bettes: Soil Mechanics-Transient and Cyclic Loads (ed. G.N.Pande et al), John Wiley & Sons, 1982
- 4). H.Hirai et al.: LIQUEFACTION ANALYSIS OF SAND DEPOSITS BY AN ELASTIC-PLASTIC CONSTITUTIVE MODEL, Proc. of JSCE No. 352/III-2, Dec 1984
- 5) Seed, H.B. and Idriss, I.M.: Analysis of soil liquefaction: Niigata earthquake, Proc. ASCE, vol. 93, No. SM3

Unimproved Soil



Improved Soil

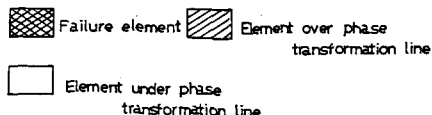
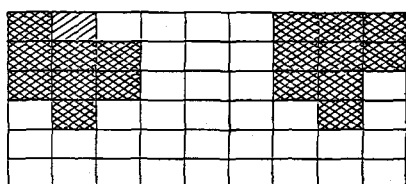


図3 破壊要素の比較

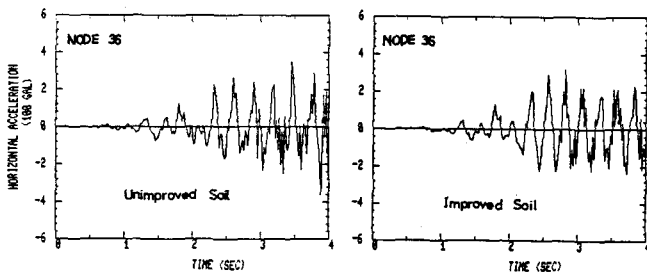


図4 時間 - 水平方向加速度

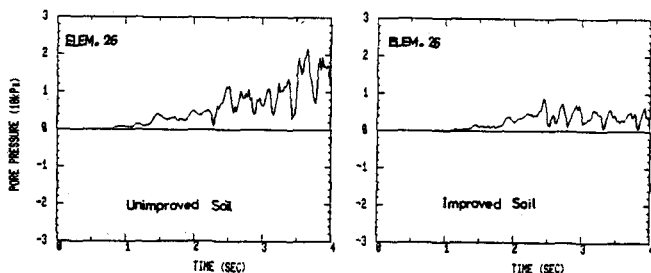


図5 時間 - 過剰間隙水圧