

III-278 主応力方向の回転による粒状体モデルの液化化解析

東北大学大学院 学生員 〇土倉 泰  
 日本道路公団 正員 江口和義  
 東北大学工学部 正員 岸野佑次

1. まえがき: 著者らは主応力方向の回転に伴う液化化現象を徹視的に考察するために、粒状体モデルを用いた数値実験を試みた。本文においては、この解析の概要を示すとともに主応力方向の回転振幅の影響や配位テンソルに基く粒状体の構造変化の状況等について説明する。

2. 数値実験の方法: 粒状体モデルは文献 1) にあるものを用いた。このモデルは逐次計算から個々の粒子の力の平衡状態を求めるところに特徴があり、静的な試験に対応するものと考えられる。載荷方法には任意応力経路の試験をシミュレートするのに有効であると考えられる、境界の形状を楕円群に拘束した方法<sup>2)</sup>を採用した。ただし非排水状態を考える場合には、粒状体領域の粒子以外の部分が全て水で満たされていると仮定し、水の体積弾性係数  $k_w$  を用いることによって間隙水圧  $p_w$  を

$$p_w = k_w \frac{\Delta V}{V_0} \quad (1)$$

$\Delta V$ : 水部分の体積変化,  $V_0$ : 初期の水部分の体積

と算定すればよい。このとき粒状体の応力増分テンソル  $\Delta \sigma_{ij}$  と境界粒子に与える変位勾配テンソル  $\Delta e_{ij}$  の間の関係は

$$\Delta \sigma_{ij} = K_{ijkl} \Delta e_{kl} \quad (2)$$

$$K_{ijkl} = \frac{1}{A} \sum_B x_i k_{jk} x_l + k_w \frac{V}{V_0} \delta_{ij} \delta_{kl} \quad (3)$$

$V$ : 水部分の体積,  $A$ : 粒状体領域の面積

$k_{ij}$ : 着目している境界粒子の剛性行列

$\delta_{ij}$ : Kronecker のデルタ

として与えられる。 $\sum_B$  は境界粒子についての和である。

解析粒状体は図-1, 2に示すもので、その領域は図中の点線のよう  
 に定めた。まず等方圧状態にあるモデルを排水条件のもと最大主応力  
 方向を鉛直方向に固定したまま所定の主応力値となるまでせん断  
 し、これを初期状態とする。次に非排水条件のもと主応力値を一定  
 に保ったまま主応力の方向を微小角度ずつ回転し、最大主応力方向  
 の鉛直方向からの角度  $\beta$  が所定の値となった後、回転方向を反転す  
 る。以下同様に鉛直方向を中心に振幅角を一定とした両振りの繰り  
 返し回転を行う。粒子数の少ないモデル B については主応力方向の  
 回転振幅の影響を調べるために 3種類の解析を行っている。なお用  
 いた諸定数は表-1に示す通りである。

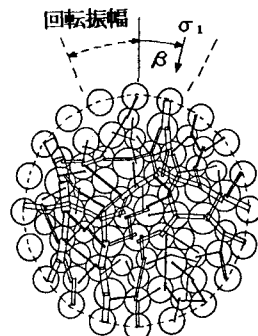


図-1 解析粒状体 (モデルA)

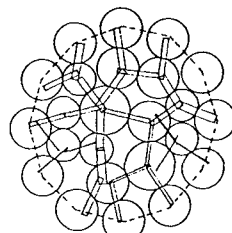


図-2 解析粒状体 (モデルB)

表-1 解析に用いた諸定数

条件	ケース			
	1	2	3	4
モデル	A		B	
振幅角	30°	30°	45°	90°
1 ステップ当たりの回転角度	3°		5°	
平均応力	4.0 × 10 <sup>5</sup> dyn/cm <sup>2</sup>			
主応力差	1.6 × 10 <sup>5</sup> dyn/cm <sup>2</sup>			
粒子間摩擦角	30°	25°		
法線方向バネ定数	0.6 × 10 <sup>6</sup> dyn/cm <sup>2</sup>			
接線方向バネ定数	0.4 × 10 <sup>6</sup> dyn/cm <sup>2</sup>			
水の体積弾性係数	1.0 × 10 <sup>10</sup> dyn/cm <sup>2</sup>			

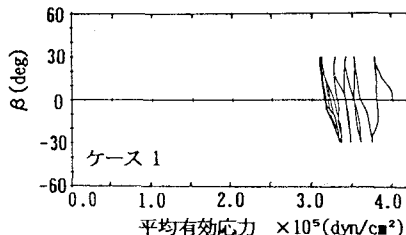


図-3 主応力方向と有効応力の関係

3. 解析結果：ケース1で得られた $\sigma_1$ の方向と平均有効応力の関係を図-3に示す。主応力方向の回転によって過剰間隙水圧が発生し有効応力が減少しているのがわかる。図-4はこのときのせん断ひずみの大きさである。ここで粒子接触方向を統計的に考察するために次に示す配位テンソル $C_{ij}$ （トレースは配位数）を定義する<sup>3)</sup>。

$$C_{ij} = \frac{1}{N} \sum_g (\sum_c n_i n_j) \quad (4)$$

ここに $\sum_g$ は粒子についての和、 $\sum_c$ は各粒子の接触点についての和、 $n_i$ は接触点の単位法線ベクトル、 $N$ は領域内の粒子数である。図-5は最大主応力方向と $C_{ij}$ の最大主値の方向の変化の様子を示しているが両者は徐々に一致していく傾向にある。また図-6は $C_{ij}$ の主値の変化を示している。最大主値 $C_1$ と最小主値 $C_2$ との差は構造の異方度を表すが、これが主応力方向の繰り返し回転に伴って増大・減少を繰り返すことがわかる。そしてこの変化には $C_2$ の影響の大きいことが注目される。

主応力方向の回転振幅の影響を調べる目的で行ったのはケース2,3,4の試験より得られた $\sigma_1$ の方向と平均有効応力の関係を図-7に示す。これらは全て同一の初期状態より始めたものであるが、ケース2については1サイクル経過した段階で既に有効応力の減少がみられなくなり、以後5サイクル経過しても変化がない。これに対してケース3,4の場合は有効応力の減少が顕著であり、特に振幅の大きいケース4では少ないサイクル数において大きく有効応力が減少していることがわかる。

4. あとがき：以上、数値実験を用いて主応力方向の回転による粒状体の変形挙動を調べた例を示した。このようなシミュレーション解析は上述のように粒状体の変形機構を内部構造の変化と関連させて明らかにすることを可能にするので、今後粒子数を増やす等してさらに詳細な解析を行いたいと考えている。

5. 謝辞：日頃御指導御助言を頂いている佐武正雄教授に感謝致します。

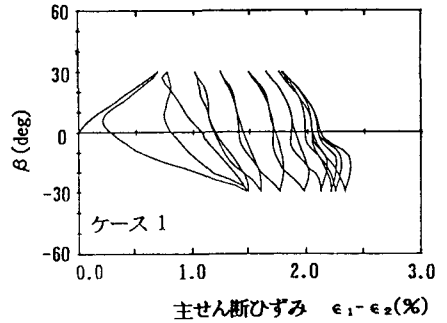


図-4 主応力方向とせん断ひずみの関係

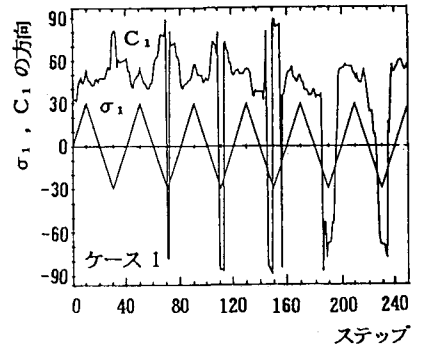


図-5  $\sigma_{ij}$ ,  $C_{ij}$ の最大主値の方向

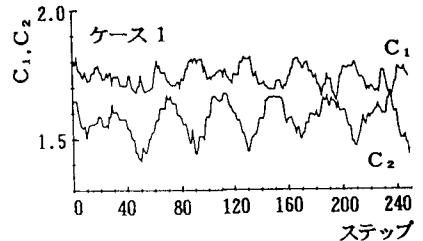


図-6 配位テンソル主値の変化

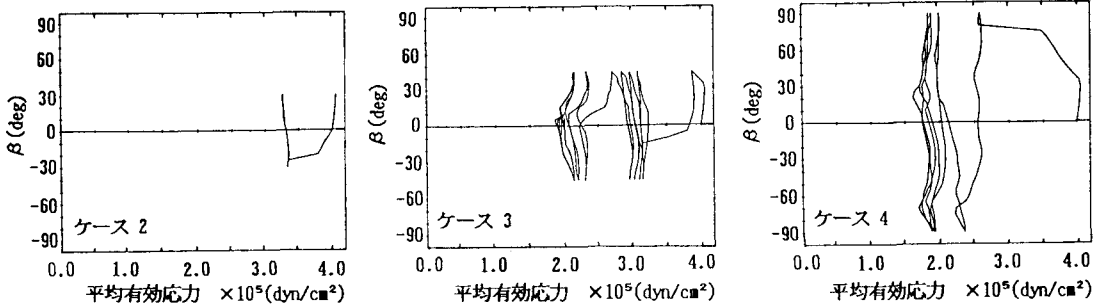


図-7 主応力方向と有効応力の関係

参考文献

1) Kishino(1987): Disc Model Analysis of Granular Media, Pro.US-Japan Seminar on Micromechanics of Granular Materials  
 2) 荒木, 佐武, 岸野(1987): 任意方向荷重を受ける粒状体モデルのシミュレーション解析, 土木学会年次講演会, pp.256-257  
 3) 岸野(1987): シミュレーションによる粒状体の散逸機構の解析, 土木学会年次講演会, pp.252-253