

東北大学工学部 学生員 ○江口和義

東北大学工学部 正員 佐武正雄

東北大学工学部 正員 岸野佑次

1 ま え が き

液状化現象発生のメカニズムの解明に関しては、従来より種々の実験的研究が進められてきた。しかし、これらの研究の大部分は繰り返しせん断試験を対象としたものであるが、最近主応力値一定のまま主応力軸の方向が回転することにより生じる液状化現象が注目されている。そこで本研究においては、粒状体2次元モデルを応用して主応力軸回転による液状化解析を試み、液状化発生の微視的なメカニズムの考察を行った。以下にこの概要を示す。

2 解析方法

本解析においては境界の形状を積乱群に拘束した粒状体モデルのシミュレーション法を採用し、これに間隙水圧の影響を考慮することとした。初期状態の間隙水圧を0とし、その時の体積を V_0 、初期状態からの体積減少量を ΔV とし、透水は瞬時に起るものとするれば、間隙水圧は $p_w = k \Delta V / V_0$ (k は水の体積弾性係数)で表わされる。この応力を一般的に表わせば $u_{ij} = p_w \delta_{ij}$ (δ_{ij} はクロネッカーのデルタ)となる。ここで境界の移動方法について述べる。いま境界の歪増分 $\Delta \varepsilon_{kl}$ を微小とすれば応力増分は、 $\Delta u_{ij} = k \Delta V / V_0 (\delta_{ij} \delta_{kl}) \Delta \varepsilon_{kl}$ と表わされるので、水の部分の剛性行列は $k_{ijkl} = k \Delta V / V_0 (\delta_{ij} \delta_{kl})$ である。一方境界粒子と内部粒子との間のバネにより定まる剛性行列 k_{ijkl} を求めれば、 k_{ijkl} との和の逆行列を算定することにより所期の歪増分を定めることができる。

載荷方法は、先ず、等方圧状態にあるモデルに鉛直軸方向から所定の主応力差となるまで載荷し、これを初期状態とする。この初期状態の主応力 σ_1, σ_2 を一定としたまま、図-1のように主応力軸を微小角度ずつ回転させ、所定の角度になった後、回転方向を反転する。以上同様一定振幅で繰り返し載荷を行う。

以下の解析においては図-2, 3に示すような2つのモデルを対象として、表-1に示す条件と諸定数を用いた。

3 解析結果とその考察

ケース1, 2, 3の試験で得られた平均有効応力($\bar{\sigma}$)と σ_1 の方向(β)の関係をそれぞれ図-4, 5, 6に示す。これはいずれも同一の初期状態より出発したものであるが、ケース1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見えなくなり、以後、5サイクル経過しても変化が見えないうちにに対して、ケース2, 3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3の方が有効応力の減少が早いことが観察される。

次にケース4の試験で得られたせん断応力(τ)とせん断歪(γ)の関係を図-7に示す。この試験における最大主応力の方向の変化とコーオーディネーションテ

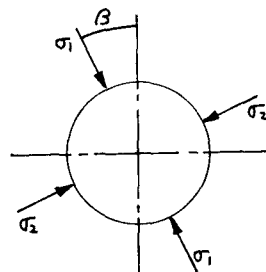


図-1 載荷角度

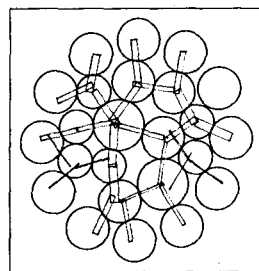


図-2 モデルA

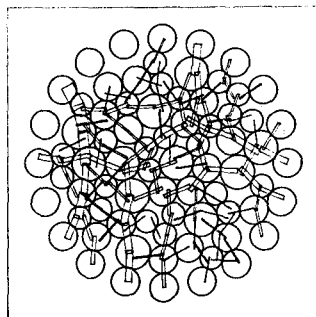


図-3 モデルB

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		30°	45°	90°	45°	
1ステップ当りの載荷増分		5°			3°	
平均応力: σ_0		$4.0 \times 10^5 \text{ dyn/cm}^2$				
偏差応力: $\sigma_1 - \sigma_2$		$1.6 \times 10^5 \text{ dyn/cm}^2$				
粒子間摩擦角: ϕ		25°			30°	
法線方向のバネ定数: k_n		$0.6 \times 10^8 \text{ dyn/cm}$				
接線方向のバネ定数: k_t		$0.4 \times 10^8 \text{ dyn/cm}$				
水の体積弾性係数: k_w		$1.0 \times 10^{11} \text{ dyn/cm}^2$				

ンソル ($\xi = 2\% \sim 20\%$, N : 粒子総数, μ : 接触法線ベクトル) の最大主値の方向の変化を図-8に示す。また主オーティネーションテンソルの主値 C_1, C_2 の変化を図-9に示す。図-9より粒子構造は、荷重が初期の載荷方向から遠ざかるにつれて異方的となり、逆に初期の載荷方向に近づくにつれて等方的となる。また図-8より、粒子構造の主軸は、載荷方向の回転とともに滑らかに、回転するのではなく、載荷方向の正負が変化する際に急変していることが注目される。

4 あ と が き

以上、シミュレーション解析を通して、主応力軸の回転による粗状体の変形挙動の考察を示した本解析においては、結果に不自然な部分も見受けられるが、本解析方法は同一試料について、複数の試験が行なえることなど非常に有用であると考えられるので、今後、更に詳細な解析を行いたいと考えている。

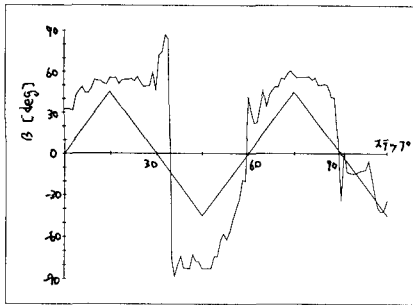


図-8 主応力軸と主オーティネーションの方向の変化 (ケース4)

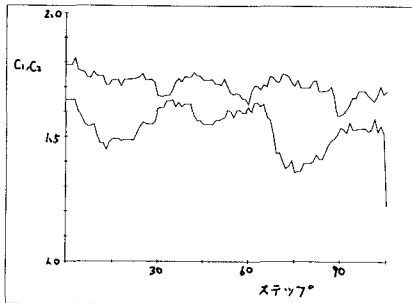


図-9 主オーティネーションの変化 (ケース4)

参考文献

- 1) 岸野佑次: 粗粒子モデルによる液状化のシミュレーション, 第22回土質工学研究発表会 (1987)
- 2) 荒木一司: 任意方向荷重を受ける粗状体モデルの解析, 土木学会第42回年次学術講演会 (1987)

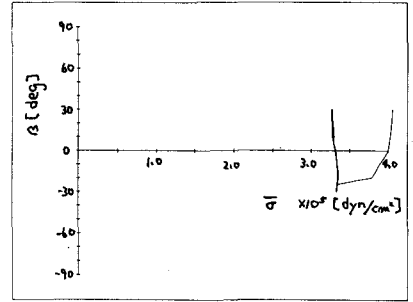


図-4 有効応力と載荷方向の関係 (ケース1)

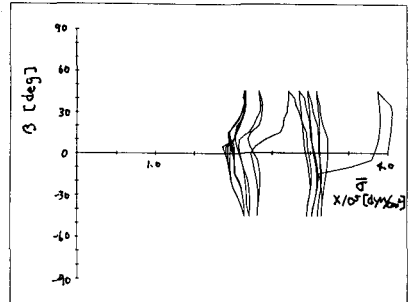


図-5 有効応力と載荷方向の関係 (ケース2)

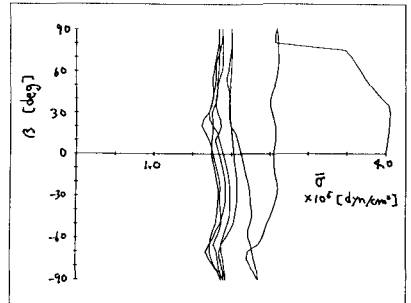


図-6 有効応力と載荷方向の関係 (ケース3)

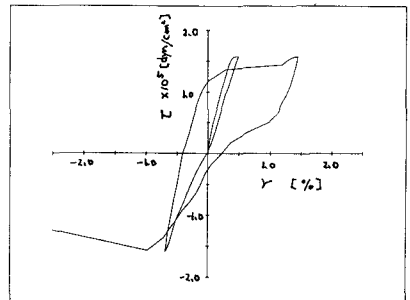


図-7 セン断応力とせん断歪の関係 (ケース4)