

東北大学工学部 学生員 草間 茂基
 同上 正員 竹武 正雄
 同上 学生員 土倉 泰

1. まえがき 日本海中部地震などにおいて見られたように、地盤の液状化は地盤構造の急変部において多く発生した。このように液状化には地盤構造の不均一性が発生要因の一つと考えられるが、著者は地盤材料そのものの不均一性による液状化特性を調べるためにFEMによる2次元液状化解析を行った。液状化解析において問題となるのは土の構成式であるが、ここでは、繰返し載荷に対して比較的良好な結果を与えると考えられているGhaboussi・Momenの構成則¹⁾を用いて準静的な非排水繰返し試験をシミュレートすることとした。ここでは、主に解析手法と予備的に行った要素の繰返し試験の解析結果を中心に述べる。

2. 解析手法 解析に用いたGhaboussi・Momenの構成則と具体的な解析手順について説明する。

2-1 Ghaboussi・Momenの構成則 Ghaboussi・Momenの構成則は等方硬化並びに移動硬化を考慮することのできる非関連流れ則となっている。この構成則における破壊曲面及び降伏曲面の概念図は6次元応力空間において図-1に示すようなものであり、破壊曲面は次式で与えられる。

$$F(\sigma_{ij}) = S_{ij} S_{ij} - \frac{2}{27} [M I_1 R(\theta)]^2 = 0 \quad (1)$$

$$\text{ここに } S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \delta_{ij} I_1 \quad (2)$$

$$I_1 = \sigma_{kk} \quad (3)$$

$$R(\theta) = 2K / ((1+K) - (1-K) \sin 3\theta) \quad (4)$$

また θ はRode角、 M, K は定数である。次に降伏曲面は移動硬化により図-1のベクトル α を方向軸とする次のような関数により表される。

$$f(\sigma_{ij}, \alpha_{ij}, k) = \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij} - [R(\theta) k I]^2 \quad (5) \quad \text{ここに } \bar{S}_{ij} = \sigma_{ij} - I \alpha_{ij} \quad (6)$$

$$I = \alpha_{ij} \alpha_{ij} \quad (7)$$

また θ は動径ベクトル $\alpha - I \alpha$ に対するRode角、 k は等方硬化に対応するパラメータである。 k および α_{ij} は相当塑性歪 $(d\epsilon_{ij}^p = \sqrt{d\epsilon_{ij}^p d\epsilon_{ij}^p})$ を用いて定められる¹⁾。流れ則を定めるための塑性ポテンシャル関数 f は次式を満すように決定される。

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} = \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} - \frac{1}{3} \left(\frac{\partial f}{\partial \sigma_{kk}} \delta_{kk} \right) \delta_{ij} \quad (8)$$

解析に必要な $d\sigma_{ij} \sim d\epsilon_{ij}^p$ の関係を求めるには、 $d\epsilon^p = d\epsilon_{ii}^p$ を圧密およびダイレイタンスーの式より、また更に、 $d\epsilon_{ij}^p$ を有効平均応力の関係の式より求めることとなる。

2-2 予備的解析の条件 側圧一定の三軸非排水繰返し試験をシミュレートすることとし、定数には従来のデータを参考に用いることにした。ここでは主に、ダイレイタンスーパラメータに着目して、これによる液状化特性を調べることを目的として、ダイレイタンスーを与える関数を次のように定める。

$$d\epsilon_{ij}^p = \left[\mu(\xi) - \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{q}{p} \right] d\xi \quad (9) \quad \text{ここに、}\mu(\xi)\text{は次のように定められるとした。}$$

$$\mu(\xi) = \mu_1 \quad (\xi < 0.002), \mu_2 \quad (0.002 < \xi < 0.007), \mu_3 \quad (\xi > 0.007) \quad (10)$$

他のパラメータは一定とし、上式の μ_1, μ_2, μ_3 を変化させて解析を進めることとした。表-1に解析に用いた主なパラメータを示す。載荷は、側圧を一定値(2.0 kgf/cm²)とし、軸圧を片振幅(0.5 kgf/cm²)として応力制御の繰返し載荷を行った。

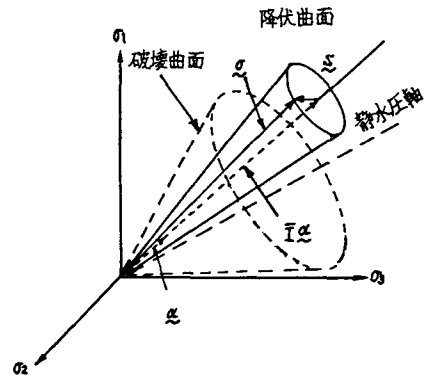
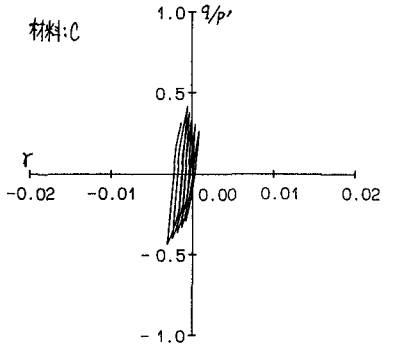
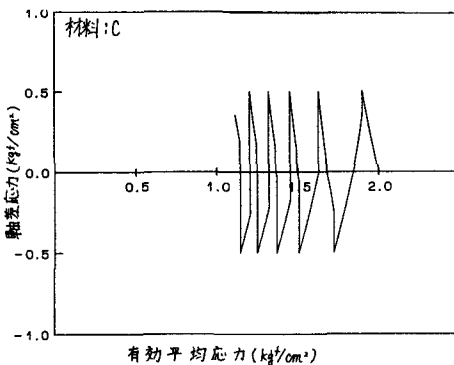
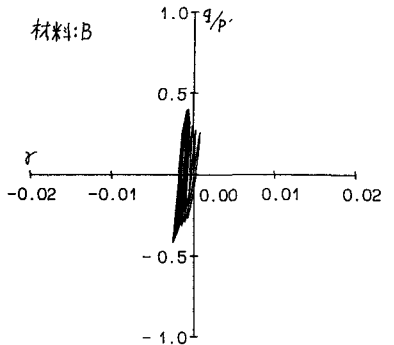
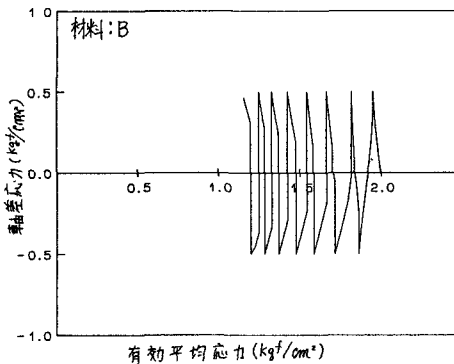
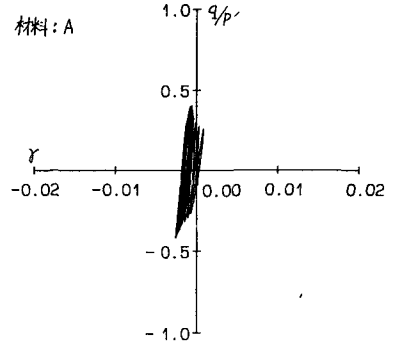
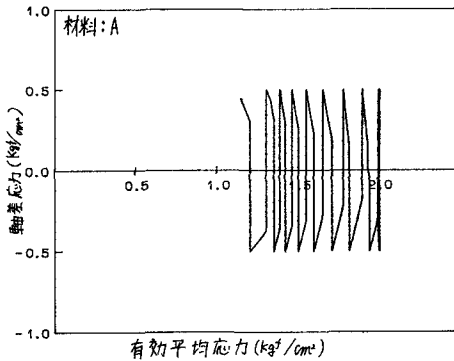


図-1 Ghaboussi・Momenのモデル

3. 解析結果

ダイレイタンシーパラメーターは、結果より、塑性ひずみの小さい範囲存在ひずみ硬化が小さい段階では、間隙圧変化を与える割合が高く、ひずみ硬化が進行するにつれて、このパラメーターは材料の安定度を示すパラメーター的な役割をはたすと考えられる。一般に μ_1 μ_2 μ_3 で μ_2 μ_1 が小さいものほど安定した土の挙動を示すと考えられる。

パラメータ 材料モデル	間隙比	初期ヤング率	ポアソン比	ダイレイタンシーパラメーター		
	e_0	E_0	ν	μ_1	μ_2	μ_3
A	0.75	2000	0.20	0.1	0.5	0.9
B	0.75	2000	0.20	0.3	0.5	0.7
C	0.75	2000	0.20	0.5	0.5	0.5



4. あとがき

以上、Ghaboussi・Momenの構成則を中心として解析方法を示し、予備的な解析として、特にダイレイタンシーパラメーターを変化させた結果について示した。これらの定数を組み立て不均一性モデルを設定した有限要素解析の結果については講演会当日発表の予定である。なお、間隙比による影響は少ないことも今回のシミュレーションで示された。

図-2 有効応力経路

図-3 剪断歪-応力比関

参考文献

- 1) J. Ghaboussi, H. Momen: Modeling and Analysis of Cyclic Behaviour of Sands, Soil Mechanics - Transient and Cyclic Loads, John Wiley & Sons (1982) 313-342
- 2) 川本, 林: 地盤工学における有限要素法-培風館 1978