

III-73

多層系地盤の強度特性：弾塑性解析の数値実験による検討

埼玉大学大学院 中山秀雄
埼玉大学工学部 小田匡寛
明治大学農学部 田中忠次

1. はじめに

自然に堆積した土は、一般に層状の構造を成している。例えば、砂と粘土の互層構造はしばしば見受けられる。このような多層系地盤の強度特性は、各層間の相互作用の結果、巨視的な異方性を呈することが知られている。

本研究は、層間の相互作用による多層系地盤の強度異方性を調べるために、非関連流れ則を用いた弾塑性解析による数値実験を行い、同条件で行った実際の室内実験の値と比較し、層間の相互作用の機構や、その巨視的強度特性への効果を具体的に解明しようとするものである。

2. 数値実験

解析には、非関連流れ則に基づく弾・完全塑性モデルを用いた。尚、ここで言う非関連流れ則とは、降伏条件 f はDrucker-Pragerモデルの(1)式で

$$f = \alpha I_1 + \bar{\sigma} - K \quad \dots\dots(1)$$

$$I_1 = 3\sigma_m = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

$$\bar{\sigma} = \left\{ \frac{1}{2} (S_x^2 + S_y^2 + S_z^2 + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$S_x = \sigma_x - \sigma_m, S_y = \sigma_y - \sigma_m, S_z = \sigma_z - \sigma_m$$

α, K : 定数

塑性ポテンシャル g は、主応力表示すると、ストレス・ダイラタンシー関係から導かれる(2)式で

$$g = \frac{\sigma_1^\beta}{\sigma_3} - C$$

β, C : 定数

そして、その応力・ヒズミ関係は、ベクトル表示を用いて(3)式で表されるものである。

$$d\sigma_{ij} = \left(E_{ij} - \frac{E_{im} E_{nj} \frac{\partial f}{\partial \sigma_m} \frac{\partial g}{\partial \epsilon_n}}{E_{mn} \frac{\partial f}{\partial \sigma_m} \frac{\partial g}{\partial \epsilon_n} - \frac{\partial f}{\partial \epsilon_m} \frac{\partial g}{\partial \sigma_n}} \right) d\epsilon_j \quad \dots\dots(3)$$

次に、使用した4タイプの有限要素モデルを図-1に示す。モデルは実際の室内実験に合わせて、寸法6cm(高さ)×4cm(幅)×1cm(厚さ)で、砂とガラスビーズの互層構造である。ここに

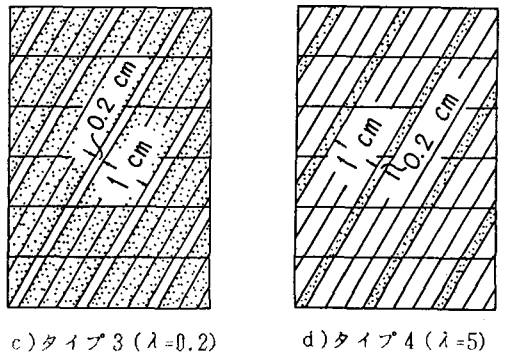
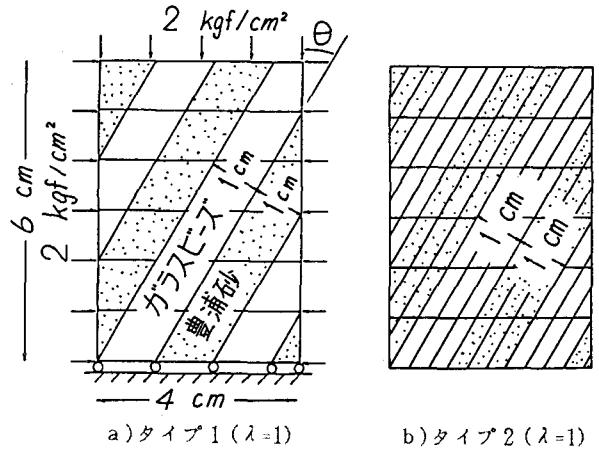


図-1 有限要素モデル

表-1 材料パラメータ

パラメータ	豊浦砂	ガラスビーズ
ヤング率 (kgf/cm²)	350	250
ポアソン比	0.2	0.2
内部摩擦角	45°	35°
ダイラタンシー角	11°	17°
単位体積重量 (kgf/cm³)	0.0016	0.0015
静止土圧係数	0.2929	0.4264

$$\lambda = \frac{\text{ガラスビーズ層の厚さ}}{\text{砂層の厚さ}}$$

θ : 堆積面と载荷方向のなす角の大きさ

であり、各タイプの諸条件は

タイプ1 : $\lambda = 1$

タイプ2 : $\lambda = 1$ で、一つの砂・ガラスビーズ層を3等分割

タイプ3 : $\lambda = 0.2$ で、一つの砂層を3等分割

タイプ4 : $\lambda = 5$ で、一つのガラスビーズ層を3等分割

である。材料パラメータの値は要素試験の結果に基づき表-1の様に決定し、実際の室内実験と同様に、平面ヒズミ状態で、境界は上下端面鉛直方向固定、水平方向自由、载荷は側圧 2 kgf/cm^2 で圧密後、ヒズミ制御で行った。

3. 数値実験の結果

数値実験より得られた偏差応力($\sigma_1 - \sigma_3$)・軸ヒズミ ϵ_1 関係の一例として、タイプ1の場合を図-2に示す。この曲線の傾向は、ピーク後は、ヒズミ軟化を示す実地盤のそれとは相違するが、ピークまでは類似している。このピーク時の偏差応力から求めた内部摩擦角 ϕ_f と堆積面と载荷方向のなす角 θ との関係を図-3、図-4に示す。

図-3において、破線は同条件での実測値であるが、実測値の変動性を考慮すれば、数値実験値は実測値と定量的にも一致している言えよう。また、タイプ2の値はタイプ1の値よりもやや小さい傾向にある。

さらに図-4においては、タイプ3($\lambda = 0.2$)の値がタイプ4($\lambda = 5$)の値よりも大きくなっており、強度特性が良く表れている。

4. おわりに

非関連流れ則に基づく弾・完全塑性解析により多層系地盤モデルの強度特性を調べた。数値実験の結果は、実測値との近似、層厚比 λ の ϕ_f への影響など、多層系地盤の強度特性を良く表している。

参考文献

- 1) Oda, M. (1981): Anisotropic Strength of Cohesionless Sand, ASCE, Vol. 107, No. GT9, pp. 1219-1231
- 2) 田中忠次(1979): 土質構造物への適用を目的とした一般化弾塑性モデル有限要素解析法, 農土試報, Vol. 18, pp. 101-122

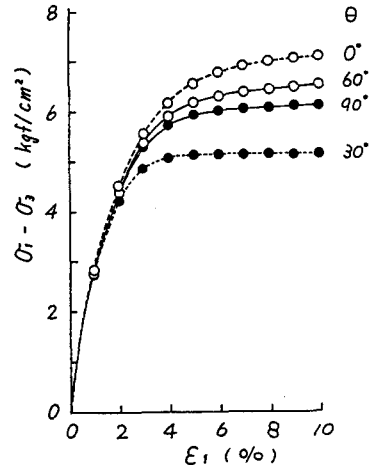


図-2 タイプ1の偏差応力・軸ヒズミの関係

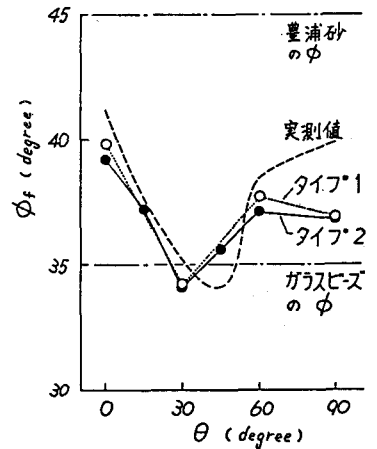


図-3 ϕ_f と θ の関係 ($\lambda = 1$)

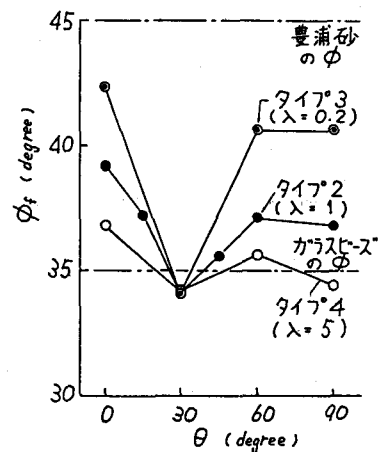


図-4 ϕ_f と θ の関係 ($\lambda = 0.2, 5$)