

電力中央研究所 正岡本敏郎
電力技術整備(株) 田中栄治

1. はじめに

弾塑性論に基づいた土の構成式の多くは等方硬化則を適用している。近年、液状化の有効応力解析においては移動硬化則を導入することを試み、その適用性を確認しつつある。一方、Mróz はこれら等方硬化則と移動硬化則を組み合わせた理論を打ち立て、これを異方硬化則と称し種々の地盤材料への適用性を探っている。以上の降伏関数の考え方は次のように整理される。すなわち、降伏関数が応力だけの関数として表示したのが式(1)であり、等方硬化則及び移動硬化則はそれぞれ式(2)、式(3)として拡張される。Mróz はこれらを式(4)のように組み合わせたことになる。式(4)は一般的降伏関数の表示ということになる。Mróz は既に異方硬化則 $f(\sigma_{ij}) = 0$ (1) も過圧密粘土や岩に適用しており、^② 我国でも近年その適用性を確認しつつある。本報告 $f(\sigma_{ij}) - k = 0$ (2) は、有効応力の観点からみて軟岩にも拡大させたときの適用性を確認することを主眼とし、既往のデータを使って数値解析を行った結果を示すものである。 $f(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) = 0$ (3) $f(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - k = 0$ (4)

2. 解析方法

異方硬化則の定式化はMróz が展開しており、本解析も基本的にはそれに基いた。本解析で使用するパラメータを図1に示した。異方硬化則の特徴は主に以下の点である。(1)過圧密領域に相当する強度定数を与えておらず、初期の降伏関数を与えておく。この降伏関数は移動したり、収縮・膨張を行うので、過圧密領域の強度は主にこの収縮によって決定される。(2) associated flow rule に基づき、硬化関数は降伏関数と応力共の位置により決定される。(図1参照)

図1に示したパラメータは既に発表した泥岩のデータに基づき決定されているが、それらのうち比較的確定しにくいものは R と μ である。本解析は(1)圧密曲線への μ の影響、(2) $\mu=0$ $R=5$ としたとき、(3)(2)を標準としたときの μ の影響、(4)(2)を標準としたときの R の影響を調べることにした。応力経路は三軸圧縮($\sigma_3 = -1$)状態であり、排水条件としている。また解析は応力増分形式で一解析あたり50ステップ以上とし、倍精度で行った。初期の応力共はいずれも P_c ($P=40, \delta=0$)にあるとした。

3. 解析結果
(1)圧密曲線への μ の影響
 P_c から除荷をしたとき及

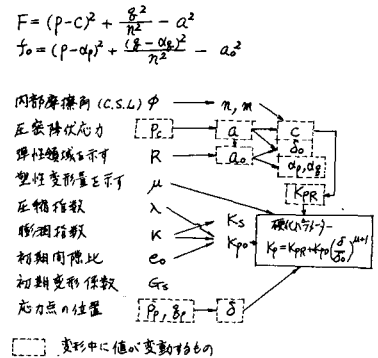


図-1 パラメータの相関

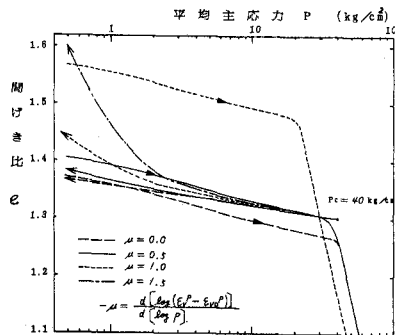


図-2 圧密曲線へ及ぼす μ の影響

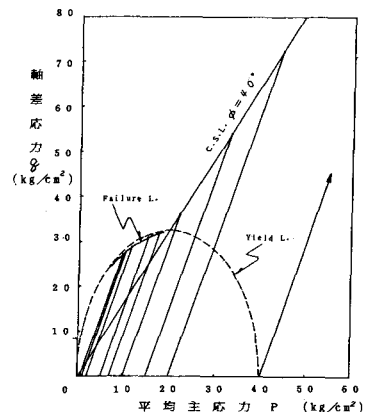


図-3 降伏曲線及破壊曲線

び $P = 0$ まで除荷した後再び載荷したときの圧密曲線を図2に示した。このとき等方的な除荷・載荷としている。 μ の値により圧密曲線に差異が認められ、適当な μ を選定すれば膨張性の高い材料にも本構成式を適用することができると考えられる。

(2) $\mu = 0$ $R = 5$ としたときのせん断特性

$\mu = 0$ 近傍が実測の圧密試験に近く、また $PC = 40$ 位であるのでこれらの値を採用してせん断特性を調べた。拘束圧を変える場合には P_c から等方的に除荷をして所定の拘束圧になるとしている。図3には破壊曲線を示したが、初期の降伏関数下で収縮して破壊応力が定まることを示している。図4には応力～歪関係を示した。過圧密部では初期の変形特性にあまり差異は認められず、破壊近傍で若干差異が認められる。一方正規部に相当する $P = 40 \text{ kg/cm}^2$ では過圧密部と全く様相が異なる。これらは実測とよい相関を示している。また図5には体積歪を示した。実測では過圧密部においていずれの拘束圧でも0.5%以上の最大圧縮量を示しているが、解析結果では拘束圧により0.6～2%となっており若干差異がみられる。図6にはダイラテンシー関係を示した。図には破壊近傍だけを示しており、それ以下の応力比では矢印の方向に延びているという関係がある。よって破壊近傍では実測と比べるとよくダイラテンシー特性を表示しているといえる。

(3) μ の大きさのせん断特性への影響

P_c から除荷をするとき(1)に示したような膨潤特性の差異が μ の値により表現される。そこで μ の値を変化させて膨潤特性がせん断に与える影響を調べるため、 P_c から所定の拘束圧まで除荷した後三軸圧縮をしたときの強度を図7に示した。黒丸は $P = 0$ まで除荷してから所定の拘束圧まで圧密した場合の結果であるが、いずれも膨張により強度が小さくなることを示している。

(4) R の大きさのせん断特性に与える影響

図8には $\mu = 0$ として R を変動させたときの応力～歪関係を示した。 R が小さいと弾性的性質が大きいが、解析では R が小さいほどぜい性破壊を生じやすいことを示している。

4. おわりに 今回は解析ケースが少ないうえ、軟岩への異方硬化則の適用性は確認できたと考えられる。

参) ① Mróz (1967) "On the description of"

J.M. Phys. Solids ② Mróz, Norris,

Zienkiewicz (1979) "Application of an anisotropic" Geotech. ③ 岡本 和雄 大塚 大樹 (1981) "元岩の土質工学学会"

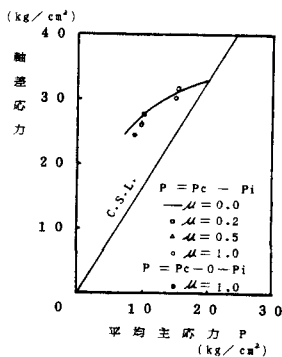


図-7 強度に及ぼす膨潤特性の影響

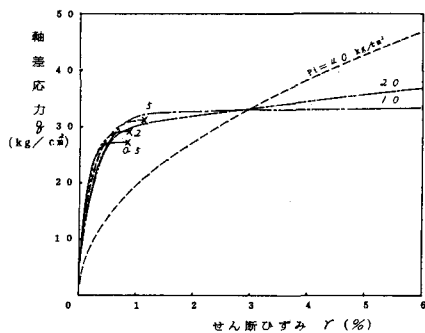


図-4 応力～歪関係

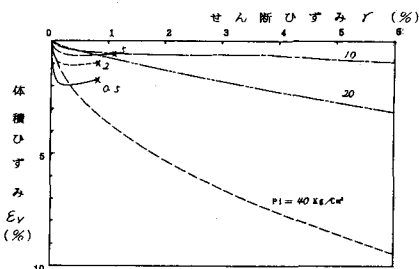


図-5 せん断歪～体積歪関係

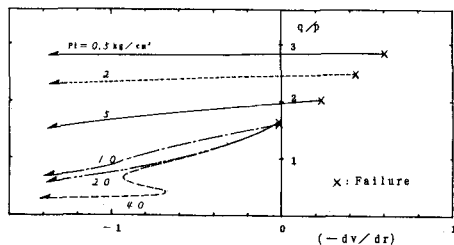


図-6 応力比～歪増分比関係

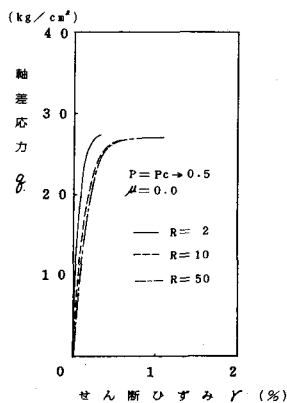


図-8 応力～歪関係に及ぼすRの影響