

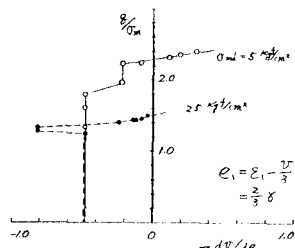
1. はじめに

低圧下の軟岩のせん断変形特性は、せん断初期に主に緩みが原因となって非線型性を示す場合を除くと、弾性的挙動が顕著ではあるが、最大せん断強度に近づくにつれ非線型性があらわれる。この際、正のダイレタンシーを示して、体積が膨張したりする。このようなダイレタンシーが軟岩であられることから、軟岩と過圧密粘土のせん断特性とはかなり似通っていることが近年明らかになってきた。しかし、ダイレタンシーを考慮した軟岩の構成式はほとんどなく、過圧密粘土のせん断変形を記述することの難しさは Cambridge 学派からの提議がないことから窺える。

本報告は、ダイレタンシーを考慮して軟岩のせん断変形を解釈するための一つの方法を考察したものである。

2. 軟岩のせん断変形におけるダイレタンシーの表われ方

図1は、赤井、足立、西らが行った大谷石の試験結果から通常砂などで考えられているストレス～ダイレタンシー関係を求めたものである。せん断初期には $-dv/d\epsilon$ は一定値となるが、破壊近くになると正のダイレタンシーが顕著である。また圧底圧の影響をうけて $(\tau/\sigma_m) \sim (-dv/d\epsilon)$ 関係は一意的に求まらない。 (τ/σ_m) は軸圧底力 σ_m は平均主応力 v は体積歪 ϵ は偏歪歪 筆者らが行った泥岩の変形特性も図2のように一意的に求まらない。また軟岩の変形においても圧底成分とせん断成分があると、せん断成分だけに着目した場合

図-1 $(\tau/\sigma_m) \sim (-dv/d\epsilon)$ (新田より)

にも、図3のように一意的なダイレタンシー関係が求まらない。 v は体積歪のせん断成分、 ϵ はせん断歪

3. 降伏関数に関する $M_{r\phi}$ の考察

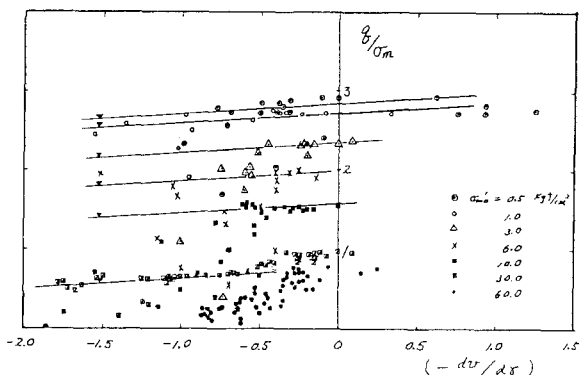
$M_{r\phi}$ は、非線形応力～歪関係を有し歪履歴のある材料の降伏関数として、等方硬化則と移動硬化則を組み合わせたものを提案している。一般的降伏関数は $f(\sigma_{ij}) = 0$ 、等方硬化則は $f(\sigma_{ij}) - f_0 = 0$ 、移動硬化則は $f(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) = 0$ である。これから $f(\sigma_{ij} - \alpha_{ij}) - f_0 = 0$ なる降伏関数を彼は提案している。 α_{ij} は初期降伏曲面の移動をあらわす。

4. 軟岩のせん断変形における $M_{r\phi}$ の考えの適用

用 $M_{r\phi}$ は associated flow rule に基づいている。しかし、軟岩において降伏関数と塑性ポテンシャルが一致するかどうかは確定的でない。砂や正規圧密粘土ではこれらが異なることが近年明らかになり、今回の軟岩のせん断変形を考える上でもこれを踏襲する。よってダイレタンシーを考慮した以下の議論は塑性ポテンシャルについてである。また変形は圧底とせん断の両成分からなると考え、以下せん断成分についてだけ考える。

(1) 正規圧密領域から求めた塑性ポテンシャルの拡張

前回初期降伏条件として考えた図4の直線で示したストレス～ダイレタンシー関係は正規圧密領域に入った場合にもほぼ満足されるようである。したがって初期塑性ポテンシャルとしてもこの関係を満たすと考え、等方硬化則に基づいた塑性ポテンシャルでは図4を説明できない。そこで $M_{r\phi}$ の考えを適用してみる。 α_{ij} の移動のし方は次のように考える。軟岩の場合初期応力状態は等方的であるので σ_m 軸に沿って α_{ij} が移動し、 σ_m 軸

図-2 応力比 $(\tau/\sigma_m) \sim$ 歪増分比 $(-dv/d\epsilon)$ (岡本より)

上のせん断に属する初期降伏値 $(\sigma_m, \theta) = (\sigma_{ms}, 0)$ $(\sigma_{m,s} = 85.76 \text{ kg/cm}^2)$ まで移動したとする。このとき図5のように塑性ポテンシャルが求められるが、初期塑性ポテンシャルが等方的に拡張し、過圧密領域に相当する変形を説明できない。そこで図6のように、初期塑性ポテンシャルより大きい場合にも $(\sigma_{m,s}, 0)$ 点に塑性ポテンシャルが集まるとする。このとき、図6のA, B点は通常おなじみで求められるときの塑性ポテンシャル上の $(-dv/d\sigma)$ が同じ値となるところであり、塑性ポテンシャルが初期の場合より拡がったときにはA, C点が同じ $(-dv/d\sigma)$ 値を与える。このときの塑性ポ

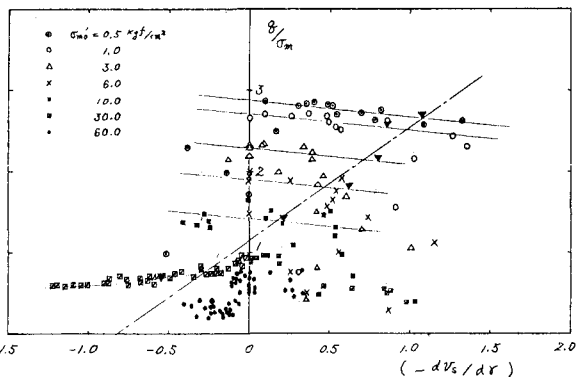


図-3 $(\theta/\sigma_m) \sim (-dv/d\sigma)$

テンシャルは次式のようにある。

$$\theta = \frac{\mu}{\mu-1} \cdot \ln \left\{ (\mu-1) \frac{\theta}{(\sigma_m + \sigma)} + 1 \right\} + \ln(\sigma_m + \sigma) - C_1$$

$$C_1 = \ln(\sigma_{m,s} + \sigma) - \frac{\mu}{\mu-1} \ln(\sigma_m + \sigma), \quad \mu = 1.39, \quad \nu = 1.16$$

以上から $\theta/(\sigma_m + \sigma)$ と $(-dv/d\sigma)$ の関係を示したのが図7であり、図中の直線は μ と ν の値と対応したものである。ばらつきがあり、また直線で示した関係からのズレがあるが、圧密圧力によらずダイレタンシーを説明できそうである。

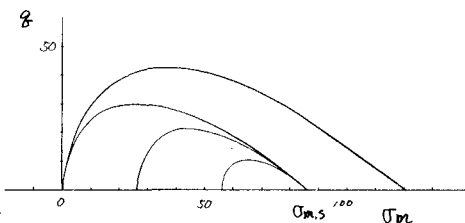


図-4 塑性ポテンシャルの拡がり

(2) ストレス～ダイレタンシー関係への適用

土の変形を表す際、ストレス～ダイレタンシー関係が基本となることが多い。ここでは(1)で示した場合より簡単にストレス～ダイレタンシー関係を評価してみる。すなわち (θ/σ_m) の代りに

$\theta/(\sigma_{m,s} - \sigma_m)$ としてストレス～ダイレタンシー関係を評価し、

図8を得た。 $\theta/(\sigma_{m,s} - \sigma_m)$ の値の小さい領域は弾性的変形をする領域であるので今回考察する範囲から除くと、直線で示した関係にほぼなりそうである。このときの塑性ポテンシャルは図9のようになる。図6と図9は傾向的に似通った特性があることがわかる。

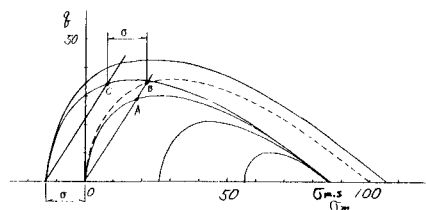


図-5 塑性ポテンシャルの移動

超過圧密領域の変形特性を説明できる表しはあまりみられないのが現状である。

このような状況に鑑み、今回の考察はその一解釈方法として示したものである。

参 赤井、足立、西「堆積軟岩(多孔質凝灰岩)の弾・塑性挙動」土木学会論文報告集、岡本、西、松井、大槻「泥岩のストレス～ダイレタンシー関係

について」第16回土質工学研究発表会前刷、Mao「On the description of anisotropic workhardening」J. Mech. Phys. Solids 1967

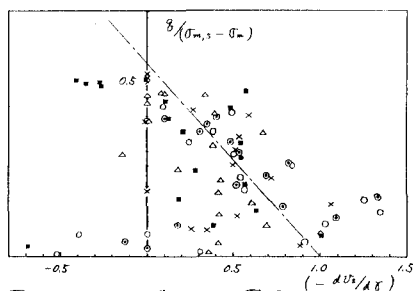


図-7 ストレス～ダイレタンシー関係 (2)

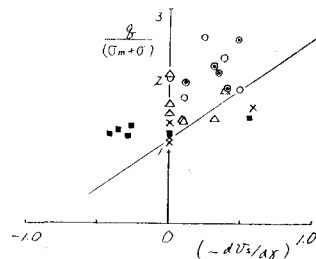


図-6 ストレス～ダイレタンシー関係 (1)

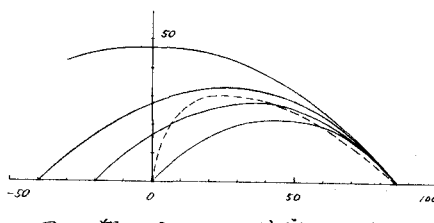


図-8 塑性ポテンシャルの拡がり (2) によ