

III-88 消散エネルギー最小化に基づく飽和粘土の応力ひずみ時間関係

○ 福井大学工学部 正会員 荒井孝彦
(株) 新井組 伊原明宏

1. まづが主：飽和粘土の応力ひずみに関する実験的蓄積の多くは、応力と間げま比（体積ひずみ）の関係で整理されている。このため、応力ひずみ関係を求めるには、多くの場合、応力と間げま比の関係から降伏関数を規定し、Flow-Ruleを用いるという手順がとられてきた。ここでは、応力と間げま比の関係を、飽和粘土の応力ひずみが満足したければならぬ制約条件の一つと考えることにし、種々の制約条件を満足したばら、ある関数（消散エネルギー）の極値を与えるように応力ひずみの関係を逆決定するという試みを報告する。

2. 定式化の概要 1) 準備：とりあえず正容非排水状態の三軸圧縮試験を対象とすることとし、図-1に示すように供試体を、有限要素法の変位法と同じ要素で離散化する。未知数は節点変位、要素応力、要素間げま本圧の3種類である。2) 制約条件：i) 応力-間げま比関係：開口太田モデルの基本式が供試体の各要素にわたって成立するとする。
$$\nu = 2/(1+e_0) \cdot \ln \sigma'_m / \sigma_{m0} + Dq^* \dots (1)$$

ii) 破壊条件： $\gamma = (\frac{3}{2} s_{ij} s_{ij})^{1/2} = M \sigma'_m$, $M = (2-K)/D(1+e_0)$, s_{ij} : 偏差応力 -- (2)

破壊した要素においては応力増分 $d\sigma'_{ij} = 0$ 、間げま本圧増分 $dp \leq 0$ と考える。iii) 連続方程式：赤井・田村による、各要素の体積変化量が間げま水の流入量に等しいという条件式を与える。iv) フリ合ソ条件式：仮想仕事の原理により表わす。v) 排水条件：非排水せん断試験の場合、各要素の体積変化量の総和を0とする。ただし、各要素間では間げま水の流れがあると考え、vi) エネルギー保存則：Cam Clay モデルにおけるエネルギー式をそのまま利用する。

$\sigma'_{ij} d\epsilon_{ij} = K/(1+e_0) \cdot d\sigma'_m + \text{消散エネルギー} \dots (3)$

vii) 熱力学の第2法則：式(3)で与えられる消散エネルギーが負にはならぬという条件で表わす。

viii) 載荷状態：間げま本圧の存在のため、連続体力学におおするよう $d\sigma'_{ij} \cdot d\epsilon_{ij} > 0$ が載荷状態という条件が常に成立するとはいえないようである。そこで、供試体の各要素に与えられる仕事 $\sigma'_{ij} d\epsilon_{ij} \geq 0$ という条件で載荷状態を表わす。

3) 評価関数：極値を求めた関数（評価関数）としては、式(3)から与えられる各要素の消散エネルギーの全要素についての総和をとる。これは非可逆過程の熱力学におけるエントロピー生成

速度最小の法則に基づくものである。
$$J = \int (\sigma'_{ij} d\epsilon_{ij} - \frac{k}{1+e_0} d\sigma'_m) d\text{vol} \rightarrow \text{minimum} \dots (4)$$

なお、図-1のペダスタルと供試体端面の摩擦による仕事は消散エネルギーと考えた式(4)に包摂する。

3. 数値解析：以上に述べた制約条件を満足したうえで、式(4)で与えられる評価関数を最小にするという最適

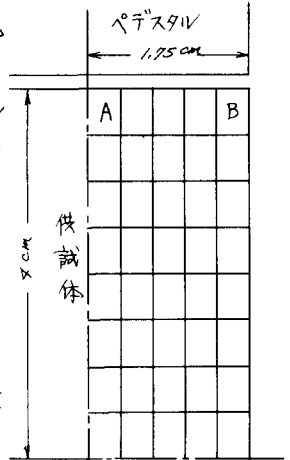


図-1

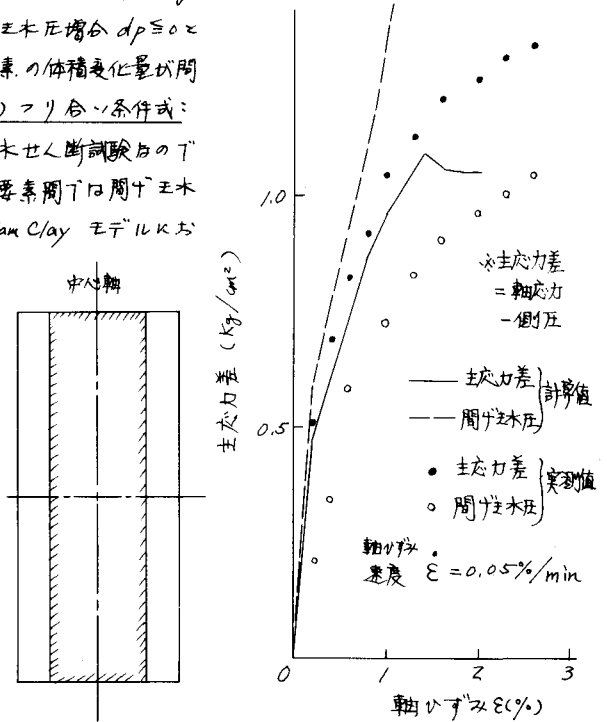


図-2

図-3

