若材令コンクリートの構成則に関する基礎的研究

名古屋大学工学部　学生会員　○井上　健
名古屋大学工学部　学生会員　今枝靖典
名古屋大学工学部　正　会員　田辺忠顕

1．はじめに

コンクリート構造物の温度応力解析を行うには、コンクリートの諸物性を合理的に評価する必要がある。硬化後のコンクリートの強度、弾性係数等の物性に関する研究は、近年、大きな進歩を見せているが、一方、若材令コンクリートの諸物性に関する研究、特にその構成則に関する研究は、今までわずかな数の研究しか報告されておらず、極めて不十分な状態にある。そこで、本研究は、温度応力解析において特に重要となる若材令コンクリートを弾性体の骨材と弾粘塑性体としてセメントペースト部分にわけ、セメントペースト部分にDrucker-Pragerの降伏条件を導入して、Contri L.やMajorana C.E.他にSchrefler B.A.らが提案した解法により、多層不均質構造物質モデルとして、有限要素法解析を試みるものである。

2．粘塑性も考慮にいれた理論

若材令のコンクリートを次のようなものとする。まず、骨材は完全等方弾性体であり、骨材間を占めるセメントペースト部分は、水で飽和された空隙を有する粘塑性透水性体と考える。液体の圧縮性と固体粒子の圧縮性を考慮して、これらの各部分に対して以下の有限要素法による定式化を行う。

若材令コンクリート共試体に対して、仮想仕事の原理を適用し、マトリックス表示にすると釣合方程式は次式になる。

$$K_T\, d\phi/dt - L\, dp/dt - df/dt = 0 \qquad \cdots\cdots (1)$$

ここで、ϕは節点変位、pは節点における間隙水圧、fは外力を示し、K_T は剛性マトリックス、Lは力の釣合における間隙水圧の影響と、要素中心点の流動における固相の体積変化の影響を示す２つのマトリックスとを組み合わせたマトリックスである。

一方、液相については、Darcyの法則に従うと仮定する。流れの連続方程式にGalerkin 法を適用すると次式になる。

$$H p + S\, dp/dt + L^T d\phi/dt + f_p = 0 \qquad \cdots\cdots (2)$$

但し、Hは流れマトリックス、Sは液体と固体の圧縮性を示すマトリックス、L^TはLマトリックスの転置マトリックス、f_pは外力の変化である。

式（1）と（2）を組合せてマトリックス表示すると、

$$\begin{bmatrix} [0] & [0] \\ [0] & [H] \end{bmatrix} \begin{matrix} u \\ p \end{matrix} + \begin{bmatrix} [K_T] & -[L] \\ [L^T] & [S] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} du/dt \\ dp/dt \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} df/dt \\ f \end{Bmatrix} \qquad \cdots\cdots (3)$$

この行列方程式の解は、次の差分行列方程式より求めることができる。

$$\begin{bmatrix} [K_T] & -[L] \\ [L^T] & [S] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta u \\ \Delta p \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta f \\ 0 \end{Bmatrix} \qquad \cdots\cdots (4)$$

この場合、セメントペースト部分の粘塑性（クリープ）を考慮しなければならない。全ひずみは、弾性ひずみと塑性ひずみの和と仮定する。塑性ひずみは、降伏条件FがF≧0を満たすときに生ずる。降伏条件としてContri L．らは、Mohr-Coulomn則を用いたが、ここでは、以下に示すDrucker-Pragerの降伏条件を用いることにする。

$$F = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k \qquad \cdots\cdots (5)$$

但し、　$\alpha = 2\sin\phi / \{\sqrt{3}\,(3 - \sin\phi)\}$、$k = 6c\sin\phi / \{\sqrt{3}\,(3 + \sin\phi)\}$

ここで、ϕは内部摩擦角、cは粘着力であり、I_1，J_2は以下に定義する不変量である。

$$I_1 = \sigma_X + \sigma_Y + \sigma_Z$$

$$J_2 = ((\sigma_X - \sigma_Y)^2 + (\sigma_Y - \sigma_Z)^2 + (\sigma_Z - \sigma_X)^2)/6 + \tau_{XY}^2 + \tau_{YZ}^2 + \tau_{ZX}^2$$

F≧0の時の塑性マトリックスの塑性成分は次のようになる。

$$[D] = \frac{[D^{(e)}]\,\partial F/\partial\{\sigma\}\,\{\partial F/\partial\{\sigma\}\}^T\,[D^{(e)}]}{\{\partial F/\partial\{\sigma\}\}^T\,[D^{(e)}]\,\partial F/\partial\{\sigma\} - \{\partial F/\partial\{\varepsilon^{(vp)}\}\}^T\,\partial F/\partial\{\sigma\}} \qquad \cdots\cdots (6)$$

$$[D] = [D^{(e)}] - [D^{(vp)}] \qquad \cdots\cdots (7)$$

但し、$[D]$は全体の剛性マトリックス、$[D^{(e)}]$はその弾性成分、$[D^{(vp)}]$はその塑性成分である。

3．　解析方法

以上の差分連立方程式を時間ステップ毎に積分する。クリープによる変形は、弾性マトリックスに塑性成分を加えることにより、弾性マトリックスがステップ毎に変化することによって考慮してある。

なお、計算結果他については、当日発表する予定である。

参考文献

1）．　Contri,L.,Majorana,C.E.,et Schrefler,B.A. "Proceeding of International conferrence on concrete of early ages" ,Vol.1 ,1982, pp.193-198, Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, PARIS 6-7-8 AVRIL, 1982

2）．　Lewis,R.W.,Schrefler,B.A. "A fully coupled consolidation model of the subsidence of Venice", Water Resouces reseach Vol.14 ,n°2 ,1978, pp.223-230