

平面格子の等価連続体化法によるRC材料の構成則の構築

名古屋大学工学部 学生会員 久米敦子

名古屋大学工学部 正会員 余 国雄

名古屋大学工学部 正会員 田邊忠顕

1. はじめに

RC構造の解析はひびわれたコンクリート体の方向性を精度よく表す必要性があり、本研究ではその為に平面格子の等価連続体化法を研究する。平面格子はより複雑な格子の基本の要素として役立つと思われるので実用的なすべての他の格子の解析においてここで得られた結果を利用することができる。また、この比較的単純な構造の場合における等価な連続体の基本的な特性を容易に明らかにすることができる。

2. 剛性マトリックス

xy 座標を角 φ だけ回転させた $\xi\eta$ 座標におけるひずみの構成要素はひずみの回転マトリックスを用いて次のように表すことができる。

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{\xi} \\ \varepsilon_{\eta} \\ \gamma_{\xi\eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \varphi & \sin^2 \varphi & \cos \varphi \sin \varphi \\ \sin^2 \varphi & \cos^2 \varphi & -\cos \varphi \sin \varphi \\ -2 \cos \varphi \sin \varphi & 2 \cos \varphi \sin \varphi & (\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\tilde{\varepsilon} = G_{\varepsilon} \varepsilon \quad (2)$$

図1のように等間隔の平行なバーの列を持つ格子平面の剛性マトリックスを求める。 i 番目のバーの列の方向角を α_i 、その引張剛性を $E_i A_i$ 、2つの平行な列の間の距離を b_i とする。異なった方向角を持つバーの列の数を n とする。それぞれの列のひずみ ε_i は格子のひずみ状態の一部を構成するので、ひずみの回転マトリックス G_{ε} の1行目で構成されるマトリックスによって

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_i \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha_1 & \sin^2 \alpha_1 & \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \cos^2 \alpha_i & \sin^2 \alpha_i & \cos \alpha_i \sin \alpha_i \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \cos^2 \alpha_n & \sin^2 \alpha_n & \cos \alpha_n \sin \alpha_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\hat{\varepsilon} = L_{\varepsilon} \varepsilon \quad (4)$$

と表すことができる。等質変形状態にある格子を任意の直線で切断したとき、それぞれのバーに働いている単位幅あたりの力は

$$\hat{f} = R_n \hat{\varepsilon} \quad (5)$$

$$\text{ここで } R_n = \begin{bmatrix} r_1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & r_i & \\ & & & \ddots \\ & & & & r_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$r_i = \frac{E_i A_i}{b_i} \quad (7)$$

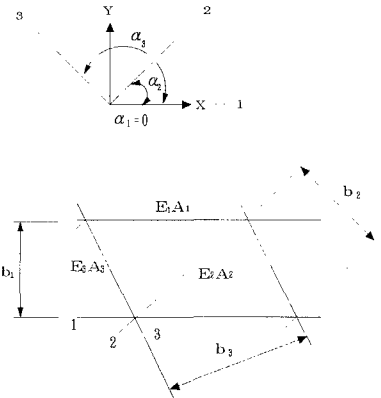


図1 等間隔の平行なバーの列を持つ格子平面図

となり、 i 番目のバーの列の方向から α_i の方向に座標系を回転させなければならないので、面内力 f は、

$$f = \begin{bmatrix} \cos^2 \alpha_1 & \cdots & \cos^2 \alpha_i & \cdots & \cos^2 \alpha_n \\ \sin^2 \alpha_1 & \cdots & \sin^2 \alpha_i & \cdots & \sin^2 \alpha_n \\ \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 & \cdots & \cos \alpha_i \sin \alpha_i & \cdots & \cos \alpha_n \sin \alpha_n \end{bmatrix} \hat{f} = L_e^* \hat{f} \quad (8)$$

となる。したがって、

$$f = L_e^* R_n L_e \varepsilon = D \varepsilon \quad (9)$$

$$D = L_e^* R_n L_e = \begin{bmatrix} \sum_1^n r_i \cos^4 \alpha_i & \sum_1^n r_i \cos^2 \alpha_i \sin^2 \alpha_i & \sum_1^n r_i \cos^3 \alpha_i \sin \alpha_i \\ \sum_1^n r_i \sin^4 \alpha_i & \sum_1^n r_i \cos \alpha_i \sin^3 \alpha_i & \sum_1^n r_i \cos^2 \alpha_i \sin^2 \alpha_i \\ \text{symm.} & & \end{bmatrix} \quad (10)$$

と剛性マトリックスがもとめられる。

3. RCはりのトラスへのモデル化

図2のように斜めひびわれが発生したRCはりを図2のようにトラスでモデル化する。また、図3での部材①は斜めひびわれが発生しているコンクリートを圧縮斜材、部材②は引張鉄筋を水平材、部材③はスターラップを垂直材として、それぞれモデル化した。各部材の E, A, b の値はそれぞれ次のように書くことができる。

$$E_1 = E_c \quad (E_c : \text{コンクリートのヤング係数})$$

$$E_2 = E_3 = E_s \quad (E_s : \text{鉄筋のヤング係数})$$

$$A_1 = b_1 w$$

$$A_2 = A_s \quad (A_s : \text{引張鉄筋の断面積})$$

$$A_3 = A_w \quad (A_w : b_3 \text{ を横切るスターラップの断面積})$$

$$b_2 = d \quad (d : \text{有効高さ})$$

$$b_3 = \frac{d}{\tan \alpha_1}$$

$$\text{以上より、} \quad r_1 = E_c w, \quad r_2 = \frac{E_s A_s}{d}, \quad r_3 = \frac{E_s A_w}{d} \tan \alpha_1 \quad \text{と}$$

なる。

これらの値を式(10)に代入すると、剛性マトリックスが得られる。

4. 解析概要

解析は、構造物を要素分割し、要素ごとに対応する剛性マトリックスを用いる。弾性範囲の解析結果として図4のような結果が得られた。弾性範囲では解析モデルは実験値と比較して実際の挙動を精度よく表しているといえよう。非線形による終局計算の結果は発表時に報告する予定である。

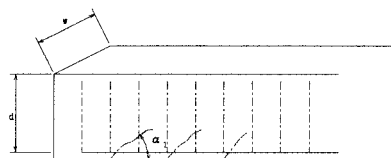


図2 ひび割れが発生したコンクリートはり図

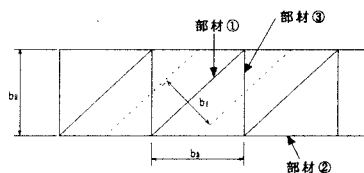


図3 解析モデル図

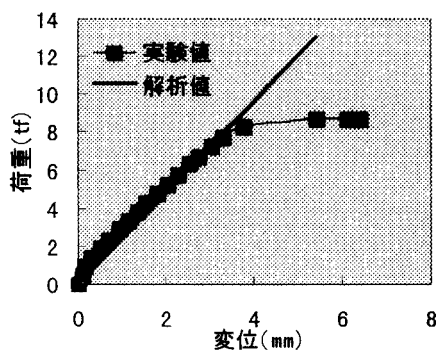


図4 荷重－変位関係