V－258　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. 序論

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があり、コンクリートの応力ひずみ関係を正確に記述することは、最も基本的な要件である。従来、コンクリートの構成則に関する研究は膨大な数にのぼり、これらはいずれも厳密な理論構成の上でモデルが構築されているものの、実際の応用となると、多くの計算時間が必要で、簡便な利用は不可能であることも多い。そのために本研究ではひびわれたコンクリート体を格子の 1 あるいは 2 成分と考え、単純な一軸応力ひずみ関係を用い、鉄筋と共同して格子モデルを形成することを考える。さらに、この格子モデルを等価な連続体構成式へ導くことによって、より簡易と思われるRC 要素構成則を検討してみる。

2. 平面格子の連続体化への理論

図 1 のように平行なバーの列を持つ格子平面を考える。格子が存在している連続体のひずみを $\varepsilon=\begin{bmatrix}\varepsilon_x & \varepsilon_y & \gamma_{xy}\end{bmatrix}^T$、格子の応力を $f=\begin{bmatrix}f_x & f_y & f_{xy}\end{bmatrix}^T$ とする。ここで、f は応力とはいいながらも厚さ方向には構造の厚さそのものをとっている。この格子平面の一部を取り出し、図2に示す。i 番目の列の方向角を α_i、その剛性を E_iA_i、平行な列の間の距離を b_i とする。各部材の部材方向のひずみを $\hat{\varepsilon}$ とすると連続体のひずみ ε より、ひずみの回転マトリックスを用いて、

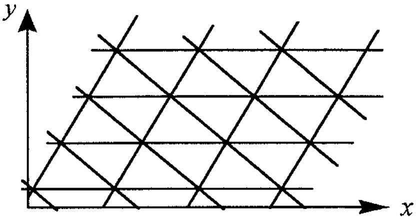

図１　格子平面

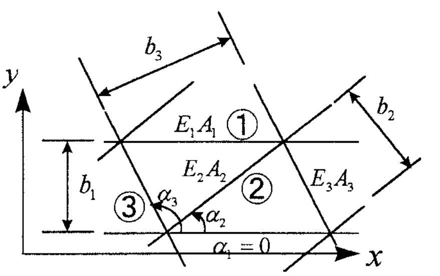

図２　格子平面の一部

$$\hat{\varepsilon}=\begin{bmatrix}\varepsilon_1\\ \vdots\\ \varepsilon_i\\ \vdots\\ \varepsilon_n\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos^2\alpha_1 & \sin^2\alpha_1 & \cos\alpha_1\sin\alpha_1\\ \vdots & \vdots & \vdots\\ \cos^2\alpha_i & \sin^2\alpha_i & \cos\alpha_i\sin\alpha_i\\ \vdots & \vdots & \vdots\\ \cos^2\alpha_n & \sin^2\alpha_n & \cos\alpha_n\sin\alpha_n\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\varepsilon_x\\ \varepsilon_y\\ \gamma_{xy}\end{bmatrix} \tag{1}$$

と表すことができる。次に応力であるが、格子部材はすべて一軸応力状態とするので、その部材方向の応力 $\hat{f}$ は

$$\hat{f}=R_n\hat{\varepsilon} \tag{2}$$

ここで、
$$R_n=\begin{bmatrix}r_1 & & & & \\ & \ddots & & 0 & \\ & & r_i & & \\ & 0 & & \ddots & \\ & & & & r_n\end{bmatrix}、\quad r_i=\frac{E_iA_i}{b_i} \tag{3}$$

である。応力の回転マトリックスを適用することによって、格子の応力 f は、

$$f=L_\varepsilon{}^T\hat{f}=L_\varepsilon{}^TR_nL_\varepsilon\varepsilon=D\varepsilon \tag{4}$$

となり、

キーワード　格子モデル、連続体構成式
〒464-01　名古屋市千種区不老町　TEL 052-789-4484　FAX 052-789-3738

$$D = L_\varepsilon^T R_n L_\varepsilon = \begin{bmatrix} \sum_1^n r_i \cos^4 \alpha_i & \sum_1^n r_i \cos^2 \alpha_i \sin^2 \alpha_i & \sum_1^n r_i \cos^3 \alpha_i \sin \alpha_i \\ & \sum_1^n r_i \sin^4 \alpha_i & \sum_1^n r_i \cos \alpha_i \sin^3 \alpha_i \\ symm. & & \sum_1^n r_i \cos^2 \alpha_i \sin^2 \alpha_i \end{bmatrix} \tag{5}$$

と剛性マトリックスDが求められる。

3. RC2次元要素への適用

得られた剛性マトリックスをRC2次元要素に適用する場合、コンクリートと鉄筋をそれぞれトラス部材におきかえることになる。図3のような要素について考える。コンクリートについては断面積はひびわれの間隔と厚さの積であると考えられるので、コンクリート、鉄筋のそれぞれをモデル化すると、

$$r_c = \frac{E_c A_c}{b_c} = \frac{E_c b_c w}{b_c} = E_c w \text{、} r_s = \frac{E_s A_s}{b_s} \tag{6}$$

となる。ひびわれや鉄筋が複数ある場合も同様にする。

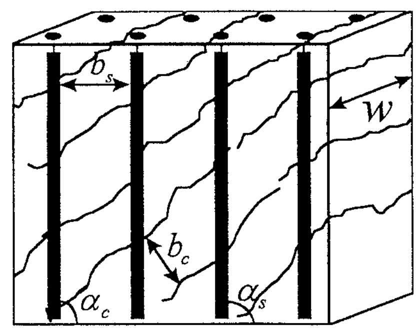

図3 ひびわれが発生したRC要素

4. 解析概要

本研究のモデルを調べるために、Collinsの実験の結果と本モデルによる解析結果とを弾性領域に限って比較した。本モデルによる解析は、式(5)の剛性マトリックスによる構成則を用いて、2次元平面応力状態での、応力とx方向のひずみ、y方向のひずみ、せん断ひずみとの関係をそれぞれもとめた。ここで、ひびわれ、x方向の鉄筋、y方向の鉄筋がなす角度をそれぞれα_1、α_2、α_3とした。このとき、コンクリートのひびわれ発生後の鉄筋の角度の変化も考慮して、E_c、α_1、α_2、α_3をパラメータとして変化させた。比較した結果を図4に示す。用いた供試体は、荷重はせん断のみで、x方向とy方向の鉄筋比はそれぞれ1.306%、1.785%である。

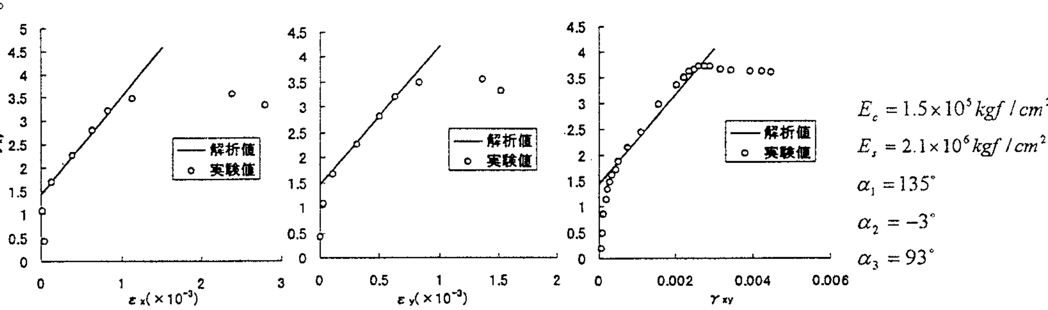

図4 応力ひずみ関係

5. 結論

比較的簡単な理論によって、ひびわれたコンクリート体を格子モデルにおきかえ、さらに等価な連続体構成式に導き、構成則を構築した。この構成則での解析結果をCollinsの実験と比較したところ、実験値に近い値が得られた。とりあえず、本モデルの有望性が認められた形となったが、さらに詳細な検討が必要であることは言うまでもない。

6. 参考文献

1) Kollar, L. and Hegedus, I.: Analysis and Design of Space Flames by the Continuum Method, Elsevir,1985.

2) Vecchio, F.J. and Collins, M.P.: The Response of Reinforced Concrete to In-plane Shear and Normal Stresses, University of Tronto Publication, 1982.