

名古屋大学大学院 学生会員 岩田 誠

名古屋大学工学部 正会員 田辺 忠顕

1. 序 論

コンクリート構造部材の挙動を明らかにする為には、クランク面での力の伝達機構を解明することが不可欠であり、近年、この方面の解析的研究が、実験研究と相まって、さかんになってきた。クランク面に力が直角に作用する場合には、その剛性の評価もそれほど困難とは思われないが、クランク面に平行なせん断力が作用する場合には、鉄筋のダウエル効果や骨材のかみ合わせなどが複雑に影響し、さらにクランクの幾何学形状など多くのパラメータが存在する為に、現在のところ前述の問題に関する正確な予測はきわめて困難である。

もちろん、この問題に対して、今までに幾つかの解析モデルが提案されたが、現象に対する包括的な数学モデルが無かった。このような数学モデルの試みとして、M. N. Fardisらは現象における応答変数(クランクに沿うすべり)と、主な独立変数(せん断力など)の関係式を導いているが、本研究では、そのコンクリートの構成方程式から、有限要素法による定式化を行ない、鉄筋コンクリートの面内せん断変形解析を行なった。そして、一面せん断試験結果と比較し、この解析手法がどの程度実際の現象を模倣できるのか、そしてどこに問題点があるのかについて考察を行なった。

2. Fardisによるクランク面の挙動のモデル化

Fardisによるクランク面の挙動のモデル化において、幾つかの仮定があるが、それは次の様なものである。

- ① クランクの全体的な凹凸の形状を、放物線の組み合わせとしてとらえ、その形は、せん断によるすべりが生じても変形しないとする。また、初期クランク幅を、 z についての一次式で表わされるとする。
- ② クランクの上下の面の接触点は2点のみとし、接触点での力の伝達のみを考慮して、そこで、コンクリートの内部摩擦角の概念を導入している。

以上のような仮定に基づき、Fardisは、(1)式に示す構成方程式を導いた。

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yz} \\ \tau_{xz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{E_c}{1-\nu_c^2} & \frac{E_c \nu_c}{1-\nu_c^2} & 0 \\ \frac{E_c \nu_c}{1-\nu_c^2} & E_s P & -\frac{C_1}{1+\beta_z} \frac{1}{G_{xz} + \alpha_z} \\ 0 & -\frac{C_1}{1+\beta_z} \frac{1}{G_{xz} + \alpha_z} & \frac{1}{G_{xz} + \alpha_z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$G_{xz} = E_c / 2 \cdot (1 + \nu_c), \quad \bar{A}_N = E_s P / l, \quad \bar{A}_D = G_s P / l, \quad G_s = E_s / 2 \cdot (1 + \nu_s)$$

$$\alpha_z = (\bar{A}_N + C_2 \cdot \bar{A}_D) \cdot l / C_2, \quad \beta_z = C_2 \cdot \bar{A}_D / \bar{A}_N, \quad C_1 = 0.23, \quad C_2 = 1.16$$

ただし、(1)式において、コンクリートと鉄筋のヤング率とポアソン比をそれぞれ E_c, ν_c, E_s, ν_s とし、鉄筋の、単位面積当りの引張剛性およびダウエル剛性を、それぞれ $\bar{A}_N, \bar{A}_D$ 、また鉄筋比を P 、クランク間隔を l とする。また、 C_1, C_2 は、クランクの幾何学形状に関する多くのパラメータを含む値で、(1)式をみると C_1 は、せん断変形が面に直角な直応力に及ぼす影響の程度を表わしており、 C_2 は、せん断剛性の低下の程度を示していることがわかる。

ここで、(1)式の応力-ひずみマトリックスをみると、式の上ではクランク間隔 l の要因は消去されてしまっており、つまり、クランクのせん断変形に及ぼす影響は平均化されて、クランク本数が一本のみであらうが、力数本であらうがその区別はなくなり、クランク間では一様になると仮定されているということである。換言すればクランクが存在するところでは鉄筋の歪は一様であるということ、クランク面をまたぐ要素の構成方程式に、

(1)式を適用できる要素の幅 d は、即ち、鉄筋の付着が切れ鉄筋の歪が一定になった幅であると考えることができよう。

3. 数値解析のシミュレーションの程度とその問題点

この理論が、実験結果とどの程度合致するかを検討する為、電力中央研究所で行なわれた一面せん断試験結果を引用した。図-1に、ひびわれが生じた後のせん断面に平行な相対すべり量の、また図-2に、各荷重段階での鉄筋の歪の測定結果をそれぞれ示す。

鉄筋の歪について、図-2に解析結果を、実験値とあわせて示す。ただし実験値は、せん断面から0, 2, 6 cmの位置に貼付した歪ゲージの荷重-鉄筋歪の関係を示している。ここで解析値は、有限要素法で求めた σ_y を、すべて鉄筋が受けもつと考えて鉄筋の歪を算出した。また、せん断面にクランクがはいり前と後では計算モデルが異なるので、クランクがはいり前の各要素の最大主応力を調べ、その最大値がコンクリートの引張強度を越えた時にクランクがはいりと考え、クランクがはいり前と後の2段階で考えた。また、先に述べたように、鉄筋の付着の切れき程度を考慮して、クランク要素の範囲を拡大した。

$V = 12 \text{ ton}$ のおりまで、クランク要素の領域 d は、クランク面を挟んで4 cmとし、以降の荷重に対しては、クランク要素の領域は、せん断面を挟んで8 cmとした。この理論値と実験値を比較すると、理論値は実験値とかなりよく追従している。

次に、クランクがはいった場合の相対すべり量(各要素の両端のすべり方向の変位の差をもつて、この値とする)の解析結果から、0.1 mmの変位に必要な平均せん断応力 τ 、 $d = 4 \text{ cm}$ の場合について図-1に示し、 $V = 12 \text{ ton}$ 以下の範囲で実験値と比較すると、よく一致している。また、 $d = 8 \text{ cm}$ とした場合も、 $V = 12 \text{ ton}$ 以降つまり $V = 40 (\text{kg/cm}^2)$ 以後の実験結果の傾向に近いことがわかる。

4. 結 論

クランク面を含む鉄筋コンクリートの構成式が提案され始めているが、その適用性については、現象の複雑さから、到底実用性は無いであろうとの偏見をもつて、検討を始めた。しかし、実験値との比較から、かなり良く現象をとらえ得るものであることが判明した。

もちろん、今回検討したFardisの理論の前提、及び式の導入過程については、色々と疑問点が挙げられ、また(1)式中の C_1, C_2 は、クランクの幾何学形状に関する多くのパラメータを含むので、その値の決定が困難であるが、これを基礎にして、更に検討を加えれば、将来は、クランク面を含む鉄筋コンクリート構造物の理論的解析も、可能となるように思われる。

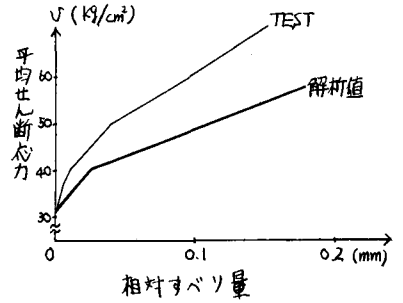


図-1 平均剛性の評価

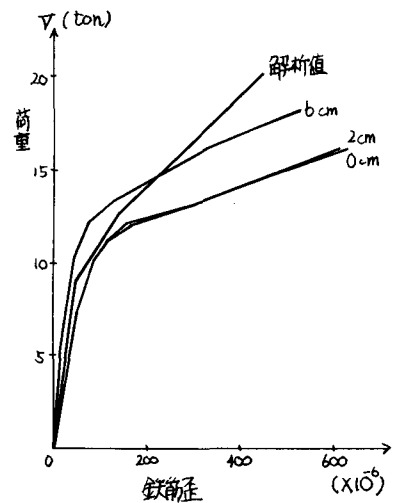


図-2 荷重-鉄筋歪