

I-A 115

ねじり荷重を受けるAFRP筋で補強したコンクリート部材の3次元有限要素解析に関する研究

日本道路公団	正 員	田中 伊純
早稲田大学	正 員	依田 照彦
国士舘大学	正 員	川口 直能
国士舘大学	正 員	久家 秀龍

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のねじりに関する研究としては、Rauschが提案した立体トラス理論とLessingが提案した斜め曲げ理論がよく知られている。しかし、これらの研究は、鉄筋コンクリートについての研究であり、補強筋にアラミド繊維強化複合材料(AFRP)を用いたコンクリート部材のねじりを取り扱った研究はほとんどない。

本論文では、鉄筋の代わりにプレストレスしていないAFRPを補強筋に用いたコンクリート部材が、ねじり荷重を受けたときの変形挙動について、ひびわれたコンクリートの軟化特性を考慮するために、3次元20節点6面体のアイソパラメトリック要素を用いた有限要素法により解析することを目的としている。そして、実験値と有限要素法による計算値をねじりモーメントとねじれ率の関係を中心に比較・検討した。

2. アイソパラメトリック要素

今回用いた3次元20節点6面体のアイソパラメトリック要素を図1に示す。

アイソパラメトリック要素を用いた場合、座標および変位は次式で表せる。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n N_i(\xi, \eta, \zeta) \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n N_i(\xi, \eta, \zeta) \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{bmatrix}$$

ここで、 N_i は要素の形状関数で、 ξ, η, ζ は、それぞれ $-1 \leq \xi \leq 1$ 、 $-1 \leq \eta \leq 1$ 、 $-1 \leq \zeta \leq 1$ で定義されている。

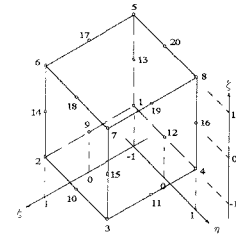


図1 アイソパラメトリック要素

3. 解析モデルおよび境界条件

有限要素法のモデル化としては、図1のような6面体要素を図2のような分割数で用いた。全体モデルの境界条件としては、部材の一端を固定端とし、もう一端の断面の側面に分布状にねじり荷重を作用させた。

4. 解析方法

ひびわれたコンクリートの軟化挙動を割線剛性法により追跡した。

すなわち、コンクリートのせん断応力 τ とせん断ひずみ γ の関係を図3のように仮定し、ひびわれの生

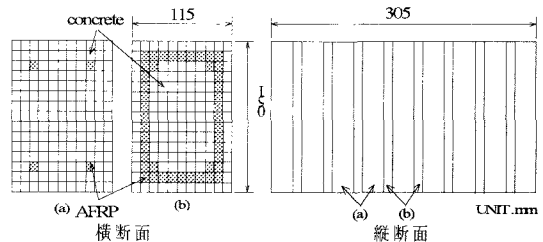
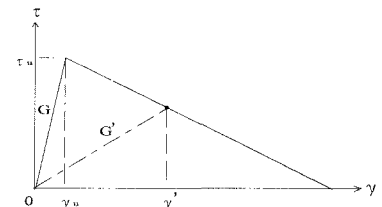


図2 解析モデル(軸方向補強筋の数が4本の場合)

じていない(ひびわれが発生するせん断ひずみを超えていない)コンクリート要素の中央点のせん断ひずみが、一番大きい要素を定める。次に、その最大せん断ひずみ $\gamma_{\max}$ が、コンクリートの引張強度 f_t とせん断弾性係数 G から求めた、ひびわれするせん断ひずみ γ_u を超えるねじりモーメント M_t' を求める。さらに、その時の全要素のせん断ひずみと図3から求まる割線剛性係数より、要素のせん断弾性係数 G' とヤング率 E' を決め、これを次の計算に用いる。この手順を順次繰り返し、つり合い曲線を求める。

図3 せん断応力 τ とせん断ひずみ γ の関係

5. 解析結果

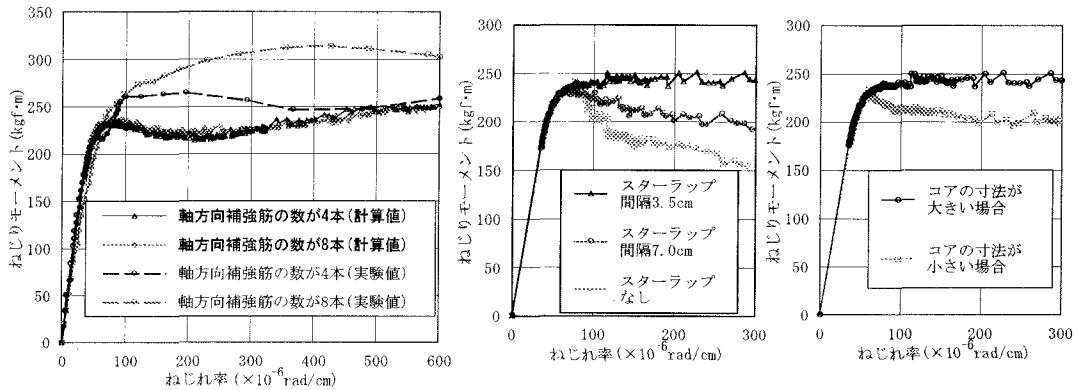


図4 ねじりモーメントとねじれ率の関係

数値計算の結果と実験値との比較を図4に示す。実験値については、文献2)～4)を参考にした。

実験値と計算値との比較により次のようなことが分かる。

- 1) 軸方向補強筋の数が4本の場合と8本の場合とでは、解析結果に大きな差異は見られない。これは、図3における応力-ひずみ曲線として、補強筋の影響を意識せず、同じものを用いたためと考えられる。したがって、応力-ひずみ関係を正しく評価すれば、4本よりも8本の方が、応力低下の勾配が緩くなるものと考えられる。
- 2) スターラップ間隔を広くすると、実験結果でも解析結果でも、最大ねじり耐力以降に、強度の劣化が見られることが分かる。これは、ひびわれがあまり広がらずに、一部に集中してしまうためと考えられる。
- 3) コアの寸法が小さくなると、実験においても解析においても、最大ねじり耐力以降に、強度の劣化が見られることが分かる。しかしながら、実験値の方が、最大ねじり耐力以降の強度の劣化が激しいように見える。これはコアの外と内とで、図3におけるコンクリートの応力-ひずみ曲線として、同じものを用いたためと考えられる。したがって、実際の供試体では、コアの外では剥離が起り、応力の急な低下が見られるものと考えられる。

6. 結論

今回用いた劣化を考慮した有限要素解析でも、実験結果と比較して、ある程度妥当な解析結果が得られることが分かった。また、スターラップ間隔やコアの大きさを変化させた数値計算結果からも、解析の妥当性が確認できた。

今後の課題としては、せん断応力とせん断ひずみの関係式が非常に重要であり、この構成則の物理的な裏付けが必要になると思われる。また、軸方向の補強筋の数やスターラップ間隔やコアの大きさについても、補強筋比や補強筋量をパラメータとして、ある程度予測できるようにする必要があるように思われる。垂直応力に関しては、Parkらによって、帯筋で包まれたコアコンクリートの最大応力以降の下降曲線を帯筋の量によって変化させる実験式が提案されているので、その実験式の利用が考えられる。

参考文献

- 1) 平居孝之：パソコン3次元有限要素法、共立出版、1990.7
- 2) N. Kawaguchi, H. Kuga and T. Yoda : Torsional Strength of Concrete Members with Non-Prestressed Aramid FRP Reinforcement, EASEC-5, 1995.7
- 3) 久家秀龍・川口直能：AFRPロッドで補強したコンクリート部材のねじり剛性について、土木学会第49回年次学術講演会、1993.9
- 4) 久家秀龍・川口直能：ねじりを受けるAFRPコンクリート部材の剛性及び耐力低下に関する2、3の実験、土木学会第50回年次学術講演会、1994.9
- 5) Park and Kent : Flexural Members with Confined Concrete, ASCE, 1971.6