

V-7

ねじりを受けるRC部材の挙動に及ぼすかぶりの影響

北海道大学工学部 正 員 志村 和紀
 北海道大学工学部 正 員 佐伯 昇
 北海道大学工学部 学生員 原田 希樹

1. まえがき

ねじりを受けるRC部材の代表的な解析モデルの一つとして、立体トラスモデルがある。これは、ねじりによるひびわれ間のコンクリート、軸方向鉄筋および横方向鉄筋がトラスを形成すると仮定したもので、ひびわれが生じる前はトラスが形成されていないと考えられることなどから、実際の挙動と一致しないことが指摘されている。一方、部材をRC平板でモデル化した手法が発達してきており^{1), 2)}、変形挙動についても把握できると報告されているが、コンクリートのかぶり厚さにより部材の挙動は異なり、かぶりの影響については未だ明らかにされていない。本研究は、かぶりを変化させたRC部材の純ねじり実験を行い、立体トラスモデルおよびRC平板モデルの適合性について検討したものである。

2. 解析方法

対象とした部材は、閉合型スターラップを配置した複鉄筋矩形断面を持つ部材であり、図-1に示すように作用トルク T に対して抵抗するせん断流 q が、ねじりに対する有効厚 t_d に一樣に分布すると仮定する。立体トラスモデルでは、ねじりひびわれに平行なコンクリートストラットを圧縮材として、軸方向鉄筋および横方向鉄筋が引張材としてトラスが形成され则认为、ひびわれに対して直角方向のコンクリートの引張応力については考慮しない。一方、RC平板モデルでは、RC平板のねじり問題として捉え、コンクリートの引張応力を考慮する。立体トラスモデルによる解析方法については参考文献³⁾を参照されたい。以下、RC平板モデルによる解析方法について述べる。

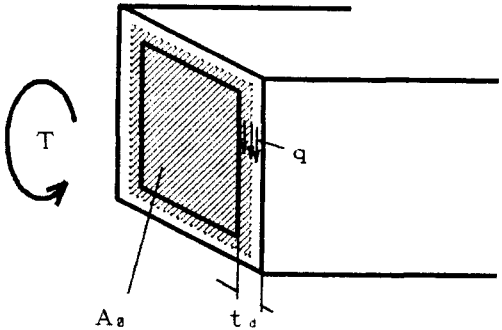


図-1 ねじりの有効断面

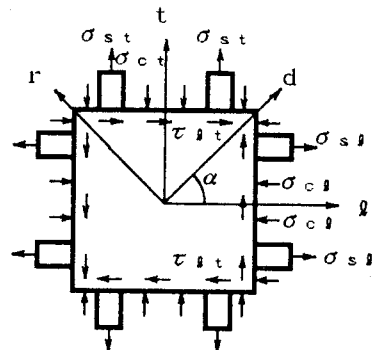


図-2 RC平板要素

(1) RC平板の釣合条件式、変形の適合条件式

図-1のような中空箱型断面はRC平板から成り、平板要素には図-2に示すように軸方向の直応力 (σ_{sx} : 軸方向鉄筋応力, σ_{cx} : コンクリートの軸方向応力)、横方向の直応力 (σ_{st} : 横方向鉄筋応力, σ_{ct} : コンクリートの横方向応力) およびコンクリートのせん断応力 τ_{xt} が生じる。また、 x 軸とコンクリートの主応力方向の成す角を α 、主応力方向のコンクリートの応力を σ_d (圧縮主応力方向)、

σ_r (引張主応力方向) とすれば、力の釣合および図-3 に示したモールの応力円より RC 平板の釣合条件式が得られる。

$$\sigma_d \cos^2 \alpha - \sigma_r \sin^2 \alpha - \sigma_{sl} \cdot A_{sl} / (p_0 \cdot t_d) = 0 \quad \dots (1)$$

$$\sigma_d \sin^2 \alpha - \sigma_r \cos^2 \alpha - \sigma_{st} \cdot A_{st} / (s \cdot t_d) = 0 \quad \dots (2)$$

$$\tau_{xt} = (\sigma_d + \sigma_r) \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad \dots (3)$$

A_{sl} : 全軸方向鉄筋断面積、 p_0 : セン断流の中心線の長さ、

A_{st} : 横方向鉄筋 1 本の断面積、 s : 横方向鉄筋間隔

(1) 式および (2) 式より、

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{\sigma_{sl} \cdot A_{sl}}{p_0 \cdot t_d} - \frac{\sigma_{st} \cdot A_{st}}{s \cdot t_d}}{\sigma_d + \sigma_r} \right] \quad \dots (4)$$

$$t_d = \frac{\sigma_{sl} \cdot A_{sl}}{p_0 (\sigma_d \cdot \cos^2 \alpha - \sigma_r \cdot \sin^2 \alpha)} \quad \dots (5)$$

また、図-4 に示したモールのひずみ円より RC 平板の適合条件式が得られる。

$$\varepsilon_{sl} = \varepsilon_r \sin^2 \alpha - \varepsilon_d \cos^2 \alpha \quad \dots (6)$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_r \cos^2 \alpha - \varepsilon_d \sin^2 \alpha \quad \dots (7)$$

$$\gamma_{xt} = 2 (\varepsilon_r + \varepsilon_d) \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad \dots (8)$$

なお、(1) 式から (8) 式の応力およびひずみは平板厚さ方向の平均応力および平均ひずみである。

(2) ねじりを受ける部材の力の釣合式、変形の適合条件式³⁾

薄肉閉断面のねじり角とせん断ひずみの関係より、

$$\theta = \gamma_{xt} \cdot p_0 / (2 A_0) \quad \dots (9)$$

θ : ねじり角、 A_0 : セン断流の中心線で囲まれる面積

ねじりを受ける平板に生じる面外変形より、

$$\psi = \theta \cdot \sin 2 \alpha \quad \dots (10)$$

$$\varepsilon_{ds} = \psi \cdot t_d \quad \dots (11)$$

ψ : 平板の圧縮主応力方向に生じる曲げ変形の曲率、 ε_{ds} : 平板の圧縮主応力方向の縁ひずみ

(8), (9), (10), (11) 式より、

$$\varepsilon_r = \frac{A_0 \cdot \varepsilon_d}{t_d \cdot p_0 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} - \varepsilon_d \quad \dots (12)$$

トルクとせん断流によるモーメントの釣合より、

$$q = T / (2 A_0) \quad \dots (13)$$

q : セン断流 ($= \tau_{xt} \cdot t_d$)

(3) 鉄筋およびコンクリートの応力-ひずみ関係

鉄筋の応力-ひずみ関係は完全弾塑性とした。

圧縮コンクリートは圧縮-引張の 2 軸応力下にあるため、応力-ひずみ関係を低減させることとし、Vecchio-Collins モデル⁴⁾を使用した。

$$\sigma_c = \eta f_c' [2 (\varepsilon_c / \varepsilon_0) - (\varepsilon_c / \varepsilon_0)^2] \quad \dots (14)$$

$$\eta = 1 / [0.8 + 0.34 (\varepsilon_t / \varepsilon_0)]$$

f_c' : コンクリートの圧縮強度、 ε_c : コンクリートの圧縮ひずみ、 ε_t : 引張主応力方向に生ずる引張ひず

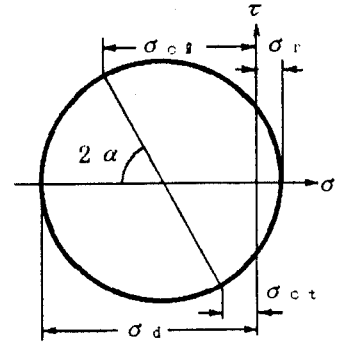


図-3 Mohr の応力円

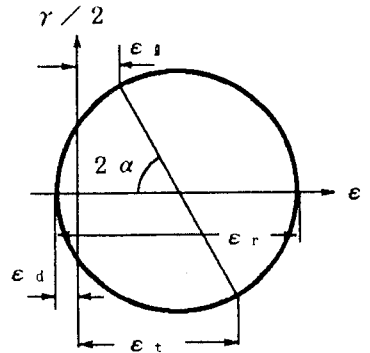


図-4 Mohr のひずみ円

み、 ε_0 ：応力－ひずみ関係における最大応力時のひずみ、 η ：低減係数

引張主応力方向のコンクリートの応力－ひずみ関係はテンションスティフニングを考慮した岡村らのモデル⁵⁾を使用した。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_r \leq \varepsilon_{cr} &: \sigma_r = E_c \cdot \varepsilon_r \quad (\sigma_r \leq f_t) \\ \varepsilon_r > \varepsilon_{cr} &: \sigma_r = f_t (\varepsilon_{cr} / \varepsilon_r)^c \end{aligned} \right\} \dots (15)$$

ε_{cr} ：ひびわれひずみ(=0.0002)、 f_t ：引張強度、 c ：軟化係数(=0.4)

(4) 計算方法

以上の式から、繰り返し計算を用いて応力ならびに変形を求める。

- 1) ε_d を与える。
- 2) α を仮定する。
- 3) t_d を仮定する。
- 4) (12)式より ε_r を求める。
- 5) (14)式を平均応力に換算し σ_d を求める。
- 6) (15)式より σ_r を求める。
- 7) (6),(7)式より $\varepsilon_l, \varepsilon_t$ を求める。
- 8) (5)式より t_d を求め、3)で仮定した値との差が許容差内(1%)になるまで新たな t_d の値を仮定し、3)～8)を繰り返す。
- 9) (4)式より α を求め、2)で仮定した値との差が許容差内(1%)になるまで新たな α の値を仮定し、2)～9)を繰り返す。
- 10) (3),(8),(9),(13)式より T および θ を求める。
- 11) ε_d を増し、終局ひずみに達するまで1)～11)を繰り返す。

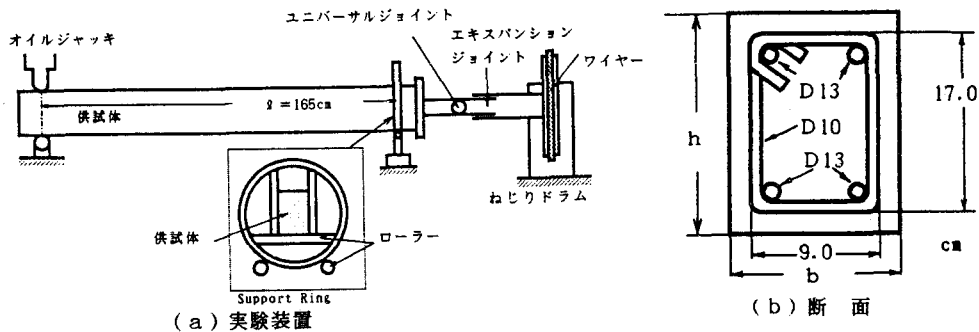
3. 実験概要

供試体の断面は表－1および図－5に示したように矩形断面とし、横方向鉄筋で囲まれた部分は各供試体とも同一であり、かぶりのみを変化させた。トルクは、ねじり用ドラムを回転させることにより作用させた。

表－1 断面諸元

供試体	かぶり cm	h cm	b cm	圧縮強度 kgf/cm ²
No.1	0	17	9	359
No.2	1.5	20	12	346
No.3	3.0	23	15	326

横方向鉄筋間隔 $s = 5\text{cm}$



図－5 実験概要

4. 計算および実験結果

図－6にトルクとねじり角の関係を示した。かぶりの無いNo.1ではRC平板モデルが実験値と良く対応し、立体トラスモデルではねじり剛性が小さく現れ、変形が過大に評価されるが、破壊時の耐力および変形は実験値とほぼ一致した。かぶりが1.5cmであるNo.2では、全断面を有効として計算した場合、立体トラスモデル、

R C 平板モデルのいずれも耐力は実験値を大きく上回るが、ねじりひびわれ発生付近までは R C 平板モデルが一致した。また、かぶりを考慮しない場合、つまり横方向鉄筋の外周をせん断流の外周と仮定した場合には両モデル共に変形を過大に評価する傾向にあるが、破壊時の耐力および変形は立体トラスモデルがほぼ一致した。かぶりが 3.0 cm である No. 3 では No. 2 の傾向がより明確に現れ、ひびわれ発生までの初期変形は全断面有効とした R C 平板モデルが、破壊時ではかぶりを考慮しない立体トラスモデルが良い対応を示した。すなわち、ねじりを受ける R C 部材はひびわれ発生付近までの初期には R C 平板として挙動するが、ひびわれの発生と共にかぶりの剥離が始まり、次第に横方向鉄筋で囲まれた断面内に形成される立体トラスに移行して行くものと考えられる。

また、かぶりが大きくなるほどねじりひびわれ発生荷重が大きくなり、その後の耐力増加は小さくなること、かぶりの剥離のために破壊耐力に及ぼす影響はほとんど無いことが明らかになった。

5. まとめ

(1) ねじりを受ける R C 部材は、かぶりが大きくなるほどねじりひびわれの発生荷重が大きくなるが、その後の耐力増加は小さくなり、破壊耐力に対してはほとんど影響を及ぼさない。

(2) ねじりひびわれ発生付近までの初期の変形挙動は R C 平板モデルによる算定値が良く一致するが、破壊時には立体トラスモデルの算定値の対応が良い。

【参考文献】1) 長瀧, 李, 岡本: 鉄筋コンクリート部材のねじり耐荷機構に関する一考察, 土木学会論文集 No. 390/V8, 1988 2) 二羽, 松貝, 守屋: ねじりを受ける R C 棒部材に関する解析的研究, 土木学会論文集 No. 420/V13, 1990 3) 志村, 佐伯, 下西: ねじりと曲げの組み合わせ荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の耐力, セメント・コンクリート論文集 No. 46, 1992 4) Vecchio and Collins: The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, Vol. 83, No. 2, 1986

5) 岡村, 前川: 鉄筋コンクリートにおける非線形有限要素解析, 土木学会論文集, No. 360/V3, 1985

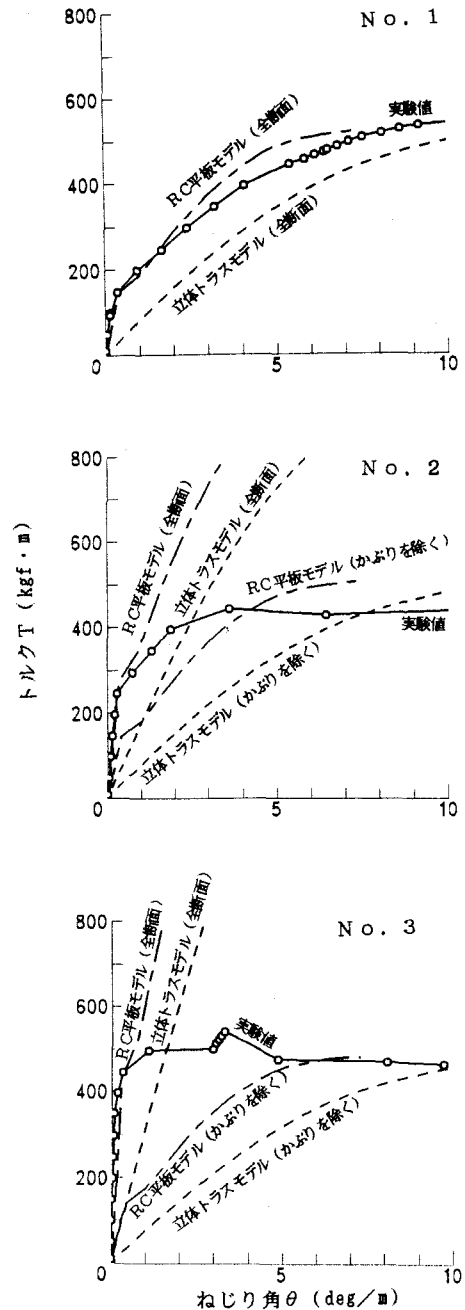


図-6 トルクとねじり角の関係