

V-31

ねじりを受けるT形RC部材の耐力と変形

北海道大学大学院	学生員	原 田 希 樹
北海道大学大学院	学生員	高 橋 良 直
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

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挙げられるが、かぶり
 が大きい場合に全断面を有効として解析を行えば、耐力を過大に評価する。また、コンクリートの引張応力
 が考慮されないことから、変形についても過大に評価される。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。本研究は、かぶり厚さを変化させ
 た矩形断面RC部材及び、かぶり厚さと横方向鉄筋間隔を変化させたT形断面RC部材の純ねじり実験を行
 い、この場合の耐力及び変形の算定におけるRC平板理論の適合性について検討したものである。

2. 解析方法

解析は中実断面のRC部材をねじりに対して有効な中空断面に
 置き換え、RC平板理論を適用した。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及びT形断面を持つ部材である。
 図-1に示す様に作用トルクに対するせん断流 q が、ねじりに対
 する有効厚 t_d に一樣に分布する様な中空断面を有効断面と仮定す
 る。この中空断面の側壁を構成するRC平板要素の応力状態を考
 え、ねじり解析を行うのがRC平板理論である。立体トラスモデ
 ルではひび割れに対して直角方向のコンクリートの引張応力につ
 いて考慮しないのに対し、RC平板モデルでは引張応力をも考慮
 する。以下に述べる様に、力の釣合条件・変形の適合条件より基
 本式を導く。

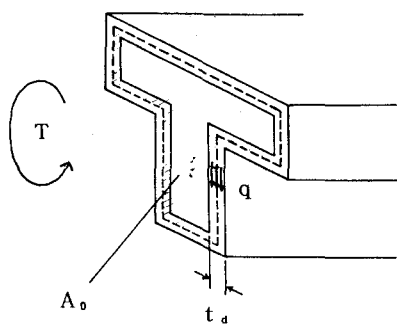


図-1 ねじりの有効断面

(1) RC平板の釣合条件式、変形の適合条件式

図-2に示す様なRC平板要素の応力と変形を考える。Mohrの応力
 円及びRC平板要素の力の釣合より式(1)(2)(3)が得られる。

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

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

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

$\sigma_{c\ell}$: コンクリートの軸方向応力、 σ_d : コンクリートの圧縮主応力

σ_{ct} : コンクリートの横方向応力、 σ_r : コンクリートの引張主応力

$\sigma_{s\ell}$: 軸方向鉄筋応力

σ_{st} : 横方向鉄筋応力

$A_{s\ell}$: 全軸方向鉄筋の断面積

A_{st} : 横方向鉄筋1本の断面積

p_0 : セン断流中心線の長さ

s : スターラップ間隔

$\tau_{\ell t}$: コンクリートのせん断応力

t_d : ねじりに対する有効厚さ

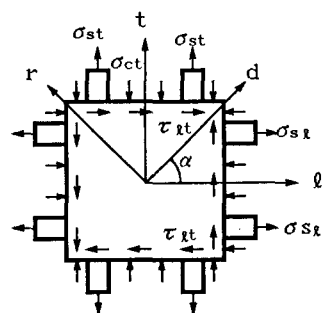


図-2 RC平板要素

Ultimate Strength and Deformation of T-Shaped Reinforced Concrete Member Subjected to Torsion,
 by Mareki HARADA, Yoshinao TAKAHASHI, Kazunori SHIMURA, and Noboru SAEKI.

次に、Mohrのひずみ円よりRC平板の適合条件式が得られる。

$$\varepsilon_x = \varepsilon_s \sin^2 \alpha - \varepsilon_d \cos^2 \alpha \quad (4)$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_s \cos^2 \alpha - \varepsilon_d \sin^2 \alpha \quad (5)$$

$$\gamma_{xt} = 2(\varepsilon_d + \varepsilon_s) \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (6)$$

ε_x : 軸方向ひずみ ε_t : 横方向ひずみ

ε_d : コンクリートの圧縮主応力方向ひずみ

ε_s : コンクリートの引張主応力方向ひずみ

γ_{xt} : せん断ひずみ

なお、式(1)から(6)までの応力及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条件式、変形の適合条件式

薄肉閉断面のねじり角とせん断ひずみの関係より、

$$\theta = \gamma_{xt} \cdot p_0 / (2A_0) \quad (7)$$

θ : ねじり角 A_0 : せん断流の中心線で囲まれる面積

また、ねじりを受ける平板に生じる曲げ変形より、

$$\phi = \theta \cdot \sin 2\alpha \quad (8)$$

$$\varepsilon_{ds} = \phi \cdot t_d \quad (9)$$

ϕ : 平板の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 $\varepsilon_{ds} = 2\varepsilon_d$

式(7)(8)がねじりを受ける部材の変形の

適合条件式である。式(6)(7)(8)(9)より

式(10)が得られる。

$$\varepsilon_s = \frac{A_0 \cdot \varepsilon_d}{t_d \cdot p_0 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha} - \varepsilon_d \quad (10)$$

ε_s : コンクリートの引張主応力方向の平均ひずみ

次に、Bredtのねじり理論から、薄肉閉断面におけるトルクTとせん断流 q ($=\tau_{xt} \cdot t_d$)によるモーメントの釣合より、

$$T = 2q \cdot A_0 \quad (11)$$

鉄筋の応力-ひずみ関係は完全弾塑性とした。

圧縮主応力方向の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事

とし、Vecchio-Collinsモデル³⁾を使用した。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⁴⁾を使用した。RC

平板は式(8)で示される厚さ方向の曲率 ϕ を有するため、

コンクリートの応力 σ_d 及び σ_s は縁ひずみから

求めた平均応力とした。

(3) 解析方法

解析の手順は、図-3のフローチャートに

示した様に、コンクリートの圧縮主応力方向

縁ひずみ ε_{ds} を与え、 α 及び t_d を仮定し、

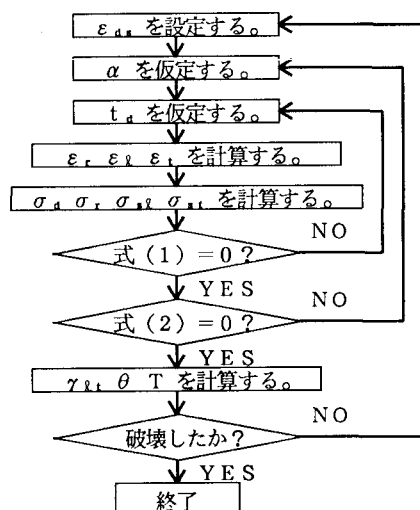


図-3 解析方法

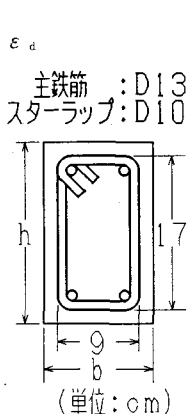


図-4 断面図(矩形)

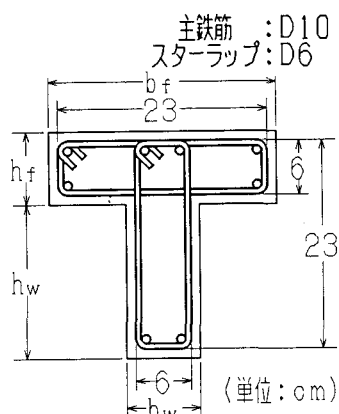


図-5 断面図(T形)

表-1 断面諸元(矩形断面)

供試体	かぶり cm	h cm	b cm	s cm	圧縮強度 kgf/cm ²
No. 1	0	17	9	5	359
No. 2	1.5	20	12	5	346
No. 3	3.0	23	15	5	326

s: 横方向鉄筋間隔

表-2 断面諸元(T形断面)

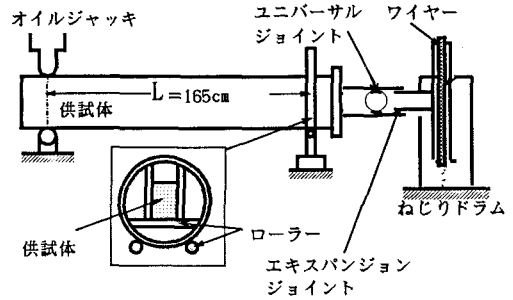
供試体	かぶり cm	h_f cm	b_f cm	h_w cm	b_w cm	s cm	圧縮強度 kgf/cm ²
No. 1	0	6	23	17	6	10	364
No. 2	1.0	8	25	17	8	10	400
No. 3	1.0	8	25	17	8	5	333

s: 横方向鉄筋間隔

繰返し計算によって式（１）及び式（２）の成り立つ解を求めた。

３．実験概要

供試体の断面は表－１、図－４に示す様な矩形断面及び、表－２、図－５に示す様なＴ形断面のものをを用いた。それぞれの断面の横方向鉄筋で囲まれた部分は各供試体とも同一であり、矩形断面供試体はかぶりのみを、Ｔ形断面供試体はかぶり及びスターラップ間隔を変化させた。支間長 $L=165\text{cm}$ とし、一端をねじりに対して固定して他端にねじり荷重を載荷した。実験装置は図－６に示した通りで



図－６ 実験装置

ある。トルクはねじり用ドラムを回転させる事により作用させた。ねじり荷重の載荷に対しては、ねじり用ドラムと桁の間にはエキスパンションジョイントとユニバーサルジョイントを用いて、軸方向の変形が拘束されないようにした。桁のねじり角は変位計により測定した。

４．実験および解析結果

実験供試体の破壊形式は矩形断面のものについてはいずれもコンクリートが圧壊し、Ｔ形断面のものについてはNo. 1と2がコンクリートの圧壊に先立って鉄筋が降伏し、No. 3についてはコンクリートが圧壊した。図－７に実験及び解析によるトルクとねじり角の関係の一例を示す。実験結果については、かぶりが大きくなるに従いひび割れ発生トルク及びねじり剛性が高まるが、破壊時（ねじり角 $=0.1\text{deg/cm}$ とした）のトルクは矩形No. 1（かぶり $c=0\text{cm}$ ）、No. 2（ $c=1.5$ ）、No. 3（ $c=3.0$ ）でそれぞれ540、440及び460 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ であり、かぶり厚さの影響はみられなかった。また、Ｔ形断面の破壊時のトルクは、横方向鉄筋間隔の同じNo. 1と2については、それぞれ520、490 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ であり、矩形断面と同様にかぶり厚さの影響はみられなかった。つまり、破壊時にはかぶりは剥離し、横方向鉄筋で囲まれた部分のみでトルクに抵抗すると考えられる。ＲＣ平板モデルによる計算値は、全断面を有効とした場合にはひび割れ発生荷重付近までは実験値と良く一致したが、以後の剛性の低下が現れず、耐力は実験値を大きく上回った。また、かぶりを無視したものは初期の剛性が小さく現れ過大な変形を示すが、次第に実験値に近づく。そこで、矩形断面の実験結果から、せん断ひずみ γ_{xi} を指標として有効かぶりの減少を表現する事を試みた。

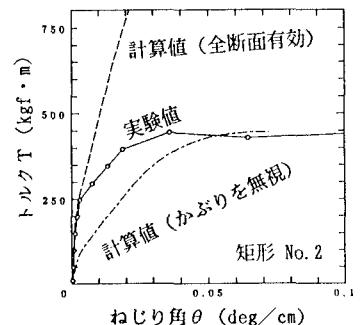
$$\gamma_{xi} \leq \gamma_0 \quad C_e = C \quad \gamma_{xi} > \gamma_0 \quad C_e = C \left\{ 1 - \left(\frac{\gamma_{xi} - \gamma_0}{\gamma_1 - \gamma_0} \right)^a \right\}$$

C ：全かぶり　　 C_e ：有効かぶり　　 a ：定数（ $=0.6$ ）

γ_0 ：有効かぶりが減少を始める時のせん断ひずみ（ $=0.0003$ ）

γ_1 ：有効かぶりが0となる時のせん断ひずみ（ $=0.0035$ ）

この様にして、有効かぶりの厚さの減少を考慮して計算を行った結果を実験値と共に図－８に示したが、大部分の供試体についての計算値は実験値と比較的良く一致している。しかし、Ｔ形断面でスターラップ間隔の狭い（ 5cm ）No. 3については、計算値はトルク500 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ 付近までは実験値と比較的良好な対応を示すが、それ以降は急速に実験値と離れてしまい、最終的な耐力は実験値をかなり下回る。この原因としては、フランジとウェブの重なり部の影響や、各々の軸方向鉄筋の応力の相違を解析上考慮していない事などが考えられる。



図－７ 解析値に及ぶかぶり厚の影響

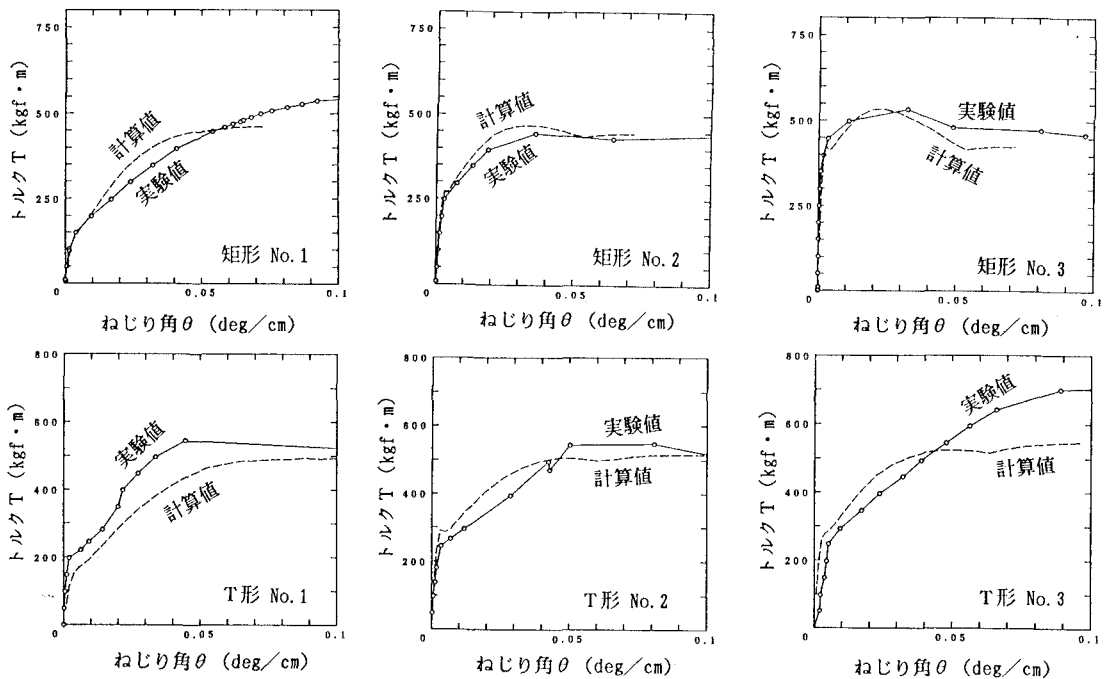


図-8 トルクTとねじり角 θ の関係(有効かぶりの減少を考慮)

5. まとめ

(1) ねじりを受けるRC部材は、横方向鉄筋で囲まれた部分が同一の場合、かぶりが大きくなる程ねじりひび割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、破壊トルクに対してはほとんど影響を及ぼさない。

(2) RC平板モデルを用いた解析において、矩形断面においては、せん断ひずみによって有効かぶり厚さを減少させる事により、変形挙動を評価する事ができる。

(3) 有効かぶりを考慮したT形断面部材の解析結果は、スターラップ間隔が広い場合には実験値と比較的良好一致するが、スターラップ間隔が狭いものについては耐力を小さく評価する。

謝辞

本実験に際して多大な協力をして下さった、北海道大学工学部4年生の松本 弘達君と木村 勉 技官にこの場を借りて深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長瀧 重義・李 承漢・岡本 亨久: 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 淳一郎・檜貝 勇・守屋 紀和: ねじりを受けるRC棒部材に関する解析的研究、土木学会論文集, No. 420/V13, 1990
- 3) Vecchio, F.J. and Collins, M.P: The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, Vol. 83, No. 2, 1986
- 4) 岡村 甫・前川 宏一: 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