

東京工業大学 正会員 岡本亨久

東京工業大学 正会員 長龍重義

1. まえがき

純ねじり、曲げ・ねじりを受けるRC部材の破壊機構の解明は既往の研究により設計基準に反映されるまでに進歩した。しかしながら、曲げ・せん断とねじりを同時に受ける場合についての合理的な解明は見当たらない。これはせん断とねじりが同時に作用する場合の破壊メカニズムが複雑で定性的な理解がそのまま定量的な評価へと発展し難いことなどが原因として挙げられる。したがって、本研究は曲げ・せん断およびねじりを受けるRC部材の破壊機構を解明する目的で、立体トラスモデルを用い、内力と外力の平衡条件、変形の適合条件により構成方程式を求め、実験結果と比較検討を行ない考察を加えたものである。

2. 解 析

本解析は主として曲げ・せん断にくらべてねじりが卓越する荷重条件を対象に行なったものであり、以下の仮定に基づいている。

- (1). 曲げ・せん断とねじりを同時に受けるRC部材の力学モデルとして図1に示すトラスモデルが適用できる。(2). 破壊はねじり形(はり四面上に斜ひびわれがらせん状に発生)であり、ねじりモーメントによって終局耐力は決定される。(3). はり四面上で斜圧線部コンクリートの傾き(α)は一定である。(4). セン断流の通路は図2に示すように部材断面の最外縁とスターラフの位置の中間より内側に存在する。(5). 骨格のかみ合い作用、鉄筋の搭接作用は無視する。(6). 破壊はねじりとせん断による主引張方向が同一となる左側面で生じ、この側面の応力が終局耐力を決定する。

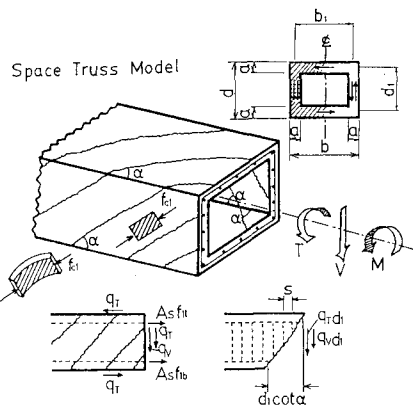


図1 立体トラスモデル

T:ねじりモーメント M:曲げモーメント V:せん断力 b:部材断面の全幅 d:部材断面の全高 d_0 :軸方向鉄筋間の距離
 t :部材の板厚 f_{ci} :斜圧線部コンクリートの応力 f_h :スターラフの応力 f_{fb} :下縁に配置された軸筋の応力 f_{ft} :上縁に配置された軸筋の応力 A_s :下縁に配置された軸筋断面積の1/2 A_s' :上縁に配置された軸筋断面積の1/2 A_h :スターラフの断面積
 $\bar{\epsilon}_i$:軸筋の平均ひずみ $\bar{\epsilon}_h$:スターラフのひずみ ϵ_d :せん断流の中心位置での斜コンクリートのひずみ ϵ_{ds} :斜圧線部コンクリートの終局ひずみ
 A_0 :せん断流の中心が囲む面積 P_0 :せん断流中心が囲む長さ P_h :閉合スターラフが囲む長さ β_0 :コンクリートに固有な定数(=0.85)
 β :コンクリートに固有な定数($0 \leq \beta \leq 280 \text{ kg/cm}^2$ APS, 1MPa/70kg/cm²は増す毎に0.05ずつ小さくなる) a :せん断流の通路厚 ψ :単位長さ当りのねじり角 ϕ :斜圧線部コンクリートの曲率 α :斜ひびわれ角度

(曲げ・せん断およびねじり間の比率)

$$T/M = f, \quad M/V = g \quad \dots\dots (1)$$

(釣合条件) 断面の左側面について

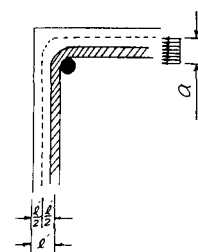
$$f_{ci} = (T + Vb_1) / b_1 d_1 t \sin \alpha \quad \dots\dots (2)$$

$$f_h = (T + Vb_1) / 2b_1 d_1 A_h \cot \alpha \quad \dots\dots (3)$$

$$f_{fb} = \left(\frac{M}{2} + \frac{Td_1 \cot \alpha}{4b_1} + \frac{Vd_1 \cot \alpha}{4} + \frac{T \cot \alpha}{4} \right) / A_s d_0 \quad \dots\dots (4)$$

$$f_{ft} = \left(-\frac{M}{2} + \frac{Td_1 \cot \alpha}{4b_1} + \frac{Vd_1 \cot \alpha}{4} + \frac{T \cot \alpha}{4} \right) / A_s' d_0 \quad \dots\dots (5)$$

ここで $b_1 = b - a$, $d_1 = d - a$

図2 セン断流の
ヒソ方

(せん断流の通路厚)

$$a = \frac{A_h f_h}{\beta_0 f_{ci} S} + \frac{(A_s f_{fb} + A_s' f_{ft})(1 + b_1 / f_0 g) d_0}{\beta_0 f_{ci} b_1 d_1 (d / b_1 + d_1 / f_0 g + 1)} \quad \dots\dots (6)$$

(適合条件)

$$\psi = \frac{b_1 d_1}{2A_0} \left\{ \xi_h (1 + \eta) \tan \alpha \frac{P_h}{P_0} + \bar{\epsilon}_i (1 + \eta) / \tan \alpha + \frac{\epsilon_d (1 + \eta)}{\sin \alpha \cos \alpha} \right\} \quad \dots\dots (7)$$

ここで $\xi = f_{ci} / f_{ci} = f_h / f_h$, $\eta = \bar{f}_i / f_i$, f_{ci} , f_h , f_i は断面の右側面の応力

$$\tan^2 \alpha = \frac{E_d(1+\epsilon) + E_t(1+\eta)}{E_d(1+\epsilon) + E_h(1+\epsilon)(P_h/P_o)} \quad \dots\dots (8)$$

$$E_d/t = \psi \sin \alpha = \phi \quad \dots\dots (9) \quad \text{但し, } E_d = (1-\beta/2)E_{ds}$$

(鉄筋のひずみ)

$$\bar{\epsilon}_t = \left\{ -E_d(1+\epsilon)/(1+\eta) + \sqrt{\left\{ E_d(1+\epsilon)/(1+\eta) \right\}^2 + \frac{4 E_{ds} A_s^2 f_{ct} (d/b + d/f_g + 1)}{P_o (A_s + A_s') E_s (1+b/f_g) d_o (1+\eta)}} \right\} / 2 \quad \dots\dots (10)$$

$$E_h = \left\{ -E_d \cdot P_o / P_h + \sqrt{\left(E_d \cdot P_o / P_h \right)^2 + \frac{4 E_{ds} A_o \beta_o \beta_1 f_c \cdot S}{P_h A_h E_s (1+\epsilon)}} \right\} / 2 \quad \dots\dots (11)$$

(終局ねじりモーメント)

$$T_u = 2 A_o \cdot \frac{A_h f_h (A_s f_{tb} + A_s' f_{t+}) d_o}{5 A_o (d/b + d/f_g + 1) (1+b/f_g)} \quad \dots\dots (12)$$

3. 実験概要および結果の検討

実験を行なった箱形断面供試体の一例を図3に示した。箱形断面の形状には一室中空、二室中空の2種を用いた。実験は図4に示すひずみ制御型試験機で行なった。

鉄筋降伏時およびコンクリートの圧壊時の耐力および変形に関する実験値と解析値の結果を図5および図6に示した。実験値には参考のため過去に行なった中実断面供試体に関する結果も引用した。T/Mが0.6以上では中実断面部材・中空断面部材ともによい精度で終局ねじりモーメントを推定できた。しかしながらT/Mが0.6未満では実験値が解析値を上回り、これは実験ではひびわれがはり四面上でせん状とならず部材上面に圧縮部が形成され、解析の仮定と破壊性状が異なったことが原因として考えられた。

次にねじり剛性について比較した図6より、解析値は箱形断面部材では実験値と大略一致したが、中実断面部材では実験値より小さくなった。解析値は参考のために示した Surendra および Lampert の理論結果とほぼ同様の値を示した。Surendra および Lampert も T/M が小なる領域で立体トラス理論を修正しているが、結果にはこの考慮は反映されていないようである。中実断面部材の場合応力制御型試験機を用いたため荷重を一定にしてひずみ等を測定する時変形が進行することも、実験値が理論値より大きくなった一因として考えられるが、せん断流の考え方に基つき中実断面と中空断面として取扱う立体トラス理論の仮定はT/Mが小なる場合にはその適用に問題が残る。

4. あとがき

曲げ・せん断とねじりを同時に受けるRC部材の耐力・変形について行なった今回の解析はT/Mが大なる領域で一応の成果を得たものと考えられる。今後、T/Mが小なる領域での精度向上およびひびわれ幅の評価方法についても検討する予定である。

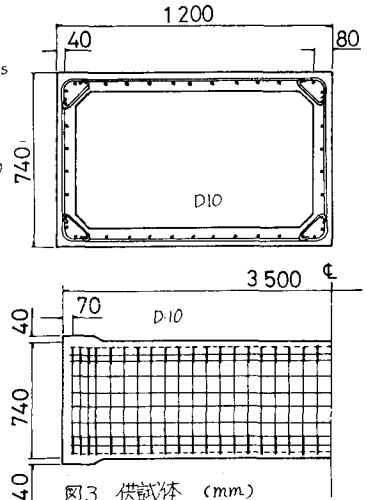


図3 供試体 (mm)

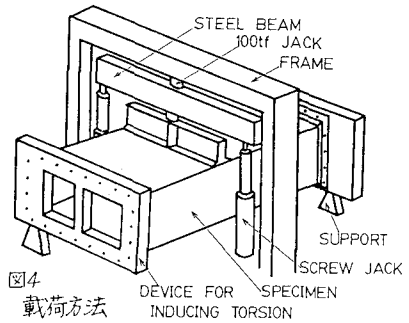


図4 載荷方法

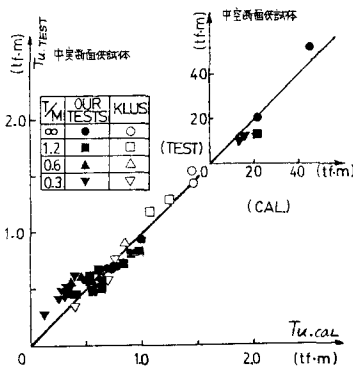


図5 終局ねじりモーメント

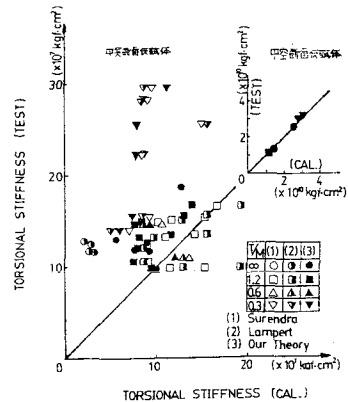


図6 ねじり剛性

4). Lampert: ACI SP-35 PP325-PR33

(参考文献) 1) 鉄筋コンクリート設計規範 1966, vol. 36(1966), 2) KUS: ACI PP210-215 March 1968 3) Surendra: ACI PP323-312 Aug. 1974