

1. はじめに 鉄筋コンクリート部材あるいはプレストレストコンクリート部材の純ねじり強度については従来から数多くの研究がなされており、強度理論式についても多くの提案がなされている。しかしながらプレストレスおよび鉄筋の両者によって補強されたコンクリート部材の純ねじり強度は、鉄筋比、プレストレス等によって変化し、鉄筋の補強効果とプレストレスの効果が累加される場合と、必ずしも累加されない場合があり、不明な点が少ない。本研究では、比較的鉄筋比の部材において、ねじりによる破壊がスターラップあるいは軸方向鉄筋のいずれか一方の降伏によって引起されるものと仮定して、純ねじり強度式を誘導した。

2. 純ねじり強度理論式の誘導

(1) 仮定：以下の仮定を設けた。

- a) ひびわれははり軸のまわりにらせん状に生じる。
b) ひびわれ発生後はりはスターラップを中心線とする肉厚 t の薄肉円筒断面シェルの抵抗 T_s と内部コアコンクリートの抵抗 T_c によってねじりに抵抗する。ねじり強度 T_u は

$$T_u = T_c + T_s \quad (1)$$

で表わすことができる(図-1参照)。

コアの強度 T_c は、小型はりでは断面寸法に比較して肉厚 t が大きく、通常 T_s に比較して小さいが、大きい断面では必ずしも無視できない。

(2) ひびわれ角度 φ ：ひびわれが有効プレストレス σ_p とねじりせん断応力 τ による主引張応力 σ_1 がコンクリートの引張強度 σ_{tu} に達したとき、 σ_1 と直角方向に生じるとするとひびわれ角度 φ は次式で表わせる。

$$\tan 2\varphi = \frac{-2\sigma_p}{\sigma_p} \sqrt{1 - \sigma_p / \sigma_{tu}} = \frac{2\sqrt{1+\beta}}{\beta}, \quad \therefore \tan \varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\beta}} \quad (2)$$

ここに $\beta = -\sigma_p / \sigma_{tu}$ 、ただし引張を正とする。

(3) 薄肉円筒断面シェルのねじり強度 T_s ：終局時にシェル断面に作用するせん断応力をとすると T_s は次式で表わせる。

$$T_s = 2 A_c \cdot \tau \cdot t \quad (3)$$

ここに A_c ：スターラップで囲まれた面積

図-2のようにひびわれ面を含む微小三角形において単位面積当りの表面力の2成分 T_v および T_h は
 $T_v = \tau \cdot \sin \varphi$ (4)、 $T_h = \tau \cdot \cos \varphi + \sigma_p \sin \varphi$ (5)
となる。ひびわれ面に沿って T_v 、 T_h を積分した合力はそれぞれひびわれを横切るスターラップと軸方向鉄筋の、軸力とせん断力、および、せん断力と軸力と釣合う(図-3参照)。すなわち

$$\int T_v \frac{ds}{\sin \varphi} = \frac{\sigma}{s} A_v \sigma_{sv} + A_s \tau_{sh} \quad (6)$$

$$\int T_h \frac{ds}{\sin \varphi} = \frac{\sigma}{s} A_v \tau_{sv} + A_s \sigma_{sh} \quad (7)$$

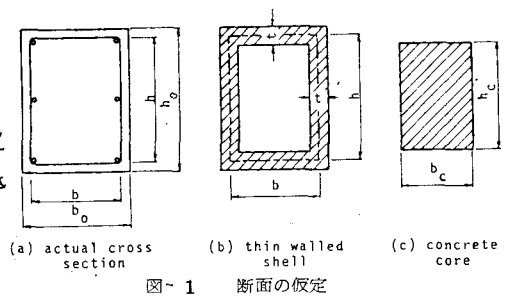


図-1 断面の仮定

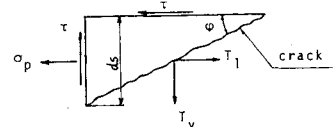


図-2 微小三角形の釣合

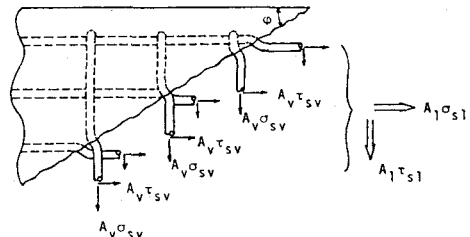


図-3 鉄筋に作用する力

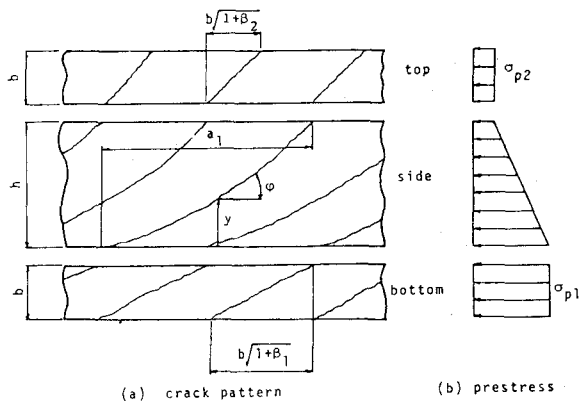


図-4 偏心プレストレスはりのひびわれパターン

ここに S : スターラップ間隔、 A_v : スターラップ1本の断面積、 σ_{sv} , τ_{sv} : スターラップに生じる応力、 A_s : 軸方向鉄筋の総断面積、 σ_{sx} , τ_{sx} : 軸方向鉄筋に生じる応力、 a : α びわれがはり軸を一周するのに要する軸方向距離であって次式で表わせる。

$$\text{一様プレストレス: } a = 2(b+h)/\sqrt{1+\beta} \quad (8)$$

$$\text{偏心プレストレス: } a = b(\sqrt{1+\beta_1} + \sqrt{1+\beta_2}) + 2a_1 \quad (9)$$

$$\text{ここに } a_1 = \frac{2}{3}h\{(1+\beta_1)/\sqrt{1+\beta_1} - (1+\beta_2)/\sqrt{1+\beta_2}\}/(\beta_1 - \beta_2)$$

β_1 , β_2 : それぞれ底面および上面での β の値 (図-4 参照)

今て、断面内で一定として式(6), (7)と積分し、次式を得る。

$$\tau \cdot t = \frac{\alpha A_v \sigma_{sv}}{2(b+h)S} + \frac{A_s \tau_{sx}}{2(b+h)} \quad (10)$$

$$\tau \cdot t = \frac{A_s \sigma_{sx}}{\alpha} + \frac{A_v \tau_{sv}}{S} + (b+h)(\beta_1 + \beta_2) \sigma_{tu} t \quad (11)$$

式(11)で一様プレストレスはりでは $\beta_1 + \beta_2 = 2\beta$ とする。 A_{sv} , τ_{sv} , A_s , τ_{sx} は dowel 力に相当するものと考えられる。これらは鉄筋の種類、コンクリートの性質等に関連し、複雑であるので一旦これらを無視し、それぞれの降伏値 σ_{svy} , σ_{sxy} を $\lambda \sigma_{svy}$, $\lambda \sigma_{sxy}$ ($0 \leq \lambda \leq 1$) に低減させることによって考慮した。スターラップおよび軸方向鉄筋が降伏した場合式(10), (11)はそれぞれ

$$\tau \cdot t = \frac{\lambda \alpha A_v \sigma_{svy}}{2(b+h)S} \quad (12)$$

$$\tau \cdot t = \frac{\lambda A_s \sigma_{sxy}}{\alpha} + (b+h)(\beta_1 + \beta_2) \sigma_{tu} t \quad (13)$$

となる。式(12), (13)の内で小さい方の値を式(3)に代入すれば T_s が得られる。図-5 は一様プレストレスはりで種々の鉄筋比に対するシェルの強度とプレストレスとの関係を示す (ただし $\lambda = 1$)。図中縦軸 T_s/T_{s0} の T_{s0} は $\sigma_p = 0$ でスターラップが降伏した場合の T_s の値 ($T_{s0} = 2\lambda A_c A_v \sigma_{svy}$) である。鉄筋比 p'_v , p'_s はシェルの体積に対する比であり、 $p'_v = A_v/(ct_s)$, $p'_s = \frac{A_s}{2(b+h)t}$ である。図-5 によると $p'_v = p'_s = 1\%$ のときのみすべての β に対してスターラップと軸方向鉄筋は同時に降伏し、プレストレスの効果と鉄筋の効果が累加されるが、これ以外では p'_v と p'_s の組み合わせで非常に異なった傾向を示す。鉄筋比が小さいとプレストレスの効果が大きく、鉄筋比が大きくとプレストレスの効果が小さい。また $p'_v < 1\%$ では軸方向鉄筋がなくても適当なプレストレスによってスターラップを降伏させることができることを示している。図-6 は偏心プレストレスはりに対するものであり、平均プレストレスが一様プレストレスと同じであれば一様プレストレスの強度よりもやや低い値を示している。

(4) コンクリートコアの強度 T_c : コアの強度 T_c を単純に式(1)によって T_s と加え、ねじり強度 T_u を決定することには若干の問題はあるが、一様プレストレスはりでは $T_c = K b_c h_c \tau_c$ ($\tau_c = \sigma_{tu}/\sqrt{1+\beta}$, K : 係数) で求められる。

5. おわりに 本研究では補強筋を有するプレストレストコンクリートはりの純ねじり強度式を誘導したが、理論的には低減係数 λ とシェルの内厚 t の決定は困難である。鉄筋コンクリートはりでは Cowan, Hsu によって $\lambda = 0.8$ or 0.6 が与えられている。またシェルの内厚 t は直接プレストレスの効果に関係するのでこれらの値の決定には広範な実験データが必要である。実験値との比較は講演会当日発表する予定である。最後に本研究には昭和53, 54年度科学研究費補助金の交付を受けたことを付記する。

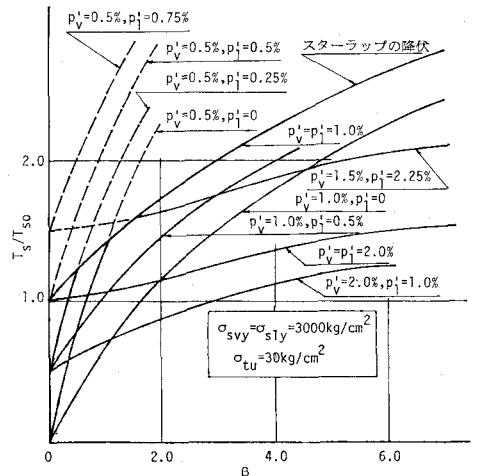


図-5 T_s/T_{s0} とプレストレスとの関係 (一様プレストレスはり)

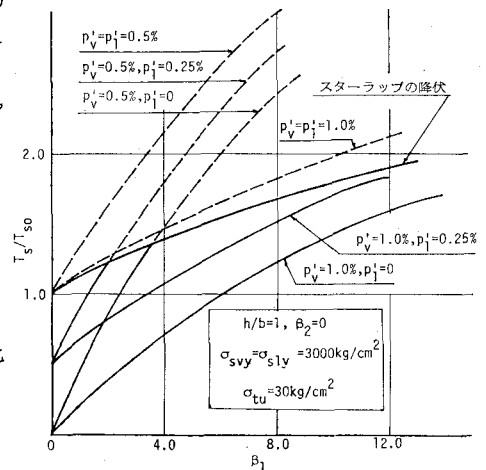


図-6 T_s/T_{s0} とプレストレスとの関係 (偏心プレストレスはり)