

北海道大学 学生員の本多 元樹

正員 藤田 嘉夫

正員 中津川 汪

## 1. まえがき

鉄筋コンクリート桁に曲げとねじり荷重が作用すると、圧縮部コンクリートは曲げ圧縮とねじりせん断力の組合せ応力状態になる。一方、引張部コンクリートはひびわれが生じ複雑な破壊および変形挙動をしている。本研究は、プレーンコンクリートの圧縮-ねじりせん断荷重下の破壊および変形挙動を基にして、曲げとねじりを受けるRC桁の終局強度式について、算定したものである。

## 2. 解析方法

図-1に見られる様に、無筋円柱供試体の圧縮とねじりの実験を行ない最小二乗法によって次の2本の破壊曲線を求めた。

$$\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}} - 0.015\right)^2 = 0.1091 \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}}\right) + 0.00514 \quad \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}} < 0.645\right) \quad \text{--- (1)}$$

$$\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}}\right)^2 = -2.366 \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}} - 1\right) \quad \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}} \geq 0.645\right) \quad \text{--- (2)}$$

すなわち、曲げとねじりを受ける桁の圧縮部コンクリートの応力が、図-1に示す破壊曲線に達したとき桁は破壊するとした。また曲げひび割れの影響については人工ひび割れを有する円柱供試体を用いて実験を行なった結果、人工ひび割れを持たないものと大差がなかった。また桁のねじり剛性については、全体のねじり剛性をGJとすると、圧縮部については、St. VenantとCowmanのねじり剛性の和、引張部については、コンクリートは常にひび割れが入っているとして、Lampertのねじり剛性を使用し、これら3つの和とした。

$$G'J = G'J_{\text{St.venant}} \cdot f_1(x) + G'J_{\text{cowan}} \cdot f_2(x) + G'J_{\text{Lampert}} \cdot f_3(x) \quad \text{--- (3)}$$

これらの剛性を次式とした。

$$G'J_{\text{cowan}} = \frac{0.863 h_0 A_w E_s}{s} \cdot f_2(x) \quad f_2(x) = \frac{x}{d} \quad \text{--- (4)}$$

$$G'J_{\text{Lampert}} = \frac{E_s (b_0 h_0)^2 A_w}{4 s} (1+m) f_3(x) \quad f_3(x) = 1 - \frac{x}{d} \quad \text{--- (5)}$$

$G'J_{\text{St.venant}}$ については、 $f_1(x)$ は中立軸 $x$ によってきまり、

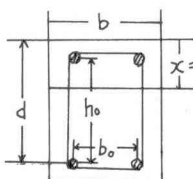
$$x \leq b \text{ のとき } G'J_{\text{St.venant}} f_1(x) = G'J x^3 b \quad \text{--- (6)}$$

以上により、圧縮部コンクリート断面の最大せん断応力 $\tau$ とねじり荷重 $T$ との関係式が次の様に導かれる。 $x < b$ で  $T = G'J \theta'$   $\theta' = \frac{T}{G'J}$

$$T_{\text{St.venant}} = G'J_{\text{St.venant}} \theta' = \frac{G'J_{\text{St.venant}}}{G'J} \cdot T = \tau_c J_{\text{St.venant}} \frac{1}{x \eta}$$

$$\text{よって } T = \frac{G'J}{G'J_{\text{St.venant}}} \cdot \frac{\tau_c b x^2}{\eta} \quad \text{--- (7)}$$

$x > b$ のときは 式(6)、式(7)の $x$ には $b$ を、 $b$ には $x$ を代入する。



$A'_s$  圧縮鉄筋断面積  $U = 2(h_0 + b_0)$   
 $A_s$  引張鉄筋断面積  $m = \frac{(A_s + A'_s)s}{A_w U}$   
 $A_w$  閉合したスターラップ1本の断面積  
 $s$  腹鉄筋間隔

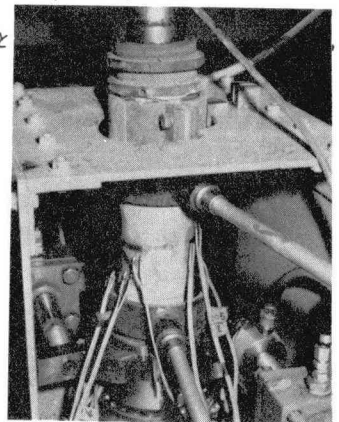
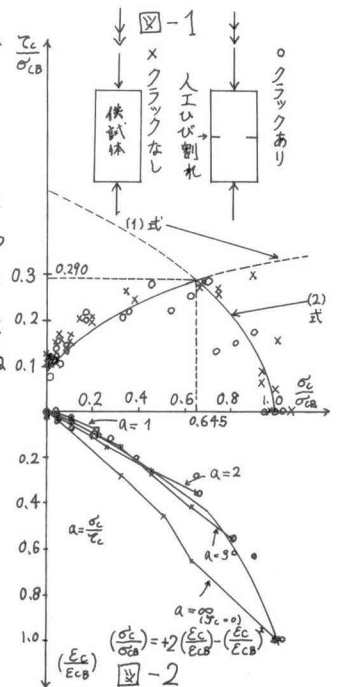
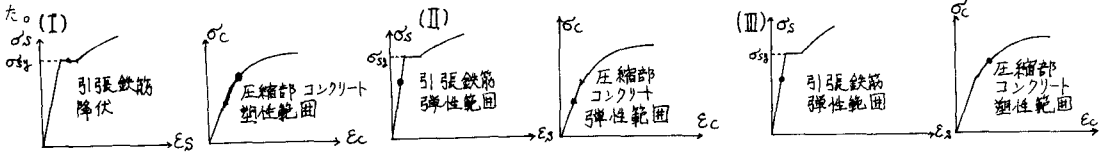


写真-1. 圧縮-ねじり試験装置

中立軸の位置を次の3つの場合に分けて考える。なを計算簡略化の為、 $A_s'$ は非常に小さいとして、今回は無視した。(I)



$P < P^*$  の場合

$$k_I = \frac{P \sigma_{sy}}{\alpha \sigma_c} = \frac{P}{\alpha} m$$

$$M = \alpha k_I (1 - \beta k_I) b d^2 \sigma_c$$

状態IIの場合

$$k_{II} = -nP + \sqrt{(nP)^2 + 2nP}$$

$$M = 0.5 k_{II} (1 - \frac{1}{3} k_{II}) b d^2 \sigma_c$$

$P > P^*$  のとき

$$k_{III} = -A + \sqrt{A^2 + 2A} \quad A = \frac{P E_s \epsilon_c}{2 \alpha \sigma_c}$$

$$M = \alpha k_{III} (1 - \beta k_{III}) b d^2 \sigma_c$$

図-2 に示すように、圧縮とねじりの荷重を受けるプレーンコンクリート円柱供試体の実験より応力-ひずみ曲線を求め、その終局ひずみを次式の様に表わした。

$$\left( \frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}} \right) = - \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cb}} \right)^2 + 2 \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cb}} \right) = -r^2 + 2r \quad r = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cb}} \quad \dots (8)$$

$$\alpha = \frac{3-r}{3(2-r)}$$

$$\beta = \frac{4-r}{4(3-r)}$$

以上の式により、ねじり荷重  $T$  と 曲げ荷重  $M$  との関係を表わす破壊の算定式が次の様に表わした。

$$a) \frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}} < 0.645$$

$$b) \frac{\sigma_c}{\sigma_{cb}} \geq 0.645$$

$$(yT + \alpha)^2 - \xi M = \psi \quad \dots (9)$$

$$(yT)^2 + \xi M = \psi \quad \dots (10)$$

$$\alpha = -0.015$$

$$\xi = \frac{0.1091}{\alpha k (1 - \beta k) b d^2 \sigma_{cb}}$$

$$\psi = 0.00514$$

$$\xi = \frac{0.2366}{\alpha k (1 - \beta k) b d^2 \sigma_{cb}}$$

$$\psi = 0.2366$$

$$y \text{ は (a) (b) 共通で } x \leq b \text{ で } y = \frac{1}{r b x^2 \sigma_{cb}} \frac{G J_{st.venant}}{G J} \quad x > b \text{ のときは、} x \text{ と } b \text{ を入れ替える。}$$

以上の関係式はひび割れが発生し、各状態となったと仮定できる場合に有効である。図-3の  $K$  の値は曲げねじりを受け、ねじりモーメントが卓越した場合のひびわれ発生モーメントの相関曲線と状態IIより求めた曲線との交点である。 $K$  の決定には、(I)、(III)、(IV)の選択の方法があるが、 $M$  が特に支配的な破壊の時には、 $P < P^*$  ならば、 $k = k_I$  を使用する。 $K$  以上の範囲で  $T$  が大きい時には、 $P$  の値にかかわらず  $k = k_{II}$  を用いた。(I) から (II) への境界は  $k$  が一致する時とした。 $P > P^*$  の時は(III)の  $k_{III}$  を用いた。

### 3. 計算例と各研究者との比較、実験結果

$P = 1.9\%$   $h = 25\text{cm}$   $h_o = 18.5\text{cm}$   $b_o = 5\text{cm}$   $d = 21.2\text{cm}$   $A_s = 4.0192\text{cm}^2$   $A_s' = 0.5652\text{cm}^2$   $A_w = 0.7854\text{cm}^2$   $S = 15\text{cm}$ 、の桁の計算した結果を図-3で示した。実験はとくに曲げの強い範囲で行なった。 $T_o$ については充実断面のコンクリートのねじり耐力に、Cowanの鉄筋による剛性の増加による耐力を表したものとし、その曲線が(a)である。またスターラップが降伏するときのねじり耐力をCowanの式によりもとめそれを  $T_o'$  とし、この値で  $T$  を割ったものが(b)の曲線である。(c)はSundaraの相関関係線、(d)はCowanの相関関係線である。

### 4. 結論

- 1) 曲げねじりを受けるRC桁の曲げ支配型の終局強度について、ひびわれが圧縮部コンクリートをつきぬける荷重についての算定式を導いた。
- 2) 特に曲げ荷重が卓越した場合の実験を行なった結果は、Cowanによる終局のねじりモーメント  $T_o'$  で割った曲線(b)と比較的一致した。

### 5. 参考文献

P. Lampert "Postcracking stiffness of Reinforced Concrete Beams in Bending and Torsion"  
Publication NO 21, 1971

