

I—53 鉄筋コンクリートはりのせん断応力について

早稲田大学 正員 神山 一

鉄筋コンクリートはりの設計に用いられているせん断応力計算式 $\tau = \frac{S_b \cdot j d}{b \cdot d}$ を誘導するための假定は次の諸点ではりの性狀と相違している。

1. コンクリートの塑性変形、特に引張側コンクリートに塑性変形を生じた領域および曲げ引張ひびわれを生じた領域では曲げモーメントの変化に応じて中立軸の位置が変動するが、この中立軸の位置の変動を無視して導いたものである。
2. せん断応力が最大になるのは曲げ引張ひびわれを発生した断面とは限らない。弾性体と見なし得る状態、曲げ引張ひびわれを生じてないが引張側コンクリートに塑性変形を生じている状態および曲げ引張ひびわれ発生後の状態を比較し、どの状態でせん断応力が最大になるか検討してみる必要がある。
3. I形断面、丁形断面で中立軸が腹部内にある場合の最大せん断応力は腹部幅と有効高さのみによつて定まり、突縁幅の大小は無関係であるが、実験によると突縁幅の影響が認められる。
4. 斜引張ひびわれ発生荷重における最大せん断応力を上式によつて計算すると断面形状によつて著しい差が認められる。
5. 単純支持はりの載荷試験で斜引張ひびわれ(腹部から発達するひびわれ)を発生する位置は曲げ引張ひびわれを生じていない断面である。

以上の理由で丁形断面の斜引張ひびわれ荷重におけるせん断応力および斜引張応力について検討した。

曲げ引張ひびわれを発生してないが引張側コンクリートに塑性変形を生じている場合。

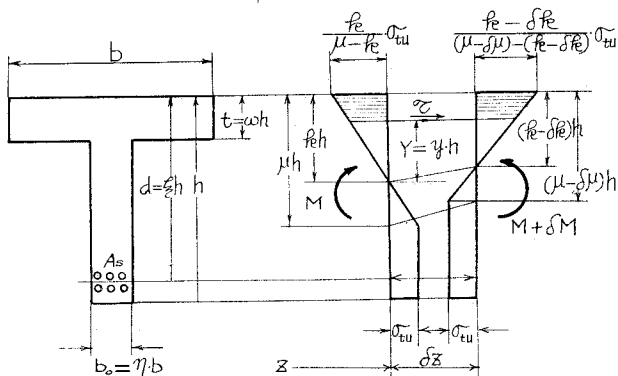
曲げモーメントの変化による中立軸の移動、引張側コンクリートの塑性変形量を考慮し、図-1のように応力分布を假定してせん断応力計算式を導いた。

$$\tau = \frac{h \cdot \sigma_{cu}}{2(\mu - k)^2} \left[2 \left\{ \frac{(\mu - k)\omega}{\eta} + (\mu - k)(k - \omega) \right\} \frac{\partial k}{\partial z} - \left\{ \frac{k^2 - (k - \omega)^2}{\eta} + (k - \omega)^2 \right\} \left(\frac{\partial \mu}{\partial z} - \frac{\partial k}{\partial z} \right) - 2(\mu - k) \frac{\partial k}{\partial z} y + \left(\frac{\partial \mu}{\partial z} - \frac{\partial k}{\partial z} \right) \cdot y^2 \right] \quad (1-1)$$

$$\eta = 1 - \frac{\omega^2(1 - \eta) + \eta\mu(2 - \mu) + 2\mu^2 \frac{E_s E_c}{\sigma_{cu}}}{\omega + \eta(1 - \omega) + \mu \frac{E_s E_c}{\sigma_{cu}}} \quad (1-2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \mu}{\partial z} &= \frac{1}{C_1 C_3 + C_2} \cdot \frac{E_s}{b h^2 \sigma_{cu}} \\ \frac{\partial k}{\partial z} &= \frac{C_3}{C_1 C_3 + C_2} \cdot \frac{E_s}{b h^2 \sigma_{cu}} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

図-1 応力分布の假定



$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{2}{(\mu - k)^2} \left[\eta \{ 3(\mu - k)(k - \omega)^2 + (k - \omega)^3 - (\mu - k)^2(3 - \mu - 2k) \} + 3(\mu - k) \{ k^2 - (k - \omega)^2 \} + k^3 - (k - \omega)^3 - 3p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}} \{ 2(\mu - k)(\xi - k) - (\xi - k)^2 \} \right] \\ C_2 &= \frac{2}{(\mu - k)^2} \left[-\eta \{ (k - \omega)^3 + (\mu - k)^3 \} - k^3 + (k - \omega)^3 - 3p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}} (\xi - k)^2 \right] \\ C_3 &= \frac{\eta(1 - \mu)}{\omega + \eta(1 - \omega) + p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}}} \end{aligned} \right\} (1-4)$$

せん断応力を(1-1)式によつて求めるには μ , k の何れかを実験によつて決定しなければならぬ。図-1の假定応力分布によつて曲げ引張ひびわれモーメントから μ の最小値を求めた。

曲げ引張ひびわれ発生後。せん断応力計算式は(1-1)式と同じであるが諸係数は次式によつて計算する。

$$k = \frac{1}{2} \frac{\omega^2(1 - \eta) + \eta\mu^2 + 2p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}}}{\omega + \eta(\mu - \omega) + p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}}} \quad (2-1)$$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{2}{(\mu - k)^2} \left[\eta \{ 3(\mu - k)(k - \omega)^2 + (k - \omega)^3 - 2(\mu - k)^3 \} \right. \\ &\quad \left. + 3(\mu - k) \{ k^2 - (k - \omega)^2 \} + k^3 - (k - \omega)^3 \right. \\ &\quad \left. - 3p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}} \{ 2(\mu - k)(\xi - k) - (\xi - k)^2 \} \right] \\ C_2 &= \frac{2}{(\mu - k)^2} \left[\eta \{ (\mu - k)^3 - (k - \omega)^3 \} - k^3 + (k - \omega)^3 - 3p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}} (\xi - k)^2 \right] \\ C_3 &= \frac{\eta \{ \omega^2(1 - \eta) + 2\omega(1 - \eta)\mu + \eta\mu^2 - 2p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}} (\xi - 1) \}}{2 \{ \omega + \eta(\mu - \omega) + p \frac{E_s E_t}{\sigma_{tu}} \}^2} \end{aligned} \right\} (2-2)$$

曲げ引張ひびわれ発生前後のせん断応力

および斜引張応力を比較すると、曲げ引張ひびわれ発生前の引張側コンクリートの塑性変形が最大値に到達したときに最大になっている。コンクリートの塑性変形量は断面形状によつてちがひ、腹部幅に比較して突縁幅が著しく大きくなると塑性変形は減少して、弾性理論に一致する傾向を示している。

実験結果と計算値との比較

四-2の断面をもつはりによつて載荷試験を行つた。はりの全長2.80m, 支間2.40mとした。断面(A)は斜引張ひびわれを発生することなく、曲げモーメントで破壊した。

断面(B), (C)の斜引張ひびわれ荷重の平均値はそれぞれ $S=4.0t$, $S=5.5t$ である。この斜引張ひびわれ発生荷重におけるせん断応力および斜引張応力の最大値を求め表-1に示した。

従来の計算式によるとせん断応力度は断面(B)で124 $\%$

断面(C)で175 $\%$ となり、コンクリートの引張強度より非常に小さい値である。(1)式による最大せん断応力度は断面(B)で23.4 $\%$, 断面(C)で29.1 $\%$ である。この値は近似的に斜引張応力度と考へてよいので、コンクリートの引張強度に近い斜引張応力度でひびわれを発生している。

以上、はりの曲げ引張ひびわれ発生前後の性状を考慮してせん断応力の分布および大きさを検討してみたが、さらに他の面からの検討も必要であらう。

図-2 実験はりの断面形状寸法

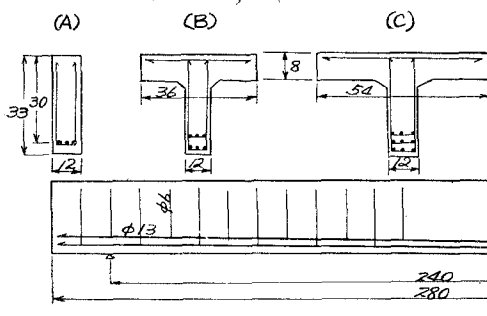


表-1 斜引張ひびわれ荷重におけるせん断応力と斜引張応力

応力度 $\%$	断面	(B)	(C)
せん断応力度	実験結果	20	20
	$\tau = \frac{S}{b \cdot d}$	12.4	17.5
	(1)式	23.4	29.1
材料強度	$\sigma_c = 310 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_t = 29.0 \text{ kg/cm}^2$		
	主筋	$\phi 13$	
	ストラップ	$\phi 6$ 10 cm 間隔	