

早稲田大学理工学部 正久 神 山

1 まえがき 斜引張りひわれの発達によって起る破壊とせん断破壊、せん断圧縮破壊およびせん断付着破壊の3種に大別し、斜引張りひわれ発生後のつり合い機構のモデルを提案して各種強度間の関連を検討した。この破壊機構モデルによって従来別々に検討されていた上記破壊の条件の明確化を試みたものである。

2. 斜引張りひわれ発生後の主鉄筋の応力度 斜引張りひわれ発生後のはりのつり合いは内部的な不静定となり、主鉄筋は図-1のタイトアーチのタイとして働く。主鉄筋の引張力 \$T\$ は

$$T = \frac{\int_0^l \frac{M}{I \cos \theta} y dx}{\int_0^l \frac{y^2}{I \cos \theta} dx + \int_0^l \frac{C \cos \theta}{A} dx} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{I \cos \theta_i} y_i \Delta x_i}{\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{I \cos \theta_i} \Delta x_i + \sum_{i=1}^n \frac{C \cos \theta_i}{A} \Delta x_i} \quad (1)$$

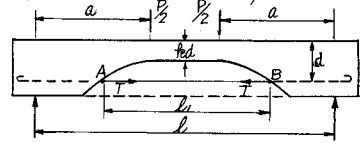


図-1 理想化したつり合い状態

式(1)は図-1のA, B点の引張力である。ひわれが直線的に発達すると仮定して近似値を求めれば図-1の場合は

$$T \div f(l/2)P = \alpha P, \quad \alpha = f(l/2) \frac{q}{A}, \quad \text{近似的には} \quad \alpha = (\text{常数}) \times \frac{q}{A} \quad (2)$$

3. 鉄筋とコンクリートの分担せん断力 斜引張りひわれ断面のせん断力は腹鉄筋、圧縮部分のコンクリートおよび主鉄筋が分担する。腹鉄筋は引張力でせん断力を受け、主鉄筋はDowel Actionによってせん断力を伝達する。すなわち全せん断力から腹鉄筋が負担するせん断力を差し引いた残りのせん断力は、圧縮部コンクリートと主鉄筋とで分担する。その分担割合は両者のせん断剛度比によってきまる。これを模式的に示せば図-2のようになる。このモデルは圧縮部コンクリート、腹鉄筋および主鉄筋を等しい鉛直変位を生ずると仮定し、それぞれせん断剛度によって分担せん断力がきまることを表わしたものである。すなわちコンプライアンス \$K_s, K_v\$ および \$K_c\$ をきめれば分担せん断力 \$S_s, S_v\$ および \$S_c\$ が求まる。この条件は次式で表わせる。

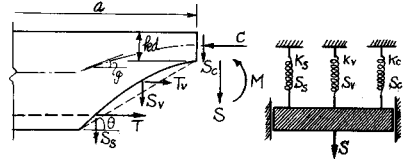


図-2 せん断力分担のモデル

$$S = S_c + S_v + S_s, \quad \text{および} \quad \delta = K_c S_c = K_v S_v = K_s S_s \quad (3)$$

破壊前に腹鉄筋が降伏するものと仮定すれば \$S_v = A_v \sigma_{sy}\$ は既知となり式(3)は次のように単純化される。

$$S - A_v \sigma_{sy} = S_c + S_s, \quad \text{および} \quad \delta = K_c S_c = K_s S_s \quad (4)$$

\$K_c, K_s\$ は次の条件から求める。図-3のつり合いを考えれば、圧縮部コンクリートの見かけの鉛直ひずみ \$E_c\$ は

$$\left. \begin{aligned} E_c &= \frac{\tau}{G} + \nu \frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{2(1+\nu)}{E_c} \frac{S_c}{b h d} + \frac{\nu}{E_c} \frac{M}{b h^3 (1-\beta^2)} \\ \delta_c &= f \beta d E_c = K_c S_c, \quad \text{ここに} \quad K_c = \frac{1}{E_c b} \left\{ 2(1+\nu) + \frac{\nu}{2(1-\beta^2)} \cdot \frac{M}{S_c} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

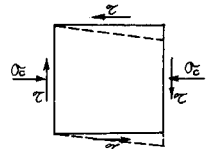


図-3

\$K_s\$ は図-4のひわれ面に沿って作用するせん断力 \$S_s\$ による鉄筋のたわみから求める。鉄筋を埋込みばりと考え、埋込み長さ \$l \gg \phi\$ と仮定すれば、ひ

ひわれ面における鉛直変位 δ_s は次式で求められる。

$$\delta_s = K_s \cdot S_s, \quad K_s = \frac{4}{E_c \phi \sqrt{N\pi}}$$

ここに $\pi = E_s / E_c$

E_c = 鉄筋下面のコンクリートの見かけのヤング係数

E_s = 鉄筋のヤング係数

N = 鉄筋の本数

上記諸係数を用いれば分担せん断力 S_c , S_s は式(4)と解いて次のように表わせる。

$$\left. \begin{aligned} S_c &= \frac{\frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}} (S - A_v \sigma_{sy}) - \frac{\nu M}{2(1+\nu) + \frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}}} \div \frac{\frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}} (S - A_v \sigma_{sy}) - \frac{\nu M}{2d}}{\frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}}} \\ S_s &= \frac{\frac{2(1+\nu)(S - A_v \sigma_{sy}) + \frac{\nu M}{2(1+\nu) + \frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}}}}{\frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}}} \div \frac{\frac{2(1+\nu)(S - A_v \sigma_{sy}) + \frac{\nu M}{2d}}{\frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

いま、 $A_v = 0$ (腹鉄筋を用いない場合)、 $M \equiv S \cdot a$ と仮定すれば式(7)は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} S_c &\div \frac{\frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}} - \frac{\nu a}{2d}}{\frac{2(1+\nu) + \frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}}}} S = \beta_c \cdot S, & \beta_c &= \frac{1 - \frac{\nu \phi \sqrt{N\pi}}{8b} \frac{a}{d}}{1 + \frac{(1+\nu) \phi \sqrt{N\pi}}{2b}} \\ S_s &\div \frac{\frac{2(1+\nu) + \frac{\nu a}{2d}}{\frac{4b}{\phi \sqrt{N\pi}}}} S = \beta_s \cdot S, & \beta_s &= 1 - \beta_c = \frac{1 + \frac{4(1+\nu) a}{2b}}{1 + \frac{(1+\nu) \phi \sqrt{N\pi}}{2b}} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

4. 破壊の条件

せん断圧縮破壊

圧縮部コンクリートの破壊強度におよぼすせん断応力の影響を無視し、図-2の水平力のつり合いから主軸の位置をきめる。また曲げモーメントのつり合いから

$$R_c = \frac{2\alpha S + A_v \sigma_{sy}}{bd \sigma_{co}} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} S_u &= Y_1 + \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2} \\ Y_1 &= \frac{bd \sigma_{co}}{4\alpha^2} \left(2\alpha \frac{a}{d} - 2 \frac{\alpha A_v \sigma_{sy}}{bd \sigma_{co}} - \frac{\alpha A_v \sigma_{sy}}{\tan \theta \cdot bd \sigma_{co}} \right) \\ Y_2 &= \frac{bd \sigma_{co}}{2\alpha^2} \left\{ A_v \sigma_{sy} \left(1 - \frac{A_v \sigma_{sy}}{2bd \sigma_{sy}} \right) + \frac{A_v \sigma_{sy}}{2 \tan \theta} \left(1 - \frac{A_v \sigma_{sy}}{bd \sigma_{co}} \right) \right\} \\ \mu_u &= S_u \cdot a \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

破壊せん断力 S_u を求める。式(9)、式(10)は鉄筋応力度として式(2)の近似値を用いて示したものである。

せん断付着破壊

鉄筋に沿ってひびわれを生ずるせん断付着破壊強度は鉄筋の分担せん断力を鉄筋囲心面のコンクリートの引張強度とスタラップで支持すると仮定して求める。鉄筋囲心面のコンクリートの純幅 b' は

$$b' = b_o - N\phi \quad (11)$$

水平にひわれを生ずるときのせん断力 $\beta_s S_c$ は図-4の l_o 区間のコンクリートの引張強度が与えらる。

$$\beta_s S_c = \frac{3}{4\beta} (b_o - N\phi) l_o \sigma_{tu} \quad S_c = \frac{3}{4\beta} (b_o - N\phi) l_o \sigma_{tu} \quad (12)$$

破壊を起すときの分担せん断力 $\beta_s S_u$ はスタラップの間隔を l_s , σ の断面積を A_v とすれば

$$\left. \begin{aligned} \beta_s S_u &= \frac{3}{4} (b_o - N\phi) l_o \sigma_{tu} + \frac{l_s}{l_o} A_v \sigma_{sy} \\ S_u &= \frac{1}{\beta} \left\{ \frac{3}{4} (b_o - N\phi) l_o \sigma_{tu} + \frac{l_s}{l_o} A_v \sigma_{sy} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

他の破壊様式については省略する。実験結果との比較、各破壊様式間の関係については当日に報告する。

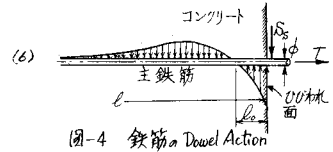


図-4 鉄筋のDowel Action

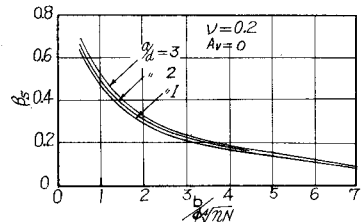


図-5 鉄筋のせん断力分担係数