

V-182

FRPせん断補強筋が受け持つせん断力の算定

長岡技術科学大学大学院 学生員 趙 唯堅
 長岡技術科学大学工学部 正会員 丸山久一
 J R 西日本 正会員 鈴木秀門
 長岡技術科学大学大学院 学生員 木暮明仁

1. はじめに

土木学会のコンクリート標準示方書に規定されている修正トラス理論によるせん断耐荷力の算定式（式(1)）をFRPロッドで補強したコンクリート部材に適用する場合、FRPせん断補強筋の受け持つせん断力 V_s を簡易かつ妥当な精度で算定できる方法を確立する必要がある。本研究では、著者らが行った詳細な実験で得られたFRP補強コンクリートはりのせん断変形状^{1)・2)}に基づき、せん断補強筋のひずみ分布をモデル化し、FRPせん断補強筋が受け持つせん断力 V_s の算定方法を提案した。

$$V = V_c + V_s \quad (1)$$

2. 主せん断ひびわれ角度

せん断補強筋を有するコンクリートはりがせん断破壊を起こす時、卓越した斜めひびわれと交差している部分のせん断補強筋しか直接にはりのせん断耐力に寄与しない。即ち、せん断耐力に対するせん断補強筋の効果 V_s は、卓越した斜めひびわれ（本論文では主せん断ひびわれと呼ぶ）の角度に直接関係する。著者らの過去の実験結果によれば、主せん断ひびわれ角度は主にせん断スパン比に影響される。図-1に主せん断ひびわれ下端（主筋との交差点）と載荷板外縁（はり上縁）を結ぶ直線が部材軸となす角度 θ とせん断スパン比との関係を示し、この相関関係を式(2)に示す1次式で表す。ここに、 a :せん断スパン、 d :有効高さ、 r_1 および r_2 :支承および載荷板の幅。

$$\theta = (47 - 4.8a/d) \pi / 180 \quad (2)$$

$$\text{ただし } \tan \theta \geq d / \{a - 0.5(r_1 + r_2)\}$$

3. せん断補強筋歪分布のモデル化

せん断卓越領域の変形状を詳細に調べるために、せん断スパン内に斜めひびわれを誘発するためのノッチを設けたFRP補強コンクリートはりの載荷実験を行った。図-2に主せん断ひびわれ位置におけるせん断補強筋歪分布の実測例を示す。載荷板から離れるほど、スターラップの歪は大きくなるが、直線的な分布とはならない。また、主筋の引張剛性、せん断補強筋の引張剛性、およびせん断スパン比が大きいほど、終局時のせん断変形およびスターラップの歪は小さくなる結果が得られた^{1)・2)}。これらの結果に基づき、終局時のせん断補強筋の歪分布を図-3のようにモデル化する。即ち、式(3)に示す水平区間 L_o をせん断補強筋の考慮範囲とし、式(4)に示す $(1/3)$ 乗曲線をせん断補強筋の歪分布曲線と仮定する。ここに、 L_o :せん断補強筋考慮区間の水平距離、 L_i :考慮区間 L_o 内のスターラップ i の位置から載荷板外縁までの水平距離。

$$L_o = d / \tan \theta \quad (3)$$

$$\eta_i = (L_i / L_o)^{1/3} \quad (4)$$

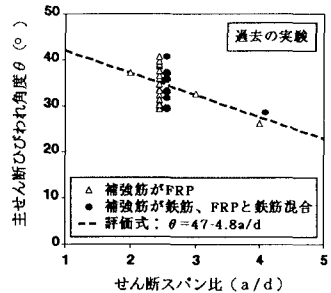


図-1 主せん断ひびわれ角度

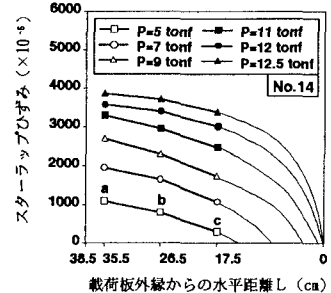


図-2 せん断補強筋歪分布の実測例

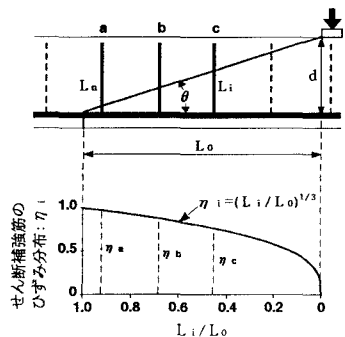


図-3 せん断補強筋歪分布のモデル化

4. せん断補強筋が受け持つせん断力 V_s の算定方法

上記のモデルをもとに、主筋比せん断補強筋比、せん断補強筋の位置、およびせん断スパン比の影響を取り入れ、終局時にせん断補強筋の受け持つせん断力 V_s の算定方法を式(5)のように提案する。

$$V_s = a_w \Sigma \{ E_w \lambda_w (L_i / L_o)^{1/3} \} \quad (5)$$

$$\lambda_w = 0.0714 / \{ (28 p t^* + 1) (520 p w^* + 1) (0.9 a / d + 1) \}$$

$$p t^* = A_t / (b w d) \cdot (E_t / E_s)$$

$$p w^* = (A_w + 3) / (b w L_o) \cdot (E_w / E_s)$$

なお、せん断補強筋の応力上限値として

$$E_w \lambda_w (L_i / L_o)^{1/3} \leq f_y \quad (\text{鉄筋スターラップ})$$

$$\leq f_w (L_i / L_n)^{1/3}$$

$$(\text{FRPスターラップ})$$

ここに、 E_t ：主筋の弾性係数、 E_w ：せん断補強筋の弾性係数、 E_s ：鉄筋の弾性係数、 f_y ：鉄筋の降伏強度、 f_w ：FRPせん断補強筋の破断強度（曲げ加工部）、 A_t ：主筋の断面積、 A_w ：考慮区間内のせん断補強筋の全断面積、 a_w ：スターラップ1ループの断面積、 $b w$ ：断面幅、 L_n ： L_i の最大値、即ち考慮区間に、載荷板から最も離れたスターラップから載荷板外縁までの水平距離。

5. 提案式(5)の適用性について

V_s の実験値と提案式(5)による計算値の比較を図-4に示す。（実験値／計算値）の平均値は1.00、変動係数は0.089であり、満足な算定精度を有する。また、岡村・楢貝式を用いてコンクリートの受け持つせん断力 V_c を計算し、(1)によるトータルのせん断耐力を比較したのが図-5である。この場合、（実験値／計算値）の平均値は1.055、変動係数は0.09であった。実験値は計算値より多少大きかった原因はせん断補強筋量の増加につれ V_c もわずかながら増加したと考えられる。

今回行ったFRP補強コンクリートはりの載荷実験にはスターラップの位置の影響を調べるために試験区間内にスターラップを1本しか配置していなかった供試体が多かったので、それらを含めてせん断耐力を評価するために、上記の式(5)に示す離散化の表現を取った。その長所はスターラップ間隔と有効高さの比（ s/d ）が比較的大きい場合、かえって算定精度を上げることができる。また、健全供試体のデータが揃えば、式(5)を平均的な扱い方に変え、より簡易で実設計で十分使える形に変形することが可能である。

6. まとめ

せん断補強筋のひずみ分布を1/3乗曲線にモデル化することによって、せん断補強筋が受け持つせん断力の算定式を提案した。本実験の範囲内では高い算定精度を有する。

【謝辞】

本研究は文部省科学研究費補助金（総合研究(A)、課題番号04302040、代表者：角田與史雄 北海道大学教授）の一部を受けて行ったものである。また、材料は（株）熊谷組および清水建設（株）から提供して頂いた。ここに謝意を表する。

【参考文献】

1) 木暮明仁・丸山久一・趙 唯堅・鈴木秀門：FRP補強コンクリート梁のせん断耐荷性状に関する実験的研究，土木学会第50回年次学術講演会概要集（投稿中）。2) 鈴木秀門・丸山久一・趙 唯堅・木暮明仁：FRP補強コンクリート梁のせん断変形性状に関する実験的研究，土木学会第50回年次学術講演会概要集（投稿中）。

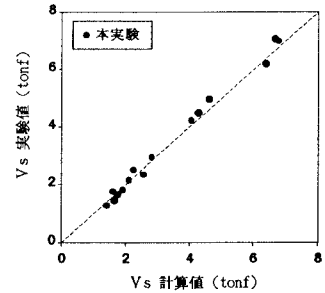


図-4 V_s の実験値と計算値の比較

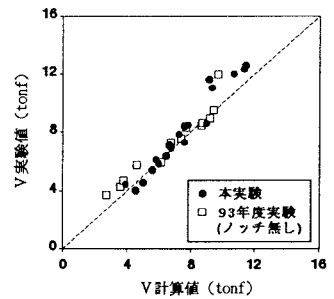


図-4 Vの実験値と計算値の比較