

報告

[2123] RC せん断耐力算定式の FRP ロッドで補強したはりに対する適用性

正会員 ○横井克則 (徳島大学工業短期大学部)

正会員 島 弘 (徳島大学建設工学科)

正会員 水口裕之 (徳島大学工業短期大学部)

1. はじめに

主筋あるいはスターラップに連続繊維補強材 (以下、FRP ロッドと呼ぶ) を用いたコンクリートはりのせん断に関しては、これまでにいくつかの研究が行われており、FRP ロッドを主筋に用いると斜めひび割れ発生荷重が小さくなること [1]、さらに、FRP ロッドをスターラップに用いると、その耐力は理論値よりもかなり小さくなること [2] などが報告されている。そこで本報告では、現在までに発表されている FRP ロッドを用いたコンクリートはりのせん断実験に関する文献 [1]~[8] からせん断耐力の算定に必要なデータを取り出し、それを用いて、鉄筋コンクリート (以下、RC と呼ぶ) 用のせん断耐力算定式の FRP ロッドで補強したはりに対する適用性を検討し、FRP ロッドで補強したはりのせん断耐力算定に対するひとつの考え方を示す。

2. スターラップのないはりのせん断耐力

2.1 耐力算定式の再評価

文献 [1]~[8] の研究における主筋に鉄筋を用いてスターラップのないはりについて、せん断耐力の計算値に対する実験値の比を図-1 に示す。計算値は、土木学会のコンクリート標準示方書 [9] による式、二羽式 [10] および石橋式 [11] から求めた。この図から、 $a/d \geq 2.5$ のときは次式の二羽式が実験値に近くなった。

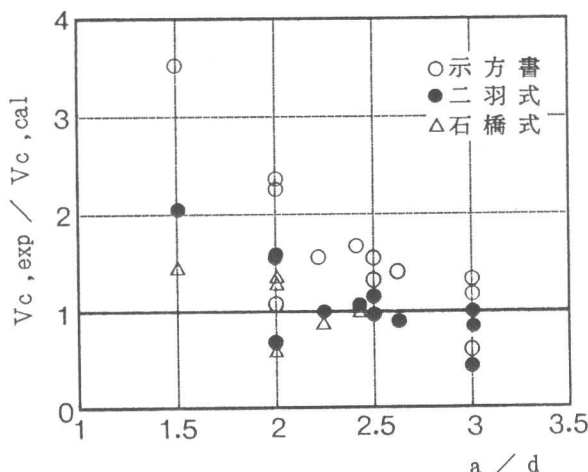


図-1 スターラップのないはりの RC 用せん断耐力算定式の評価

$$V_c = 0.20(p_w \cdot f_c')^{1/3} \cdot d^{-1/4} [0.75 + 1.4/(a/d)] \cdot b \cdot d \quad (1)$$

ここに、 V_c : 斜めひび割れ発生荷重 (N)、

p_w : 主筋比、 f_c' : コンクリートの圧縮強度 (MPa)、 d : 有効高さ (m)、 a : せん断スパン (m)、 b : 幅 (m)、である。そして、 $a/d < 2.5$ のときは次式の石橋式が近くなった。

$$V_c = 3.58 \cdot f_c'^{1/3} \cdot (a/d)^{-1.166} \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot b \cdot d \quad (2)$$

ここに、 $\beta_a: (100/d)^{1/4}$ 、 $\beta_p: (100 \cdot p_w)^{1/3}$ 、 f_c' : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)、

d : 有効高さ (cm)、 a : せん断スパン (cm)、 b : 幅 (cm)、である。

したがって、本報告における以降の評価の基準となる主筋に鉄筋を用いたはりの V_c の計算には、すべて、二羽式と石橋式を組み合わせるものを用いる。

2.2 FRP ロッドを用いたはりのせん断耐力

図-2 に、実験値と計算値との比を示す。計算値は、二羽・石橋式を用いた。その結果、主筋

にFRPロッドを用いたはりの V_c は、RCはりのものよりも小さい。このFRPロッドを用いたときの耐力低下に対して、辻らは[1]主筋の弾性係数を考慮し、主筋断面積にFRPロッドと鉄筋との弾性係数の比を乗じた次式を提案し、この値を換算断面積として計算すると、鉄筋の式が応用できるとしている。

$$A_n = A(E_1/E_s) \quad (3)$$

ここに、 A_n :換算断面積、 A :主筋の断面積、
 E_1 :FRPロッドの弾性係数、
 E_s :鉄筋の弾性係数、である。

図-3に、辻らの換算断面積を二羽・石橋式に適用したものを示す。換算鉄筋比が小さくなるとせん断耐力が小さくなっているが、辻らの方法を用いると、計算値は実験値に近くあるいは安全側になることがわかる。

したがって、これよりあとの主筋にFRPロッドを用いたはりの V_c の計算には辻らの換算断面積を二羽・石橋式に適用したものをを用いる。

3. スターラップを有するはりのせん断耐力

FRPロッドを主筋およびスターラップに用いたはりのせん断耐力は、RCはりの計算方法[9]である次式、

$$V_u = V_c + V_{su} \quad (4)$$

ここに、 V_u :せん断耐力、 V_{su} :スターラップにより受け持たれるせん断耐力で、トラス理論から次式で求められる。

$$V_{su} = A_w \cdot f_{wy} \cdot z/s \quad (5)$$

ここに、 A_w :スターラップの断面積、 f_{wy} :スターラップの降伏強度、 $z:d/1.15$ 、 s :スターラップ間隔、

のスターラップの降伏強度 f_{wy} をFRPスターラップの破断強度 f_{wf} に置き換えることによる計算値よりも小さくなる。

この原因のひとつは、先に述べた V_c (斜めせん断ひび割れ発生荷重)がFRPロッドを用いたはりでは小さくなることである。そこで図-4に、主筋およびスターラップにFRPロッドを用いたはりにおいて、 V_c として安全側に与える辻らの方法を用いて計算したものを示すが、実験値は計算値よりもさらに小さくなっている。

これは、斜めひび割れ発生後の変形の増大とともにコンクリートが負担できるせん断力が小さ

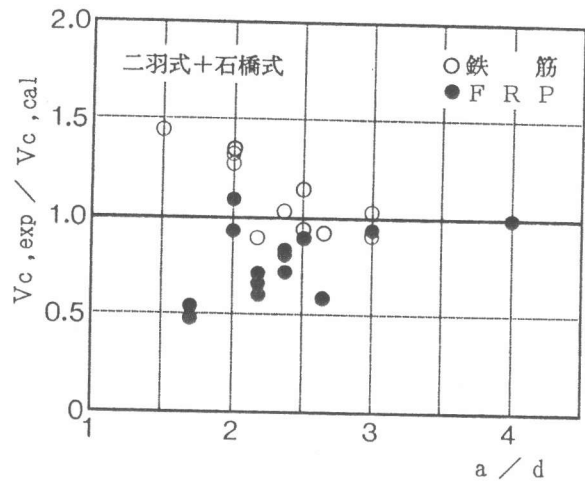


図-2 FRPロッドを主筋に用いてスターラップのないはりのせん断耐力

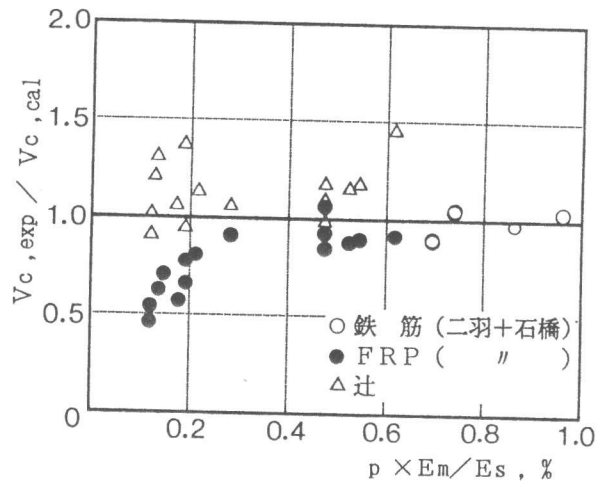


図-3 主筋の剛性を考慮したときのせん断耐力の算定

くなり、スターラップ破断時には、コンクリートの負担できるせん断力は V_c よりもかなり小さくなっていることが考えられる。著者ら[13]は、FRPロッドを主筋に用いたはりのせん断実験におけるスターラップに作用する応力の測定結果から、コンクリートが負担するせん断力は斜めひび割れ発生時のせん断力よりも小さくなることを報告した。

耐力低下の第2原因としては、FRPスターラップの引張強度が一軸引張試験よりも小さいことが考えられる[2][4]。主筋に鉄筋を用いてFRPスターラップによる補強効果を調査した結果によると、スターラップの効果は、理論値の0.26~1.28(平均0.67)と相当に小さくなり、かつばらついている[3]。この原因は、スターラップの曲げ成形部の強度低下、およびスターラップには引張力だけでなくせん断力も作用するために、引張強度が一軸引張試験から求まる値より小さくなることが考えられる。曲げ成形部[14][15]および斜め引張荷重を受けるとき[16][17]の引張強度は、条件によってそれぞれ一軸引張試験のものの50%以下になるという報告がある。

4. FRPロッドを用いたはりのせん断耐力の算定

4.1 算定方法

図-4のせん断耐力の低下は、先に述べたように、式(4)中のコンクリートが負担するせん断力が斜めひび割れ発生後の変形の増大とともに小さくなり、スターラップ破断時には、コンクリートの負担できるせん断力は V_c よりもかなり小さくなっていることと、FRPスターラップの引張強度が一軸引張試験よりも小さいことによる V_{su} の低下によるものと考えて、次式を用いて再検討した。

$$V_u = \alpha V_c + \beta V_{su} \quad (6)$$

ここに、 α :コンクリートが負担するせん断力の低下係数、 β : V_{su} の低下係数、である。

α の算出には、著者ら[13]が提案した図-5に示す V_c の低下の考え方をを用いた。すなわち、コンクリートが負担するせん断力はせん断ひび割れ幅の拡大とともに斜めひび割れ発生時のせん断力よりも小さくなるものであり、この低下度は主筋の剛性が小さいほど著しいという考え方である。図の縦軸が α であり、横軸がスターラップのひずみである。式(4)は普通強度の鉄筋のスターラップが降伏するまではおおそ成立するとされていることから[12]、斜めひび割れ発生後、スターラップのひずみが2000 μ までは $\alpha=1$ とし、その後はスターラップのひずみ増加とともに α を小さくしている。このスターラップのひずみにFRPスターラップの破断ひずみを代入する

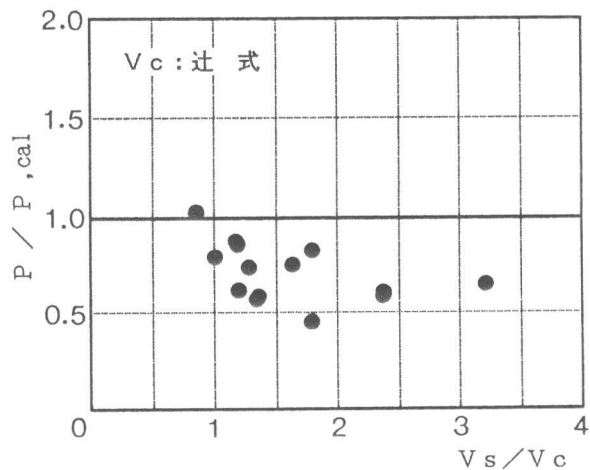


図-4 FRPロッドを主筋およびスターラップに用いたはりのせん断耐力

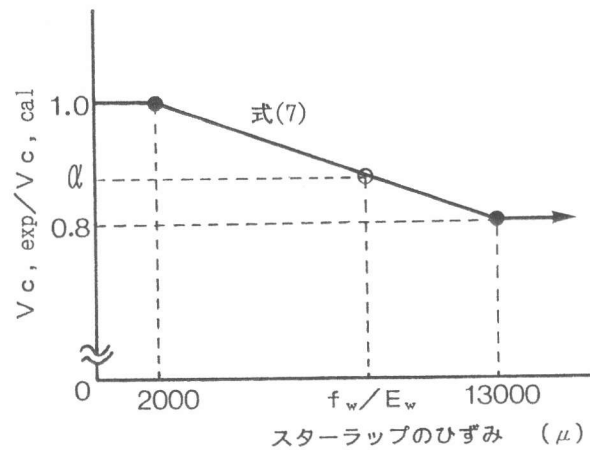


図-5 V_c の低下

ことにより、それぞれの α が求まる。一例として涌井らの実験[6]におけるスターラップひずみの測定結果から次式の α 式を求めた。主筋比 \times 弾性係数は 9.12tf/cm^2 であり、

$$\alpha = -39.7 \cdot f_w / E_w + 1.08 \quad (0.2\% < f_w / E_w < 1.3\%) \quad (7)$$

$$\alpha = 0.8 \quad (1.3\% < f_w / E_w) \quad (8)$$

ここに、 f_w :スターラップの曲げ成形部の強度低下を考慮した引張強度 (kgf/cm^2)、
 E_w :スターラップの弾性係数 (kgf/cm^2)、である。

β に関しては、曲げ成形部の強度低下について、丸山らの報告[14]により式(5)中の引張強度 f_{wf} が50%に低下するとした。

4.2 実験値との比較

式(6)で求めた V_c と V_{su} の低下を考慮した計算値と実験値との比の一例(涌井らの実験を用いて主筋の剛性が一定の場合)を図-6に示す。これによると、計算値は安全側に近づいているが、ばらつきが非常に大きいことがわかる。これは、せん断ひび割れの発生状態や、丸山らの報告であるように、曲げ成形部の強度がその曲げ半径によって異なる[14]ことなどの影響であると考えられる。

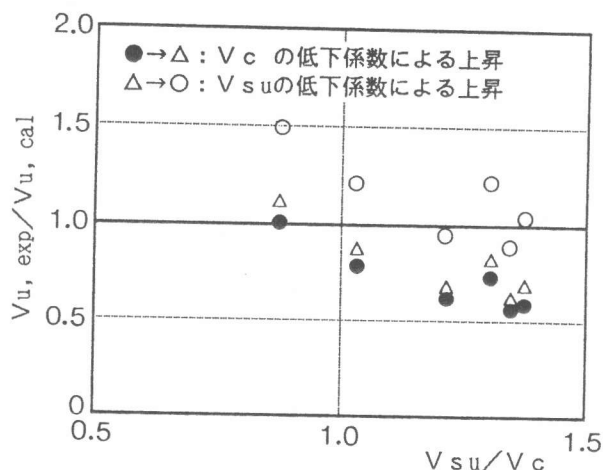


図-6 実験値との比較

5. まとめ

(1) 既往の研究のデータを用いて斜めひび割れ発生荷重の算定式を評価すると、主筋が鉄筋の場合は石橋や二羽らの式、FRPロッドの場合はそれらの式に辻らの換算断面を代入したものでよく一致した。

(2) FRPロッドで補強したはりの耐力計算を行う場合には、RCせん断耐力算定式をそのままでは使えないことがわかった。

(3) V_c および V_{su} の低下を考慮したせん断耐力算定式を用いて、計算値と実験値を比較したがばらつきが大きかった。これは、せん断ひび割れの発生状態やFRPロッドの曲げ成形部などにおける引張強度の不安定さの影響であると考えられる。

【参考文献】

- [1] 辻ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 10, No. 2, pp. 547-552, 1988. [2] 涌井ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 835-838, 1989. [3] 寺田ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 10, No. 3, pp. 541-546, 1988. [4] 小沢ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 9, No. 2, pp. 269-274, 1987. [5] 遠藤ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 807-812, 平成3年. [6] 涌井ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 12, No. 1, pp. 1141-1146, 1990. [7] 本間ら: 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, pp. 344-345, 1990. [8] 白砂ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 13, No. 2, pp. 783-788, 1991. [9] コンクリト標準示方書[設計編]: 土木学会, 1986. [10] 二羽ら: 土木学会論文集, No. 372/V-5, pp. 167-176, 1986年8月. [11] 石橋ら: セメント技術年報, Vol. 40, pp. 495-497, 1986. [12] 岡村ら著: 鉄筋コンクリト工学, 市ヶ谷出版社, 1987. [13] 横井ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 13, No. 2, pp. 771-776, 1991. [14] 宮田ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 789-794, 1989. [15] 丸山ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 12, No. 1, pp. 1025-1030, 1990. [16] 丸山ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 771-776, 1989. [17] 丸山ら: コンクリト工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 783-788, 1989.