

## 自己収縮を考慮した RC はりのせん断補強筋応力評価の考え方について

極東工業株式会社 正会員 ○児玉 友和

極東工業株式会社 正会員 河金 甲

太平洋セメント 正会員 谷村 充

広島大学大学院工学研究科 正会員 佐藤 良一

## 1. はじめに

自己収縮によって高強度 RC はりのせん断補強筋ひずみが増大することは実験的に明らかにされているが<sup>1)</sup>、その推定方法は明確にされていない。そこで、載荷以前の鉄筋に蓄積された圧縮ひずみに着目し、せん断補強筋応力評価の考え方を提案する。

## 2. 実験概要

使用したコンクリートは、水結合材比が 23%で、普通ポルトランドセメントを用いた自己収縮の大きいコンクリート（記号 HAS：High Autogenous Shrinkage）と高ビーライト系セメント、収縮低減剤、膨張材を併用した自己収縮の小さいコンクリート（記号 LAS：Low Autogenous Shrinkage）であり、両配合ともにシリカヒュームを併用した。作製した RC 部材の供試体諸元と載荷前に蓄積された鉄筋ひずみ、収縮応力を表 - 1 に示す。せん断補強筋ひずみは 20～22mm 間隔で測定し、載荷方法は 2 点集中載荷とした。

## 3. 自己収縮の影響の考え方

土木学会の RC 棒部材のせん断補強筋を用いない場合のせん断強度式( $V_c$ )に、骨材の噛み合わせ効果とだば効果を表す引張鉄筋比が要因として含まれている。自己収縮が無視しえない場合、引張鉄筋は圧縮されるため、同一の荷重であっても曲げひび割れ幅は大きくなり、骨材の噛み合い効果は低下することが考えられる。このことは、引張鉄筋比が小さくなることと等価であると考えた。一方、藤田らは、圧縮強度  $f_c=80\sim125\text{N/mm}^2$  を適用範囲とし、式(1)に示すせん断補強筋を用いない場合のせん断強度式( $V_{c0,cr}$ )<sub>sh</sub> を提案した<sup>2)</sup>。この式は自己収縮の影響を含んだ式である（図 - 1(a)参照）。そこで、式(1)の引張鉄筋比を、本研究を参考にして、鉄筋位置のコンクリートがゼロ状態のときの鉄筋ひずみを  $-300\times10^{-6}$  とし、 $k_0=\varepsilon_s/(\varepsilon_s+300\times10^{-6})$  によって除すことにより、式(2)に示す自己収縮が生じない場合の  $V_c$  式を算出した（図 - 1(b)参照）。これを基に任意の自己収縮が生じる場合の  $V_c$  は式(3)のようになる。ここで、 $V_c$  に達したときの引張鉄筋ひずみ  $\varepsilon_s$  は平面保持を仮定し、せん断スパン中央のもので、繰り返し計算で求めている。

$$(V_{c0,cr})_{sh} = 180 f_c'^{1/2} d^{-1/2} (100 p_s)^{1/3} (0.75 + 1.4/(a/d)) bd \cdots (1)$$

$$(V_{c0,cr})_{sh} = 180 f_c'^{1/2} d^{-1/2} (100(1/k_0) p_s)^{1/3} (0.75 + 1.4/(a/d)) bd, \quad k_0 = \varepsilon_s / (\varepsilon_s + 300 \times 10^{-6}) \cdots (2)$$

$$(V_{c0,cr})_{sh} = 180 f_c'^{1/2} d^{-1/2} (100(k_s/k_0) p_s)^{1/3} (0.75 + 1.4/(a/d)) bd, \quad k_s = \varepsilon_s / (\varepsilon_s - \varepsilon_{s0}) \cdots (3)$$

ここで、 $\varepsilon_{s0}$ ：引張鉄筋位置のコンクリート応力がゼロ状態のときの引張鉄筋ひずみ（圧縮を負）

表 - 1 供試体諸元と載荷前の各計測値

| 配合  | 供試体名      | 供試体諸元 |      |      |      |      |                |                  |      |                |                      |                       |                      | 載荷前の各計測値             |                      |                      |                      |                      |                      |
|-----|-----------|-------|------|------|------|------|----------------|------------------|------|----------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|     |           | b     | h    | d    | a    | c    | p <sub>s</sub> | p <sub>s</sub> ' | s    | p <sub>w</sub> | f <sub>wy</sub>      | E <sub>w</sub>        | f <sub>c</sub>       | f <sub>t</sub>       | ε <sub>s</sub>       | ε <sub>s</sub> '     | σ <sub>c,ten</sub>   | ε <sub>w</sub>       | σ <sub>c,w</sub>     |
|     |           | (mm)  | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (%)            | (%)              | (mm) | (%)            | (N/mm <sup>2</sup> ) | (kN/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (×10 <sup>-6</sup> ) | (×10 <sup>-6</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) | (×10 <sup>-6</sup> ) | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| HAS | HAS-str-1 | 150   | 300  | 250  | 750  | 300  | 1.4            | 0.4              | 125  | 0.45           | 343                  | 194                   | 82                   | 4.7                  | -297                 | -496                 | 1.44                 | -364                 | 0.32                 |
|     | HAS-str-2 | 150   | 300  | 250  | 750  | 300  | 2.1            | 0.4              | 125  | 0.49           | 353                  | 196                   | 98                   | 6.7                  | -214                 | -451                 | 1.62                 | -317                 | 0.30                 |
| LAS | LAS-str-1 | 150   | 300  | 250  | 750  | 300  | 1.4            | 0.4              | 125  | 0.45           | 343                  | 194                   | 81                   | 5.5                  | -37                  | -86                  | 0.17                 | -72                  | 0.06                 |
|     | LAS-str-2 | 150   | 300  | 250  | 750  | 300  | 2.1            | 0.4              | 125  | 0.49           | 353                  | 196                   | 84                   | 6.2                  | 1.1                  | -30                  | -0.02                | -17.0                | 0.02                 |

b: はり幅, h: はり高さ, d: 有効高さ, a: せん断スパン長, c: 定着長, p<sub>s</sub>: 引張鉄筋比, p<sub>s</sub>': 圧縮鉄筋比,

s: せん断補強筋配置間隔, p<sub>w</sub>: せん断補強筋比, f<sub>wy</sub>: せん断補強筋の降伏強度, E<sub>w</sub>: せん断補強筋のヤング係数, f<sub>c</sub>: 圧縮強度, f<sub>t</sub>: 引張強度

ε<sub>s</sub>: 引張鉄筋ひずみ, ε<sub>s</sub>': 圧縮鉄筋ひずみ, σ<sub>c,ten</sub>: 引張鉄筋位置の収縮応力, ε<sub>w</sub>: せん断補強筋ひずみ, σ<sub>c,w</sub>: 鉛直方向の収縮応力

キーワード 高強度コンクリート, 収縮, せん断補強筋応力, せん断強度式, トラス理論

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科構造材料工学研究室 TEL 0824-24-7786

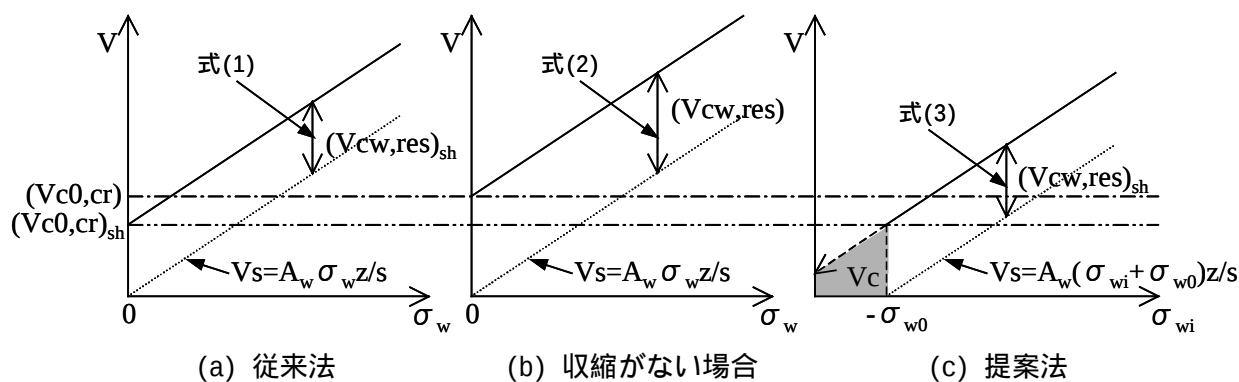


図 - 1 セン断補強筋応力評価の概念図

せん断補強筋を用いる場合，せん断補強筋は圧縮ひずみ域ではせん断力負担しない，せん断補強筋以外のせん断力負担 $(V_{c,res})_{sh}$ はせん断補強筋の引張ひずみの大きさに依存しない，仮説を設ければせん断力は次式で示される（図 - 1(c)参照）。

$$V = (V_{c,res})_{sh} + A_w \sigma_w z/s = (V_{c,res})_{sh} + A_w (\sigma_{wi} + \sigma_{w0}) z/s = \{(V_{c,res})_{sh} + A_w \sigma_{w0} z/s\} + A_w \sigma_{wi} z/s \cdots (4)$$

ここで， $\sigma_{w0}$ ：せん断補強筋位置のコンクリート応力がゼロ状態のときのせん断補強筋応力， $\sigma_{wi}$ ：せん断補強筋応力が $\sigma_{w0}$ のときからの増加応力（圧縮を負）

図 - 1(c)は，式(4)の3つ目の右辺を模式的に示したものであり，結果として，第1項は斜めひび割れ発生時強度を示している．仮説に従えば，図中ハッチの部分はせん断補強筋以外の負担せん断力で，この部分では増加することとなる．

#### 4．評価の考察

図 - 2 にせん断補強筋の実測平均応力と従来の修正トラス理論（式(1) + 収縮を無視した式(4)，以下，従来法），本研究で提案した修正トラス理論（式(3) + 収縮を考慮した式(4)，以下，提案法）の比較を示す．なお，実測平均応力は，数本の斜めひび割れの内斜めひび割れに跨った全てのせん断補強筋の平均応力が最も大きいものである．

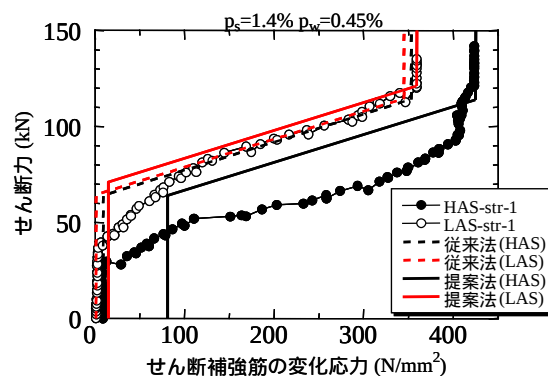
収縮の小さいLAS-1,2の場合，従来法が同等または若干大きく実測値を推定するのに対し，提案法は同等または若干小さく推定し，推定精度は従来法とほぼ等しい．収縮の大きいHAS-1,2では，提案法は過小評価しているが，従来法と比較して，推定精度がかなり向上しているのが認められる．

#### 5．まとめ

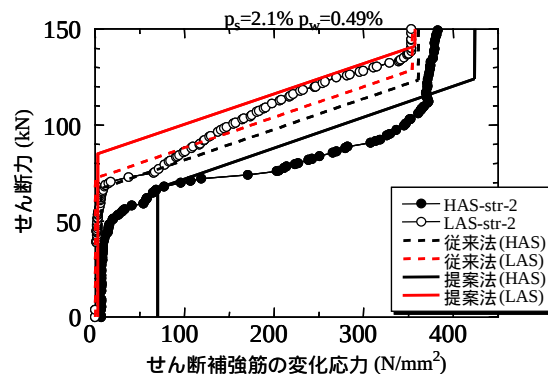
自己収縮の影響を蓄積された圧縮鉄筋応力に基づいて，高強度コンクリートを用いたRCはりのせん断補強筋応力の推定方法の考え方を提示した．本考え方により，特に収縮が卓越する場合，せん断補強筋応力の推定精度向上が認められた．

#### 参考文献

- 1) 早川智浩ほか：高強度コンクリートの収縮がせん断補強筋のひずみ挙動に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.589-594，2000.6
- 2) 藤田学ほか：高強度コンクリートを用いたRCはりのせん断強度と寸法効果，土木学会論文集，V-56，pp.161-172，2002.8



(a) HAS-str-1 と LAS-str-1



(b) HAS-str-2 と LAS-str-2

図 - 2 セン断補強筋応力の挙動