

## 論文 高強度材料を用いた RC 梁部材に関する実験的研究

下野 一行<sup>\*1</sup>・佐藤 勉<sup>\*2</sup>・松岡 茂<sup>\*3</sup>

**要旨：**高強度材料を用いた構造物の設計を行う場合、その耐力算定手法やひび割れに対する安全性について十分に検討しておく必要がある。本論では、高強度材料を用いた鉄筋コンクリート梁による載荷実験を行い、既往のせん断耐力算定手法の適用性について検討した。さらに、等曲げ区間において曲げひび割れ幅の検討を行った結果、既往の算定手法により概ね妥当に評価できる結果となった。

**キーワード：**高強度材料、鉄筋コンクリート、せん断耐力、曲げひび割れ幅

## 1. はじめに

高強度材料を RC 部材に適用すれば、一般に断面の縮小化が可能となる。しかし梁部材への適用にはせん断耐力や使用時のひび割れの評価が重要となる。

高強度のコンクリートおよび鉄筋を用いた RC 部材のせん断耐力評価式については、建築の分野ではアーチ作用とトラス作用を考慮した評価手法[1]がすでに提案されている。また高強度材料である連続繊維補強材を用いた場合のせん断耐力の評価は、文献[2]において解析的な検討に基づき、土木学会コンクリート標準示方書[3]の算定式との整合を考慮した算定式が示されている。

文献[4]では文献[2]の考えに基づき、高強度鉄筋の場合にも同様な考え方が適用できるとした方法が示されている。これは、普通強度の RC 部材のせん断耐力評価式と同様にトラス理論に準じ、せん断補強鉄筋の応力度に制限を加えることによって評価したものである。しかしこの耐力算定手法に対する適用性については、実験結果等に基づいて、十分な検証が行われていないのが現状である。

本論文では、高強度材料を用いた RC 梁の供試体を用いて載荷実験を行い、既往のせん断耐力算定手法との検証を行うことを目的にした

ものである。さらに等曲げ区間において曲げひび割れ幅の検討を行い、最大ひび割れ間隔と鉄筋応力の増加量を考慮した既往の算定手法の評価も行った。

## 2. 実験概要

## 2.1 供試体の形状および諸元

供試体形状および諸元を、表-1 および図-1 に示す。

各供試体の主たるパラメータは、せん断スパンと有効高さの比( $a/d$ )、せん断補強鉄筋の有無、直径および配置間隔とした。

使用したコンクリートの試験時の圧縮強度を表-1 に、鉄筋の引張降伏強度等の材料特性を表-2 に示す。

## 2.2 載荷方法および測定項目

載荷は2点对称の単調載荷とした。測定は、変形(たわみ)、ひずみ量(鉄筋およびコンクリート)、ひび割れ幅および破壊性状について行った。

## 3. 実験結果

破壊時の荷重(2点載荷の片側分の荷重： $P_{max}$ )を表-3および表-4に示す。供試体は、

\*1,\*2 (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術開発事業部 橋梁担当(正会員)

\*3 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 技術研究所 研究第二部土木研究室(正会員)

いずれもスパン中央付近に曲げひび割れが発生し、載荷荷重の増加とともに荷重載荷点間の等曲げ区間に曲げひび割れが 10～20cm の間隔で発生した。その後、せん断スパン内に斜めひび割れが発生し、梁の圧縮領域に向かって進展した。

$a/d$  が 3.0 でせん断補強鉄筋を有しない供試体 No.1, No.3, No.11 は、発生した曲げひび割れが供試体断面高さの半分程度に達した後、支点付近から斜めひび割れが急速に進展し破壊した。

$a/d$  が 1.5 でせん断補強鉄筋を有しない供試体 No.2, No.12, No.13 の場合、斜めひび割れは載荷点と支点の中央付近に発生し、急速に上方に進展した。しかし供試体断面の圧縮縁付近で進展は一旦止まり、その後供試体はせん断破壊した。

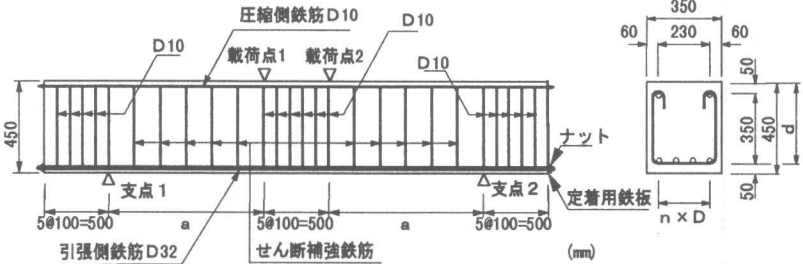
$a/d$  が 3.0 でせん断補強鉄筋を有するその他の供試体のうち、No.5, No.6, No.7, No.8, No.10 は、斜めひび割れが供試体の圧縮縁付近まで達した後、圧縮部のコンクリートの破壊とともにせん断破壊した。最もせん断補強鉄筋量が少ない No.4 も同様な破壊を示したが、破壊面において一部のせん断補強鉄筋の破断が確認された。

なお、すべての供試体で付着割裂破壊が支配的となる破壊はなかった。また、供試体 No.9 は破壊前に軸方向引張鉄筋が降伏しており、曲げ破壊となった。

4. せん断補強鉄筋を有しない梁のせん断耐力の評価

表－1 供試体形状および緒元

| 供試体  | せん断スパン<br>$a$<br>mm | $a/d$ | コンクリート                              |                                     | 軸方向引張鉄筋 |    |                   |                      | せん断補強鉄筋 |            |                      |                 |
|------|---------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|----|-------------------|----------------------|---------|------------|----------------------|-----------------|
|      |                     |       | 圧縮強度<br>$f'_c$<br>N/mm <sup>2</sup> | 弾性係数<br>$E_c$<br>kN/mm <sup>2</sup> | 呼び名     | 本数 | 中心間隔<br>$D$<br>mm | 鉄筋比<br>$\rho_o$<br>% | 呼び名     | 鉄筋間隔<br>mm | 鉄筋比<br>$\rho_w$<br>% | $\rho_o/\rho_w$ |
| No1  | 1200                | 3.0   | 111.70                              | 42.64                               | D32     | 4  | 63.3              | 2.27                 | —       | —          | —                    | —               |
| No2  | 600                 | 1.5   | 95.72                               | 40.00                               | D32     | 4  | 63.3              | 2.27                 | —       | —          | —                    | —               |
| No3  | 1200                | 3.0   | 99.26                               | 37.66                               | D32     | 4  | 63.3              | 2.27                 | —       | —          | —                    | —               |
| No4  | 1200                | 3.0   | 93.23                               | 38.28                               | D32     | 4  | 76.7              | 2.27                 | D6      | 200        | 0.090                | 25.1            |
| No5  | 1200                | 3.0   | 102.84                              | 39.57                               | D32     | 4  | 63.3              | 2.27                 | D10     | 200        | 0.204                | 11.1            |
| No6  | 1200                | 3.0   | 98.50                               | 40.35                               | D32     | 4  | 53.3              | 2.27                 | D13     | 200        | 0.362                | 6.3             |
| No7  | 1200                | 3.0   | 107.74                              | 40.73                               | D32     | 4  | 63.3              | 2.27                 | D10     | 150        | 0.272                | 8.4             |
| No8  | 1200                | 3.0   | 102.71                              | 38.96                               | D32     | 4  | 53.3              | 2.27                 | D13     | 150        | 0.483                | 4.7             |
| No9  | 1200                | 3.0   | 99.96                               | 40.53                               | D32     | 3  | 95.0              | 1.70                 | D10     | 150        | 0.272                | 6.3             |
| No10 | 1200                | 3.0   | 95.03                               | 41.53                               | D32     | 4  | 76.7              | 2.27                 | D6      | 150        | 0.121                | 18.8            |
| No11 | 1200                | 3.0   | 125.43                              | 48.18                               | D32     | 4  | 63.3              | 2.27                 | —       | —          | —                    | —               |
| No12 | 600                 | 1.5   | 122.74                              | 45.39                               | D32     | 4  | 63.3              | 2.27                 | —       | —          | —                    | —               |
| No13 | 600                 | 1.5   | 107.85                              | 42.20                               | D32     | 4  | 63.3              | 2.27                 | —       | —          | —                    | —               |



図－1 供試体の形状および配筋

表－2 鉄筋の材料特性

| 呼び名 | 記号     | 引張降伏強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏ひずみ<br>(10 <sup>-3</sup> ) | 弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|--------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| D6  | USD785 | 1138.0                         | 1187.7                       | 8559                         | 173.7                         |
| D10 | USD785 | 929.7                          | 1072.7                       | 7737                         | 162.3                         |
| D13 | USD785 | 814.3                          | 1016.3                       | 6913                         | 165.7                         |
| D32 | USD685 | 724.0                          | 894.7                        | 5217                         | 164.3                         |

表－3 せん断補強鉄筋を有しない供試体の実験値と計算値の比較

| 供試体  | 実験値<br>$P_{max}$ (kN) | 計算値<br>$V_{c(1),(2)}$ (kN) | $P_{max}/V_{c(1),(2)}$ |
|------|-----------------------|----------------------------|------------------------|
| No1  | 189                   | 271                        | 0.70                   |
| No2  | 1225                  | 1012                       | 1.21                   |
| No3  | 162                   | 260                        | 0.62                   |
| No11 | 192                   | 282                        | 0.68                   |
| No12 | 1347                  | 1194                       | 1.13                   |
| No13 | 1088                  | 1096                       | 0.99                   |

せん断スパン比( $a/d$ )が 3.0 の場合は(1)式(文献[3])を用い、また $a/d$ が 1.5 場合は文献[5]のディーブームに対する算定式(2)を用いて実験結果との対応を検討した。

$$V_{(1)} = 0.20(0.75 + 1.4d/a) \cdot f'_c{}^{1/3} \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots(1)$$

表－４ せん断補強鉄筋を有する供試体の実験値と計算値の比較

| 供試体  | 実験値            | (a)             |                    | (b)             |                    | (c)             |                    | (d)             |                    |
|------|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
|      | $P_{max}$ (kN) | $V_{ycal}$ (kN) | $P_{max}/V_{ycal}$ | $V_{ycal}$ (kN) | $P_{max}/V_{ycal}$ | $V_{ycal}$ (kN) | $P_{max}/V_{ycal}$ | $V_{ycal}$ (kN) | $P_{max}/V_{ycal}$ |
| No4  | 406            | 381             | 1.07               | 333             | 1.22               | 299             | 1.36               | 683             | 0.59               |
| No5  | 660            | 494             | 1.33               | 432             | 1.53               | 361             | 1.83               | 691             | 0.96               |
| No6  | 662            | 619             | 1.07               | 479             | 1.38               | 433             | 1.53               | 687             | 0.96               |
| No7  | 648            | 576             | 1.13               | 466             | 1.39               | 398             | 1.63               | 694             | 0.93               |
| No8  | 665            | 742             | 0.90               | 522             | 1.27               | 494             | 1.35               | 690             | 0.96               |
| No9  | 565            | 545             | 1.04               | 403             | 1.40               | 367             | 1.54               | 531             | 1.06               |
| No10 | 425            | 424             | 1.00               | 380             | 1.18               | 314             | 1.35               | 685             | 0.62               |

(a) : 式(3)で $f_{wy}$ に引張降伏強度を用いた場合

(b) : 式(3)で $f_{wy} \leq 20 (f_{co})^{1/2} (P_o/P_w)^{1/2}$  かつ  $700\text{N/mm}^2$  とした場合

(c) : 式(3)で $f_{wy}=400\text{N/mm}^2$  とした場合

(d) : コンクリートの終局圧縮ひずみを 0.0025 として求めた曲げ耐力の計算値  $V_{Mcal}$

$$V_{(2)} = 0.53 \cdot f_c'^{2/3} \cdot b_w \cdot d \cdot (1 + 333r/d) \cdot (1 + \sqrt{p_c}) / [1 + (a/d)^2] \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $V_{(1)}$  および  $V_{(2)}$  : せん断耐力(N)

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_c} \leq 1.5 \quad \beta_d = \sqrt[4]{1000/d} \leq 1.5$$

$f_c'$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b_w$  : 梁のウェブ幅(mm)  $d$  : 有効高さ(mm)

$p_c$  : せん断引張鉄筋比  $p_c = A_s / (b_w \cdot d)$

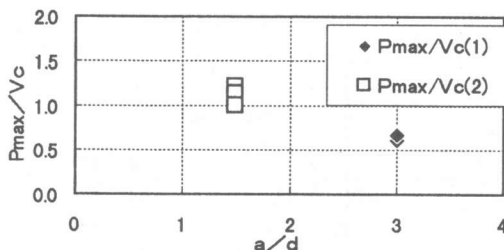
$A_s$  : 軸方向引張鉄筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$r/d$  : 支圧板の長さと有効高さとの比

$a/d$  : せん断スパンと有効高さとの比

表-3 および図-2 に示すように  $a/d=1.5$  の場合、コンクリート強度 (100~120N/mm<sup>2</sup>) に対するせん断耐力は、式(2)によるディープビームの算定式を適用すると実験結果と比較的良く一致している。

一方、 $a/d=3.0$  の場合は、式(1)の算定値に対して実験値は 30%~40%程度低くなっている。これは、 $a/d$  の大きい領域ではコンクリートの引張強度の影響が支配的となり、高強度



図－２ せん断耐力の比較 1  
(せん断補強鉄筋を有しない供試体)

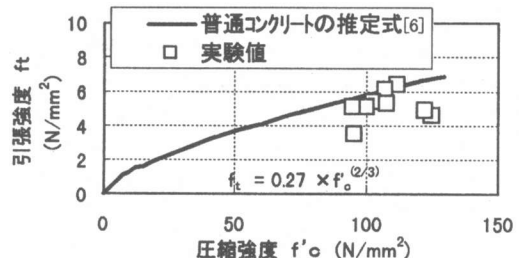
コンクリートでは普通強度コンクリートに比べて、圧縮強度に対する引張強度の増加の割合が小さいためと推定される。コンクリートの圧縮強度と引張強度との関係を図-3 に示す。今回の実験に用いたコンクリートは、図-3 に示すように普通強度における圧縮強度と引張強度の関係式[6]に比較し、引張強度が小さくなっており、この影響が式(1)の算定値に対して実験値が低くなった一因と考えられる。

さらに、本実験では粗骨材の最大寸法 5mm の砕石を使用したため、ひび割れ面での骨材のかみ合わせ効果が低下したことによる影響もあるものと考えられる。

## 5. せん断補強鉄筋を有する梁のせん断挙動

### 5.1 せん断補強鉄筋のひずみ挙動

既往のせん断耐力評価式<sup>[3],[4]</sup>では、せん断補強鉄筋として有効とみなせる応力度に制限を設けている。そこで高強度鉄筋をせん断補強鉄筋として用いた場合、載荷荷重の増加に伴うせん断補強鉄筋のひずみ挙動を調べた。 No. 4,



図－３ コンクリートの圧縮強度と引張強度との関係

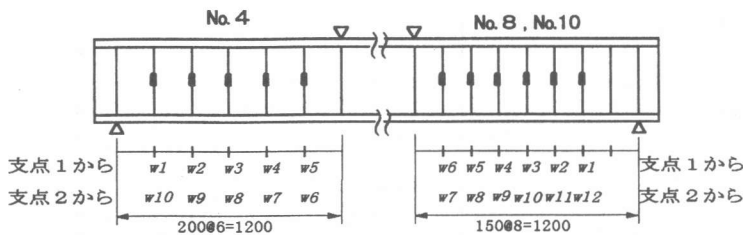


図-4 ひずみゲージの配置位置

No. 8, No. 10 供試体に配置したせん断補強鉄筋とひずみゲージの位置関係  $w_1 \sim w_{12}$  を図-4 に示す。ひずみゲージは各せん断補強鉄筋に 1 枚ずつ供試体断面高さの中央に貼付けた。

図-5, 図-6 に, No. 4, No. 10 供試体のせん断補強鉄筋に貼付けたゲージのひずみ量を示す。No. 4, No. 10 供試体は, 今回検討した供試体の中で, せん断補強鉄筋比が 0.1% 程度と比較的少ないものである。図-5, 図-6 では最大荷重を  $P_{max}$  とし,  $4/6 P_{max}$  から  $6/6 P_{max}$  時のひずみ量を示している。なお, 図-1 における支点 1 からの距離を横軸とした。

図-5, 図-6 よりせん断補強鉄筋の一部が, 最大荷重に達する以前に降伏ひずみに達していることがわかる。また, 降伏ひずみを越えたせん断補強鉄筋は, No. 4, No. 10 供試体共にせん断スパン中央付近に配置したものであった。

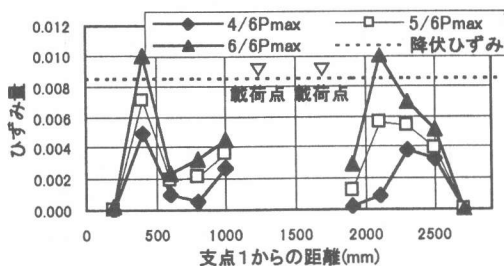


図-5 せん断補強鉄筋のひずみ量 (No. 4)

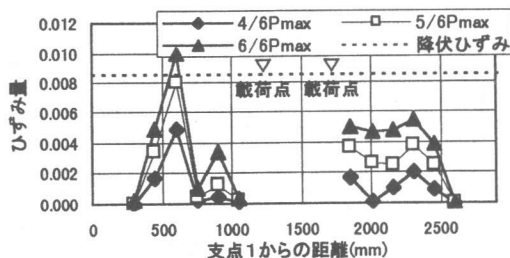


図-6 せん断補強鉄筋のひずみ量 (No. 10)

また, 図-7 にせん断補強鉄筋量が多い No. 8 供試体のひずみ挙動を示す。図-7 より, せん断補強鉄筋量が多い場合には, 降伏ひずみに達する前に部材が破壊に至っていることがわかる。

## 5.2 せん断耐力評価式との比較

せん断補強鉄筋を有する場合のせん断耐力について, 既往の算定式(3)との比較を行う。なお式(3)において, せん断補強鉄筋の引張降伏強度は以下に示す(a)(b)(c)の3通りの仮定に基づいて求めた。なお(b)の仮定は文献[4]より, (c)の仮定は文献[3]に基づくものである。

$$V_y = V_c + V_s \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに,  $V_y$  : 棒部材のせん断耐力 (N)

$V_c$  : せん断補強鉄筋を用いない棒部材のせん断耐力で, 式(1)による。(N)

$V_s$  : せん断補強鉄筋により受け持たれる棒部材のせん断耐力

$$V_s = \{A_w \cdot f_{wy} \cdot (\sin \theta_s + \cos \theta_s) / S_s\} \cdot z$$

$A_w$  : 区間  $S_s$  におけるせん断補強鉄筋の総断面積

(a)  $f_{wy}$  : せん断補強鉄筋の引張降伏強度

(b)  $f_{wy} \leq 20(f_c')^{1/2}(p_c/p_w)^{1/2}$  かつ  $700 \text{ N/mm}^2$

(c)  $f_{wy} \leq 400 \text{ N/mm}^2$

$p_w$  : せん断補強鉄筋比

$\theta_s$  : せん断補強鉄筋が部材軸となす角度

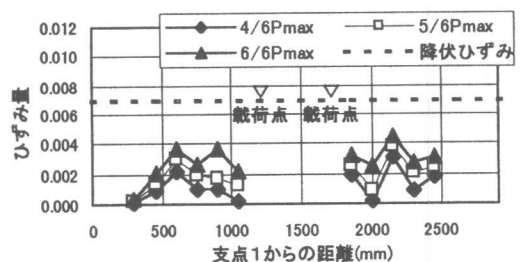


図-7 せん断補強鉄筋のひずみ量 (No. 8)

$S_s$  : せん断補強鉄筋の配置間隔

$z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鉄筋の図心までの距離で、 $d/1.15$ とする。

せん断耐力の計算値と実験値との検討結果を表-4および図-8に示す。

表-4より、示方書<sup>[3]</sup>で規定されているせん断補強鉄筋の応力度を  $f_{wy} \leq 400 \text{ N/mm}^2$  とする(c)の計算方法では、実験値を過小に評価していることがわかる。

今回の実験の範囲では、 $f_{wy}$ に引張降伏強度を用いて算定した方法(a)が最も実験結果との整合が良い結果となっている。しかし、せん断補強鉄筋が降伏しなかつた No.8 については過大評価となることから、(b)のような  $f_{wy}$ に一定の制限を設定する必要があると考えられる。

図-8に、せん断補強鉄筋比と軸方向引張鉄筋比の比( $p_c/p_w$ )と実験値に対する計算値( $f_{wy}$ を(a)(b)(c)の仮定に基づいて計算)の比との関係を示す。

$f_{wy}$ にせん断補強鉄筋の引張降伏強度を用いて計算した場合(a)では、 $p_c/p_w$ が10程度より小さくなると  $P_{max}/V_{ycal}$ (a)が小さくなる傾向が見られている。これより文献<sup>[2]</sup>で示されているように  $p_c/p_w$ の影響をせん断耐力の評価において考慮することも有効であると考えられる。ただし今回の実験範囲では、 $p_c$ を一定とし  $p_w$ を変化させて実験しているため、 $p_c$ の変化による影響について今後確認する必要がある。

また  $V_y$ の計算値において、 $V_c$ は式(1)によ

る計算値を用いている。しかし4.で示したように、 $V_c$ の計算値は実験値を過大に評価している。そこで  $V_c$ の実験値と計算値との差の影響を取り除くため、せん断補強鉄筋により受け持たれるせん断耐力  $V_s$ での比較を試みた。検討結果を図-9に示す。実験値の  $V_{sex}$ は、同じコンクリートでせん断補強鉄筋がない供試体 No.3 の  $P_{max}$ を  $V_c$ と仮定して、各供試体のせん断耐力から供試体 No.3 の  $P_{max}$ を差し引いたものを  $V_{sex}$ とした。 $V_{scal}$ は仮定(a)を用いて式(3)により求めた。図-9より  $V_{sex}/V_{scal}$ は、 $P_{max}/V_{ycal}$ に比べて  $p_c/p_w$ の影響がより一層顕著となる結果となった。これより  $V_c$ の算定方法も含めた検討を行う必要があるといえる。

## 6. 曲げひび割れ幅の評価

### 6.1 既往の曲げひび割れ幅の算定式

本実験は2点単調載荷で行っており、載荷点間では等曲げ区間が存在する。そこで既往の曲げひび割れ幅算定式<sup>[3]</sup>として、式(4)を用いて等曲げ区間に発生した曲げひび割れ幅の評価を試みた。

$$w_{cal} = k_s \cdot \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \cdot [\sigma_{se} / E_s + \varepsilon_r'] \cdots (4)$$

ここに、 $w_{cal}$  : コンクリートの曲げひび割れ幅の算定値

$k_s$  : 引張鉄筋の付着性状の影響を表す定数  
(異形鉄筋 : 1.0)

$c$  : 引張鉄筋のかぶり

$c_s$  : 引張鉄筋の中心間隔

$\phi$  : 引張鉄筋の直径

$\sigma_{se}$  : 鉄筋応力度の増加量

$E_s$  : 鉄筋のヤング係数

$\varepsilon_r'$  : コンクリートの乾燥収縮およびクリープによる曲げひび割れ幅の増加を考慮するためのひずみ量

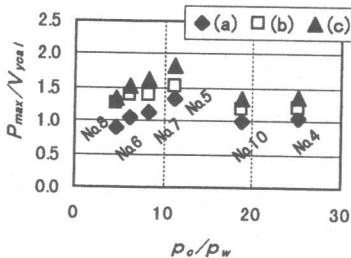


図-8 せん断耐力の比較2

(せん断補強鉄筋を有する供試体)

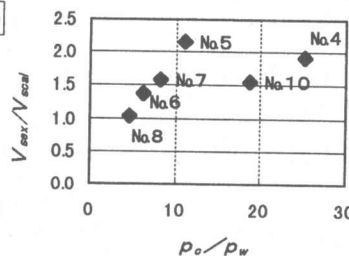


図-9 せん断耐力の比較3

(せん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力)

## 6.2 曲げひび割れ幅の比較

本実験で対象とする曲げひび割れ幅は、各供試体の定常状態における最大ひび割れ幅とした。最大ひび割れ幅、検討に用いた諸元、および検討結果を表-5および図-10に示す。ここで、最大ひび割れ幅の計算値は、式(4)に供試体断面諸元の数値を用いて $\varepsilon'_r=0$ として、計算した。

また、ひび割れ定常状態を示すひずみ量は、供試体中央に貼り付けたひずみゲージの平均値とした。なお、計算結果との比較においてNo.12供試体は、ひび割れ位置とゲージの位置から適切なデータが得られなかったので削除した。

表-5および図-10より、実験値 $w_{ex}$ に対する計算値 $w_{cal}$ の比の平均値は1.03で、変動係数は27%とばらつきがあるものの、従来の算定手法で概ね妥当に評価できる結果となった。

## 7. まとめ

今回実施した実験の適用範囲内において得られた結果を以下にまとめて示す。

- (1) せん断補強鉄筋を有しない梁のせん断耐力は、 $a/d=1.5$ の場合ディープビームのせん断耐力式により概ね妥当に算定することが可能である。しかし、 $a/d=3.0$ の場合における棒部材のせん断耐力評価式に対しては、実験値は小さめとなっており、これはコンクリートの引張強度および骨材のかみ合わせ効果の違いによる影響が一因と考えられる。
- (2) せん断補強鉄筋を有する梁においてせん断補強鉄筋比が小さい場合、高強度のせん断補強鉄筋のひずみは、せん断破壊時には降伏ひずみを超えている。
- (3) せん断補強鉄筋を有する梁のせん断耐力は、本研究の範囲において、 $p_c/p_w \leq 10$ 程度の範囲では、 $p_c/p_w$ の違いがせん断耐力の評価に影響を与える結果となった。
- (4) 高強度材料を用いたRC梁部材の曲げひび割れ幅は、既往の算定手法により概ね妥当に評価できる。

表-5 ひび割れ幅の比較

| 供試体  | $c$  | $c_s$ | $\phi$ | $L_{max}$ | 最大ひび割れ幅                  |                         | $w_{ex}/w_{cal}$ |
|------|------|-------|--------|-----------|--------------------------|-------------------------|------------------|
|      |      |       |        |           | 計算値<br>$w_{cal}$<br>(mm) | 実験値<br>$w_{ex}$<br>(mm) |                  |
| No1  | 34.1 | 63.3  | 31.8   | 158.45    | 0.12                     | 0.11                    | 1.06             |
| No2  | 34.1 | 63.3  | 31.8   | 158.45    | 0.28                     | 0.29                    | 0.98             |
| No3  | 34.1 | 63.3  | 31.8   | 158.45    | 0.06                     | 0.06                    | 1.04             |
| No4  | 34.1 | 76.7  | 31.8   | 167.83    | 0.29                     | 0.21                    | 1.38             |
| No5  | 34.1 | 63.3  | 31.8   | 158.45    | 0.31                     | 0.23                    | 1.35             |
| No6  | 34.1 | 53.3  | 31.8   | 151.45    | 0.08                     | 0.14                    | 0.57             |
| No7  | 34.1 | 63.3  | 31.8   | 158.45    | 0.31                     | 0.29                    | 1.07             |
| No8  | 34.1 | 53.3  | 31.8   | 151.45    | 0.31                     | 0.37                    | 0.83             |
| No9  | 34.1 | 95.0  | 31.8   | 180.64    | 0.52                     | 0.64                    | 0.82             |
| No10 | 34.1 | 76.7  | 31.8   | 167.83    | 0.15                     | 0.12                    | 1.27             |
| No11 | 34.1 | 63.3  | 31.8   | 158.45    | 0.02                     | 0.03                    | 0.65             |
| No13 | 34.1 | 63.3  | 31.8   | 158.45    | 0.17                     | 0.12                    | 1.38             |

$c$ : かぶり  $c_s$ : 引張鉄筋中心間隔  $\phi$ : 引張鉄筋径  
 $L_{max}$ : 最大ひび割れ間隔の計算値  $L_{max}=[4c+0.7(c_s-\phi)]$

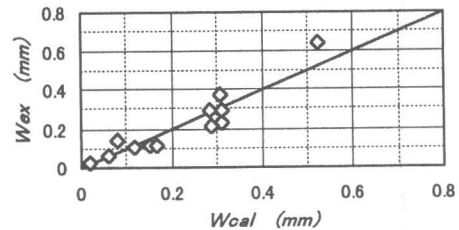


図-10 ひび割れ幅の比較

## 参考文献

- [1] 小谷俊介・上之菌隆志：高強度コンクリートおよび高強度鉄筋を用いた部材の構造的な性能，コンクリート工学，Vol. 32, No. 10, pp. 28-35, 1994. 10
- [2] 土木学会コンクリート・ライブラリー第88号：連続繊維補強材を用いたコンクリートの設計・施工指針(案)，pp. 18-24, pp. 174-181, 1996. 9
- [3] 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編]，pp. 60-65, 1996
- [4] 超高性能コンクリート構造物設計・施工指針に関する委員会：超高性能コンクリート構造物設計・施工指針(案)，pp. 44-47, pp. 63-66, 1996. 3
- [5] 二羽淳一郎：FEM解析に基づくディープビームのせん断耐力算定式，第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコンクリート論文集，日本コンクリート工学協会，JCI-C5, pp. 119-128, 1983. 10
- [6] 岡村 甫：コンクリート構造の限界状態設計法[第2版]，共立出版，pp. 15-24, 1984