

## V-22

## せん断圧縮破壊する腹鉄筋のない高強度 RC はりのせん断強度式

東北大学大学院 学生員 ○王 衛倫 東北大学大学院 学生員 佐藤成植  
前田製管(株) 正会員 前田直己 東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

## 1. はじめに

圧縮強度 130MPa までの高強度コンクリートを用いた腹鉄筋のない RC はりのせん断実験を行った。実験の結果、高強度 RC はりでも、せん断スパン比 2.5~3.0 が斜め引張破壊とせん断圧縮破壊の破壊形態の遷移帯となることが確認された。本研究では、破壊形態としてせん断圧縮破壊に着目し、同条件で実施された既往の高強度 RC はりの実験結果も収集することで、コンクリート圧縮強度や有効高さなどの各因子が高強度 RC はりのせん断強度に与える影響を評価した。次いで、全 47 体の実験結果を基に、せん断圧縮破壊する高強度 RC はりのせん断強度式の提示、さらには、算定式の精度を考慮し、高強度 RC はりの設計せん断強度の評価に用いる部材係数を提示する。

## 2. 実験データの概要

著者らのせん断実験では、コンクリート圧縮強度  $f_c'$ : 38~128MPa, 有効高さ  $d$ : 0.15, 0.35, 0.55, 0.60, 0.65m, 引張鉄筋比  $p_r$ : 0.54~2.2%, せん断スパン比  $a/d$ : 2.0, 2.5, 3.0, 4.0 の範囲の実験供試体を対象としてきた。このうち、本研究では、せん断圧縮破壊する高強度 RC はりのせん断耐力評価を目的とし、コンクリート圧縮強度が 60MPa 以上あり、また、破壊形態が明確にせん断圧縮破壊に分類されるもののみを解析対象とした。また、これに加えて、国内外の文献を調査し、コンクリート圧縮強度 60MPa 以上、引張鉄筋比 0.3% 以上、有効高さ 0.07m 以上でせん断圧縮破壊した高強度 RC はりのせん断実験結果も参照した。なお、引張鉄筋比および有効高さの下限値は、Okamura and Higai<sup>1)</sup> の研究を参考に設定した。表-1 に、せん断強度式を提案する際に参照した供試体諸元の一覧を示す。

## 3. 高強度 RC はりのせん断強度

せん断圧縮破壊した全 47 体の実験結果に関し、コンクリート圧縮強度および有効高さに着目して式(1)のコンクリート標準示方書に規定されるディープビームのせん断強度式（以下、示方書 DB 式）<sup>2)</sup> の算定精度を検証した。

$$f_u = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{cd} / \gamma_{bc} \quad (1)$$

ここに、 $f_u$  : せん断強度 (MPa),  $f_{cd} = 0.19 f_c'^{1/2}$  (MPa),  
 $\beta_d = d^{-1/4} \leq 1.5$ ,  $\beta_p = p_r^{1/3} \leq 1.5$ ,  $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ ,  $a_v$  : 荷重作用点から支承前面までの距離,  $f_c'$  : コンクリートの設計圧縮強度（本研究では、材料試験から得られた圧縮強度）,  $\gamma_{bc}$  : 部材係数。

結果を図-1 および図-2 に示す。なお、式(1)の示方書 DB 式は、コンクリート圧縮強度の大きさに関わらず引用し、 $\gamma_{bc} = 1.0$  とした。図-1 より、示方書 DB 式では、 $f_c'$  による算定精度の偏りは生じておらず、 $f_c'^{1/2}$

表-1 分析データの概要

| 研究者                           | n  | $f_c'$<br>(MPa) | $p_r$<br>(%) | $d$<br>(m) | $a/d$   |
|-------------------------------|----|-----------------|--------------|------------|---------|
| Elzanaty et al. <sup>3)</sup> | 2  | 69              | 1.2~2.5      | 0.28       | 2.0     |
| Ahmad et al. <sup>4)</sup>    | 17 | 61~67           | 1.8~6.6      | 0.18~0.21  | 1.0~2.3 |
| Xie et al. <sup>5)</sup>      | 2  | 103~104         | 2.1          | 0.22       | 1.0~2.0 |
| 望月ら <sup>6)</sup>             | 2  | 86~112          | 2.9          | 0.17       | 2.0     |
| 下野ら <sup>7)</sup>             | 3  | 96~123          | 2.3          | 0.40       | 1.5     |
| 下野ら <sup>8)</sup>             | 4  | 76~80           | 2.3          | 0.40       | 3.0     |
| 著者ら                           | 17 | 71~126          | 0.9~2.2      | 0.15~0.65  | 2.0~3.0 |
| 合 計                           | 47 | 61~126          | 0.9~6.6      | 0.15~0.65  | 1.0~3.0 |

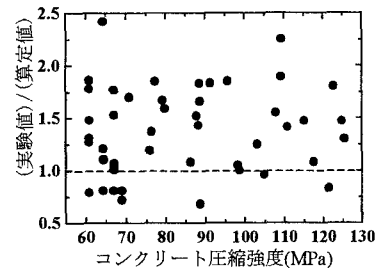


図-1 (実験値)/(算定値)とコンクリート圧縮強度の関係

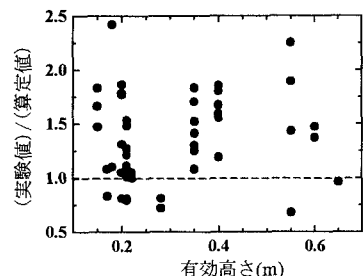


図-2 (実験値)/(算定値)と有効高さの関係

を用いることにより、コンクリートの高強度化によるせん断圧縮破壊する RC はりのせん断強度の増加を評価できる。また、図-2より、示方書 DB 式の  $d^{1/4}$  を用いることにより、高強度 RC はりのせん断強度に有効高さが与える影響を概ね評価できた。従って、有効高さによる高強度 RC はりのせん断強度の変化は、示方書 DB 式の  $d^{1/4}$  を用いることにより、適正に評価できると考える。

示方書 DB 式では、せん断スパン比の影響を考慮する項は、タイドアーチ的耐荷機構における力の釣合条件から求められており、高強度コンクリートを用いた場合にも、この項によりせん断圧縮破壊する RC はりのせん断強度に及ぼすせん断スパン比の影響を評価できると判断される。

全 47 体の実験結果との比較から得られた(実験値)/(示方書 DB 式の算定値)の比の平均( $\mu$ )は 1.37、変動係数( $\delta$ )は 29.7%である。一方、普通強度 RC はりに示方書 DB 式を適用すると、 $\mu=1.25$ 、 $\delta=11.6\%$ が得られることが報告<sup>9)</sup>されていることから、高強度 RC はりに適用することによる平均値および変動係数が大きくなる効果を部材係数  $\gamma_{bc}$  に反映させる。

なお、提案式作成時に参照した供試体諸元から、現状では、式(1)の適用範囲は、 $f_c'$ : 60~130MPa 程度、 $d$ : 0.15~1.0m 程度、 $p_r$ : 0.54~6.64%程度と見なすべきである。

#### 4. 部材係数の検討

本研究では、式(1)を高強度 RC はりに適用する際に用いるべき部材係数は、普通強度 RC はりに適用する際に部材係数  $\gamma_{bc}=1.3$ <sup>2)</sup>を用いることにより確保されている  $pf_k$  (実強度を上回る設計せん断強度を算定する確率)の値(0.99%)を満足するように決定する。ここでは、確率変数  $x=(\text{実験値})/(\text{算定値})$  が正規分布に従うとし、式(1)に用いる部材係数を算定する。図-3には、 $(\mu, \delta)=(1.37, 29.7\%)$  および  $(\mu, \delta)=(1.25, 11.6\%)$  の累積分布関数を表-1の実験結果と共に示す。

$\gamma_{bc}=1.3$  により確保される  $pf_k=0.99\%$ 、また、 $pf_k=1\%$ 、 $5\%$ としたときの各せん断強度式に用いる部材係数の一覧を表-2に示した。この検討により、高強度材料を用いたせん断圧縮破壊する RC はりの設計せん断強度を式(1)から算定する際には、(実験値)/(算定値)の変動係数が大きくなることを考慮し、かなり大きな部材係数で除す必要があることが確認された。

#### 5. まとめ

本研究では、コンクリート圧縮強度 60~130MPa までを用いた腹鉄筋のない RC はり部材のせん断強度を検討し、せん断圧縮破壊する高強度 RC はりでは、全 47 体の実験結果から、普通強度 RC はりに対して用いられてきたせん断強度式をそのまま適用しても、各変動因子がそのせん断強度に与える影響を偏りなく評価できることが確認された。また、(実験値)/(算定値)の平均は 1.37、変動係数は 29.7%となることを確認し、式(1)から設計せん断強度を算定する際に用いる部材係数を評価した。

**参考文献** 1) Okamura, H. and Higai, T.: Proposed Design Equation for Shear Strength of Reinforced Concrete Beams without Web Reinforcement, Proc. of JSCE, No.300, pp.131-141, 1980. 2) 土木学会: コンクリート標準示方書 [2002 年制定] 構造性能照査編, 2002. 3) Elzanaty, A. H. et al: Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Concrete, ACI Journal, Vol.83, No.2, pp.290-296, 1986. 4) Ahmad, S. H. et al: Flexure-Shear Interaction of Reinforced High-Strength Concrete Beams, ACI Structural Journal, Vol.84, No.4, pp.330-341, 1987. 5) Xie, Y. et al: Shear Ductility of Reinforced Concrete Beams of Normal and High-Strength Concrete, ACI Structural Journal, Vol.91, No.2, pp.140-149, 1994. 6) 望月秀朗ほか: 超高強度コンクリートを用いたはりの曲げ・せん断挙動に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.2, pp.1127-1132, 1996. 7) 下野一行ほか: 高強度材料を用いた RC 梁部材に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1039-1044, 1998. 8) 下野一行ほか: 高強度材料を用いた RC 梁部材のせん断耐力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.175-180, 1999. 9) 土木学会: コンクリート標準示方書 [昭和 61 年制定] 改定資料, 土木学会コンクリートライブラリー, 第 61 号, 1986.

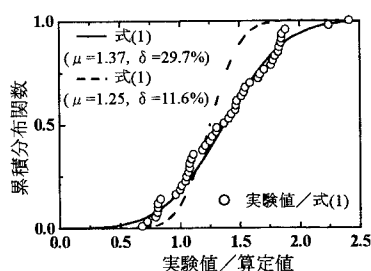


図-3 せん断圧縮破壊する高強度 RC はりの部材係数の検討

表-2 算定された部材係数

| 部材係数算定時の $pf_k$              | せん断圧縮破壊  |      |
|------------------------------|----------|------|
|                              | 示方書 DB 式 | 式(1) |
| 示方書 DB 式から得られる $pf_k=0.99\%$ | 1.30     | 2.38 |
| 1%                           | 1.30     | 2.38 |
| 5%                           | 1.10     | 1.43 |