

# 論文 せん断スパン比の小さい鉄筋コンクリート梁のせん断耐力に関する支持条件の影響

前田 友章<sup>\*1</sup>・田所 敏弥<sup>\*2</sup>・谷村 幸裕<sup>\*3</sup>・渡辺 健<sup>\*4</sup>

**要旨**：せん断スパン比の小さい鉄筋コンクリート梁（ディープビーム）に関して，多くの実験的・解析的検討がこれまでも報告され，せん断耐力を精度よく評価できる算定式が提案されている。しかし，逆対称曲げモーメントを受けるディープビームに関しては，これまでに研究例が少なく，土木構造物の設計では，単純支持されたディープビームのせん断耐力算定式を適用しているのが現状である。本研究では，ディープビームに逆対称曲げモーメントが作用する載荷試験を実施し，せん断耐力算定式を検討する。あわせて，単純支持されたディープビームのせん断耐力算定式との比較を行い，支持条件の影響を考察する。

**キーワード**：逆対称曲げモーメント，ディープビーム，せん断耐力，支持条件

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート（RC）ラーメン高架橋の横断方向の地中梁および中層梁などにおいては，地震による水平荷重が作用すると，梁の支間中央においてモーメントの正負が反転する，逆対称曲げモーメント分布が形成される（図-1）。このような梁は，せん断スパン（ $a$ ）と有効高さ（ $d$ ）の比（ $a/d$ ）が比較的小さい，ディープビーム的構造となる場合も少なくない。ディープビームを有する土木構造物の設計に対して，現在では，単純支持されたディープビームのせん断耐力算定式<sup>1)</sup>が適用されている。このような支持条件において，せん断補強効果<sup>2)</sup>や寸法効果<sup>3)</sup>など，ディープビームに関する多くの知見が近年までに蓄積されている。

これまでのディープビームの研究には，形成されるタイドアーチ的耐荷機構の，圧縮ストラットを対象に検討を行っている点に特徴がある。また，逆対称曲げモーメントを受ける柱および梁を対象としたものとして，日本建築学会の靱性保証型耐震設計指針<sup>4)</sup>があり，耐荷機構として，トラス機構および梁全長に形成されるアーチ機構が考慮されている。

本研究で対象としている，逆対称曲げモーメントを受けるディープビームにおいては，単純支持されたディープビームを前提とした，現行の算定式の適用は適当でない可能性がある。

本研究は，ディープビームにおける支持条件の違いによる影響を考察するとともに，逆対称曲げモーメントを受けるディープビームの新たなせん断耐力算定式を検討し，現行の算定式と比較することを目的としている。具体的には，逆対称曲げモーメントが作用する載荷試験

を実施し，既往の研究<sup>2)</sup>と比較することで，支持条件の相違による破壊形態，耐荷機構への影響を考察する。また，載荷試験の結果から，逆対称曲げモーメントを受けるディープビームのせん断耐力（ $V_p$ ）と， $a/d$ およびせん断補強鉄筋比（ $p_w$ ）との関係を定式化し，現行の算定式と比較，考察する。

載荷試験では，支持条件がせん断耐力におよぼす影響を確認するため，単純支持されたディープビームを対象とした既往の研究<sup>2)</sup>の試験体諸元を参照している。

## 2. 載荷試験

### 2.1 試験体および載荷方法

図-2に，試験体概要を示す。試験体は，左右にフーチング部を有する矩形断面のRC梁であり，中央の試験区間は長さ $L=2a$ ，有効高さ $d=400\text{mm}$ および幅 $b_w=300\text{mm}$

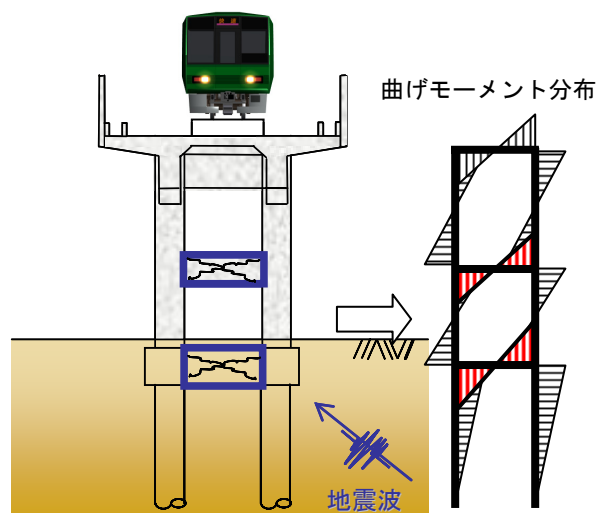


図-1 本研究の対象としているラーメン構造梁

\*1 (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部コンクリート構造研究室研究員 工修 (正会員)  
 \*2 (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部コンクリート構造研究室副主任研究員 博(工) (正会員)  
 \*3 (財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部コンクリート構造研究室室長 博(工) (正会員)  
 \*4 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻助教 Ph.D. (正会員)

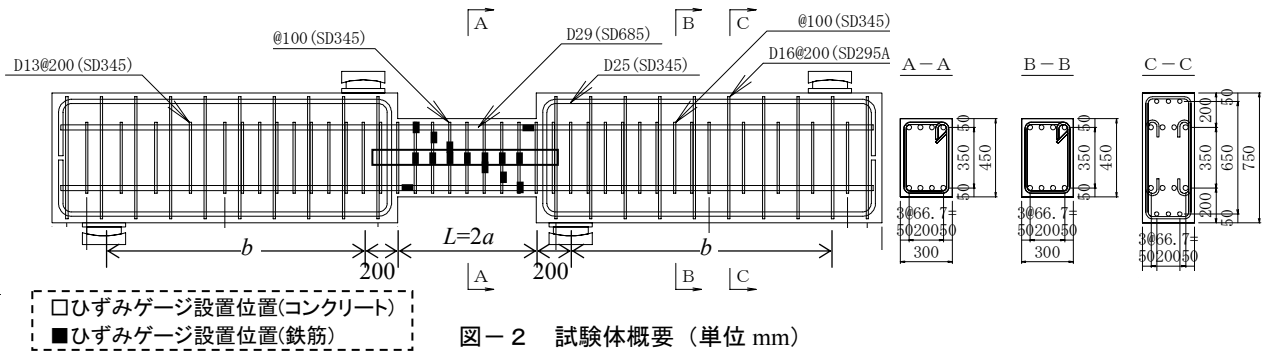


図-2 試験体概要 (単位 mm)

表-1 試験体諸元, 材料試験値および試験結果

試験体 No.	試験体諸元, 材料試験値									$V_{exp}$ (kN)	$V_{c exp}$ (kN)	$V_{s exp}$ (kN)	試験値 <sup>2)</sup> $V_{te}$ (kN)
	$a/d$	$d$ (mm)	$a$ (mm)	$b$ (mm)	せん断補強鉄筋			軸方向鉄筋	コンクリート				
					呼び名	$P_w$	$f_{wy}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{sy}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )				
No.1	1.0	400	400	1700	—	0	—	721	28.6	381	380	0	632
No.2					D10	0.0048	390	721	27.3	544	380	164	750
No.3					D13	0.0084	369	721	28.9	621	380	234	804
No.4					D16	0.0132	381	734	25.4	758	380	387	—
No.5	1.5	400	600	1500	—	0	—	721	30.3	250	244	0	284
No.6					D10	0.0048	390	758	27.8	440	244	214	491
No.7					D13	0.0084	368	758	28.9	549	244	321	570
No.8					D16	0.0132	383	721	27.0	643	244	420	—
No.9	2.0	400	800	1300	—	0	—	721	29.3	138	136	0	—
No.10					D10	0.0048	390	721	26.9	394	136	248	416
No.11					D13	0.0084	368	758	29.3	519	136	369	440

※ $a/d$ : せん断スパン比  $d$ : 有効高さ  $a$ : せん断スパン  $b$ : フーチングの荷点支間距離  $p_w$ : せん断補強鉄筋比  
 $f_{wy}$ : せん断補強鉄筋の引張降伏強度  $f_{sy}$ : 軸方向鉄筋の引張降伏強度  $f'_c$ : コンクリートの圧縮強度  
 $V_{exp}$ : 本研究の荷重試験から得られた最大せん断力  $V_{c exp}$ :  $V_{exp}$  のうち, コンクリートが分担したせん断力  
 $V_{s exp}$ :  $V_{exp}$  のうち, せん断補強鉄筋が分担したせん断力  $V_{te}$ : 既往の研究<sup>2)</sup>の荷重試験から得られた最大せん断力

である。試験区間の軸方向鉄筋は, D29 の鉄筋を使用し, 断面の上下縁に計 8 本配置した。引張鋼材比は 2.14%, 軸方向鉄筋の芯かぶりは 50mm とした。これは, 試験結果を比較するために, 既往の研究<sup>2)</sup>の試験体諸元を忠実に再現したものであり, ラーメン高架橋の梁部材を想定した諸元となっている。

その他の試験体諸元を表-1 に示す。試験体は,  $a/d$  および  $p_w$  をパラメータとして, 変化させたものを製作した。せん断補強鉄筋は, D10, D13 および D16 の鉄筋を閉合形状にしたものを 100mm の間隔で配置した (図-2)。

また, 使用した鉄筋およびコンクリートの材料試験値を表-1 に示す。なお, コンクリートは, 水セメント比が 0.605, 骨材最大寸法が 20mm であった。

荷重は, 4 点荷重で単調荷重とし, 支間中央においてモーメントの正負が反転する, 逆対称曲げモーメントを作用させた (図-3)。荷重点および支点は, 拘束を取り除くためにローラー支承とし, 幅 250mm の支圧板を設置した。試験時のコンクリートの圧縮強度 ( $f'_c$ ) の平

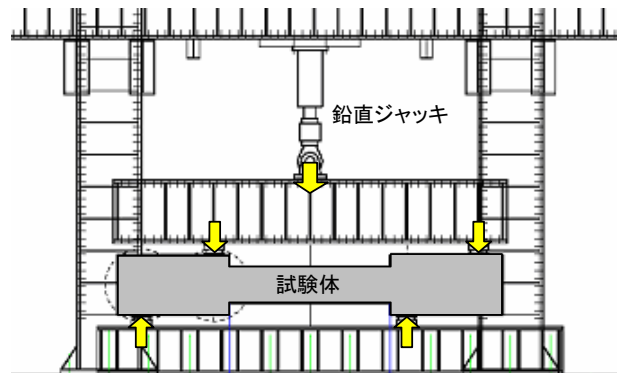


図-3 試験体の荷重状況

均値は, 28.3N/mm<sup>2</sup> であった。

## 2.2 測定項目

鉄筋のひずみは, 梁高さ中央, および支間を対角に結ぶ直線状の位置のせん断補強鉄筋, および軸方向鉄筋の計測を行った (図-2)。コンクリートの主ひずみは, 梁高さ中央内部の計測を行った。

変位は, 両フーチングの相対的位置の変化 (以下, 層

間変位) およびせん断スパンにおけるせん断変形を計測した。せん断力は、荷重点および支点到ロードセルを設置し、その計測値から算出した。

### 2.3 試験結果および考察

図-4に荷重試験による、せん断力と層間変位関係を示す。図-4から、せん断スパン比 ( $a/d$ ) の異なるディープビームにおいても、最大せん断力 ( $V_{exp}$ )、および  $V_{exp}$  以降の耐力低下に対して、せん断補強鉄筋が有効に機能していることが確認できた。

図-5に逆対称曲げモーメントが作用する荷重試験、および単純支持荷重試験<sup>2)</sup>における最大せん断力時の試験体 No.3 ( $a/d=1.0$ ,  $p_w=0.84\%$ ) のひび割れ状況を示す。

試験体 No.3は、荷重に伴い、梁の引張縁に曲げひび割れが発生し、その後、曲げせん断ひび割れに進展、拡大した。さらに、軸方向鉄筋に沿って付着ひび割れが発生した。そして、支間中央部にせん断ひび割れが発生し、せん断補強鉄筋のひずみが増大、降伏ひずみに至り、最大せん断力に達した(図-5(a))

顕著なひび割れとなった、支間中央部に発生したせん断ひび割れは、支間全体を対角に結ぶ直線となった。単純支持されたディープビームに発生するせん断ひび割

れは、せん断スパンを対角に結ぶ直線となることが報告されており、せん断ひび割れの形状が異なることがわかった(図-5)。

### 3. 逆対称曲げモーメントを受けるディープビームのせん断耐力の評価

#### 3.1 支持条件の違いによる影響

表-1に、ディープビームの単純支持荷重試験<sup>2)</sup>から得られた最大せん断力 ( $V_{te}$ ) を示す。支持条件の違いによるせん断耐力の影響を確認するため、 $V_{te}$  と本研究の逆対称曲げモーメントが作用する荷重試験で得られたディープビームの最大せん断力 ( $V_{exp}$ ) の比較を行う。同じ試験体諸元の  $V_{exp}$  を  $V_{te}$  で除した  $V_{exp}/V_{te}$  と  $a/d$ ,  $p_w$  の関係を図-6に示す。なお、 $V_{exp}/V_{te}$  を求める際、 $f'_c$  の影響を考慮して、 $V_{exp}$  および  $V_{te}$  は、それぞれの試験体の  $f'_c$  の  $2/3$  乗で除すことで得た値を用いている。試験体 No.11 ( $a/d=2.0$ ,  $p_w=0.84\%$ ) を除いて、 $V_{exp}/V_{te} < 1.0$  となり、 $a/d$  および  $p_w$  が小さいほど  $V_{exp}/V_{te}$  の値は小さくなった。

単純支持されたディープビームの破壊は、せん断スパンを対角に結ぶ圧縮ストラットの圧壊に起因して終局に至る形態が報告されている。一方、本研究の荷重試験

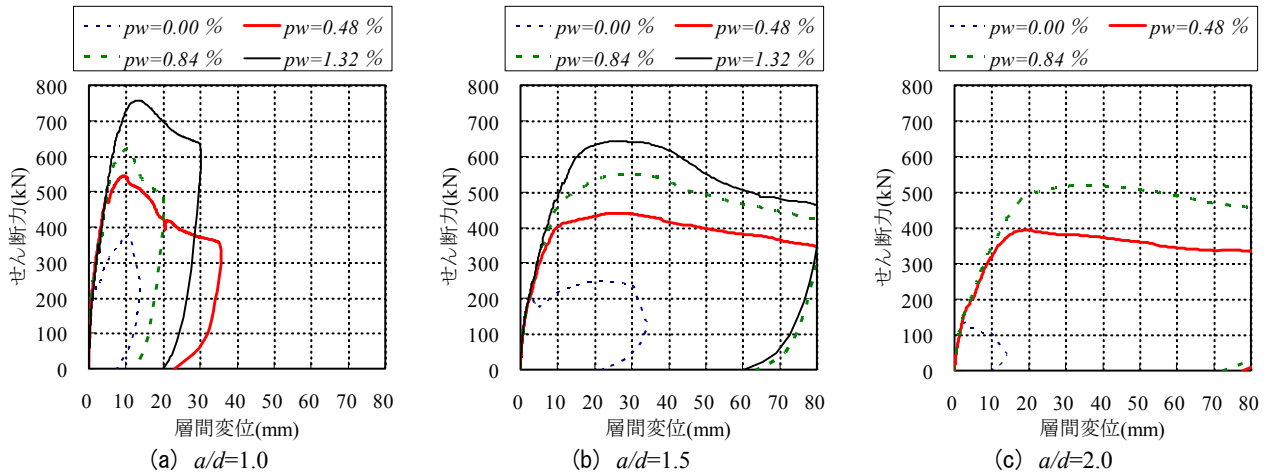


図-4 せん断力-層間変位関係

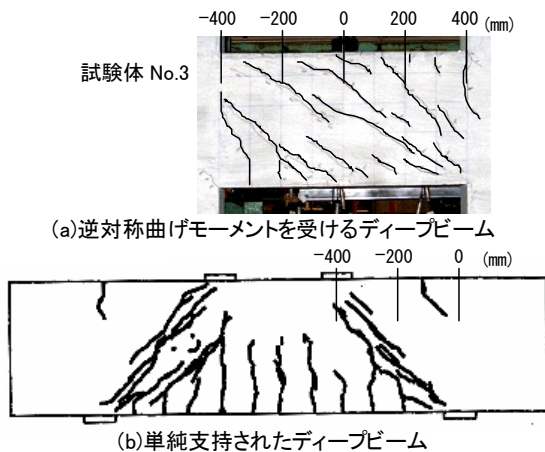


図-5 最大せん断時のひび割れ状況

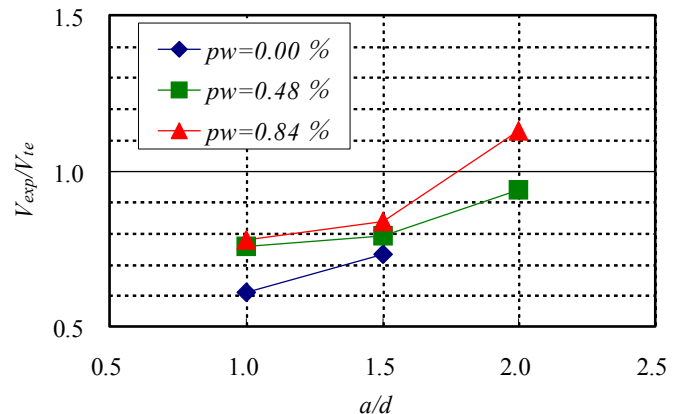


図-6 支持条件の違いによる影響 ( $V_{exp}$  と  $V_{te}$  の比較)

では、圧縮ストラットが推定される斜めひび割れが支間を対角に結ぶ直線に発生したこと、あるいは軸方向鉄筋に沿ったひび割れが卓越して発生したことから、支持条件の違いによる影響を受け、破壊形態が異なると考えられる(図-5)。

### 3.2 評価方法

3.1 から、支持条件の相違により、部材のせん断耐力が異なることが考えられる。よって、逆対称曲げモーメントを受けるディープビームのせん断耐力( $V_y$ )算定式を新たに検討する。

逆対称曲げモーメントを受けるディープビームにおいて、最大せん断力時のコンクリートの最小主ひずみが、圧縮強度時のひずみに対して、比較的小さい値であることが、既往の研究<sup>5)</sup>によりわかっている。くわえて、せん断補強鉄筋が降伏に至ることから、ここでは $1.0 \leq a/d \leq 2.0$ の範囲についても、斜め引張破壊すると仮定した。そのため、せん断耐力の評価においては、棒部材のせん断耐力算定式<sup>6)</sup>を基本とした。 $V_y$ はトラス理論に従い、せん断補強鉄筋を除いたディープビームのせん断耐力(コンクリートが分担するせん断耐力( $V_c$ )), およびせん断補強鉄筋が分担するせん断耐力( $V_s$ )の加算により算出することとする。

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

ここで、

$V_y$ : せん断耐力(kN)

$V_c$ : コンクリートが分担するせん断耐力(kN)

$V_s$ : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力(kN)

### 3.3 コンクリートが分担するせん断耐力の評価

载荷試験で得られた各試験体の最大せん断力を表-1に示す。試験体 No.1, No.5 および No.9 は、せん断補強鉄筋のないディープビームであることから、载荷試験で得られたディープビームの最大せん断力( $V_{exp}$ )をコンクリートが分担するせん断力( $V_{c,exp}$ )とした。なお、 $V_{c,exp}$ を求める際、 $f'_c$ の平均値をそれぞれの試験体の $f'_c$ で除した値の1/3乗を $V_{exp}$ に乘じることで、 $f'_c$ の影響を排除した。また、 $p_w$ 以外の諸元が等しい試験体のコンクリートが分担するせん断力は等しいと仮定し、 $V_{c,exp}$ を同値とした(表-1)。

$V_{c,exp}$ をせん断補強鉄筋を用いない棒部材の設計せん断耐力( $V_{cd}$ )<sup>6)</sup>で除した $V_{c,exp}/V_{cd}$ と $a/d$ の関係を図-7に示す。なお、図-7において、せん断耐力算定式の評価を行うため、部材係数( $\gamma_b$ )は1.0、コンクリートの設計圧縮強度( $f'_{cd}$ )は $f'_c$ の平均値とした。 $V_{c,exp}/V_{cd}$ と $a/d$ には相関関係があり、式(6)で表わされ、 $V_c$ と $V_{cd}$ の関係には、式(7)が成り立つ。

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_{p1} \cdot f'_{cd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b \quad (2)$$

$$\beta_d = \sqrt[3]{1000/d} \quad (3)$$

$$\beta_{p1} = \sqrt[3]{100 p_c} \quad (4)$$

$$f'_{ved} = 0.2 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad (5)$$

$$f(a/d) = -0.75 + 4/(a/d) \quad (6)$$

$$V_c = f(a/d) \cdot V_{cd} \quad (7)$$

ここで、

$V_{cd}$ : せん断補強鉄筋を用いない棒部材の設計せん断耐力(kN)

$b_w$ : 腹部の幅(mm)

$d$ : 有効高さ(mm)

$\gamma_b$ : 部材係数

$p_c$ : せん断引張鋼材比

$$p_c = A_s / (b_w \cdot d) \quad (8)$$

$A_s$ : 引張側鋼材の断面積(mm<sup>2</sup>)

$f'_{cd}$ : コンクリートの設計圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$f(a/d)$ : 補正係数

$a/d$ : せん断スパン比 ( $1.0 \leq a/d \leq 2.0$ )

式(6)で表わされる $f(a/d)$ と $a/d$ の関係、および現行の算定式<sup>6)</sup>から算出したせん断耐力( $V_{dd}$ )を $V_{cd}$ で除した $V_{dd}/V_{cd}$ と $a/d$ の関係を図-7に示す。なお図-7において、せん断耐力算定式の評価を行うため、部材係数( $\gamma_b$ )は1.0、コンクリートの設計圧縮強度( $f'_{cd}$ )は $f'_c$ の平均値としている。

$$V_{dd} = (\beta_d + \beta_w) \cdot \beta_{p2} \cdot \beta_d \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b \quad (9)$$

$$\beta_w = 4.2 \sqrt[3]{100 p_w \cdot (a/d - 0.75)} / \sqrt{f'_{cd}} \quad (10)$$

$$\beta_{p2} = (1 + \sqrt{100 p_c}) / 2 \quad (11)$$

$$\beta_d = 5 / (1 + (a/d)^2) \quad (12)$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}} \quad (13)$$

ここで、

$V_{dd}$ : 現行の設計せん断耐力(kN)

$p_w$ : せん断補強鉄筋比

$$p_w = A_w / (b_w \cdot s_s) \quad (14)$$

$A_w$ : 区間 $s_s$ における部材軸と直交するせん断補強鉄筋の総断面積(mm<sup>2</sup>)

$s_s$ : 部材軸と直交するせん断補強鉄筋の配置間隔(mm)

式(6)で表される $f(a/d)$ は、せん断スパン比の違いにか

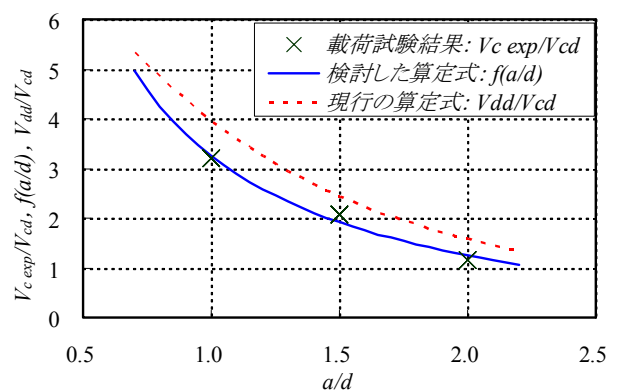


図-7  $V_{c,exp}/V_{cd}$ ,  $f(a/d)$ ,  $V_{dd}/V_{cd}$ と $a/d$ の関係

かわらず、現行の算定式から算出した  $V_{dd} / V_{cd}$  よりも精度よく評価できることが、図-7から確認できた。

### 3.4 せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力の評価

載荷試験結果から求めた、せん断補強鉄筋が分担するせん断力 ( $V_{s exp}$ ) を表-1に示す。3.3において、 $V_c$ が求まっていることより、式(15)から  $V_{s exp}$  を求めた。

$$V_{s exp} = V_{exp} - V_c \quad (15)$$

ここで、

$V_{exp}$ : 載荷試験から得られた最大せん断力(kN)

$V_{s exp}$ : せん断補強鉄筋が分担するせん断力(kN)

$V_{s exp}$  をせん断補強鉄筋により受け持たれる棒部材の設計せん断耐力 ( $V_{sd}$ )<sup>6)</sup>で除した  $V_{s exp} / V_{sd}$  と  $a/d$ ,  $p_w$  の関係を図-8に示す。なお、図-8において、せん断耐力算定式の評価を行うため、部材係数 ( $\gamma_b$ ) は 1.0, せん断補強鉄筋の設計引張降伏強度 ( $f_{wyd}$ ) は  $f_{wy}$  としている。

3.2 から、逆対称曲げを受ける梁は、トラス理論が適用できる可能性がある。トラス理論に基づく  $V_s$  の算定式を式(16)に表わす。 $V_{sd}$  は、圧縮ストラットの角度 ( $\theta$ ) を  $45^\circ$  ( $\cot \theta = 1.0$ ) として算定している (式(17))。

$$V_s = (A_w \cdot f_{wyd} \cdot z \cdot \cot \theta / s_s) / \gamma_b \quad (16)$$

$$V_{sd} = (A_w \cdot f_{wyd} \cdot z / s_s) / \gamma_b \quad (17)$$

ここで、

$f_{wyd}$ : せん断補強鉄筋の設計引張降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

$z$ : 圧縮応力の合力位置から引張鋼材の図芯までの距離

$$z = d / 1.15 \quad (18)$$

図-8より、 $p_w$  が大きい場合、または、 $a/d$  が小さい場合に、 $45^\circ$  の圧縮ストラットを仮定したトラス理論を適用することは、せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力 ( $V_s$ ) を過大評価していることがわかった。これは、圧縮ストラットが  $45^\circ$  とならないことが考えられるためである。 $V_{s exp}$  と  $V_{sd}$  の比は、式(16)から  $\cot \theta$  を意味しており、図-8から、 $\cot \theta$  は  $a/d$  および  $p_w$  と線形関係が成り立つことがわかっており、 $\cot \theta$  の算定式として式(19)を求めた。

$$\cot \theta = 0.44(a/d) - 35p_w + 0.58 \quad (19)$$

図-9に、 $\theta$  と  $a/d$  および  $p_w$  の関係を示す。 $\theta$  は  $a/d$  および  $p_w$  の影響を受け、 $a/d$  が小さい、または  $p_w$  が大きければ、 $\theta$  が大きくなり、 $45^\circ$  を超過する傾向にある。

図-8に式(15)、式(16)、式(19)で表される  $V_s$ ,  $V_{s exp}$  と  $a/d$ ,  $p_w$  の関係を示す。式(16)、式(19)は、 $a/d$  および  $p_w$  の違いにかかわらず、試験結果とほぼ一致していることが確認できた。試験体 No.4 については、 $V_s$  と  $V_{s exp}$  に若干の乖離が認められた。試験体 No.4 は他の試験体と比較して、最大せん断力時、破壊モードが異なる可能性がある。ただ、式(16)、式(19)から求まる  $V_s$  は、 $V_{s exp}$  よりも小さな値であり、安全側に評価されている。

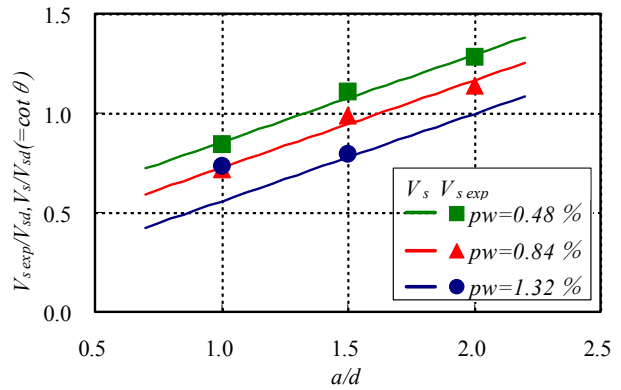


図-8  $V_{s exp}$ ,  $V_{sd}$  と  $a/d$ ,  $p_w$  の関係

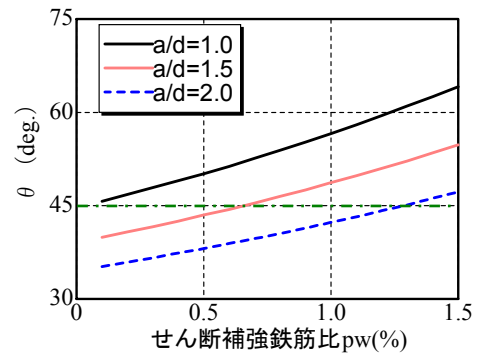


図-9  $\theta$  と  $a/d$ ,  $p_w$  の関係

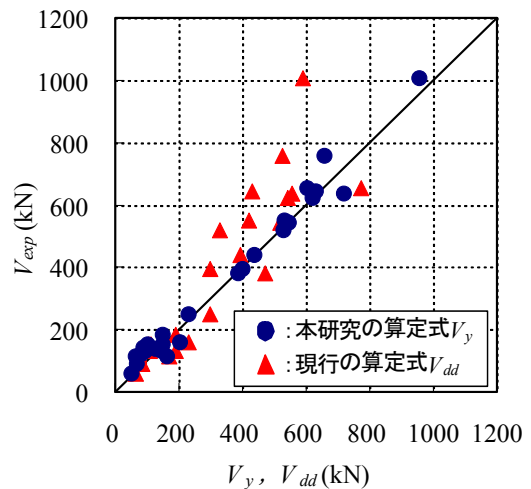


図-10  $V_y$ ,  $V_{dd}$  と  $V_{exp}$  の関係

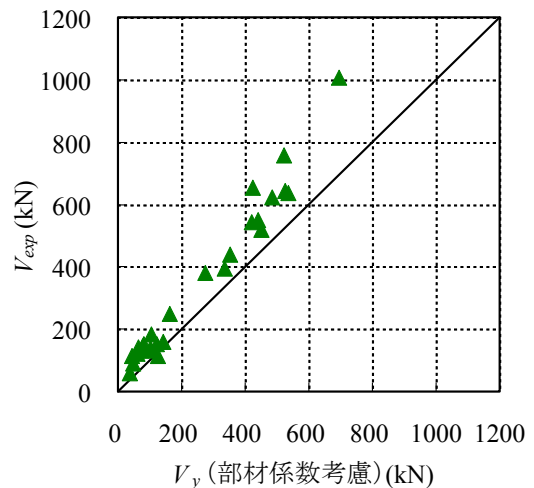


図-11  $V_y$  と  $V_{exp}$  の関係 (部材係数考慮)

表-2  $V_{exp}/V_y$ と $V_{exp}/V_{dd}$ の平均値, 標準偏差

		平均値	標準偏差
全ての試験	$V_{exp}/V_y$	1.14	0.26
	$V_{exp}/V_{dd}$	1.19	0.31
$V_{exp} \geq 200\text{kN}$ の試験	$V_{exp}/V_y$	1.03	0.08
	$V_{exp}/V_{dd}$	1.20	0.29

### 3.5 現行の算定式との比較

逆対称曲げを受ける RC 部材のせん断耐力に関する既往の研究<sup>7)~11)</sup>, および本研究による載荷試験結果を用いて, 現行の単純支持されたディープビームのせん断耐力算定式から求めたせん断耐力 ( $V_{dd}$ )<sup>6)</sup>と本研究で提案した算定式(1)から求めたせん断耐力 ( $V_y$ ) の比較を行う。

$V_y, V_{dd}$ と既往の研究, および本研究の載荷試験から得られた最大せん断力 ( $V_{exp}$ ) を比較したものを図-10に示す。 $V_y$ と $V_{dd}$ の $V_{exp}$ との相関関係を比較するため, それぞれの $V_{exp}/V_y$ と $V_{exp}/V_{dd}$ の平均値と標準偏差を表-2に示す。表-2から, 本研究の提案式は, 現行の算定式と比較して, 相関がよく, 特に $V_{exp}$ が200kN以上になる試験については, その傾向が顕著であることがわかった。これは, せん断補強鉄筋を配置している, 逆対称曲げモーメントを受けるディープビーム試験体について, せん断補強鉄筋をほとんど評価しない $V_{dd}$ に対し, $V_y$ は適切に評価しているからであると考えられる。

また, 算出された $V_y$ と $V_{dd}$ を比較すると, $V_{dd}$ は $V_y$ よりも小さな値となる傾向にあった。 $V_y$ は逆対称曲げモーメントを受ける梁, $V_{dd}$ は単純支持された梁を前提とした算定式であることから, せん断補強鉄筋がないディープビームのせん断耐力は, $V_{dd}$ が $V_y$ よりも大きな値となる(図-7)。しかし, $V_y$ は斜め引張破壊を前提にしているのに対し, $V_{dd}$ はせん断圧縮破壊を前提にしている算定式であることから, せん断補強鉄筋が配置されているディープビームのせん断耐力は, $V_y$ が $V_{dd}$ よりも大きな値になると考えられる。

また, $V_{cd}$ および $V_{sd}$ を求める際に, 部材係数を考慮した場合の $V_y$ と既往の研究および本研究の試験結果の $V_{exp}$ を比較したものを図-11に示す。図-11より, 設計の際に考慮する部材係数により, 全ての載荷試験結果に対して, $V_y$ が安全側に算出されていることが確認できた。

### 4. まとめ

本研究で実施した載荷試験, および既往の研究結果との比較から得られた知見を以下に示す。

- (1)支持条件の相違により, ディープビームの破壊形態が異なることがわかった。
- (2)逆対称曲げモーメントを受ける, せん断補強鉄筋のないディープビームのせん断耐力は, 単純支持されたディープビームのせん断耐力よりも小さくなること

わかった。

- (3)載荷試験の結果より, 逆対称曲げモーメントを受けるディープビームのせん断耐力算定式について検討し, 斜め引張破壊を前提とした算定式を提案した。
- (4)逆対称曲げモーメントを受けるディープビームについて, 現行の算定式で算出したせん断耐力 ( $V_{dd}$ ) と提案した算定式で算出したせん断耐力 ( $V_y$ ) の比較を行い, 提案した算定式が十分な精度を有していることを確認した。

### 参考文献

- 1) 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ロキウム論文集, pp.119-126, 1983.10
- 2) 谷村幸裕, 佐藤勉, 渡邊忠朋, 松岡茂: スターラップを有するディープビームのせん断耐力に関する研究, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.29-44, 2004.5
- 3) 幸左賢二, 脇山知美, 西岡勉, 小林寛: せん断スパン比に着目したディープビームの破壊形態に関する実験的検討, 土木学会論文集 E, vol.62, No.4, pp.798-814, 2006.11
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999
- 5) 渡辺健, 田所敏弥, 谷村幸裕, 黒川浩嗣: 逆対称曲げが作用したディープビームの破壊性状に関するせん断スパン比の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, 2007
- 6) (財) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物), 2004.4
- 7) 鈴木, 谷村, 楠本: 逆対称曲げを受けるせん断スパン比の小さい梁の耐力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, vol.26, No.2, 2004
- 8) 荒川, 加藤, 山本, 今野: 正負繰り返し荷重を受ける鉄筋コンクリート部材のせん断耐力性状について, 日本建築学会大会学術講演概要集, vol.45, pp.713-714, 1970
- 9) 荒川, 武田, 山本, 小島: 正負繰り返し荷重を受ける鉄筋コンクリート部材のせん断耐力性状について (その2), 日本建築学会大会学術講演概要集, vol.46, pp.803-804, 1971
- 10) 野口, 堀川: 鉄筋コンクリートばりのせん断抵抗機構に関する研究, 日本建築学会大会学術講演概要集, vol.56, pp.1479-1480, 1981
- 11) 高木, 奥出, 新田: せん断補強筋の強度による梁のせん断耐力, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.2, 1989