

# せん断スパン比を変化させた RC 梁載荷実験のせん断耐力に関する考察

学生氏名 熊谷俊樹  
指導教員 吉川弘道

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)構造物のせん断破壊は脆性的な破壊を呈し、その破壊メカニズムは極めて複雑である。また、RC 梁の破壊形式を決定する要因の一つとしてせん断スパン比(せん断スパン  $a$ /有効高さ  $d$ 、以下  $a/d$ )がある<sup>1)</sup>。本研究では、この  $a/d$  を実験パラメータとした RC 梁の載荷実験を行い、RC 梁のせん断耐力について検証した。なお、比較の対象としたせん断耐力式は、土木学会コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>(土木学会)、鉄道構造物等設計標準<sup>3)</sup>(鉄道標準)、The European Concrete Standards in Practice<sup>4)</sup>(Euro-Code)、Priestley<sup>5)</sup>とした。

## 2. 実験概要

せん断破壊先行型に設計した矩形断面の RC 梁の試験体を 6 体製作した。表 1 に試験体諸元を示す。実験パラメータとしてせん断スパン比を 3 種類設定した。試験体には直接変位計とひずみゲージを取り付け、荷重、載荷点変位、鉄筋ひずみ、コンクリートひずみ等を測定した。また、今年度(H17)だけでなく、平成 15 年度(H15)の諸元も併せて載せた。

表 2 に RC 梁の載荷実験結果を示す。本実験は、2 点集中載荷で行ったのでせん断耐力  $V$  は最大荷重の 1/2 とした。またせん断補強筋負担分  $V_s$  はトラスモデル<sup>1)</sup>を用いて算出し、コンクリート寄与分  $V_c$  は  $V$  と  $V_s$  の差とした。6 体中 5 体はせん断破壊したが、V-475B だけは曲げ降伏後のせん断破壊となった。同じ設計の V-475A と比較してみると  $V$  は大差ないが、 $V_s$  について、B は A の 2 倍以上の値が算出されている。つまりせん断補強筋の耐力が想定以上に大きく算出されたため、せん断破壊に至る前に曲げひび割れが進展し、曲げせん断破壊してしまったと考えられる。

## 3. 圧縮ストラット角度 の算出

コンクリートの圧縮ストラットとは圧縮合力の軌跡<sup>1)</sup>であり、通例圧縮ストラットに沿って斜めひび割れは入る。現行示方書の塑性トラス理論でせん断補強筋負担分  $V_s$  を求める際、圧縮ストラット角度  $\theta$  は一般的に  $\theta=45^\circ$  として計算の簡略化を図ることが多い。しかし、せん断破壊した構造物の被害事例などによると、RC 梁の場合、必ずしも  $45^\circ$  にならないことが報告されている。そこで、本論では各試験体の圧縮ストラット角度を算出し、 $45^\circ$  と仮定した場合と比較し検討を行った。なお、圧縮ストラット角度  $\theta$  の算定方法として、Kim&Mander モデル<sup>6)</sup>と、載荷実験終了後の画像データを用いた目視による算出方法を用いた。表 3 に算出結果を示す。目視による方法では  $\theta=29\sim 41^\circ$  で、各試験体でバラつきがあるが 6 体の平均値は  $32.3^\circ$  となり Kim&Mander の算出結果( $32.1^\circ$ )に近似した。



図 1 実験装置のセットアップ

表 1 試験体諸元

試験体名	断面 (mm)			せん断スパン		せん断補強筋ピッチ (mm)	
	幅	高さ	有効高さ	スパン長 (mm)	$a/d$ (-)		
H17	V-400	150	200	173	400	2.31	200
	V-475				475	2.75	
	V-550				550	3.18	
H15	125-400	150	200	173	400	2.31	125
	125-475				475	2.75	
	125-550				550	3.18	
	150-475				475	2.75	150
	150-550				550	3.18	
	175-400				400	2.31	
175-475	475	2.75	175				

表 2 載荷試験結果

試験体名	$V$	$V_s$	$V_c$	破壊形式
	kN	kN	kN	
V-400A	76.9	11.3	65.5	せん断破壊
V-400B	82.5	15.8	66.6	せん断破壊
V-475A	67.6	9.4	58.2	せん断破壊
V-475B	72.6	20.7	51.9	曲げせん断破壊
V-550A	58.5	10.1	48.4	せん断破壊
V-550B	61.1	13.5	47.5	せん断破壊

表 3 各試験体の圧縮ストラット角度 と  $c$

試験体名	(degree)		$c$ (N/mm <sup>2</sup> )			
	K&M	目視	K&M	目視	45°	鉄道標準
V-400A	32.1	29.3	2.26	2.18	2.52	1.91
V-400B		40.8	2.20	2.47	2.57	
V-475A		37.2	2.03	2.13	2.24	1.68
V-475B		24.0	1.53	1.01	2.00	
V-550A		31.7	1.63	1.62	1.86	1.59
V-550B		29.3	1.52	1.42	1.83	

key words: せん断破壊, せん断スパン比, 圧縮ストラット角度, Kim&Mander モデル

#### 4. せん断耐力 $V$ と圧縮強度 $f'_c$ の関係

図 2 は各算定式によるせん断耐力と実測値を比較したものである。平成 17 年度(H17)の他に平成 15 年度(H15)の実験データも使用した。なお、鉄道標準はせん断スパン比( $a/d$ )によって値が変化するので、本実験における試験体の  $a/d=2.31, 2.75, 3.18$  の 3 パターンに対応した軌跡を載せてある。各実測値とも各算定式の値を上回っていることが確認できる。H15 の  $a/d=2.31$  の試験体で 125-400( $f'_c=32.1\text{N/mm}^2$ )よりも 175-400( $f'_c=43.6\text{N/mm}^2$ )のほうがせん断耐力が低く、算定式の取る挙動に逆行しているようだが、これはせん断補強筋間隔が 175-400 のほうが大きかったために、125-400 よりもせん断耐力が低く算出されたと考えられる。これより RC 梁のせん断耐力を決定する要因としてせん断補強筋間隔が影響しているということが分かった。

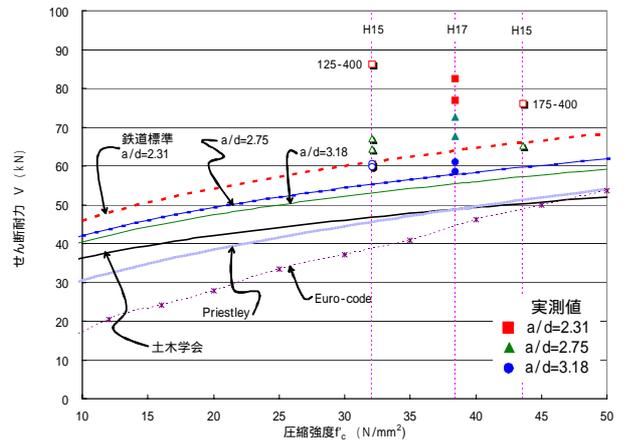


図 2  $V-f'_c$  関係

#### 5. せん断耐力 $V$ とせん断スパン比 $a/d$ の関係

図 3 は横軸にせん断スパン比  $a/d$ 、縦軸にせん断耐力  $V$  をとり、H15 と H17 の実測値を載せたグラフである。土木学会は一定の値を取っているが、鉄道標準は  $a/d$  が小さくなるにつれてせん断耐力が増加していることが分かる。また、実測値も鉄道標準のグラフに呼応するように  $a/d$  が小さくなるにつれてせん断耐力が増加していることが分かる。また、 $a/d$  が小さいほうが各試験体のせん断耐力のバラつきが大きいことが分かる。このことから  $a/d=2.5$  付近以下においては鉄道標準の取るせん断耐力の誤差範囲が大きいのではないかと考えられる。またせん断耐力を算出する際は  $a/d$  を考慮すべきであると考えられる。

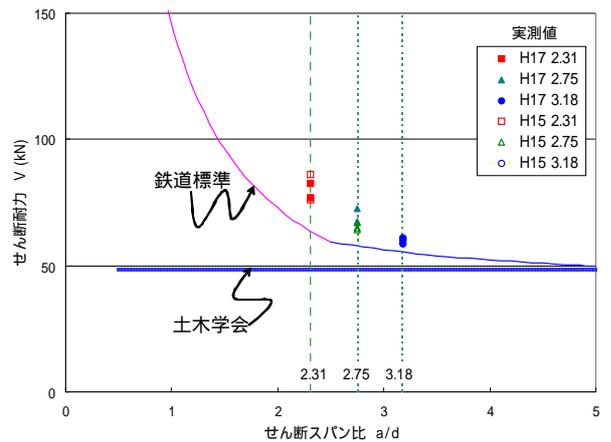


図 3  $a/d-V$  関係

#### 6. せん断応力のコンクリート寄与分 $\tau_c$ と $a/d$ の関係

図 4 は平成 17 年度の実験データを用いて、圧縮ストラット角度  $\theta$  を  $45^\circ$  として仮定した場合と、Kim&Mander および目視により算出した  $\theta$  を用いて各試験体のせん断応力  $\tau_c$  を算出し、鉄道標準および土木学会と比較を行ったものである。全体的に  $45^\circ$  仮定よりも実測値による  $\tau_c$  の方が鉄道標準に近似しているということが分かる。また、目視と Kim&Mander は比較的近い値を取っており、せん断耐力を算定する際は  $\theta=45^\circ$  として仮定するよりも、簡易的に  $\theta$  を算出することができる Kim&Mander を利用するのが有効であると考えられる。

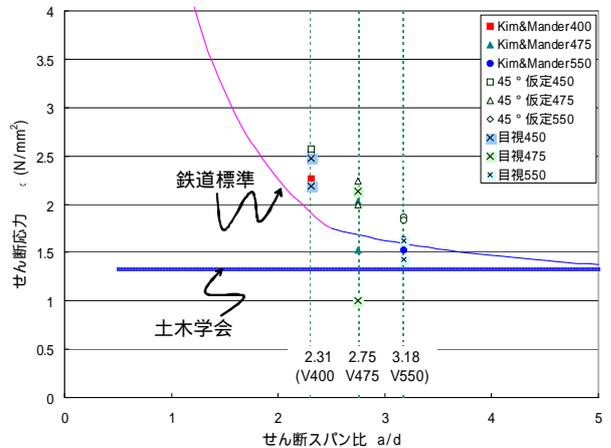


図 4  $\tau_c-a/d$  関係

#### 7. まとめ

- ・RC 梁のせん断耐力を決定する要因としてせん断補強筋間隔が大きく影響しているということが考えられる。
- ・せん断耐力を算出する際は  $a/d$  を考慮すべきであると考えられる。
- ・実際の  $\theta$  は  $45^\circ$  より低く、対象物ごとに  $\theta$  を評価する必要があると考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 吉川弘道: 鉄筋コンクリートの解析と設計, 丸善, 1998.10
- 2) 土木学会編: 2002 年度制定コンクリート標準示方書, 構造性能照査編, 土木学会, 2002.3
- 3) 鉄道総合技術研究所編: SI 単位版 鉄道構造物等設計標準・同解説 - コンクリート構造物, 丸善, 1999.12.
- 4) A.W.Beeby and R.S.Narayanan: 'Designers' Handbook to Eurocode2, Thomas Telford, 1995
- 5) M.J.N Priestley, F.Seible and G.M.Calvi: Seismic Design and Retrofit of Bridges, 1996
- 6) John B.Mander, Jang Hoon Kim, and Anindya Dutta: SHEAR-FLEXURE INTERACTION ANALYSIS AND DESIGN, SEMINAR ON POST-PEAK BEHAVIOR OF RC STRUCTURES SUBJECTED TO SEISMIC LOADS October 25-29, 1999 Volume 1