

V-17 鉄筋コンクリートT桁のせん断耐力に関する研究

北海道大学 正員 古内 仁
木村 勉
柴内 大地

1. まえがき

最近わが国における鉄筋コンクリート部材のせん断耐力に関する研究の発展は目ざましいものがあり、その多くは最近改訂されたコンクリート標準示方書に反映されている。その中で、はりや柱などの棒部材のせん断補強鉄筋をもたない場合のせん断強度としては、二羽ら¹⁾による提案式が採用されており、コンクリート強度 f_c' 、引張鉄筋比 $P_w (= A_s / b_w d)$ 、有効高さ d および軸方向力 N_d の影響が考慮されている。この式は元来、長方形断面からなる単純桁のせん断強度に関する国の内、外における多数の実験データに基づいて導かれたものであるが、T桁断面に対しても断面幅としてウェブ幅 b_w をとることにより、適用可能としている。しかし、過去の研究の中には部材のせん断強度に対して断面形状が大きな影響をもつとしているものもあり²⁾、なお不明解な点も多い。

本研究は、鉄筋コンクリート部材のせん断強度に及ぼす断面形状の影響を調べる研究の一段階として、せん断補強鉄筋をもたないT桁のせん断破壊実験を行い、長方形断面のせん断強度と比較したものである。

2. 実験方法

供試体は図1および表1に示す7本のT桁からなり、断面の高さ $h=25\text{cm}$ 、有効高さ $d=21\text{cm}$ 、ウェブ幅 $b_w=10\text{cm}$ 、引張鉄筋比 $P_w=2.28\%$ は一定とし、フランジ幅 $b=10\sim 40\text{cm}$ 、およびせん断スパン $a=50\sim 120\text{cm}$ を変化させた。

コンクリートは単位セメント量 365kg/m^3 、水セメント比 49% 、細骨材率 43% で、試験日材令は7日で、目標強度は 300kgf/cm^2 である。セメントは早強ポルトランドセメント（アサノベロ）を使用し、骨材としては細骨材、粗骨材ともに天然産を使用した。

鉄筋は、主鉄筋に対してSD35のD25、スターラップに対してSD35のD10を使用した。ただし、スターラップは主鉄筋の定着補強を目的としており、せん断スパンには配置していない。

実験は原則として二点載荷とし、荷重の中心間隔は 15cm としたが、せん断スパンの大きい供試体No.5のみは一点載荷とした。荷重および支点反力は 5cm 幅の鋼板を介し、いずれもローラー支持として伝達した。実験中は、ウェブの高さの中央位置におけるコンクリートのひずみをロゼット式で測定し、主ひずみの大きさおよび方向を求めた。

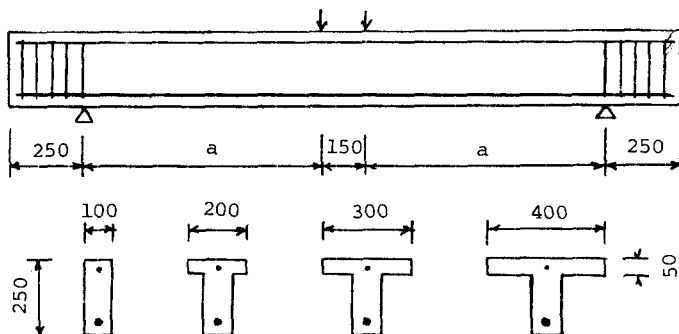


図1 供試体

表1 供試体の変数

No.	a (cm)	b (cm)
1	70	40
2	80	10
3	50	40
4	90	40
5	120	40
6	80	30
7	80	20

3. 実験結果および考察

(1) 破壊性状

試験桁はいずれも荷重の増加に伴って初めはスパン中央部に曲げひびわれが生じ、その後、支点へ向って徐々に曲げひびわれが生じた。それらの中、せん断スパンのひびわれは上方へ進行するにつれて斜ひびわれに発展し、フランジに達したものはフランジをウェブの付け根に沿って水平ひびわれを生じさせ、最後にフランジを突き抜けて破壊が生じた。長方形断面の場合にも斜ひびわれが圧縮ゾーンに進行すれば水平に近いひびわれが生ずるが、上述の水平ひびわれはこれと異なり、一種の直接せん断破壊によるものと考えられる。

図2は、桁の破壊をもたらしたひびわれのみを抜きとって描いたものである。一般に長方形断面の場合には、せん断スパンが大きくなるにつれて破壊ひびわれの位置は支点から遠ざかるが、この図では、せん断スパンが増加しても破壊ひびわれの支点からの距離は余り変化していないことが示されている。しかし、圧縮ゾーンの破壊位置は長方形断面の場合と同様に載荷点附近となっており、その間を水平ひびわれが連絡している形をとっている。

(2) せん断耐力

各供試体のせん断耐力 V_{test} は表2に示すとおりである。破壊形態は、 a/d が2.38と小さいNo.3のみがせん断圧縮破壊で、残りは全て斜引張破壊となっている。長方形断面の場合には、せん断圧縮破壊と斜引張破壊の境界は、 $a/d = 2.5$ 附近と言われており、上記の結果は、T桁の場合にもそれがほぼ当てはまることを示している。

ところで、T桁の設計ではウェブ幅を断面幅とすることにより、長方形断面と同じせん断強度を用いるのが普通である。それは、最大せん断応力の理論値が両者で等しくなるに基づくものである。それに対して池田²⁾は、種々の断面形状をもつ桁の実験を行い、せん断耐力がウェブのせん断応力のみで定まるのではなく、フランジの断面積も大きな影響をもつことを見出し、せん断耐力の算定式として次式を得た。

$$V_l = 0.5 \sqrt{f_c'} (A_c + 40A_s) \quad \dots(1)$$

ここに A_c はコンクリート全断面積、 A_s は引張鉄筋の断面積を表す。

表3に上式と実験値との比較を示してある。ただし、計算値および実験値のもつ傾向を把握しやすくするため、両者とも $f_c' = 300 \text{ kgf/cm}^2$ の場合に換算してある。これによれば、上式ではせん断スパン比 a/d の影響を考慮して

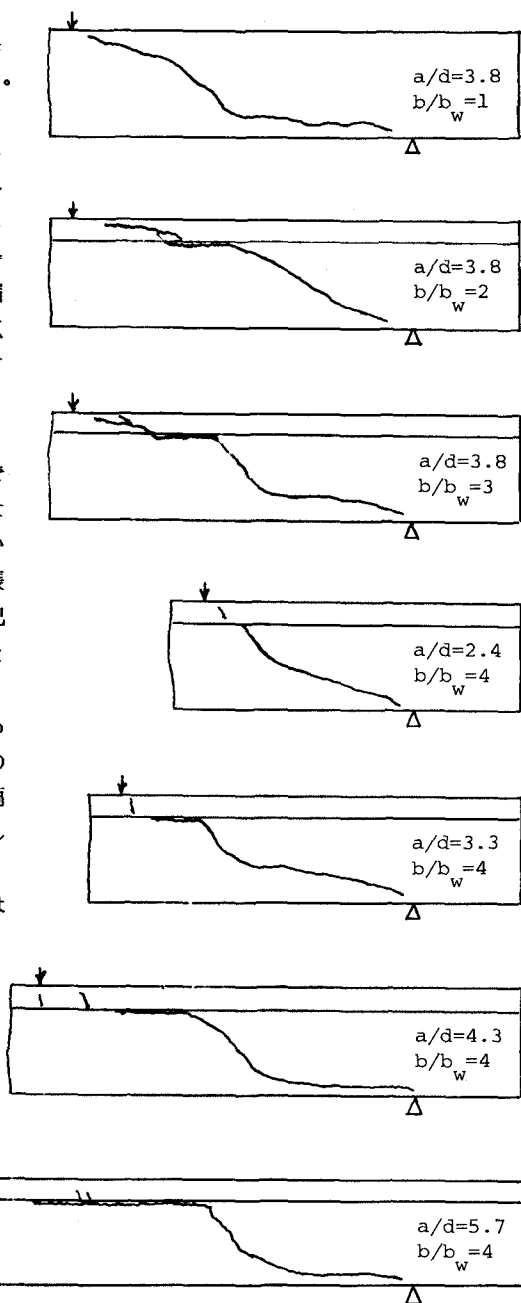


図2 破壊ひびわれ

いないのに対し、実際には a/d 比がかなり大きな影響をもっているため、その点での相違は当然であるが、断面形状の影響に限定して考えても、計算値は実験値に比べて b/b_w の影響を過大に評価していることがわかる。これは、池田の実験に用いた桁はI形断面であり、全高さに占めるウェブ高さの比が小さいことから、フランジの剛性がせん断耐力に大きく貢献したのに対し、本実験の供試体のようにフランジの剛性が低い場合にはその効果が小さいためであると考えられる。そのことは、池田式が過大なせん断耐力を与える結果ともなっている。

一方、長方形断面に対する多数の実験データに基づいて導かれた二羽らのせん断耐力式は、次式である¹⁾。

$$V_N = 0.94(P_w f'_c)^{1/3} d^{-1/4} (0.75 + 1.4d/a) b_w d \quad \dots\dots\dots(2)$$

表3には上式と実験値との比較が示されている。ここでも計算値および実験値は $f'_c = 300 \text{ kgf/cm}^2$ の場合に換算されている。これによれば、計算値は実験値に比較的近い値を与えており、かつ、安全側の値を与えている。従って、長方形断面に対して導かれたせん断耐力式を、T桁に適用することは、実用上十分な近似であることがわかる。

このように、T桁のせん断耐力と長方形断面のせん断耐力の差は実用上重大なものではないが、T桁の耐力の方が上回るのは、前述の破壊ひびわれの形状に関係していると考えられる。すなわち、T桁ではフランジの剛性が高いため、斜ひびわれがフランジとウェブの付け根の部分で断ち切られる形となり、それが水平ひびわれを生じさせている。そこで、各供試体における水平ひびわれの長さ r を測定し、せん断スパン a から r を差引いた値を a'

表2 実験結果

No.	a/d	b/b_w	f'_c	V_{test}	failure mode
2	3.81	1	293	3.50	DT
7	3.81	2	345	3.25	DT
6	3.81	3	333	3.00	DT
3	2.38	4	303	7.50	SC
1	3.33	4	355	3.45	DT
4	4.29	4	314	3.25	DT
5	5.71	4	341	3.00	DT

DT=Diagonal tension f'_c :kgf/cm²
SC=Shear compression V_c :tf
 V_{test} :tf

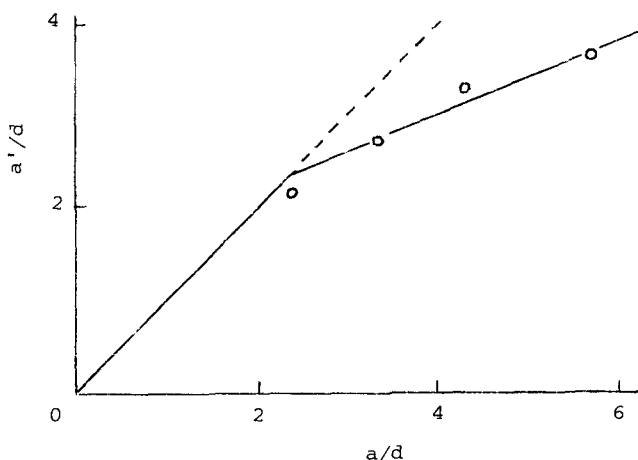


図3 a/d と a'/d の関係

表3 実験値と計算値の比較

No.	V'_{test}	V_I	V'_{test}/V_I	V''_{test}	V_N	V_c	V'_{test}/V_N	V'_{test}/V_c
2	3.03	3.83	0.79	3.10	2.87	2.87	1.08	1.08
7	2.81	4.25	0.66	2.88	2.87	3.03	1.00	0.95
6	3.18	4.69	0.68	3.20	2.87	3.09	1.11	1.03
3	7.12	5.12	—	7.24	3.44	—	—	—
1	3.54	5.12	0.69	3.53	3.01	3.22	1.17	1.09
4	2.99	5.12	0.58	2.99	2.77	3.06	1.08	0.98
5	3.17	5.12	0.62	3.26	2.56	2.87	1.27	1.13

$$V'_{\text{test}} = V_{\text{test}} (300/f'_c)^{1/2} \quad V''_{\text{test}} = V_{\text{test}} (300/f'_c)^{1/3} \quad V: \text{tf}$$

($=a-r$)とおき、 a'/d と a/d の関係を示したのが図3である。これによれば、 a/d がある値を越える場合に水平ひびわれが生じ、かつ、 a/d 比の増加とともに r/d が増加していることがわかる。また、図4は、 a'/d と b_w/b の関係を示したものである。これによれば、 b_w/b の減少につれて r/d が増加することがわかる。

以上の性質は定性的には容易に理解できることであるが、定量的に評価するには本実験のデータのみでは十分でない。しかし、あえて、図中の直線関係すなわち

$$\frac{r}{d} = 0.77(1 - \frac{b_w}{b}) \left(\frac{a}{d} - 2.4 \right) \geq 0 \quad \dots(3)$$

を仮定し、そのときの a'/d の計算値を a/d の代りに用いて(2)式よりせん断耐力を計算したのが表3の V_c である。これによれば、実測値と V_c との比は平均1.04であり、両者の良い適合性が見られる。また図5は、上記の関係を示したもので、×印は a/d のままで比較したもの、○印は上記のように a'/d としたもので、せん断スパン比の補正によって(2)式との適合性が改良された様子が見られる。

4. まとめ

本研究は、せん断補強鉄筋をもたない鉄筋コンクリートT桁のせん断耐力について実験を行ったものであり、池田のI桁による実験におけるようなフランジの大きな影響は見られなかったこと、長方形断面桁に対するせん断耐力式をT桁に対して用いてもそれ程大きな差はなく、安全側であること、フランジとウェブの付け根に生ずる水平ひびわれによる影響を考慮して a/d を見かけ上小さくとれば、さらに適合性が増すこと、などを明らかにした。

文 献

- 1) 二羽淳一郎、山田一字、横沢和夫、岡村 甫；せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価、土木学会論文集、No.372、1986.8
- 2) 池田尚治ほか；鉄筋コンクリートの力学、土木学会編新体系土木工学32、技報堂出版1982.11

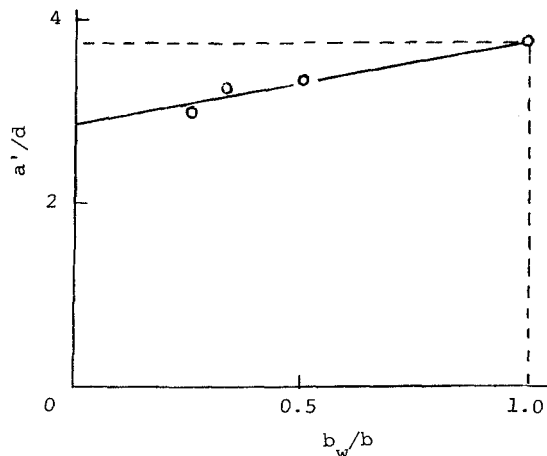


図4 a'/d と b_w/b の関係

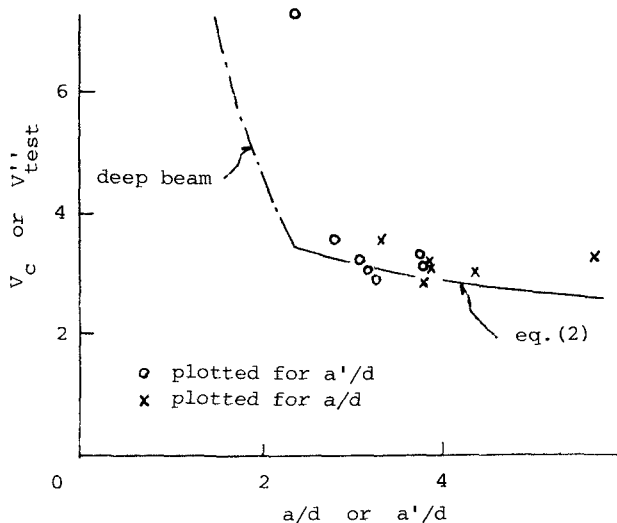


図5 せん断耐力と a'/d の関係