

# [123] 鉄筋コンクリート造T形はりのせん断耐力に関する実験研究

正会員 松崎 育弘 (東京理科大学工学部)  
 星野 克征 (東芝原子力事業本部)  
 正会員 坂本 浩孝 (東京理科大学大学院)  
 正会員 山本 泰宏 (東京理科大学大学院)

## 1. はじめに

通常、鉄筋コンクリート造はり部材は、長方形断面ではなく床スラブの付いたT形断面である。しかし、せん断耐力は、はり部材をスラブを無視した長方形断面とし、大野・荒川博士により提案された実験式を用いて評価されているのが現状である。

そこで、鉄筋コンクリート造T形はり部材のスラブ部のせん断耐力に及ぼす影響については、はり部材を床スラブを考慮したT形断面で評価しようとして、大久保<sup>(1)</sup>、狩野<sup>(2)</sup>、R.N. Swamy<sup>(3)</sup>、Placas & Regan<sup>(4)</sup> による報告がなされている。しかし、その実験方法や実験結果も様々であり、T形はりとしての評価方法は、まだ確立されるに至っていない。

そこで、本研究では、主にT形はりスラブ部のはね出し幅と厚さに着目し、それらがT形はりのせん断耐力にどのような影響を及ぼすかということを把握する目的で、長方形はり及びT形はりのせん断実験を行い、破壊性状・変形性状・せん断耐力等を比較検討してゆくこととした。

## 2. 実験内容

2.1 試験体 実験は2シリーズ行い、Iシリーズ<sup>(5)</sup>は、主にスラブはね出し幅を変え、試験体数20体、IIシリーズでは、主にスラブ厚さを変え、試験体数21体とした。

試験体一覧を表-1に、試験体の

表-1 試験体一覧

試験体名	a/D (a/d)	ba (cm)	t (cm)	ba/t	断面 積比	Pw (%)	コンク リートの 種類	共 通 事 項	
I シ リ ズ	0.6-R1-00	0.6 (0.68)	0	0	1.0	0	A	a/D: せん断スパン比 ba: スラブ片側はね出し幅 t: スラブ厚さ 断面積比: 長方形はりの断面積を1.0とする。 Pw: せん断補強筋比 ・主筋 10-D10 断面積 At=7.13cm <sup>2</sup> 引張鉄筋比 Pt=2.48% ・せん断補強筋 4φ@40 ・スラブ筋 D6@200 ・はり有効せい d=22.1cm [試験体名] ex) 12-T20-48 I.2: せん断スパン比 T: T形はり(R1:長方形はり) 20: スラブ片側はね出し幅 48: せん断補強筋比	
	0.6-R1-48					0.48			
	1.2-R1-00	1.2 (1.36)	4	2.0	5	1.5			0
	1.2-T20-00								
	1.2-T40-00								
	1.2-T60-00								
	1.2-R1-48								
	1.2-T20-48								
	1.2-T40-48	2.0 (2.26)	4	2.0	4	1.0			0
	1.2-T60-48								
	2.0-R1-00								
	2.0-T20-00								
2.0-T40-00									
2.0-T60-00									
2.0-R1-48	2.8 (3.17)	0	0	0	1.0	0			
2.0-T20-48									
2.0-T40-48									
2.0-T60-48									
2.8-R1-00									
2.8-R1-48									
II シ リ ズ	1.2-R2-00	1.2 (1.37)	4	2.0	8	2.5	0	・主筋 2-D19 断面積 At=5.74cm <sup>2</sup> 引張鉄筋比 Pt=2.02% ・せん断補強筋 6φ@135 ・スラブ筋 6φ@200 ・はり有効せい d=21.9cm [試験体名] ex) 2.0-4T20-00 2.0: せん断スパン比 4: スラブ厚さ T: T形はり(R2:長方形はり) 20: スラブ片側はね出し幅 00: せん断補強筋比	
	1.2-4T20-00								
	1.2-4T40-00								
	1.2-8T20-00								
	1.2-R2-32								
	1.2-4T20-32								
	1.2-4T40-32								
	1.2-6T20-32	2.0 (2.28)	0	0	0	0	0		
	1.2-8T20-32								
	2.0-R2-00								
	2.0-R2-32								
	2.0-4T20-32								
	2.8-R2-00								2.8 (3.20)
	2.8-4T20-00								
	2.8-4T40-00								
2.8-8T20-00									
2.8-R2-32									
2.8-4T20-32									
2.8-4T40-32	2.0	6	3.3	1.75	2.0	0.32			
2.8-6T20-32									
2.8-8T20-32									

形状及び断面の一例をそれぞれ図-1、図-2、図-3に示す。使用鋼材及びコンクリートの材料試験結果を表-2、表-3に示す。

試験体に与えた要因は、以下の4要因とした。

- i) せん断スパン比 ( $a/D$ ) : 0.6, 1.2, 2.0, 2.8
- ii) スラブ片側はね出し幅 (ba) : 0, 20, 40, 60 (cm)
- iii) スラブ厚さ (t) : 0, 4, 6, 8 (cm)
- iv) せん断補強筋比 ( $P_w = a_w/bx/b$  は、はり幅) : 0, 0.32, 0.48 (%)

基準となる長方形試験体断面は、はり幅 (b) 13 cm, はりせい (D) 25 cmとした。主筋は、I シリーズでは、D10、10本を2段配筋とし、II シリーズでは、D19を2本配筋した。せん断補強筋は、I シリーズでは、4φを4cm間隔に、II シリーズでは、6φを13.5cm間隔に配筋した。スラブ筋は、はりと直交方向にのみ配筋し、I シリーズでは、D6を、II シリーズでは、6φを、それぞれ20cm間隔とした。

2.2 加力方法 加力装置図を図-4に示す。加力は、鉄骨フレームの中に試験体を設置し、カウンターにより自重を相殺した加力ビームを介して、逆対称荷重をかけ、一方向単調載荷とした。スラブ上面の加力支点は、はり部分のみを加力する集中荷重とした。

2.3 測定項目 荷重を50tロードセルで、支点間相対変位を電気式ダイヤルゲージで、また、鉄筋及びコンクリート表面のひずみ度をストレインゲージで測定した。

### 3. 実験結果・検討

I、II シリーズの実験結果一覧を表-4に示す。なお、表中\*印の6体は、主筋が曲げ降伏した後、せん断破壊し、残りのすべての試験体は、せん断破壊した。

3.1 破壊性状 破壊ひびわれタイプの一覧を表-5に示す。I シリーズでは、 $P_w=0$  試験体は、スラブ付け根の上端主筋に沿って付着ひびわれが入った後、はり部で激しく斜張力破壊した (A、B、C、Dタイプ)。 $P_w=0.48$  試験体は、上端主筋に沿って付着ひびわれが入った後、せん断ひびわれが分散して入り、その後、割り裂きひびわれが進展した (Aタイプ)。最大耐力後は、スラブとはりにズレが生じた。これらの試験体は、長方形はりとT形はりで、破壊性状に差は見られなかった。II シリーズでは、 $P_w=0$  試験体は、はり部が激しく斜張力破壊した。 $a/D=1.2$  試験体は、長方形はりが、下端主筋に沿って伸びたせん断ひびわれ (Bタイプ) により最大耐力に達したのに対し、T形はりは、長方形はりと同様のひびわれ (Bタイプ) が入った後、新たに発生した上端主筋に沿って伸びたせん断ひびわれ (Aタイプ) により最大耐力に達した。 $P_w=0.32$  試験体は、長方形はり、T形はり共に、せん断ひびわれが分散して入った後、 $a/D=1.2$  試験体は、はり部でせん断破壊し (A、Dタイプ)、 $a/D=2.8$  試験体は、曲げ降伏後、曲げひびわれから伸びたせん断ひびわれ (A、Eタイプ) により破壊に至った。

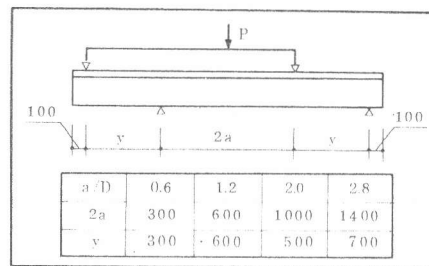


図-1 試験体形状図

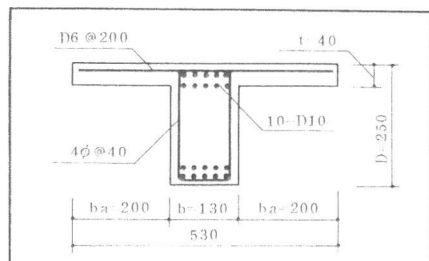


図-2 試験体断面図一例 (Iシリーズ)

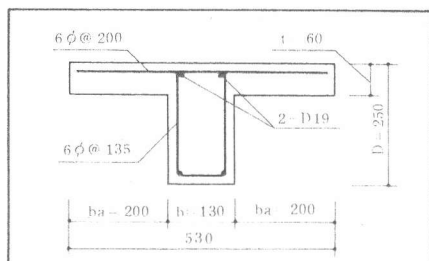


図-3 試験体断面図一例 (IIシリーズ)

表-2 鉄筋の材料試験結果

	降伏点のσ <sub>y</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	引張強度のσ <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )
4φ	5220	5390	1.96
6φ	4975	5461	2.1
D10	3490	4911	1.79
D10*	3510	4972	1.83
D19	3861	5992	1.67

\* a/D=2.8 試験体で使用

表-3 コンクリートの材料試験結果

コンクリートの種類	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	割裂引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )
A	17.4	18.7	1.96
B	20.2	19.7	2.11
C	22.2	20.0	2.21

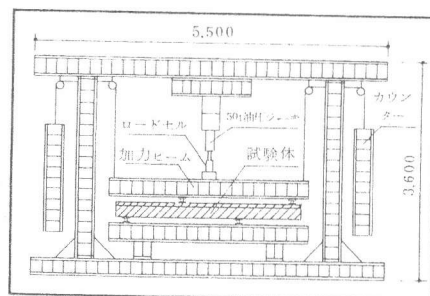


図-4 加力装置図

3.2 変形性状 I シリーズ、 $a/D = 1.2$  試験体の、せん断力(Q)―部材角(R)曲線を、図-5に示す。 $a/D, P_w$ の等しい各試験体では、T形はり、長方形はり共に、よく類似した変形性状を示した。

3.3 耐力 せん断ひびわれ発生荷重及び最大荷重について、実験値と大野・荒川式<sup>(6)</sup>による計算値との比較グラフを図-6、図-7に示す。また、強度比(T形はりの最大耐力/長方形はりの最大耐力)と断面

積比(T形はりの断面積/長方形はりの断面積)との関係を $P_w$ 毎に図-8に示す。

(1) せん断ひびわれ発生荷重 表-4で見る様に、T形はりと長方形はりを比べると、せん断ひびわれ発生荷重に、スラブ幅及び厚さの影響は見られなかった。また、実験値と計算値を比べると、T形はりは、スラブを無視した長方形断面として評価した計算値と良く適合した。

(2) 最大耐力 図-8のグラフで見る様に、 $P_w = 0$ 試験体は、長方形はりの実験値が計算値に比べて小さい値を示したこともあり、強度比が0.75~1.74倍と、かなりのばらつきが見られた。また、Iシリーズの $a/D = 1.2$ 試験体を除いては、 $a/D$ が大きくなるに従って、最大耐力に対するスラブの影響は、徐々に小さくなっていくことがわかった。 $P_w = 0.48$ 試験体は、強度比1.02~1.07倍で、T形はりの最大耐力は、 $a/D$ に関係なく、長方形はりともあまり変わらなかった。 $P_w = 0.32$ 試験体では、せん断破壊した $a/D = 1.2$ 試験体

表-4 試験結果一覧

試験体名	実験値						破壊タイプ	計算値		比較値			
	sQcc (ton)	s $\tau$ cc1 (kg/cm <sup>2</sup> )	s $\tau$ cc2 (kg/cm <sup>2</sup> )	Que (ton)	$\tau$ ue1 (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau$ ue2 (kg/cm <sup>2</sup> )		sQcc (ton)	Que (ton)	sQcc/Que	Que/RQue	TQue/RQue	
I シ リ ズ	0.6-R1-0.0	4.1	16.3	16.3	10.5	41.8	41.8	D	4.96	12.14	0.83	0.86	1.00
	0.6-R1-4.8	4.5	17.9	17.9	15.0	59.7	59.7	D					
	1.2-R1-0.0	4.8	19.1	19.1	4.8	19.1	19.1	A	3.86	6.56	1.24	0.73	1.00
	1.2-T20-0.0	4.0	15.9	10.7	4.0	15.9	10.7	AD					
	1.2-T40-0.0	3.5	13.9	7.0	3.6	14.3	7.2	A					
	1.2-T60-0.0	5.0	19.9	8.0	5.6	22.3	9.0	AB					
	1.2-R1-4.8	4.0	15.9	15.9	12.0	47.7	47.7	BA	9.96	1.19	1.26	1.04	
	1.2-T20-4.8	4.6	18.3	12.3	12.5	49.7	33.3	AB					
	1.2-T40-4.8	4.0	15.9	8.0	12.2	48.5	24.5	BEA					
	1.2-T60-4.8	4.5	17.9	7.3	12.4	49.3	19.9	DA					
	2.0-R1-0.0	2.2	8.8	8.8	2.6	10.3	10.3	A	2.98	4.08	0.74	0.64	1.00
	2.0-T20-0.0	3.1	12.3	8.3	3.1	12.3	8.3	B					
2.0-T40-0.0	4.1	16.3	8.2	4.1	16.3	8.2	AC						
2.0-T60-0.0	4.0	15.9	6.4	4.0	15.9	6.4	A						
2.0-R1-4.8	2.7	10.7	10.7	9.1	36.2	36.2	EA	7.48	1.01	1.22	1.00		
2.0-T20-4.8	3.0	11.9	8.0	9.4	37.4	25.1	EA						
2.0-T40-4.8	3.4	13.5	6.8	9.7	38.6	19.4	EA						
2.0-T60-4.8	2.0	8.0	12.8	9.5	37.8	15.3	EA						
2.8-R1-0.0	2.4	9.5	9.5	2.9	11.5	11.5	C	2.62	3.36	0.92	0.86	1.00	
2.8-R1-4.8	2.6	10.3	10.3	* 7.1	28.2	28.2	EA						
II シ リ ズ	1.2-R2-0.0	4.3	17.3	17.3	4.3	17.3	17.3	B	4.08	7.00	0.86	1.07	1.74
	1.2-4T20-0.0	3.5	14.0	9.4	7.5	30.1	20.2	BA					
	1.2-4T40-0.0	5.0	20.1	10.1	7.3	29.3	14.8	BA					
	1.2-8T20-0.0	4.3	17.3	8.7	6.5	26.1	13.1	BA					
	1.2-R2-3.2	3.8	15.3	15.3	10.2	40.9	40.9	BA	9.67	0.93	1.05	1.00	
	1.2-4T20-3.2	4.3	17.3	11.6	10.7	43.0	28.8	BA					
	1.2-4T40-3.2	4.8	19.3	9.7	11.5	46.2	23.3	AD					
	1.2-6T20-3.2	5.1	20.5	11.8	12.6	50.6	29.1	AD					
	1.2-8T20-3.2	4.5	18.1	9.1	11.4	45.8	23.1	DA	3.15	4.34	1.02	1.13	1.00
	2.0-R2-0.0	3.2	12.8	12.8	4.9	19.7	19.7	AD					
	2.0-R2-3.2	3.0	12.0	12.0	8.3	33.3	33.3	AE					
	2.0-4T20-3.2	3.4	13.6	9.1	8.8	35.3	23.7	EA					
2.8-R2-0.0	2.8	11.2	11.2	3.2	12.8	12.8	C	2.67	3.34	1.05	0.96	1.00	
2.8-4T20-0.0	3.5	14.0	9.4	3.5	14.0	9.4	C						
2.8-4T40-0.0	3.2	12.8	6.5	3.4	13.6	6.2	B						
2.8-8T20-0.0	3.6	14.5	7.3	4.0	16.1	8.1	C						
2.8-R2-3.2	2.4	9.6	9.6	* 6.9	27.7	27.7	ME	6.03	1.12	1.29	1.13		
2.8-4T20-3.2	3.0	12.0	8.1	* 7.8	31.3	21.0	ME						
2.8-4T40-3.2	3.2	12.8	6.5	* 7.5	30.1	15.2	MA						
2.8-6T20-3.2	3.4	13.6	7.9	* 7.5	30.1	17.3	ME						
2.8-8T20-3.2	2.6	10.4	5.3	* 7.6	30.5	15.4	MA		0.97	1.26	1.10		

\* 主筋が降伏した試験体

破壊タイプ:表-5の様に、顕著なひびわれをタイプ分けし、表-4中に示す。

右側の英字が破壊に至ったひびわれで、Mは曲げひびわれを意味する。

sQcc:せん断ひびわれ発生荷重(実験値) sQcc= $\tau \cdot b_j$ :せん断ひびわれ発生荷重(大野・荒川式による計算値)

s $\tau$ cc1=sQcc/ $b_j$  s $\tau$ cc2=sQcc/ $b_e j$   $b_e = (bD + 2bat)/D$

Que:終局荷重(実験値) Que= $\tau \cdot b_j$ :終局荷重(大野・荒川式による計算値)

$\tau$ ue1=Que/ $b_j$   $\tau$ ue2=Que/ $b_e j$

TQue:T形はり終局荷重(実験値) RQue:長方形はり終局荷重(実験値)

表-5 破壊ひびわれタイプ一覧

	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ	Dタイプ	Eタイプ
0.6					
1.2					
2.0					
2.8					

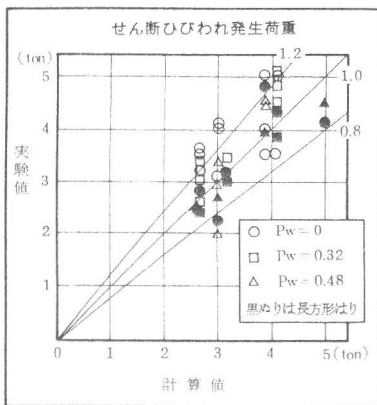


図-6 実験値-計算値関係

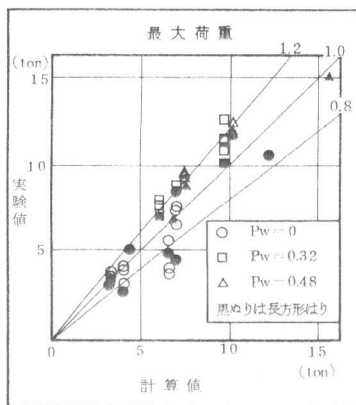


図-7 実験値-計算値関係

で、強度比 1.05~1.24 倍、主筋が曲げ降伏した後、せん断破壊した  $a/D = 2.8$  試験体では、強度比 1.09~1.13 倍となった。また、T形はりにおけるスラブ幅及び厚さの変化と強度比の間には、定則的な関係は見られなかった。一方、 $P_w$  が大きくなるに従って、T形はりの長方形はりに対する耐力の上昇率は小さくなり、強度比は、1.0 に収束してゆき、スラブの効果はなくなる傾向にあった。この様に強度比にばらつきがなくなるのは、 $P_w$  が大きくなると、最大耐力において、コンクリートが負担する耐力の割合に対して、せん断補強筋の負担量が増大するためだと考えられる。

実験値と大野・荒川式による計算値を比べると、 $P_w = 0$  試験体は、実験値の方が少し低く、 $P_w = 0.32, 0.48$  試験体は、実験値の方が少し高い傾向にあったが、全体的に見て、実験値は、T形はりのスラブを無視し、長方形断面として評価した計算値と適合する結果となった。

#### 4. まとめ

本実験の結果では、 $P_w = 0$  試験体は、破壊性状・最大耐力にスラブの影響の見られた試験体もあったが、ほとんどの試験体は、スラブの影響は見られず、特に、せん断補強筋量が多くなるに従ってT形はりの長方形はりに対する耐力上昇は小さくなる傾向にあった。

【謝辞】 本研究をまとめるに当り、協力いただいた、東理大卒研 清水 通君に感謝する。

- 【参考文献】
1. 大久保他「鉄筋コンクリートT形はりのせん断挙動に関する実験研究」(その1)日本建築学会九州支部研究報告 S55.2 P. 141 (その2-5)日本建築学会大会学術講演梗概集 S57. 10 P. 1307
  2. 狩野他「鉄筋コンクリートT形はりのせん断耐力に及ぼすフランジの効果」第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1983 P. 349
  3. R. N. Swamy 他「Influence of Flange width on the shear behaviour of reinforced concrete T beams」I. C. E. 1973
  4. Placas & Regam「Shear Failure of Reinforced Concrete Beams」A. C. I. Jour. 1971. 10
  5. 松崎他「鉄筋コンクリート造T形はりのせん断耐力に関する実験研究」日本建築学会大会学術講演梗概集 S58.9 P. 1773
  6. 荒川他「鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗に関する研究」北大工学部研究報告 第25号 1961

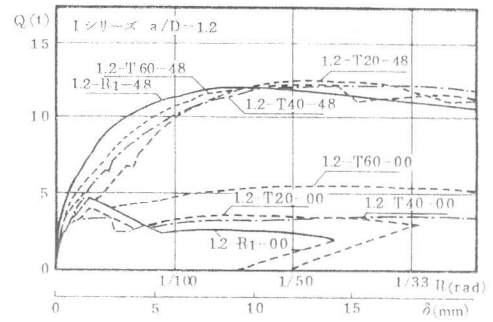


図-5 せん断力-変位曲線

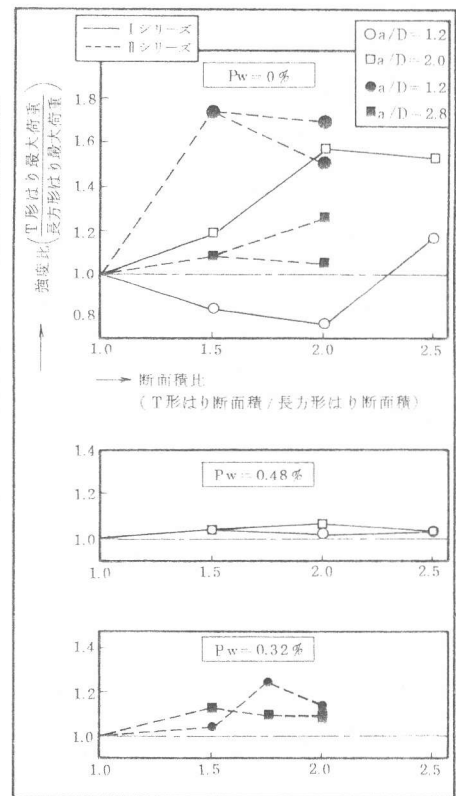


図-8 強度比-断面積比関係