

[112] 逆対称モーメントをうける鉄筋コンクリートT形ばりのせん断強度に関する研究

正会員 大久保全陸 (九州芸術工科大学)

正会員 ○是永 健好 (同上)

正会員 東 洋一 (東京都立大学)

1. まえがき

鉄筋コンクリートT形ばりのせん断挙動に及ぼすスラブ効果 (*flange-effect*) に関しては、古くから問題となっている点であるが、その評価は研究者によって異なり、必ずしも共通認識が得られているとは言えない。従来のT形ばりのせん断実験の中には、いわゆるはりの圧縮ゾーンにおける曲げ・せん断圧縮破壊を防止することを目的として実状より厚く、幅の小さいフランジを付けた実験が多く、実状に近い形の幅広のフランジを付けた実験で直接フランジ効果を研究目的とした実験は少ないように思われる。^{1)~3)}

また、実験方法の面から見ると、単純支持形式で集中荷重(3等分点又は1点)を単調載荷した形式のものがほとんどであり、逆対称モーメント分布の場合や繰返し加力形式のものは少ない。

本研究では、特に逆対称モーメントを正負繰返し加力した場合のせん断抵抗性状を実験によって調べ、T形ばりのせん断終局強度と長方形ばりに対する従来の終局強度式との関係について検討する。

2. 試験体及び実験方法

試験体は実物の約1/3スケールで、 F_c ($\div 70 \sim 210 \text{ kg/cm}^2$) と M/QD ($= 1.5, 2.0, 3.0$) を種々変えたT形ばり9体と、比較のための長方形ばり3体 ($F_c \div 210 \text{ kg/cm}^2$) の計12体である。図1に試験体の形状及び配筋、表1に各試験体の諸定数及び使用材料の性質、図2に実験装置を示す。材の変形測定は左右の柱形部からはね出した2本のゲージホルダー間の上下方向の変位をスパン中央で変位計を用いて測定した。

3. 実験結果

図3に各試験体の荷重変形曲線、図4に長方形ばりとT形ばり ($F_c \div 210 \text{ kg/cm}^2$) のはり側面のひび割れ状況、表2に実験結果を示す。

図4に見られるように、長方形ばりでは3体とも材端のせん断ひび割れの拡大とそれに連なる付着割裂ひび割れの拡大によってせん断破壊した(但し、B-3.0-210は曲げ降伏後大変形域での繰返し中にせん断破壊)。それに対して、T形ばりは長方形ばりに比べてせん断ひび割れがスパン全体に分散して生じる傾向が見られ、 $F_c \div 110 \sim 210 \text{ kg/cm}^2$ のT形ばりにおいては、最終的にはり腹部もしくは材端の圧壊によってせん断破壊した(但し、TB-3.0-210は曲げ降伏後)、 $F_c \div 70 \sim 80 \text{ kg/cm}^2$ のT形ばりにおいては、スラブとはりの付け根部分腹部でスベリ破壊を伴ってせん断破壊した。

また、スラブ面においては、材軸に直交方向の曲げひび割れは発生したが、スラブとはり付け根に沿った面内

表1 試験体

Specimen	b × D (cm ²)	t (cm)	B/b	M/QD	P _t (%)	P _w (%)	s _p P _t (%)	F _c (kg/cm ²)	F _{sp} (kg/cm ²)
B-1.5-210	8 × 20	—	—	1.5	1.81	0.31	—	201	15.9
B-2.0-210	"	—	—	2.0	"	"	—	228	17.8
B-3.0-210	"	—	—	3.0	"	"	—	223	21.8
TB-1.5-210	"	4	8.5	1.5	"	"	0.31	208	14.1
TB-2.0-210	"	"	11	2.0	"	"	"	202	18.1
TB-3.0-210	"	"	16	3.0	"	"	"	200	18.6
TB-1.5-70	"	"	8.5	1.5	"	"	"	76	8.5
TB-2.0-70	"	"	11	2.0	"	"	"	72	9.3
TB-3.0-70	"	"	16	3.0	"	"	"	74	9.6
TB-2.0-150	"	"	8.5	1.5	"	"	"	157	18.2
TB-2.0-110	"	"	11	2.0	"	"	"	113	12.6
TB-2.0-80	"	"	16	3.0	"	"	"	81	9.2

注) B:長方形ばり, TB:T形ばり, t:スラブ厚, B/b:スラブ全巾とはり巾の比, P_t:引張鉄筋比, P_w:肋筋比, s_pP_t:スラブ筋比, F_c, F_{sp}:コンクリートの圧縮強度, 割裂強度, cEb = 0.2~0.3%, はり主筋SD30使用 (F_c = 70, 210 kg/cm²の試験体 s_{oy} = 3333 kg/cm², F_c = 80~150 kg/cm²の試験体 s_{oy} = 3714 kg/cm², 肋筋及びスラブは4φなまし番線 (s_{oy} = 3355 kg/cm²))

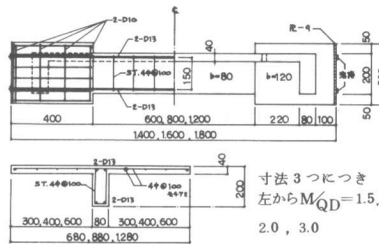


図1 試験体の形状及び配筋

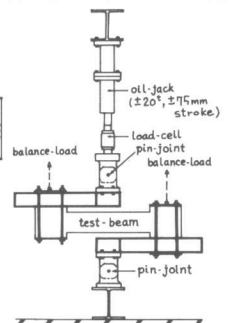


図2 実験装置

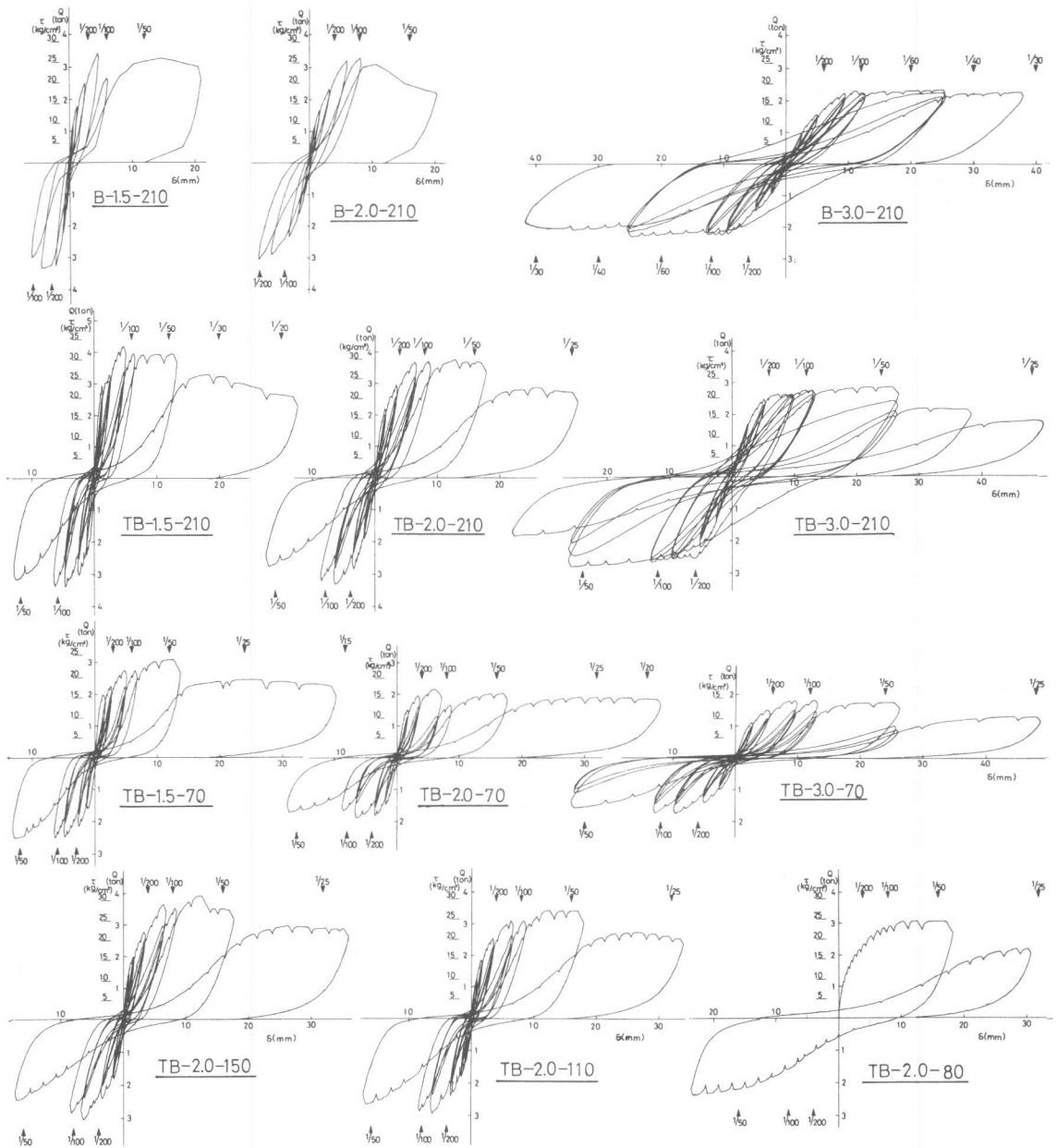


図3 荷重変形曲線

せん断ひび割れは、各試験体ともあまり発生しなかった。

4. 考察

4.1 初期剛性 $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ の試験体について、T形ばりの長方形ばりに対する初期剛性増加率を実験結果をもとに算出すると、表2の()内に示すように1.3~1.7となり、この値は概ね曲げに対するスラブの協力幅(日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準、以下学会規準という)を考慮したT形ばりの断面2次モーメント増大率 $\phi = 1.5 \sim 1.7$ と近い値を示した。

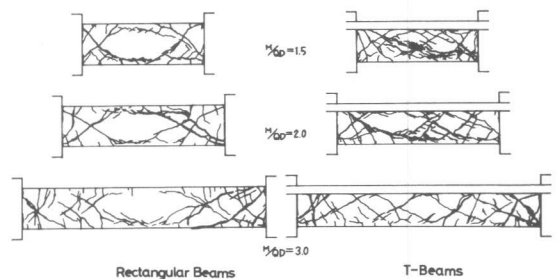


図4 はり側面のひび割れ状況 ($F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$)

4.2 スラブの協力幅 図5に弾性範囲(きれつ発

表2 実験結果一覧

生前)におけるスラブのコンクリートの歪分布に基づいて算出したスラブの協力幅の値を示す。

図5によると、スラブ表面での歪分布に基づいて算出した協力幅は、学会規準によるスラブの協力幅(0.1 l_0)よりかなり大きい値を示しているが、スラブ上下面での歪測定値をもとにスラブ中心位置の歪を推定し、この歪分布に基づいて算出した協力幅は、学会規準による協力幅の値と比較的近い値を示している。

4.3 セン断ひび割れ強度 表3にせん断ひび割れ強度に関する実験値と計算値(荒川min式)を比較して示す。

T形ばりの長方形ばりに対するせん断ひび割れ強度の増加の割合は、実験ではあまり明確に表われておらず、また、弾性理論に基づいてその値を算出すると1.03 ~ 1.04 ($F_c \div 210\text{kg/cm}^2$)となり、スラブ効果はそれほど

大きくないとも考えられ、今後更に多くの実験資料から判断していく必要があろう。

4.4 セン断終局強度 表3にせん断終局強度に関する実験値(実 Q_u)を、長方形ばりに対する荒川式、Placas & Reganの実験式及び学会規準によるスラブの協力幅を考慮したT形断面の全断面積を等価な長方形断面に置換した仮想長方形ばりに対して荒川式を適用した計算値(修正荒川式; 計修 Q_u)等と比較して示す。

表3によると、T形ばりでは、 $F_c \div 70\text{kg/cm}^2$ の試験体を除き、実験値は概してスラブを無視した荒川mean式による値より大きい値となっており、著しい強度増加ではないが、せん断終局強度に関しては、スラブ効果が表われていると考えられる。また、Placas & Reganの実験式による値は、実験値より大きめの値を与える傾向があるが、 $F_c \div 110 \sim 210\text{kg/cm}^2$ の試験体のうち曲げ降伏以前にせん断破壊した試験体においては、実験値に比較的近い値を示す。

せん断終局強度に及ぼすスラブの効果に関しては、まだ不明な点が多いが、前述の仮想長方形断面ばりに荒川式を適用した値は、 $F_c \div 110 \sim 210\text{kg/cm}^2$ のT形ばりに対しては、他の計算値よりも実験値と近くなる傾向が見られる。しか

試験体		$K_e^{(1)}$ (t/cm)	$Q_{bc}^{(2)}$ (t)	$Q_{sc}^{(3)}$ (t)	$Q_y^{(4)}$ (t)	$Q_m^{(5)}$ (t)	$Q_{wy}^{(6)}$ (t)	$\epsilon - \epsilon_s^{(7)}$
B-15-210	+	27.3	0.60	1.80	2.23	3.42	2.65	S
	-		0.74	1.81		3.30	3.24	
B-2-210	+	16.1	1.00	1.40	2.23	3.27	3.00	S
	-		0.80	1.39		3.05		
B-3-210	+	5.5	0.66	0.94	2.23	2.34	2.28	F→S
	-		0.55	0.87		2.23	2.31	
TB-15-210	+	47.5	1.40	1.60	2.40	4.17	3.52	S
	-		1.7	0.79		1.60	3.38	
TB-2-210	+	20.3	1.27	1.54	2.40	3.76		S
	-		1.3	1.20		1.80	3.31	
TB-3-210	+	9.6	1.00	1.60	2.40	2.83	2.86	F→S
	-		1.7	0.60		1.00	2.77	
TB-15-70	+	44.4	0.60	1.43	2.40	3.08	2.83	S
	-		0.80	1.39		2.53	2.53	
TB-2-70	+	19.1	0.60	1.12	2.40	2.15	1.76	S
	-		0.40	1.07		1.88		
TB-3-70	+	6.3	0.61	1.11	2.40	1.83		S
	-		0.69	1.01		1.73		
TB-2-150	+	21.0	1.21	2.00	2.40	3.93	2.85	S
	-		1.04	1.80		3.02	1.00	
TB-2-110	+	19.8	0.81	1.61	2.40	3.42	3.25	S
	-		1.35	1.40		2.94		
TB-2-80	+	18.0	0.81	1.60	2.40	3.06		S
	-			0.60			2.36	

1)初期剛性, 2)曲げきれつ荷重, 3)せん断きれつ荷重, 4)曲げ降伏荷重, 5)最大荷重, 6)筋筋降伏荷重, 7)Sはせん断, Fは曲げ。

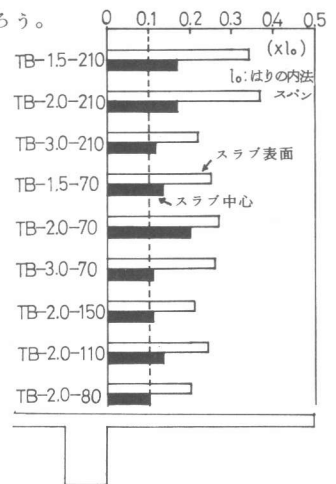


図5 スラブの協力幅

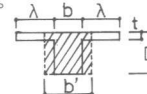
注) 協力幅: はり材端より5cmの位置での歪分布に基づいて算出(スラブ圧縮時)

表3 実験値と計算値の比較

Specimen	Shear Cracking Load			Ultimate Shear Load											
	* Q_c (t)	Q_{cmin} (t)	* Q_c Q_{cmin}	* Q_u (t)	計 Q_u (t)		* Q_u / 計 Q_u		P&R (t)	* Q_u 計 Q_u	* Q_u / 計 Q_u		* Q_u / 計 Q_u	Q_{BMX} (t)	
B-15-210	1.81	1.52	1.19	3.36	3.20	3.85	1.05	0.87	3.93	0.85	-	-	-	-	4.70
B-2-210	1.40	1.35	1.04	3.16	2.82	3.34	1.12	0.95	3.65	0.87	-	-	-	-	3.87
B-3-210*	0.91	1.15	0.79	2.33	2.36	2.67	0.98	0.90	3.15	0.74	-	-	-	-	2.62
TB-15-210	1.60	1.54	1.04	3.78	3.23	3.90	1.17	0.97	4.57	0.83	3.87	4.68	0.98	0.81	4.79
TB-2-210	1.67	1.30	1.28	3.54	2.71	3.20	1.31	1.11	4.54	0.78	3.36	4.01	1.05	0.88	3.61
TB-3-210*	1.30	1.11	1.16	2.82	2.29	2.51	1.23	1.12	4.53	0.62	3.16	3.41	0.89	0.83	2.46
TB-15-70	1.41	1.25	1.13	2.81	2.51	2.95	1.12	0.95	3.91	0.72	3.09	3.65	0.91	0.77	2.84
TB-2-70	1.10	1.07	1.02	2.02	2.14	2.47	0.94	0.82	3.88	0.52	2.66	3.09	0.76	0.65	2.10
TB-3-70	1.06	0.92	1.16	1.78	1.80	2.03	0.99	0.87	3.89	0.46	2.31	2.61	0.77	0.68	1.47
TB-2-150	1.90	1.23	1.55	3.48	2.51	2.95	1.39	1.18	4.36	0.80	3.14	3.70	1.11	0.94	3.17
TB-2-110	1.51	1.13	1.34	3.18	2.32	2.71	1.38	1.18	4.14	0.77	2.90	3.40	1.10	0.94	2.67
TB-2-80**	1.10	1.08	1.02	2.71	2.18	2.52	1.24	1.07	3.94	0.69	2.73	3.16	0.99	0.86	2.24

注) *: 曲げ降伏後のせん断破壊, **: +1サイクルで最大耐力まで載荷。

実 Q_c , 実 Q_u : 実験値(±平均)
 Q_{cmin} , 計 Q_u : 荒川式
 P&R: Placas & Reganの式による値
 計・修 Q_u : 下図に示すように、曲げに対するスラブの協力幅をもつT形断面を等価な仮想長方形ばりに置換して、荒川式を適用。



Q_{BMX} : 付着割裂強度(広沢式)

しながら、Placas & Regan は、T形ばりの実験で、せん断終局強度に及ぼす圧縮板部の片側有効幅は板厚と同程度で曲げ終局強度に及ぼす有効巾に比べて小さいことを示しており、長方形置換断面を仮想する時のスラブの有効幅については、更に検討が必要である。

また、図6はせん断終局強度 τ_u とコンクリート強度 F_c の関係を示したものであり、 τ_u と F_c との関係は本実験では直線関係からはずれる傾向にあるが、 $F_c = 70 \text{ kg/cm}^2$ の試験体を除き、他の4体のT形ばりでは実験値は修正荒川min式と修正荒川mean式との間にある。

なお、本実験では付着割裂的なひび割れも発生しており、このひび割れがせん断終局強度に及ぼす影響については今後の課題であるが、表3には参考のために、広沢が柱の付着割裂強度に対して提案した式⁵⁾による計算値も示した。

図7はPlacas & Reganの実験結果をスラブ効果によるせん断強度増加率と断面積増加率との関係で見るとプロットしたものであり、今回の実験による結果は図中の▼印及び表4の数値に見られるように、スラブ効果による終局強度増加率はPlacas & Reganの実験結果の平均値(約1.2)に近い値となっている。

5. 結び

M/QD 及び F_c を種々変えたT形ばり9体と、比較のための長方形ばり3体について実験を行なった結果、T形ばりのせん断終局強度は、今回の実験では長方形ばりの約1.2倍程度あり、既往の実験の平均的な値と同程度であったが、付着割裂ひび割れの発生も伴っており、今回の実験で考慮し得なかった他の影響因子に関する検討も含め、更に検討が必要である。

<謝辞>

実験に際し、九州芸術工科大学生樋口・福田両君の協力を得ました。ここに深く感謝します。

<参考文献>

- 1) Placas & Regan : " Shear Failure of Reinforced Concrete Beams " ACI Journal , Oct. 1971
- 2) Leonhart & Walther : Translation No.111 Cement and Concrete Association (London) , 1964
- 3) ACI Bibliography No.4 : Shear, Diagonal Tension, and Torsion in Structural Concrete
- 4) 大久保全陸 : 「地震応力を対象とした鉄筋コンクリートT形ばりの剛性及び強度に関する研究」 日本建築学会論文報告集、第201号、p25~32
- 5) 広沢雅也 : 「鉄筋コンクリート部材の強度と靱性」 建築研究報告、第76号、建設省建築研究所
- 6) 大久保全陸、是永健好 : 「鉄筋コンクリートT形ばりのせん断挙動に関する実験的研究(その1 せん断スパン比シリーズ)」 日本建築学会九州支部、昭和55.2

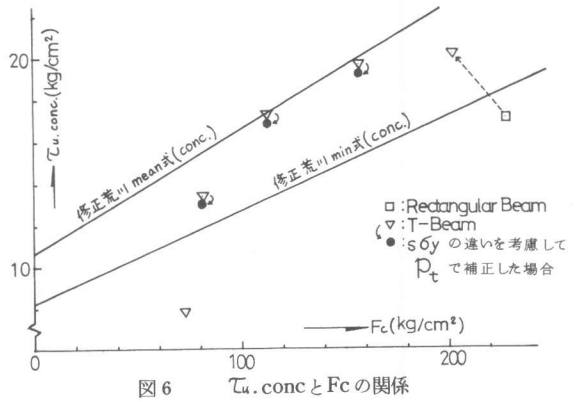


図6 τ_u . conc と F_c の関係

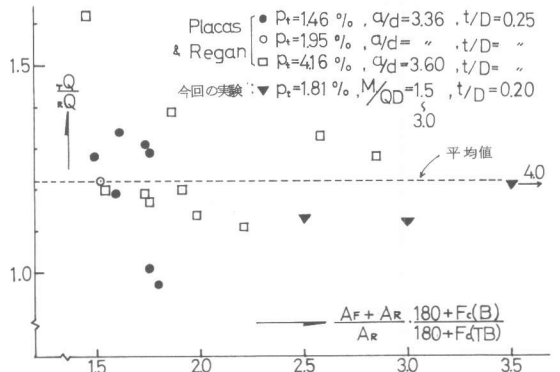


図7 せん断終局強度増加率と断面積増加率の関係

表4 せん断終局強度に関するT形ばりと長方形ばりの比較

Specimen	$\tau_u / (F_c \cdot A)$	補正值**
(TB/B)-1.5-210	1.13	1.11
(TB/B)-2.0-210	1.12	1.20
(TB/B)-3.0-210*	1.21	1.28

注) *: 曲げ降伏後のせん断破壊
 **: F_c の違いによる影響を考慮して、 $(\frac{180+F_c(B)}{180+F_c(TB)})$ を
 実験値に乗じて補正。