

首都高速道路公団 正員 木暮 深、正員 増井 隆
川崎製鉄 正員 田中 祐人

1. まえがき

都市内高速道路の橋脚として、柱脚部に鋼管を用いた鋼製円形橋脚が採用されることが多く、この形式に関して種々の実験や解析が行われ¹⁾、²⁾、現在の設計基準³⁾に到っている。この基準では、①円形柱脚部の隅角部は材質に拘らず $R/t=40$ の最小板厚が規定されており、②矩形横梁のウェブを柱脚部に延長した割込ウェブの必要性が明確にはなっていない。また、③上述の実験・解析では、せん断力が卓越している場合の終局時の力学的挙動が明かとは言い難い。そこで、本論文は柱脚部の板厚比(R/t)、横梁幅と管径の比(B/D)、横梁高と管径の比(H/D)および割込ウェブの有無をパラメータにした試験体(表1参照)を製作し、これらが耐荷力と変形能に及ぼす影響を明らかにするため曲げ・せん断破壊実験を実施した。

2. 実験方法

本実験では実物の橋脚の詳細構造を再現し、また初期不整の影響を加味するため、柱脚部に実物大の鋼管を用い、表2の寸法で図1のL形試験体（以下TPに略）を16体製作した。H/D=1のTP-1～10, A, FとGは座屈破壊型となるように設計し、せん断型のTP-B, C, DとEではH/D=0.5とすることで隅角部パネルゾーンに作用するせん断力を2倍に増やし、せん断破壊が座屈よりも卓越するように考慮した。また、横梁のフランジやウェブには座屈やせん断破壊を防ぐため補剛材(板厚 $t=6\text{mm}$, 突出幅 $b=60\text{mm}$)を溶接した。さらに、せん断型試験体には局部座屈を防ぐため、圧縮・引張側の鋼管内側の軸方向に横梁と同様の補剛材を各々3本ずつ溶接した。試験体に用いた材料の引張試験結果を表3に示す。

試験体の荷重状況を図1に示す。

試験体の両端には剛なピン支承を付け、試験体を内側に変形させる向きに荷重することにより隅角部に曲げとせん断を同時に作用させた。

3. 実験結果

(1) 破壊モード

表2に全試験体の降伏荷重 P_y 、終局耐荷力 P_u および破壊モードを示す。

P_y は荷重と基部間変位 δ の関係を両対数グラフで表し、直線性を失う時点の荷重と定義した。TP-1, 3ではダイアフラムの座屈により横梁フランジが柱脚部に貫入し、TP-1のダイアフラム板厚を倍の $t_d=30\text{mm}$ にしたTP-Aでは横梁フランジが座屈して終局に達した。その他の座屈型試験体TP-2, 4～10, F, Gでは柱脚部に局部座屈が発生し、せん断型試験体では隅角部パネルゾーンの曲面にせん断による座屈が発生した。

表1 試験体のパラメータ

R/t	割込み	B/D			
		0.6	0.7	0.8	
		B=D	B=D/2	B=D	B=D/2
40	無	1	B	3	D
	有	2		4	
54	無	5	C	7	
	有	6	E	8	
64	無		9		
	有		10		
70	無	F			

試験体Aの γ -イワナ板厚 $t_d=30\text{mm}$ 、材質はSM490Y相当
印は、現行設計基準・標準図案による試験体であることを示す。

表2 試験体寸法と実験結果

表2 試験体寸法と実験結果															
TP	円形柱脚部 (単位: mm)				矩形横梁部 (単位: mm)				実験結果 (単位: ton)						
No	D	t	t _i	t _d	B	H	t _f	t _w	P _y	P _u	破壊モード				
1	1016	12.7	無	15	610	1016	15	9	160	246	γ-1777A座屈				
2			9							240	298	鋼管局部座屈			
3			無						813	200	295	γ-1777A座屈			
4			9							240	317	鋼管局部座屈			
5		9.5	無		810				137	192					
6			9					180	213						
7			無				813	158	202						
8			9						170	196					
9			7.9	無					711			140	180		
10				9						160	193				
A		12.7	無	30	610	508	30	15	160	293	横梁F1a座屈				
B									120	222	鋼管切断座屈				
C		9.5							100	153					
D		12.7							130	244					
E		9.5	9	50					810		50	30	160	270	
F		7.2	無	15						1016	15	9	100	155	鋼管局部座屈

柱脚部 D: 鋼管径, t: 鋼管板厚, t_i: 割込ウェブ板厚, t_d: γ -イワナ板厚
横梁部 B: 横梁幅, H: 横梁高, t_f: フランジ板厚, t_w: ウェブ板厚

表3 材料試験結果

鋼材種類	板厚 (mm)	荷重方向	TP-1～10		TP-A～F	
			降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)
平	6	円-径方向	44.7	57.3	51.5	57.4
	9	円-径方向	43.6	56.1	42.7	53.9
	15	円-径方向	44.3	56.6	44.1	55.4
	30	円-径方向			42.7	55.5
	50	円-径方向			41.1	56.3
鋼	16.0	管軸方向			40.9	55.8
	12.7	管軸方向	44.2	57.0	38.4	56.6
	9.5	管軸方向	40.7	54.4	41.7	57.9
	7.9	管軸方向	42.5	56.5		
管	7.2	管軸方向			37.0	57.2

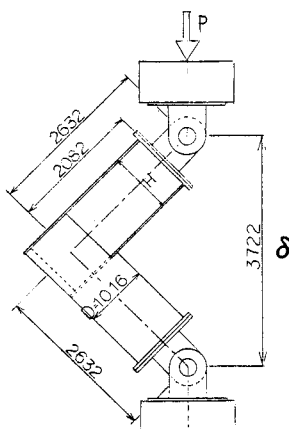


図1 試験体外観と荷重状況

(2) 耐力力と変形能

図2, 3に、割込ウェブ有・無の座屈型ならびにせん断型試験体の荷重変形曲線の例を示す。最大荷重に達した後、TP-1ではダイアフラムの座屈により横梁フランジが柱脚部に貫入したため荷重の急激な低下は顕著ではないが、その他の座屈型試験体では柱脚部に局部座屈が発生しR/Tが大きくなるにつれて荷重低下の割合が大きくなるように見受けられる。一方、せん断型の試験体では荷重が急激に低下することなく、荷重を保持したまま変形が進む状況がわかる。これは、隅角部パネルゾーンがせん断降伏した後、変形が進むに伴い圧縮主応力による面外方向のせん断座屈波形が生じ、最終的には斜張力場が形成されパネルゾーンの引張主応力とフランジのせん断力が釣合うためと考えられる。

(3) 降伏荷重に対する安全率 P_y/P_a

図4に実験から得た P_y と局部座屈を考慮した許容圧縮応力または許容せん断応力から求めた設計荷重 P_a の比を示す。割込ウェブ有りの座屈型試験体では R/t や B/D と P_y/P_a の間には明瞭な傾向が見受けられない。せん断型試験体では割込ウェブに対するせん断応力の負担割合が大きいため、降伏荷重が低くなり安全率が割込ウェブ無しに比べ小さくなる。一方、割込ウェブ無しの座屈型試験体では B/D が小さいほど柱脚部に作用する圧縮応力が集中し易くなり、そのため安全率が小さくなると考えられる。また、せん断型試験体では B/D が大きくなると設計で考慮する

隅角部パネルゾーンが小さいため設計荷重が小さくなり安全率が大きくなるものと考えられる。

4. まとめ

実物大の円形鋼製橋脚隅角部の試験体を用いた静的載荷および曲げ・せん断破壊実験を通じ、以下の結論を得た。①割込みウェブの無い座屈型試験体では、 B/D が小さいほど応力集中の影響により安全率が低くなる。②現行設計法による箱型断面の置き換えはほぼ妥当であるが、割込ウェブに応力集中しやすく安全率は低くなる。③せん断型試験体は、座屈型に比べ最大荷重以降も著しい耐力低下が起こらず、優れた変形性能を有する。

参考文献

- 1) 奥村 他：最近におけるラーメン構造の隅角部一円柱と矩形ばりの組合せ一、土木学会誌、昭和39年11月
- 2) 奥村 他：薄板構造ラーメン隅角部の応力計算について、土木学会論文報告集、Vol. 153、昭和43年5月
- 3) 首都高速道路公団：鋼構造物設計基準、平成4年4月

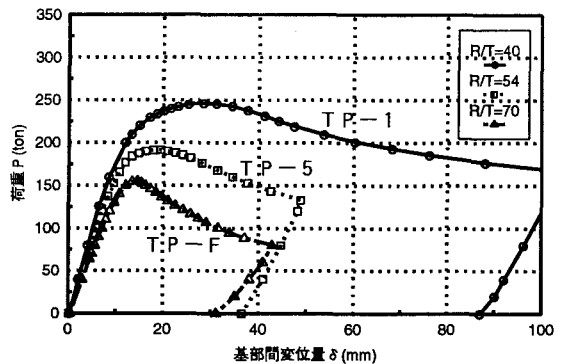


図2 荷重変形曲線（座屈型）

(B/D=0.6, H/D=1, 割込ウェブ無し)

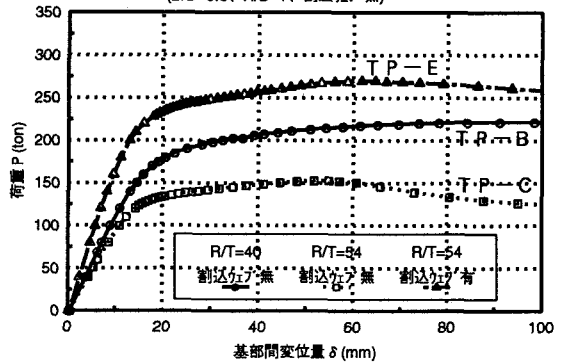
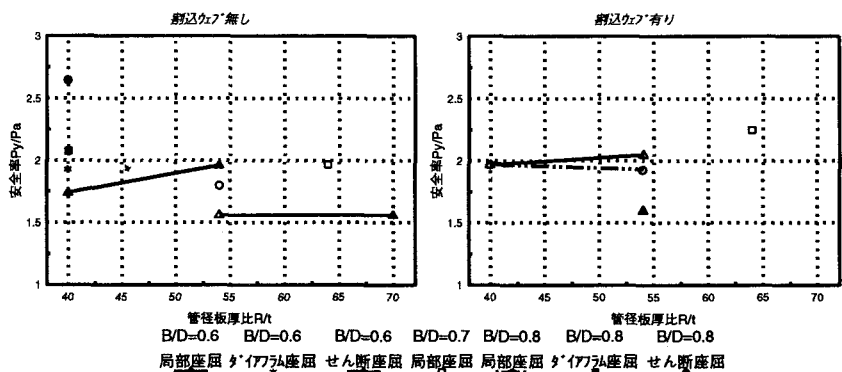


図3 荷重変形曲線（せん断型）

(B/D=0.6, H/D=0.5)

図4 降伏荷重 P_y と設計荷重 P_a の比