

(85) 鉄筋コンクリート橋脚の動的耐力に及ぼす断面形状の影響

建設省土木研究所 正員 吉田 武史
〃 〃 川島 一彦
〃 〃 長谷川金二
〃 〃 小山 達彦

1 まえがき

RC橋脚の動的耐力および変形特性に及ぼす断面形状の影響を検討するために、断面積および橋脚高さが同一の矩形および円形断面供試体(計6体)に対する動的載荷実験を行った結果について報告するものである。

2 実験供試体

実験に用いた供試体の特性は表1に示すとおりである。断面形状および配筋は図1に示す通りであり、断面形状を同じにするために、矩形断面は50^{cm}×50^{cm}、円形断面はφ564^{cm}とした。主鉄筋は、いずれの供試体もSD30 D13とし、各40本配置した(軸方向鉄筋比 $R_a=2.03\%$)。また、帯鉄筋はSR24 φ9とし、躯体下端より天端まで25^{cm}間隔に配置した(帯鉄筋比 $R_w=0.10\%$)。

表1 実験供試体の特性

躯体下端から載荷面中央までの高さ(以下躯体高さと呼ぶ)は、図2に示すように矩形、円形ともにそれぞれ2.5^m、1.75^m、1.0^mとした。ここで、フーチングの大きさは、フーチング内で破壊が生じないように十分大きくとった。図2で、フーチングの高さが供試体ごとに变化しているが、これは載荷装置の設置位置にあわせるため、フーチングの高さで調節した結果である。

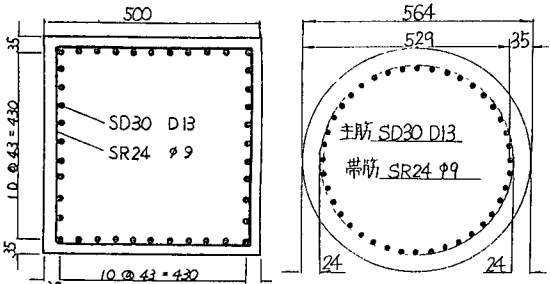
Model No.		S-1	S-2	S-3	C-1	C-2	C-3
Cross Section [cm]		50x50	50x50	50x50	φ56.4	φ56.4	φ56.4
Covering Depth of Concrete [cm]		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Effective Height [cm]		250	175	100	250	175	100
Shear-Span Ratio		5.4	3.8	2.2	4.7	3.3	1.9
Longitudinal Reinforcing Bar (Deformed Bar)	Material and Diameter [mm]	SD30,13	SD30,13	SD30,13	SD30,13	SD30,13	SD30,13
	Cut-off [cm]	-	-	-	-	-	-
	Ratio of Reinforcement [%]	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03	2.03
Hoop Tie	Material and Diameter [mm]	SR24,9	SR24,9	SR24,9	SR24,9	SR24,9	SR24,9
	Ratio of Reinforcement [%]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Concrete	Material	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement
	Max Grain Size of Aggregate [mm]	10	10	10	10	10	10
	Uni-Axial Strength [Kg/cm ²]	319	338	334	406	406	406
Lateral Force	Direction of Loading	1 Direction	1 Direction	1 Direction	1 Direction	1 Direction	1 Direction
	Velocity of Loading [cm/sec.]	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
	Number of Loading for Each Specific Lateral Displacement	10	10	10	10	10	10

3. 載荷方法

供試体のフーチング底面を反力床に固定し、反力壁に設置したアクチュエータ(最大荷重±125^{ton}、最大ストローク±125^{mm})により供試体頭部に動的荷重を加えた。

載荷履歴は図3に示す通りとした。すなわち、供試体躯体下端の外縁鉄筋の軸ひずみが降伏点に達するまでは荷重制御で正負交番載荷し、外縁鉄筋の軸ひずみが降伏後は、この時に供試体天端に生じる変位(以下降伏変位 δ_y と呼ぶ)を基本として、この整数倍の振幅で変位制御により荷重を加えた。同一の変位振幅における繰返し回数は10回とした。

なお、供試体S-3の2 δ_y における載荷時に供試体と反力床を固定しているアンカーボルトの締付不足のため、供試体と反力床の間に滑り(±11.5^{mm})が生じた。



(a) 矩形断面 (b) 円形断面
図1 実験供試体躯体断面の形状

このため、アンカーボルトを締め付け直した後に再度2回の載荷を行った（以降にはこの結果を示す）が、これ以降の変位には滑りの影響が多少入っている可能性がある。

4. 供試体の破壊性状

各載荷段階における破壊性状をまとめると表2の通りとなる。これより以下の事項が指摘される。

1) コンクリートのはく離の生じ方には、矩形断面、円形断面で基本的には大きな違いはないが、円形断面では引張側最外縁の端部からのはく離が進行するのに対して、矩形断面では載荷方向に直交する面全体で影響が生じる。

2) 矩形断面、円形断面いずれも、躯体高さが2.5m および1.75m の場合には、躯体基部で曲げ破壊し、また、躯体高さが1.0m の場合には、せん断破壊する。躯体基部で曲げ破壊する場合には、最初に南北面（載荷方向に直交する面のコンクリート）がはく離するが、せん断破壊する場合には、最初に東面（載荷方向に平行な面）のコンクリートがはく離する。

3) 躯体基部で曲げ破壊する場合には主筋の破断が生じるが、これは円形断面の方が早く発生し、破断本数も多い。

4) せん断破壊する場合には、円形断面、矩形断面ともに、主鉄筋、帯鉄筋の破断は最後まで生じなかった。

5. 荷重～変位の載荷履歴

各載荷段階ごとに第1回目の載荷から求めた荷重～変位履歴曲線の包絡線および履歴減衰定数をそれぞれ図4、図5に示す。また、表3は耐震性能一覧を示したものである。これより以下の事項が指摘される。

1) 基部で曲げ破壊する場合（ $H = 2.5\text{m}$, 1.75m ）には、最大荷重に達する3～4 δ_y までは、矩形断面、円形断面ともにほぼ同様の荷重～変位関係を示す。しかし、3～4 δ_y 以降になると、矩形断面に比較して円形断面の方

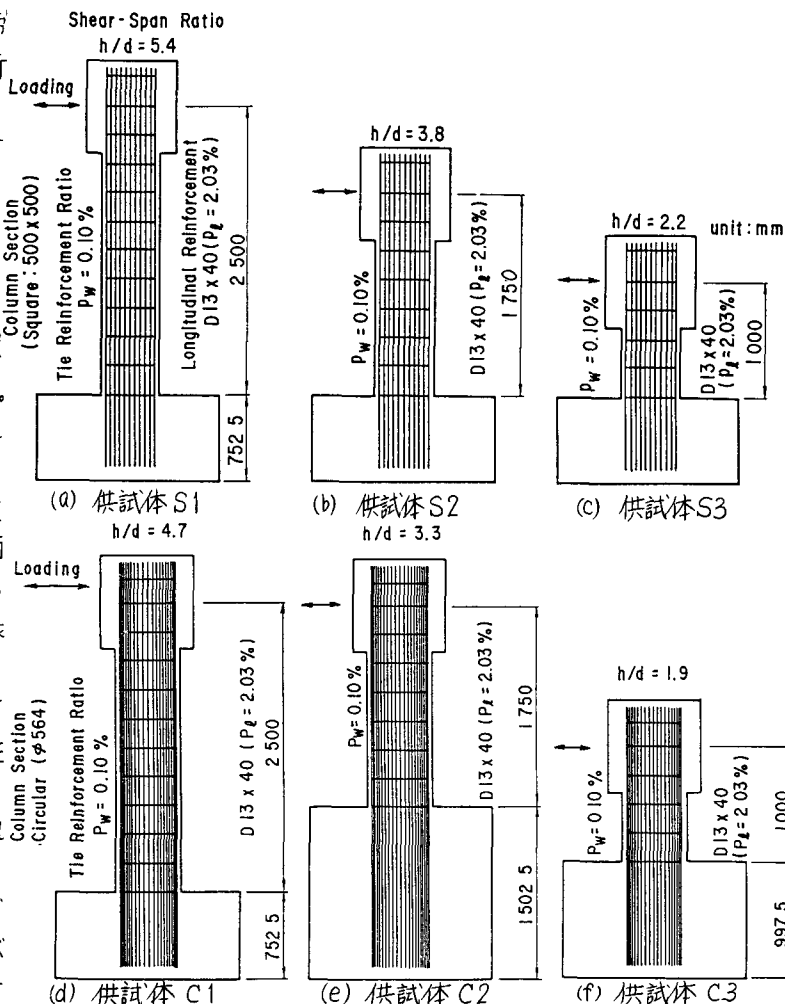


図2 実験に用いた供試体

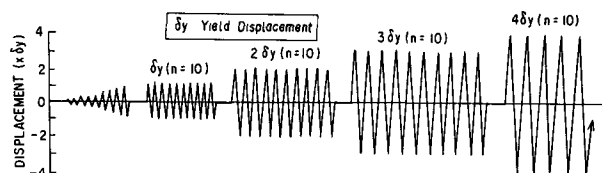
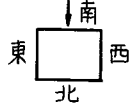


図3 荷重載荷履歴（変位制御）

表-2 橋脚模型の破壊性状

変位振幅	矩 形 断 面			円 形 断 面		
	S-1	S-2	S-3	C-1	C-2	C-3
1 δ_y	変化なし	変化なし	変化なし	南面に曲げクラック増加	変化なし	変化なし
2 δ_y	変化なし	東西面に斜めクラック発生	斜めクラック幅変化(最大5mm)	斜めクラック発生	斜めクラック発生	斜めクラック増加
3 δ_y	西面に斜めクラック増加	東西面に斜めクラック増加	東西面コンクリートはく離開始	北面コンクリートはく離	斜めクラック増加	変化なし
4 δ_y	東西面に斜めクラック増加 南北面のコンクリートはく離開始	南北面のコンクリートはく離	東西面コンクリートはく離	南面コンクリートはく離	南北面のコンクリートはく離	東西面のコンクリートはく離
5 δ_y	南北面のコンクリート完全にはく離	南北面のコンクリートはく離進行。東西面のコンクリートはく離	東西面のコンクリートはく離進行	ほぼ全周にわたリコンクリートはく離 主筋5本切断	コンクリートはく離進行	東西面のコンクリートはく離進行。南北面のコンクリートはく離
6 δ_y	主筋1本切断	変化なし	南面のコンクリートはく離	主筋9本切断	主筋3本切断	コンクリートはく離進行
7 δ_y	帯鉄筋はずれる 主筋3本切断	主筋6本切断	東西面のコンクリート大半はく離	主筋8本切断	主筋15本切断	コンクリートはく離進行
8 δ_y	主筋1本切断	主筋6本切断	—	主筋3本切断	主筋6本切断	—
備考	$\delta_y = 13 \text{ mm}$	$\delta_y = 7.5 \text{ mm}$	$\delta_y = 4.9 \text{ mm}$	$\delta_y = 13 \text{ mm}$	$\delta_y = 7.5 \text{ mm}$	$\delta_y = 4.9 \text{ mm}$
						

が同一変位に対する荷重が低下するようになる。これは表2に示したように、円形断面の方が主鉄筋の破断の進行が早いことに対応していると考えられる。履歴減衰定数についても、最大荷重までは断面形状の影響はほとんどみられない。最大荷重後は、矩形断面の方が履歴減衰定数が早く低下する傾向にある。

2) せん断破壊する場合($H = 1.0 \text{ m}$)には、+側と-側の載荷によつて断面形状の影響の仕方が異なっている。これには、3章で示したS3供試体の滑りの影響があるかもしれない。しかし、全体としては円形断面に比較して矩形断面の方が荷重の低下が著しい。これは、矩形断面の方が斜めクラックの進展が早いことに対応している。履歴減衰定数の変化に関してもこれと同様のことが言える。

3) 以上の結果を評価するに際しては表1に示したように、コンクリートの圧縮強度は円形断面($\sigma = 406 \text{ kg/cm}^2$)の方が矩形断面($\sigma = 319 \sim 338 \text{ kg/cm}^2$)よりも20%程度大きいことに留意しなければならない。

7. 結論

躯体高さ、断面積、軸方向鉄筋比、帯鉄筋比が同じであれば、断面形状(矩形、円形)に関して以下の事項が指摘される。

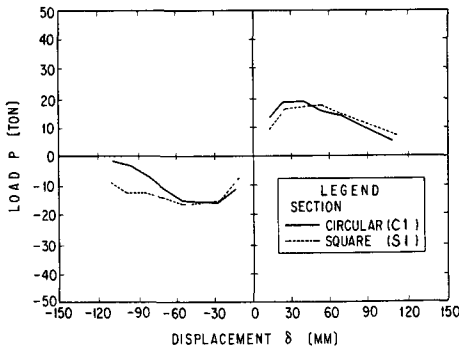
1) 基部が曲げ破壊する場合には最大耐力に達するまでは、断面形状の差はあまり認められないが、最大耐力以

降は、矩形断面の方が円形断面よりも耐力の低下がやや遅い。

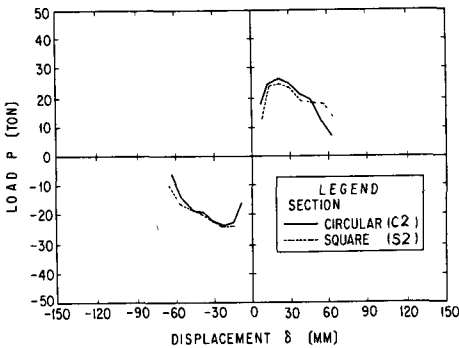
2) セン断破壊する場合は、最大耐力に達した後の耐力の低下の度合いは、矩形断面の方が円形断面よりも大きい。また、最大耐力も矩形断面の方が円形断面のりも小さい。しかしながら、後者については、コンクリートの圧縮強度が、矩形断面の方が円形断面よりも20%程度小さいことが影響していると考えられる。

表3 耐震性能の一覧表

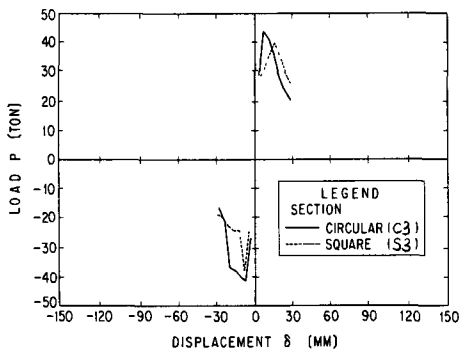
Model No.	S-1	S-2	S-3	C-1	C-2	C-3
Shape of Cross Section	Square			Circle		
Pier Height [cm]	250	175	100	250	175	100
Yield Strength P_y [t]	13.9	21.7	37.8	13.4	20.4	37.0
Maximum Strength P_u [t]	17.0	23.8	41.1	17.3	25.2	42.8
$\frac{P_u}{P_y}$	1.22	1.1	1.09	1.29	1.24	1.16
Yield Displacement δ_y [mm]	15.4	10.1	6.0	15.2	10.0	4.9
Ultimate Displacement δ_u [mm]	74.1	33.1	11.2	63.8	43.5	17.0
$\frac{\delta_u}{\delta_y}$	4.81	3.28	1.87	4.2	4.4	3.5



(a) 躯体高さ 2.5 m の場合

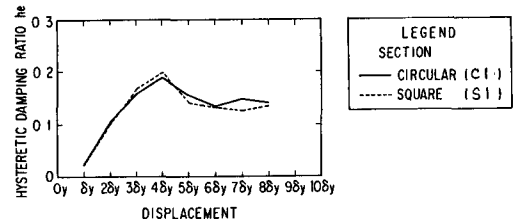


(b) 躯体高さ 1.75 m の場合

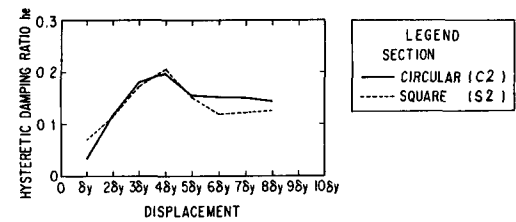


(c) 躯体高さ 1.0 m の場合

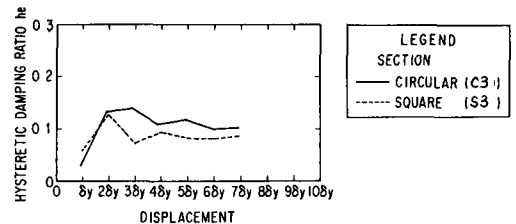
図4 荷重～変位包絡線



(a) 躯体高さ 2.5 m の場合



(b) 躯体高さ 1.75 m の場合



(c) 躯体高さ 1.0 m の場合

図5 履歴減衰定数ηh～変位振幅の関係