

(144) 偏心曲げを受けるRC橋脚の耐震性に及ぼす載荷方式の影響

建設省土木研究所 川島 一彦
運上 茂樹
向 秀毅

1. まえがき

平成2年2月の道路橋示方書V耐震設計編には、「鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査」として、大規模地震に対する耐震設計法が規定された。しかしながら、地震時保有水平耐力の照査の規定は、1本柱形式のRC橋脚を対象としたものであり、橋脚の中にはこの規定が適用できない各種の形式がある。この中でも、都市内高架橋によく採用される事例が多い逆L字型のRC橋脚では偏心曲げが常時作用することになり、このような橋脚に対する地震時保有水平耐力の照査法の適用性の検討が必要とされている。著者らの検討によれば、偏心曲げを受ける橋脚は、振動が大きくなり、降伏点を越えて非線形振動をするようになると偏心曲げが作用している方向にばかり残留変位が累積していくこと、変位制御による正負交番載荷実験では偏心曲げが作用する方向とは反対の方向にも強制的に載荷するため、実際の地震時の状態に近い振動台実験とは損傷形態が異なってくるものが明らかになっている。

本文は、偏心曲げを受けるRC橋脚の橋軸直角方向の動的耐力、変形性能に及ぼす載荷方式の影響を、RC橋脚模型を用いた動的載荷実験により検討した結果をまとめたものである。

2. 実験供試体

RC橋脚に作用する偏心曲げの大きさの程度を表すために曲げモーメント比 r_H を次式のように定義した。

$$r_H = \frac{M_E}{M_E + M_0} \quad (1)$$

ここで、 M_E ：地震力により橋脚基部に生じる曲げモーメント、 M_0 ：橋脚が逆L字形のため、桁及び橋脚の自重により橋脚基部に生じる偏心曲げモーメント、である。式(1)による曲げモーメント比 r_H は、一般に $r_H=0.4\sim 0.9$ 程度であり、0.55程度が多い。

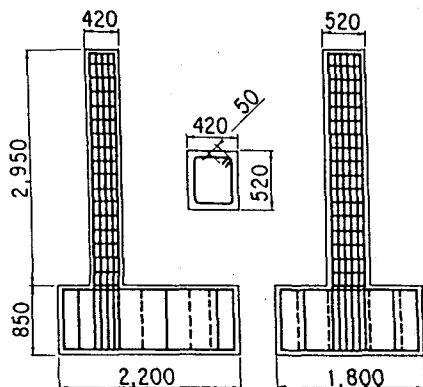
動的載荷実験に用いる供試体として表-1及び図-1に示す合計4体を製作した。供試体の諸元は、偏心曲げが中程度の場合と大きい場合の2ケースを対象として、式(1)による曲げモーメント比が $r_H=0.55$ 及び0.40を有する実橋脚を基本にして定めた。実橋脚と実験供試体の寸法比は、それぞれ、1/4.6及び1/4.1とし、同一の供試体を2体ずつ製作した。

偏心曲げが中程度($r_H=0.55$)の供試体(P-62及びP-70：番号は土木研究所における一連の供試体番号)の載荷高さは2.55m、断面は52cm×42cm(橋軸方向幅52cm)の矩形である。主鉄筋としては、偏心曲げにより圧縮側となる面にはD16×5本、引張側となる面にはD22×6本、側方筋としてはD16×3本を配筋した。帯鉄筋としては、D10を17.3cmピッチで配筋した。コンクリートとしては、ポルトランドセメントを用いた。試験当日のコンクリートの平均圧縮強度は、それぞれ、314kgf/cm²及び467kgf/cm²となり、供試体P-70の方が約1.5倍大きい。

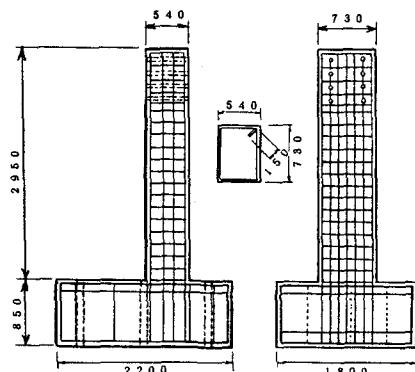
偏心曲げが大きい($r_H=0.40$)供試体(P-69及びP-73)の載荷高さは2.55m、断面は73cm×54cm(橋軸方向幅73cm)の矩形である。主鉄筋としては、偏心曲げにより圧縮側となる面にはD16×7本、引張側となる面にはD25×7本、側方筋としてはD16×2本を配筋した。帯鉄筋としては、D10を15.4cmピッチで配筋した。試験当日のコンクリートの平均圧縮強度は、それぞれ、374kgf/cm²、395kgf/cm²である。

3. 載荷方法

実験では、写真-1に示すように模型橋脚のフーチングを反力壁に固定し、偏心曲げモーメントが働くように軸力を作用させた状態で動的加振機により水平地震力を加えた。水平力は、変位制御により作用させるものとし、図-2に示すように偏心曲げによる常時の変位点 δ_E を原点として、ここから計算により求めた降伏変位 δ_y までの変位 δ_0 ($=\delta_y - \delta_E$)を基準にその整数倍で10回ずつ順次作用させた。載荷方式の影響を検討するために、模型橋脚に対する載荷方法としては、正負両側で順次増加させた場合(P-62及びP-69)と偏心曲げが作用している方向の変位のみを順次増加させた場合(P-70及びP-73)の2種類とした。各載荷変位における繰返し回数は10回とした。なお、載荷速度が遅い範囲ではその影響は大きくないため、ここでは載荷速度は1cm/sとした。



(1) 偏心曲げが中程度の場合



(2) 偏心曲げが大きい場合

図-1 実験に用いた模型橋脚

表-1 実験供試体

供試体番号	P-62, 70	P-69, 73
偏心曲げ	中	大
r_M	0.55	0.40
載荷高さ(m)	2.55	
断面寸法(cm)	52×42	73×54
主鉄筋の配筋		
帯鉄筋	D10@17.3	D10@15.4

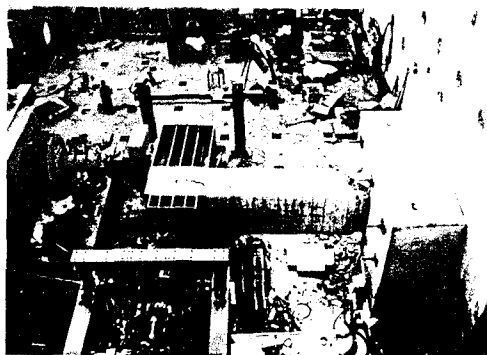
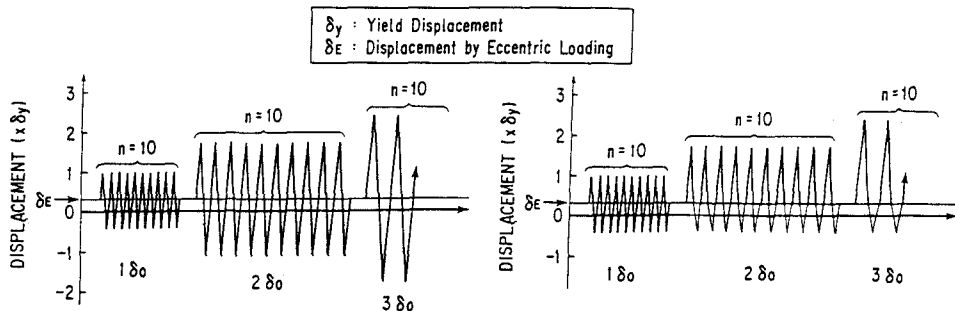


写真-1 動的載荷実験



(1) 載荷変位を正負両方向で増加させた場合

(2) 載荷変位を一方向のみ増加させた場合

図-2 載荷変位

4. 実験結果

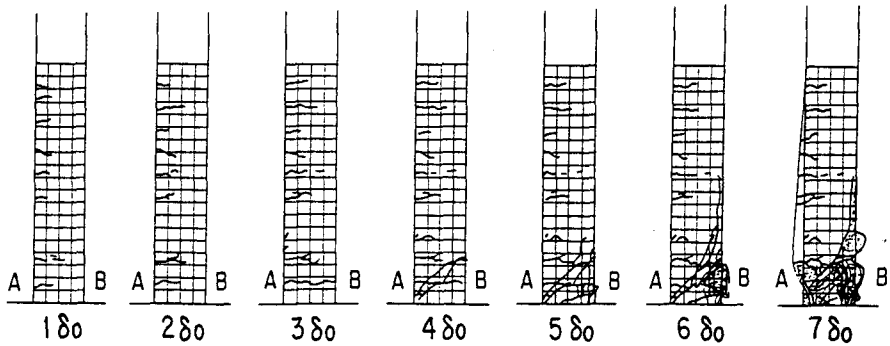
(1) 破壊形態

図-3は、偏心曲げが中程度 ($r_M=0.55$) の場合について、載荷変位を正負両方向で増加させた場合 (P-62) と偏心曲げが作用する方向のみを増加させた場合 (P-70) の損傷状況を比較して示したものである。ここでは、載荷方向に平行する面の損傷状況を示している。これによれば、載荷変位を正負両方向で増加させたP-62の場合には、1~2 δ_0 載荷の段階では、正側 (偏心曲げが作用する方向) の載荷により引張側となる面 (以下A面とよぶ) のコンクリート表面にひびわれが生じるだけで、負側載荷により引

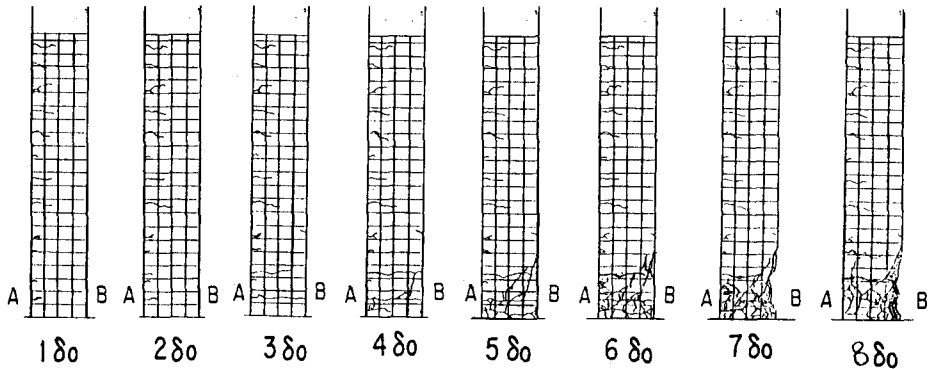
張側となる面（以下B面とよぶ）にはひびわれも生じない。3 δ_0 載荷になるとB面側にもひびわれが生じ始め、4 δ_0 載荷ではA面の基部からB面に向けてくさび状の斜めのひびわれが生じる。5 δ_0 載荷では、基部のB面においてかぶりコンクリートの顕著なひびわれ、剝離が生じる。6 δ_0 載荷になると基部においてB面側でコンクリートが圧壊するとともに、斜めのひびわれが大きく進展し、主鉄筋が2本破断した。7 δ_0 載荷では、くさび状に塑性化した部分でA面側にずれるように変形して最終状態となった。

これに対して、偏心曲げが作用する方向の載荷変位のみを増加させた場合（P-70）には、4 δ_0 載荷まではP-62とほぼ同じであるが、5 δ_0 ~6 δ_0 載荷で斜めのひびわれが増加し、7 δ_0 載荷でかぶりコンクリートの剝離、8 δ_0 載荷で圧縮側の鉄筋が1本破断して最終状態となった。したがって、偏心曲げが作用する方向のみの載荷変位を増加させた場合には、正負両側で載荷変位を増加させた場合よりも損傷の進展がおよそ1 δ_0 載荷分遅くなるとともに、負側載荷によりA面側からB面側に向けて生じる顕著な斜めの引張ひびわれが生じなくなり、より振動台実験に近い損傷形態となる。

一方、偏心曲げが大きい場合（ $r_M=0.40$ ）については、ここには示さないが、正負交番載荷した場合（P-69）には5 δ_0 載荷で圧縮側のかぶりコンクリートの剝離、7 δ_0 載荷で圧縮側の主鉄筋が1本破断し、8 δ_0 載荷では塑性化した部分で偏心曲げにより引張側となる方向にずれるように変形して最終状態となった。載荷変位を偏心曲げが作用する方向にのみ増加させた場合（P-73）には、9 δ_0 載荷で圧縮側の損傷が大きくなり、10 δ_0 載荷で圧縮側の鉄筋が1本破断した。その後載荷変位の増加とともに、損傷が進展し、13 δ_0 載荷で最終状態となった。載荷変位を偏心曲げが作用する方向にのみ増加させた場合には、両方向で増加させた場合に比較して、かぶりコンクリートの剝離で4 δ_0 載荷分、主鉄筋の破断では3 δ_0 載荷分遅くなる。



(1) 供試体 P-62



(2) 供試体 P-70

図-3 損傷の進展状況

(2) 耐力・変形性能

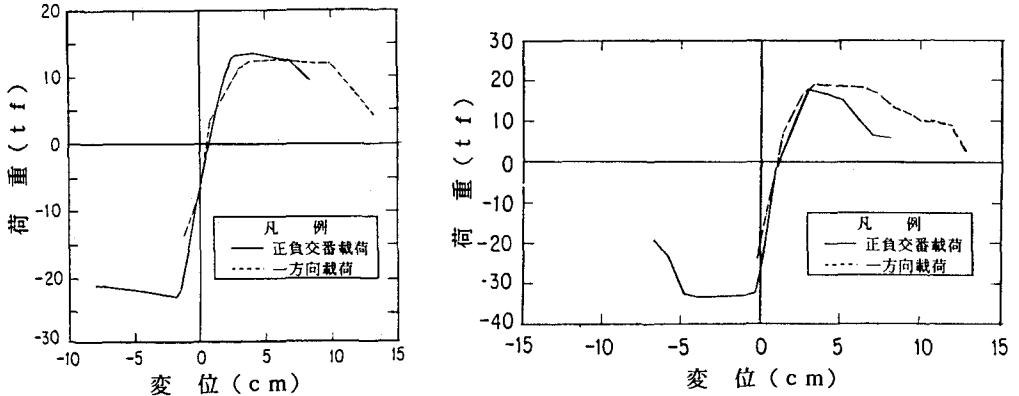
図-4は、上記4体の供試体の荷重～変位の履歴曲線の包絡線を示したものである。これによれば、偏心曲げが中程度の場合及び大きい場合ともに、載荷変位を偏心曲げが作用する方向のみ増加させた場合の方が荷重が最大値をとってから変位が安定して増加する範囲が長くなる。なお、偏心曲げが中程度の場合には、初期の勾配が載荷方式によって異なっている。この原因についてはよくわからないが供試体の個体差によるものと考えられる。

表-2は、上記の4供試体の偏心曲げが作用する方向の耐力・変形性能を比較したものである。ここで、偏心曲げを受ける橋脚の変形性能をどのように定義するかが問題となるが、ここでは偏心曲げが増加する方向については以下のようにじん性率 μ を定義した。

$$\mu = (\delta_u - \delta_E) / (\delta_y - \delta_E) \quad (2)$$

ここで、 δ_y ：降伏変位で、最外縁の主鉄筋が降伏する時の載荷位置の変位、 δ_u ：終局変位で荷重が最大値をとってから降伏荷重まで低下した時の変位、 δ_E ：偏心曲げにより生じる常時の変位、である。式(2)は、偏心曲げによる初期の変位点を基準にして定義したものである。

表-2によれば、偏心曲げが中程度の場合には、載荷変位を正側のみ増加させた場合には、正負両方向で増加させた場合に比較して5%程度大きい、ほとんど同じといってよい。これに対して、偏心曲げが大きい場合には、載荷変位を正側のみで増加させた場合には、正負両方向で増加させた場合に比較して、46%大きくなる。



(1) 偏心曲げが中程度の場合 ($r_M=0.55$)

(2) 偏心曲げが大きい場合 ($r_M=0.40$)

図-4 荷重～変位の履歴曲線の包絡線

表-2 変形性能及び動的耐力(偏心曲げモーメントが増加する方向)

曲げモーメント比 r_M	載荷方式	変形性能			動的耐力		
		δ_y (mm)	δ_u (mm)	じん性率	P_y (tf)	P_{max} (tf)	P_{max}/P_y
中 ($r_M=0.55$)	両方向	18.5	79.0	4.26	13.8	15.9	1.15
	一方向	22.9	102.0	4.45	12.2	14.1	1.16
大 ($r_M=0.40$)	両方向	18.1	51.5	2.85	18.0	19.7	1.09
	一方向	19.0	79.0	4.16	19.1	21.5	1.19

5. 結論

本検討結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 載荷変位を偏心曲げが作用する方向にのみ増加させた場合には、正負両側で載荷変位を増加させた場合よりも損傷の進展が遅くなる。この程度は偏心曲げが大きいほど顕著である。また、負側載荷によりA面側基部からB面側に向けて生じる顕著な斜め引張りひびわれが生じなくなり、より振動台実験に近い損傷形態となる。
- 2) 載荷変位を偏心曲げが作用する方向のみ増加させた場合の方が荷重が最大値をとってから変位が安定して増加する範囲が長くなる。
- 3) じん性率は、偏心曲げが中程度の場合には、載荷変位を正側のみ増加させた場合と正負両方向で増加させた場合はほぼ同じであるが、偏心曲げが大きい場合には、載荷変位を正側のみで増加させた場合の方が46%大きくなり、載荷方式の影響を大きく受ける。

【連絡先】建設省土木研究所地震防災部耐震研究室(〒305茨城県つくば市旭1番地、Tel:0298-64-2211)