

(90) R C 橋脚の動的特性に及ぼす 直交 2 方向同時載荷の影響

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

1. まえがき

R C 橋脚の動的特性を検討するために、各種の載荷実験が行われているが、多くの実験では、1 方向単調荷重増加型の載荷である。しかしながら、地震時に R C 橋脚に作用する荷重は 1 方向だけではない。

本報告は、上記の観点から、R C 橋脚の動的特性に及ぼす直交 2 方向同時載荷の影響を検討した結果について報告するものである。

2. 実験方法

実験に用いた供試体（2 体、P-46 及び P-47）を図-1 に示す。断面は 40cm×80cm の矩形、高さ 2.4m、せん断支間比は、橋軸方向（弱軸方向）には 6.9、橋軸直角方向（強軸方向）には 3.2 である。軸方向鉄筋は SD30-D13 を長辺方向に沿って、かぶりを 5cm として片側に 11 本ずつ配置し、側方鉄筋は配置していない。したがって、引張り鉄筋比は 0.5% になる。コンクリートの平均一軸圧縮強度は、410kgf/cm² であり、軸方向鉄筋の平均降伏点は、3560kgf/cm² である。これらの供試体を用いて、図-2 に示すように供試体頭部に 2 基の動的加振機を取り付けて直交 2 方向同時載荷を行った。載荷に際して基準となる入力基準変位は断面の弱軸方向に対して $\delta_{aw}=12\text{mm}$ とし、強軸方向に対しては $\delta_{as}=5\text{mm}$ とした。これらの変位は、それぞれの載荷方向に対して、あらかじめ計算（フーチングからの鉄筋の抜け出しを考慮）で求めた降伏変位である。載荷振動数は、各載荷段階において弱軸方向の速度振幅が 10cm/sec となるように定めた。同一寸法の供試体を用いた 1 方向載荷（弱軸方向載荷）と比較するため、弱軸方向を基本載荷方向と考え、図-3 に示すように弱軸方向の繰り返し回数を 10 回とし、強軸方向の載荷を 90 度早めて 10.5 回繰り返した。入力波形は正弦波であり、位相を各方向間で 90 度ずらしているため、平面的な載荷軌跡は図-4 に示すような楕円形状となる。実験では弱軸方向および強軸方向の載荷変位振幅を表-1 に示すように組み合わせて、載荷を行った。同表から分かるように、載荷パターン 1（供試体 P-46）は、各方向に同一整数倍の入力基準変位を載荷したもの、載荷パターン 2（供試体 P-47）は、載荷パターン 1 に比べて強軸方向の載荷変位振幅を 2 倍にしたものである。

3. 実験結果

表-2 は各載荷パターンにおける損傷の進展状況を示したものである。同表には 1 方向載荷の損傷進展状況も示している。載荷段階 1 では各供試体とも柱の基部に曲げひび割れが入った程度で、特に大きな損傷は認められない。その後、各供試体ともコンクリートの剝離までは、この曲げひび割れが進展し、斜めひび割れが入る程度で、1 方向載荷の場合と損傷の進展状況は大きく変わらない。ただし、コンクリートの剝離の開始時期に関しては、強軸方向の載荷振幅が小さい載荷パターン 1 では、載荷段階 4 か

ら剝離が始まっているのに対し、強軸方向の荷重振幅が大きい荷重パターン2では、荷重段階3から剝離が始まっている。1方向荷重した場合には、コンクリートの剝離が荷重段階4から始まっていることから、コンクリートの剝離に関しては、荷重パターン1程度の2方向荷重では、その影響は小さく、荷重パターン2程度になると2方向荷重の影響が出てくると言うことができる。ただし、2方向荷重の場合には、コンクリートの剝離はいずれの場合にも隅角部から始まっていることに注意しなければならない。また、鉄筋の破断は、荷重パターン1および1方向荷重では荷重段階6から始まっているのに対し、荷重パターン2では、荷重段階5から始まっている。

図-5、6は、それぞれ、荷重パターン1および2の弱軸方向および強軸方向の加振機から得られた荷重～変位履歴曲線を、また、図-7は、1方向荷重実験から得られた荷重～変位履歴曲線を示したものである。図-8は1方向荷重および2方向荷重から得られた弱軸方向に関する荷重と変位の包絡線を比較したものである。ただし、ここで包絡線は、各荷重段階の1回目の履歴曲線から求めているが、履歴曲線の変位最大点あるいは変位最小点を結んで求めた結果と、荷重最大点あるいは荷重最小点を結んで求めた結果の2種類を示している。また、図-9は等価粘性減衰定数を比較したものである。これらの図から次の事項を指摘することができる。

- ① 2方向荷重では、変位が最大あるいは最小になる前に、荷重はそれぞれ最大あるいは最小になっている。このため、2方向荷重の履歴曲線は1方向荷重に比べてまを帯びており、変位の最大点と荷重の最大点が大きく異なっている。
- ② 1方向荷重に比べて2方向荷重では、変位の最大点あるいは最小点における荷重が小さくなっている。このため、各荷重段階ごとに変位が最大及び最小となる点を結んだ直線の傾きによって等価剛性を定義すると、等価剛性は、2方向荷重の方が1方向荷重よりも小さくなる。この傾向は強軸方向の荷重振幅が大きくなるほど、顕著になる。ただし、上に述べたように、等価剛性は、変位の最大点あるいは最小点を結んだ線の傾きであることに注意する必要がある。
- ③ 1方向荷重では、荷重段階2以後、等価粘性減衰定数は0.2程度の値で一定となっているのに対し、2方向荷重では、1方向荷重に比べて等価粘性減衰定数が大きくなっている。特に、荷重パターン2では、最大0.45程度の等価粘性減衰定数となっている。これは、②に示したように、変位最大点あるいは変位最小点における等価剛性が小さいため、等価粘性減衰定数を計算する際に分母となるひずみエネルギーが小さくなり、結果的に等価粘性減衰定数が大きくなったものである。

4. まとめ

RC橋脚の動的特性に及ぼす2方向荷重の影響を検討するため、直交2方向同時荷重を行った。以上の実験結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 1方向荷重の場合と、荷重パターン1の場合には、コンクリートの剝離、軸方向鉄筋破断の開始時期は同じであるが、荷重パターン2では、コンクリートの剝離、軸方向鉄筋破断の開始時期は、荷重段階で1段階早く生じる。
- 2) 2方向荷重の履歴曲線は1方向荷重に比べて、変位の最大点と荷重の最大点が大きく異なる。
- 3) 1方向荷重に比較して2方向荷重の場合には、各荷重段階ごとに変位が最大、最小となる点を結ぶ直線の傾きによって定義した等価剛性は小さい。

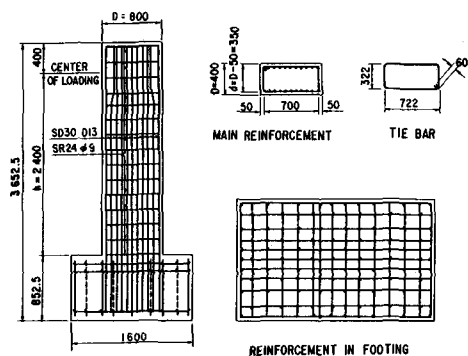


図-1 実験に用いた供試体

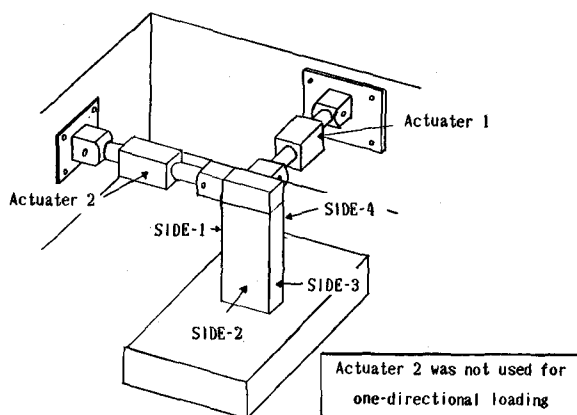


図-2 2方向同時載荷状況

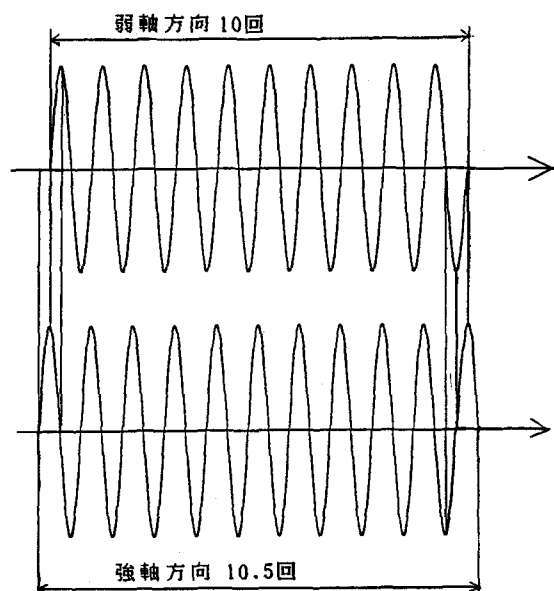


図-3 2方向同時載荷の位相

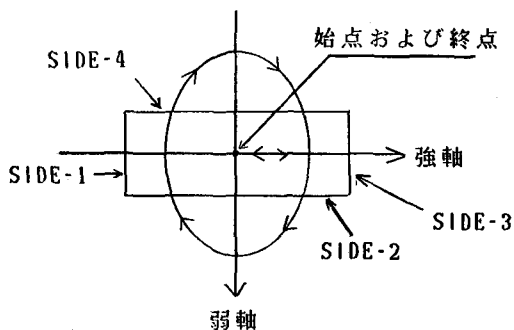
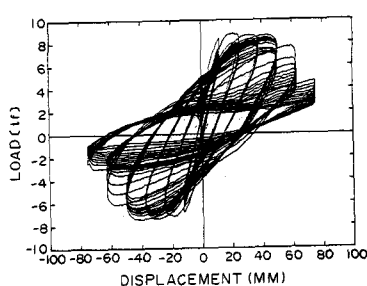


図-4 2方向同時載荷による平面軌跡（加振変位）

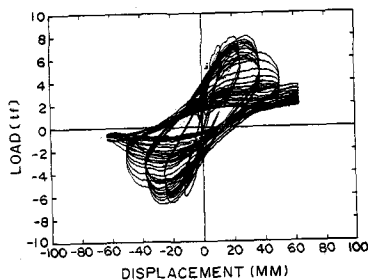
表-1 載荷変位振幅

載荷パターン	載荷方向	載 荷 段 階					
		1	2	3	4	5	6
1 (P-46)	弱 軸	1 δ_{0W}	2 δ_{0W}	3 δ_{0W}	4 δ_{0W}	5 δ_{0W}	6 δ_{0W}
	強 軸	1 δ_{0S}	2 δ_{0S}	3 δ_{0S}	4 δ_{0S}	5 δ_{0S}	6 δ_{0S}
2 (P-47)	弱 軸	1 δ_{0W}	2 δ_{0W}	3 δ_{0W}	4 δ_{0W}	5 δ_{0W}	—
	強 軸	2 δ_{0S}	4 δ_{0S}	6 δ_{0S}	8 δ_{0S}	10 δ_{0S}	—
1方向載荷(P-37)	弱 軸	1 δ_{0W}	2 δ_{0W}	3 δ_{0W}	4 δ_{0W}	5 δ_{0W}	6 δ_{0W}
載荷振動数 (Hz)		1.33	0.66	0.44	0.33	0.27	0.22

注) δ_{0W} = 12mm、 δ_{0S} = 5mm



(a) 弱軸方向



(a) 弱軸方向

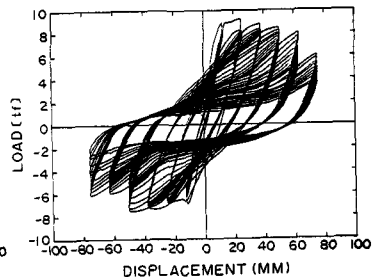


図-7 荷重～変位履歴曲線

(1方向載荷、P-37)

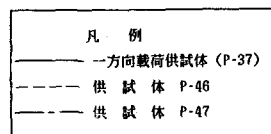
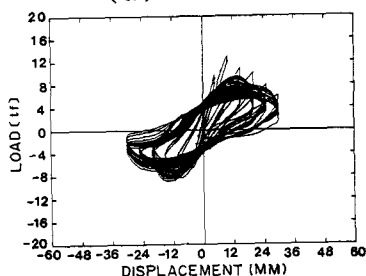
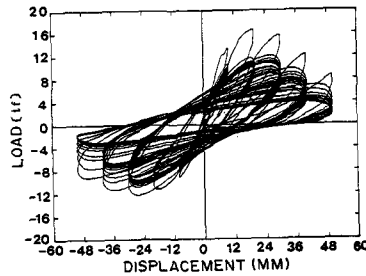


図-9 等価粘性減衰定数の比較



(b) 強軸方向



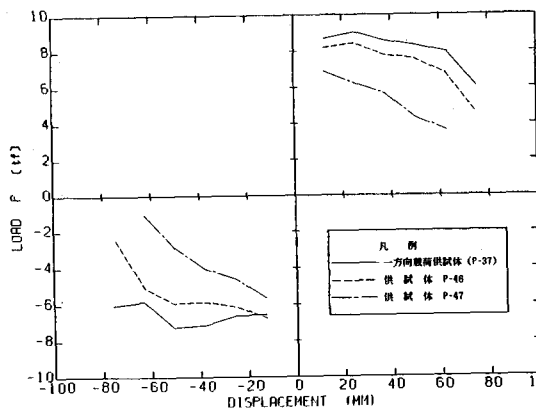
(b) 強軸方向

図-5 荷重～変位履歴曲線

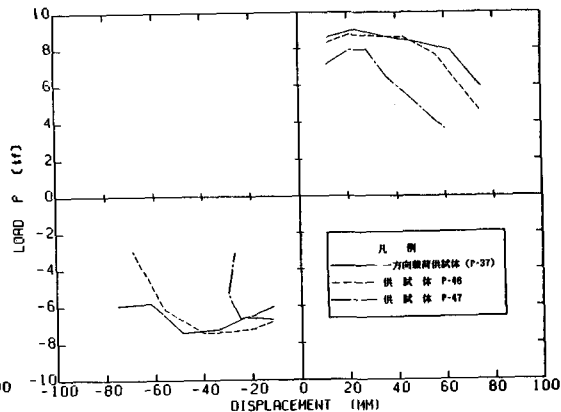
図-6 荷重～変位履歴曲線

(載荷パターン1、P-46)

(載荷パターン2、P-47)



(a) 変位最大(最小)点を結んだ結果



(b) 荷重最大(最小)点を結んだ結果

図-8 荷重～変位包絡線の比較

表-2 各供試体の破壊状況

載荷段階	供試体P-46 (載荷パターン1)	供試体P-47 (載荷パターン2)	1方向載荷供試体 (P-37)
1	全面に曲げクラック発生	全面に曲げクラック発生	2面に曲げクラック発生
2	各面の曲げクラック増加	各面の曲げクラック増加	変化無し
3	1,3面に斜めクラック発生	隅角部のコンクリート剝離 (基部から20cm)	1,3面に斜めクラック発生
4	2,3面隅角部のコンクリート剝離 (基部から20cm)	2,4面のコンクリート剝離 (基部から20cm)	4面のコンクリート剝離 (基部から15cm)
5	2,4面のコンクリート剝離 (基部から20cm)	軸方向鉄筋 7本破断	2面のコンクリート剝離 (基部から25cm)
6	軸方向鉄筋 6本破断	—	軸方向鉄筋 4本破断