

# 矩形断面の鋼製橋脚に対する 静的および擬似動的 2 方向载荷実験

## BI-AXIAL STATIC AND PSEUDO-DYNAMIC LOADING EXPERIMENTS FOR STEEL BRIDGE PIERS WITH BOX CROSS SECTIONS

長谷川 哲也<sup>1)</sup> 小畑 誠<sup>2)</sup> 後藤 芳顯<sup>2)</sup>  
Tetsuya Hasegawa Makoto Obata Yoshiaki Goto

### 1. はじめに

本報告は、第一著者の修士論文(名古屋工業大学大学院工学研究科社会工学専攻)の一部を抜粋したものである。

1995年の兵庫県南部地震により、多くの鋼製橋脚が座屈、変形、ひび割れ等の被害を受けた。しかし、現在の耐震設計においても橋軸方向と橋軸直角方向それぞれ独立に耐震性の検討がなされている。これに対し、実際の地震波では、少なくとも水平2方向成分の地震力があるため、現在の考え方では耐震安全性を検討する上で不十分と言える。過去に名古屋工業大学の耐震工学・構造工学研究室で行われた矩形断面鋼管柱に対する静的载荷実験の結果からも、2方向载荷では1方向载荷に比べ耐震性が低いことが確認されている。そこで、本研究では引き続き矩形断面鋼管柱に対する実験を実施し、静的2方向载荷実験では、载荷経路の違いが強度や変形能等に及ぼす影響を比較・検討した。そして、擬似動的実験では、供試体の縦リブ高さの違いが及ぼす影響、および1方向と2方向地震動による比較による、耐震性能の検討を行った。

### 2. 実験装置・実験供試体

本実験は、名古屋工業大学の耐震工学・構造工学研究室で開発された図-1に示す3次元構造実験装置を用いて行った<sup>1)</sup>。実験は鉛直方向および水平2方向の3本の油圧加振機により载荷を行い、供試体の変位、反力、ひずみ等の計測は全てPCによる制御プログラムにて行っている。また、立体ヒンジ構造を持つボールジョイントにより供試体を1質点モデルとして厳密な擬似動的実験を行うことを可能にし、3本の立体トラス型外部変位計により供試体頂部の3次元座標の計測を行う。さらに、供試体台座に設置した変位計により台座変位を補正することで、高精度な3次元制御実験を可能にした。実験に用いた供試体を図-2に示す。本実験では、縦リブ高さ50mm(縦リブ剛度： $\gamma/\gamma^*=3.89, 3.99, 4.10$ )の供試体3体に対して、载荷経路の異なる静的2方向载荷実験を行

い、30mm( $\gamma/\gamma^*=0.99, 0.99$ )、40mm( $\gamma/\gamma^*=2.17, 2.30$ )の供試体各2体に対して、それぞれ1方向と2方向地震動による擬似動的実験を行った。

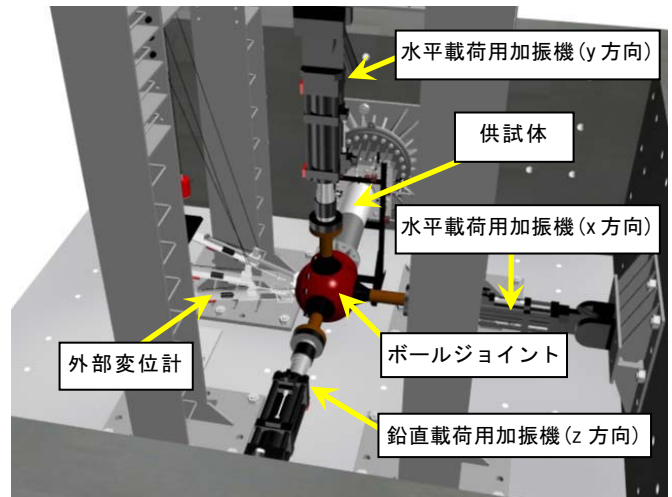


図-1 実験装置

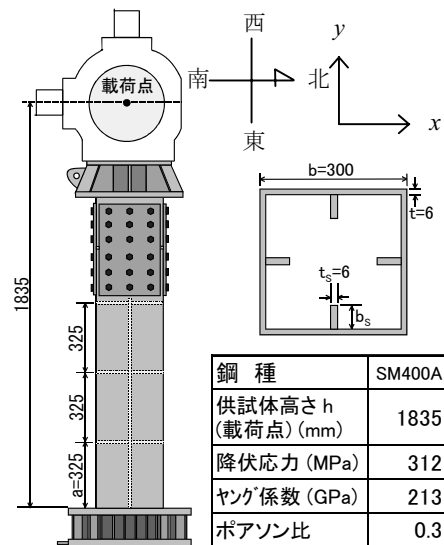


図-2 実験供試体

1) 技術グループ 設計部 東京チーム  
2) 名古屋工業大学大学院 教授

3. 実験方法

3.1 静的 2 方向载荷実験

異なる 3 通りの载荷経路により，耐力や変形能を比較・検討する．変位振幅増分量は各経路の降伏変位の整数倍とし，一定軸力(軸力比： $P/P_y = 0.15$ )を载荷のもと，変位制御により行う．図-3 に载荷プログラムを示す．なお，図に示す破線は Diamond 载荷を示す．

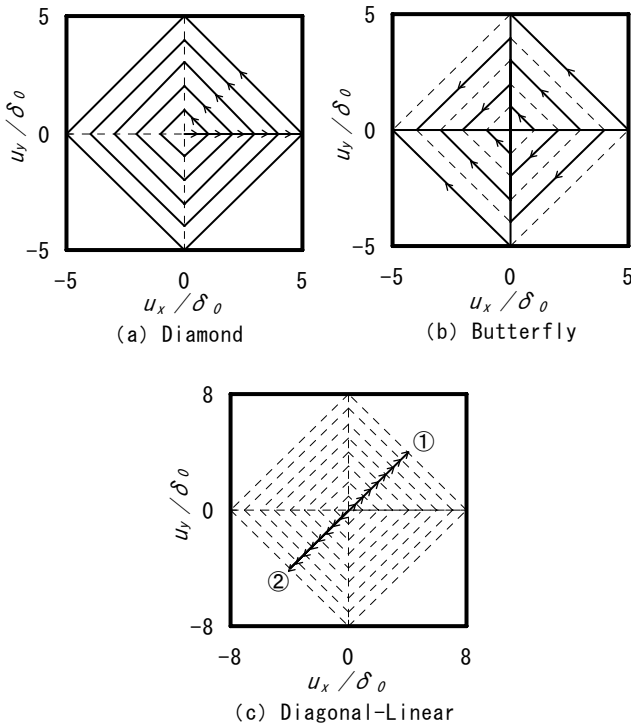


図-3 载荷プログラム

3.2 擬似動的実験

入力地震波は兵庫県南部地震で観測された地震波のうち，I 種地盤：神戸海洋気象台(JMA)の NS 成分と EW 成分を採用した．なお，供試体の座標と方角の関係は図-2 に示す．実験は，一定軸力(軸力比： $P/P_y = 0.15$ )を载荷のもと，振動時間を微小時間に分割したステップ単位で数値解析を進めながら行う．

4. 実験結果・考察

4.1 静的 2 方向载荷実験

本実験により得られた履歴挙動をもとに，载荷経路が供試体の耐震性能に及ぼす影響を検討する．図-4 に各载荷経路の履歴曲線を示す．なお，水平降伏荷重  $H_0$  および水平降伏変位  $\delta_0$  にて無次元化した．

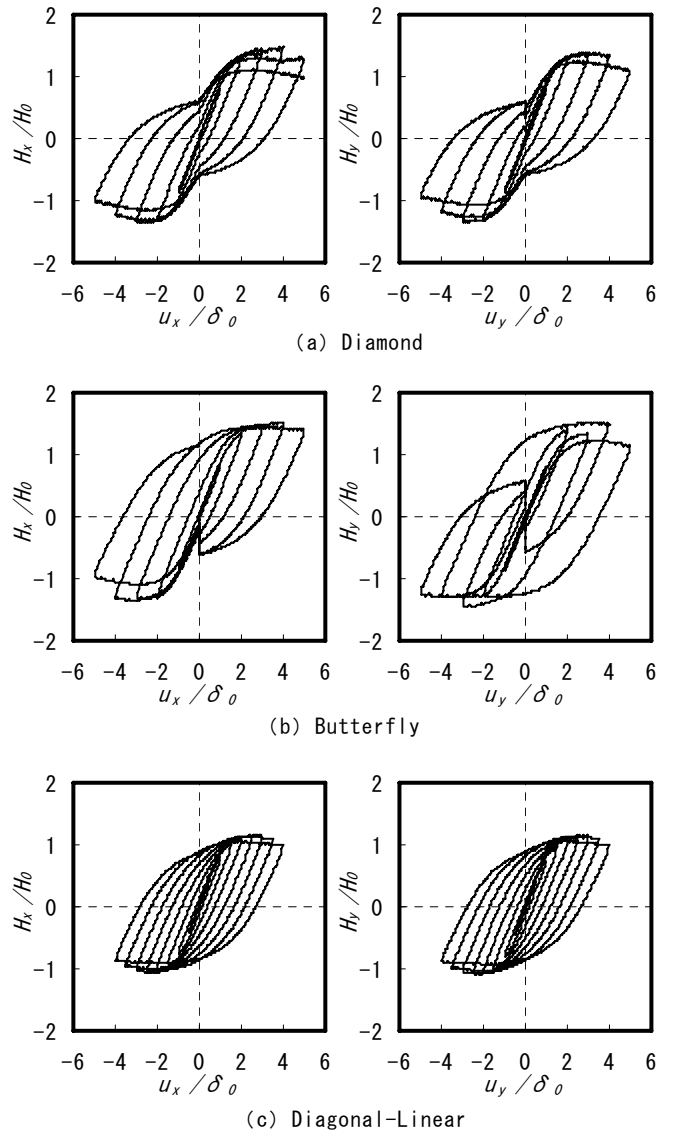
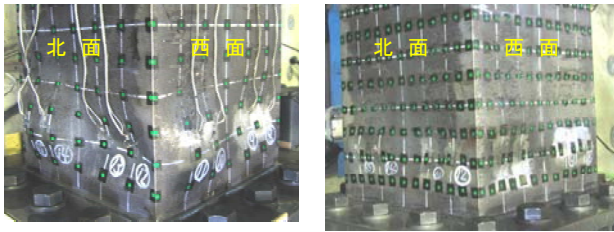


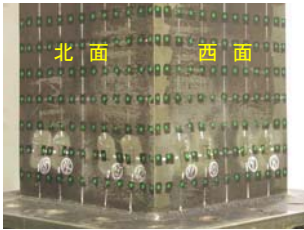
図-4 履歴曲線

(1) 座屈モード

実験終了後の供試体基部の様子を写真-1 に示す．板の座屈理論では縦リブ剛度  $\gamma/\gamma^* \geq 1$ ，実験的には  $\gamma/\gamma^* = 3 \sim 5$  の場合，縦リブ位置を節とする座屈モードと言われており<sup>2)</sup>，後者の範囲である 4 体全ての供試体において縦リブ位置を節とした座屈モードが見られ载荷経路によらないことが分かった．Diamond 载荷や Diagonal-Linear 载荷のような  $x-y$  成分が同じパターンの载荷経路となる载荷方法では座屈モードにも規則性が現れることが確認された．また，Diamond 载荷や Butterfly 载荷のような载荷平面を面的に動く载荷において，局部座屈による補剛板パネルの面外変位が大きくなることが分かった．



(a) Diamond (b) Butterfly



(c) Diagonal-Linear

写真-1 座屈モード(北面-西面)

(2) 包絡線

図-5 に履歴曲線から求めた包絡線を示す. 包絡線は正負の平均値を用いるが, Butterfly 荷重については, 荷重経路の影響により正負で非対称な履歴曲線となるため, Diamond 荷重と Diagonal-Linear 荷重の包絡線で比較を行った. 図-5 より, Diagonal-Linear 荷重では, Diamond 荷重に比べ, 最大耐力が低下していることが分かる. この原因は, x 軸より 45° 方向で荷重した場合, 供試体の降伏変位は水平降伏変位  $\delta_0$  の  $1/\sqrt{2}$  倍となり,  $1 \delta_0$  においてすでに塑性化が始まっているためであると思われる. また, 最大耐力時の変位量は等しく,  $3 \delta_0$  でピークとなっている.

4.2 擬似動的実験

実験により得られたいくつかの指標をもとに比較を行い, 供試体の耐震性能を検討する. 表-1 に最大応答変位, 最大応答変位時の時刻, および残留変位を示し, 図-6 に x 成分および y 成分の時刻歴応答変位ならびに吸収エネルギー-時刻関係を示す. なお, 供試体の吸収エネルギーは式 (1), 式 (2) により求め, 式 (3) の  $A_{E0}$  により無次元化する.

$$W_{Px} \cong \int H_x du_x - \frac{\delta_0 H^2}{2H_0} x \tag{1}$$

$$W_{Py} \cong \int H_y du_y - \frac{\delta_0 H^2}{2H_0} y \tag{2}$$

$$A_{E0} = 0.5H_0\delta_0 \tag{3}$$

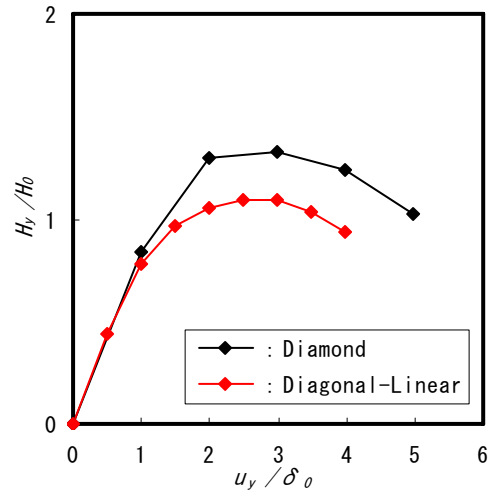


図-5 包絡線

表-1 最大応答変位, 残留変位

実験内容	$\delta_{xm}/\delta_0$	Time (sec)	$\delta_{Rx}/\delta_0$	$\delta_{ym}/\delta_0$	Time (sec)	$\delta_{Ry}/\delta_0$
bs=30mm 1 方向	-4.79	7.48	-2.21	/		
bs=30mm 2 方向	-4.17	6.24	-1.71			
bs=40mm 1 方向	-4.70	7.48	-2.04	/		
bs=40mm 2 方向	-4.19	6.24	-1.65			

(1) 座屈モード

座屈変形はどれも非常に小さく, 4 体全ての供試体の NS 方向において南面にわずかな局部座屈が見られたのに対し, EW 方向では南面の座屈の影響を受けて西面および東面がごくわずかに変形しているにとどまった. 図-7 に  $b_s = 30 \text{ mm}$  2 方向地震動による座屈の様子を変位倍率 8 倍で表した CG で示す.

(2) 縦リブ高さの影響

図-6 (a) (b) より, 1 方向地震動, 2 方向地震動共に縦リブ高さの違いによる時刻歴応答変位に差が見られず, 表-1 の最大応答変位, 時刻もほぼ一致していることが分かる.

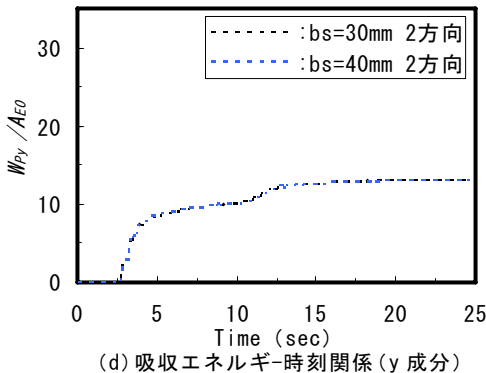
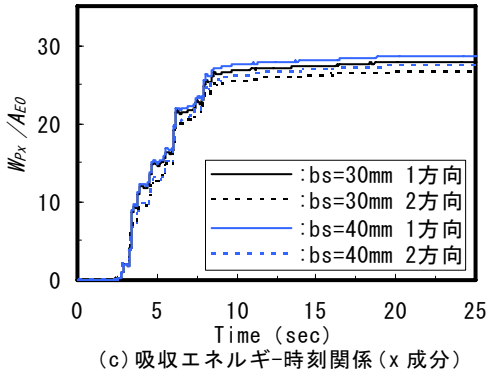
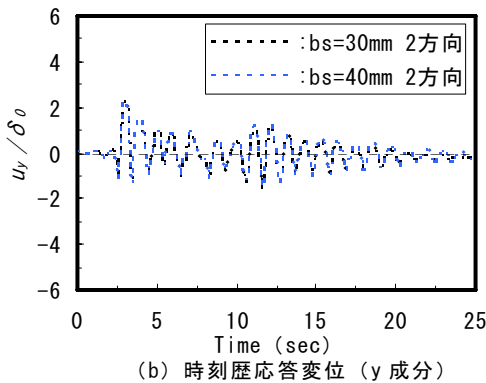
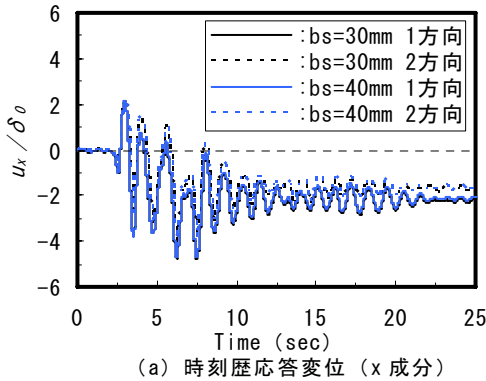
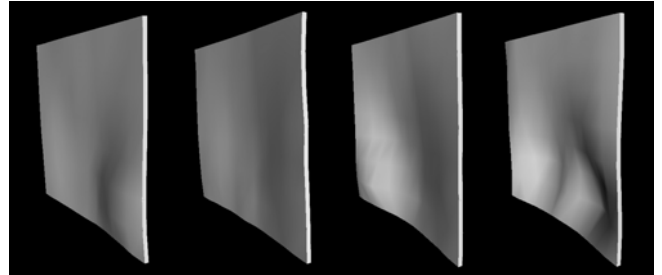


図-6 擬似動の実験結果

(3) 1 方向地震動と 2 方向地震動による比較

表-1 より,  $b_s = 30, 40$  mm 共に 1 方向地震動の方が  $x$  成分の最大応答変位がやや大きいことが分かる. 図-6(c)

(d) より,  $x, y$  の両成分で考えた場合, 2 方向地震動の方が多くのエネルギーを吸収しているため, 座屈モードからは確認できなかったが 2 方向地震動の方が補剛板の損傷が大きいと思われる.



(a) 西面 (b) 北面 (c) 東面 (d) 南面

図-7 座屈モード ( $b_s = 30$  mm 2 方向地震動)

5. まとめ

- 1) 静的荷重実験, 擬似動の実験ともに 2 方向荷重の挙動は 1 方向荷重の結果から単純に予測することはできない.
- 2) 2 方向荷重の結果は, 荷重パターンにも依存するので 2 方向荷重時の強度特性を議論するためには, 荷重パターンとあわせた検討が必要である.

謝辞: 本研究の一部は文部省科学研究費基盤研究(B)(2) (課題番号 14350242 代表 後藤芳顕) ならびに防災科学研究所 平成 17 年度実大三次元振動破壊実験施設を活用した国内外共同モデル研究「激震時における鋼製橋脚の 3 次元動的挙動と耐震性に関する研究」(代表 後藤芳顕) の援助を受けた. また, 実験ならびに数値解析を実施する上で, 水谷圭吾, 佐藤礼司 (以上元名古屋工業大学大学院生), 鈴木宏昇 (名古屋工業大学大学院生) の各氏に多大な協力を得た. ここに謝意を表する.

参考文献

- 1) 小畑誠, 後藤芳顕: 橋脚や柱等を対象とした 3 次元擬似動的実験装置の開発, 土木学会論文集, No.752/I-66, 2004.
- 2) 建設省土木研究所, 首都高速道路公団, 阪神高速道路公団, 名古屋高速道路公社, (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会: 道路橋橋脚の地震時限界状態設計法に関する共同研究報告書(IV), 1997.12.