

# 鋼管橋脚模型の基部加振実験と準静的載荷実験の比較

小枝日出夫\*, 岸 徳光\*\*, 池田憲二\*\*\*, 小室雅人\*\*\*\*, 小野信市\*\*\*\*\*

\* (株) 日本製鋼所 室蘭研究所 主任研究員 (〒051-8505 室蘭市茶津町4番地)

\*\* 工博 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町27番1号)

\*\*\* 北海道開発局開発土木研究所 構造部構造研究室 室長 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

\*\*\*\* 工修 室蘭工業大学助手 工学部建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町27番1号)

\*\*\*\*\* 工博 (株) 日本製鋼所 室蘭研究所 主幹研究員 (〒051-8505 室蘭市茶津町4番地)

本研究では、鋼管橋脚の耐荷力と変形性能におよぼす載荷方法の影響を検討するために、小型鋼管橋脚模型を用いた静的漸増変位繰返し載荷実験と基部正弦波加振実験を行なった。さらに、この加振実験から得られる応答変位波形を用いた静的繰返し載荷実験を行ない、これの実験から得られる履歴曲線、包絡線および局部座屈形状等を比較することにより、両者の実験法の工学的な等価性について検討を行なった。実験結果より、1) 径厚比が小さい場合には、静的載荷実験と加振実験における最大耐荷力および塑性率は大きく異なる、2) 応答変位波形を用いた静的繰返し載荷実験と加振実験における最大耐荷力および塑性率はほぼ一致する、3) 局部座屈の形状は、静的載荷実験と加振実験で必ずしも一致しないこと、などが明らかになった。

Key Words : Steel-pipe pier, Shaking test, Static cyclic loading test, Local buckling

## 1. はじめに

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震では、比較的高い耐震性を有していると考えられていた鋼製橋脚にも多くの損傷が生じた。損傷の原因は、上部工の自重による軸力と水平地震力による上部工の慣性力に起因する弾塑性座屈によるとの見解が大勢を占めている。このような内陸型大地震に対する鋼製橋脚の耐震性を向上させるために、これらの弾塑性挙動に関する実験的解析的研究<sup>1)~8)</sup>が数多く行なわれている。

実験的研究としては、橋脚模型を用いた単調水平載荷実験や漸増繰返し載荷実験等の静的実験が行なわれ、耐荷力、変形性能および吸収エネルギーなどの観点から検討されている。一方、動的实验に関しては、振動台を用いる応答実験<sup>9)</sup>が大がかりな実験装置や多大な実験費用を要することより、擬似的な応答実験であるハイブリッド地震応答実験<sup>10)</sup>が行なわれている。また、鋼製橋脚の耐震設計法の一つである1自由度モデルによる動的応答解析では、静的繰返し載荷実験結果をもとに設定された復元力モデルが用いられており、その解析結果の検証はハイブリッド地震応答実験結果との比較<sup>7), 8)</sup>により行なわれている。これらの解析や評価法では、鋼製橋脚の弾塑性挙動が地震荷重下と静的荷重下で等価であることを前提条件としている。しかしながら、上部工を考慮した鋼製橋脚を考える場合、地震波形入力によって弾性から弾塑性状態に移行する過渡領域では、変位振幅の増大とともに二次項や上部工の回転慣性力等が複雑に連

成するものと考えられ、その動的弾塑性挙動は静的載荷実験と異なることも予想される。

また、鋼製橋脚の断面形状に着目すると、円形断面橋脚(以下、鋼管橋脚)は矩形断面橋脚に比べ単位体積当たりの強度が大きいことより、力学的に有利と考えられる。さらに、径厚比を適切に選択することにより無補剛材での設計が可能になり、部材数および溶接箇所を減少させることができ、施工性や経済性の面からも有利となる。

このような観点から、本研究では鋼管橋脚の耐荷力と変形性能におよぼす載荷方法の影響を検討するために、小型鋼管橋脚模型を用いた静的漸増変位繰返し載荷実験と基部を正弦波加振させる振動実験を行なった。さらに、この加振実験から得られる応答変位波形を用いた静的繰返し載荷実験を行ない、両者の実験から得られる履歴曲線、包絡線および局部座屈形状等を比較することにより、これらの実験法の工学的な等価性について検討を行なった。

## 2. 実験の概要

### 2.1 試験体

鋼管橋脚の耐荷力と変形性能に大きく影響するパラメータとして、鋼種、細長比、径厚比、軸力、負荷履歴などが考えられる。本研究では、鋼種と細長比を固定し径厚比を変化させた小型鋼管橋脚模型(以下、試験体)を用いて、2種類の静的載荷実験と基部加振実験を行なっ

表-1 試験体の形状寸法および各パラメータ

試験体名	荷重点高さ $L$ (mm)	鋼管高さ $L'$ (mm)	板厚中心半径 $R$ (mm)	板厚 $t$ (mm)	細長比 パラメータ $\bar{\lambda}$	径厚比 パラメータ $R_t$
t10-C, -D	631.5	500	47.75	1.0	0.514	0.147
t15-C, -D, -R			48.00	1.5	0.511	0.099
t20-C, -D			48.25	2.0	0.508	0.074
t22-C, -D			48.35	2.2	0.507	0.068
t25-C, -D, -R			48.50	2.5	0.506	0.060

た. 図-1に試験体の形状を, また表-1に形状寸法および各パラメータを一覧にして示している. なお, 表-1における細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ および径厚比パラメータ $R_t$ は, 次式により定義される.

$$\bar{\lambda} = \frac{2L}{\pi r} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (1)$$

$$R_t = \frac{R \sigma_y}{t E} \sqrt{3(1-\nu^2)} \quad (2)$$

ここで,  $\sigma_y$ は鋼管の降伏応力,  $E$ は縦弾性係数,  $\nu$ はポアソン比,  $R$ は平均半径,  $t$ は板厚,  $r$ は断面2次半径,  $L$ は荷重点高さ(試験体基部から鉛塊重心位置までの高さ)である. また試験体の名称は, 第1項が板厚, 第2項が荷重方法(C: 繰り返し荷重, D: 正弦波加振, R: 応答変位荷重)を示している.

試験体の鋼管部は, 全て厚さ5.7 mmの一般構造用炭素鋼鋼管(JIS G 3444 STK400-E-G 電気抵抗溶接鋼管)を所定の長さに切断後, 旋盤加工により内外面を切削して製作した. 板厚および径の加工公差は $\pm 0.05$  mmである. 鋼管の基部は, 図-1に示すように凸状の台座に鋼管を差し込み, さらに外側に板厚9 mmの鋼製リングをはめ込んで溶接し固定している. また鋼管の上端部には, 橋梁上部工の質量を模擬した鉛塊を固定するために板厚25 mmの鋼板を周溶接により取付けている. 使用鋼管の機械的性質は, 鋼管から採取したJIS 6号試験片を用いた引張試験により決定した. 表-2に引張試験結果を示している.

## 2.2 実験装置および荷重方法

### (1) 静的水平荷重実験

図-2に水平荷重実験装置の概要を示す. 鉛直荷重は油圧サーボ式試験機を用いて, 試験体への軸力が加振実験と等価となるように, 鉛塊の質量1.2 tonに相当する11.8 kNの荷重を荷重している. ただし, 試験体に水平変位や回転が生じた場合でも常に鉛直下向きに荷重が作用するように, ローラーベアリングを介して上部荷重板に作用させている. また, 水平荷重はストローク200 mmの電動式ジャッキを用いて, 加振実験と荷重作用点高さ

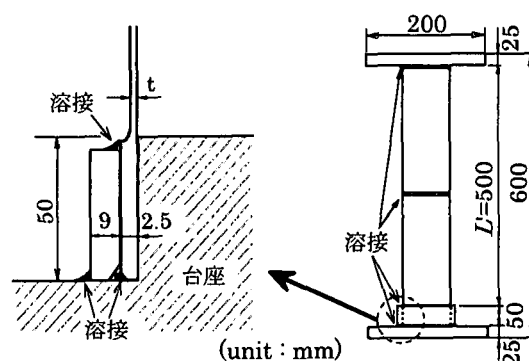


図-1 試験体形状および寸法

表-2 鋼管の引張試験結果

降伏応力 $\sigma_y$ (MPa)	引張強さ $\sigma_u$ (MPa)	弾性係数 $E$ (GPa)	ポアソン比 $\nu$
384	516	206	0.30

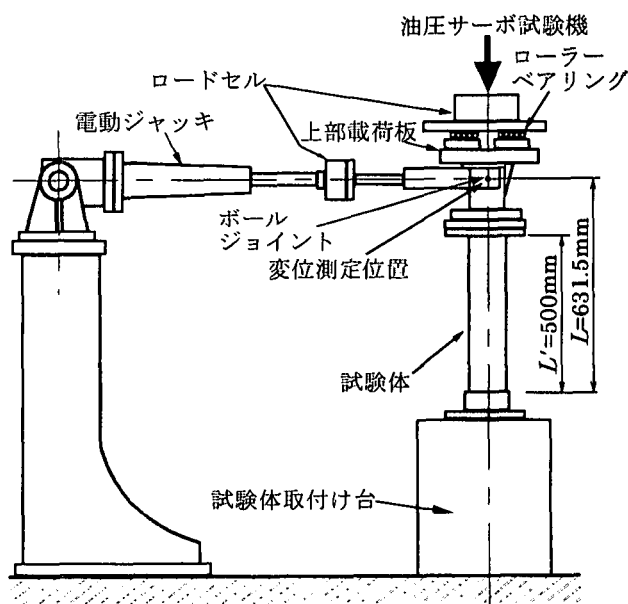


図-2 水平荷重実験装置の概要

が等しくなるように鉛塊重心高さに相当する位置で荷重している。なお、水平荷重の荷重点にはボールジョイントを使用し、試験体上端部に生じる水平および鉛直方向の変位と回転をできるだけ拘束しないように工夫した。実験における測定は、荷重荷重点での水平変位と水平荷重および試験体各位置でのひずみである。水平変位の測定にはひずみゲージ式変位計を用い、水平荷重荷重点と試験体基部固定板との相対変位を測定した。また、水平荷重の測定には容量 50 kN のロードセルを用いた。

実験は水平変位制御により、次の 2 種類の荷重方法で行なった。1) 1 サイクルごとの漸増変動変位による繰り返し荷重 (以下、繰り返し荷重)、2) 次項の基部加振実験から得られる鉛塊の応答変位波形を用いた繰り返し荷重 (以下、応答変位荷重) である。1) の繰り返し荷重の方法は、図-3 に示すように、水平変位  $\delta$  を降伏水平変位  $\delta_{yE}$  を基準にして各サイクルで漸増しながら繰り返し与えている。ただし、降伏水平変位  $\delta_{yE}$  は、次式で定義される降伏荷重  $H_y$  に相当する変位として実験より求めている。

$$H_y = \frac{(\sigma_y - P/A)I}{(R+t/2)L} \quad (3)$$

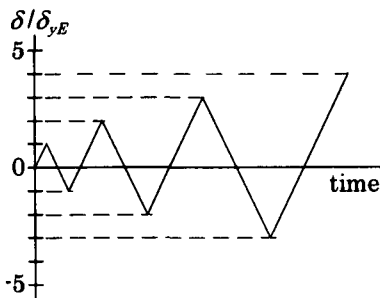


図-3 繰り返し荷重方法

ここで、 $H_y$  は鋼管基部最外縁が降伏応力に達するときの水平力、 $P$  は軸力、 $A$  は鋼管の断面積、 $I$  は断面 2 次モーメントである。また、降伏応力  $\sigma_y$  には引張試験により得られた実測値を用いている。

## (2) 基部加振実験

図-4 に簡易振動台を用いた実験装置の概要を示す。振動台は 2 本のリニアウェイ上に設置しており、ボールジョイントを介して最大荷重 50 kN、油圧源吐出量 31.7 l/min のアクチュエーターに接続されている。試験体上部には橋梁上部工の質量を模擬した全質量 1.2 ton の鉛塊が設置されている。本実験では、鋼管橋脚模型の動的応答特性を把握するために、ひずみゲージ式加速度計を振動台および鉛塊の高さ方向重心位置の 4ヶ所、レーザー式変位計を振動台、試験体および鉛塊の高さ方向重心位置の 7ヶ所に設置した。これらの測定値は全てアナログ式データレコーダに一括記録の後、A/D 変換を行なって整理している。

実験は次の 2 種類について行なった。1) アクチュエーターをシャットダウンさせることにより試験体に自由振動状態を励起させ最低次固有振動数を求める実験、2) 試験体の動的弾塑性挙動を検討するために、所定の入力加

表-3 加振実験の条件

試験体名	固有振動数 (Hz)	加振周波数 (Hz)	入力加速度 (gal)
t10-D	3.56	2.5	300
t15-D	4.12	3.0	500
t20-D	4.87	3.5	600
t22-D	5.19	3.7	750
t25-D	5.38	4.0	875

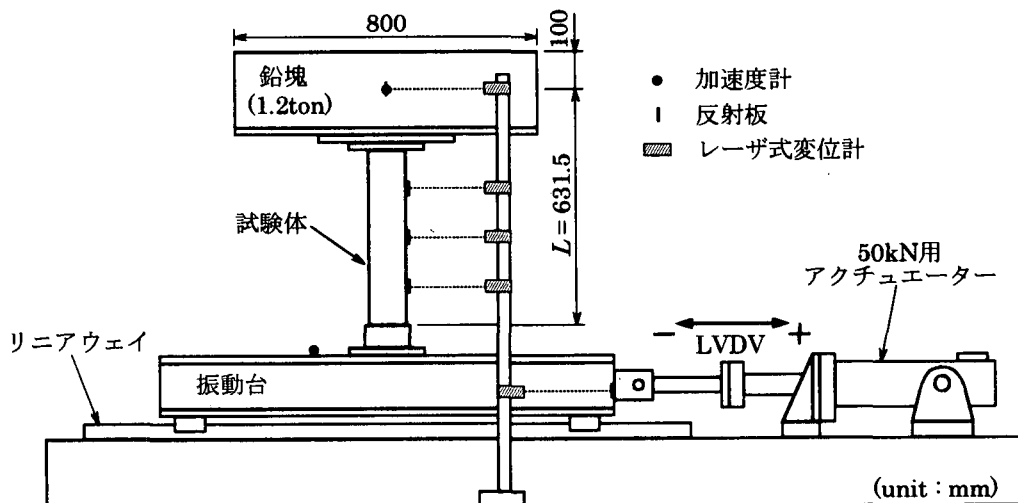


図-4 加振実験装置の概要

速度および周波数を有する正弦波で基部加振する実験である。

加振実験における入力加速度は、静的水平載荷実験より得られた最大耐力を参考にして設定している。また加振周波数は、1)の実験により得られた固有振動数の約75%に設定している。表-3には、入力加速度、加振周波数および実験から得られた試験体の固有振動数を一覧にして示している。なお、振動実験における加振方法は、アクチュエーターが設定加速度の振動状態に達するまでに数秒間の時間を要することより、加振時間を統一化するために加振開始から8秒後にアクチュエーターを停止し徐々に振幅を減少させている。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 加振実験における加速度波形

図-5に加振実験における入力加速度波形と応答加速度波形の一例として、 $R_t=0.099$ の試験体(t15-D)における振動台および鉛塊重心位置で測定された加速度波形を示す。(a)図より、入力加速度波形は加振開始後ほぼ線形に増幅し、5秒程度で所定の振幅となり定常的に振動している。加速度波形は7.5秒付近で終了しているが、これは試験体がこの時点で倒壊したためである。一方、(b)図より、鉛塊重心位置の応答加速度波形は定常振動状態に至らず、振幅が最大値に達した後徐々に減少していることがわかる。これは、基部近傍に発生した局部座屈

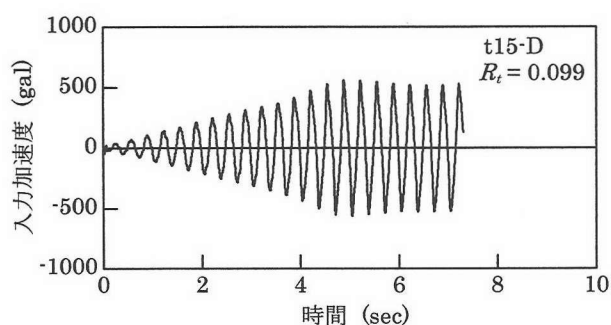
によって加振エネルギーが吸収され、試験体上方にエネルギーが伝達されないためと考えられる。

#### 3.2 局部座屈の状況

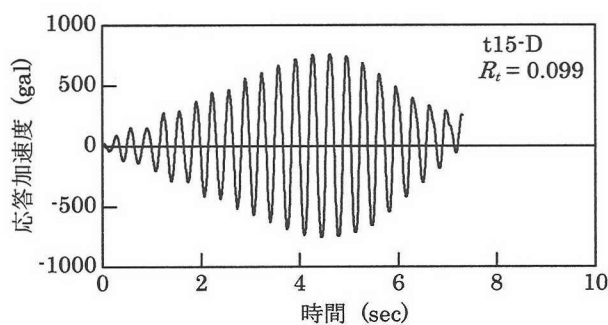
図-6には、 $R_t=0.099$ の試験体に関する各実験終了後の試験体基部における局部座屈の発生状況を示している。(a)図より、繰り返し載荷の場合には、基部から約20mmの位置に全周に渡る象の脚型の局部座屈が発生していることがわかる。一方、正弦波加振の場合(b)図)には、繰り返し載荷で見られるような全周に渡る象の脚型の局部座屈は見られず、加振方向の一側面に発生した局部座屈部が鋼管の内側に潰れ、試験体は"く"の字に変形して倒壊している。また、(c)図より応答変位載荷の場合も正弦波加振の場合と同様に、局部座屈が載荷方向の片側のみに発生していることがわかる。しかしながら、鋼管の内側に潰れるような変形は見られず、正弦波加振の場合とは異なった座屈形状を示している。

#### 3.3 履歴特性

図-7および図-8には、それぞれ $R_t=0.099$ および0.06の試験体について、各載荷実験より得られた水平荷重-水平変位履歴曲線を示している。これらの履歴曲線において、水平荷重 $H$ と水平変位 $\delta$ はそれぞれ降伏荷重 $H_y$ と降伏変位 $\delta_{yF}$ で無次元化している。なお、加振実験における水平荷重と水平変位には、それぞれ鉛塊に発生

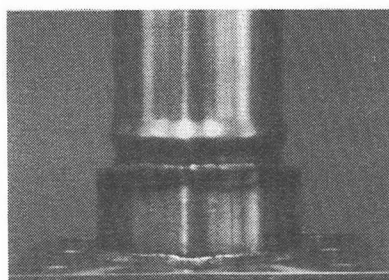


(a) 入力加速度波形

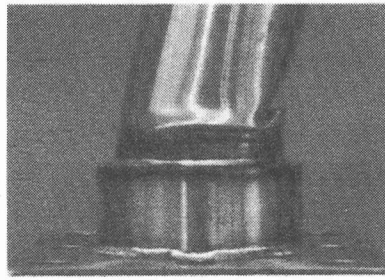


(b) 応答加速度波形

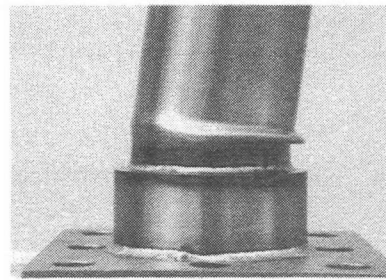
図-5 加速度波形の一例 (t15-D, 入力加速度: 500 gal, 加振周波数: 3 Hz)



(a) t15-C (繰り返し載荷)

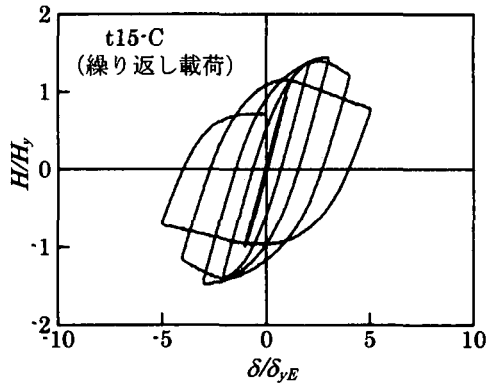


(b) t15-D (正弦波加振)

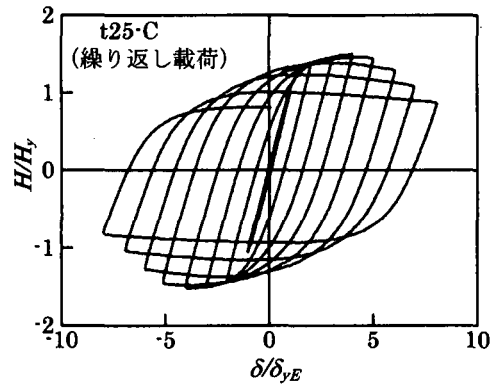


(c) t15-R (応答変位載荷)

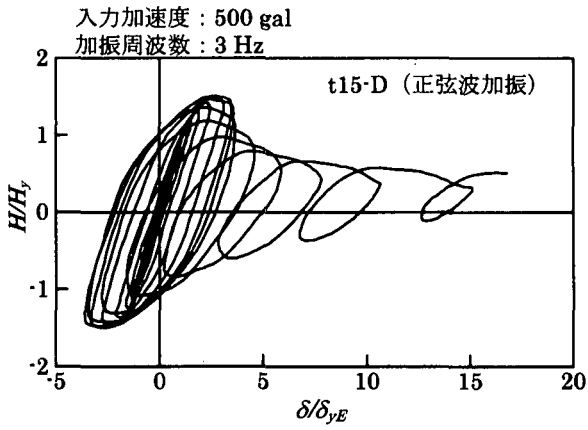
図-6 実験終了後の試験体基部における局部座屈状況 ( $R_t=0.099$ )



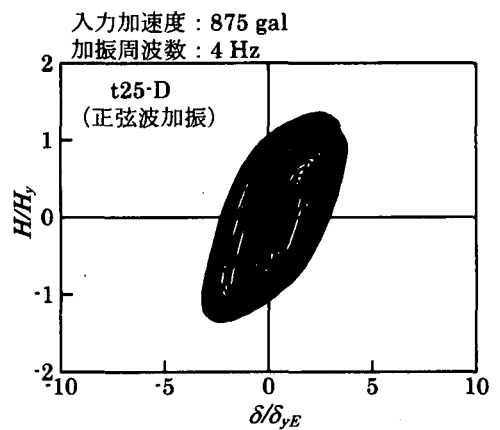
(a) t15-C (繰り返し載荷)



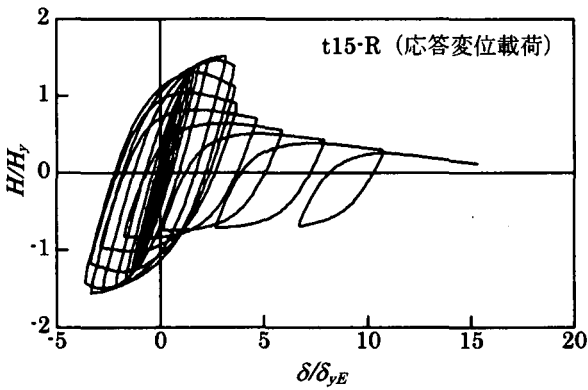
(a) t25-C (繰り返し載荷)



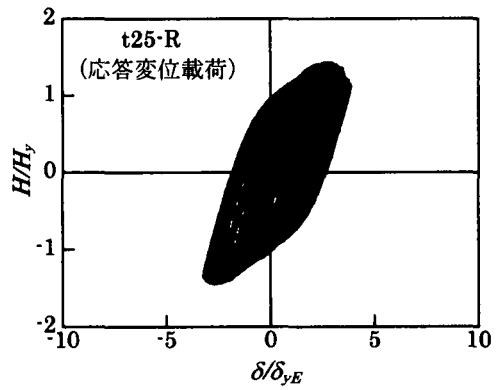
(b) t15-D (正弦波加振)



(b) t25-D (正弦波加振)



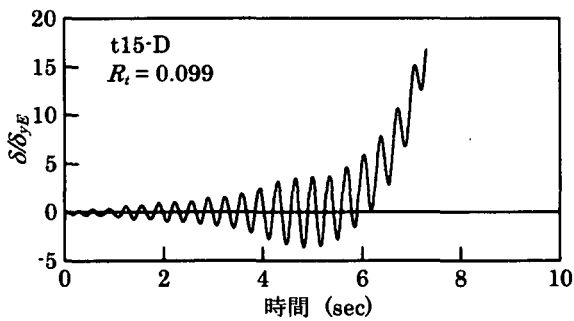
(c) t15-R (応答変位載荷)



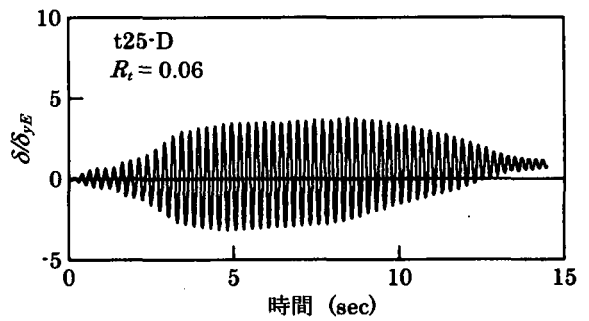
(c) t25-R (応答変位載荷)

図-7 水平荷重-水平変位履歴曲線 ( $R_t=0.099$ )

図-8 水平荷重-水平変位履歴曲線 ( $R_t=0.06$ )



(a) t15-D



(b) t25-D

図-9 加振実験における鉛塊重心位置の応答変位波形

した慣性力（応答加速度から換算）と相対応答変位を用いている。また図-9には、これらの試験体の加振実験において鉛塊重心位置で測定された応答変位波形を示している。ただし、応答変位は降伏変位  $\delta_{yE}$  で無次元化している。これらの履歴曲線および応答変位波形より、加振実験ではほぼ正負対称な加振がなされているにもかかわらず、鉛塊の振動の中心が一方方向に移動しながら振動していることがわかる。また、応答変位載荷における履歴曲線は正弦波加振の場合と類似の挙動を示していることがわかる。

図-10には、 $R_t=0.099$  および  $0.06$  の試験体について、各載荷実験より得られた履歴曲線の包絡線を比較して示している。同図より  $R_t=0.099$  の場合には、加振実験から得られた包絡線は繰り返し載荷実験の結果とほぼ一致していることがわかる。しかしながら、応答変位載荷実験との比較では最大耐荷力以降に差異が認められる。一方、 $R_t=0.06$  の場合には、加振実験の包絡線はそ

の最大耐荷力までは繰り返し載荷実験とほぼ一致しているものの、耐荷力の劣化開始が繰り返し載荷実験に比較して早く、またその劣化の変位に対する進行度も大きい。これは、径厚比が小さい場合には、繰り返し載荷実験の結果から動的応答時の包絡線を必ずしも評価できないことを示唆している。

### 3.4 最大耐荷力および塑性率

一般に、鋼製橋脚の耐震性、特に耐荷力と変形性能は、静的繰り返し載荷実験から得られる最大耐荷力と塑性率により評価されている。また、鋼製橋脚の設計法の一つである動的応答解析に用いられる復元力モデル<sup>7)~9)</sup>は、この最大耐荷力と塑性率をもとに設定される場合が多い。本節では、最大耐荷力と塑性率におよぼす載荷方法の影響を検討する。なお、塑性率の考え方は種々提案されているが、ここでは、降伏変位  $\delta_{yE}$  に対する最大荷重時の変位  $\delta_m$  の比と定義することにする。

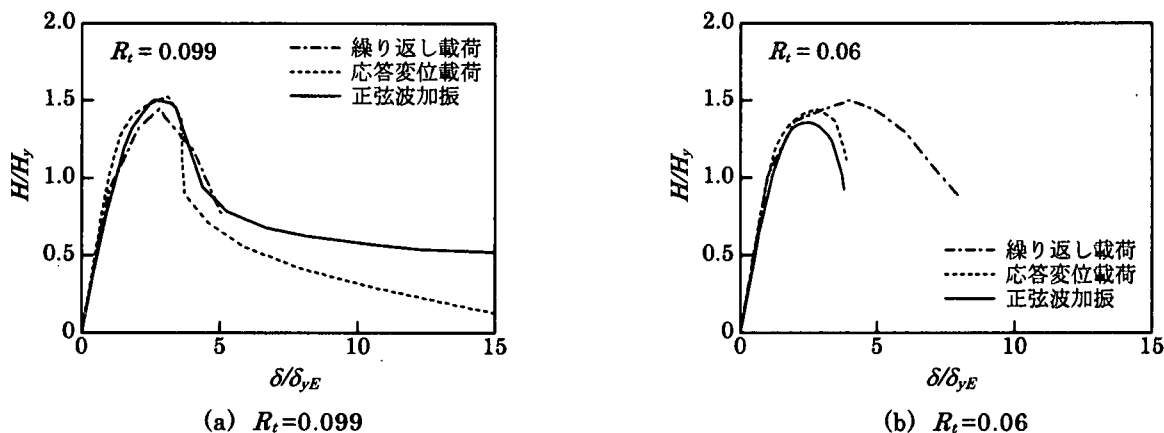


図-10 水平荷重-水平変位履歴曲線の包絡線

表-4 最大荷重および塑性率

試験体名	載荷方法	$R_t$	$\delta_{yE}$ (mm)	$H_m$ (kN)	$H_m/H_y$	$\delta_m$ (mm)	$\mu_m = \delta_m/\delta_{yE}$
t10-C	繰り返し載荷	0.147	5.07	5.75	1.49	11.8	2.34
t15-C		0.099	5.62	8.76	1.45	15.8	2.82
t20-C		0.074	5.67	12.43	1.50	20.5	3.61
t22-C		0.068	5.74	13.96	1.52	23.2	4.04
t25-C		0.060	5.87	15.72	1.50	23.5	4.01
t15-R	応答変位載荷	0.099	5.62	9.20	1.52	17.4	3.09
t25-R		0.060	5.87	15.09	1.44	15.9	2.72
t10-D	正弦波加振	0.147	5.07	5.91	1.53	12.7	2.50
t15-D		0.099	5.62	9.11	1.50	14.9	2.66
t20-D		0.074	5.67	11.71	1.42	15.2	2.68
t22-D		0.068	5.74	12.70	1.39	14.6	2.54
t25-D		0.060	5.87	14.26	1.36	14.5	2.47

$\delta_{yE}$ : 実験での降伏変位,  $H_m$ : 最大水平荷重,  $\delta_m$ : 最大水平荷重時の水平変位

表-4に、各载荷実験から得られた降伏変位 $\delta_{yE}$ 、最大耐荷力(以下、最大荷重) $H_m$ 、最大荷重時の変位 $\delta_m$ 、塑性率 $\mu_m$ 等を一覧にして整理している。また図-11および図-12には、実験から得られた最大荷重 $H_m/H_y$ および塑性率 $\mu_m$ を径厚比パラメータ $R_t$ に対し整理して示している。ただし、最大荷重 $H_m$ は降伏荷重 $H_y$ で無次元している。

図-11より、加振実験から得られた最大荷重 $H_m/H_y$ は、 $R_t \geq 0.1$ において繰り返し载荷実験の結果とほぼ一致しているが、 $R_t < 0.1$ の領域では繰り返し载荷実験の結果に比較して小さな値を示していることがわかる。これは、図-12において加振実験の塑性率 $\mu_m$ が $R_t < 0.1$ の領域で繰り返し载荷実験の結果に比較して大きく減少していることと対応している。また、加振実験における塑性率は、 $R_t$ に依存せずほぼ $\mu_m = 2.5$ の一定値を示していることが注目される。一方、応答変位载荷実験における最大荷重 $H_m/H_y$ と塑性率 $\mu_m$ は、どちらも加振実験の結果とほぼ一致しており、同じ静的载荷である繰り返し载荷実験とは傾向が異なっている。この原因の一つとして負荷履歴の影響が考えられる。つまり、加振実験と応答変位载荷実験では比較的小さな変位振幅が数多く繰り返されるため、耐荷力の劣化が繰り返し载荷実験に比較して早く開始すると考えられる。以上の結果は、継続時間が長く繰り返回数が多い地震の場合には、必ずしも静的繰り返し载荷実験の結果から鋼管橋脚の耐荷力とじん性を評価できないことを示唆している。

### 3.5 エネルギー吸収能

図-13は、 $R_t = 0.099$ および0.06の試験体について、水平変位と各サイクルの履歴曲線の面積から求めたエネルギー吸収量の関係を示したものである。同図において水平変位は降伏変位 $\delta_{yE}$ で、またエネルギー吸収量は弾性エネルギー $\delta_{yE}H_y/2$ で無次元化している。

同図より、加振実験と応答変位载荷実験では、径厚比によらずエネルギー吸収量の増加傾向およびピーク点が両者でほぼ一致していることがわかる。最大値は $R_t = 0.099, 0.06$ でそれぞれ $\delta/\delta_{yE} \approx 3.5, 3$ の場合に発生している。この値は表-4あるいは図-10の $\mu_m$ の値とほぼ対応しており、最大耐力発生時にほぼ最大吸収エネルギーが期待できることを示している。加振実験と繰り返し载荷実験の結果を比較すると、エネルギー吸収量の増加傾向は両者でほぼ一致しているものの、ピーク点には差異が見られる。そのため、 $\delta/\delta_{yE} > 4$ の領域において、繰り返し载荷実験から得られたエネルギー吸収量は加振実験の結果をかなり上まわっている。この傾向は、径厚比が小さい $R_t = 0.06$ の試験体においてより顕著である。

### 4. まとめ

本研究では、鋼管橋脚の耐荷力と変形性能におよぼす载荷方法の影響を検討することを目的として、小型鋼管

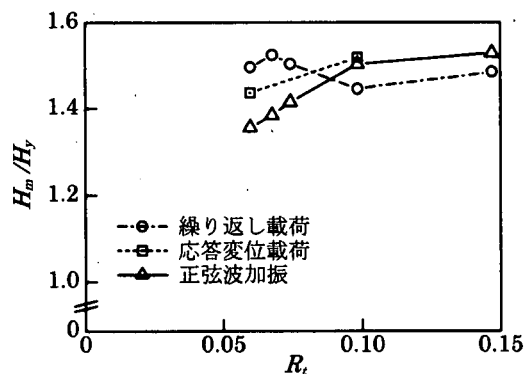


図-11 最大荷重におよぼす载荷方法の影響

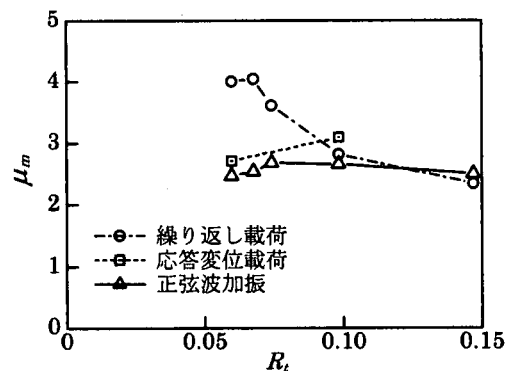
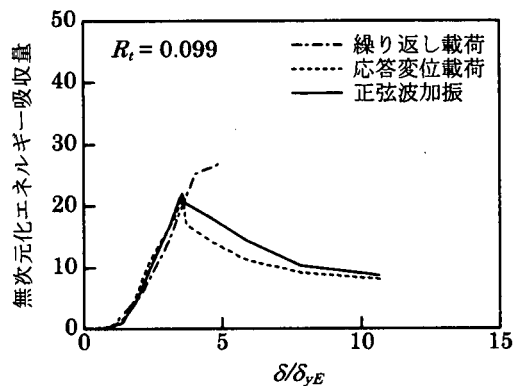
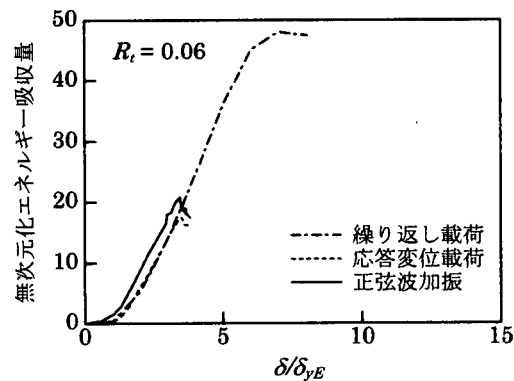


図-12 塑性率におよぼす载荷方法の影響



(a)  $R_t = 0.099$



(b)  $R_t = 0.06$

図-13 エネルギー吸収量におよぼす载荷方法の影響

橋脚模型を用いた静的漸増変位繰り返し載荷実験と基部正弦波加振実験を行なった。また、この加振実験から得られる相対応答変位波形を用いた静的繰り返し載荷実験を行ない、この実験から得られる履歴曲線、包絡線および局部座屈形状等を比較することにより、これらの実験法の工学的な等価性について検討を行なった。本実験の範囲内で得られた結果を要約すると、以下のように示される。

- 1) 正弦波基部加振の場合には、繰り返し載荷実験で現れるような全周に渡る象の脚型の局部座屈は見られず、加振方向の一方向にのみ局部座屈が発生する。
- 2) 加振実験から得られる最大耐力と塑性率は、径厚比パラメータが  $R_t \geq 0.1$  において繰り返し載荷実験の結果とほぼ一致するが、 $R_t < 0.1$  では繰り返し載荷実験の結果と比較して小さな値を示す。
- 3) 加振実験から得られた塑性率は、 $R_t$  に依存せずほぼ 2.5 の一定値を示す。
- 4) 変位履歴が同一の場合は、静的載荷実験から得られる最大耐力と塑性率は加振実験の結果とほぼ一致する。
- 5) 繰り返し載荷実験から得られるエネルギー吸収量は、変位の増加とともに加振実験の結果を過大に評価する傾向にある。
- 6) 以上の結果から、地震荷重下における鋼管橋脚の耐力とじん性は、漸増変位繰り返し載荷実験のみでは適切な評価を与えない可能性があることが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) 西川和廣, 山本悟司, 名取 暢, 寺尾圭史, 安波博道, 寺田昌弘: 既設鋼製橋脚の耐震性能改善方法に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.975-

- 986, 1996.
- 2) 小枝日出夫, 熱海明彦, 佐藤昌志, 岸 徳光: 鋼管橋脚の交番載荷実験と解析, 鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集, 土木学会, pp.161-168, 1997.
- 3) 小枝日出夫, 岸 徳光, 佐藤昌志, 小室雅人: 軸力と交番曲げを受ける円形鋼管柱の弾塑性挙動, 応用力学論文集, Vol.1, pp.1-10, 1998.
- 4) 後藤芳顯, 王 慶雲, 高橋宣男, 小畑 誠: 繰り返し荷重下の鋼製橋脚の有限要素法による解析と材料構成則, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.189-206, 1998.
- 5) 岸 徳光, 佐藤昌志, 小枝日出夫, 小室雅人, 小野信市: 正弦波加振を受けるコンクリート充填鋼管柱模型の弾塑性応答性状, 第2回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, 土木学会, pp.185-192, 1997.
- 6) 宇佐美勉, 才塚邦宏, 木曾英滋, 伊藤義人: ハイブリッド地震応答実験による鋼製橋脚の強震時挙動, 土木学会論文集, No.519/I-32, pp.101-111, 1995.
- 7) 鈴木森晶, 宇佐美勉, 寺田昌弘, 伊藤 努, 才塚邦宏: 鋼製箱型断面橋脚の復元力モデルと弾塑性地震応答解析, 土木学会論文集, No.549/I-37, pp.191-204, 1995.
- 8) 高久達将, 池田 茂, 岡本 隆, 松田 宏, 能登宥忍, 川井 豊: 鋼製橋脚のハイブリッド実験と非線形動的応答解析の比較, 鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集, 土木学会, pp.301-306, 1997.
- 9) 安波博道, 名取 暢, 村越 潤: 動的応答解析に用いる鋼管柱の復元力モデルについての検討, 土木学会論文集, No.612/I-46, pp.379-384, 1999.

(1999年11月19日受付)

## A COMPARATIVE STUDY BETWEEN DYNAMIC SHAKING TEST AND STATIC CYCLIC LOADING TEST FOR STEEL-PIPE PIER MODELS

Hideo KOEDA, Norimitsu KISHI, Kenji IKEDA, Masato KOMURO and Shinichi ONO

In order to investigate affection of loading methods on the ultimate loading capacity and ductility of steel-pipe bridge piers, static cyclic loading test with gradually increasing displacement amplitude and base excitation test with sinusoidal wave are performed by using small pipe pier models. And static cyclic loading tests following dynamic response displacement obtained from the excitation test are also performed. From these experiments, following results are obtained; 1) When radius-thickness ratio is small, ultimate loading capacity and ductility are severely different depending on the loading method; 2) Static cycling loading test following dynamic response displacement can give similar results to those obtained from base excitation test; 3) Local buckling mode generated near basement may not always coincide between static and dynamic loading test.