

I-57 鋼管橋脚模型の交番載荷実験

(株)日本製鋼所 室蘭研究所 正 員 長谷川 久
(財)北海道道路管理技術センター 正 員 小山田 欣裕
北海道開発局 開発土木研究所 正 員 佐藤 昌志
(株)日本製鋼所 室蘭製作所 正 員 熱海 明彦
(株)日本製鋼所 室蘭研究所 正 員 小野 信市

1. はじめに

兵庫県南部地震では、比較的靱性が高いと考えられてきた鋼製橋脚にも多くの損傷があったことが報告されている。これらの損傷の多くは、橋脚に軸圧縮力と繰返し水平力が作用したことにより発生したと考えられる。このことから、近年、繰返し荷重を受ける鋼製橋脚の弾塑性挙動に関する研究¹⁾が数多く行なわれている。特に、箱形断面のものに関しては、寸法比や軸圧縮力の大きさなどをパラメータとした詳細な実験的、理論的検討が行なわれている。しかし、箱形断面に比べ単位重量当たりの強度が大きく²⁾、力学的に有利と考えられる円形断面橋脚の研究例³⁾は少なく、その弾塑性挙動は明らかにされていない。しかも、実用上重要である細長比 10 を越える円形断面橋脚に関しては、実験、解析を含めその研究例はあまり見当たらない。

そこで本研究では、鋼管橋脚の耐震設計に必要な基礎資料を得ることを目的に、細長比 20 の鋼管供試体を用いた繰返し水平載荷実験を行ない、その弾塑性挙動、剛性低下、エネルギー吸収量などを求め、軸圧縮力および繰返し荷重の影響を調査、検討した。

2. 実験の概要

2.1 供試材および供試体

供試材は、JIS 規格の配管用炭素鋼鋼管(JIS G 3452 SGP 90A)を用いた。その機械的性質を表 1 に示す。機械的性質は、鋼管から製作した JIS 6 号試験片による引張試験により求めた。

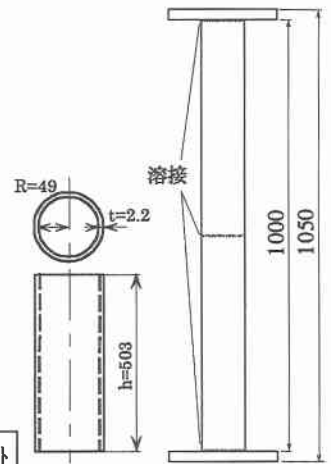
上記鋼管を所定の長さ切断後、旋盤により内外面を切削して図 1-a) に示す薄肉鋼管を製作した。この鋼管を 2 本突き合わせ溶接し図 1-b) に示す供試体を製作した。供試体端部の固定板には深さ 3mm の溝を加工し、この溝に鋼管をはめ込み、周溶接することにより供試体の上下端部の半径方向変位と回転を拘束した。表 2 に供試体の緒元を示す。

表 1 供試材の機械的性質

鋼 種	外径 (mm)	板厚 (mm)	降伏応力 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
SGP 90A	101.6	2.2	21.8	36.1	37.1

表 2 供試体の緒元

鋼管長さ	板厚中心半径	断面積	板厚	細長比	径厚比	断面2次モーメント
l, mm	r, mm	A, mm ²	t, mm	l/r	r/t	I, mm ⁴
1000	49	677	2.2	20.4	22.3	813541



a) 薄肉鋼管 b) 供試体

図 1 供試体の形状

Cyclic Lateral Loading Tests Using A Steel Pipe Pier Model.

by Hisashi HASEGAWA, Yoshihiro OYAMADA, Masashi SATO, Akihiko ATSUMI and Shinichi ONO

2.2 実験装置

実験装置の概要を図2に示す。水平方向の繰返し荷重は、電動式ジャッキ(ストローク 200mm)を用いて載荷した。載荷点は、供試体に水平および軸方向変位が生じて、それらを拘束することなく、荷重ができるだけ水平方向を保つような構造とした。水平方向および軸方向荷重の載荷位置はジョイントで接続されており、接続部が自由に回転することにより、供試体上端部の回転に対する拘束を防いでいる。軸方向荷重は油圧サーボ式試験機(静的 10tonf)によりローラーを介して上部載荷板に載荷することにより、供試体の水平変位および回転に関わらず常に鉛直下向きに作用するようになっている。水平変位は水平荷重載荷位置と供試体上端部(1000mm 位置)左右の3個所である。水平方向の荷重と変位は、容量 5ton のロードセルおよび容量 200mm のひずみゲージ式変位計で、軸方向の荷重は、容量 10ton のロードセルでそれぞれ計測し、これらの電圧信号をデジタルデータレコーダに記録した。

2.3 載荷方法

表3に載荷条件をまとめて示す。供試体基部が降伏応力に達する水平荷重 H_y を(1)式より、水平変位 δ_y を(2)式よりそれぞれ求めた。

$$H_y = \frac{(\sigma_{ys} - \sigma_N) \cdot \frac{I}{r}}{h_f} \dots\dots\dots (1)$$

σ_N : 軸力による鉛直応力
 σ_{ys} : 降伏応力
 h_f : 鋼管長さ

$$\delta_y = \frac{H_y h_f^3}{3 \cdot E \cdot I} \dots\dots\dots (2)$$

r : 板厚中心半径
 I : 断面2次モーメント
 E : 縦弾性係数 (21000kgf/mm²)

一方向の単調載荷と変動変位の繰返し載荷をそれぞれ軸力が無い場合と耐力の20%載荷の条件で行ない、繰返し載荷は図3に示すように各変位で1サイクルずつ載荷を行なった。

水平変位は供試体端部(1000mm)位置で制御し、変位速度は0.4mm/sで行なった。水平荷重載荷位置で測定された荷重は、モーメントから供試体上端部の荷重に換算した。

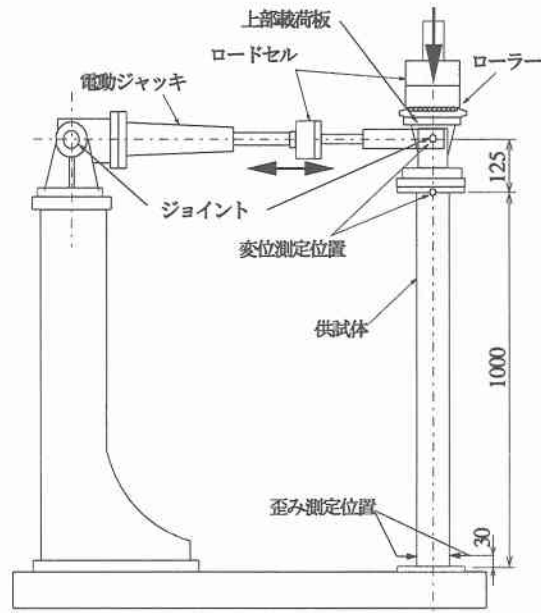
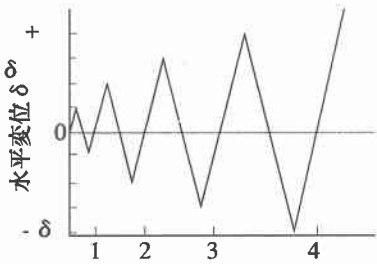


図2 水平載荷装置

表3 載荷条件			
σ_N / σ_{ys} %	鉛直荷重 kgf	H_y kgf	δ_y mm
0	0	362.7	7.1
20	2959.1	290.1	5.7



繰返し回数 N, 回
図3 繰返し載荷方法

3. 実験結果と考察

3.1 単調載荷実験

単調載荷は繰返し載荷に先立ち、その基礎的な挙動を知るため、軸荷重が無い場合と耐力の20%載荷した2条件について行なった。換算した水平荷重と水平変位の関係を、それぞれ H_y と δ_y で無次元化し図5に示す。これを見ると軸力が無い場合の供試体では $10\delta_y$ まで荷重が増加するのに比べ、軸力20%載荷の供試体では、 $3\delta_y$ で最大荷重となり、それ以降塑性変形による荷重の低下が見られ、軸荷重の載荷による強度低下が顕著に現れていることがわかる。

3.2 繰返し載荷実験

実験終了後の供試体の座屈変形状態を見ると、全周に供試体基部より25mm位置に凸状の局部座屈が見られた。軸力が無い場合は、載荷方向に大きくそれと直角方向に小さな凸状の局部座屈で、軸力20%載荷と比較すると小さな変形であった。図5に繰返し載荷実験における水平荷重－水平変位履歴曲線を示す。図5-a)の軸力が無い場合を見ると $9\delta_y$ までは各サイクルの最大変位で最大荷重となり、サイクル毎に荷重は増加していくが、座屈変形を起こす $10\delta_y$ 目のサイクルでは、最大変位の手前で、前サイクルより低い値で最大荷重を示す。図5-b)の軸力20%載荷を見ると $3\delta_y$ までは各サイクルの最大変位で最大荷重となっている。それ以降 $9\delta_y$ までは最大変位に達する前に最大荷重を示しているがサイクル毎に最大荷重は増加している。 $10\delta_y$ 目のサイクルで座屈変形により最大荷重は前のサイクルよりも低下する。細長比10.2、径厚比25.9の供試体に軸力を10%載荷した繰返し載荷実験³⁾では $5\delta_y$ から強度が低下したと報告されているが、本供試体のように細長比が大きくなると強度低下をおこすまでには多くの変位振幅が必要であると考えられる。

図6に繰返し載荷の各変位振幅の最大変位を結んだ包絡線を単調載荷の水平荷重－水平変位線図とともに示す。軸力が無い場合は $9\delta_y$ まで、軸力20%載荷では $8\delta_y$ まで変位振幅が増すごとに荷重は増大し単調載荷時の荷重を上回る結果となった。また、図7は水平荷重－水平変位履歴曲線から各ループが横軸($H=0$)を横切る点の勾配(正側)を求め、1サイクル目の弾性域の値で無次元化した値を剛性比とし水平変位に対してプロットしたものである。軸力が無い場合の剛性は $4\delta_y$ まで急

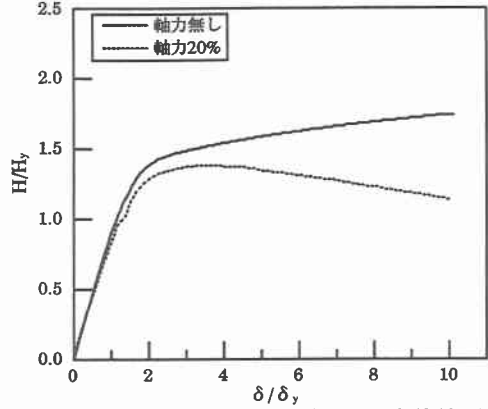


図4 単調載荷の水平荷重 - 水平変位線図

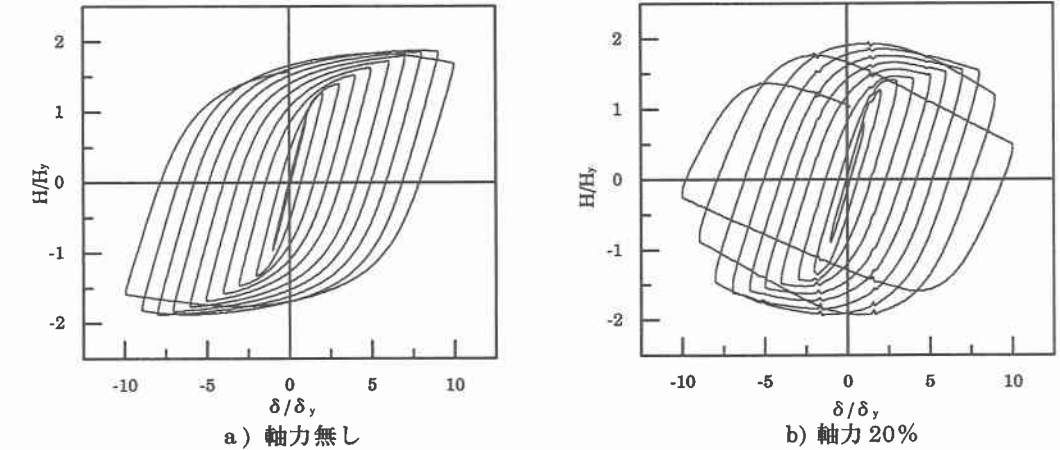


図5 繰返し載荷の水平荷重 - 水平変位履歴線図

激に低下し、それ以降座屈変形が起こるまでほぼ一定となる。軸力 20% 載荷では $4\delta_y$ 以降 $9\delta_y$ まで剛性の低下は見られず逆に若干上昇する傾向が見られる。一般に、径厚比が小さな場合、剛性は局部座屈、バウシinger 効果などの影響で繰返し載荷ごとに低下することが報告されている³⁾。しかし、本実験ではサイクル毎の最大荷重および包絡線荷重の増加が認められており、その原因として塑性域における繰返し硬化による剛性比の低下抑制などが考えられる。

図 8 に各水平方向変位振幅でのエネルギー吸収量(各サイクルのループの面積)を示す。サイクル毎にエネルギー吸収量は増大するが、軸力 20% 載荷の $10\delta_y$ 目のように局部座屈変形により剛性が低下するとエネルギー吸収量も小さくなる。

4. まとめ

本研究では、細長比 20 の鋼管供試体を用いた水平載荷実験を行ない、繰返し載荷による強度劣化、剛性低下などの考察を行なった。得られた結果をまとめて以下に示す。

- 1) 実験後の供試体には、基部より約 25mm 位置の全周に凸状の局部座屈変形が見られた。
- 2) 塑性域での繰返し硬化により、サイクル毎の最大荷重、包絡線荷重の上昇が見られた。
- 3) 細長比が大きくなると、強度低下を起こすまでに多くの変位振幅が必要である。
- 4) 剛性の低下率は、繰返し硬化により $4\delta_y$ 以降座屈変形が起きるまでほぼ一定となる。
- 5) 強度劣化の程度は、軸力が大きくなるほど大きくなる。
- 6) 局部座屈変形を起こすまでエネルギー吸収量は増大するが、同一の変位振幅では、軸力が大きくなるほどエネルギー吸収量は小さくなる。

現在、細長比の影響を検討するため、細長比 6 および 10 について実験を計画している。

参考文献

- 1) 宇佐美勉, 今井康幸, 青木徹彦, 伊藤義人: 繰返し荷重を受ける鋼圧縮部材の強度と変形能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 37A (1991), pp93-106.
- 2) 宇佐美勉, 青木徹彦, 加藤正宏: 鋼管短柱の圧縮および曲げ耐荷力実験, 土木学会論文集, 第 416 号 /I-13 (1990), pp.255-264.
- 3) 佐藤聖嗣, 佐藤昌志, 小山田欣裕, 当麻庄司: 鋼管橋脚模型の座屈特性に関する実験と考察, 第 51 回年次講演会講演概要集 第 1 部(A), (1996), pp14-15

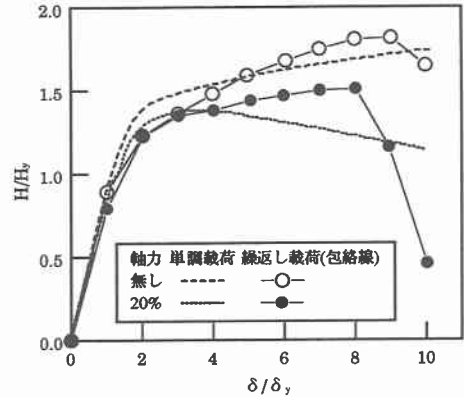


図 6 水平荷重-水平変位履歴曲線の包絡線

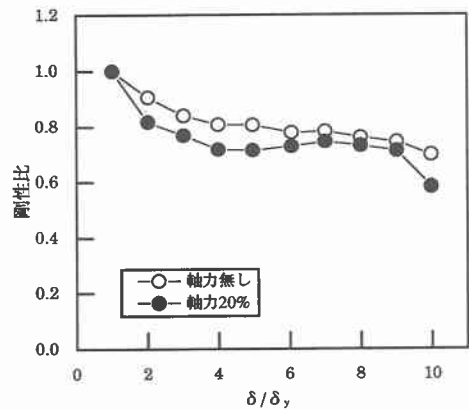


図 7 剛性比の変化

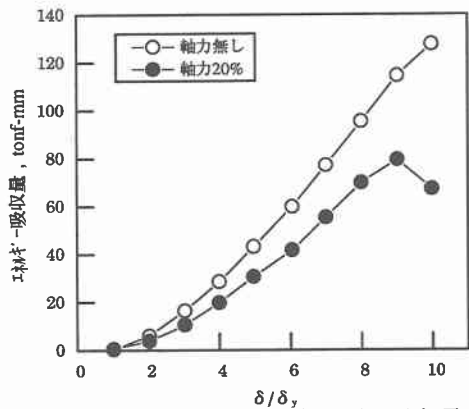


図 8 各サイクルのエネルギー吸収量