

繰り返し水平力を受ける鋼柱の強度と靱性に関する実験

熊本大学 ○学生員 金丸 宗由 学生員 富田 聡
正員 崎元 達郎 正員 渡辺 浩

1. まえがき 鋼製橋脚の耐震性の検討を目的として、無補剛箱形正方形断面の片持ち柱を10体製作し、上部構造を想定した鉛直一定軸力と地震力を想定した変位制御による水平荷重を準静的に繰り返し繰り返し載荷する基礎的な実験を行い、細長比、幅厚比が鋼製橋脚モデルの最大強度や靱性に関する考察を行った。この種の研究は、阪神・淡路大震災以来、大規模なものを含めて各研究機関で研究が進められているが、ここでは別途進めている簡易解析法との比較検討を主目的に実施した。

2. 実験概要

(1) 供試体 鋼製ラーメン橋脚等の橋軸方向の耐震性を検討することを目的として、片持ち柱脚を検討対象とし、正方形箱形断面の片持ち柱供試体を製作した。そこで細長比、幅厚比は実橋脚を調査した論文を参考に実橋脚に用いられている細長比パラメータ λ と幅厚比パラメータ R の範囲(図-1の長方形の領域)に属する供試体(B-2)を基準にして、細長比が0.4で幅厚比を変化させた3種類(A-1.A-2.A-3)と、0.3で幅厚比を変化させた2種類(B-1.B-2)を設定した。供試体のパラメータの分布を図-1に、供試体のパラメータ値と載荷方法を表-1に示す。表中の幅厚比 R 、細長比 λ の定義式を以下に示す。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad \lambda = \frac{K h}{r} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$$

ここで、 b =柱のフランジ板幅、 t =断面構成板の板厚、 σ_y =降伏応力、 E =弾性係数、 ν =ポアソン比、 k =純圧縮板の座屈係数(無補剛断面の場合4.0) K =有効座屈係数(片持ち柱2.0)、 h =柱長、 r =断面二次半径である。また、供試体名の先頭の文字は、Aが $\lambda=0.4$ 、Bが $\lambda=0.3$ であることを表し、次の数字は幅厚比パラメータ0.8,0.6,0.4の順に1,2,3と表している。供試体の側面図及び断面図を図-2に示す。供試体は板厚4mm,6mmがSS400、9mmがSM490Y相当材を使用した。箱型断面の4隅の溶接はレ型開先のグループ溶接(外側からのみ)とした。柱基部から水平荷重載荷点までの高さは $h=94\text{cm}$ で一定としダイヤフラムを柱基部と水平荷重載荷点に設置した。

(2) 残留応力実験 実際の耐荷力実験用供試体のフラン

ジ板と同一寸法(ただし、長さは総幅の4倍)、同一溶接条件の残留応力測定用供試体を5体製作した。供試体を短冊状に機械切断した前後のひずみを測定することにより求めた。圧縮及び引張残留応力の最大値を表-2に示す。図-3は残留応力分布の一例である。

表-2 残留応力測定値

供試体名	圧縮(σ_m)	引張(σ_n)
A-1	$0.15\sigma_y$	$0.79\sigma_y$
A-2	$0.20\sigma_y$	$0.88\sigma_y$
A-3	$0.18\sigma_y$	$0.86\sigma_y$
B-1	$0.15\sigma_y$	$0.84\sigma_y$
B-2	$0.14\sigma_y$	$0.87\sigma_y$

(3) 実験装置と載荷方法 図-4に実験装置を示す。まずフレームから吊したサーボ試験機(最大荷重50tonf)によって一定軸力 V を荷重制御により与え、反力壁に設置したサーボ試験機によって供試体頂部に水平変位を変位制御により与える。

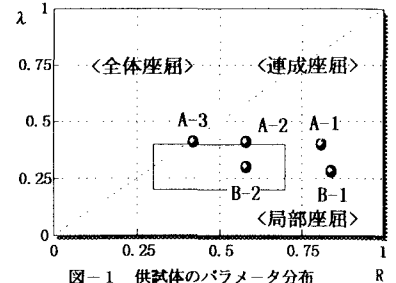


表-1 供試体パラメータ

供試体名	R	λ	軸力載荷荷重	水平力載荷方法
A-1-1	0.81	0.43	$0.15P_y$	1回繰り返し
A-1-2	0.81	0.43	$0.3P_y$	1回繰り返し
A-2-1	0.58	0.44	$0.15P_y$	1回繰り返し
A-3-1	0.42	0.44	$0.15P_y$	1回繰り返し
A-3-2	0.42	0.44	$0.15P_y$	3回繰り返し
B-1-1	0.84	0.3	$0.15P_y$	単回載荷
B-1-2	0.84	0.3	$0.15P_y$	1回繰り返し
B-1-3	0.84	0.3	$0.15P_y$	3回繰り返し
B-2-1	0.58	0.32	$0.15P_y$	1回繰り返し
B-2-2	0.58	0.32	$0.15P_y$	3回繰り返し

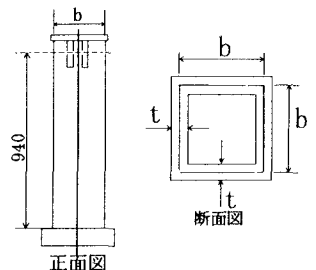


図-2 実験供試体

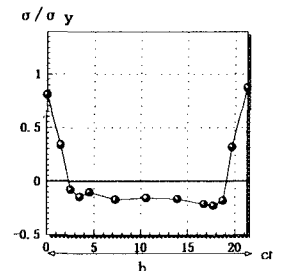


図-6 残留応力分布

水平変位の与え方は単調載荷、1 回繰り返し載荷($n=1$)、3 回繰り返し載荷($n=3$)の 3 通りである。単調載荷は降伏変位 δ_y の 10 倍になるまで載荷した。また、3 回繰り返し載荷の場合の載荷法を図-5 に示す。

3. 実験結果および考察

(1) **本実験の概要** まず所定の一定軸力 V を載荷した後、これを荷重制御で一定に保ちつつ、水平サーボ試験機を変位制御し、その反力として水平力 H を得た。いずれの供試体も脚部に写真 1 に示す局部座屈を生じ最終的には溶接部の開口により耐力を失った。局部座屈モードは柱基部フランジでは固定端からの距離 $0.35b$ の位置を頂点とする凹状の座屈変形となりウェブでは凸状の座屈変形が見られた(写真-1)。なお、以下の水平荷重-水平変位曲線の図に於いては供試体基部の剛体回転による水平変位の補正と鉛直サーボ試験機の傾斜に起因する水平力成分による水平力の補正を行っている。

(2) **単調載荷** 図-6 に B-1-1 (単調載荷) の結果を示す。図中の弾性理論値と記した破線は水平荷重のみが作用した時の水平荷重-水平変位の弾性解を示す。図中、水平荷重 H 及び水平荷重載荷点位置で測定された水平変位 δ をそれぞれ水平降伏荷重 H_y 及び水平降伏変位 δ_y で無次元化している。

(3) **繰り返し載荷回数別の比較** B-1-1 (単調載荷) B-1-2 (1 回繰り返し載荷) の比較を図-7 に示し、B-1-1 と B-1-3 (3 回繰り返し載荷) の比較を図-8 に示している。図-7 と図-8 との比較でもわかる様に繰り返し載荷は単調載荷に比べて、3 回繰り返し載荷は 1 回繰り返し載荷に比べて、強度劣化が促進される。

(4) **軸力別の比較** 一定軸力を降伏荷重の 15% とした A-1-1 (1 回繰り返し載荷) と 30% とした A-1-2 (1 回繰り返し載荷) の比較を図-9 に示している。図-9 から軸力が大きいほど最大荷重が小さくなり、強度劣化が著しくなっている。これは P - δ 効果により供試体基部に付加的な曲げモーメントが生じたためと思われる。

(5) **幅厚比別の比較** 実橋脚パラメータ範囲内のパラメータを持つ A-3-1 (1 回繰り返し載荷) の荷重変位曲線を図-10 に示している。幅厚比の小さい A-3-1 ($R=0.42$) ではひずみ効果の影響により一旦は強度の上昇が見られるが、局部座屈後、荷重は低下する。しかし、幅厚比の大きい ($R=0.84$) B-1-2 と比較するとその強度劣化は緩やかである。

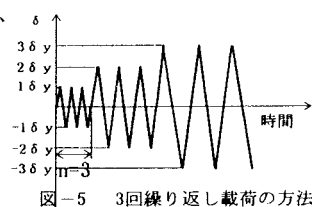


図-5 3回繰り返し載荷の方法

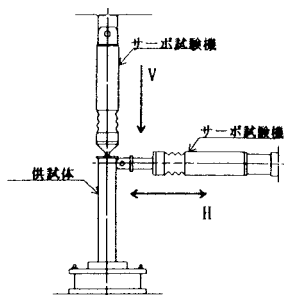


図-4 実験装置

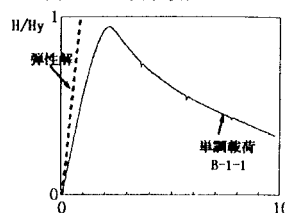


図-6 水平荷重-水平変位曲線 δ/δ_y

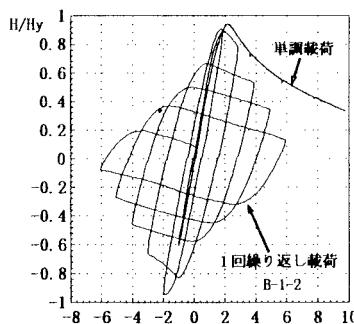


図-7 水平荷重-水平変位曲線 δ/δ_y

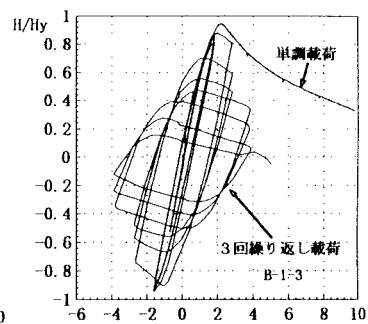


図-8 水平荷重-水平変位曲線 δ/δ_y

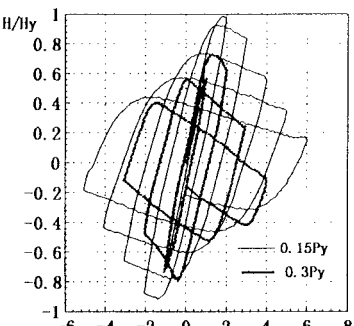


図-9 水平荷重-水平変位曲線 δ/δ_y

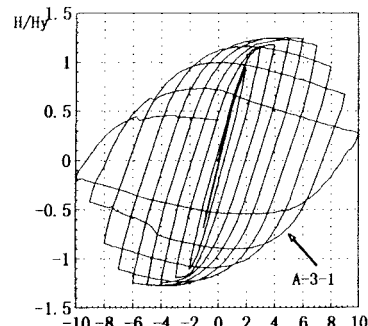


図-10 水平荷重-水平変位曲線 δ/δ_y



(写真 1) 柱基部の局部座屈

参考文献

- 鈴木森品, 他: 鋼製橋脚モデルの・・・土木学会論文集 No.507/I-30-99
中井博, 他: 鋼製ラーメン橋脚の実橋調査, 橋梁と基礎 82-6
宇佐美勉, 他: 繰り返し荷重を受ける鋼製・・・構造工学論文集 Vol.41A(1995 年 3 月)