

I - A67 鋼管橋脚の交番载荷実験と解析

日本製鋼所	正 員	小枝 日出夫
日本製鋼所	正 員	小 野 信 市
日本製鋼所	正 員	長谷川 久
北海道道路管理技術センター	正 員	小山田 欣裕
開発土木研究所	正 員	佐 藤 昌 志

1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に、繰返し水平荷重を受ける鋼製橋脚の弾塑性挙動に関する研究¹⁾が数多く行なわれるようになった。特に、矩形断面の橋脚に関しては詳細な検討が行なわれているが、力学的に有利と考えられる円形断面橋脚の研究例²⁾は少なく、その弾塑性挙動は明らかにされていない。一方、実験に要する費用や時間などの制約から、工学的には数値解析によって評価を可能にすることが肝要である。

本研究では、鋼管橋脚の耐震設計に必要な基礎データを得ることを目的として、鋼管試験体を用いた単調および繰返し水平载荷実験を行ない、耐荷力や変形性能などの調査、検討を行なった。また、この実験結果を比較対象とし、有限要素法による弾塑性大変形解析を行ない、実験結果を再現し得る解析条件を検討した。

2. 実験の方法と結果

本研究では、鋼種と軸力比を固定し、細長比と径厚比を変化させた実験を行なった。試験体の形状および実験装置の概要を図1に、また、試験体の寸法を表1に示す。試験体は、厚さ4.2mmの配管用炭素鋼管を機械加工して製作した。試験体の上下端部には、試験台および載荷板に固定するための厚さ25mmの鋼板を周溶接により取付けた。試験体の柱としての部材長 L は、下部の鋼板上面から水平荷重作用位置までの距離とした。

実験は、水平荷重載荷点での水平変位制御で行ない、変位速度は一定とした。載荷形態は、一方向の単調載荷と変動変位の繰返し載荷の2通りとした。また、軸力は降伏軸荷重 P_y の20%を定常的に作用させた。繰返し載荷の方法は、水平変位 δ を次式で定義する降伏水平変位 δ_y を基準にして各サイクルで漸増しながら繰返し与えた。

$$\delta_y = \frac{H_y L^3}{3EI}, \quad H_y = \frac{(\sigma_{ys} - P/A)I}{RL} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 H_y は鋼管基部が降伏応力に達するときの水平力、 P は軸力、 L は部材長、 R は平均半径、 t は板厚、 σ_{ys} は降伏応力、 A は断面積、 I は断面2次モーメントである。

繰返し載荷実験では、すべての試験体において基部から20～30mm高さの位置に、全周にわたる凸状の局部座屈が見られた。水平荷重—水平変位履歴曲線の最大変位点を結んだ包絡線を図2に示すが、細長比および径厚比の拡大にともない、最大荷重および最大荷重点での変位が低下することがわかる。しかし、最大荷重後の強度劣化におよぼす細長比および径厚比の影響は小さい。

水平変位と各サイクルのループの面積から求めたエネルギー吸収量の関係を図3に示すが、細長比が大きいほどエネルギー吸収

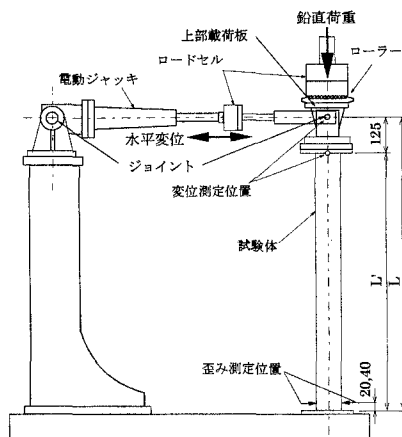


図1 実験装置の概要

表1 試験体寸法

試験体 No.	高さ L (mm)	半径 R (mm)	板厚 t (mm)	細長比 λ	径厚比 R/t
L10-t22-M	1125	49.0	2.2	0.67	0.038
L10-t22-C					
L5-t22-M	625	49.0	2.2	0.37	0.038
L5-t22-C					
L3-t22-M	425	49.0	2.2	0.25	0.038
L3-t22-C					
L3-t11-M	425	48.5	1.1	0.25	0.076
L3-t11-C					

キーワード：鋼管橋脚、局所座屈、弾塑性大変形解析

〒051 北海道 室蘭市 茶津町四番地 TEL 0143-22-9211 FAX 0143-23-5569

量が大きくなっている。これは、同じ曲げモーメントを与えた場合、細長比が大きいほど軸方向の応力勾配が緩やかであることから、その結果塑性化する範囲が大きくなるためと考えられる。

3. 弾塑性解析の方法と結果

本研究の解析対象は、一定軸力下で水平力を受ける片持ち鋼管柱であり、前項の水平載荷実験の結果を比較対象とした。解析は、汎用の構造解析プログラム MARC(K6.2)を用い、その対称性から鋼管の1/2について、下端固定、上端自由として行なった。上端には剛体板を介して鉛直下向きの一定荷重 P を定常的に作用させた状態で、水平変位 δ を降伏水平変位 δ_y を基準にして各サイクルで漸増しながら繰返し与えた。材料の応力-ひずみ関係は、円柱圧縮試験で得られた関係を用いた。降伏条件には von Mises の条件を用い、Update Lagrangian 手法により幾何学的非線形性を考慮した。また、硬化則は比較のために、等方硬化と移動硬化の両方について検討した。

図4は、単調載荷における試験体 L3-t22-M の水平荷重-水平変位曲線の解析結果を実験結果と比較して示しているが、解析値は実験値と非常によく一致している。図5は、試験体 L3-t22-M の水平荷重-水平変位履歴曲線の解析結果を実験結果と比較して示している。等方硬化則を用いた場合は、実験値に比較して荷重が大幅に大きくなっており、履歴ループの形も実験値とかなり異なっている。一方、移動硬化則を用いた場合は、荷重が実験値に比較してかなり小さく、また、実験のような除荷時の剛性の低下も見られない。これらの原因の一つとして、使用している硬化則の適合性が考えられる。等方硬化則では、降伏曲面の移動が行なわれず拡大するだけであるため、繰返し負荷に対する加工硬化を大きく見積もる傾向にある。一方、移動硬化則では、降伏曲面の中心が移動するだけで拡大は考慮されないため、加工硬化を表現できず荷重を過小評価してしまう。したがって、降伏曲面の中心が移動すると同時に、等方的な拡大や縮小も可能な硬化モデルを用いることにより、実験結果をよりよく再現できるものと判断される。

4. まとめ

本研究で得られた主な結果を以下に示す。

- 繰返し載荷実験では、細長比が小さいほど最大耐荷力は大きく、細長比が大きいほど各サイクルのエネルギー吸収量は大きくなる。また、径厚比に関しては、それが小さいほど最大耐荷力とエネルギー吸収量は大きい。
- 単調載荷における水平荷重-変位曲線の解析結果は、実験値とよく一致する。
- 繰返し載荷における水平荷重-変位履歴曲線の解析において、等方硬化則を用いた場合は荷重を過大に、移動硬化則を用いた場合は荷重を過小に評価する傾向にある。実験結果を再現するためには、混合硬化のような他の硬化モデルを使う必要がある。

（参考文献は省略）

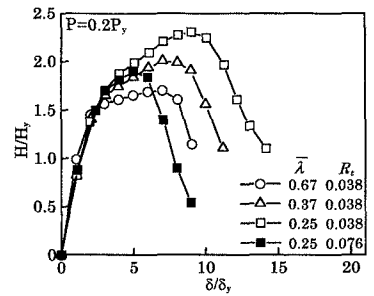


図2 最大荷重におよぼす各パラメータの影響

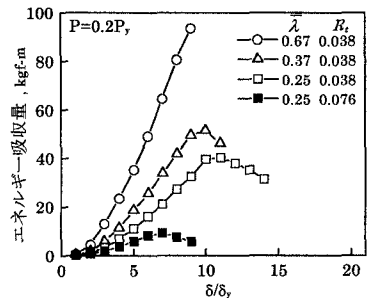


図3 エネルギー吸収量におよぼす各パラメータの影響

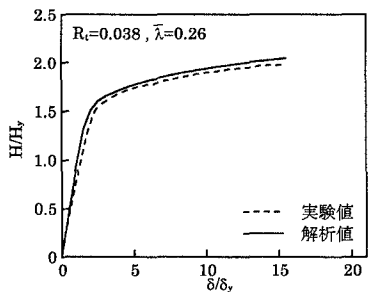


図4 水平荷重-水平変位曲線の比較（単調載荷）

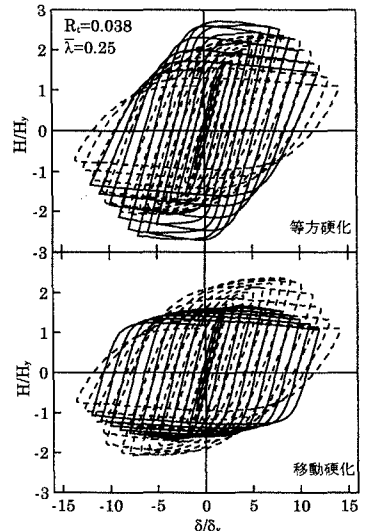


図5 履歴曲線におよぼす硬化則の影響