

径厚比パラメータが比較的細長い電縫鋼管の 耐力および変形能に与える影響

川井健吾¹・小野潔²

¹学会員 早稲田大学創造理工学研究科 建設工学専攻(〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

²正会員 博士(工学) 早稲田大学創造理工学部 教授 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

1. 研究目的

図-1 山岳部の多柱式ラーメン構造に用いられる場合のある細長比パラメータの大きい電縫鋼管橋脚の塑性域での耐力および変形能を考慮した設計法を確立するためには、部材が地震力等の繰り返し荷重を受けた際の弾塑性挙動を把握する必要がある。

鋼製橋脚の弾塑性挙動を把握する手法としては二つある。一つは実際の部材を模した供試体を用いた実験による手法であり、もう一つは局部座屈の影響を考慮できる弾塑性有限変位解析による手法である。既往の研究^{2),3)}によれば、鋼材の塑性履歴特性を精度よく表現することができる構成則を用いた弾塑性有限変位解析により鋼製橋脚の弾塑性挙動を精度よく再現できることが明らかになっている。弾塑性有限変位解析による手法は、解析が実挙動を確実に再現しているかその妥当性が問題となる。このため、解析により評価を行う前に実験によって実挙動を確認する必要がある、解析結果が実験結果を再現できることを確認した場合でのみ、解析による検討が可能となる。よって、まずは実験で電縫鋼管を橋脚として使用したときの弾塑性挙動を確認することが重要である。さらに既往の研究^{4),5),6),7)}では過去に電縫鋼管の耐力・変形能に関する研究報告はあるものの、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が1.2程度の $\bar{\lambda}$ の大きいものについては報告例は少ない。そこで本稿では、正負交番荷重実験の結果をもとに、弾塑性有限変位解析の解析結果と実験結果との比較を行い解析手法の検討を行うとともに、径厚比パラメータ R_t が細長比パラメータの大きい電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に与える影響を考察するため細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を一定($\bar{\lambda}=1.2$)として、径厚比パラメータ R_t を変化させたパラメトリック解析を行った。

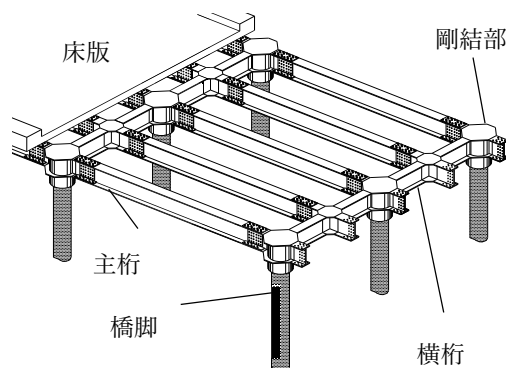


図-1 構造概念

2. 実験の概要

(1) 実験供試体

図-2に実験供試体の概要と実験状況、表-1に正負交番荷重実験の供試体諸元および主な座屈パラメータを示す。実験供試体で用いた電縫鋼管はSKK490であり、表-1に示す細長比パラメータは式(1)、径厚比パラメータは式(2)において降伏応力として公称降伏応力を用いて計算したものである。

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

ここで、 h ：水平荷重載荷点高さ
 r ：鋼管の断面2次半径
 σ_y ：鋼管の降伏応力度
 E ：弾性係数

表-1 供試体諸元

鋼種	外径 (mm)	板厚 (mm)	載荷点高さ (mm)	径圧比 パラメータ	細長比 パラメータ
SKK490	318.5	6	5280	0.068	1.202

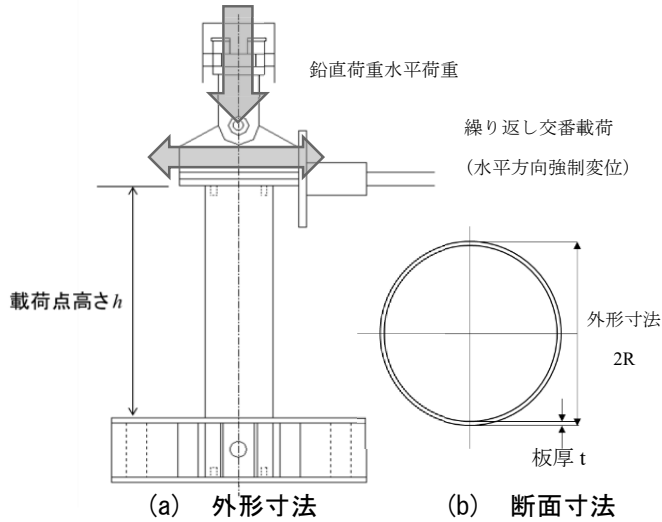


図-2 実験供試体概要, 実験状況

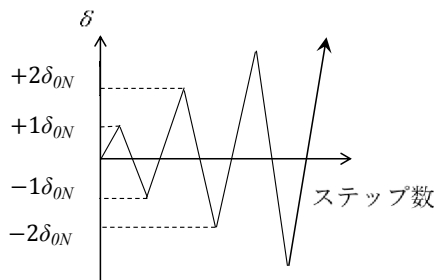


図-3 強制変位載荷パターン



図-4 解析モデル

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

ここで, R : 板厚中心位置での鋼管の半径
 t : 鋼管の板厚
 ν : ポアソン比 (=0.3)

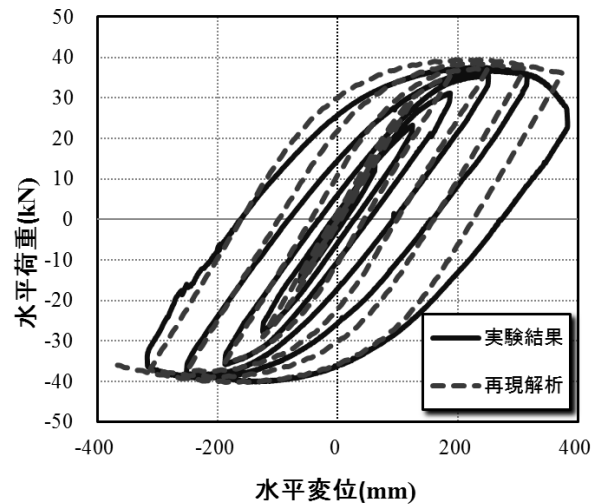


図-5 実験, 解析結果

(2) 載荷方法

実験は, 図-2に示すように, 供試体に降伏軸力の15%に相当する一定軸力を保持した状態で正負交番繰り返し載荷とした. 水平力は変位制御で与えることとし, 載荷パターンは式(3)を使用して基準となる水平変位 δ_{0N} を水平荷重 P_{0N} から算出し, 図-3に示す δ_{0N} の整数倍を片振幅として, $\pm 1\delta_{0N}$, $\pm 2\delta_{0N}$ ・・・と, 水平変位を漸増させたものである. なお, 水平荷重 P_{0N} については道路橋示方書に記載されている軸方向力と曲げモーメントを受ける部材の座屈に対する安定の照査に関する式⁸⁾を基に決定した

$$\delta_{0N} = \frac{P_{0N} h^3}{3EI} \quad (3)$$

3. 解析概要

本稿では弾塑性有限変位解析プログラム CYNAS^{2),3),9)}を用いて解析を行った. 図-4に示すように変形の大きい橋脚基部では分割を細かくし, 柱の上部は剛性の大きい要素を配置することで上部から柱断面に対して均等に力が加わるようにした. 水平変位の載荷パターンに関しては, 正負交番載荷実験のものと同じとした.

4. 解析結果との比較

実験結果と解析結果の水平変位-水平荷重関係を比較したものを図-5に示す. 最大水平荷重 P_{max} , 最大水平荷重時変位 δ_m を比較すると, 実験値と解析値で差は若干の誤差は見られるものの, 最大水平荷重点程度までの P - δ 関係については, 解析結果は実験結果を比較的精度良く再現できていることが分かる.

表-2 パラメトリック解析モデル

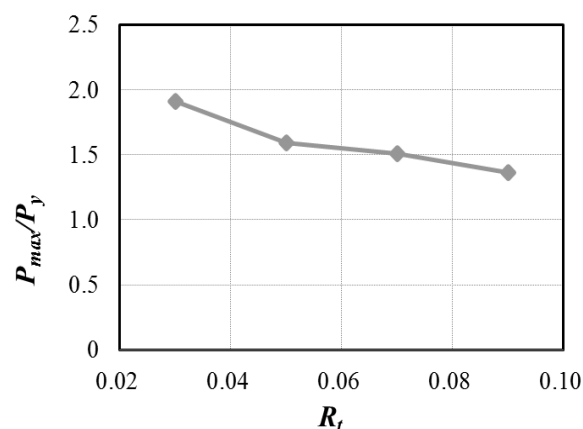
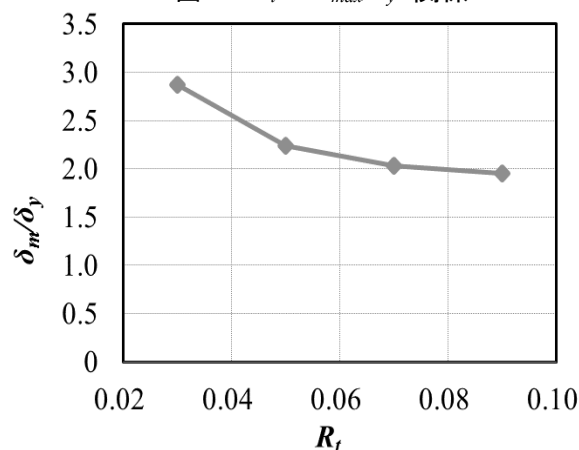
供試体名	12-3	12-5	12-7	12-9
鋼種	SKK490			
外径寸法 $2R$ (mm)	318.5			
板厚 t (mm)	18.9	11.3	8.1	6.4
載荷点高さ h (mm)	4309.6	4412.6	4457.6	4458.8
降伏応力 σ_y (N/mm ²)	432			
弾性係数 E (N/mm ²)	200000			
軸力比 N/N_y	0.11			
細長比パラメータ $\bar{\lambda}$	1.2			
径厚比パラメータ R_t	0.03	0.05	0.07	0.09

5. パラメトリック解析

径厚比パラメータ R_t が電縫鋼管を用いた構成橋脚の弾塑性挙動に与える影響を考察するため細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を一定 ($\bar{\lambda}=1.2$) とし、径厚比パラメータ R_t を 0.03~0.09 と変化させたパラメトリック解析を行った。解析モデルの構造諸元を表-2に示す。図-6は径厚比パラメータ R_t が P_{max}/P_y に与える影響、図-7は径厚比パラメータ R_t が δ_m/δ_y に与える影響を示す。これらの図から径厚比パラメータ R_t が大きくなるにつれ P/P_y , δ/δ_y とともに小さくなる傾向にあるということがわかる。また細長比パラメータ $\bar{\lambda}=0.4$ で一定として、径厚比パラメータ R_t を変化させた既往の研究¹⁰⁾と比較をすると、本研究の細長比パラメータの大きいモデルでは、径厚比パラメータが耐力、変形能に与える影響が小さく、特に変形能に対する影響は小さいということが確認できた。

6. まとめ

本稿では、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ の大きい電縫鋼管の耐力・変形能に関する研究報告はあるものの、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が 1.2 程度の $\bar{\lambda}$ の大きいものについては報告例は少ないため、正負交番載荷実験の結果をもとに、弾塑性有限変位解析の解析結果と実験結果との比較を行い解析手法の妥当性の検証を行った。さらに径厚比パラメータ R_t が細長比パラメータの大きい電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に与える影響を考察するため細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を一定 ($\bar{\lambda}=1.2$) とし、径厚比パラメータ R_t を変化させたパラメトリック解析を行った。パラメトリック解析では細長比パラメータが大きいモデルに関して、細長比パラメータが小さいモデルと比較すると、耐力、変形能に対して径厚比パラメータの与える影響が小さいということが確認できた。

図-6 $R_t - P_{max}/P_y$ 関係図-7 $R_t - \delta_m/\delta_y$ 関係

謝辞

本研究の解析は、「早稲田大学特定課題研究助成費（課題番号2016K-190）」により実施したものです。また電縫鋼管の正負交番載荷実験結果は、（国研）土木研究所、（株）オリエンタルコンサルタンツおよびJFE シビル（株）の共同研究（共同研究名：フーチングを有しない多柱式ラーメン構造の性能検証法）で行われたものです。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、(株)JFEシビル株式会社：メタルロード工法，<http://www.jfe-civil.com/doboku/metalroad/>.
- 2) 西村宣男，小野潔，池内智行：単調載荷曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式，土木学会論文集，No.513/1-31, pp.27-38, 1995.3.
- 3) S.HASHIMOTO, K.ONO and S.OKADA: AN EXPERIMENTAL STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES AND CONSTITUTIVE EQUATION OF SBHS500, Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), 2013.9.

- 4) 市川尚樹, 小野潔, 安積恭子: 細長比パラメータの比較的大きな電縫鋼管の弾塑性挙動に関する解析的検討, 土木学会第70回年次学術講演会, pp.517-518, 2015.9.
- 5) 市川尚樹, 小野潔, 奈良敬: 電縫鋼管の耐力・変形能および評価法に関する解析的検討, 土木学会第71回年次学術講演会, pp.519-520, 2016.9.
- 6) Naoki Icikawa, Kiyoshi Ono: An Analytical Study on Elasto-plastic Behavior of Electric Resistance Welded Steel Pipes, 11th German-Japanese Bridge Symposium, 2016.8.
- 7) 尾添仁志, 小野潔, 七澤利明, 河野哲也: 径厚比パラメータが小さい電縫鋼管の正負交番載荷実験, 第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.73-78, 2016.7.
- 8) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 2012.3.
- 9) 橋本祥太, 小野潔, 北市さゆり, 岡田誠司: 繰り返し塑性履歴を受けるSBHSの構成則に関する実験的研究, 第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム公演論文集, pp.385-390, 2013.7.
- 10) 安積恭子, 小野潔, 秋山充良: 径厚比パラメータが比較的大きい円形断面鋼製橋脚の耐震性評価法, 鋼構造年次論文報告集第23巻, pp.612-615, 2015.11.