

細長比パラメータの大きい電縫鋼管の耐力・変形能に関する解析的研究

早稲田大学創造理工学研究科 学会員 ○川井 健吾
JFE シビル(株) 正会員 尾添 仁志

早稲田大学創造理工学部 正会員 小野 潔
大阪大学大学院工学研究科 学会員 市川 尚樹

1. 研究目的

山岳部の多柱式ラーメン構造¹⁾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性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(以下、「弾塑性有限変位解析」と表記する。)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。そこで本稿では、正負交番載荷実験の結果⁴⁾を元に、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。

2. 実験の概要

2.1 実験供試体

図-1 に実験状況、表-1 に正負交番載荷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 に示す座屈パラメータは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。

2.2 載荷方法

実験は、図-1 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、載荷パターンは基準となる水平変位 δ_{0N} を水平荷重 P_{0N} から式(1)を使用して算出し、図-2 に示すように δ_{0N} の整数倍を片振幅として、 $\pm 1\delta_{0N}, \pm 2\delta_{0N} \dots$ 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⁵⁾を基に決定した。

$$\delta_{0N} = \frac{P_{0N} h^3}{3EI} \quad (1)$$

3. 解析概要

本稿では弾塑性有限変位解析プログラム CYNAS を用いて解析を行った。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。

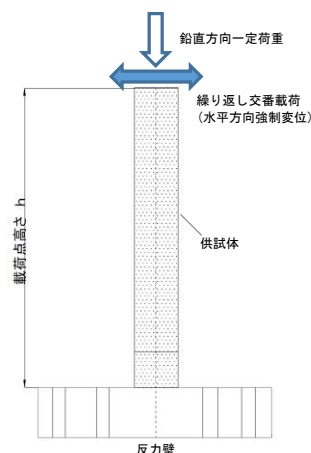


図-1 実験状況

表-1 供試体諸元

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

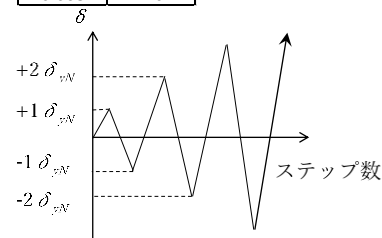


図-2 強制変位載荷パターン

キーワード 電縫鋼管, 細長比パラメータ, 弾塑性有限変位解析, 耐力, 変形能

連絡先 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学研究科建設工学専攻 TEL 03-5286-3387

4. 実験結果

細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が大きい本稿の供試体の水平荷重-水平変位関係を図-4 に示す。供試体は鋼管基部付近に局部座屈が確認されるのとはほぼ同時に最大水平荷重に達し、局部座屈の進展に伴って荷重が低下した。座屈モードとしては、鋼管の全周方向にわたり外側にはらみ出す提灯座屈であり、水平方向に配置した電気抵抗溶接部に関しても同様な挙動を示した。

5. 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-4 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 $P-\delta$ 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。

6. 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($\bar{\lambda}=1.2$)として、径厚比パラメータ R_t を 0.03~0.08 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-5 は径厚比パラメータ R_t が P/P_y に与える影響、図-6 は径厚比パラメータ R_t が δ/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 が大きくなるに連れ P/P_y 、 δ/δ_y ともに小さくなる傾向にあるということがわかる。特に、径厚比パラメータ R_t が大きいモデル、つまり板厚が薄く、細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ が大きいモデルについては全体座屈の影響により、耐力、変形性能共にほとんど変化していないことが確認でき、特に変形性能に関しては顕著にその特徴が現れた。

7. まとめ

本稿では、正負交番載荷実験結果を実施し、弾塑性有限変位解析と実験との比較を行った。本稿で使用した解析手法で電縫鋼管を使用した鋼製橋脚の最大水平荷重点程度までの弾塑性挙動を適切に評価できる可能性があることが分かった。またパラメトリック解析では細長比パラメータが大きく径厚比パラメータも大きい鋼管において径厚比パラメータは特に変形性能に大きく影響を与えない事が確認できた。

謝辞

本研究の一部は、「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。ここに記して謝意を示します。

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)尾添仁志，小野潔，七澤利明，河野哲也：細長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。
- 5) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2012.3。



図-3 解析モデル

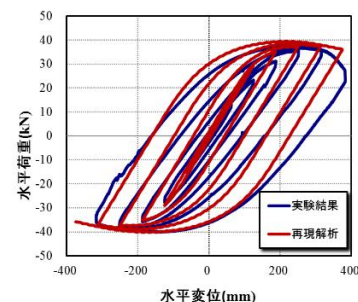


図-4 実験，解析結果

表-2 パラメトリック解析モデル

供試体名	12-3	12-5	12-7	12-8
鋼種	SKK490			
外径寸法 2R (mm)	318.5			
板厚 t (mm)	18.9	11.3	8.1	7.1
載荷点高さ h (mm)	4309.6	4412.6	4457.6	4471.8
降伏応力 σ_y (N/mm ²)	432			
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	0.08

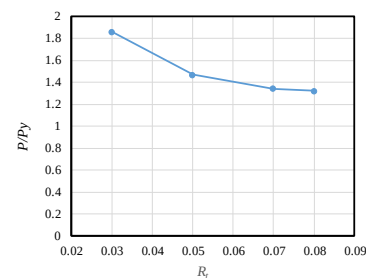


図-5 $R_t - P/P_y$ 関係

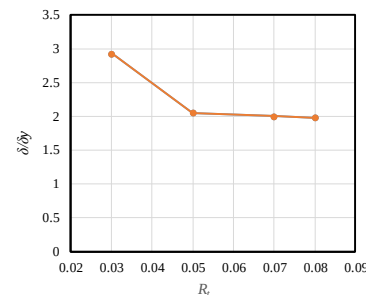


図-6 $R_t - \delta/\delta_y$ 関係