

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

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○市川 尚樹
大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

早稲田大学創造理工学部

正会員 小野 潔

1. 研究目的

切土や盛土が困難な山間部の急傾斜地の道路拡幅工事で使用されることのある多柱式ラーメン構造¹⁾では、橋脚としてSKKである電縫鋼管が用いられる場合がある。しかし、電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の耐震性能について十分に明らかにされているとは言いがたく、より合理的な耐震設計を行うには、その弾塑性挙動を明らかにする必要がある。鋼製橋脚の耐震性能を明らかにする場合、実験だけでなく、弾塑性挙動に関する情報を幅広く収集するため弾塑性有限変位解析が行われることが多い。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。

本稿では、土木研究所等の共同研究で行われた正負交番載荷実験の結果を基に解析手法の妥当性を検証し、径厚比パラメータが電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に与える影響の考察、既往の研究⁴⁾で提案される耐力及び変形能の評価法と解析結果の比較を行った。

2. 実験概要

表-1に実験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ている。載荷方法については、供試体に降伏軸力の20%に相当する一定軸力を与えた状態で、正負交番の水平変位を与えて行った。水平変位の載荷パターンは、図-1に示すようにベルヌーイ・オイラーの梁理論より求まる降伏水平変位 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。

3. 解析概要

解析は、弾塑性有限変位解析プログラムCYNAS²⁾を用いて行った。まずa)再現解析を行い実験結果との比較を行い解析手法の妥当性を検証し、b)パラメトリック解析を径厚比パラメータ $R_t=0.03, 0.05, 0.08$ の3パターンで行った。作成した解析モデルを図-2に示す。柱頂部の中心に鉛直荷重 N と水平方向の強制変位 δ を与えて解析を行った。また、柱断面に平均して荷重が作用するように、柱の上部には剛性の大きい要素を配置し、橋脚基部を細かく分割した。水平方向強制変位の載荷パターンについては実験と同様とした。解析に導入した構成則の材料定数は引張試験および繰返し材料試験の結果を基に決定した。なお、構成則に含まれる材料定数のうち、繰返し載荷に関する材料定数については、十分なデータが得られず、今後の材料試験結果を基に再検討する予定である。初期不整に関して、柱全体系初期たわみと溶接シーム部周辺の残留応力を考慮した。柱全体系初期たわみは以下の式(1)のたわみ導入した。

$$w_g(X) = \frac{L}{1000} \left(1 - \sin \left(\frac{\pi X}{L} \right) \right) \quad \cdots (1)$$

式(1)の X 軸方向は柱方向を示す。また、図-3に式(1)で表される初期たわみの模式図を示す。残留応力については、溶接シーム部に図-4に示す既往の研究⁵⁾から得られたスパイラル鋼管の残留応力分布を導入した。

4. 解析結果

a) 再現解析結果

図-5に実験結果と解析結果の比較を示す。図-5より、解析で実験の P - δ 関

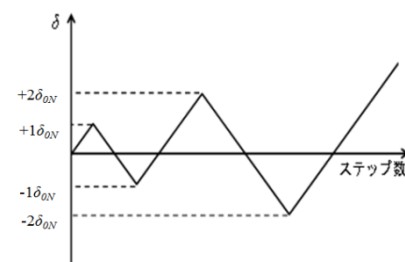


図-1 水平方向強制変位載荷パターン

表-1 実験供試体諸元

鋼種	外径(mm)	板厚(mm)	載荷点高さ(mm)
SKK490	323.9	14.3	1570
径厚比パラメータ		細長比パラメータ	
0.028		0.361	

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

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学研究科 TEL06-6879-7599

係を若干の誤差は見られるものの比較的精度良く表現できており、本解析手法は妥当であるといえる。

b) パラメトリック解析結果

パラメトリック解析結果から、径厚比パラメータ R_t が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。細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ を一定($\bar{\lambda}=0.361$)とし、径厚比パラメータ R_t を 0.03, 0.05, 0.08 と変化させた解析結果から得られた包絡線を比較して図-6 に示す。図-6 より、径厚比パラメータ R_t が大きくなるにつれて最大荷重 P_{max}/P_y 、最大荷重時変位 δ_m/δ_y ともに減少するという傾向が見られる。

5. 評価式の提案

既往の研究⁴⁾で提案される評価式(2)、(3)と解析結果の比較を行う。適用範囲は $0.03 \leq R_t \leq 0.08$, $0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 0.4$, $0 \leq N/N_y \leq 0.2$ である。

$$\frac{P_{max}}{P_y} = \frac{1}{2(\bar{\lambda}^{0.05} R_t^{0.3})} + 0.5 \quad \cdots (2)$$

$$\frac{\delta_m}{\delta_y} = \frac{1}{3(\bar{\lambda}^{0.05} R_t^{0.3})^3} - 0.8 \quad \cdots (3)$$

式(2)の P_{max}/P_y の評価式及び式(3)の δ_m/δ_y の評価式とパラメトリック解析結果との比較を図-7 及び図-8 に示す。実線の対角線は解析値と算定式の値の一致を、上下の点線は 10%の差を示すものである。図-7、図-8 より、式(2)、(3)で電縫鋼管の耐力および変形能を表現できる可能性があるといえる。

6. まとめ

本稿では、電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の耐力および変形能を明らかにするため、正負交番載荷実験の再現解析による解析手法の妥当性検証およびパラメトリック解析を行い、既往の研究⁴⁾で提案される耐力および変形能評価式との比較を行った。以下にその結論を示す。

- ・解析で実験の P - δ 関係を若干の誤差は見られるものの比較的精度良く表現できており、本解析手法の妥当性を確認した。
- ・径厚比パラメータ R_t が大きくなるにつれて P_{max}/P_y 、 δ_m/δ_y ともに減少する。
- ・既往の耐力及び変形能評価式で電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の耐力および変形能を評価することができる可能性がある。

今後、構成則に導入する材料定数、初期たわみや残留応力などの初期不整が電縫鋼管を用いた鋼製橋脚の弾塑性挙動に及ぼす影響について精緻な検証を行い評価式の妥当性についてもより詳細な検討を行う予定である。

謝辞：本稿で紹介させて頂いた電縫鋼管の引張試験結果および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。実験データを提供いただきました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)AN EXPERIMENTAL STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES AND CONSTITUTIVE EQUATION OF SBHS500, S.HASHIMOTO, KONO and S.OKADA, Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction(EASEC-13),2013.09。4)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能評価法、鋼構造年次論文報告集 No-14071, 2015。5) 小野潔、藪本篤、秋山充良、大西育平、白戸真大、西村宣男：軸圧縮力と 1 方向正負交番曲げを受けるスパイラル鋼管の耐震性能とその評価法、土木学会論文集 F Vol.66 No.2,301-318,2010.6。

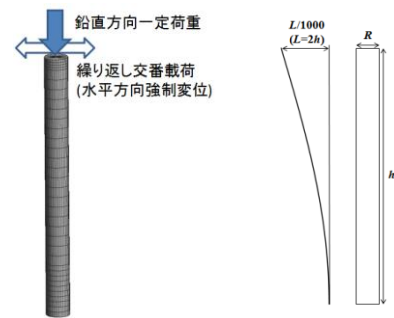


図-2 解析モデル 図-3 初期たわみ

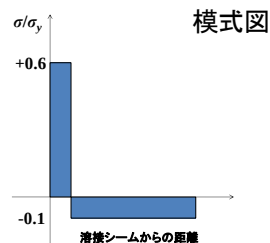


図-4 残留応力導入パターン⁵⁾

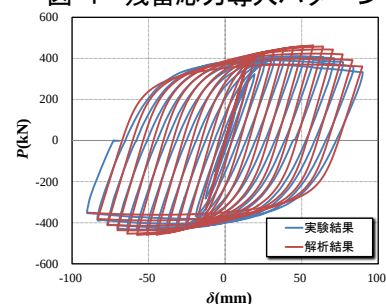


図-5 再現解析結果

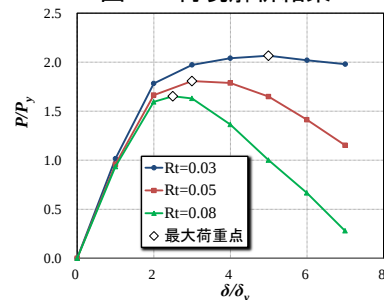


図-6 径厚比パラメータ R_t による影響

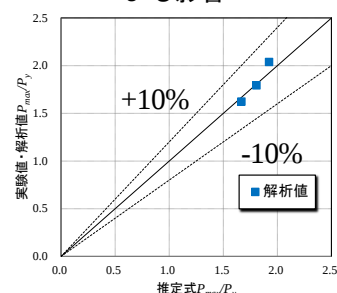


図-7 式(2)との比較

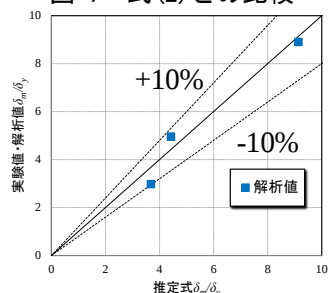


図-8 式(3)との比較