

スパイラル鋼管を用いた鋼製橋脚の耐震性能に関する解析的研究

大阪大学大学院工学研究科

学生員 ○大西 宵平

大阪大学大学院工学研究科

正会員 小野 潔

大阪大学名誉教授

フェロー 西村 宣男

大阪大学大学院工学研究科

正会員 奈良 敬

1. はじめに

公共構造物の建設コスト削減の観点から、従来鋼管杭として用いられてきたスパイラル鋼管を橋脚部材として活用することを考える。スパイラル鋼管は、工場で大量に生産される製造鋼管であるので、経済的な設計が可能であるが、その製造工程の関係で複雑な塑性加工を受け、溶接シームも螺旋状になるため、ベンディングロールで製作されることの多い鋼製橋脚と耐震性能が異なる可能性がある^{1), 2), 3), 4)}。鋼構造物の耐震性能を評価するためには幅広いデータの蓄積が必要であり、実験だけでデータの蓄積を行うのは現実的に不可能である。そこで、本研究ではコンクリートを充填しないスパイラル鋼管を対象に、まず実験結果⁵⁾との比較により解析手法の妥当性を確認し、シェル要素を用いた弾塑性有限変位解析を行い、スパイラル鋼管の耐震性能を定性的に明らかにした。

2. 解析手法の妥当性の検証

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の妥当性を検証する必要がある。そこで本検討では過去に著者らが行った実験⁵⁾と解析結果の比較を行うことでその妥当性を検証した。解析には弾塑性有限変位解析ソフト CYNAS を使用した。妥当性の検証の例として A9 供試体を示す。図-1 に A9 供試体の解析モデルを示す。スパイラル鋼管の溶接シームはベンディングロールと異なり螺旋状になるため、これを再現できるようにメッシュを作成した。図-1 の螺旋状の赤い部分が溶接シームに相当する。溶接シームの板厚はそれ以外の部分より 2mm 程度厚くなっていたため、解析モデルにおいてもこの板厚差を考慮した。また、解析モデルの溶接シームの傾きは、供試体の溶接シームの傾きと同様の 45° とした。さらに、ミルシートに記載の溶接部の引張り強さが一般部と比較して 10%程度大きかったこと、一般の構造用鋼用の溶接金属の強度は母材の 10%増し程度とされているとの報告⁶⁾があることを参考に、溶接シーム部の構成則の降伏応力度は母材部より 10%大きい値とした。また、残留応力は実測結果⁵⁾から、引張側で最大 $+0.6\sigma_y$ 、圧縮側で最小 $-0.15\sigma_y$ と設定し、自己平衡することを考慮して、図-2 に示すような溶接線方向成分の残留応力の溶接線直角方向の分布を解析に導入することとした。

図-3 に A9 供試体の実験結果と解析結果の水平荷重-水平変位関係の比較を示す。図中の●は実験で最大水平荷重に達した点で、○は解析で最大水平荷重に達した点をそれぞれ示している。図-3 より、最大水平荷重点以降の $P-\delta$ 関係では解析と実験で差が見られるものの、最大水平荷重点および最大水平荷重点付近までの $P-\delta$ 関係については、解析は実験を精度良く再現できていることがわかる。

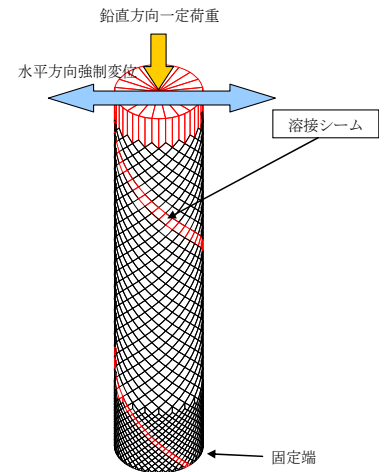


図-1 解析モデル(A9 供試体)

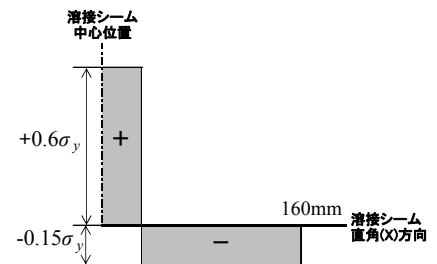
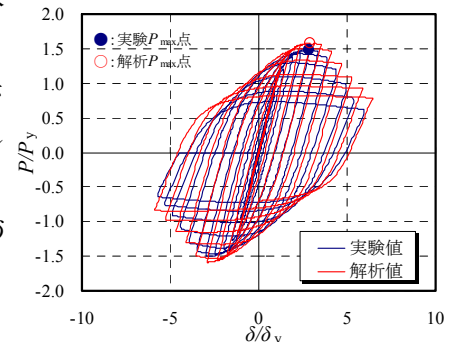


図-2 解析に導入した残留応力分布

図-3 解析結果と実験結果の $P-\delta$ 関係の比較

キーワード：スパイラル鋼管，耐震性能，径厚比，FEM 解析

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専攻 TEL:06-6879-7599

3. パラメトリック解析

(1) 溶接シームがスパイラル鋼管の耐力および変形性能に与える影響

スパイラル鋼管の溶接シームの傾きは直径、製造方法等により異なる。また、残留応力分布も、溶接方法・条件、製造方法により異なる。よって、溶接シームの変化が耐震性能に大きな影響を与えるとなると、スパイラル鋼管の耐震性能を製法、溶接方法・溶接条件ごと評価することが必要となる可能性がある。そこで、FEM 解析により溶接シームがスパイラル鋼管の耐力および変形性能に与える影響について検討を行った。表-1 に解析ケースとそれぞれ着目した溶接シームに関するパラメータを示す。

図-4 に解析 a～解析 c の解析結果の P - δ 関係を示す。図-4 より解析 a～解析 c の FEM 解析から得られる P - δ 関係については、残留応力を全く考慮しない解析 b で若干最大水平荷重が大きくなっているものの、それ以外の解析ケースは良く一致していることがわかる。よって、表-1 で設定した程度の溶接シームの特性値の違いが、スパイラル鋼管の耐力および変形性能に与える影響は小さいことがわかる。

(2) 径厚比がスパイラル鋼管の耐力および変形性能に与える影響

スパイラル鋼管の $P_{\max}$ および δ_m 等の耐震性能を表す指標に、径厚比が与える影響を検討するため、パラメトリック解析を実施した。そして、その解析結果をもとに、スパイラル鋼管の耐震性能について考察を行った。表-2 にパラメトリック解析の構造諸元を示す。

図-5 に R_t と $P_{\max}/P_y$ および δ_m/δ_y の関係を示す。 R_t の値が大きくなるにつれて、 $P_{\max}/P_y$ および δ_m/δ_y の値はいずれも小さくなる傾向があることがわかる。このような R_t が大きくなるにつれて $P_{\max}/P_y$ および δ_m/δ_y の値が小さくなる傾向は、既往のベンディングロール鋼管の耐震性能と同様のものである。

表-1 溶接シームの影響の把握を目的とした解析モデル

解析ケース	解析モデル	残留応力パターン	シーム角度
解析a	SP-9	図-2	20度
解析b		残留応力なし	20度
解析c		図-2	45度

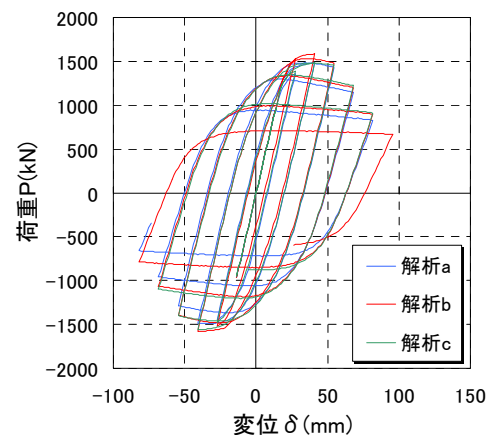


図-4 解析 a～解析 c の比較

表-2 パラメトリック解析モデルおよび解析結果

解析モデル諸元	SP-8	SP-9	SP-11
鋼種	SKK490		
t (mm)	19	16	14
D (mm)	900		
h (mm)	3,270	3,280	3,288
N (kN)	3,273	2,765	2,425
σ_y (N/mm ²)	415		
N/N_y	0.15		
λ	0.3		
R/t	23.7	28.1	32.1
h/D	3.6	3.6	3.7
R_t	0.077	0.092	0.105

4. まとめ

本稿では溶接シーム、径厚比の変化がスパイラル鋼管の耐震性能に与える影響について検証した。以下に結論の概要を示す。

- 溶接シームの特性値の違いが $P_{\max}$ および δ_m 付近までの塑性履歴曲線に与える影響は小さいものである。
- R_t が $P_{\max}/P_y$ および δ_m/δ_y の値に与える影響は、既往のベンディングロール鋼管の耐震性能と同様のものである。

【参考文献】

- 日野伸一，李重恒，太田俊昭，松田泰治，唐嘉琳：コンクリート充填鋼管柱を用いた多柱式合成橋脚の耐震性能に関する解析的検討，構造工学論文集，Vol.47A，pp.1423-1432，2001。
- 松村政秀，北田俊行，陵城成樹，杉原尚志：鋼管を用いた多柱式橋脚に関する一検討，第7回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.181-184，2004。
- 金治英貞，鈴木英之，野中哲也，馬越一也：履歴型ダンパー付き鋼管集成橋脚の損傷制御構造に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.50A，pp.559-566，2001。
- 西海健二，豊島径，金治英貞，林訓裕：鋼管集成橋脚における接続部のエネルギー吸収性能に関する実験的研究，第9回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.253-256，2006。
- 藪本篤：スパイラル鋼管を用いた鋼製橋脚の耐震性能に関する研究，大阪大学修士論文，平成20年3月。
- 金澤武，飯田國廣：溶接全書17 溶接継手の強度，産報出版。

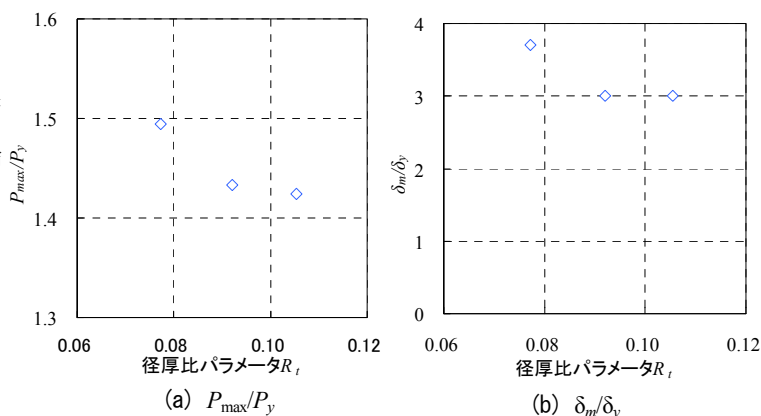


図-5 R_t と $P_{\max}/P_y$ ， δ_m/δ_y の関係