

第 部門 スパイラル鋼管を用いた鋼製橋脚の耐震性能評価に用いる解析の妥当性の検証

大阪大学大学院工学研究科	学生員	○ 藪本 篤
東京工業大学大学院理工学研究科	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. まえがき

公共構造物の建設コスト削減の観点から、従来は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が考えられる。しかし、スパイラル鋼管と従来橋脚としても用いられているベンディングロール鋼管では製造方法が異なるため、耐震性能が異なる可能性があり、スパイラル鋼管の正負交番載荷実験を実施した¹⁾。その結果、耐力、変形性能はベンディングロール鋼管と同程度であることを確認したが、溶接部の影響で外観的な局部座屈性状に明らかな違いが観察された。

スパイラル鋼管を用いた鋼製橋脚の耐震性能の評価手法を確立するためには、実験結果だけでは不十分なため、本研究では座屈モードにも着目しながら、スパイラル鋼管の耐力及び変形性能を解析により評価することを目的とした。そのため、本稿では耐震性能評価に用いる解析プログラム CYNAS²⁾の妥当性の検証について報告する。



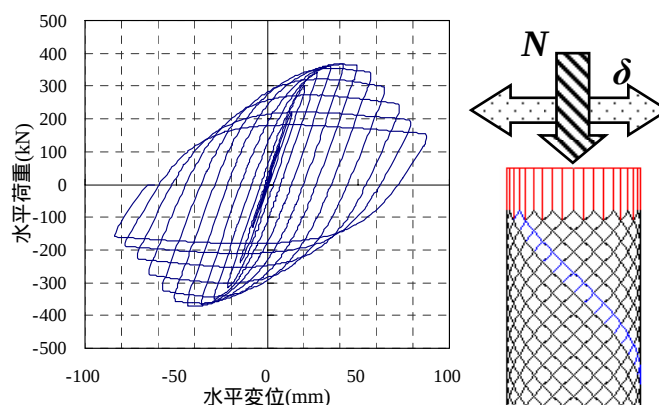
写真-1 試験装置

表-1 供試体諸元

供試体	鋼材	直径 D (mm)	板厚 t (mm)	径厚比 R/t	載荷点高さ h (mm)
A9-P	SKK490	400	9	22.2	1805
		軸力比 N/N_{yN}		細長比パラメータ λ	
		0.15		0.33	
				径厚比パラメータ R_t	
				0.056	

2. 実験の概要

写真-1 に試験装置の写真を、表-1 に供試体の諸元を示す。鋼種は SKK490 で、載荷は、鉛直方向軸力一定のもとで、初期降伏水平変位 δ_{yN} を基準に正負繰り返し水平荷重を静的に載荷した。以上のような実験により得られた P - δ 関係を図-1 に示す。

図-1 P- δ 関係

3. 解析の概要

本研究室で使用している弾塑性有限変位解析プログラム CYNAS の妥当性を検証した。作成した解析モデルを図-2 に示す。要素分割は溶接部の板厚と残留応力を考慮するため、らせん形の溶接部に沿って斜めに分割した。柱頂部にフタを設けてその中心の一点に鉛直荷重 N と水平強制変位 δ を載荷した。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、変形の大きい橋脚基部を細かく分割した。実際、溶接部の板厚は母材部に比べ、2~3mm 厚くなっている¹⁾。

そこで、らせん形の溶接部を考えないモデル

らせん形の溶接部の板厚を 2mm 上げたモデル

らせん形の溶接部の板厚を 2mm 上げ、残留応力を図-5 のように導入したモデル

の 3 種類のモデルで実験の再現解析を行った。

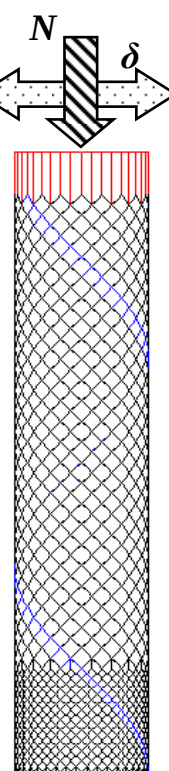


図-2 解析モデル

4. 解析結果 溶接部の影響を考慮しない場合

図-3 に P - δ 関係について、実験結果と解析結果を比較したものを示す。また、表-2 に最大荷重と最大荷重時変位の実験と解析の誤差を示す。 P_{max} 、 δ_m 共に、実験と解析の誤差は 10% 以内であり、最大荷重付近までは精度良く再現できたと考えられる。しかし、図-4 に示す変形形状を見るとベンディングロール鋼管などに見られる提灯座屈変形が生じており、写真-2 に示す実験結果のような実験で見られたらせん形の溶接部の下側にへこむような変形は現れていない。

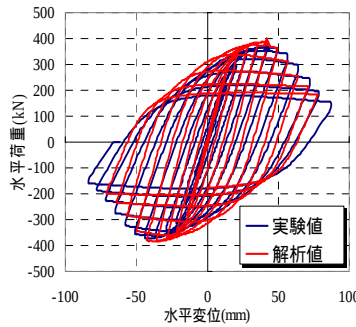
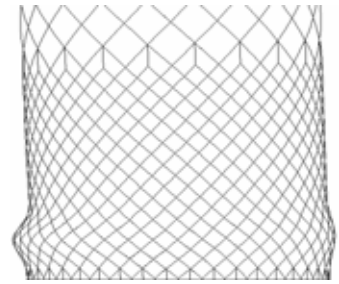
図-3 解析 P - δ 関係

図-4 変形形状 - 解析

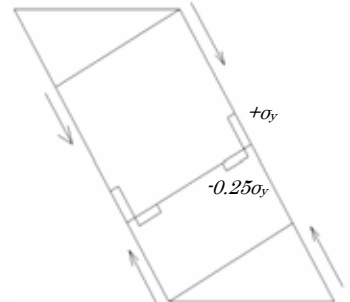


図-5 残留応力分布

溶接部の板厚の影響のみ考慮

溶接部の板厚のみ考慮した場合、表-2 の最大荷重時の実験と解析の誤差に示すように、溶接部の影響を考慮しない解析 と比べて差はない。変形形状も解析 と比べ大差はない。このことから、溶接部の板厚が母材部に比べて厚くなっていることが、スパイラル鋼管の耐力、変形性能にあまり影響していないことが分かる。

溶接部の板厚と残留応力の影響を考慮

解析 に導入した残留応力分布は、スパイラル鋼管を図-5 のように溶接線に沿って展開し、溶接線に平行な方向に、溶接部は引張残留応力 $+\sigma_y$ 、それにつり合うように、圧縮残留応力を $-0.25\sigma_y$ と仮定して解析を行った。解析結果の P - δ 関係を図-6 に示す。残留応力を導入しても、表-2 の最大荷重時の実験と解析の誤差に示すように、実験と解析の誤差は溶接部の影響を考慮しない解析 と比べて大差はなく、 P_{max} 、 δ_m 共に、実験と解析の誤差は 10% 以内であり、比較的精度よく再現できていると考えられる。また、変形形状についても、図-7 に示すようにらせん形の溶接部の下にへこむような変形が生じ、写真-2 に見られた座屈形状と同様の変形も確認できた。しかし δ_m については、他のモデルと比べ実験と解析の誤差が大きくなった。その原因としては、導入した残留応力が直接測ったものではなく簡単なモデルで仮定しているということと、そもそも変位はばらつくということが考えられる。

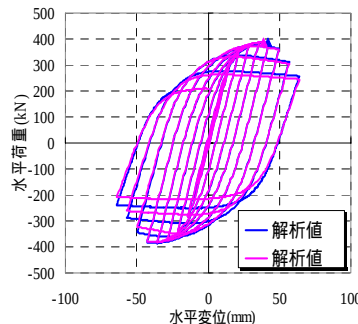
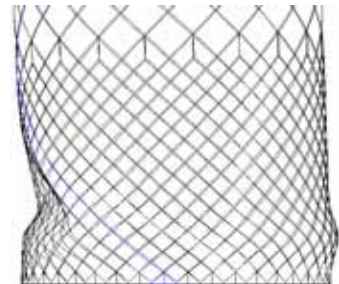
図-6 解析 P - δ 関係

図-7 変形形状 - 解析

表-2 実験と解析の比較

	実験	解析	解析 / 実験
P_{max} (kN)	369	386.5	1.05
δ_m (mm)	42.0	41.9	1.00

	実験	解析	解析 / 実験
P_{max} (kN)	369	387.2	1.05
δ_m (mm)	42.0	41.9	1.00

	実験	解析	解析 / 実験
P_{max} (kN)	369	387.5	1.05
δ_m (mm)	42.0	39.1	0.93



写真-2 変形形状 - 実験

5. 結論 以上のことから、本研究室で使用されている弾塑性有限変位解析プログラム CYNAS によって、スパイラル鋼管を用いた鋼製橋脚の耐力、変形性能及び変形形状を評価することが可能であることが分かった。しかし本研究では、残留応力分布等いくつかの仮定の下で解析を行っているため、今後より詳細に検討する必要がある。

【参考文献】1) 薮本ら：スパイラル鋼管の正負交番載荷実験，土木学会平成 19 年度関西支部年次学術講演会講演概要， -56. 2) 池内智行：鋼材の塑性履歴構成式の定式化と繰り返し外力を受ける鋼構造物の変形性能の評価への応用に関する研究，大阪大学学位論文，1998 年。