

京大工学部 学生員 ○山本 尚輝
 京大大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征
 京大大学院工学研究科 正会員 松村 政秀
 京大大学院工学研究科 正会員 鈴木 康夫

1. はじめに

スパイラル鋼管を橋脚に用いることで、安価な橋梁の製作が可能となる。しかし、スパイラル鋼管は電縫鋼管とは製造工程が異なり、溶接部が螺旋状になるため、スパイラル鋼管を橋脚に用いる場合の耐荷力・変形性能は明らかにされていない¹⁾。

そこで、本研究では、スパイラル鋼管の初期たわみおよび溶接部を考慮した解析モデルを用いて正負交番荷重解析を行い、スパイラル鋼管の耐荷力・変形性能を評価する。解析には汎用有限要素解析コード ABAQUS(ver.6.14)を用いる。

2. 対象橋脚および解析モデル

対象橋脚は、鋼管径 400mm、鋼管高さ 1800mm、溶接角度 45° のスパイラル鋼管とし、鋼管板厚 $t=6, 7, 9\text{mm}$ の 3 パターンを設定した。鋼部材の材質は SKK490 を想定し、降伏応力 σ_y は 315N/mm^2 、引張強度は 490N/mm^2 、降伏後の二次勾配は $E/100$ (E : 鋼材の弾性率= 210000MPa) のバイリニア型の応力ひずみ関係を仮定し、移動硬化則を考慮する。また、溶接部の降伏応力および引張強度はそのほかの部分に比べて 10% 高く、板厚は内側と外側に 2mm ずつ厚くなるようモデル化している²⁾。初期たわみは、図 2.1 に示すように全体系と、局所系の初期たわみの和を与えている。簡単のため残留応力は考慮していない。

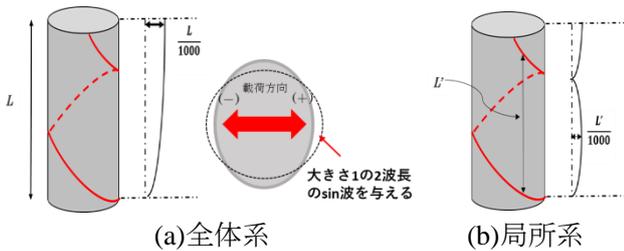


図 2.1 初期たわみ

解析モデルはシェル要素を用い、鋼管底部を完全固定し、鋼管上部中央に設置した参照点と鋼管上部を結合し、参照点に強制変位を与えている。解析ステップは一定軸力(軸力比 0.1)を載荷した状態で、式(1)より求まる降伏変位 δ_y を基準として、 $1\delta_y$ ずつ漸増させた正負の振幅を 1 回ずつ与える。

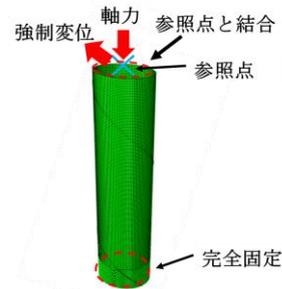


図 2.2 解析モデル

解析ケースは、初期たわみおよび溶接部の影響を考慮できるように、表 2 に示すように 6 ケースを設定し、計 18 ケースの解析を実施した。また、終局状態を、最大荷重到達後はじめて最大荷重の 95% まで荷重が低下するときとし、塑性率を式(3)で定義する。エネルギー吸収量 E は荷重-変位の履歴ループにおける、各サイクルで囲まれた領域の面積とし、式(4)に示す弾性エネルギー E_0 で無次元化する。

$$\delta_y = \frac{P_y h^3}{3EI} \tag{1}$$

$$P_y = \left(\sigma_y - \frac{N}{A}\right) \frac{W}{h} \tag{2}$$

$$\mu_{95} = \frac{\delta_{95}}{\delta_y} \tag{3}$$

$$E_0 = \frac{1}{2} P_y \delta_y \tag{4}$$

ここで、 h : 鋼管高さ、 I : 鋼管の断面二次モーメント、 N : 軸力、 A : 鋼管の断面積、 W : 鋼管の断面係数、 δ_{95} : 終局時の変位、 P_y : 降伏荷重。

表 2 解析ケース

解析ケース	初期たわみ	溶接部の板厚	溶接部の強度上昇
a	有	+2mm	1.1 倍
b	無	+2mm	1.1 倍
c	有	+0mm	1.1 倍
d	有	+2mm	無
e	有(※)	+2mm	1.1 倍
n	無	+0mm	無

(※)…局所系の初期たわみの;正負を反転させている

3. 解析結果

解析より得られる解析ケース a の包絡線を図 3.1 に示し、各解析ケースの P_{max}/P_y を表 3.1 に、塑性率 μ_{95} を表 3.2 に、終局までのエネルギー吸収能 E/E_0 を表 3.3 に示す。

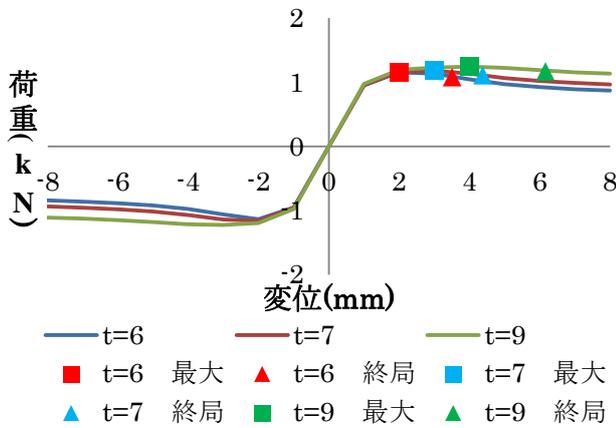


図 3.1 解析ケース a の包絡線

表 3.1 P_{max}/P_y

解析ケース	t=6	t=7	t=9
a	1.154	1.182	1.245
b	1.150	1.179	1.242
c	1.145	1.166	1.234
d	1.153	1.179	1.242
e	1.136	1.173	1.227
n	1.139	1.159	1.228

表 3.2 塑性率 μ_{95}

解析ケース	t=6	t=7	t=9
a	3.43	4.18	6.17
b	3.49	4.25	6.24
c	3.20	4.02	5.97
d	3.42	4.15	6.17
e	3.51	4.38	6.17
n	3.22	4.05	5.96

表 3.3 終局までのエネルギー吸収能 E/E_0

解析ケース	t=6	t=7	t=9
a	17.9	24.2	39.6
b	18.5	24.3	40.2
c	16.3	22.7	36.6
d	17.6	24.0	38.7
e	18.2	25.4	38.1
n	16.4	23.5	37.9

いずれの解析ケースにおいても、最大荷重時には鋼管外側にはらみだす象の足座屈が鋼管基部に発生していた。座屈性状に差は見られなかったため、t=9 の a の変形図を図 3.2 に示す。

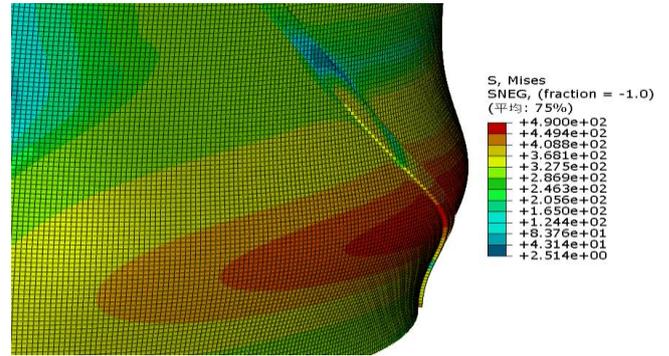


図 3.2 t=9 の a の最大荷重時の変形図(変形倍率 3 倍)

解析結果の表より、耐力・変形性能は溶接部の強度上昇を考慮しない d でほとんど変化せず、溶接部の板厚差を考慮しない c で低下することがわかる。また、内側にへこむ局所的な初期たわみを導入した e では最大荷重が a よりも小さいが、変形性能が向上している。いずれのケースにおいても、初期たわみおよび溶接部をモデル化した a の耐力・変形性能との差は 10%未満である。

4. 結論

本研究ではスパイラル鋼管の初期たわみおよび溶接部をモデル化し、正負交番荷重解析を実施することで、スパイラル鋼管の耐力・変形性能を検討した。主な結論は次の通りである。

- 1) スパイラル鋼管の初期たわみおよび溶接部をモデル化することで、耐力には 2%未満の、塑性率・エネルギー吸収能には 10%未満の影響がある。
- 2) 初期たわみのモデル化によって耐力・変形性能は増減する。

今後、初期たわみ・残留応力の測定および解析モデルへの導入を行うとともに、載荷実験を実施し、スパイラル鋼管の耐力・変形性能の評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 木村祥裕, 小川利行, 佐伯栄一郎: 製造方法の異なる冷間成形鋼管の局部座屈挙動, 鋼構造工学論文集, Vol.8, No.29, pp.295-300, 2001
- 2) 小野潔, 藪本篤, 秋山充良, 大西宵平, 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, Vol.66, No2, pp.301-318, 2010