

## スパイラル鋼管を用いたCFT部材の耐震性能評価に関する解析的検討

(一財)阪神高速先進技術研究所 正会員 ○赤松 伸祐

阪神高速道路(株) 正会員 小坂 崇 非会員 岡上 政史 非会員 吉原 瑞貴

### 1. はじめに

スパイラル鋼管は既製品であることからベンディングロール鋼管に比べ安価となる場合がある。しかし、スパイラル鋼管は、製造過程で複雑な塑性変形を受けることや溶接シームが螺旋状に分布するため、橋脚として適用する場合、道路橋示方書・同解説Vの耐震設計編<sup>1)</sup>(以下、「道示V」という)に規定されるベンディングロール鋼管を対象とした耐震性能評価と異なる性能を示す可能性がある。

そこで、ダイアフラムを有するコンクリート充填スパイラル鋼管の正負交番載荷実験結果を、弾塑性有限変位解析(以下、非線形FEAという)により復元した上で、鋼管の細長比および径厚比をパラメータとした解析を実施し、スパイラル鋼管の溶接シームが耐震性能に及ぼす影響を分析するとともに道示式との比較を行った。

### 2. 解析条件

#### 2. 1 検討対象と解析モデル

汎用有限要素解析ソフトDIANA Ver10.2を用いて非線形FEAを行った。解析対象は、図-1に示すように、高さ3500mmのスパイラル鋼管に2000mmのコンクリートを充填し、充填直上にダイアフラムを設置する構造とした。解析に用いる要素は、鋼管を8節点曲面シェル要素、充填コンクリート6面体2次要素とした。鋼管の応力-ひずみ関係は移動硬化則を用いたバイリニアモデルとし、降伏応力は実験供試体の切り出し片による引張試験値である $\sigma_y=473\text{N/mm}^2$ とした。また、溶接シームの残留応力は、図-2に示す小野ら<sup>1)</sup>によって計測された分布を考慮した。充填コンクリートは、圧縮から引張へ移行時、引張から圧縮へ移行時に弾性剛性の回復を再現できる前川モデルを適用し、剛性回復係数は正負交番載荷実験結果とのキャリブレーションにより決定した。

図-3に別途実施した正負交番載荷実験と解析結果の荷重-変位関係の比較を示す。履歴挙動には若干の差がみられるものの、道示Vにおける鋼製橋脚の限界状態2に相当する最大水平荷重点は、ほぼ一致する結果となった。このことから、最大水平荷重および最大水平荷重時の変位であれば、設定したFEモデルで評価できると考えた。

#### 2. 2 パラメトリック解析

パラメトリック解析のモデル諸元を表-1に示す。着目する力学パラメータは、細長比パラメータ $\lambda$ および径厚比パラメータ $R_t$ とし、各パラメータはスパイラル鋼管の既製品の範囲を考慮した上で、道示Vに示されるコンクリートを充填した円形断面の鋼製橋脚の適用範囲を満足するものとした。なお、各パラメータ算出には公称降伏強度を用いた。荷重は、表-1に示す軸圧縮力を加えた状態で、水平方向には降伏変位 $\delta_y$ を基本として繰り返し漸増の強制変位を与え、各載荷サイクルにおける繰り返し回数は1回とした。

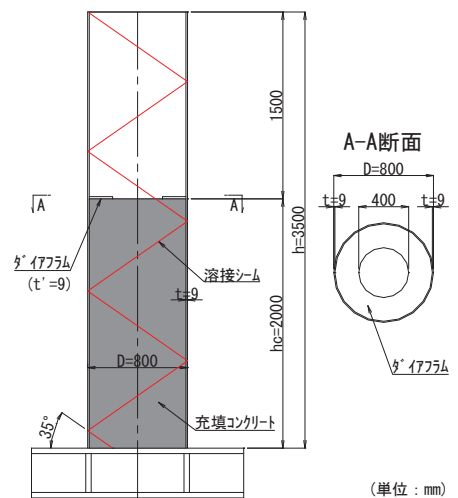


図-1 解析対象

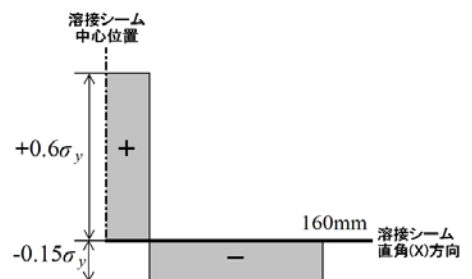


図-2 解析に導入した残留応力分布<sup>1)</sup>

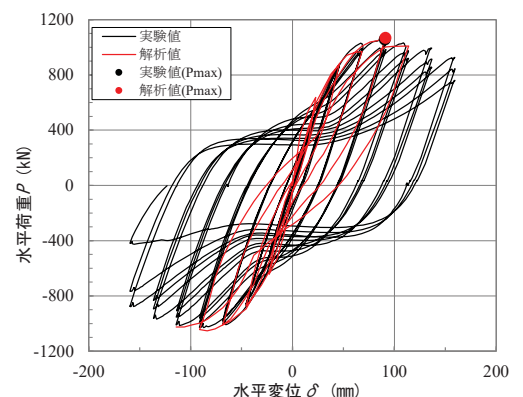


図-3 実験と解析の荷重-変位関係の比較

キーワード スパイラル鋼管, コンクリート充填構造, 弾塑性有限変位解析,

連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町 4-5-7 東亜ビル内 (一財)阪神高速先進技術研究所 TEL 06-6244-6038

表-1 パラメトリック解析モデルおよび解析結果

解析モデル No	構造寸法						荷重条件				解析結果				
	鋼管						鉛直方向		水平方向		水平方向		$P_{max}/P_y$	$\delta_m/\delta_y$	
	鋼種	外径	高さ	板厚	細長比 パラメータ	径厚比 パラメータ	軸力比	軸力	載荷方法	降伏荷重	降伏変位	最大荷重			変位
	—	$D$ (mm)	$h_t$ (mm)	$t$ (mm)	$\lambda$	$R_t$	$N/\sigma_y A$	$N$ (kN)		$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$P_{max}$ (kN)	$\delta_m$ (mm)		
SCFT0.2-0.11	SKK490	800	2270	9	0.200	0.109	0.08	812	1方向繰返し	874.7	9.3	1553	37.2	1.78	4.00
SCFT0.2-0.08	SKK490	800	2260	12	0.200	0.081	0.08	1079	1方向繰返し	1158.3	9.2	2004	36.8	1.73	4.00
SCFT0.2-0.06	SKK490	800	2250	16	0.200	0.061	0.08	1431	1方向繰返し	1528.0	9.1	2592	33.4	1.70	3.67
SCFT0.3-0.11	SKK490	800	3555	9	0.313	0.109	0.08	812	1方向繰返し	558.5	22.8	1067	91.2	1.91	4.00
SCFT0.3-0.08	SKK490	800	3540	12	0.313	0.081	0.08	1079	1方向繰返し	739.5	22.6	1258	90.4	1.70	4.00
SCFT0.3-0.06	SKK490	800	3520	16	0.313	0.061	0.08	1431	1方向繰返し	976.7	22.3	1629	89.2	1.67	4.00
SCFT0.4-0.11	SKK490	800	4540	9	0.400	0.109	0.08	812	1方向繰返し	437.3	37.1	756	148.4	1.73	4.00
SCFT0.4-0.08	SKK490	800	4520	12	0.400	0.081	0.08	1079	1方向繰返し	579.1	36.8	997	147.2	1.72	4.00
SCFT0.4-0.06	SKK490	800	4500	16	0.400	0.061	0.08	1431	1方向繰返し	764.0	36.5	1284	146.0	1.68	4.00

### 3. 解析結果と考察

パラメトリック解析の結果を基に、 $R_t$ および $\lambda$ が耐力および変形性能に及ぼす影響を分析した。表-1にパラメトリック解析から得られた $P_{max}/P_y$ 、 $\delta_m/\delta_y$ を示す。 $\delta_m/\delta_y$ は、 $R_t$ および $\lambda$ にかかわらず一定であった。図-4に径厚比パラメータ $R_t$ と $P_{max}/P_y$ の関係を示すが、 $R_t$ が大きくなるにつれて $P_{max}/P_y$ は大きくなる傾向が確認された。これは板厚が薄い方が鋼管塑性化後に充填コンクリートが力を負担し、最大耐力増加に寄与したためと考えられる。

### 4. スパイラル鋼管の耐震性能評価

道示Vではバイリニア型のM- $\phi$ 関係を用いた非線形時刻歴応答解析により、コンクリートを充填した円形断面鋼製橋脚の耐震性能照査を行う。ここでは、スパイラル鋼管の耐震性能を評価するために、図-5に示すように、道示Vに規定されるM- $\Phi$ 関係に基づいて算出される最大水平荷重および最大水平荷重時変位と、2章に示すスパイラル鋼管の非線形FEAによる解析結果および実験結果を比較した。M- $\Phi$ 関係に基づく計算結果に対し非線形FEAおよび実験結果は、最大水平荷重 $P_{max}$ が $\pm 10\%$ 以内、最大水平荷重時変位 $\delta_m$ が $\pm 20\%$ 以内に分布しており、M- $\Phi$ 関係から算出される最大水平耐力および最大水平荷重時変位と、スパイラル鋼管の残留応力を考慮した非線形FEAおよび実験結果が整合していることが検証できたといえる。

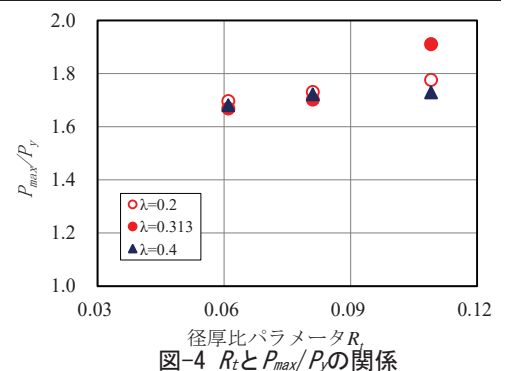
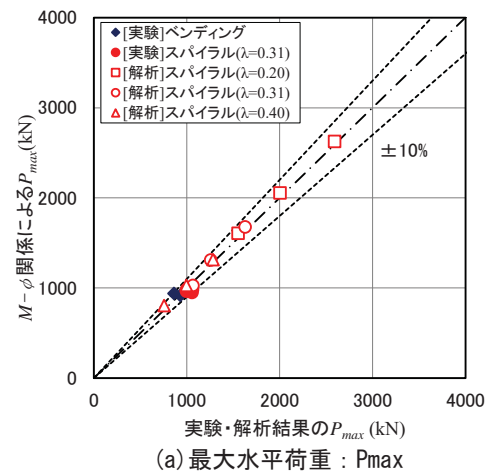
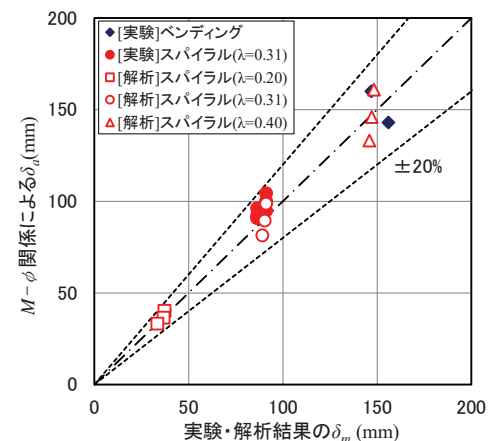
### 5. まとめ

道示Vに規定されるベンディングロール鋼管を対象とした評価式により、コンクリートを充填したスパイラル鋼管の最大水平荷重および最大水平荷重時変位を評価可能であるといえる。

**謝辞：**本稿で紹介した正負交番荷重実験は、京都大学(杉浦邦征教授、鈴木康夫助教(現 富山大学准教授)、山本尚輝氏(現 JFEエンジニアリング株))と阪神高速道路株の共同研究によって実施したものです。ここに関係各位に感謝いたします。

#### 参考文献

- 小野深, 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F, Vol.66, No.2, pp.301-318, 2010.6.

図-4  $R_t$ と $P_{max}/P_y$ の関係(a) 最大水平荷重:  $P_{max}$ (b) 最大水平荷重時変位:  $\delta_m$ 図-5 M- $\phi$ 関係による計算結果と解析結果の比較