引張強度570N/mm²級スパイラル鋼管の正負交番載荷実験と数値解析

ＪＦＥスチール　正会員　塩崎 禎郎

1.はじめに

これまで基礎構造で用いられる鋼管杭の引張強度は，400N/mm²，490N/mm²の二種類が一般的であったが，レベル2地震へ対応するため，より高強度の鋼管杭のニーズが高まってきている．また，近年の製造技術の向上により，熱延帯鋼から引張強度570N/mm²級のスパイラル鋼管の造管が可能となった．そこで，本鋼管の耐荷性能確認のために正負交番載荷実験[1)]を行った．また，異なる条件の検討で用いることを念頭に，シェル要素を用いた三次元FEM解析で実験の再現を試みた．

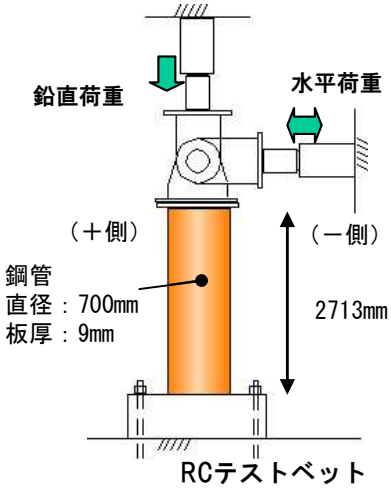

図-1 載荷方法

2.正負交番載荷実験

(1)実験方法

直径700mm，板厚9mmのスパイラル鋼管を対象として正負交番載荷実験を行った．載荷方法を**図-1**に示す．降伏応力度の特性値450N/mm²で算定した降伏軸力に対して15%の鉛直方向荷重(1319N)を作用させた状態で，水平荷重を±1δ$_y$から＋6δ$_y$まで変位制御にて正負交番載荷した．各サイクルの繰返し数は1回である．また，降伏変位δ$_y$は降伏強度の特性値から算定した12.1mmを用いた．

(2)実験結果

載荷実験における荷重～変位関係を**図-2**に示す．＋3δ$_y$の載荷時に荷重のピーク迎えている．その際，目視ではわからなかったが，手で触れて確認出来る程度の局部座屈が基部から100～125mm程度の位置で発生していた（**写真-1**参照）．その時の＋側鋼管基部から150mm地点の軸方向ひずみは10225μであった．**図-2**に示す＋側の包絡線から，ピーク時の変位は降伏時（材料試験に基づく値）の2.1倍，最大荷重の95%を保持する変位は降伏時の2.6倍であることがわかった．

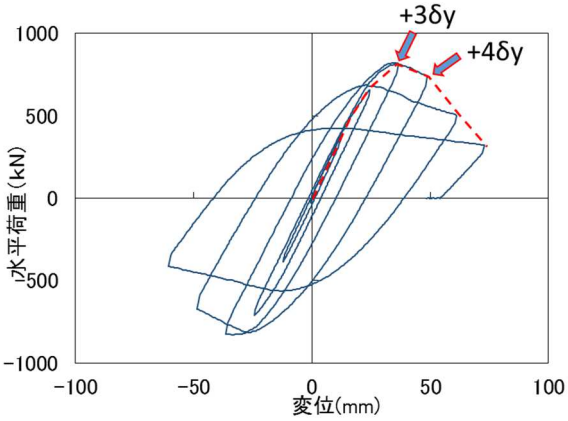

図-2 実験結果（荷重~変位関係）

写真-1 ＋3δ$_y$時の状況（局部座屈発生）

3. シェル要素を用いた三次元FEM解析

(1)解析方法

汎用構造解析プログラムADINA(Ver.8.9)を用いて実験の再現解析を行った．これまでに鋼製橋脚の実験の再現

キーワード：高強度，鋼管，載荷実験，残留応力，解析

連絡先：〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町 1-1　ＪＦＥスチール　Tel：044-322-6222

解析などで，適用性が確認されているプログラムである[2]．解析条件をまとめて**表-1**に示す．応力～ひずみ関係は，鋼管から採取した軸方向の試験片による引張試験結果から設定した（**図-3**参照）．また，溶接による残留応力の影響を把握するため，溶接部に＋0.6σ_y，周囲に－0.1σ_yの残留応力[3]を与えた解析も実施した（**図-4**参照）．

(2)解析結果

図-5に解析結果（荷重～変位関係）を示す．最大荷重を超えた±4δ_yまで実験結果を良好に再現できている．残留応力を考慮の有無に関しては，荷重～変位関係には大きな影響を与えなかった．ただし，残留応力を考慮することで，座屈形状は実験のような，溶接部に沿って不規則な形状を再現することができた（**写真-2**参照，**図-6**参照）．

4.おわりに

引張強度570N/mm²級のスパイラル鋼管の正負交番載荷実験にて耐荷性能を明らかにし，シェル要素を用いた三次元FEM解析にて，実験を良好に再現できることを確認した．実構造として，鋼管杭式桟橋と鋼管矢板式岸壁への適用に向けた設計的な検討は実施済みであり，詳細は文献1)4)を参照されたい．

表-1　解析条件

使用要素	4節点シェル要素
材料非線形 （σ～ε関係）	マルチリニア型 （真応力～真ひずみで指定）
幾何学的非線形	Updated Lagrangian
収束計算	完全ニュートン法
初期条件	残留応力（有，無）

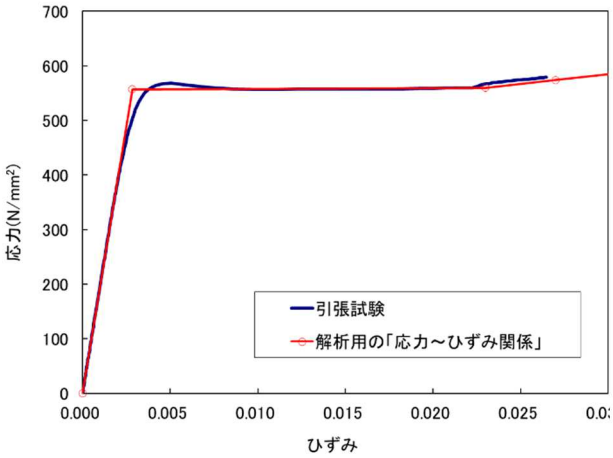

図-3　応力～ひずみ関係

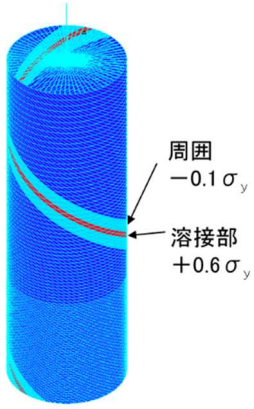

図-4　残留応力の設定

参考文献

1)塩崎禎郎，宇佐美俊輔，大久保浩弥：高強度鋼管杭（引張強度570N/mm²級）の港湾構造への適用に向けた検討，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.68，No.2，pp.Ⅰ_366~371，2012．
2) 大田孝二，中川知和，中村聖三，水谷慎吾，小林洋一，野中哲也：鋼製橋脚の耐震設計に対する構造解析ソフトウェアの適用性，橋梁と基礎，97-12，pp.33～39．　3)小野潔，薮本篤，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　4)塩崎禎郎：高強度鋼管矢板（引張強度570N/mm²級）の矢板式岸壁への適用に向けた設計法検討，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.70，No.2，pp.Ⅰ_840~845，2014．

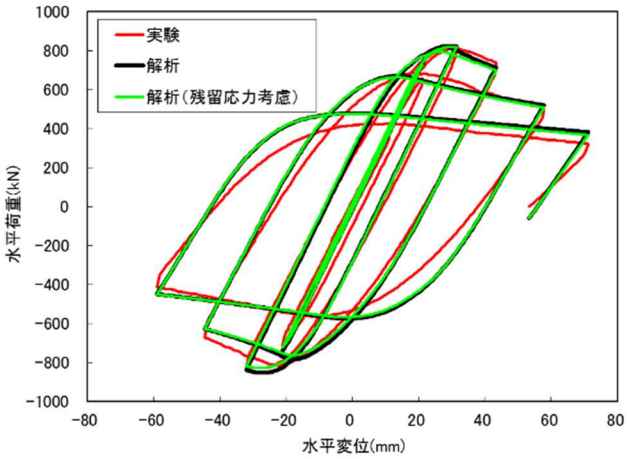

図-5　解析結果（荷重～変位関係）

写真-2　局部座屈の状況

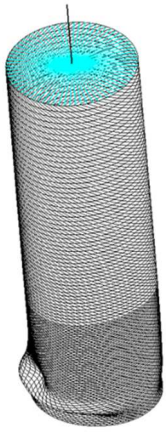

図-6　解析結果（変形状況）