

高軸力でのスパイラル鋼管の曲げ挙動に関する載荷試験（その１）

港湾空港技術研究所	正会員	○中村 駿太
港湾空港技術研究所	正会員	大矢 陽介
港湾空港技術研究所	正会員	川端雄一郎
港湾空港技術研究所		水谷 崇亮
港湾空港技術研究所	正会員	松村 聡
港湾空港技術研究所	正会員	森川 嘉之

1. はじめに

筆者らは、港湾構造物の耐震性能照査での利用を目的に、大径厚比の鋼管部材の耐力を過大評価していた全塑性モーメントを用いた評価方法に変わり、径厚比および軸力比に応じた耐力と変形性能を評価する方法を提案した¹⁾。この方法では、局部座屈が発生するまで円形断面を保持できる条件を円形保持、円形断面を保持しない条件を円形非保持として評価式を分け、直杭式栈橋の鋼管杭を対象とした場合、杭頭部を円形保持、その他部分を円形非保持の条件として評価する。一般に、橋脚等の柱に生じる軸力比 α （後述の式（1）参照）は最大で数十％程度であるが、ガントリークレーンが設置されている栈橋では、地震時に軸力比 α が高軸力になる場合がある。既往の正負交番載荷の検討は低軸力比のものがほとんどであり^{例えば、2)}、大径厚比の鋼管を対象とした高軸力比での挙動を大型試験体で検討した事例は少ない。本研究では、径厚比が大きな実寸大のスパイラル鋼管について、高軸力での挙動を把握するため、正負交番繰返し載荷試験を行った。

2. 試験概要

本研究では、径厚比（直径／板厚）と軸力比に着目して、表 1 に示す 4 ケースについて繰返し載荷試験を行った。表 1 に示す降伏点は試験に使用した鋼管杭の引張試験で求めた値であり、軸力比もこの値を用いて算出している。軸力比 α は式（1）により算出した。

$$\alpha = \frac{N}{\sigma_y \times A}$$

(1)

ここで、 N ：軸力（N）、 σ_y ：鋼管杭の降伏点（N/mm²）、 A ：鋼管杭の断面積（板厚部の面積）（mm²）である。すべてのケースにおいて、杭の外径 D は 600mm であり、使用した杭の種類は SKK490 である。試験装置の立面図を図 1 に示す。試験では、油圧ジャッキにより鋼管杭に軸力を作用させた状態で、水平方向（杭軸直角方向）に変位制御で正負繰返し載荷を行った。鋼管杭と油圧ジャッキはピン結合とした。鋼管杭の下端は反力床に固定した。本研究では、ジャッキを押し出す方向への載荷を正、引き戻す方向への載荷を負と記載する。軸方向の油圧ジャッキをスライド装置に固定することで、鋼管杭の水平方向変位に対して油圧ジャッキが追従するようにした。試験中は、軸力比が設定値の±5%の範囲に収まるよう管理した。各ケースにおける初回の正方向、負方向の載荷は、鋼管杭下端の固定部付近に降伏ひずみが生じるまで行った。正方向に載荷を行い、鋼管の任意の点が降伏ひずみに達したときの水平方向変位を δ_+ とする。正方向に載荷を行い

表 1 試験条件

	板厚 t (mm)	径厚比 D/t	降伏点 σ_y (N/mm ²)	軸力比 α
Case1	9	66.6	453.3	0.38
Case2	9	66.6	453.3	0.28
Case3	6	100	435.9	0.58
Case4	6	100	435.9	0.29

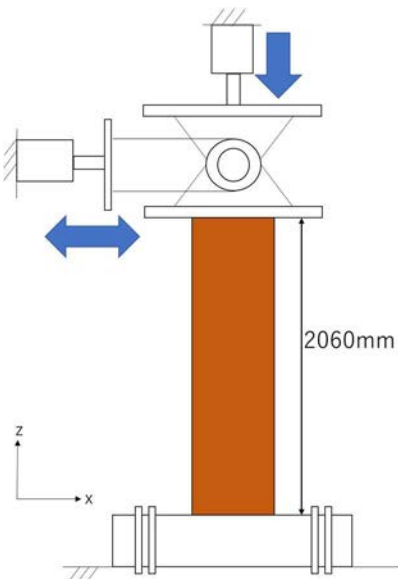


図 1 試験装置の立面図

キーワード 鋼管杭、直杭式栈橋、局部座屈、全塑性モーメント、耐震性能照査

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 / Tel：046-844-5057

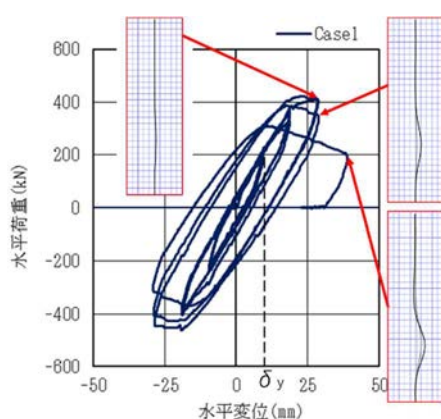


図2 Case1の荷重変位関係

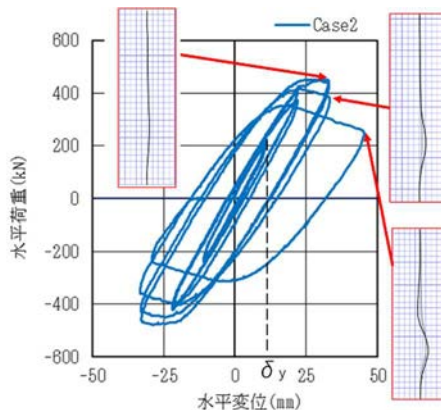


図3 Case2の荷重変位関係

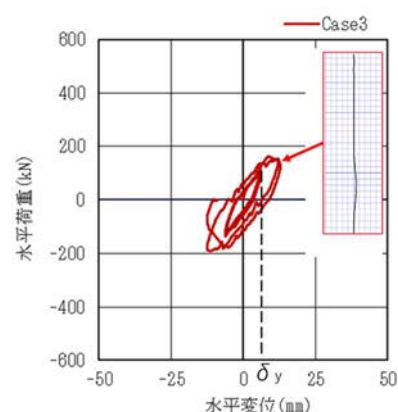


図4 Case3の荷重変位関係

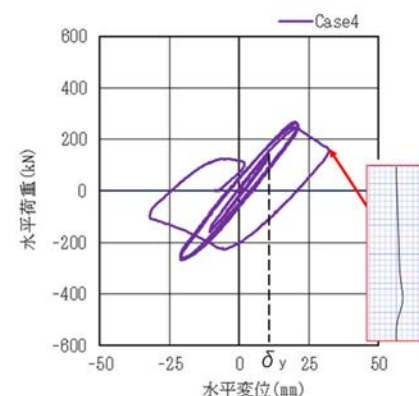


図5 Case4の荷重変位関係

鋼管の任意の点が降伏ひずみに達したときの水平方向変位を δ_+ とする．同様に，負方向に载荷を行い，鋼管の任意の点が降伏ひずみに達したときの水平方向変位を δ_- とする．そして， δ_+ と δ_- の平均を取ったものを $1\delta_y$ とし，これを基準に正方向，負方向の载荷を行う．このような载荷手順を 1 サイクルとし，3 サイクルの载荷を行った．その後，最大の水平方向変位を $2\delta_y$ ， $3\delta_y$ と増加させながら，3 サイクルずつの载荷を続け，水平荷重が最大水平荷重の 80 % 程度まで低下したところで試験を終了した．ただし，Case3 について最大荷重後に急激な荷重低下が生じたことが予想されたため，鋼管杭に座屈が生じた時点で試験を終了した．

3. 試験結果

試験で得られた水平方向の荷重と変位の関係及び各段階の代表的な水平変位での座屈形状を図2～図5に示す．水平変位には载荷点変位を使用している．Case1 と Case2 では， $-3\delta_y$ の 2 サイクル目で水平荷重が低下し始めた．Case3 では， $-2\delta_y$ の 2 サイクル目で水平荷重が低下した．Case4 では， $+2\delta_y$ の 3 サイクル目で最大水平荷重の 2 % 程度ではあるが，水平荷重が低下し始めた．

径厚比の影響を確認するために Case2 (図3) と Case4 (図5) を比較すると，径厚比の小さい Case2 の最大荷重は Case4 の 1.7 倍となっている．降伏荷重に対する最大荷重の比は，Case2 で 2.1，Case4 で 1.9 となっている．このように，軸力比が同じであれば，径厚比の小さい杭の方が最大荷重の値が大きくなるが，降伏荷重に対する最大荷重の比は大きくは変わらない．ただし，この傾向は実験結果から確認されたものであり，実務で使用されている設計式を用いて降伏荷重に対する最大荷重の比を求めると，このような傾向でない可能性がある．

軸力比の影響を確認するために Case3 (図4) と Case4 (図5) を比較すると，高軸力比である Case3 の最大水平荷重は Case4 の 0.6 倍となっている．一方，Case1 (図2) と Case2 (図3) を比較すると，軸力比が異なるにもかかわらず荷重変位関係は概ね似たような結果を示している．

軸力比が高くなることにより，径厚比の大きい杭では降伏後の耐力が大きく低下するが，径厚比の小さい杭では低下の度合いが小さいことが推定される．ただし，今回の試験では，使用した油圧ジャッキの都合で板厚 9mm の鋼管杭に大きな軸力比を与えることができず，Case1 と Case2 の軸力比の差は 1.4 倍程度にとどまっていることが実験結果に影響した可能性がある．この点について，今後さらに実験等を行い，確認を進める必要がある．

4. おわりに

大型の载荷試験により，鋼管の高軸力下の挙動を調査した事例を紹介した．今後は数値解析等を実施し，鋼管の詳細な破壊挙動について引き続き検討を進めていきたい．

参考文献

- 1) 大矢ら：耐震性能照査における鋼管部材のモデル化法の提案，港湾空港技術研究所報告，56(2)，2017．
- 2) 川端ら：港湾構造物における鋼管の $M-\phi$ 算定法，港湾空港技術研究所資料 No.1288，2014．