

小振幅塑性変形を受ける角形鋼管柱の繰り返し履歴挙動に関する解析的研究

正会員 ○神谷 勇成*¹ 同 石田 孝徳*² 同 吉敷 祥一*³
同 山田 哲*⁴ 同 薩川 恵一*⁵

角形鋼管 小振幅 繰り返し載荷
局部座屈 有限要素法解析

1. はじめに

鋼構造建築の柱部材として多用される角形鋼管について複数回の地震動が発生した際、一回の地震で倒壊しなくても比較的小さな振幅により徐々に損傷が累積し倒壊に至る危険性が考えられる。既往の研究¹⁾では、小振幅での繰り返し載荷と単調載荷を軸力比及び幅厚比の異なる試験体について載荷実験を行い、最大耐力到達後の劣化挙動に及ぼす影響について確認し、局部座屈領域の変形量と劣化挙動との関係を検討している。

本研究では、角形鋼管を対象とした数値解析を通して小振幅での繰り返し履歴挙動を検証し、局部座屈領域の変形量と耐力劣化との関係を検討する。

2. 解析モデル

図1に本研究で使用する解析モデルを示す。解析モデルは、部材長さ 860mm、鋼管幅 200mm の角形柱とし、四角形シェル要素を用いて小振幅の繰り返し変形を行う。載荷方法は、一定軸力下 N で曲げせん断 Q を作用させる。境界条件は、部材両端部を剛体とし、図1に示す拘束条件とする。弾塑性解析における初期不整合は、鋼管板厚の 1% とする。パラメータは、図中の表に示す幅厚比 D/t 、降伏軸力比 N/N_y とする。

図2に本解析で使用した材料モデルの応力度ひずみ度曲線を示す。図中に、比例限度以降を拡大表示させたグラフも併せて示す。本研究で対象とするモデルの履歴挙動は降伏点近傍での影響を受けることから、使用する材料モデルは、比例限度以降を非線形関係とし、移動硬化則に従う。

図3に載荷プログラムを示す。載荷プログラムは、一定振幅と変動振幅とする。変動振幅は図に示す7サイクルを1セットとし、セットごとに繰り返すものとする。

図4に累積履歴曲線²⁾の定義を示す。最大耐力以前の骨格曲線に最大耐力以降の履歴曲線を半サイクルごとにつなぎ合わせた累積履歴曲線と累積履歴曲線の包絡線である拡張骨格曲線を定義する。

3. 解析結果

図5に文献¹⁾の実験結果と本解析結果での曲げモーメント-回転角関係を合わせて示す。解析結果は実験結果と概ね対応している。

図6に幅厚比ごとの一例として図4の定義にしたがって作成した累積履歴曲線と一方向載荷の履歴曲線を合わせて示す。一定振幅 $2.0\theta_{pc}$ の拡張骨格曲線は、一方向載荷の

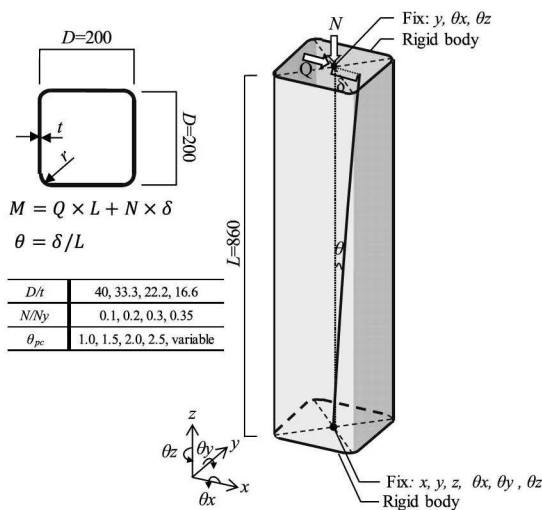


図1 解析モデル
M:曲げモーメント Q:せん断力 N:軸力 L:部材長 delta:変位 theta:回転角

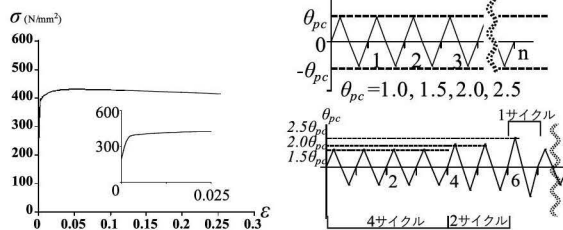


図2 材料モデル

図3 載荷プログラム

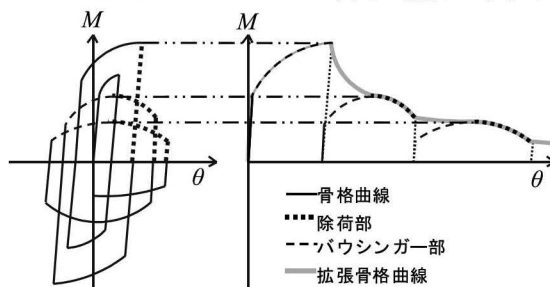


図4 累積履歴曲線と拡張骨格曲線の定義

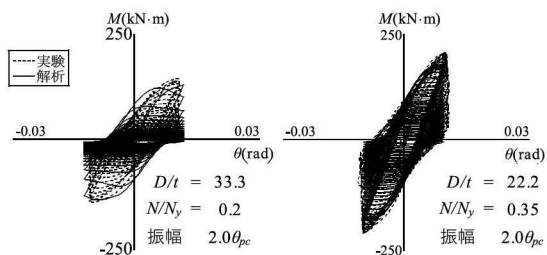


図5 実験結果と解析結果の比較

履歴挙動と同じ包絡線を描いている。一方、一定振幅 $1.0\theta_{pc}$ は耐力劣化が大きくなるまでの繰り返し回数が多数回となり、一方向載荷の履歴挙動と乖離している。

図7に各半サイクルで、局部座屈変形領域の回転角 θ_b のうち圧縮縮みによる回転角 θ_c が占める割合 θ_c/θ_b と、累積履歴曲線における $\Sigma\theta_s$ との関係を示す。幅厚比 33.3 について、変動振幅が一方向載荷の θ_c/θ_b と概ね対応している。他の振幅は、一方向載荷の θ_c/θ_b と異なる挙動がみられる。特に一定振幅 $1.0\theta_{pc}$ では、図6において、耐力劣化が大きくなるまでの θ_c/θ_b が 0.5 程度であることから、局部座屈変形がほとんど進展していないことがわかる。幅厚比 22.2 について、一定振幅 $1.0\theta_{pc}$ 以外の振幅では、一方向載荷の θ_c/θ_b と概ね対応し、一定振幅 $1.0\theta_{pc}$ では、局部座屈変形が緩やかに進行している。

図8に柱端部における曲げモーメント M と局部座屈変形領域における軸伸縮量 δ_b の関係を示す。軸伸縮量 δ_b は、図7の図中に示す、部材下端より高さ $1.1D$ の位置からの縮み量を定義する。図中のマーカーは、明瞭な耐力劣化が生じた時の軸伸縮量 δ_b (以下、軸伸縮量と呼ぶ) を示す。繰り返し載荷の軸伸縮量は、一方向載荷の軸伸縮量と概ね対応している。また、局部座屈変形に伴う耐力劣化は、載荷振幅によらず局部座屈変形領域の軸伸縮量 δ_b に依存している。

図9に軸力比ごとの振幅と軸伸縮量をまとめて示す。図中の横線は、一方向載荷時の軸伸縮量を示している。各図のマーカーは、耐力劣化が生じた幅厚比ごとの軸伸縮量を示す。各マーカーは軸力比と振幅によらず、一方向載荷の軸伸縮量と概ね対応している。

図10に軸力比ごとの振幅と一方向載荷の軸伸縮量に到達するまでの繰り返し回数の関係を示す。軸力比と振幅が大きくなると各幅厚比の繰り返し回数が減少し、指数関数の関係がみられる。

4. まとめ

本研究では、小振幅での繰り返し履歴挙動を数値解析で検証し、局部座屈領域の変形量と耐力劣化との関係を検討した。繰り返し載荷の軸伸縮量が一方向載荷の軸伸縮量と概ね対応していることから、耐力劣化は軸伸縮量 δ_b に依存している。各幅厚比の繰り返し回数と振幅との間に、指数関数の関係がみられた。

本解析では移動硬化則のみを考慮しているため、引き続き、等方硬化則を考慮して解析を行う予定である。

参考文献

- 1) 石田 孝徳 他：小振幅塑性変形を受ける冷間成形角形鋼管の繰り返し載荷実験、日本建築学会関東支部研究報告書集第 89 号、pp369-372, 2019.3
- 2) 山田 哲 他：局部座屈を伴う角形鋼管柱の劣化域における履歴モデル、日本建築学会構造系論文集 第 674 号、pp627-636, 2012. 4

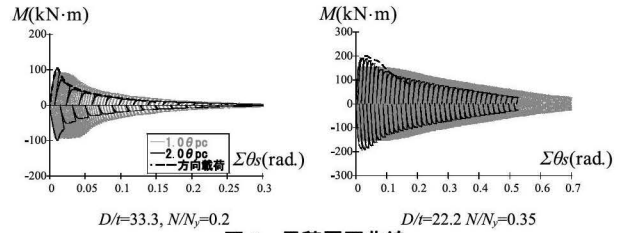


図6 累積履歴曲線

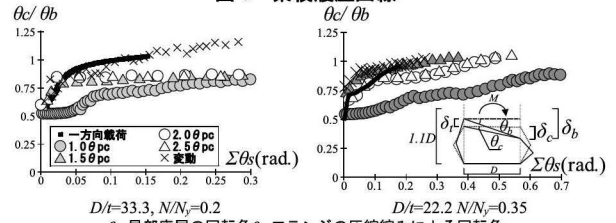


図7 $\theta_c/\theta_b - \Sigma\theta_s$ 関係

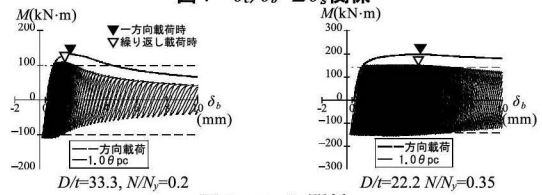


図8 $M - \delta_b$ 関係

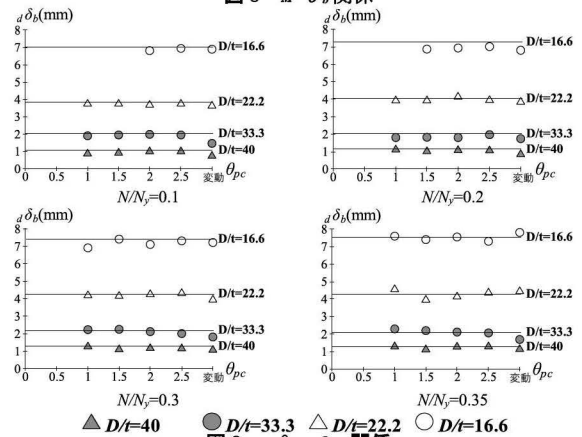


図9 $\delta_b - \theta_{pc}$ 関係

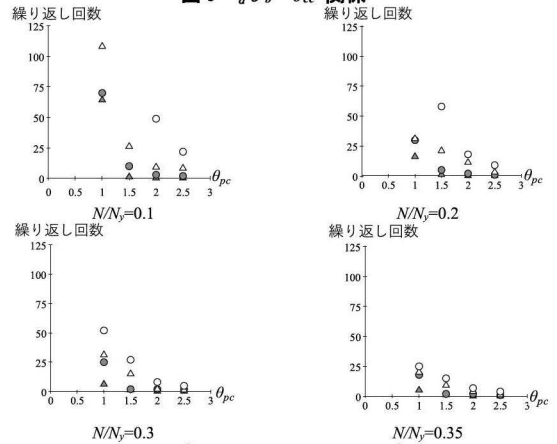


図10 繰り返し回数- θ_{pc} 関係

*1 愛知工業大学 大学院生

*2 東京工業大学 助教 博士(工学)

*3 東京工業大学 准教授 博士(工学)

*4 東京大学 教授 博士(工学)

*5 愛知工業大学 教授 博士(工学)

*1 Graduate Student, Aichi Institute of Technology

*2 Assist. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Assoc. Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*4 Prof., the University of Tokyo, Dr. Eng.

*5 Prof., Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.