

繰り返し水平荷重を受ける鋼製R付橋脚柱の弾塑性FEM解析

九州大学大学院 学生員 ○ 馬場 智, 元 大淵
九州大学工学部 正 員 日野伸一, 太田俊昭
福岡北九州高速道路公社 正 員 村山隆之, 吉崎信之

1. はじめに

本研究では、実橋脚をモデル化したR付断面橋脚柱および比較検討用の矩形断面橋脚柱を対象として行われた準静的繰り返し載荷実験¹⁾の結果を、FEM解析の汎用プログラムLUSAS ver. 11による弾塑性解析で再現することを試み、繰り返し水平荷重を受ける部材の力学基本特性である荷重-変位履歴曲線、変形モード、および耐震性能の評価に用いられる耐荷力、塑性率、履歴吸収エネルギーについて実験結果との比較を行い、FEM解析の有効性について検討するものである。

2. 解析の概要

繰り返し載荷の基本変位 δy_0 は次式で与えられる。

$$\delta y_0 = (Hy_0 \cdot h^3) / 3EI \quad \dots\dots (1)$$

$$Hy_0 = (\sigma y_0 - P/A) \cdot Z/h \quad \dots\dots (2)$$

解析モデルは、実験に用いられた両供試体について水平荷重と直交する断面が部材軸の中心から見て左右対称であるとして1/2対称モデルとした。

また、今回の解析に用いた条件を表-1に示す。境界条件としては、橋脚柱下端部で完全固定、対称面には対称条件を設定した。残留応力と幾何学的初期不整合については、最大耐荷力および弾性域の挙動に対する影響は小さいと考え、これを無視した。鋼材の応力-ひずみ関係は、一軸引張試験のデータより得られる公称応力 σ_n 、公称ひずみ ε_n から、次式(3)、(4)により真応力 σ_t 、真ひずみ ε_t を算出し区分的線形式でモデル化した。

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_n) \quad \dots\dots (3)$$

$$\sigma_t = \sigma_n(1 + \varepsilon_n) \quad \dots\dots (4)$$

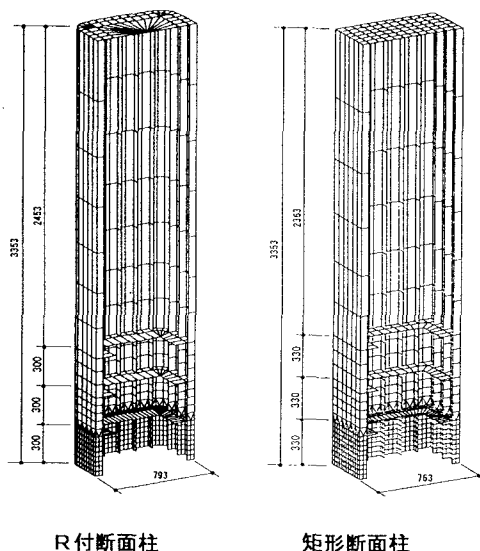


図-1 解析モデル

表-1 解析条件	
使用プログラム	LUSAS ver. 11
使用要素	8節点薄肉シェル要素
積分点数	面内：5点、面外：5点
降伏条件	Von Mises
硬化則	等方硬化則
材料非線形	図-2
幾何学的非線形	Total Lagrangian
制御方法	変位制御
非線形方程式求解法	Newton Raphson法

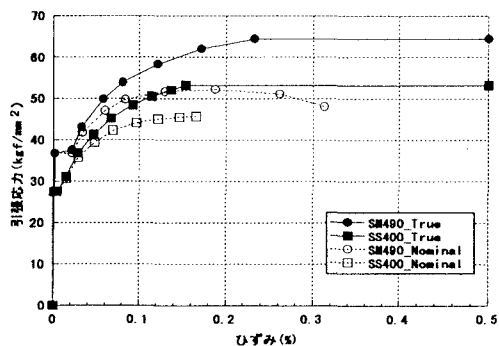


図-2 鋼材の応力-ひずみ関係

3. 解析結果

R付断面柱について、最大耐荷力は解析値(110.00 tf)と実験値(113.33tf)はほぼ同じ値を示している。しかし、最大耐荷力時の水平変位は解析値が約 $3\delta y$ に対して実験値が約 $5\delta y$ と大きく異なっている。

最大エネルギー吸収量を示すのは、実験、解析ともに最大耐荷力の2サイクル後である。しかし、最大エネルギー吸収量は解析値が実験値を大きく上回っている。これは、本解析では等方硬化則を用いたため弾性域は一定であるのに対し、実験ではバウシinger硬化により弾性域が縮小し耐力が低下したためと考えられる。

変形モードについて、実験では曲げ座屈が発生したが解析では曲げ座屈に加え、せん断座屈が発生した。本解析では薄肉シェル要素を用いたため、せん断に対する抵抗があまり発揮されなかったと考えられる。これは最大耐荷力以降での耐力の低下の度合いが実験値よりも大きくなった1つの原因と考えられる。

表－2 無次元化に用いた H_y , δy , E_e

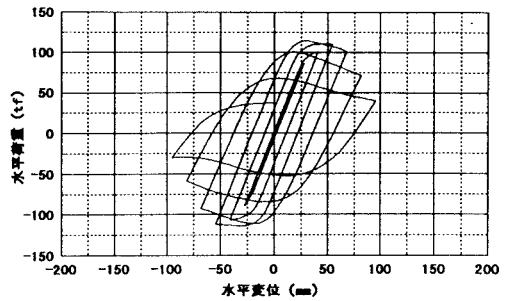
	実験(R)	実験(矩)	解析(R)	解析(矩)
$H_y(\text{tf})$	64.94	67.53	64.94	67.53
$\delta y(\text{mm})$	17.00	17.68	19.21	20.34
$E_e(\text{tf}\cdot\text{mm})$	551.99	596.97	623.75	686.78

4. まとめ

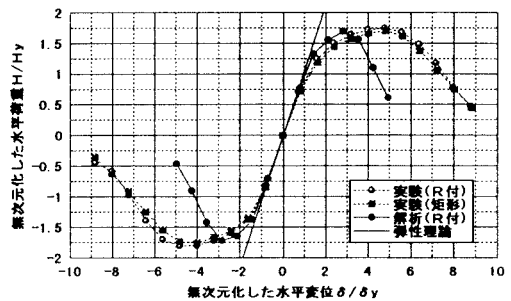
1. 等方硬化則を用いた解析の荷重－変位履歴曲線の包絡線について、最大耐荷力に至るまでは実験結果をよく再現できているが、それ以降の領域では耐力の低下が著しくなる。
2. エネルギー吸収量については、荷重－変位履歴曲線の形状により大きく影響され、解析結果と実験結果に顕著な差が見られた。
3. 実験では曲げ座屈、解析では曲げ座屈に加えてせん断座屈が発生した。

参考文献

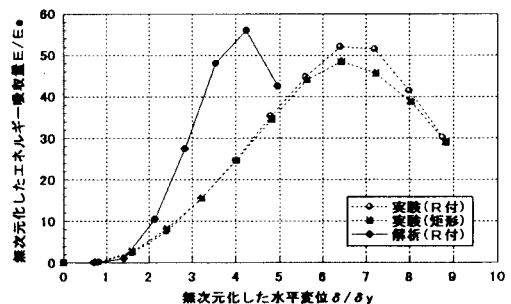
- 1) 村山ら：鋼製R付断面橋脚柱の耐震性に関する実験、平成8年度 土木学会西武支部 研究発表会講演概要集
- 2) 安波ら：弾塑性FEMによる鋼管柱載荷実験のシュミレーション解析、JSSC、平成8年3月号



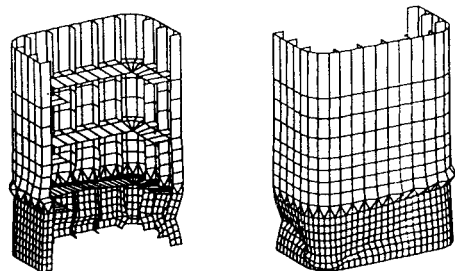
図－3 荷重－変位履歴曲線(R付断面)解析結果



図－4 荷重－変位履歴曲線の包絡線



図－5 エネルギー吸収量と水平変位の関係



図－6 7サイクル終了後の変形モード