

H 形柱の強弱両軸方向に接続可能な無溶接方杖補強工法の開発
その 4 FEM 解析

方杖補強 強弱軸補強 無溶接
ボルト接合 H 形柱 FEM 解析

正会員 ○池沼 良章 * 同 中野 建蔵 *
同 板倉 周平 * 同 和田 泰典 **
同 原口 圭 *** 同 吉田 卓矢 **
同 小嶋 裕記 ** 同 佐藤 絢子 ****

1. はじめに

前報(その 1~3)までは、実験結果に基づいて本工法の構造性能を評価した。しかし、柱部材の応力状態および接合金物の応力状態など、実験では計測できない不明確な点が存在する。本報では、本実験の試験体 2 体(W-RH200N45,S-RH200N45)を対象とし、FEM 解析を実施する。この解析結果を用いて、柱部材等の損傷状態について実験結果と比較しながら詳細に考察する。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

表 1 に解析モデルの諸元を、図 1 に解析モデルを示す。解析モデルは 1/2 対称モデルとし、方杖とガセットプレートに接合する高力ボルトは再現せず結合とした。金物の形状・寸法は実験で用いた金物と同じとした。

表 1 解析モデルの諸元

試験体名称	W-RH200N45	S-RH200N45
加力方向	弱軸	強軸
柱サイズ	H200広幅	H200広幅
方杖取付き角度 θ	45°	45°
方杖サイズ	2[-125x65x6x8	2[-125x65x6x8
L1 (mm)	3200	3200
L2 (mm)	1000	1000
強軸接合ボルト	8-M16	8-M16
ウェブボルト	8-M16	8-M16
相互作用	表2参照	

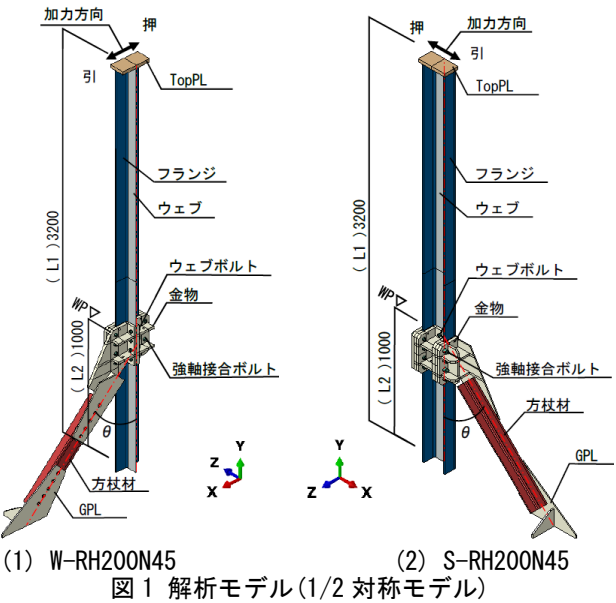


図 1 解析モデル (1/2 対称モデル)

2.2 解析条件

解析は STEP1,2 の 2 段階とし、STEP1 でウェブボルトに設計ボルト張力相当を与え、STEP2 で試験体の TopPL 部に水平力を与えた。どちらも一方向载荷とし、押・引それぞれ解析した。ここで、STEP1 はウェブボルトが 1/2 対称面であるため、荷重条件ではなく設計ボルト張力に達したときの変形量を材軸方向に与えた。また、試験体底面と GPL は完全固定とした。メッシュは曲げによる応力度が比較的低い範囲は 50mm、それ以外は 8mm とした。要素形状は整形範囲を 6 面体、それ以外を 5 面体で形成した。また、2 つの部材が接触する面の相互作用は図 2 のように設定した。ここで、材料はいずれも弾塑性材とした。

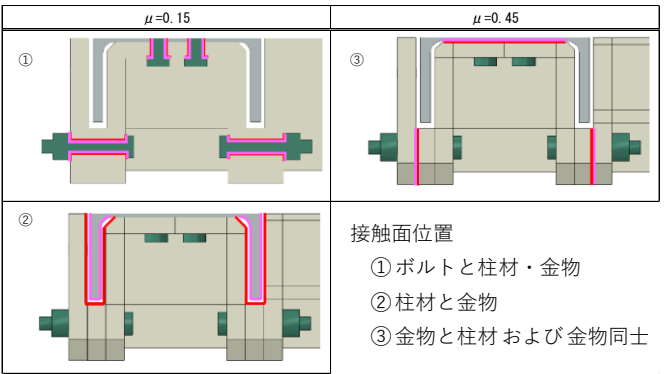


図 2 相互作用の条件 (S-RH200N45 の場合)

3. 解析結果

3.1 荷重－水平変位関係

荷重－水平変位関係を図 3,4 に示す。図 3 が W-RH200N45、図 4 が S-RH200N45 である。図 3,4 の縦軸は荷重 P (kN)、横軸は水平変位 δ (mm) である。図中の黒実線は FEM 解析結果であり、赤実線は実験結果である。また、縦軸と交わる黒破線は、柱の全塑性曲げモーメント(M_p)が生じる水平荷重の計算値 P_u である。横軸と交わる黒破線は、 $3\delta_u$ (ここで、 δ_u は基準変位値(mm)であり、弾性剛性と M_p の交点)時の変位である。W-RH200N45,S-RH200N45 の FEM 解析結果における最大荷重 P_{max} は、どちらも P_u を超え、実験結果と同様の傾向を示した。また、解析モデルの初期剛性(0~1/2 P_y (kN)の範囲における割線剛性であり、 P_y は柱の降伏曲げモーメント(M_y)が生じる水平荷重の計算値)は、実験結果と概ね一致した。また、解析で確認できた最大変位 $3\delta_u$ 時の荷重差は 2~5kN と小さい値であった。

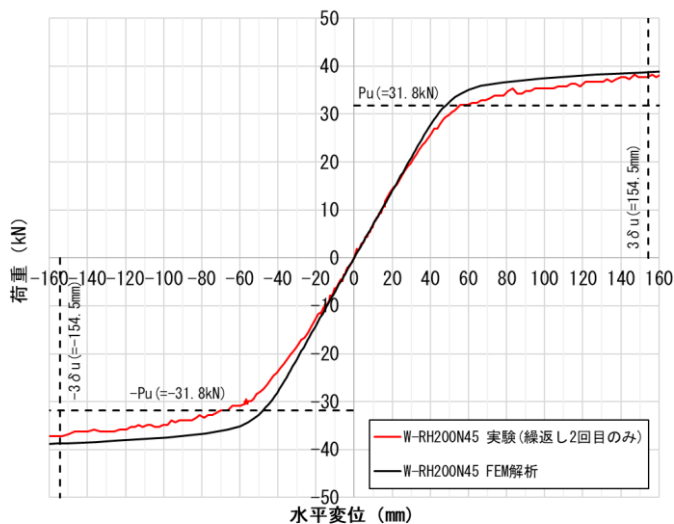


図3 W-RH200N45の荷重－水平変位関係

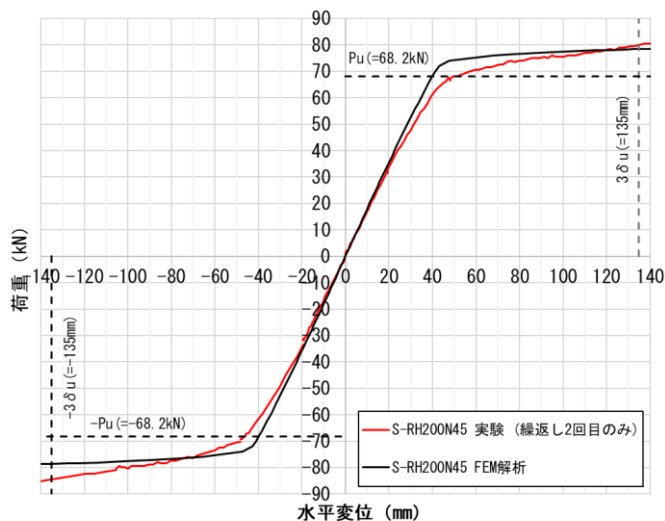


図4 S-RH200N45 荷重－水平変位関係

3.2 終局状態

図5に、押側に加力したときの荷重レベル P_u 時の柱部における von Mises コンター図を示す。von Mises コンター図を用いて各部材の降伏有無を確認する。ここで、図の左が W-RH200N45、右が S-RH200N45 の結果である。図5より、S-RH200N45 のウェブボルトを除き、 P_u 時でも接合金物、各ボルトおよび方杖は、降伏応力度に達しておらず、柱だけが降伏応力度に達していることが分かる。図6の左に S-RH200N45 のボルト部の von Mises コンター図を示す。同モデルのウェブボルト最上段には局所的な応力集中が見られるが、図6の右のとおり各軸の応力を抽出し、組合せ応力の検定比は1以下となった。また、図7に約 $3\delta_u$ 時の柱の終局状態を示す。実験と同様に、ウェブボルト最上段周辺で柱に局部座屈が生じ始めており、 $3\delta_u$ 以降の柱耐力は座屈後安定耐力により安定すると予測される。

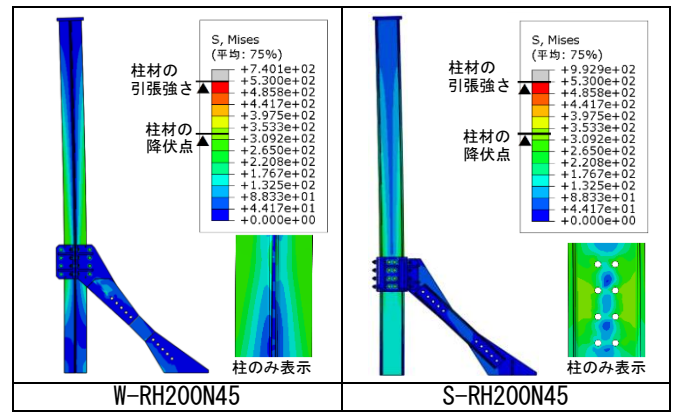


図5 柱部の von Mises コンター
(荷重レベル： P_u 、加力方向：押側)



図6 S-RH200N45のボルト部の von Mises コンター、及び、組合せ応力等 (荷重レベル： P_u 、加力方向：押側)

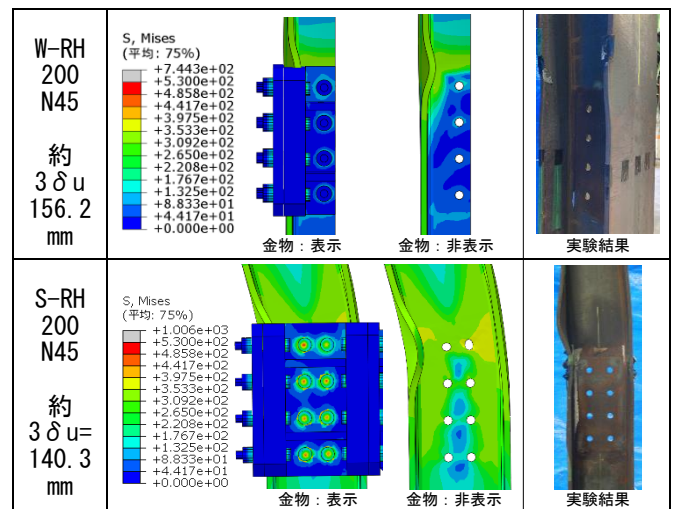


図7 約 $3\delta_u$ 時の柱の終局状態 (変形倍率：5倍)

4. 結論

本報では、加力実験の試験体と FEM 解析のモデルの荷重－水平変位関係を比較し、さらに金物の応力状態を示した。耐力および初期剛性は、実験結果と概ね一致しており、再現性のある結果が得られた。また、金物は、柱に全塑性曲げモーメントが生じる荷重時においても降伏応力度には達しなかった。一部ボルトに局所的な応力集中が見られたが、組合せ応力の検定比は満足した。

* センクシア
** 東日本旅客鉄道
*** 東日本旅客鉄道 博士 (環境学)
**** 東鉄工業

* SENQICIA CORPORATION
** East Japan Railway Company
*** East Japan Railway Company, Dr.Env.
**** Totetsu Kogyo Co.,Ltd