

芯材に波形鋼帯板を適用した BRB(RP-BRB)の解析的検討

○名城大学大学院 学生会員 加藤弘務
耐震解析研究所, 名古屋産業科学研究所

新日鉄住金エンジニアリング 正会員 山崎伸介
フェロー 宇佐美勉 名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 緒言

本研究では、芯材に波形鋼帯板を適用した BRB (Rippled Plate Buckling Restrained Braces, RP-BRB)の性能実験¹⁾に対する解析検討を行う。実験の詳細は論文 1)を参照されたい。ここでは特に、面に垂直な方向の接触力に注目し、圧縮域の荷重変位履歴における間隔保持材の影響について検討している。

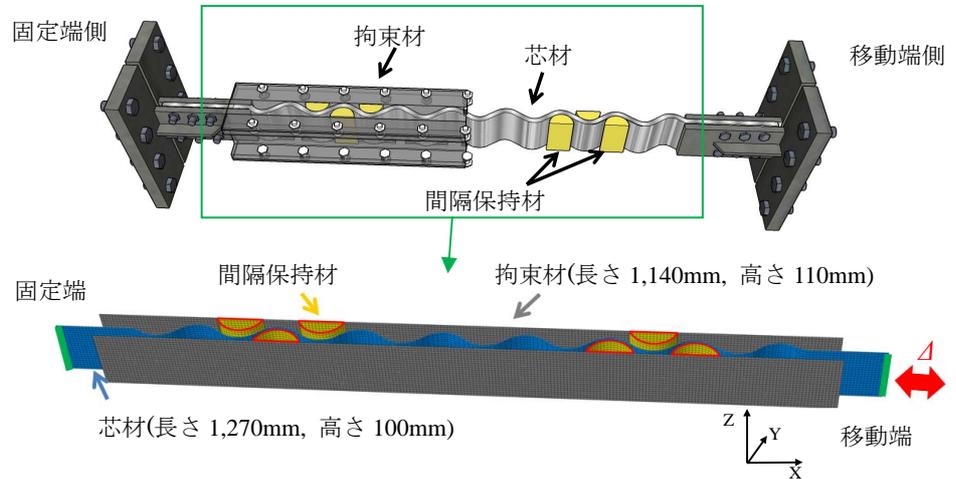


図-1 RP-BRB のモデル化

2. 解析概要

解析モデルは図-1 に示すように、4 節点シェル要素 (S4R) を用いた。解析コードは、ABAQUS/Standard を用い、解析は移動端の水平変位 (高さ方向に一定) を制御する静的変位増分解析である。構成則は Bi-linear 移動硬化則を仮定し、材料定数は弾性係数 $E=216\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_y=343\text{MPa}$ 、2 次勾配 $E'=E/100=2.16\text{GPa}$ とした。波形成形による予ひずみおよび初期たわみは無視している。芯材頂部と拘束材内部や間隔保持材では、板厚を含めた表面同士による接触解析を行っている。接触解析では、クーロン摩擦モデルを使用し、摩擦係数 μ は 0.15 とした。芯材は波形部(1,040mm)だけではなく、端部治具で挟み込まれた平板部(片側 115mm で、計 230mm)までモデル化し、波形部端部から平板部への R 部も可能な限り模擬している。このような平板部までのモデル化は、端部のわずかな面外方向への変形を模擬でき、解の収束性に優れる利点がある。境界条件は、固定端は変位と回転をすべて拘束し、移動端は荷重方向を除き変位と回転を拘束している。拘束材は、芯材の面外方向に位置する溝形鋼のみモデル化し、溝形鋼を連結する平板は無視している。溝形鋼である拘束材 ($t=16\text{mm}$)は、面外方向の拘束効果にのみ着目し、中立軸周りの断面二次モーメントが等価な平板($t=40\text{mm}$)とした。拘束材の境界条件は、四辺を完全拘束とし、移動・回転は考慮されていない。間隔保持材は、芯材・拘束材と同様にシェル要素でモデル化した。板厚は 16mm としたが、ヤング率を芯材の 100 倍とすることで変形を無視している。境界条件は、間隔保持材の端部 (図中赤線) の長手方向変位(Z 軸方向変位)のみ拘束している。解析は間隔保持材の個数の違う、芯材のパラメータが同一の 3 体(No.1:間隔保持材なし, No.2:間隔保持材 6 個, No.3:間隔保持材 16 個)に対して行い、波形の箇所を表現する波番号は、固定端より波①、波②・・・波⑩としている。

3. 解析結果

図-2 に解析から得られた水平荷重-水平変位曲線と、実験で得られた水平荷重-水平変位曲線の比較を示す。図中では、実験結果を黒の実線、解析結果を赤の点線で示している。同図より、最大荷重は全般的に解析の方が多少小さいが、実験を概ね模擬できたことが分かる。水平荷重-水平変位曲線では、実験における圧縮域での履歴の違いが確認できなかったため、拘束材の面に垂直に作用する接触力に注目する。水平荷重の上昇

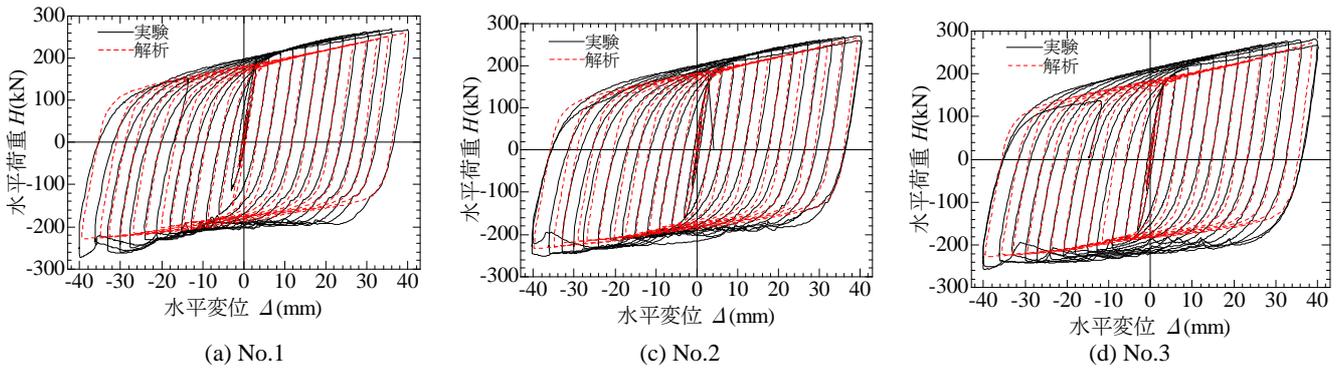


図-2 実験と解析の荷重変位履歴の比較

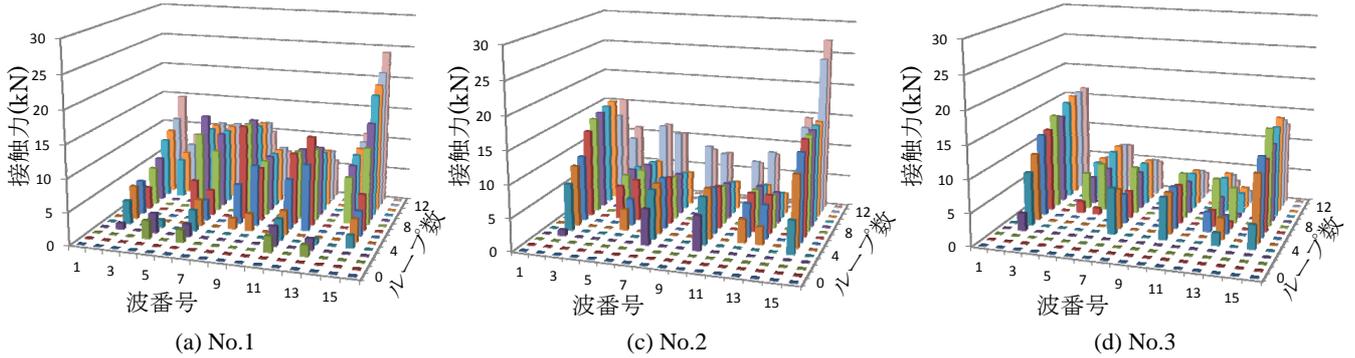


図-3 各波の接触力の推移

は、載荷方向に作用する摩擦力の影響であると推測できる。しかし、クーロン摩擦モデルにおける接触力に摩擦係数を乗じた量は摩擦力となるため、摩擦係数が正確に予測できない本研究では、接触力の推移を確認することにより、間隔保持材の働きを明らかにする。

図-3 に各波の接触力の推移を示す。図中の接触力は各ループにおける変位の折り返し地点での値である。間隔保持材の設置箇所を増やすことによって、接触力の分布の偏りは分散されている。全体的な傾向として、両端部付近(波②、波⑮)に接触力は集中が確認された。特に、移動端側(波⑮)への接触力の集中はNo.1とNo.2において顕著である。図-4 に芯材である波形鋼板と拘束材間で発生する接触力の合計(総接触力)の推移を示す。間隔保持材の数が増えるほど、総接触力を抑えていることが分かる。ここで、総接触力が低い供試体は、図-2の実験結果において安定した荷重変位履歴であった。接触力No.1とNo.2のように総接触力が比較的大きな供試体は、図-3において接触力の分布が波⑮に集中していたため、接触力の移動端側への集中を抑えることは重要であるといえる。

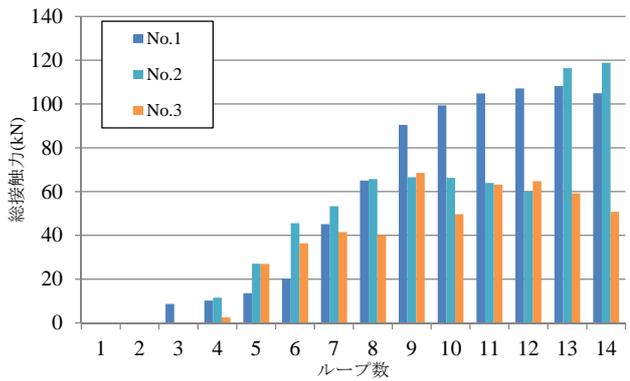


図-4 総接触力の推移

4. 結言

RP-BRB ダンパーの解析手法を示し、実験を概ね模擬できたことを確認した。そして、面に垂直な方向の接触力に注目することで、間隔保持材が増えるほど接触力を抑えていること、荷重変位履歴の安定化のために移動端側への接触力の集中を防止することが重要であることを明らかにした。

参考文献

1) 山崎伸介, 加藤弘務, 宇佐美勉: 芯材に波形鋼帯板を適用したBRB(RP-BRB)の実験的検討, 平成27年度土木学会全国大会, 2015.9.