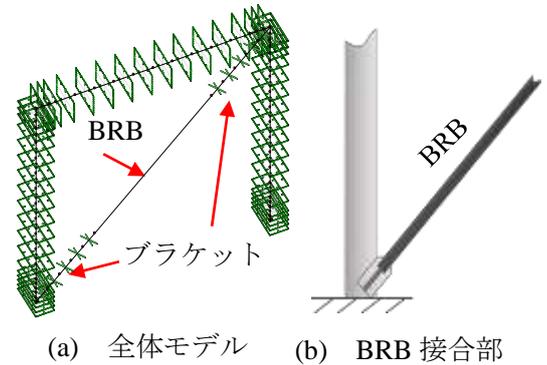


制震化した鋼製ラーメン橋脚の解析モデル化手法に関する研究

名城大学 学生会員 ○川上 峻幸 名城大学 正会員 渡辺 孝一 名城大学 小島 諒

1. はじめに

地震時における土木構造物の制震性能を向上させるための制震デバイスとして、座屈拘束ブレース (Buckling-Restrained Brace, 以下「BRB」と略記する) がある。著者らは、図 1(a) に示すような鋼製ラーメン橋脚の BRB による制震効果について実構造を再現する研究を行ってきたが、より精密な予測を得るために解析モデルの構築は、ガセット部の影響を考慮したモデル化が必要である。本研究は、ガセットと橋脚基部の接合部分に着目して解析的に検証した。



(a) 全体モデル (b) BRB 接合部

図 1 ファイバー要素モデル

2. 解析概要

図 1(a) にファイバー要素モデルの全体を、(b) に BRB・ブラケットの接合部のイメージ図を示す。地面から梁断面中心までの橋脚の高さ、橋脚の梁部の幅をそれぞれ 10,000mm とし地面に対して完全固定の境界条件を与えた。橋梁の柱、梁、BRB の支持ブラケットはファイバー要素で作成し、BRB は座屈を考慮しないためトラス要素で作成した。図 2 に柱と梁の断面を柱と梁の断面を示す。柱の幅 B_c は 2,000mm、柱の奥行き D_c は 1,000mm とした。解析モデルの柱と梁の断面内には、リブ突出幅 150mm、板厚 30mm の補強リブを設けた。材料特性は鋼種 SS400 を想定し、降伏応力 320MPa、ヤング率 $E=206\text{GPa}$ に設定した。材料構成則は 2 次勾配が $E/100$ のバイリニア型構成則とした。

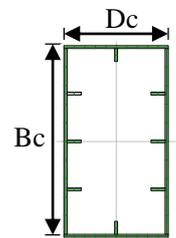
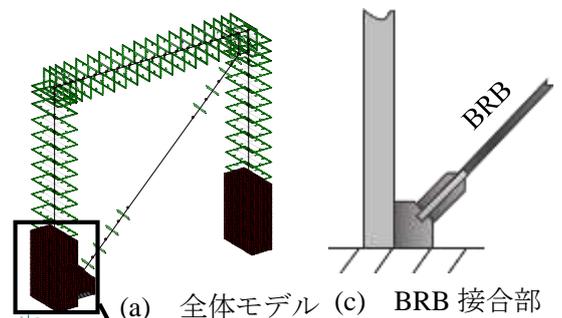
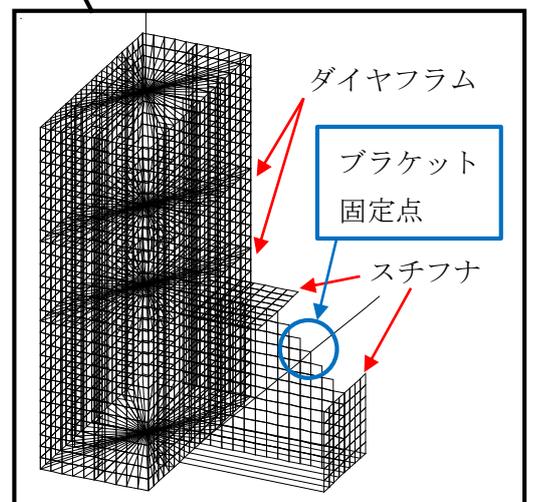


図 2 橋脚の断面

図 3 に橋脚基部とガセットをシェル要素で模擬した (a) 解析モデルの全体と、(b) にシェル要素でモデル化した部分のメッシュ分割状況を示す。シェル要素は基礎から高さ 3,000mm に適用し、断面諸元については前述したファイバー要素の柱と同等である。ガセットは板厚 30mm、スチフナは板厚 60mm とした。メッシュサイズが 1 辺 100mm の正方形となる様に分割した。図 3(c) に BRB・ブラケットの接合部のイメージ図を示す。トラス要素の BRB からファイバー要素で作成したブラケットを要素でつなぎ、ブラケットとガセットの接地面を接合することで完全固定とした。ガセットと橋脚を一体とするために、接地しているスチフナから橋脚壁面へと剛体で接合することでガセットを固定した。一部モデルでは、実験供試体のダイヤフラムを模擬するために、橋脚中心部に主接点を取り、同じ高さにある橋脚壁面を剛体で結んだ。ダイヤフラムはスチフナ設置高さと同じ、橋脚高さ 1,300mm、アスペクト比 $\alpha=1$ となる 2,000mm の位置に設置した。



(a) 全体モデル (c) BRB 接合部



(b) ガセット部の詳細

図 3 シェル要素モデル

柱の頂部に上部構造質量 800tonf をそれぞれ与え、BRB が引張側となる方向に 250mm の水平強制変位をそれぞれ与える、プッシュオーバー解析を行った。解析に使用した FEM プログラムは、SeanFEM である。

3. 解析結果

図4は条件の異なる5つのモデルの解析結果を比較して示す。図の縦軸はラーメン橋脚の水平荷重を降伏荷重 H_y で無次元化し、横軸は水平変位を降伏水平変位 $\delta_{h,y}$ で無次元化している。非制震モデルに着目すると、ファイバーモデルとシェルモデルは概ね同等の結果となった。このとき、 $H_y=8,085\text{kN}$ 、 $\delta_{h,y}=61.0\text{mm}$ 、水平弾性剛性 $K_0=132.5\text{kN/mm}$ であった。

制震モデルに着目すると、ラーメン橋脚全体の降伏荷重は、ファイバーモデルが $H_y=13,724\text{kN}$ 、 $\delta_{h,y}=57.6\text{mm}$ シェルモデルが $H_y=13,585\text{kN}$ 、 $\delta_{h,y}=53.6\text{mm}$ となり、ファイバーモデルがわずかに1.0%大きい荷重となったが、概ね同等の応答が得られた。図5には、制震化による橋脚の健全度を保つために必要な限界値²⁾として、 $2.8\delta_{h,y}$ 時のミーゼス応力コンター図を示す。(b)の拡大図より、橋脚基部のフランジ内側へガセットがめり込み、基部が先行して降伏していることが確認できる。このため、ガセットをモデル化しているのにも関わらず、橋脚基部のフランジによる座屈が生じることでガセットの影響が小さいため、ファイバーモデルと同等の荷重-変位履歴が得られたと考えられる。

この推察を検証するため、制震シェルモデルの橋脚基部のリブ突出幅を210mm、板厚を60mmに変更し、橋脚基部の断面剛性を高めたシェルモデル(2)を作成して検証した。その結果を図4および図5(c)に示す。水平荷重-水平変位履歴は降伏後の制震ファイバーモデルに比べ約13%上昇した。これにより、橋脚基部フランジの面外剛性が大きく影響したことがわかる。

4. 考察と結び

橋脚の変形性能を適切に評価するためには、一般的にシェルモデルの方が有利であるが、ファイバーモデルに比べ、シェルモデルは要素数も多く応答解析に時間を要する。そこで、図5(a),(b)を比較すると、本研究で検討した橋脚諸元の場合は両モデルの応力図が概ね一致していることから、ファイバーモデルを適用することも安全性への影響は小さいと考えられるが、細部の応力分布はモデルの特性により違いが見られる。図5(b)のシェルモデルの場合、シェルモデル(2)のケースのように、ガセットと橋脚フランジの面外剛性によっては、ガセットの影響も顕著に現れることから、BRB性能を検証する橋脚のモデル化にあたっては、橋脚基部を再現可能なシェルモデルを組み合わせることが有効である。

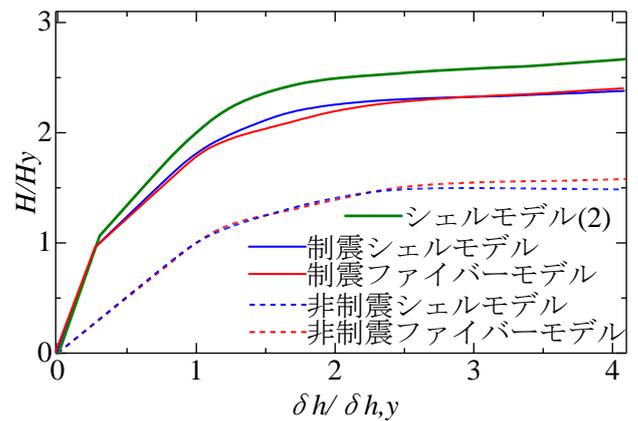


図4 水平荷重-水平変位履歴

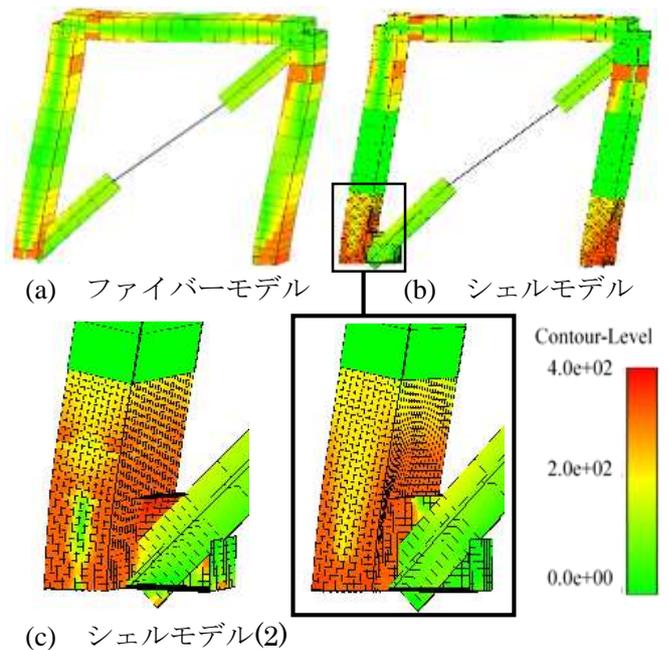


図5 $2.8\delta_{h,y}$ 時のミーゼス応力図

参考文献

- 1) 渡辺孝一, 石田真士: 座屈拘束ブレースを付与した鋼製ラーメン橋脚のハイブリッド実験による制震効果の検証, 土木学会構造工学論文集, Vol.63A, pp.315-328, 2017.3.
- 2) 宇佐美勉: 座屈設計ガイドライン, 改訂第2版, p.412-413, 2005.10