既設 H 形鋼を制震ブレース化するための実験的検討

瀧上工業（株）　正会員　○織田　博孝
名城大学　フェロー会員　宇佐美　勉
名城大学　正会員　渡辺　孝一

１．目的

地震に対して橋梁の損傷を制御する制震ダンパーとして, 軸力部材の塑性変形で地震エネルギーを吸収する軸降伏型の座屈拘束ブレース（以下，BRB と称する）がある．BRB は既に幾つかの形式のものが開発され, BRB は新設橋梁の対傾構や横構の一部に適用され，既設橋梁の耐震補強では既設の対傾構や横構と交換することで適用されている. そこで, 本研究では耐震補強において既設部材を交換する方法を変えることに着目し, 既設部材に座屈拘束材を被覆して BRB として利用する方法を検討している.

既報[1)]ではH形鋼を軸力材とし溝形鋼を座屈拘束材として利用したBRBを製作し，軸力材の強度，連結部の強度，軸力材露出部（伸縮のため拘束材から露出した部分）の強度に着目し，H形鋼をBRBとして利用するために必要な条件を調べた. その結果, 軸力材の拘束材に被覆された部分と露出した部分の強度が同じであると, 露出長さによっては露出部で座屈する可能性があることがわかった．そこで，今回は露出部の長さは同じであるが露出部を補強した試験体について実験をしたので，その結果を報告する.

２．実験計画

今回の試験体を図-1 に示す．試験体の諸元は既報[1)]と同じであるが，基本的な諸元を表-1 に示す. 軸力材（ブレース材）の細長比は道路橋示方書・Ⅱ鋼橋編における圧縮部材の細長比制限が主要部材 120，二次部材 150 であることを参考にL/r=100としている. この細長比では圧縮耐荷力は全強の約 1/2 となり，全体座屈しやすい部材である. 拘束材は製作を容易にするため, 図-1 に示すように溝形鋼と鋼板を組み合わせて, 高強度ボルトで綴じることにより構成している.

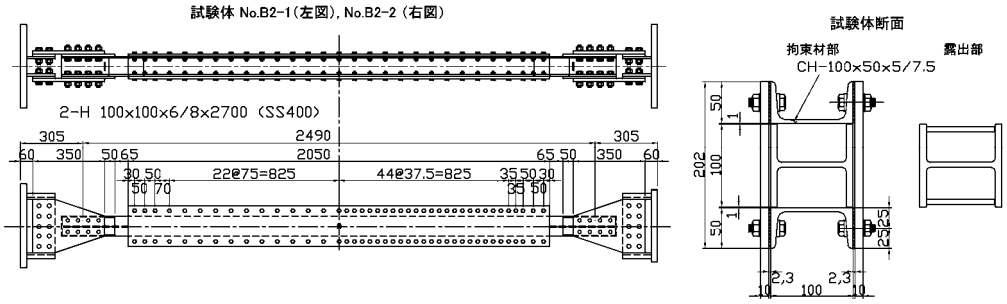


図-1　試験体

表－1　軸力材（ブレース材）の諸元

断面および鋼種	H－100×100×8×6（SS400）		
幅厚比パラメータ	フランジ $R_f = 0.32$ ウェブ $R_w = 0.25$		
細長比 L/r	100	断面 2 次半径 r (mm)	24.9
断面積 A (mm²)	2,159	部材長 L (mm)	2,490

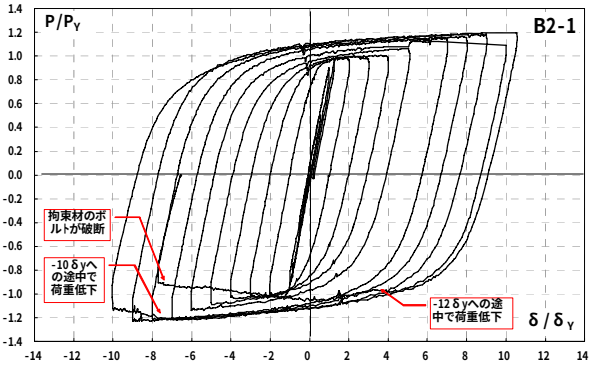
写真-1　実験装置
（名城大学　高度制震実験・解析研究センター）

伸縮のため拘束材から露出し，連結部のガセットとの間になる箇所は既報の実験において座屈したため，図-1 に示すようにH形鋼のフランジ間に補強リブを取り付け箱断面の形状としている. 試験体B2-1 とB2-2 の違いは拘束材を綴じるボルト本数の違いであり，試験体B2-2 は軸力材が拘束材の内部で座屈したときに生じるフープ力に対して抵抗を増したものである．なお，実験は名城大学・高度制震実験・解析研究センター（ARCSEC）の大型構造実験フレームを利用して実施した．この装置と試験体の設置状況を写真-1 に示す.

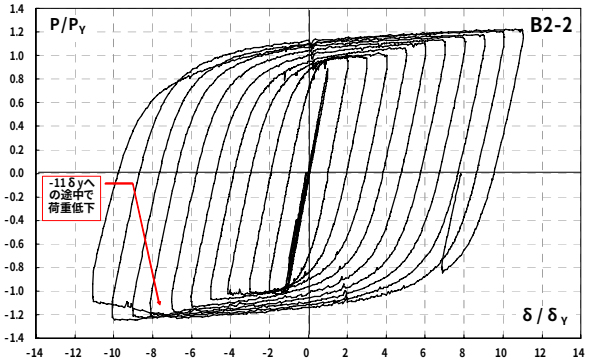
キーワード　座屈拘束ブレース，既設部材，H 形鋼，実験
連絡先　〒454-8517　名古屋市中川区清川町２－１　瀧上工業（株）技術設計グループ　TEL 052-351-2214

3．実験結果

載荷は軸力材の降伏変位をδ_Yとして，1.0δ_Y単位で増分して圧縮引張両側に1回繰り返す方法とした．この載荷による試験体B2-1およびB2-2の荷重-変位履歴曲線を図-2に示す．どちらも履歴型ダンパーによく見られる紡錘形の履歴曲線を描いている．試験体B2-1の場合，-10δ_Yに到達する直前でやや荷重が低下し，次のループの圧縮載荷で荷重が大きく低下した．最後は軸力材の座屈に伴うフープ力により拘束材の組立ボルトが破断して実験を終了した．拘束材の組立ボルトが多いB2-2の場合，-10δ_Yまでは荷重低下はなく，-11δ_Yへ向かう途中で荷重が低下した．次のループでは拘束材組立ボルトが破断する前に実験を終了した．



(a) B2-1



(a) B2-2

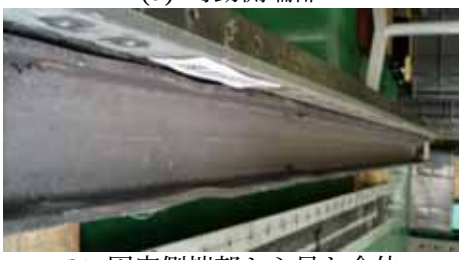
図-2　軸力ー軸方向変位履歴

4．考察

今回の試験体で圧縮側に荷重低下することなく到達し得た所のひずみは，B2-1で1.44%（-9δ_Y），B2-2で1.60%（-10δ_Y）である．したがって,要求される性能は地震や橋梁形式によって異なるが，制震ダンパーとして使える可能性はあると思われる．

写真-2に試験体B2-1の軸力材の破壊状況を示す．試験装置の可動側端部では軸力材の座屈変形が大きくなっている．この座屈変形は軸力材の座屈に伴うフープ力に拘束材組立ボルトが耐えられなくなり，ボルトが破断した後に大きくなったと思われる．軸力材の座屈変形は可動端側だけでなく，写真に示すように固定側端部から，かなりの範囲にわたる短い波長の変形が見られた．これらの変形は主にH形鋼のフランジの局部座屈の現象と考えられるが，その幅厚比パラメータの値0.32からすると変形性能が小さく，単純な現象とは言えない．フープ力や全体座屈との関係を含めて検討する必要がある．

(a) 可動側端部



(b) 固定側端部から見た全体

写真-2　破壊状況（B2-1）

次に露出部について考える．今回の実験で露出部は既報の結果のように座屈することはなかった．これは軸力材の降伏軸力が作用したときの露出部の応力は218MPaであり，降伏応力σ_Y=320MPaに比べ十分に小さいためである．また，既報[1)]では露出部の座屈安定を照査するため，露出部に作用する偏心曲げモーメントの設計式を示した．計算の過程は省略するが，この曲げ応力16MPaを加えても露出部の応力は小さい．

5．まとめ

今回の実験から露出部を補強したH形鋼は，制震ブレースとして使用できる可能性はある．今後は設計手法を開発するために，軸力材としてH形鋼を使用したときに発生するフープ力の解明，終局状態（座屈様式）の解明，露出部の座屈条件の解明などが必要と思われる．また，H形鋼のフランジの座屈を拘束すれば変形性能がさらに向上することは明らかであるが，経済性に注意しながら拘束材の改良も検討する必要がある．なお，本研究は名城大学「高度制震実験・解析研究センター」の研究課題「高機能制震ダンパーの開発と鋼橋の耐震補強への適用」の一環として行われたものである．

参考文献

1)織田，宇佐美，青木，葛西：既設部材を利用した制震ブレースの基礎実験，第11回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2008年1月，pp.59-64.