H 形ブレースを BRB 化することによる 鋼トラス構造の耐震性能向上効果

舟山　淳起[1]・今瀬　史晃[2]・宇佐美　勉[3]・王　春林[4]

[1]学生会員　名城大学大学院理工学研究科建設システム工学専攻修士課程
（〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口）
E-mail: 103437009@ccalumni.meijo-u.ac.jp
[2]学生会員　名城大学大学院理工学研究科建設システム工学専攻修士課程（同上）
E-mail: 113437002@ccalumni.meijo-u.ac.jp
[3]フェロー，D.Sc.，工博，名城大学教授　理工学部建設システム工学科（同上）
E-mail: usamit@meijo-u.ac.jp
[4]Post Doctoral Fellow，名城大学大学院理工学研究科建設システム工学専攻（同上）
E-mail: dft0tfi12@meijo-u.ac.jp

本論文では鋼橋の耐震性能向上に関する研究を行った．橋梁の耐震性能向上策として座屈拘束ブレース（*BRB*）などの制震デバイスを用いる方法が非常に効果的であるとされている．既存橋梁においては，既設のブレース材を座屈拘束材によって被覆することで制震ダンパーとしての機能を付与させ *BRB* 化するというアイデアもある．本研究では，*BRB* 化されたブレース材または座屈拘束されていないブレース材を有す鋼平面トラス構造模型を 3 体製作して単調増大または繰り返し載荷実験を実施し，ブレース材を *BRB* 化することによる耐震性能向上効果について確認した．

Key Words*：*Steel truss, H-sectional BRBs, Seismic upgrading

1. 緒言

現在，橋梁の耐震性能向上策として，制震・免震デバイスを用いた，いわゆる制震構造化する方法が主流となってきている．本論文においても取り扱う，座屈拘束ブレース（以下，*BRB* と称す.）は，軸降伏型の制震ダンパーであり，大地震時には素材の履歴減衰によって地震エネルギーを吸収・消散し，主構造の損傷を抑制することが可能となる[1)]. 制震ダンパーには数多くの種類が存在するが，*BRB* などのパッシブ型の履歴型ダンパーは，経済性に優れ，施工性に関しても施工期間，架設時安全性の観点から優位性があり，これまで，既設橋梁において多くの施工実績が挙げられている．既設橋梁の耐震補強工では，通常の場合，既設部材を撤去して *BRB* などの制震ダンパーに置き換えることがほとんどである．しかし，長大橋梁などの大型構造物に取り付けられる *BRB* はかなり大規模なものとなるため，多数の既設部材が配置されている場合には大型重機を用いた部材の取り替え施工が困難になることも考えられる．実既存橋梁の施工性を考慮した上での *BRB* の構造検討をした研究も行われているが例は少ない[2)].

著者の1人は，既設部材を交換する方法ではなく，既設のブレース材に座屈拘束材を被覆することで制震ダンパーとしての機能を付与させ*BRB*化するアイデアを用い，既設ブレース材を*BRB*化した供試体の基礎的な性能実験について報告している[3)]．ここでは，既設のブレース材としてH形鋼部材, 拘束材として溝形鋼と平板をボルト接合して組み立てられたものが使用されており，高機能*BRB*[1)]の目標性能には及ばないが座屈拘束されていないブレースと比較すると格段に耐震性能が向上し，設置場所を選択することにより制震ダンパーとして使用することは十分に可能であるとの結果を得ている．この研究成果を受け，本研究では，　H形断面部材を斜材に用いた鋼平面トラス構造模型を製作し, 既設部材として設定したH形断面

ブレースに対して座屈拘束材を取り付けBRB化することによるトラス構造の耐震性能向上効果について検討した．H形鋼部材を使用し，格点部がガセットを介して高力ボルトで剛結された鋼平面トラス模型を用い，死荷重を想定した一定鉛直荷重のもと，地震力を想定した繰り返し水平荷重を作用させて実験を行った．実験供試体は斜材をBRB化した鋼トラスを2体，斜材のBRB化による耐震性能向上効果を検証するため，座屈拘束していないH形断面ブレースを持つ鋼トラスを1体製作して比較実験を行った．

2. 実験概要

2.1 実験供試体

実験供試体は**図-1** に示すような 2 径間連続鋼平面トラス構造で，全部で 3 体の供試体を製作して実験を行った．トラス構造は，支持条件として両端基部がピン支承，中央基部がローラー支承である 2 次不静定構造で，3 本の鉛直ジャッキによって均等な一定鉛直荷重 V（死荷重を想定）が各鉛直材の軸線上に載荷され，トラス右上格点に対して上弦材軸線方向に単調増大または繰り返し水平荷重 H（地震力を想定）が載荷されている．鉛直荷重 V の大きさは鉛直材の降伏軸力の 20%であり，これはアーチ橋の実績調査[4]ではあるが，これに報告されている値の平均値 $0.16N_y$ を参考にして，少し大きめに設定した．

供試体一覧を**表-1** に示す．上下弦材および鉛直材には H 型鋼（H100x100x6x8 で材質は SS400）を弱軸回りに使用した．供試体名の最初の英字は斜材断面の種類を表し，H は上下弦材および鉛直材に用いた H 形鋼（H100x100x6x8）の両端部を残して，中央部のフランジ幅を 50mm に，さらにフランジ厚についても半分の 4mm に削ったものである．（**図-2(a)**）座屈拘束などは一切しておらず，こちらが今回，H 形既設部材として設定した斜材（H92x50x6x4）であり，上下弦材，鉛直材と同様，弱軸方向に使用した．BRB-H は H-Cy の斜材（H92x50x6x4）に対して，溝型鋼と平板を用いた座屈拘束材（**図-2(b)**，**(c)**）で被覆し *BRB* 化した斜材（以下，*BRB* と称す．）を示している．2 番目の英字は載荷パターンを表しており，Mo は単調増大（Monotonic），Cy は繰り返し（Cyclic）である．

供試体の格点は板厚 8mm の 2 枚のガセットを介して F10T 高カボルト（M16）で摩擦接合されており，ガセット板厚，高力ボルト本数は道路橋示方書[5]の基準を満たすように設計している．下弦材を回転支承部に取り付けるベースプレート（以降，*BP* と略記する）は，PL 260 x 12 x 320 であり，下弦材フランジに両面隅肉溶接（脚長 4mm）されている．

H 形鋼部材（SS400）のフランジとウェブ，*BRB* の拘束

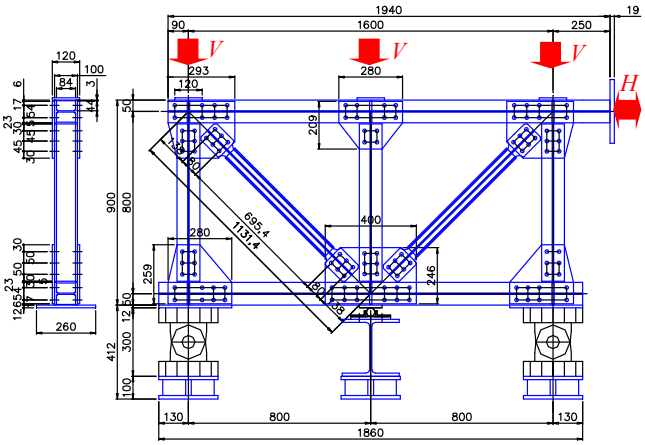
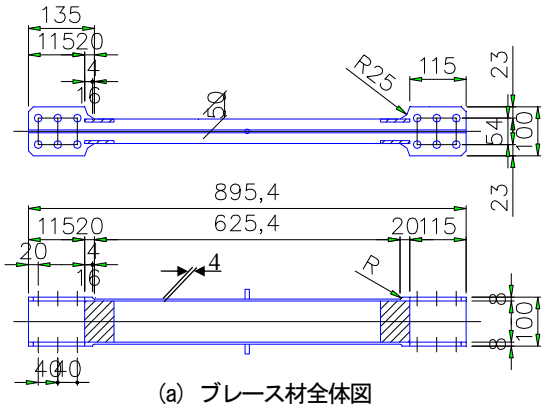
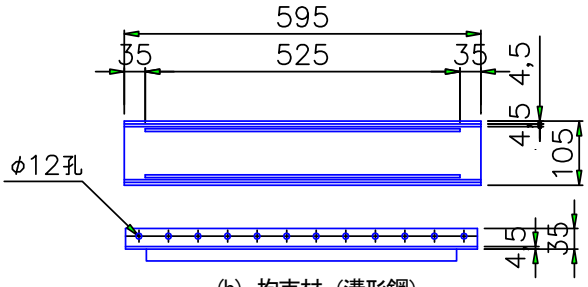


図-1 実験供試体



(a) ブレース材全体図



(b) 拘束材（溝形鋼）

(c) 拘束材（平板）

図-2 斜材寸法

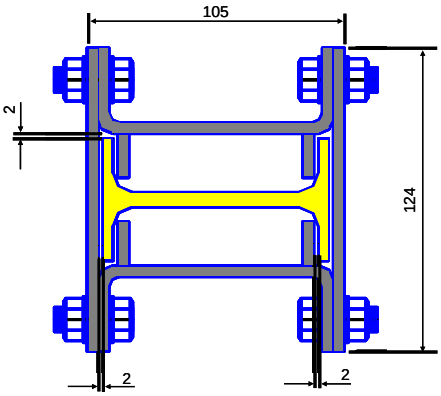


図-3 拘束材断面図

表-１ 実験供試体の種類

供試体名	上下弦材・鉛直材		斜材			ブレース材の座屈拘束
	断面・部材長	ℓ/r	断面・部材長	ℓ/r	ℓ'/r	
H-Cy	H100x100x6x8 （弱軸回り） A=2,100 mm^2 r=25.2 mm ℓ =800 mm	32.4	b =50mm, A_D=904mm^2 r=9.69mm, ℓ =1,130 ℓ' =775mm	117	80.0	無し
BRB-H-Mo						有り
BRB-H-Cy						

Note: ℓ =骨組長, ℓ' =連結高力ボルト群の重心間距離, A=上下弦材・鉛直材断面積, A_D=斜材断面積, b=フランジ幅, r=弱軸回りの断面２次半径

表-2 供試体実測寸法

	上下弦材・鉛直材（H 形）	斜材（H 形）
断面寸法 (mm)	b=100, d=100, t_f=7.6, t_w=6.1	b=50.0, d=92, t_f=3.6, t_w=6.0
断面積 (mm^2)	2037	869
断面２次半径 r (mm)	25.0	9.38
ℓ/r （ℓ'/r）	31.7	120 （82.6）
降伏軸力 N_y (kN)	630	266

Note: b=フランジ幅, d=断面高さ, t_f =フランジ厚, t_w=ウェブ厚, ℓ , ℓ' =表-1 参照,

$N_y = 2\sigma_y)_{flange} \cdot A_{flange} + \sigma_y)_{web} \cdot A_{web}$ （H形断面）.

材，ガセット（SM400）それぞれ３本の JIS１号引張試験片を製作したが，引張試験についてはまだ実施していないため省略する．

供試体断面寸法はマイクロメータおよびノギスで測定し，部材長はテープ尺で測定した．部材長は設計寸法と大差なかったので，断面寸法のみを表-2 に示す．降伏軸力については文献 8）の材料定数を用いて算定した．

本実験供試体は写真-1にあるように白く着色された状態となっている．これは，石灰を適量の水に溶いたものを刷毛によって塗布し乾燥させた状態で，供試体に塑性変形や損傷が生じた際に塗装が剥がれるようになっており，変形・損傷箇所の観察，写真撮影を容易にするために行った．

2.2.1 既設ブレースのBRB化

BRB の断面形状は図-3 に示しており，*BRB* の芯材は上述したように H92x50x6x4 の H 形鋼部材である．拘束材は，溝形鋼（96x35x4.5）と平板（124x4.5）によって構成されており，M10 の高力ボルトを用いて接合したものを使用している．文献 3）で得られた知見として，芯材である H 形鋼部材のフランジが断面内に局部座屈することを防ぐことによって更なるエネルギー吸収性能の向上が見込めるとされており，本実験では，溝型鋼に 18x4.5 のリ

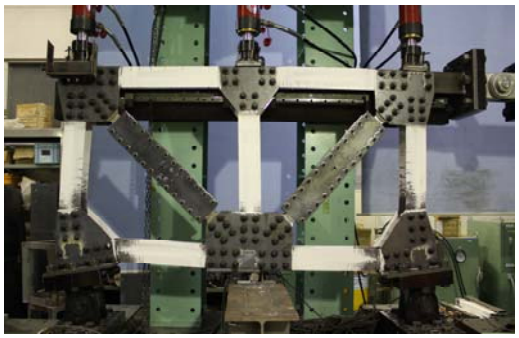


写真-1 石灰による塗装

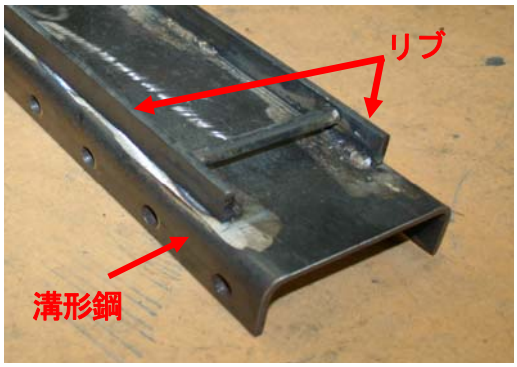


写真-2 拘束材（溝形鋼）のリブ取り付け構造

ブを**写真-2**のように溶接することによってH形ブレースのフランジの局部座屈を拘束することとした．本供試体では，ブレース材の伸縮のために拘束材から露出している部分があり，この露出部が構造上の弱点になるため，**写真-3** に示すように 4.5mm 厚の板（PL84x4.5x60）を 2 枚溶接して H 形鋼を箱形断面形状にしている．ブレース材中央部のフランジには長さ 20mm, φ9mm のずれ止め用の丸棒がスポット溶接されている．ずれ止め棒は拘束材に設けられた孔を貫通する長さになっており，拘束材が軸方向にずれないようになっている．

拘束材の設計において必要なことは，ブレース材の自由な伸縮を妨げないことと，ブレース材の全体座屈を防止するために必要な剛度を持たせることである．まず，ブレース材を伸縮させるための構造について説明する．H 形鋼のフランジとその端面にはアンボンド材（1mm 厚のブチルゴム）を貼付け，ゴムの柔軟性によりブレース材の軸方向の伸縮を拘束しないようにした．また，ブレース材の両端は拘束材から約 15mm ずつ露出させた．この露出の長さは，高機能 *BRB* の目標変形性能である 3%以上の圧縮ができるように決めた．

*BRB*として，圧縮・引張側対称の安定した履歴特性を得るためには，全体座屈の防止が必要となる[6]．*BRB*の全体座屈防止条件は既に著者らによって提案されており[6)7)]，それによれば，全体座屈防止条件の安全係数v_Fが3.0以上であれば全体座屈は発生しないとしている．本供試体の*BRB*の安全係数v_Fは3.4であり，全体座屈に対して安全である．

2.2 実験装置・計測方法

実験は文献 8）と同様の実験装置を使用しており，名城大学の「高度制震実験・解析研究センター」に設置された実験装置を用いて行った．実験供試体は自碇式の剛な載荷フレームの中に組み込まれ，水平方向には圧縮 1,000kN，引張 500kN のサーボ式アクチュエータ 2 基，鉛直方向には圧縮 350kN の 3 基のジャッキによって載荷されている．水平方向の載荷装置は，デジタル変位計と 32bitCPU を搭載したコントローラーによる 1/100mm の高精度な変位制御が可能である．垂直に設置された剛柱の上下端にはリニアーガイドが装着されており，それが水平に移動することにより供試体に 2 本のアクチュエータの合計荷重 *H* が与えられる．剛柱と供試体の間には 2 個のヒンジが挿入されており供試体の水平変位による載荷点の上下動を吸収可能である．3 基の鉛直ジャッキは，上部をリニアーガイドに連結された載荷はりに固定されており，供試体が水平方向に変位しても常に鉛直方向に載荷され，またジャッキに接続された油圧制御装置により常に 3 基とも同一かつ所定の荷重値を保つようになっている．

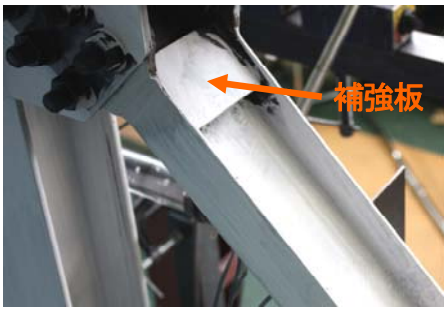


写真-3 斜材端部の補強

供試体の面外変位は，上弦材の格点 3 カ所に設置した面外変位拘束装置によって防止した．この装置は，両端ヒンジのロッドを供試体とリニアーガイドを介して剛な柱に取り付けたもので，供試体の面内水平変位を拘束することなく面外水平変位を防止することが出来るようになっている．

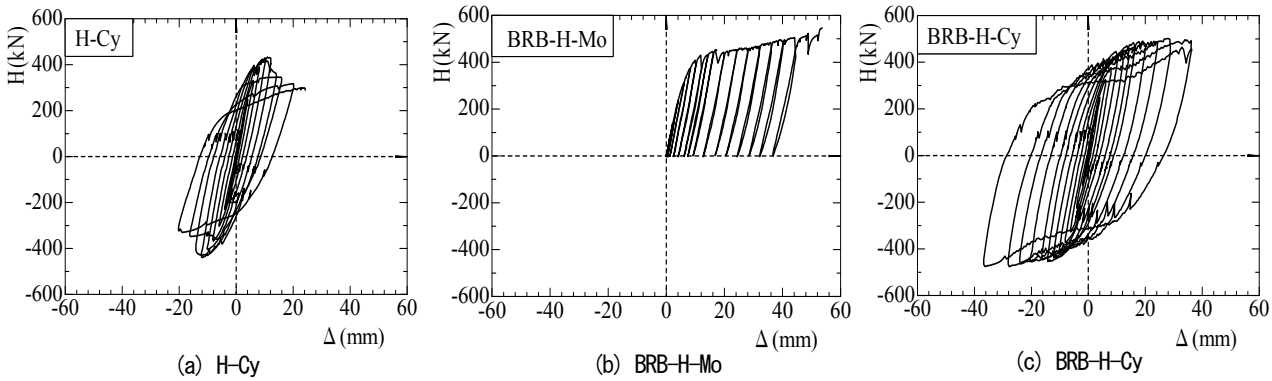
実験は上弦材格点の水平変位の平均値をダイアルゲージ（最小目盛り1/100 mm）でモニターすることにより変位制御で行った．ただし，計測した水平変位には，供試体の変形に伴う実変位以外に，剛体変位として左右の回転支承と載荷フレームベース梁の間の接合部のすべり，および回転支承と供試体の間のすべりが加わって計測される．そのため，それぞれの回転支承について3 個のダイアルゲージにより剛体的な水平変位を計測し，測定した水平変位から剛体変位を差し引いて実水平変位Δを算定し，変位制御に用いる水平変位とした．

3. 実験結果

3.1 水平荷重－水平変位関係（H－Δ履歴）と損傷課程

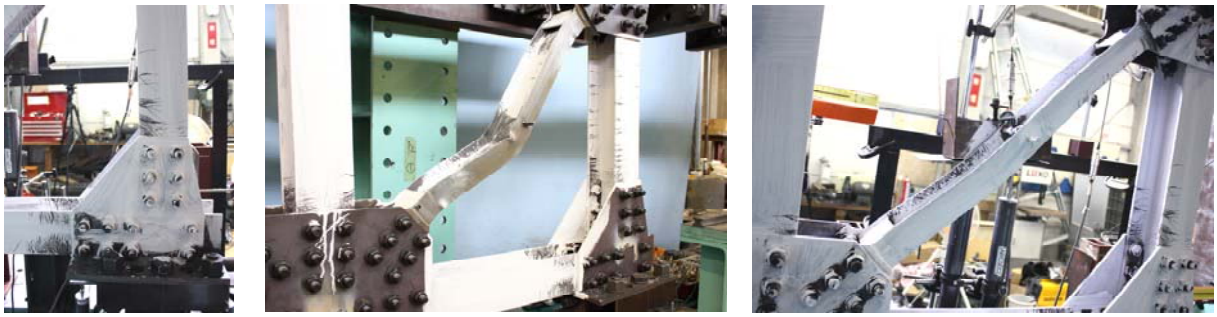
実験から得られた各供試体の変形挙動の内，水平荷重－水平変位関係（*H*-Δ 関係）を**図-4** に示す．水平変位 Δ は左方向に変位した場合を正としている．

<u>（1）H-Cy：</u>　Δ=±10mm 付近までは安定した履歴を描いているが，斜材の全体座屈およびフランジの局部座屈の発生，進展によって荷重低下がみられた．荷重低下には下弦材と *BP* の溶接部の亀裂発生による影響も含まれると考えられる．具体的な損傷課程は以下のようである．Δ= -6mm 付近で下弦材左側，右側のフランジおよび左鉛直材下部フランジに石灰の剥がれを確認し（**写真-4(a)**），その後順次，右鉛直材下部フランジ，中央鉛直材下部フランジ，左右の斜材でも確認された．Δ= +14mm に向かう途中 11.7mm 付近で右斜材の部材座屈およびそれに伴って，斜材中央部の曲げ変形が大きい部分にフランジの局部座屈が生じ，急激な荷重低下がみられた．（**写真-4(b)**）Δ= -14mm では左斜材において 2 次のモードで部材座屈が生じ荷重低下した（**写真-4(c)**）．Δ= +16mm では右斜材



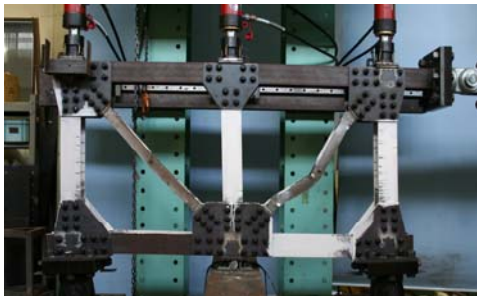
(a) H-Cy　(b) BRB-H-Mo　(c) BRB-H-Cy

図-4 水平荷重（H）－ 水平変位（Δ）履歴



(a) 下弦材・鉛直材の変形　(b) 右斜材座屈変形（1 次モード）　(c) 左斜材座屈変形（2 次モード）

(d) 斜材端部リブ溶接止端部からの亀裂



(e) 実験終了後（Δ= +24mm）

写真-4　H-Cy の変形・損傷状況

両端部リブ付近フランジの局部座屈および下弦材フランジと右 *BP* の溶接部に微小な亀裂が生じた．Δ=-16mm では，左斜材両端部リブ付近および中央部フランジの局部座屈発生によって，座屈モードが 2 次モードから右斜材と同様の 1 次モードに変化した．その他では，下弦材と左 *BP* の溶接部に微小な亀裂，中央鉛直材上部フランジ，左右鉛直材下部および左右回転支承上部の下弦材最先端ボルト孔付近で大きく変形が生じ石灰の剥がれが確認された．その後は，両斜材の座屈変形が進行し，それに伴って荷重が低下していった．そして，Δ= +24mm で右斜材端部リブ溶接止端部から亀裂が生じ，フランジの片側が破断じたところで実験を終了した．（**写真-4(d)**）**写真-4(e)** に実験終了後の供試体の変形状況を示す．

(2) BRB-H-Mo：　*BRB* の全体座屈は無く，健全な状態を保ったまま実験を終了した．ボルト孔の破断，溶接部の亀裂などの損傷も無く荷重低下はみられなかった．H 形鋼ブレースを *BRB* 化することで斜材の全体座屈およびフランジの局部座屈を防止することが出来，耐震性能が向上していると言える．文献 3）の一部の供試体で発生した拘束材の接合用ボルトの破断や露出部の局部座屈についてもみられなかった．目立った損傷は発生しなかったため観察された変形箇所について以下に述べる．Δ= +6mm で左鉛直材下部フランジ，下弦材左側フランジにおいて石灰の剥がれを確認し，Δ=+8mm で下弦材右側フランジにも同様の変形を確認した．その後は，中央および右鉛直材下部フランジに石灰の剥がれを確認したが，その他目立った損傷などは無く，Δ= +54mm で載荷を終了した．（**写真-5**）

(3) BRB-H-Cy：　こちらも*BRB*に全体座屈などの損傷はみられず，Δ=+28mm付近まで荷重低下も無く，安定し

た履歴を描いていることからH形ブレースを*BRB*化したことによって耐震性能が向上していると言える．しかし，支承部周辺および鉛直材の損傷による荷重低下がみられた．具体的な損傷課程は以下のようである．Δ= ±6mmで下弦材左側および右側フランジ，左右鉛直材下部フランジで，Δ= +8mmで中央鉛直材下部フランジに石灰の剥がれを確認した．Δ= -14mmで下弦材と左*BP*の溶接部に亀裂，Δ= +20mmで下弦材と右*BP*の溶接部に亀裂が発生した．Δ= ±36mmでは左右回転支承上部の下弦材最先端ボルト孔および左鉛直材下部の最先端ボルト孔で支圧破壊，左支承上部下弦材最先端ボルト孔付近の亀裂が大きく進展し，Δ= +36mm（2回目）で載荷を終了した．（**写真-6**）その他では，中央鉛直材下部および右鉛直材下部の最先端のボルト孔で支圧変形，下弦材左側，右側フランジおよび左鉛直材下部フランジで大きな曲げによって局部座屈変形が生じた．

3.2 H形ブレースの座屈拘束効果

実験終了後に BRB-H-Mo，BRB-H-Cy の斜材の拘束材を取り外し，アンボンド材を剥がした後，ブレース材の変形状況を観察した．H-Cy の斜材（H 形ブレース，座屈拘束無し）の変形・損傷状況と比較し，H 形ブレースの座屈拘束効果を検証した．

H-Cy は**3.1 節**でも述べたように斜材の全体座屈およびそれに伴って斜材両端部，中央部フランジの局部座屈変形がみられる．**写真-7** には BRB-H-Mo の右斜材（圧縮側）の変形状況を示す．部材全体の座屈変形はみられず，拘束材内部でわずかに弱軸方向に 2 次のモードで変形しており，写真では分かり難かったため省略するがフランジが波打つように高次モードで変形していることを確認した．取り外した拘束材を観察してみたが，拘束材の全構成部材において曲げなどの変形は無く健全な状態を保っていた．

BRB-H-Cy の斜材の変形状況を**写真-8** に示す．圧縮側となっている左斜材（載荷終了後に計測装置を取り外してから，水平変位 Δ が①正，②負側の順番で写真撮影を行ったため載荷終了時とは引張・圧縮側が反転している．）は，BRB-H-Mo の右斜材（圧縮側）と同じく，部材全体の座屈変形は無く弱軸方向に 2 次のモードで変形している．本供試体は斜材中央部のやや上辺りのフランジが高次のモードで大きく局部変形していることがわかる．こちらの拘束材についても構成部材は健全な状態を保っていた．

上記のことから，溝形鋼および平板をボルト接合して製作した拘束材を用いてH形ブレースを座屈拘束することによって，部材の全体座屈およびフランジの局部座屈を防止することが出来，ブレース材の変形性能が向上したと言える．

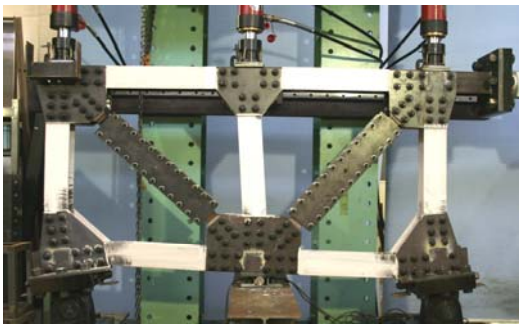


写真-5　BRB-H-Mo 実験終了後（Δ= +54mm）

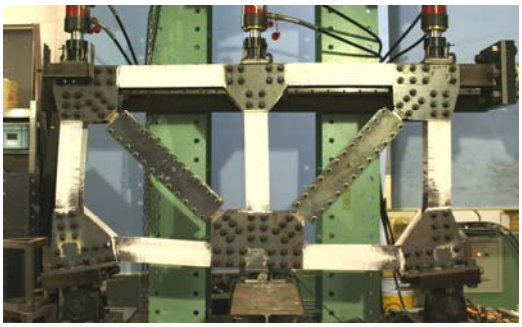


写真-6　BRB-H-Cy 実験終了後（Δ= +36mm）

写真-7　BRB-H-Mo ブレース材の変形（圧縮側）

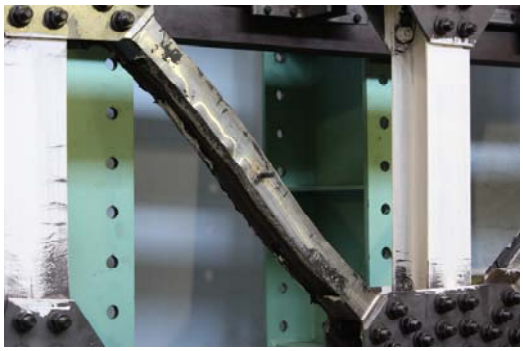


写真-8　BRB-H-Cy ブレース材の変形（圧縮側）

3.3 トラス構造の耐震性能

構造物の耐震性能を評価する際に用いる指標として，塑性率によって求める変形性能，*H*-Δ の履歴曲線が囲む面積の合計である累積エネルギー吸収量によって求めるエネルギー吸収能力が挙げられ，これらの値が大きいということは耐震性能が優れた構造であると言える．塑性率の定義は種々提案されているが，ここでは供試体の水

表-3　変形性能およびエネルギー吸収能の比較

供試体	$H_y=H_{dl}$ [kN]	Δ_y [mm]	H_m [kN]	Δ_{95} [mm]	$\sum E$ [kN·m]	μ_Δ	$\sum E/E_y$	ブレース材の座屈拘束
H-Cy	186	2.43	420	13.0	8.60	5.3	21.0	無し
BRB-H-Mo	337	4.70	546	54.0	24.9	11.5	31.3	有り
BRB-H-Cy			475	36.0	167	7.7	210	

Note: $E_y = H_y \cdot \Delta_y / 2$

平荷重が最大値から5%低下した点（95%耐力点）を構造の終局状態と定義し，その時の水平変位を降伏変位Δ_yで除した「変位塑性率μ_Δ」とした．すなわち，

$$\mu_\Delta = \Delta_{95} / \Delta_y \qquad \text{（変位塑性率）} \qquad (1)$$

ここで，Δ_{95}=95%耐力点での水平変位，Δ_y=降伏水平変位である．累積エネルギー吸収量についても，95%耐力を終局状態として履歴曲線が囲む面積を算定した．

表-3 は，3 体の供試体の無次元化した累積エネルギー吸収量および変位塑性率を示す．ここで，$E_y = H_y \cdot \Delta_y / 2$ は弾性限までのひずみエネルギー，H_mは水平荷重の最大値である．水平荷重H_y，水平変位Δ_yは文献 8）と同様の方法で算出した．

H-Cyと比較して，ブレース材を座屈拘束した供試体では変位塑性率が大きい値となり，変形性能の大幅な向上がみられた．累積エネルギー吸収量についても，BRB-H-CyはH-Cyに対して10倍となっている．これらの結果からもブレース材を座屈拘束して*BRB*化することで耐震性能が格段に向上したと言える．

4. 結言

本研究では，H 形断面部材を斜材に用いた格点剛結鋼平面トラス構造模型を製作し，既設部材として設定した H 形断面ブレースに対して座屈拘束材を取り付け *BRB* としての機能を付与することによるトラス構造の耐震性能向上効果について検討した．座屈拘束されていない H 形断面鋼部材を斜材に持つトラス供試体を 1 体，*BRB* 化された斜材を持つトラス供試体を 2 体製作し，一定鉛直荷重のもと単調増大または繰り返し水平荷重を作用させ比較実験を行った．それぞれの供試体の耐震性能を 2 つの指標（変位塑性率，累積エネルギー吸収量）を用いて比較し，さらに，ブレース材の変形・損傷状態を観察して H 形断面ブレースの座屈拘束効果を検証した．本研究で得られた知見は以下のようになる．

1）全体座屈防止条件式[6)7)]を用いて設計した拘束材によって文献 3）と同様に斜材の全体座屈を防止できた．
2）文献 3）より得られた知見をもとに，拘束材を構成する部材の 1 つである溝型鋼にリブを取り付けることによって H 形断面ブレース材フランジの断面内側への局部座屈変形を拘束することができ，その結果ブレース材の変形性能が改善された．
3）H 形ブレースは拘束材内部で弱軸方向に 2 次のモードで変形するとともに，フランジの一部が高次のモードで塑性変形していることを確認した．
4）*BRB* 化された斜材を持つ供試体（BRB-H-Mo，BRB-H-Cy）において，*BRB* の全体座屈はみられず，斜材が座屈拘束されていない供試体（H-Cy）と比較して，非常に安定した履歴曲線を描いた．
5）変位塑性率，累積エネルギー吸収量を用いて供試体の変形性能およびエネルギー吸収能力を比較したところ，BRB-H-Mo，BRB-H-Cy は H-Cy を大きく上回る値を示し，斜材を *BRB* 化することによって耐震性能が格段に向上したと言える．
6）斜材を*BRB*化することによってその他の構成部材（下弦材，鉛直材）に変形および損傷が多くみられた．BRB-H-Cyでは*BRB*の全体座屈はみられなかったが周辺部材の損傷が多くみられ，これらの影響によって荷重低下が生じた．このように既設部材に拘束材を取り付け*BRB*化する場合には，部材連結部や周辺部材の補強についても配慮することが必要になってくると言える．

謝辞：本研究は，平成19 年度文部科学省私学助成ハイテクリサーチセンター整備事業で名城大学に設置された「高度制震実験・解析研究センター（代表者：宇佐美 勉）」および科学技術振興機構のプロジェクト「橋梁構造物の大地震被害予測技術の高度化と制震技術の開発（代表者：宇佐美 勉）」の助成を受けて実施されたものである．

参考文献

1）宇佐美勉編著，日本鋼構造協会編：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，技報堂出版，2006.9.
2）金治英貞，浜田信彦，石橋照久，尼子元久，渡邊英一：長

大橋レトロフィット用座屈拘束ブレースの構造提案と弾塑性挙動，構造工学論文集，Vol.51A，pp.859-870，2005.3.
3） 織田博孝，宇佐美勉：既設H形ブレース材の制震ダンパー化に関する基礎的実験，構造工学論文集，Vol.56A，pp.499-510，2010.3.
4） 佐野泰如，小池洋平，大森邦雄：複弦アーチリブの橋軸直角方向地震時耐荷力に関する検討，土木学会論文集 A，Vol.63,No.2，pp.297-311，2007.4.
5） 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，丸善，1996.
6） 宇佐美勉，佐藤崇，葛西昭：高機能座屈拘束ブレースの開発研究，構造工学論文集，Vol.55A，pp.719-729，2009.3.
7） 宇佐美勉，渡辺直起，河村洋行，葛西昭，織田博孝：制震ダンパーとしての座屈拘束ブレースの全体座屈，構造工学論文集，Vol.52A，pp.37-48，2006.3.
8） 今瀬史晃，舟山淳起，宇佐美勉，王春林，野中哲也，菅付紘一：BRBによる鋼製剛結トラスの耐震性向上効果，構造工学論文集，Vol.58A，（投稿中）

Seismic Upgrade Effect of Steel Truss Structures with H-sectional BRBs

Junki FUNAYAMA，Fumiaki IMASE，Tsutomu USAMI，Chun-Lin WANG

This paper presents a result of a series of general investigations into the seismic upgrading of steel bridge structures. To this end, one of the most efficient ways is found to install energy dissipation devices in bridges, such as buckling-restrained braces (BRBs). An idea of installing a BRB in existing bridges is to wrap an existing brace member by a sort of buckling restraining member so that the overall buckling of the brace would not occur. In this paper three test specimens of truss structures with and without BRBs in the diagonal members are tested under monotonic and cyclic loadings, and the seismic upgrading due to BRBs is verified.