

座屈拘束ブレースによるトラス構造の耐震性向上効果

○名城大学大学院 学生会員 舟山 淳起 名城大学 フェロー 宇佐美 勉
名城大学 正会員 齊藤 直也

1. 序論

トラス構造の耐震性向上策の 1 つとして座屈拘束ブレース (Buckling-restrained brace) 以下 BRB) の設置が有効とされている¹⁾。しかし、実際に鋼トラス構造模型に履歴型ダンパーを設置して繰り返し載荷を行った実験的研究は過去に無い。本実験では、節点がガセットを介して高力ボルトで接合された鋼トラス構造模型 (図-1) を 3 体製作し、一定鉛直荷重と繰り返し水平荷重を作用する実験を行った。供試体は斜材をパラメータとし、BRB、その他フランジ幅の異なる 2 種類の H 型鋼を用いた。トラス構造に BRB を設置し、制震構造化したことによる耐震性向上効果を、3 種類の結果を比較することによって検証した。

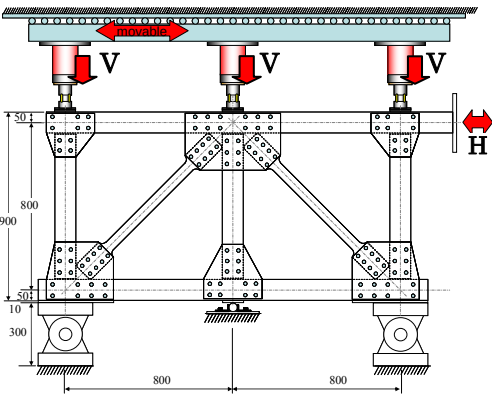


図-1 実験供試体概略図

2. 実験概要

本研究では、SM400 の H 型鋼材を用い、図-1 に示す供試体を製作した。H 型鋼材を弱軸方向に用い、格点は板厚 10mm の 2 枚のガセットを介して M16 の高力ボルトにて摩擦接合されている。支持条件は両端がピン支持、中央がローラー支持である。3 体の供試体の一覧を表-1 に示す。鉛直材、上下弦材は全て同じ断面の H 型鋼材を用い、斜材は BRB または H 型鋼材 (断面 A, B) を用いた。断面 A, B は、鉛直材、上下弦材に使用する H 型鋼のフランジ幅をそれぞれ 50mm, 30mm に削ったものである。(図-2) 一定鉛直荷重 (V) (鉛直材降伏軸力の 20%) を加え続けながら、繰り返し水平荷重 (H) を作用させ実験を行った。

表-1 供試体一覧

供試体名	斜材		
	断面	ℓ/r	ℓ'/r
BRB	BRB PL 80x10 (弱軸)	392	175
A	A H 100x50x8x6 (弱軸)	100	47
B	B H 100x30x8x6 (弱軸)	183	83

Note: ℓ = 全斜材長 (接点間距離) ℓ' = 斜材平行部の長さ
 r = 弱軸回りの断面 2 次半径

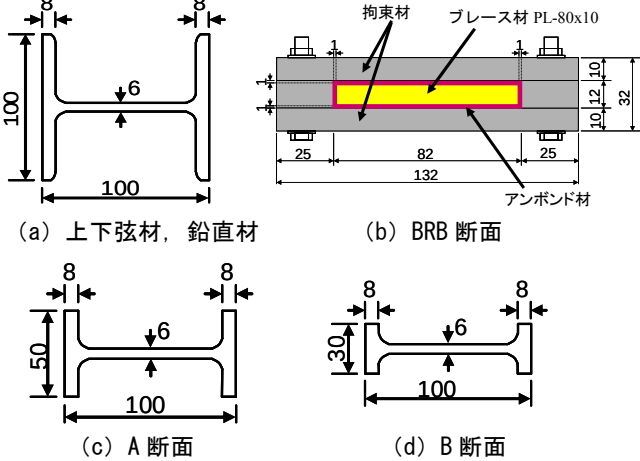


図-2 部材断面図

3. BRB の全体座屈防止条件

BRB は安全係数 v_F が 3.0 以上であれば全体座屈は生じないとされている²⁾。安全係数 v_F は式 (1) で表わされ、 P_{max} =ブレース材最大軸圧縮力、 P_y =ブレース材降伏軸力、 P_E^R =拘束材オイラー座屈荷重、 M_y^R =拘束材降伏モーメント、 L =ブレース材長、 a =最大初期たわみ、 d =ブレース材と拘束材間の面外隙間量、 e =ブレース材に作用する軸力の偏心量である。今回の実験に使用した BRB の安全係数は $v_F=7.4 \geq 3.0$ であり、全体座屈に対して安全と言える。

$$v_F = \frac{1}{\frac{P_y}{P_E^R} + \left(\frac{P_y L}{M_y^R} \right) \cdot \frac{a + d + e}{L}} \quad (1)$$

キーワード：トラス構造，耐震性向上，座屈拘束ブレース (BRB)，エネルギー吸収量，変形性能
連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学研究科建設システム工学専攻 TEL:052-838-2363

4. 実験結果

図-3 に各供試体の水平荷重 (H) - 水平変位 (Δ) 関係の定義と結果を示す. A と B では斜材が座屈し荷重低下を生じた. そして, どちらのグラフにもピンチング (荷重増分は小さいが, 変位のみが大きく増加する現象) がみられ, 不安定な状態であったと言える. 一方 BRB は, 非常に安定した紡錘型の履歴曲線を描いている. 最終ループで荷重低下がみられるが, これは斜材取り付け部周辺の部材損傷によるものであり, BRB は健全な状態のまま実験を終えた.

次に, 終局状態 (荷重が最大耐力から 5% 低下した時) に至るまでの H - Δ 関係グラフで, エネルギー吸収能力, 変形性能の比較を行った. 指標には, 累積エネルギー吸収量, 変位塑性率を用いた. 累積エネルギー吸収量の結果を図-4 に示す. BRB は A に対して約 3 倍, B に対して約 30 倍と非常に大きなエネルギー吸収能力を示した.

図-5 は終局変位までの抱絡線を比較したもので, この結果から変位塑性率を求めたところ, BRB は A に対して 2.5 倍, B に対して約 6.8 倍となり, 荷重低下を伴わず大きな塑性変形をした BRB は変形性能に優れていると言える.

BRB, A の斜材は B に比べ強度が高く, 写真-1 に示すように斜材が押し込むような形で支承部の回転が大きくなり, その結果, 写真-2 で囲んだ位置に損傷がみられた. 表-2 に以上の結果をまとめた.

5. 結論

BRB は, 荷重低下も無く, 非常に安定した紡錘型の曲線を描き, 大きなエネルギー吸収能力, 変形能力を有していることを示した. これらから, トラス模型に BRB を設置し制震構造化したことによって, 大幅に耐震性が向上したと言える.

斜材の強度が高くなると支承部の回転が大きくなり, 周辺部材に損傷がみられた. 回転に関しては今回の実験特有の挙動も含んでいると考えられるが, BRB による補強を行う際には, 取付け部周辺の部材, 部品に十分な配慮が必要であることを教えられる結果であった. 具体的には, ボルト縁端距離, ガセット形状, 溶接部などの応力集中を十分に考慮することが必要である.

支承部の回転により BRB に大きな曲げが加わり純粋な軸変形ができず, 性能を完全には発揮できなかった. これは, 斜材の取付けを V 字型にするなどして回転の影響を回避することを考える.

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, 2006.9, 技報堂出版
(2) 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, 土木学会 Vol.55A, pp.719-729, 2009.3

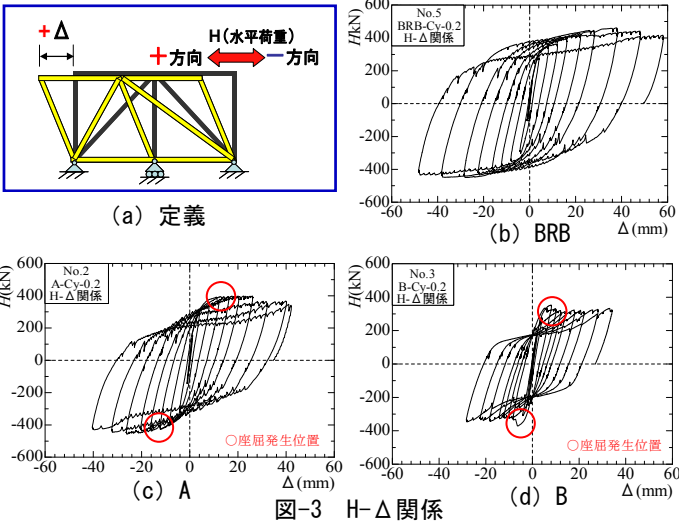


図-3 H- Δ 関係

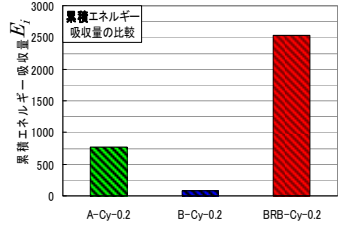


図-4 累積エネルギー吸収量

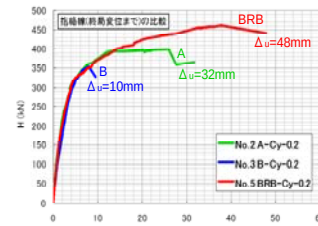


図-5 抱絡線の比較

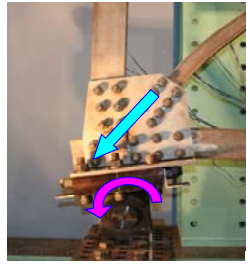


写真-1 左下格点・支承部

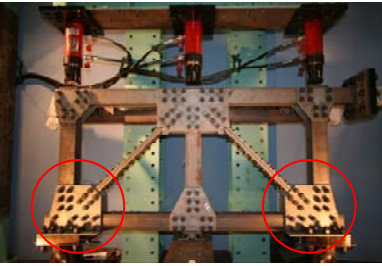


写真-2 損傷箇所

表-2 結果のまとめ

供試体名	BRB	A	B
履歴曲線(特徴)	紡錘型	ピンチング	ピンチング
最大耐力H [kN]	449.7	399	353.4
斜材座屈	No	Yes	Yes
荷重低下 Δ [mm]	48	32	7
累積エネルギー吸収量	2538	764	77
変位塑性率 μ	76.3	38.2	11.3
支承部回転	大	大	小