

座屈拘束ブレースを用いた上部構造耐震補強システムの交番载荷試験

名古屋高速道路公社 正会員 前野裕文，正会員 杉浦裕幸

(財)名古屋高速道路協会 吉田直樹

J F E 技研(株) 正会員 長山秀昭，住友金属工業(株) 正会員 今井誠

1. はじめに

既設橋梁の耐震補強設計に座屈拘束ブレースの採用を検討し，その有用性や求められる性能を別報で報告した．座屈拘束ブレースに求められる性能としては，エネルギー吸収部材としての安定した履歴特性および大きな塑性変形への対応が挙げられる．座屈拘束ブレース材のエネルギー吸収能力は実験¹⁾で確認されているが，ここでは，ブレース材，取付部を含めた全体構造システムの挙動を交番载荷実験により検討した結果を報告する．

2. 実験方法

(1) 実験概要

独立柱形式橋脚を有する橋梁形式（写真1参照）では，地震時に橋軸直角方向へ落橋する可能性が高いため，変位制限構造として座屈拘束ブレースを設置する．図1に示す座屈拘束ブレース設置構面全体をモデル化し，支承部の損傷時に想定される面内滑りを再現して座屈拘束ブレースを含めた構造システムの挙動を確認する．本件検討は既存の橋梁を対象としているため，ブレース取付角度 45° ，横桁下フランジ取付点から橋脚取付部ピン中心までの長さ 3000mm，ブレース芯材長 1655mm ~ 1750mm である．橋脚取付部は，ピン構造とし，ガセットをアンカーボルトにて固定する．横桁取付部はガセットと横桁を高力ボルトで固定する．

(2) 供試体

供試体は1構面を取り出し，ブレース，ガセットを縮尺 1/2，ボルト（M24）は本数を 1/2 としモデル化した．供試体は，タイプ A，B，C の3種類とした．タイプ A は，軸力管（SKTM13A）と補剛管で構成される2重鋼管方式，タイプ B は，十字型のブレース（SN400B）をL形鋼で補剛する形式，タイプ C は，平板型のブレース（SN400B）をリブ付き平鋼で補剛する形式である．表1に各ブレースの機械的性質を示す．

(3) 実験装置

図2に実験装置の概要を示す．門型フレーム構造とし，

表1 ブレース芯材の機械的性質

| ブレース | ブレース芯材 材料規格 | 降伏応力 y(N/mm ²) | 降伏歪 y(%) | 降伏荷重 Ny(kN) |
|------|----------------|-------------------------------|-------------|----------------|
| タイプA | SKTM13A | 268 | 0.130 | 956 |
| タイプB | SN400B | 282 | 0.137 | 978 |
| タイプC | SN400B | 298 | 0.145 | 1035 |



写真1 独立柱形式橋脚を有する橋梁形式

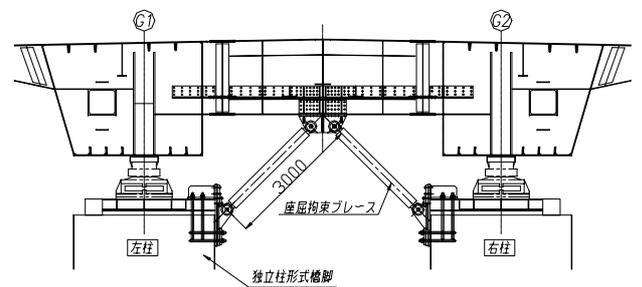


図1 座屈拘束ブレースによる変位制限装置

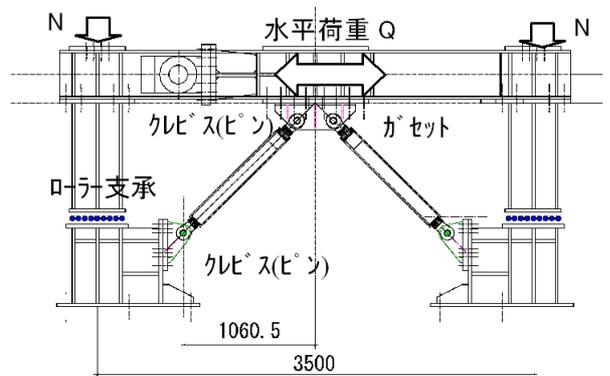


図2 実験装置概要図

キーワード 座屈拘束ブレース，エネルギー吸収，変位制限構造，耐震構造部材

連絡先 〒462-0844 名古屋市北区清水四丁目17番30号 名古屋高速道路公社 TEL052-919-3223

支承部は、損傷時に想定される滑りをローラー支承でモデル化する。載荷は 400tf アクチュエータを用いて、水平方向に変位制御方式により交番載荷する。

(4) 座屈拘束ブレースの要求性能

非線形動的応答解析よりブレース全体系の要求性能は以下のように設定した。なお、1.5 は安全係数としてここでは採用した。

水平荷重 Q Q_{max} , Q_{max} : 設計地震力 (=1500 kN)

水平変位 $\delta_{max} \times 1.5$, δ_{max} : 設計最大変位 (=36mm)

累積塑性変形倍率 $demand \times 1.5$, $demand$: 設計値 (=300)

(5) 載荷方法

AISC の載荷の考え方²⁾を参考に、動的解析の応答波形を模擬して表2のように設定する。載荷は $\pm 1y$, $\pm 2y$, $\pm 3y$, ..., $\pm 12y$ の両振り振幅を所定回数ずつ載荷する。 $\pm 12y$ 以後は、性能確認のため $2y$ 刻みで $\pm 18y$ まで繰返し載荷する。なお、降伏変位は、各タイプの予備試験の荷重 - 変位曲線の平均的な除荷勾配から $y=3mm$ とした。

3. 実験結果と考察

(1) ブレース設置構面全体系の荷重 - 変位関係

図3にタイプAの載荷位置における正規化した荷重 - 変位関係を示す。ここで、曲線に不連続点があるのは横桁にボルトで取り付けられたガセットの滑りである。耐力力は $Q_{max}/Q_y = 1.59$ であり、設計地震力 ($Q_{max}/Q_y = 1.3$) を上回るものを保有している。また、塑性率 (δ_{max}/y) は 18, 累積塑性変形倍率は 450 以上で変形性能, エネルギー吸収性能は、設計要求値の 1.5 倍以上を満足している。なお、終局状態としてタイプAはブレースの座屈 ($\pm 18y$ 載荷 4 回目) を確認した。他の供試体 (タイプB, C) も同様な結果が得られた。

(2) ブレース単体 (芯材) の軸力と伸縮ひずみの関係

図4にタイプAのブレース単体 (芯材) の軸力 - ひずみ関係を示す。各タイプにおいて最大ひずみ $\pm 20y$ (ひずみ振幅 3%程度) 以上、ひずみ硬化による耐力上昇率 $N_{max}/N_y = 1.5 \sim 1.6$ 程度, 累積塑性変形倍率 = 565 ~ 861 程度を確認した。

4. まとめ

橋軸直角方向の変位制限装置としての設置した座屈拘束ブレースは、ブレース設置構面全体系、ブレース単体において、終局状態に到るまで安定した履歴特性を示し、また塑性率、累積塑性変形倍率などのエネルギー吸収性能も要求性能を満足した。座屈拘束ブレースは橋軸直角方向の耐震構造部材として効果的に機能することが確認できた。

謝辞

本実験を行うにあたり多岐にわたってご指導頂いた名古屋大学 宇佐美勉教授ならびに愛知工業大学 青木徹彦教授に深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 渡辺直起, 加藤基規, 宇佐美勉, 葛西昭: 座屈拘束ブレースの繰返し弾塑性挙動に関する実験的研究, 土木学会地震工学論文集 Vol.27, No.133, 2003.12. 2) SEAOC/AISC: Recommended Buckling-Restrained Braced Frame Provisions, Structural Engineers Association of California/American Institute Steel Construction, 2001.11.

表2 載荷プログラム

| 変位振幅 | 回数 | 水平変位 δ (mm) | 塑性変形倍 率 η | 累積塑性変形倍率 $\Sigma \eta$ |
|------------------|----|-----------------------|-------------------|---------------------------|
| $\pm 2\delta_y$ | 1 | 3 | 0 | 0 |
| $\pm 2\delta_y$ | 2 | 6 | 7 | 7 |
| $\pm 3\delta_y$ | 2 | 9 | 15 | 22 |
| $\pm 4\delta_y$ | 2 | 12 | 23 | 45 |
| $\pm 5\delta_y$ | 2 | 15 | 31 | 76 |
| $\pm 6\delta_y$ | 2 | 18 | 39 | 115 |
| $\pm 8\delta_y$ | 2 | 24 | 55 | 170 |
| $\pm 10\delta_y$ | 2 | 30 | 71 | 241 |
| $\pm 12\delta_y$ | 1 | 36 | 87 | 284 |
| $\pm 14\delta_y$ | 1 | 42 | 103 | 335 |
| $\pm 16\delta_y$ | 1 | 48 | 119 | 394 |
| $\pm 18\delta_y$ | 1 | 54 | 135 | 461 |
| $\pm 18\delta_y$ | 1 | 54 | 168 | 529 |
| $\pm 18\delta_y$ | 1 | 54 | 168 | 597 |
| $\pm 18\delta_y$ | 1 | 54 | 168 | 665 |
| $\pm 18\delta_y$ | 1 | 54 | 168 | 733 |

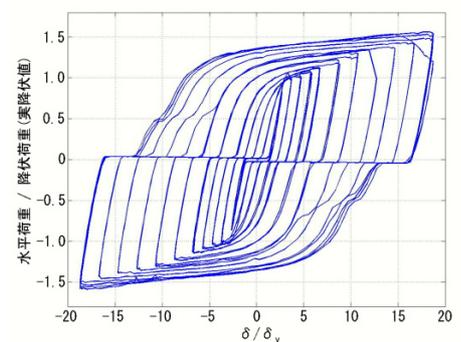


図3 荷重 - 変位関係 (タイプA)

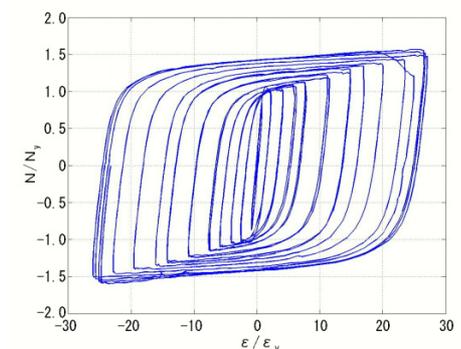


図4 ブレース芯材の軸力 - ひずみ関係 (タイプA)