

座屈拘束ブレースの実大繰返載荷試験

住友金属工業(株) 正会員 ○今井 誠, 福田浩司, 小林 努
トピーエンジニアリング(株) 神谷伸治
名古屋高速道路公社 片桐英喜

1. はじめに

座屈拘束ブレースは、大きなエネルギーをもつ地震動に対して、自らが塑性変形することによりエネルギーを吸収し、主構造部材の損傷を軽減する目的で使用される制震部材である。座屈拘束ブレースは、鋼橋に損傷制御型の耐震設計手法が取り入れられつつある中で注目されている。この度、名古屋高速道路の既設橋梁に対する耐震補強工事の一部区間へ座屈拘束ブレースが用いられた。本報では、前記工事に用いられた座屈拘束ブレースを対象に実施した、実大繰返載荷試験の結果を報告する。

2. 試験内容

(1) 試験目的

対象工事では、独立柱形式橋脚を有する橋梁の橋軸直角方向の変位制限とエネルギーの吸収を目的として、座屈拘束ブレースが採用された（写真 1）。橋梁全体系の制震効果については、非線形動的応答解析により確認されており、また取付部等を含めた構面としての性能は 1/2 縮尺模型による交番載荷試験によって確認されている¹⁾。尚、本ブレースの保有すべき性能としては、文献 1) により、表 1 が設定されている。

通常、座屈拘束ブレースの性能確認試験は縮小モデルで実施され、その結果から実際に使用する製品の性能を想定している。これは縮小モデルを用いることによって、性能確認試験で用いる加力設備や周辺治具等を軽微にする事ができるからである。しかし、実製品の製作精度・管理値などが座屈拘束ブレースの性能に与える影響は、縮小モデルでは直接的に確認することはできない。本タイプの座屈拘束ブレースは、実物大で試験を行った事がなく、縮小モデルで想定した性能との整合性が確認されていなかった。今回、橋梁工事に初めて適用するにあたり、実際に使用する製品が、縮小モデルにより得られている想定性能と同様の性能を有するかを確認することとした。

(2) 試験体

図 1 に、試験体の断面図を示す。試験体は、実製品と同等の製作管理下で製作した。芯材は、PL-28(SN400B)を溶接することにより十字断面（断面積 9,576mm²）を形成している。また、芯材の周囲は L-150×150 で囲み、高力ボルト(100mm ピッチ)にて締付け拘束している。なお、芯材および拘束材は、実工事の防錆処理に準じて溶融亜鉛メッキ処理が行われている。

材料試験の結果、芯材の降伏点は、 $\sigma_y=310\text{N/mm}^2$ であった。また、芯材の降伏区間長は、1,711mm である。これらより、降伏荷重 (N_y) および降伏ひずみ (ϵ_y) は、次の通りとなる。降伏荷重: $N_y=2,969\text{kN}$, 降伏ひずみ: $\epsilon_y=0.16\%$

(3) 試験方法

図 2 に試験状況概要を示す。試験体は、取付ジグを介して、下側はテストベッドにボルトにより固定し、上側は試験機に設置されている油圧ジャッキにより把持し、圧縮・引張の交番載荷を行った。



写真 1 座屈拘束ブレース取付け状況

表 1 要求性能

項 目	要求性能	備 考
(1)耐 力 ($N_{\max}$)	$N_{\max} \geq 1.3 \times N_y$	N_y : 設計降伏耐力
(2)最大ひずみ ($\epsilon_{\max}$)	$\epsilon_{\max} \geq 3\%$	-
(3)累積塑性変形倍率 ($\eta_{\max}$)	$\eta_{\max} \geq 450$	-

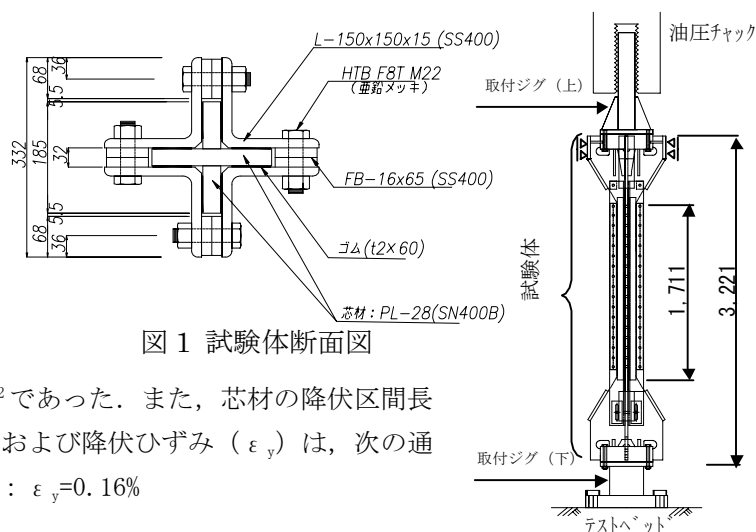


図 1 試験体断面図

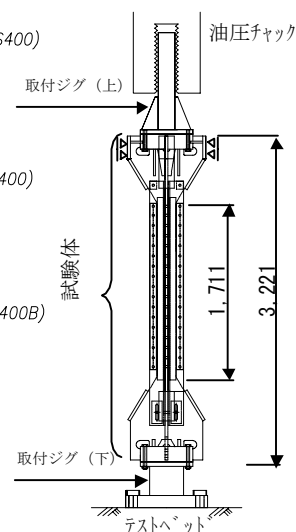


図 2 試験状況概要図

キーワード 座屈拘束ブレース, 制震部材, 実大試験

連絡先 〒104-6111 東京都中央区晴海 1 丁目 8 番 11 号 住友金属工業(株) 鉄構技術部 TEL 03-4416-6494

（４） 荷重サイクル

荷重は、芯材の伸縮量により制御した．表 2 に荷重サイクルを示す．

表 2 荷重サイクル

サイクル名	変位振幅	芯材ひずみ ϵ	塑性変形倍率 η	累積塑性倍率 $\Sigma \eta$
規定荷重	$\pm \delta_y$	0.16%	0	0
	$\pm 2\delta_y$	0.31%	3	3
	$\pm 4\delta_y$	0.62%	10	13
	$\pm 6\delta_y$	0.93%	18	31
	$\pm 8\delta_y$	1.24%	26	57
	$\pm 10\delta_y$	1.55%	34	91
	$\pm 12\delta_y$	1.86%	42	133
	$\pm 14\delta_y$	2.17%	50	183
	$\pm 16\delta_y$	2.48%	58	241
	$\pm 18\delta_y$	2.79%	66	307
	$\pm 20\delta_y$	3.10%	74	381
調整荷重	$\pm 20\delta_y$	3.10%	72	453
	$\pm \delta_y$	0.16%	19	472
追加荷重	$\pm 2\delta_y$	0.31%	3	475
	$\pm 4\delta_y$	0.62%	10	485
	$\pm 8\delta_y$	1.24%	24	509
	$\pm 12\delta_y$	1.86%	40	549
	$\pm 16\delta_y$	2.48%	56	605

規定荷重は、製品の性能が要求性能を上回ることを確認するため最大値を変位振幅 $20\delta_y$ ($\epsilon=3.1\%$)、累積塑性倍率 $\Sigma \eta=453$ と設定し、引張・圧縮を漸増的に荷重するサイクルとした．規定荷重終了後、残留ひずみがなくなる様に δ_y 程度まで引張荷重（調整荷重）した後、製品の余裕度を確認する追加荷重を実施した．追加荷重は $2\delta_y$ から最大変位振幅量 $16\delta_y$ ($\epsilon=2.48\%$) まで漸増荷重するサイクルを試験体の強度の低下に至るまで繰返した．なお、追加荷重間も先述の調整荷重を実施した．

３． 試験結果

（１） 荷重－ひずみ関係

図 3 に、本震荷重における芯材の荷重－ひずみ関係を示す（符号は、引張側を正とした）．引張側の荷重 (N_{max+}) およびひずみ (ϵ_{max+}) の最大値は、 $N_{max+}=4,492\text{kN}$ （耐力上昇率： $N_{max+}/N_y=1.51$ ） ， $\epsilon_{max+}=3.16\%$ であった．また、圧縮側は、 $N_{max-}=-4,886\text{kN}$ （耐力上昇率： $N_{max-}/N_y=1.65$ ）， $\epsilon_{max-}=3.16\%$ であった．いずれも要求性能の値を上回ることを確認した ($N_{max} \geq 1.3 \times N_y$, $\epsilon_{max} \geq 3\%$)．また、芯材の 2 次勾配は、引張側で E/40、圧縮側で E/31 (E：ヤング率) であった．

図 4 に、追加荷重における芯材の荷重－ひずみ関係を示す．追加荷重を正常に 2 回繰返した後、3 回目の $8\delta_y$ 引張時に試験体の強度が低下し荷重を終了した．試験体を解体した結果、芯材の母材に亀裂が生じていた．

（２） エネルギー吸収性能

試験終了までの累積塑性倍率は $\Sigma \eta=1,109$ であった．要求性能 ($\Sigma \eta \geq 450$) は、設計上で必要な性能に対して 1.5 倍の安全係数を見込んでいることを考慮すると、設定された地震波に対して座屈拘束ブレースのエネルギー吸収性能は 3.7 倍程度あることがわかる．これは、設計で想定された地震が発生した後も、座屈拘束ブレースには十分なエネルギー吸収性能が残っており、直ちに取替る必要はないことを意味する．

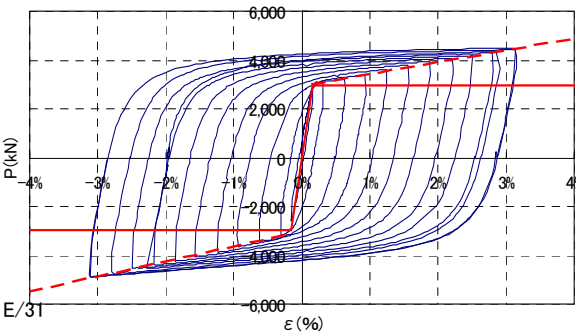


図 3 荷重－ひずみ（規定荷重）

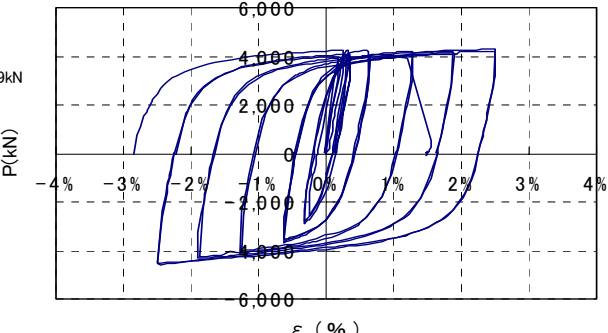


図 4 荷重－ひずみ（追加荷重）

４． まとめ

降伏荷重約 3,000kN の座屈拘束ブレースに対し、実物大の試験体を用いて荷重試験を実施し、以下の性能を確認した．

- 1) 耐力上昇率 (N_{max}/N_y) は、圧縮側で 1.51、引張側 1.65 であった．
- 2) 降伏後の芯材の剛性は、初期剛性の 1/30～1/40 程度であった．
- 3) 累積塑性倍率は $\Sigma \eta=1,109$ であった．本対象品は、想定された地震波に対して座屈拘束ブレースに必要な応答エネルギー吸収量の 3.7 倍程度あり、設計で想定された地震が発生した後も十分なエネルギー吸収性能が残ることがわかった．

以上より、実製品の性能は、縮小モデルで想定した性能を確保していることを確認した．

参考文献

1) 前野裕文，片桐英喜，葛西昭，長山秀昭，今井誠：座屈拘束ブレースを用いた橋梁上部構造の耐震性能に関する検討，構造工学論文集 Vol. 51A 8-28, 2005