

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの性能評価と橋梁の制震ダンパーとしての適用性検討

JFE シビル (株) 正会員 ○櫻井 有哉, 萩原 健一, 塩田 啓介
JFE シビル (株) 内藤 仁志, 宮川 和明

1. はじめに

座屈拘束ブレースは、補剛材によって軸力材の座屈を防止したもので、履歴型ダンパーとして使用することができる。座屈拘束ブレースは建築物で使用実績が多く、橋梁においてもトラスやアーチ橋の制震ダンパーとして適用されている¹⁾。これを上部構造と橋脚間に設置して制震構造とする場合には、大きな変位や厳しい疲労条件に対応できる高性能な座屈拘束ブレースが必要となる。著者らは、図-1 (a) および (b) に示すような高歪振幅領域でも対応できるエネルギー吸収能の高い、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース（以下、本ダンパー）の研究を行ってきた²⁾。本稿では、高歪振幅領域での一定歪振幅繰返し载荷実験によって、耐用回数や疲労性能に関する検討を行った結果を紹介するとともに、実橋梁モデルの動的応答解析によって、本ダンパーを上部構造と橋脚間に設置する制震デバイスとして使用した場合の効果を検討した。

2. 実験概要

2.1 実験方法

供試体の諸元を表-1 に、芯材の機械的性質を表-2 に示す。芯材弱軸方向には 1mm の間隙を確保するためにアンボンド材（プチルゴム）を貼付した。芯材強軸方向には強軸変形を抑止するためにスペーサーを設けた。

载荷は、軸方向変位制御による一定歪振幅繰返し（片歪振幅範囲 2.0～4.8%）とし、芯材の降伏歪 ϵ_y の 1/3、軸歪 0.5%、1.0%を各 1 回载荷した後、所定の载荷振幅において、軸力が最大軸力の 80%まで低下、または引張破断するまで繰返し载荷した。この直前までの繰返し回数を耐用回数とした。

2.2 実験結果

各供試体の実験経過と最終状態を表-3 に、供試体 B4 の P/P_y (P : 軸力, P_y : 芯材の降伏軸力) と軸歪 ϵ (=軸方向変位/塑性化部長さ) の関係を図-2 に示す。全ての供試体において、引張破断するまで安定した紡錘形の復元力特性を示した。図-2 の破線は、等方硬化と移動硬化を考慮したバイリニア型モデル³⁾による計算値である。

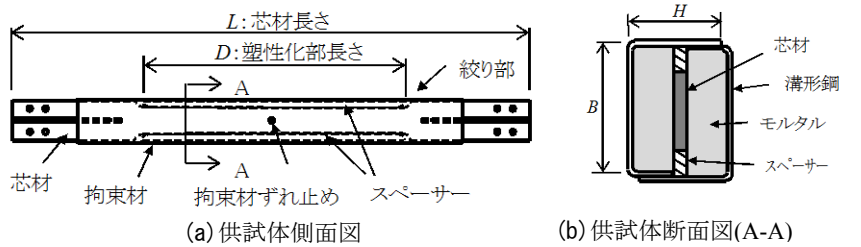


図-1 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース

表-3 実験経過および最終状態

供試体	実験経過	最大軸力/ P_y		最終状態
		引張側	圧縮側	
A2	2.0%歪31回目	1.40	1.51	引張破断
A3	3.0%歪15回目	1.50	1.66	
A4	4.0%歪6回目	1.55	1.78	
B2	2.2%歪16回目	1.37	1.47	引張破断
B3	3.5%歪8回目	1.42	1.61	
B4	4.7%歪4回目	1.45	1.67	
C3	3.6%歪10回目	1.41	1.59	引張破断
C4	4.8%歪7回目	1.46	1.64	

表-2 芯材の機械的性質

鋼種	SN400B	LY225
板厚(mm)	16	16
降伏応力度 (N/mm^2)	291	229
引張強さ (N/mm^2)	437	-

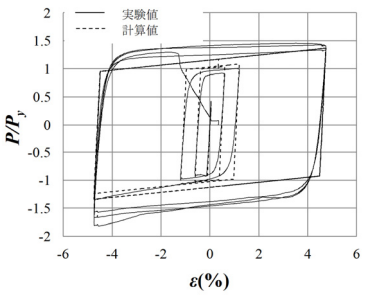


図-2 P/P_y -軸歪 ϵ 関係
(B4: 片歪振幅 4.7%)

表-1 供試体の諸元

供試体	芯材							拘束材(SS400)		拘束指標 R ($=P_E/P_y$)
	材質	寸法 (mm)	断面積 (mm^2)	幅厚比	降伏軸力 P_y (kN)	芯材長さ L (mm)	塑性化部長さ D (mm)	H (mm)	B (mm)	
A2,A3,A4	SN400B	PL=112×16	1792	7.0	521	2351	1176	146	181.2	9
B2,B3,B4	LY225	PL=112×16	1792	7.0	410	2351	1176	138	181.2	10
C3,C4	LY225	PL=112×16	1792	7.0	410	2351	588	138	181.2	10

P_E : 拘束材のオイラー座屈荷重

キーワード 座屈拘束ダンパー, RC 橋脚, 曲げ補強, 正負交番载荷実験

連絡先 : 〒111-0051 東京都台東区蔵前 2-17-4 JFE 蔵前ビル JFE シビル株式会社 TEL03-3864-3796

表-4 低サイクル疲労性能

供試体	片歪振幅 (%)	耐用回数	終局累積塑性率	累積塑性歪限界値 (%)
A2	2.0	30	1529	222
A3	3.0	14	1098	159
A4	4.0	5	529	77
B2	2.2	15	1092	125
B3	3.5	7	827	94
B4	4.7	3	480	55
C3	3.6	9	1095	125
C4	4.8	6	982	112

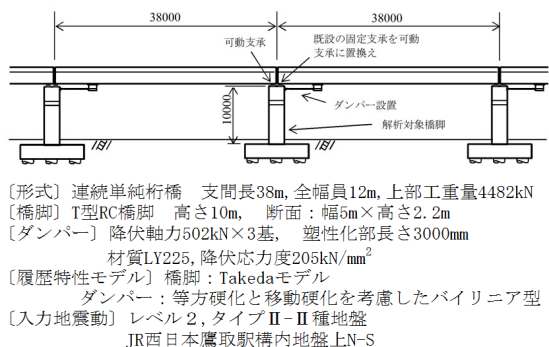
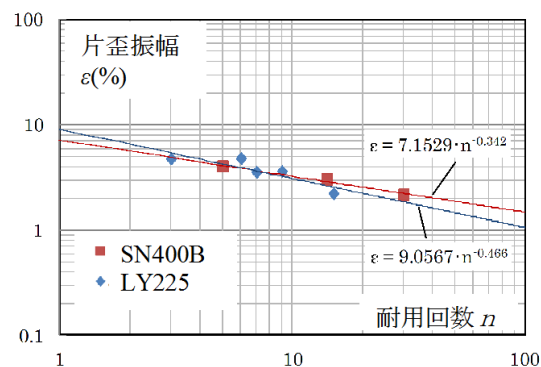
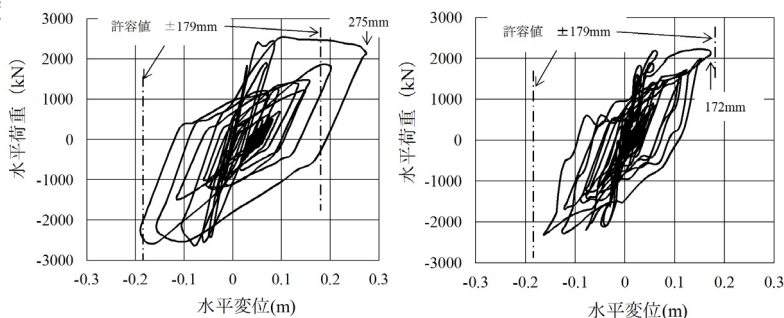


図-4 動的解析モデル

図-3 片歪振幅 ε -耐用回数 n 関係

(a) 橋脚頭部荷重-水平変位 (補強前)

(b) 橋脚頭部荷重-水平変位 (補強後)

2.3 性能評価

表-4 に各供試体の低サイクル疲労限界性能⁴⁾を、図-3 に片歪振幅 ε -耐用回数 n の関係を示す。B3 の結果から、片歪振幅 3.5%で累積塑性歪限界値は 94%であり、橋梁用ダンパーの推奨値¹⁾を満足している。また、限界歪は 4.7%以上で、片歪振幅上限値を 4.0%と設定でき、上部構造と橋脚間に設置する制震ダンパーに要求される大きな変位に適している。

3. 動的解析による適用性検討

図-4 に解析対象の橋梁モデルを示す。連続単純桁橋を想定し、制震構造

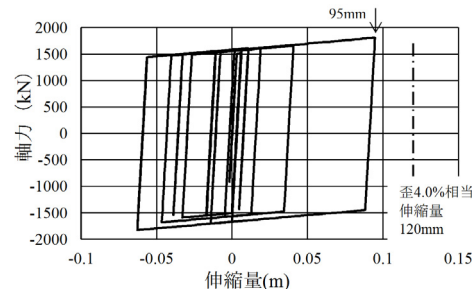
造にするために固定支承を可動支承に置換え、上部構造と橋脚間に本ダンパーを併設する。図-5 (a)～(c)に解析結果を示す。補強前の橋脚頭部の最大水平変位は 275mm であり、耐震性能²⁾の許容変位 179mm を超えている。一方、補強後の最大水平変位は 172mm であり、水平変位を 37%低減し許容値内にある。ダンパーの最大伸縮量は 95mm で累積塑性率は 200 であるが、性能評価結果から求めた本ダンパーの片歪振幅上限値 4.0%に相当する伸縮量 120mm および終局累積塑性率 798 の範囲内にある。なお、上部構造の最大水平変位は、補強前は 275mm で補強後は 256mm である。また、レベル 1 地震動の上部構造の慣性力は 1121kN でダンパーの弾性範囲にある。

4. まとめ

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースについて、高歪振幅領域での一定歪振幅繰返し载荷実験の結果を示し、また、実大橋梁モデルの動的解析によって橋梁の制震ダンパーとしての適用性を検討して、以下の知見を得た。

(1)本ダンパーは、片歪振幅 3.5%で累積塑性歪限界値 94%を示し、橋梁用ダンパーに適した性能を有する。(2)本ダンパーの片歪振幅上限値は 4.0%で、許容伸縮量を 100～120mm 程度に設定でき、橋梁の制震構造に必要な大きな変位に対応できる。(3)動的解析により上部構造と橋脚間に設置する制震デバイスとして有効であることを示した。

参考文献 1)宇佐美勉編著、(社)日本鋼構造協会:鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン、技報堂出版、pp.241-251、2006.9。 2)小谷野ら:疲労性能の高い座屈拘束ブレースの研究、日本建築学会技術報告集、第 21 巻、第 47 号、pp.137-140、2015.2。 3)(社)日本免震構造協会編:パッシブ制振構造設計・施工マニュアル第 3 版、pp.522-525、2013.11。 4)(財)土木研究センター:道路橋の免震・制震設計法マニュアル(案)、2011.12。 5)日本道路協会:道路橋示方書・同解説V耐震設計編、pp.115-118、2002.3。



(c) 設置したダンパーの軸力-伸縮量

図-5 解析結果