

座屈拘束ブレースを変位変換装置に組込んだ橋梁制震用ダンパーの正負交番载荷実験

JFE シビル (株) 正会員 ○井上 高充, 櫻井 有哉, 萩原 健一, 塩田 啓介
早稲田大学 学生会員 小川 直也, 熊崎 達郎 早稲田大学 正会員 秋山 充良

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でき、橋梁分野ではトラスやアーチ橋の制震ダンパーとして使用されている¹⁾。これを橋梁の上部構造と橋脚間に設置して制震構造とする場合には、上部構造と橋脚間に生じる大きな相対変位に対応できるストロークの大きなダンパーが必要となる²⁾。本研究では、座屈拘束ブレースを変位変換装置に組み込むことにより、大きな変位に対応できるダンパー（以下、本ダンパー）を試作し、正負交番载荷実験によって、荷重-変位関係やエネルギー吸収特性を調べた。

2. 本ダンパーの機構と荷重および変位の変換計算モデル

本ダンパーを上部構造と橋脚間に設置したときの模式図を図-1に示す。本ダンパーは、座屈拘束ブレースを用いた伸縮材、反力アームおよび取付治具で構成されており、各部材間はピン接合としている。本ダンパーは、伸縮材の変位および荷重を反力アームのてこ作用によって拡大および縮小し、ダンパーの変位および荷重に変換して出力するものである。伸縮材の変位を d 、軸力を F 、本ダンパーの出力としての変位を δ 、荷重を P とすると、次の関係式が成り立つ。

$$P = (D/L) \cdot F \quad (1) \quad \delta = \delta_0 + \alpha + \beta \quad (2) \quad \delta_0 = (L/D) \cdot d \quad (3)$$

ここに、 L は反力アームのピン間長さ、 D は伸縮材の取付部長さ、 α はピン遊間のスライド量、 β は反力アームおよび取付治具の弾性変形量である。図-2に、本計算モデルによる変位および荷重の計算過程を示す。

3. 実験概要

(1) 実験方法

図-3に実験装置を示す。供試体は実際の橋梁に設置する場合と上下反転の配置とした。伸縮材は二重鋼管座屈補剛ブレース³⁾を使用した。表-1に実験ケースを示す。伸縮材はケースAおよびBともに同じ仕様である。载荷は、600kN ジャッキを用いて反力アーム頭部を加力し、本ダンパーの変位が伸縮材の軸歪2%に相当する変位（ケースA：70mm、ケースB：90mm）に達するまで、20mm ずつ漸増させる2サイクル繰返しの変位を正負交番载荷とした。最終の変位では、ケースAは6回、およびケースBは13回繰返し载荷した。伸縮材の軸力 F は、クレビス（ピン接合受材）に貼付した歪ゲージの値から算出し、また、変位 d は両端のピン間距離をレーザー変位計で計測して求めた。

表-1 実験ケース

実験 ケース	反力アーム			伸縮材		
	ピン間長さ L (mm)	伸縮材取付長さ D (mm)	L/D	軸力管サイズ (mm)	軸力管長さ (mm)	降伏軸力 (kN)
A	1200	406	3	$\phi 175 \times t8.8$	1102	942
B	1200	305	4	$\phi 175 \times t8.8$	1102	942

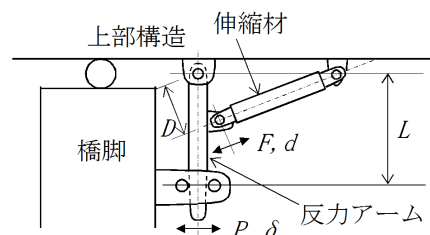


図-1 本ダンパーの設置状況模式図

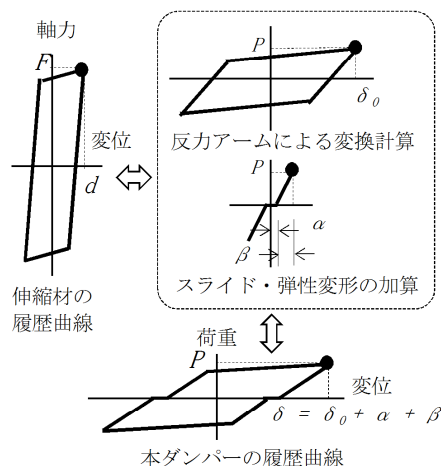


図-2 荷重・変位変換計算モデル

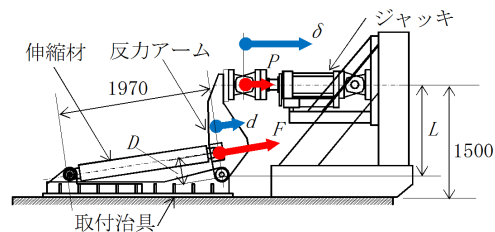


図-3 実験装置

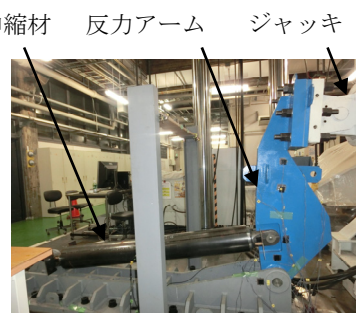


写真-1 実験状況

キーワード 座屈拘束ブレース、制震ダンパー、橋脚、変形能、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

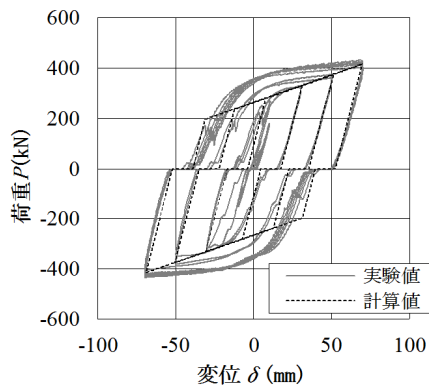
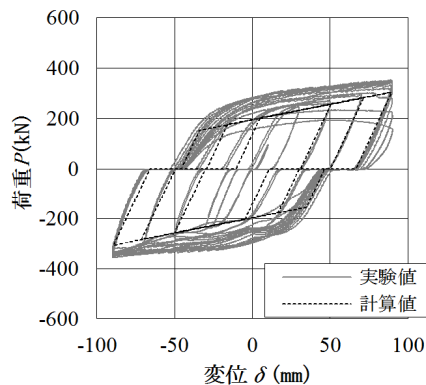
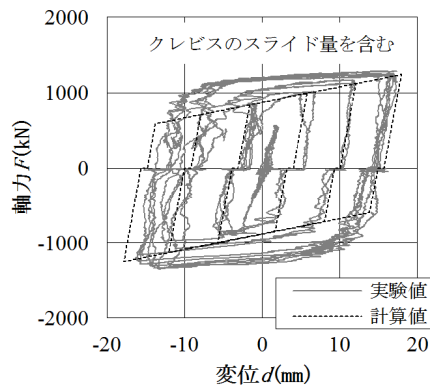
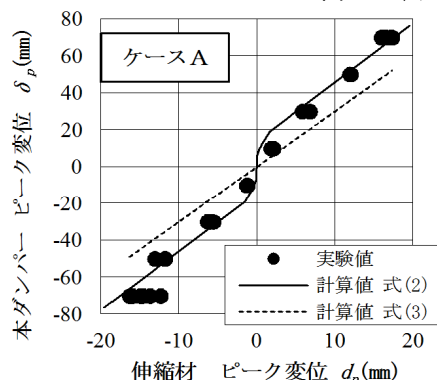
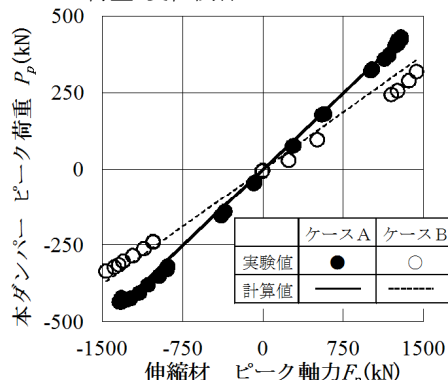
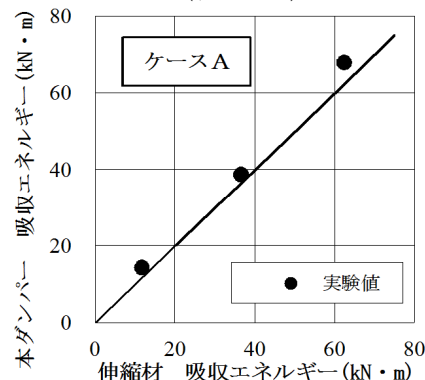
(a) ケース A ($L/D = 3$)(b) ケース B ($L/D = 4$)

図-4 本ダンパーの荷重-変位関係

図-5 伸縮材の軸力-変位関係
(ケース A)図-6 本ダンパーと伸縮材の
ピーク変位の関係図-7 本ダンパーと伸縮材の
ピーク軸力の関係図-8 本ダンパーと伸縮材の
吸収エネルギーの関係

(2) 実験結果

図-4(a)および(b)に、それぞれ、ケースAおよびBの本ダンパーの荷重 P -変位 δ 関係を示す。また、図-5にケースAの伸縮材の軸力 F -変位 d 関係を示す。本ダンパーは、伸縮材の変位を3, 4倍以上に拡大した状態で、安定した履歴曲線を表している。図-5の破線は、伸縮材の履歴曲線を移動硬化を考慮したバイリニア型モデル³⁾によって表した計算値である。一方、図-4(a)および(b)の破線は、この伸縮材についての計算値をもとに、式(1)~(3)を用いて本ダンパーの履歴曲線を算出したものである。計算値は実験値の傾向を良く表しているといえる。図-6は、縦軸に各载荷ステップの1サイクル目における本ダンパーの変位の正負のピーク値 δ_p をとり、横軸にそのときの伸縮材の変位のピーク値 d_p をとって、ケースAの実験結果をプロットしたものである。実線および破線は、それぞれ式(2)および式(3)による計算値である。本ダンパーの変位は、伸縮材の変位をもとに式(2)を用いて算定できる。図-7は、同様にして、本ダンパーの荷重ピーク値 P_p と伸縮材の軸力ピーク値 F_p の関係について示したものである。ダンパーの荷重は、伸縮材の軸力に対して、ケースAでは1/3倍、ケースBでは1/4倍となっており、式(1)で算出できる。図-8は、縦軸を各载荷ステップにおける本ダンパーの吸収エネルギー、横軸をそのときの伸縮材の吸収エネルギーをとって、ケースAの実験値をプロットしたものである。本ダンパーの吸収エネルギーの値は、伸縮材のそれと同等であることがわかる。

4. まとめ

座屈拘束ブレースを変位変換装置に組込んだ制震ダンパーについて、正負交番载荷実験を行い、次の結果が得られた。

(1)本稿に紹介したダンパーは、伸縮材としての座屈拘束ブレースの変位を3~4倍に拡大することができ、橋梁の上部構造と橋脚間の制震ダンパーに必要とされる大きな変位に対応できる。

(2)本ダンパーの荷重および変位は、伸縮材の特性を基として本稿に示した計算モデルによって算定できる。

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)武田篤史ら：履歴型ダンパーを用いた橋梁の設計におけるダンパー減衰力の選定に関する解析的検討、構造工学論文集、

Vol.60A, pp.349-359、2014.3. 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.