

橋梁の制震化に用いる摩擦ダンパーの実験的研究 (その1:ダンパー概要と基本特性)

青木あすなろ建設(株) 技術研究所 正会員 波田 雅也 フェロー ○牛島 栄
 首都高速道路(株) 技術部 技術推進課 正会員 右高 裕二 正会員 蔵治 賢太郎

1. はじめに

ダイス・ロッド式の摩擦ダンパーは、建築分野において実用化されており、とくに耐震補強の用途で多くの実績を有している¹⁾。また、近年、橋梁分野においても摩擦型ダンパーを用いた制震構造が着目されている^{2),3)}。筆者らは、ダイス・ロッド式摩擦ダンパー(以下、摩擦ダンパーと称す)を橋梁の制震化に使用できるように、長ストローク化および大容量化を図った。本報では、摩擦ダンパーの概要と基本特性について示す。

2. 摩擦ダンパーの概要

摩擦ダンパーの機構を図-1に、部品構成を写真-1に示す。摩擦ダンパーは、ダイス内径より少し太いロッドをダイスにはめ込むことにより、ロッドの外周に一定の締付け力が生じる仕組みを利用したダンパーである。ダイスが内筒に、ロッドが外筒に固定されており、ロッドに軸力が作用するとダイスとロッドの接触面に摩擦力が発生する。地震時には、一定の摩擦力を保持しながらダイスがロッド上を摺動することにより、地震エネルギーを摩擦熱に変換して吸収する。ダイスには焼入れ性を保証した構造用鋼材、ロッドにはリン青銅を使用し、ダイスとロッドの形状(ロッド太さ、ダイスとロッドの内外径差および接触長さ)を変えることによって摩擦荷重を調整している。なお、ダイスとロッドの接触面には固体潤滑剤を塗布し、0.4cm/sec未満の一定速度でゆっくりと摺動させて馴染ませる工程を数回繰り返すことで、摩擦荷重と履歴形状を安定させている。

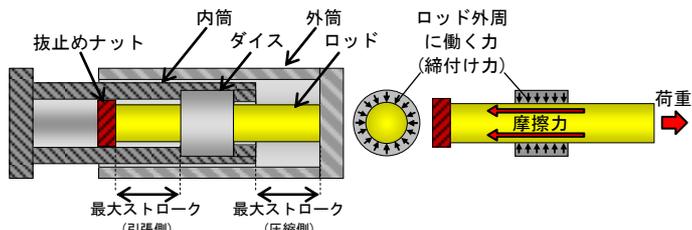


図-1 摩擦ダンパーの機構

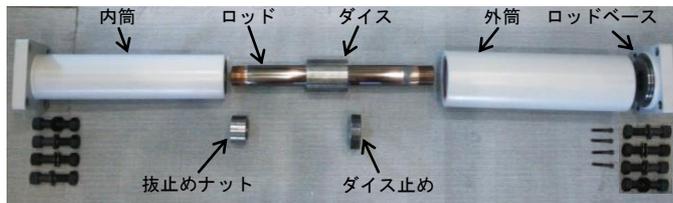


写真-1 摩擦ダンパーの部品構成

3. 基本特性確認実験

3.1 試験体 試験体は1体とし、最大ストロークは±250mm、摩擦荷重 588kN(60tf)を目標に製作した。試験体製作時の荷重確認試験結果を表-1と図-2に示す。荷重確認試験は、振幅 200mm、速度 0.4cm/secの三角波を2サイクル与え、2サイクル目の摩擦荷重(切片荷重 $P_{\delta=0}$ 、平均摩擦荷重 P_{ave})を図中に示す要領で評価した。表-1より、 $P_{\delta=0}$ 、 P_{ave} とも目標値の-2.0%程度に収まっている。また、表-1中の P_{ave} を、本試験体の基準値 P_0 と定義する。

表-1 製作時の荷重確認試験結果

	製作時[kN]	目標値[kN]	製作/目標[%]
切片荷重 $P_{\delta=0}$	575	588	97.8%
平均摩擦荷重 P_{ave}	578	588	98.3%

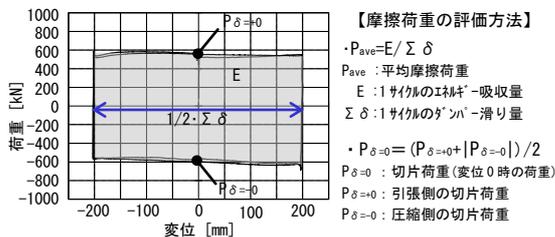


図-2 製作時の履歴曲線と荷重評価方法

3.2 実験方法 計測項目を図-3に実験状況を写真-2に示す。

本実験は、日本 Casting (株)が保有する高速二軸試験機を用いて行った。加力方法は、摩擦ダンパーの両端に取付けたクレビスを介して反力床およびアクチュエータに固定し、軸方向に変位制御で加振する。荷重、変位とも引張側を正とする。計測項目は、荷重、変位およびダイス表面温度とし、速度は変位を微分することで算定する。サンプリング周波数は500Hz(0.002sec)とし、荷重および速度は25Hz(0.040sec)でハイカットフィルタ処理する。なお、各加振後は、ダンパーに蓄熱された摩擦熱を空冷により自然放熱し、ダイス表面が常温(23℃)以下であることを確認したうえで次の加振を行う。

キーワード 摩擦ダンパー, ダイス・ロッド式, 橋梁, 制震

連絡先 〒300-2622 茨城県つくば市要 36-1 青木あすなろ建設(株)技術研究所 耐震リニューアル研究室 TEL029-877-1112

3.3 入力波形 基本特性確認実験の入力波形を図-4に示す。入力波形は、目標振幅2サイクルの前後に漸増、漸減波を2サイクルずつ加えた計6サイクルの正弦波とする。なお、摩擦荷重($P_{\delta=0}$, P_{ave})は、4サイクル目(目標振幅2サイクル目)で評価する。実験パラメータを表-2に示す。目標振幅と振動数をパラメータとして最大速度を変化させた計12ケース(No.1~No.12)の加振を行う。

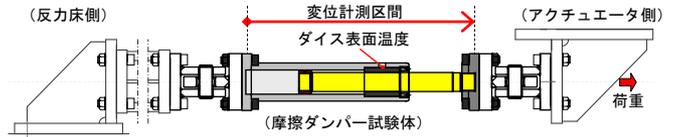


図-3 計測項目



写真-2 実験状況

4. 実験結果

4.1 履歴形状 No.9(目標振幅200mm, 振動数1.0Hz)の履歴曲線を図-5に示す。漸増、漸減の各2サイクルを細線(赤, 緑), 目標振幅2サイクルを太線(黒)で示し, 試験体製作時の基準値 P_0 を破線(青)で示している。図より, 摩擦荷重は, 最初の漸増2サイクルの間で大きく低下した後, 3サイクル目以降はほぼ一定となっている。また, 目標振幅2サイクル(3-4サイクル目)に着目すると, 1サイクル間に時々刻々と速度変化(変位ゼロで最大速度126cm/sec, 変位200mmで速度ゼロ)する正弦波入力においても, 摩擦ダンパーは概ね完全弾塑性型の履歴形状を示すことから, 摩擦荷重の速度依存性は認められない。

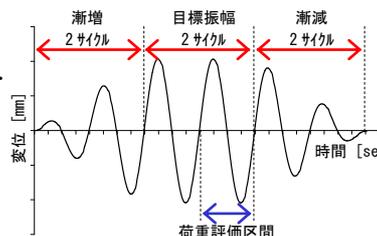


図-4 入力波形

表-2 実験パラメータ

No.	シリーズ	目標振幅 [mm]	振動数 [Hz]	最大速度 [cm/sec]
1	50mmシリーズ	50	0.20	6
2	50	50	2.0	63
3	50	50	4.0	126
4	100mmシリーズ	100	0.10	6
5	100	100	1.0	63
6	100	100	2.0	126
7	200mmシリーズ	200	0.050	6
8	200	200	0.50	63
9	200	200	1.0	126
10	1.0Hzシリーズ	50	1.0	31
11	150	150	1.0	94
12	240	240	1.0	151

4.2 各加振の比較 各実験結果の最大振幅2サイクルの履歴曲線を抽出し, 振幅シリーズ毎に重ね合わせたものを図-6に示す。また, 全12ケースの切片荷重 $P_{\delta=0}$ と平均摩擦荷重 P_{ave} の関係を図7に, 最大速度と平均摩擦荷重 P_{ave} (基準値 P_0 で除して無次元化) の関係を図8に示す。まず, 図-6より, 各振幅シリーズとも, 振動数によらず概ね完全弾塑性形の履歴形状を示すが, いずれも振動数が大きくなるにつれて摩擦荷重が低下していることがわかる。図-7より, 切片荷重 $P_{\delta=0}$ と平均摩擦荷重 P_{ave} の差が小さいことから, 安定した履歴特性を有することがわかる。また, 図-8より, 入力する正弦波の最大速度と平均摩擦荷重 P_{ave} との間には, 負の相関関係が認められる。これは, 摺動時に生じる摩擦熱の影響と考えられる。

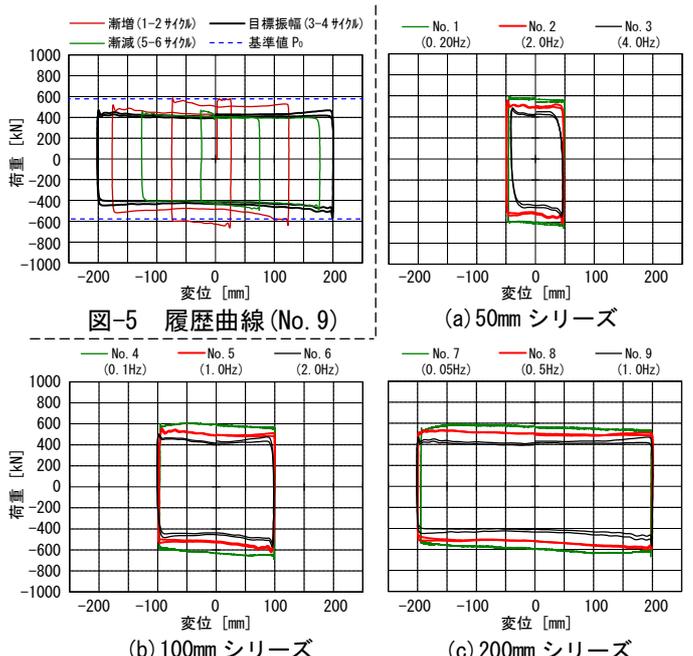


図-6 振幅毎の最大振幅(3-4サイクル)の比較

5. まとめ

以上, ダイス・ロッド式の摩擦ダンパーを橋梁に使用できるように長ストローク化および大容量化を図った。基本特性確認実験の結果, 摩擦ダンパーは, 最大速度100cm/secを超える正弦波加振時も安定した完全弾塑性型の履歴形状が得られることがわかった。また, 平均摩擦荷重は, 入力する正弦波の最大速度に応じて最大30%程度低下することがわかった。※参考文献は, 次報(その2)にまとめて示す。

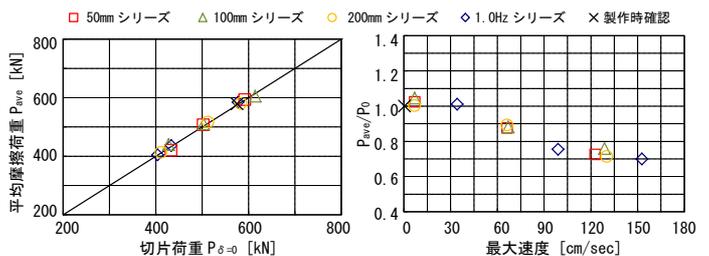


図-7 $P_{\delta=0}$ と P_{ave} の関係 図-8 最大速度と P_{ave}/P_0 の関係