# 8. 1000kN 級ダイス・ロッド式摩擦ダンパーの高速載荷実験

# High-speed Loading Test of 1000kN Class Die and Rod Friction Damper

波田雅也\* 山﨑 彬\*

## -概要-

筆者らは、既設橋梁にダイス・ロッド式摩擦ダンパー(以下、摩擦ダンパー)を設置して耐震性向上 を図る技術を提案している。摩擦ダンパーは、ダイス(金属環)の内径より少し太いロッド(金属棒)を ダイスにはめ込んだシンプルな機構であり、部品寸法を一様に変えるだけで摩擦荷重を調節できる。 これまでに、摩擦荷重 25kN~1200kN 級まで幅広く製作実績があり、600kN 級の摩擦ダンパーに対し ては高速載荷実験を実施し、正弦波や L2 地震応答波載荷による動的挙動を把握している。本研究では、 さらに 1000kN 級の大容量摩擦ダンパーに対して高速載荷実験を実施した(写真 1)。本報は、正弦波時 の基本特性と L2 地震応答波時のエネルギー吸収性能について示す。

### ー技術的な特長ー

摩擦ダンパーは、ダイスとロッドの接触面に生じる摩擦力を利用したダンパーであり、完全剛塑性 に近い履歴形状を有する(図1)。本報で述べる1000kN級の大容量摩擦ダンパーに対する高速載荷実験 の結果、正弦波時には600kN級ダンパーでの既往実験と同様の基本特性を示すこと、L2地震応答波時 には設計で想定した通りの履歴特性とエネルギー吸収性能を発揮することが確認された(図2)。



#### 写真1 実験状況の全景



※本実験は首都高速道路(株)と青木あすなろ建設(株)の共同研究により開発したダイス・ロッド式摩擦ダンパー (DRF-DP)の品質確保のために実施したものであり、本報の内容は、土木学会第75回年次学術講演会(I-185、2020.9) にて発表済みである。

\*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室

# 1000kN 級ダイス・ロッド式摩擦ダンパーの高速載荷実験 High-speed Loading Test of 1000kN Class Die and Rod Friction Damper 〇波田 雅也\* 山崎 彬\* Masaya HADA Akira YAMASAKI

ABSTRACT The friction damper is a damper that utilizes the frictional force generated on the contact surface between the die and the rod, and has a history shape close to perfect rigid plasticity. As a result of the high-speed loading experiment on the large-capacity friction damper of 1000kN class described in this report, it shows the same basic characteristics as the previous experiment with the 600kN class damper at the time of sine wave, and the historical characteristics as expected in the design at the time of L2 earthquake response wave. It was confirmed that it exhibits energy absorption performance.

Keywords: 摩擦ダンパー, ダイス・ロッド式, 橋梁, 制震, 高速載荷 Friction damper, Dice and rod type Bridge, Seismic control, High speed loading

# 1. はじめに

筆者らは、既設橋梁の上下部接続部 1)にダイ ス・ロッド式摩擦ダンパー(以下、摩擦ダンパー) を設置して耐震性向上を図る技術を提案してい る(図 1)<sup>2)3)</sup>。摩擦ダンパーは、ダイス(金属環)とロ ッド(金属棒)の接触面に摩擦荷重が発生する機構 である(図 2)。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で生じる締付け力を利用 したシンプルな機構であり、部品寸法を一様に変 えるだけで摩擦荷重を調節できる。これまでに、 摩擦荷重 25kN~1200kN 級まで幅広く製作実績 があり、何れも完全剛塑性型に近い理想的な履歴 特性が得られている 3)4)5)。また既報 2)では、 600kN 級(25kN~1200kN の概ね中間値)の摩擦 ダンパーに対して高速載荷実験を実施し、正弦波 やL2 地震応答波載荷による動的挙動を把握して いる。本研究では、さらに 1000kN 級の大容量摩 擦ダンパー(規格荷重:1000kN、最大ストロー ク: ±150mm)に対して高速載荷実験を実施した。 本報は、正弦波載荷時の基本特性と L2 地震応答 波載荷時のエネルギー吸収性能について示す。



図1 摩擦ダンパーを用いた橋梁耐震補強工法



#### 2. 実験概要

載荷装置は、JFE テクノリサーチ(株)が保有す る高速サーボ試験機を用いた(写真 1)。実験方法

\*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室 ※本実験は首都高速道路(株)と青木あすなろ建設(株)の共同研究により開発したダイス・ロッド式摩擦ダンパーの 品質確保のために実施したものであり、本報の内容は、土木学会第75回年次学術講演会(2020.09、I-185)にて発 表済みである。 は摩擦ダンパーを軸方向に変位制御で載荷する 方法とし、計測項目は荷重と変位およびダイス表 面温度とした(写真 2)。速度は変位を微分して算 定、極性は荷重と変位ともに引張側を正とした。 なお、載荷後はダンパーが蓄熱した摩擦熱を空冷 し、ダイス表面が常温(24℃)以下になったことを 確認してから次の載荷を行った。

# 3. 正弦波載荷(基本特性の確認)

本章では、高速載荷時の基本特性を確認するために実施した正弦波載荷の概要について示す。

## 3.1 入力波形と載荷ケース

入力波形は、既報 2)に準拠して目標振幅 2 サイ クルの前後に漸増・漸減波を 2 サイクルずつ加え た正弦波とし、目標振幅 2 サイクル目で摩擦荷重 (切片荷重  $P_{\delta=0}$ 、平均摩擦荷重  $P_{ave}$ )<sup>2)</sup>を評価した (図 3)。載荷ケースは目標振幅と振動数をパラメ ータとして最大速度  $V_{max}$ を変化させた計 13 ケー スとした(表 1)。試験体数は表 1 中の 40mm シリ ーズと 80mm シリーズを 2 体、その他を 1 体と した。

# 3.2 実験結果

各ケースの目標振幅2サイクルの履歴曲線を抽 出し、シリーズ毎に重ね合わせたものを図4に示 す。図4中には、0.4cm/sec 一定の三角波載荷<sup>20</sup> から平均摩擦荷重を評価した基準値 P<sub>0</sub>を破線で 示している。また、13ケースの $V_{max} \ge P_{ave}/P_0$  (P<sub>ave</sub> を P<sub>0</sub>で除して無次元化)の関係を図5に示す。図 5には、参考値として既報2)の 600kN 級ダンパ ーの実験結果を記載している。図4より、各シリ ーズとも振動数や振幅、速度によらず概ね完全弾 塑性型の履歴形状を示すことが確認できる。また、 図5より、入力する正弦波の $V_{max} \ge P_{ave} \ge 0$ 間 には、既報2)、5)で示した摩擦ダンパーと同様の 相関関係( $V_{max}$ が10cm/sec 未満の載荷ケースでは  $P_{ave}$ が P<sub>0</sub>より大きく、10cm/sec 以上では $V_{max}$ が 大きくなるほど P<sub>ave</sub>が低下する)が認められる。

漸増



写真1 実験状況の全景



目標振幅

漸減

図3 入力波形(正弦波)

載荷ケース(正弦波)

表 1



写真2 摩擦ダンパー設置状況

最大 振動 日標 振幅 数 速度 試験名 シリース f Vmax а mml [Hz] cm/sec] 1 a40f0.2 40 0.2 40mm a40f1.0 2 40 1.0 シリース 3 a40f2.0 40 2.0 50 4 a80f0.1 80 0.1 5 25 80mm 5 a80f0.5 80 0.5 シリース゛ 50 6 a80f1.0 80 1.0 7 a120f0.067 120 0.067 5 120mm 8 a120f0.33 120 0.33 25 シリース゛ 50 9 a120f0 67 120 0.67 10 a40f1 0 40 1.0 25 1.0Hz 38 11 a60f1.0 60 1.0 a80f1.0 シリース 80 1.0 50 13 a100f1.0 100 63



#### 4. L2 地震応答波載荷(エネルギー吸収の確認)

本章では、摩擦ダンパーが解析時に想定したエ ネルギー吸収性能を有することを確認するため に実施した地震応答波載荷の概要について示す。

### 4.1 入力波形と載荷ケース

荷ケース一覧を表2に、入力波形の一例を図6 に載示す。入力波形は、1000kN摩擦ダンパーを 用いた橋梁の時刻歴応答解析で、L2地震動<sup>11</sup>入力 時に得られたダンパーの応答変位波形であり、計 6ケース実施した(試験体数は各1体)。

#### 4.2 実験結果

履歴曲線の一例を図7に、各ケースのエネルギ 一吸収量の実験値と解析値の関係を図8に示す。



表2 載荷ケース(地震応答波)



図 6 入力波形の一例(地震応答波 type II-1)



図7と図8より、地震応答波載荷においても概ね 完全弾塑性型の履歴形状を示すこと、各ケースと もエネルギー吸収量の実験値が解析値を上回っ ていることから、1000kN摩擦ダンパーが想定通 りのエネルギー吸収性能を発揮したことが確認 できる。

### 5. ダイス表面温度の確認

摩擦ダンパーは振動エネルギーを摩擦熱に変 えて吸収するため、ダイスとロッドが各々蓄熱し 温度上昇する<sup>5)</sup>。本章では、ダイス表面温度とエ ネルギー吸収量の関係に着目する。まず、図9(a) は、実験終了後のダイス表面の最大温度とエネル ギー吸収量の関係である。図9(a)より、正弦波、 地震応答波によらず、エネルギー吸収量が大きい ほどダイス表面温度が高くなる傾向が確認でき る。また、図9(b)はダイスの温度上昇(最大温度 と実験開始時温度の差分)とエネルギー吸収量の 関係である。図より、本実験で用いた試験体と入 力波による限られた実験条件で得られた結果で





はあるが、ダイスの温度上昇とエネルギー吸収量 には、概ね正比例の相関関係が確認された。

#### 6. まとめ

以上、1000kN 級摩擦ダンパーの高速載荷実験 を行い、正弦波載荷時の基本特性とL2 地震応答波 載荷時のエネルギー吸収性能を確認した。得られ た知見を以下に示す。なお、L2 地震時特性の詳細 については、稿を改めて報告したい。

- (1) 正弦波載荷より、各シリーズとも振動数や振幅、 速度によらず概ね完全剛塑性型の履歴を示した。 また、Vmaxと Paveとの間には、既報で示した摩 擦ダンパーと同様の相関関係が確認された。
- (2) 地震応答波載荷より、1000kN 摩擦ダンパーが 想定通りの履歴特性とエネルギー吸収性能を発 揮することが確認された。
- (3) 正弦波および地震応答波載荷ともに、エネルギ 一吸収量が大きいほどダイス表面の最大温度が 高くなる傾向が確認された。

#### 【参考文献】

- 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V耐震設 計編、2012.3
- 2) 波田雅也、蔵治賢太郎、右高裕二、牛島 栄:橋
  梁の耐震補強に用いるダイス・ロッド式摩擦ダン
  パーの開発、土木学会論文集 A1、Vol.75、No.2、
  pp.95-110、2019
- 3) 波田雅也、和田 新、右高裕二、牛島 栄:ダイス・ ロッド式摩擦ダンパーを用いた橋梁模型の振動台 実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.39、 No.2、pp.859-864、2017.7
- 4) 山崎 彬、波田雅也、木村浩之、牛島 栄、蔵治賢太郎、松原拓朗、久保田成是:1200kN級の"大容量 ダイス・ロッド式摩擦ダンパー"の開発、土木学会 第73回年次学術講演会、I-316、pp.631-632、2018
- 5) 北嶋圭二ほか:既存 RC 造建物の制震補強用摩擦ダン パーに関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、 Vol.21、No.1、pp.385-390、1999