# 1000kN 級ダイス・ロッド式摩擦ダンパーの高速載荷実験

青木あすなろ建設(株) 技術研究所　正会員　○波田雅也　山﨑 彬　藤本和久　フェロー会員　牛島 栄
首都高速道路(株) 技術部 技術推進課　正会員　松原拓朗　山本一貴　引地宏陽
首都高速道路(株) 東京東局 土木保全設計課　正会員　磯部龍太郎　太田信之介

## 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[2)3)]．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-1**)．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の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．

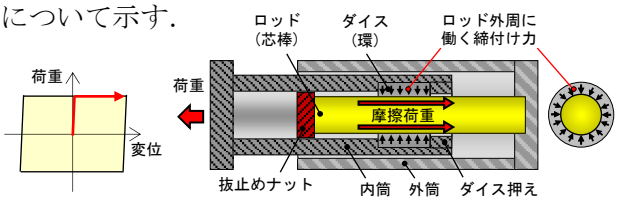


図-1　摩擦ダンパーの機構

## 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し，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．

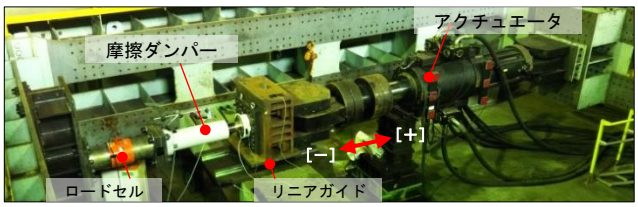
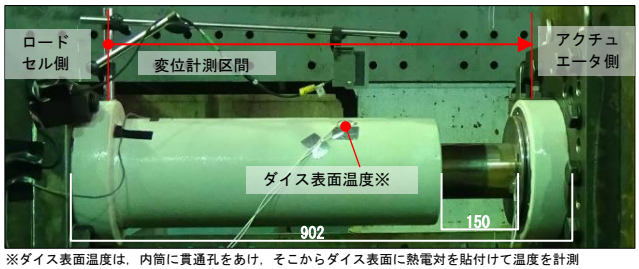


写真-1　実験状況の全景



※ダイス表面温度は，内筒に貫通孔をあけ，そこからダイス表面に熱電対を貼付けて温度を計測
写真-2　摩擦ダンパー設置状況

## 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 $P_{ave}$)[2)]を評価した(**図-2**)．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て**図-3** に示す．**図-3** 中には，0.4cm/sec 一定の三角波載荷[2)]から平均摩擦荷重を評価した基準値 $P_0$ を破線で示している．

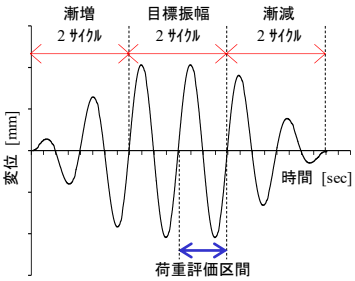


図-2　入力波形(正弦波)

表-1　載荷ケース(正弦波)

| | 試験名 | ｼﾘｰｽﾞ | 目標振幅 a [mm] | 振動数 f [Hz] | 最大速度 $V_{max}$ [cm/sec] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | a40f0.2 | 40mm ｼﾘｰｽﾞ | 40 | 0.2 | 5 |
| 2 | a40f1.0 | | 40 | 1.0 | 25 |
| 3 | a40f2.0 | | 40 | 2.0 | 50 |
| 4 | a80f0.1 | 80mm ｼﾘｰｽﾞ | 80 | 0.1 | 5 |
| 5 | a80f0.5 | | 80 | 0.5 | 25 |
| 6 | a80f1.0 | | 80 | 1.0 | 50 |
| 7 | a120f0.067 | 120mm ｼﾘｰｽﾞ | 120 | 0.067 | 5 |
| 8 | a120f0.33 | | 120 | 0.33 | 25 |
| 9 | a120f0.67 | | 120 | 0.67 | 50 |
| 10 | a40f1.0 | 1.0Hz ｼﾘｰｽﾞ | 40 | 1.0 | 25 |
| 11 | a60f1.0 | | 60 | 1.0 | 38 |
| 12 | a80f1.0 | | 80 | 1.0 | 50 |
| 13 | a100f1.0 | | 100 | 1.0 | 63 |

キーワード　摩擦ダンパー，ダイス・ロッド式，橋梁，制震，高速載荷
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　構造研究部　TEL029-877-1112

© Japan Society of Civil Engineers

また，全 13 ケースの $V_{max}$ と $P_{ave}/P_0$（$P_{ave}$ を $P_0$ で除して無次元化）の関係を**図-4** に示す．**図-4** 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-3** 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-4** より，入力する正弦波の $V_{max}$ と $P_{ave}$ との間には，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 $P_0$ より大きく，10cm/sec 以上では $V_{max}$ が大きくなるほど $P_{ave}$ が低下する）が認められる．

## 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**　入力波形の一例を**図-5** に，載荷ケース一覧を**表-2** に示す．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 [1)] 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-6** に，各ケースのエネルギー吸収量の実験値と解析値の関係を**図-7** に示す．**図-6** と**図-7** 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 [5)]．実験終了後の最大ダイス表面温度とエネルギー吸収量の関係を**図-8** に示す。**図-8** 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．

## 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．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．

**【参考文献】**　1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説　V 耐震設計編，2012.3　2) 波田雅也ほか：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) 波田雅也ほか：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) 山﨑彬ほか：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

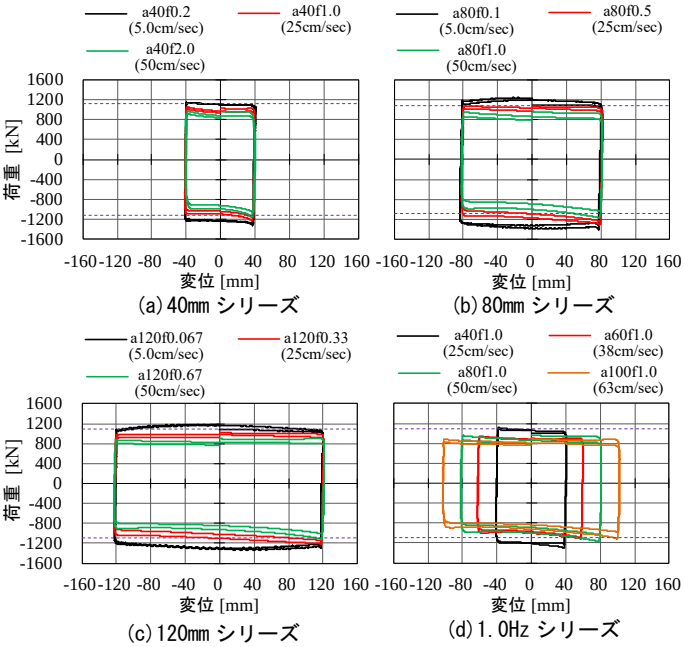



図-3　履歴曲線（正弦波の荷重－変位関係）

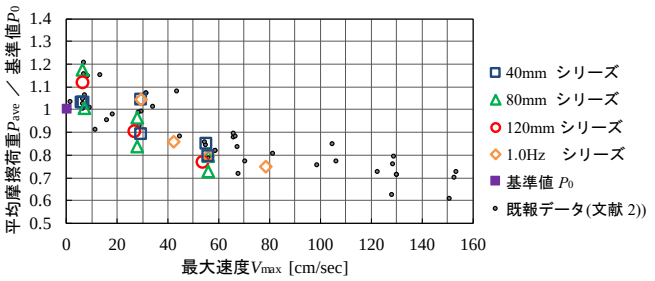



図-4　最大速度 $V_{max}$ と平均摩擦荷重 $P_{ave}$ の関係（正弦波）

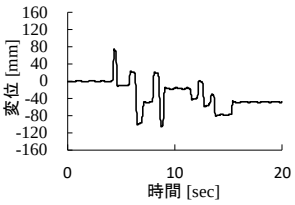



図-5　入力波形の一例（地震応答波 type II-1）

表-2　載荷ケース（地震応答波）

| | 試験名 | ｼﾘｰｽﾞ | 最大変位δ [mm] ＋ | 最大変位δ [mm] － | 最大速度 $V_{max}$ [cm/sec] | 継続時間 t [sec] | ｴﾈﾙｷﾞｰ吸収量 E [kN・m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | type I-1 | type I | 1 | -92 | 61 | 120 | 142 |
| 2 | type I-2 | 地震動 | 20 | -60 | 53 | 240 | 249 |
| 3 | type I-3 | ｼﾘｰｽﾞ | 10 | -31 | 42 | 240 | 91 |
| 4 | type II-1 | type II | 73 | -106 | 87 | 50 | 865 |
| 5 | type II-2 | 地震動 | 59 | -95 | 100 | 50 | 790 |
| 6 | type II-3 | ｼﾘｰｽﾞ | 64 | -140 | 93 | 50 | 558 |

※表中のエネルギー吸収量は，1000kN 摩擦ダンパーの解析値

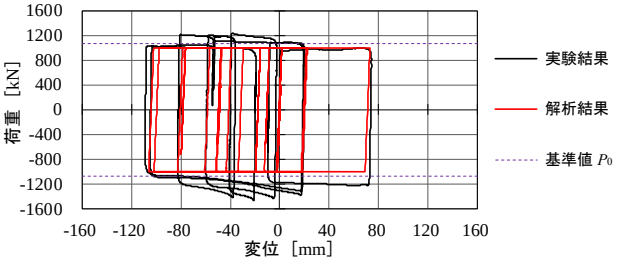



図-6　履歴曲線の一例（地震応答波 type II-1）

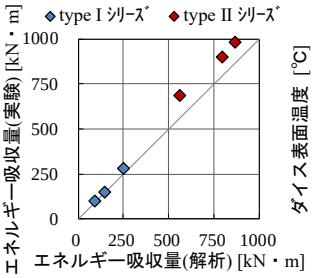



図-7　エネルギー吸収量の実験値と解析値の関係（地震応答波）

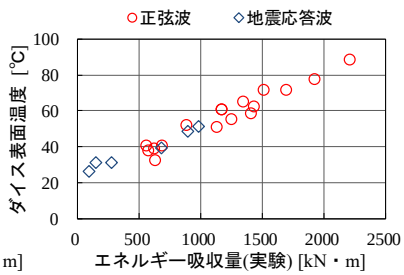



図-8　ダイス表面温度とエネルギー吸収量の関係

© Japan Society of Civil Engineers