

1000kN 級ダイス・ロッド式摩擦ダンパーの断続的繰返し高速載荷実験

青木あすなる建設(株) 技術研究所 正会員 ○波田雅也 山崎 彬 フェロー会員 牛島 栄
 首都高速道路(株) 技術部 構造技術室 設計技術課 正会員 松原拓朗 磯部龍太郎 山本一貴
 首都高速道路(株) 東京東局 土木保全設計課 正会員 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⁾。摩擦ダンパーは、ダイス(金属環)とロッド(金属棒)の嵌め合いを利用したシンプルな機構(図-1)であり、摩擦荷重 25kN~1200kN 級まで幅広い製作実績と実験的知見がある²⁾⁵⁾。

本研究は、1000kN 級摩擦ダンパー(規格荷重:1000kN, 最大ストローク:±150mm)に対して実施した高速載荷実験に関するものである。昨年発表した既報⁶⁾より、L2 地震応答時に想定される様々な変位履歴に対して、この摩擦ダンパーが安定した完全剛塑性型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ている。本報では、さらに、限界状態を把握する一環として行った断続的繰返し高速載荷実験について示す。

2. 実験概要

2.1 実験目的 摩擦ダンパーは、振動エネルギーを摩擦熱に変換して吸収し、L2 地震応答時にはダイス表面が 100°C 程度まで温度上昇することが想定される²⁾⁶⁾。既報²⁾や⁶⁾では、L2 地震時応答の範囲での挙動把握が目的であったため、載荷により蓄熱された摩擦熱を常温(24°C)以下まで空冷してから次の載荷を行った。

そのような実験条件下では、ダンパー1 体に対して様々な載荷パターンを行った後でも摩擦荷重が殆ど変化せず、優れた繰返し耐久性を有することがわかっている。しかし、近年の巨大地震や懸念される長周期地震動⁷⁾を鑑みると、設計想定を上回る変位履歴に対する挙動を把握しておくことが望まれる。例えば L2 地震時相当の揺れが短いインターバルで多数回繰返し発生すると、空冷される間も無く最大温度が 200°C を超え、ダイス・ロッド摺動部が変性する可能性がある。

本報の断続的繰返し高速載荷実験(以下、断続載荷)の目的は、設計想定を遥かに上回る過酷な条件下で載荷した場合の限界状態を把握することである。

2.2 実験方法 実験方法はダンパー軸方向に変位制御で載荷する方法とし、荷重と変位およびダイス表面温度を計測した(写真-1、図-2)。速度は変位を微分して算定し、極性は荷重・変位とも引張側を正とした。

2.3 入力波形 断続載荷の入力波形を図-3 と表-1

に示す。入力波形は、地震応答波と正弦波の 2 パターンとし、試験体数は各 1 体とする。図-3(a)の地震応答波は、この摩擦ダンパーを設置した実橋梁⁸⁾の時刻歴応答解析において、3 種地盤の L2 地震動 6 波¹⁾のうちキーワード 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 青木あすなる建設(株)技術研究所 構造研究部 TEL029-877-1112

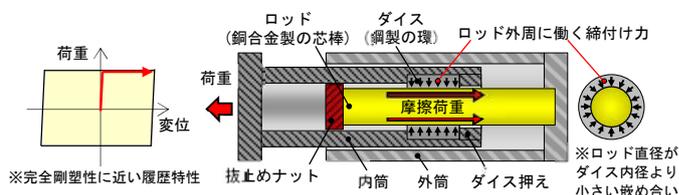


図-1 摩擦ダンパーの機構

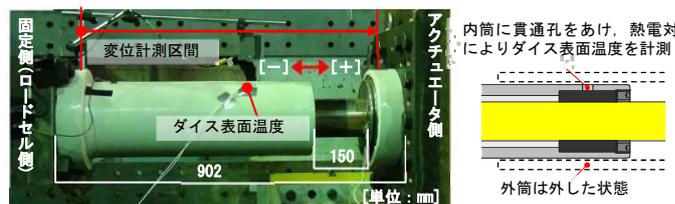
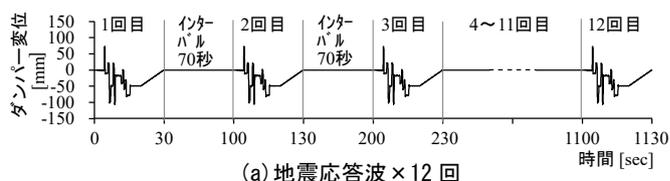
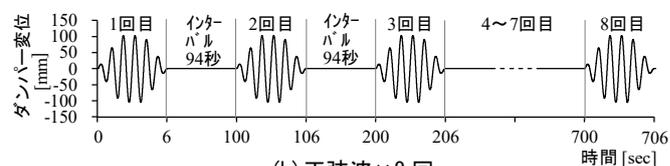


写真-1 実験状況

図-2 温度計測



(a) 地震応答波×12回



(b) 正弦波×8回

図-3 断続載荷の入力波形

表-1 入力波形の諸元

入力波名	最大振幅		振動数	最大速度	波形時間	インターバル	繰返し数	載荷時間	エネルギー量
	+	-							
(a) 地震応答波	73	-106	—	87	30.0	70.0	12	1130.0	10380
(b) 正弦波	100	-100	1.0	63	6.0	94.0	8	706.0	12608

※エネルギー量は、摩擦ダンパーの復元力特性を $F_y=1000\text{kN}$ 、 $\delta_y=1.0\text{mm}$ のノーマルバリエーションモデルとした解析値。

エネルギー吸収量が最大であった II-III-1 入力時のダンパー応答変位波形であり、100 秒間隔で断続的に計 12 回繰返し载荷した。図-3 (b) の正弦波は、最大変位と累積変位が地震応答波と同等の漸増・漸減付き正弦波(漸増 2+目標振幅 2+漸減 2 サイクルの計 6 サイクル)であり、100 秒間隔で断続的に計 8 回繰返し载荷した。

3. 実験結果 (断続载荷)

3.1 荷重-変位関係 断続载荷の荷重-変位関係を図-4 に示す。地震応答波と正弦波ともに、小振幅時に荷重が大きく、大振幅時に荷重が小さい傾向があった。また、繰返し回数が増えると徐々に荷重が減少するものの、载荷終了まで概ね剛塑性型の履歴を示した。

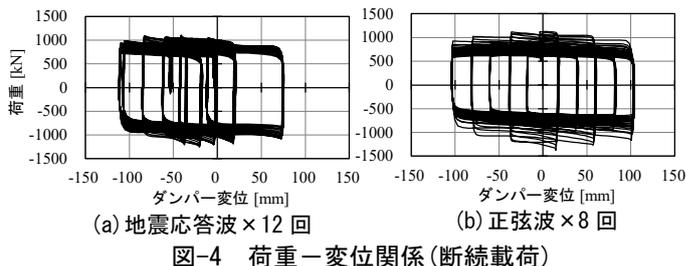


図-4 荷重-変位関係(断続载荷)

3.2 エネルギー吸収量とダイス表面温度 エネルギー吸収量およびダイス表面温度の時刻歴波形を図-5 に示す。まず、図-5 (a) より、地震応答波 1 回のエネルギー吸収量は平均 800kN・m 程度で、回数を重ねる毎に階段状にエネルギー量が累積され、12 回終了時では約 9,600kN・m であった。ダイス表面温度は時間遅れで上昇し、12 回終了後の最大温度は 217°C であった。また、図-5 (b) より、正弦波も同様に回数を重ねる毎にエネルギー量が累積されるとともに、時間遅れでダイス表面温度が最大 234°C まで上昇した。

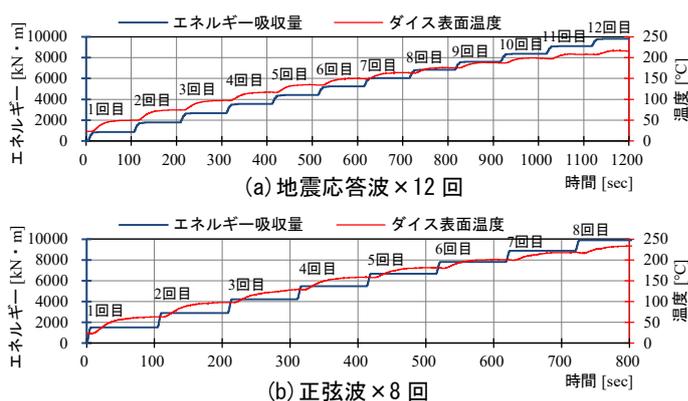


図-5 エネルギー量とダイス温度の時刻歴波形(断続载荷)

3.3 エネルギー吸収性能 1 回毎のエネルギー吸収量の推移を図-6 に示す。エネルギー吸収量は、地震応答波と正弦波ともに 1 回目または 2 回目で最も大きく、回数を重ねる毎に徐々に小さくなった。地震応答波 12 回目の吸収量は 1 回目の約 80%，正弦波 8 回目の吸収量は 1 回目の約 70% まで低下したものの、L2 地震動に対する設計想定を遥かに上回る変位履歴を与えても抵抗力を完全に喪失することなく、エネルギー吸収性能を発揮し続けることが確認された。

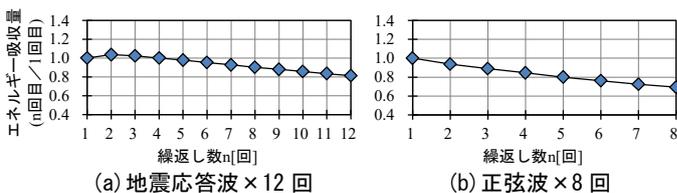


図-6 1 回毎のエネルギー吸収量の推移

4. 摩擦荷重の変化 (静的载荷)

摩擦荷重の変化を確認するため、断続载荷の前・後で、常温以下の状態で荷重確認用²⁾の静的载荷(三角波、振幅：±120mm、速度：4.0mm/sec 一定、2 サイクル)を行った。荷重-変位関係を図-7 に示す。断続载荷後の摩擦荷重は、断続载荷前に比べて 20~30% 小さくなった。これは、断続载荷によって 200°C 以上の高温状態となり、ロッドが膨張かつ物性変化(降伏点、ヤング率が微減)した状態で摺動したことでロッド径が絞られ、空冷後に収縮することで嵌め合いが緩くなったことが一因と考えられる。しかしながら、座屈やねじ破断のように急激に抵抗力を喪失することなく、安定した剛塑性型の履歴特性を保持することが確認された。

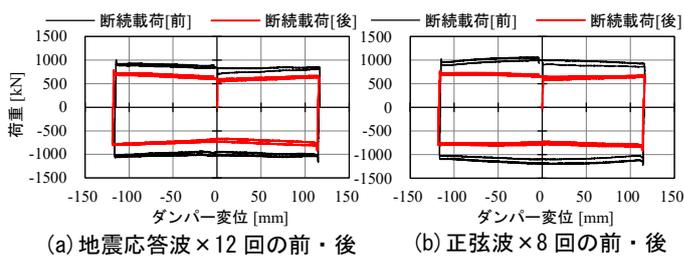


図-7 荷重-変位関係(断続载荷前後の静的载荷)

5. まとめ

以上、1000kN 級摩擦ダンパーに対して断続的繰返し高速载荷を行い、L2 地震時応答を遥かに上回る過酷な载荷条件での履歴特性とエネルギー吸収量および荷重変化を確認し、摩擦ダンパーの限界状態を把握した。

【参考文献】 1) 日本道路協会：道路橋示方書・解説 V 耐震設計編，2017.11 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) 山崎 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 建造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 6) 波田雅也ほか：1000kN 級ダイス・ロッド式摩擦ダンパーの高速载荷実験，土木学会第 75 回年次学術講演会，I-185，2020. 9 7) 国土交通省：超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について，国住指第 1111 号，2016. 6 8) 波田雅也ほか：摩擦ダンパーを用いた橋梁構造物の制震技術の開発，振動技術協会誌，2021. 4 掲載予定