

ダイス・ロッド式摩擦ダンパーの小振幅多数回繰返し载荷実験

青木あすなろ建設(株) 正会員 ○下村将之 波田雅也 木村浩之 山崎 彬

1. はじめに

筆者らは、おもに橋軸直角方向を対象として、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),3),4)}。摩擦ダンパーは、金属のダイス(環)とロッド(芯棒)を嵌め合わせた摩擦機構で、完全剛塑性に近い履歴特性を有する(図-1(a))。また、ボールジョイント⁵⁾等を介して、上・下部構造に両端ピン接合とする。そのため、桁温度伸縮やL1地震動⁶⁾によって上部構造が橋軸方向に移動すると、橋軸直角方向の摩擦ダンパーが斜めに傾いて突っ張り、振幅は小さいながらもダンパー軸方向に多数回の繰返し荷重・変位が作用する(図-1(b), 図-1(c))。本報では、桁温度伸縮やL1地震動時を想定した繰返し作用に対して、摩擦ダンパーが完全剛塑性の履歴特性を損なわない耐久性を有することを確認すべく実施した小振幅多数回繰返し载荷実験について記す。

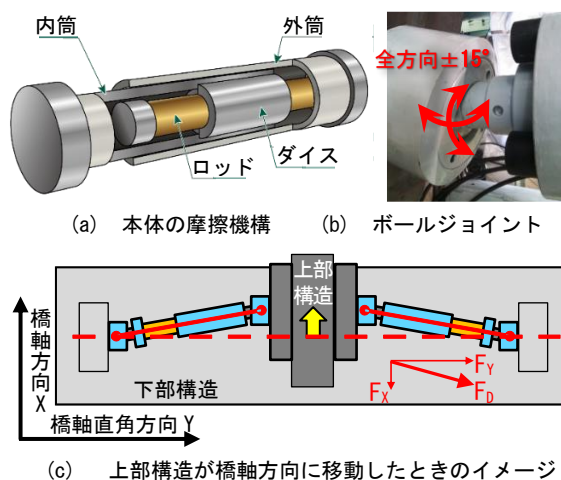


図-1 摩擦ダンパーの概要

2. 桁温度伸縮やL1地震動による繰返し作用

先行研究^{2),3)}や文献⁶⁾をもとに試算すると、桁温度伸縮に伴うダンパー軸変位は概ね弾性範囲である。しかし、桁温度伸縮は、橋梁の供用期間中におよそ4万回(1回/日×365日/年×供用100年=36,500回)繰返し生じる。摩擦ダンパーは、この弾性多数回繰返し作用に対して軸剛性が変化しないことが求められる。また、L1地震動時に橋軸方向変位が生じた際は、弾性範囲を超えて数ミリ撓動することが考えられる。摩擦ダンパーは、この撓動を伴う多数回繰返し作用に対して、摩耗などによって履歴特性が損なわれないことが求められる。

3. 桁温度伸縮による作用を想定した弾性多数回繰返し载荷

3.1 実験方法 実験状況を写真-1に示す。250kN級摩擦ダンパー(ストローク±200mm)を試験装置に設置し、引張を正として軸方向に载荷する。計測項目は、荷重および写真-1に示す4区間の変位(全長、本体及びBJ1、BJ2(ボールジョイント1, 2)とする。入力波形は、荷重制御で本試験体の摩擦荷重 250kN の約 70%に相当する 180kN の荷重を正負交番に 0.5Hz で繰返す正弦波とし、繰返し回数は 40,000 回とした(図-2)。

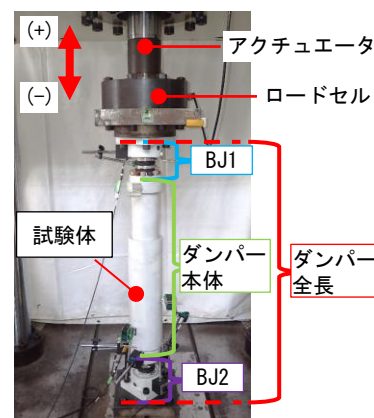


写真-1 実験状況および変位計測範囲

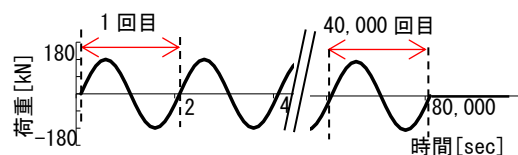


図-2 40,000 回繰返し波形

3.2 実験結果 繰返し1回目と40,000回目における変位計測区間

ごとの荷重-変位関係を図-3に、1, 10,000, 20,000, 30,000, 40,000回目における変位計測区間ごとの軸剛性を表-1に示す。各区間の軸剛性は、図-3中に丸印で示す正負の荷重ピーク点を直線で結んだ割線剛性で評価する。まず、図-3より、

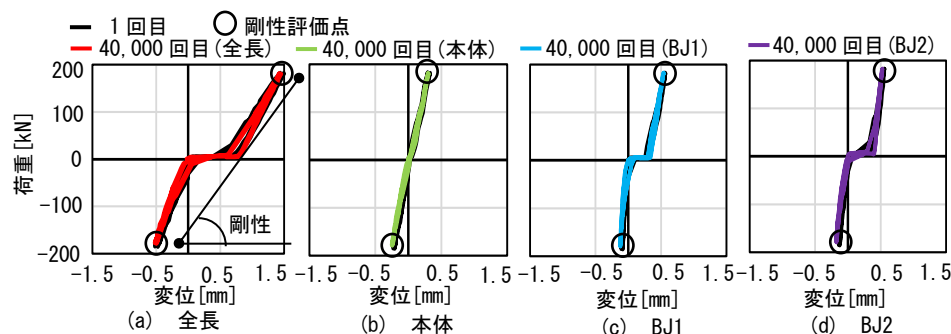


図-3 荷重-変位関係(繰返し1回目・40,000回目)

キーワード 摩擦ダンパー, ダイス・ロッド式, 橋梁, 制震, 繰返し試験

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

各区間の荷重-変位関係は、いずれも1回目と40,000回目が良く一致している。また、表-1より、各区間の繰返し载荷中の軸剛性は、いずれも1回から40,000回までほとんど変動することなく安定していることから、桁温度伸縮に伴う作用を想定した弾性多数回繰返し载荷に対して、摩擦ダンパーの軸剛性が変化しないことが確認された。

表-1 繰返し回数・部位ごとの剛性一覧

繰返し回数	剛性 [kN/mm]			
	全長	本体	BJ1	BJ2
1	187.0 (1.00)	693.1 (1.00)	562.2 (1.00)	541.5 (1.00)
10,000	183.1 (0.98)	662.9 (0.96)	532.1 (0.95)	523.6 (0.97)
20,000	186.6 (1.00)	682.8 (0.99)	529.2 (0.94)	523.0 (0.97)
30,000	182.9 (0.98)	691.3 (1.00)	525.8 (0.94)	512.3 (0.95)
40,000	184.2 (0.99)	654.6 (0.94)	542.5 (0.96)	513.1 (0.95)

※()内は1回目の数値で除した値

4. L1 地震動時の作用を想定した摺動を伴う多数回繰返し载荷

4.1 実験方法 試験体と载荷方法・計測方法は、3章と同じとする。実験スケジュールを図-4に、入力波形を図-5と図-6に示す。L1地震動時を想定した入力波形は、ダンパー試験体の摺動開始変位1mmの3倍に相当する振幅 $\pm 3.0\text{mm}$ を振動数1.0Hzで50回繰返す正弦波(以下、50回繰返し)とし、これを計5セット実施する。また、履歴特性の変化を確認するため、50回繰返しの前後には振幅 $\pm 140\text{mm}$ 、载荷速度 4mm/sec 一定、繰返し2回の载荷(以下、荷重確認)を計6セット実施する。

4.2 実験結果 50回繰返し1~5セット目の荷重-変位関係を図-7に示す。図-7より、50回繰返しの荷重-変位関係は、計5セット実施してもほとんど変化せず、 $\pm 3\text{mm}$ という小さな振幅でも剛塑性型の履歴を示している。図中の○印の区間で評価した軸剛性も変化無く、また各セットともに繰返し回数を重ねるたびに徐々に摩擦荷重が増加した(50回目は、1回目に対して約10%増)。つぎに、荷重確認1セット目と6セット目の荷重-変位関係を比較して図-8に、荷重確認1~6セットの摩擦荷重の推移を図-9に示す。図-9の横軸は各载荷終了時点での累積エネルギー吸収量であり、縦軸は荷重確認の繰返し2回目における最大荷重、平均摩擦荷重³⁾および切片荷重³⁾の正負平均値である。図-8より、荷重確認の荷重-変位関係は、50回繰返し計5セットの前後でも変化せず、よく一致している。また、図-9より、荷重確認1~6セットの荷重変化は4%以内とごく小さいことから、L1地震動による作用を想定した摺動を伴う多数回の繰返し载荷に対して、摩擦ダンパーの履歴特性が変化しない十分な耐久性が確認された。

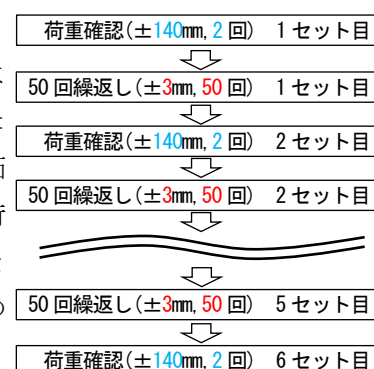


図-4 実験スケジュール

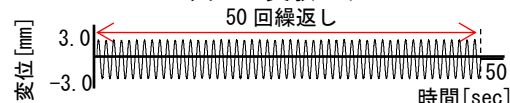


図-5 50回繰返しの入力波形

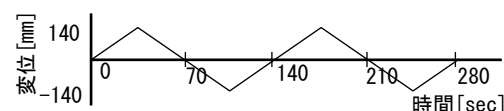


図-6 荷重確認の入力波形

5. まとめ

以上、桁温度伸縮やL1地震動による作用を想定した小振幅多数回繰返し载荷の結果、摩擦ダンパーが摩耗などによって剛塑性型の履歴特性を損なうことなく、十分な耐久性を有することが確認された。

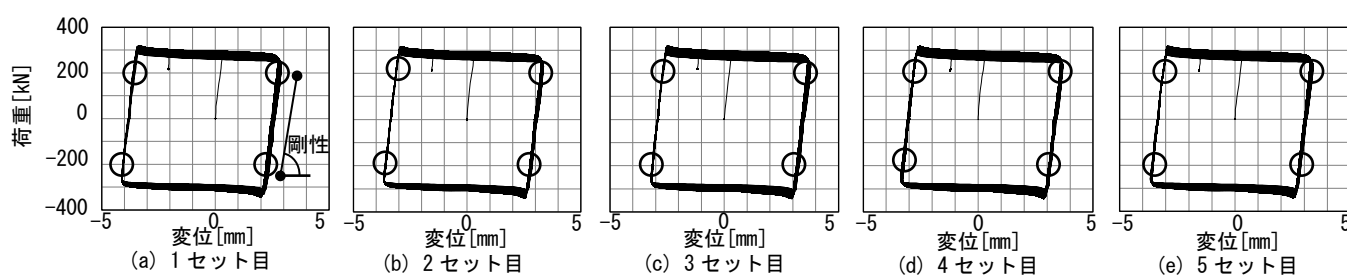
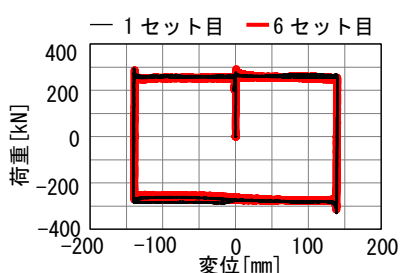
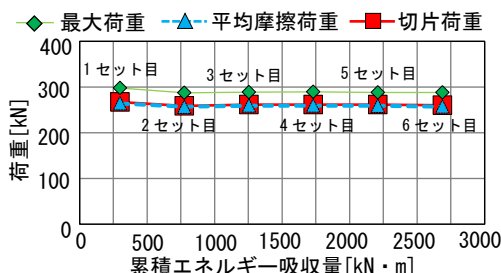


図-7 荷重-変位関係 (50回繰返し1~5セット目)

図-8 荷重-変位関係
(荷重確認1セット目と6セット目)図-9 荷重確認1~6セット目における
摩擦荷重の推移

【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：摩擦ダンパーを用いた既設橋脚の地震時損傷制御技術の適用、土木学会 インフラメンテナンス実践研究論文集、Vol.1、No.1、pp.261-268、2022.3 3) 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 4) 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 5) 波田雅也ほか：ダイス・ロッド式摩擦ダンパーに用いるボールジョイントの性能確認試験、土木学会第77回年次学術講演会、I-122、2022.8 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編、2012.3