

1200kN 級の“大容量ダイス・ロッド式摩擦ダンパー”の開発

青木あすなろ建設(株) 技術研究所 正会員 ○山崎彬 波田雅也 木村浩之 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 蔵治賢太郎 松原拓朗 久保田成是

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)を設置することで、L2 地震動時における基礎部の応答低減を図る耐震補強工法を提案している¹⁾²⁾。摩擦ダンパーは、初期剛性が非常に大きく完全剛塑性に近い履歴形状³⁾が特長であり、建築構造物の耐震補強用(荷重: 200~400kN・ストローク: ±55mm)として多数の実績を有している(写真-1(a))⁴⁾。また、橋梁用として荷重(600kN)とストローク(±250mm)容量を大きくした摩擦ダンパーも開発し、実用化に至っている(写真-1(b))¹⁾。しかしながら、大規模な橋梁の耐震補強や、ダンパーを設置できる箇所が制限される場合などの多種多様な設計・施工条件に対応するためには、更なる摩擦ダンパーの大容量化と、ラインナップの充実が必須課題であった。

本報では、摩擦荷重: 1200kN・最大ストローク: ±300mm の“大容量摩擦ダンパー”(写真-1(c))を設計・製作し、所定の性能(摩擦荷重, 履歴形状)を発揮することを確認するために実施した加力実験の概要について示す。

2. 大容量摩擦ダンパーの概要

2.1 摩擦機構・仕様 摩擦ダンパーの機構は、ダイス(環)とロッド(芯棒)で構成され、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、ロッドの外周に締付け力が生じる仕組みを利用している(図-1)。摩擦ダンパーは、設定摩擦荷重に達するまでは滑動せず、設定摩擦荷重に達すると、その摩擦荷重を保持しながらダイスがロッド上を滑動し、振動エネルギーを摩擦熱に変換して消散させる。摩擦ダンパーの設定摩擦荷重 F_d は、ダイスの締付け力 P_d にダイスとロッドの接触面の摩擦係数 μ を乗じることで、(1)式のように算定される³⁾。

$$F_d = P_d \cdot \mu \cdots (1) \quad \left[\begin{array}{l} F_d: \text{設定摩擦荷重} \\ P_d: \text{締付け力} \quad \mu: \text{摩擦係数} \end{array} \right]$$

一般的に、異種金属同士の摩擦係数は同種金属に比べて小さく、摩擦面の損傷も少ない⁵⁾。摩擦ダンパーは、ダイスに硬質金属(焼入れを施した鋼材)、ロッドに軟質金属(りん青銅)を使用する。さらに、より安定した摩擦係数 μ を得るため、ダイスとロッドの接触面には二硫化モリブデン系の固体潤滑剤を塗布し、0.4cm/sec 未満の低速度で静的に滑動させて馴染ませる工程を数回繰り返すことで、ロッド表面全体に固体潤滑剤を定着させている³⁾。また、締付け力 P_d は弾性理論解^{3) 6)}に基づいて算定され、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)を変えることで調整できる。すなわち、同じ材質・摩擦機構を採用し、各部材の寸法を一樣に拡大すれば、(1)式に基づいて摩擦荷重の大容量化も理論的には自在となる。

2.2 大容量摩擦ダンパーの製作・組立 大容量摩擦ダンパーの組立状況を写真-2 に示す。大容量摩擦ダンパーは、両端のピン接合部材を含むと全長が約 2.2m、総重量が約 750kgf と非常に大型であるため、加工精度

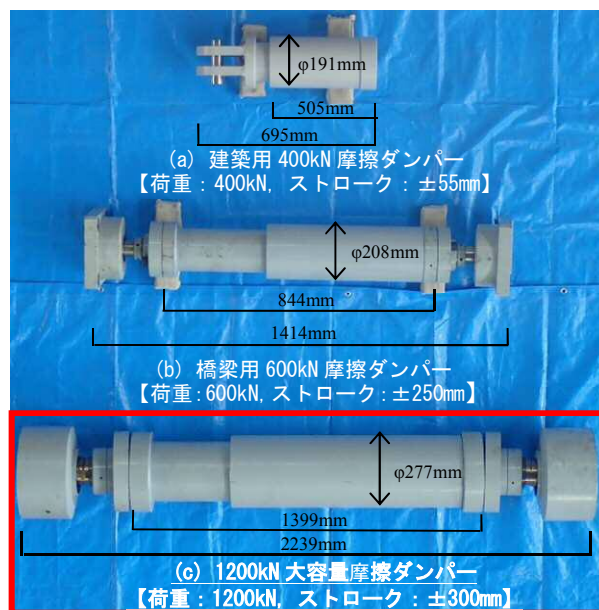


写真-1 1200kN 大容量摩擦ダンパーの外観

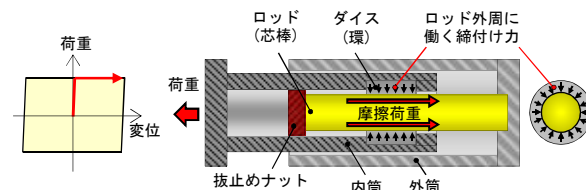


図-1 摩擦ダンパーの機構

キーワード 大容量摩擦ダンパー, ダイス・ロッド式, 橋梁, 加力実験, 耐震補強

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

および、荷重調整・組立ての可否が懸念されたが、概ね従来通りの工程で製作できた。ただし、現状は摩擦ダンパーの製作・組立て際して職人の手作業による工程が多くあり、とくに大容量摩擦ダンパーは、非常に大型であるがゆえに生産効率が悪い。そのため、各工程の全自動機械化を図るなど、生産体制の改善は今後の課題である。

3. 加力実験

3.1 実験の概要 実験状況を写真-3に示す。実験方法は、両端をピン接合とした大容量摩擦ダンパー試験体に対して、振幅を 60mm, 120mm, 180mm, 240mm の4段階に変化させて各2サイクルずつ正負交番に加力する方法とした。加力速度は全て 2.0mm/sec 一定とし、荷重およびダンパー変位をサンプリング周波数 20 Hz (50 msec) で計測した。なお、摩擦荷重(切片荷重 $P_{\delta=0}$, 平均摩擦荷重 P_{ave})の実験値は、文献 1) と同様に図-2に示す要領で評価した。

3.2 実験結果 履歴曲線を図-3に示す。大容量摩擦ダンパーは、振幅4段階を各2サイクル、合計8サイクル加力しても荷重は殆ど変化せず、安定した完全剛塑性型の履歴形状を示した。また、摩擦荷重の実験値($P_{\delta=0}$, P_{ave})は設定値(1200kN)に対して $\pm 10\%$ 程度の範囲に留まっており、文献 1) で示した摩擦ダンパー(600kN 級: 図-2 参考)と同様に安定した荷重を発揮した。なお、負側(圧縮)の摩擦荷重は正側(引張)より若干大きくなる傾向があった。これは、ロッドに圧縮軸力が作用し、ポアソン比にしたがってロッド径が大きくなることで、締付け力 P_d が増大したためと考えられる³⁾。

4. まとめ

本報では、橋梁に適用する摩擦ダンパーの大容量化とラインナップの充実を目的として製作した 1200kN 級の“大容量摩擦ダンパー”の概要および加力実験について述べた。実験の結果、概ね完全剛塑性型の履歴形状で安定した摩擦荷重を発揮することが確認された。

【参考文献】1) 波田雅也ほか: 既設橋梁の耐震性向上に用いるダイス・ロッド式摩擦ダンパーの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.1003-1008, 2016. 2) 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集, Vol.39, No.2, pp.859-864, 2017. 3) 大西博之ほか: 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. 4) 上田英明ほか: 制震ブレース工法—施工実績—, 青木あすなろ建設技術研究所報, Vol.1, 2016. 5) パウデン・テイパー: 固体の摩擦と潤滑(曾田範宗訳), 丸善, 1975.2 6) 日本機械学会: 機械工学便覧 A4 材料力学, 丸善, 1989.



写真-2 大容量摩擦ダンパーの組立て状況

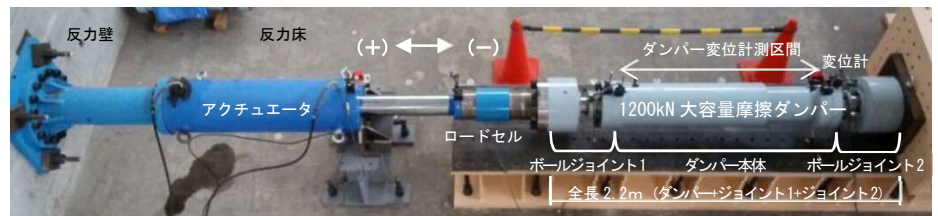


写真-3 実験状況

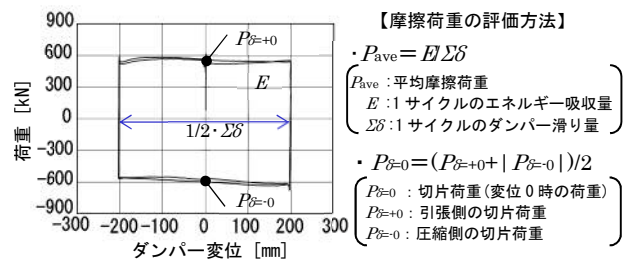


図-2 履歴形状の一例と荷重評価方法¹⁾

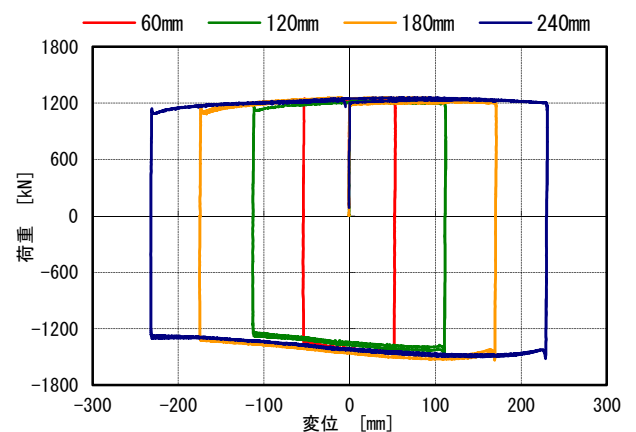


図-3 荷重-ダンパー変位関係