

10. 1200kN 級の大容量 “ダイス・ロッド式摩擦ダンパー” の開発

Development of “Die and Rod Type Friction Damper” With a Capacity of 1,200kN Level

山崎彬* 波田雅也* 木村浩之*

ー概要ー

筆者らは、“ダイス・ロッド式摩擦ダンパー（以下、摩擦ダンパー）”を用いた既設橋梁の耐震補強工法を提案している（図1）。これまでに、建築用摩擦ダンパー（荷重 400kN・ストローク±55mm）を大容量化（荷重およびストロークの増大）した荷重 600kN・ストローク±250mm の橋梁用摩擦ダンパーを開発・実用化してきた。しかし、大規模な橋梁の耐震性能の向上や多種多様な設計・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。そこで、大容量化しても高い耐震性能を有するかを確認するために、新たに荷重 1200kN・ストローク±300mm の「大容量摩擦ダンパー」を設計・製作した（写真1）。

本報では、「大容量摩擦ダンパー」を用いて実施した、静的加力実験の結果について述べる（写真2）。

ー技術的な特長ー

摩擦ダンパーは、ダイス（金属環）とロッド（金属棒）の接触面に生じる摩擦力を利用したダンパーであり、完全剛塑性型に近い履歴特性を有するという特長を有している（図2）。

本報で述べる性能確認試験では、設定値（1200kN）通りの摩擦荷重で安定した完全剛塑性型の履歴特性を発揮した。また、速度（0.4cm/sec）一定のまま振幅を4段階に変化させ、繰り返し加力しても荷重は殆ど変化しなかったことより、大容量化しても安定した耐震性能を有することが確認された（図3）。



図1 摩擦ダンパーを用いた既設橋梁の耐震補強工法

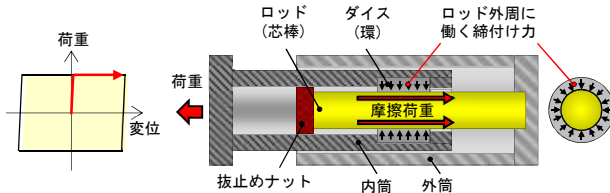


図2 摩擦ダンパーの機構

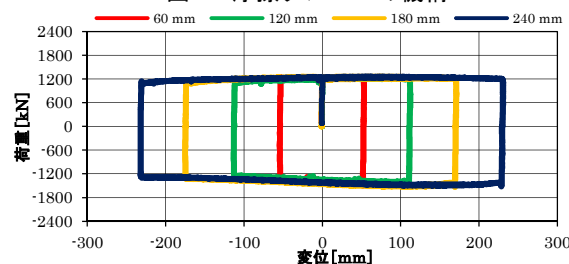


図3 実験結果（荷重-変位関係）

※本報は、首都高速道路(株)と青木あすなろ建設(株)の共同研究「既設橋梁の耐震性向上技術に関する研究」に関する研究成果の一部である。

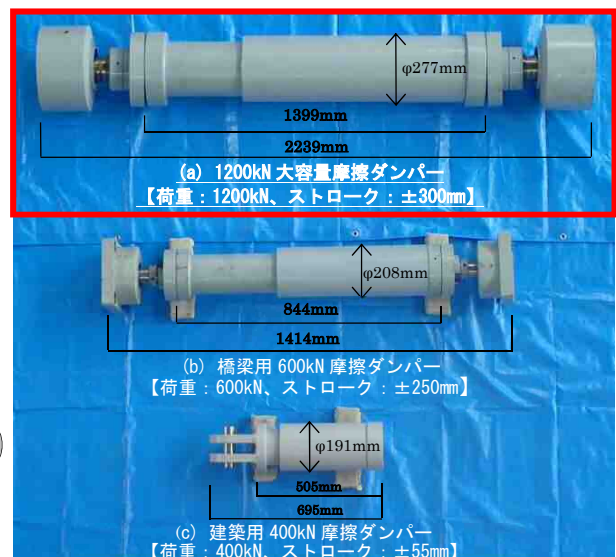


写真1 1200kN 大容量ダンパーとすでに開発済みの摩擦ダンパーの外観比較



写真2 実験状況

1200kN 級の大容量“ダイス・ロッド式摩擦ダンパー”の開発 Development of “Die and Rod Type Friction Damper” With a Capacity of 1,200kN Level

○山崎 彬* 波田 雅也* 木村 浩之*
Akira YAMASAKI Masaya HADA Hiroyuki KIMURA

ABSTRACT The authors have developed a seismic retrofit method to significantly reduce damage to bridge pier bases due to a Level 2 earthquake by installing Die and rod type friction dampers (hereinafter referred to as friction dampers) to the bridge. The friction damper attenuates earthquake shaking by converting vibration energy to friction heat and thereby absorbing earthquake energy. The friction damper for bridge (Load:600kN Stroke:±250mm) was developed based on the friction damper for building (Load:400kN Stroke:±55mm). However, It is necessary to develop the larger friction damper and to enhance types of the friction damper for corresponding to an improvement of a seismic performance of a large scale bridge and to various conditions of design and construction. Therefore, the larger friction damper (Load:1200kN Stroke:±300mm) was designed and manufactured to confirm whether the larger friction damper keeps the high seismic performance as same as the friction damper for bridge. This paper briefly describes the newly developed seismic retrofit method and reports the results of a static added force experiment using two large friction dampers with 1,200kN level. As a result of the experiment, it is confirmed that the larger friction damper has a stable seismic performance.

Keywords :大容量摩擦ダンパー, ダイス・ロッド式, 橋梁, 耐震補強, 静加力実験

Large Friction Damper, Die and Rod Type, Bridge, Seismic Retrofit, Static Added Force Experiment

1. はじめに

筆者らは、既設橋梁の上下部接合部の橋軸直角方向にダイス・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 地震時の基部の応答を大幅に低減できる橋梁耐震補強工法の開発・実用化を進めている(図 1)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(摩擦荷重:200~400kN・最大ストローク:±55mm)として多数の実績を有している⁴⁾。また、橋梁用として、摩擦荷重(400~600kN)と最大ストローク(±250mm)の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¹⁾。しかしながら、大規模な橋梁の耐震補強や多種多様な設計・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。

そこで筆者らは、摩擦荷重:1200kN・最大ストローク:±300mm の“大容量摩擦ダンパー”を設計・製作し、所定の性能(摩擦荷重、履歴形状)を発揮することを加力実験により確認した。

本報では、大容量摩擦ダンパーの仕様や組立て状況等を述べた後、加力実験の概要について示す。

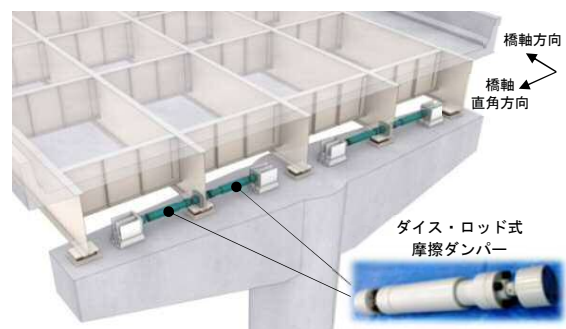


図1 摩擦ダンパーを用いた橋梁耐震補強工法

*技術研究所耐震リニューアル研究室

※本報は、首都高速道路㈱と青木あすなろ建設㈱の共同研究「既設橋梁の耐震性向上技術に関する研究」に関する研究成果の一部である。

2. 大容量摩擦ダンパーの概要

2.1 摩擦機構・仕様

1200kN級の大容量摩擦ダンパーの機構を図2に示す。また、構成要素の外観を写真1に、材質・規格を表1に示す。

大容量摩擦ダンパーは、既に開発済みの摩擦ダンパーと同じ摩擦機構を採用し、ダイス(環)の内径より少し太いロッド(芯棒)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。

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、(1)式のように算定される。

$$F_d = P_d \cdot \mu \cdots (1)$$

ここで、締付け力(P_d)は弾性理論解³⁾⁵⁾に基づいて算定され、ダイスとロッドの形状(ロッド直径、ダイスとロッドの内径差および接触長さ)を変えることで調整できる。また、摩擦係数(μ)は、ダイスとロッドの材質および接触面に塗布する固形潤滑剤の仕様により概ね決定する³⁾。

すなわち、同じ材質・摩擦機構を採用し、各部材の寸法を一様に拡大すれば、理論的には摩擦荷重の大容量化も自由自在といえる。

2.2 外観の比較

大容量摩擦ダンパー(1200kN)の外観を、開発済みの摩擦ダンパー(橋梁用：600kN、建築用：400kN)と比較して写真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であり、開発済みの摩擦ダンパーに比べて相当に大きくなる。

しかしながら、大規模な橋梁やダンパーを設置できる箇所が制限される場合は、(a)に示すような1200kN級の摩擦ダンパーが必要となる。

2.3 製作・組立て

大容量摩擦ダンパーの組立状況を写真3に示す。大容量摩擦ダンパーは、全長約2.2m、重量約750kgfと非常に大型であるため、加工精度お

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、現状では、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

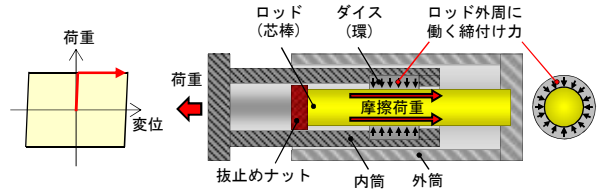


図2 摩擦ダンパーの機構

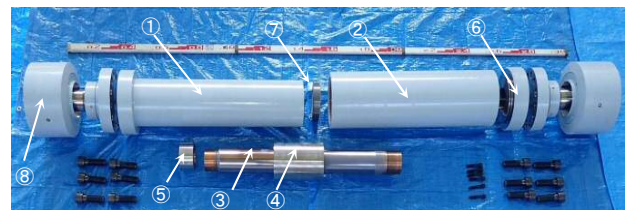


写真1 試験体の構成部品

表1 試験体の構成要素の材質・規格

番号	名称	材質	JIS規格
①	内筒	機械構造用炭素鋼鋼管 一般構造用圧延鋼材	JIS G3445 STKM13A
②	外筒	機械構造用炭素鋼鋼管	JIS G3445 STKM13A
③	ロッド	りん青銅	JIS H3270 G5191B-H
④	ダイス	クロモリブデン鋼(H鋼)	JIS G4052 SCM440H
⑤	抜止めナット	機械構造用炭素鋼鋼材	JIS G4051 S45C
⑥	ロッドベース	一般構造用圧延鋼材	JIS G3101 SS400
⑦	ダイス止めネジ	一般構造用圧延鋼材	JIS G3101 SS400
⑧	ボールジョイント	一般構造用圧延鋼材	JIS G3101 SS400

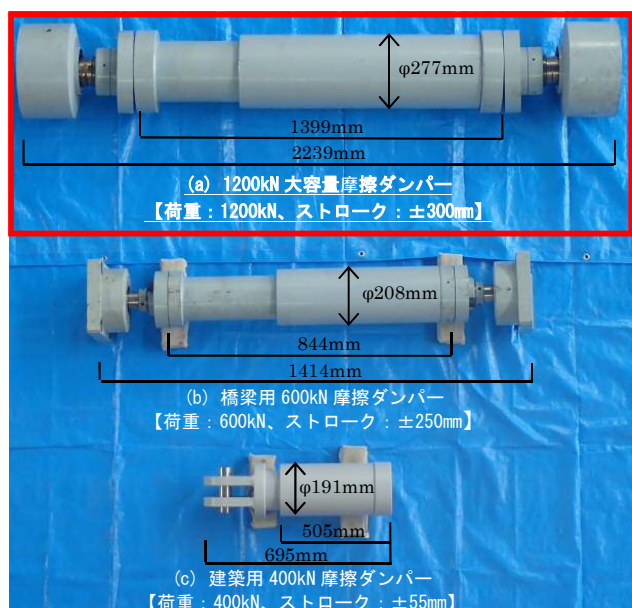


写真2 1200kN 大容量摩擦ダンパーの外観



写真3 大容量摩擦ダンパーの組立て状況

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、同品質のダンパーを継続的に大量生産するためには、各工程の全自動機械化を図るなど、生産体制を見直す必要がある。

3. 加力実験

3.1 試験体

試験体は、摩擦荷重の設定値 1200kN、最大ストローク $\pm 300\text{mm}$ の大容量摩擦ダンパー1体とする。なお、許容ストロークは、最大ストロークの80%($\pm 240\text{mm}$)とし、本実験では許容ストローク内における履歴形状と摩擦荷重を確認する。

ーク内における履歴形状と摩擦荷重を確認する。

3.2 実験方法・計測方法

加力装置図を図3に、実験状況を写真4に示す。本実験は、青木あすなろ建設(株)が所有する大型アクチュエータを用いて行った。

図3のように、両端にピン接合部材(ボールジョイント)を取付けた 1200kN 大容量摩擦ダンパーに対して、振幅を 60mm、120mm、180mm、240mm の4段階に変化させた加力を、各2サイクルずつ正負交番に行った。加力速度は、全て 2.0mm/sec 一定とした。

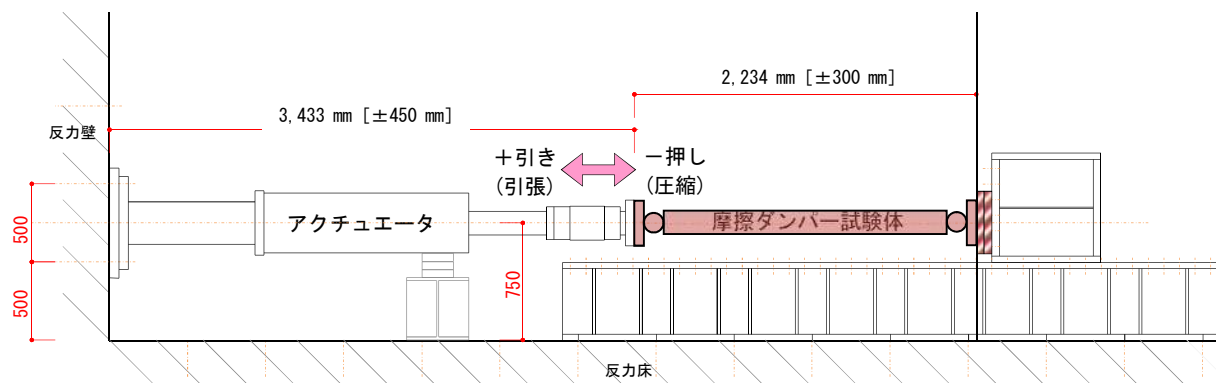


図3 加力装置

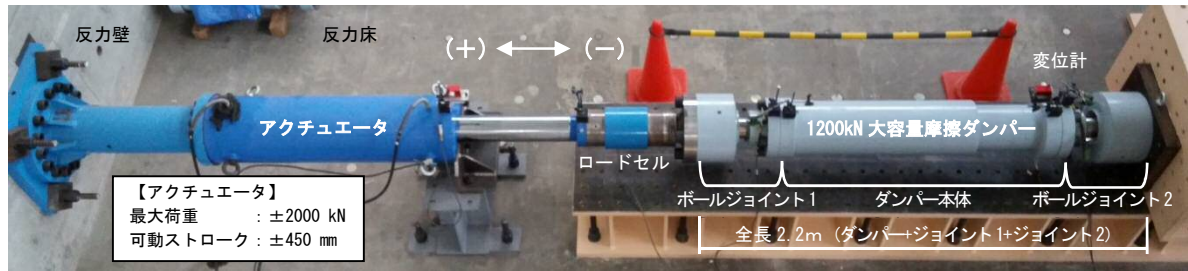


写真4 実験状況

計測項目は、荷重、各部の軸変位とし、アクチュエータ内部のロードセルと写真4中の外部変位計によって計測した。サンプリングタイムは20 Hz(50 msec)とした。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4に示す要領で評価した。

3.3 実験結果（履歴形状と摩擦荷重）

実験から得られた履歴曲線を図5に、摩擦荷重の一覧を表2に示す。図5より、大容量摩擦ダンパーは、振幅を4段階に変化させ、各2サイクルずつ合計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、表2より、平均摩擦荷重(P_{ave})および切片荷重($P_{\delta=0}$)は設定値(1200 kN)に対して±10%程度の範囲に留まっており、既に関済済みの摩擦ダンパー(600kN級:図4参考)と同様に安定した摩擦荷重を発揮することが確認できた。

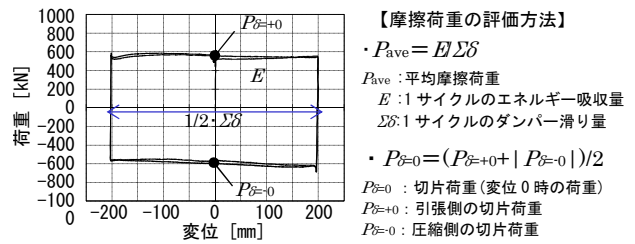
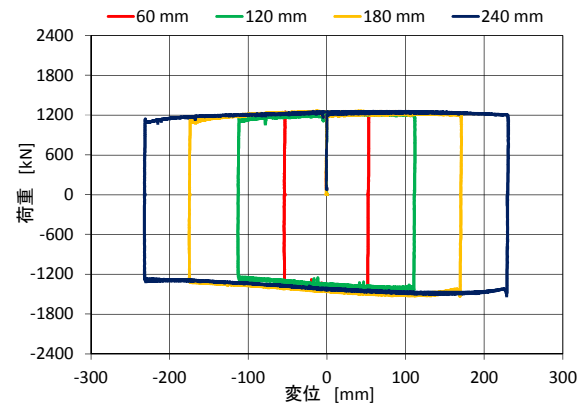

図4 履歴形状の一例と荷重評価方法¹⁾


図5 荷重-全体変位関係

表3 加力毎の荷重・変位一覧

試験名	サイクル	平均荷重 P_{ave} [kN]	切片荷重 $P_{\delta=0}$ [kN]			最大荷重 P_{max} [kN]	
			+	-	平均	+	-
60mm	1	1322.5		-1421.8		1247.5	-1503.8
	2	1307.6	1238.3	-1408.9	1323.6	1239.7	-1487.5
120mm	1	1282.6		-1374.6		1226.1	-1459.0
	2	1254.0	1203.3	-1345.3	1274.3	1208.6	-1429.9
180mm	1	1306.6		-1433.1		1249.5	-1536.5
	2	1333.1	1248.2	-1462.4	1355.3	1259.0	-1531.4
240mm	1	1308.6		-1430.0		1248.9	-1519.1
	2	1301.2	1247.2	-1413.5	1330.3	1257.1	-1481.1

4. まとめ

以上、本報では、摩擦荷重:1200 kN、最大ストローク:±300 mm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、これまでの摩擦ダンパーと同様に完全剛塑性型の履歴形状で安定した摩擦荷重を発揮した。

【参考文献】

- 1) 波田雅也,蔵治賢太郎,右高裕二,牛島栄: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,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集, Vol.39, No.2, pp.859-864, 2017.

- 3) 大西博之,北嶋圭二,中西三和,安達洋: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.
- 4) 上田英明,滝口純一,竹内健一,北嶋圭二: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) 日本機械学会:機械工学便覧A4材料力学,丸善, 1989.