

4. 橋梁用“ダイス・ロッド式摩擦ダンパー”の水没試験

Submersion test of “Die and Rod Type Friction Damper” for Bridges

波田雅也* 木村浩之* 山崎 彬*

—概要—

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)”を既設橋梁の支承部に設置して耐震性の向上を図る耐震補強工法を提案している(図1)。摩擦ダンパーは、建築物の耐震補強用として多数の適用実績を有するとともに、複合サイクル促進試験や暴露試験により優れた長期耐久性を有することが確認されている。しかし、橋梁への適用に際して、設置環境が建築物より過酷である可能性を考慮すると、より様々なシチュエーションを想定して耐久性を把握することが望まれる。また、近年の被害等の増加を鑑みると、橋梁に設置した摩擦ダンパーが水没する可能性も否定できない(写真1)。

本報では、摩擦ダンパーが水没した後にL2地震動に襲われるという低確率の事象を「想定外」で片づけられないために、水没試験を実施して摩擦ダンパーの防水性や耐水性を検証した(図2)。

—技術的な特長—

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、完全剛塑性に近い履歴形状を有する。また、ダンパー内部に水や塵が浸入しないように、各所にOリングやシーリングによる防水・防塵処理を施している(図3)。

本報で述べる検証実験の結果、24時間以上水没させてもダンパー内部に一切の水滴が浸入せず、防水・防塵処理の仕様が適切であることを確認した(図4)。また、前述の防水処理を施さず、意図的にダンパー内部が長時間水に浸かった状態を再現しても履歴曲線(荷重-変位関係)の変化は小さく、実用上十分な耐水性を有することを確認した。

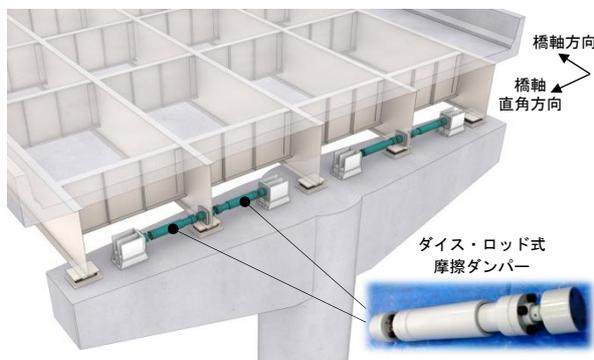


図1 摩擦ダンパーを用いた既設橋梁の耐震補強工法



【出典】2013年9月13日朝日新聞デジタルより
http://www.asahi.com/national/gallery/20130916_typhoon/_14.html

写真1 冠水被害の事例(渡月橋_2013年台風18号)

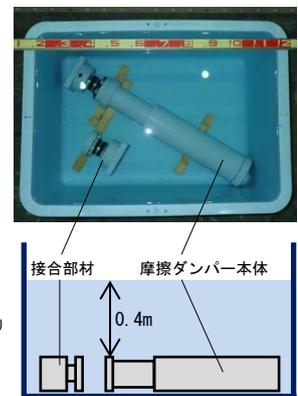


図2 水没試験状況

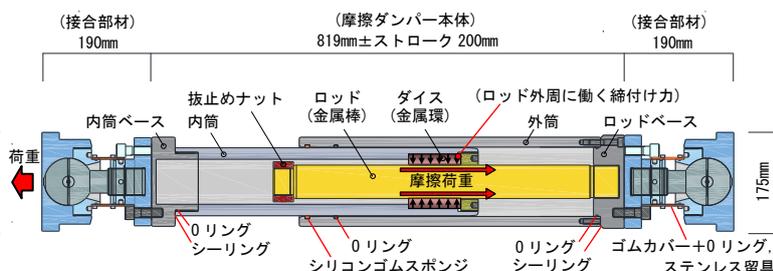


図3 摩擦ダンパーの機構および防水・防塵仕様

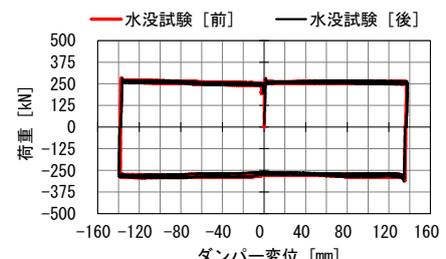


図4 水没試験前後の履歴曲線

※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。

*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室

橋梁用“ダイス・ロッド式摩擦ダンパー”の水没試験 Submersion test of “Die and Rod Type Friction Damper” for Bridges

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

ABSTRACT Authors have proposed a seismic retrofit method that die-and-rod friction dampers are installed in bearing parts of existing bridges in the bridge axial rectangular direction. Friction dampers have many application records for earthquake-resistant reinforcement of buildings. In addition, it has been confirmed to have excellent long-term durability by a combined cycle acceleration test and an exposure test. However, when considering the possibility that the installation environment is more severe than buildings when applying to bridges, it is desirable to grasp the durability assuming more various situations. In this report, the friction damper was subjected to a submergence test, and waterproofness and water resistance were verified.

Keywords: 摩擦ダンパー、ダイス・ロッド、道路橋、耐震補強、水没試験
Friction Dampers, Die-and-Rod, Road Bridges, Seismic Retrofit, Submersion test

1. はじめに

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)”を既設橋梁の支承部に設置して耐震性の向上を図る耐震補強工法を提案している(図1)^{1) 2)}。摩擦ダンパーは、建築物の耐震補強用として多数の適用実績³⁾を有するとともに、複合サイクル促進試験や暴露試験により優れた長期耐久性を有することが確認されている^{4) 5)}。しかし、橋梁への適用に際して、設置環境が建築物より過酷である可能性を考慮すると、より様々なシチュエーションを想定して耐久性を把握することが望まれる。また、近年の水害等の増加を鑑みると、橋梁に設置した摩擦ダンパーが水没する可能性も否定できない(写真1)⁶⁾。

本報では、摩擦ダンパーが水没した後に L2 地震動に襲われるという低確率の事象を「想定外」で片づけないために、水没試験を実施して摩擦ダンパーの防水性(：水の流入・浸透を防ぐこと)や

耐水性(：水に耐えること、水によって変質しないこと)を検証した。

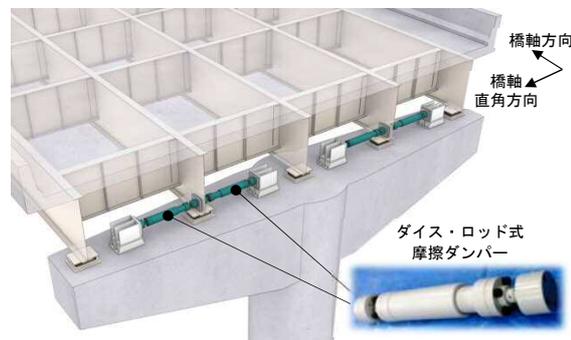


図1 摩擦ダンパーを用いた橋梁耐震補強工法



【出典】http://www.asahi.com/national/gallery/20130916_typhoon/_14.html

写真1 冠水被害の事例(渡月橋_2013年台風18号)

*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室

※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。

2. 摩擦ダンパー試験体の概要

2.1 摩擦機構

摩擦ダンパーの機構を図2に、構成部品を写真2に示す。摩擦ダンパーの機構は、ダイス(金属環)とロッド(金属棒)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って、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。ダイスが内筒側に、ロッドが外筒側に固定されており、ロッドに軸力が作用するとダイスとロッドの接触面に摩擦荷重が発生する。摩擦ダンパーは、最大静止摩擦力に達するまでは滑動せず、最大静止摩擦力に達すると、一定の摩擦荷重(動摩擦力)を保持しながらダイスがロッド上を滑動し、震動エネルギーを摩擦熱に変換して消散する。ダイスには硬質金属(焼入れした鋼材)、ロッドには軟質金属(りん青銅)という異種金属を使用するとともに、ロッド表面には二硫化モリブデン系の固形潤滑剤を定着させることで、ダイスとロッドの接触面の摩擦係数を安定させている。

なお、摩擦ダンパーが完全剛塑性に近い安定した履歴形状で、優れたエネルギー吸収性能を發揮することは、文献1)等で確認されている。

2.2 試験体の規格

摩擦ダンパー試験体の規格を表1に示す。試験体に用いる摩擦ダンパーは、設定摩擦荷重：±250kN、最大ストローク：±200mmとし、両端にボールジョイントを取り付けたタイプとする。摩擦ダンパーは、電気加工(溶接)を一切用いることなく、機械加工(切削・研削、ねじ加工)した鋼材など計13個の部品を組み上げて製作する(写真2)。

2.3 防水・防塵仕様

摩擦ダンパー本体は、摩擦機構部(ダイス・ロッド滑動部)に水や塵が付着せず、空気の循環が無い状態を保てば、履歴形状や摩擦荷重は殆ど変化しないと考えられる。そこで、摩擦機構部を内筒と外筒で覆うとともに、隙間から水や塵、空気が入りしないように図2中の(a)~(c)に示す防水・防塵処理を施している。とくに(b)に示す内筒と外筒の間の可動部については、メンテナンス性を考慮し、シーリングを用いることなくOリングとシリコンゴムスポンジを用いて二重に防水・防塵処理を施している。なお、ボールジョイントも同様に、ピン回転部については図2中の(d)に示す防水・防塵処理を施している。

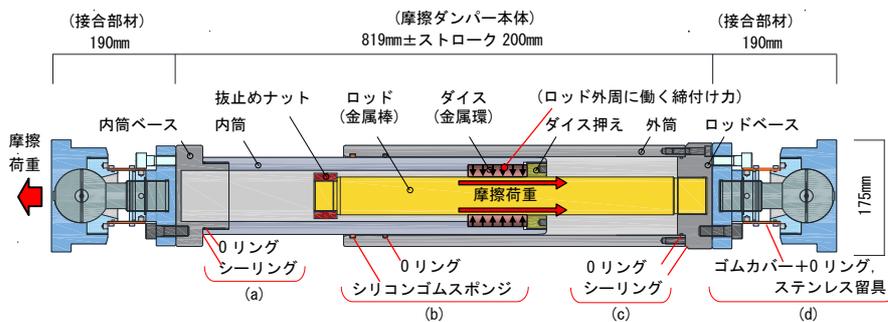


図2 摩擦ダンパーの機構および防水・防塵仕様

表1 摩擦ダンパー試験体の規格

項目	規格値
設定摩擦荷重	±250kN
最大ストローク	±200mm
直径(ロッド)	φ60.0mm
直径(外筒)	φ158mm
ダンパー本体長さ	819mm
両端接合部のピン接点間長さ	1,107mm
両端接合部材を含む全体長さ	1,199mm



(a) 摩擦ダンパー本体



(b) ボールジョイント(接合部材)

写真2 摩擦ダンパーの構成部品

3. 水没試験の概要

3.1 試験方法

試験の流れを図3に示す。本試験では、24時間以上の水没試験の前後で載荷試験を行い、摩擦荷重や履歴形状の変化を確認することで、摩擦ダンパーが実用上十分な防水性や耐水性を有するかを検証する。

(a) 水没試験

水没試験状況を図4に示す。水没試験は、JIS C 60068-2-18の方法(Rc1:水槽法)を参考に、水深0.4mの水槽内に試験体1体を24時間以上静置する方法とした。

(b) 載荷試験

載荷試験状況を写真3に示す。載荷方法は、両端ボールジョイントを介して反力床およびアクチュエータに固定し、軸方向に変位制御で載荷する方法とした。試験条件は、振幅： $\pm 140\text{mm}$ 、速度： 0.4cm/sec 一定、2サイクルの三角波とし、文献1)に準拠して摩擦荷重を評価した。

3.2 試験条件

試験体はA、Bの2体とし、それぞれ下記(a)、(b)の条件で試験を行った。

(a) 試験体A (防水性の確認)

- 1) 防水・防塵処理：有り (2章で示した防水・防塵処理を全て施した摩擦ダンパー)
- 2) 水没試験時間：24時間

(b) 試験体B (耐水性の確認)

- 1) 防水・防塵処理：無し (2章で示した防水・防塵処理を意図的に省略し、水没時に水が内部に侵入するよう製作した摩擦ダンパー)
- 2) 水没試験時間：62時間

4. 水没試験前後の載荷試験結果

4.1 試験体A (防水性の確認)

試験体Aの水没試験前後の履歴曲線を図5に、摩擦荷重一覧を表2に示す。図より、水没試験前後の履歴曲線は一致し、ともに完全剛塑性に近い

安定した履歴形状を描いていることがわかる。また表より、摩擦荷重の変化は2.0%以下で殆ど変化していないことがわかる。なお、載荷試験(水没後)を行った後に試験体Aを解体した結果、ダンパー内部およびボールジョイント内部に水が浸入した形跡(水滴、赤錆など)はなかった。

以上より、水害時に摩擦ダンパーが1日間(24時間)以上水没した状態が続くという低確率の事態が発生しても、履歴形状や摩擦荷重は変化しなかった。また、内部に水滴や赤錆が生じなかった

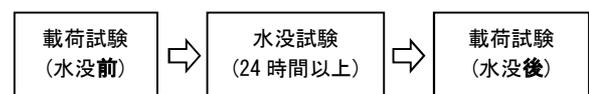


図3 試験の流れ

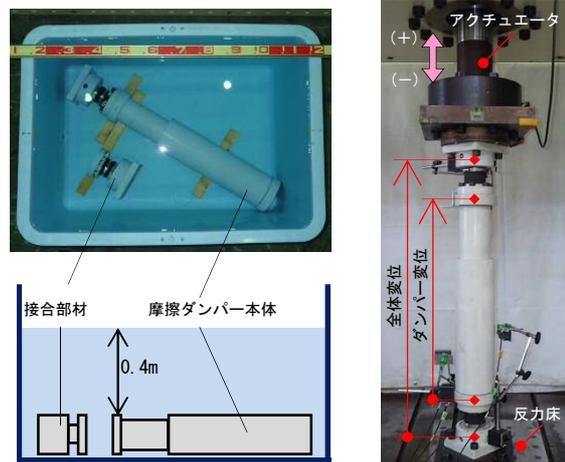


図4 水没試験状況 写真3 載荷試験状況

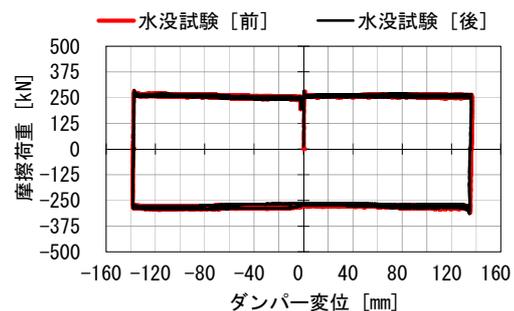


図5 試験体Aの履歴曲線(荷重-変位関係)

表2 試験体Aの摩擦荷重一覧

	サイクル	エネルギー量 [kJ・m]	平均摩擦荷重 [kN]	切片荷重 [kN]			最大荷重 [kN]	
				+	-	平均	+	-
水没前	1	150.5	274.5		-277.3		283.9	-311.7
	2	143.3	261.7	253.9	-267.4	260.6	273.5	-297.1
水没後	1	149.8	272.5		-271.9		284.8	-315.5
	2	142.9	260.1	251.3	-262.4	256.8	273.6	-296.9
後/前	2	100%	99%	99%	98%	99%	100%	100%

ことから、摩擦ダンパーの防水・防塵処理の仕様が適切であり、十分な防水性を有することが確認できた。

4.2 試験体 B (耐水性の確認)

試験体 B の水没試験前後の履歴曲線を図 6 に、摩擦荷重一覧を表 3 に示す。図表より、水没前後ともに完全剛塑性に近い安定した履歴形状を描いているとともに、摩擦荷重の変化は水没後が水没前に対して約 8.0%増大するに留まっている。すなわち、万が一ヒューマンエラーにより防水・防塵処理が施されず、さらに 2.5 日間(60 時間)以上水没している時に地震に遭遇するという低確率の事態を再現した試験においても、所定のエネルギー吸収性能を発揮したことから、摩擦ダンパーの耐水性は実用上十分といえる。なお、載荷試験(水没後)を行った後に試験体 B を解体すると、ダンパーは、内部まで完全に水に浸かった状態であった。

5. まとめ

本報では、まずダイス・ロッド式摩擦ダンパーの摩擦機構や規格、長期的にエネルギー吸収性能を保持するための防水・防塵処理の仕様について示した。つぎに摩擦ダンパーに対して 24 時間以

上の水没試験およびその前後で載荷試験を行い、履歴形状や摩擦荷重の変化を検証した。結果、防水・防塵処理を施した摩擦ダンパーは水没前後で履歴形状や摩擦荷重が変化せず、優れたエネルギー吸収性能が保持されたことから、防水・防塵処理の仕様が適切であるとともに、実用上十分な防水性および耐水性を有することが確認された。

【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) 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.
- 4) 上田英明, 北嶋圭二, 大西博之, 中西三和, 安達 洋: ダンパーを用いた既存 RC 造建物の耐震補強法に関する研究 (その 17 摩擦ダンパーの荷重と形状の関係および経年特性), 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), C-2, pp.147-148, 1999.
- 5) 上田英明, 北嶋圭二: 制震ブレースを用いた耐震補強工法, 青木あすなろ建設技術研究所報, Vol.1, 2016.
- 6) 佐藤慈子撮影: 台風 18 号 列島縦断, 朝日新聞デジタル, 2013 年 9 月 16 日, 2019 年 1 月 28 日アクセス,
<http://www.asahi.com/national/gallery/20130916_typ_hoon/_14.html>

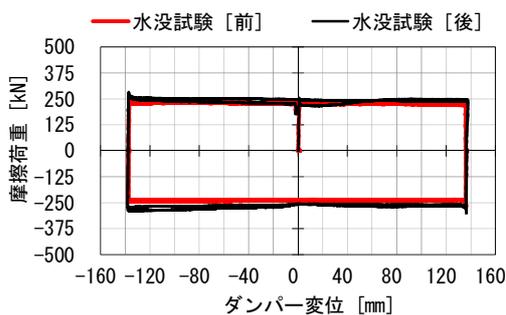


図 6 試験体 B の履歴曲線(荷重 - 変位関係)

表 3 試験体 B の摩擦荷重一覧

	サイクル	エネルギー量 [kN・m]	平均摩擦荷重 [kN]	切片荷重 [kN]			最大荷重 [kN]	
				+	-	平均	+	-
水没前	1	127.8	233.9		-235.5		258.3	-275.7
	2	127.1	232.4	227.1	-236.7	231.9	252.4	-268.4
水没後	1	141.6	257.7		-255.8		283.0	-297.2
	2	137.1	249.6	246.0	-256.8	251.4	269.6	-285.7
後/前	2	108%	107%	108%	108%	108%	107%	106%