

# 1. 横変位摩擦ダンパーの両端スライド部のすべり性能確認試験

## Sliding Performance Confirmation Test of Sliding Parts at both ends of Lateral Displacement Friction Damper

下村将之\* 波田雅也\* 山崎 彬\*

### —概要—

筆者らは、橋梁の固定条件の上下部接続部にダイス・ロッド式摩擦ダンパーを設置することで、常時やレベル1地震時には固定装置として桁ずれを防ぎ、レベル2地震時には制震装置として橋脚基部の応答低減を図る耐震性向上技術を実用化している。現在は、橋軸方向を可動条件とする上下部接続部の橋軸直角方向に適用可能な「横変位摩擦ダンパー」の開発を進めている（図1）。

本報は、横変位摩擦ダンパーの両端に設けるスライド部のすべり性能（摩擦係数 $\mu$ ）の確認を目的とした試験の概要と結果について報告する。

### —技術的な特長—

横変位摩擦ダンパーは、ダンパーの両端をブラケットで挟み込んだ機構としており、スライド部（ダンパー側のスライド材とブラケット側の接触面）が低摩擦ですべることによって、橋軸方向の挙動に極力干渉せず、橋軸直角方向のダンパー反力が適切に作用する。スライド部には、 $\mu$ のカatalog値が0.1程度の材料を使用する。しかし、屋外に設置される可能性を考慮すると、水分や土砂・塵などの「異物」がスライド部に挟まることによる $\mu$ への影響を、実験的に確認しておくことが好ましい。

本報で示す試験の結果、異物を挟まない条件では、スライド板の仕様によらずスライド部の $\mu$ が0.09以下であることが確認された。一方、異物が挟まった条件では $\mu$ が上昇するものの、スライド板にフッ素系のコーティングを施すことによって、 $\mu$ を0.14以下に抑えられることがわかった（写真1、図2）。

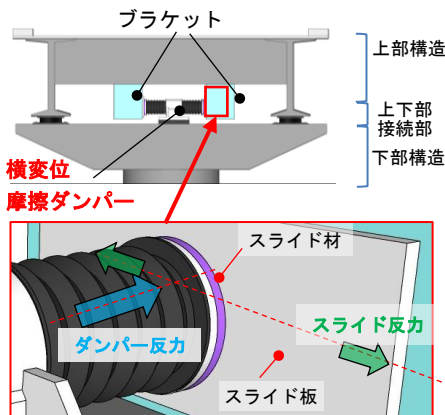


図1 設置イメージ

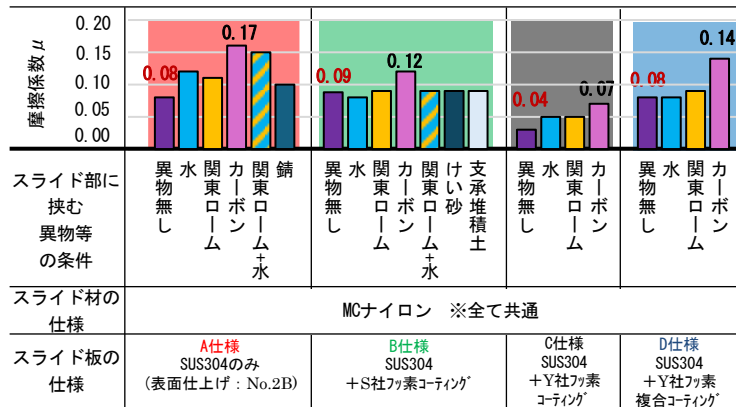
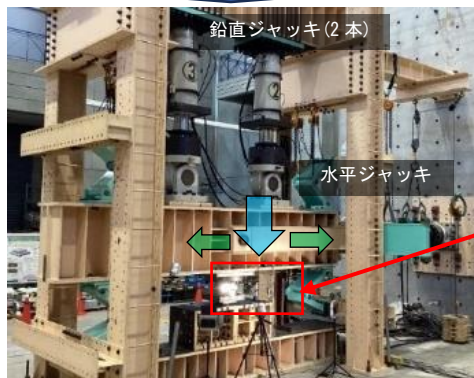
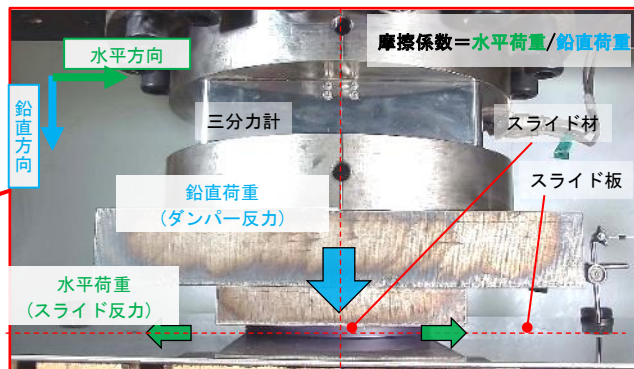


図2 試験結果



(a) 全景



(b) 拡大

写真1 試験状況

\*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室

# 横変位摩擦ダンパーの両端スライド部のすべり性能確認試験 Sliding Performance Confirmation Test of Sliding Parts at both ends of Lateral Displacement Friction Damper

○下村 将之\*      波田 雅也\*      山崎 彬\*  
Masayuki SHITAMURA      Masaya HADA      Akira YAMASAKI

**ABSTRACT** The authors have commercialized a seismic resistance improvement technology that installs die-rod type friction dampers at the upper and lower connection parts of a bridge that are under fixed conditions, preventing girder displacement as a fixed device during normal operation or during a level 1 earthquake, and reducing the response of the pier base as a seismic control device during a level 2 earthquake. Currently, we are developing a "lateral displacement friction damper" that can be applied in the direction perpendicular to the bridge axis at the upper and lower connection parts, where the bridge axis direction is the movable condition. This paper reports on the outline and results of a test conducted to confirm the sliding performance (friction coefficient  $\mu$ ) of the sliding parts installed on both ends of the lateral displacement friction damper.

**Keywords:** 摩擦ダンパー, 橋梁, 制震, すべり性能確認試験  
*Friction damper, Bridge, Seismic control, Sliding performance confirmation test*

## 1. はじめに

筆者らは、橋梁の固定条件の上下部接続部にダイス・ロッド式摩擦ダンパーを設置することで、常時やレベル1地震時には固定装置として桁ずれを防ぎ、レベル2地震時には制震装置として橋脚基部の応答低減を図る耐震性向上技術を実用化している<sup>1)2)</sup>。現在は、橋軸方向を可動条件とする上下部接続部の橋軸直角方向に適用可能な「横変位摩擦ダンパー」の開発を進めている(図1)<sup>3)</sup>。

横変位摩擦ダンパーは、下部構造に固定したダンパーの両端を上部構造付きブラケットで挟み込んだ機構としており、スライド部(ダンパー側のスライド材とブラケット側のスライド板との接触面)が低摩擦ですべることによって、橋軸方向の挙動に極力干渉せず、橋軸直角方向にダンパ

ー反力が適切に作用する。スライド部には、摩擦係数 $\mu$ のカタログ値が0.1程度となる組み合わせの材料を使用する。しかし、屋外に設置される可能性を考慮すると、水分や土砂・塵などの「異物」がスライド部に挟まることによる $\mu$ への影響を、実験的に確認しておくことが好ましい。

本報は、横変位摩擦ダンパーの両端に設けるスライド部のすべり性能( $\mu$ )の確認を目的とした試験の概要と結果について報告する。

## 2. 横変位摩擦ダンパーの機構

図1(b)に横変位ダンパーの設置状況の拡大イメージを示す。横変位摩擦ダンパーの摩擦機構は、鋼製の環状のダイスと銅合金製の棒状のロッドで構成される。ダイスの内径より少し太いロッド

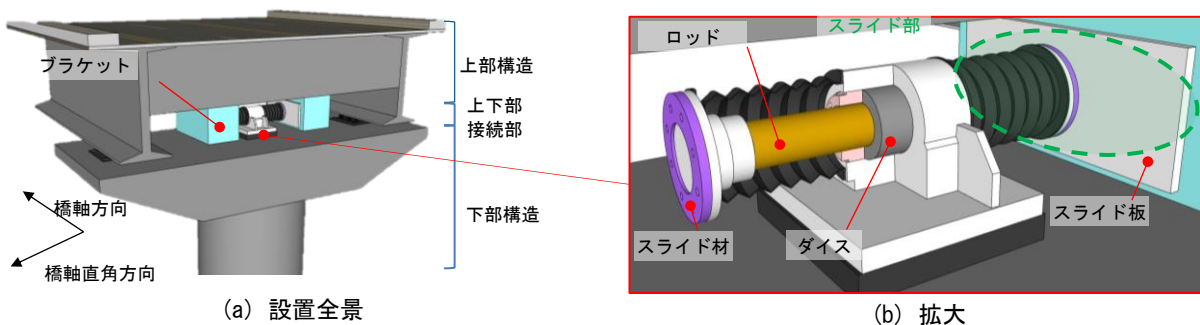


図1 横変位摩擦ダンパーの設置状況

\*技術研究所 構造研究部 土木構造研究室

をダイスに嵌め込むことで、ロッドの外周に締付け力が常に生じる。上部構造の変位によりダイス・ロッド間が摺動すると、ダイスとロッドの接触面に摩擦力が発生する。横変位摩擦ダンパーは、両端に $\mu$ が0.1程度のスライド材を配し、それをスライド板付きのブラケットで挟み込む構造で橋梁の上下部接続部に設置される。スライド部が低摩擦で済むことで、上部構造の挙動に極力干渉せず、橋軸直角方向の力が制震方向に適切に作用する。

### 3. 試験概要

#### 3.1 試験装置

本試験は、500kN 横変位摩擦ダンパーのスラ

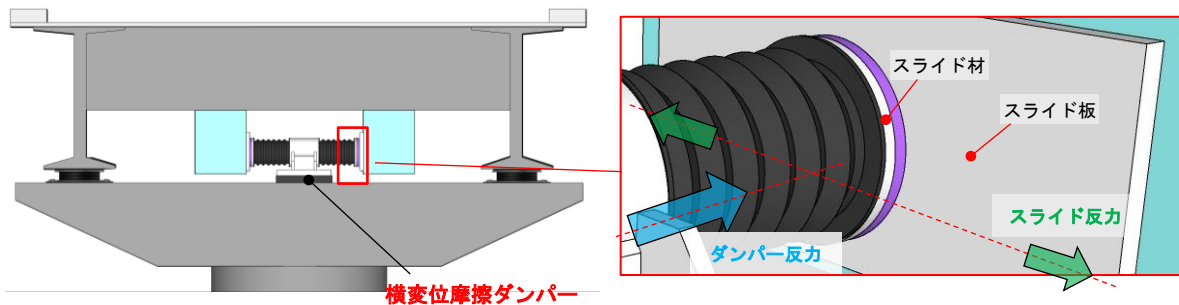
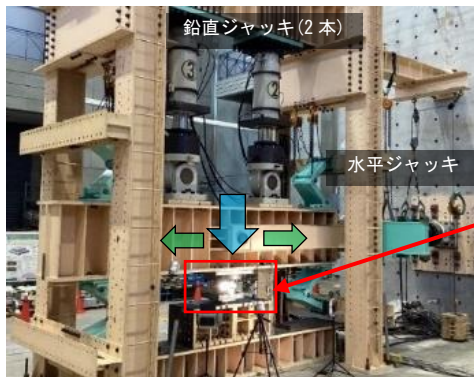
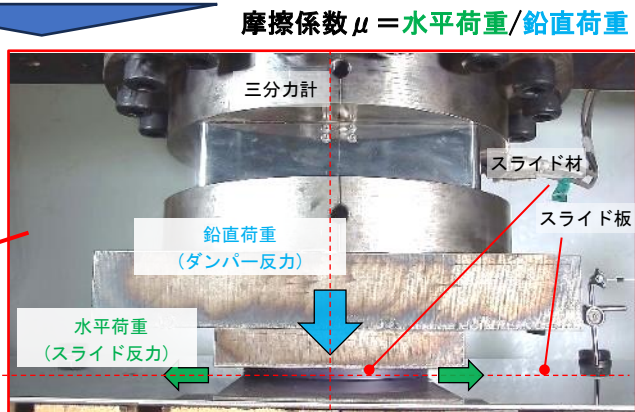


図2 横変位摩擦ダンパーのスライド部



(a) 試験状況の全景



(b) 試験状況の拡大

写真1 試験装置

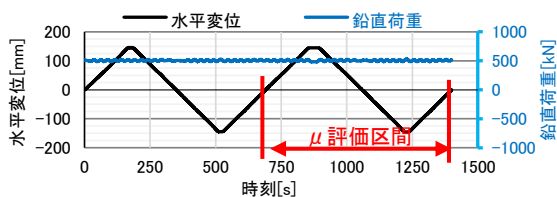


図3 载荷波形の一例(鉛直荷重:500kN)

イド部(図2)のみを抽出し、当社が保有する大型ジャッキシステムを用いて実施した(写真1)。鉛直ジャッキ2本でダンパー反力に相当する鉛直荷重を作用させた状態で水平方向に $\pm 150\text{mm}$ を2サイクル押し引きし、その際の水平荷重(スライド反力に相当)を計測する(図3、表1)。なお、 $\mu$ は水平荷重を鉛直荷重で除した値と定義し、2サイクル目の平均値で評価する。

#### 3.2 試験条件

##### (1) スライド部の材質

試験対象としたスライド材・スライド板の材質を図4に示す。スライド材は、低摩擦で耐久性に優れ、橋梁や免震建物の剛すべり支承に用いられるMCナイロン(ポリアミド樹脂系すべり材)を

$$\text{摩擦係数 } \mu = \text{水平荷重} / \text{鉛直荷重}$$

表1 鉛直荷重とスライド部面圧の関係

鉛直荷重 [kN]	100	300	500	750
面圧 [MPa]	3.7	11.2	18.7	28.1
備考	面圧=鉛直荷重/スライド材表面積 500kN ダンパー用として、 鉛直荷重 500kN 時に適切な面圧 (20MPa 程度) となるよう設計			

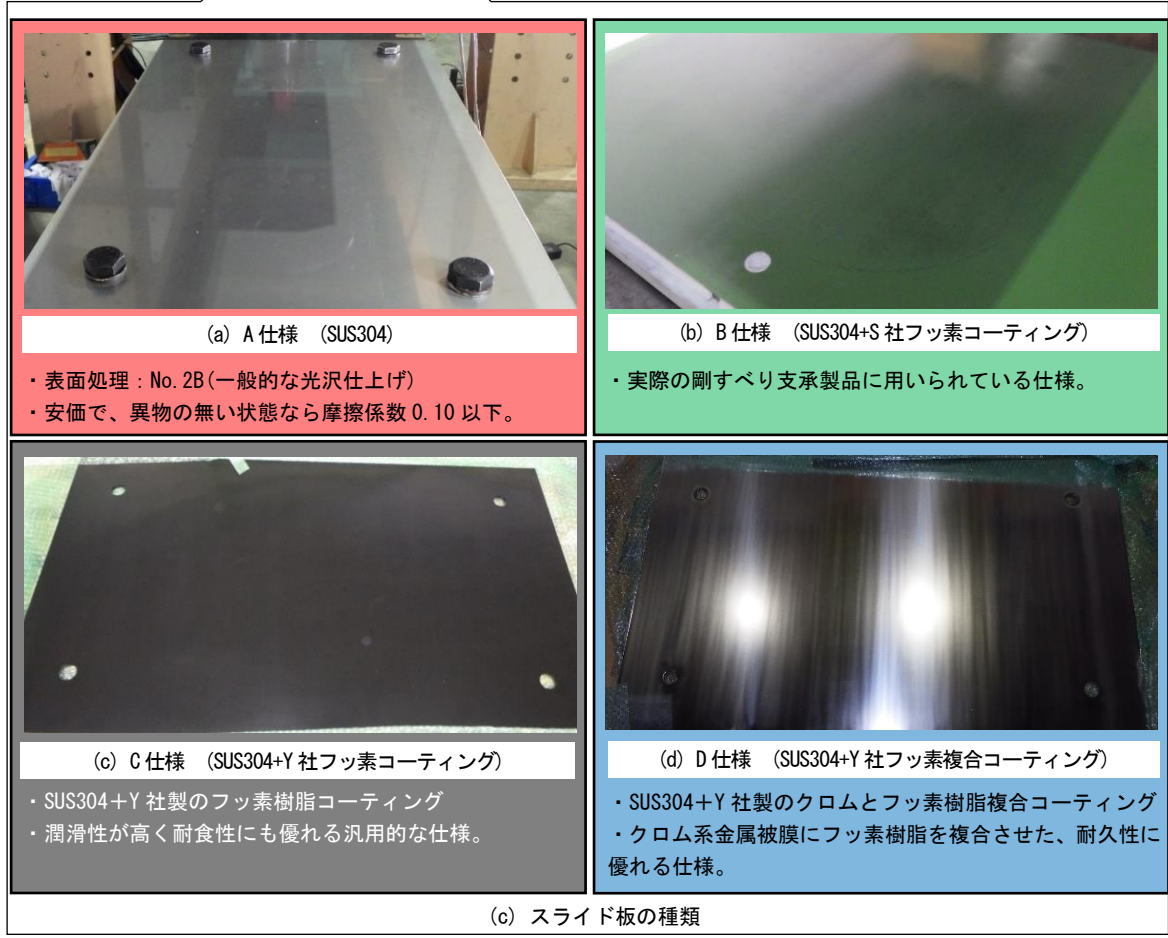
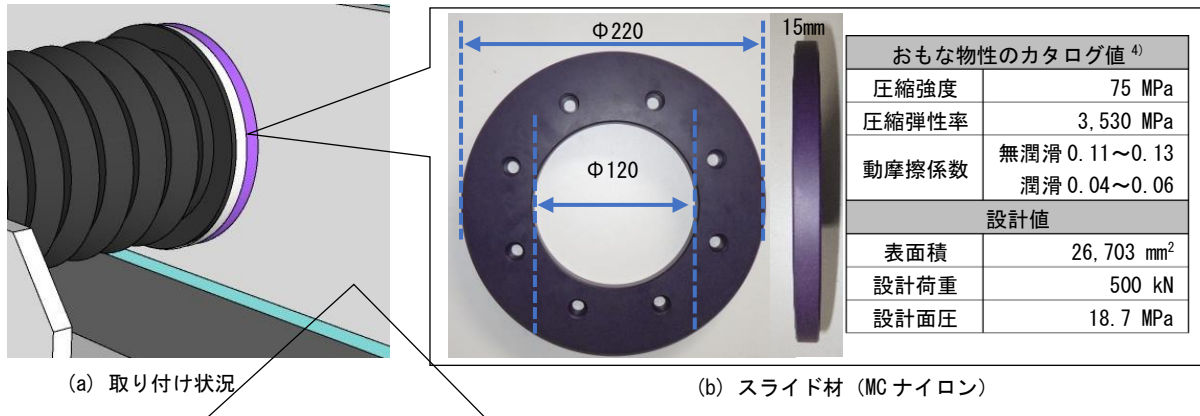


図 4 試験で用いたスライド部の材質

採用し、全ての試験で共通とする。スライド板は、SUS304 (A仕様、No.2B仕上げ)に加えて、SUS304 にフッ素樹脂等のコーティングを施すことで  $\mu$  の低減と耐食性・耐久性の向上を図った仕様の 3種類、計 4種類とする。

**(2) 異物の条件**

試験対象とした異物の条件を表 2 に示す。「異物無し」の状態を比較対象とし、「異物有り」の条

件として表中に示す 6種類の異物を設定した。試験は、これら異物の条件に面圧の違いや水分の有無、異物の散布条件などの諸条件を組み合わせ実施した。異物は、写真 2 のように散布した。まず、スライド板を平置きした状態で、異物 10g を試験範囲に散布する。つぎに、90度傾けることで余分な異物を落とし、実際の設置状況を再現した。

表2 異物の条件

試験条件		備考	
異物の条件	異物無し	異物の無い状態で、各試験との比較対象	
	異物有り	関東ローム	スライド板に土埃が付着した状況を想定(JIS 試験用粉体1の7種)
		カーボン	スライド板に煤が付着した状況を想定(JIS 試験用粉体の1の12種)
		けい砂	スライド板に砂埃が付着した状況を想定(JIS 試験用粉体の1の1種)
		支承堆積土	首都圏の高速道路橋梁支承部に堆積した土塵を試験粉として使用したケース
		錆	傷がついたステンレス素地を屋外暴露した結果錆が発生した状態
		水分 <sup>※1</sup>	有り: 降雨時・ジョイントからの漏水を想定 無し: 乾燥時を想定
のその他	面圧(鉛直荷重) <sup>※2</sup>	1.9MPa ~ 18.7MPa ~ 28.1MPa (50kN ~ 500kN ~ 750kN)	
	異物の散布条件 <sup>※3</sup>	異物を散布した後にスライド材を設置(スライド部の周囲だけでなく、スライド材とスライド板の間に異物が挟まった状態)	

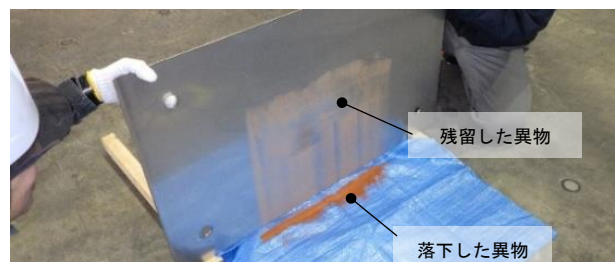
※1: 関東ローム+水分などの組合せも実施。

※2: 設計面圧は18.7MPaだが、面圧依存性などを検討するために面圧を変えた条件でも実施。

※3: スライド部の周囲のみ異物が付着した状態での試験も実施しているが、摩擦係数に影響しない結果であったため、4章の試験結果では割愛。



(a) 10gの異物をすべり板の試験範囲に散布



(b) 90°傾け、異物が残留した状態で試験

写真2 異物の散布状況(A仕様、関東ローム)

## 4. 試験結果

### 4.1 異物無し試験

#### (1) 摩擦係数 $\mu$

$\mu$  と面圧の関係を図5に、 $\mu$  と水平変位の関係を図6に示す。 $\mu$  は、C仕様が最も小さく、ほかの3種類(A仕様、B仕様、D仕様)は同程度であった。設計面圧(18.7MPa)に着目すると、すべての仕様で $\mu$ が0.09以下であった。また、いずれの仕様ともに、面圧が大きいに $\mu$ が小さくなる傾向(面圧依存性)が認められ、既往文献<sup>5)</sup>の知見と対応した。

#### (2) 試験後の表面状況

試験前後のスライド板の表面状況を写真3に示

す。C仕様のみ、試験によってコーティングが剥げて素地が露出した。ただし、剥げた後も $\mu$ の上昇が確認されなかったため、交換することなく全

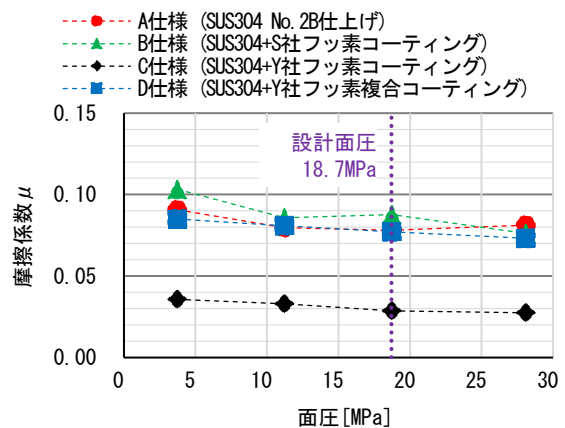


図5 摩擦係数  $\mu$ -面圧関係(異物無し)

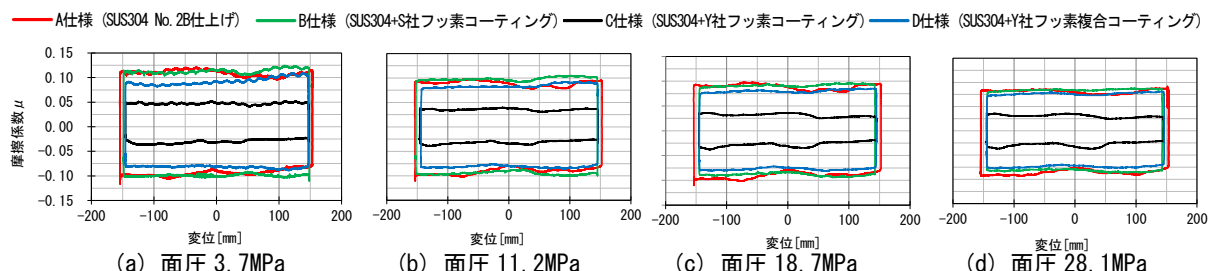


図6 摩擦係数  $\mu$ -面圧関係(異物無し)

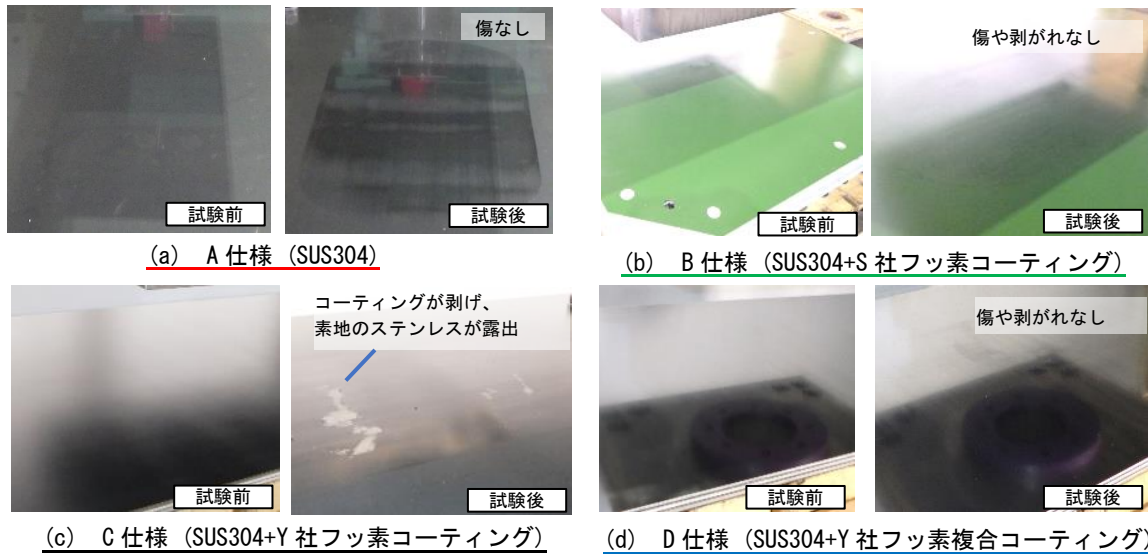


写真3 試験状況(異物無し)

での試験で同じスライド板を継続して使用した。

## 4.2 異物あり試験

### (1) 摩擦係数 $\mu$

設計面圧(18.7MPa)時に着目し、各スライド板ごとの「異物有り」条件における $\mu$ の一覧を図7に、各スライド板ごとの「異物無し」と「異物有り(カーボン)」を比較した $\mu$ と水平変位の関係を

図8に示す。 $\mu$ は、「異物無し」に比べて「異物有り」が大きくなる傾向があり、その傾向はカーボンの条件が最も大きかった。また、コーティングを施すことで $\mu$ の上昇が軽減されており、コーティングしないA仕様では $\mu$ が最大0.17まで上昇したのに対して、コーティングした仕様B~Dでは、全て $\mu$ が0.14以下となった。なお、先行して

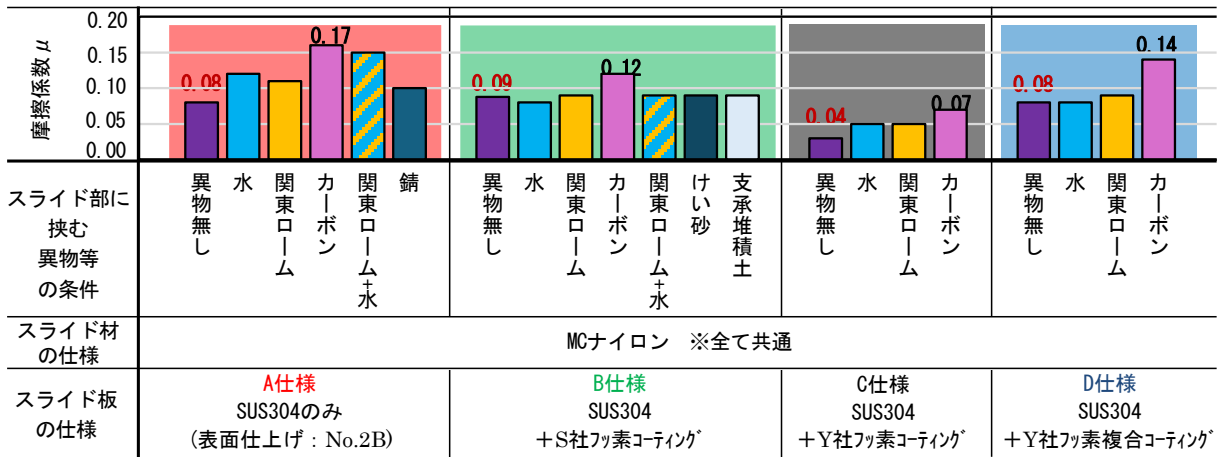


図7 「異物無し」と「異物有り(カーボン)」の $\mu$ 一覧(面圧18.7MPa)

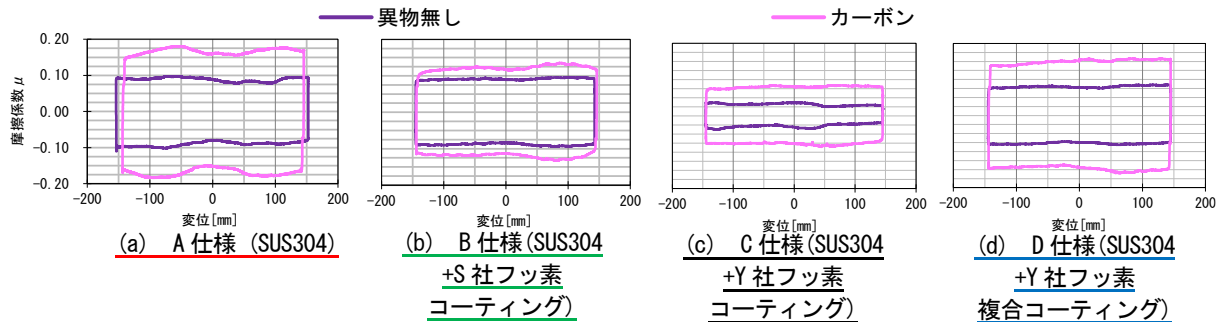


図8 「異物無し」と「異物有り(カーボン)」の $\mu$ -水平変位関係の比較(面圧18.7MPa)

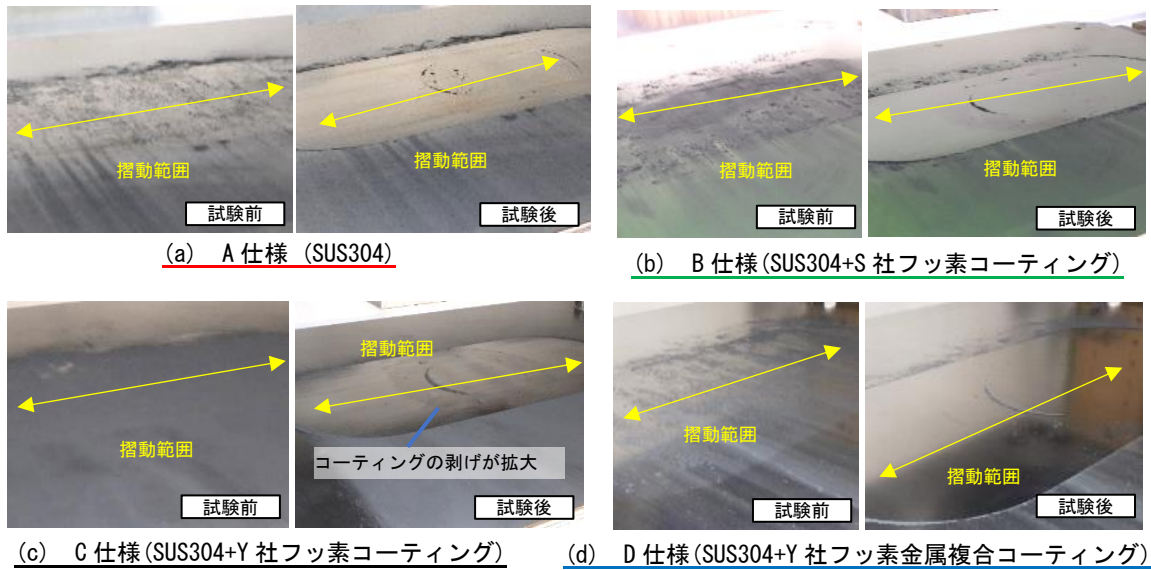


写真 4 試験状況(異物有り(カーボン))

実施した A 仕様と B 仕様の試験結果から、異物のうちカーボンが最も厳しい条件であることがわかったため、後で実施した C 仕様および D 仕様の試験では、異物の条件を絞っている。

## (2) 試験後の表面状況

異物有りの試験状況の一例として、カーボン条件における試験前後の表面状況を写真 4 に示す。異物有りの試験では、C 仕様以外のスライド板からは傷や剥がれは確認されなかった。また、C 仕様は、前項で示した異物無し試験によって既にコーティングの剥げおよび素地の露出が生じていたが、異物有りの条件によってさらにコーティングの剥げが拡大した。ただし、この変状に起因する  $\mu$  の急激な上昇は確認されなかった。

## 5. まとめ・今後の展望

以上、横変位ダンパー特有の「スライド部」に着目したすべり性能確認試験について示した。得られた知見を以下に示す。

- (1) スライド板に異物がない条件では、スライド板の仕様によらずスライド部の  $\mu$  が 0.09 以下であることが確認された。
- (2) スライド部に異物(煤や土砂など)が挟まる

と  $\mu$  が上昇するものの、スライド板にコーティングを施すことで  $\mu$  の上昇を抑制でき、異物が挟まった状態でも 0.14 以下に抑えられることが確認された。

## 【参考文献】

- 1) 波田ほか: 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, 2019.5
- 2) 波田ほか: 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, 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) 須田ほか: 損傷制御を目的とした橋梁用摩擦ダンパーの大型振動台実験(その 1~その 5), 土木学会第 78 回年次学術講演会, CS10-115~CS10-119, 2023.9
- 4) 三菱ケミカルアドバンスドマテリアルズ株式会社: MC ナイロン® 中型ナイロン素材 技術資料(2017\_MC\_CS4.indd)
- 5) 谷ら: ポリアミド樹脂系スライド材の各種性能確認試験, 土木学会第 60 回年次学術講演会, I-259, 2005.9