

EE東北'22

2022.6.2

技術名：

ダイス・ロッド式摩擦ダンパー を用いた橋梁耐震工法



技術研究所 構造研究部
土木構造研究室
小林 健一郎

目次

1. 開発背景(首都高速道路と共同開発)
2. DRF-DPの仕組み・機能
3. 工法概要・効果
4. 耐震補強の適用事例
5. DRF-DPの製品ラインナップ
6. 構造実験
7. 補足
8. まとめ

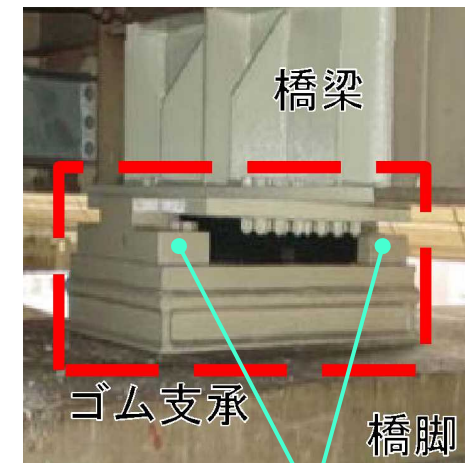
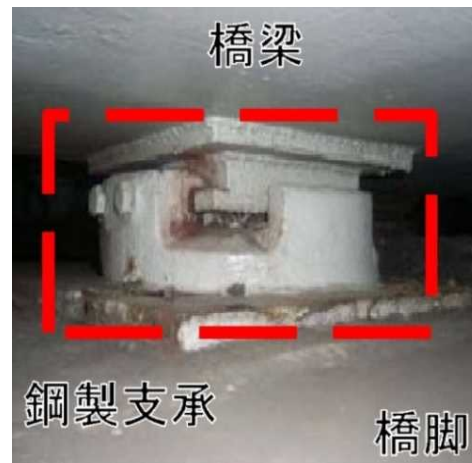
1. 開発背景（既設橋梁の課題）

近年、大規模地震の直後における橋梁（公共インフラ）の機能維持と速やかな復旧性が大きな課題

首都高速道路では兵庫県南部地震以降、支承交換や橋脚巻き立て補強などの耐震補強対策が取られています。これらの対策は、「橋梁が最低限有さなければならない耐震性能」を確保するため、落橋や倒壊を防止するものです。



コンクリート橋脚へ鋼板巻き立て



サイドブロック

上部構造を支える支承を耐震性に優れるゴム支承に交換

※出典：国土交通省HP 首都高速の再生に関する有識者会議 参考資料より抜粋

1. 開発背景（既設橋梁の課題）

首都高速道路延長の75%が高架橋

地震後
重要事項

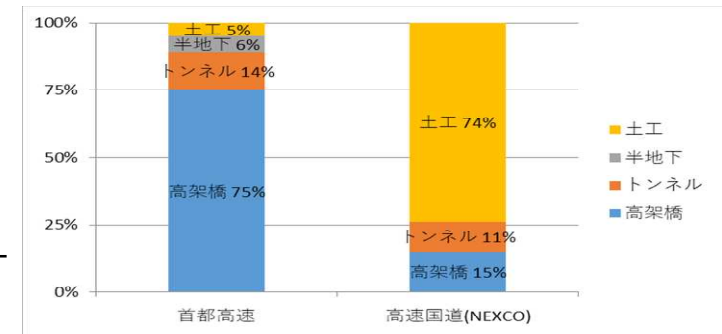
- ・緊急輸送路としての機能確保
- ・点検・補修が容易で道路ネットワークを早期復旧

橋脚の損傷を極力小さく限定的なものに留める更なる補強対策が必要となります。

既設橋脚を再補強などすると橋脚の耐力が増加し、危険断面が杭などの基礎に移行してしまう可能性があります。

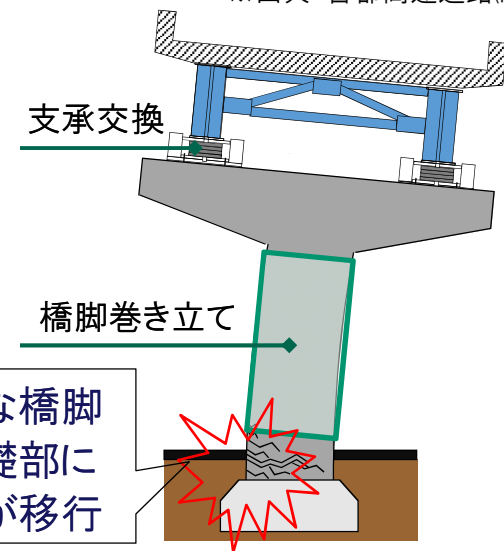
⇒ 損傷の程度を把握することや補修が困難

更なる耐震補強策として、制震装置を用いて上下部接続部を塑性化させることが有効。しかし、橋軸直角方向は、L1地震時に固定支承とする設計条件等から、制震装置を用いた補強が普及していません。



首都高速 : 2021年4月時点
高速国道 (NEXCO) : 高速道路便覧2019より

※ 出典: 首都高速道路株HP



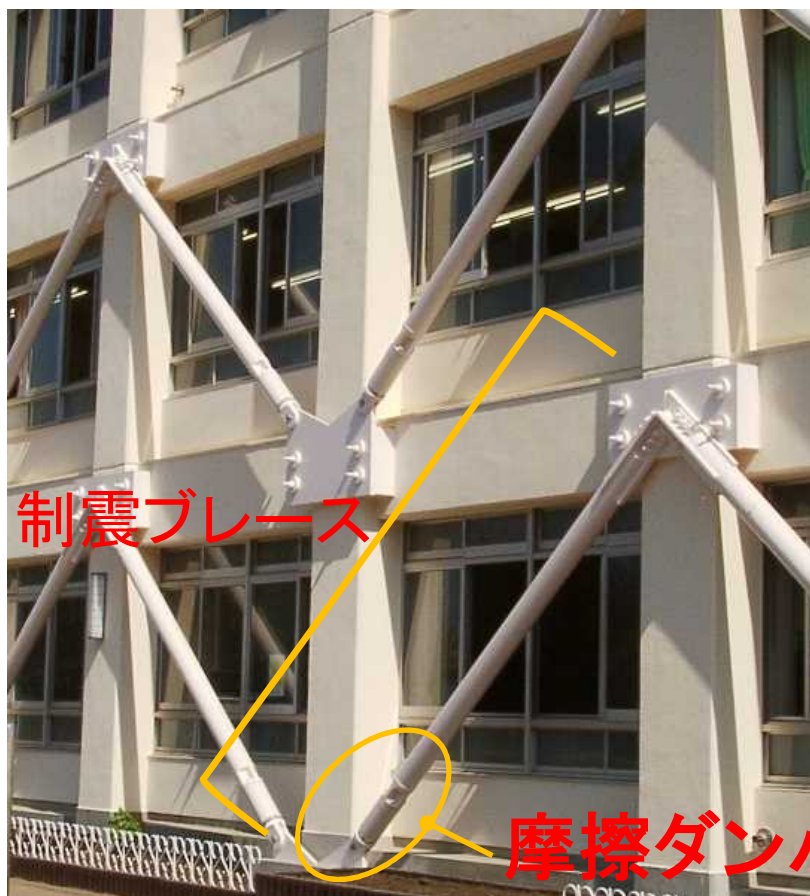
桁伸縮装置

1. 開発背景（建築物のブレース補強用摩擦ダンパーを応用）

当社の摩擦ダンパーは、RC造建築物の外付け制震ブレース補強工法として実用化し、これまでに多数（約100棟、4000基以上）の実績を有しています。

摩擦ダンパーを**橋梁に応用した技術**を、首都高速道路(株)と共同開発

※期間:2013年11月～2017年3月



a) 学校



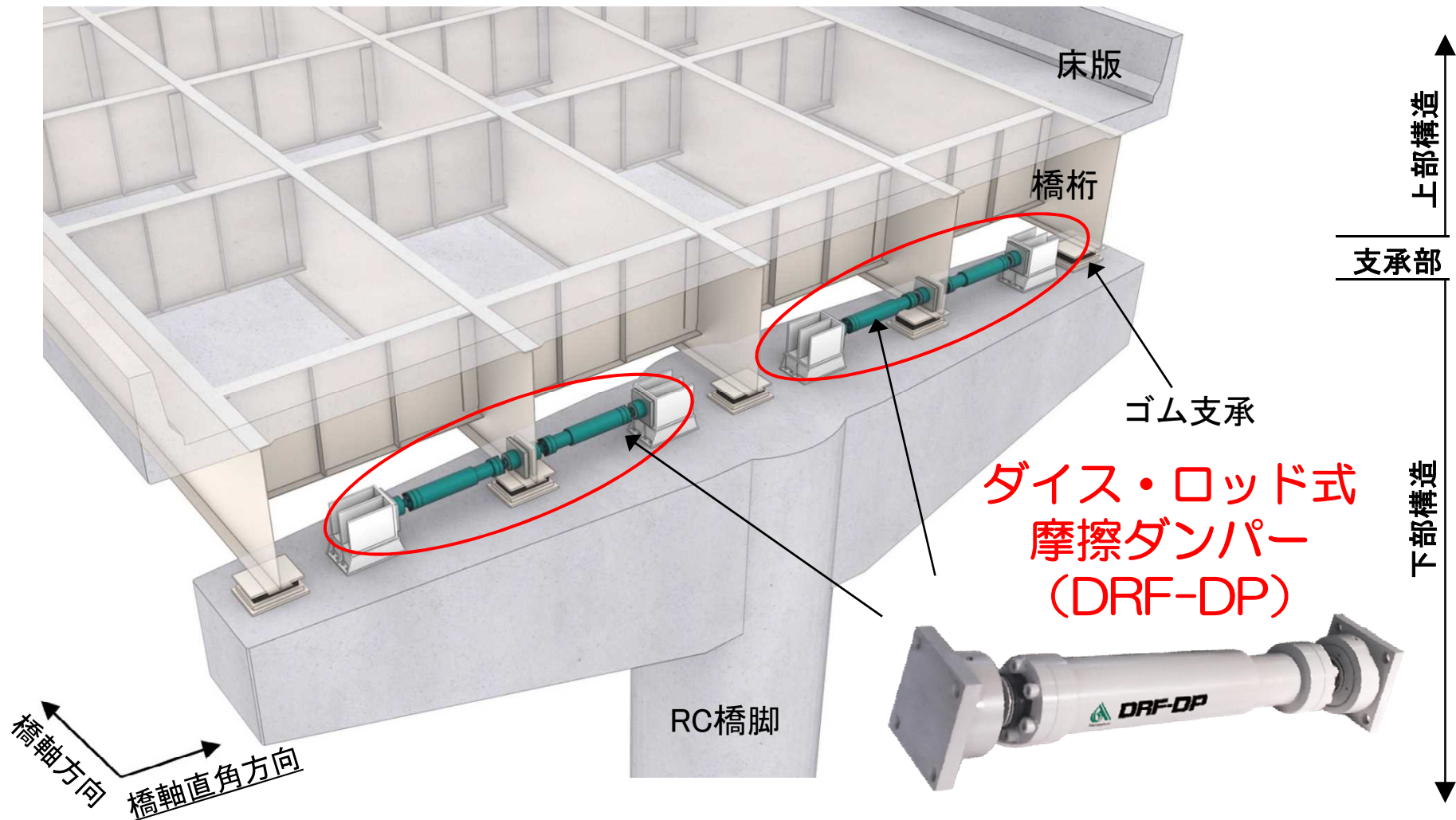
b) 官庁



c) 集合住宅

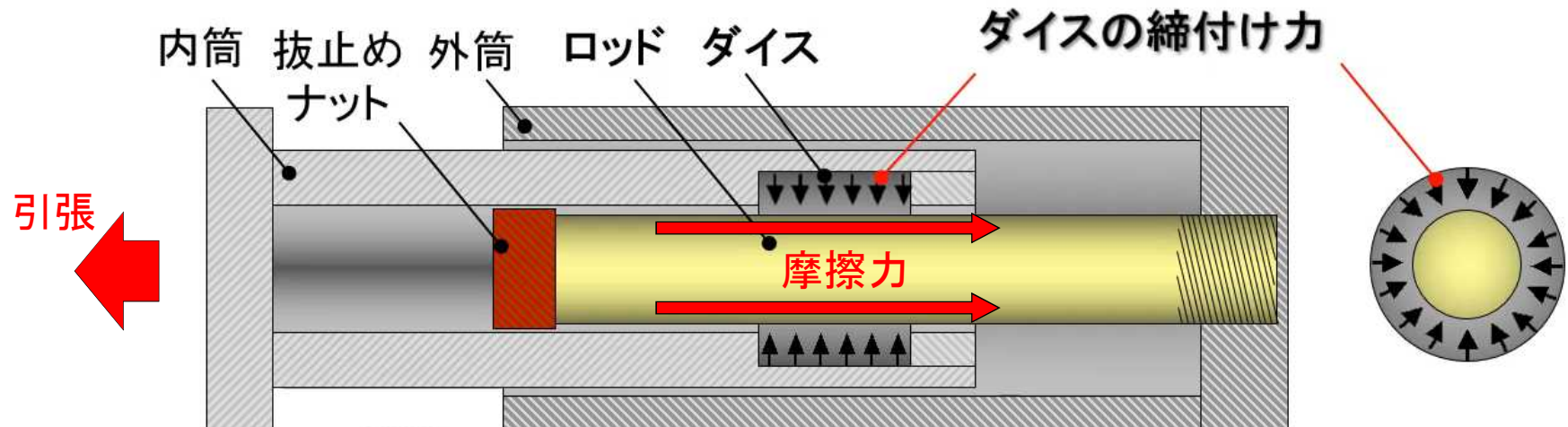
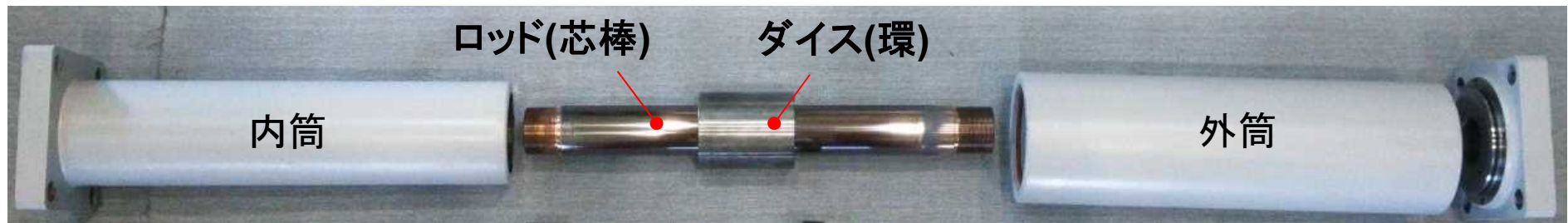
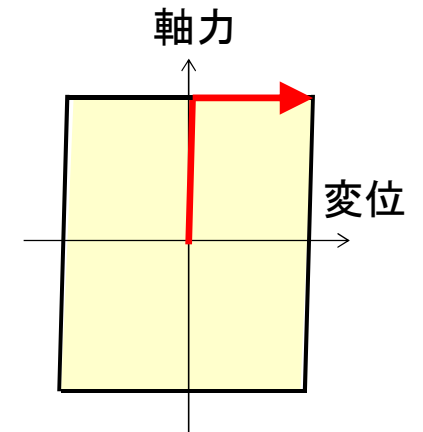
1. 開発背景（首都高速道路(株)と共同開発）

既設橋梁の橋軸直角方向の支承部(上部構造と下部構造の間)に「DRF-DP」を設置することで、耐震性能の向上を図る工法です。



2. 摩擦ダンパー(DRF-DP)の仕組み・機能

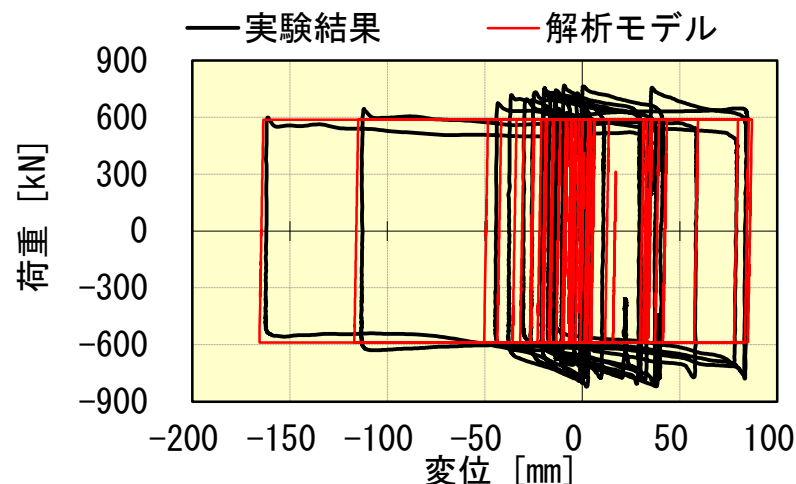
- 1) **ロッド(芯棒)**と**ダイス(環)**の金属同士の摩擦を活用したダンパー。
- 2) ロッド直径はダイス内径より若干太く、それらを強制的にはめ込むことで、ロッドがダイスによって**一定の面圧で常に締め付けられた状態**。
- 3) 軸方向に押し引きされると、**ダイス・ロッド接触面に摩擦力が発生**。
- 4) 所定の荷重未満では変位せず(固定)、**所定の荷重に達すると一定の摩擦力を維持して変位する(完全剛塑性に近い履歴特性)**。



2. 摩擦ダンパー(DRF-DP)の仕組み・機能

★DRF-DPの性能

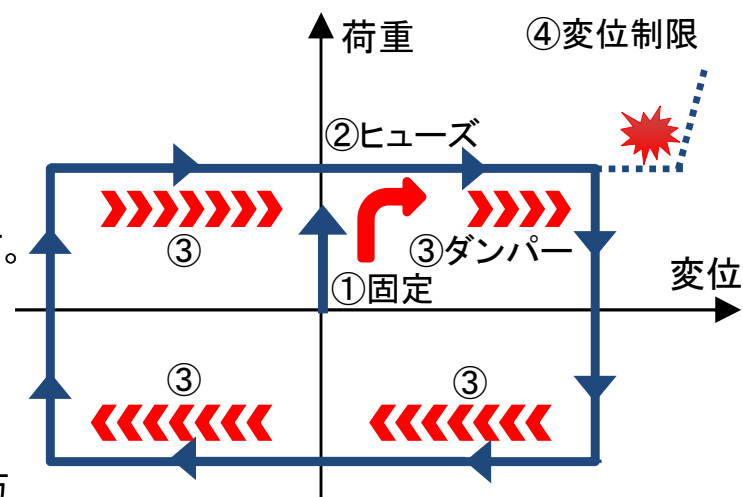
- 1) 金属同士の摩擦を活用し、シンプル&コンパクト
- 2) 完全剛塑性に近い安定した履歴特性を有し、優れたエネルギー吸収性能を発揮します。
- 3) 速度・振幅・温度の依存性が小さいダンパーです。
- 4) 多数回の地震にも安定した性能を発揮します。
- 5) 長期間にわたって安定した性能を発揮します。



履歴特性(荷重-変位関係)

★地震荷重や上部構造の挙動に応じて4段階の機能を発揮

- ①固定機能 設計値未満の荷重に対しては、静止摩擦により支承の横変位を固定します。
- ②ヒューズ機能 設計値以上の荷重が作用すると固定を解放し、上部構造の慣性力を頭打ちにします。
- ③ダンパー機能 一定の摩擦力で振動エネルギーを摩擦熱に変えて吸収し、減衰効果を発揮します。
- ④変位制限機能 最終的には横変位拘束構造または落橋防止装置の一部として機能します。



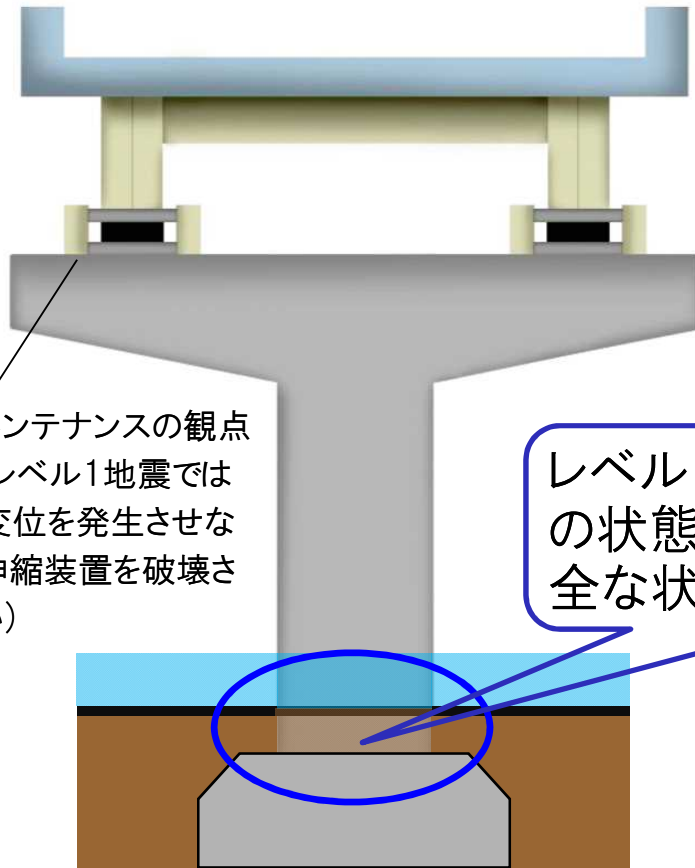
摩擦ダンパーの機能

3. 工法概要・DRF-DPの効果 (レベル1地震時)

レベル1地震時は、DRF-DPが静止摩擦力によりサイドブロックとして働き、固定支承条件を満足することで、支承変位(桁ずれ)の発生を防止する。

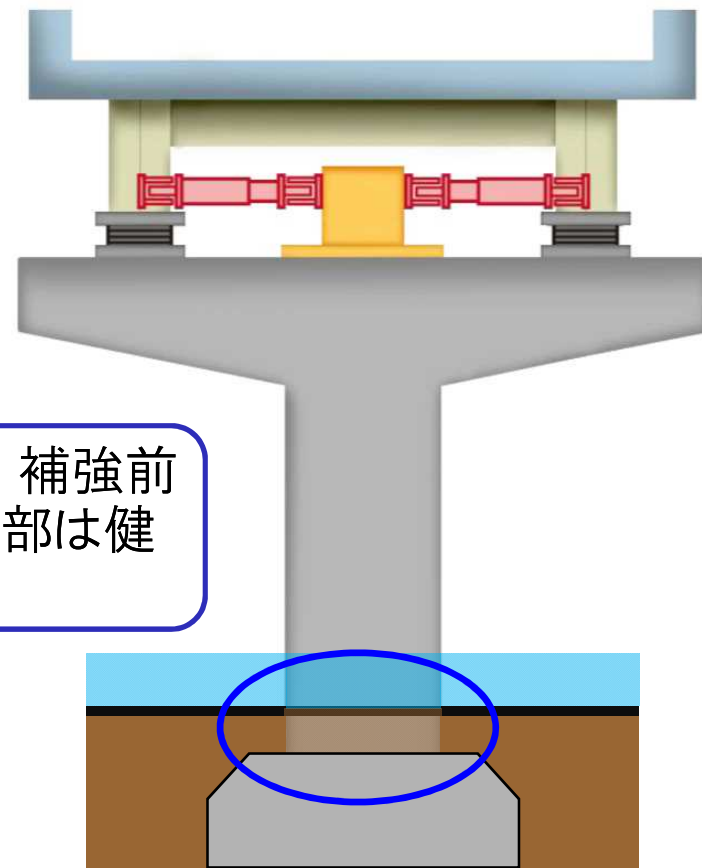
既設橋梁(補強前)

橋軸直角方向は、サイドブロックで固定支承。



DRF-DP設置(補強後)

サイドブロックを撤去し、摩擦ダンパー(DRF-DP)を設置。



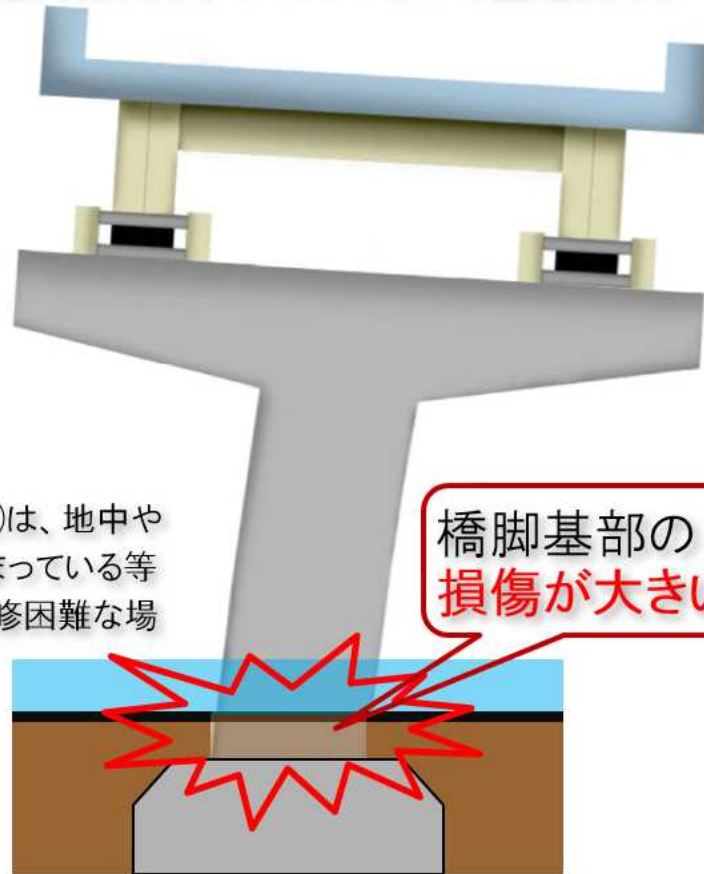
※レベル1地震動:しばしば発生する地震 (応答加速度200~400cm/sec²クラスの中地震)

3. 工法概要・DRF-DPの効果 (レベル2地震時)

レベル2地震時は、支承部を可動とし、DRF-DPが振動エネルギーを吸収して揺れを“減衰”させることで、橋脚基部(根元)の応答低減を図ります。

既設橋梁(補強前)

橋軸直角方向は、サイドブロックで固定支承。

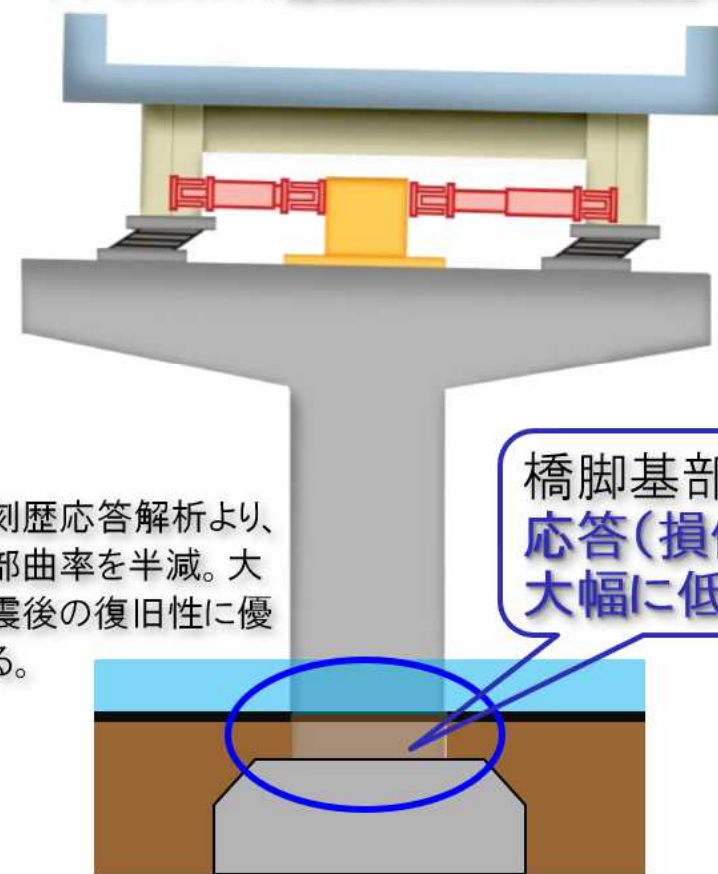


基部(根元)は、地中や河川に埋まっている等、補強・補修困難な場合がある。

橋脚基部の
損傷が大きい

DRF-DP設置(補強後)

サイドブロックを撤去し、摩擦ダンパー(DRF-DP)を設置。



時刻歴応答解析より、基部曲率を半減。大地震後の復旧性に優れる。

橋脚基部の
応答(損傷)を
大幅に低減

※レベル2地震動: 極めて稀に発生する地震 (応答加速度 $1200\text{cm}/\text{sec}^2$ クラスの大地震)

4. 耐震補強の適用事例（首都高速道路のロッキング橋脚）

<工事概要>

【発注者】首都高速道路株式会社 東京東局

【工事名】(修)構造物改良工事29-2-3

【工事場所】東京都港区海岸二丁目
高速11号台場線(台-6~台-44)

【工期】2017年12月29日~2020年2月16日

【施工会社】株式会社横河ブリッジ

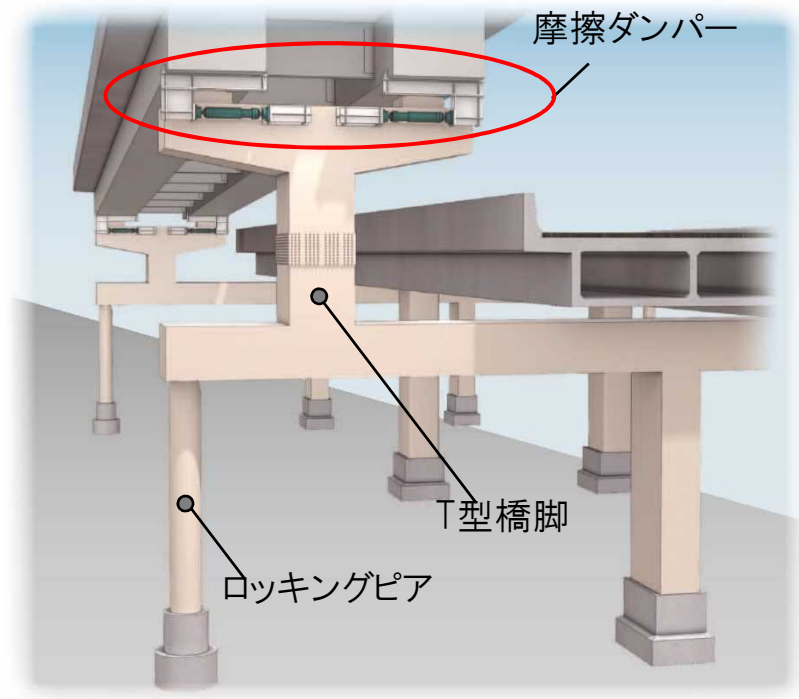
【DRF-DP[®]数】650kN×2基、1000kN×4基

ロッキング橋脚を有する首都高速道路の橋梁に対し、L2地震時のT型橋脚の損傷とロッキング橋脚部の上揚力を低減するための補強策として、

摩擦ダンパーを用いた耐震補強が採用されました。



[補強前]



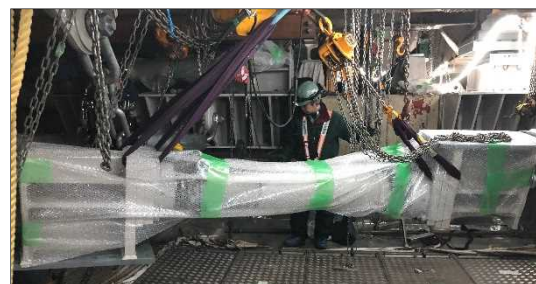
[補強後]

4. 耐震補強の適用事例（設置例1）

橋脚上面に設置した例（摩擦荷重650kN,最大ストローク200mm）



(a) 搬入状況

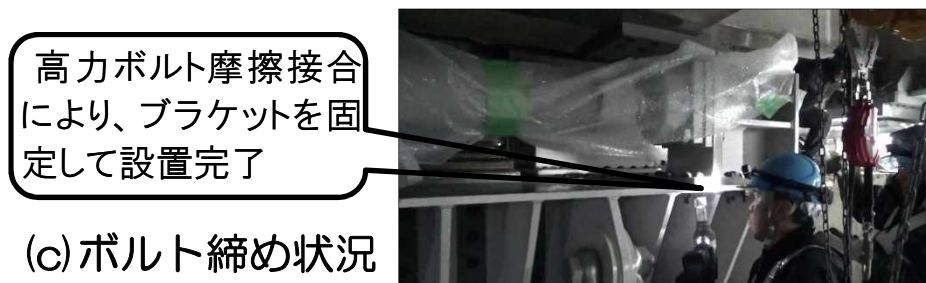


両側ブラケットと一体にしてから、効率良く短時間で吊り上げた

(b) 吊り上げ状況



(d) 設置完了の全景



高力ボルト摩擦接合により、ブラケットを固定して設置完了

(c) ボルト締め状況



全長1622mm

φ 203mm

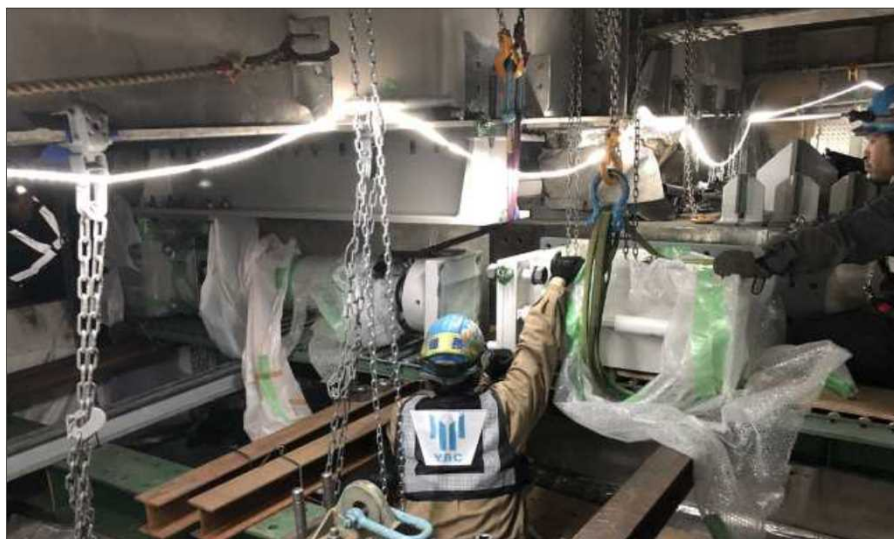
(e) 設置完了の詳細

4. 耐震補強の適用事例（設置例2）

橋脚側面に設置した例（摩擦荷重1000kN,最大ストローク150mm）



(a) 設置完了の全景



(b) 設置状況



(c) 設置完了の詳細

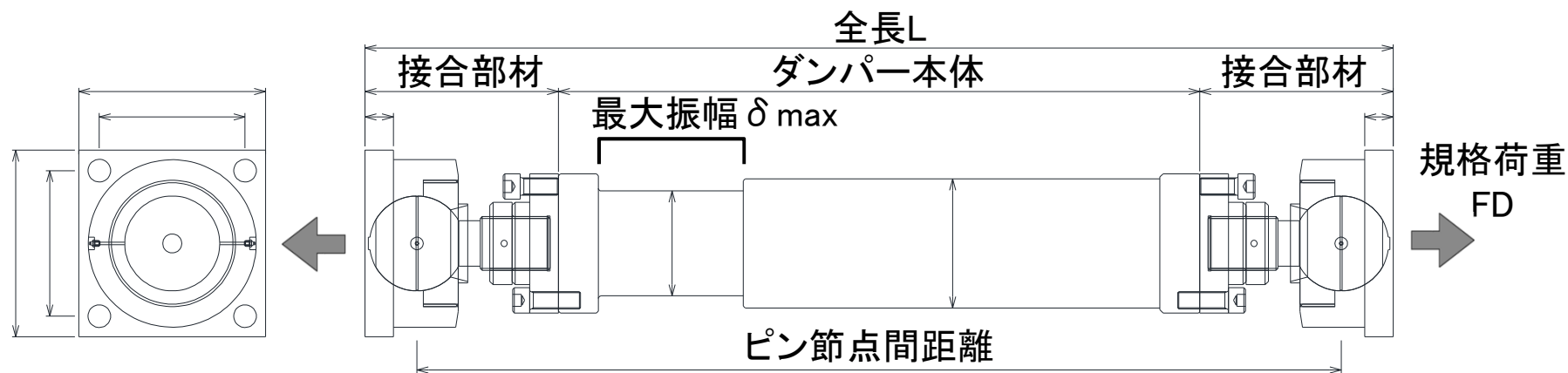
5. DRF-DPの製品ラインナップ

製品ラインナップ(規格荷重と最大振幅および全長、全重量)

最大振幅 (mm)	全長L と全重量W	摩擦荷重の規格荷重FD(kN)				
		200kN	400kN	600kN	800kN	1000kN
±100	L (mm)	929	1,049	1,184	1,322	1,402
	W (kg)	83	147	236	343	465
±200	L (mm)	1,119	1,329	1,482	1,587	1,702
	W (kg)	125	204	304	425	519
±300	L (mm)	1,564	1,627	1,757	1,867	1,975
	W (kg)	190	276	396	516	610

※1：規格荷重は50kN刻み、最大振幅は50mm刻みで中間サイズも製作可能です。

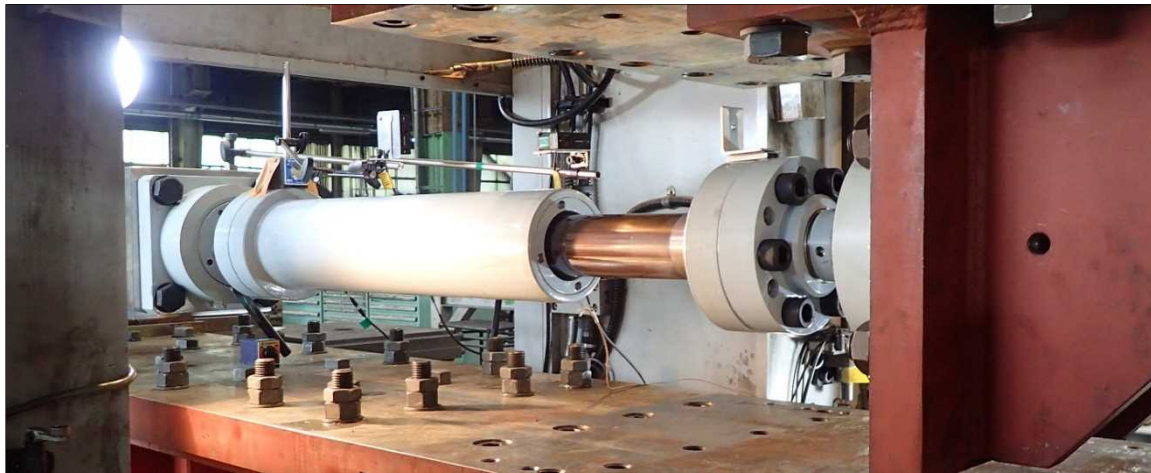
※2：寸法・重量は代表値であり、設計により変動します。



形状図

6. 構造実験1 (摩擦ダンパー本体の高速載荷実験)

橋梁支承部への適用で想定される最大100cm/secを超える高速度かつ最大150mmを超える大振幅の地震時応答下において、**摩擦ダンパー本体が優れた履歴特性およびエネルギー吸収性能を発揮することを実証しています。**



規格荷重：550kN
(目標荷重：600kN)
最大ストローク：250mm
実施時期：2017.4

規格荷重：1000kN
(目標荷重：1100kN)
最大ストローク：150mm
実施時期：2020.3

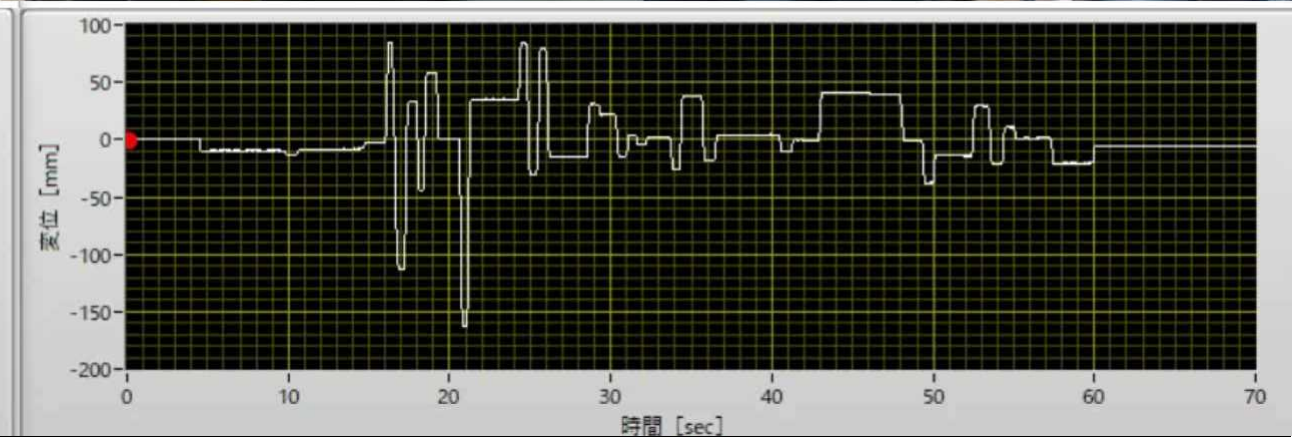
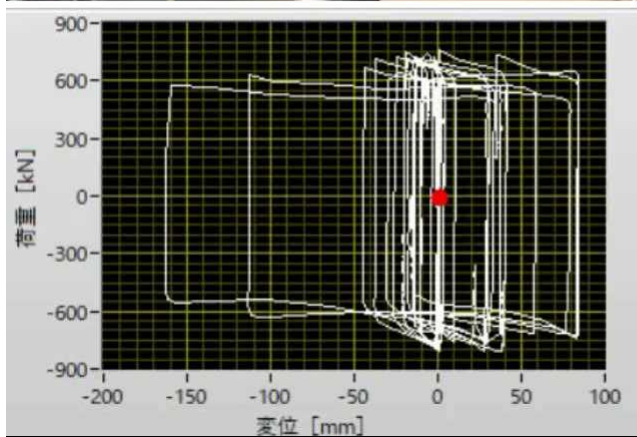


6. 構造実験1 (摩擦ダンパー本体の高速载荷実験)

規格荷重:550kN(目標:600kN)、最大振幅:250mmタイプの実験状況

<タイプI地震応答波 (プレート境界型地震 I-III-3), 最大速度122cm/sec>

※解析結果のダンパー応答変位波形

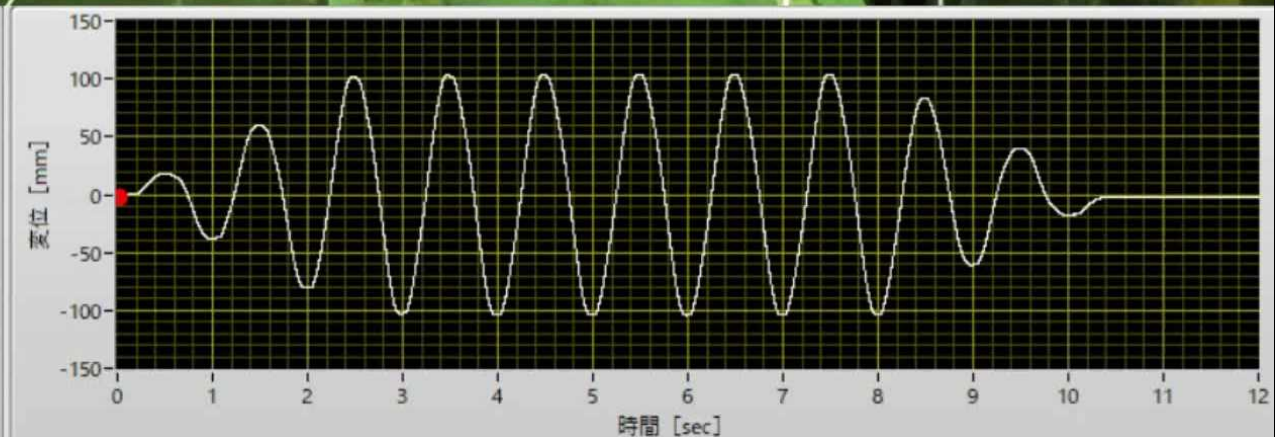
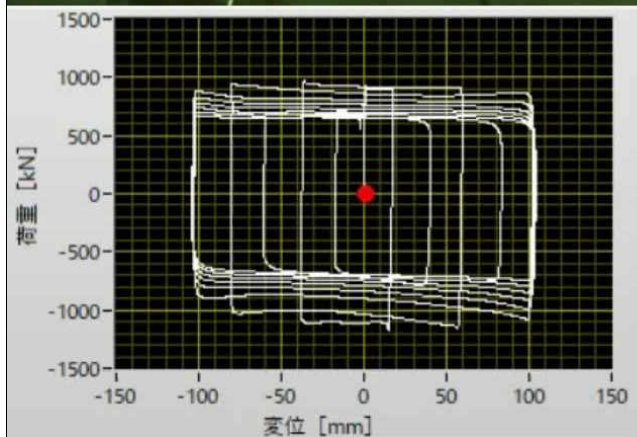
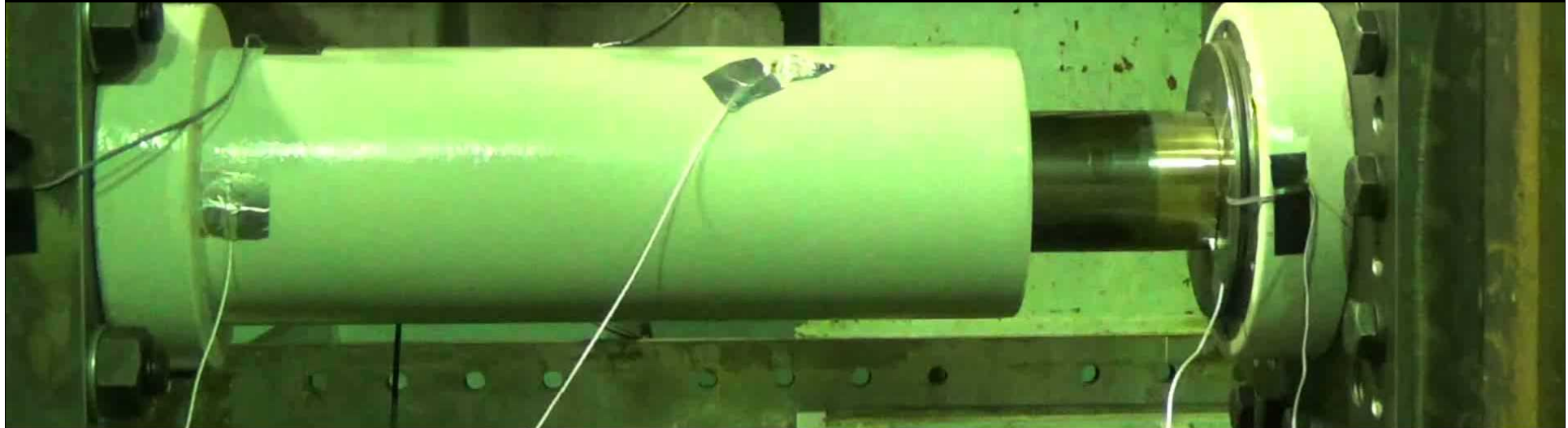


6. 構造実験1 (摩擦ダンパー本体の高速載荷実験)

規格荷重: 1000kN(目標: 1100kN)、最大振幅: 150mmタイプの実験状況

＜正弦波連続6サイクル 振動数1.0Hz, 振幅100mm, 最大速度63cm/sec＞

※解析結果のダンパー応答変位波形

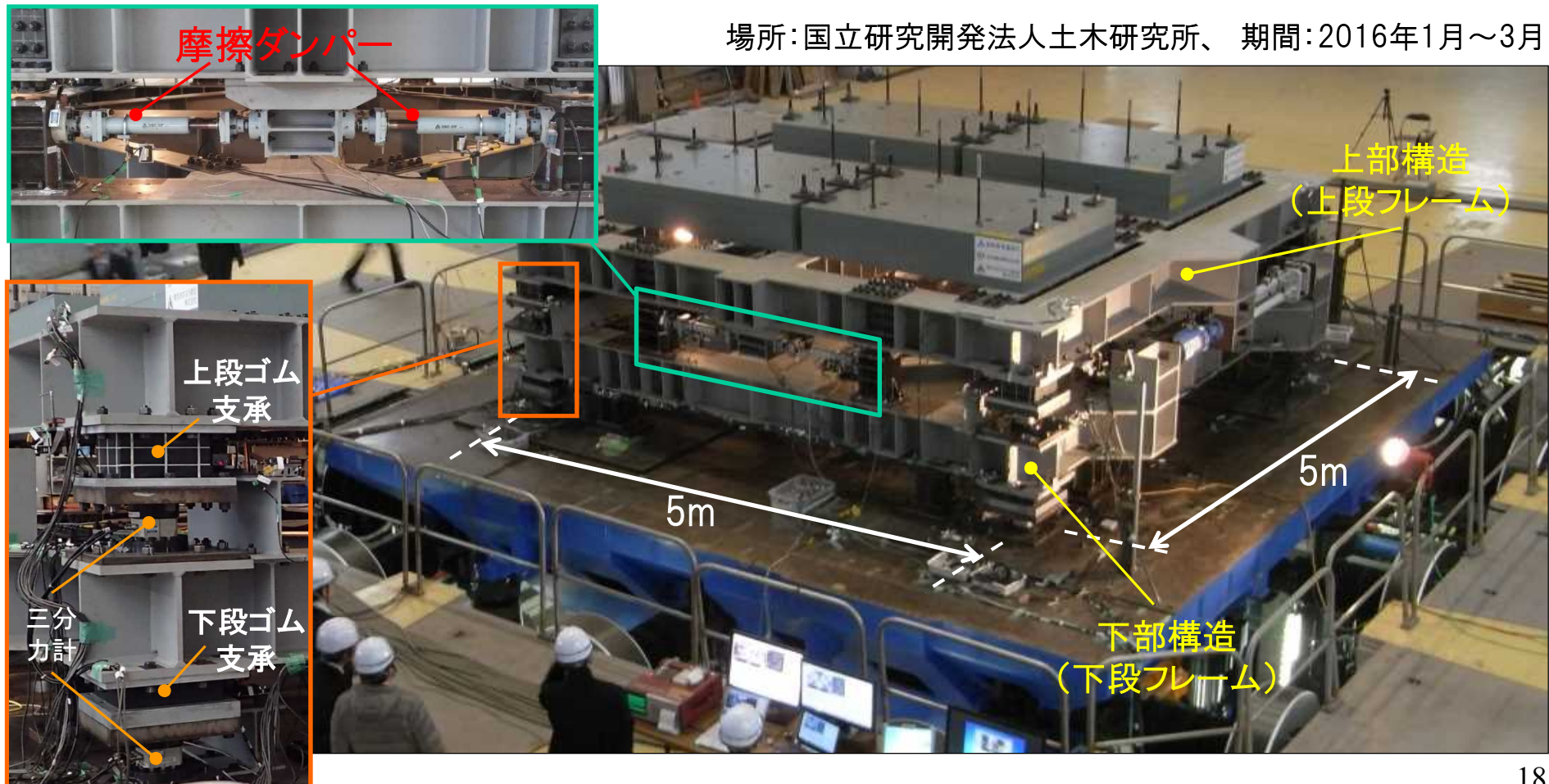


6. 構造実験2 (摩擦ダンパー付き橋梁全体の大規模振動台実験)

摩擦ダンパー付きRC橋脚全体としての地震時挙動を実験的に確認するために大規模な振動台実験を実施しました。

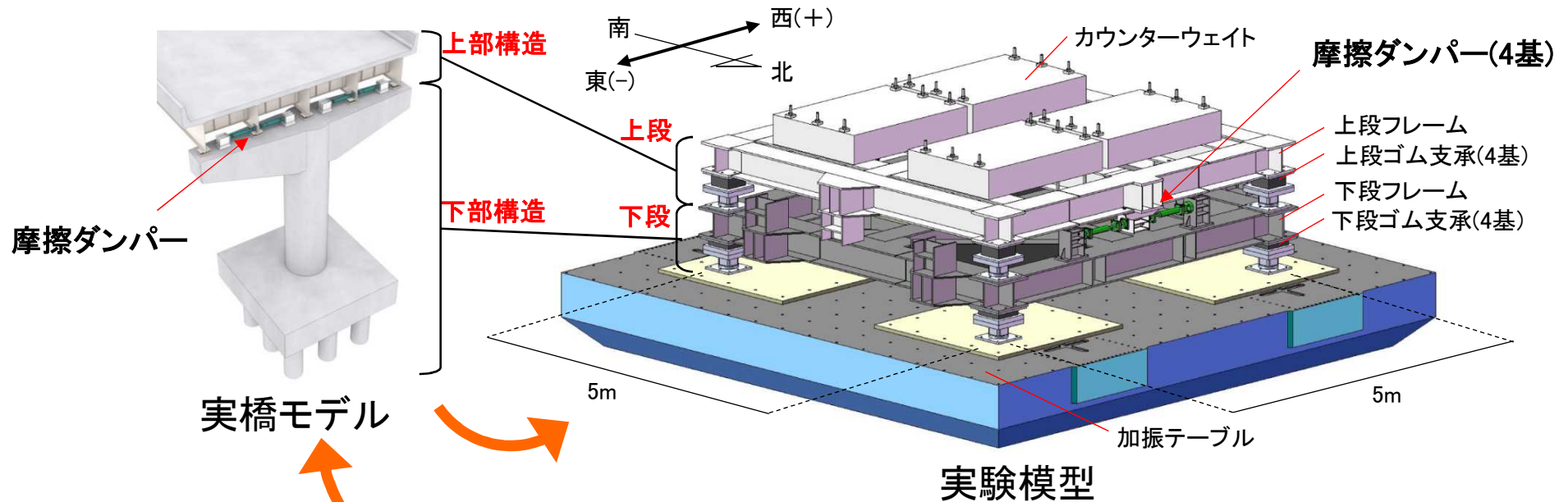
結果、摩擦ダンパーの設置により、L2地震動時における下部構造の最大応答値を**設置前に比べて30～60%程度低減できることを実証**しています。

場所: 国立研究開発法人土木研究所、 期間: 2016年1月～3月



6. 構造実験2 (摩擦ダンパー付き橋梁全体の大規模振動台実験)

- 1) 実験模型は、RC造単柱橋脚1本(実橋モデル)を2質点系で模擬
- 2) 実験模型の上段・下段が、実橋モデルの上部構造・下部構造に相当



首都高速6号向島線 (RC造単柱橋脚)

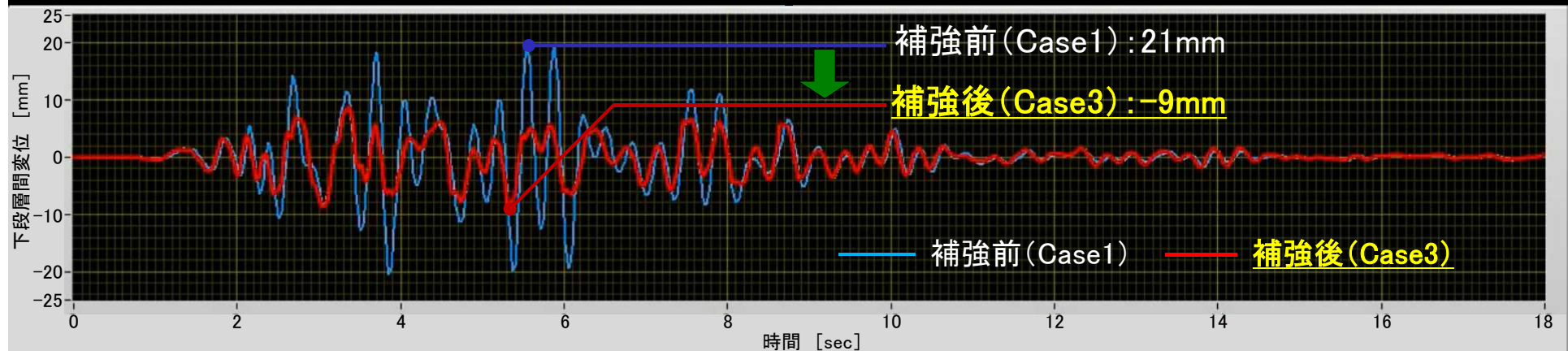
6. 構造実験2 (摩擦ダンパー付き橋梁全体の大規模振動台実験)

レベル2地震動タイプII(内陸直下型II-II-2)の実験状況

Case1(固定): [補強前]



Case3(ゴム支承+100kN摩擦ダンパー): [補強後]

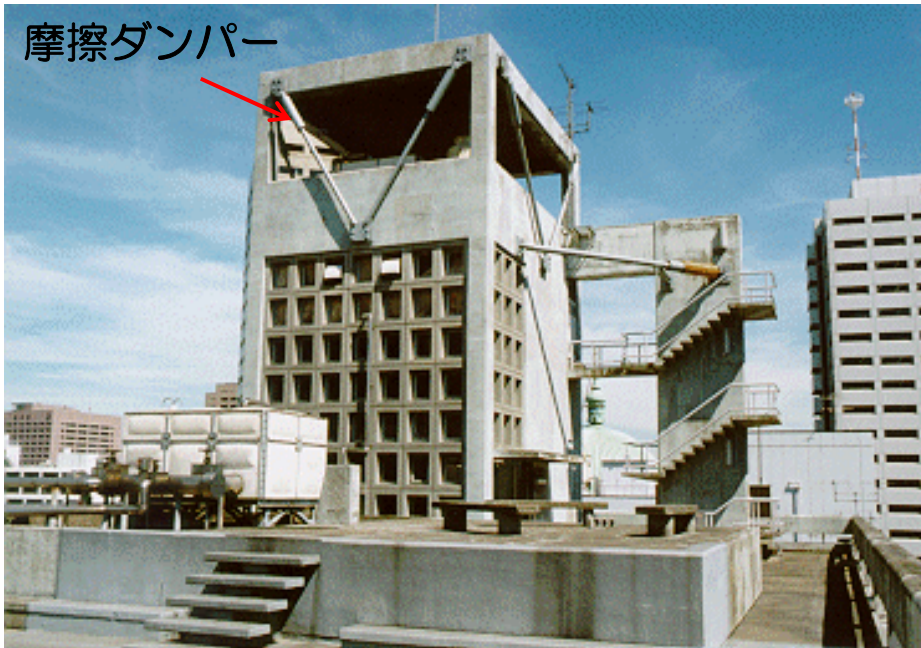


下段層間変位の時刻歴波形

摩擦ダンパーを用いることで、下段層間変位(橋脚の損傷に相当)を約60%低減

7. 補足（竣工後20年が経過した摩擦ダンパーの性能確認）

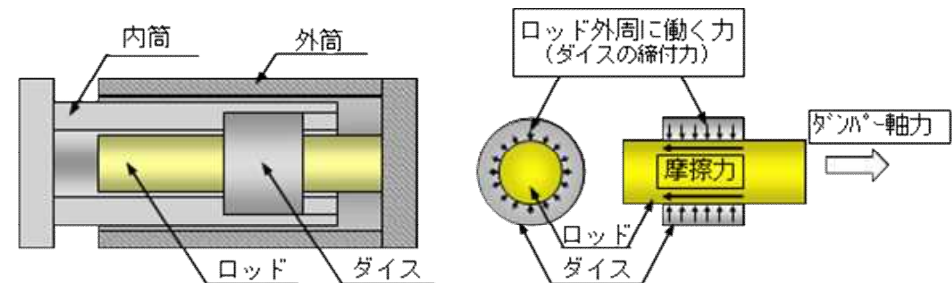
日本大学駿河台校舎5号館塔屋(摩擦ダンパーによる耐震補強第1号建物)の解体に伴い、竣工後20年が経過した摩擦ダンパーを回収し、性能試験を実施



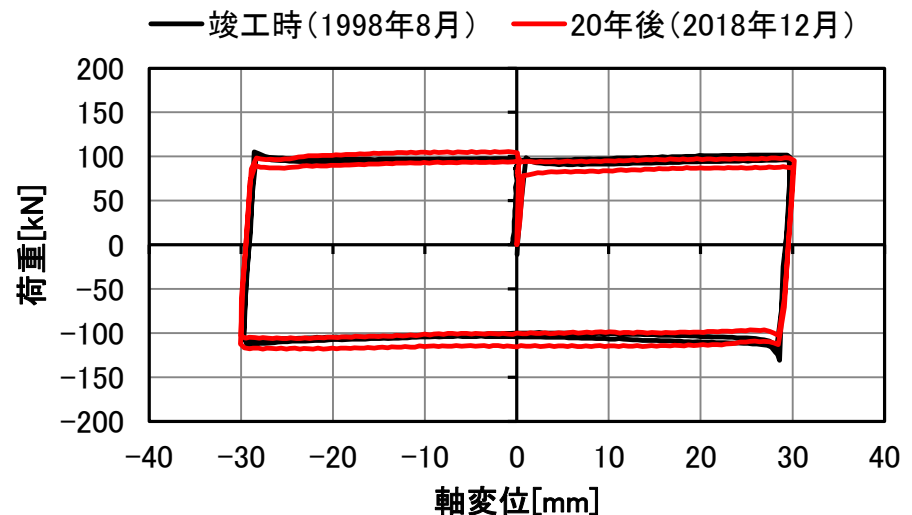
補強後の塔屋・屋上階段全景

工事概要

- 4階建て塔屋の東、西、南面および屋上階段へ、摩擦ダンパーを組込んだ制震ブレース(計7本)を設置
- 1998年9月に補強工事完了



摩擦ダンパーの構成と機構



摩擦ダンパー性能の経年変化

- 補強当時と比べてほぼ変化なし

7. 補足（国交省公募の「道路橋の・・・ダンパー技術」に選定）

ダイス・ロッド式摩擦ダンパー(DRF-DP)が、国土交通省が公募した「**道路橋の耐震性向上に資する制震ダンパー技術**」に選定されました。

※民間が保有する道路橋用の制震ダンパー製品を統一的に性能比較・評価し、設計を行うために必要な情報を提供することを目的として、計13件を選定。

道路橋制震ダンパー技術に13件選定

国交省、現場検証結果NETISのHP公表

国土交通省は新技術情報提供システム(NETIS)のテーマ設定型(技術公募)で「道路橋の耐震性向上に資する制震ダンパー技術」を公募し、13件を選定した。現場での技術実証の結果を九州地方整備局新技術活用評価委員会で審査し、NETISのホームページ(HP)で公表する予定だ。技術検証などは第三者機関の土木研究センターが担当する。

選定技術と応募者は次の通り。

▽ダンパーブレースIIエム・エムブリッジ▽ダイス・ロッド式摩擦ダンパーII青木あすなる建設▽橋梁用ブレイキダンパーII大林組▽オイレスB M I S II オイレス工業▽トグル制震構法II E & C S ▽座屈拘束型ダンパーII ビー・ビー・エム、川金コアテック▽J-UPブレースII J F E シビル▽二重鋼管ダンパーII J F E シビル▽疲労耐久性に著しく優れる鋼材を用いた制振ダンパーII 淡路マテリア▽パワーダンパーII 横河ブリッジ▽せん断パネル型制震ストッパーII 川金コアテック▽シンダー型粘性ダンパーK V D II 川金コアテック▽シェイプアップブレースB r II 高田機工。

7. 補足（DRF-DPの普及促進に向けた取組み）

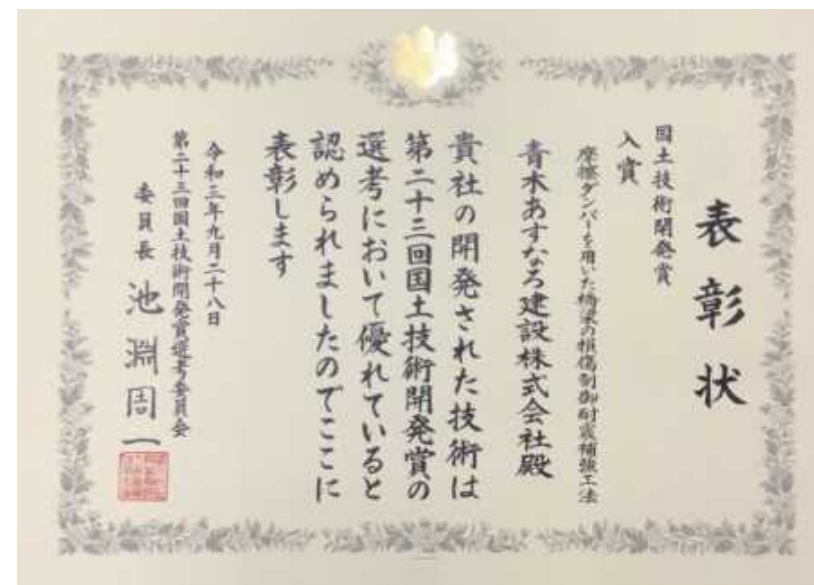
1. NETIS(国土交通省・新技術情報提供システム)への登録完了
(2021年2月)

2. 「ダイス・ロッド式摩擦ダンパー[®]」、「DRF-DP[®]」の商標登録完了
(2021年4月)

3. 第23回国土技術開発賞にて本技術が入賞
(2021年9月)

技術名称：摩擦ダンパーを用いた橋梁の損傷制御耐震補強工法
副題：ダイス・ロッド式摩擦ダンパー（DRF-DP）の開発

本技術を首都高速台場線へ適用したことで、レベル2地震時における橋脚柱基部の応答曲率を大幅に低減させることが可能となった。



8. まとめ

1. 摩擦ダンパーは、ダイス・ロッド式の摩擦機構を利用した当社の独自技術で、**完全剛塑性型の履歴特性**を有することが特長です。
2. ダイス・ロッド式摩擦ダンパー(DRF-DP)により、橋梁の**橋軸直角方向の制震化**を実現する新たな橋梁耐震補強工法を、首都高速道路(株)との共同研究により実用化しました。
3. DRF-DPは、**L1地震時には固定部材**として働き、**L2地震時には減衰部材**として働きます。
4. 首都高速道路の実橋梁(台場線改良工事)に対して、L2地震時の損傷や上揚力を低減する補強策として、**摩擦ダンパーを用いた耐震補強**が採用され、**2020年2月に施工**されています。
5. DRF-DPの有効性が広く理解され、全国の高架橋や橋梁の防災対策に活用されることを期待しています。

END

ご清聴ありがとうございました