

[CS3]

2021年9月10日(金) 11:10 ~ 12:30  
CS-5(Room46)

座長 吉岡 勉(大日本コンサルタント株式会社)

11:10 ~ 11:20

C001977

日本語



### Uリブ鋼床版垂直補剛材上端部に対する大型アングル材補強

\*田辺 篤史<sup>1,4,2</sup>、白石 祐一<sup>2</sup>、白川 凌太郎<sup>2</sup>、坂野 昌弘<sup>2</sup>、小西 日出幸<sup>3,5</sup>、狩野 哲也<sup>3,6</sup>(1. 建設コンサルタンツ協会、2. 関西大学、3. 日本橋梁建設協会、4. 日建設計シビル、5. 日本橋梁、6. 駒井ハルテック)

11:20 ~ 11:30

C000077

日本語



### 路面の凍結抑制に配慮した鋼床版の計画

\*福田 雅人<sup>1</sup>、石村 昌也<sup>1</sup>、中村 隆志<sup>2</sup>、桂 稔<sup>2</sup>(1. 西日本高速道路、2. IHIインフラシステム)

11:30 ~ 11:40

C003260

日本語

[事務局への連絡事項](#)



### 高架橋耐震補強のための新たな落橋防止構造

\*廣瀬 彰則<sup>1,2</sup>(1. エイト日本技術開発、2. リペア会)

11:40 ~ 11:50

C003223

日本語

[事務局への連絡事項](#)



### 減衰機構付き落橋防止装置の製作と耐久性試験

\*井上 崇雅<sup>1</sup>、合田 裕一<sup>1</sup>、小泉 貴宏<sup>1</sup>、杉山 洋<sup>1</sup>、廣瀬 彰則<sup>2</sup>(1. (株) ビー・ビー・エム、2. (株) エイト日本技術開発)

11:50 ~ 12:00

C003188

日本語

[事務局への連絡事項](#)



### 減衰機構付き落橋防止装置の活用のための試設計

\*吉見 和<sup>1</sup>、園田 龍正<sup>1</sup>、廣瀬 彰則<sup>1</sup>(1. (株) エイト日本技術開発)

12:00 ~ 12:10

C000013

日本語



### 人力施工できる簡易な段差防止装置の開発について (第2報)

\*浅野 貴弘<sup>1</sup>、難波 正幸<sup>2</sup>、櫻井 直樹<sup>3</sup>、古賀 太郎<sup>4</sup>(1. 西日本高速道路、2. NEXCO 西日本コンサルタンツ、3. コスモシステム、4. 富士技建)

12:10 ~ 12:20

C001147

日本語



### 中国道リニューアル工事 -吹田JCT~中国池田IC間 御堂筋橋(上り線) 橋梁架替え工事での取組み-

\*古賀 泰輔<sup>1</sup>、澤村 良弘<sup>1</sup>、安里 俊則<sup>1</sup>(1. 西日本高速道路株式会社)

12:20 ~ 12:30

C002667

日本語

[事務局への連絡事項](#)



### ざぐり部の表面処理方法に着目した皿型高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験

\*林 巖<sup>1</sup>、澤村 良弘<sup>2</sup>、郎 宇<sup>1</sup>、山口 隆司<sup>1</sup>、熊野 拓志<sup>3</sup>、吉田 賢二<sup>4</sup>、田中 伸尚<sup>5</sup>(1. 大阪市立大学、2. 西日本高速道路(株)、3. JFEエンジニアリング(株)、4. 川田工業(株)、5. 宮地エンジニアリング(株))

## Uリブ鋼床版垂直補剛材上端部に対する大型アングル材補強

建設コンサルタンツ協会 正会員 ○田辺 篤史  
関西大学 学生員 白石 祐一 非会員 白川 凌太郎 正会員 坂野 昌弘  
日本橋梁建設協会 フェロー 小西 日出幸 非会員 狩野 哲也

### 1.はじめに

鋼床版構造は、軽量化と工期短縮の面で新設のみならず大規模更新に対しても有利であり、特にコンクリート系床版を交換する場合には大幅な耐震性向上が期待できる。一方、疲労耐久性が課題となっており、体系的な研究が行われている<sup>1)</sup>。

近年、Uリブ鋼床版において、垂直補剛材上端部での疲労き裂の発生事例が増加している。既報<sup>2,3)</sup>では、鋼床版橋の垂直補剛材上端部に対する TRS<sup>4)</sup>を用いた疲労対策効果の検討が行われ、予防保全効果は確認されたものの、デッキ側溶接止端部からデッキ母材部にまで進展した比較的最長いき裂に対しては十分な事後保全効果は確認されなかった。本研究では、大型アングル材と TRS を用いた補強工法を適用し、疲労試験により補強効果を検証することを目的とする。

### 2.方法

#### (1)試験体および補強工法

図-1 に試験体の形状と寸法を、図-2 に当て板の形状と寸法、および、ひずみゲージ貼り付け位置を示す。試験体は Uリブ 3 本、横リブ 2 本、主桁 2 本を有する実物大試験体である。試験部は垂直補剛材上端部 2 ヶ所で、TRS を用いた大型アングル材補強工法を適用した。既報<sup>2,3)</sup>で用いられた当て板は、補剛材コバ面からの張り出し長さが 10mm 程度であったので、き裂の切削部もカバーできるように 40mm へと延長した。また、当て板と補

剛材の接合ボルト本数を 3 本とした場合と、上側 2 本のみとした場合の 2 パターンで静的载荷を行い、ボルト本数による違いについても比較した。

#### (2)応力計測位置

垂直補剛材上端部には、デッキ側溶接止端部から水平に 5mm の位置と補剛材側溶接止端部から下に 5mm の位置にひずみゲージを貼付した。当て板設置後の当て板縁部の応力測定用に、アングル材隅角部から水平に 5mm のデッキ下面にもひずみゲージを貼付した。

#### (3)载荷方法

図-3 に载荷位置と補強前後のひずみ変化を示す。ダブルタイヤを模擬してゴム板(200mm×200mm×40mm)を 2 枚用いて载荷した。補強前は図中の A, B, C, E の 4 箇所、補強後は C, D, E, F, G の 5 箇所で载荷し、補強前後の最大と最小荷重時のひずみ差を比較し、補強効果を検証した。

### 3.試験結果

補強前は载荷位置 C(補剛材コバ面直上)に载荷したときのひずみ差が最大となった(補剛材コバ面:-1266 $\mu$ , 溶接止端部デッキ下面:-1020 $\mu$ )。補強後は、補剛材コバ面のひずみ差が補強前の 3 割程度(-380 $\mu$ )、溶接止端部デッキ下面が 5 割程度(-533 $\mu$ )となっており、当て板補強による応力低減効果が確認できる。補強後の当て板縁部のひずみ差は载荷位置 E で最大となったが、応力に換算して 105~115MPa で C 等級の疲労限 115MPa

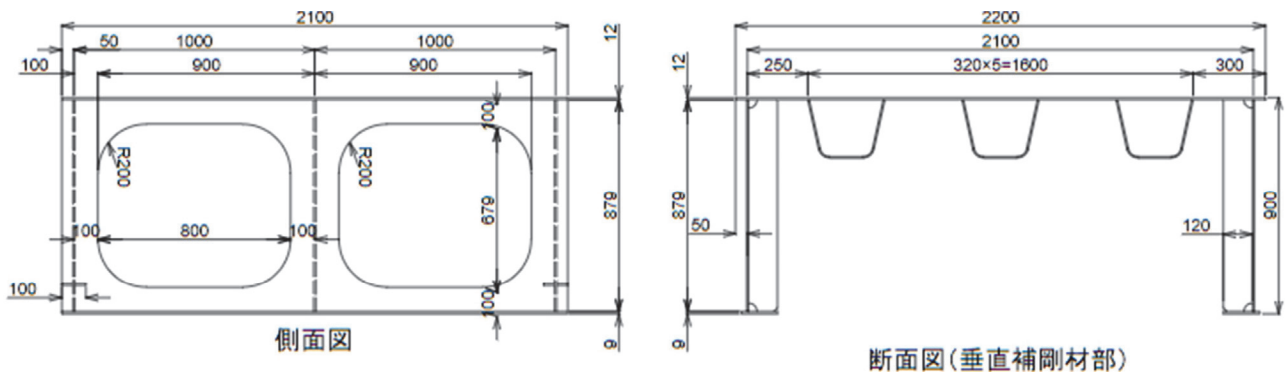


図-1 試験体形状と寸法

キーワード Uリブ鋼床版、疲労、当て板、垂直補剛材上端部

連絡先 〒541-0054 大阪市中央区南本町 3-6-14 株式会社日建設計シビル TEL06-6229-6372

以下であることから、当て板縁部からの疲労き裂発生はないと考えられる。

図-4 にボルト本数とひずみ差の関係を示す。両者の発生ひずみ大きな違いは見られず、ボルト本数は応力低減効果にはほぼ影響しない結果となった。

#### 4.まとめ

大型アングル材による当て板補強について、実物大鋼床版疲労試験体を用いた静的載荷実験を行い、以下の知見を得ることができた。

- (1)補強前の垂直補剛材上端コバ部では、補剛材コバ面の直上が載荷ゴムの端となる載荷位置 C で最大となる  $-1266\mu$  のひずみ差が発生していたが、補強を施すことで約 3 割の  $-380\mu$  まで低減できた。デッキ下面も補強により  $-1020\mu$  から  $-533\mu$  へと半減できた。
- (2)当て板近傍のデッキ下面の発生応力は  $105\sim 115\text{MPa}$  と平滑材の疲労限以下であるため、き裂は発生しないと考えられる。
- (3)当て板設置のボルト本数は 3 本と 2 本で補強効果に大きな違いは見られなかった。

今後、ここで検討した載荷位置で疲労試験を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 新都市社会技術融合創造研究会:鋼床版の疲労耐久性向上に関する研究成果報告会, <https://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/02-4.html>, 2020.
- 2) 坂本, 坂野, 小西, 小山:対傾構取付け垂直補剛材上端部の疲労対策に関する実験的検討, 鋼構造論文集, 第 25 巻, 第 100 号, pp.1-14, 2018.
- 3) 坂本, 小西, 奥村, 坂野:U リブ鋼床版垂直補剛材上端部に対する下面からの疲労対策, 鋼構造年次論文報告集, 第 27 巻, pp.815-823, 2019.

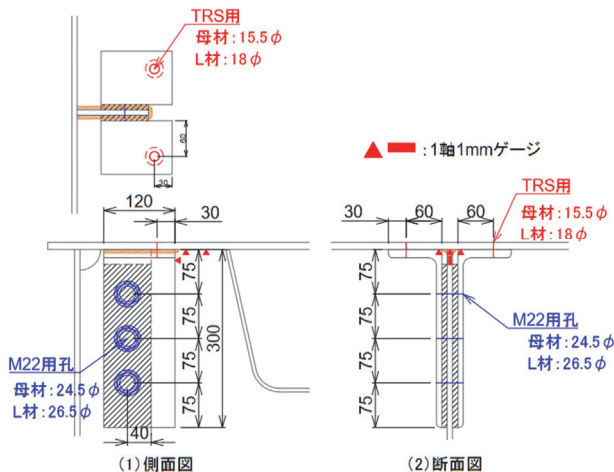


図-2 アングル材形状と寸法, ひずみゲージ貼り付け位置

- 4) 鋼床版デッキプレート-U リブ溶接部ビード貫通亀裂に対する TRS を用いた下面からの補修工法施工マニュアル, 本四高速長大橋技術センター, 2021.

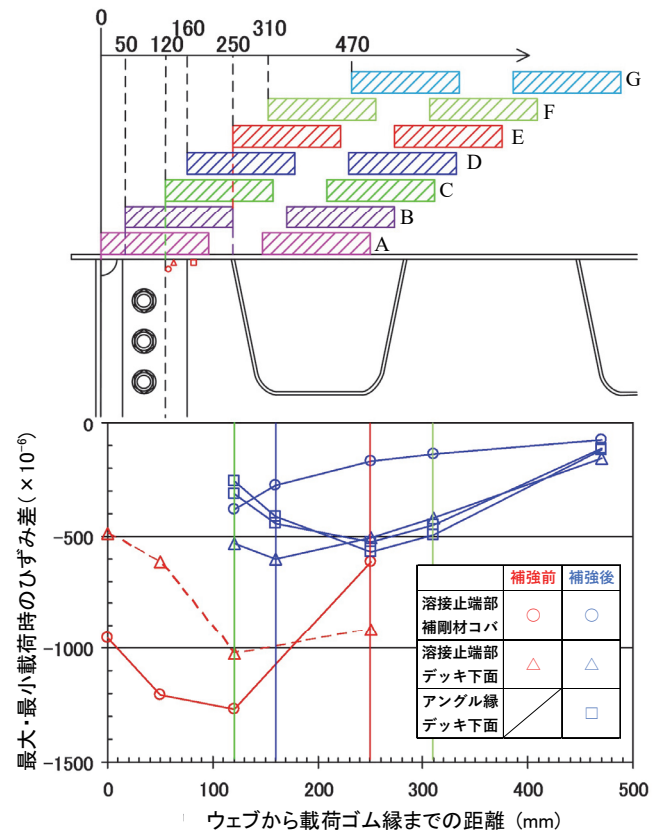


図-3 補強前後の載荷位置ごとの各部のひずみ

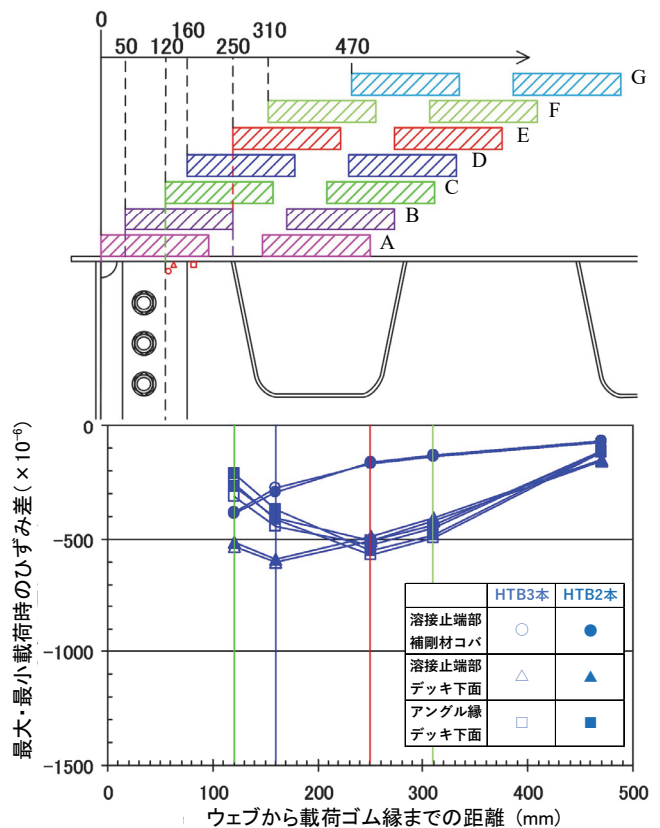


図-4 補強後の各部のひずみに及ぼすボルト本数の影響

## 路面の凍結抑制に配慮した鋼床版の計画

西日本高速道路（株） 正会員 ○福田 雅人，正会員 石村 昌也  
（株）IHI インフラシステム 中村 隆志，桂 稔

### 1. はじめに

道路管理者が抱える課題の一つに冬季の路面凍結への対策がある。特に橋梁部における路面凍結は、床版の材質（鋼またはコンクリート）および主桁構造（開断面または閉断面）、鋼床版の構造（開断面リブまたは閉断面リブ）によって発生度合いが異なる<sup>1),2),3)</sup>。本稿は、高速道路会社として実績が少ない鋼床版を山間部で単独で採用する場合の、路面の凍結抑制に配慮した計画を報告するものである。

### 2. 鋼床版採用の経緯

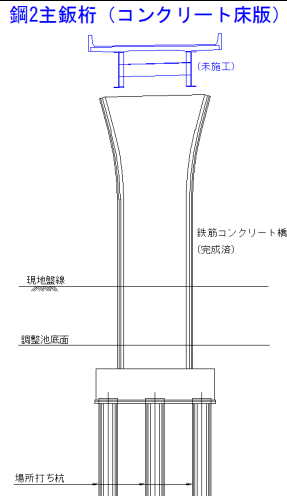
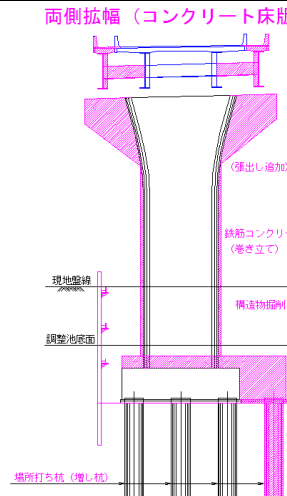
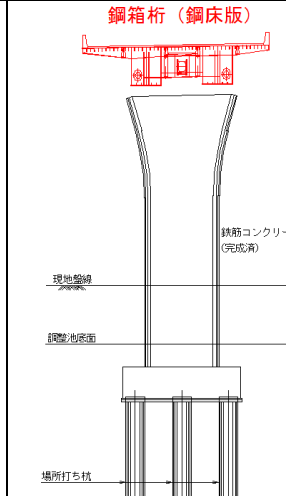
本橋は、建設事業中の新名神高速道路（大津 JCT～城陽 IC・JCT 間）の本線橋である。工事の進捗は、平成 24 年 4 月に事業許可を受けた後、地元設計協議や用地買収を経て下部構造が暫定 4 車線で完成し上部工事の着手前である。この段階で、当該区間が将来の自動運転・隊列走行も見据えたダブル連結トラックの導入など生産性向上の観点から令和 2 年 3 月に暫定解除（完成 6 車線）の事業許可を受けたことから、完成 6 車線を見据えた暫定 4 車線の設計・施工が求められた。

工事進捗の程度により拡幅する際の課題は異なるが、本橋のように 4 車線で下部構造が完成している場合は、基礎の増設や躯体の増厚等が必要になるため、再度の構造物掘削等による交差道路等への影響、一体化させるためのはつり作業による周辺環境への影響、それらを供用下で施工することによる本線交通への影響ならびに経済性を考慮しなければならない。そこで、既に完成している下部構造を極力改変せず拡幅するため、コンクリート床版と比較して上部構造の大幅な死荷重低減が可能となる鋼床版を計画することとした。

### 3. 対象橋梁

本橋（下り線）の計画断面を表 1 に示す。従前の計画では、暫定 4 車線で鋼桁橋を建設し将来両側に鋼桁桁を追加することで拡幅する設計思想としていた。しかし前述したように、基礎の増設や躯体の増厚は周辺環境への影響が大きくなるため、線形や支承位置を変更しない条件で暫定 4 車線幅員の鋼桁桁（コンクリート床版）の上部構造反力を

表 1 本橋（下り線）の代表計画断面

従前の計画		本計画
暫定 4 車線	将来拡幅による完成 6 車線	完成 6 車線
<p>鋼2主桁桁（コンクリート床版）</p>  <p>鉄筋コンクリート橋脚（完成済）</p> <p>現地盤線</p> <p>調整池底面</p> <p>場所打ち杭</p>	<p>両側拡幅（コンクリート床版）</p>  <p>(引出し追加)</p> <p>鉄筋コンクリート橋脚（巻き立て）</p> <p>構造物掘削</p> <p>現地盤線</p> <p>調整池底面</p> <p>場所打ち杭（増し杭）</p>	<p>鋼桁桁（鋼床版）</p>  <p>鉄筋コンクリート橋脚（完成済）</p> <p>現地盤線</p> <p>調整池底面</p> <p>場所打ち杭</p>
暫定コストミニマム	下部構造の拡幅が必要	下部構造の拡幅は最小限

キーワード 鋼床版、凍結、縦リブ、繊維補強コンクリート、舗装

連絡先 〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町 1-1-3 Tel: 06-6344-9603

〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町 3 番地 Tel: 072-223-0987

## 4. 路面の凍結抑制

鋼床版はコンクリート床版よりも放熱が早く蓄熱時間が短いため、降雪がない場合でも結露・降霜・放射冷却等による路面凍結が発生しやすい傾向がある。そこで、以下の凍結抑制対策を検討した。

### (1) 主桁形式の検討

床版下面を断熱した場合、放射冷却時には地表面や河川から熱の供給を遮る結果となり、路面温度がより低くなる<sup>1)</sup>。このことから、凍結抑制の観点での主桁形式は箱桁より鉸桁が望ましいと考えられる。しかし、暫定4車線断面から支承位置を変更しない条件で完成6車線断面の床組を検討した結果、鉸桁構造では張出し床版長が過大であり構造不成立となったため、箱桁構造を採用することとした。

### (2) 縦リブ形状の検討

(1) 同様に、鋼床版の閉断面リブは床版下面の一部に断熱材を設置した状態となり、実橋計測結果でも閉断面リブ内に冷やされた空気が溜まりやすい結果が得られている<sup>3)</sup>。このため、閉断面であるUリブではなく開断面である平リブを採用する方針とし放射冷却時の路面温度低下を抑制することとした。なお、交通荷重に対する疲労の検討も行っているが、誌面の都合から別の機会に報告することとする。

### (3) 繊維補強コンクリートの検討

鋼床版は、コンクリート床版よりも熱容量が小さいことは定性的に理解されている。双方の熱容量の差は約3倍との報告もあるが<sup>1)</sup>、設計上の要求性能として定量的に設定することは困難である。そこで本橋では、床版の熱容量を確保するために、上部構造反力が暫定4車線幅員の鉸桁（コンクリート床版）を超えない範囲であることを確認したうえで、厚さ50mmの繊維補強コンクリート（HFRC）を設けることとした。

### (4) 舗装構成の検討

高速道路橋の鋼床版の橋面舗装構成は、橋梁レベリング層（グースアスファルト\_3.5cm）と表層（4cm）の2層構造を標準としている。しかし、本橋では隣接他橋と舗装構成を整合させ維持管理水準を合わせることを目的に、橋梁レベリング層（FB13\_4cm）と表層（4cm）の2層構造とし、繊維補強コンクリートと橋梁レベリング層の間には防水層を設けることとした。図-1に橋面の舗装構成を示す。

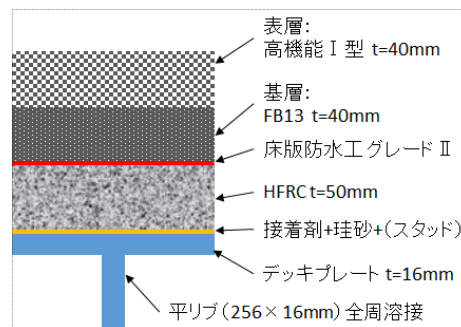


図-1 橋面舗装構成

## 5. 今後の検証事項

### (1) 実橋計測

上部工工事期間中に複数年の実橋計測を実施することで、架橋地点の特異性や実構造の温度履歴を収集する。これにより、供用後の路面凍結の頻度等を予測し、管理段階に引継ぐための基礎資料を作成する。

### (2) 解析検討

主桁形式、縦リブ形状や舗装構成をモデル化した熱伝達解析を実施する。この際、実橋計測結果と対比することで、相対的に他のコンクリート床版橋と比較し、本計画の妥当性を評価する。

## 6. おわりに

路面の凍結抑制に配慮した試行的な計画について述べた。凍結抑制対策として凍結抑制舗装（FFP）やロードヒーティング等の施設対応も有効ではあるが、維持管理に課題を残す場合もある。引き続き、架橋地点の環境を踏まえて将来の維持管理負担を最小化することができる方策を検討していく。

## 参考文献

- 1) 宮本 重信, 室田 正雄, 杉森 正義: 橋梁の床版下面構造がその路面凍結におよぼす影響, 日本雪工学会誌 Vol. 14 No. 1, 1998. 1, pp36-42
- 2) 日本鋼構造協会: 鋼床版の凍結抑制に関する調査研究, 2006
- 3) 犬飼 達彦, 石橋 健作, 下地 利幸, 酒井 修平: 鋼床版の凍結抑制対策にかかわる路面温度についての一考察, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012. 9

## 高架橋耐震補強のための新たな落橋防止構造

エイト日本技術開発 正会員 ○廣瀬 彰則

東日本大震災以降、地震、台風、局地的豪雨などの大規模な自然災害が頻発していることを踏まえ、国土強靱化基本法の基本方針には、強靱化を図るべき社会の重要機能として、行政・情報通信・交通を位置づけ、重要機能の代替性の確保、生活必要物資の安定供給などにより、災害発生時にも致命的な障害を起こさず政治・経済・社会活動を持続可能にすることが求められている。大震災10年を機に災害発生時の移動・非難に使用される高速道路・空港・港湾など、高速交通網の強靱化を推進しなければならない。

### 1. 研究の目的

我が国各地の今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率は図-1のとおりである。国土強靱化推進のうち、高速道路や直轄国道のほか地方自治体管理の緊急輸送道路に対して、大規模地震の発生確率等を踏まえると、それらの有する高架橋・橋梁群の耐震補強が急がれている。

耐震補強対策には既設構造物の建設時における耐震設計レベルを十分考慮した対策を取らねばならないが、限られた期間内に有効で施工性がよく、効果的な手法を検討することは重要である。また対象とする緊急輸送道路は平時においても極めて重要な道路交通ネットワークを形成しており、この補強工事における通行規制はできる限り回避しなければならない。そのような観点から、耐震補強対策のうち落橋防止構造に着目し、できるだけ小規模で容易な取り付け工法によるもの、従来のものに比べて付加価値のあるものの開発を試みるものとした。

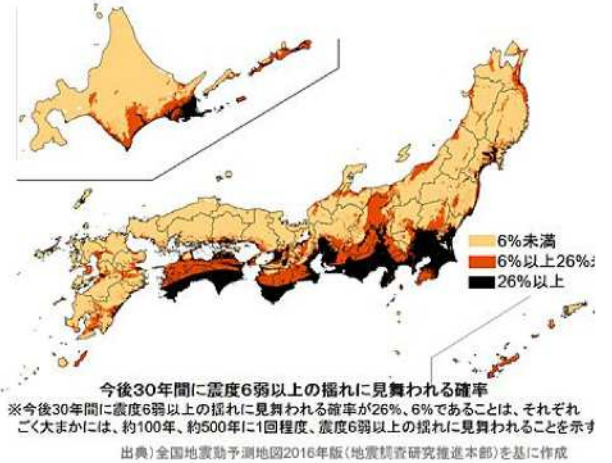


図-1 今後30年間の震度6弱以上確率分布

### 2. 緊急輸送道路の橋梁耐震補強

熊本地震以降、緊急輸送道路の橋梁耐震補強として、落橋・倒壊の防止対策は鋭意進められているが、被災後速やかに緊急輸送を可能とするための耐震補強の進捗はまだ十分とは言えない。現状の橋梁耐震補強進捗率は表-1および表-2とされている。

### 3. 耐震補強等の対策内容

緊急輸送道路について、大規模地震の発生確率等を踏まえて、落橋・倒壊の防止対策に加え、路面に大きな段差が生じないように、支承の補強や交換等を行う対策を目標に、国土交通省HP<sup>1)</sup>にも図-2および図-3、図-4の方針・例示等が示されている。

実際には、支承部の補強・交換等について、通行規制を伴わない工法選択に施工条件上の制限が発生するほか、既設橋脚の施工世代により、柱主鉄筋の段落し部の補強や横拘束筋補強などが必要となってくるため、それぞれの橋梁毎に必要な

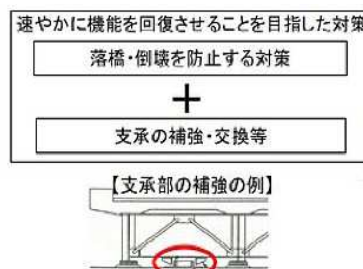


図-2 支承部の補強の例

表-1 橋梁耐震補強進捗率

道路管理者	進捗率
高速道路会社管理	75%
国管理	84%
都道府県管理	80%
政令市管理	81%
市町村管理	67%
計	79%

表-2 橋梁耐震補強進捗率(高速道路)

道路管理者	進捗率
高速道路社管理	75%
東日本高速	80%
中日本高速	91%
西日本高速	61%
首都高速	98%
阪神高速	92%
本四高速	48%

キーワード 摩擦減衰、減衰機構、落橋防止装置、PC鋼棒、すべり免震

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島5丁目5-15 TEL 06-6305-0202

補強項目を抽出した上で、効果的な手法を選択することが必要となる。

#### 4. 支承交換が想定する標準的工法

支承部の機能を補強・交換する場合の標準的工法の一例として、特定の橋脚等下部工に集中する地震時慣性力を複数の橋脚に分散する水平反力分散方式（機能分離型支承）の利用があげられる。

図-5は、すべり系支承とゴムバッファを組み合わせたすべり免震システム<sup>2)</sup>の

設置事例を示している。既設橋梁の桁下空間に余裕があれば、既設ゴム支承をすべり系支承に交換し、変形を吸収するゴムバッファを設置することで機能を向上することが可能となる。しかしながらすべり系支承の摩擦減衰を活用しながらゴムバッファの地震時変位量を担保する必要があるため、上部工端部の遊間に制限がある場合には桁端に衝突が発生し効果的な利用ができない。

#### 5. エネルギー減衰装置の活用

すべり免震システムの地震エネルギー減衰機構は、上部工による支承反力に起因する摩擦力の活用である。遊間の狭小な橋梁に対してもこの原理を活用するために、新たなシステム開発を検討した。

#### 6. 新技術の開発と課題

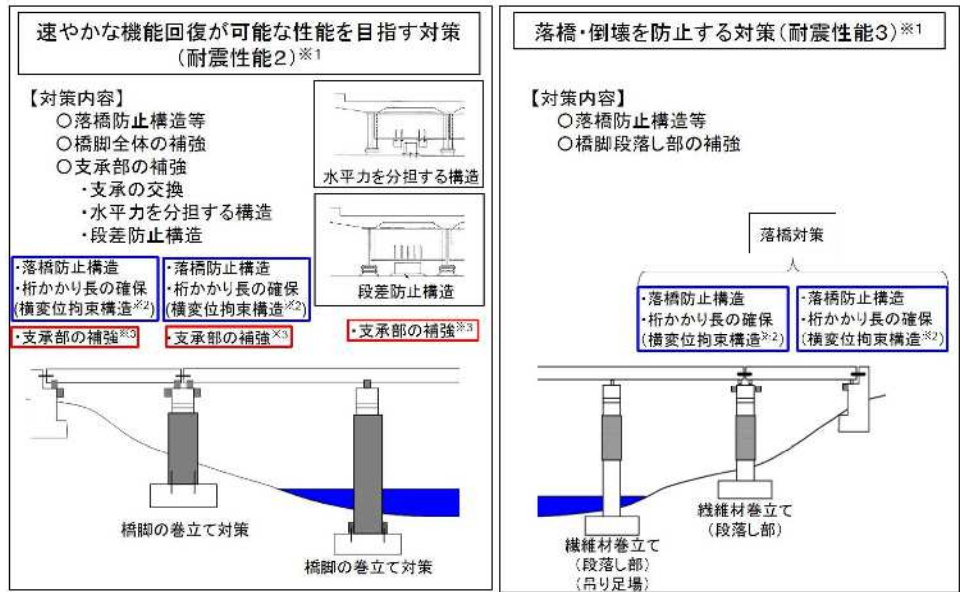
開発した基本システムは図-6に示す落橋防止装置である。両側のパーツを接合するボルトで摩擦ダンパーを挟む構造としており、摩擦ダンパーを締め付けるボルトはすべり免震システムの上部工死荷重反力等に相当させる必要があるため、両ネジPC鋼棒を用いている。摩擦ダンパー部の摩擦係数、PC鋼棒の導入緊張力を調整することで、期待する減衰性能を調整することが可能であり、本システムを減衰機構付き落橋防止装置と名付けた。

#### 7. まとめ

効果を実証するための事例として、両橋端の遊間が50mmのPC4径間連続高架橋において、中間橋脚の柱鉄筋段落とし部補強ならびに柱基部補強が必要となるケースに適用した。両橋脚上部に提案形式の減衰機構付き落橋防止装置を取り付けた解析を行ったところ、従来工法では必要となる炭素繊維巻立て工法による補強を必要としなくなることが確認された。今後は、さらに部材改良と設計・製作実績を蓄積していかなければならない。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：<https://www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/index1.html>
- 2) すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法に開発に関する共同研究報告書



※1 平成24年道路橋示方書より  
 ※2 曲橋、斜橋のみ  
 ※3 支承部の補強(支承の交換、水平力を分担する構造、段差防止構造)

図-3 速やかな機能回復を目指す対策 図-4 落橋・倒壊を防止する対策

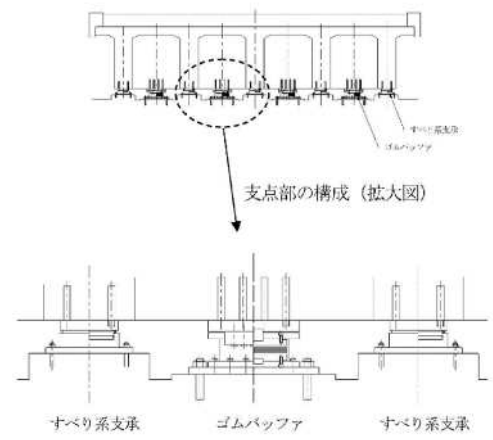


図-5 すべり免震システム

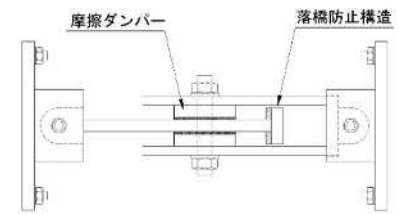


図-6 減衰機構付き落橋防止装置

## 減衰機構付き落橋防止装置の製作と耐久性試験

株式会社ビー・ビー・エム 正会員 ○井上 崇雅, 合田 裕一, 小泉 貴宏, 杉山 洋  
株式会社エイト日本技術開発 正会員 廣瀬 彰則

### 1. はじめに

現在の道路橋の耐震設計基準では、地震時の落橋という致命的な被害を防ぐために落橋防止システムを設置することが規定されている<sup>1)</sup>。本装置は、従来の落橋防止装置が上部構造を落下させないことに特化していたが、付加価値を付け橋梁全体の耐震性が向上することを目的に開発したものである。実物大の製品を製作し、落橋防止装置としての基本性能を、付加価値である減衰機構の挙動を確認したので、その一部をここに報告する。

### 2. 装置の概要および製作

減衰機構付き落橋防止装置の概略図を図-1に示す。表-1に各機能の作用状況を示す。本装置は、支承が破壊するまでの間は、減衰機構として機能し、それ以降については、落橋防止装置として機能する。本装置の基本となる落橋防止装置の構造は、設計で想定される以上の上下部構造間の相対変位に対し、ストッパープレート先端のT型フックがすべり板と衝突することで、落橋による水平力を支持する。また、T型フック部には、地震時の衝撃を緩和するために、緩衝材を設置している。減衰機構の構造は、ストッパープレートをすべり板で挟み込み、そこにPC鋼棒によりプレストレス（軸力）を導入した状態で、地震時の水平変位に対し、摩擦力による減衰が発生する。

性能確認試験で使用するため、減衰機構の摩擦力が100kN、落橋防止の耐力が600kNの製品を製作した。本装置の組み立てた状況を写真-1に示す。写真から分かるように構造は単純であり、総重量が220kgとコンパクトな装置となっている。

### 3. 実製品での挙動確認（性能確認試験）

#### (1) 試験方法

本製品の挙動および性能を確認するために、表-2に示す試験を行った。試験方法は、2軸試験機を用いて、①減衰機構の確認は、製品に対して、正負交番の繰返し水平力載荷試験を行い、この間の水平荷重を計測し、併せて挙動に変状がないかを観察した。また、同様にすべり材単体についても繰返し水平力載荷試験を行い、製品の試験結果と比較し、摩擦係数の妥当性を確認した。②落橋防止装置の確認は、設計値までの荷重を静的載荷する。その時の荷重および変位を計測し、併せて変状がないことを確認した。

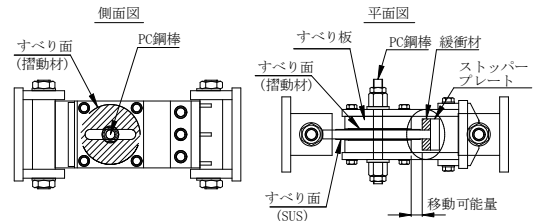


図-1 減衰機構付き落橋防止装置の概略

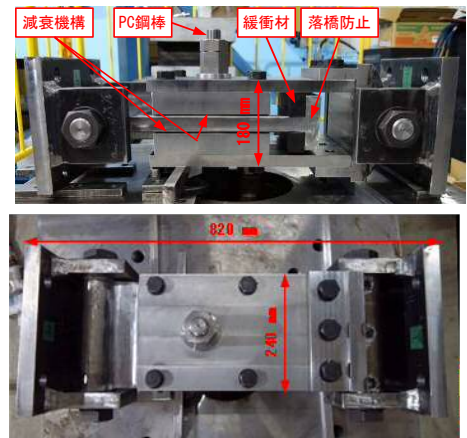


写真-1 本装置の組み立てた状況

表-1 各機構の作用状況

	常時～レベル1地震動 ～レベル2地震動 (減衰機構)	落橋防止構造作用時 (落橋防止装置)
設置例		
構造と機能		

キーワード 落橋防止, 減衰機構, 耐震補強, 摩擦, 補修

連絡先 〒103-0027 東京都中央区日本橋 3-11-1 HSBC ビルディング 3F (株)ビー・ビー・エム TEL 03-3517-9864



(2) 試験結果

1) 減衰機構の確認試験（摩擦確認試験）

製品とすべり材単体の摩擦係数の結果を表-3に示す。また、摩擦係数と水平変位の関係を図-2に示す。試験の結果、製品の摩擦係数が $\mu=0.094$ に対し、すべり材単体は $\mu=0.098$ とほぼ同等の結果となることが確認できた。

2) 落橋防止機能の確認試験（破壊試験）

水平荷重と水平変位の関係を図-3に示す。水平載荷試験の結果、設計値までの荷重である600kNに達したが、変状がないことが確認できたため、設計値の1.2倍の720kNまで載荷した。試験後の外観に変状はなかった。また、水平変位が40mmに達した時点で緩衝材に接触し、荷重が増加し始めていることから、緩衝効果が発揮されていることが確認できた。

4. 長期使用を想定した耐久試験

(1) 試験方法

試験条件を表-4に示す。試験方法は、2軸試験機を用いて、規定の鉛直荷重を載荷し、荷重制御で一定時間保持した。その時の鉛直荷重と鉛直変位の関係を計測した。この時の規定荷重は、予備圧縮を想定し、設計荷重の+10% (550kN) とした。また、併せて目視により挙動に変状がないかを確認した。

(2) 試験結果

図-4に鉛直変位と時間の関係、表-5に近似式による50年後のクリープひずみの推定値を示す。試験の結果、50年後の鉛直変位の増加値（推定値）は、0.0248mmであった。以上より、50年後のクリープひずみ（推定値）は、0.03mm程度と小さい値であり、すべり材が長期使用に耐えられることが分かった。

5. まとめ

(1) 実製品での挙動確認

①減衰機構の確認試験（摩擦確認試験）の結果では、安定した水平荷重-水平変位の関係を呈することが確認できた。また、製品とすべり材単体の摩擦係数が同等であることから、製品において摩擦減衰が機能していることが確認できた。②落橋防止装置の確認試験（破壊試験）では、設計値の1.2倍までの載荷に対して変状がなく、安定した荷重-変位関係を呈することが確認できた。以上より、減衰機構付き落橋防止装置としての機能を有していることが確認できた。

(2) 長期使用を想定した耐久試験

すべり材のクリープひずみ確認試験の結果、50年後のクリープひずみ（推定値）が、0.03mm程度と小さい値であることから、長期使用に耐えられることが確認できた。

参考文献 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2017。

表-2 試験の項目

項目	検証内容
減衰機構の確認 (摩擦係数の妥当性)	地震時の水平変位を与えた時の摩擦係数を確認 また、既存のすべり材単体と比較し、摩擦係数の妥当性を確認
落橋防止機能の確認 (破壊試験)	落橋防止としての設計値以上の耐力があることを確認

表-3 製品とすべり材単体の摩擦係数

繰返し回数	製品	すべり材単体
2~11回の平均	0.094	0.098

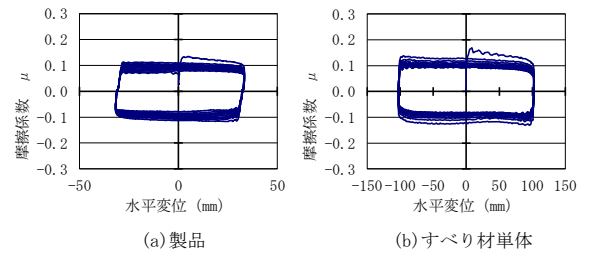


図-2 摩擦係数と水平変位の関係

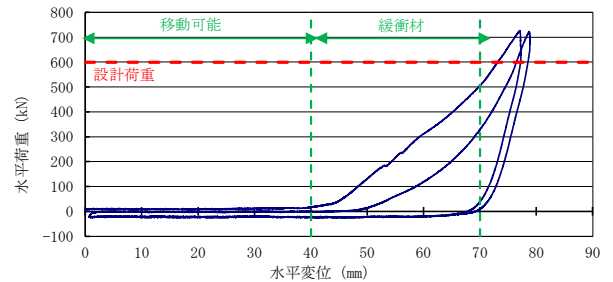


図-3 水平荷重と水平変位の関係

表-4 試験条件

状態	鉛直荷重 kN	面圧 N/mm <sup>2</sup>	載荷速度 kN/sec	載荷時間
導入時	0~550	20.9	1.0	
荷重保持	550	20.9	一定	8時間

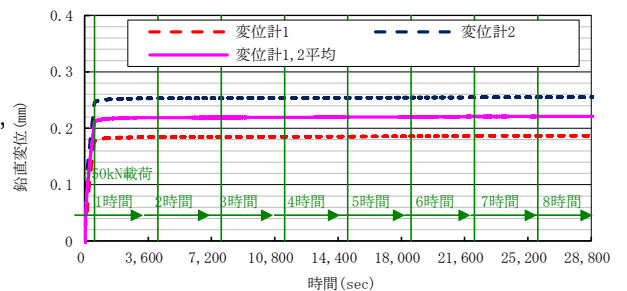


図-4 鉛直変位と時間の関係

表-5 近似式による50年後のクリープひずみの推定値

	鉛直変位	備考
550kN載荷	0.2108	実測値
1年	0.2303	近似式
3年	0.2318	
5年	0.2325	
10年	0.2334	
30年	0.2349	
50年	0.2356	
50年後変位増加	0.0248	

# 減衰機構付き落橋防止装置の活用のための試設計

株式会社 エイト日本技術開発 正会員 ○吉見 和  
園田 龍正  
正会員 廣瀬 彰則

## 1. はじめに

今後、想定されている大規模地震の発生確率等を踏まえて、直轄国道や高速道路及び自治体の緊急輸送道路においては、橋梁の耐震補強対策が加速化されている。しかしながら、既設橋梁においては特有の近接・交差条件等により、僅かな耐力不足に対する耐震対策においても大規模な仮設備や地元・関係機関等との調整を要することとなり、加速化を阻害している場合がある。

このような背景を踏まえて、道路の建築限界に近接する橋脚柱について、別途設置を計画している落橋防止装置に減衰機構を付加することにより橋脚柱補強対策を回避することを目的とした試設計結果を報告する。

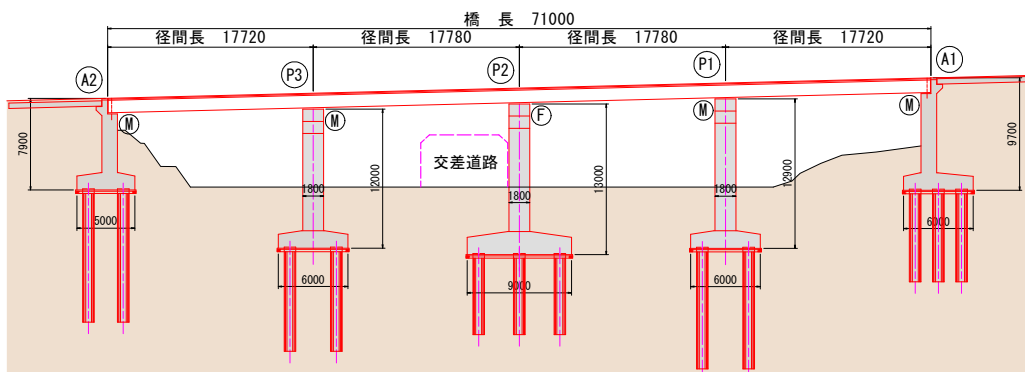


図-1. 試設計対象橋梁側面図

## 2. 解析条件

既設橋脚の照査結果から、橋梁全体系での一点固定である P2 橋脚基部においてのみ柱下端付近の段落し部が降伏モーメントを 2%程度超過する状況であった。僅かな超過であったことを踏まえて、下記の条件により試設計を行った。

### ① 減衰機構付き落橋防止装置概要

・取付位置	A1, A2 橋台
・1 橋台当たりの設置数	5 基
・軸力	500×5 基=2,500kN
・摩擦力(降伏耐力)	2,500×0.3=750kN

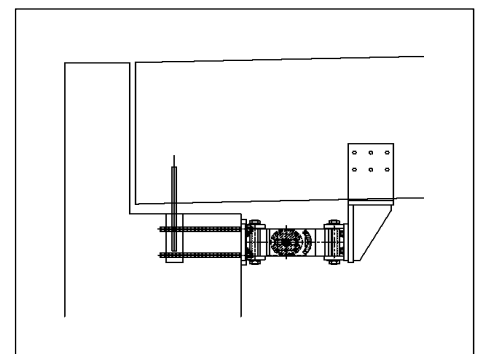


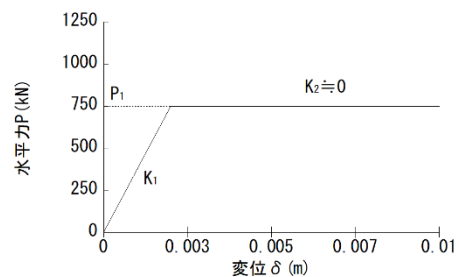
図-2. 減衰機構付き落橋防止装置設置イメージ図

### ② 減衰機構付き落橋防止装置概要の履歴特性

摩擦力(降伏耐力)を上限とするバイリニア型の非線形履歴モデルによる減衰を考慮した。

表-1. 摩擦剛性表

		A1	A2
軸力 (橋台当たり)	P	2500	2500
摩擦係数	$\mu$	0.3	0.3
降伏ひずみ	$\delta_o$	2.0	2.0
1次剛性	K1	375.00	375.00
2次剛性	K2	0.000	0.000
降伏荷重	Qd	750.0	750.0



キーワード：落橋防止装置，減衰機構，近接施工

連絡先：〒700-8617 岡山県岡山市北区津島京町三丁目1番21号 TEL：086-252-8917

### 3. 解析結果

解析結果を下表に示す。減衰機構付き落橋防止装置の効果により、柱段落し部が弾性応答に留まる結果を得た。なお、橋脚柱基部においては、応答値が13%程度減少することも確認できた。

表-3. 解析結果一覧表

レベル2 タイプⅠ (橋軸方向)					
P2 橋脚	(上段)最大応答曲げモーメント/初降伏曲げモーメント, (下段)比率			平均値	降伏判定
	I-I-1	I-I-2	I-I-3		
設置前(既設)	15346.2/15129.0	15398.9/15129.0	-15422.3/-15129.0	1.018	降伏
	1.016	1.018	1.019		
設置後	13579.4/15129.0	15375.6/15129.0	-15350.8/-15129.0	0.976	弾性
	0.898	1.016	1.015		
レベル2 タイプⅡ (橋軸方向)					
P2 橋脚	(上段)最大応答曲げモーメント/初降伏曲げモーメント, (下段)比率			平均値	降伏判定
	I-II-1	I-II-2	I-II-3		
設置前(既設)	15376.1/15129.0	15396.2/15129.0	-15389.5/-15129.0	1.017	降伏
	1.016	1.018	1.017		
設置後	15364.3/15129.0	-15334.9/-15129.0	14357.0/15129.0	0.993	弾性
	1.016	1.014	0.949		

### 4. まとめ

減衰機構付き落橋防止装置を両橋台部に設置することで、交差道路に近接するP2橋脚柱の補強を回避することが可能である結果を得た。本報告では柱の段落し部に対する試計算であったことから橋台毎にN=5箇所での減衰機構付き落橋防止装置を設置する必要が生じたが、柱基部耐力の無補強化に対しては、更に少ない設置数にて対応が可能であると考えられる。また、本装置は小さな変位により減衰効果を得ることが可能なことから、桁遊間の不足に伴うパラペットの打替や伸縮装置の取替が不要であり、通行規制が困難である緊急輸送道路へのメリットは大きいものと考えられる。

ここで、落橋防止装置に減衰効果を見込むことは慎重を要するものと考えており、常時の温度変化への追随、軸力を与える緊張部材のクリープ等の影響についても、実験結果と解析の整合性を確認している状況である。また、小中規模地震及び大規模地震時後の点検方法・取替方法についても検証を実施している。

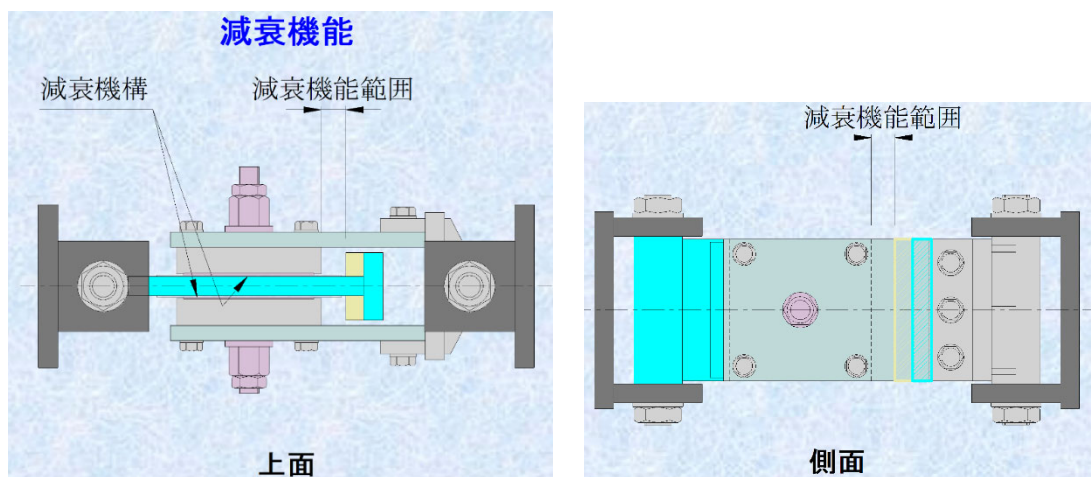


図-3. 減衰機能装置詳細図

### 参考資料

道路橋支承便覧 平成30年12月 社団法人 日本道路協会

## 人力施工できる簡易な段差防止装置の開発について（第2報）

西日本高速道路(株) 技術本部 技術環境部 構造技術課 正会員 ○浅野 貴弘  
NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) 構造技術部 正会員 難波 正幸  
コスモシステム(株) 生産技術部 開発グループ 非会員 櫻井 直樹  
(株)富士技建 事業本部 工事部 工事課 非会員 古賀 太郎

### 1. はじめに

高速道路は、大規模災害により甚大な損傷が発生したとしても緊急輸送路として早期に復旧させ、緊急車両を通行させる使命を有している。しかし、大規模地震により支承部が破壊された場合は、路面に大きな段差が発生するため、復旧作業が難航し、復旧までに多大な時間を要することが予想される。そのため、路面に大きな段差が生じる可能性がある橋梁には、段差防止装置を設置する必要がある。また、一般的な段差防止装置は鋼製又はコンクリート製であり、狭隘空間での資材搬入、設置作業に重機が必要となる等の課題を有している。

筆者らはこれらの課題を解決するために人力かつ短期間で施工できる GFRP 製の簡易な段差防止装置（簡易段差防止装置）を開発し、その静的載荷実験結果について報告している<sup>1)</sup>。

本報では、支承部が破壊され簡易段差防止装置に桁が落下した際の衝撃荷重に対する耐荷性能を検証するために衝撃実験を、簡易段差防止装置の耐クリープ性能を検証するために継続した荷重載荷を行ったので、その内容について報告する。

### 2. 衝撃実験ケース

表-1に衝撃実験ケースを示す。本実験においては、試験体高さ、試験体基数、傾斜有無、荷重の偏心有無および荷重状態の違いによる耐荷性能を検証するために、表-1に示す10ケースについて衝撃実験を行った。簡易段差防止装置に桁が落下する高さを50mmと想定し、この場合に発生する衝撃力を簡易段差防止装置に載荷させるため、図-1に示すクレーンで載荷ウェイトを吊り上げ、これを自由落下させることで桁落下時の衝撃力を再現した。なお、各荷重状態における衝撃力については、載荷ウェイト重量および落下高さを変化させて想定衝撃荷重を再現した。また、桁落下時の偏心の影響および橋座面や主桁勾配等傾斜有無の再現については、図-2に示す載荷状況にて衝撃実験を行った。なお、載荷ウェイト落下時の衝撃荷重は、ディスクセンサを設置することにより計測した（図-2）。その結果、すべての実験ケースにおいて想定衝撃荷重よりも衝撃荷重実測値の値が大きくなった（表-1）。

### 3. 衝撃実験結果

図-3に衝撃力載荷時における簡易段差防止装置の状態を示す。本報告では、図-3に示すCase2、3、5、

表-1 衝撃実験ケース

Case	試験体高さ (mm)	試験体基数	傾斜 (%)		偏心有無	想定桁落下高さ (mm)	荷重状態	想定衝撃荷重 (kN)	衝撃荷重実測値 (kN)
			供試体底面に傾斜	載荷ウェイトに傾斜					
1	400	1	0	0	無	50	死荷重状態	300	600.5
2	400	1	0	0	無	50	設計荷重状態	500	708.1
3	400	1	0	0	無	50	終局荷重状態	800	822.3
4	400	3	0	0	無	50	設計荷重状態	1,500	1886.3
5	400	3	0	0	有	50	設計荷重状態	1,500	1732.0
6	400	3	0	15	無	50	設計荷重状態	1,500	1840.7
7	500	3	0	0	無	50	設計荷重状態	1,500	1925
8	500	3	5	0	無	50	設計荷重状態	1,500	1782
9	500	3	0	5	無	50	設計荷重状態	1,500	1887
10	500	3	5	5	無	50	設計荷重状態	1,500	1692

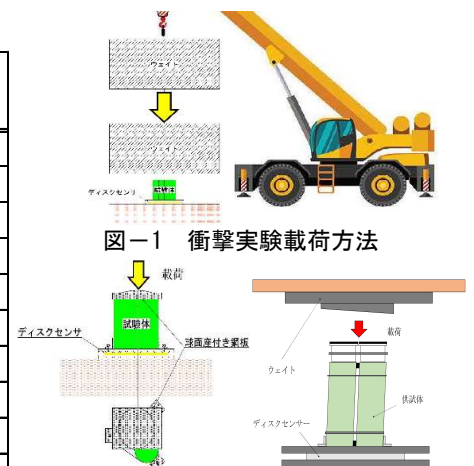


図-2 載荷状況図

キーワード 耐震対策、段差防止、ガラス繊維強化プラスチック、GFRP、人力施工、生産性向上

連絡先 〒530-0003 大阪府大阪市北区堂島1-6-20 堂島アバンザ18F 西日高速道路(株) TEL 06-6344-7392

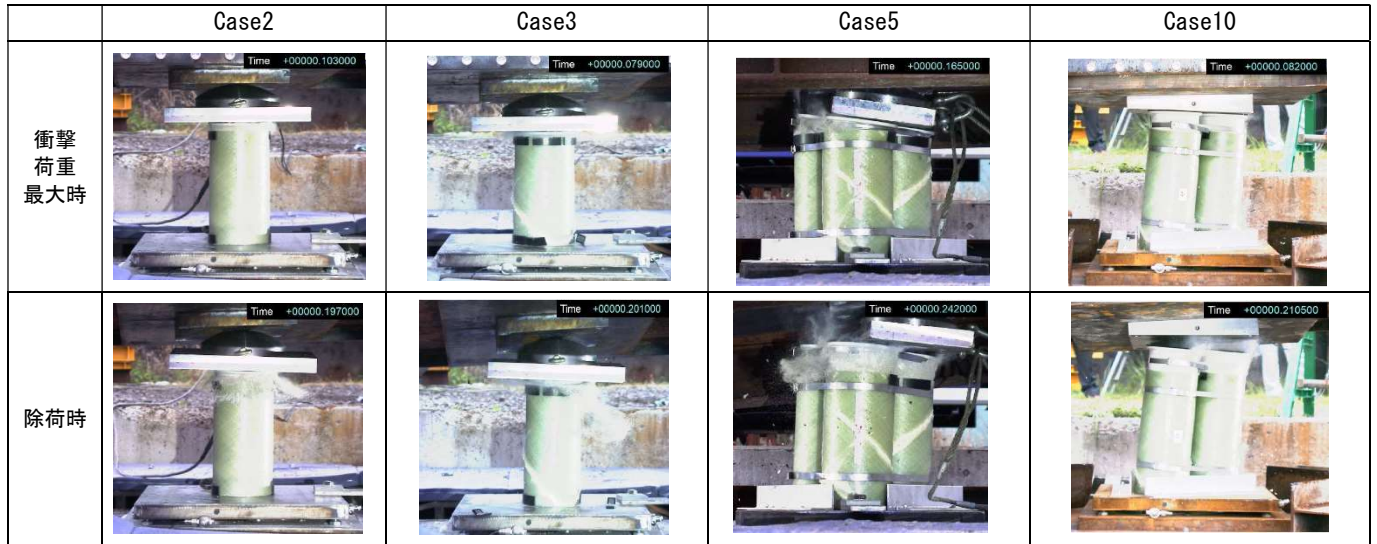


図-3 衝撃力荷重時における簡易段差防止装置の状態

10の結果について報告する。図-3は、載荷ウエイトが簡易段差防止装置に落下し荷重が最大となった時点(衝撃荷重最大時)および載荷ウエイトが簡易段差防止装置から離れ衝撃荷重が0になった時点(除荷時)を高速カメラで撮影したものである。Case2(単体、設計荷重載荷)、Case10(複数、底板・ウエイトとも傾斜、設計荷重載荷)の衝撃荷重最大時には、簡易段差防止装置本体(本体)内部の珪砂が受圧板に圧縮され、本体中央部を膨張させる変形が生じた。除荷時には、載荷ウエイトを簡易段差防止装置が支持し、かつ本体に損傷が生じていないことが確認できた。また、Case10においては、傾斜の影響で生じる水平力が本体を固定する治具に影響がないことも確認できた。終局荷重状態を想定したCase3および設計荷重を偏心載荷したCase5については、試験体に層間剥離が生じたものの脆性破壊には至らず載荷ウエイトを支持できた。これらの結果から、簡易段差防止装置に桁落下による衝撃力が作用した場合、①設計荷重状態相当の衝撃力が載荷された場合は、簡易段差防止装置の本体高さ、底板や載荷ウエイトの傾斜による耐荷性能に与える影響は小さい、②偏心荷重や終局荷重状態相当の衝撃荷重が載荷された場合においても、本体に層間剥離は生じるものの脆性破壊に至ることなく大きな路面段差が生じないことが検証された。

#### 4. 耐クリープ特性の検証

簡易段差防止装置の耐クリープ特性を検証するために、静的載荷試験にて設計荷重である500kNを超える700kNまで載荷し層間剥離を生じさせた状態の試験体を、図-4に示す実験装置にて継続的に7日間、設計荷重を載荷し続け、変形状態を確認した。その結果、最初の2日間で9mm程度の沈下があったものの2日目以降では沈下量に変化はなく、安定して荷重を支持し続けた(図-5)。大規模地震発生後の損傷した橋梁の復旧作業では、早期にサンドル等での桁の仮受けが実施されるため、簡易段差防止装置に要求される耐クリープ性能は満足するものであることが検証された。

#### 5. おわりに

本報では、人力施工できる簡易な段差防止装置の衝撃荷重に対する耐荷性能および層間剥離後の耐クリープ特性を検証した。簡易段差防止装置の開発に協力頂いた関係各位に感謝するとともに、簡易段差防止装置が今後発生する恐れのある大規模地震への対策の一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 浅野他：人力施工できる簡易な段差防止装置の開発について，令和2年度土木学会全国大会 第75回年次学術講演会，CS03-16，2020.9.



図-4 クリープ試験状況



図-5 耐クリープ特性(沈下量)

## 中国自動車道リニューアル工事

### －吹田JCT～中国池田IC間 御堂筋橋(上り線) 橋梁架替え工事での取り組み－

西日本高速道路株式会社 正会員 ○ 古賀 泰輔  
正会員 安里 俊則  
澤村 良弘

#### 1. はじめに

中国自動車道吹田JCT～中国池田ICは1970年の大阪万博開催に合わせて開通した区間であり、鋼桁は短期間での大量生産を目的とした断面の合理化や最小鋼重設計による合成桁が採用されている。断面交通量は新名神開通後約72千台/日から約51千台/日に減少したものの、開通から約50年が経過し累計大型車交通量は1億台を超え、交通量の大幅な増加や車両の大型化などにより、RC床版のひび割れや鋼桁の疲労き裂などの損傷が進行している。このため、NEXCO 西日本では関西都市部の中国自動車道において、令和2年より大規模なリニューアル工事を始動し、橋梁の更新を順次行う計画である(図-1)。当区間において床版取替えを実施する場合は、既設桁の補強量が膨大となることや、床版撤去後の上フランジ補強により通行止めが長期化することが懸念されたため、床版のみならず鋼桁を含めた架替えを実施することとした。リニューアル工事は令和3年度から4年度にかけて約1.5ヶ月間の終日通行止めを計6回実施し、約4.8km(上下線別)の高架橋の床版と鋼桁の架替えを順次行う予定である。

本稿では本格的な更新工事に先立って大阪府豊中市内で国道432号(新御堂筋)と交差する御堂筋橋(上り線)の架替え工事における取組みを紹介する。



図-1 中国道吹田JCT～中国池田IC間工事計画

#### 2. 試験工事及び橋梁更新工事の概要

当該橋梁は鋼3径間連続非合成鉄桁橋で、橋長49.192m(13.35m+21.7m+13.35m)、RC床版厚180mmである。過年度に大型車対応としての縦桁補強や下部工の耐震補強が実施されているが、床版増厚や床版防水工は実施されていない。床版下面の損傷状況は、交通荷重による疲労が要因と考えられる亀甲状のひび割れが発生しており、撤去後の調査では一部で床版上面まで貫通していた。また、並走する府道は約10万台/日、各径間と交差する国道の交通量は、約4万台/日である。

床版取替え検討の結果、新設床版の死荷重増加に伴う既設桁補強や下部工への影響、中国道および交差道路の通行止め期間の最小化を総合的に判断し、鋼床版鉄桁への架替えを行うこととした。また、本工事は以降に実施する大規模な橋梁架替え工事に対する試験工事と位置付け、長期間の通行止めの影響や技術的な取り組みについて確認を行った。試験工事は令和2年6月12日～28日の16日間、中国道吹田JCT～中国池田ICの上下線を終日通行止めにして実施した。

#### 3. 設計・施工における取り組み

設計及び施工計画は、通行止め期間の短縮に重点を置き検討を行った。

鋼床版には、疲労耐久性を向上させるため『取替用高性能鋼床版<sup>1)</sup>』における縦リブ全周溶接構造を採用した。これは、Uリブやバルブリブではなく平リブを用いてスリットの全周を溶接することで、局部応力の低減と維持管理性の向上を図る構造である。また、100年以上の疲労耐久性を確保するため、鋼床版厚は道路橋示方書に示す開断面リブの最小厚の12mmでなく16mmとした(図-2)。鋼床版の添接部の

キーワード 中国道リニューアル、大規模改修、橋梁更新、御堂筋橋、架替え、鋼床版

連絡先 〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町1-13 西日本高速道路(株)関西支社 TEL06-6344-9374

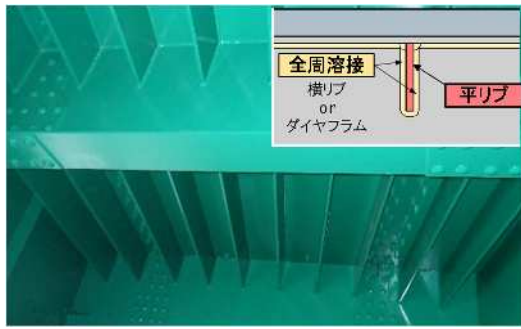


図-2 縦リブ全周溶接構造

一部には、皿型高力ボルト<sup>2)</sup>を試験的に採用した。通常使用されるトルシア形高力ボルトはヘッド高が14mm程度であるのに対し、本ボルトは添接板上面への突出量を2mm以下に抑制することで、ボルト頭部の舗装厚を確保した。また、現場架設時に仮組立形状を再現するため、添接板にドリフトピン用のパイロットホールを設けるが、本現場では、現場作業時間の短縮を目的とし、現場でパイロットホールを皿孔加工できる技術を開発し、添接板を直接使用して架設可能とした。

支承は、固定可動構造から免震構造へ変更し、中間支点部は4主桁に箱構造の横梁を配置し、1支承線あたり2箇所 of 支承配置とした。これにより供用中に新設する支承のベースプレートを先行設置することで、施工時間の短縮を図った。

壁高欄は、コンクリート製防護柵であるプレキャストガードフェンス (PGF) を採用し、鋼床版のデッキプレートを貫通するアンカーボルトで定着させる構造とした。鋼床版上での PGF の採用は初の事例で

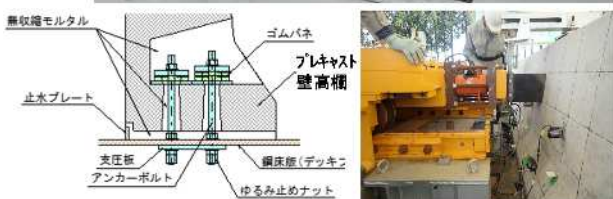


図-3 PGF 構造および衝突載荷試験状況

あったことから、実物大部分模型による静的及び衝突載荷試験を実施し、定着部の耐荷性能を確認した (図-3)。

鋼床版上の基層舗装 (厚さ 40mm) はグースアスファルト舗装 (以下、「グース」) ではなく FB5 (橋梁用レベリング層用混合物) を採用した。これは、今後の工事において、通行止め期間中に複数箇所を同時に施工しなければならないことを鑑み、施工機械の調達が容易で、グースと同等の性能を有する材料を検討した結果、舗装の構成としては、床版防水工 (グレード II 相当) + 橋梁レベリング層用混合物 (FB5) + 表層を使用した。

#### 4. 撤去・架設工事の概要

撤去・架設は、上り線 A1 および A2 背面にそれぞれ 550t オールテレーンクレーン (以下、「ATC」) を、下り線橋面上に 100tATC2 台を配置して実施した。既設床版は約 5t の重量にカッターで切断分割し、4 台のクレーンを使用して撤去した。主桁は、側径間は 550tATC で、中央径間は 550tATC 相吊りで撤去した。中央径間では、主桁を撤去した翌日に主桁を架設するため、撤去桁を速やかに搬出し、架設する桁を即座に搬入する必要があることから、移動式多軸台車を用いて撤去桁の搬出と架設桁の搬入を行った。

作業足場には、交差道路と作業時の安全性を確保するために、梁構造とパネル足場を組み合わせた特殊足場を採用した。これにより国道上での撤去・架設時における足場組立・解体作業の省力化、安定した足場上での撤去・架設作業、国道への飛来落下防護を確保した。

#### 5. おわりに

試験工事の後、令和 3 年 5 月より本格的に開始する中国道リニューアル工事への多岐に渡る準備・調整等に対応いただいた関係者へ謝意を表す。100 年先の安全・安心のため、リニューアル工事に最善を尽くす所存である。

#### 参考文献

- 1) 横関耕一, 横山薫, 石井博典, 渡邊俊輔, 三木千壽, 取替用高性能鋼床版パネルの開発, 建設図書, 橋梁と基礎, 51 (5), 2017.
- 2) 郎宇, 林巖, 山口隆司, 加藤大樹, 足立健, 熊野拓志, 吉田賢二, 連結板ざぐり部の表面処理の仕様が皿型高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に及ぼす影響, 構造工学論文集 vol. 67A, 2021. 3

## ざぐり部の表面処理方法に着目した皿型高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験

大阪市立大学大学院 正会員 ○林 徹  
 大阪市立大学大学院 学生会員 郎 宇  
 JFE エンジニアリング (株) 正会員 熊野 拓志

西日本高速道路 (株) 非会員 澤村 良弘  
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司  
 川田工業 (株) 正会員 吉田 賢二  
 宮地エンジニアリング (株) 正会員 田中 伸尚

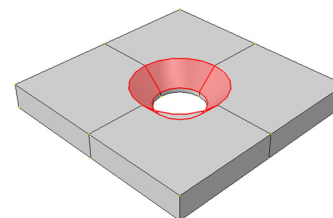
## 1. 研究背景および研究目的

皿型ボルト継手の連結板ざぐり部の表面処理は、連結板の工場製作を想定して無機ジンクリッチペイントを基本としている。一方、現場でざぐり加工が可能となれば、パイロットホールのある母材と接合する仮連結板も不要となり、現場施工時間の短縮に大きく貢献できる。これを実現するためには、ざぐり加工後の連結板に対して無機ジンクリッチペイントと同等のすべり耐力を確保できる、ざぐり部の表面処理が必要であり、可能であればブラスト作業が省略できる無塗装、現場施工が可能な有機ジンクリッチペイントといった表面処理が望ましい。そのため、これらの表面処理がすべり耐力に与える影響を定量的に明らかにする必要がある。

本研究では、皿型ボルト継手のざぐり部の表面処理の違いによるすべり耐力への影響を検討するために、図1に示すように、連結板のざぐり部に対して、無機ジンク、無塗装、有機ジンク、の3種類の表面処理を施した皿型高力ボルト摩擦接合継手試験体のすべり試験を実施した。

## 2. 試験体

本試験では、すべり側のボルトの種類、ざぐり部表面処理仕様、ざぐり部切削深さ、母板・連結板孔径をパラメータとした。試験体の形状および寸法を図2に、試験ケースとその構造詳細を表1にそれぞれ示す。ざぐり部の現場切削誤差は、最も大きい場合で0.5mm程度生じることがわかっており、ざぐり深さが9.75mm(許容範囲の上限値)、9.25mm(切削誤差の下限値)となるように設定した。なお、実際にざぐり加工後の試験体の切削深さを計測したところ、9.7mm、9.2mmであった。板厚は、鋼床版デッキプレートの継手を想定し、母板の板厚 $t_m$ は16mm、連結板の板厚 $t_{spl}$ は12mmとした。ボルトには、M22 (F10T)を用いた。すべての試験体の母板・連結板間の接合面はブラスト処理後、無機ジンクリッチペイント75 $\mu$ mを目標に塗布した。ざぐり面の塗装は、ざぐり面塗膜厚の基準がないため、当該箇所に必要な防錆仕様を考慮し、無機・有機ジンクリッチペイントともに30 $\mu$ mを目標に塗布した。締付け軸力はすべり側では設計軸力の1割増しである226kNとし、固定側では設計軸力の1.2

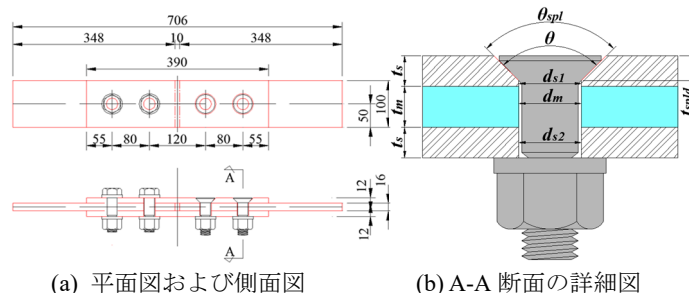


(a) 着目箇所



(b) 無機ジンク (c) 無塗装 (d) 有機ジンク

図1 連結板ざぐり部の表面処理仕様

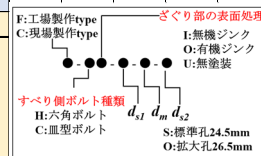


(a) 平面図および側面図 (b) A-A 断面の詳細図

図2 試験体の形状および寸法 (単位:mm)

表1 ケースおよび構造詳細

試験ケース	試験体番号 No.	すべり側ボルト種類	孔径		母板・連結板間表面処理	ざぐり部切削深さ $t_{spl}$ (mm)	連結板板厚 $t_s$ (mm)	母板板厚 $t_m$ (mm)	摩擦面数 $n$	頭部開き角度 $\theta$ (°)	ざぐり部開き角度 $\theta_{spl}$ (°)
			すべり側 $d_{s1}$	固定側 $d_{s2}$							
F-HI-12S-16S-12S	1	HTB M22 F10T	24.5	無機ジンク							
	2										
	3										
	4										
	5										
C-CU-12S-16S-12S	1		24.5	無塗装							
	2										
	3										
	4										
	5										
C-CO-12S-16S-12S	1		24.5	有機ジンク							
	2										
	3										
	4										
	5										
C-CI-12S-16S-12S	1	皿型 M22 F10T	24.5	無機ジンク							
	2										
	3										
	4										
	5										
F-CU-12O-16O-12O	1		26.5	無塗装							
	2										
	3										
	4										
	5										
F-CI-12O-16O-12O	1		26.5	無機ジンク							
	2										
	3										
	4										
	5										



キーワード：高力ボルト、すべり試験、すべり係数、皿型ボルト、ざぐり部、表面処理

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138 TEL&FAX 06-6605-2765



倍とした。試験はリラクゼーションによる軸力低下を考慮して、締付け完了から48時間以上とした。

### 3. 試験結果

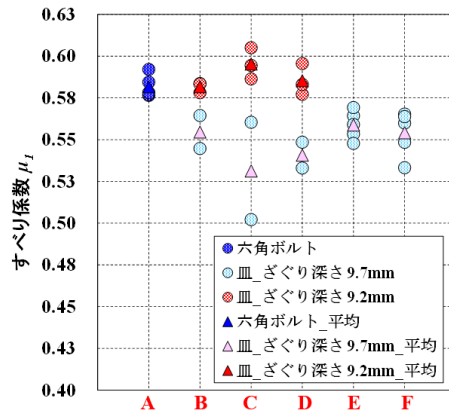
すべり係数の分布を図3に示す。図より、ざぐり部の切削深さが9.7mmから0.5mm程度浅くなると、ざぐり部の表面処理によらず、C-CI-12S-16S-12S、C-CO-12S-16S-12S、C-CU-12S-16S-12Sのすべり係数は、それぞれ8%(0.541→0.585)、12%(0.531→0.595)、5%(0.555→0.582)上昇した。切削深さが小さくなるにつれて、ざぐり下端の円筒部の板厚が増加し、締付けによるざぐり部の塑性化が抑えられる。その結果、これによる皿型ボルト軸力の低下が抑えられ、すべり耐力が向上したと考えられる。また、全ての接合面に無機ジンクリッチペイントを塗布したC-CI-12S-16S-12S(ざぐり深さ:9.2mm)のすべり係数は、F-HI-12S-16S-12Sのそれと比較して約1%(0.585←0.582)の差異であり、高力ボルトのすべり係数と同等以上であった。

ざぐり部深さが9.2mmの場合、ざぐり部に有機ジンを塗布したC-CO-12S-16S-12S、無塗装のC-CU-12S-16S-12Sのすべり係数は、無機ジンを塗布したC-CI-12S-16S-12Sのそれと比較してそれぞれ約1.6%、0.5%の差異であり、同程度と判断できる。また、ざぐり部深さが9.7mmの場合についても、C-CO-12S-16S-12S、C-CU-12S-16S-12Sのすべり係数は、C-CI-12S-16S-12Sのそれと比較してそれぞれ約1.8%低下、2.5%上昇したものの、明瞭な違いが認められなかった。このように、ざぐり部の表面処理の違いによるすべり耐力への影響は小さいことがわかる。これは、ボルト頭部とざぐり部の角度が異なると、ボルト頭部とざぐり部にクリアランスが存在するため、ボルト頭部とざぐり部の接触面積が小さくなり、ざぐり部の表面処理がすべり耐力に及ぼす影響が小さくなったと考えられる。一方、皿型ボルトの本締付時にはボルト頭部が変形し、線接触から面接触へ移行するが、試験後のざぐり塗装面の破壊性状を観察すると、表面処理方法によらず、ざぐり面の2/3程度は塗装の破壊は生じておらず健全状態にあるため、締付け後もクリアランスが存在することがわかる。なお、図5に示すように、表面処理を変えても、締付時にボルト頭部とざぐり部の共回りは発生しない。

標準孔に対して+2mmの拡大孔を有する場合、F-CI-12O-16O-12Oのすべり係数は、C-CI-12S-16S-12Sのそれと比較して約2%上昇する結果となり(0.541→0.554)、拡大孔による影響はほぼない。F-CU-12O-16O-12Oのすべり係数は、C-CU-12S-16S-12Sのそれとほぼ同じ値(0.559→0.555)を示した。

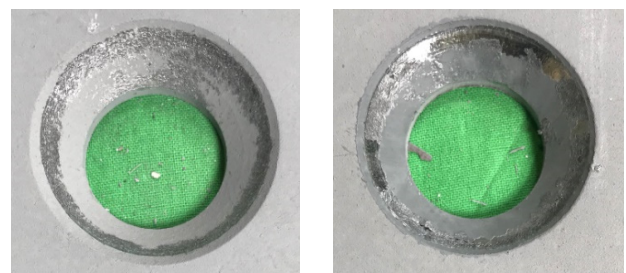
### 4. まとめ

- 1) 皿型ボルト継手のすべり係数は、ざぐり部の切削深さが許容範囲の上限値9.7mm程度であれば、高力六角ボルト継手



A: F-HI-12S-16S-12S B: C-CU-12S-16S-12S C: C-CO-12S-16S-12S  
D: C-CI-12S-16S-12S E: F-CU-12O-16O-12O F: F-CI-12O-16O-12O

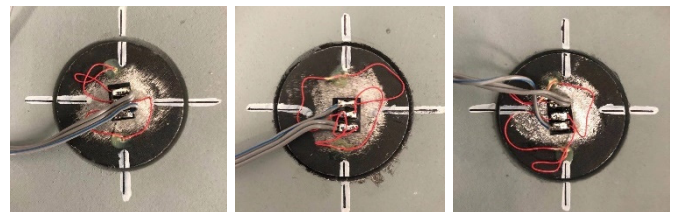
図3 すべり係数分布



(a) 無機ジンク

(a) 有機ジンク

図4 ざぐり部塗膜の破壊状況(試験後)



(b) 無機ジンク

(b) 無塗装

(c) 有機ジンク

図5 締付後の様子

のそれより7%程度低下した。切削深さが小さくなればすべり耐力が改善され、それが9.2mm程度になると高力ボルトのすべり係数と同等であった。

- 2) 標準孔に対して+2mm程度の拡大孔がすべり耐力に与える影響は小さい。また、拡大孔を有する場合においてもざぐり部の表面処理の違いによるすべり耐力への影響も小さい。
- 3) 連結板のざぐり部の表面処理が異なっても、締付時にボルト頭部とざぐり部の共回りは認められなかった。
- 4) 以上のことから、本試験で設定した範囲では、ざぐり部の表面処理がすべり耐力に及ぼす影響は小さいと判断される。

### 参考文献

- 1) 田畑晶子ら：皿型ボルトを用いた摩擦接合の継手特性に関する研究，構造工学論文集，Vol.59A，pp.808-819，2013。