

論文・報告

熊本地震により被災した鋼桁橋の復旧

～九州自動車道 白川橋他 1 橋震災復旧工事～

Restoration Works of the Shirakawa Bridge Damaged by the Kumamoto Earthquake

福田 健作 *1

FUKUDA Kensaku

柳原 辰徳 *2

YANAGIHARA Tatsunori

三小田 智之 *3

SANKODA Tomoyuki

真田 隆正 *2

SANADA Takamasa

松口 幹保 *3

MATSUGUCHI Mikiyasu

青木 芳夫 *4

AOKI Yoshio

白川橋は熊本市北区に位置し、2016年4月16日に発生した熊本地震の震源地からは、約10kmしか離れておらず、地震により支承部が損傷し耐震機能を喪失した。本工事は、被災した白川橋の耐震機能を早期回復させるための復旧工事であり、復旧に際しては現行基準を満足するように細部の見直しを行い耐震性能の向上をはかった。本稿では、耐震性能の向上のために行った、主桁の連続化、鋼製支承からゴム支承への取替および伸縮装置取替工について設計、施工上で留意した内容について報告を行う。

キーワード：支承取替、主桁連続化、機能分離型支承、伸縮装置取替、落橋防止装置

1. はじめに

白川橋は、1971年に供用が開始された九州自動車道の植木IC～熊本IC間に位置する橋梁である(図1)。架橋地点は、2016年4月16日に発生した熊本地震の震央から約10kmの位置にあり、気象庁の発表した推計震度分布によれば震度6弱の揺れを受けた橋梁である(図2)。震災により、舗装、壁高欄および伸縮装置等の橋面部には車両の走行を阻害するような損傷はなかったが、鋼製

支承の一部が損傷を受け荷重支持機能を消失しており、応急処置を行い供用している状況であった。A1-P4 径間は支間長3@20.50m+20.335mの単純合成H形鋼桁(4連)、P4-A2 径間は支間3@50.0mの鋼3径間連続合成I桁で構成されており、橋長は235.0m、全幅員11.80mである(図3,4)。本工事では単純桁形式であったA1-P4 径間部を耐震性に優れる連続桁形式へ改良、固定可動タイプの鋼製支承からゴム支承への取替および移動量の増加に対応する伸縮装置取替について報告する。

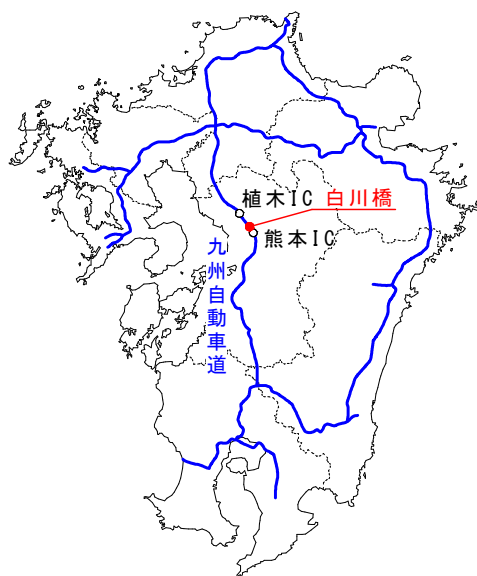
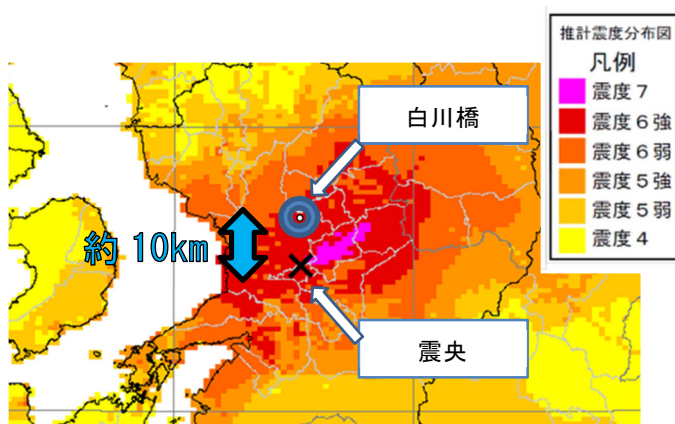


図1 位置図



2016年4月16日01時26分頃の熊本県熊本地方の推計震度分布図(気象庁ホームページより)

図2 震源との位置関係

*1 川田建設㈱九州支店技術部技術課 課長

*2 川田建設㈱九州支店工事事務課 工事長

*3 川田建設㈱九州支店工事事務課

*4 川田建設㈱九州支店工事事務課 課長

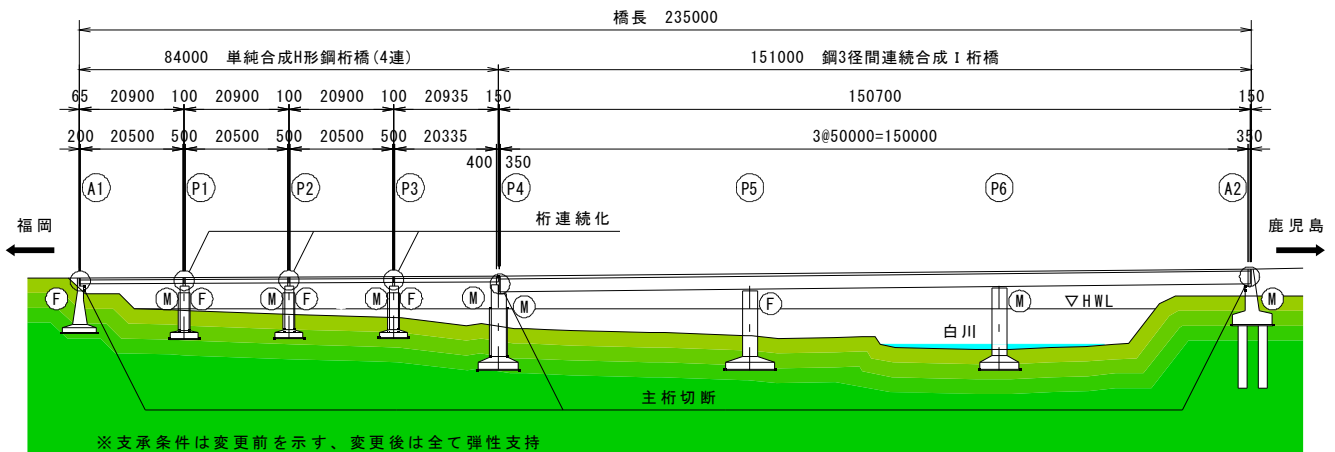


図3 橋梁側面図

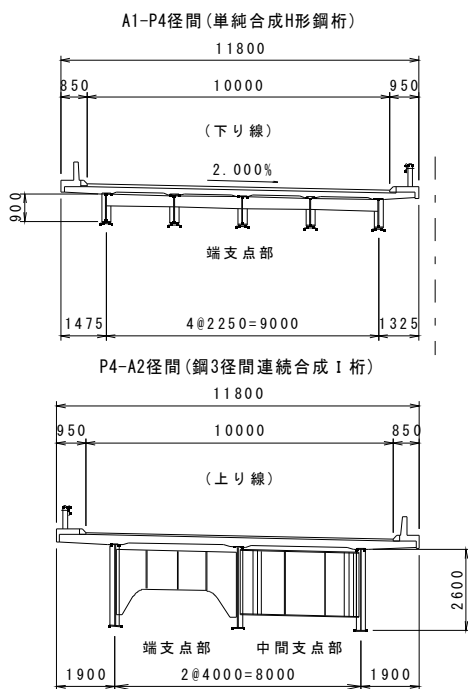


図4 橋梁断面図

2. 橋梁および工事概要

発注者：西日本高速道路株式会社 九州支社
 熊本高速道路事務所
 工事名：九州自動車道 白川橋他1橋震災復旧工事
 施工箇所：植木IC～熊本IC間
 構造形式：(A1-P4径間) 単純合成H形鋼桁
 (P4-A2径間) 鋼3径間連続合成I桁
 橋長：235.000m
 支間割：3@20.500+20.335+3@50.000m
 施工範囲：支承取替，主桁連続化，伸縮装置取替，落橋防止装置設置，検査路取替，下部工補修
 工期：2016年11月～2020年2月
 (図3，図4)

3. 被災状況

A1-P4径間の既設支承には線支承が採用されており，地震による水平力を受けた部位である台座コンクリートの損壊が散見されたが，支承本体には大きな損傷はなかった。中間支点部では，隣接径間のウェブを簡易的に連結した連結板を固定していた連結ボルトが破断している箇所があった(写真1，2)。

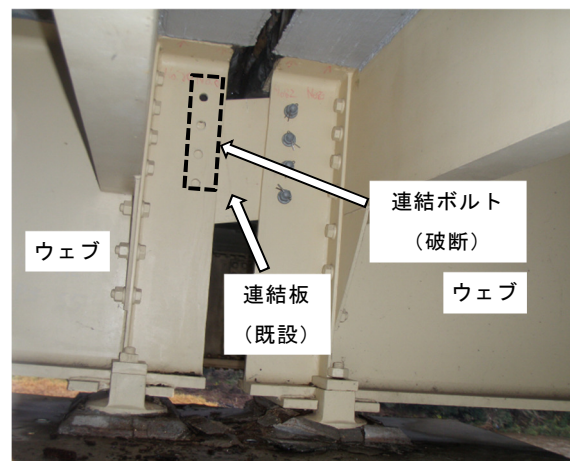


写真1 中間支点部損傷状況



写真2 破断した連結ボルト

P4-A2径間の既設の支承にはピン・ローラー支承が採用されていたが，可動支承部はローラーが脱落し鉄板を挿入して応急処置した箇所もあった(写真3)。固定支承

部はピンが破断している箇所があり、こちらも応急処置をして供用している状況であった（写真4）。

地震時の水平力が集中する支承部には損傷している箇所が散見されたが、橋の主部材である鋼桁やコンクリート床版には目立った損傷はなかった。



写真3 脱落したローラー



写真4 破断したピン

4. 主桁連続化

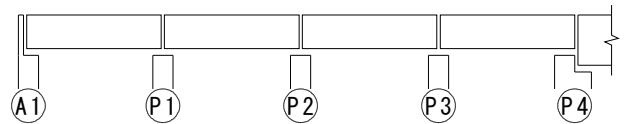
(1) 落橋防止対策の選定

A1-P4 径間の構造形式は、4連の単純合成H形鋼桁であり、今回の地震では支承部以外に大きな損傷はなかったが、耐震性の観点からみると落橋の可能性の高い形式である。そこで、耐震性能を向上させるため、中間支点部で主桁を連結し、4径間連続桁形式とすることとした。なお、主桁を連続化せずすべての中間支点部に落橋防止装置を設置する方法も考えられるが、初期コストと維持管理の面で不利となるため、主桁連続化を採用した（図5）。

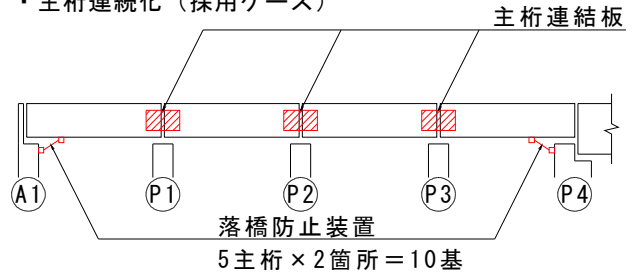
(2) 主桁連続化の構造

主桁連続化の基本構造は、隣接する既設主桁のウェブを連結板（モーメントプレート、シャーププレート）で連結することとし、活荷重に対して連続桁形式とする。上側（引張側）モーメントプレートは、垂直補剛材も含めて連続した部材とするのが望ましいが、隣接する既設桁どうしの上下、左右、および傾きのずれが大きかったため、垂直補剛材については引張ボルトにより引張応力に抵抗する構造とした。下側（圧縮側）モーメントプレートは、支圧板により圧縮応力を伝達する構造とした（図6）。なお、上下フランジは添接していない。

・単純桁形式（当初）



・主桁連続化（採用ケース）



・落橋防止装置

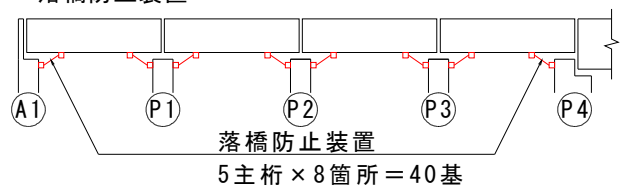


図5 落橋防止対策

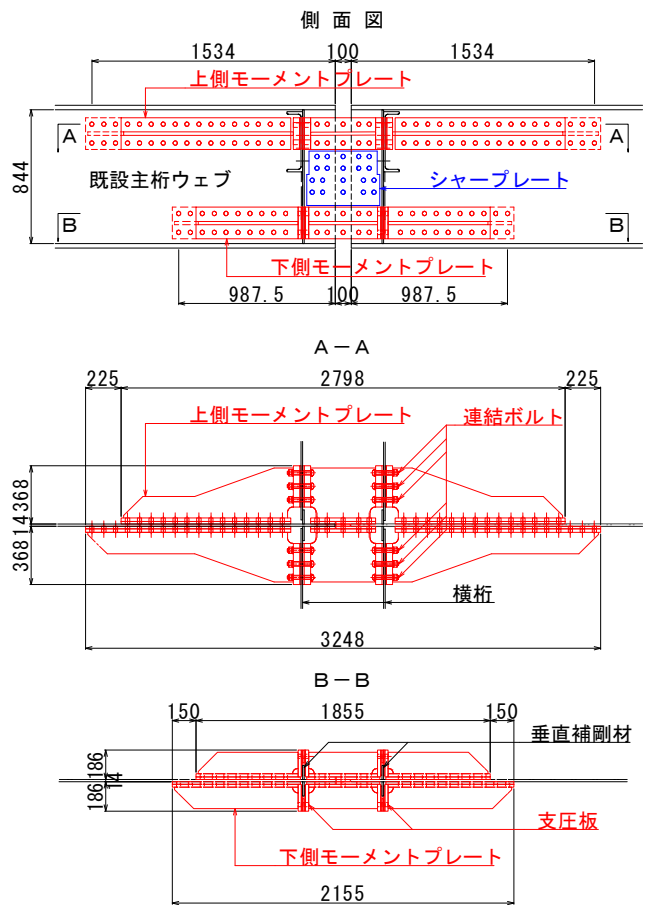


図6 連結板設置図

(3) 主桁連続化の効果

主桁を連続化することにより、活荷重による断面力が低減され、現行の B 活荷重とした場合でも、当初の TL-20 活荷重による断面力を上回らないことが確認できた（表 1）。主桁連続化により主桁補強を行うことなく、現行活荷重に対応が可能となった。

表 1 支間中央部の活荷重最大曲げモーメント比較 (kN・m)

		G1	G2	G3	G4	G5
単純桁※1		1544	1451	1471	1430	1375
連続桁 ※2	A1-P1	1157	1107	1093	1087	1047
	P1-P2	968	937	935	922	871

※1：TL-20

※2：B活荷重

5. 支取替工

(1) 支の設計

A1-P4 径間は、主桁連続化により温度変化による主桁伸縮挙動が変化することと、L2 地震に対する耐震性能を確保するため、反力分散支取を採用し水平力を各下部工へ適切に分担させることとした。連続化したことにより中間支点部には負反力が発生する恐れがあるため、支の鉛直バネ値を調整する必要があった。通常の鉛直、水平支持機能一体型の分散支取の場合、鉛直バネの調整により支取形状が大型となり、コストが増大する。また、既設の線支取高が低く、支取を設置する桁下空間が狭隘なため、機能分離型の分散支取を採用した（図 7）。

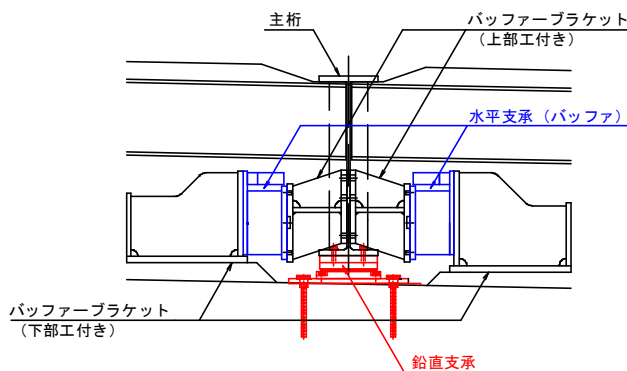


図 7 A1-P4 径間支取設置状況

P4-A2 径間は、水平力分散構造とした場合、既設支取条件が可動である P6 橋脚が耐震照査を満足できなかったため、免震支取を採用した。現地測量の結果 P4 橋脚、A2 橋台は桁下空間が小さく、通常の免震支取の配置ができないため、機能分離型の免震支取を採用した。P4 橋脚部、A2 橋台部には横桁が配置され（図 4）、橋座上に縦置き水平支取を配置することができない。そこで、橋座前面に鋼製のブレイクを設置し、水平支取を設置することとした（写真 5）。

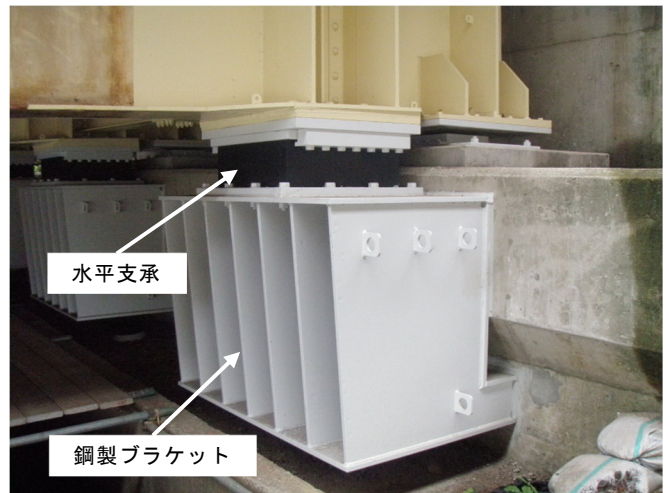


写真 5 A2 橋台支取設置状況

(2) 鉛直支取の設置

支取条件を変更した耐震設計の結果、A1 橋台、P4 橋脚および A2 橋台部の移動量が増大し、鉛直支取のスライディングプレート寸法が大きくなり、当初の支取位置ではスライディングプレートが桁端からはみ出してしまふ。そこで、取替後の支取を橋軸方向にシフトして配置した。新たな支取設置位置には、垂直補剛材、横桁等を配置し、主桁補強を実施した（図 8）。

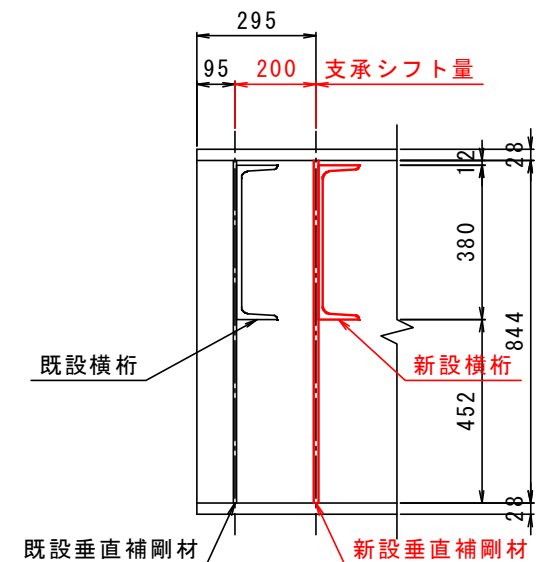


図 8 支取位置の変更（A1 橋台）

(3) 水平支取の設置

A1-P4 径間は、桁高 900mm、桁間隔 2250mm と水平支取の配置スペースが狭いため、下部工付きブレイクを桁間で一体化した。上部工付きブレイクは、主桁連続化のために設置するシャーププレート、下側モーメントプレートと同じ箇所に取り付ける必要があるため、干渉しないように形状寸法を決定した。その結果、1 支取

線上の支承が主桁を挟んでボルトで全て連結され、支承の取付けが難しい配置方法となった。そこで、事前に隣接する主桁の折れ、倒れ、間隔等を計測し、取付けブラケットの製作図を作成した。さらに、製作図を元に 3D-CAD で支承設置図を作成し、連結プレートとの取り合いを確認した (図 9, 写真 6)。

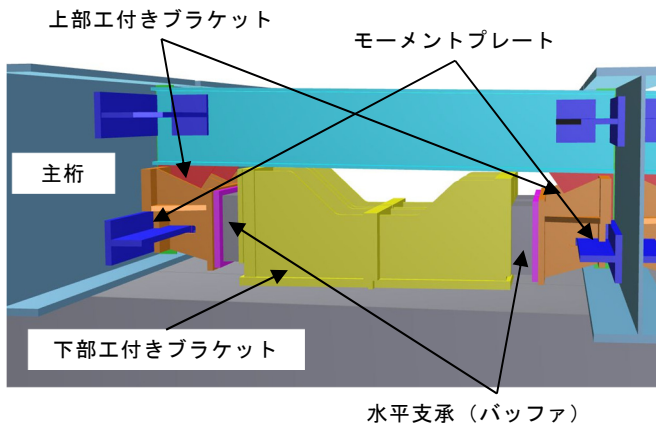


図 9 水平支承設置状況 (P1 橋脚)



写真 6 水平支承設置状況 (P1 橋脚)

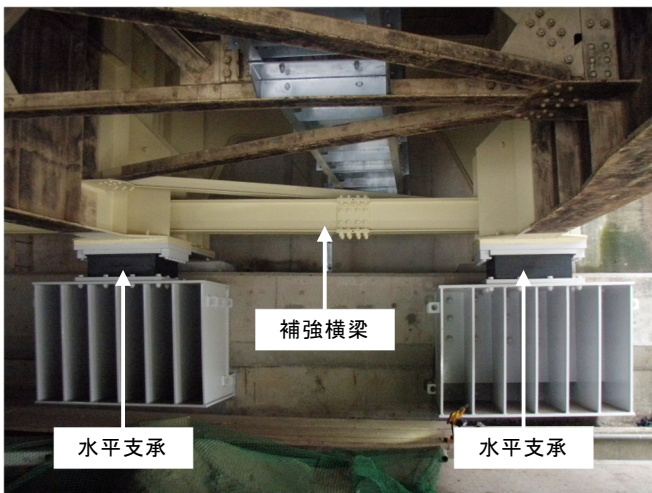


写真 7 主桁補強状況 (A2 橋台)

P4 橋脚部, A2 橋台部の水平支承は、橋座前面の鋼製ブラケット上に配置され、地震時の水平力を主桁に伝達する。その際に主桁が損傷しないように、作用する水平力に対して必要な耐力を有する補強横梁と垂直補剛材を配置し補強を行った (写真 7)。

6. 伸縮装置取替工

(1) 遊間の確保

A1 橋台部には製品ジョイント, P4 橋脚部, A2 橋台部にはフィンガージョイントが設置されていたが、いずれも動的解析より算出された桁端遊間量を満足できなかった。桁端遊間量を確保するために鋼桁端部, 床版端部の切断と合わせて伸縮装置の取替を実施することとした。動的解析結果より桁端遊間量は, A1 橋台: 65→170mm, P4 橋脚, A2 橋台: 150→340mm とした (図 10)。

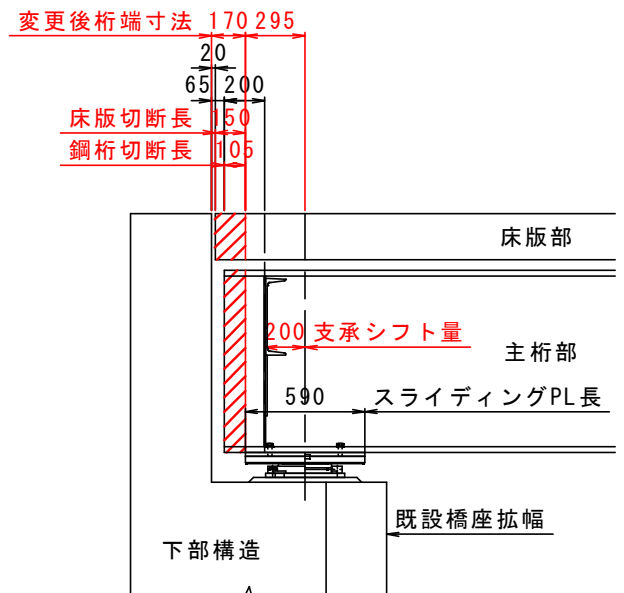


図 10 桁端遊間量の変更 (A1 橋台)

(2) 伸縮装置のタイプ選定

白川橋は、朝夕の利用者の多い熊本 IC から福岡方面へ約 1.5km の地点に位置しており、連続交通規制ができないため、日々交通規制を解除しながら施工する必要があった。規制時間帯は上・下線で異なるが、連続して規制できるのは、1日当り 9 時間である (表 2)。1日の作業サイクルである、伸縮装置取替作業、現況復旧、交通開放を限られた時間内で確実にを行う必要があるため、作業効率に優れる製品ジョイントを選定した。

表 2 車両交通規制時間

時刻	1	4	8	12	16	20	24
上り線			← 9時間 →				
下り線			← 9時間 →				

(3) 既設伸縮装置の撤去

架設地点には、食品工場や民家が隣接しているため、伸縮装置撤去時の騒音を可能な限り低減する必要があった。そこで、特殊ワイヤーソーにより乾式水平切断が可能なSJS（サイレンス・ジョイント・スライス）工法を採用した。これにより、従来のブレイカーを使用した作業にくらべて大幅な騒音低減が可能となった。また、鋼製フィンガージョイント部の切断も同時に実施でき、工程の短縮にもつながった（写真 8）。

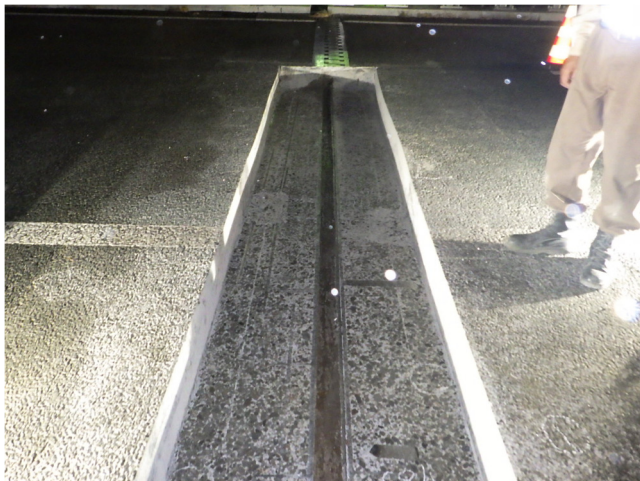


写真 8 既設伸縮装置撤去状況 (P4 橋脚)

(4) 施工ステップ

伸縮装置取替は、全面交通規制とならないように走行車線、追い越し車線に分割して実施した（図 11）。1日の施工サイクルは、伸縮装置の撤去段階で多少異なるが、（本線規制）→（既設伸縮装置撤去）→（仮復旧）→（本線規制解除）となる。これを1箇所当たり5日間繰返し、伸縮装置取替を完了した。

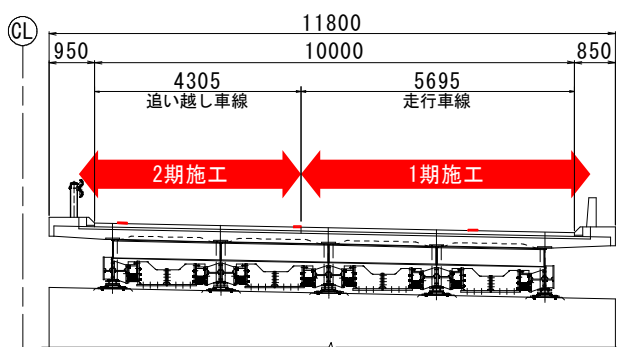


図 11 伸縮装置の分割撤去範囲

(5) 現況復旧について

前述のとおり連続交通規制ができないため、日々、現況復旧し交通開放する必要があった。そこで、作用する輪荷重に対して必要な耐力を有する仮復旧鋼板を製作し、伸縮装置の撤去箇所に設置して現況復旧を短時間で作業完了できるように工夫した（図 12）。

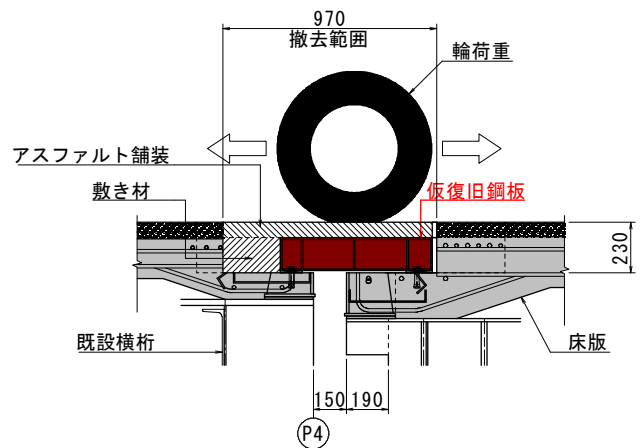


図 12 仮復旧鋼板設置図

7. おわりに

白川橋の復旧工事は 2020 年 2 月に竣工予定である。関係各位に対し深く感謝の意を表すとともに、本稿が今後の類似工事の参考となれば幸いである。