

第1回定期研究会

平成 29 年度 第 1 回 SGST 定期研究会 議事録

日 時：平成 29 年 4 月 14 日 16:00～17:30

場 所：名城大学 天白校舎 研究実験棟Ⅱ 多目的室

出席者：青畷【フジヤマ】，安藤【日本工営】，安藤(浩)，飯坂，中本【中部復建】，井澤【共和電業】，石井【ショーボンド】，石橋【日本ペイント】，入山【中日本C】，上田，坂部，櫻井，高地，松村【瀧上工業】，大塚，西嶋【宇野重工】，岡本，高橋【橋梁調査会】，小畑【名工大】，柏森【計測リサーチC】，加藤(正)，小塚，山田(健)【中日本H】，川瀬【日中C】，川西【豊田工専】，北根，舘石【名大】，木下【岐阜大】，小枝，萬谷【川田工業】，新川【別府建設】，谷川【コベルコ科研】，長瀬，中村(信)，村瀬，山田(尚)【日車】，永井【日綜産業】，中原【日本橋梁】，竹ノ内，中村(保)【住友理工】，長町【日本鋳造】，原田【復建エンジ】，藤井【パルステック工業】，前川【デンソー】，牧野【福美建設】，松田【中部地整】，水谷【JFE エンジニアリング】，山田(翔)【ヤマダイインフラテクノス】，山辺【徳倉建設】

以上 49 名(敬称略)

1. 定期研究会

講演① (16:00～17:30)

講演者：九州大学大学院工学研究院 社会基盤部門教授 日野 伸一氏

講演項目：【九州における道路橋の建設・維持管理における最近の話題】

講演内容

講演【九州における道路橋の建設・維持管理における最近の話題】

震度 7 の大地震が立て続きに襲来した 2016 年熊本地震から、まる 1 年が経過しようとしている。まだ被災地の爪あとは残っているものの、応急復旧から本格復旧・復興に向けて着実に進展がみられる。その中で、講演者が復旧技術検討会の座長として携わった国道 325 号阿蘇大橋の架け替えルートと橋梁形式選定、九州・大分自動車道の木山川橋および並柳橋の復旧対策検討の話題について紹介された。加えて、供用後 40 年を超え損傷の進む関門橋の大リフレッシュ工事や、土木遺産のデ・レーケ導流堤の上に建設される自動車専用有明海沿岸道路の筑後川橋・早津江川橋の設計検討など、最近の九州における代表的なトピックスについて紹介された。

本講演では、非常に活発な質疑応答が行われた。

以上

九州における道路橋の建設・維持管理に関する最近の話題

九州大学大学院工学研究院
社会基盤部門

日野伸一



- KABSE(九州橋梁・構造研究会)の紹介
- 熊本地震～阿蘇大橋の架替え検討
- 熊本地震～木山川橋、並柳橋の本格復旧
- デ・レーケ堤の上に架ける筑後川橋・早津江川橋の設計検討
- 関門橋の大リフレッシュ工事



熊本地震2016 ～阿蘇大橋の架替え検討～

斜面崩壊の概要

位置図

<被災日時>
平成28年4月16日1時25分頃
※地震発生時刻

<被害状況>

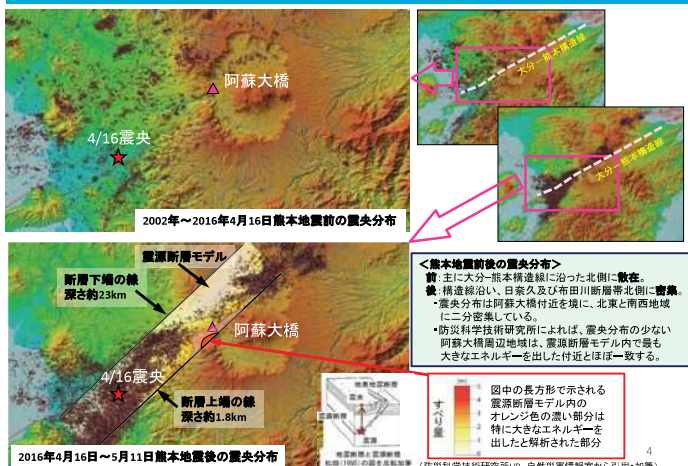
- ・公共施設被害
国道57号(阿蘇大橋地区)
国道325号阿蘇大橋
JR豊肥線

<斜面崩壊規模>

- ・崩壊長 約700m
- ・崩壊幅 約200m
- ・崩壊土砂量 約50万m³
(地震直後のLP測量からの推定値)



各種調査 震央分布調査

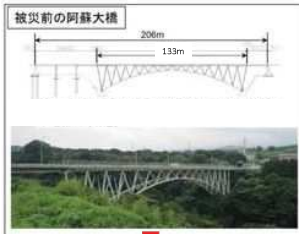


国道57号、国道325号被災状況

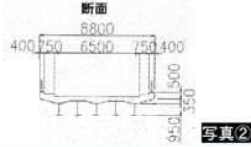


国道325号 阿蘇大橋の概要

国土交通省
九州地方整備局



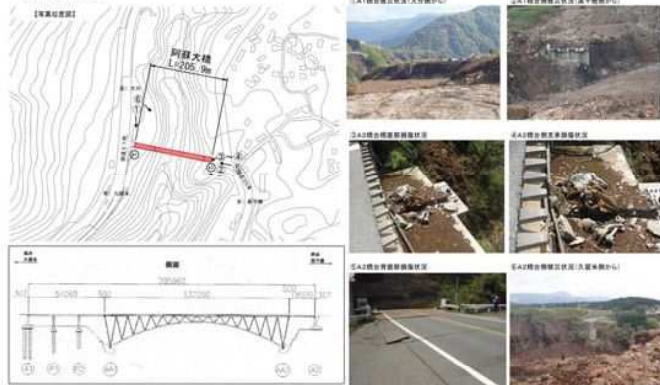
- 【橋架諸元】**
- 橋架名：阿蘇大橋
 - 管理者：熊本県阿蘇地域振興局
 - 施工者：石川島播磨重工業
 - 橋種：3径間連続桁+トラスト遊ランガー+単純合成桁
 - 橋梁：205.9m
 - 最大支間：132.7m
 - 幅員：8.8m
 - 竣工年次：昭和46年



国道325号 阿蘇大橋橋台部被災

国土交通省
九州地方整備局

<阿蘇大橋橋台部被災写真>



復旧ルート設定の基本的考え方(案)

国土交通省
九州地方整備局

今回の震災を踏まえて安全性が高いルート

可能な限り早期に復旧可能

阿蘇観光の玄関口としての機能確保

地域間交流の保持
(南阿蘇村の地域分断の解消)

各種調査 地質調査

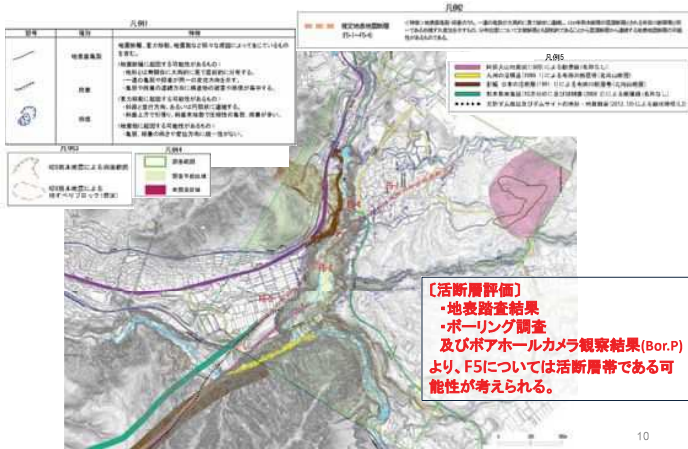
国土交通省
九州地方整備局

地質調査は、架け替え位置の基礎資料とするため、阿蘇大橋の上・下流に渡って広範囲に実施。



各種調査 活断層評価結果

国土交通省
九州地方整備局



阿蘇大橋架け替え位置 架け替え位置

国土交通省
九州地方整備局

概要及び候補案

阿蘇大橋の架け替え位置は、熊本地震による被災箇所を踏まえて、当初位置に加え、上流側および下流側の4案を検討する。

架け替え位置検討案	コンセプト
A案	国道57号斜断面リスクの回避を図った最下流の架け替え案
B案	国道57号斜断面リスクの回避を図った下流側の架け替え案
C案	当初の復旧後戻りを基本とした架け替え位置の架け替え案
D案	想定断層との交差を回避した上流側の架け替え案



阿蘇大橋架け替え位置 比較検討結果

国土交通省
九州地方整備局



最適な架け替え提案：B案
 ■同様の震災が発生した場合の甚しい被災箇所との通過が無く、道路リスクが低い。また、斜面崩壊箇所等による被災箇所（通行止め箇所）の通過を回避した架け替え位置。
 ⇒「安全性が高い」、「早期に復旧」
 ■主交通方向を考慮した迂回のない龍本市内寄りの架け替え案であり、地元要望も高い。南阿蘇村内（中心部、立寄地区）コミュニティ確保に寄与。⇒「阿蘇の玄関口」、「交通の円滑性、利便性」

【架け替え位置の評価】
 A案：天然記念物の阿蘇北内谷原地帯を通過するため影響が大きい。
 B案：主交通に対して円滑性・利便性が高く、被災箇所を回避して通過できる。
 C案：斜面大崩壊箇所にも最も近接し、安全性リスクが最も高い。
 D案：主交通に対して迂回道があり円滑性・利便性が低い。斜面大崩壊箇所の上流側であり、国道57号接続部の山側斜面にも崩落リスクがある。

国道325号阿蘇大橋架け替え位置周辺

国土交通省
九州地方整備局



柱状節理による
トッピング

橋梁形式選定にあたっての留意点

国土交通省
九州地方整備局

<安全性>

- ・黒川右岸に想定される推定活断層を避けた下部構造の配置
- ・地盤変状が生じた場合でも落橋や倒壊に至りにくい構造

<施工性>

- ・可能な限り工期の短い構造

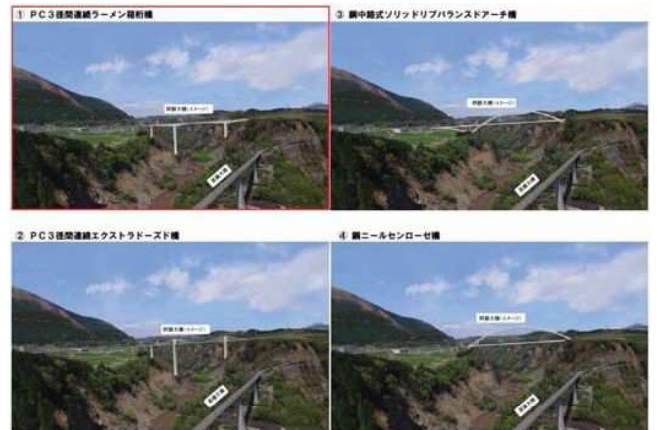
<景観性>

- ・阿蘇観光の玄関口としてシンボル性にも配慮

14

架け替え橋梁の構造形式2次案

国土交通省
九州地方整備局



橋梁構造形式の評価比較

国土交通省
九州地方整備局

	推定活断層	地盤変状	工期	景観性	評価
第1案：PC3径間連続ラーメン箱桁橋	中間橋脚が推定活断層より100m程度の離隔がある断層交差部は単純桁	斜面上部の端支点が移動しても自立可能	○ 5.3年	◎ 周辺になじむ	○
第2案：PC3径間連続エクストラード橋	中間橋脚が推定活断層より100m程度の離隔がある断層交差部は単純桁	斜面上部の端支点が移動しても自立可能	○ 5.8年	◎ 橋面上にアクセントがある	◎
第3案：鋼中路式アーチ橋	橋脚が推定活断層と近い側径間が断層と交差	橋脚支点が移動する影響が大きい	△ 5.8年	○ シンボル性が高い	◎
第4案：鋼ニールセンローゼ橋	橋脚が推定活断層と近い断層交差部は単純桁	橋脚支点が移動する影響が大きい	△ 6.3年	△ シンボル性が高い	◎

最終決定：PC3径間連続ラーメン箱桁橋



Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

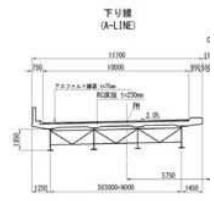
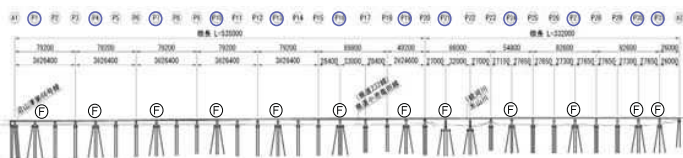
17

熊本地震2016 ～木山川橋・並柳橋(NEXCO)の 本格復旧～

木山川橋



橋梁概要



橋梁形式：鋼3径間連続非合成鈹桁橋×9連
鋼2径間連続非合成鈹桁橋×2連
鋼単純合成鈹桁橋×1連

橋長：867.0m

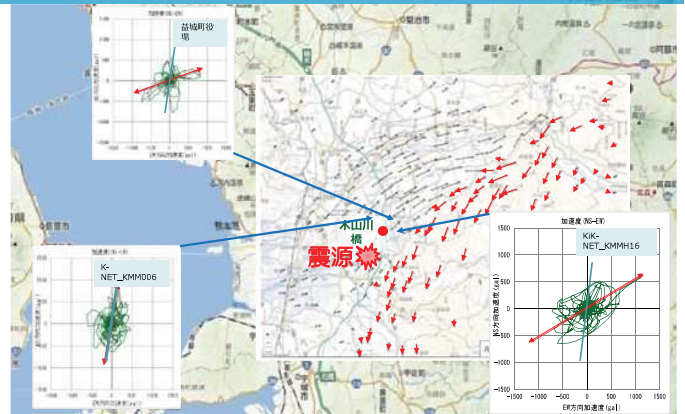
基礎形式：打込み鋼管杭φ800

震災対策内容：
 ✓ 橋脚RC巻き立て
 ✓ 横変位拘束構造(河川部のみ)

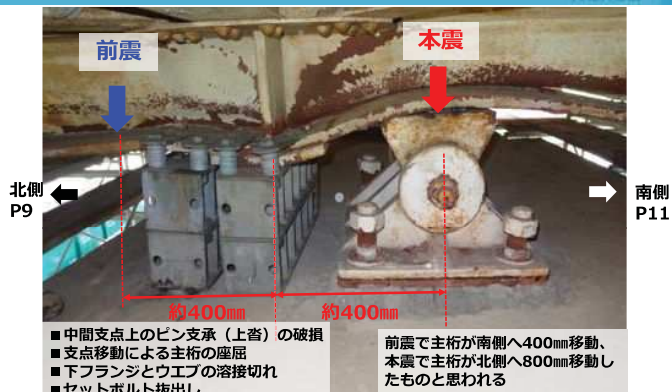
供用年月：1976(昭和51)年



加速度波形(本震)



木山川橋の代表的な損傷(上りP10 G3桁/支承)



- 中間支点上のピン支承(上咨)の破損
- 支点移動による主桁の座屈
- 下フランジとウェブの溶接切れ
- セットボルト抜出し

前震で主桁が南側へ400mm移動、
本震で主桁が北側へ800mm移動した
ものと思われる



木山川橋の代表的な損傷(上りP18 G1桁/支承)



木山川橋の代表的な損傷（上下線P1）

支承アンカーボルトからの押し抜きせん断破壊



P1橋脚(下り線)中分側

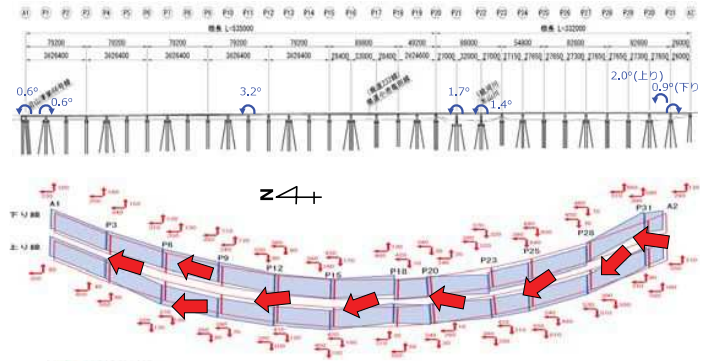


P1橋脚(下り線)梁天端

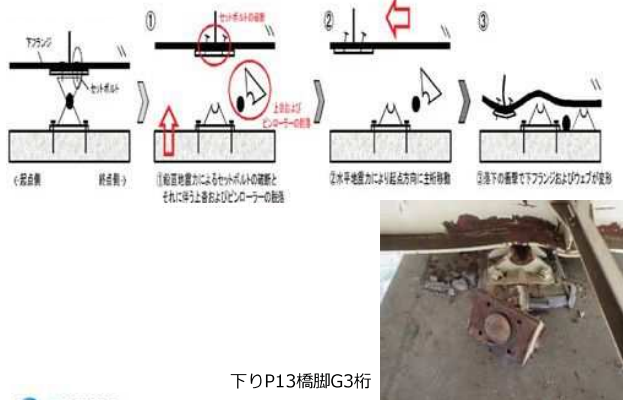


P1橋脚(上り線)梁天端

主桁・下部工の水平変形量（概略）

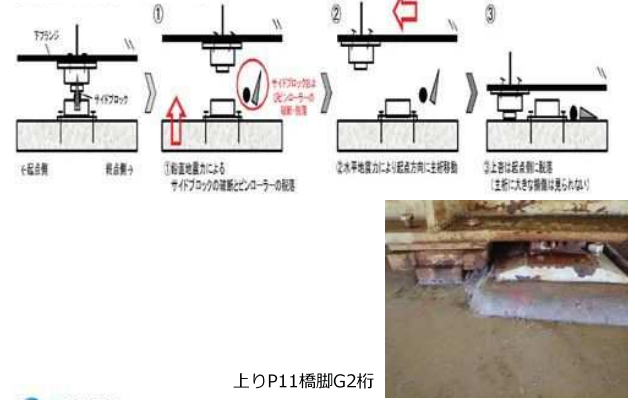


損傷原因の推定（固定支点部）



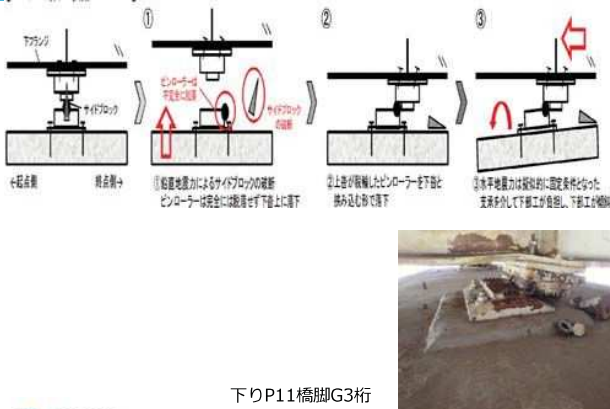
下りP13橋脚G3桁

損傷原因の推定（可動支点部）



上りP11橋脚G2桁

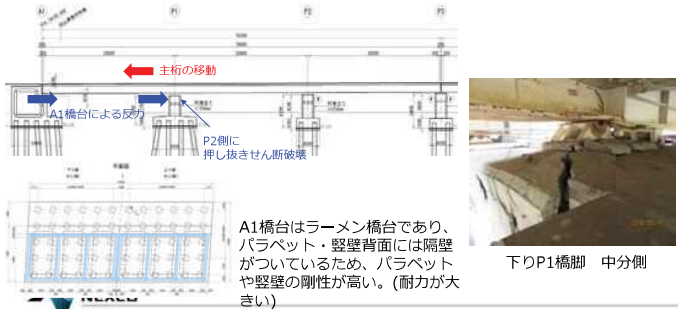
損傷原因の推定（下りP11可動支点部）



下りP11橋脚G3桁

損傷原因の推定（下りP1橋脚張出部）

- 地震時上揚力でセットボルトの破断とピンローラーの脱落。
- 地震時水平力で起点側に桁が移動し、残った下巻の上に桁が落下。
- 落下の衝撃とともに、A1橋台側に桁が移動した際、A1橋台のバラベットの衝突するも、バラベットの剛性が高いため、その反力がP1橋脚の支承を介して伝わり、P2橋脚側に押し抜きせん断破壊が生じた。



下りP1橋脚 中分側

補修・補強方針

■復旧の補修・補強設計は、レベル2地震動に対して、地震による損傷が限定的なものに留まり、橋としての機能回復が速やかに行い得る性能（耐震性能2）を確保する。

1. 損傷した主桁の補修・補強



2. 損傷した支承のタイプB支承への取替え※



3. 下部構造の補修・補強



4. 落橋防止システムの設置

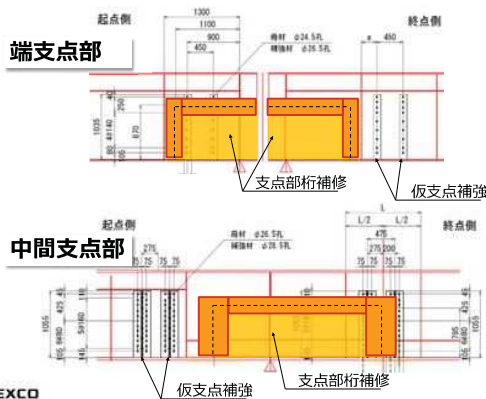
補修・補強方針

※タイプB支承への取替えについて

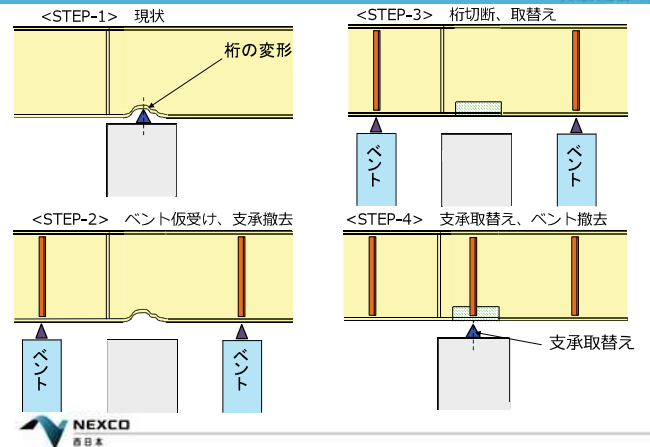
今回の熊本地震において、支承単独で大規模地震に抵抗できないタイプA支承は全て破損した。

このため、今回の支承取り替えでは、今後の支承点検等、維持管理性を考慮して、支承単独でレベル2地震に耐え、変位制限構造が省略できるタイプB支承に取り替えるものとする。

損傷した主桁の補修・補強（木山川橋）



損傷した主桁の補修・補強（木山川橋）



損傷した橋脚の補修・補強設計基本方針

柱部 既設と同等の耐力となるよう補修・補強を行う。

➢補強後の許容塑性率以下の場合には既設鉄筋が引張に対して有効に働くものと考え、柱の補強は行わない。

➢補強後の許容塑性率以上の場合、既設鉄筋の耐力は期待せずフーチングに補強主鉄筋を定着したRC巻立てを行い、耐力を元に戻す。(基部にさらなる曲げ耐力は付加しない。)

フーチング 柱の耐力と同程度となるよう補修・補強を行う。

➢フーチングのひび割れが認められた場合PC鋼棒にて締め付けを行い、ひび割れの一体化を図る。

➢不足する耐力を補うため、フーチングの上・下面及び側面の増厚を行う。

沓座

➢沓座の補修と耐力増加を兼ねた縁端拡幅を行う。

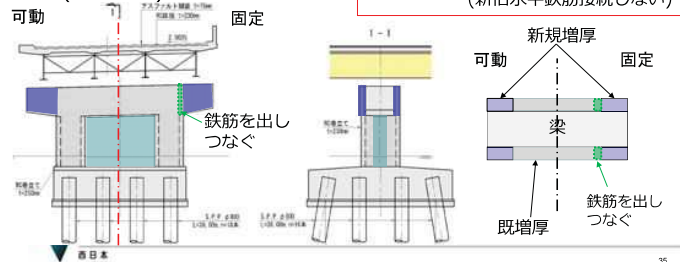
下部構造の補修・補強（木山川橋共通）

復旧方針：耐震性能は「耐震性能2」を確保する。

➢動的解析結果を踏まえて橋軸直角方向の梁と柱のせん断補強およびフーチングの耐力向上のための補強壁を設置する。

➢支承取替に伴う支承縁端距離確保および水平方向曲げ耐力増加のため、既設の張出部に250mmの増厚(縁端拡幅)を行う。

固定 P1 : 張出梁撤去・再構築
その他 : 増厚補強
(新旧水平鉄筋接続)
可動 : 縁端拡幅
(新旧水平鉄筋接続しない)

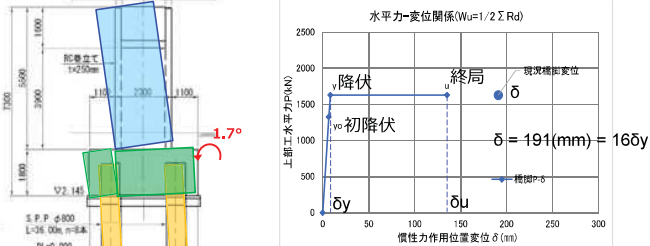


下り線 P11橋脚傾斜角度から見た柱基部の状態

計算(プッシュオーバー解析)による損傷状態の推定

3.2°(橋脚全体の傾斜) - 1.7°(フーチングの傾斜)
= 1.5°(柱のみの傾斜)

柱部のみの傾斜が1.5°とした時、橋脚天端での変位量は191mmとなり、柱の水平力-変位関係は以下ようになる。



よって、終局時の変位を大幅に上回るため、柱基部の鉄筋は塑性化していると判断し耐力には期待しない。

下部構造の損傷 (下り線P11橋脚柱部)

現地状況による損傷状態の推定



柱の増厚部(鉄筋非定着)の他は、ひびわれ等大きな損傷はない。しかし、既設部の状態は確認できていないため、計算(プッシュオーバー解析)による損傷が発生しているものとして補修・補強を行う。



下部構造の損傷 (下り線P11橋脚フーチング)



フーチングのせん断ひび割れ



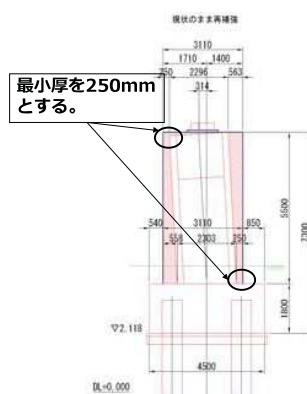
フーチング上面の亀裂



フーチング側面(中分側)の亀裂



下り線P11橋脚補修・補強設計(柱部)



最小厚を250mmとする。

傾斜により不足する縁端距離を補うと共に柱の外観を補修するために柱の巻立てを行う。

柱基部の鉄筋は塑性化(補強後の許容塑性率以上)していると推察されるため既設鉄筋の耐力には期待せず、増厚部の鉄筋をフーチングに定着させる。



下り線P11橋脚補修・補強設計(フーチング)

現況の柱基部の鉄筋は塑性化しているものとして柱部の補強は行ったが、実際にどれほど塑性化しているかの判断は困難である。

そのため安全側に考え、既設柱基部の鉄筋が健全+増厚部とする条件で基部の耐力を試算した上で、フーチングの耐力>基部の耐力となるよう設計する。

※RCのみでは増厚量が大きくなる(1.5m)ためH型鋼を使用し、

せん断耐力=(現況のせん断耐力)+(H型鋼のせん断耐力)として設計する。



下り線P11橋脚補修・補強設計(フーチング)

H24道示Ⅳ 耐震設計編 P247より



...フーチングでは、コンクリートが負担できるせん断応力度が大きくなるので、少なくとも柱前面からフーチング厚さの1/2までの範囲はせん断力に対する照査を行う必要はなく...

現行基準ではせん断照査が不要な位置

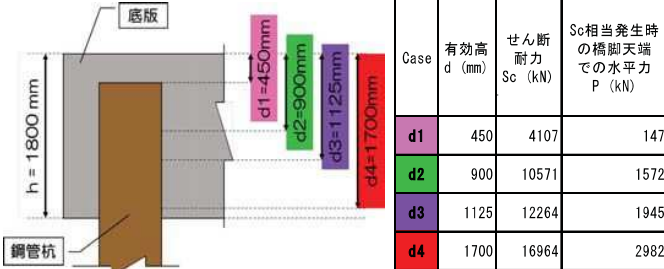
P11橋脚はフーチングの厚さと柱からの張出長の関係からせん断に対する照査が不要な形状とされているが、実際にはせん断ひび割れが発生している。

杭頭結合方法Aが原因と推察し、実際にフーチングが保有していた耐力を推定する。



下り線P11橋脚補修・補強設計(フーチング)

フーチングの保有していた耐力の推定

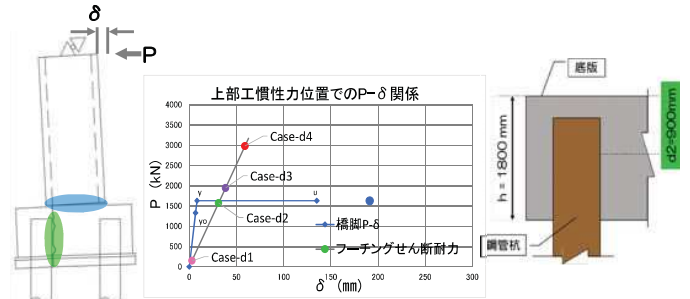


P11橋脚では、柱とフーチングの両方に損傷が発生していることから、フーチングのせん断耐力は柱の終局耐力と同程度であったと推察される。そこで、解析により柱の終局耐力と同等のせん断耐力となるフーチングの有効高の推定を行った。



42

下り線P11橋脚補修・補強設計(フーチング)



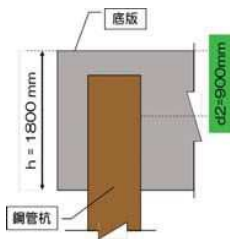
解析より、柱と同程度の耐力となるのはCase-d2の有効高900mmの場合であるため、せん断耐力にはフーチング厚の半分程度しか寄与していないものとする。



43

下り線P11橋脚補修・補強設計(フーチング)

現状のフーチングせん断耐力



現状、フーチングにはせん断ひび割れが発生しているため、ひび割れを考慮したフーチングのせん断耐力を推定する。

現状のフーチングせん断耐力

$$Sc = (\text{有効高さ}900\text{mmでのコンクリートせん断耐力}) \times (\text{損傷を考慮した安全率})$$

$$= 10,571\text{kN} \times 0.5$$

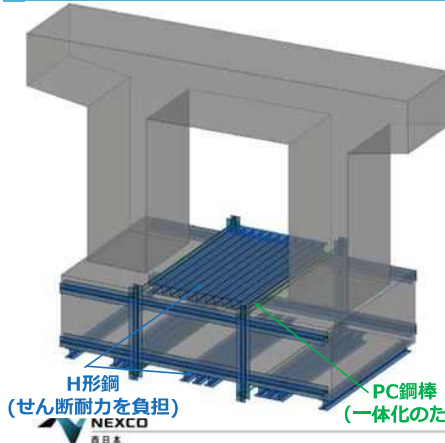
$$= 5,285\text{kN}$$

発生せん断力が約25,000kNであることから、不足するせん断耐力を補うため、次のような補強を行う。



44

下り線P11橋脚補修・補強設計(フーチング)



- ①H型鋼及びPC鋼棒を用いてフーチング橋軸方向にプレストレスを導入し、せん断ひび割れを閉じる。
- ②H型鋼で不足する耐力を補う。(現状せん断耐力+H型鋼のせん断耐力>発生せん断力とする。)
- ③H型鋼を含め全体を覆うようにRC増厚を行う。

※RCのみでは増厚量が大きくなる(1.5m)ためH型鋼を使用する。

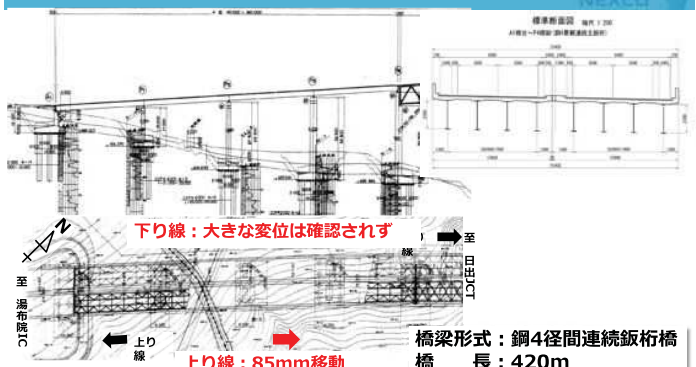


45



並柳橋

橋梁概要 (飯桁部)

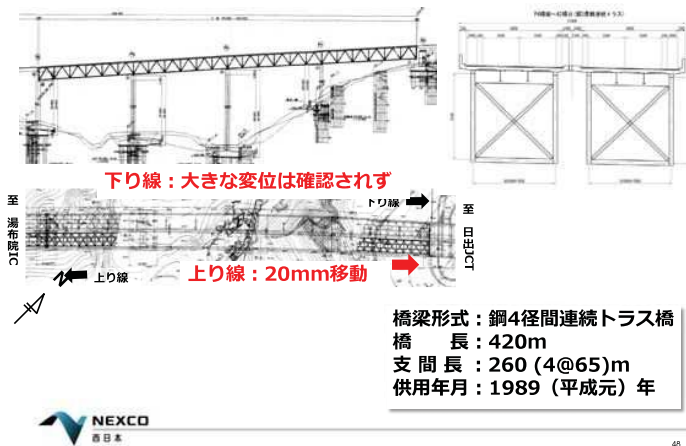


橋梁形式：鋼4径間連続飯桁橋
橋長：420m
支間長：160 (4@40)m
供用年月：1989 (平成元) 年

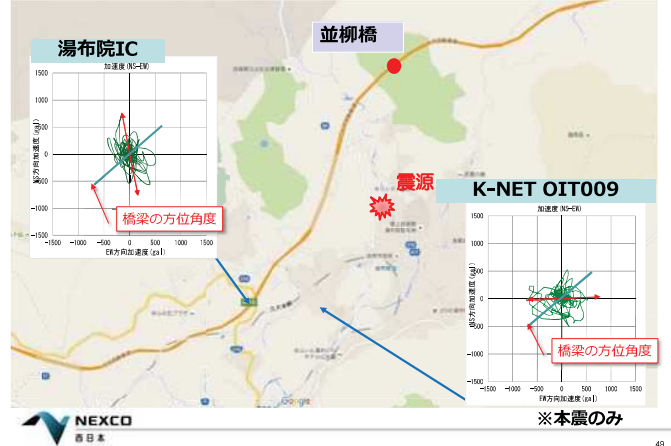


47

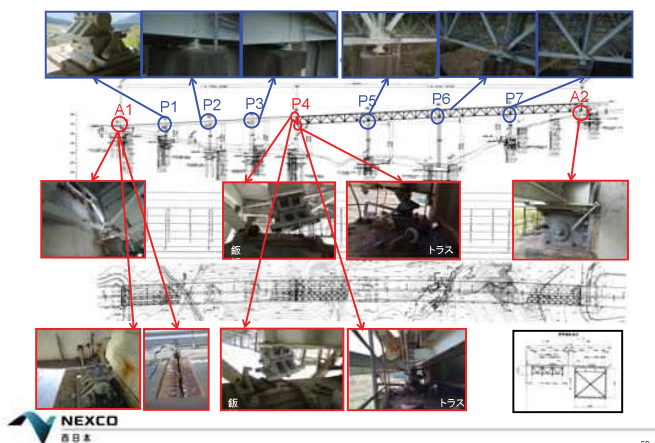
橋梁概要（鋼トラス部）



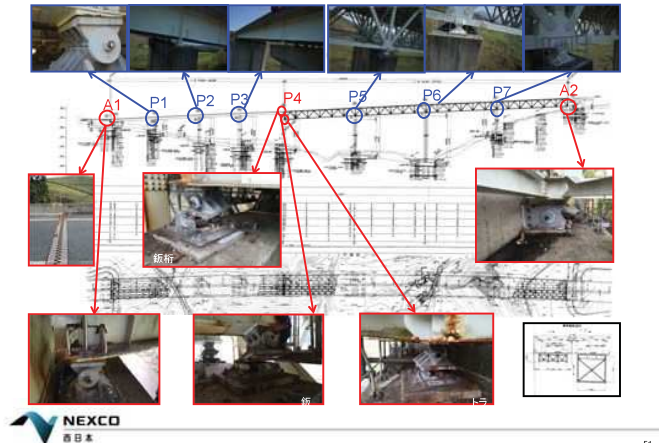
観測地震動（4/16）



損傷状況全体図(上り線)



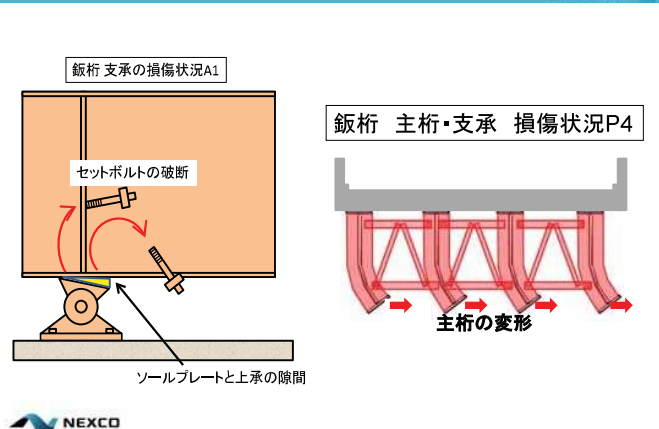
損傷状況全体図(下り線)



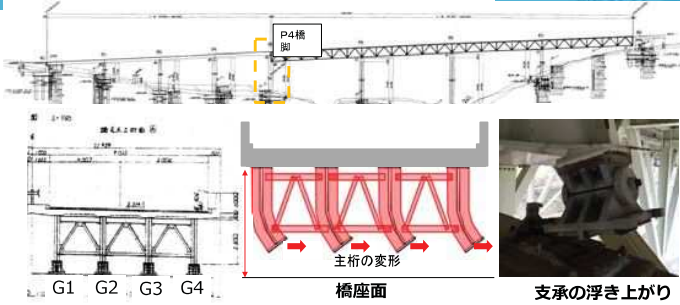
損傷の詳細（上り線）



損傷の詳細



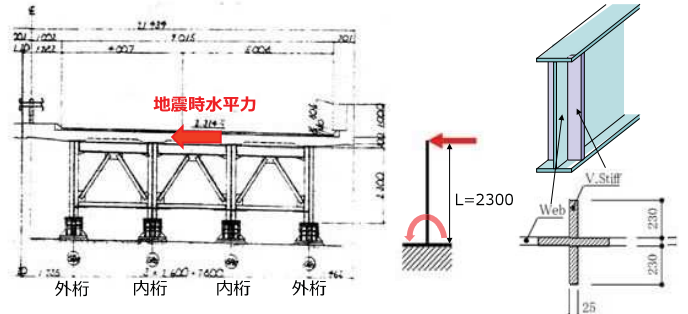
鈹桁の面外曲げ耐力



鈹桁区間の端支点部(A1橋台、P4橋脚)で主桁部の変形、支承の浮き上がり等、大きな損傷が確認された。

端支点部と中間支点の違いを調べるため、耐力照査を行った。

鈹桁の面外曲げ耐力



- ✓ 鈹桁部の各支点について、外桁と内桁のそれぞれの面外座屈耐力を算出。
- ✓ 支点部の鉛直スティフナーの耐力も考慮。

鈹桁の面外曲げ耐力

橋脚	直角方向水平力 (kN)	面外曲げ耐力(降伏) (kN)	判定
A1	4557	1093	降伏を超過
P1	3286	5683	耐力以下
P2	3641	5683	耐力以下
P3	5171	5683	耐力以下
P4	6266	1093	降伏を超過

※大分強震動の観測波形を入力した動的解析結果

- ・実際に損傷したA1橋台、P4橋脚で面外曲げ耐力を超過する結果となった。
- ・中間橋脚は鉛直スティフナーが大きいので、耐力も大きい。

復旧の方針

■ 支承

既設支承の支承高さが高く、レベル2地震動による逸脱の可能性が高いことから、熊本地震によって損傷した支承と併せて、その他の支承についてもレベル2地震動に対する耐震性能を満足する支承に取替える。

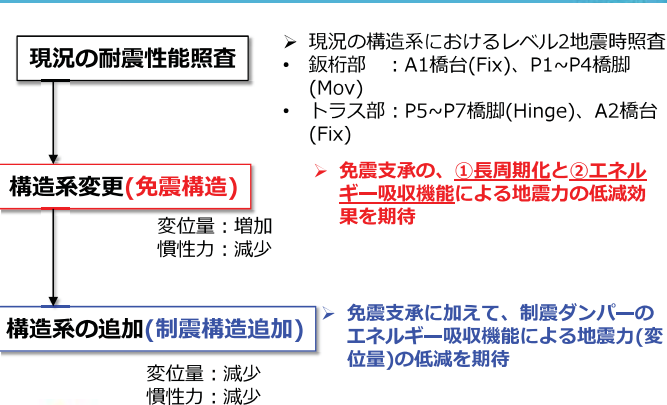
■ 上部構造

熊本地震によって変形した部材を補修・補強する。

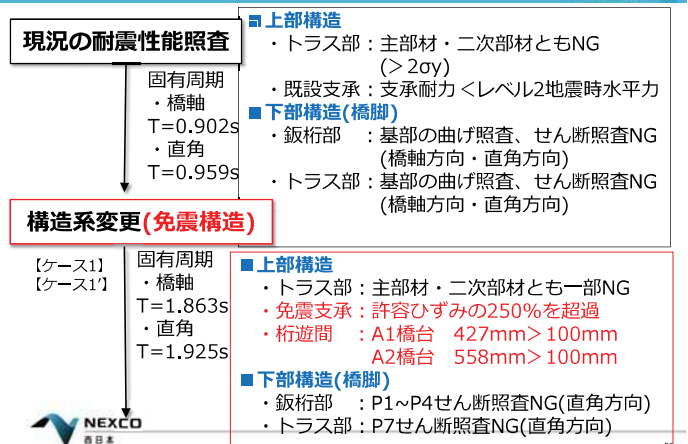
■ 下部構造(橋脚)

レベル2地震動に対する耐震性能を満足する補強を行う。

補修・補強検討フロー



補強検討結果(その1)



補強検討結果(その2)

構造系変更(免震構造)

【ケース1】
【ケース1】
固有周期
・橋軸
T=1.863s
・直角
T=1.925s

■上部構造

- ・トラス部：主部材・二次部材共一部NG
- ・免震支承：許容ひずみの250%を超過
- ・桁遊間：A1橋台 427mm > 100mm
A2橋台 558mm > 100mm

■下部構造(橋脚)

- ・鈹桁部：P1~P4せん断照査NG
- ・トラス部：P7せん断照査NG

構造系の追加(制震構造追加)

【最終案】

■上部構造

- ・トラス部：主部材・二次部材共一部NG
- ・免震支承：OK
- ・桁遊間：A1橋台 247mm > 100mm
A2橋台 383mm > 100mm

■下部構造(橋脚)

- ・鈹桁部：P1~P4せん断照査NG
- ・トラス部：P7せん断照査NG

詳細設計で精査



60

検討ケース(その1)

【現況照査】

M:可動、F:固定、H:ヒンジ、E:弾性(免震)、D:ダンパー、J:連結部材

橋脚	支承条件										制震デバイス
	A1	P1	P2	P3	P4		P5	P6	P7	A2	
橋軸	F	M	M	M	M	M+	H	H	H	F	
直角	F	F	F	F	F	F+J	F	F	F	F	

長周期化により上部構造(トラス部材)の応力超過を改善するため免震支承に交換(フレキシブル橋脚であるP5,P6を除く)

【ケース1】

橋脚	支承条件										制震デバイス
	A1	P1	P2	P3	P4		P5	P6	P7	A2	
橋軸	E	E	E	E	E	E	H	H	H	E	粘性ダンパー
直角	E	E	E	E	E	E	F	F	F	E	[A2] 4×1500kN

■上部構造

- ・トラス部：主部材・二次部材共一部NG
- ・免震支承：許容ひずみの250%を超過

■下部構造(橋脚)

- ・鈹桁部：P1~P4せん断照査NG
- ・トラス部：P7せん断照査NG

P5,P6橋脚で直角方向の支承水平反力が設計値を超過。支承高が高く、逸脱の可能性が高いことから、ケース2でP5,P6も免震化。

検討ケース(その2)

【ケース1】

M:可動、F:固定、H:ヒンジ、E:弾性(免震)、D:ダンパー、J:連結部材

橋脚	支承条件										制震デバイス
	A1	P1	P2	P3	P4		P5	P6	P7	A2	
橋軸	E	E	E	E	E	E	H	H	E	E+D	[A2]
直角	E	E	E	E	E	E	F	F	E	E	4×1500kN

【ケース2】

P5,P6橋脚も免震化

橋脚	支承条件										制震デバイス
	A1	P1	P2	P3	P4		P5	P6	P7	A2	
橋軸	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E+D	[A2]
直角	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	4×1500kN

■上部構造

- ・トラス部：主部材・二次部材共一部NG
- ・免震支承：許容ひずみの250%を超過

■下部構造(橋脚)

- ・鈹桁部：P1~P4せん断照査NG
- ・トラス部：P6~7せん断照査NG

上部工の損傷範囲はケース1よりも軽減される。



62

検討ケース(その3)

【ケース2】

M:可動、F:固定、H:ヒンジ、E:弾性(免震)、D:ダンパー、J:連結部材

橋脚	支承条件										制震デバイス
	A1	P1	P2	P3	P4		P5	P6	P7	A2	
橋軸	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E+D	[A2]
直角	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	4×1500kN

A1橋台の支承変位を小さくし
A1橋台側の桁の切断量を抑えるため、
A1橋台にもダンパーを設置

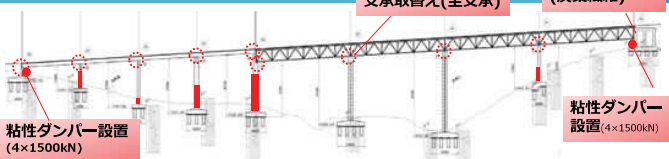
【最終案】

橋脚	支承条件										制震デバイス
	A1	P1	P2	P3	P4		P5	P6	P7	A2	
橋軸	E+D	E	E	E	E	E	E	E	E	E+D	[A1]
直角	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	[A2] 4×1500kN



63

検討結果 最終案



制振装置

- ・A1橋台部にPy=1500kNのダンパーを4基設置。
- ・A2橋台部にPy=1500kNのダンパーを4基設置。
- ・全ての支承を免震支承に交換。

上部工

- ・下弦材と斜材、および対傾構損傷箇所は必要部材厚にて交換。非損傷箇所においても照査不満足位置については当て板等の耐震補強を施す。

下部工

- ・P5,P6橋脚以外の全橋脚にせん断耐力向上のための補強を施す。



64

詳細設計結果



- > A1橋台の耐力超過を解消するため、A1橋台のダンパーサイズを1500kN×4本→750kN×4本へ変更。
- > A1橋台、P4橋脚の支承常時回転超過を解消するために、A1支承をSPR-S→HDR-Sへ変更。

橋脚	支承条件										制震デバイス
	A1	P1	P2	P3	P4		P5	P6	P7	A2	
橋軸	Eh+D	E	E	E	Eh	E	E	E	E	E+D	[A1] 4×750kN
直角	Eh	E	E	E	Eh	E	E	E	E	E	[A2] 4×1500kN

M:可動、F:固定、H:ヒンジ、E:SPR-S、Eh:HDR-S、D:ダンパー、J:連結部材

有明海沿岸道路 筑後川橋・早津江川橋の 設計検討

事業計画

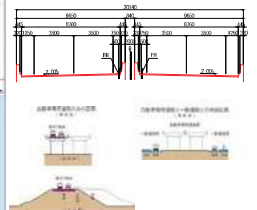
事業概要

● 一般国道208号 有明海沿岸道路

- 福岡国道事務所は三池港IC～(仮)諸高IC間（延長29.2km）を管轄する。
- 平成20年3月29日 大牟田IC～高田IC間（自専道）、大和南IC～柳川西IC間（一般道）
- 柳川西IC～大川東IC間（自専道）、大川東IC～大川中央IC間（一般道）が開通
- 平成21年3月14日 高田IC～大和南IC間（自専道）が開通。
- 三池港IC～大牟田IC間（自専道）は平成23年度開通となる見通し。
- 大和南IC～徳益IC間（自専道）は平成24年度開通となる見通し。
- 道路規格：第1種第3級、設計速度：V=80km/h、車線数：4車線



標準幅員構成



筑後川橋の概要

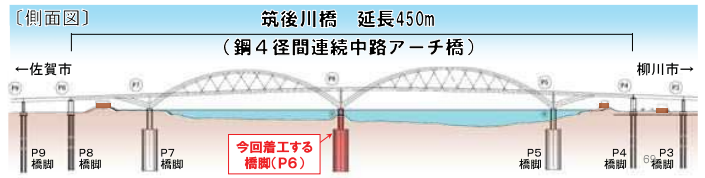
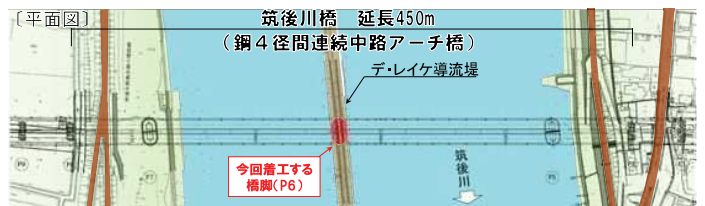
周辺には地域のシンボルになっている歴史遺産や土木遺産が点在



筑後川橋の概要

- 橋長：450m
- 橋種：鋼4径間連続中路アーチ橋

※渡河部



橋梁設計検討委員会の経緯

デザインコンセプト

「デ・レイケ導流堤や昇開橋と共に、筑後の水文化を継承する橋」

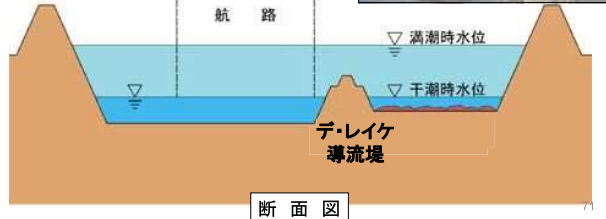
地域のシンボルである昇開橋などの歴史遺産や平坦で広がりのある田園・河口景観などの周辺風景と調和した姿や、デ・レイケ導流堤が作り出す筑後川の水文化への敬意が重要



橋梁設計検討委員会の経緯 橋種選定の検討

- 約120年前に建造され、延長6.5kmの全てが現存
- 土砂堆積を防ぎ、航路を確保
- 土木学会選奨土木遺産に認定(平成20年)

延長	6.5km
幅	5.7m(張石部)
竣工	1893(明治23年)
監修	ヨハニス・デ・レイケ(オランダ人)

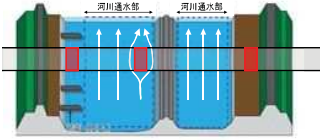


断面図

橋脚配置における委員会の考え

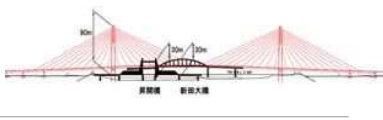
河川通水部へ橋脚設置

漁業者や船舶航行に支障となり、導流堤の機能を阻害することが考えられる。



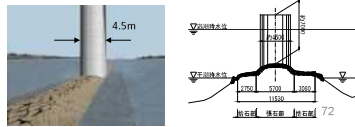
導流堤への橋脚不設置

高い主塔の斜張橋となり、周辺環境との調和が図れないことに加え、約6割のコスト増となり、経済的に劣る。



導流堤への橋脚設置

漁業者や船舶航行に支障はなく、導流堤の機能を保全すると考えられる。(導流堤幅5.7mに収まる橋種を選定)



橋種選定の検討

・桁高や橋脚高を抑えられ、圧迫感を軽減できる橋種を評価

橋種	イメージ	桁高	橋脚高
鋼床版箱桁橋		高い (6m)	高い (17m)
鋼アーチ橋		低い (2.5m)	低い (7m)
鋼斜張橋		低い (2.5m)	高い (18m)

橋種選定の検討

・横への広がり感を印象付け、軽快感がある橋種を評価

＜鋼床版箱桁橋＞



＜鋼アーチ橋＞

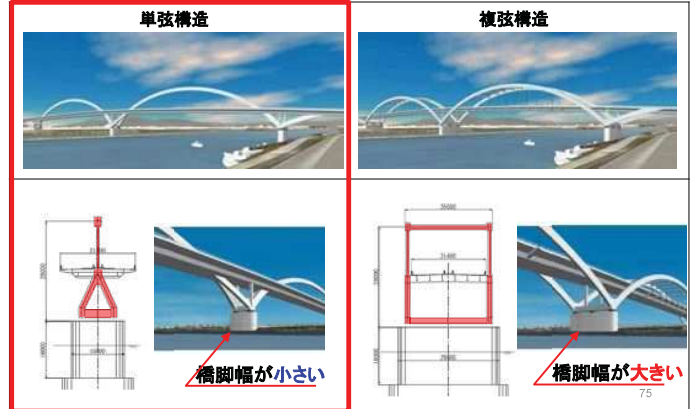


＜鋼斜張橋＞

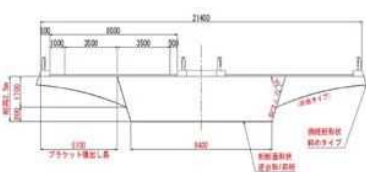


3次元モデルを活用した構造設計

・橋梁本体をすっきりとした印象を持たせ、橋脚幅をコンパクトにすることで歴史遺産への圧迫感を軽減できる**単弦構造**を採用



補剛桁断面の決定



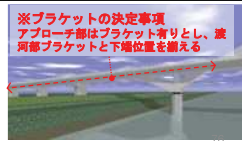
- 【決定事項】
1. 桁断面形状 : 逆台形1箱桁
 2. 桁高 : 2.5m
 3. ウェブ角度 : 70°
 4. 側板桁形状 : 斜めタイプ
 5. プラケット突出長 : 5.1m
 6. プラケット基部高 : 1.7m
 7. プラケット形状 : 曲線タイプ
 8. プラケット間隔 : 2.5m

決定事項

- ①早津江川橋梁の橋梁形式について、渡河部はアーチ橋、陸上部は桁橋構造とする。
- ②2橋の渡河部の補剛桁断面形状は上図で了承する。
- ③2橋の防護柵形状はアルミ製防護柵(丸パイプ型、2段ビーム)を採用する。

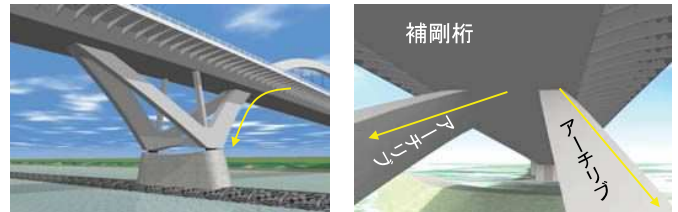


第6回設計検討委員会時のCGパース



3次元モデルを活用した構造設計

・アーチリブが二股形状により断面変化することに加え、曲線形状も加味して構造検討が必要



アーチリブ形状

桁下からのアングル

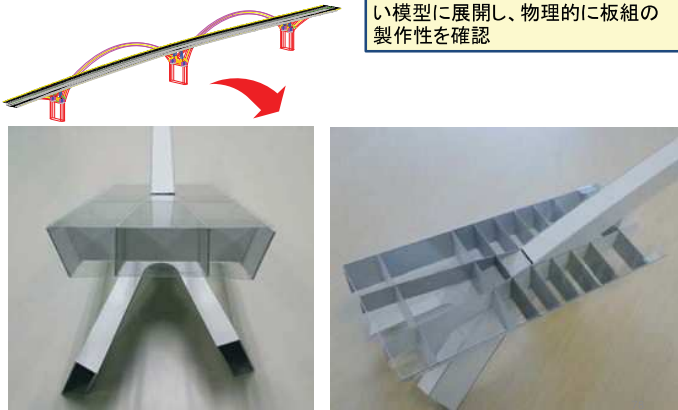
【課題】煩雑な板組の製作性

【課題】維持管理の確実性

3次元モデルを活用した構造設計

【課題】煩雑な板組の製作性

従来図面では作製することができない模型に展開し、物理的に板組の製作性を確認

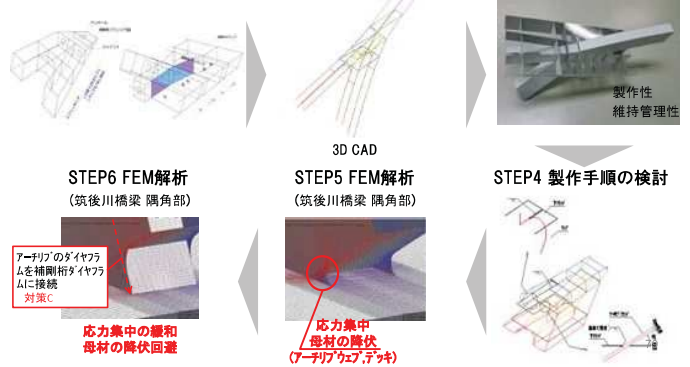


板組の検討

(1) 検討方針

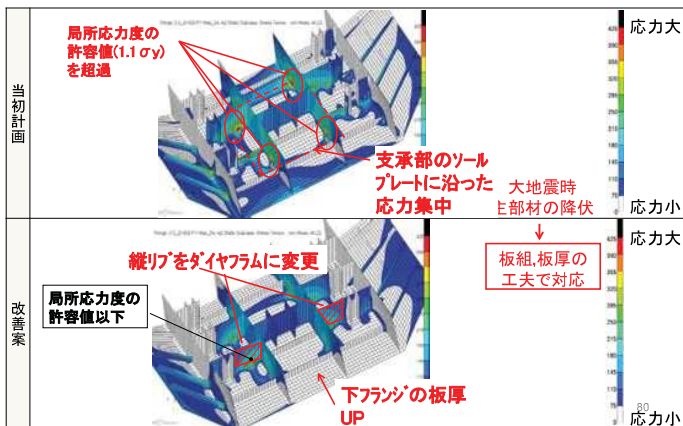
筑後川橋梁の隅角部の例)

STEP1 類似橋の事例調査 STEP2 本橋板組素案の作成 STEP3 模型による検証



板組の検討(筑後川橋の支点部)

(2) 筑後川橋梁支点部の検討例



3次元モデルを活用した構造設計

【課題】維持管理の確実性

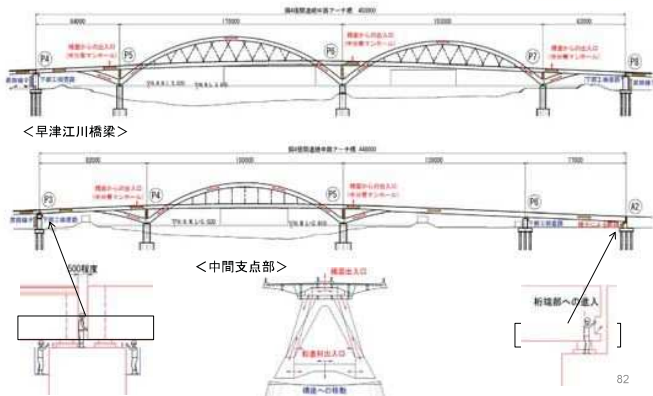
橋梁全体における点検経路を全体模型にて確認し、下部工における検査路やハシゴを再現し、物理的に検証



維持管理計画

②点検経路計画

<筑後川橋梁>



歴史遺産へ配慮した景観設計

■P6橋脚のデザイン

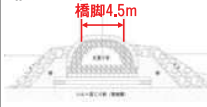
導流堤の本質的価値を尊重し、導流堤に配慮した橋脚デザイン

①機能	②形	③歴史
<ul style="list-style-type: none"> 建設時の役割が変わらない土木構造物 ガタ土の堆積を防ぎ、航路を確保 	<ul style="list-style-type: none"> 連続する石堤が干満差で姿を変える 干満で一斉に姿を現す約6kmの壮大な土木構造物 	<ul style="list-style-type: none"> 100年以上前から存在し続ける 明治の近代化につながる土木技術が形に残る

■基本方針

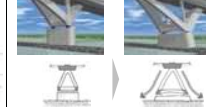
○機能の尊重

導流堤の水制機能を阻害しないように、橋脚は導流堤幅以下とする



○形に対する尊重

橋脚高さを低くした上で、導流堤になじむ台形断面と



○歴史的価値の尊重

導流堤の価値を引き立てるため、シンプルな橋脚デザインとする



歴史遺産へ配慮した景観設計

■P6橋脚のデザイン

導流堤部の橋脚は、シンプルなコンクリート仕上げとすることで、存在感のある導流堤（張石構造）を引き立てるデザインとする



堤防道路から望む（干潮時）

導流堤上から望む（干潮時）



堤防道路から望む（干潮時）

84

オープンハウスの実施

平成23年度（予備設計） 比較検討橋種の選定過程（2月6日～10日）
来場者：452名

平成24年度（詳細設計） 推奨橋種の選定過程（6月23日～7月1日）
来場者：1,522名



平成25年度（詳細設計） デ・レイケ導流堤部の橋梁設計検討状況（1月22日～24日）
来場者：213名

平成26年度（詳細設計） 橋梁の色彩選定の考え方（10月5日～10日）
来場者：646名



85

デ・レイケ導流堤の調査・保存

・導流堤の解体・調査・記録方法

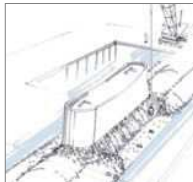


■STEP1: 事前調査

- ①石積み状況の写真測量
- ②復旧する際に必要な、石の位置をナンバリング（石に番号を付けて記録）等を実施。



■STEP2: 内部構造を把握するために、丁寧に石を取り除いて調査を実施



■STEP3: 橋脚設置後に復旧を実施



・丁寧な解体、内部構造確認のための詳細調査を実施

86



87

関門橋のリフレッシュ工事

関門橋(1973年開通)の現況

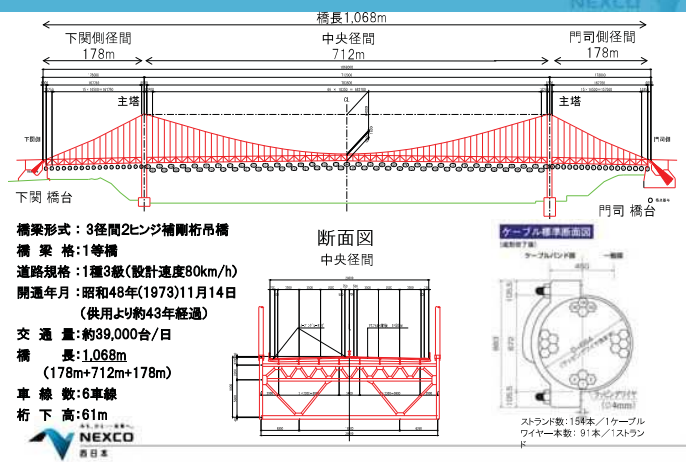


写真：関門橋(1973年)

九州大学

88

§ 1. 関門橋概要



関門橋の損傷状況(リフレッシュ工事前)

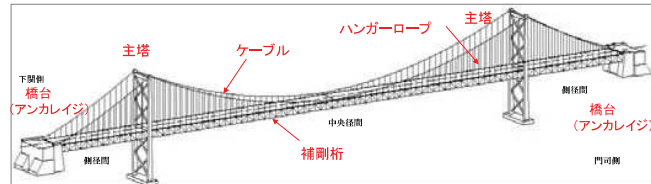


補剛桁の塗膜ひび割れ

補剛桁の塗膜剥離

ケーブルに錆発生

補剛桁の疲労亀裂



橋台路面のパッチング

橋台床版(上面)の劣化

橋台床版(下面)の剥離

橋梁路面のひび割れ

関門橋リフレッシュの基本方針

海上架橋および大型交通量増加という厳しい環境条件下で
 用から約40年経過し、経年劣化や疲労損傷が顕在化

大規模な補修、予防保全、万全な維持管理を実施し、永続的な健全性を確保する必要

本州と九州を結ぶ経済・物流の大動脈である関門橋は
 今後「100年橋梁」を目指す！

⇒全体最適、予防保全、LCC、維持管理の観点から補修補強計画
 画・方法を有識者による「関門橋大規模補修検討会」にて方向性
 を確認

関門橋リフレッシュにおける基本方針

- ★予防保全の推進
- ★先端技術の積極的な採用
- ★長大吊り橋の維持管理

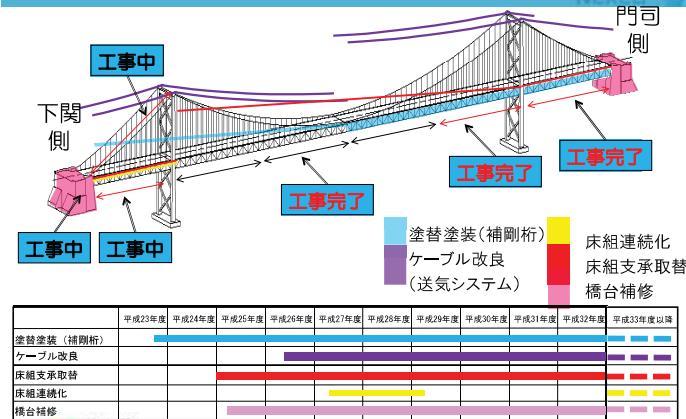
関門橋補修計画(リフレッシュ工事内容)

部位	対策
橋台	床版打換、内部排水装置改良、壁面補修
補剛桁・床トラス・床組	塗替塗装、疲労亀裂対策(支承取替)、床組連続化 高力ボルト取替
主ケーブル	送気システム、塗替塗装、 ケーブルバンドボルト増し締め
ハンガーロープ	健全度調査、塗替塗装
ヒーム床版・舗装	舗装改良、防水工
主塔	塗替塗装
その他	点検検査路取替、ケーブル移動検査車改良、 補剛桁移動検査車改良、大型伸縮装置改良

凡例 青字: 施工完了 赤字: 施工中 黒字: 施工予定

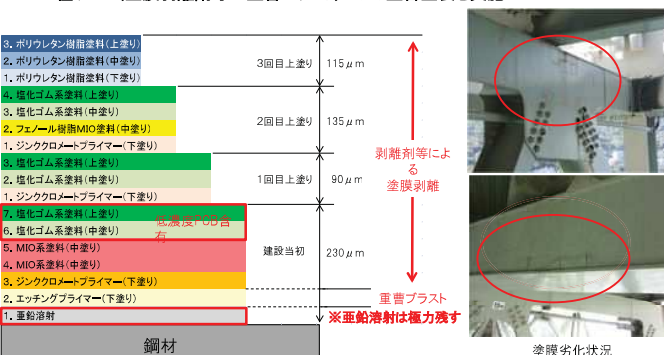


関門橋補修計画(工程)



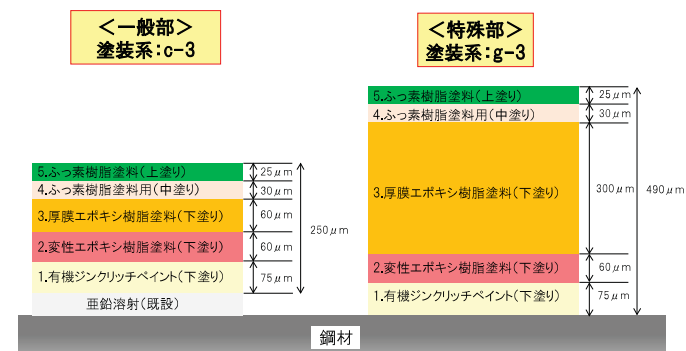
関門橋 塗替塗装履歴(補剛桁)

■過去3度の塗替塗装による過膜厚(一般部最大1000μm程度)
 ⇒1種ケレン(塗膜剥離剤等+重曹プラスト)による塗替塗装を実施



※PCB・ダイオキシン類の一つであり、毒性が極めて強い。
 平成39年3月31日までに処分することがPCB廃棄物特別措置法により定められている。

補剛桁の塗替塗装(塗装構成)



主ケーブルの腐食状況

※ケーブルの詳細調査

ケーブル解放調査(H5)

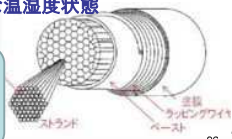


ケーブルバンド解放調査(H24)



- ・天側は非常に健全、地側付近は部分的に垂鉛めっきの消滅
- ・致命的な腐食・損傷はないが徐々に腐食は進行していると予想
- ・主ケーブル内は日々必ず結露・気化を繰り返すような温湿度状態

ケーブルの補修は困難であり、ケーブル腐食防止にはケーブル内部の腐食環境改善が必要。
⇒主ケーブル送気システムの導入



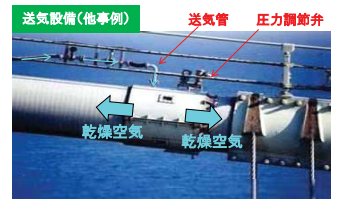
96

主ケーブル送気システムの導入

※本四架橋のケーブル送気システムを参考に、下関側径間に試験導入



■乾燥空気をケーブル内に送気
⇒相対湿度を60%以下目標
ケーブルの腐食速度を低下

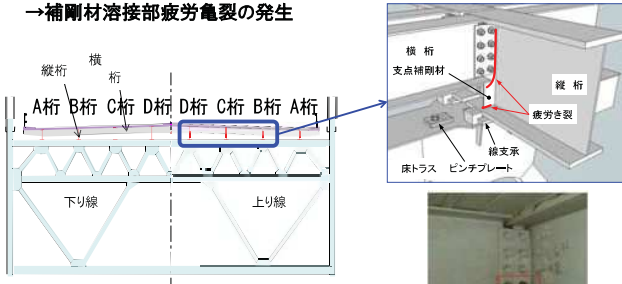


97

補剛材の疲労亀裂状況(中桁)

■床組縦桁補剛材

車両大型化等による過荷重、支承腐食による機能損失による応力集中
→補剛材溶接部疲労亀裂の発生

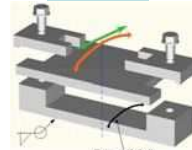


98

疲労亀裂対策

■支承取替

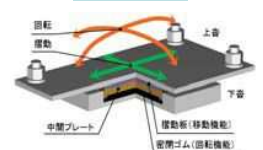
<線支承>



- ・橋軸方向のみ水平移動、回転が可能
- ・腐食により固着し、機能損失していた



<BPB支承>



- ・橋軸方向と橋軸直角方向への水平移動、回転が可能
- ・疲労き裂の原因である、回転・水平変位の拘束を解消

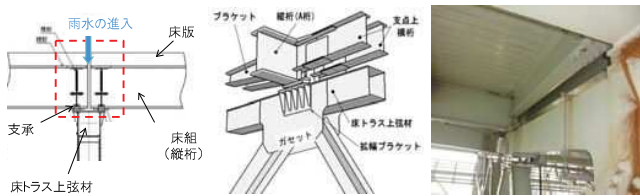


全数取替

99

床組の連続化

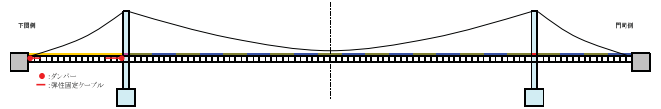
- ・床組掛違い部からの漏水による補剛桁の腐食、支承機能喪失が発生
- ・耐久性、維持管理性、耐震性の向上を図るため床組連続化の検討を実施
- ⇒床組掛け違い部の縦桁と床版を連結



掛違い部からの漏水による腐食状況

100

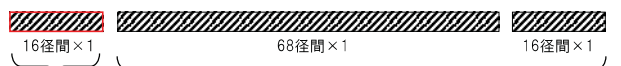
床組の連続化



【現状】※床組:4径間連続鋼桁(4@10m)



【連続化】



現在試験施工中

NEXCO 西日本

モニタリング(挙動確認)により検討

101



おわりに

10

2

本講演に使用した資料は、以下の機関にご提供戴きました。
ここに、お礼申し上げます。

- 国土交通省九州地方整備局
- 西日本高速道路(株) 九州支社
- 九州橋梁・構造工学研究会

