

上関大橋復旧検討会議(第1回)  
【抜粋版】

令和2年11月24日  
山口県

## ■ 上関大橋の概要について

- (1) 位置図
- (2) 諸元・概要
- (3) 維持管理経緯

## ■ 損傷の状況について

- (4) 損傷の状況

## ■ 現在の取組状況について

- (5) 現在までの対応内容

## ■ 原因の推定について

- (6) 原因の推定

## ■ 原因究明に向けた調査方法について

- (7) 原因究明に向けた調査方法・計画

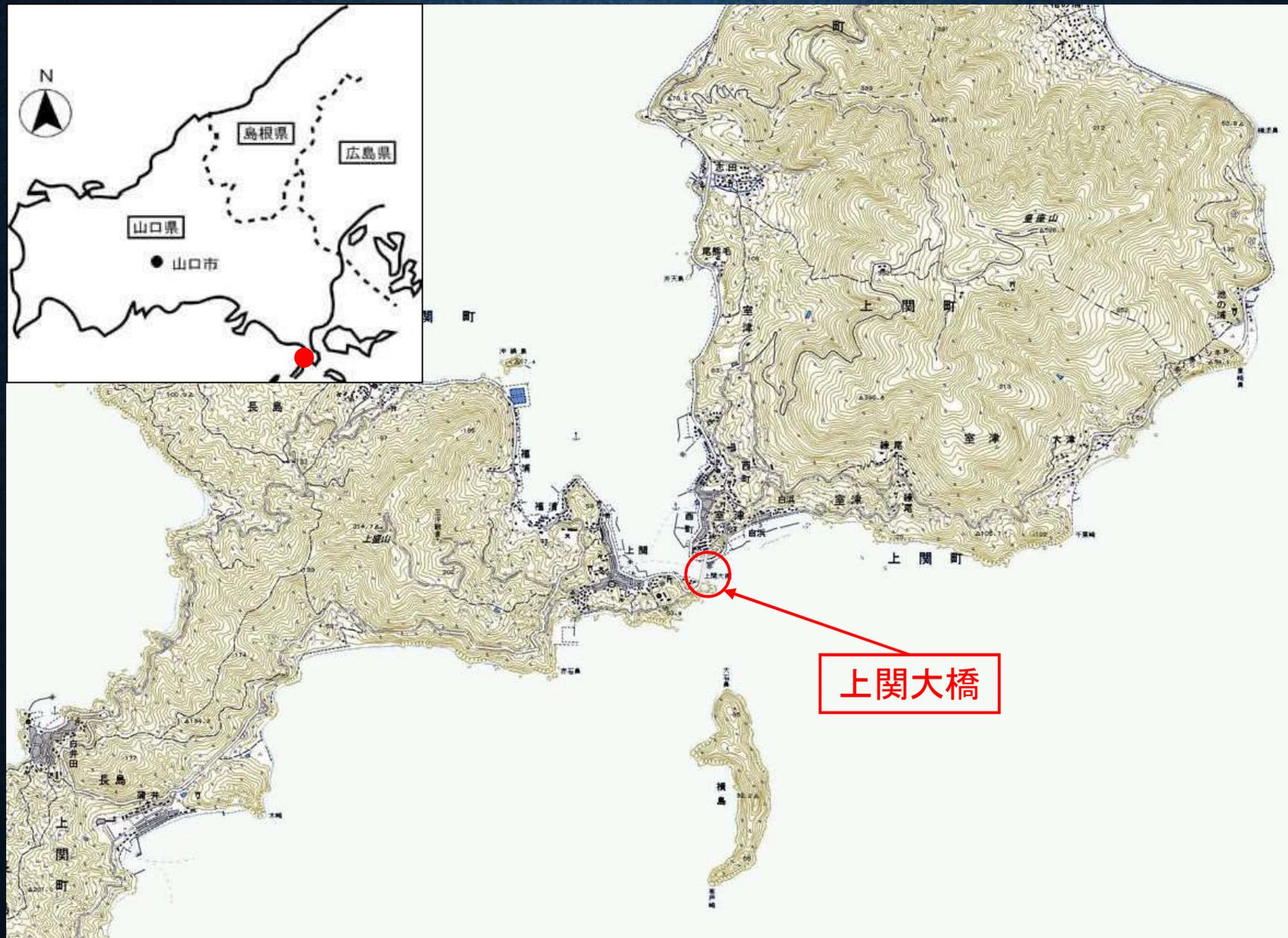
## ■ 橋梁全体の構造解析について

- (8) 本復旧に向けた調査・計画
- (9) 応急対策

## ■ 今後の検討会議の進め方について

- (10) 今後の検討会議の進め方

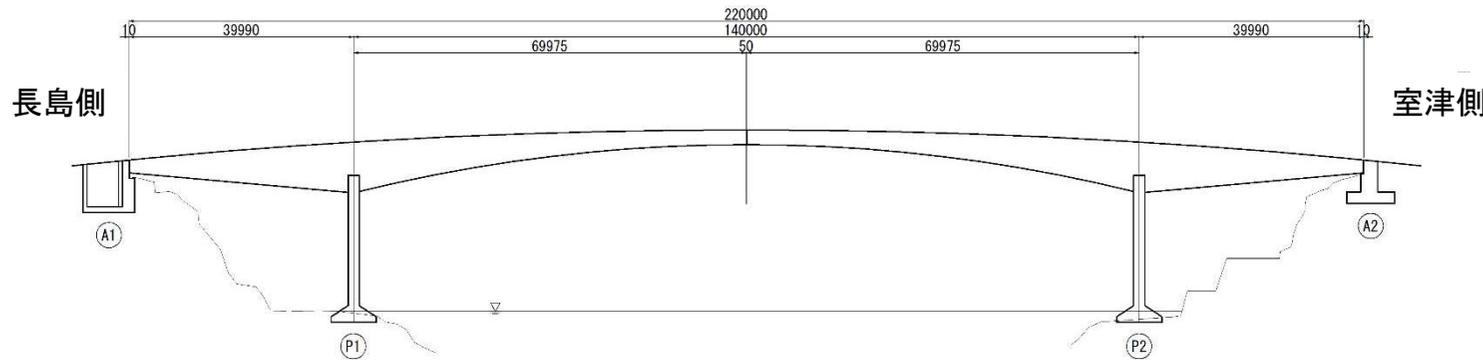
# (1)位置図



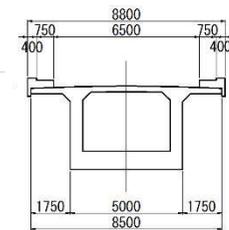
# (2) 諸元・概要

橋梁全体一般図

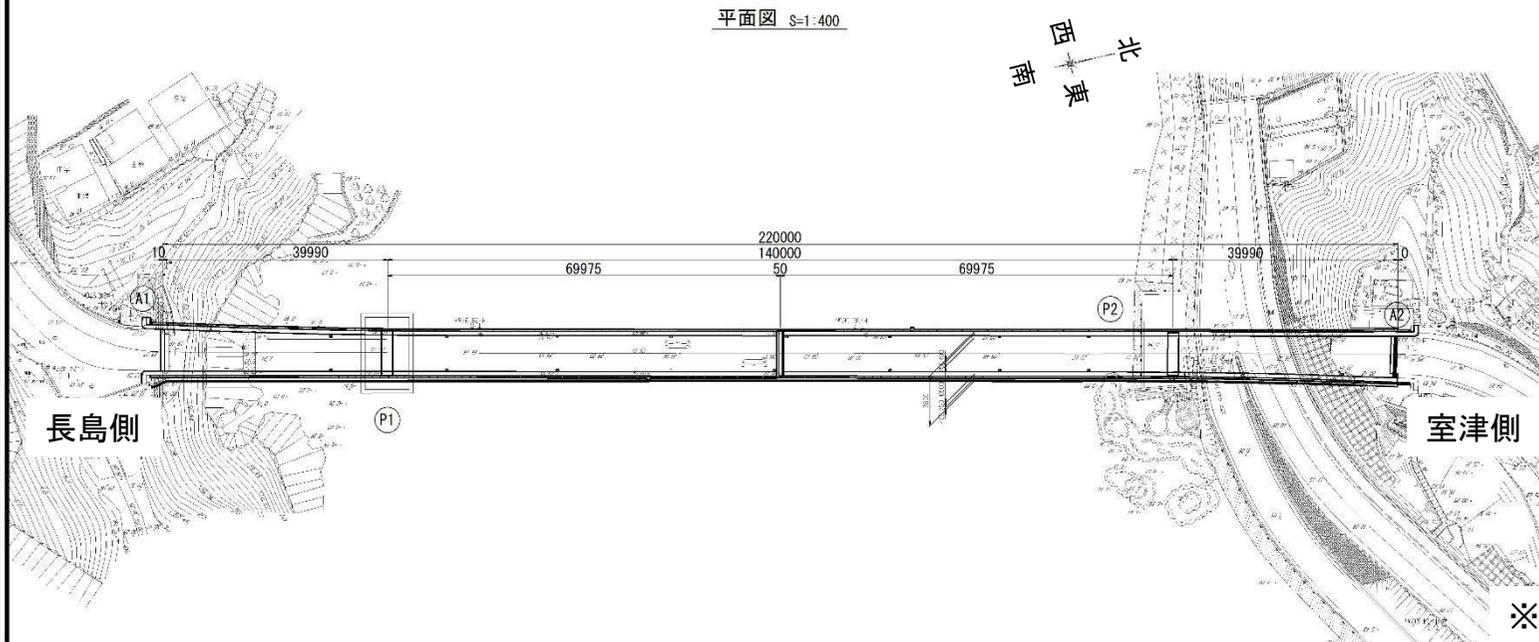
側面図 S=1:400



標準横断面図 S=1:100



平面図 S=1:400



竣工時 設計条件

設計条件	
橋名	上関大橋
橋種	プレストレストコンクリート道路橋
橋格	二等橋
工法	ディビダーク工法
型式	箱型断面三程間有ヒンジ片持梁
橋長	220,000 m
支間	39,990 m + 140,000 m + 39,990 m
橋高	0.75 m (歩道部) × 2, 6.6 m (車道部)
橋断面勾配	2% 放物線勾配
縦断面勾配	6% 直線勾配, 放物線勾配
衝撃係数	i = 1.1
震度	Kv = 0.1 Kh = 0.15
材料	
上部	$\sigma_{cc} = 350 \text{ kg/cm}^2$
橋脚	$\sigma_{cc} = 280 \text{ kg/cm}^2$
橋台	$\sigma_{cc} = 240 \text{ kg/cm}^2$
7ヶ月以上導入時圧縮強度	$\sigma_{cc} = 260 \text{ kg/cm}^2$
主筋鋼材	SBPR 95/120 $\phi 33$
床版鋼材	SBPR 80/105 $\phi 27$

※ダブルルックバンド形式

## (2) 諸元・概要

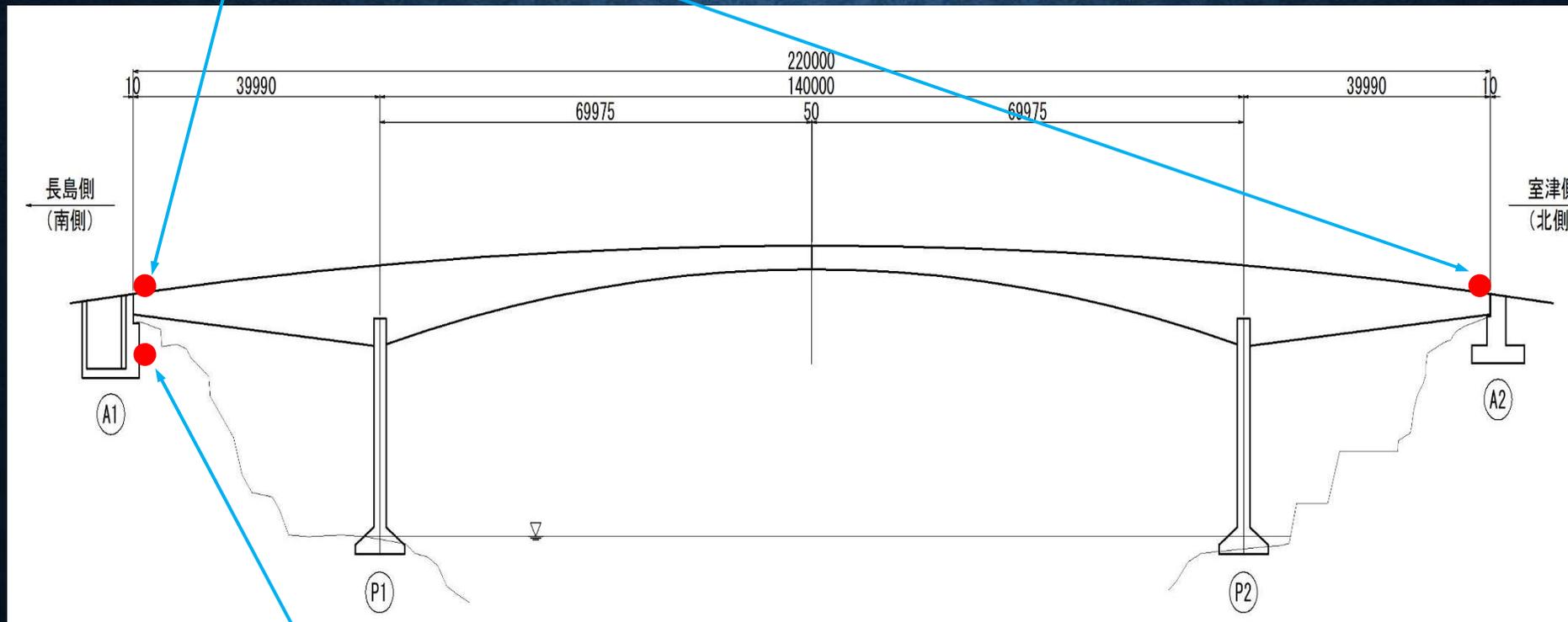
		竣工時設計条件	
橋名		上関大橋	
橋種		プレストレストコンクリート道路橋	
橋格		二等橋	
工法		デビダーク工法	
形式		箱型断面 3 径間有ヒンジ片持梁 (ドゥルックバンド形式)	
橋長		220.000m	
支間		39.990 m + 140.000 m + 39.990 m	
幅員		0.75 m (歩道部)×2 + 6.5 m (車道部)	
横断勾配		2 % 放物線勾配	
縦断勾配		6 % 直線勾配, 放物線勾配	
衝撃係数		$i = 20 / (50 + L)$	
震度		Kv = 0.1    Kh = 0.15	
材料			
(コンクリート)	上部		$\sigma_{ck} = 350\text{kg/cm}^2$
	橋脚		$\sigma_{ck} = 280\text{kg/cm}^2$
	橋台		$\sigma_{ck} = 240\text{kg/cm}^2$
	プレスト導入時圧縮強度		$\sigma_{ck} = 260\text{kg/cm}^2$
(PC鋼材)	主桁鋼材	SBPR 95/120	φ33
	床版鋼材	SBPR 80/105	φ27

### (3)維持管理経緯 (H17年度以降の経緯一覧)

年度	内容	概要
H17	耐震補強の調査・設計	調査時に両橋台のドゥルック鋼棒の非破壊調査を実施し、A1側鋼棒の破断を確認(A2側は破断見られず)
	ドゥルック鋼棒の目視調査(A1)	ウォータージェットによる縦壁前面のはつり
H18	負反力PC鋼材補強(A1)	橋台前面に破断鋼棒を補完する縦締PC鋼材を設置
	グラウンドアンカー補強(A1・A2)	レベル2地震動に対する橋台の移動対策
H19	橋台-主桁連結工(A1・A2)	レベル2地震動に対する主桁の移動対策
H20	上部工補強修正設計	B活補強及びレベル2地震動対策の上部工修正設計
H20	上部工既設PC鋼棒補修	B活補強に先立つ補修(継手・グラウト再注入)
	床版上面炭素繊維シート補強	B活補強・歩道軽量化を併せて実施
H21	床版上面炭素繊維シート補強	B活補強・歩道軽量化を併せて実施
H21 ~23	上部工外ケーブル補強	B活補強及びレベル2地震動対策・桁補修を併せて実施
	上部工炭素繊維シート補強	
	中央径間下床版Co増圧補強	
H23	遠望目視点検	
H24	上部工既設PC鋼棒補修	斜鋼棒のPCグラウト再注入・剥落防止工を併せて実施
	橋脚炭素繊維シート補強	レベル2地震動対策・橋台と橋脚の補修を併せて実施
	伸縮装置取替(A1・A2)	A1側:2回目、A2側:1回目
H29	近接目視点検	法令に基づく定期点検

### (3) 維持管理経緯 (H17年度調査)

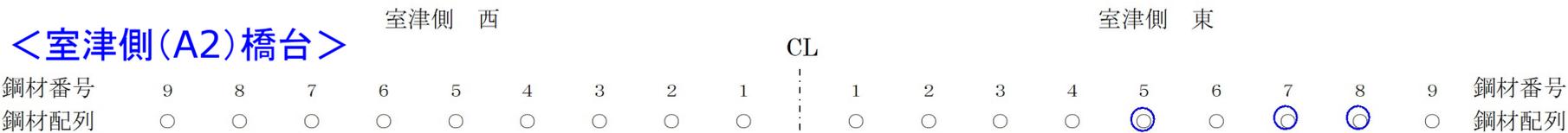
超音波探査:A1橋台(18本)、A2橋台(18本)



鋼棒腐食度調査(9本):A1橋台

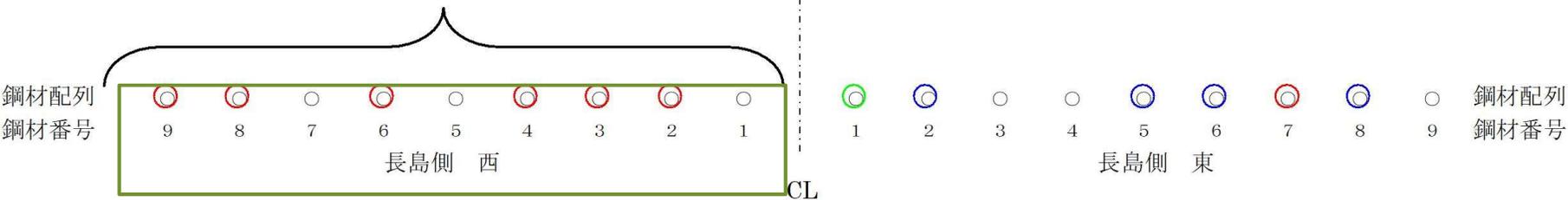
# (3) 維持管理経緯 (H17年度調査)

## 【橋台 鉛直PC鋼棒 腐食調査】



### ＜長島側(A1)橋台＞

橋台前面をはつり目視調査を実施(9本腐食)



- ◎ は破断鋼材を示す。
- ◎ は測定不能鋼材を示す。
- ◎ は未確認鋼材を示す。

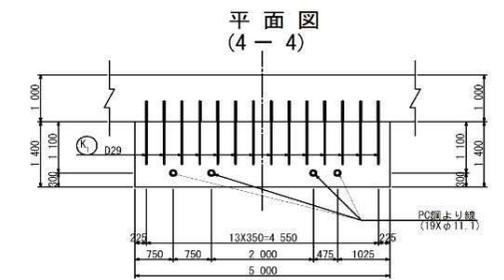
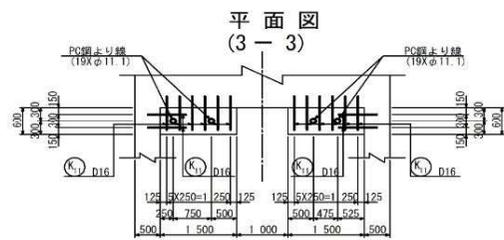
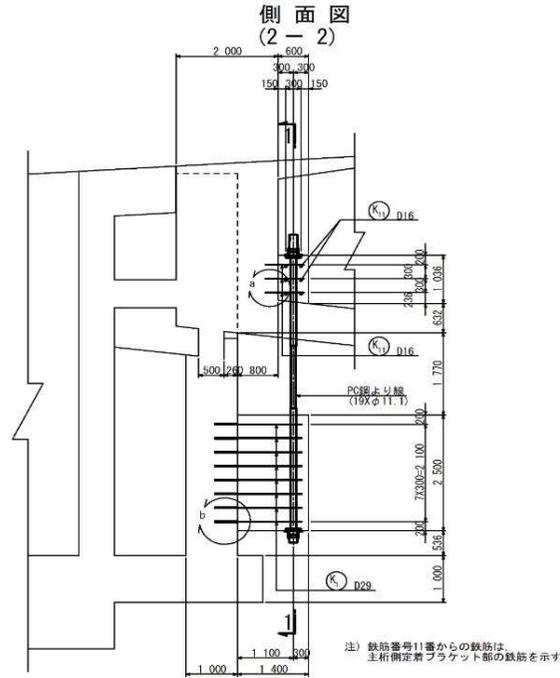
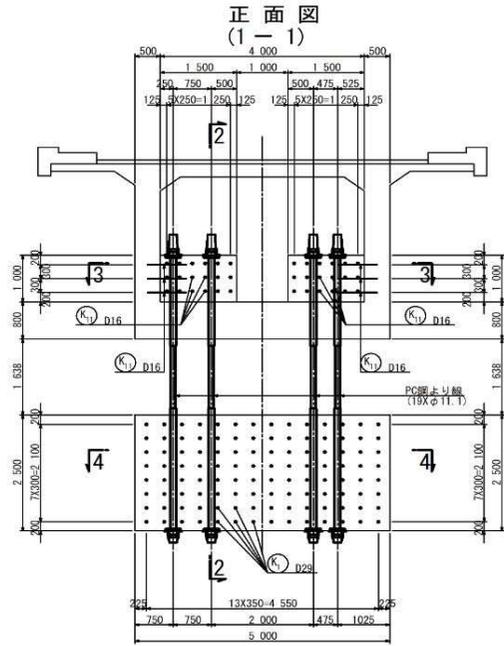
### ＜長島側(A1)橋台の西側鋼棒 目視調査結果＞

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
計測径	31.5	31.0	32.2	32.1	31.1	32.2	31.7	29.6	32.2
設計径	33.0								
減厚量	1.5	2.0	0.8	0.9	1.9	0.8	1.3	3.4	0.8
断面欠損率	8.9	11.8	4.8	5.4	11.2	4.8	7.7	19.5	4.8

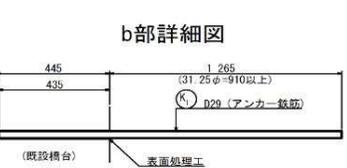
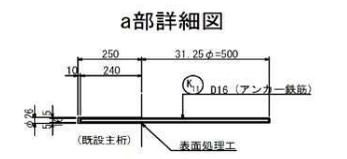
単位は (mm) 、 (%)

# (3)維持管理経緯(長島側(A1)橋台応急対策工

長島側橋台応急対策工図(その2) S=1:50  
(アンカー筋配置図)

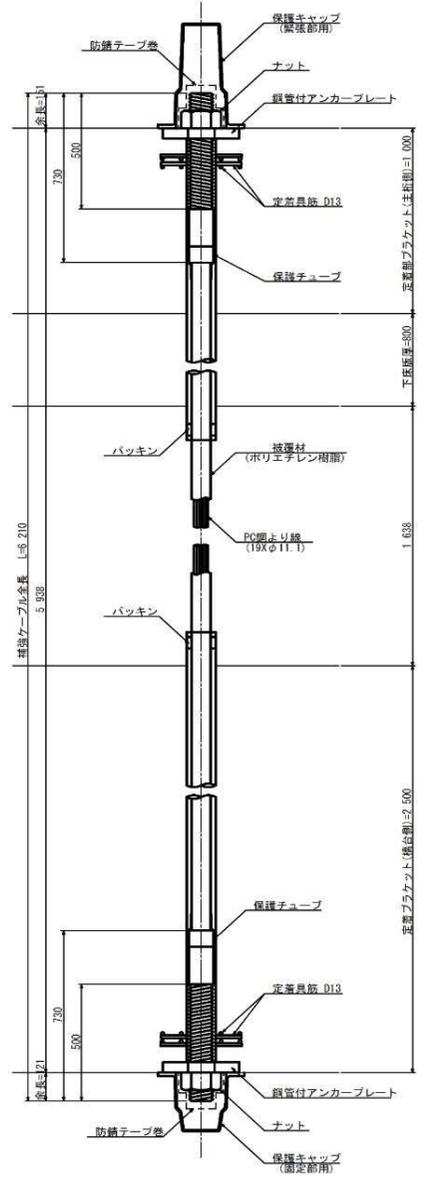


樹脂アンカー詳細図 S=1:10



Ⓚ1 112-D29 X 1 700 Ⓚ2 48-D16 X 740

補強ケーブル構造図(270tf用) S=1:10  
(全4本)



## (4) 損傷の状況(事故発生時)

- 令和2年11月14日(土)20:00、A2橋台位置に生じた路面の段差(約20cm)に通行車両が衝突する事故が発生。

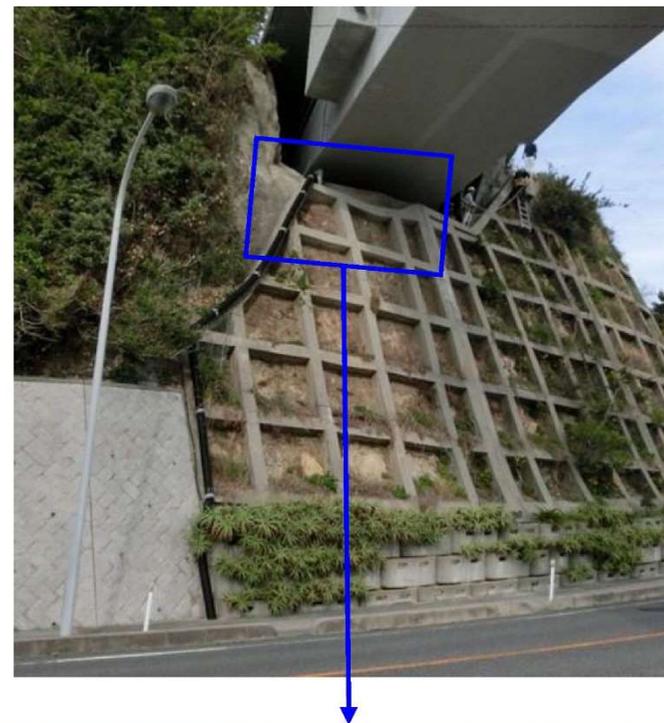


# (4) 損傷の状況

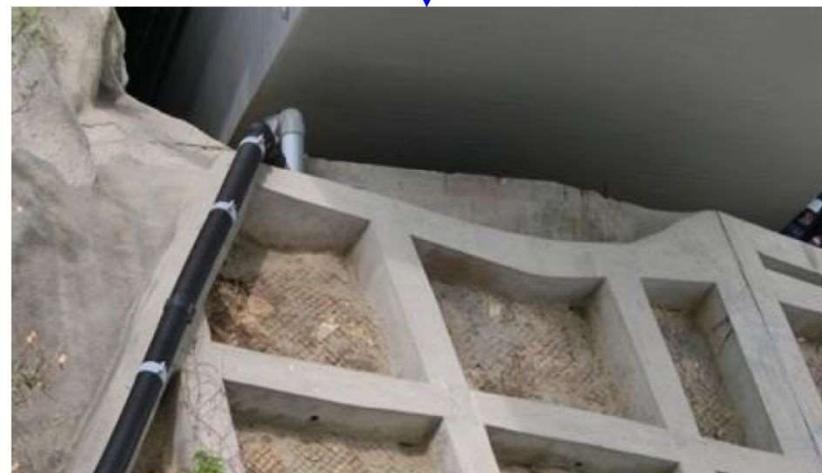
## A2橋台上の段差



## A2橋台前面ののり面保護施設

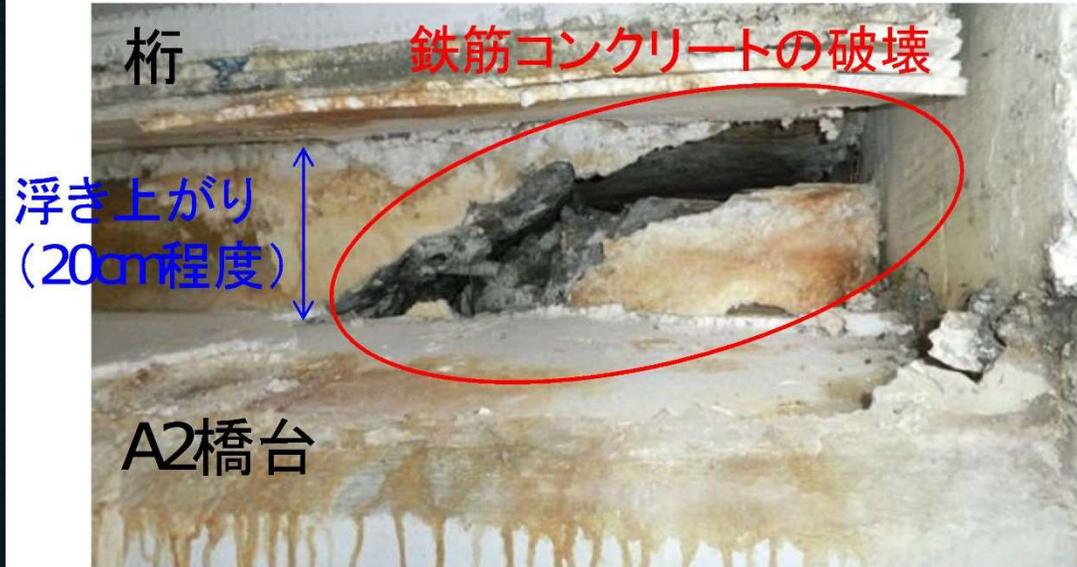


## A2橋台周辺地山の状況

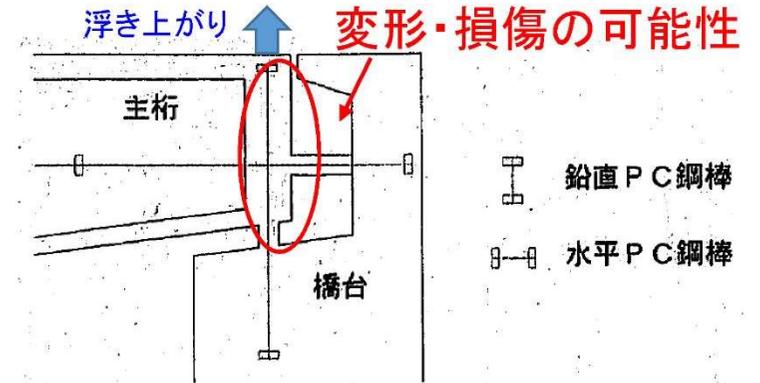


# (4) 損傷の状況

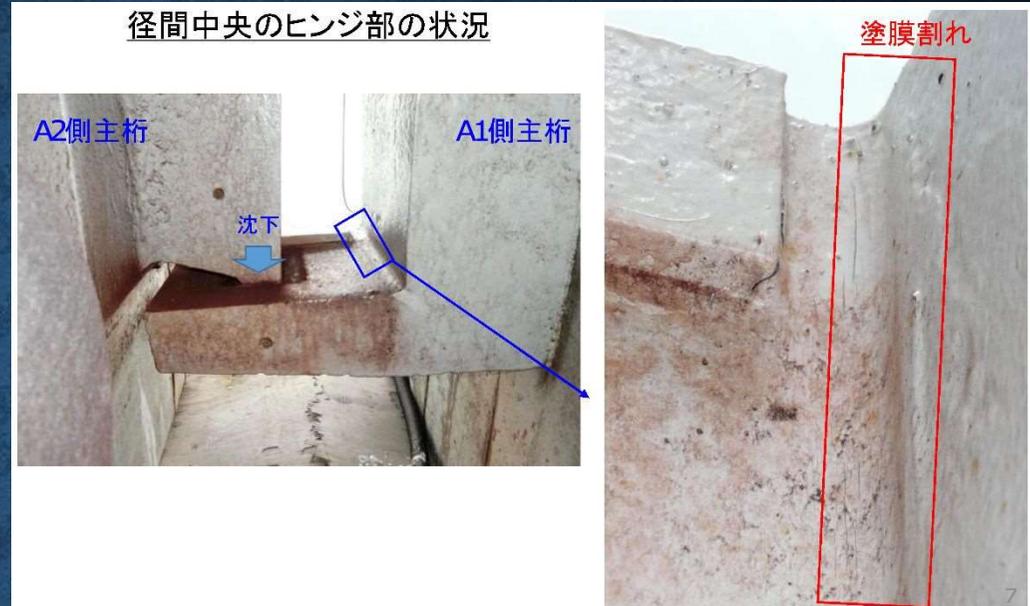
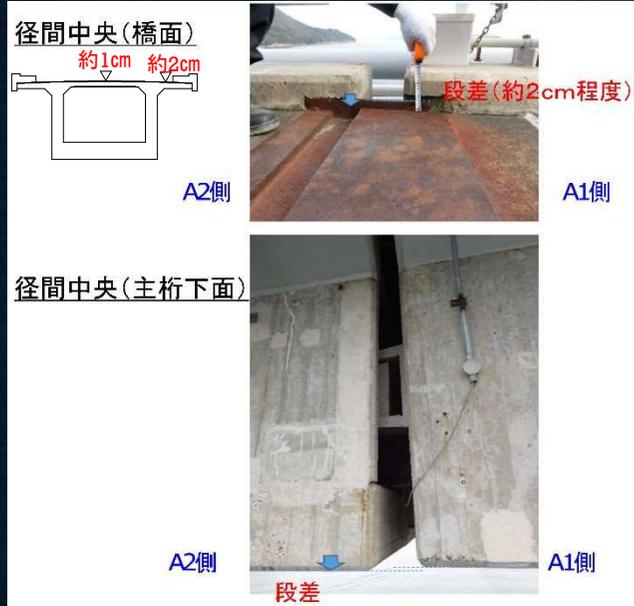
## A2橋台前面の状況



## 主桁と橋台のPC鋼棒による結合



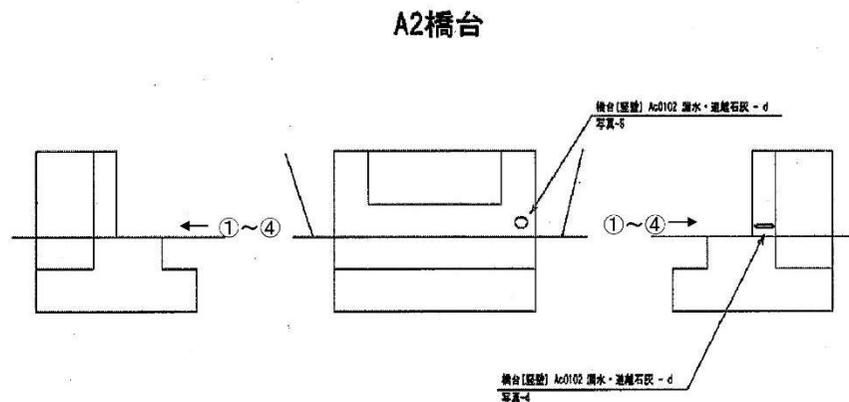
# (4) 損傷の状況



# (4) 損傷の状況

上関大橋 A2橋台橋座部 状況写真

1/1



④ 橋座部状況



③ 橋座部状況



② 橋座部状況



① 橋座部状況

# (4) 損傷の状況

## 上関大橋 中央ヒンジ部 状況写真

1/1



① ヒンジ部 遊間



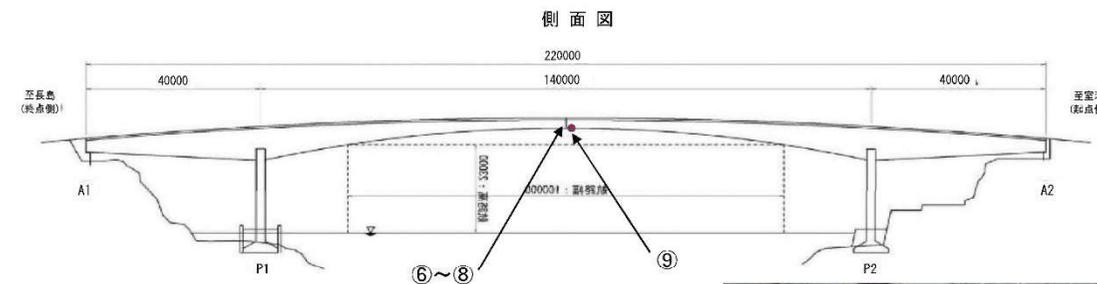
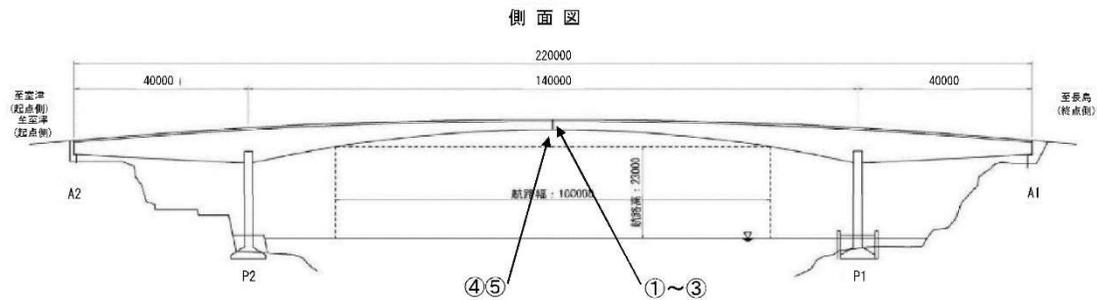
② ヒンジ部 遊間



③ ヒンジ部 全景



④ ヒンジ部 全景



⑤ 底面状況



⑨ はく離



⑥ ヒンジ部 遊間



⑦ ヒンジ部 遊間



⑧ ヒンジ部 全景

調査日: 2020年11月18日

# (4) 損傷の状況

## 上関大橋 P2橋脚 損傷状況写真

2/2



写真-10



写真-15



写真-16



写真-19



写真-22~25



写真-30~31



写真-32~33



写真-11



写真-17



写真-18

上関大橋



写真-12



写真-13

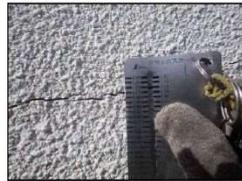


写真-14

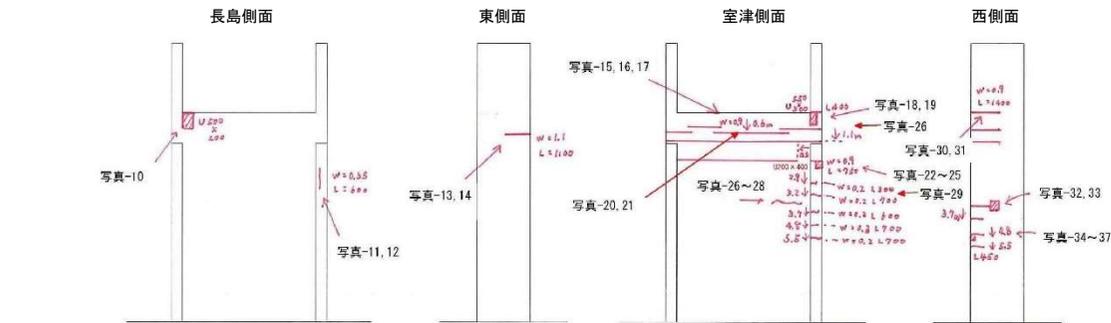


写真-20



写真-21



写真-29

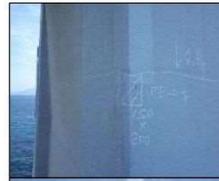


写真-34~37

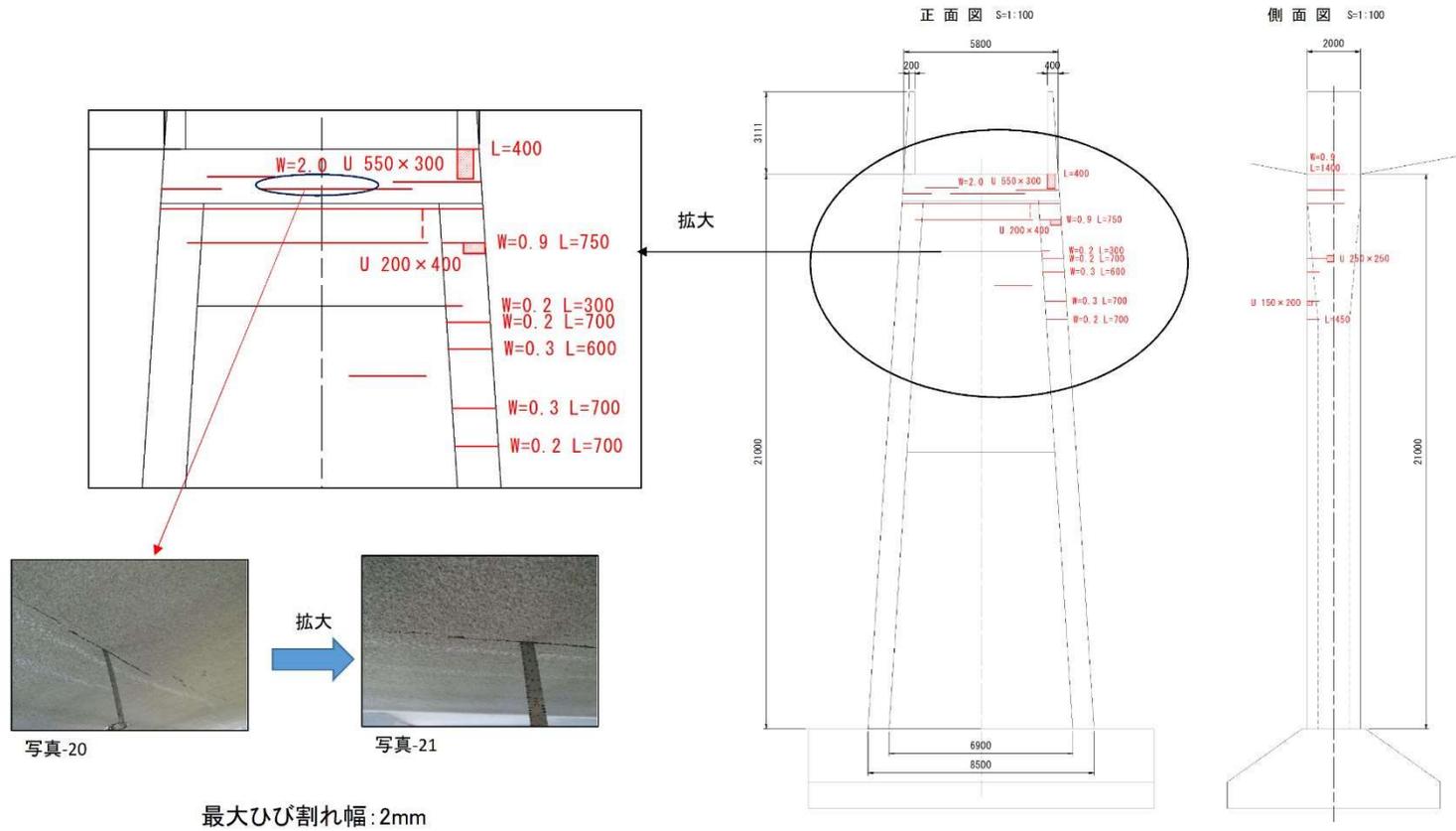


※最大ひびわれ幅: 2.0mm

写真-26~28

# (4) 損傷の状況

上関大橋 P2橋脚 損傷状況写真(拡大)



# (5) 現在までの対応内容

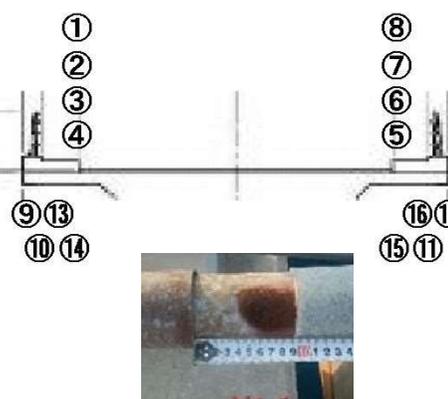
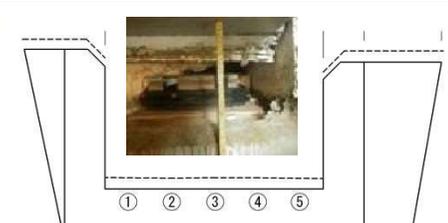
## 【モニタリング 主要位置のすき間変化の確認】

測定位置	測定日	11/17(火)			11/18(水)					
	測定時刻	9:00	15:10	差	12:30	11/17との差				
	第2径間 主桁 ～ 第3径間 主桁	①	156	152	-4	152	0			
		②	230	220	-10	218	-2			
		③	260	258	-2	256	-2			
		④	57	57	0	57	0			
		⑤	52	52	0	52	0			
		⑥	145	143	-2	143	0			
		⑦	150	150	0	150	0			
		⑧	152	152	0	151	-1			
		⑨	48	47	-1	47	0			
		⑩	50	49	-1	49	0			
		⑪	273	272	-1	271	-1			
		⑫	235	235	0	235	0			
		第2径間 ヒンジ部 ～ 第3径間 主桁	⑬	143	139	-4	138		-1	
			⑭	105	100	-5	101		+1	
	⑮		11	10	-1	10	0			
	⑯		102	100	-2	100	0			
	⑰		110	108	-2	107	-1			
	⑱		118	117	-1	117	0			
	⑲		0	0	0	0	0			
	⑳		103	98	-5	97	-1			
	㉑		105	102	-3	102	0			
	㉒		12	12	0	12	0			
	㉓		93	91	-2	91	0			
	㉔		105	101	-4	101	0			
	㉕		115	112	-3	112	0			
	㉖	0	0	0	0	0				
	㉗	102	104	+2	103	-1				

単位(mm)

# (5) 現在までの対応内容

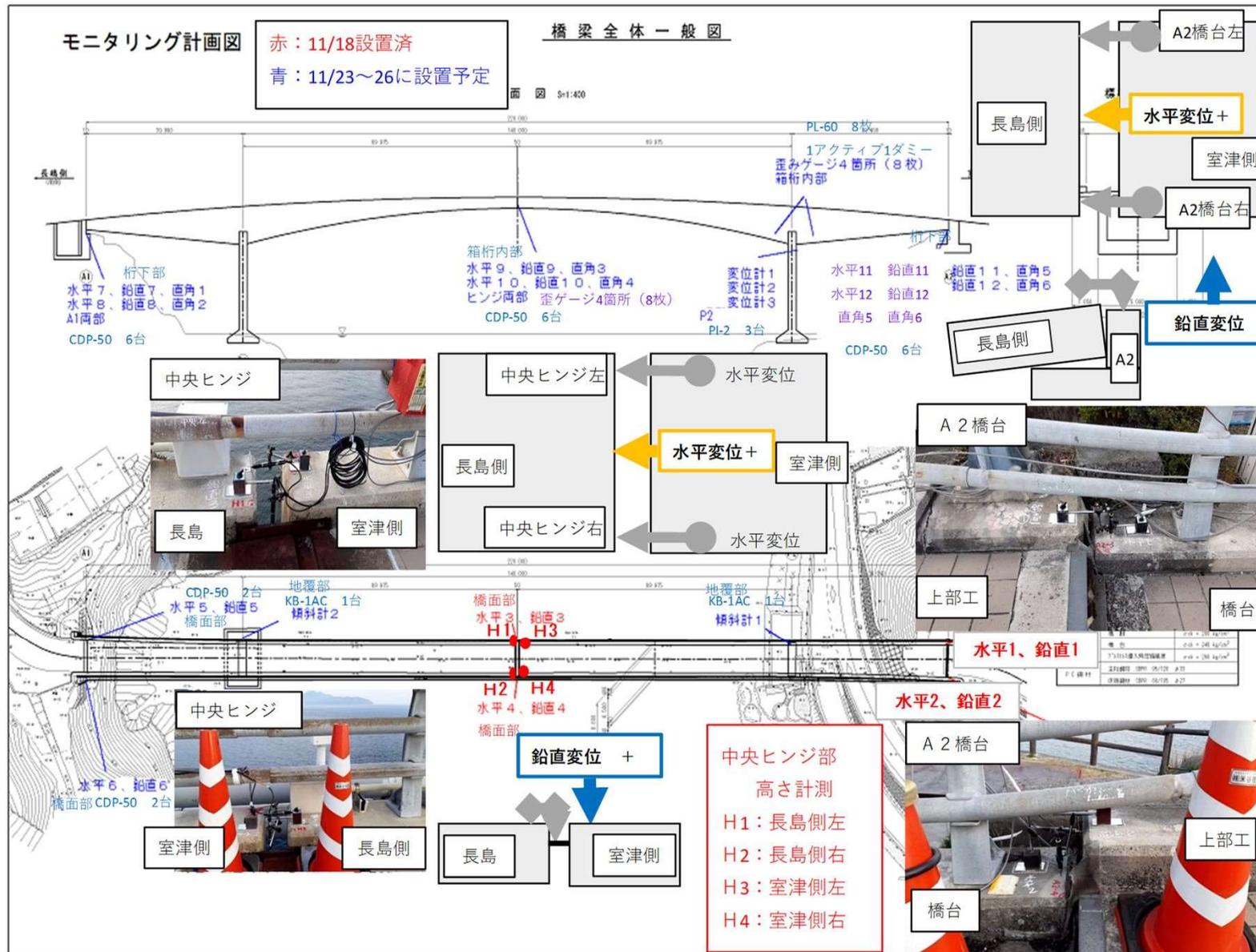
## 【モニタリング 主要位置の寸法変化の確認】

測定位置	測定日		11/17(火)			11/18(水)			
	測定時刻		10:45	16:05	差	8:30	11/17との差	15:00	11/17との差
	第2径間 防護柵 ~ 第3径間 防護柵	①	180	177	-3	178	+1	175	-2
		②	180	177	-3	179	+2	176	-1
		③	182	178	-4	180	+2	177	-1
		④	181	177	-4	179	+2	176	-1
		⑤	97	92	-5	94	+2	92	0
		⑥	107	102	-5	104	+2	103	+1
		⑦	102	97	-5	99	+2	98	+1
		⑧	140	135	-5	136	+1	136	+1
	第2径間 地覆 ~ 第3径間 地覆	⑨	177	173	-4	174	+1	174	+1
		⑩	172	167	-5	169	+2	169	+2
		⑪	170	168	-2	169	+1	169	+1
		⑫	176	171	-5	172	+1	171	0
	第2径間 歩道 ~ 第3径間 歩道	⑬	117	113	-4	115	+2	111	-2
		⑭	110	106	-4	109	+3	105	-1
		⑮	103	98	-5	101	+3	97	-1
		⑯	105	99	-6	102	+3	98	-1
測定位置	測定時刻		11:30	16:20	差	8:20	11/17との差	11:30	11/17との差
	A2橋台	①	265	265	0	263	-2	260	-5
		②	255	255	0	254	-1	253	-2
		③	265	265	0	263	-2	261	-4
		④	265	265	0	265	0	264	-1
		⑤	253	253	0	249	-4	250	-3

単位(mm)

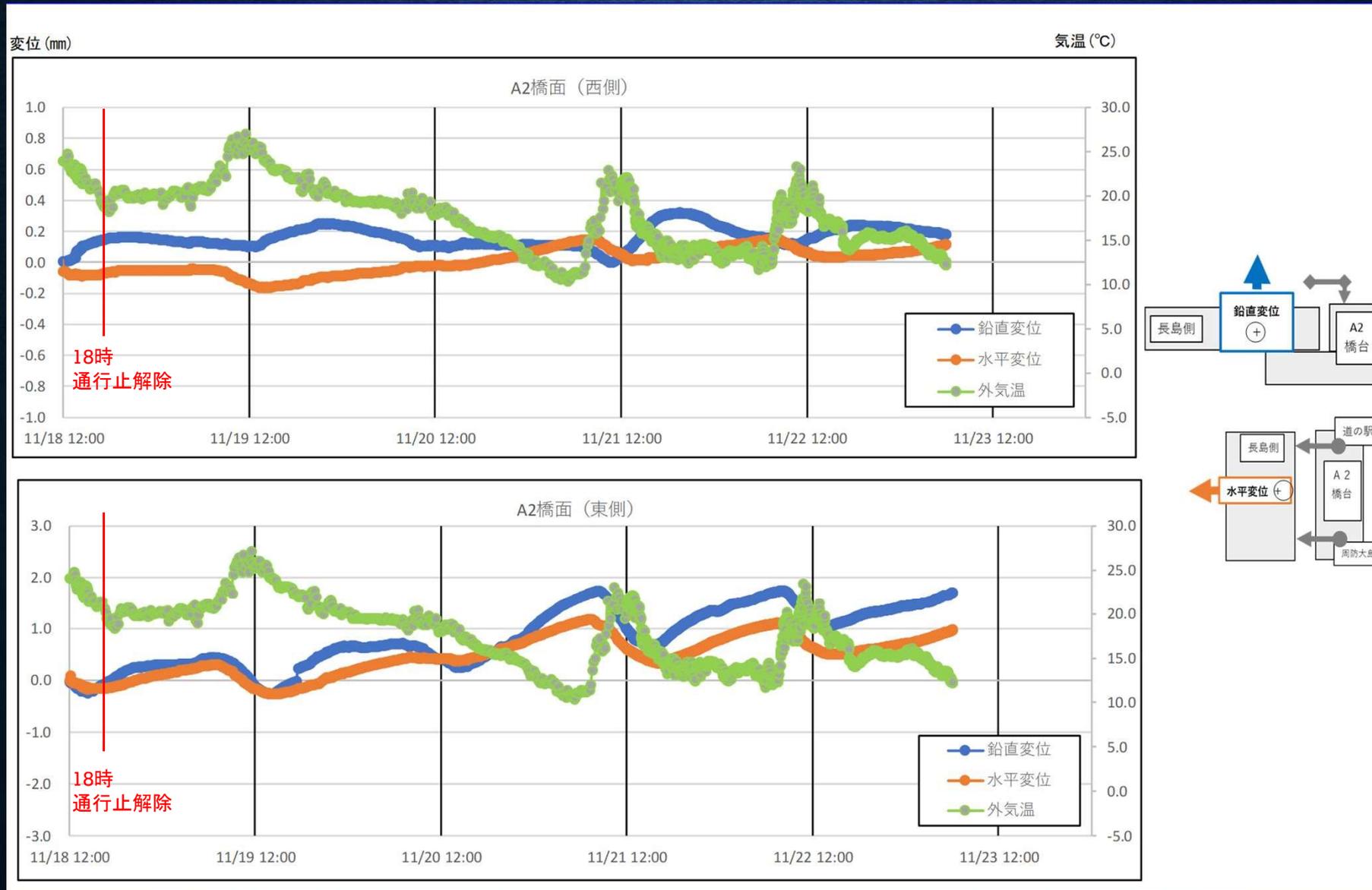
# (5) 現在までの対応内容

## 【モニタリング 変位・ひずみ・傾斜等の経時計測】



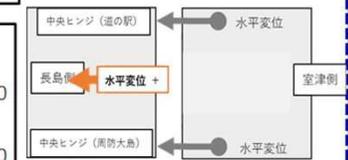
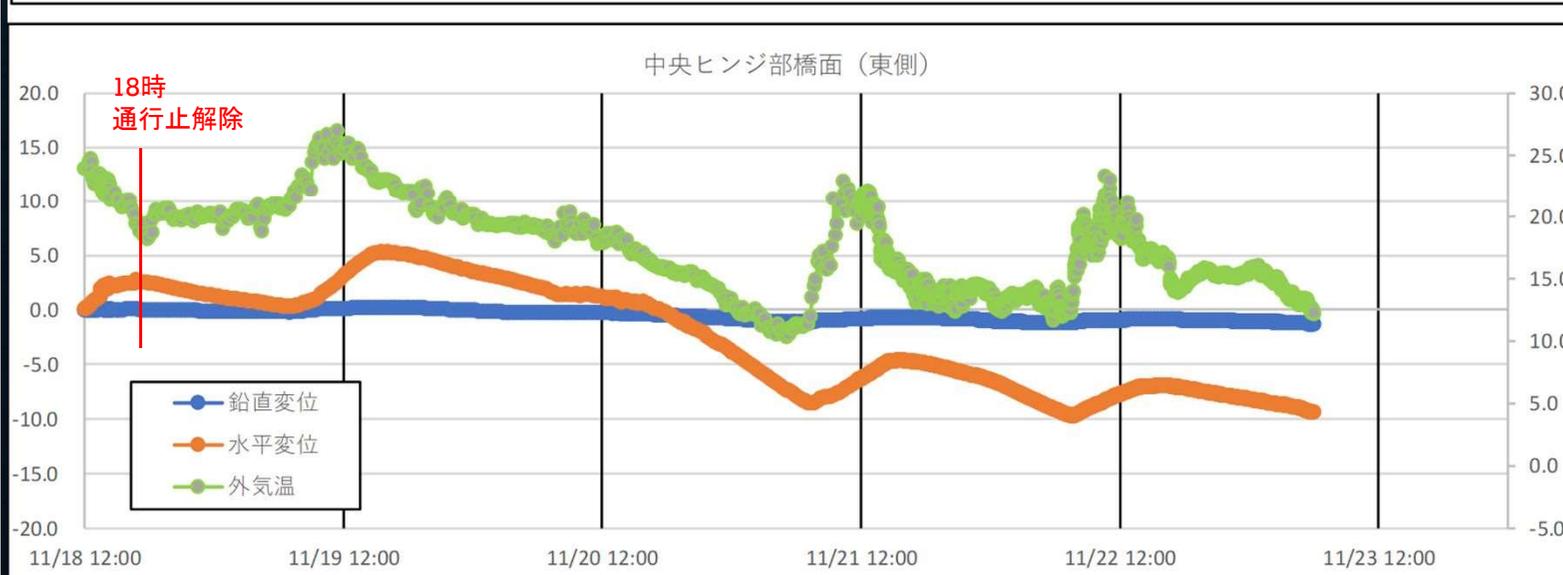
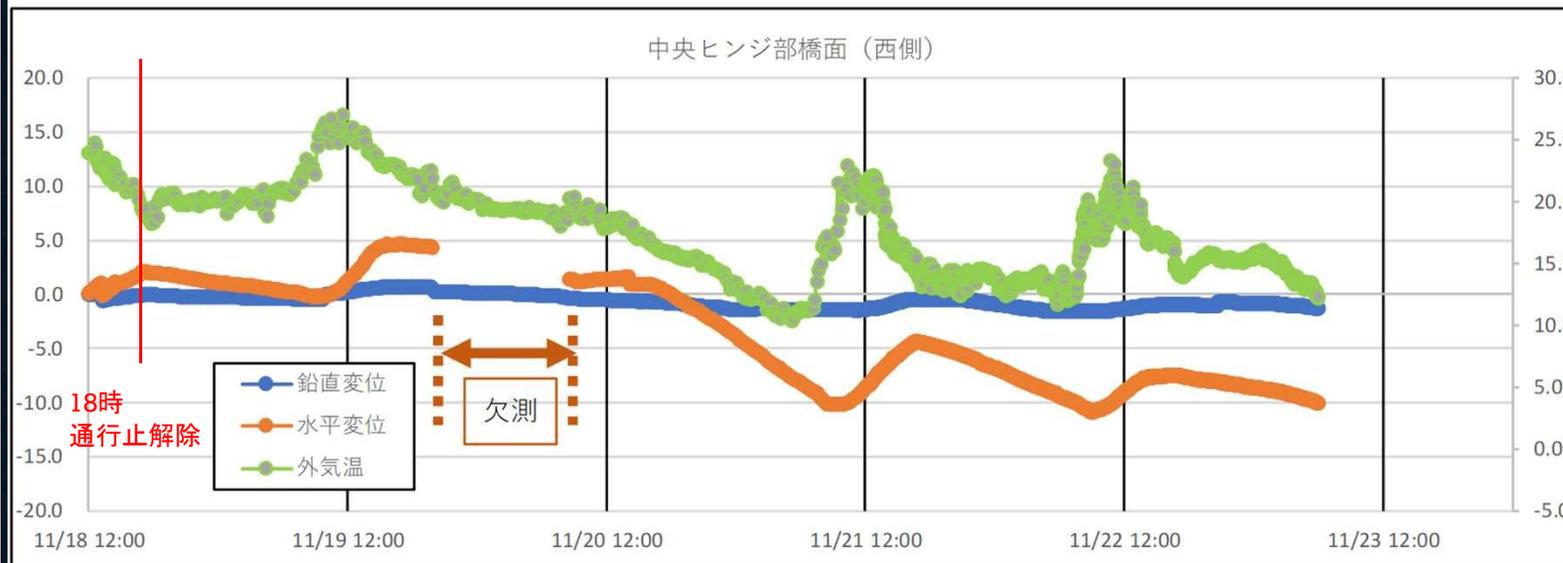
# (5) 現在までの対応内容

## 【モニタリング A2橋台位置の絶対変位】



# (5) 現在までの対応内容

## 【モニタリング 中央ヒンジ部の相対変位】

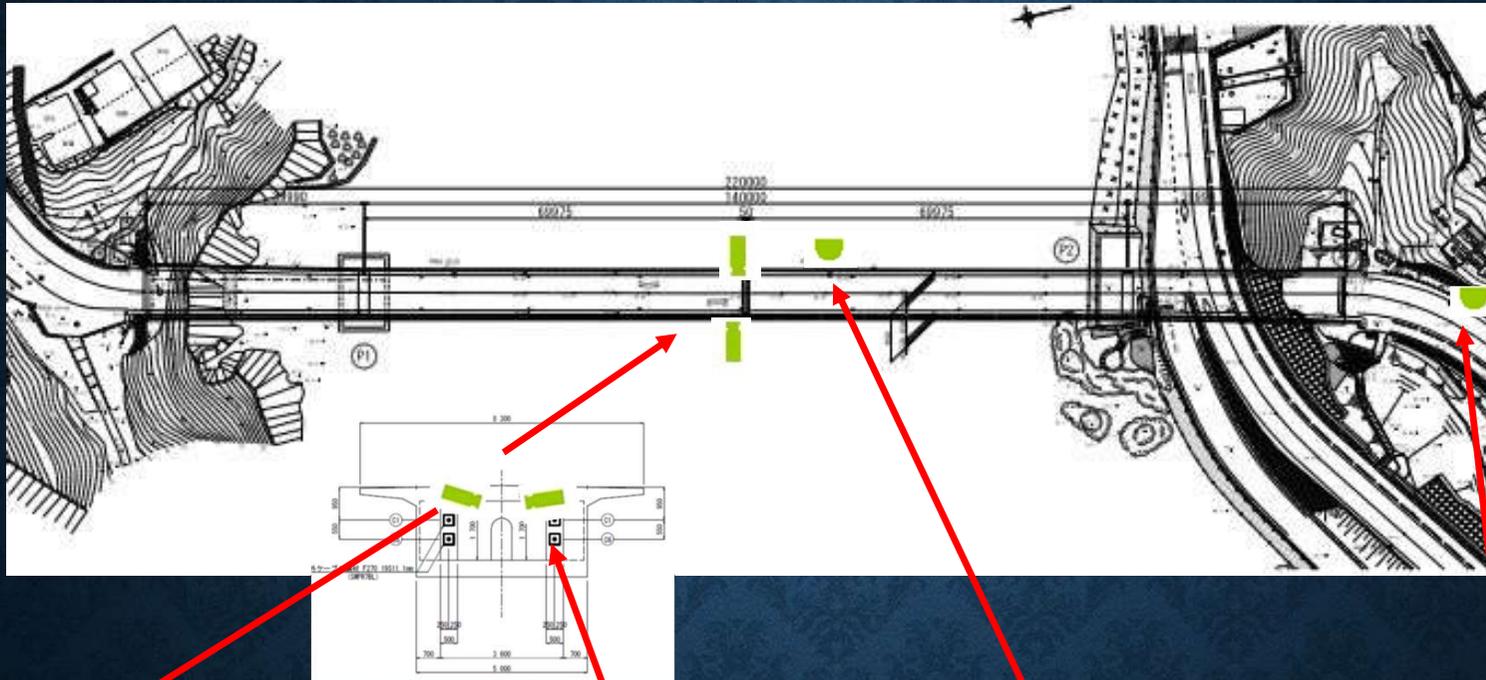


# (5) 現在までの対応内容

## 【モニタリング 上関大橋(県道光上関線)カメラについて 11月21日】

長島(A1)側

室津(A2)側



IPカメラ1

IPカメラ2

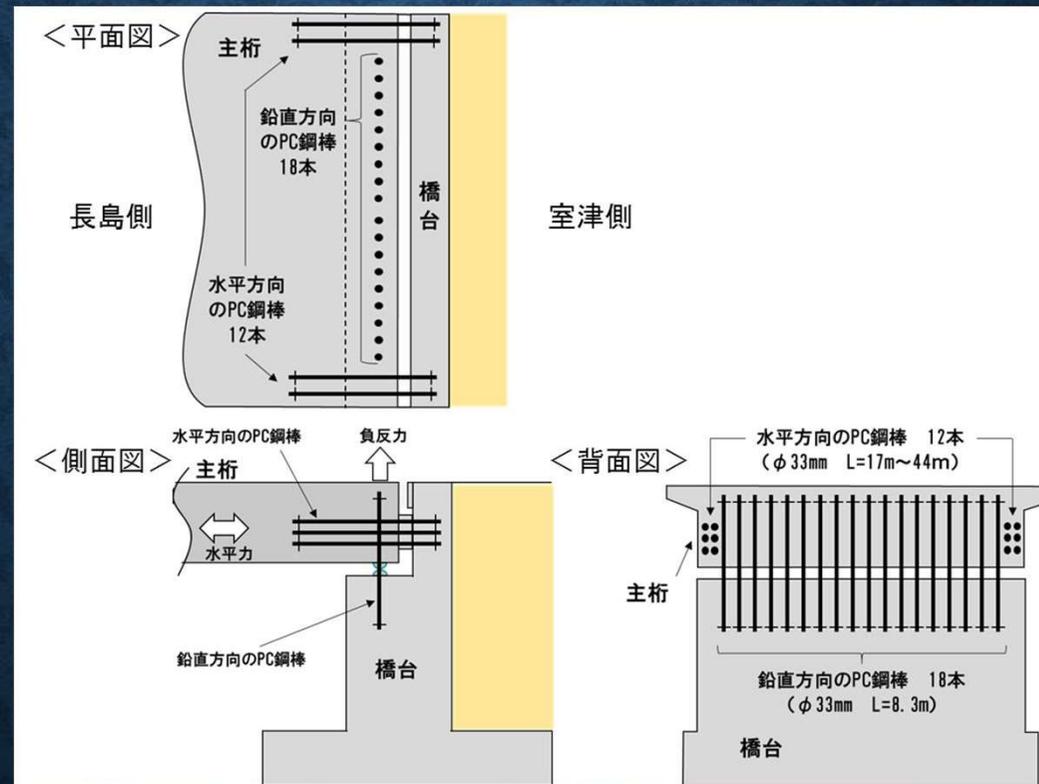
PTZカメラ1

PTZカメラ2



## (6)原因の推定

- 今回事象の原因は、主桁と橋台を連結する鉛直方向のPC鋼棒に破断等が生じていると推定され、20cmの段差が生じている状況を考えると、全ての鉛直PC鋼棒が破断に至っているものと推定される。



- また、水平方向のPC鋼棒についても連結が機能していない可能性が推定される。

## (7)原因究明に向けた調査方法・計画

PC鋼棒の破断の確認やPC鋼棒の破断が橋全体に与える影響を把握し、本復旧を検討するためには、以下に示す調査の計画・実施が必要と考える。

	確認を要する事項	調査内容
①	既設鉛直PC鋼棒の破断状況	非破壊検査＋はつりによる目視
②	既設水平PC鋼棒の状況	
③	L2地震対応で設置したPCケーブルの健全性、荷重負担	張力調査、渦流探傷試験
④	L2地震対応で設置したグラウンドアンカーの荷重負担	張力調査
⑤	A2橋台躯体コンクリートの健全性	橋台背面より進入してのコンクリート躯体(特に胸壁)の目視調査
⑥	箱桁端横桁の健全性	箱桁内部からのコア削孔による端横桁の亀裂確認
⑦	上部工既設PC鋼材の健全性	非破壊検査
⑧	中央ヒンジ部の健全性	荷重負荷の確認、UT、MT、目視調査
⑨	橋脚(特にP2)の健全性	ひびわれ調査、鉄筋探査

# (7)原因究明に向けた調査方法・計画

## 【①②⑦PC鋼棒・PC鋼材の破断調査方法】

		STEP1		STEP2
調査方法	第2案 超音波探査	第3案 放射線透過法	第4案 漏洩磁束法	第1案 はつり・目視調査
概要図	<p>垂直探触子 振動子 探触面 超音波ビーム 底面 WF Wb 送信/リス きざエコ 底面エコー</p>	<p>放射線源 透過度計 試験体 欠陥 フィルム</p>	<p>PC鋼材 ←コンクリート 磁石コユニット 磁束計測ユニット 着磁 磁束密度測定 PC鋼材破断箇所拡大イメージ 磁束計測 破断 (1) 着磁後の磁力線イメージ 健全 (2) 着磁後の磁力線イメージ 破断</p>	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材表面から超音波を内部に伝搬し破断部から反射された超音波を検出する。</li> <li>鋼材を露出させる必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射線を照射することでコンクリート内部の状況を透過する。</li> <li>放射線の安全管理が必要である。</li> <li>部材厚が厚い場合透過精度が落ちる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート表面から鋼材を着磁し、鋼材の磁束密度を計測する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートをはつり、内部鋼材を露出した上で目視確認を行う。</li> <li>直接の目視確認が可能である。</li> <li>おおよその破断箇所が分からない場合、はつり範囲が広くなり非現実的である。</li> </ul>

## (8) 本復旧に向けた調査・計画

本復旧は、実施中あるいは今後実施の調査を踏まえ、各部材が有効に機能する対策、あるいは各部材に期待せず、新たに講じる復旧対策で橋全体を支持する検討を実施。

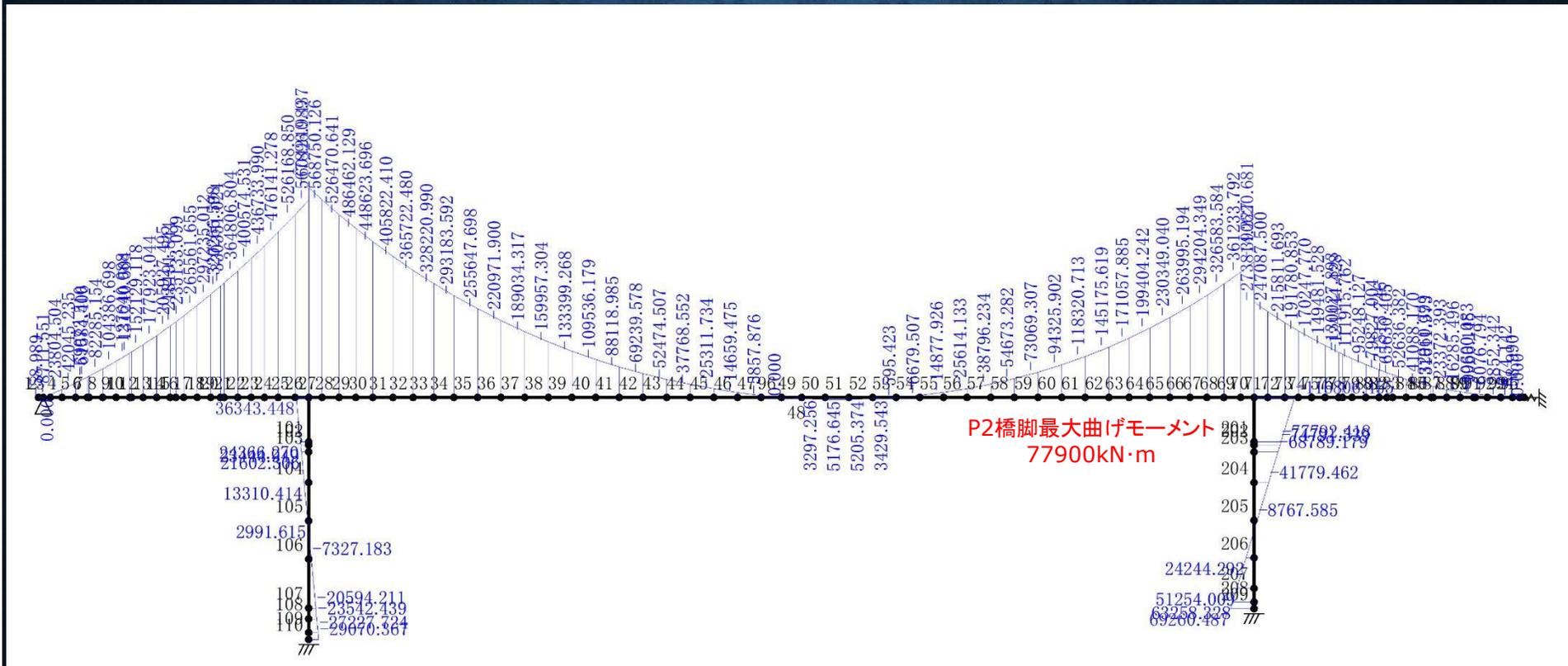
### 【既設PC鋼棒の破断等による橋体への影響解析】

項目	解析条件
鉛直方向の支持	機能しないと仮定、鉛直方向の支持条件【可動】
水平方向の支持	一定の機能を有すると仮定し、水平バネでモデル化（回転方向【可動】）。鉛直の変位量が現状と合うようにバネ定数を設定。
橋脚・上部工の断面剛性	全断面有効剛性
A1橋台部の支持条件	既設水平PC鋼棒と鉛直方向に設置した主桁-橋台連結鋼材が機能していると仮定、竣工時と同様の支持条件を踏襲
橋体モデル	ラーメン橋としてモデル化

# (8)本復旧に向けた調査・計画

## 【断面力図(死荷重時)】

➤ 損傷前に比べて、P2橋脚の曲げモーメントが増大

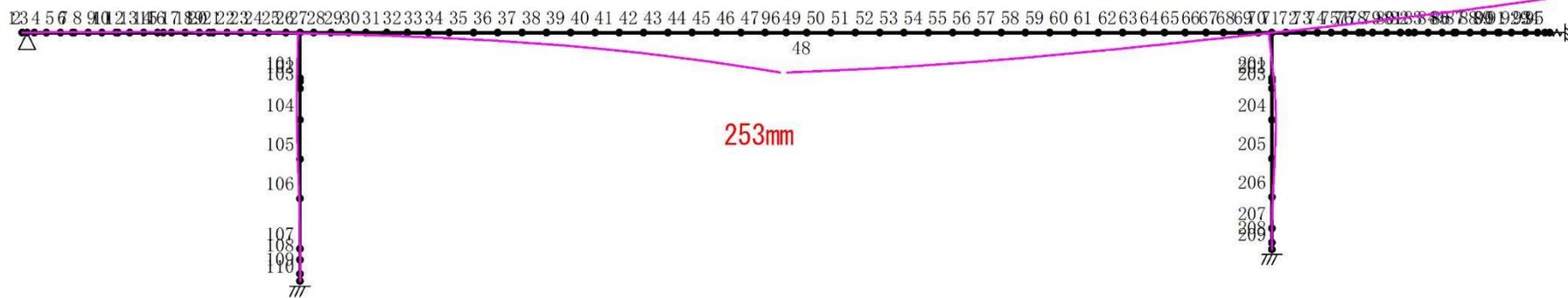


## (8) 本復旧に向けた調査・計画

### 【変位図(死荷重時)】

【現状：鉛直200mm、水平0mm】

鉛直-209mm、水平-31mm



### 【解析の今後】

- 現地調査結果を踏まえてフレーム解析の条件を再設定し、現況をより詳細に再現
- フレーム解析(静的)による再現が難しい実現象に対しては、FEM等、別途の解析手法により検証を行う。

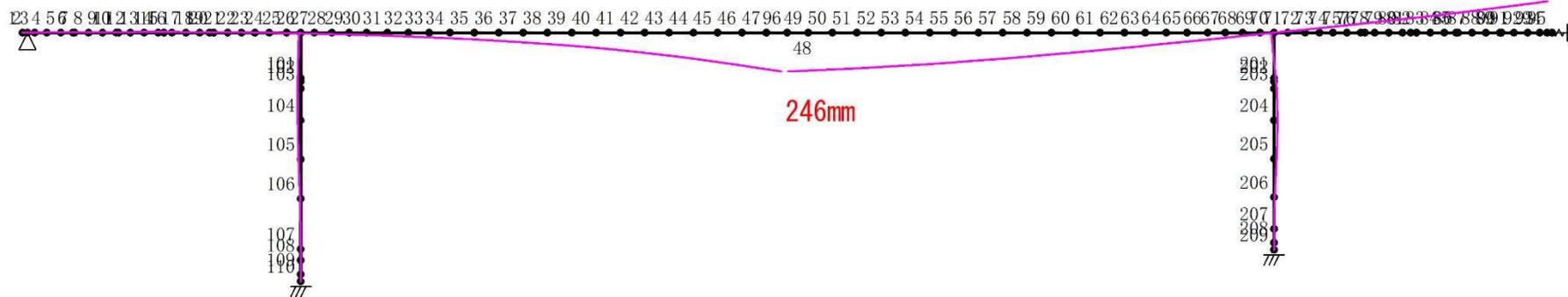
# (9) 応急対策

## 【これまでの対応内容】

- ヒンジ部先端に8tの軸重を載荷し、A2橋台部に32tのカウンター荷重を載荷させて、フレーム解析で変位を確認
- 橋上に8t相当車をテスト走行させ、挙動を確認

【現状：鉛直200mm、水平0mm】

鉛直-195mm、水平-30mm



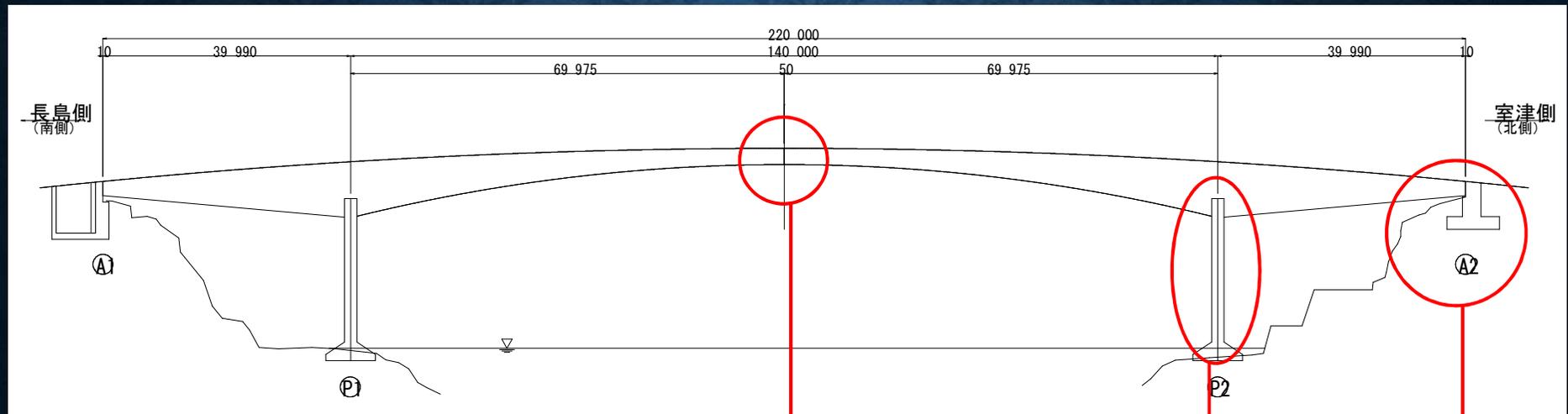
# (9) 応急対策

## 【今後の対応内容】

### 【設計条件】

活荷重条件—8t

### 【応急対策箇所】



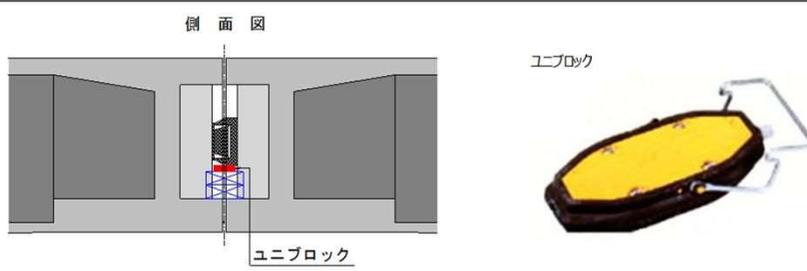
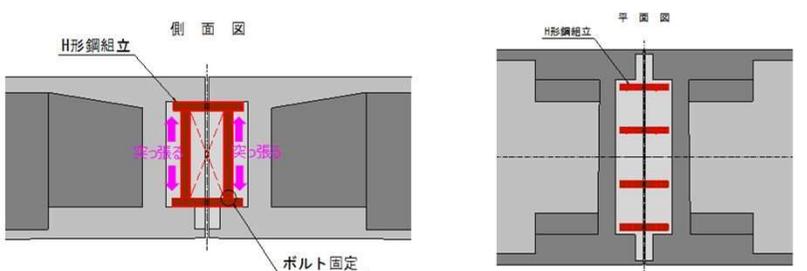
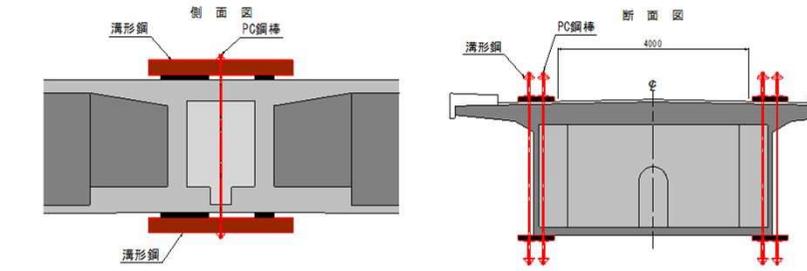
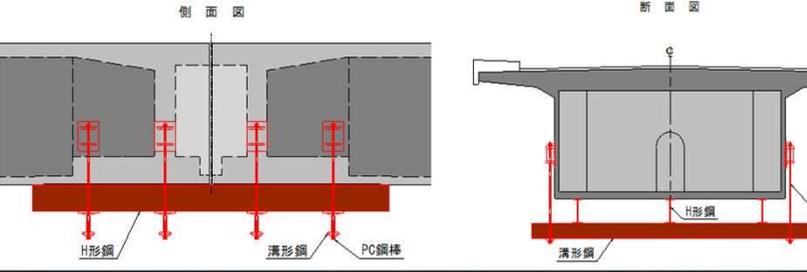
中央ヒンジ部応急対策

P2橋脚応急対策

A2橋台応急対策

# (9) 応急対策

## 【中央ヒンジ部の応急対策】

案	概要図	概要	備考
早期対応策	 <p>側面図</p> <p>ユニブロック</p> <p>ユニブロック</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒンジ部支承下にユニブロックを設置し、既設支承が破壊された後に桁間に段差が生じることを防ぐ。</li> </ul>	<p>第1案～第3案の対応を実施するに先立ち、対策の第1弾として実施する。</p>
第1案	 <p>側面図</p> <p>H形鋼組立</p> <p>ボルト固定</p> <p>平面図</p> <p>H形鋼組立</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヒンジ部支承周りにH形鋼を設置し、支承が破壊された場合にH形鋼が桁を支持する。</li> <li>桁下面の遊間が20cm程度であるため、H150のH鋼を桁下遊間から搬入し、支承部で組立を行う。</li> </ul>	<p>施工性や車両通行への影響の面から、最適な案と考えている。</p>
第2案	 <p>側面図</p> <p>溝形鋼</p> <p>PC鋼棒</p> <p>断面図</p> <p>溝形鋼</p> <p>PC鋼棒</p> <p>4000</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PC鋼棒を引張、中央ヒンジを持ち上げる。</li> <li>橋梁点検車にて、鋼材を取り込むため、荷重に制限がある。</li> <li>橋体の検討が必要。</li> <li>伸縮装置に穴を開ける必要がある。</li> </ul>	
第3案	 <p>側面図</p> <p>H形鋼</p> <p>溝形鋼</p> <p>PC鋼棒</p> <p>断面図</p> <p>H形鋼</p> <p>溝形鋼</p> <p>PC鋼棒</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>箱桁ウエブに取り付けたPC鋼棒と、桁下に設置した鋼材により、ヒンジ部支承が破壊した後も桁を支持できる構造とした案。</li> <li>橋梁点検車にて、鋼材を取り込むため、荷重に制限がある。</li> <li>桁ウエブのアンカー削孔が必要となる。</li> </ul>	

# (9) 応急対策

## 【A2橋台部の応急対策】

概要図	第1案 PC鋼材アンカー設置(主桁内配置)	第2案 PC鋼材アンカー設置+グラウンドアンカー(主桁側面配置)
	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>主桁内および橋台前面に負反力鋼材定着用ブラケットを設置し、PC鋼材にて両者を緊張する案。</p>	<p>正面図</p> <p>側面図</p> <p>主桁内に負反力鋼材定着用ブラケットを設置し、グラウンドアンカー形式のPC鋼材により補強する案。</p>

※上表はA1橋台検討時のもの

# (9) 応急対策

## 【A2橋台部の応急対策】

	第3案 PC鋼材アンカー設置(主桁側面配置)	第4案 カウンターウェイト
概要図	<p>正面図</p> <p>正面図</p> <p>定着ブラケット (主桁側)</p> <p>樹脂アンカー-D29 N=117本</p> <p>追加鋼材 SEE F270 L=7.5m N=4本</p> <p>鋼材アンカー部</p> <p>主桁側面に負反力鋼材定着用ブラケットを設置するとともに、橋台壁部の削孔箇所にてPC鋼材を付着定着し、両者を緊結する案</p>	<p>側面図</p> <p>正面図</p> <p>コンクリート</p> <p>コンクリート</p> <p>コンクリート</p> <p>主桁内にカウンターウェイト用コンクリートを打設し、負反力に抵抗する案</p>

※上表はA1橋台検討時のもの

## (9) 応急対策

### 【P2橋脚の補修・補強】

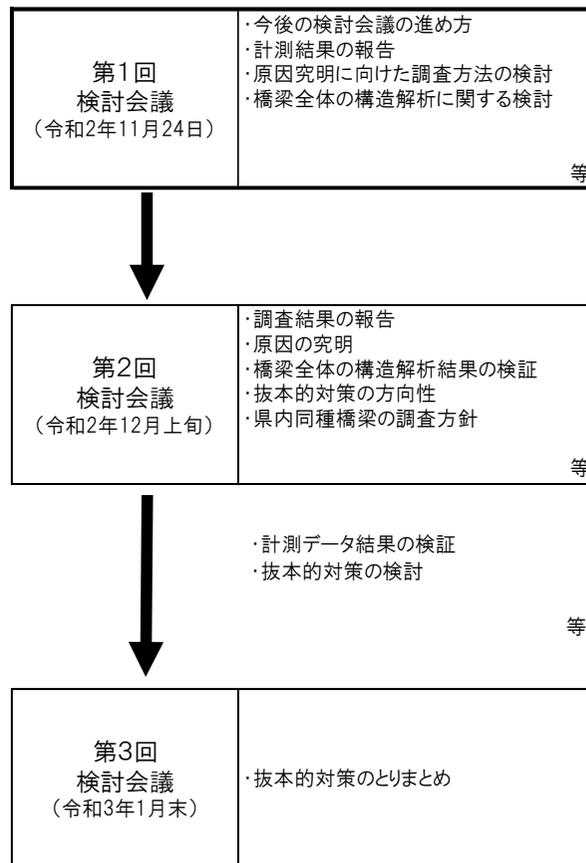
- 橋脚柱上部にひびわれが発生しているため、A2橋台部の応急対策を実施後、繊維シートを剥ぎ取り柱をひび割れ調査や鉄筋探査を実施して、ひび割れ注入や繊維シートを施す。



# (10) 今後の検討会議の進め方について

## 上関大橋復旧検討会議フロー

### 検討会議の進め方



※会議は、検討状況により複数回実施することもある