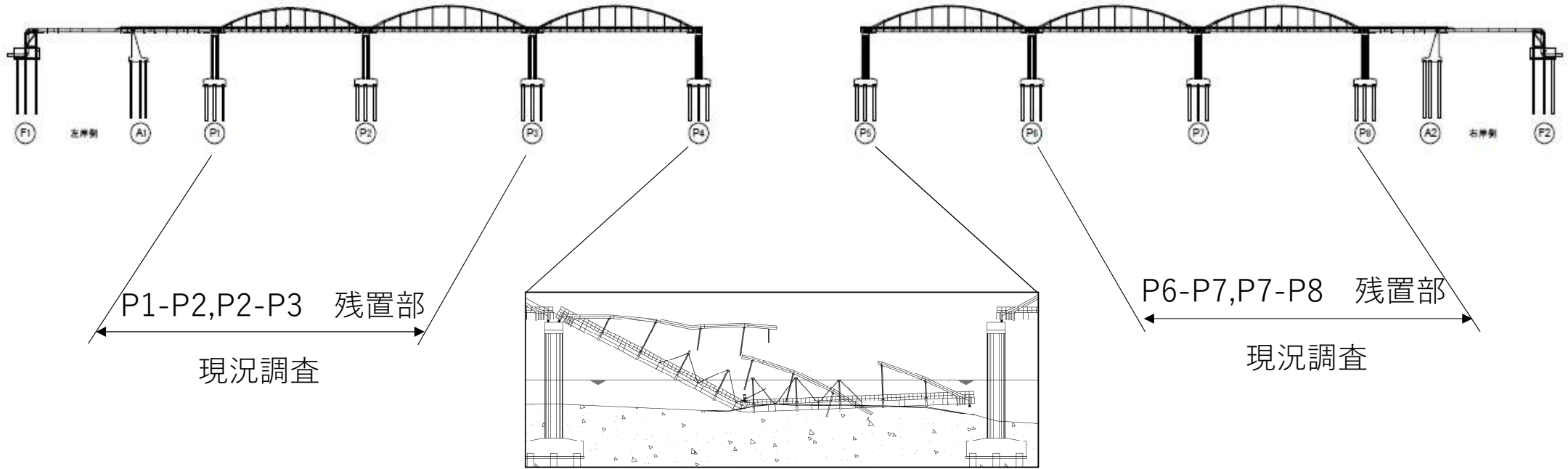


落橋水管橋及び残置水管橋  
調査結果報告

# 六十谷水管橋の調査箇所

左岸（加納）

右岸（六十谷）



P4-P5 落橋部



加納浄水場へ運搬し調査

※P3-P4,P5-P6径間については撤去・新設のみ。

# 1. 落橋水管橋 調査

加納浄水場内仮置き



## I. 落橋水管橋 調査

### 落橋部 調査方法

#### (1) 試験所での調査

- 1) 外観観察 および 破断面のマクロ観察調査
- 2) 破損部近傍断面の金属マクロ組織観察調査
- 3) 亀裂破面のSEM観察調査
- 4) 素材鋼片の引張試験
- 5) 鋼材及び溶接金属部の定量分析調査

#### (2) 現地での調査

管厚調査

## 1. 落橋水管橋 調査

### 調査数量 (試験所)

項 目	上弦材		下弦材	吊 材
		綾材		
1) 外観観察および破断面のマクロ観察調査	4組	1組	---	9組
2) 破損部近傍断面の金属マクロ組織観察調査	4組	1組	5	9組
3) 亀裂破面のSEM観察調査	4組	1組	5	9組
4) 素材鋼片の引張試験	4組	1組	5	9組
5) 鋼材及び溶接金属部の定量分析調査	4組	1組	5	9組

## 1. 落橋水管橋 調査

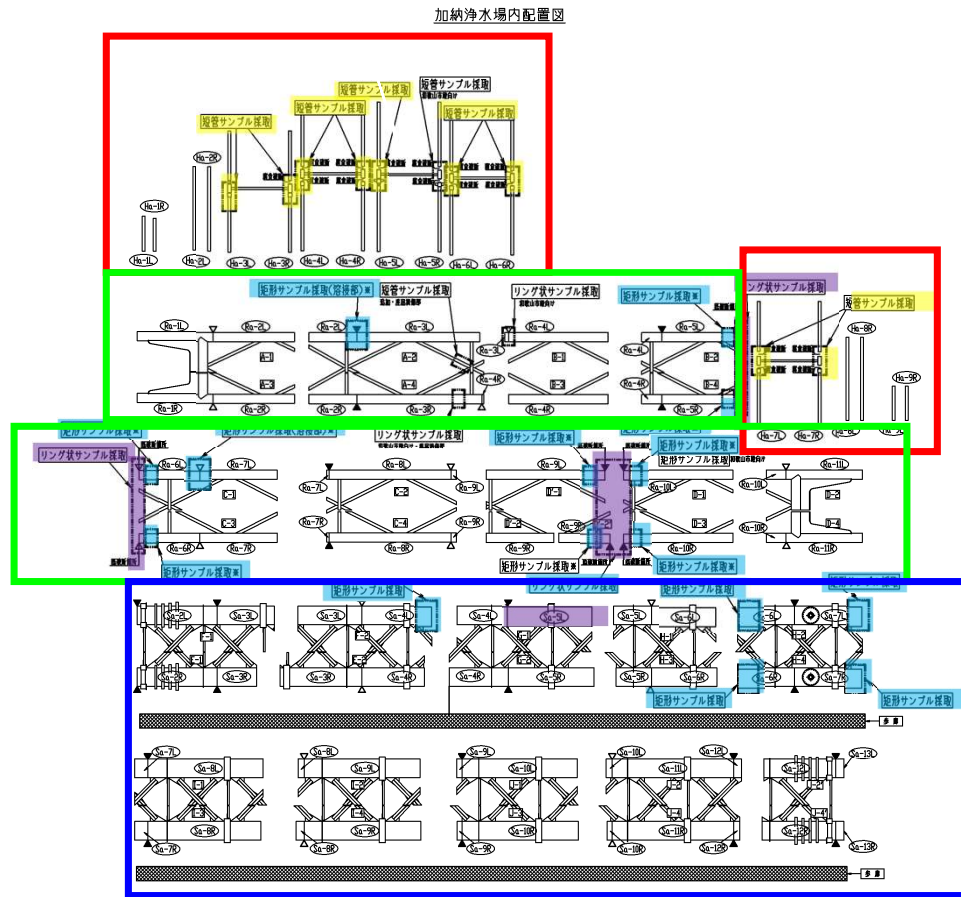
### 調査数量 (現地)

	上弦材	下弦材	吊材	上横支材
現地 溶接部	12R (4点測定/リング)	12R (4点測定/リング)	バンド補強部隅 肉溶接付近 全箇所 (4点測定/リング)	---
任意箇所	10R (4点測定/リング)	10R (4点測定/リング)	全本数、各1R (4点測定/リング)	---
風琴対策 バンド部	---	全箇所 (長さ、周方向とも 30mmピッチ)	全箇所 (高さ、周方向とも 30mmピッチ)	全箇所 (長さ、周方向とも 30mmピッチ)

# 1. 落橋水管橋 調査

## 落橋部 調査部材採取箇所

試験サンプル採取位置



凡例 日鉄試験

短管サンプル採取…黄色  
 矩形サンプル採取…水色  
 リングサンプル採取…紫色

日鉄テカノロー廠送付試験

採取箇所	形状	寸法	備考
上座材 Ra-5L	リング	φ406.4od×120L~150L	破断状況分析用
Ra-5R	"	"	"
Ra-6L	"	"	"
Ra-6R	"	"	"
Ra-9L	"	"	"
Ra-9R	"	"	"
Ra-10L	"	"	"
Ra-10R	"	"	"
Ra-5L	矩形	150×400	母材引張試験用
Ra-5R	"	"	"
Ra-6L	"	"	"
Ra-6R	"	"	"
Ra-9L	"	"	"
Ra-9R	"	"	"
Ra-10L	"	"	"
Ra-10R	"	"	"
Ra-2L x Ra-3L	"	"	現場溶接部引張試験用
Ra-6L x Ra-7L	"	"	工場溶接部引張試験用
Ra-3L 右岸側線材	短管	φ139.8od×300L	破断状況分析用, 産品検査部
下座材 Sa-6L	矩形	150×400	母材引張試験用
Sa-7L	"	"	"
Sa-6R	"	"	"
Sa-7R	"	"	"
Sa-4L	"	"	"
吊材 Ha-3L	短管	-	破断状況分析・引張試験用
Ha-3R	"	-	"
Ha-4L	"	-	"
Ha-4R	"	-	"
Ha-5L	"	-	"
Ha-6L	"	-	"
Ha-6R	"	-	"
Ha-7L	"	-	"
Ha-7R	"	-	"

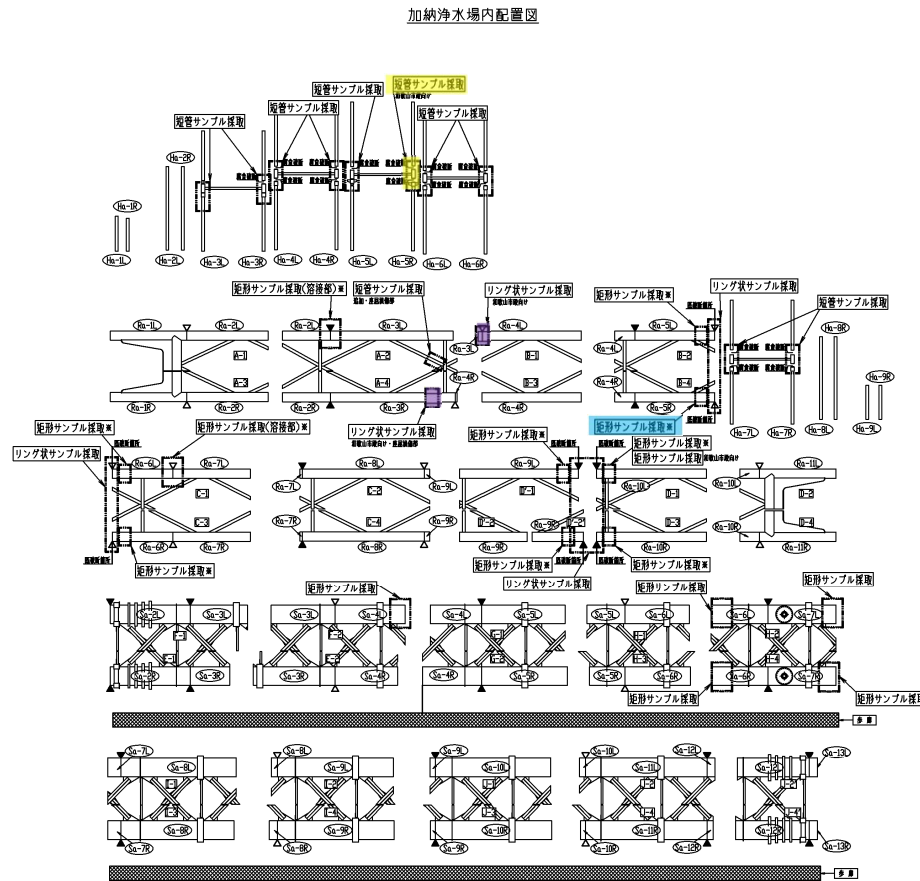
産品山市廠送付試験

採取箇所	形状	寸法	備考
上座材 Ra-3R	リング状	φ406.4od×400L	産品検査部
Ra-3L x Ra-4L	"	φ406.4od×400L	産品検査部
Ra-10L	矩形	150×400	"
吊材 Ha-5R	短管	-	破断状況分析・引張試験用

# 1. 落橋水管橋 調査

## 落橋部 試験部材採取箇所 (第三者用)

試験サンプル採取位置



凡例 日水コン試験

短管サンプル採取…黄色  
 矩形サンプル採取…水色  
 リングサンプル採取…紫色

日水市水産部送付試験

採取箇所	形状	寸法	備考
上管材 Ra-5L	リング	φ406.4od×120L~150L	破断状況分析用
Ra-5R	"	"	"
Ra-6L	"	"	"
Ra-6R	"	"	"
Ra-9L	"	"	"
Ra-9R	"	"	"
Ra-10L	"	"	"
Ra-10R	"	"	"
Ra-5L	矩形	150×400	母材引張試験用
Ra-5R	"	"	"
Ra-6L	"	"	"
Ra-6R	"	"	"
Ra-9L	"	"	"
Ra-9R	"	"	"
Ra-10L	"	"	"
Ra-10R	"	"	"
Ra-2L x Ra-3 L	"	"	現場溶接部引張試験用
Ra-6L x Ra-7 L	"	"	工場溶接部引張試験用
Ra-3L 右岸側鋼材	短管	φ139.8od×300L	破断状況分析用・産屈損傷部
下管材 Sa-6L	矩形	150×400	母材引張試験用
Sa-7L	"	"	"
Sa-6R	"	"	"
Sa-7R	"	"	"
Sa-4L	"	"	"
布材 Ha-3L	短管	-	破断状況分析・引張試験用
Ha-3R	"	"	"
Ha-4L	"	"	"
Ha-4R	"	"	"
Ha-5L	"	"	"
Ha-6L	"	"	"
Ha-6R	"	"	"
Ha-7L	"	"	"
Ha-7R	"	"	"

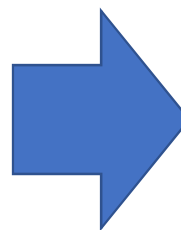
日水市水産部送付試験

採取箇所	形状	寸法	備考
上管材 Ra-3R	リング状	φ406.4od×400L	産屈損傷部
Ra-3L x Ra-4 L	"	φ406.4od×400L	産屈損傷部
Ra-10L	矩形	150×400	"
布材 Ha-5R	短管	-	破断状況分析・引張試験用



# Ⅰ. 落橋水管橋 調査

現地管厚調査：吊材の調査状況



# 1. 落橋水管橋 調査

現地管厚調査：上横支材の調査状況

③ケレン前  
孔あき大



⑤管厚測定

工事件名 六十谷水管橋緊急復旧工事  
工事場所 加納浄水場  
落水水管橋 調査工事  
上弦材 現地溶接部  
管厚測定状況

# 1. 落橋水管橋 調査

上弦材の試験片切り出し状況

破断面確認用



引張試験用



# 1. 落橋水管橋 調査

下弦材（通水管）の調査状況



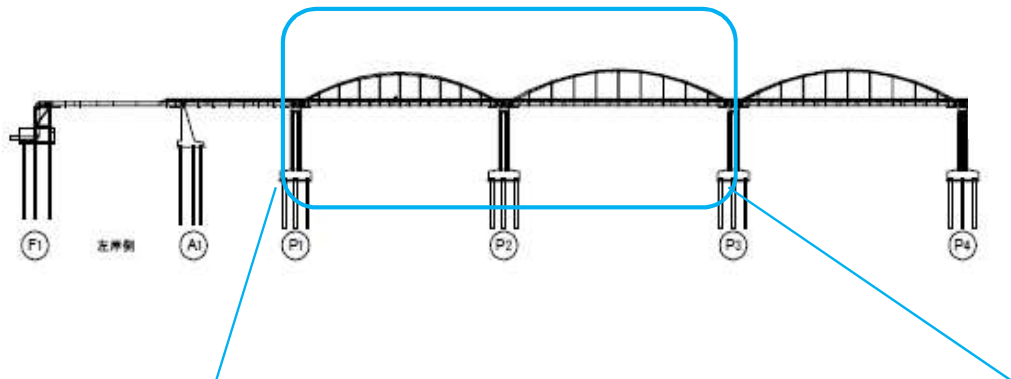
# 1. 落橋水管橋 調査

試験片切り出し状況（下写真は下弦材）

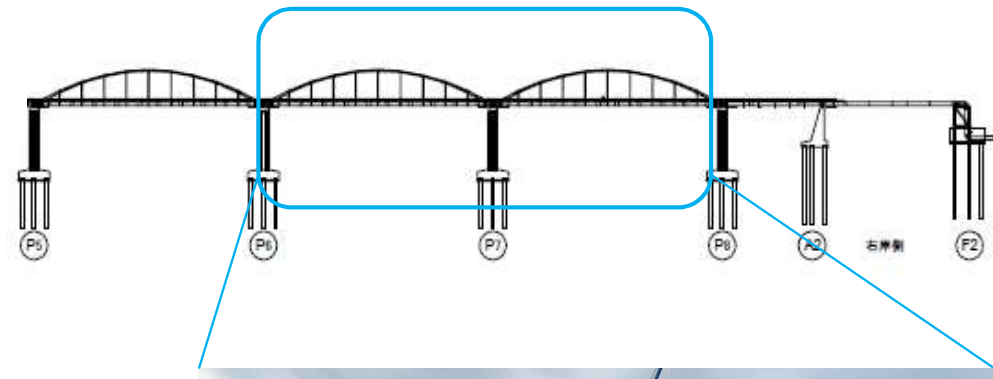


## II. 残置水管橋 調査

左岸 (加納)



右岸 (六十谷)



## II. 残置水管橋 調査

### (1) 現地での調査

1) 外観観察

2) 管厚調査

※残置水管橋は、架設状態であり切断必要な調査不可。

## II. 残置水管橋 調査

管厚調査数量 (P1-P2,P2-P3,P7-P8)

	上弦材	下弦材	吊材	上横支材
現地溶接部	12R (4点測定/リング)	12 R (4点測定/リング)	バンド補強部隅 肉溶接付近全箇所 (4点測定/リング)	---
風琴対策バンド部	---	10R (4点測定/リング)	20R (4点測定/リング)	10R (4点測定/リング)



## II. 残置水管橋 調査

### 管厚調査数量 (P6-P7)

	上弦材	下弦材	吊材	上横支材
現地溶接部	12R (4点測定/リング)	12R (4点測定/リング)	バンド補強部隅 肉溶接付近全箇所 (4点測定/リング)	---
任意箇所	10R (4点測定/リング)	10R (4点測定/リング)	全本数とも、各 1R (4点測定/リング)	---
風琴対策バンド部	---	全箇所 (長さ、周方向とも 30mmピッチ)	全箇所 (高さ、周方向とも 30mmピッチ)	全箇所 (長さ、周方向とも 30mmピッチ)

## Ⅲ. 調査結果

### Ⅲ-1. 落橋水管橋

#### 1) 外観調査

- ・ 吊材 9本/18本の破断あり。  
後付けブレス材の全ての箇所腐食あり。  
破断部については、激しい外面腐食。  
1本当たり、1箇所破断 2本/9本、2か所破断 7本/9本。
- ・ 上弦材破断部 工場・現地溶接部で破断。  
外面に腐食の痕跡が認められる。
- ・ 下弦材 外面腐食は認められるが貫通傷はなし。（漏水の痕跡はなし）

### III. 調査結果

#### ・吊材



Ha-3L



Ha-3R



Ha-4L



Ha-4R



Ha-5L



Ha-6L



Ha-6R



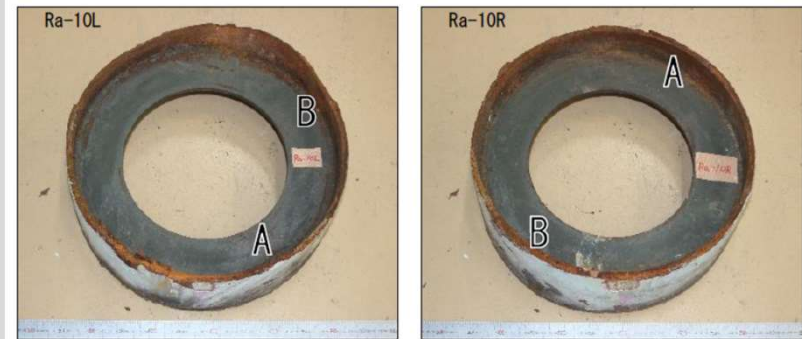
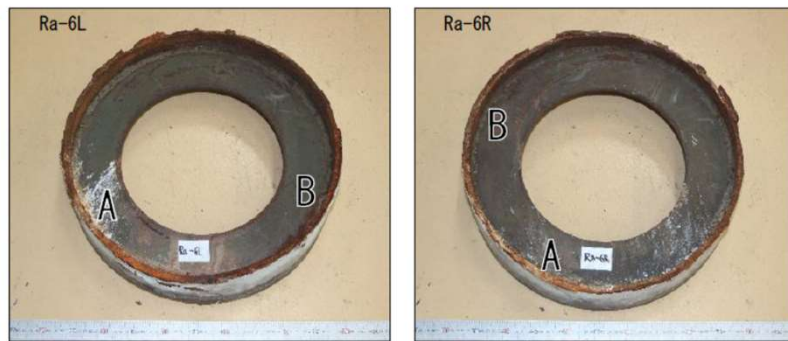
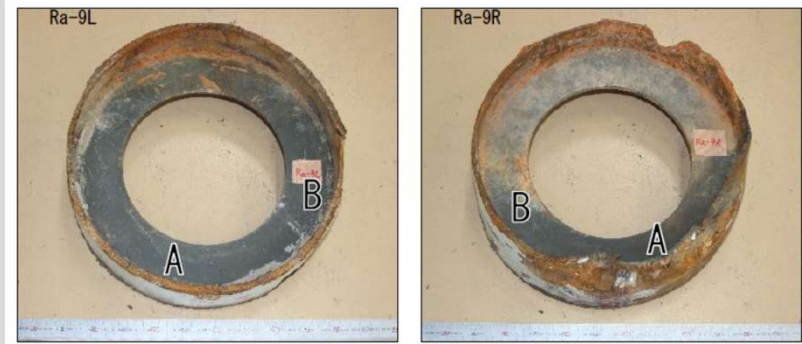
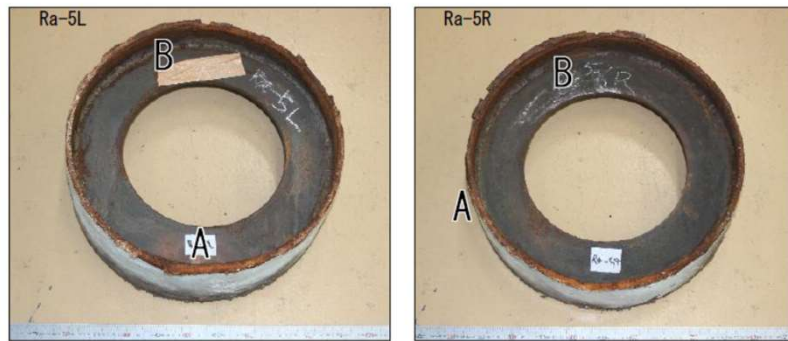
Ha-7L



Ha-7R

### III. 調査結果

#### ・ 上弦材破断部



A・Bは調査用試料採取位置

A・Bは調査用試料採取位置

# 1. 落橋水管橋 調査

下弦材の調査状況



# 1. 落橋水管橋 調査

下弦材の調査状況 (人孔部)



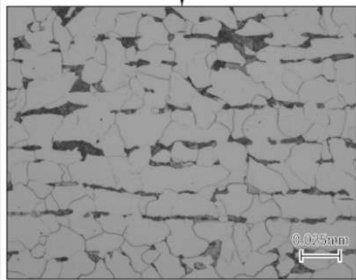
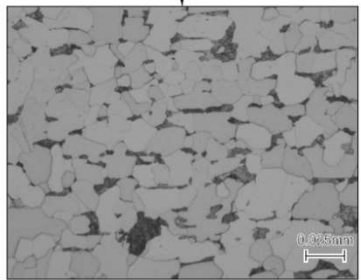
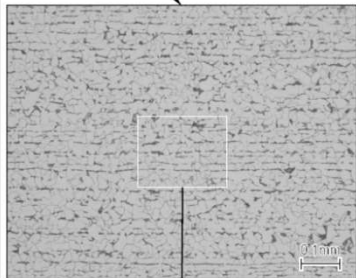
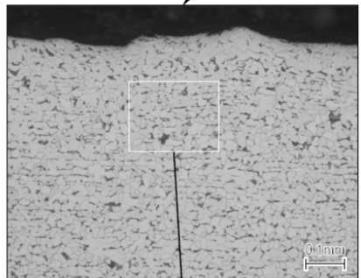
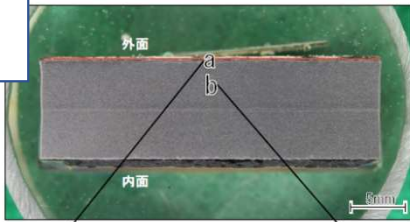
### III. 調査結果

#### (1) 落橋水管橋

#### 2) 破損部近傍断面の金属マクロ組織観察調査

・全試料とも、断面より一般的な金属組織を示している。

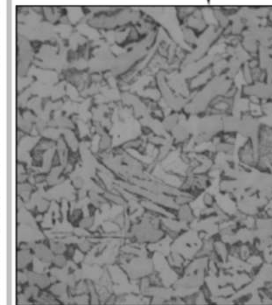
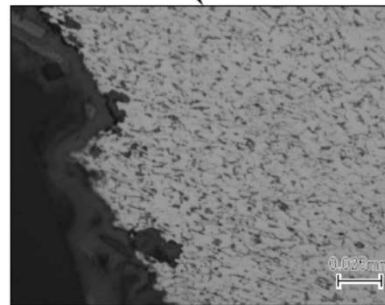
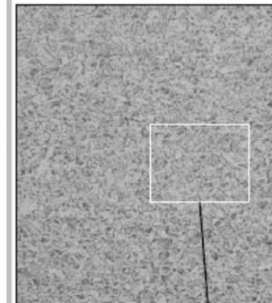
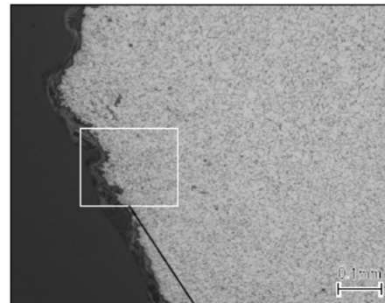
下弦材



上図 a 部

上図 b 部

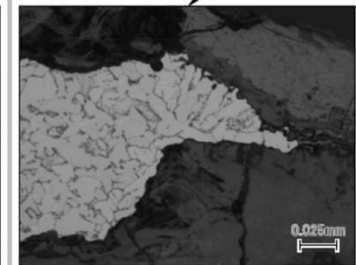
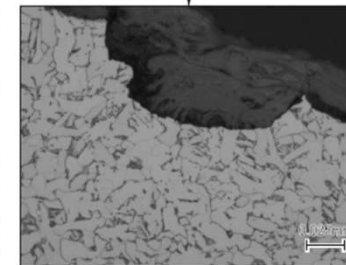
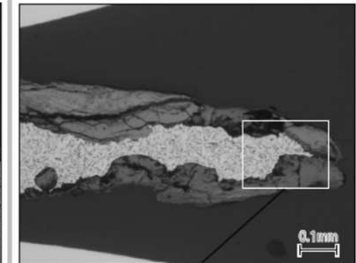
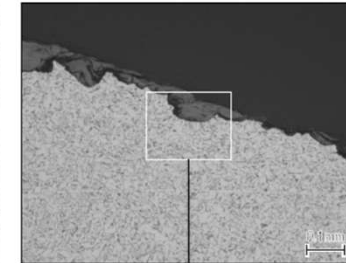
上弦材



上図 a 部

上図 b 部

吊材



上図 a 部

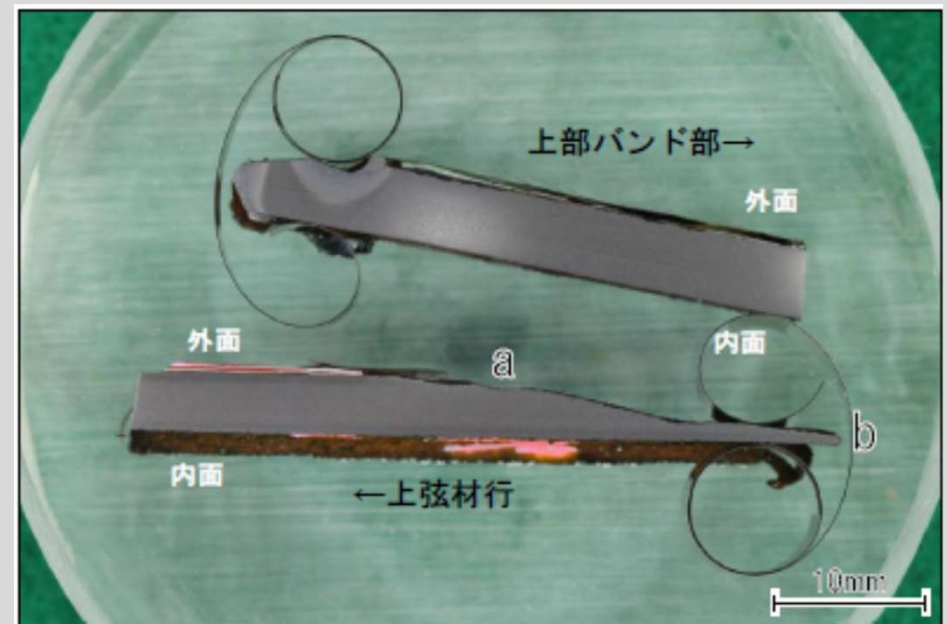
上図 b 部

### III. 調査結果

#### (1) 落橋水管橋

#### 2) 破損部近傍断面の金属マクロ組織観察調査

- 破断部については、全試料とも外面腐食損傷が顕著である。（全面腐食）  
吊材では、外面腐食の影響が大きく（内面側は腐食影響なし）破断部の先端では厚みが1mm以下となっているものが多い。



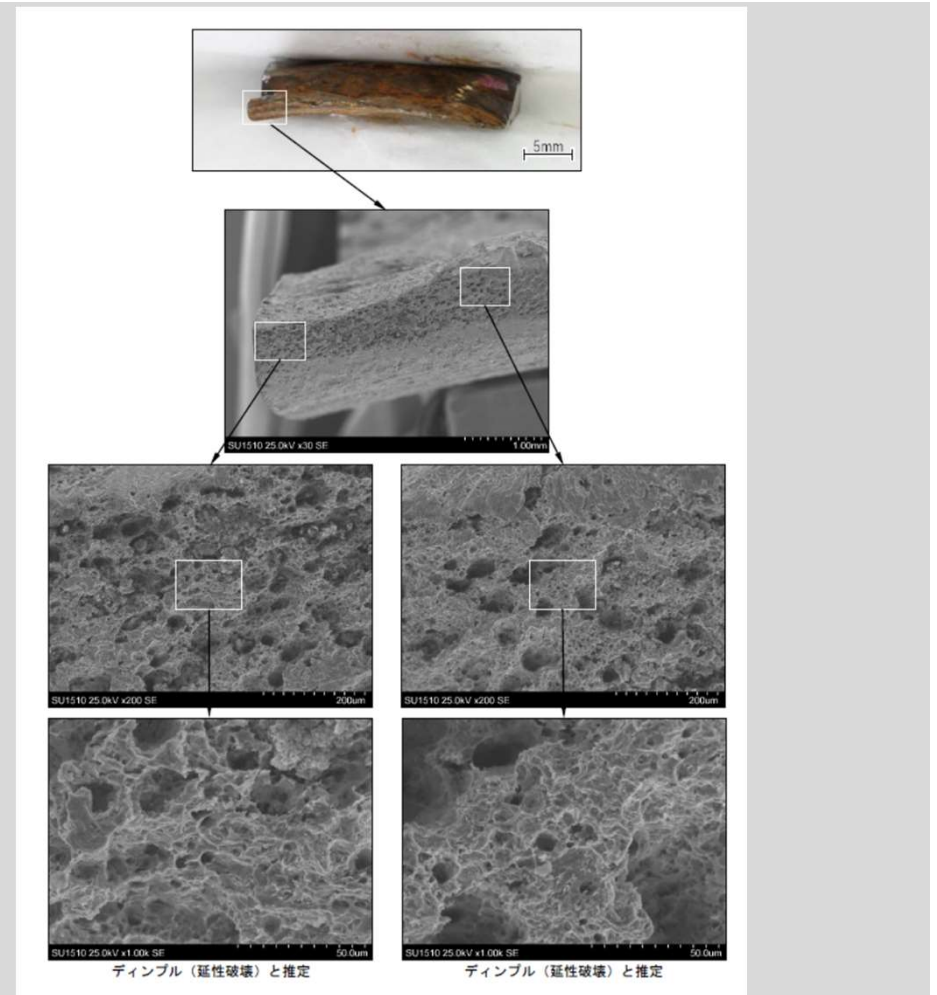


### Ⅲ. 調査結果

#### (1) 落橋水管橋

##### 3) 亀裂破面のSEM観察調査

- ・吊材については、複数の資料において過大な応力が作用したことによる延性破壊の痕跡であるディンプルの様相あり。

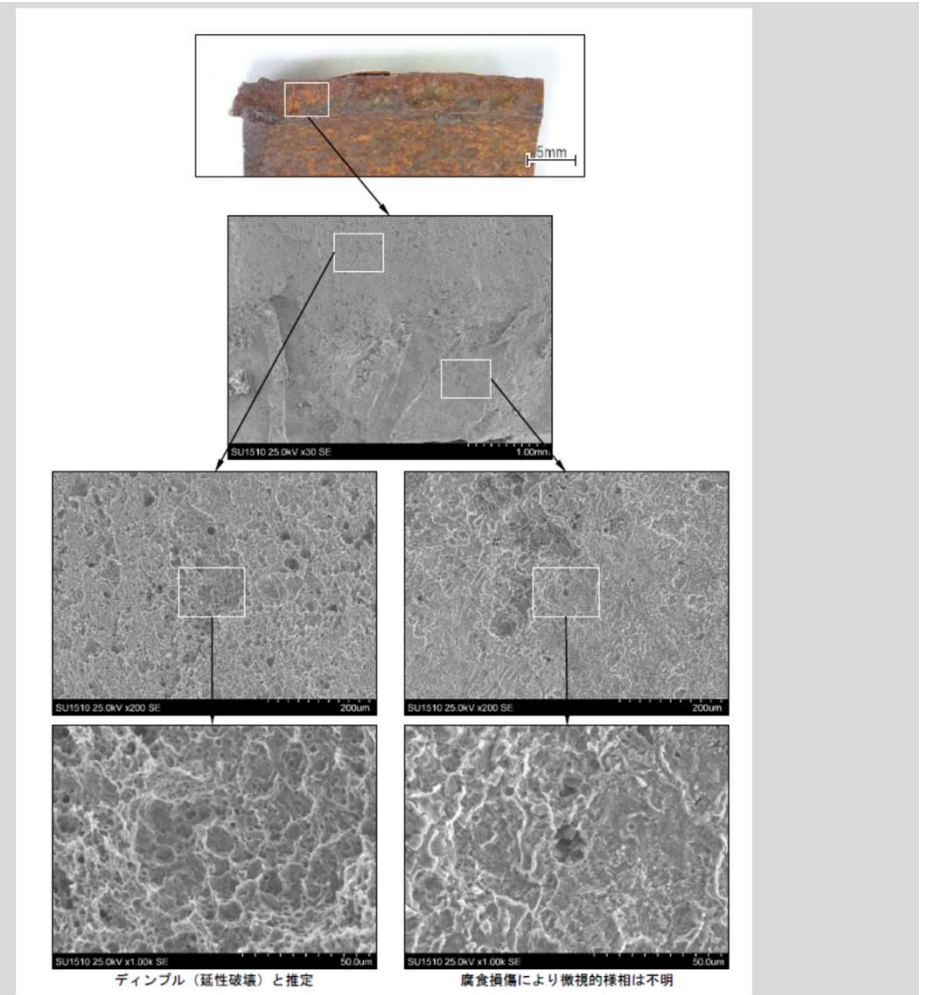


### Ⅲ. 調査結果

#### (1) 落橋水管橋

##### 3) 亀裂破面のSEM観察調査

- ・ 綾材座屈損傷部については、大きな変形を伴って破断している。こちらにもディンプルが確認されており、延性破壊と推定。



### Ⅲ. 調査結果

#### (1) 落橋水管橋

##### 4) 素材鋼片の引張試験

###### ①母材試験

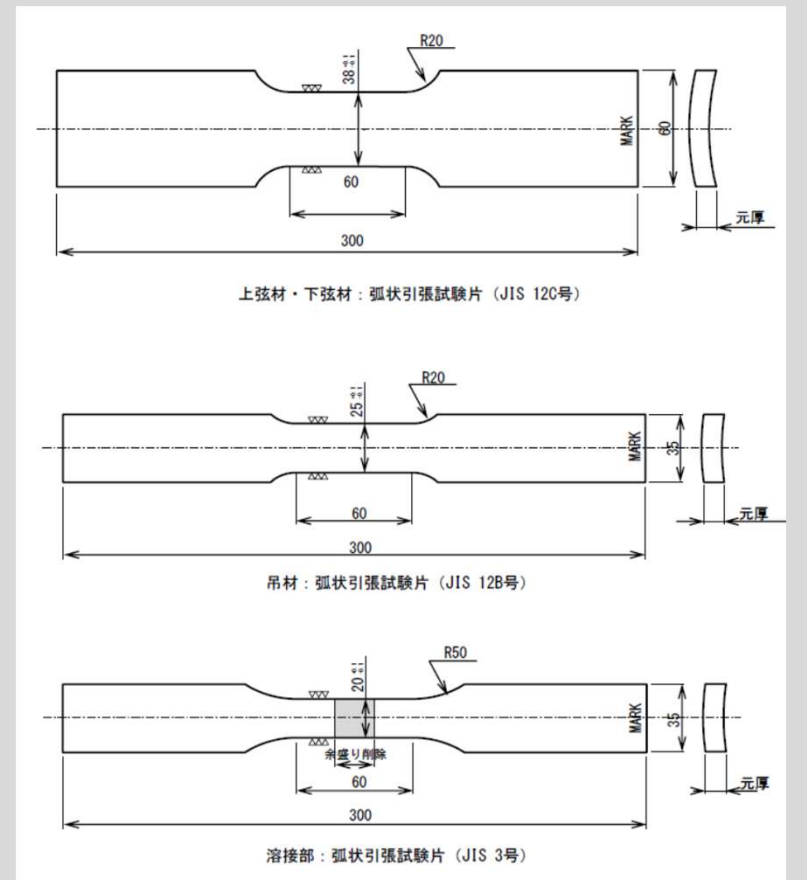
補剛材（上弦材・吊材） STK400

本管材（下弦材） STPY400

400MPa以上の引張強さが必要となるが全試料とも400MPaを上回っている。

###### ②溶接部

現地溶接部については、現場、工場各1箇所採取した試料では、400MPaを下回っている。



### Ⅲ. 調査結果

#### (1) 落橋水管橋

##### 5) 定量分析調査

###### ①母材

JIS規格の成分を満足している。

###### ②溶接部

JIS規格成分値はないが、母材成分は満足している。

単位：%

名 称	C	Si	Mn	P	S
STK400規格値	0.25以下	---	---	0.040以下	0.040以下
STK400-結果	0.24(MAX)	---	---	0.028(MAX)	0.021(MAX)
STPY400規格値	0.25以下	---	---	0.040以下	0.040以下
STPY400-結果	0.11(MAX)	---	---	0.021(MAX)	0.006(MAX)
溶接棒-規格値	---	---	---	---	---
溶着金属-結果	0.13(MAX)	---	---	0.020(MAX)	0.013(MAX)

### Ⅲ. 調査結果

#### (1) 落橋水管橋

##### 6) 管厚測定

- ・上弦材現地溶接部を除き下弦材・吊材・バンド下ほぼすべてで管厚マイナス公差を下回っている箇所あり。

	規格	口径	①公称管厚		②平均値	③最小値	④公称管厚と 最小値の差	腐食速度 ④/⑤	管厚公差 と最小値 の差 ⑥-③ (mm)
		(A)	(mm)		(mm)	(mm)	②-③(mm)	(mm/年)	
吊材	STK400	125	4.5	L	4.64	3.80	0.70	0.0146	-0.13
現地溶接	⑥管厚公差	15.0%	5.17	R	4.31	3.60	0.90	0.0188	-0.33
		-12.5%	3.93						

### Ⅲ. 調査結果

#### (2) 残置水管橋

##### 1) 外観調査

既設ランガー橋4橋の発錆面積について右左岸について大幅に差異あり。  
連続梁についても右左岸で差異あり。

ランガー橋 径間毎腐食面積

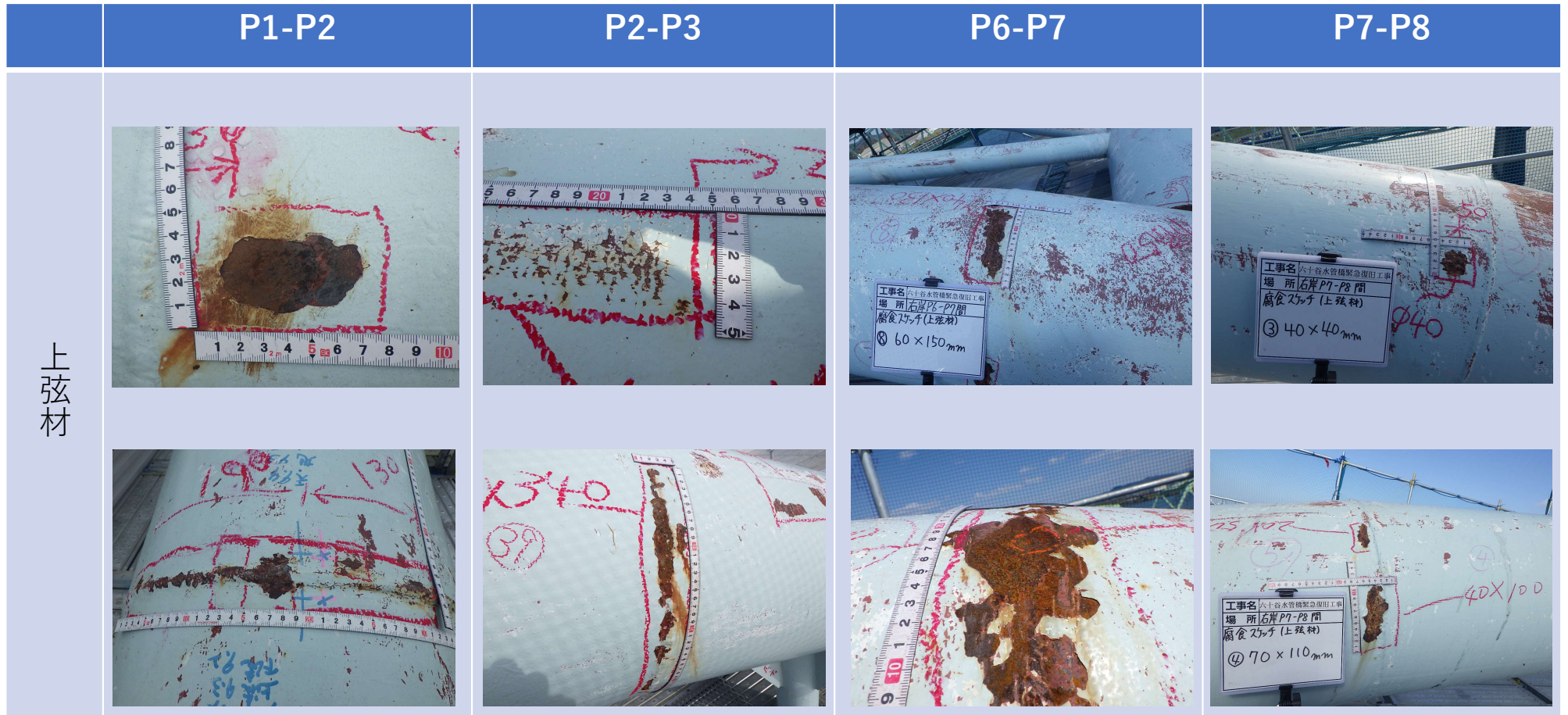
径間	発錆面積(mm <sup>2</sup> )	比率(P1-P2比)
P1-P2 (左岸)	49,817,157	---
P2-P3	76,711,533	1.54
P6-P7	108,364,272	2.18
P7-P8 (右岸)	109,965,422	2.21

2径間連続梁 径間毎腐食面積

径間	発錆面積(mm <sup>2</sup> )	比率(A1-P1比)
A1-P1 (左岸)	8,296,652	---
P8-A2 (右岸)	22,511,658	2.71

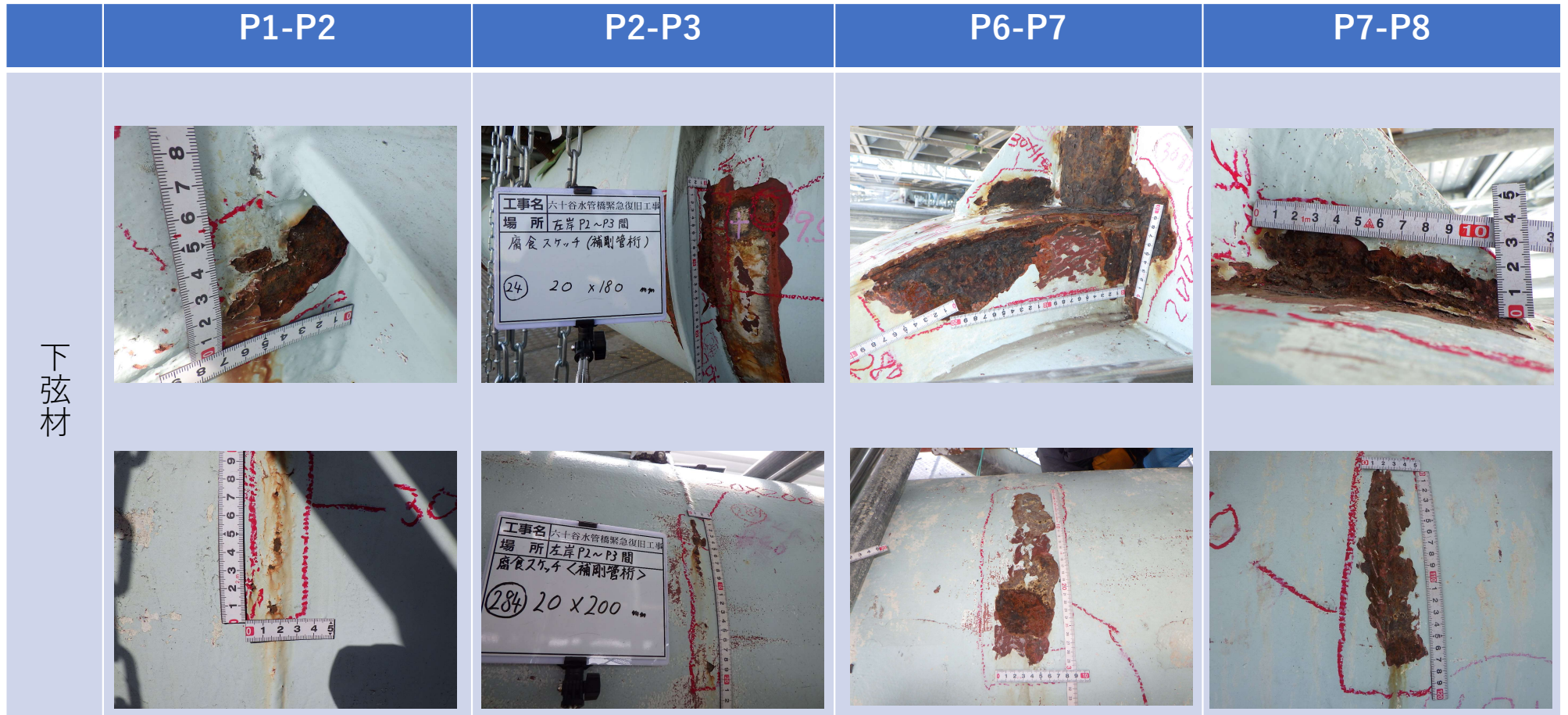
### III. 調查結果

#### (2) 殘置水管橋 外觀調查狀況



### Ⅲ. 調査結果

#### (2) 残置水管橋 外観調査状況





# III. 調査結果

## (2) 残置水管橋 外観調査状況

	P1-P2	P2-P3	P6-P7	P7-P8
吊材	<p>工事名 六千谷水管橋緊急復旧工事 場所 左岸 P1-P2間 腐食スチッチ(吊材) ② 60 x 30 mm</p>	<p>工事名 六千谷水管橋緊急復旧工事 場所 左岸 P2-P3間 腐食スチッチ(吊材) ② 140 x 40</p>	<p>工事名 六千谷水管橋緊急復旧工事 場所 左岸 P6-P7間 腐食スチッチ(吊材) ③ 200 x 80 mm</p>	

### III. 調査結果

#### (2) 残置水管橋 外観調査状況

	P1-P2	P2-P3	P6-P7	P7-P8
吊材			<p>工事名 六十谷水管橋緊急復旧工事 場所 右岸 P6~P7間 腐食スケッチ (吊材) ② 20 × 100<sub>mm</sub></p>	<p>工事名 六十谷水管橋緊急復旧工事 場所 右岸 P7~P8間 腐食スケッチ (吊材) ⑧ 60 × 40<sub>mm</sub></p>
			<p>工事名 六十谷水管橋緊急復旧工事 場所 右岸 P6~P7間 腐食スケッチ (吊材) ②③ 170 × 380<sub>mm</sub></p>	<p>工事名 六十谷水管橋緊急復旧工事 場所 右岸 P7~P8間 腐食スケッチ (吊材) ④⑨ 20 × 40<sub>mm</sub></p>

### Ⅲ. 調査結果

#### (2) 残置水管橋

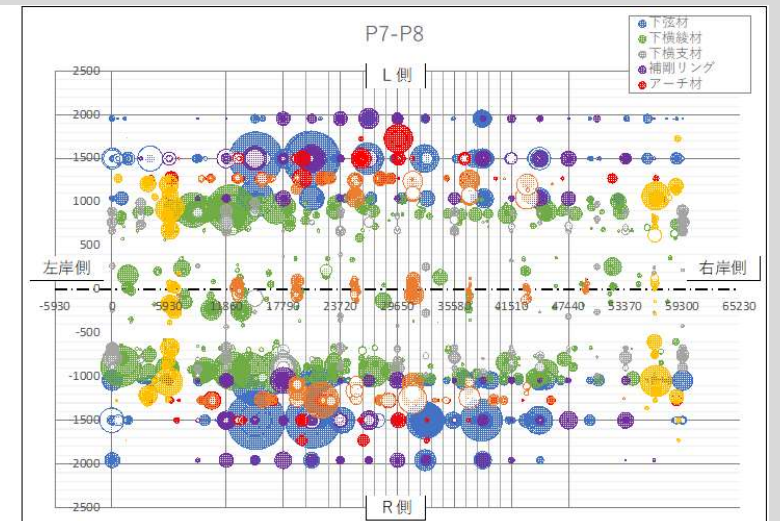
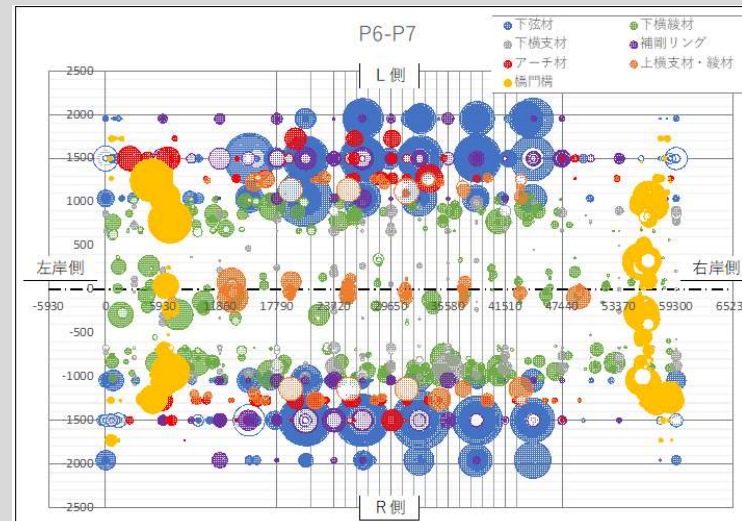
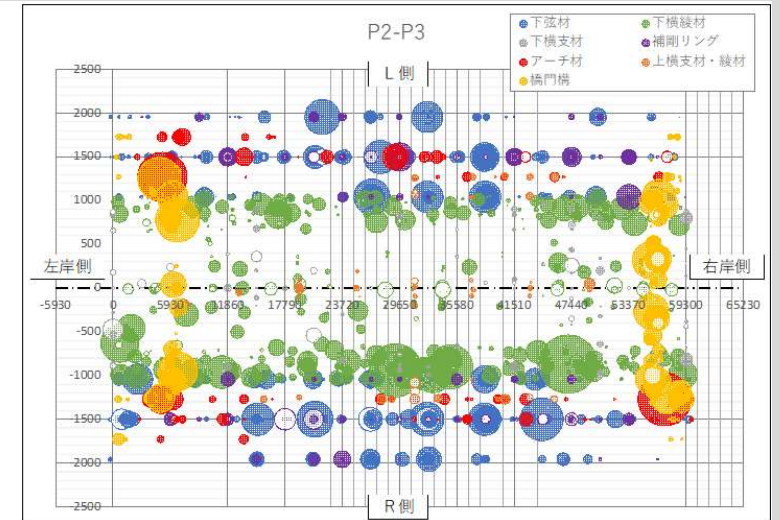
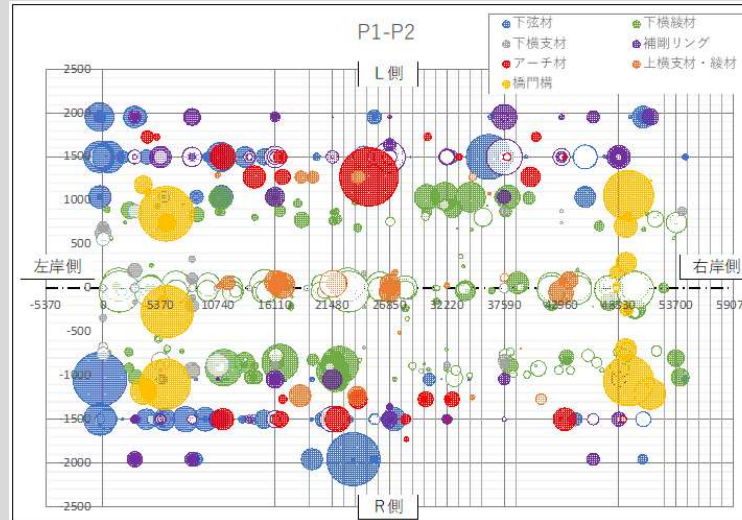
##### ランガー橋腐食発生図

P1-P2, P2-P3 全体的に散らばっているように見える。

P6-P7 については径間中央に集中している。

P7-P8 については河川側に腐食が寄っている。

※  
横軸が支間長（長手方向）  
縦軸が幅方向



### Ⅲ. 調査結果

#### (2) 残置水管橋

##### 2) 管厚調査

下記表は、最小値を示す。

径間	管厚結果 (JISマイナス公差と最小値比較)			
	上弦材	下弦材	吊材	バンド下
P1-P2 (左岸)	－公差以上	－公差以上	－公差以上	－公差以上
P2-P3	－公差以上	1箇所-公差以下	－公差以上	1箇所-公差以下
P6-P7	－公差以上	－公差以下	－公差以上	－公差以下
P7-P8 (右岸)	－公差以上	3箇所-公差以下	－公差以上	1箇所-公差以下

### III. 調査結果

#### (2) 残置水管橋

下記表は、**平均値**を示す。

径間	管厚結果 (JISマイナス公差と平均値比較)			
	上弦材	下弦材	吊材	バンド下
P1-P2 (左岸)	-公差以上	-公差以上	-公差以上	-公差以上
P2-P3	-公差以上	-公差以上	-公差以上	-公差以上
P6-P7	-公差以上	<b>-公差以下※1</b>	-公差以上	<b>-公差以下※2</b>
P7-P8 (右岸)	-公差以上	-公差以上	-公差以上	-公差以上

※1. 3 R / 4 R が -公差以下 (1 mm 程度)

※2. 上弦材, 下弦材バンド下 調査部箇所平均値 -公差以上  
吊材バンド下 10箇所 / 30箇所が -公差以下 (2mm以上 (元公称管厚4.5mmに対し))

### III. 調査結果

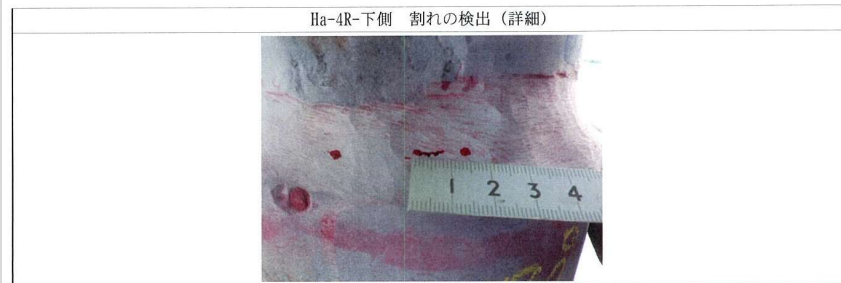
#### (2) 残置水管橋

#### 3) PT 検査結果

腐食面積の大きいP6-P7径間の現地溶接部で浸透探傷試験（PT試験）を行った結果を下記に示す。

名称	下弦材	上弦材	吊材
検査数(R)	12	12	20
割れ有無 (箇所)	0	0	2

※溶接補修済。  
再検査合格。



## 資料 2

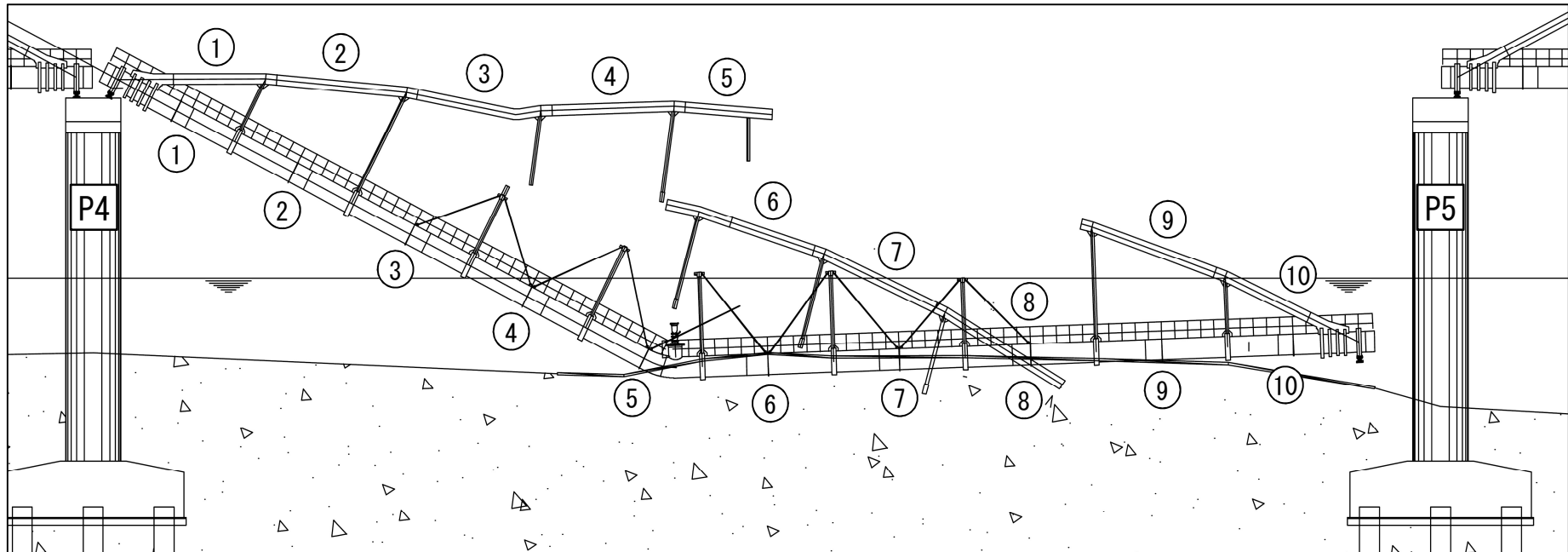
破損の要因とメカニズムについて

# 検討方法について

各種調査結果や解析結果を基に、各委員や土木学会調査報告書※の内容も踏まえ、再発防止と、より高い安全性確保、ならびに最適な維持管理方法を設定することを目的として検討を行った。

(左岸)

(右岸)



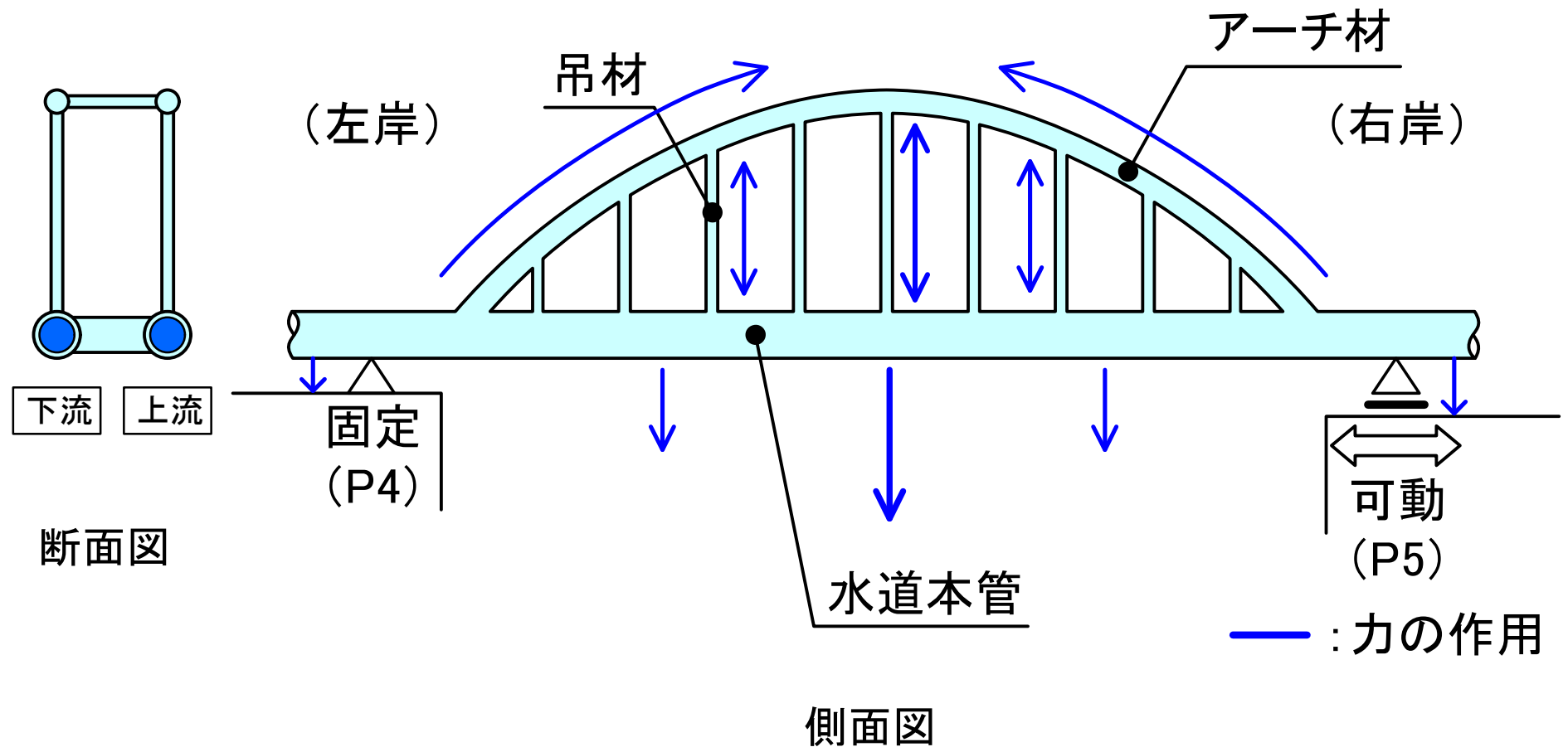
落橋状況概要図

※ 2010年10月に発生した六十谷水管橋崩落調査報告書(2022年5月):公益社団法人 土木学会 関西支部



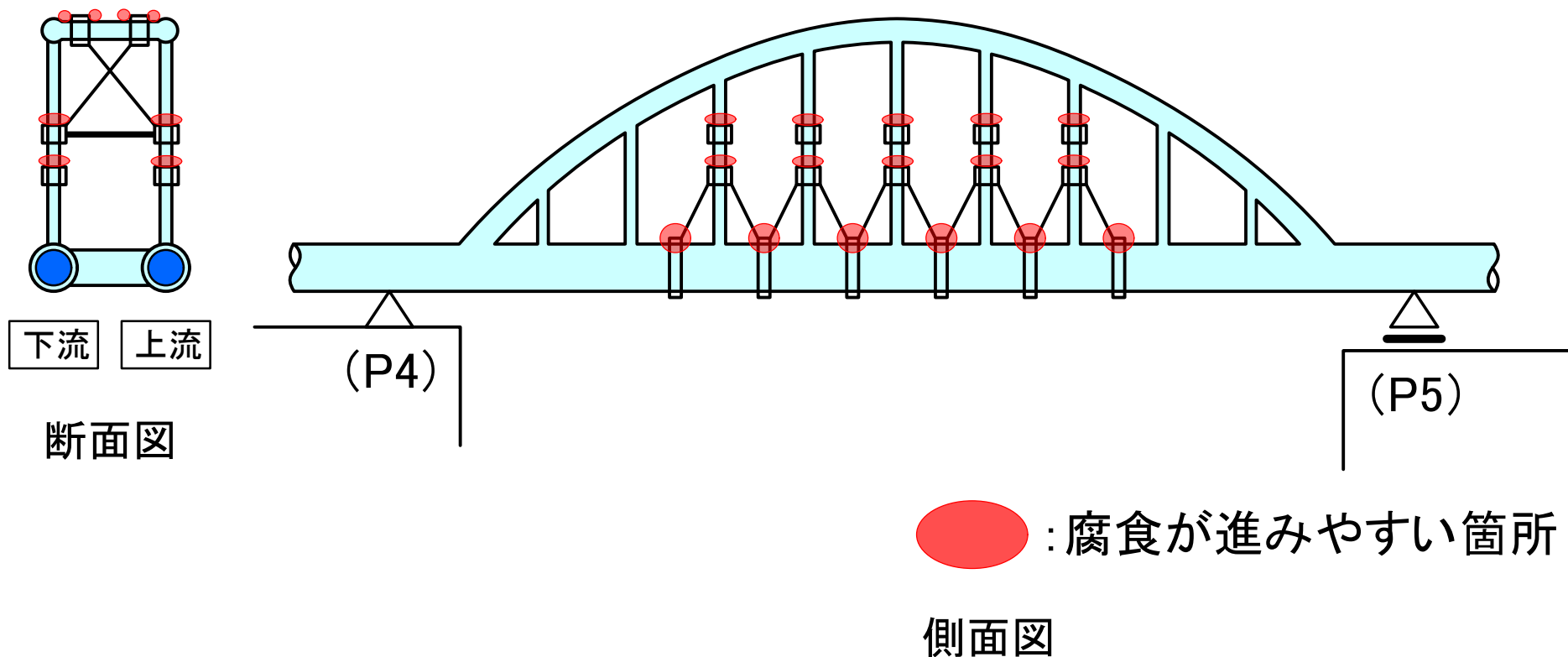
# 六十谷水管橋の特徴について

- ・アーチ補剛形式(ランガー橋)の水管橋は、全国に多数設置されている。
- ・吊材にはきな引張力、アーチ材には大きな軸圧縮力が作用する(構造的に重要な部材)。
- ・基本的に塗装により腐食対策を行っている(著しい腐食は設計条件としていない)。



## 各種調査や解析結果の考察(1)

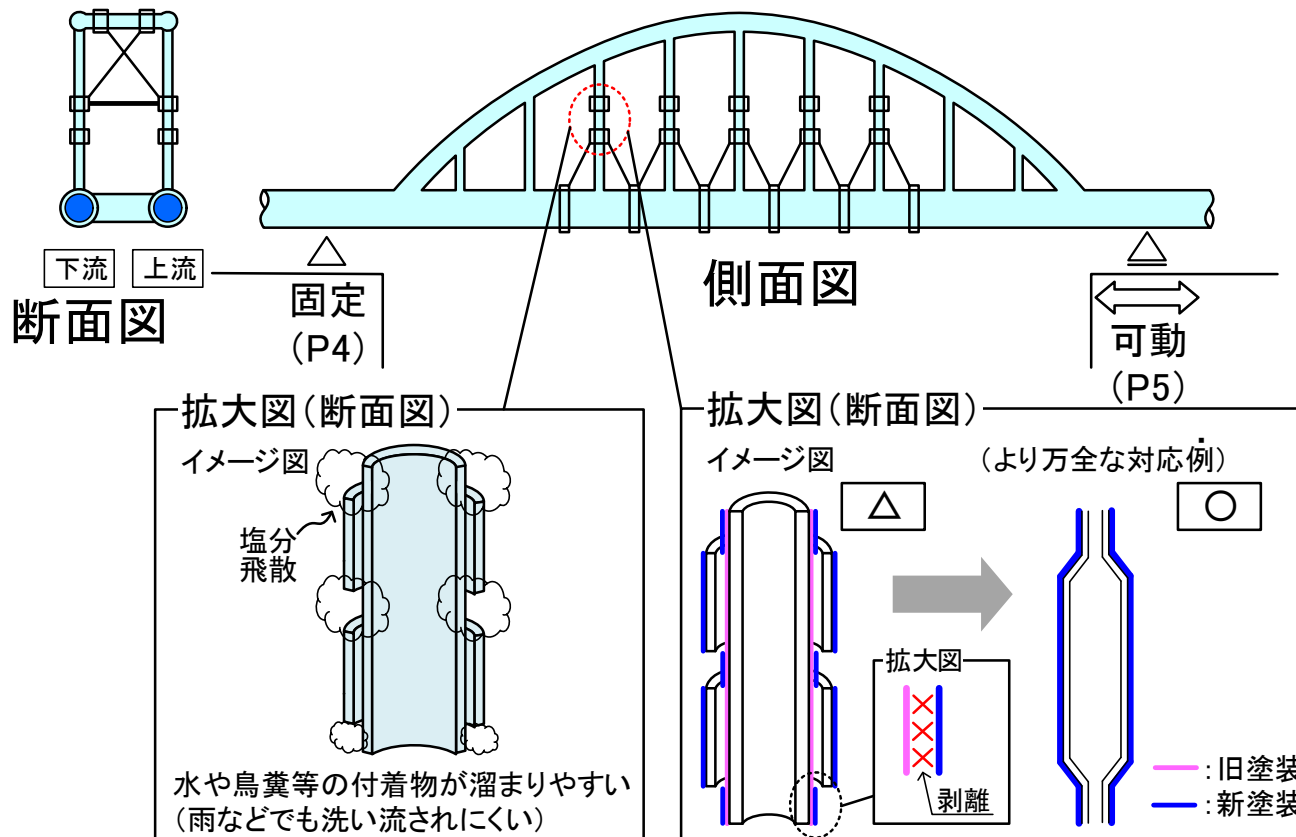
- ・母材  
強度不足や金属組織における問題は確認されなかった。
- ・腐食  
風対策として取り付けられた材料周辺において著しい腐食が確認された。



## 各種調査や解析結果の考察(2)

### ○腐食の要因

- ・局所的に塗膜の劣化が始まり、鳥糞などの付着物によって、錆の発生が促進された。
- ・顕著な腐食箇所では、腐食因子(水や塵あい)が滞留しやすく、かつ雨による洗い流しを受けにくいいため、高濃度に堆積される(塗装による付着防止効果が発揮しにくい)。
- ・旧・新塗装間の層間剥離や付着強度不足確認され、長期の寿命が期待できなかった。
- ・風による振動で、風対策材から外力を受け物理的な損傷(ひび割れなど)を生じやすい。

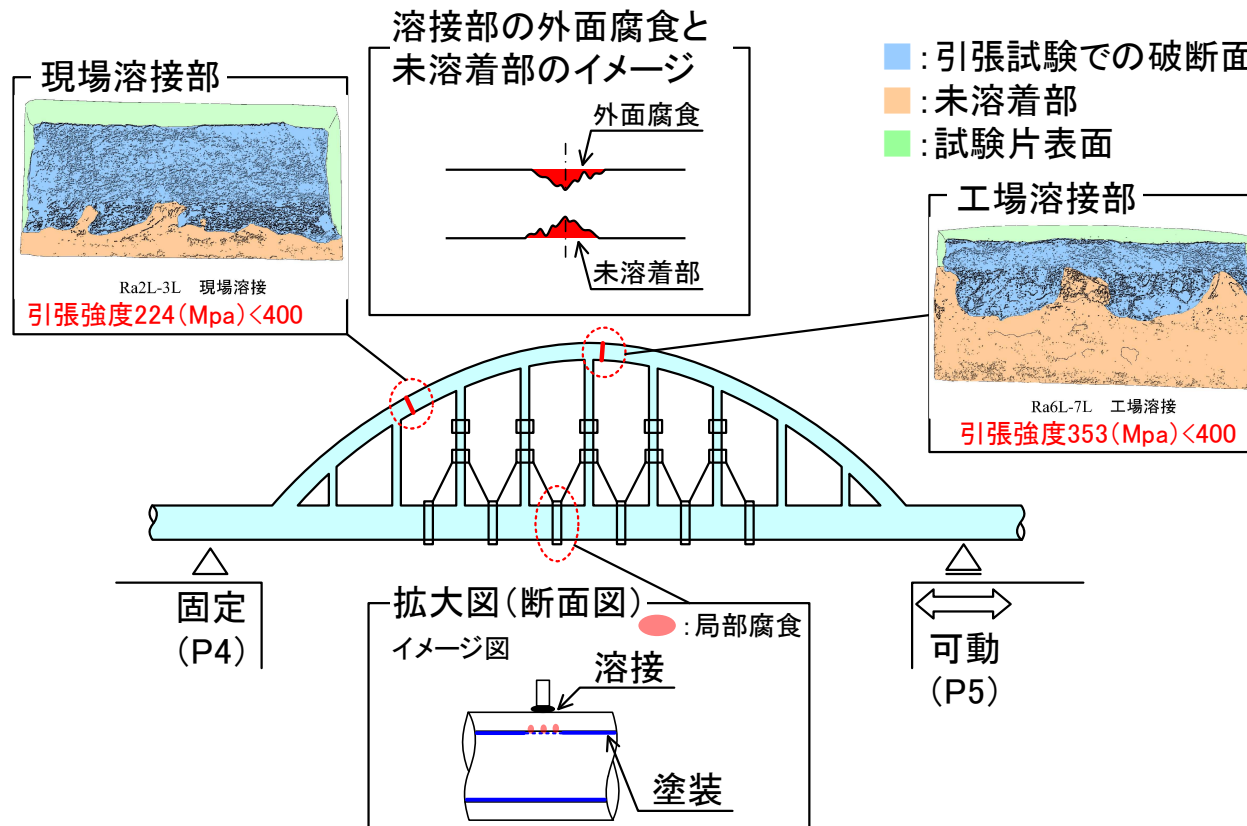


## 各種調査や解析結果の考察(3)

- ・溶接: 工場溶接箇所、現場溶接箇所の各1か所において引張強度不足が確認された。
- ・水道管内面: 主に管外面溶接部の管内面において局部的な腐食が見られたが、全体としては健全な状態であることを確認した。

### ○溶接箇所の強度不足の要因

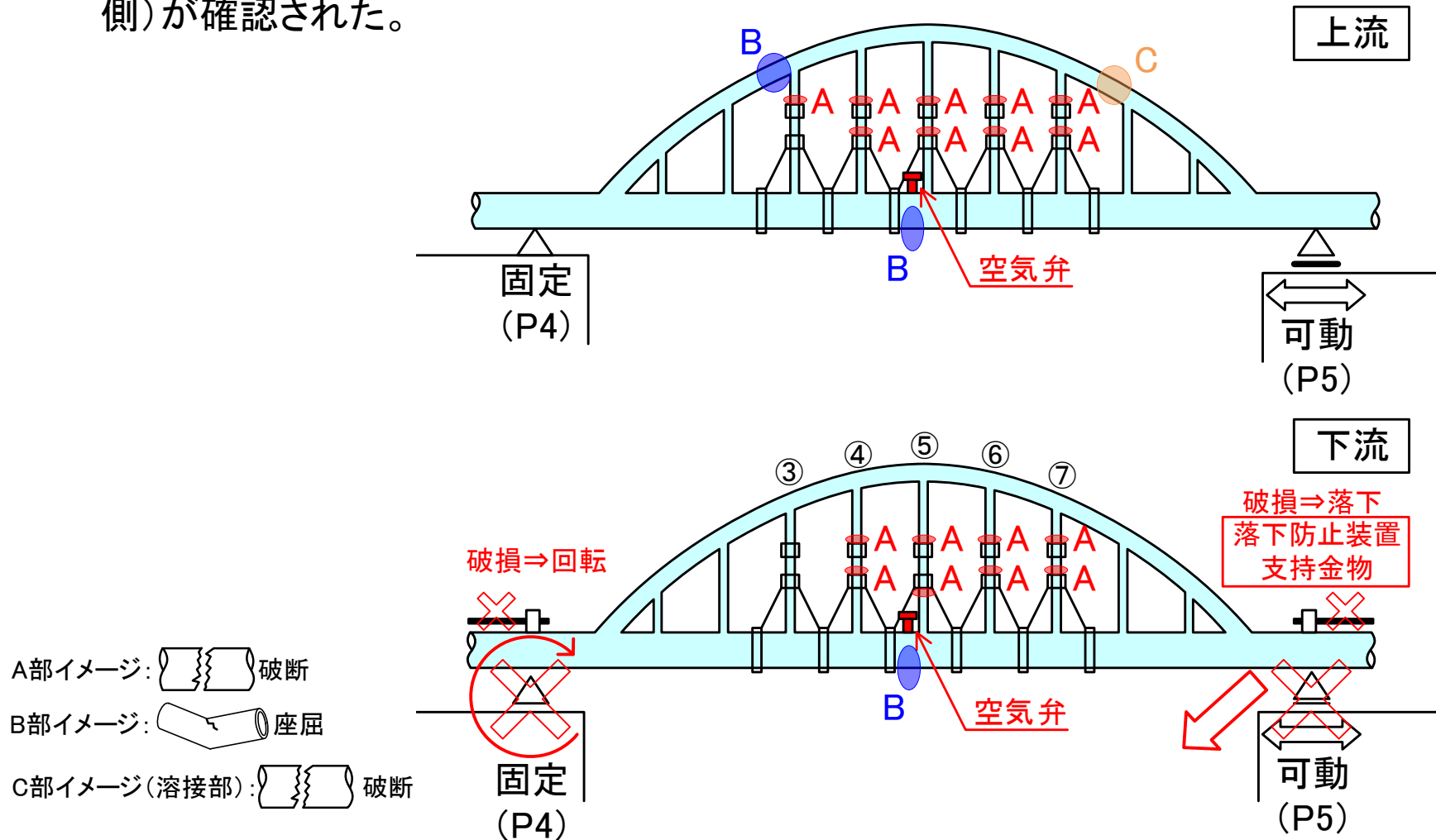
- ・水管橋設置工事時に十分な溶着が行われていなかったことや外面腐食の可能性がある。



# 各種調査や解析結果の考察(4)

## ○落橋後の変状状況調査結果

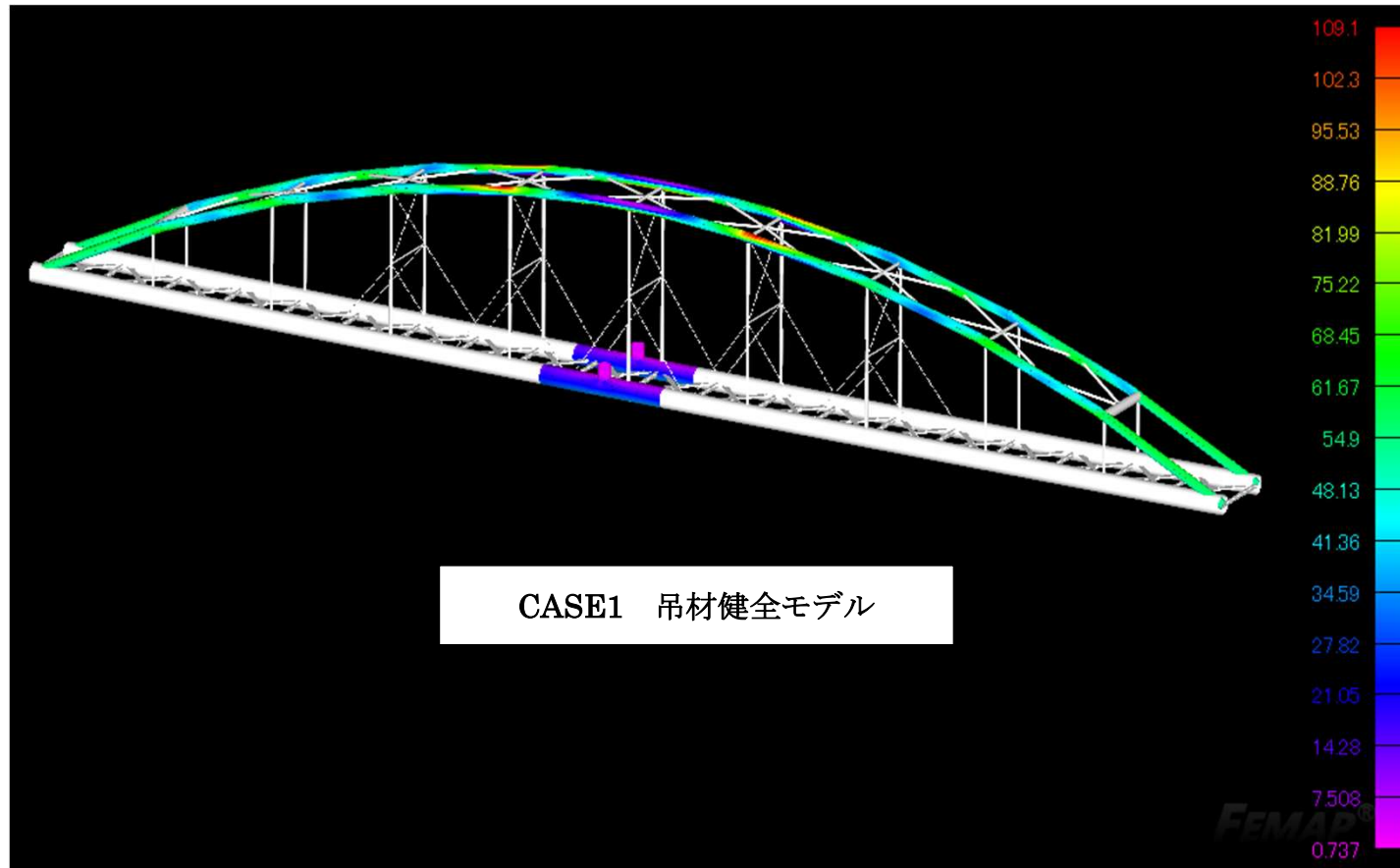
- ・風対策を目的とした後付け材を設置した吊材のほとんどで破断が確認された。
- ・アーチ材において、溶接部の破断4箇所(上・下流側)、座屈箇所2箇所(上・下流側)が確認された。



## 各種調査や解析結果の考察(5)

### ○構造解析(1)

- ・静的非線形解析(大変形対応)
- ・3次元フレーム+3次元シェルモデル(空気弁部の水道本管形状も正確にモデル化)。
- ・概要:吊材が健全と仮定したモデルと、吊材が9箇所破断したモデルで部材応力について検討した。

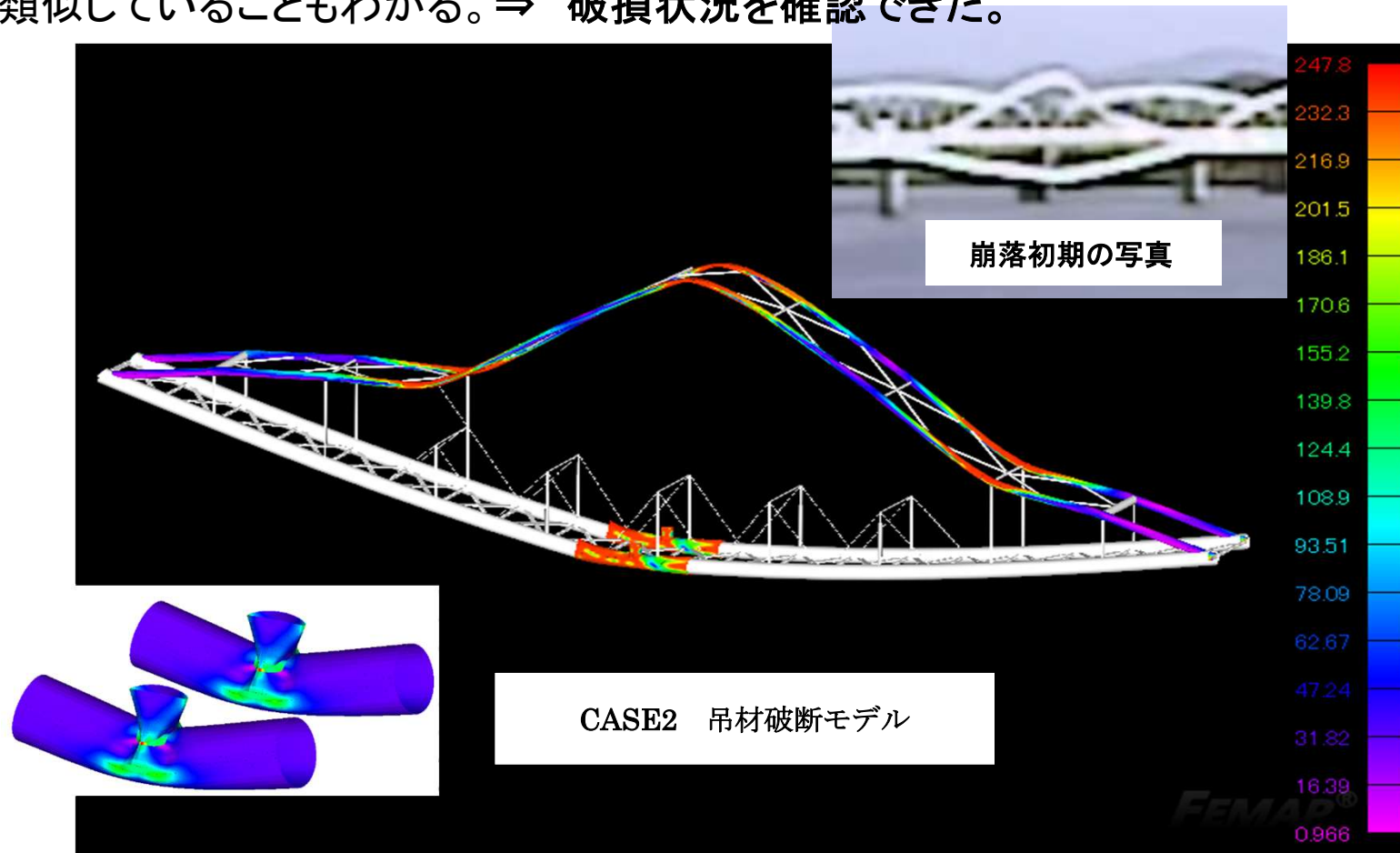


## 各種調査や解析結果の考察(6)

### ○構造解析(2)

#### ・解析結果

吊材破断によりアーチ中央は1m程度上方に変位し、水道管・空気弁付近は2m程度下方に変位する。アーチおよび水道管の変形は、事故当時の初期の変形モードと類似していることもわかる。⇒ 破損状況を確認できた。



## 各種調査や解析結果の考察(7)

### ○構造解析(3)

#### ・解析結果の考察【吊材破断の影響】

風対策を実施したほとんどの吊材が破断すれば、空気弁部(開口)に塑性ヒンジ、アーチリブに座屈が生じ、水道管として要求される**通水機能の消失と崩壊初期(崩落までには至っていない)の変形現象**が確認できた。

#### ・解析結果の考察【溶接不良・外面腐食箇所の影響】

アーチ部の溶接不良箇所・外面腐食箇所について、溶接部の断面積を減少させたモデルで解析を行った結果、**吊材健全モデルでは構造的影響はない。**

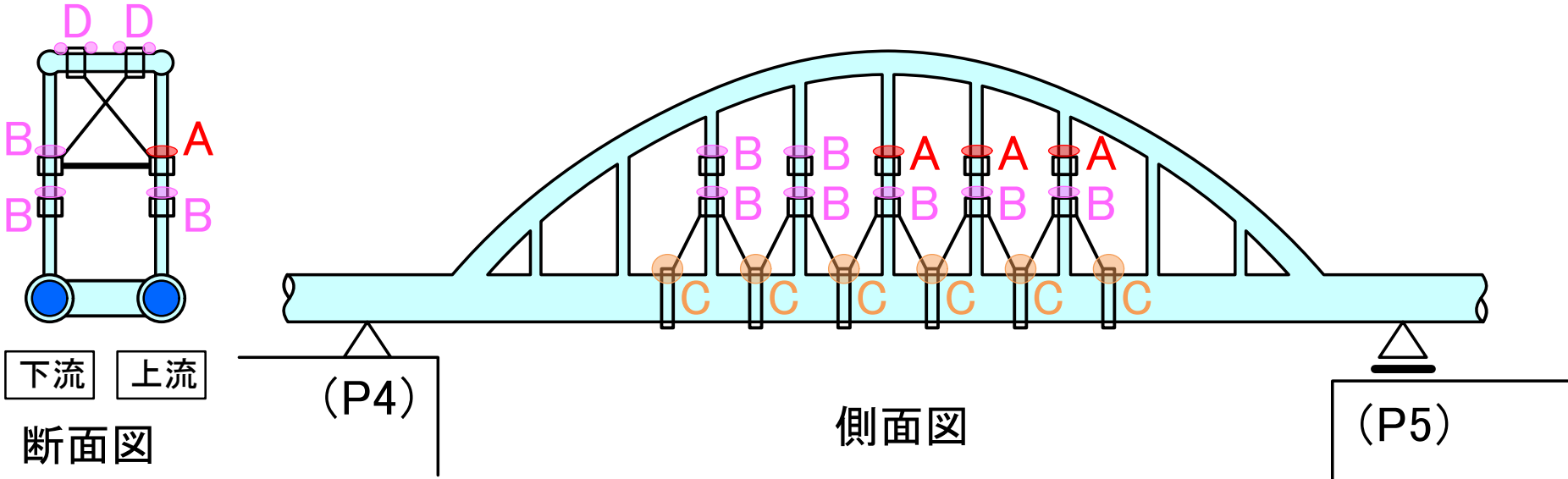
ただし、**吊材破断モデル**では、溶接不良箇所で応力集中が生じ最大ひずみは局部的に10%程度に達した。そのため、本解析では見込んでいない作用などの追加により、今回の崩落現象のように**溶接不良箇所の大部分が破断レベルのひずみ(20%程度)に達する可能性(崩壊の可能性)がある**と判断された。



# 破損の要因とメカニズム(1)

## ○水管橋の破損ステップ(破損前)

- ・吊材の一部が破断し、ほとんどの吊材が荷重を負担できる限界の状態であったと推測する。



A部イメージ:		A部のある 吊材3本程度/18本(9本×2)	C部イメージ:		数か所
B部イメージ:		A部はなくB部のある 吊材7本程度/18本(9本×2)	D部イメージ:		数か所

## 破損の要因とメカニズム(2)

### ○水管橋の破損ステップ(破損時)

- ・吊材の腐食が要因となって、吊材のほぼ全てが、多くの箇所(風対策材設置部の上下)において、さらに風対策材の一部のブレス材が、波状的に破断したことにより水道管中央部が下方方向に大きく変位。



ステップ1(0秒)



ステップ2

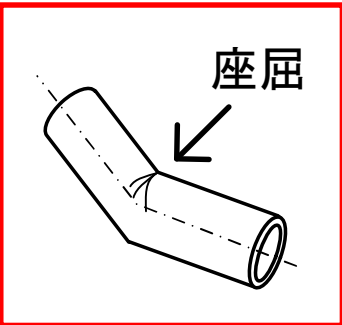
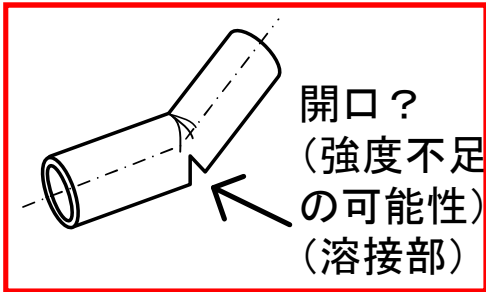


ステップ3

# 破損の要因とメカニズム(3)

## ○水管橋の破損ステップ(落下時)

・水道管下方向への変位に伴い、アーチ材の破断(溶接部)や座屈により、大変形。



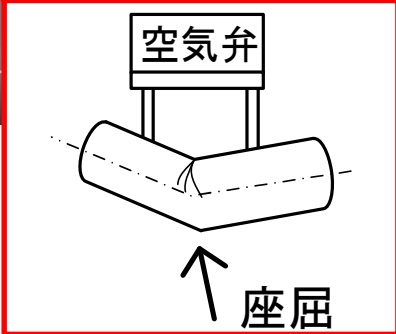
ステップ4



ステップ4(2秒)

YouTube

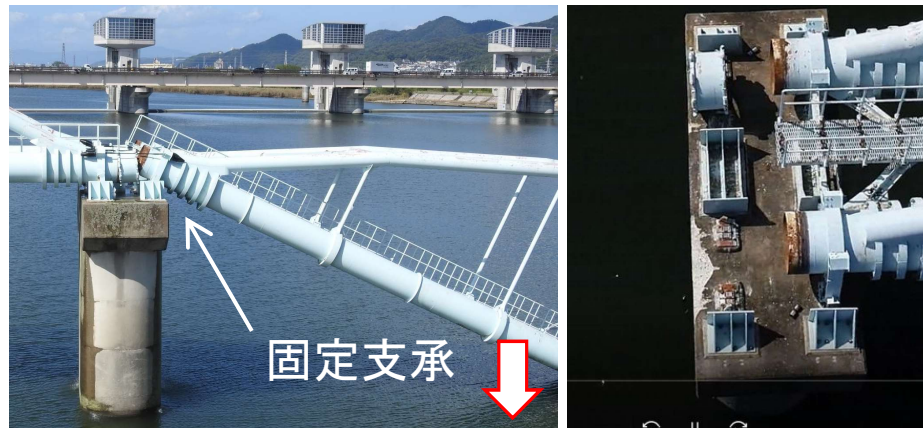
- ・上弦材の座屈
- ・下弦材の座屈



# 破損の要因とメカニズム(4)

## ○水管橋の破損ステップ(水没・河底への着床時)

- ・さらに、橋脚の支持部分が破損し、落下。
- ・水管橋全体が水没や河底への着床時に、衝撃でアーチ材がさらに破断した可能性がある。



固定支承

ステップ5



支承部破損  
→落橋  
→水没

ステップ6



ステップ7



上弦材の破断(工場溶接箇所)

## 破損の要因とメカニズム(4)

### ○まとめ（破損メカニズムの推測）

- ・多くの吊材や一部のブレス材の腐食による破断（破損事故前の破断と事故時の破断）が直接的な要因となって水管橋全体が大きく変形し、次にアーチ材や水道本管において破断や座屈が生じ、この時点で、要求する水道施設としての機能(通水機能)を失った。
- ・さらに支持部材が破損したことで落橋するに至った。
- ・吊材などの破断時の衝撃的荷重再配分による連続的に破断するような進行性崩壊の可能性はあるが、これまでの検討では考慮できていないなど、破損のメカニズムを詳細には把握することはできていない。
- ・ただし、多くの吊材やブレス材における破断や破断に近い状態でなければ、水道施設としての機能を維持できない状態には至らなかったことは確実であるため、最も大きな要因は吊材の腐食と考える。
- ・そして、その腐食の要因としては、六十谷水管橋の特徴や維持管理条件に応じた維持管理が実施されていなかったことが考えられる。

# 腐食対策として、対応していたこと、十分に対応していなかったこと

## 対応していたこと

✓ 水管橋の腐食対策として塗装の実施

✓ 塗装の更新

✓ 維持管理(点検)

## 条件など

・構造、腐食、塗装に関する専門的な知見や技術力

・水管橋の規模・形状

・維持管理体制

・現地条件(高所、河川区域内での施工期間など)

## 十分に対応していなかったこと

・初期点検とそれを踏まえた維持管理計画の策定

・対象箇所に応じた適切な点検方法【腐食箇所の近傍目視、専門業者による点検と判断、全体の目視点検など】

・構造物の老朽化イメージ

・腐食による破損の想定

・吊材の重要性の認識

・腐食弱点箇所の把握

・塗装の最適な更新方法

・腐食箇所の発見時の適切な対応判断

### 3 これまでの維持管理について

# (1) 過去の維持管理の経緯

## 水管橋破損の要因として考えられる課題

昭和48年	設置工事時	点検基準を作成していなかった。
昭和51年	吊材の風対策工事時	重要な引張部材に後付け部材を設置し、結果的にスケールや水が溜まり易い構造となった。
平成5年	塗装更新工事時	防食効果の高いフッ素樹脂塗装にて施工するも、既存のすべての塗装の除去を行わず、重ね塗りを行ったことにより、塗膜の劣化が進行した可能性がある。
	足場設置による水管橋全体の劣化調査	後付け部材周辺における腐食や孔食を確認、また部分的な減肉部（管厚測定などによる）の確認をしており、経過観察が必要と示されていた。
平成18年	耐震診断に伴う歩廊などから水道管を中心とした目視可能な範囲での劣化調査	下弦材（水道本管）以外の劣化調査を行っていなかった。
平成27年	耐震補強工事に伴う水平材の一部を更新	近接目視出来る機会であったが、水平材の交換に留まり、吊材（後付け部材周辺）の腐食状況を確認していなかった。



## (2) 落橋前の維持管理状況①

### 六十谷橋からの目視点検(月1回実施)

- 六十谷橋からの目視点検では、管路として漏水を主体に目視点検を行っていた。
- 双眼鏡等でなければ部材の腐食や劣化具合の点検は困難。
- ただし管路としての漏水確認であれば、水面への水のしたたり等で判断可能。



## (2) 落橋前の維持管理状況②

水管橋の歩廊からの目視点検(年1回実施)

- 中央部から右岸部にかけて多量の鳥糞が目立っていた。
- 多量の鳥糞やスケールにより下弦材φ900の漏水確認を注視してしまう環境であった。
- 吊材の後付け部材周辺が腐食し易い箇所との認識が無く、目視し難い箇所となっていた。



白い部分は鳥糞  
下弦材のほとんどを  
覆っている。

### (3) 落橋前の維持管理状況

水管橋の歩廊からの目視点検(年1回実施)

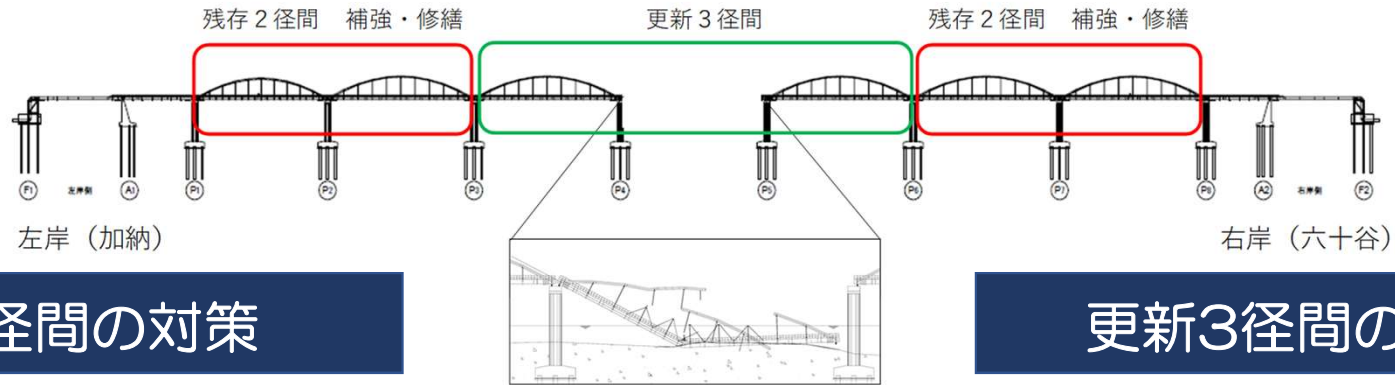
年次点検における反省すべき点

- 和歌山市独自のマニュアルや基準を持っていなかったことから、構造部材である吊材の重要性など点検の要点整理が出来ておらず、近接目視点検が行えていなかった。
- 風対策である後付け材料は、他のランガー橋には通常見られないものであり、後付け材料が吊材に及ぼす影響についての認識が薄かった。
- 厚生労働省のガイドラインの点検表を活用していなかった。
- 点検表や点検方法の整理が出来ていなかったために、人事異動による点検者交代や工事等における状況について情報の伝達が出来ていなかった。
- 目視し難いことと併せて点検記録が水管橋全体で評価していたため、腐食の経過を正しく認識していなかった。
- 腐食の経過を正しく認識していなかったことから、フッ素樹脂塗装（重防食塗装）の塗装効果年数を修繕における判断材料としていた。
- 水管橋全体の評価とし、径間毎や各重要箇所での評価が出来ていなかった。

## 4 復旧及び今後の対策について

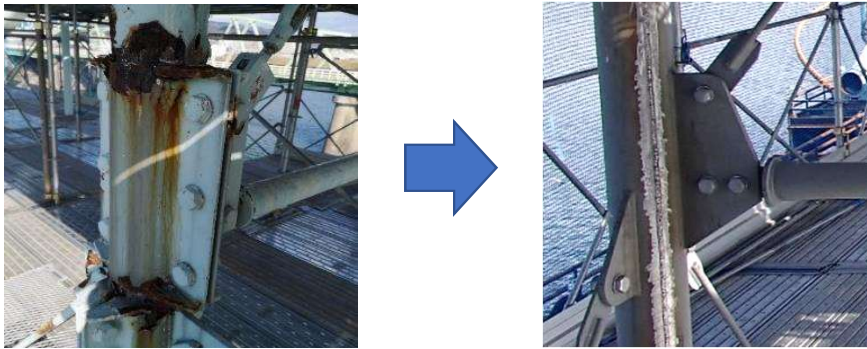
## 下部工

# (1) 水管橋の更新・補強内容①



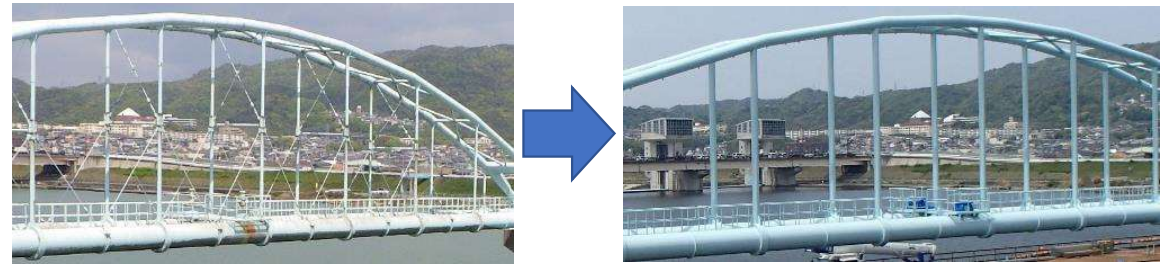
橋台や橋脚はコア抜き等を行い、コンクリート強度と鉄筋状態の確認を実施

## 既設4径間の対策



- 既設吊材に2つ割管を溶接取付する構造とし、吊材外径を $\Phi 125$ から $\Phi 150$ に補強
- 吊材と風対策部材との接続方法を変更し、接続部に雨水やスケールなどの堆積を防止
- ケレン再塗装
- 腐食部の溶接補強

## 更新3径間の対策



吊材の大きさを  $\Phi 125$  から  $\Phi 250$  に変更  
→風対策として吊材の補強の必要がなくなった

# (1) 水管橋の更新・補強内容②



平成27年時 P4-P5径間 (落橋部)

- ・後付け部材有り
- ・吊材  $\phi 125\text{mm}$



更新部 P4-P5径間

- ・後付け部材無し
- ・吊材  $\phi 250\text{mm}$



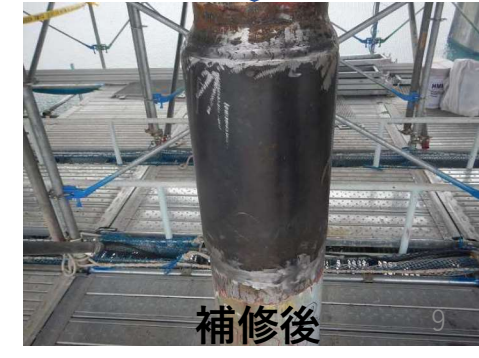
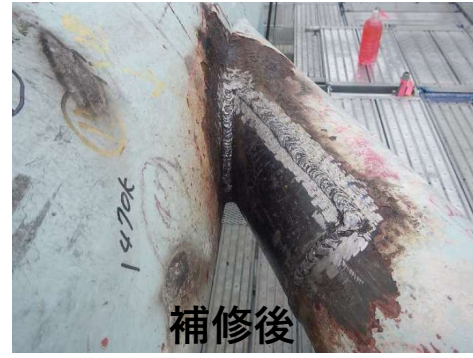
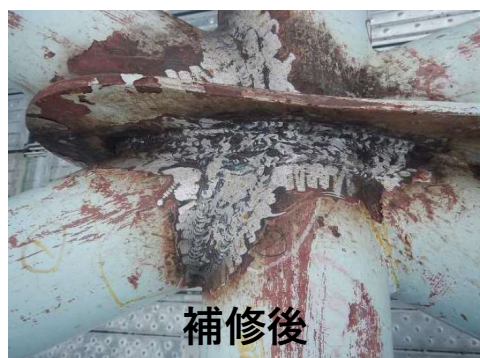
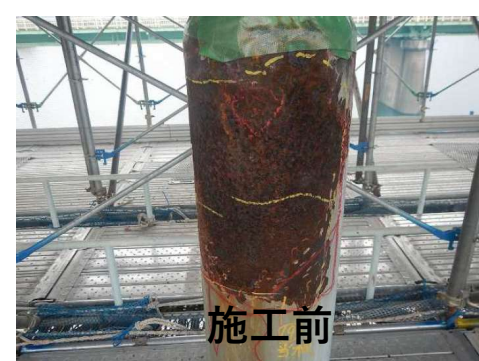
既存部 P2-P3径間

- ・後付け部材有
- 溶接構造へ改善
- ・吊材  $\phi 150\text{mm}$  8

## (2) 既設水管橋の補修

点検の結果

- 既存4径間の吊材の後付け材料周辺に腐食は見られましたが、破断はありませんでした。
- P1-P2 P2-P3 P7-P8のアーチ部には、特別な補修が必要な箇所はありませんでした。
- P6-P7 のアーチ部と横支材との接続部等に減肉及び穴開きを確認しました。
- 下流側の左岸から3本目の吊材に減肉を確認しました。
- ⇒全て腐食箇所については、除去しフッ素樹脂塗装を実施。
- ⇒P6-P7 の減肉、穴開き部はパッチ充や肉盛りを行い、フッ素樹脂塗装を実施しました。



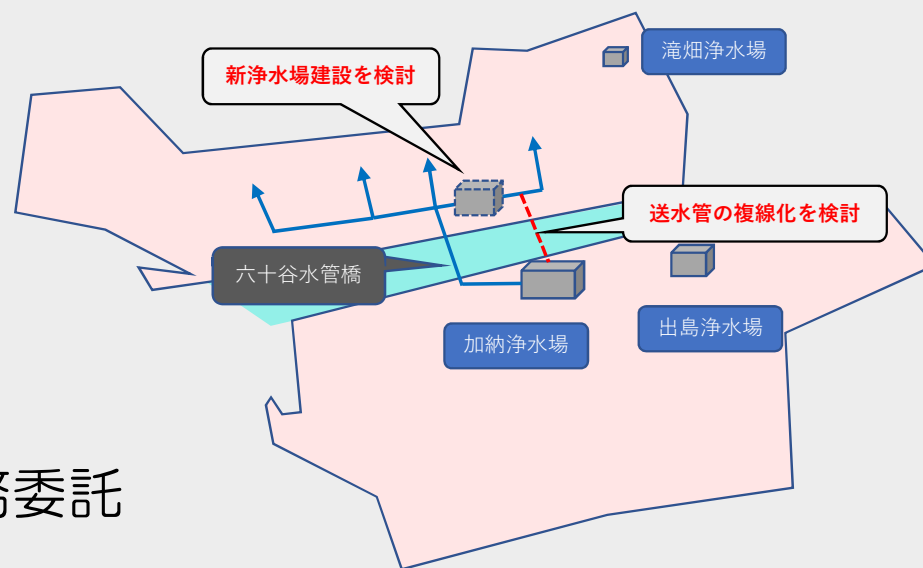
### (3) 今後の展望①

#### • リダンダンシー確保のための検討

市内全域の安定給水を確保するため、送水管の複線化又は新浄水場の建設、既存浄水場も含めた水道施設全体の在り方を再検討する。

(令和4年度)

委託名：和歌山市水道施設基本方針策定業務委託



#### • 六十谷水管橋の計画を立案

六十谷水管橋の耐震診断を実施し、リダンダンシーの計画と共に、耐震化や維持管理、更新等の計画を立案する。

※調査委員会の意見を取り込んだものとする。

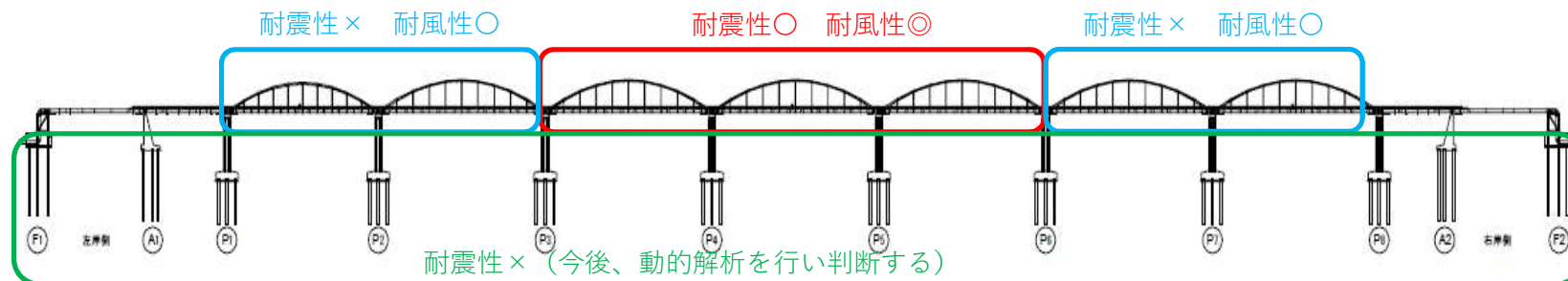


### (3) 今後の展望②

本工事における更新、補強、補修によって通水機能の復旧、老朽化への対応が完了。  
耐震性においては、更新3径間と既存4径間、下部工に区分される状態となっている。

○本工事において実施した更新や補強と平成18年に実施した耐震診断結果から区分する

・赤（上部工）…耐震性○ 耐風性◎ ・青（上部工）…耐震性× 耐風性○ ・緑（下部工）…耐震性×



○平成18年の耐震診断結果では、上部工においては移動量不足が指摘されている。下部工についても補強が必要とされている。

○今回実施した工事では、六十谷水管橋全体の維持管理性や耐風性は向上したが、耐震性については改善したとはならない。

○令和4年実施する和歌山市水道施設基本方針策定業務委託において、六十谷水管橋の今後の展望を明確する。

和歌山市水道施設基本方針策定業務委託  
・リダンダンシーの確保（計画）  
⇒六十谷水管橋の展望を計画



六十谷水管橋耐震診断  
・対策案（工法、年数、費用）を立案  
⇒本委員会の提案を盛り込む。

六十谷水管橋の使用年数により長寿命化計画の立案  
○塗装の塗り直し時期の明確化（10年で塗替）  
○既存4径間の老朽化への対応（維持管理方法含む）

耐震化工法による以北地域への影響を考慮  
○六十谷水管橋以外の送水機能の確保  
○年次計画の立案



紀の川以北地域への  
安定給水の確保

※塗装の塗替については、更新計画を考慮しつつ10年を目安に実施する。

## 5 水管橋維持管理マニュアルについて

# (1) 維持管理マニュアルの策定①

## 点検

1. 構造部材・付帯設備  
(漏水、変形、腐食など)
2. 景観性 (白亜化、変退色、汚れ)
3. 防食性 (さび、はがれ、われ)

- 上部工主構部の点検漏れ防止のため、**点検項目を細分化**  
(管体、アーチ材、吊材、伸縮管など)

- **点検位置の細分化**  
水管橋を径間毎に点検記録 → 評価

- 点検のポイント  
**専門業者による研修会の開催**により  
重要点検箇所の抽出 (支承、伸縮管、  
現場溶接部など)

- 点検委託 (**専門業者**) **5年に1回**  
ドローン、ロボットカメラ等の新技術  
の活用、ロープアクセス技術

## 点検計画

## 評価

点検記録を評価、点数化し**維持管理区分の細分化**

防食性		劣化度指数		
		0~40点	41~60点	61~100点
景観性	0~40点	定期点検 (通常点検)	重点管理点検 (点検の頻度アップ)	
	41~60点	重点管理点検 (点検の頻度アップ)	塗替え対象 (計画的に塗装塗替え実施)	
	61~100点		早期塗替え対象 (早急に塗替え実施)	

良好 ←————→ 劣化進行

判断基準を明確にし、予算化へつなげる

- 重要対象施設のリスト化  
断水の影響度が高く早期復旧が  
困難な重要水管橋のリスト化  
(特別管理対象、基幹管路)

分類	維持管理区分	点検頻度		
		特別管理対象	基幹管路の水管橋等	その他水管橋等
直営点検	定期点検	半年に1回	2年に1回	5年に1回
	重点管理点検		1年に1回	2年に1回
点検委託	定期点検	5年に1回		
	重点管理点検	2年に1回		

## 修繕

- 計画的な構造部材・付帯設備の  
修繕、塗装の塗替え
- 水管橋台帳の更新  
(更新計画への活用)
- 局所要修繕箇所の修繕

早急に対応することにより、  
長寿命化を図る

- ケレン塗装
- タッチアップ塗装
- 付帯設備の部品取替修繕  
など

## (1) 維持管理マニュアルの策定②

### 専門業者による定期点検の実施(5年に1回)

水管橋は道路橋と違い、橋梁点検車による近接目視が困難なことから

- 断水の影響度の高い水管橋等を特別管理対象(7箇所)としてリスト化し詳細に管理を行う。
- ドローン、ロボットカメラ、浮き棧橋、ロープアクセス技術を用いた専門業者による点検を実施。



●ドローン点検



●ロボットカメラ点検



●浮き棧橋点検



●ロープアクセス技術点検

### 例)六十谷水管橋の定期点検(5年に1回)

- 上部工はロボットカメラの映像において塗装や現場溶接部などの点検を実施
- 支承を含む下部工においては、ロープアクセス技術により近接目視やボルト等の打音検査を実施

## 6 最終報告書の骨子（案）について

# 報告書の項目

- ①経緯について
- ②水管橋についての整理
- ③水管橋の改修履歴の整理
- ④水管橋の維持管理履歴の整理
- ⑤各種調査や分析の実施
- ⑥腐食メカニズムや要因の分析
- ⑦落橋メカニズムや要因の分析
- ⑧復旧及び今後の対策について

別冊 水管橋維持管理マニュアルについて<sup>16</sup>