

六十谷水管橋破損に係る 調査委員会資料(第2回)

令和4年2月1日

和歌山市企業局

六十谷水管橋破損に係る調査委員会の検討事項

1. 目的

(趣旨)

六十谷水管橋の破損において、今後の復旧にあたり、再発を防止することを目的に、技術的観点からの次の事項に係る意見を各委員に聴取するために開催する。

2. 取り組み(1)

- 科学的根拠に基づき、落橋メカニズムや部材腐食のメカニズムを評価する。
- 既往の設計基準や慣例的な考え方に捉われず、劣化対策などを評価する。
- 水管橋の劣化・補強対策に関しては、今回の要因や誘因を排除することを目的して検討する。
- 排除できない劣化のリスクについては、その管理方法を検討する。
- 劣化対策は、塗装などの劣化予防の視点だけでなく、構造面、材料面での対応を検討する。
- 水管橋の維持管理の方法、点検の頻度、点検主体に関して検討する。

3. 調査内容等

①水管橋についての整理

設計方法、構造形式、材料条件など

②水管橋の維持管理の履歴

風対策、地震対策、塗装の更新、点検履歴、補修履歴など

③腐食メカニズムや要因の分析

外観調査、劣化調査(土木学会による調査含む)、塗装調査結果の分析など

④落橋メカニズムや要因の分析

部材破断や変形箇所への分析、構造解析、落橋防止装置の検証など

⑤再発防止のための提案

補強方法、地震対策、劣化対策、維持管理方法などの方針の提案

4. 水管橋の概要と履歴(1)

● 六十谷水管橋の概要

昭和49年：架設 900A × 546.55m × 2条 ランガー補剛形式
 アクリル変性アルキッド樹脂塗装

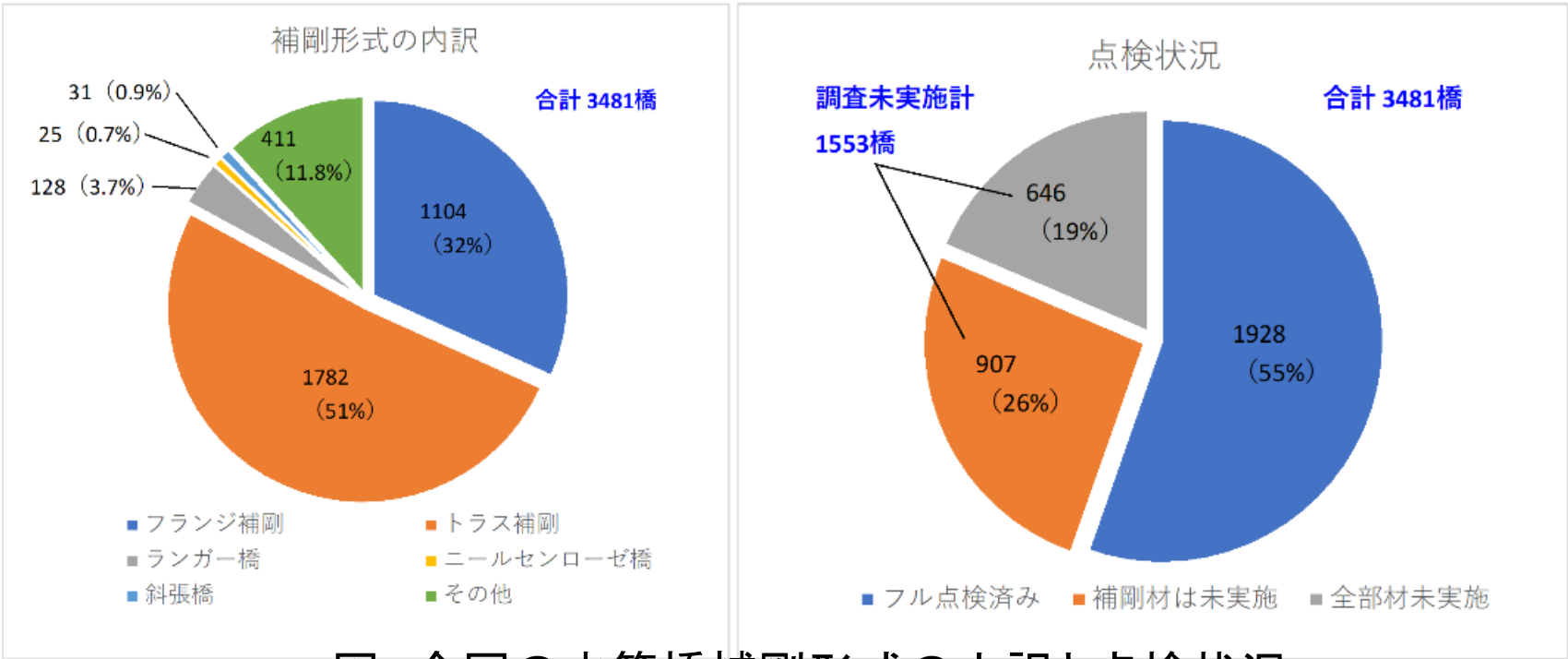


図 全国の水管橋補剛形式の内訳と点検状況

【全国上水道水管橋緊急調査結果(厚生労働省12月24日)より】

⇒ 同形式の水管橋は、全国に128橋

⇒ 全国で水管橋全体を点検していない事例も多い

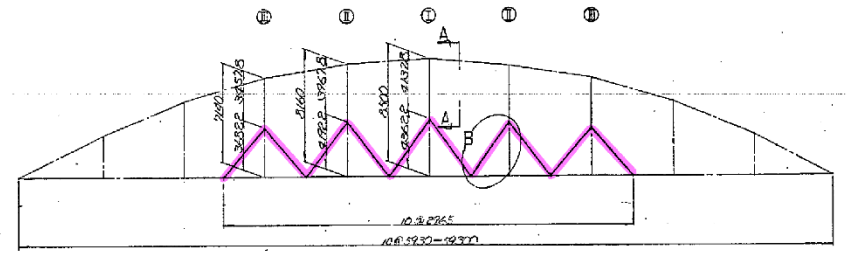
4. 水管橋の概要と履歴(2)

- 昭和51年：吊材において亀裂発見(多数)
- 昭和52年：調査の結果、カルマン渦が原因として補強工事の実施
- 昭和53年：再度亀裂確認
- 昭和55年：再補強工事
- 昭和55年～58年：再補強後の点検調査(調査結果は不明)

4. 水管橋の概要と履歴(3)

●平成5年：水管橋全体の点検調査（足場設置、外観調査、孔食深さ調査、管厚調査、浸透探傷試験など、塗装更新工事に併せた調査）

【結果】
 ⇒水道本管は、内面水の影響により管厚減少傾向が見られる
 ⇒他の材料（吊材含めて）腐食は確認されない。
 ⇒カルマン渦対策箇所においても異常は確認されない。



— : カルマン渦対策補強部材を示す (S55)

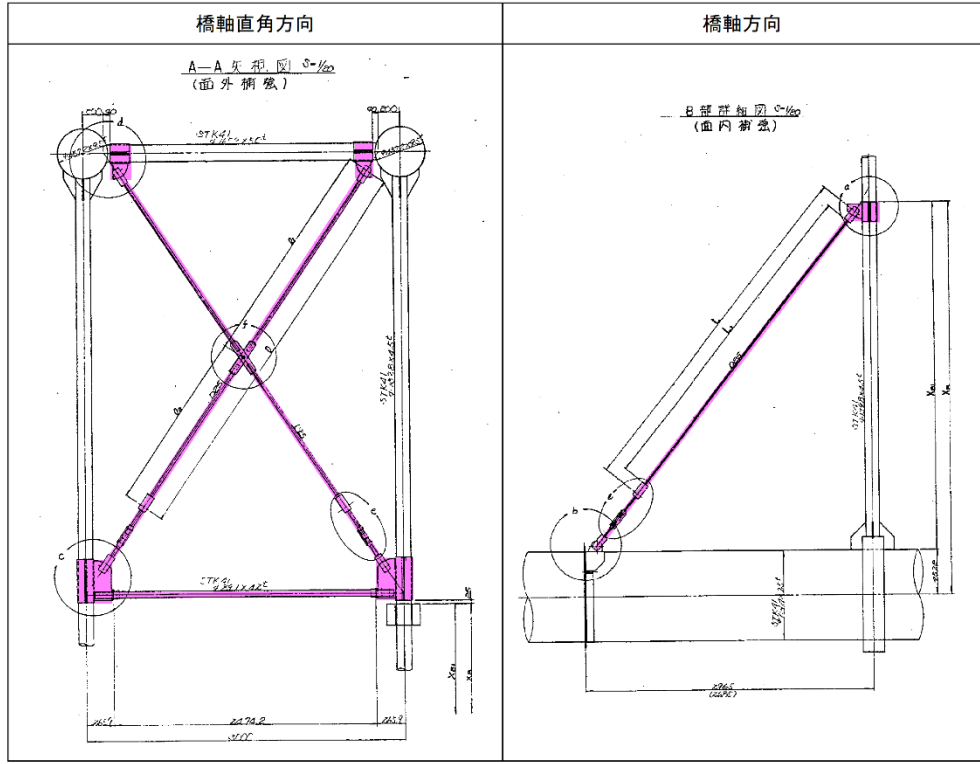


図 風対策工(昭和55年)

4. 水管橋の概要と履歴(4)

- 平成5年:水管橋全体の外面塗装工事の実施
 - ⇒WSP099-2004 水管橋外面防食基準材
 - ⇒後付け材料下面の塗装更新は不明
 - ⇒現在まで更新工事は実施されていない。



図 既設塗装(フッ素樹脂塗装)

4. 水管橋の概要と履歴(5)

- 平成5年：メンテナンス方法の提示

【概要】

- ⇒水道本管は、年に1回の外観検査
- ⇒水管橋全体は、塗装更新時に外観検査。
このメンテナンス方法に従った記録は不明

- 平成18年：耐震診断実施、耐震診断を目的とする劣化調査実施

- ⇒劣化調査は主に水道本管のみ対象
特に落橋防止装置設置範囲(支承部)
- ⇒吊材の劣化調査結果は示されていない。

4. 水管橋の概要と履歴(6)

- 平成27年: 耐震補強工事実施(主に落橋防止装置、吊材補強材の設置)
- ⇒カルマン渦対策の水平材に損傷が見られたため取り換え

水管橋補強材詳細図

正面図

補強材部品図

断面図

平面図

部材表

材料	寸法	単位重量	員数	重量
①	STK400 φ89 ×2480 2x4 2L	21.80	1	21.80
②	SS400 165x12x75	1.17	2	2.34
③	SS400 φ110x91	0.73	2	1.46
④	SS400 100x9x50	0.35	2	0.70
⑤	F10F W22x70 (IN. 2W)		4	
				26.30

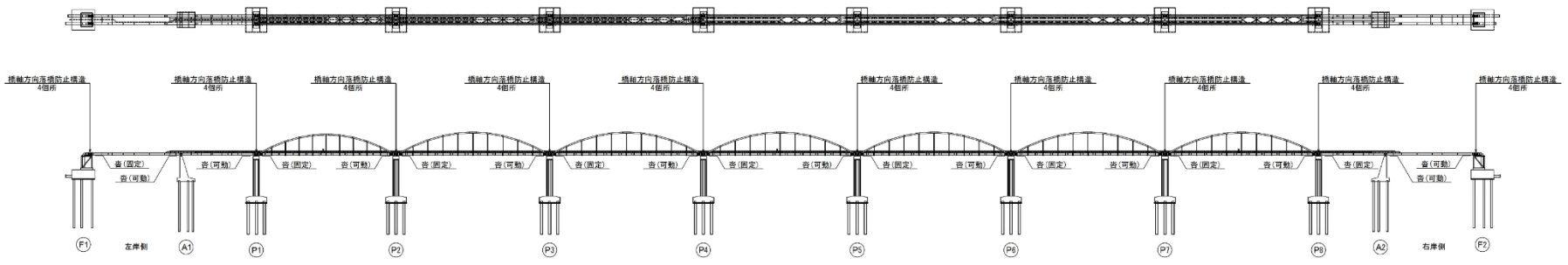
*上記数量は1組当たりのものとする。施工箇所は10組。

注記) 1) 本図中の特記なき材質は、全て SS400 材とする。
 2) 施工時には、現場実測を行い製作加工図を作成し、監督員に承認を受けること。
 3) 塗装仕様は、水管橋外面防食基準WSP 009-2010に準ずる。また、塗装色については、106G8/2 とする。
 工場塗装仕様 S-1
 現場塗装仕様 S-1F

⇒吊材の腐食対策は実施していない。
 (この時、吊材の破断はなかったことも考えられる)

4. 水管橋の概要と履歴(7)

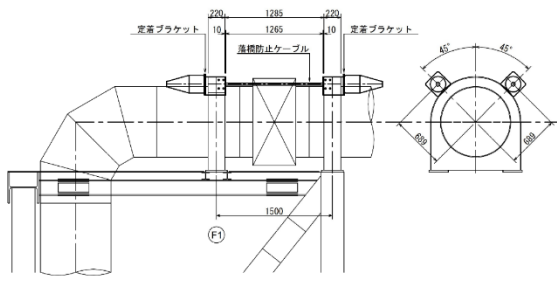
橋軸方向落橋防止構造詳細図(1)



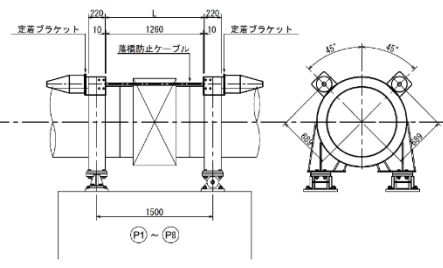
配置図

S=1/60

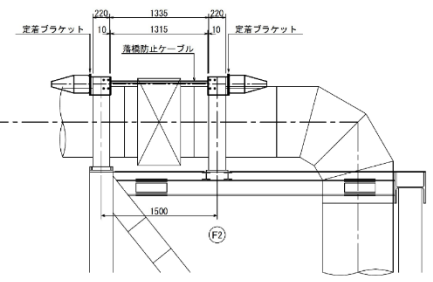
固定架台 F 1 部



橋脚部



固定架台 F 2 部



寸法表

P1	1300
P2	1275
P3	1295
P4	1325
P5	1325
P6	1300
P7	1295
P8	1280

5. 想定する調査事項の整理(案)(1)

これまでの調査結果などから、以下のように想定しており、この方向性に沿った各種調査や検討を行い、方向性の調整と今後の調査事項の整理を行っていくものとする。

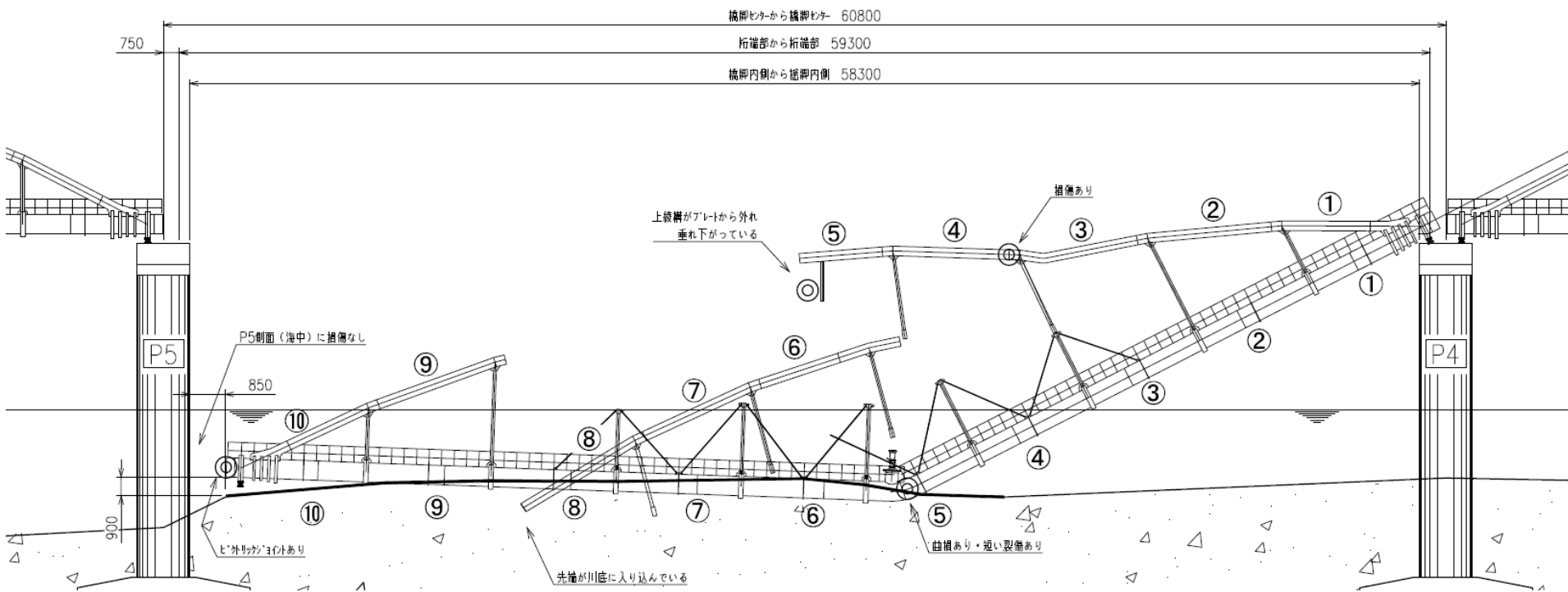


図 落橋状況概要図

5. 想定する調査事項の整理(案)(2)

①落橋原因について

風対策を目的に設置した“後付け材料”周辺や構造変化部において腐食が著しく進行した。そして、その進行を把握が出来ていなかった。

※主な検討課題:

破断原因の究明

標準的な設計や維持管理・点検手法の課題検討

⇒今後の調査事項:

破断箇所や損傷箇所及び腐食箇所の整理

腐食の外観状況調査

維持管理上の課題と限界の考察

構造解析

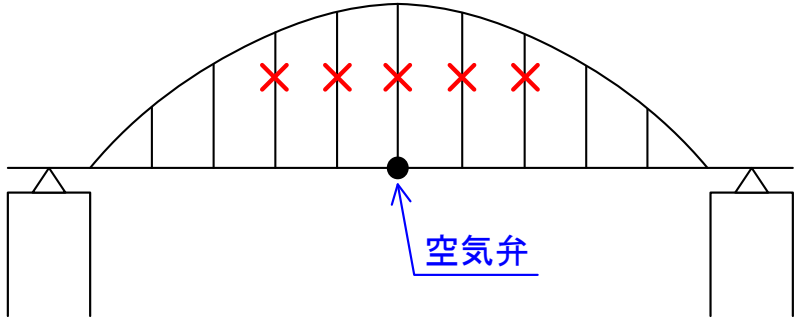
溶接部や破断面の詳細材料調査(破断面観察)など

5. 想定する調査事項の整理(案)(3)

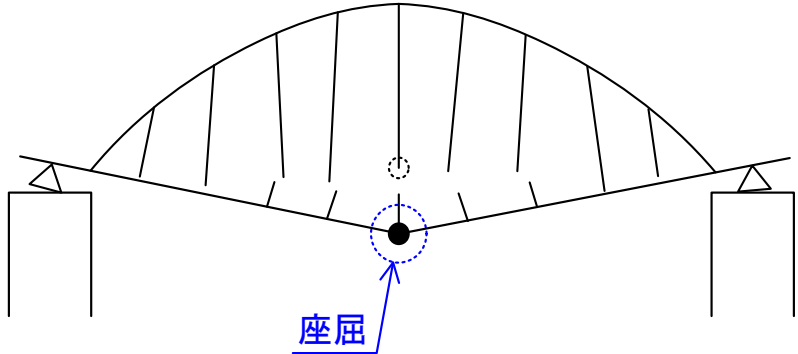
②落橋に至る過程について

多数の吊材や吊材とアーチ材との接続箇所が連鎖的に破断し、水道本管が空気弁の設置されている中央部の座屈を伴い落下した。その落下に伴いアーチ部材に大きな曲げが作用し、アーチ部材の降伏や溶接部の破断が生じ、橋全体が落下した。

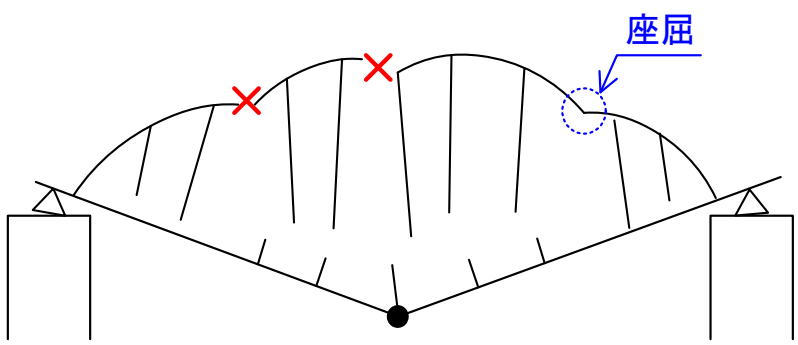
①吊り材破断



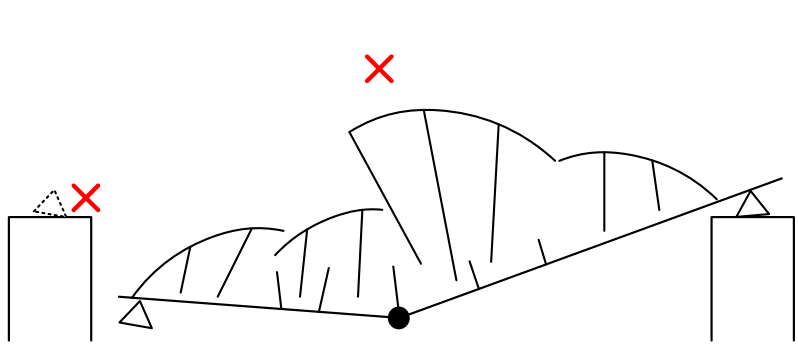
②空気弁部でも水道本管座屈による落下



③アーチ材破断、座屈による落下



④支承部(落橋防止装置)破損



5. 想定する調査事項の整理(案)(4)

※主な検討課題:

- 落橋の過程や脆性的な破壊が生じた原因の解明
- 溶接部破断原因の解明
- 水道本管(空気弁設置個所、大開口)の構造耐力の検証
(腐食の影響があれば考慮)
- 水道本管の脆性的な破断箇所があれば、原因の解明
- アーチ材の降伏原因の解明(腐食による強度低下の可能性がある)

5. 想定する調査事項の整理(案)(5)

⇒今後の調査事項:

- 水管橋全体の構造解析
- 水道本管(空気弁設置個所)の詳細モデル構造解析
- アーチ材や溶接部など橋全体の腐食による強度低下の状況調査
- 落橋防止装置の効果検証
- 伸縮可とう管や支承部の安全性検証
- 溶接部破断のメカニズム(腐食原因又は欠陥)評価
- 後付け部材下面(アーチ材、水道本管、吊り材)の腐食状況調査
- 水道本管の材料組成(延性など)調査
- 空気弁周辺の腐食調査(漏水状況の調査含む)など

5. 想定する調査事項の整理(案)(6)

③腐食メカニズムについて

後付け部下面の腐食(吊材、アーチ材、水道本管の腐食)、凹凸部の腐食、溶接部の腐食と考えられ、その誘因として塗装更新の遅れ、塗装効果の限界、鳥の糞害、塩害(風の状況)、スケール付着など複数の要因によるものと考えられる。

また、風対策として取り付けた後付け材料に起因する疲労(振動)により腐食が進んだことも考えられる。

5. 想定する調査事項の整理(案)(7)

※主な検討課題:

- 腐食要因の影響度合いの評価
- 塗装の適用性や品質確保及び管理上の要因などの整理
- 塗装更新時期判断方法の検討
- 後付け部材下面の腐食状況の評価
- 吊材(管)内への水道本管からの漏水の可能性評価

5. 想定する調査事項の整理(案)(8)

⇒今後の調査事項:

- 既設塗装の品質(材料、付着度など)調査
- 付着物の調査、鳥の糞害や塩害の影響程度 of 分析
- 後付け部材下面の腐食状況調査
- 吊材(管)内の通水管からの漏水の可能性調査

5. 想定する調査事項の整理(案)(9)

④ 残存区間の評価

残存区間の各調査を行い、残存区間の健全性を評価する

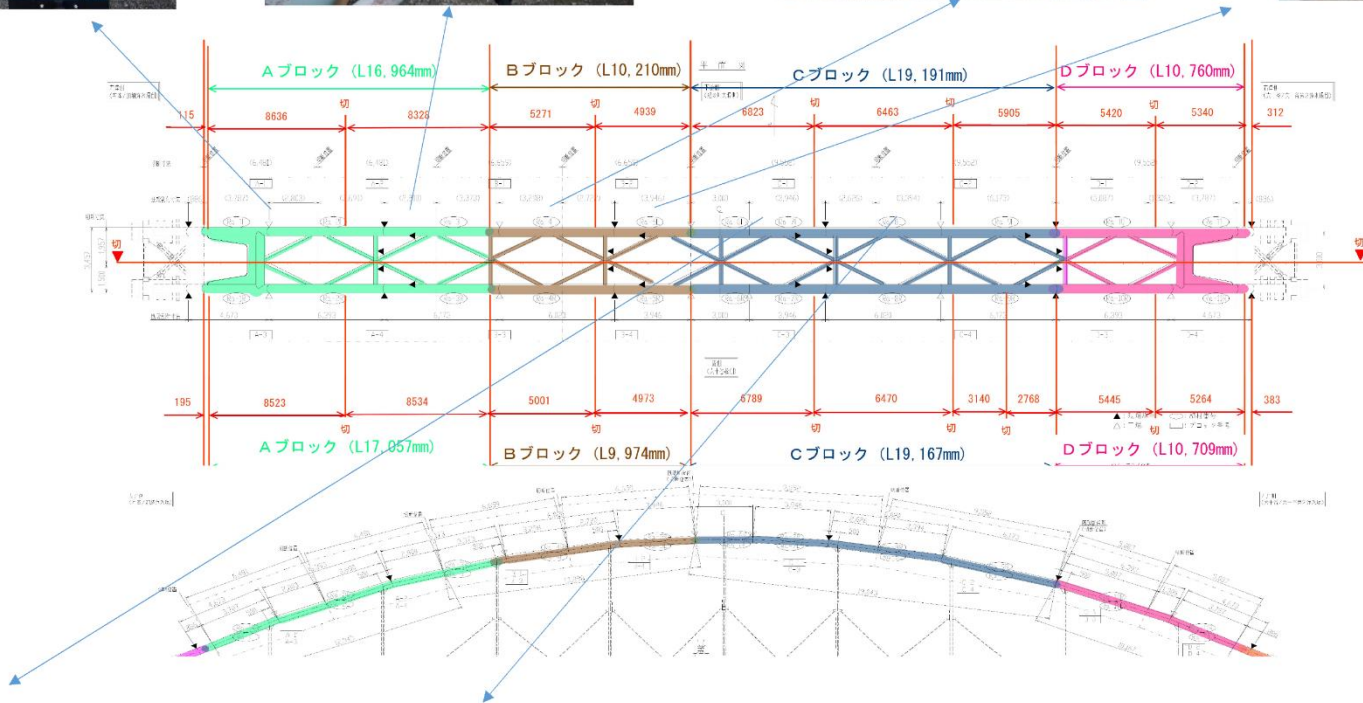
⇒ 今後の調査事項:

- 残存区間の腐食調査(空気弁の腐食や機能含む)
- 残存区間の塗装調査(塗装更新を実施しない場合)
- 残存区間の部材寸法調査(厚み、鋼材径など)
- 残存区間の材料調査※(強度、組成分析など)
- 残存区間の後付け材料下面の腐食調査
- 残存区間の溶接部調査(溶接状況、強度※など)
- 残存区間の構造解析※

※: 落橋区間で不具合が確認された場合に実施

落橋した水管橋の引き揚げ後の画像

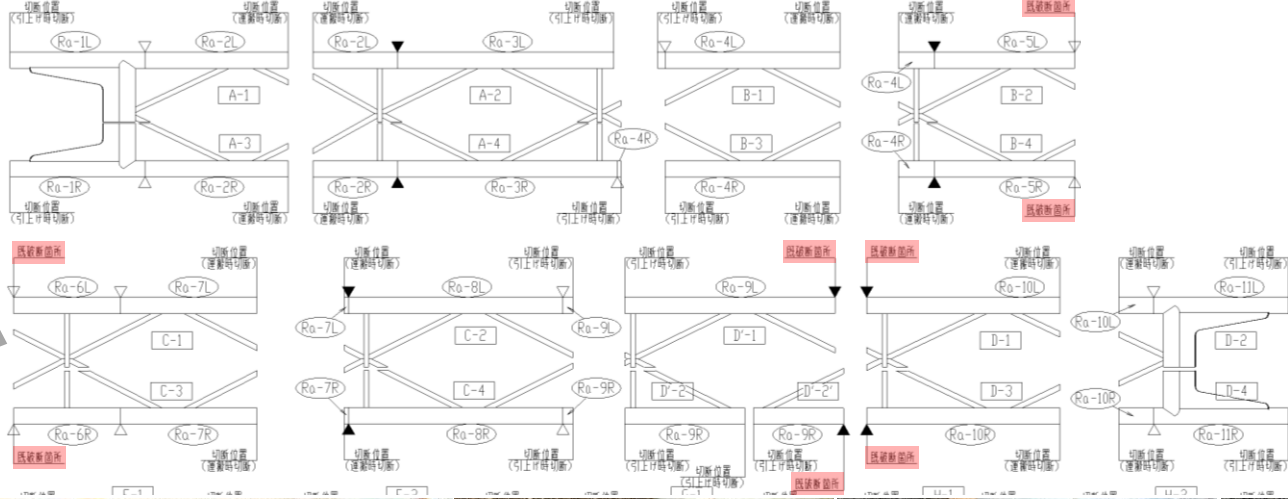
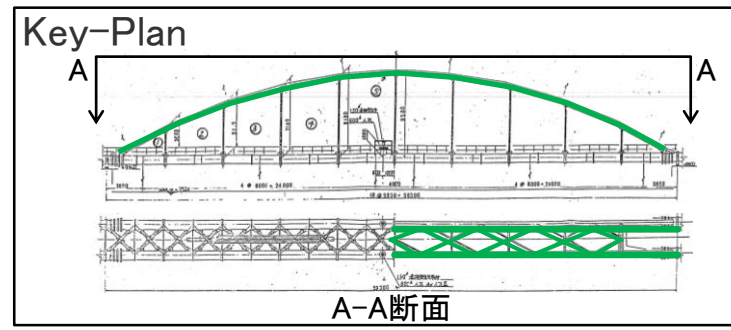
上弦材(1)



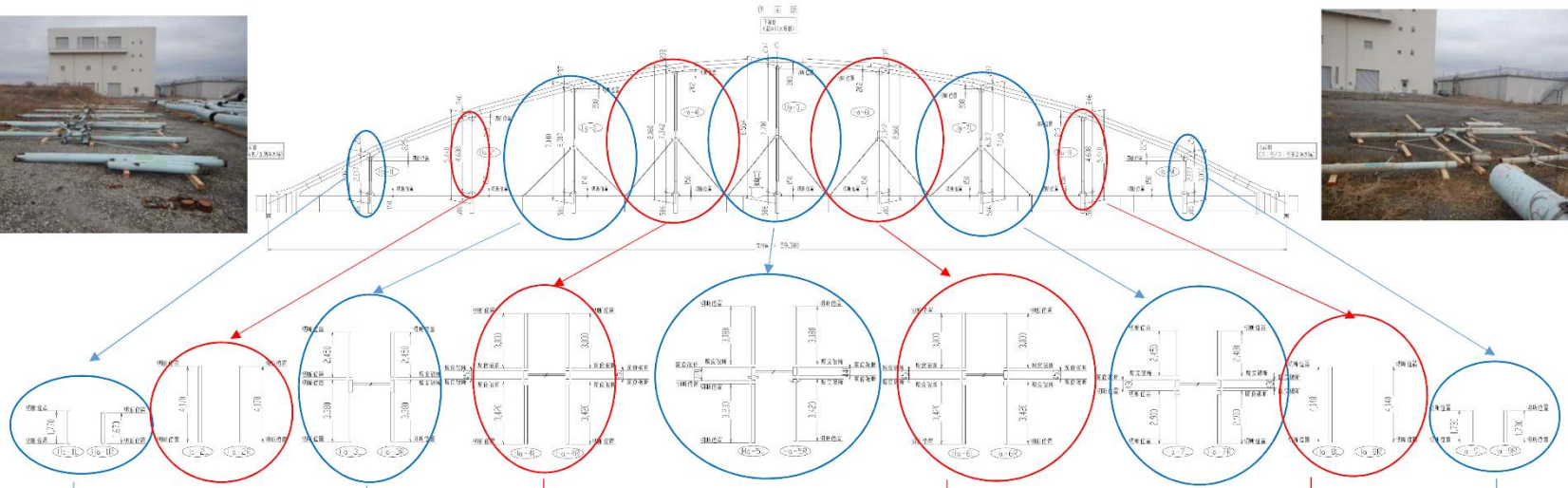
上弦材(2)



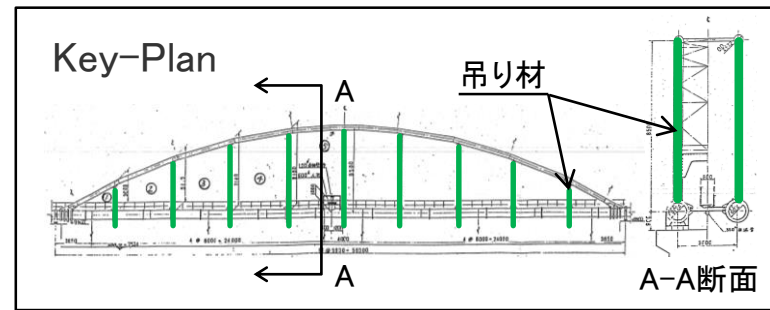
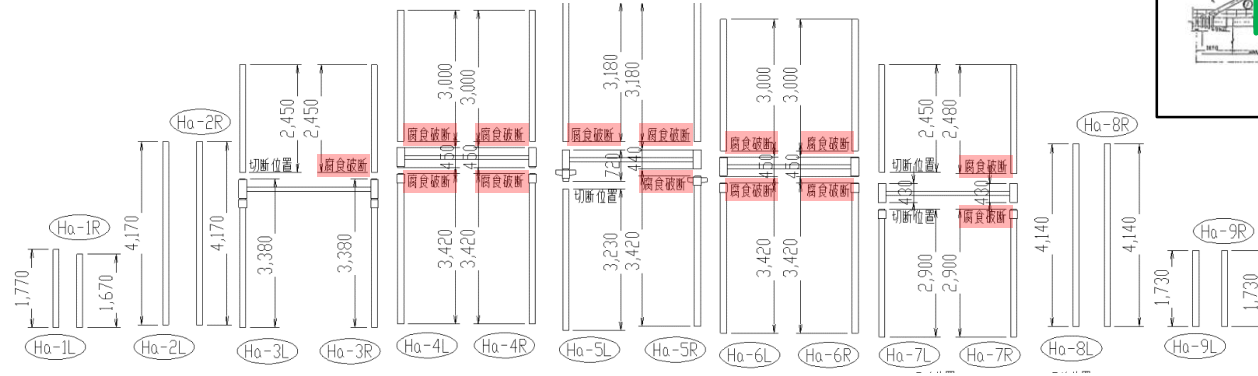
落水水管橋 出来形 加納浄水場(仮置き)
アーチ材 C-1ブロック L=6823mm



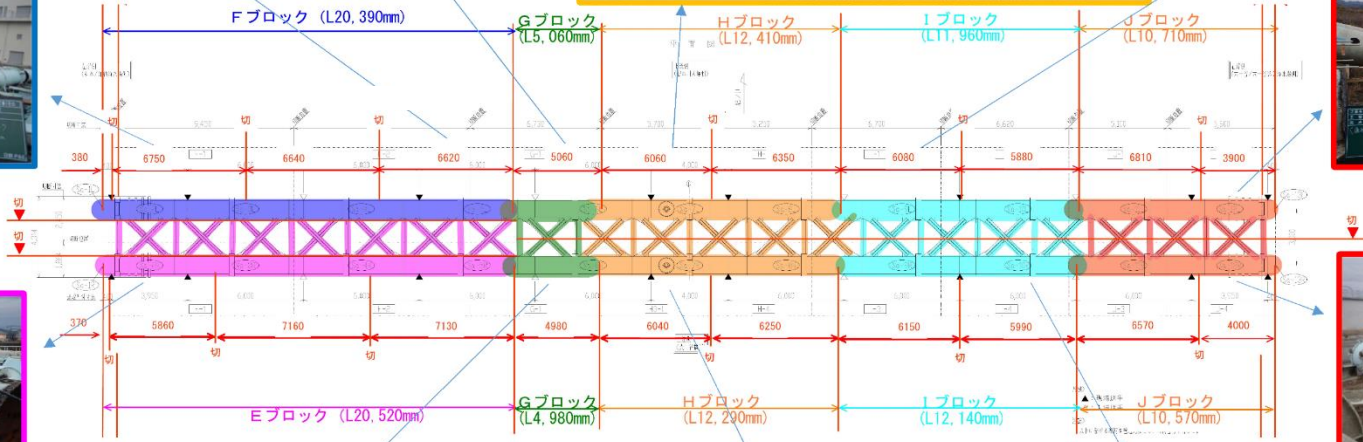
吊り材(1)



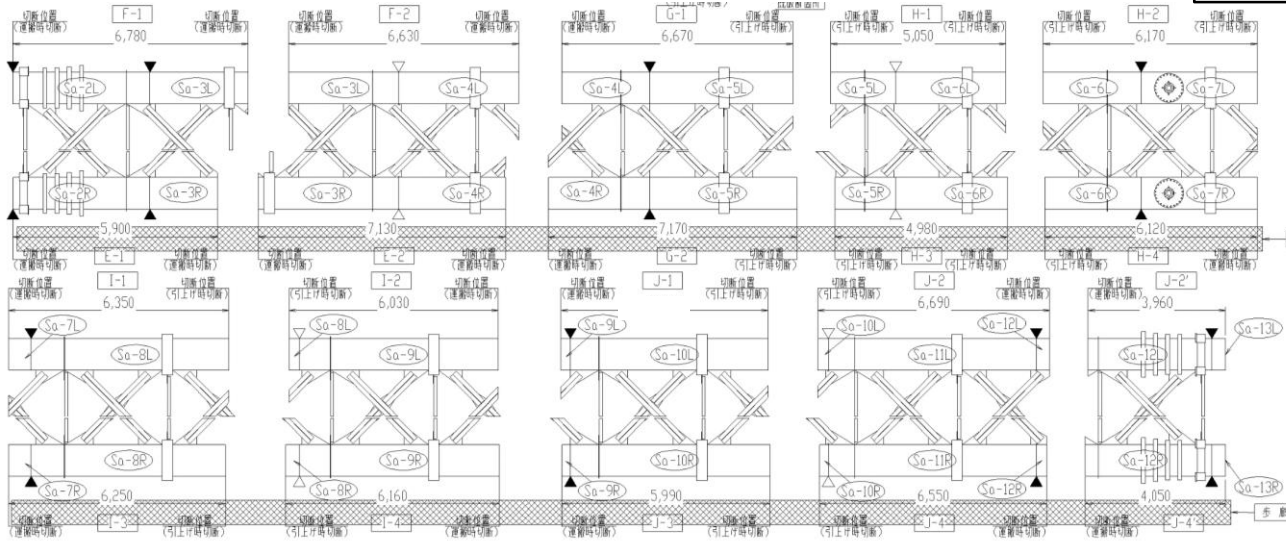
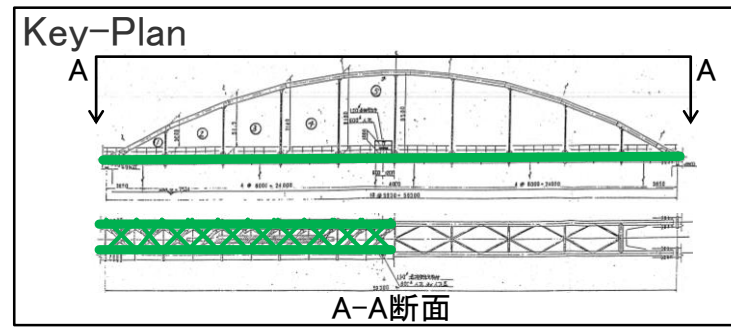
吊り材(2)



下弦材(1)



下弦材 (2)



その他



左岸側



仮設管(端部)



仮設管(中央部)



右岸側