六十谷水管橋破損に係る調査委員会

報　告　書
（調査結果編）

令和４年９月

和歌山市企業局

目　次

Ⅰ．本調査
六十谷水管橋　調査結果報告書 Ⅰ-1
添付資料-1【落橋水管橋】加納浄水場配置図 Ⅰ-34
添付資料-2【落橋水管橋】水管橋破損部調査結果報告書（調査会社：日鉄テクノロジー㈱） Ⅰ-36
添付資料-3【落橋・残置水管橋】管厚検査記録（調査会社：東洋検査工業㈱） Ⅰ-174
添付資料-4【P6-P7 径間】浸透探傷検査結果報告書（調査会社：東洋検査工業㈱） Ⅰ-296
添付資料-5【落橋水管橋】腐食面積集計表 Ⅰ-359
添付資料-6【残置水管橋】腐食面積集計表 Ⅰ-400
添付資料-7【大日本塗料】テクニカルデータ Ⅰ-546

Ⅱ．第三者調査
1　回収した試験材料 Ⅱ-1
2　調査内容と試験場所 Ⅱ-1
3　試験片（供試体）の採取計画 Ⅱ-2
4　試験結果 Ⅱ-2
4.1　吊材の外観観察および断面マクロ組織試験 Ⅱ-2
4.2　引張試験結果 Ⅱ-6
4.3　溶接部及び鋼材の定量分析 Ⅱ-7
4.4　塗膜分析結果 Ⅱ-7
4.5　付着力試験結果 Ⅱ-12
添付資料 Ⅱ-14

和歌山市殿 工事番号	―
和歌山市殿 図書番号	―

和歌山市企業局 殿

ＮＳＰＥ 文書番号	2WGBB001-PK-02-S-0
ＮＳＰＥ 工事番号	2WGBB001

六十谷水管橋 緊急復旧工事
（補修方法検討に必要な水管橋点検調査）

調査結果報告書

（落橋部 P4-P5，既存部 P1-P2，P2-P3，P6-P7，P7-P8 ｽﾊﾟﾝ）

NSPE 日鉄パイプライン&エンジニアリング株式会社

改　訂　履　歴

改訂	改訂日	改 訂 内 容	備考
0	2022.05.10	新規作成	

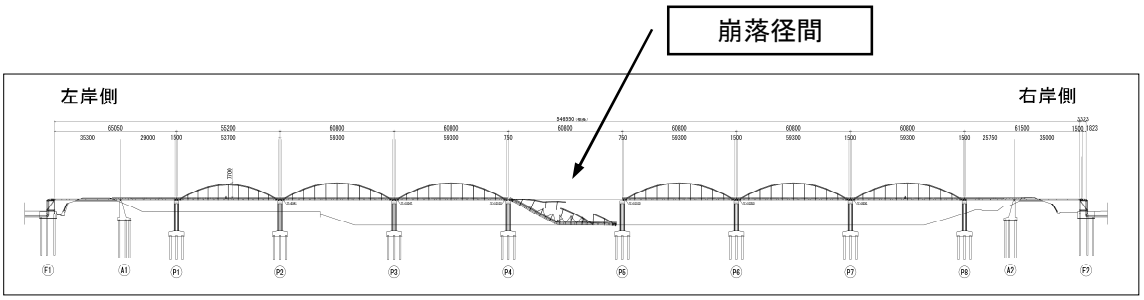
2021 年 10 月 3 日に起きました六十谷水管橋 1 径間の落橋（ランガー補剛 7 径間+2 径間連続梁×2）について落橋部および残置水管橋 4 径間の調査結果について下記に示す。

Ⅰ．落橋水管橋調査方法

1. 破損経緯

2021 年 10 月 3 日にランガー補剛形式水管橋の中央径間が落橋。

1-1. 位置図



図Ⅰ-1　崩落個所位置図

1-2. 落橋水管橋　仕様・施工

表Ⅰ－１．水管橋仕様

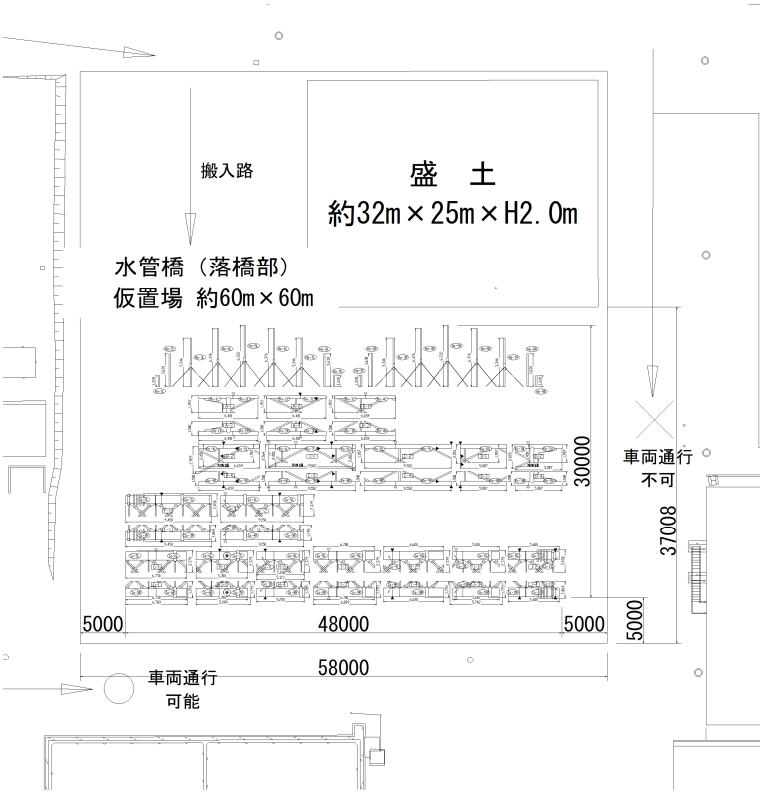
形式	ランガー補剛形式
支間長	59.3m
総重量	約 64ton
上弦材	φ457.2×9.5t
下弦材（通水管）	φ914.4×9.5t
吊材	φ139.0×4.5t
竣工年度	昭和 48 年度

1-3. 落橋状況

下記に落橋状況写真を示す。

1-4. 仮置図

河川から引き揚げ後、加納浄水場仮置き計画を下記に示す。



図Ⅰ-2. 加納浄水場内　落橋水管橋仮置図

2. 破損調査・試験

今回の落橋では、地震・暴風等の災害時ではない常時の状況で落橋していることから主部材から部材を採取することとし、現状の破断部を重点的に下記調査・試験を行った。試料採取箇所については、破断部および溶接部等の代表的箇所を当社より提示し和歌山市様と協議の上、決定した。

2-1. 調査部材・方法

(1)採取部材

1)上弦材（破断箇所あり）

2)下弦材

3)吊　材（破断箇所あり）

(2)調査方法

1)外観観察および破断面のマクロ観察調査（発錆状況、破損状況確認）

2)破損部近傍断面の金属マクロ組織観察調査（組織観察：破損形態特定）

3)亀裂破面の SEM※観察調査（組織観察：破損形態特定）

4)素材鋼片の引張試験（建設当時の規格であるかの確認）

5)鋼材及び溶接金属部の定量分析調査（建設当時の規格であるかの確認）

※SEM:走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope）

2-2. 調査数量

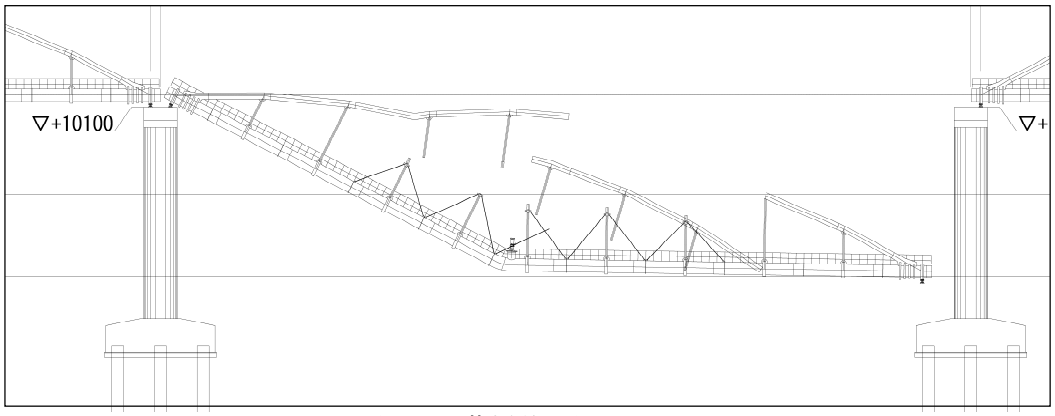


図.3　落橋状況図

表 2.調査箇所数

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	1 組※2	5	9 組※2
2)破損部近傍断面の金属マクロ組織観察調査	4 組※1	1 組※2	5	9 組※2
3)亀裂破面の SEM※観察調査	4 組※1	1 組※2	5	9 組※2
4)素材鋼片の引張試験	4 組※1	1 組※2	5	9 組※2
5)鋼材及び溶接金属部の定量分析調査	4 組※1	1 組※2	5	9 組※2

※1. 破損部のため、左右 1 組でカウント。
※2. 破損部のため、上下 1 組でカウント。(破損個所外については現地溶断後、電動カッターでの切断を行い上下セット 1 組とする。

2-4. 管厚測定

後述の「Ⅱ. 残置水管橋　健全度調査　1.調査方法　2)管厚測定(超音波管厚計) 2-2)詳細測定」に従い管厚測定を行う。

3.破損状況シミュレーション

腐食結果が出た時点で、水管橋の問題のあった箇所を想定後、シミュレーションを行い、落橋前の水管橋の応力状態を解析するものとする。

Ⅱ．残置水管橋　健全度調査

※ 健全度調査後、補修案の変更が必要な場合については、別途補修計画書で協議を行うものとする。

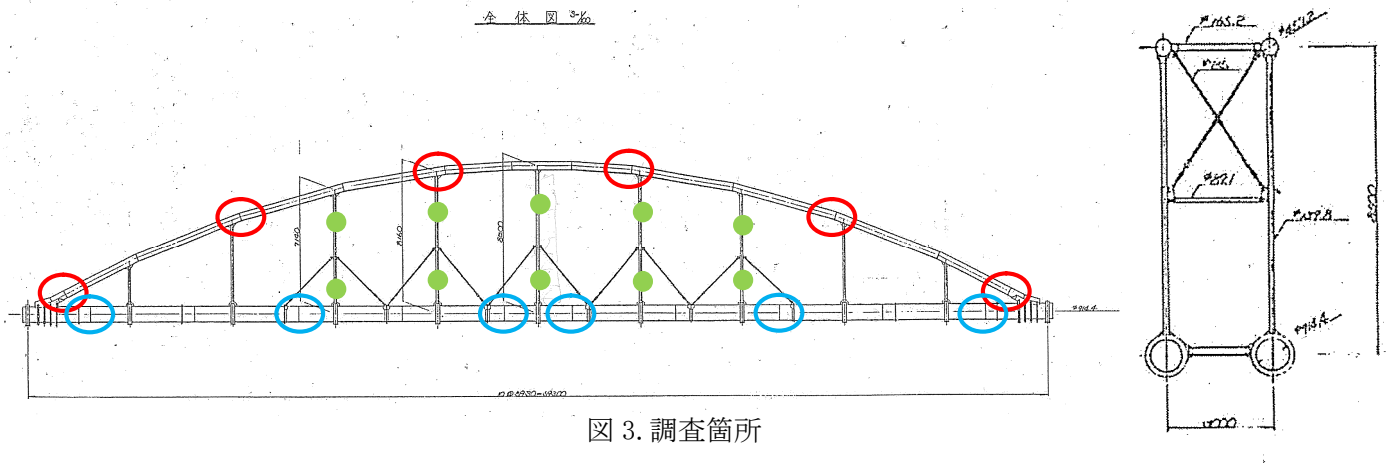


図 3. 調査箇所

1. 調査方法

(1) 外観調査（発錆状況確認）

・全体目視確認

・参考）ドローン撮影画像での事前確認含む

(2) 管厚測定(超音波管厚計)

1) 基本測定

残置水管橋について表 3.1 に示す測点において管厚測定を行う。

表 3.1 径間当り管厚測定箇所数（基本測定）

	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）	---
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）

2) 詳細測定

上記全体目視確認において腐食損傷が顕著な 1 支間については P6～P7 とし、表 3.2 に示す測点において管厚測定を行う。

表 3.2 径間当り管厚測定箇所数（詳細測定）

	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 （長さ方向、周方向とも 30mm ピッチ）	全箇所 （高さ方向、周方向とも 30mm ピッチ）	全箇所 （長さ方向、周方向とも 30mm ピッチ）

3)現地溶接部カラーチェック(PT 検査)

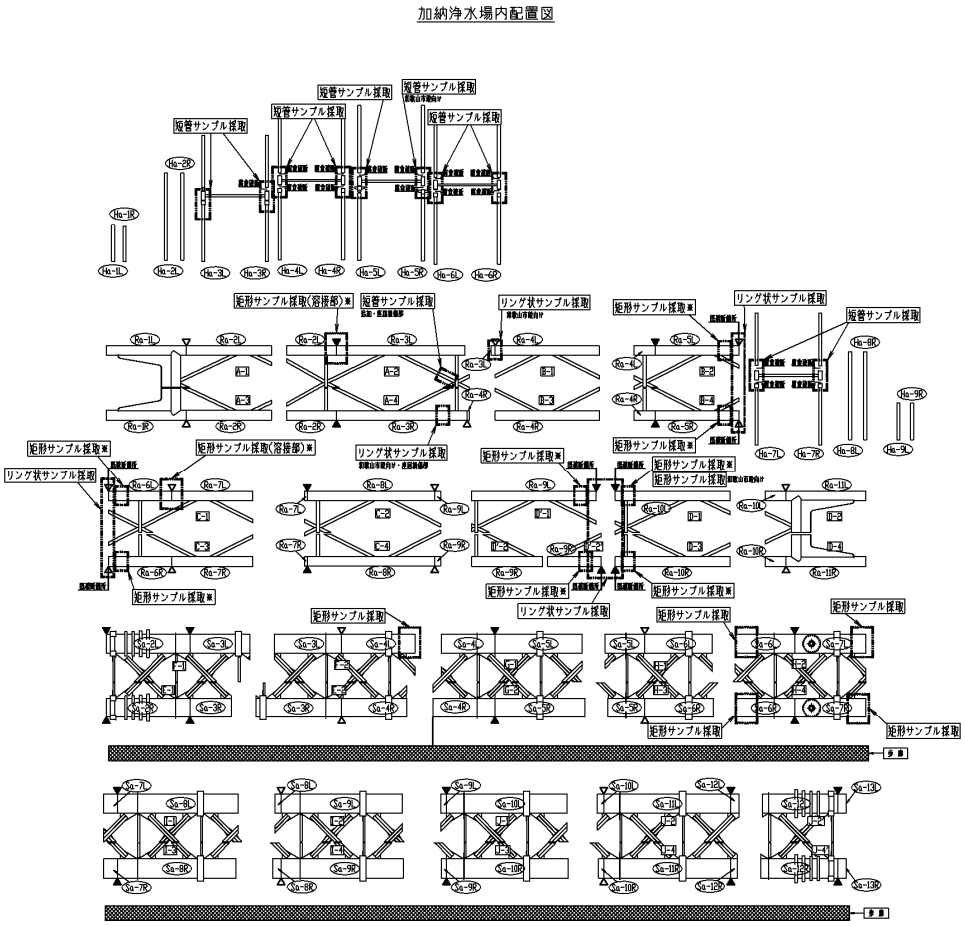
対象支間は、P6～P7 とし、現地溶接箇所の PT 検査を行い、割れ確認を行う。

割れが発見された場合、その後の観察方法については協議を行うものとする。

Ⅲ. 落橋水管橋調査結果　P4～P5 支間

1. 仮置状況

加納浄水場仮置き状況をを下記に示す。（拡大図は、添付資料-1 に添付）



図Ⅲ-1. 加納浄水場内　落橋水管橋仮置図

写真Ⅲ-1. 加納浄水場内　仮置作業中

写真Ⅲ-2. 加納浄水場内　仮置状況

2.破損調査・試験結果

調査結果報告書は、添付資料-2 に添付。

2-1. 調査部材・結果

採取部材としては上弦材（破断箇所あり）、下弦材、吊材（破断箇所あり）について下記調査結果となった。

1)外観観察および破断面のマクロ観察調査（発錆状況、破損状況確認）

・吊材については、9 本/18 本の破断あり。
後付けブレス材の全ての箇所で腐食が見られ、破断部については、激しい外面腐食である。
1 本当たり、1 箇所破断は、2 本/9 本、2 か所破断は、7 本/9 本である。

・上弦材の破断部については、工場・現地溶接部で破断している。
これについても外面に腐食の痕跡が認められる。

・下弦材については、外面腐食は認められるが貫通傷はなし。

2)破損部近傍断面の金属マクロ組織観察調査（組織観察：破損形態特定）

・全試料とも、断面より一般的な金属組織を示している。

・破断部については、全試料とも腐食損傷が顕著である。（外面腐食）
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 1㎜ 以下となっているものが多い。

表Ⅲ-1.断面観察

部材名			確認箇所名	a	b
下弦材	Sa	4L		通常	通常
		6L		通常	通常
		6R		通常	通常
		7L		通常	通常
		7R		通常	通常
吊材	Ha	3L	上弦材行	通常	通常
			上部バンド部	通常	通常
		3R	上弦材行	通常	通常
			上部バンド部	通常	通常
		4L	上弦材行	通常	一部、引張
			上部バンド部	通常	通常
		4R	上弦材行	一部、引張	通常
			上部バンド部	引張	通常
		5L	上弦材行	通常	通常
			上部バンド部	通常	通常
		6L	上弦材行	通常	通常
			上部バンド部	通常	通常
		6R	上弦材行	通常	一部、引張
			上部バンド部	通常	通常
		7L	上弦材行	通常	一部、引張
			上部バンド部	一部、引張	通常
		7R	上弦材行	通常	一部、引張
			上部バンド部	一部、引張	通常
綾材	Ra	3L		通常	引張
		3R		引張	通常
上弦材	Ra	5L	A	通常	通常
			B	一部、引張	通常
		5R	A	通常	通常
			B	一部、引張	通常
		6L	A	通常	通常
			B	一部、引張	通常
		6R	A	一部、引張	曲げで変形
			B	一部、引張	通常
		9L	A	通常	通常
			B	通常	通常
		9R	A	一部、引張	通常
			B	一部、引張	通常
		10L	A	通常	通常
			B	引張	通常
		10R	A	引張	通常
			B	通常	通常

3)亀裂破面の SEM 観察調査（組織観察：破損形態特定）

・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が認められる。

・追加で行った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。こちらもディンプルが確認されており、延性破壊と推定される。

表Ⅲ-2.SEM観察

部材名			確認箇所名	①	②
吊材	Ha	3R	上弦材行１	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上弦材行２	ディンプルあり	ディンプルあり
			上部バンド部1	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部2	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
		4L	上弦材行１	ディンプルあり	ディンプルあり
			上弦材行２	ディンプルあり	ディンプルあり
			上部バンド部1	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部2	溶融部	溶融部
			上部バンド部3	溶融部	溶融部
		4R	上弦材行１	ディンプルあり	腐食損傷、様相不明
			上弦材行２	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部1	ディンプルあり	ディンプルあり
			上部バンド部2	ディンプルあり	ディンプルあり
		5L	上弦材行１	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上弦材行２	ディンプルあり	ディンプルあり
			上部バンド部1	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部2	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
		6L	上弦材行１	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上弦材行２	ディンプルあり	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部1	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部2	ディンプルあり	ディンプルあり
		6R	上弦材行１	ディンプルあり	ディンプルあり
			上弦材行２	腐食損傷、様相不明	ディンプルあり
			上部バンド部1	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部2	ディンプルあり	ディンプルあり
		7L	上弦材行１	ディンプルあり	腐食損傷、様相不明
			上弦材行２	ディンプルあり	ディンプルあり
			上部バンド部1	ディンプルあり	ディンプルあり
			上部バンド部2	ディンプルあり	ディンプルあり
		7R	上弦材行１	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上弦材行２	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部1	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			上部バンド部2	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
上弦材（綾）	Ra	3R	綾材座屈部1	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
			綾材座屈部2	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
		3L	綾材座屈部1	ディンプルあり	腐食損傷、様相不明
			綾材座屈部2	ディンプルあり	腐食損傷、様相不明

	上弦材	Ra	5L	A1	ディンプルあり	腐食損傷、様相不明
				A2	ディンプルあり	へき開破壊（脆性）
				B1	ディンプルあり	ディンプルあり
				B2	ディンプルあり	ディンプルあり
			5R	A1	ディンプルあり	ディンプルあり
				A2	ディンプルあり	ディンプルあり
				B1	ディンプルあり	ディンプルあり
				B2	ディンプルあり	ディンプルあり
			6L	A1	ディンプルあり	ディンプルあり
				A2	ディンプルあり	ディンプルあり
				B1	へき開破壊（脆性）	ディンプルあり
				B2	ディンプルあり	ディンプルあり
			6R	A1	ディンプルあり	ディンプルあり
				A2	ディンプルあり	ディンプルあり
				B1	ディンプルあり	ディンプルあり
				B2	ディンプルあり	ディンプルあり
			9L	A1	腐食損傷、様相不明	ディンプルあり
				A2	腐食損傷、様相不明	腐食損傷、様相不明
				B1	ディンプルあり	ディンプルあり
				B2	腐食損傷、様相不明	ディンプルあり
			9R	A1	ディンプルあり	ディンプルあり
				A2	ディンプルあり	ディンプルあり
				B1	ディンプルあり	ディンプルあり
				B2	ディンプルあり	ディンプルあり
			10L	A1	ディンプルあり	へき開破壊（脆性）
				A2	へき開破壊（脆性）	ディンプルあり
				B1	ディンプルあり	ディンプルあり
				B2	ディンプルあり	ディンプルあり
			10R	A1	ディンプルあり	ディンプルあり
				A2	ディンプルあり	ディンプルあり
				B1	へき開破壊（脆性）	ディンプルあり
				B2	ディンプルあり	へき開破壊（脆性）

4)素材鋼片の引張試験（建設当時の規格であるかの確認）

添付資料-2「水管橋破損部調査結果報告書」P17 に記載の通り、STK400、STPY400 の規格では 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。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。

5)鋼材及び溶接金属部の定量分析調査（建設当時の規格であるかの確認）

添付資料-2「水管橋破損部調査結果報告書」P19、20 に記載の通り、母材について各試料とも、当時の JIS 基準を満たしている。溶接部については成分規格はないので規格値判断はできないが鋼管規格未満となっており、問題ない範囲と推定される。

表Ⅲ-3. 化学成分比較　　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)

2-2. 管厚測定

添付資料-3「管厚検査記録」に詳細を添付する。管厚測定結果は、概略以下の通りである。

・管厚減少については、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。

・経過年数で見た場合の腐食速度は一般的なものとなる。（一般的な暴露環境下では 0.06㎜/年程度の減肉）

⑤経過年数	48	年
支間名	P4～P5	

表Ⅲ-4. 管厚測定（上弦材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
上弦材 現地溶接	STK400	450	9.5					
	⑥管厚公差	15.0%	10.92					
		-12.5%	8.31					
				右岸側L	9.47	9.30	0.20	0.0042	0.99
				左岸側L	9.49	9.10	0.40	0.0083	0.79
				右岸側R	9.48	9.30	0.20	0.0042	0.99
				左岸側R	9.46	9.20	0.30	0.0063	0.89

表Ⅲ-5. 管厚測定（吊材現地溶接部）

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

表Ⅲ-6. 管厚測定（下弦材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
下弦材 現地溶接	STPY400	900	9.5					
	⑥管厚公差	15.0%	10.92					
		-10.0%	8.55					
				右岸側L	8.86	6.80	2.70	0.0563	-1.75
				左岸側L	9.03	7.40	2.10	0.0438	-1.15
				右岸側R	9.14	7.40	2.10	0.0438	-1.15
				左岸側R	9.04	7.20	2.30	0.0479	-1.35

表Ⅲ-7. 管厚測定（下弦材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
下弦材 バンド下	STPY400	900	9.5					
	⑥管厚公差	15.0%	10.92					
		-10.0%	8.55					
				Lア	8.88	6.60	2.90	0.0604	-1.95
				Lイ(1)	9.40	8.00	1.50	0.0313	-0.55
				Lイ(2)	9.43	8.10	1.40	0.0292	-0.45
				Lウ(1)	9.25	7.00	2.50	0.0521	-1.55
				Lウ(2)	9.27	8.50	1.00	0.0208	-0.05
				Lエ(1)	8.94	6.50	3.00	0.0625	-2.05
				Lエ(2)	8.98	7.60	1.90	0.0396	-0.95
				Lオ(1)	9.28	7.40	2.10	0.0438	-1.15
				Lオ(2)	9.26	7.60	1.90	0.0396	-0.95
				Lカ	9.13	8.20	1.30	0.0271	-0.35
				Rア	9.73	7.60	1.90	0.0396	-0.95
				Rイ(1)	9.74	7.60	1.90	0.0396	-0.95
				Rイ(2)	9.71	7.60	1.90	0.0396	-0.95
				Rウ(1)	9.37	8.20	1.30	0.0271	-0.35
				Rウ(2)	9.38	8.60	0.90	0.0188	0.05
				Rエ(1)	9.34	7.30	2.20	0.0458	-1.25
				Rエ(2)	9.42	7.00	2.50	0.0521	-1.55
				Rオ(1)	9.12	7.00	2.50	0.0521	-1.55
				Rオ(2)	9.11	6.70	2.80	0.0583	-1.85

表Ⅲ-8. 管厚測定（吊材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
吊材バンド下	STK400	125	4.5
	⑥管厚公差	15.0%	5.17
		-12.5%	3.93

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
4L 上	4.49	2.00	2.50	0.0521	-1.93
4L 下	3.79	2.80	1.70	0.0354	-1.13
4L M	1.77	1.04	3.46	0.0721	-2.89
5L 上	4.37	3.10	1.40	0.0292	-0.83
5L 下	4.39	3.70	0.80	0.0167	-0.23
5L M	2.10	1.00	3.50	0.0729	-2.93
6L 上	4.32	2.80	1.70	0.0354	-1.13
6L 下	4.37	3.70	0.80	0.0167	-0.23
6L M	1.50	0.76	3.74	0.0779	-3.17
7L 上	4.09	2.30	2.20	0.0458	-1.63
7L 下	4.30	4.00	0.50	0.0104	0.07
7L M	2.24	1.42	3.08	0.0642	-2.51
3R上	4.25	3.20	1.30	0.0271	-0.73
3R下	4.26	3.80	0.70	0.0146	-0.13
3RM	1.20	0.10	4.40	0.0917	-3.83
4R上	3.83	2.30	2.20	0.0458	-1.63
4R下	4.36	3.20	1.30	0.0271	-0.73
4RM	1.32	0.86	3.64	0.0758	-3.07
6R上	4.29	2.30	2.20	0.0458	-1.63
6R下	4.36	2.90	1.60	0.0333	-1.03
6RM	1.89	1.17	3.33	0.0694	-2.76
7R上	4.37	3.70	0.80	0.0167	-0.23
7R下	4.24	3.30	1.20	0.0250	-0.63
7RM	2.40	1.49	3.01	0.0627	-2.44

表Ⅲ-9. 管厚測定（上横支材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
上横支材バンド下	STK400	150	5
	⑥管厚公差	15.0%	5.75
		-12.5%	4.37

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
3L	4.70	3.20	1.80	0.0375	-1.17
4L	4.78	4.00	1.00	0.0208	-0.37
5L	4.81	4.10	0.90	0.0188	-0.27
6L	4.72	3.50	1.50	0.0313	-0.87
7L	4.59	2.90	2.10	0.0438	-1.47
3R	4.70	3.70	1.30	0.0271	-0.67
4R	4.26	2.80	2.20	0.0458	-1.57
5R	4.68	3.50	1.50	0.0313	-0.87
6R	4.59	2.30	2.70	0.0563	-2.07
7R	4.66	3.10	1.90	0.0396	-1.27

3.破損状況シミュレーション

腐食結果から微小に管厚を保っていた箇所もあると推定されるが判別は不可能なため、シミュレーションは、切断本数を変更して静的解析を行うものとする。
落橋部以外の両隣の既存2橋の破損状況より落橋水管橋の落橋時の状況を電算ソフトを用いシミュレーションする。

（1）．破損条件

1）吊材破損条件

ケース 1．中央 2 本破損
ケース 2．中央 2 本およびその隣 1 本破損の計 3 本破損
ケース 3．中央 2 本およびその隣 2 本破損の計 4 本破損
ケース 4．中央 2 本およびその両隣 4 本破損の計 6 本破損

2）通水状態での全死荷重がかかった状態での計算とする。

（2）．結果

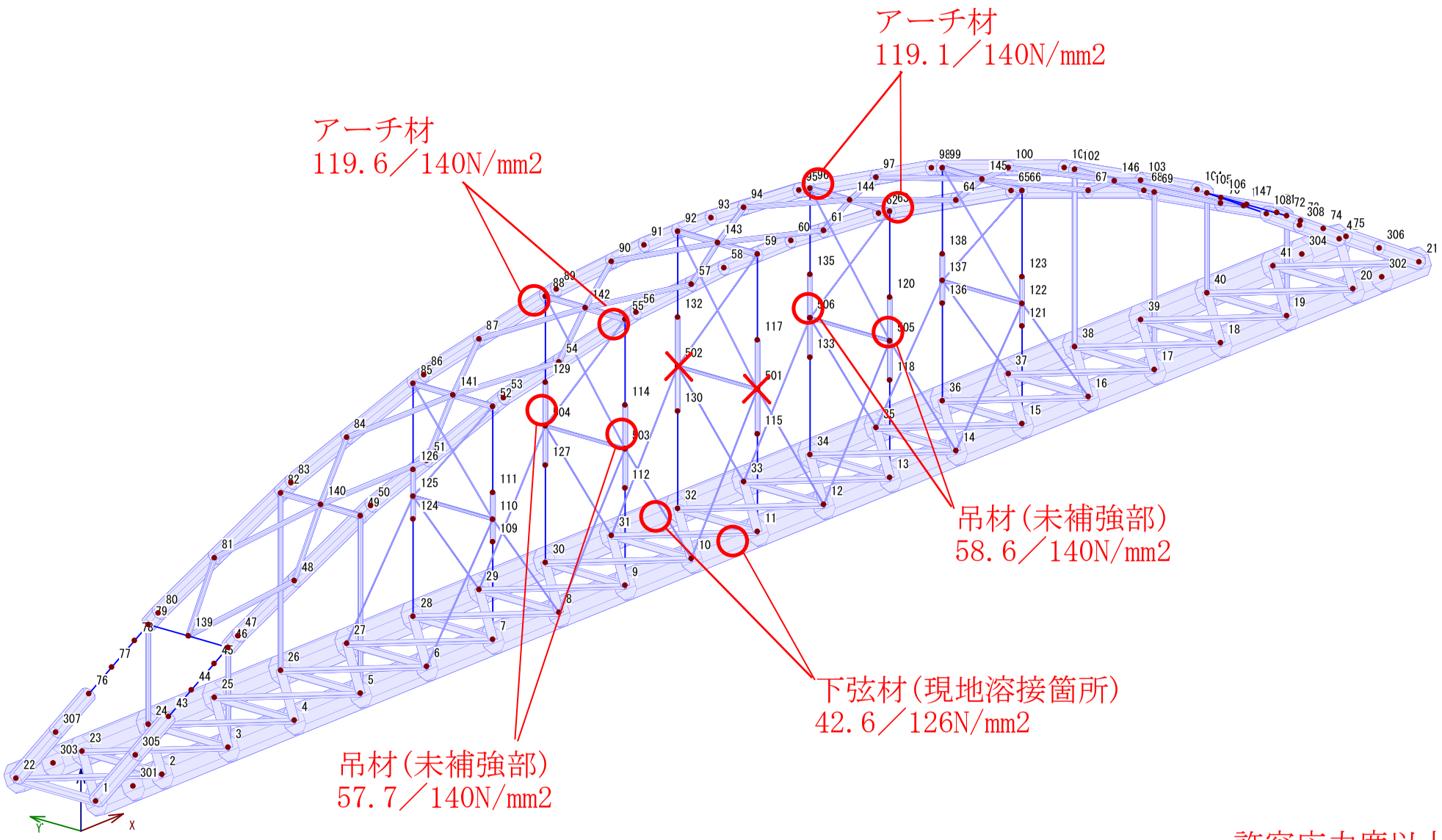
表Ⅲ-8．計算結果

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
アーチ材 (上弦)	○	△ (185.1N/mm2)	△ (216.5N/mm2)	× (350.4N/mm2)
下弦材	○	○	○	○
吊材	○	× (443.8N/mm2)	× (254.6N/mm2)	× (244.5N/mm2)

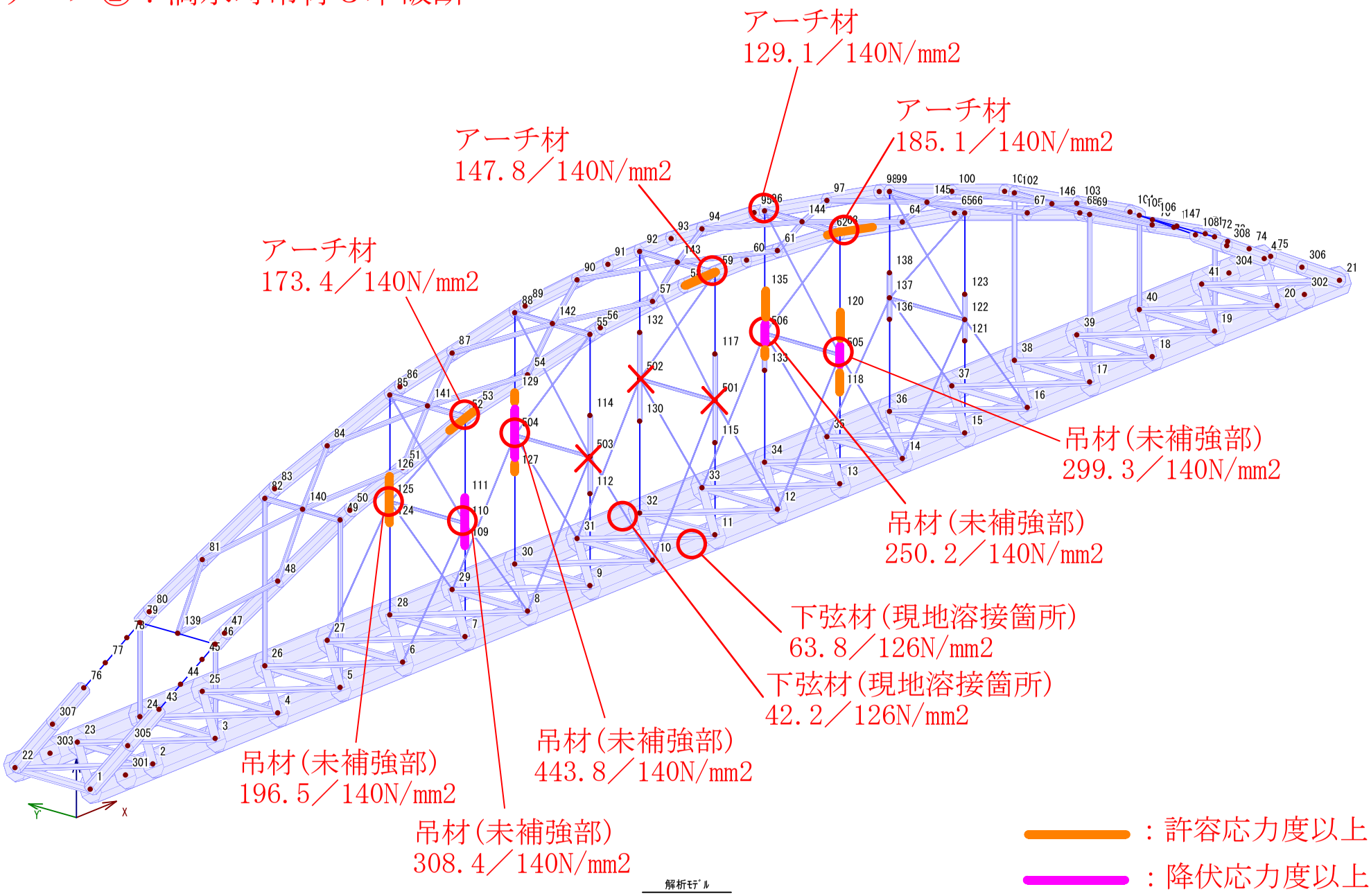
凡例：○　許容応力以下
△　許容応力オーバー、降伏点以下
×　降伏点オーバー
許容応力 140N/mm2、降伏点 225N/mm2

ケース 3 以降は、いつ落橋が起きてもおかしくない状況である。6 本破損では上弦材が確実に破断域（降伏点を大幅に超える 300N/mm2 オーバー)に入っている。

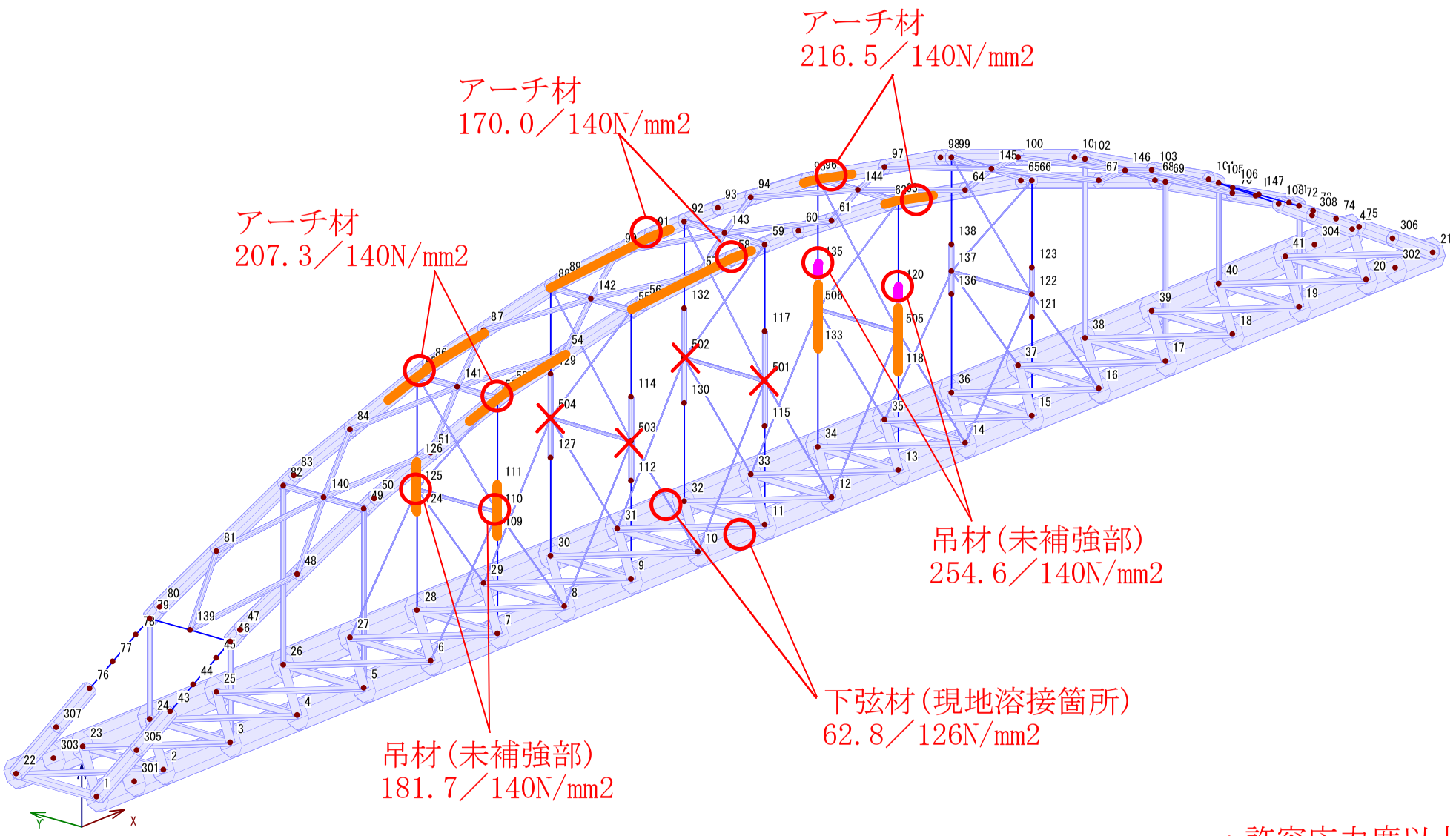
ケース①：満水時吊材２本破断



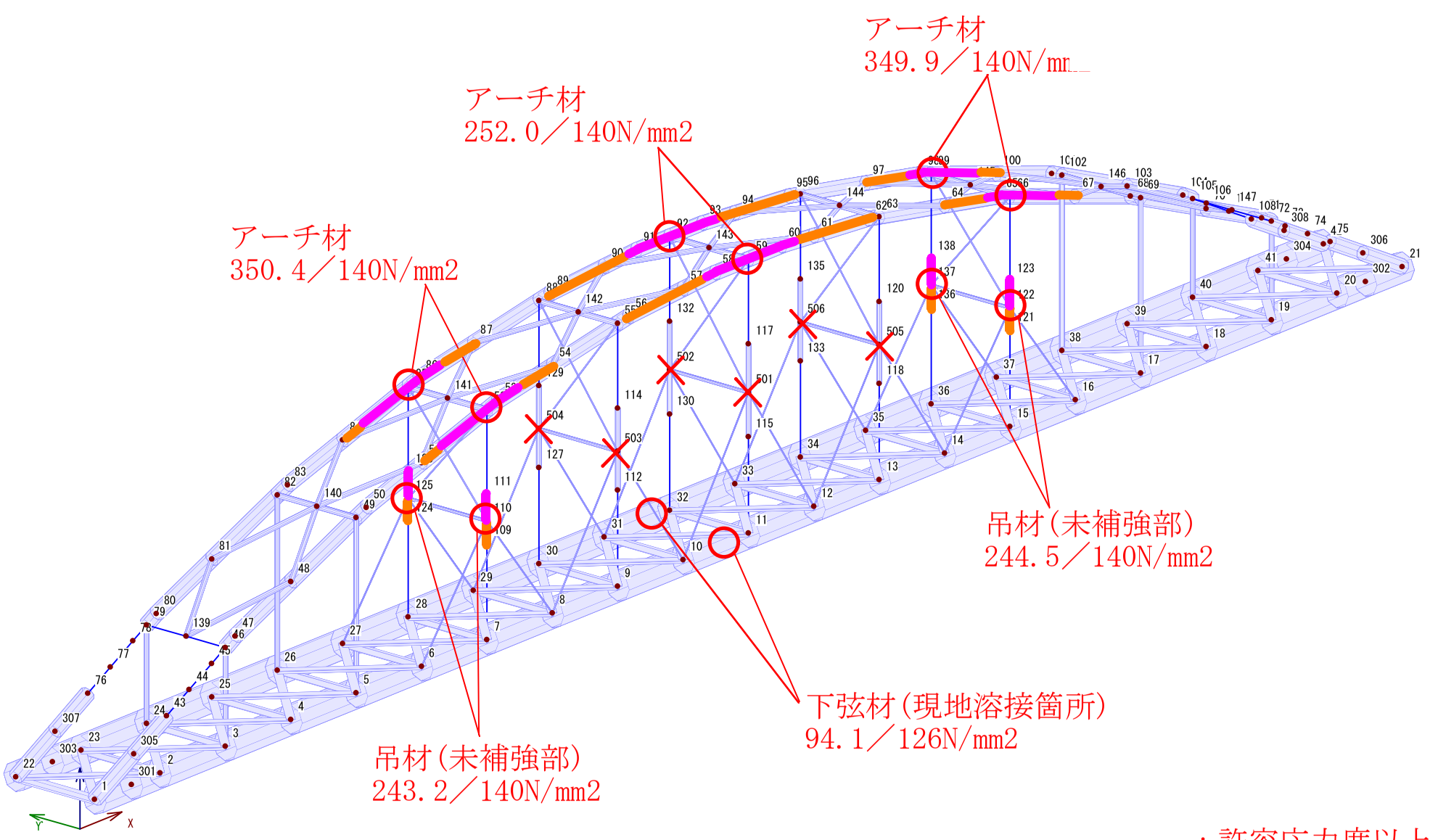
ケース②：満水時吊材３本破断



ケース③：満水時吊材４本破断



ケース④：満水時吊材６本破断



Ⅳ. 残置水管橋　健全度調査　P1～P2、P2～P3、P6～P7、P7～P8

1.外観調査結果

全体目視確認を行った結果を、添付資料-6「腐食面積集計表」に示す。

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差異のある結果となった。

表Ⅳ-1. ランガー橋 4 橋

径間	発錆面積(mm²)	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

表Ⅳ-2. 連続梁 2 橋

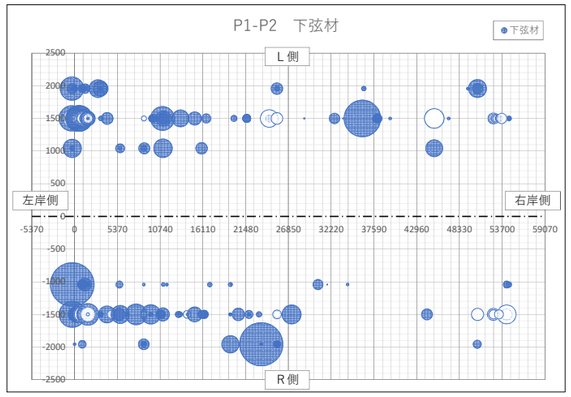
径間	発錆面積(mm²)	比率(P8-A2 比)
A1-P1（左岸）	8,296,652	2.71
P8-A2（右岸）	22,511,658	---

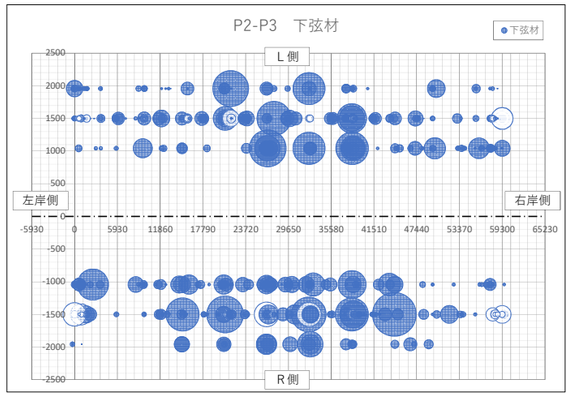
※腐食展開図は、別途提出。

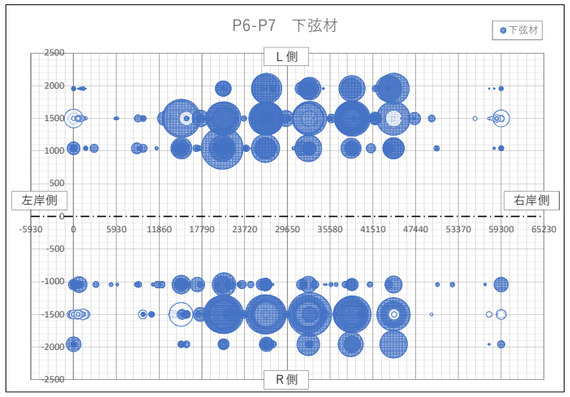
次ページに腐食マップを示す

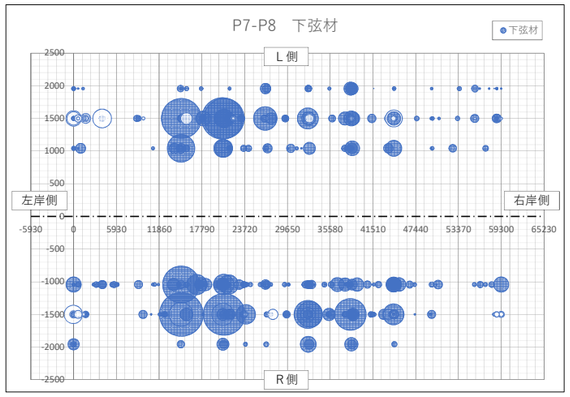
※各部材毎のバブル大きさは、個別グラフ内のみでの大きさ比較となっており、組み合わせた場合の大きさは比例したものではない。
（バブル大きさは各径間毎、各部材毎とも比例していない。）

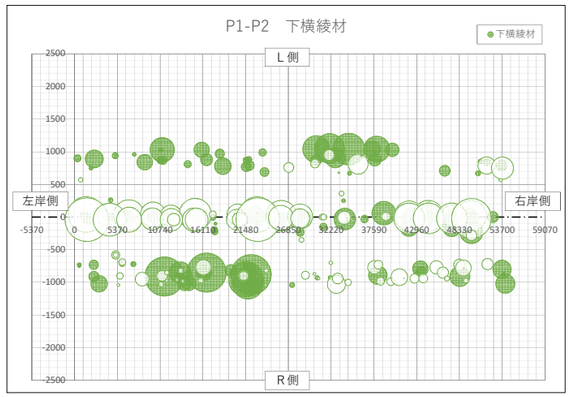
一番腐食面積の少ないい P1-P2 については、発錆点数も少ない。吊材も同様である。
河川内に入り始めると腐食点数は増加傾向である。
P6-P7 については、中央部に発生点数が多い傾向である。
P7-P8 については、河川管理道路と反対側になる河川内側に点数が集中している。

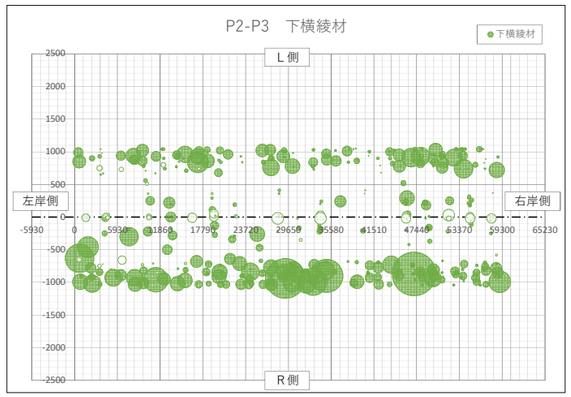

P1-P2　下弦材
下弦材
L 側
左岸側
右岸側
R 側

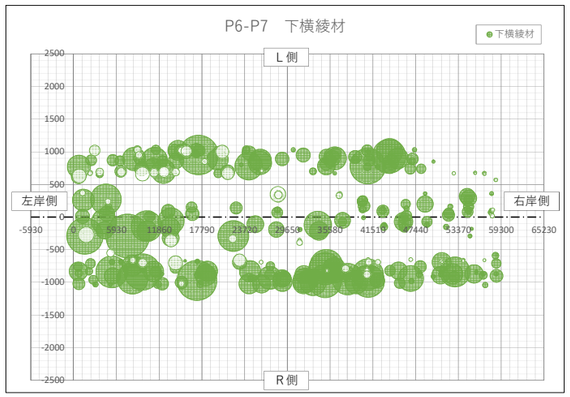

P2-P3　下弦材
下弦材
L 側
左岸側
右岸側
R 側

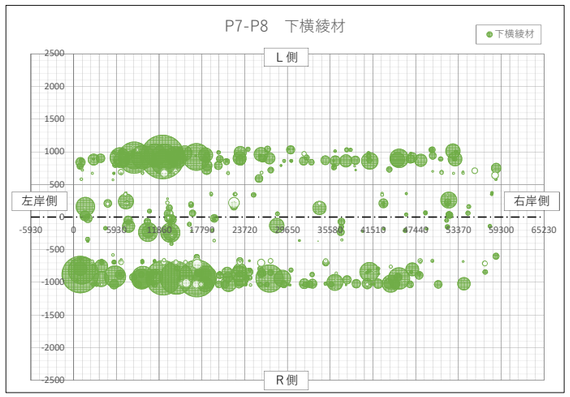

P6-P7　下弦材
下弦材
L 側
左岸側
右岸側
R 側

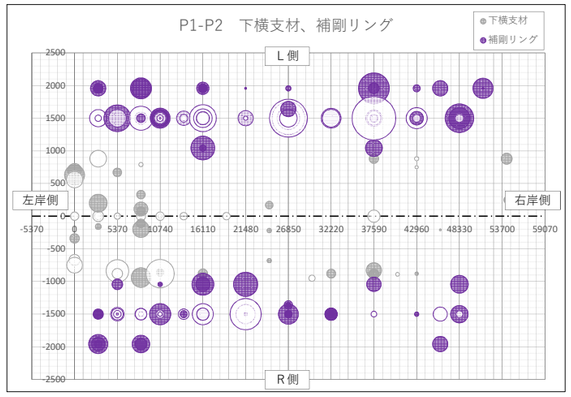

P7-P8　下弦材
下弦材
L 側
左岸側
右岸側
R 側

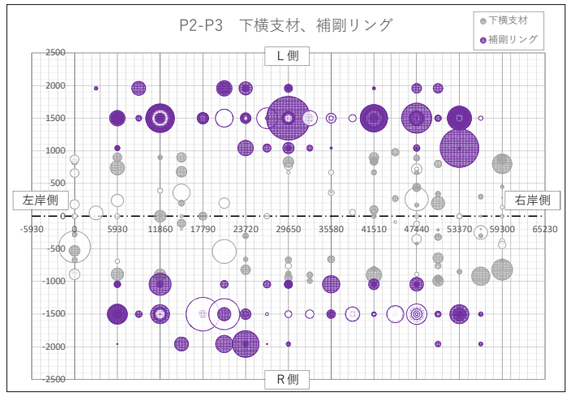

P1-P2　下横綾材
下横綾材
L 側
左岸側
右岸側
R 側

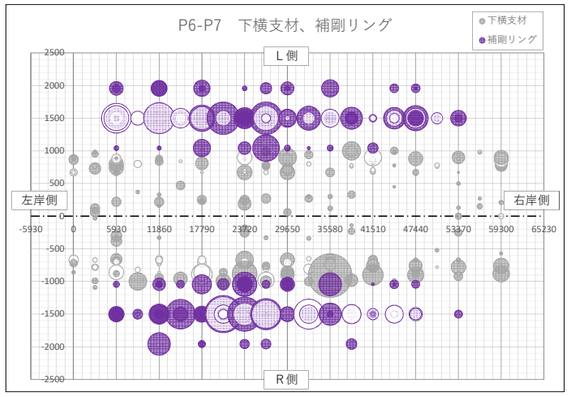

P2-P3　下横綾材
下横綾材
L 側
左岸側
右岸側
R 側

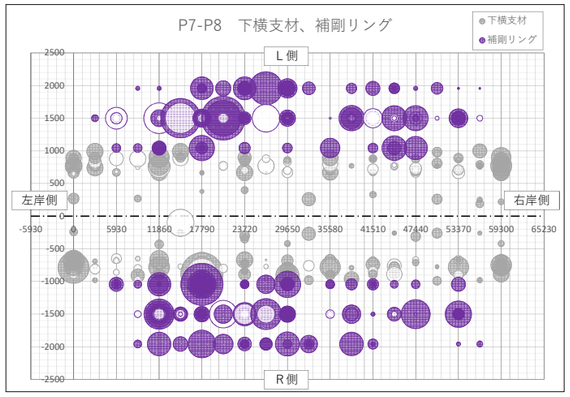

P6-P7　下横綾材
下横綾材
L 側
左岸側
右岸側
R 側

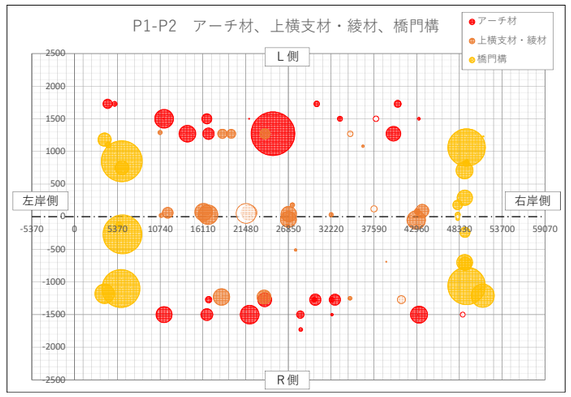

P7-P8　下横綾材
下横綾材
L 側
左岸側
右岸側
R 側

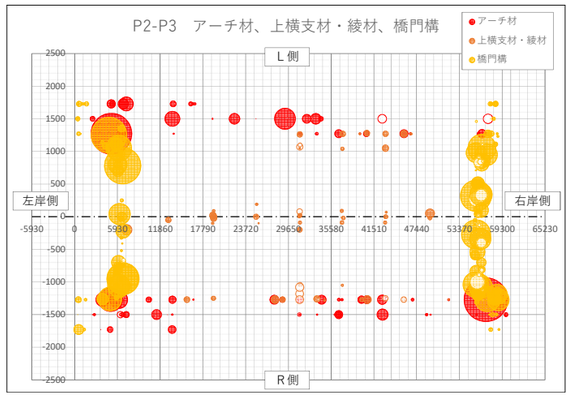

P1-P2　下横支材、補剛リング
下横支材
補剛リング
L 側
左岸側
右岸側
R 側

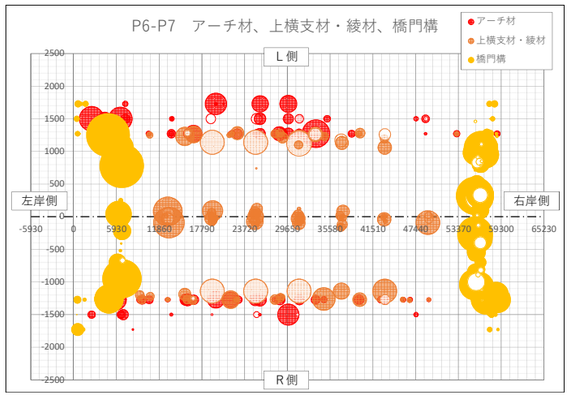

P2-P3　下横支材、補剛リング
下横支材
補剛リング
L 側
左岸側
右岸側
R 側

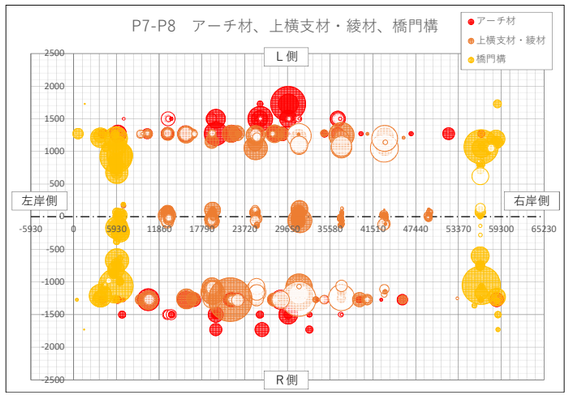

P6-P7　下横支材、補剛リング
下横支材
補剛リング
L 側
左岸側
右岸側
R 側

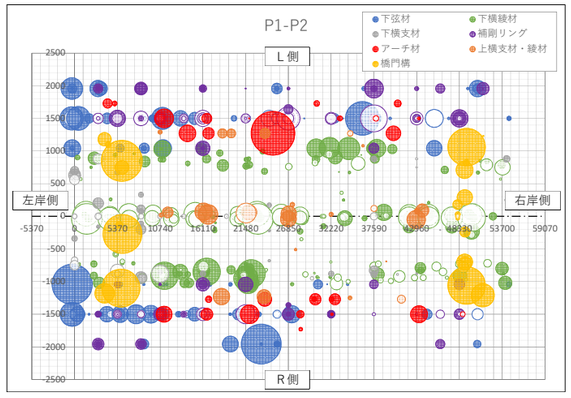

P7-P8　下横支材、補剛リング
下横支材
補剛リング
L 側
左岸側
右岸側
R 側

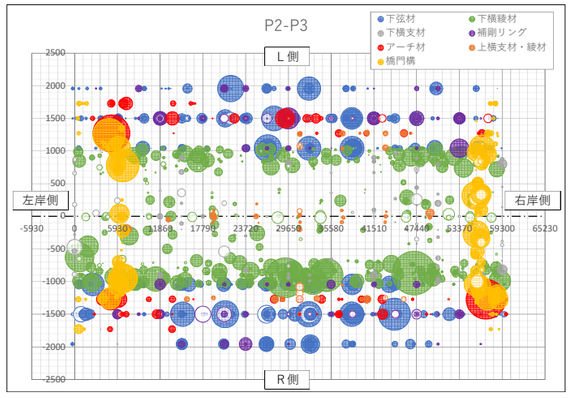

P1-P2　アーチ材、上横支材・綾材、橋門構
アーチ材
上横支材・綾材
橋門構
L 側
左岸側
右岸側
R 側

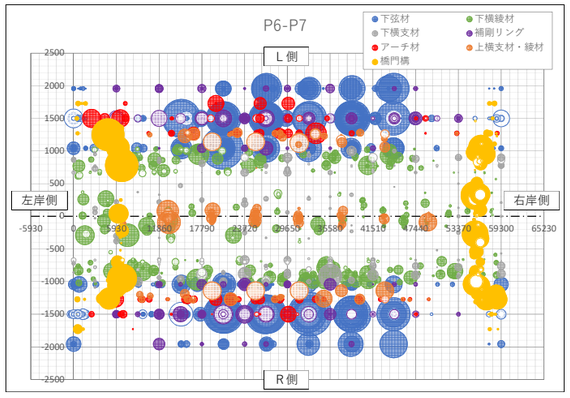

P2-P3　アーチ材、上横支材・綾材、橋門構
アーチ材
上横支材・綾材
橋門構
L 側
左岸側
右岸側
R 側

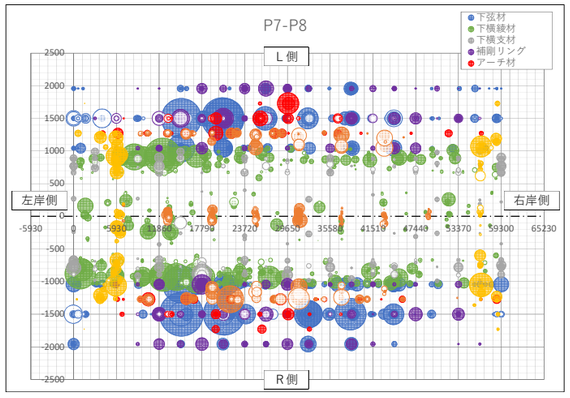

P6-P7　アーチ材、上横支材・綾材、橋門構
アーチ材
上横支材・綾材
橋門構
L 側
左岸側
右岸側
R 側

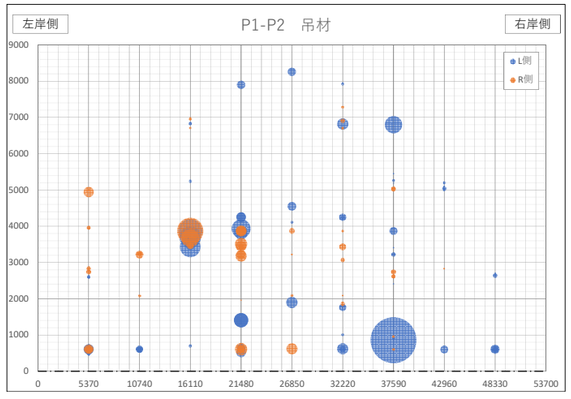

P7-P8　アーチ材、上横支材・綾材、橋門構
アーチ材
上横支材・綾材
橋門構
L 側
左岸側
右岸側
R 側

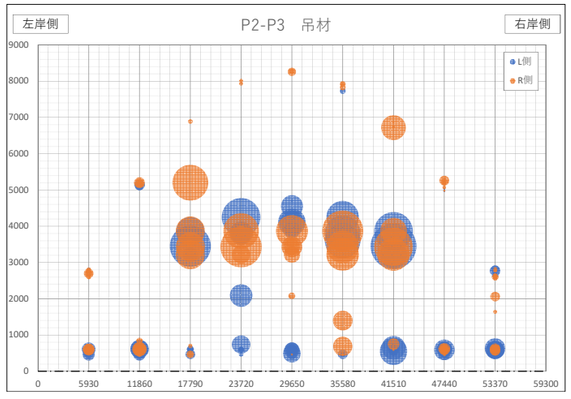

P1-P2
L 側
R 側
左岸側
右岸側
下弦材
下横綴材
下横支材
補剛リング
アーチ材
上横支材・綴材
橋門構

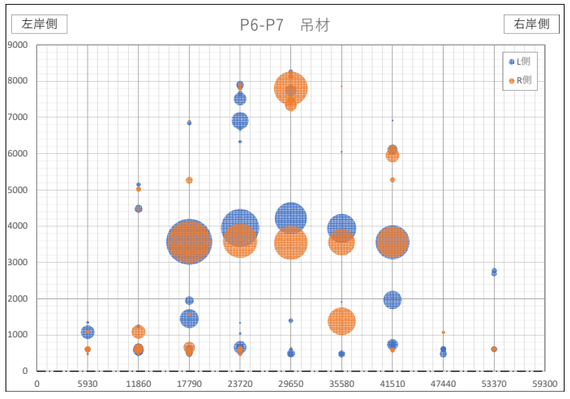

P2-P3
L 側
R 側
左岸側
右岸側
下弦材
下横綴材
下横支材
補剛リング
アーチ材
上横支材・綴材
橋門構

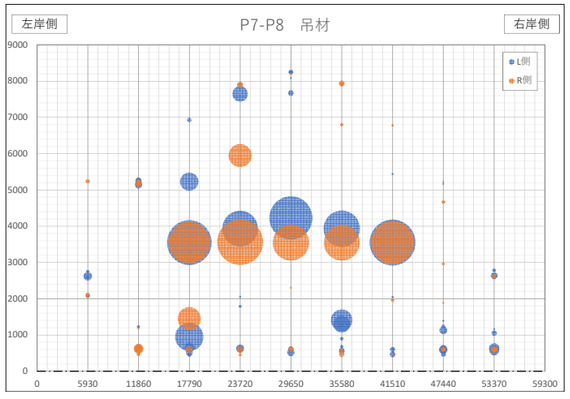

P6-P7
L 側
R 側
左岸側
右岸側
下弦材
下横綴材
下横支材
補剛リング
アーチ材
上横支材・綴材
橋門構


P7-P8
L 側
R 側
左岸側
右岸側
下弦材
下横綴材
下横支材
補剛リング
アーチ材


P1-P2 吊材
左岸側
右岸側
L側
R側


P2-P3 吊材
左岸側
右岸側
L側
R側


P6-P7 吊材
左岸側
右岸側
L側
R側


P7-P8 吊材
左岸側
右岸側
L側
R側

2. 管厚測定(超音波管厚計)

(1)基本測定 (P1～P2、P2～P3、P7～P8)

①P1～P2

添付資料-3「管厚検査記録」に詳細を添付する。管厚測定結果は、概略以下の通りである。

・上弦材・下弦材・吊材・バンド下すべてで管厚マイナス公差を上回っている。

・経過年数で見た場合の腐食速度は一般的なものとなる。(一般的な暴露環境下では0.06㎜/年程度の減肉)

⑤経過年数	48	年
支間名	P1～P2	

表Ⅳ-3. 管厚測定(上弦材現地溶接部)

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
上弦材	STK400	450	9.5					
	⑥管厚公差	15.0%	10.92					
		-12.5%	8.31					
				右岸側L	9.48	9.20	0.30	0.0063	0.89
				左岸側L	9.50	9.30	0.20	0.0042	0.99
				右岸側R	9.34	9.10	0.40	0.0083	0.79
				左岸側R	9.35	9.10	0.40	0.0083	0.79

表Ⅳ-4. 管厚測定(吊材現地溶接部)

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
吊材 現地溶接	STK400	125	4.5					
	⑥管厚公差	15.0%	5.17					
		-12.5%	3.93					
				L	4.33	4.20	0.30	0.0063	0.27
				R	4.33	4.20	0.30	0.0063	0.27

表Ⅳ-5. 管厚測定(下弦材現地溶接部)

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
下弦材 現地溶接	STPY400	900	9.5					
	⑥管厚公差	15.0%	10.92					
		-10.0%	8.55					
				右岸側L	9.34	8.70	0.80	0.0167	0.15
				左岸側L	9.19	8.70	0.80	0.0167	0.15
				右岸側R	9.35	8.60	0.90	0.0188	0.05
				左岸側R	9.27	8.80	0.70	0.0146	0.25

表Ⅳ-6. 管厚測定(下弦材バンド下)

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
下弦材 バンド下	STPY400	900	9.5					
	⑥管厚公差	15.0%	10.92					
		-10.0%	8.55					
				L	9.36	9.00	0.50	0.0104	0.45
				R	9.56	9.20	0.30	0.0063	0.65

表Ⅳ-7. 管厚測定(吊材バンド下)

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
吊材 バンド下	STK400	125	4.5					
	⑥管厚公差	15.0%	5.17					
		-12.5%	3.93					
				L	4.36	4.20	0.30	0.0063	0.27
				R	4.34	4.00	0.50	0.0104	0.07

表Ⅳ-8. 管厚測定(上横支材バンド下)

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
上横支材 バンド下	STK400	150	5					
	⑥管厚公差	15.0%	5.75					
		-12.5%	4.37					
				LR全部	4.71	4.50	0.50	0.0104	0.13

②P2～P3

・下弦材の 1 箇所・吊材バンド下 1 箇所で管厚マイナス公差を下回っている。

・経過年数で見た場合の腐食速度は一般的なものとなる。（一般的な暴露環境下では 0.06㎜/年程度の減肉）

⑤経過年数	48	年
支間名	P2～P3	

表Ⅳ-9．管厚測定（上弦材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
上弦材	STK400	450	9.5
	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-12.5%	8.31

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
右岸側L	9.46	9.20	0.30	0.0063	0.89
左岸側L	9.45	9.30	0.20	0.0042	0.99
右岸側R	9.53	9.30	0.20	0.0042	0.99
左岸側R	9.49	9.20	0.30	0.0063	0.89

表Ⅳ-10．管厚測定（吊材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
吊材	STK400	125	4.5
現地溶接	⑥管厚公差	15.0%	5.17
		-12.5%	3.93

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
L	4.28	4.20	0.30	0.0063	0.27
R	4.25	4.10	0.40	0.0083	0.17

表Ⅳ-11．管厚測定（下弦材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
下弦材	STPY400	900	9.5
現地溶接	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-10.0%	8.55

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
右岸側L	9.30	9.00	0.50	0.0104	0.45
左岸側L	9.32	9.00	0.50	0.0104	0.45
右岸側R	9.15	8.50	1.00	0.0208	-0.05
左岸側R	9.23	8.70	0.80	0.0167	0.15

表Ⅳ-12．管厚測定（下弦材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
下弦材	STPY400	900	9.5
バンド下	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-10.0%	8.55

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
L	9.25	9.00	0.50	0.0104	0.45
R	9.40	9.20	0.30	0.0063	0.65

表Ⅳ-13．管厚測定（吊材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
吊材	STK400	125	4.5
バンド下	⑥管厚公差	15.0%	5.17
		-12.5%	3.93

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
L	4.21	3.80	0.70	0.0146	-0.13
R	4.36	4.10	0.40	0.0083	0.17

表Ⅳ-14．管厚測定（上横支材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
上横支材	STK400	150	5
バンド下	⑥管厚公差	15.0%	5.75
		-12.5%	4.37

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
LR全部	4.90	4.70	0.30	0.0063	0.33

③P7～P8

・下弦材の 1 箇所・吊材バンド下 1 箇所で管厚マイナス公差を下回っている。

・経過年数で見た場合の腐食速度は一般的なものとなる。（一般的な暴露環境下では 0.06㎜/年程度の減肉）

⑤経過年数	48	年
支間名	P7～P8	

表Ⅳ-15. 管厚測定（上弦材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
上弦材	STK400	450	9.5
	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-12.5%	8.31

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
右岸側L	9.45	9.30	0.20	0.0042	0.99
左岸側L	9.47	9.20	0.30	0.0063	0.89
右岸側R	9.41	9.20	0.30	0.0063	0.89
左岸側R	9.44	9.30	0.20	0.0042	0.99

表Ⅳ-16. 管厚測定（吊材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
吊材	STK400	125	4.5
現地溶接	⑥管厚公差	15.0%	5.17
		-12.5%	3.93

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
L	4.29	4.10	0.40	0.0083	0.17
R	4.34	4.20	0.30	0.0063	0.27

表Ⅳ-17. 管厚測定（下弦材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
下弦材	STPY400	900	9.5
現地溶接	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-10.0%	8.55

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
右岸側L	9.25	9.00	0.50	0.0104	0.45
左岸側L	9.21	8.20	1.30	0.0271	-0.35
右岸側R	9.35	8.10	1.40	0.0292	-0.45
左岸側R	9.12	8.50	1.00	0.0208	-0.05

表Ⅳ-18. 管厚測定（下弦材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
下弦材	STPY400	900	9.5
バンド下	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-10.0%	8.55

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
L	9.38	9.20	0.30	0.0063	0.65
R	9.28	9.10	0.40	0.0083	0.55

表Ⅳ-19. 管厚測定（吊材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
吊材	STK400	125	4.5
バンド下	⑥管厚公差	15.0%	5.17
		-12.5%	3.93

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
L	4.29	3.80	0.70	0.0146	-0.13
R	4.34	4.20	0.30	0.0063	0.27

表Ⅳ-20. 管厚測定（上横支材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
上横支材	STK400	150	5
バンド下	⑥管厚公差	15.0%	5.75
		-12.5%	4.37

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
LR全部	4.82	4.60	0.40	0.0083	0.23

(2)詳細測定（P6～P7）

管厚測定結果は、概略以下の通りである。

・管厚減少については、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。

・経過年数で見た場合の腐食速度は一般的なものとなる。（一般的な暴露環境下では0.06㎜/年程度の減肉）

⑤経過年数	48	年
支間名	P6～P7	

表Ⅳ-21．管厚測定（上弦材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
上弦材	STK400	450	9.5
	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-12.5%	8.31

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
右岸側L	9.49	9.10	0.40	0.0083	0.79
左岸側L	9.43	9.30	0.20	0.0042	0.99
右岸側R	9.48	9.10	0.40	0.0083	0.79
左岸側R	9.40	9.20	0.30	0.0063	0.89

表Ⅳ-22．管厚測定（吊材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
吊材 現地溶接	STK400	125	4.5
	⑥管厚公差	15.0%	5.17
		-12.5%	3.93

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
L	4.15	3.80	0.70	0.0146	-0.13
R	4.05	2.90	1.60	0.0333	-1.03

表Ⅳ-23．管厚測定（下弦材現地溶接部）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
下弦材 現地溶接	STPY400	900	9.5
	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-10.0%	8.55

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
右岸側L	9.22	8.20	1.30	0.0271	-0.35
左岸側L	9.25	8.90	0.60	0.0125	0.35
右岸側R	9.01	7.50	2.00	0.0417	-1.05
左岸側R	9.20	7.20	2.30	0.0479	-1.35

表Ⅳ-24．管厚測定（下弦材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
下弦材 バンド下	STPY400	900	9.5
	⑥管厚公差	15.0%	10.92
		-10.0%	8.55

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
Lア	8.84	6.70	2.80	0.0583	-1.85
Lイ(1)	9.20	8.30	1.20	0.0250	-0.25
Lイ(2)	9.20	7.60	1.90	0.0396	-0.95
Lウ(1)	9.41	8.80	0.70	0.0146	0.25
Lウ(2)	9.39	6.70	2.80	0.0583	-1.85
Lエ(1)	9.03	8.60	0.90	0.0188	0.05
Lエ(2)	8.97	7.80	1.70	0.0354	-0.75
Lオ(1)	9.22	8.70	0.80	0.0167	0.15
Lオ(2)	9.13	8.40	1.10	0.0229	-0.15
Lカ	9.39	9.20	0.30	0.0063	0.65
Rア	9.15	6.60	2.90	0.0604	-1.95
Rイ(1)	9.18	8.80	0.70	0.0146	0.25
Rイ(2)	9.15	8.10	1.40	0.0292	-0.45
Rウ(1)	9.51	8.70	0.80	0.0167	0.15
Rウ(2)	9.48	8.10	1.40	0.0292	-0.45
Rエ(1)	9.15	6.80	2.70	0.0563	-1.75
Rエ(2)	9.12	7.80	1.70	0.0354	-0.75
Rオ(1)	8.85	8.00	1.50	0.0313	-0.55
Rオ(2)	8.90	8.60	0.90	0.0188	0.05
Rカ	9.34	9.00	0.50	0.0104	0.45

表Ⅳ-25．管厚測定（吊材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
吊材	STK400	125	4.5
バンド下	⑤管厚公差	15.0%	5.17
		-12.5%	3.93

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
3L上	4.34	3.00	1.50	0.0313	-0.93
3L下	4.30	2.70	1.80	0.0375	-1.23
3LM	1.90	0.60	3.90	0.0813	-3.33
4L上	4.34	3.50	1.00	0.0208	-0.43
4L下	4.25	3.50	1.00	0.0208	-0.43
4LM	2.12	1.20	3.30	0.0688	-2.73
5L上	4.15	2.80	1.70	0.0354	-1.13
5L下	4.19	3.60	0.90	0.0188	-0.33
5LM	1.70	0.90	3.60	0.0750	-3.03
6L上	4.29	3.70	0.80	0.0167	-0.23
6L下	4.29	3.80	0.70	0.0146	-0.13
6LM	1.70	0.80	3.70	0.0771	-3.13
7L上	4.24	3.50	1.00	0.0208	-0.43
7L下	4.28	3.80	0.70	0.0146	-0.13
7LM	1.67	0.70	3.80	0.0792	-3.23
3R上	4.32	3.20	1.30	0.0271	-0.73
3R下	4.36	4.00	0.50	0.0104	0.07
3RM	1.80	0.70	3.80	0.0792	-3.23
4R上	4.34	2.50	2.00	0.0417	-1.43
4R下	4.37	3.80	0.70	0.0146	-0.13
4RM	1.00	0.10	4.40	0.0917	-3.83
5R上	4.29	3.40	1.10	0.0229	-0.53
5R下	4.24	3.60	0.90	0.0188	-0.33
5RM	1.13	0.50	4.00	0.0833	-3.43
6R上	4.27	3.40	1.10	0.0229	-0.53
6R下	4.26	2.70	1.80	0.0375	-1.23
6RM	1.69	0.90	3.60	0.0750	-3.03
7R上	4.26	3.60	0.90	0.0188	-0.33
7R下	4.30	3.50	1.00	0.0208	-0.43
7RM	1.59	1.00	3.50	0.0729	-2.93

表Ⅳ-26．管厚測定（上横支材バンド下）

	規格	口径 (A)	①公称管厚 (mm)
上横支材	STK400	150	5
バンド下	⑤管厚公差	15.0%	5.75
		-12.5%	4.37

	②平均値 (mm)	③最小値 (mm)	④公称管厚と最小値の差 ②-③(mm)	腐食速度 ④/⑤ (mm/年)	管厚公差と最小値の差 ⑥-③(mm)
3L	4.75	3.80	1.20	0.0250	-0.57
4L	4.82	3.50	1.50	0.0313	-0.87
5L	4.70	3.00	2.00	0.0417	-1.37
6L	4.89	4.40	0.60	0.0125	0.03
7L	4.85	4.40	0.60	0.0125	0.03
3R	4.81	4.10	0.90	0.0188	-0.27
4R	4.82	2.90	2.10	0.0438	-1.47
5R	4.64	3.10	1.90	0.0396	-1.27
6R	4.89	4.20	0.80	0.0167	-0.17
7R	4.82	3.60	1.40	0.0292	-0.77

3)現地溶接部カラーチェック(PT 検査)

下弦材（通水管）、上弦材、吊材の現地溶接箇所全箇所について PT 検査を行い、割れ確認を行った。

添付資料-4「浸透探傷検査結果報告書」P41,52 参照。

表Ⅳ-27 割れ確認

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

※吊材の割れ確認箇所については、溶接補修後再検査で合格。

Ⅴ．鳥糞成分調査について

鳥糞については、鋼材の腐食に影響を及ぼすイオン種はほとんど検出されておらず、PH についても中性または弱アルカリ性で鋼材への影響は及ぼしにくい結果となった。

塗料についての影響は、別途考察で述べる。

Ⅵ. 考察

（1）鋼材

1）外観

吊材破断部については外面からの腐食が激しい結果よりバンド際部の下地処理のしにくい箇所より外面塗装が経年化で剥離し、その隙間に雨水が入り込んで腐食が進んだと推定される。

2）金属組織観察

金属組織観察で示されたように全試料とも軟鋼で標準的に示されるフェライトとパーライトの結晶粒が並んでおり特に金属的には問題ない一般的なものである。

吊材・上綾材の破断面確認では、一部結晶粒の変形（引張られた形跡）がでているが観察部全体には出ていない。

3）SEM 観察

吊材・綾材・複数の試料についてディンプルが確認されており過大な引張力が作用したと考えられる。

4）引張試験

母材については、全試料とも規格値を大幅に上回っており健全な状態である。（鋼材は、腐食がなければ経年での成分変化は起きない）

溶接部については、未融合部もあり引張試験結果は母材強度を下回るものであった。

（2）塗装

外観確認の段階から右岸側水管橋の腐食が多いことが報告されていたが、今回腐食面積集計でも右岸側の腐食が多いことが確認された。

今回、採取した鳥糞の試料は乾燥状態のため PH は、弱アルカリ性を示しているが、腐食面積比較をした結果、残置4橋の右岸側と左岸側では明確に差異がある。その要因については川鵜の生息場所として高水敷と反対側になる右岸側の水管橋に取りついていることからその鳥糞による影響と考えざるをえない。

塗装については、「鋼道路橋防食便覧」では、鳥糞は酸性と記載がある。（長期間放置しておくと金属を著しく腐食させることになるとなっているが塗装についての記述ではなく鋼材への影響言及のみではある。）

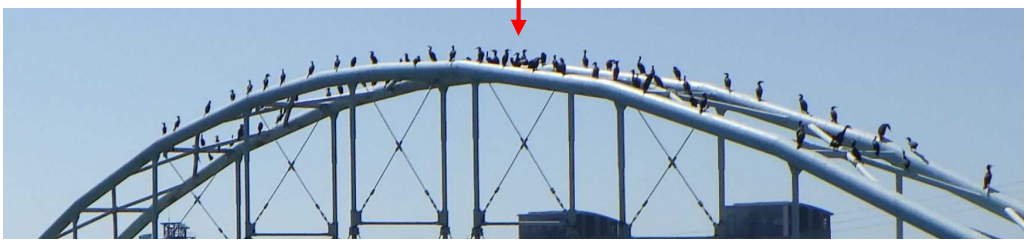
鋼道路橋防食便覧抜粋(P. Ⅰ-51)

x）鳥害防止対策

鳩をはじめとする鳥類が箱桁内に営巣し，そのふんや羽毛，死骸などが堆積していることがある。鳥類のふんは酸性であり，長期間放置しておくと金属を著しく腐食させることになる（**写真－Ⅰ.4.20**）。また，ガスの発生や酸素濃度の低下など，環境悪化により点検に支障もある（二次災害の防止）。

鳥害を防止するには，鳥類を箱桁内に進入させないことが第一であるため，箱

写真Ⅴ-1. 落橋後、右岸から左岸撮影状況
P1-P2、P2-P3 に川鵜多数。それ以外にはとまらず。



塗料メーカー（大日本塗料）のテクニカルデータによると鳥糞については生態と関係が深いため季節的な増減があるものの、リン酸・タンパク質等が含まれ、塗装汚染の原因と考えられるとされている。付着すると塗膜は膨潤し、ひどい場合には細かいクラックが生じて剥離に至ることもあるとなっている。
また、実験では温度変化（50℃、80℃）を与えた場合、温度が高いほど塗装浸食がでる結果となっている。（数ミクロン以下）
エポキシ樹脂塗料塗膜やウレタン樹脂塗料塗膜でも浸食されるレベルである。
対策として推奨されているのは、
①フンが滞積しないようにすること（水洗洗浄）
②高温環境にしないこと
③塗り替え時に機械工具で糞を完全に除去すること
となっている。
露出下に置かれる水管橋では②については不可であるが①と③については今後の管理上、非常に重要なポイントと考えられる。

（3）落橋メカニズム推定

動画分析

ステップ 1（0 秒）

ステップ 1 の段階で最大 9 本の吊材が切れていた可能性あり。
計算結果では、吊材 6 本が切れた段階で上弦材が降伏点を超える結果となりいつ崩落が起きてもおかしくない。

ステップ 2

バランスを崩し始めた時点で上弦材は左右非対称に変形している。
（写真左が右岸側、右が左岸側。）
これについては、吊材の腐食切断本数の差異（左岸側が 1 本破断している本数が少ない）の影響が出ていると考えられえる。

ステップ 3

上弦材は左右非対称がさらに進行。

ステップ 4（2 秒）

上弦材は右側は座屈、下弦材も座屈している。上弦材左側については応力開放されているように見受けられる。

（4）上弦材溶接部破断

上弦材については、溶接部から破断している。内面側の未融合部があることより工場・現場溶接部とも 400N/㎟を下回っている箇所がある結果となった。当社側では、状態の悪い部分での試験とした。土木学会側の引張試験結果では、引張試験結果 400N/㎟以上を示している。

（5）まとめ

破断面解析では、吊材の腐食破断部とされる箇所の先端部において微小に引っ張られた形跡があるが全体が引っ張られた様相はない。

したがって、今回引き上げ時に破断していた箇所は相当前から腐食によりほぼ切断状況であったと推定される。

シミュレーションから 6 本切れた段階で上弦材に降伏点を超える応力が発生するが、吊材が 9 本破断していたとすれば実物の鋼材の強度が JIS 規格を上回っており構造を保ったか、9 本中数本は微小管厚（周方向の 1 部分）を残していたことで均衡をかろうじて保っていたものと考えられる。

最終的に上弦材は、現地溶接部で破断した結果となっている。

これについては、通水管と違い外面からのみの溶接であるが、S40 年台後半では、裏波棒の普及前であり、なおかつ、格点部（曲り部）での裏当て金が密着しきれない箇所での溶接であったことから内面側に未融合部が存在したと考えられる。

また、局部座屈防止のダイヤフラムを内面側に溶接していることより溶接部より本管強度を上げ圧縮応力に対抗させているが、想定外の過度な曲げモーメントを受けたことより、内面側の溶接未融合部を起点に破断していると推定される。

今回、新設した 3 橋については、端部にダイヤフラムを用いることにより確実に完全溶け込み溶接を行っている。

また、残置 4 橋については、パイプの円周上で一部未融合部のある可能性は否定できないがリング構造で見た場合、設計時に想定していない曲げモーメントが作用しない状態で上弦材の最大軸力 650kN での発生応力は、φ457.2×9.5t の管厚 1/2 程度で計算した場合の発生応力は 48.7N/㎟→96.3N/㎟の増加程度である。

以上より、吊材の腐食で切断したことを主原因とし、上弦材・下弦材とも想定外の曲げモーメントを受けたことより、過度な変形が起き、各部材が曲げ引張応力の入った状態で落橋したと考えられる。