

## 耐荷力不足が疑われる橋梁の検討

株式会社ウエスコ 田淵聡郎

1

## 目次

事例①: PCケーブルに沿ったひびわれが生じている  
PCT桁の補修検討

事例②: 曲げひびわれ及び主桁のたわみが生じている  
PCT桁の補修検討

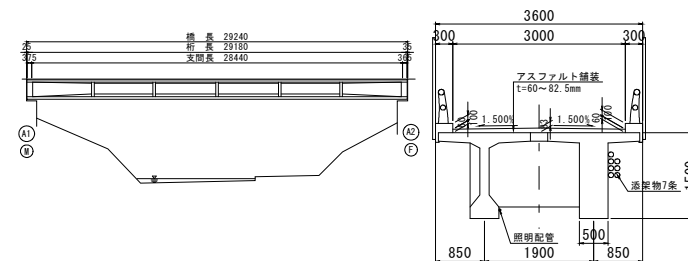
2

## 事例① PCケーブルに沿ったひびわれが生じて いるPCT桁の補修検討

3

### ■ 橋梁諸元

所在地: 広島県、路線: 市道  
上部工形式: 単純ポステンT桁、橋長: 29.2m、全幅員: 3.6m  
架設年度: 昭和41年(1966年)、設計活荷重TL-14(2等橋)  
補修歴: なし  
環境条件: 塩害地域外、凍結防止剤散布無



4

### ■架橋状況



側面全景



側面近景



桁下面

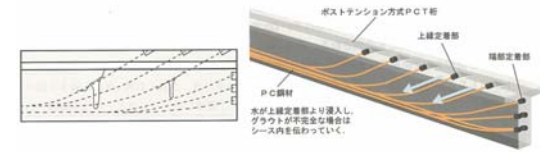
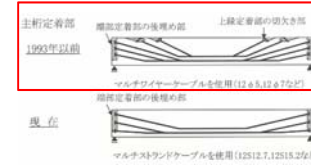


橋面

5

### ■対象橋梁の特徴

- ・上縁定着(1980年以前:支間長28m以上の場合)  
PC鋼材を上縁定着していた年代であるためシース内に水が浸入しやすい



6

### ■損傷状況(1/2)

- ・下フランジ下面及び側面にひびわれ(遊離石灰を伴う)、うきを確認
- ・PCケーブルに沿ったウェブのひびわれ
- ・桁の垂れ下がりはない



下フランジ下面のひびわれ



下フランジ側面のひびわれ



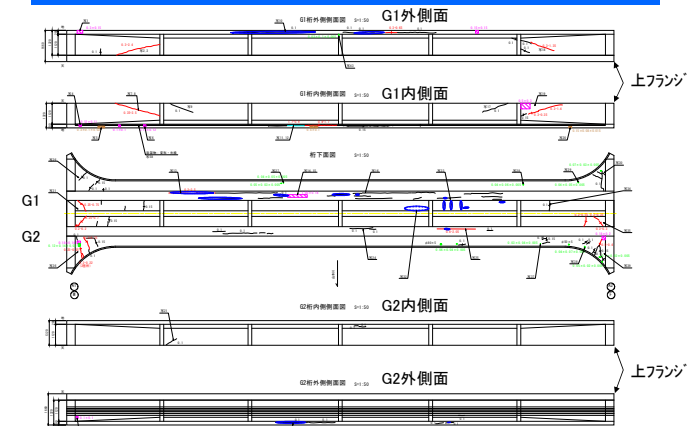
ウェブのひびわれ



下フランジ下面のうき

7

### ■損傷状況(2/2)



8

### ■原因推定(詳細調査前)

損傷原因	概要	評価	原因の可能性
① グラウト充填不足	PCグラウトの充填が不十分で、PC鋼材定着部の不良によりシース内に水の供給がある場合、寒冷地にある構架では、シース内に浸入した水が凍結して膨張し、PC鋼材に沿ったひびわれを生じさせる。	以下の理由により、損傷原因がグラウト充填不足である可能性がある。 ・構造がポストテンション方式であり、グラウト充填不足が起こりやすい構造である。 ・ひびわれがPC鋼材に沿ったものである。 ・一部で遊離石灰も生じており、水の供給が認められる。	あり
② ASR (アルカリシリカ反応)	骨材に含まれる反応性珪物、アルカリ、水の3者が揃うことにより、骨材の周りに膨張性物質が生成され、コンクリートに異常な膨張とひびわれが発生する。PC鋼材や鉄筋により膨張が拘束されている構造物では、鋼材に沿ったひびわれが発生する。	以下の理由により、損傷原因がASRである可能性がある。 ・築橋年が1966年(昭和41年)であり、ASRの規制が始まった1986年以前の構造物である。 ・グラウト充填不足による水の供給によりASRの進行が促進した可能性がある。	あり
③ その他(施工不良)	主桁制作時にジャンカ等が生成され、その箇所へ水の供給がされることなど、施工不良による不具合を原因として、ひびわれや遊離石灰が発生する。	以下の理由により、損傷原因が施工不良等である可能性は低いと推察する。 ・現状の損傷状況からは、ジャンカ等に起因するひびわれであるとは考えにくい。 ・支間中央の損傷は、シースを通して以外の水の供給は考えにくい。	低い

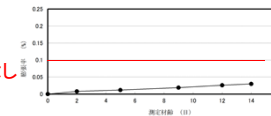
9

### ■ASR調査結果

#### 【残存膨張量試験結果(カナダ法)】

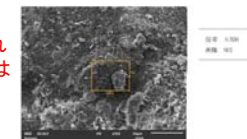
・0.030% < 0.10%

【評価】無害であり、今後の有害な膨張なし



#### 【SEM-EDS試験結果(主桁)】

【評価】反応生成物は局所的にしか認められないため、ひびわれの主たる要因ではないと考えられる。



#### 【静弾性係数試験結果(主桁)】

・26.9N/mm<sup>2</sup> > 19.1~34.2kN/mm<sup>2</sup>

【評価】健全であり、ASRの影響無し

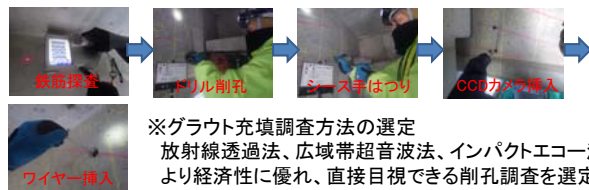
上記の試験結果より、主桁に発生したひびわれはASRではない。

10

### ■グラウト充填調査(1/2)

#### ・グラウト充填調査

グラウト充填不足が生じやすい桁端部において、鉄筋探査によりシース位置を特定したのちに、φ25mm程度の削孔によりグラウト充填を確認空隙があった場合はワイヤーを挿入して空隙範囲を計測



#### ※グラウト充填調査方法の選定

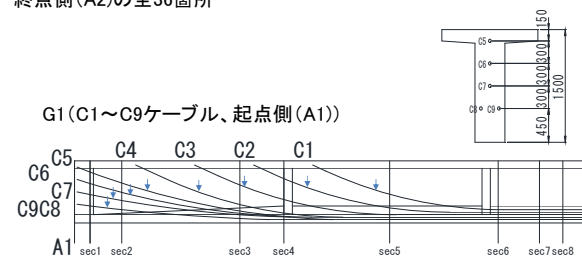
放射線透過法、広域帯超音波法、インパクトエコー法より経済性に優れ、直接目視できる削孔調査を選定

11

### ■グラウト充填調査(2/2)

#### グラウト調査箇所

G1およびG2桁のC1~C9ケーブル起点側(A1)と終点側(A2)の全36箇所



12

■グラウト充填調査結果(1/4)

G1 (C1～C4ケーブル、A1・A2側)

主桁No.	ケーブルNo.	起点側			終点側		
		グラウト 充填度	削孔穴の状況	PC鋼材の 判定	グラウト 充填度	削孔穴の状況	PC鋼材の 判定
上 端 定 着	C1	×	断面欠損が生じている。	IV	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	II
	C2	×	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。	III	×	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。また、一部の裏錆がドライバで押すと脱くため、定着から抜けているか破断の可能性がある。	III
	C3	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	II	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。また、一部の裏錆がドライバで押すと脱くため、定着から抜けているか破断の可能性がある。	II
	C4	×	断面欠損が生じている。	IV	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	II
端 部 定 着	C5	△	PC鋼材は健全。	I	▲	僅かな空隙はあるものの鋼材は、グラウトに覆われている。目視される鋼材は健全。	シース内潜水 I
	C6	△	PC鋼材は健全。	I	△	PC鋼材は健全。	I
	C7	▲	PC鋼材は健全。	I	△	PC鋼材は健全。	I
	C8	△	PC鋼材は健全。	I	●	グラウトは充填されている。	-
	C9	●	グラウトは充填されており目視される鋼材は健全。	I	▲	僅かな空隙はあるものの鋼材は、グラウトに覆われている。	-

C1～C4: ケーブル番号、起点側: A1、終点側: A2

■グラウト充填調査結果(2/4) G1結果一覧

主桁No.	ケーブルNo.	起点側			終点側		
		グラウト 充填度	削孔穴の状況	PC鋼材の 判定	グラウト 充填度	削孔穴の状況	PC鋼材の 判定
G1	C1	×	断面欠損が生じている。	IV	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	II
	C2	×	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。	III	×	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。また、一部の裏錆がドライバで押すと脱くため、定着から抜けているか破断の可能性がある。	III
	C3	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	II	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。また、一部の裏錆がドライバで押すと脱くため、定着から抜けているか破断の可能性がある。	II
	C4	×	断面欠損が生じている。	IV	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	II
	C5	△	PC鋼材は健全。	I	▲	僅かな空隙はあるものの鋼材は、グラウトに覆われている。目視される鋼材は健全。	シース内潜水 I
	C6	△	PC鋼材は健全。	I	△	PC鋼材は健全。	I
	C7	▲	PC鋼材は健全。	I	△	PC鋼材は健全。	I
	C8	△	PC鋼材は健全。	I	●	グラウトは充填されている。	-
	C9	●	グラウトは充填されており目視される鋼材は健全。	I	▲	僅かな空隙はあるものの鋼材は、グラウトに覆われている。	-

■グラウト充填調査結果(3/4) G2結果一覧

主桁No.	ケーブルNo.	起点側			終点側		
		グラウト 充填度	削孔穴の状況	PC鋼材の 判定	グラウト 充填度	削孔穴の状況	PC鋼材の 判定
上 端 定 着	C1	×	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。また、一部の裏錆がドライバで押すと脱くため、定着から抜けているか破断の可能性がある。	III	×	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。また、一部の裏錆がドライバで押すと脱くため、定着から抜けているか破断の可能性がある。	II
	C2	△	PC鋼材は健全。	I	×	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。また、一部の裏錆がドライバで押すと脱くため、定着から抜けているか破断の可能性がある。	III
	C3	△	PC鋼材は健全。	I	△	PC鋼材は健全。	I
	C4	×	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。	III	×	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。	III
端 部 定 着	C5	△	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	I	△	PC鋼材は健全。	I
	C6	△	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	II	△	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。	III
	C7	△	PC鋼材は健全。	I	△	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	II
	C8	△	PC鋼材は健全。	I	△	鋼材の全面にわたって浮き錆が生じている。	シース内潜水 III
	C9	△	表面錆が発生し一部に浮き錆が確認される。	シース内潜水 II	△	グラウトは充填されており、露出した鋼材は健全。	I

■グラウト充填調査結果(4/4)

・ワイヤー挿入結果 (グラウト未充填区間の測定)  
最大で4.5m程度の未充填範囲を確認  
端部定着においても未充填区間を確認

表 ワイヤー挿入によるグラウト未充填区間調査結果

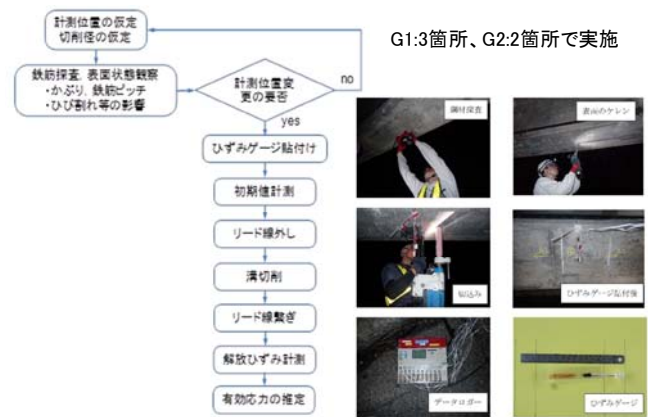
主桁No.	ケーブルNo.	A1側			A2側		
		ワイヤー挿入によるグラウト未充填区間の測定結果 (mm)	確定未充填区間 (mm)	合計 (mm)	ワイヤー挿入によるグラウト未充填区間の測定結果 (mm)	確定未充填区間 (mm)	合計 (mm)
G1	C1	1800	920	2720	1250	1080	2330
	C2	650	860	1510	1200	1780	2980
	C3	-	820	820	1400	1220	2620
	C4	-	1050	1050	950	870	1820
	C5	-	810	810	-	760	760
	C6	870	800	1770	1030	730	1760
	C7	-	780	780	550	710	1260
	C8	320	690	1010	-	790	790
	C9	-	890	890	-	860	860
G2	C1	1100	920	2020	1540	1340	2880
	C2	1520	1340	3060	950	950	1900
	C3	1250	1130	2380	-	1500	1500
	C4	-	1070	1070	3080	1390	4470
	C5	600	710	1310	800	840	1640
	C6	740	720	1460	880	730	1610
	C7	500	690	1190	750	740	1490
	C8	350	800	1150	700	860	1560
	C9	790	690	1480	-	900	900

### ■ 残存プレストレス調査(1/3)

残存プレストレス調査方法の比較検討		
	コア応力解放法	スリット応力解放法+鉄筋切断法
概要図		
工法の特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2軸ひずみを測定するため、乾燥収縮・タリーブを推定・除去し、残存プレストレスの算定が可能である。</li> <li>・切込延長が短い(開口径φ50)ため、骨材に干渉しない限り精度は確保できる。</li> <li>・切込深さ18mmであり、既設橋への影響を抑えて調査が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スリット応力解放法では乾燥収縮・タリーブを含んだひずみが測定されるため、鉄筋切断法を併用し乾燥収縮・タリーブのひずみを分離して残存プレストレスを算定する。</li> <li>・切込延長が長いため、測定精度が高い。</li> <li>・鉄筋切断法はPC構造物のはりり作業を行うため既設橋への影響が大きい。</li> </ul>
調査箇所	G1桁2箇所・G2桁2箇所	G1桁2箇所・G2桁2箇所
調査日数	橋梁点検車BT110:1日	橋梁点検車BT110:2日
調査費用	調査:30万円/箇所×4=120万円 誘導員:1万円×4=4万円 点検車:11万円×1=11万円 合計135万円(1.00)	スリット:40万円/箇所×4=160万円 鉄筋切断:20万円/箇所×4=80万円 誘導員:1万円×8=8万円 点検車:11万円×2=22万円 合計270万円(2.00)
評価	○ 既設橋への影響が小さい	△ 鉄筋切断法は既設橋への影響が大きい

17

### ■ 残存プレストレス調査(2/3)



18

### ■ 残存プレストレス調査結果

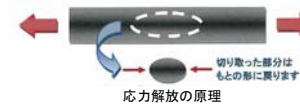
橋軸方向は200μm前後の圧縮ひずみが解放されており、死荷重時では圧縮力が作用していることが確認できた。(圧縮側のひずみを正)

ひずみゲージ 時間(分)	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		備考
	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向	橋軸方向	直角方向	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	切込み前
2	-302	-123	-230	-141	-206	-151	-164	-91	-282	-95	切込み後
4	-300	-121	-228	-140	-205	-151	-163	-90	-282	-95	
6	-297	-118	-227	-139	-204	-151	-162	-89	-281	-94	
8	-295	-116	-226	-139	-203	-150	-161	-87	-281	-94	
10	-294	-115	-226	-137	-202	-150	-161	-87	-281	-94	
12	-293	-113	-225	-137	-202	-150	-160	-87	-280	-94	
14	-292	-113	-224	-136	-200	-150	-161	-87	-280	-94	
16	-292	-113	-224	-136	-200	-149	-160	-86	-279	-93	
18	-292	-112	-224	-136	-200	-149	-161	-86	-280	-93	
20	-292	-112	-223	-135	-200	-149	-160	-86	-280	-93	計測終了

19

### ■ 残存プレストレス解析手法

・残存プレストレスの推定方法  
プレストレスが作用している方向の解放ひずみと直角方向の解放ひずみの差を利用することで、内部拘束によるひずみ成分の大半を消去し、消去できない成分について独自の算定式で消去することで、精度の高い残存プレストレスを推定する。



当社考案の算定式【特許第5095258号】  
オリエンタル白石(株)

$$\Delta \varepsilon_{x,pc} = \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{1 + \nu} - \Delta \varepsilon_{x,cr} - \Delta \varepsilon_{x,sh} + \Delta \varepsilon_{y,sh}$$

$$\sigma_{x,pc} = -E_{x,pc} \cdot \Delta \varepsilon_{x,pc}$$

$\varepsilon_x$  : x方向ひずみ       $\varepsilon_y$  : y方向ひずみ  
 $\nu$  : コンクリートのポアソン比  
 $\Delta \varepsilon_{x,cr}$  : クリーブひずみの鋼材拘束によるx方向応力が解放されるときのx方向の弾性ひずみ  
 $\Delta \varepsilon_{x,sh}$  : 乾燥収縮ひずみの鋼材拘束によるx方向応力が解放されるときのx方向の弾性ひずみ  
 $\Delta \varepsilon_{y,sh}$  : 乾燥収縮ひずみの鋼材拘束によるy方向応力が解放されるときのy方向の弾性ひずみ  
 $E_{x,pc}$  : x方向のコンクリートの弾性係数

20

### ■ 残存プレストレス解析(1/4)

解放ひずみの計測結果を基に有効応力を算定する。

現地測定結果およびヤング係数

No.	測定箇所	切込による解放ひずみ			ヤング係数 ( $\times 10^4$ ) ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	乾燥収縮 係数 ( $\times 10^{-4}$ )	クリープ 係数	種差式計算				有効ひずみ $\Delta \epsilon_{x,e}$
		x ( $\times 10^{-3}$ )	y ( $\times 10^{-3}$ )	xy ( $\times 10^{-6}$ )				①	②	③	④	
1	主桁下面	-292	-112	-180	29,500	500	2.60	-154.3	1.22	3.4	33.1	-224
2		-223	-135	-88	29,500	500	2.60	-75.4	1.22	3.4	33.1	-128
3		-200	-149	-51	29,500	500	2.60	-43.7	1.22	3.4	33.1	-90
4		-180	47	-207	29,500	500	2.60	-177.4	1.22	3.4	33.1	-253
5		-280	-93	-187	29,500	500	2.60	-160.3	1.22	3.4	33.1	-232

圧縮側が“+”

現地測定結果による残存プレストレスの応力推定

No.	測定箇所	有効ひずみ $\Delta \epsilon_{x,e}$ ( $\times 10^{-4}$ )	コンクリートのヤング係数 $E_{x,c}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	有効応力 $\sigma_{x,e}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
1	主桁下面	-224	29500	6.62
2		-128	29500	3.79
3		-90	29500	2.65
4		-253	29500	7.45
5		-232	29500	6.83

$$\sigma_{x,e} = -\Delta \epsilon_{x,e} \times E_{x,c}$$

21

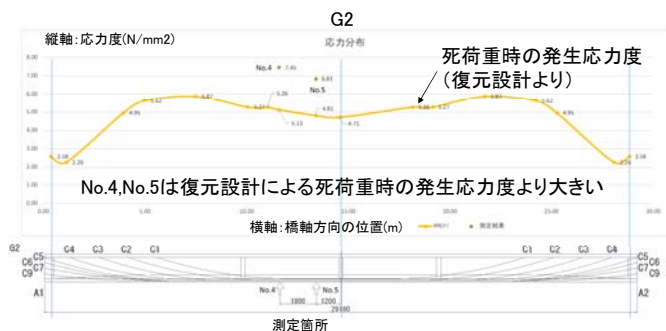
### ■ 残存プレストレス解析(2/4)

本橋は既存資料が無いので、現地鋼材探査や形状計測結果をもとに復元設計を行い、当時の設計資料等を参考に発生応力を算出した。



22

### ■ 残存プレストレス解析(3/4)

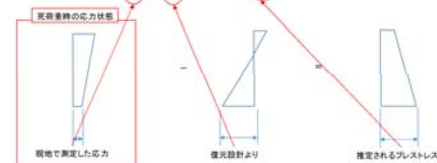


23

### ■ 残存プレストレス解析(4/4)

プレストレス推定結果

No.	測定箇所	死荷重+プレストレス		死荷重のみ		プレストレス		設計値-実定値	実定値/設計値
		設計値	実定値	設計値	実定値	設計値	実定値		
1	主桁下面	4.78	6.62	-11.95	16.64	16.64	16.64	-1.84	115%
2		4.72	3.79	-11.91	16.64	15.70	16.64	-0.94	94%
3		4.76	2.65	-11.89	16.64	14.53	16.64	-2.11	87%
4		3.12	7.45	-11.98	16.90	18.82	16.66	2.16	114%
5		4.81	6.83	-11.82	16.64	16.66	16.66	0.02	112%



・現況応力一覧(N/mm<sup>2</sup>)

No.	(1)		(2)		判定	(1)+(2)		判定
	死荷重	プレストレス	死荷重のみ	死荷重時		設計荷重時	実定値	
1	-11.90	16.52	-4.58	6.62	OK	2.04	6.62	OK
2	-11.95	15.74	-4.60	3.79	OK	-0.81	3.79	OK
3	-11.92	14.57	-4.59	2.65	OK	-1.94	2.65	NG
4	-11.41	18.86	-4.39	7.45	OK	3.05	7.45	OK
5	-11.88	16.69	-4.57	6.83	OK	2.27	6.83	OK

※①、②は復元設計から核計  
※③は現地測定結果から推定

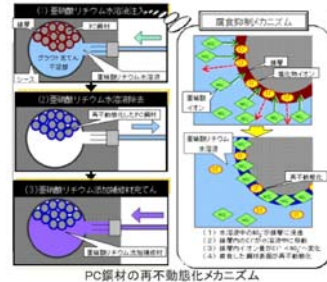
24

### ■補修対策

主桁の補修対策は、以下を行う。

補修対策	変状箇所
グラウト充填(リパッシブ工法)	グラウト未充填部
ひびわれ注入	0.2mm以上のひびわれ

グラウト充填は、PC鋼材が腐食しており錆の除去ができないことや含有塩分によるマクロセル腐食が発生するリスクがあるため、亜硝酸リチウムを使用したリパッシブ工法を採用した。



25

## 事例② 曲げひびわれ及び主桁のたわみが生じているPCT桁の補修検討

27

### ■補強対策

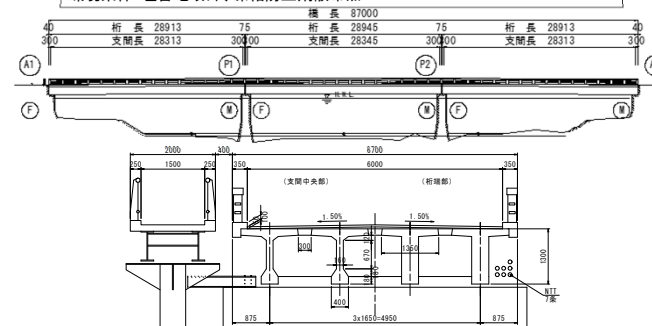
残存プレストレス調査結果による復元設計の結果、設計荷重時において応力超過となるため、補強対策を今後実施予定

補強対策案	特徴
外ケーブル	・応力超過分の補強可能範囲が大きいが高価 ・ウェブでの定着のため添架物の移設が必要
アウトプレート	・応力超過分の補強可能範囲が大きいが高価
炭素繊維シート接着	・下フランジ下面に全面張りのためコンクリート面の変状が不可視
炭素繊維集成板(eプレート)接着	・下フランジ下面に部分張りのためコンクリート面の変状は確認可能
鋼板接着	・剛性が高く長期的な接着性に劣る ・下フランジ下面に全面張りのためコンクリート面の変状が不可視

26

### ■橋梁諸元

所在地: 山口県、路線: 県道  
 上部工形式: 3径間単純ボス騰T桁、橋長: 87.0m、全幅員: 6.7m  
 架設年度: 昭和40年(1965年)、設計活荷重TL-20  
 補修歴: ひびわれ注入、支取替  
 環境条件: 塩害地域外、凍結防止剤散布無



28

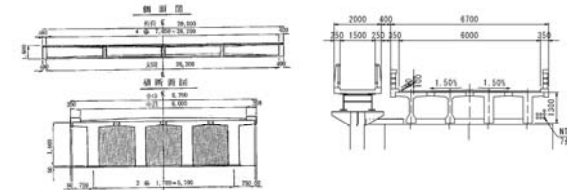
### ■架橋状況



29

### ■対象橋梁の特徴

- 標準設計制定(建設省発刊S44)前の設計(最古の標準設計はS41)
- 桁高支間比: 標準設計1/18( $h=1.6m$ ) > 本橋1/21( $h=1.3m$ )
- 剛性が低く、たわみやすい構造である。
- 大型車通行時に大きな揺れを感じる。

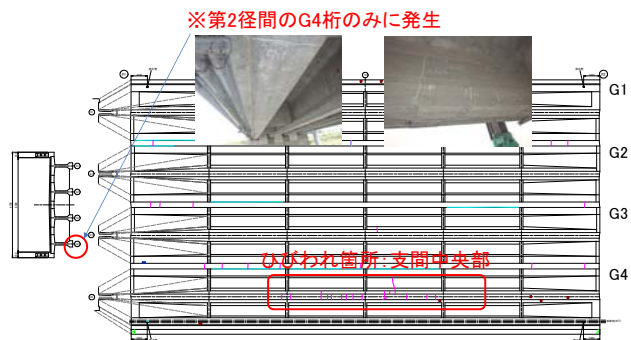


- 上縁定着(1980年以前: 支間長28m以上の場合) PC鋼材を上縁定着していた年代である。

30

### ■損傷状況(1/3)

- 第2径間のG4桁下フランジ下面の支間中央部付近に橋軸直角方向のひびわれ、一部でウェブまで進展を確認
- 過年度工事(H24)にてG4桁のひびわれ注入を実施



31

### ■耐力不足が疑われる損傷状況(2/3)

- G4桁側の支間中央付近の路面(コンクリート舗装)はアスファルトによるオーバーレイが消失し降雨時に滞水している。
- 桁端部(上縁定着部)付近の路面にひびわれがみられる。



32



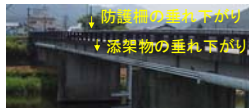
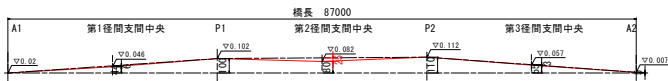
### ■耐荷力不足が疑われる損傷状況(3/3)

- ・防護柵天端の高さが第2径間支間中央において、**左防護柵(G4桁側)で25mm程度**、右防護柵側(G1桁側)で7mm程度垂れ下がっている。
- ・第2径間支間中央において、**左防護柵側の添架物が垂れ下がっている。**

左防護柵天端の相対高計測結果



右防護柵天端の相対高計測結果



33

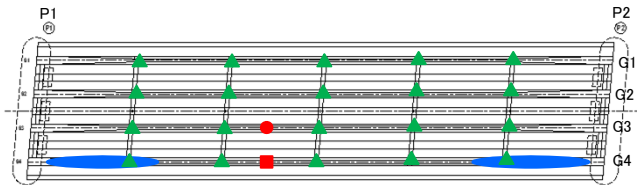
### ■詳細調査の実施(1/2)

主桁の詳細調査内容を以下に示す。

調査内容	調査目的
圧縮強度試験	主桁の強度低下を把握する
静弾性係数試験	主桁の強度低下やASRの影響を把握する
塩化物イオン含有量試験	塩分総量規制(1986年)以前及び海砂使用規定(1974年)以前の施工であるため内在塩による内部鋼材腐食影響を把握する
中性化試験	中性化による内部鋼材腐食影響を把握する
グラウト充填調査	グラウト不良によりPC鋼材破断やPC量の減少がないか把握する
主桁下面高さ調査	桁下面高さをトータルステーションで計測し、桁の垂れ下がり状況を把握する

34

### ■詳細調査の実施(2/2)



- 圧縮強度試験、静弾性係数試験
- 塩化物イオン含有量試験
- グラウト充填調査
- ▲ 主桁下面高さ調査



35

### ■圧縮強度試験、静弾性係数試験結果

#### 【圧縮強度試験結果(主桁)】

・ 46.1N/mm<sup>2</sup> > 40N/mm<sup>2</sup>

【評価】健全であり、強度低下無し

#### 【静弾性係数試験結果(主桁)】

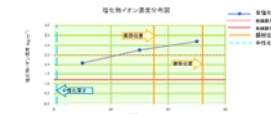
・ 26.9kN/mm<sup>2</sup> > 19.1~34.2kN/mm<sup>2</sup>

【評価】健全であり、強度低下やASRの影響無し

#### 【塩化物試験結果(主桁)】

・ 2.8kg/m<sup>3</sup> (鉄筋位置) > 1.2kg/m<sup>3</sup>

【評価】腐食発生限界以上の内在塩あり



#### 【中性化試験結果(主桁)】

・ 中性化残り28mm > 10mm

【評価】供用期間中の中性化による影響無し

36

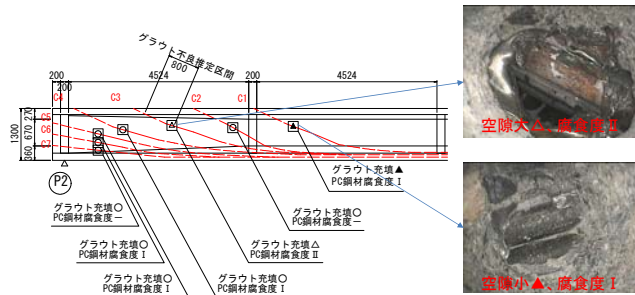
### ■グラウト充填調査結果(第2径間G4桁)

#### 【調査結果】

・桁端部全14箇所中、1箇所のみ80cm程度のグラウト充填不良を確認

#### 【評価】

・グラウト不良が主桁の橋軸直角方向ひびわれや路面の垂れ下がりの損傷に起因するものではない。



37

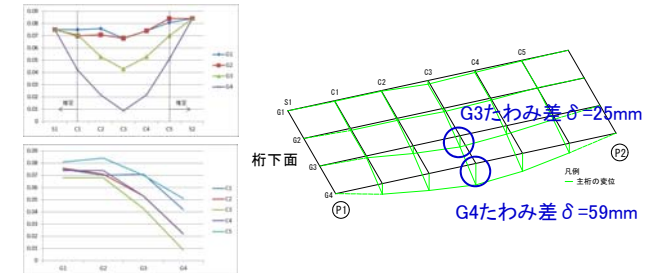
### ■主桁下面高さ調査結果

#### 【調査結果】

・支間中央C3ライン上でG4桁が最も下がっており(G1桁に比べ59mm)、隣のG3桁も次いで下がっている(G1桁に比べ25mm)結果となった。

#### 【評価】

・外観変状からはPC緊張量の不足が疑われる。



※縦軸は任意の高さ(m)、横軸は横桁位置を示す。

38

### ■原因推定(1/7)

・原因推定は、以下の要因に対して評価を行った。

【構造・外力】	①繰返し荷重・持続荷重、②衝突・地震、③偏土圧・圧密沈下・不同沈下、④洗掘・浸食、⑤構造形式・形状不良
【使用・環境条件】	⑥塩害、⑦凍害、⑧中性化、⑨火災・その他化学作用
【材料】	⑩アルカリ骨材反応、⑪品質不良
【製作・施工】	⑫施工不良、⑬防水・排水工不良、⑭乾燥収縮・温度変化

#### 評価①【構造・外力】繰返し荷重・持続荷重

活荷重の増大(TL-20→B活荷重)に対して、支間中央付近の曲げモーメントが大きくなるため、TL-20活荷重により設計された応力度に余裕が無い場合は、応力超過量が著しくなり支間中央付近に曲げひびわれが発生することが考えられる。しかし、本橋に発生したひびわれは4主桁の内、1主桁しかなく、活荷重載荷状況も変わらない(左右対称)ため、活荷重の増大が主たる原因とは考えにくい。なお、死活荷重時に応力超過してもPC鋼材が破断しない限りは元に戻るため、**主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。**

39

### ■原因推定(2/7)

#### 評価②【構造・外力】衝突・地震

衝突の痕跡は見られないため、原因ではない。地震により桁端部の衝突や引張作用があったとしても内部鉄筋が抵抗するため、コンクリートが引っ張られてひび割れることは考えにくい。**主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。**

#### 評価③【構造・外力】偏土圧・圧密沈下・不同沈下

外観変状から疑われる損傷は発生していない。**主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。**

#### 評価④【構造・外力】洗掘・浸食

外観変状から疑われる損傷は発生していない。**主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。**

40

### ■原因推定(3/7)

#### 評価⑤【構造・外力】構造形式・形状不良

ミニマム設計(標準設計発刊前)が行われており、標準設計のポステンT桁に比べ、桁高が低くたわみやすい構造となっている。たわみが大きければひびわれも発生しやすいと考えられるが、1主桁のみのひびわれ発生のため主たる原因とは考えにくい。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

#### 評価⑥【使用・環境条件】塩害

鉄筋位置で2.8kg/m<sup>3</sup>の塩分量が確認され、腐食発生限界(1.2kg/m<sup>3</sup>)を超える結果となった。本橋は内陸部に位置するため、飛来塩分は無い。また、採取位置は支間中央の内桁ウエブであるため、凍結防止剤の影響も考えにくい。塩分量の分布も様に多いことから除塩されていない海砂が使用されていたと考えられる。塩害の場合、一般的には内部鉄筋が腐食することでうきや鉄筋露出が発生することから、ひびわれの主たる原因とは考えにくい。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

41

### ■原因推定(4/7)

#### 評価⑦【使用・環境条件】凍害

凍害は凍結融解作用により表面が脆弱化する現象であり、水が多く供給される部位でないと発生しない。したがって、ひびわれが発生する要因とはならない。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

#### 評価⑧【使用・環境条件】中性化

中性化深さは7mm程度であり、中性化による内部鉄筋腐食の影響はないため、ひびわれが発生する要因とはならない。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

#### 評価⑨【使用・環境条件】火災、その他化学作用

外観変状から火災は発生していない。また、硫酸塩などの化学作用を受ける部位ではない。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

42

### ■原因推定(5/7)

#### 評価⑩【材料】アルカリ骨材反応

ASRによるひびわれは拘束効果が小さい方向に発生する。これまでの事例からもPCT桁に発生するASRひびわれは、PC緊張の拘束効果が小さい橋軸方向にひびわれが発生している。したがって、橋軸直角方向ひびわれが発生する要因とはならない。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

#### 評価⑪【材料】品質不良

圧縮強度は46N/mm<sup>2</sup>>40N/mm<sup>2</sup>、静弾性係数試験は26.9N/mm<sup>2</sup>となり、コンクリートの品質は確保されているため、ひびわれが発生する要因とはならない。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

43

### ■原因推定(6/7)

#### 評価⑫【製作・施工】施工不良

##### 要因1(プレストレスの減少)

施工当時からプレストレスの緊張不足は、防護柵や添架物が支間中央で垂れ下がっているため施工当時からと考えにくい。

##### 要因2(グラウト不良によるPC鋼材の破断)

グラウト充填調査の結果、局所的なグラウト不良箇所は確認されたものの、PC鋼材の破断は無いため、ひびわれや垂れ下がりの原因とはならない。

##### 要因3(支承取替による影響)

H24補修工事にて支承取替が実施されているが、ひびわれを発生させるような力は作用しない。また、基本的に同じ高さで取り替えるため、主桁の垂れ下がりの原因とはならない。

44

### ■原因推定(7/7)

#### 評価⑬【製作・施工】防水・排水不良

グラウト部への橋面からの雨水浸入は確認されないため、ひびわれや垂れ下がりの原因とはならない。

#### 評価⑭【製作・施工】乾燥収縮・温度変化

PCT桁は橋軸方向に緊張しているため、橋軸直角方向に乾燥収縮ひびわれが発生することは考えにくい。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

支承取替前は鋼製支承であったが、温度変化により桁が伸縮することに対して、腐食による拘束があったとしても桁にひびわれを発生させるほど大きな引張力は作用しない。主桁の垂れ下がりの主たる原因とはならない。

#### 評価⑮【その他】原因不明

主桁の垂れ下がっているため、何らかの原因により施工後にプレストレスが減少していることは否定できない。

45

### ■原因総括

原因総括を以下に示す

要因	原因項目	推定原因	評価根拠
構造・外力	繰返し荷重・持続荷重	—	活荷重の増大 (TL-20→B活) により1主桁のみの損傷は考えにくい
	衝突、地震	—	衝突なし、地震による損傷とは考えにくい
	偏土圧・圧密沈下、不同沈下	—	影響なし
	洗掘、侵食	—	影響なし
	構造形式・形状不良	—	桁高は低くたわみやすいが1主桁のみの損傷であるため考えにくい
使用・環境条件	塩害	—	内在塩があるが、内部鉄筋の腐食によるひびわれとは考えにくい
	凍害	—	影響なし
	中性化	—	中性化影響はなく、内部鉄筋の腐食によるひびわれとは考えにくい
	火災、その他化学作用	—	影響なし
材料	アルカリ骨材反応	—	PC桁は拘束効果が強い橋軸方向ひびわれとなるため考えにくい
	品質不良	—	圧縮強度は確保されておりコンクリートの不良は考えにくい
製作・施工		—	防護欄や橋梁物の垂れ下がりがあるため施工当時からプレストレスの緊張不足は考えにくい
	施工不良	—	PC鋼材曲げ上げ部ではグラウト不良によるPC鋼材の腐食破断は確認されない
		—	過年度支承取替の影響は考えにくい
	防水・排水不良	—	上縁定着部からの雨水浸入は確認されない
その他	乾燥収縮・温度変化	—	PC桁は橋軸直角方向に収縮ひびわれは起こりにくい
	不明	○	<span style="color: red;">何らかの原因により施工後にプレストレスが減少したことは否定できない</span>

46

### ■今後の方針

#### 【調査】

今後、残存プレストレス調査(コア応力解放法)を実施し、橋の耐荷力・健全性を評価

#### 【調査結果から想定されるシナリオ1】

残存プレストレスが少なく、補強が必要と判断される場合には、応力超過量に応じて「外ケーブル工法」や「アウトプレート工法」などを検討

#### 【調査結果から想定されるシナリオ2】

残存プレストレスが多く、応力的に問題ない場合には、現状で橋の耐荷力は確保されていると判断し対策不要

47

### ■おわりに

事例①(PCケーブルに沿ったひびわれが発生したポステンT桁)  
・グラウト不良によるひびわれは凍結膨張によって発生することが一般的である。架橋位置は寒冷地域ではないことからASRの可能性が高いと考えていたが、予想外に著しいグラウト不良とPC鋼材の破断、さらに耐荷力不足に至っていた。改めて古い年代のポステンT桁においては、些細な外観変状も見逃さず注意深く確認する必要があると感じた。

事例②(曲げひびわれ及び主桁のたわみが発生したポステンT桁)  
・外観変状からグラウト不良によるPC鋼材の破断を考えていたが、予想外にグラウトが充填されており主桁の垂れ下がりの原因特定に至らなかった。本橋においては、供用性の担保が必要であるため、今後の残存プレストレス調査と耐荷力照査により健全性を確保する必要がある。なお、主桁の垂れ下がり等の外観変状との相関性においては、プレストレスの減少により発生したと予測する。

48

ご清聴ありがとうございました。

49