



## サザンゲートブリッジ吊材取替え工事

### ○事業者

- ◆ 内閣府 沖縄総合事務局 石垣港湾事務所
- ◆ 石垣市 建設部 港湾課

### ○設計者

- ◆ 一般財団法人沿岸技術研究センター
- ◆ 日本工営株式会社
- ◆ 株式会社中研コンサルタント
- ◆ 株式会社ホープ設計

### ○施工者

- ◆ 金秀鉄工株式会社
- ◆ 宮地エンジニアリング株式会社

## 工事概要

### サザンゲートブリッジ

石垣市街地と南ぬ浜町人工島を結ぶ  
**唯一**の臨港道路橋

- 石垣港国際旅客ターミナル、人工ビーチ等へのアクセスを担う

**重要な交通路線**



**供用下での施工が必要**

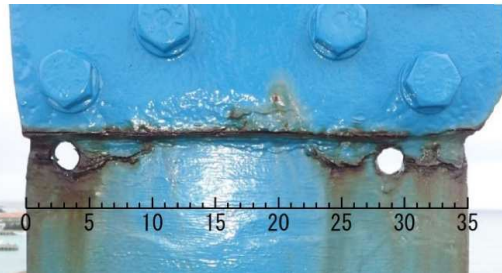


クルーズ船着岸時の交通混雑状況  
(供用下施工が求められた背景)

# 工事概要



フランジの断面欠損



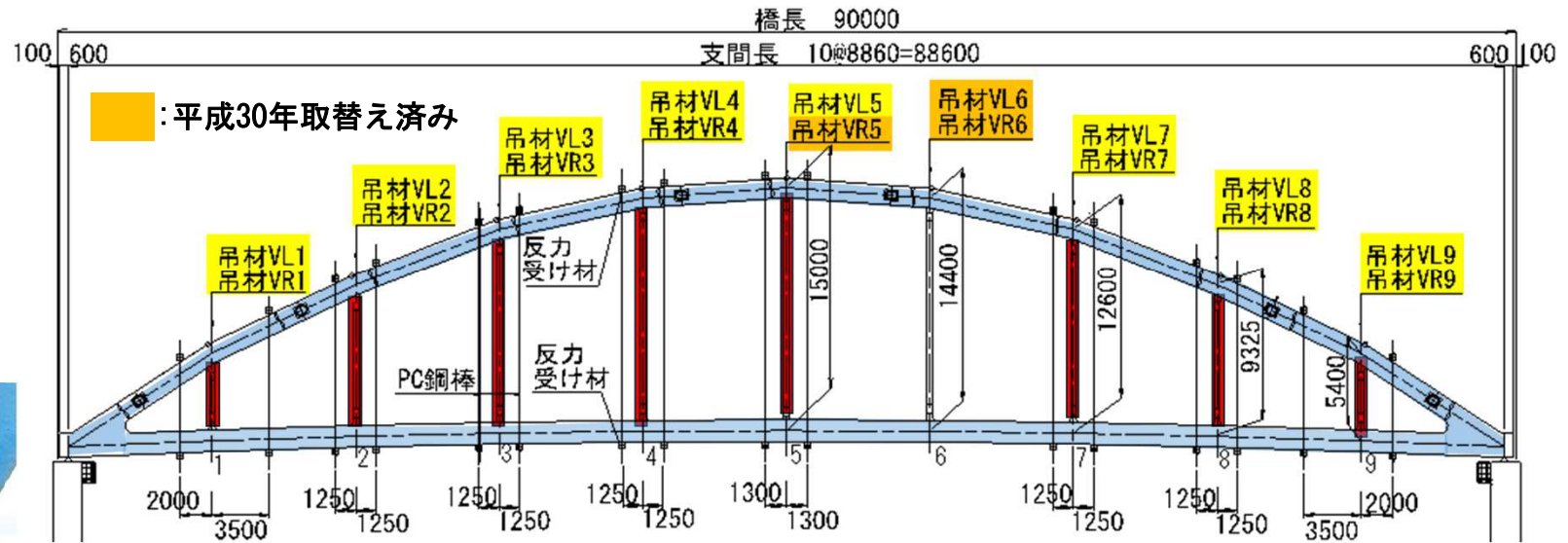
ストップホールによる  
応急対策後のき裂進展状況

強風・厳しい腐食環境



約30年の供用で

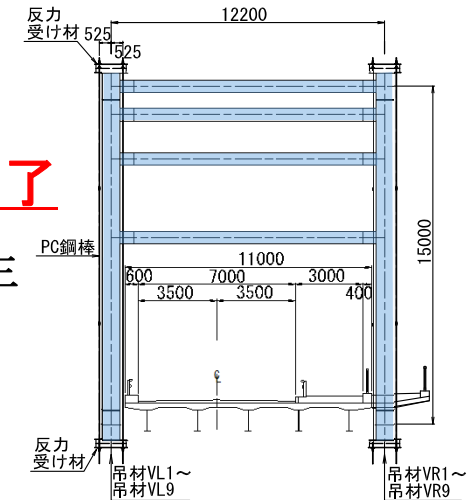
吊材上端部に  
腐食や疲労き裂が進展



供用下での全吊材の取替え

**30日間の夜間通行止めで計画通り完了**

- ▶ H29年度橋梁点検：腐食および疲労き裂の発生
- ▶ R3年度から技術委員会設置：劣化原因の解明、対策工法の検討・決定
- ▶ R6年度吊材取替え実施



# 特徴(計画): 損傷要因の解明と対策方針

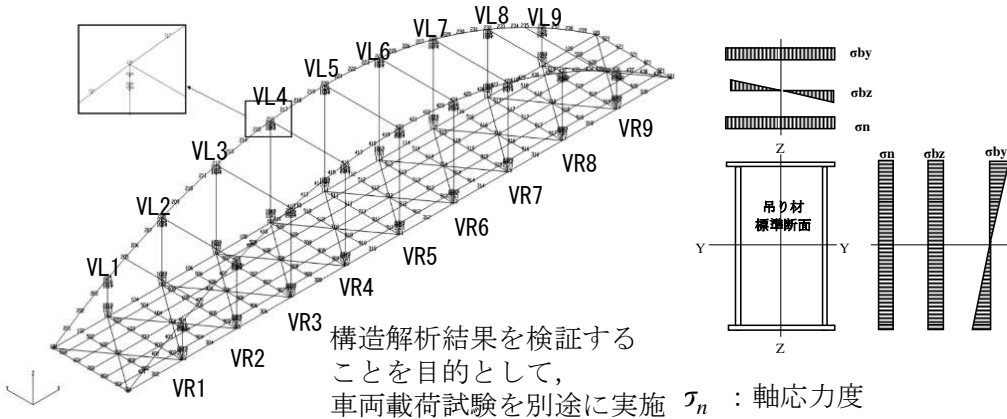


図. 三次元構造解析全体モデル

$\sigma_n$  : 軸応力度  
 $\sigma_{by}$  : 主構面外曲げ応力度  
 $\sigma_{bz}$  : 主構面内曲げ応力度

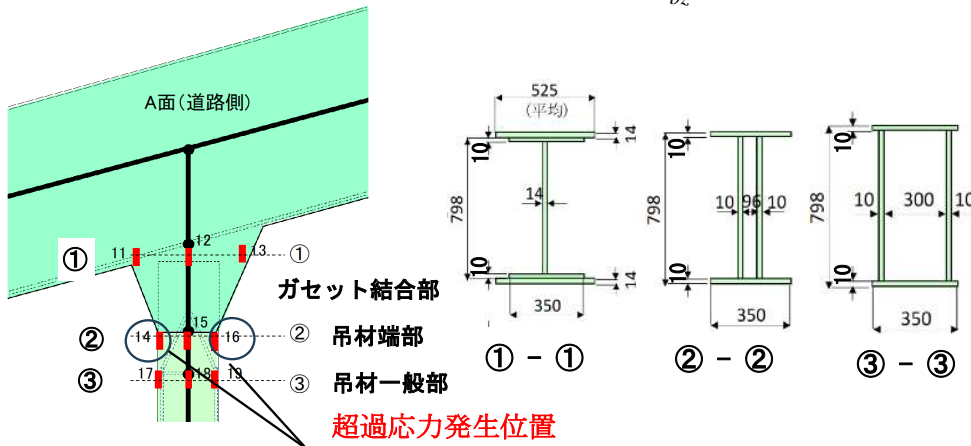


図. 既設吊材詳細モデル

表. 吊材VL-4 応力度算定結果の比較 (当初設計条件/今回検討条件)

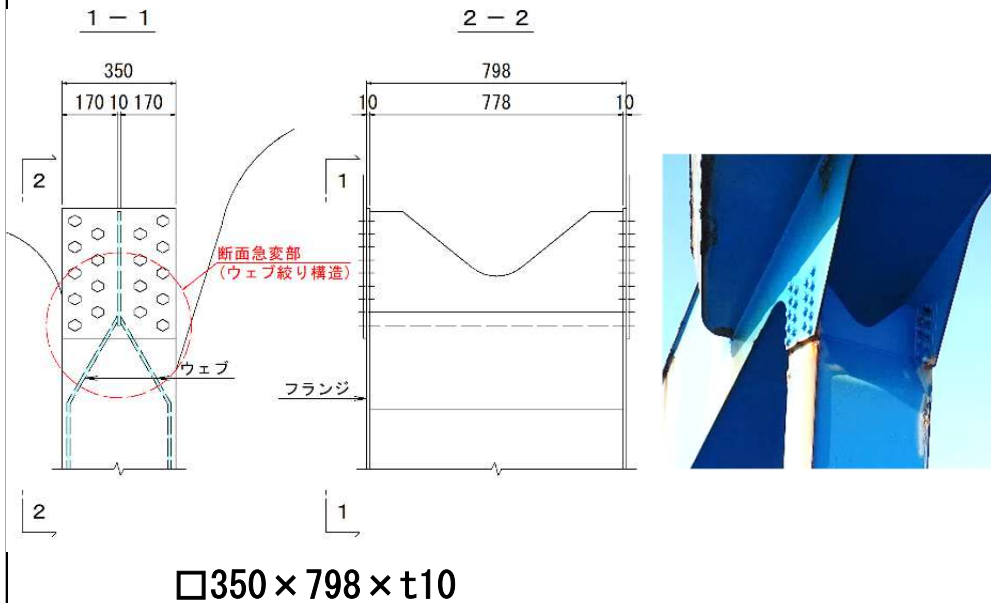
検討ケース	断面	当初設計条件 (軸力のみ TL20荷重時)			今回検討条件 (軸力と曲げモーメントを考慮 TL20荷重時)					
		N(軸力) (kN)	My(曲げ) (kNm)	Mz(曲げ) (kNm)	N(軸力) (kN)	My(曲げ) (kNm)	Mz(曲げ) (kNm)			
断面力	①-①	812.8	0.0	0.0	615.2	46.1	274.7			
	②-②	812.8	0.0	0.0	615.2	34.8	253.7			
	③-③	812.8	0.0	0.0	641.0	21.7	-208.0			
応力度	断面/箇所	$\sigma_n$	$\sigma_{by}$	$\sigma_{bz}$	$\Sigma \sigma$	$\sigma_n$	$\sigma_{by}$	$\sigma_{bz}$	$\Sigma \sigma$	
		(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	
	①-①	11	28.0	0.0	0.0	28.0	31.0	6.0	120.0	157.0
		12	28.0	0.0	0.0	28.0	31.0	6.0	0.0	37.0
		13	28.0	0.0	0.0	28.0	31.0	6.0	-120.0	-83.0
	②-②	14	36.0	0.0	0.0	36.0	27.0	7.0	385.0	419.0
		15	36.0	0.0	0.0	36.0	27.0	7.0	0.0	34.0
		16	36.0	0.0	0.0	36.0	27.0	7.0	-385.0	-351.0
	③-③	17	36.0	0.0	0.0	36.0	28.0	5.0	-82.0	-49.0
18		36.0	0.0	0.0	36.0	28.0	5.0	0.0	33.0	
19		36.0	0.0	0.0	36.0	28.0	5.0	82.0	115.0	

既設吊材の鋼材は SM400 であり、基準降伏応力  $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$  を超過する応力度を赤囲いで示す。

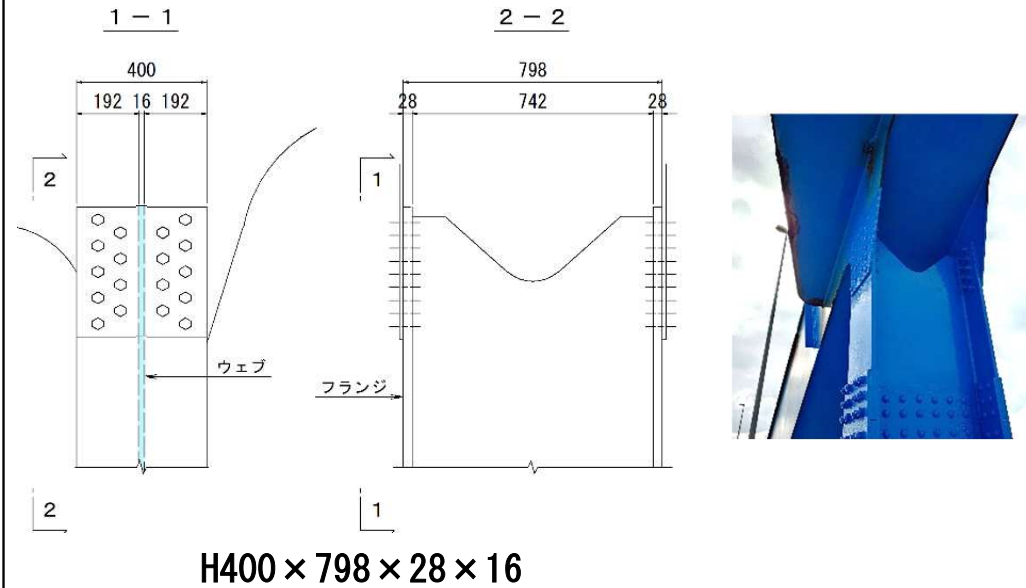
- 軸力と曲げを考慮した三次元構造解析を実施
- 断面急変部 (ウェブ絞り) が、大きな応力が発生することを確認

# 特 徴 (設計) : 断面変更と耐久性・維持管理性の向上

a) 既設吊材 (箱断面・ウェブ絞り構造)



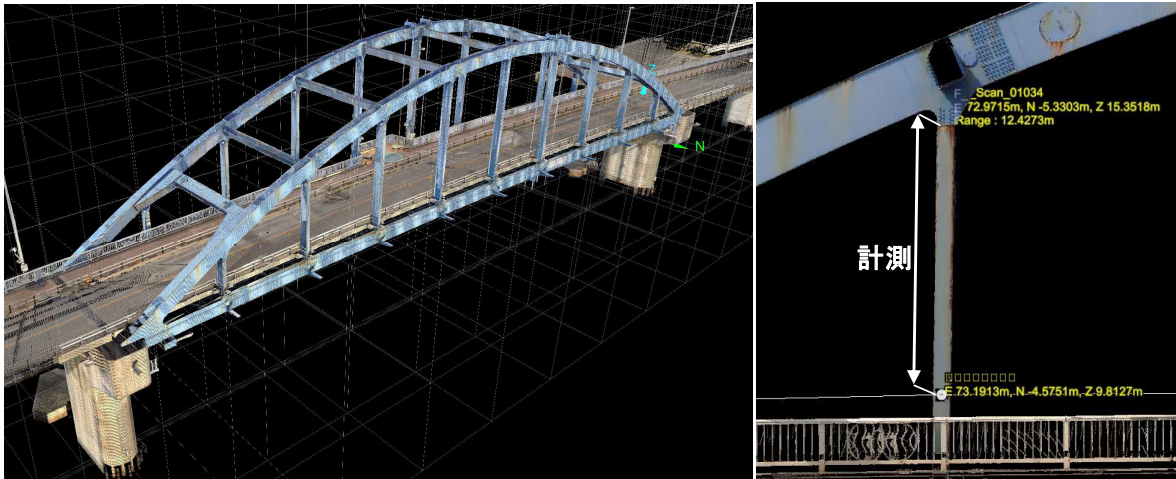
b) 新設吊材 (H形断面)



- 新設吊材の設計では、塩分・水分が溜まりにくいシンプルな形状で、維持管理性及び施工性に優れたH形断面を採用
- 風による影響 (渦励振) を考慮して断面を決定、フランジの板厚を10 mm から28 mmへ増厚
- これにより、施工性・維持管理性・耐久性を確保

# 特徴(製作): 高精度製作と施工性への配慮

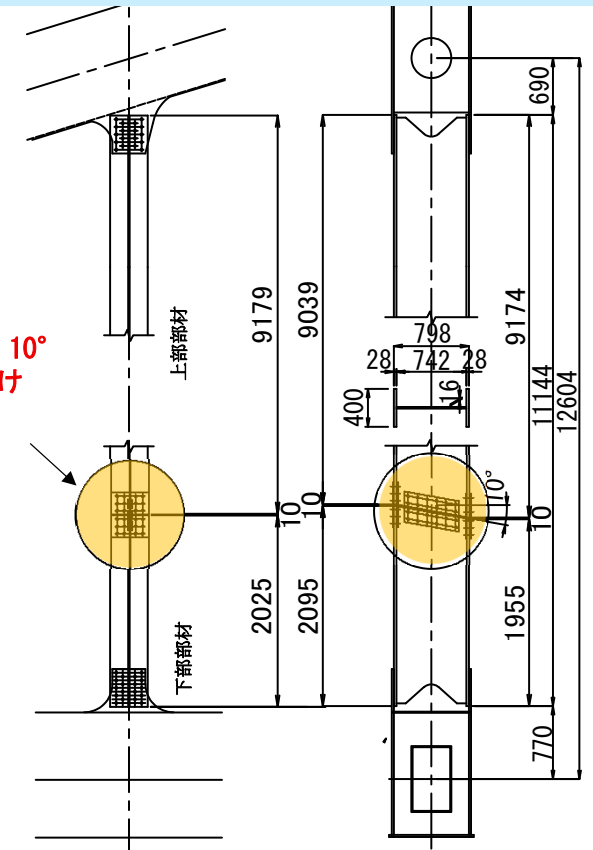
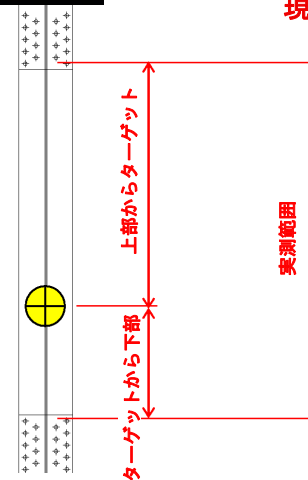
▶ 製作精度への配慮: 3Dスキャン、実測を実施し、竣工図との誤差を確認・図面への反映



▶ 施工性への配慮: 吊材の引き込みの検討を実施  
継手部の干渉を回避するため継手をテーパ加工

隙間: 10mm  
テーパ: 10°  
現場孔明け

	3Dスキャン			実測値	竣工図	誤差 (Δ)	製作長
	ターゲットから下部	上部からターゲット	合計値				
VR1	1,708	1,279	2,987	2,993	2,990	3	2,992
VR2	1,770	5,610	7,380	7,378	7,370	8	7,374
VR3	1,699	8,743	10,442	10,425	10,420	5	10,423
VR4	1,660	10,633	12,293	12,276	12,270	6	12,273
VR5	1,528	11,399	12,927	12,911	12,910	1	12,911
R6				0			
VR7	1,815	8,629	10,444	10,427	10,420	7	10,424
VR8	1,833	5,540	7,373	7,378	7,370	8	7,374
VR9	1,658	1,341	2,999	2,990	2,990	0	2,990



# 特 徴 (施工) : ICT・IoTを活用した軸力モニタリングによる高精施工と安全性確保

## 【1日目：既設吊材の撤去】

当日までの作業

1. 仮設吊材(PC鋼棒 4本)の設置

20:30-21:30

2. 仮設吊材への段階的な軸力導入  
(既設吊材から仮設吊材への軸力移行)

3. 【軸力管理】既設吊材のひずみ量確認(1回目)  
(目標管理値：設計軸力  $\pm 15\%$ 以内)

21:30-22:45

4. 既設吊材の軸力開放  
(吊材添接部に位置する高力ボルト軸力開放・撤去)

5. 【軸力管理】既設吊材のひずみ量確認(2回目)  
(目標管理値：設計軸力  $\pm 15\%$ 以内)

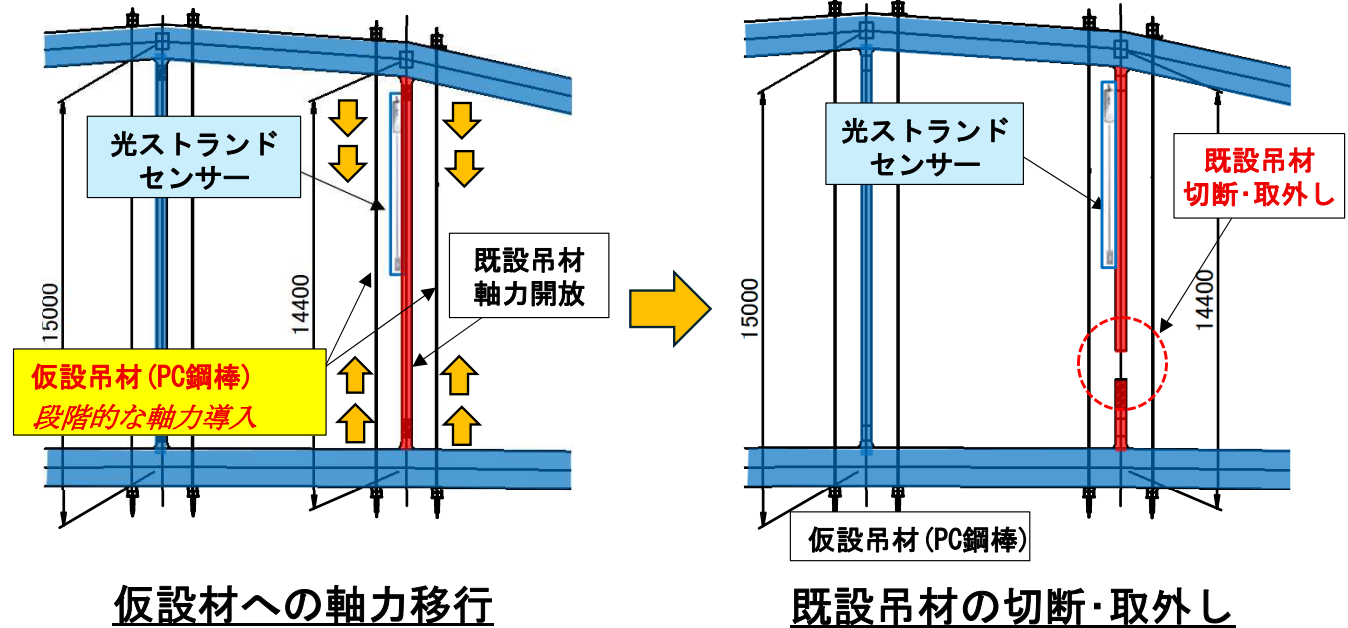
22:45-24:00

6. 既設吊材の切断・取外し  
(仮設吊材(PC鋼棒4本)による仮受け状態)

7. 【軸力管理】既設吊材のひずみ量確認(3回目)  
(既設吊材無応力の確認、既設吊材実軸力の確認)

24:00-1:30

8. 既設吊材や資機材の撤去



夜間通行止めを最小限に抑え  
軸力の開放を定量的に管理した安全かつ確実な吊材撤去実施

# 特 徴 (施工) : ICT・IoTを活用した軸力モニタリングによる高精施工と安全性確保

## 【1日目：既設吊材の撤去】

当日までの作業

### 1. 仮設吊材(PC鋼棒 4本)の設置

20:30-21:30 ↓

### 2. 仮設吊材への段階的な軸力導入 (既設吊材から仮設吊材への軸力移行)

### 3. 【軸力管理】既設吊材のひずみ量確認(1回目) (目標管理値：設計軸力 ±15%以内)

21:30-22:45 ↓

### 4. 既設吊材の軸力開放 (吊材添接部に位置する高力ボルト軸力開放・撤去)

### 5. 【軸力管理】既設吊材のひずみ量確認(2回目) (目標管理値：設計軸力 ±15%以内)

22:45-24:00 ↓

### 6. 既設吊材の切断・取外し (仮設吊材(PC鋼棒4本)による仮受け状態)

### 7. 【軸力管理】既設吊材のひずみ量確認(3回目) (既設吊材無応力の確認、既設吊材実軸力の確認)

24:00-1:30 ↓

### 8. 既設吊材や資機材の撤去

## 2. 仮設吊材軸力導入 (吊材からの軸力移行)



# 特 徴 (施工) : ICT・IoTを活用した軸力モニタリングによる高精施工と安全性確保

## 【2日目：新設吊材の設置】

20:30-23:00

9. 新設吊材の架設

23:00-23:30

10. 新設吊材への段階的な軸力導入  
(仮設吊材から新設吊材への軸力移行)

11. 【軸力管理】新設吊材のひずみ量確認(1回目)  
(管理値：既設吊材軸力の実測値  $\pm 15\%$ 以内)

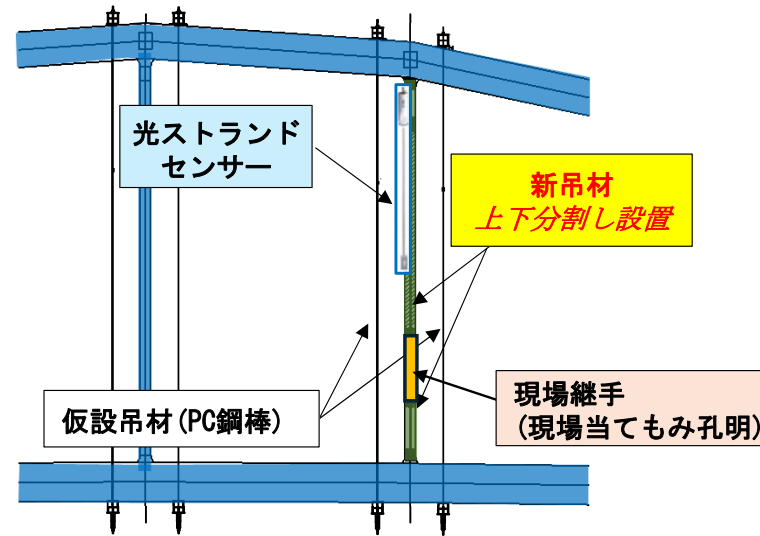
23:30-0:30

12. 新設吊材の設置  
(吊材添接部に位置する高力ボルトの本締め等)

13. 【軸力管理】新設吊材のひずみ量確認(2回目)  
(導入軸力の安定性を確認)

翌日以降の作業

14. 仮設吊材(PC鋼棒4本)の撤去



新設吊材の設置

夜間通行止めを最小限に抑え  
軸力の開放を定量的に管理した安全かつ確実な吊材設置実施

# 特 徴 (施工) : ICT・IoTを活用した軸力モニタリングによる高精施工と安全性確保

## 【2日目：新設吊材の設置】

20:30-23:00

9. 新設吊材の架設

23:00-23:30 ↓

10. 新設吊材への軸力導入  
(仮設吊材から新設吊材への軸力移行)

11. 【軸力管理】新設吊材のひずみ量確認(1回目)  
(管理値：既設吊材軸力の実測値  $\pm 15\%$ 以内)

23:30-0:30 ↓

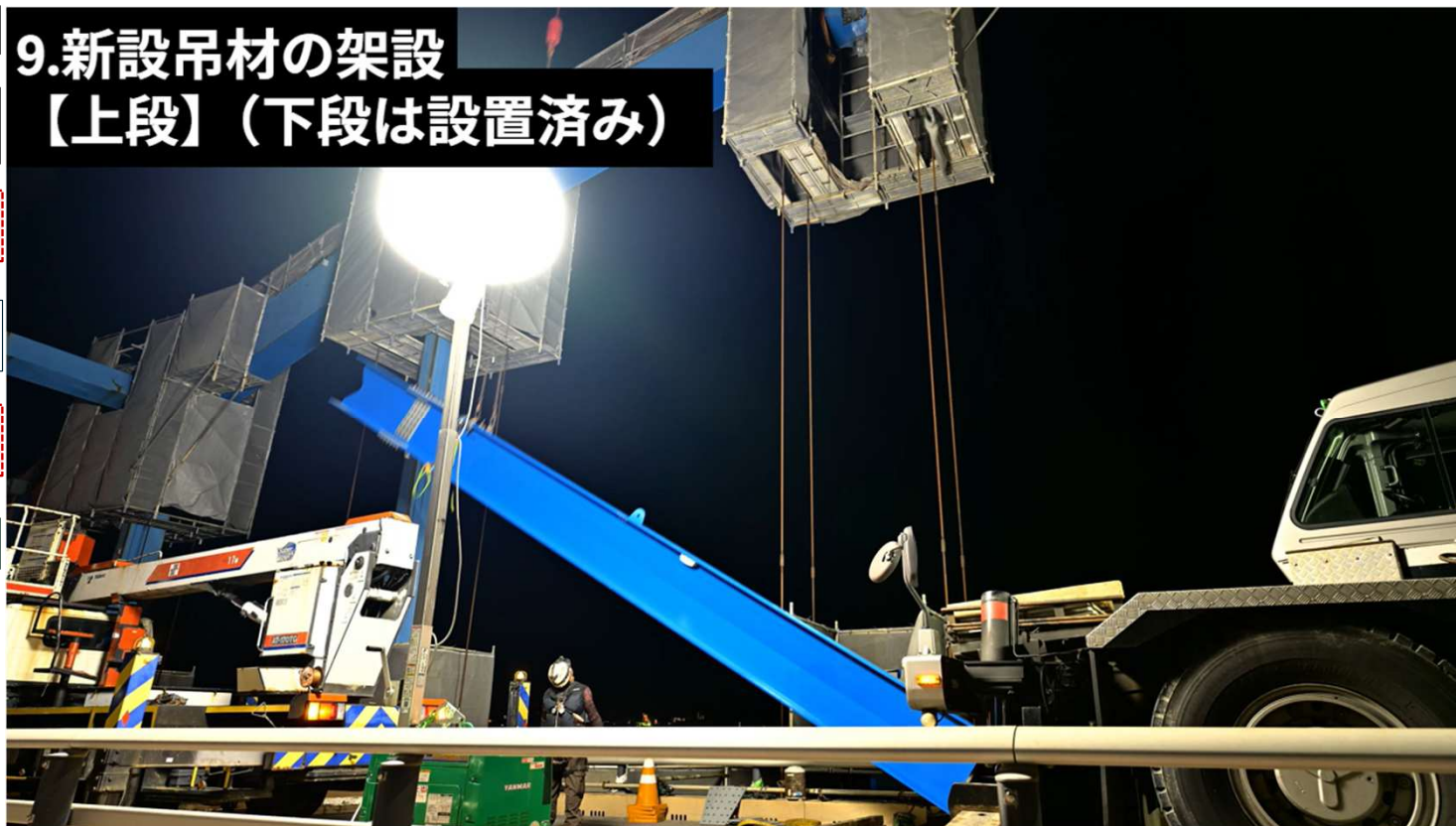
12. 新設吊材の設置  
(吊材添接部に位置する高力ボルトの本締め等)

13. 【軸力管理】新設吊材のひずみ量確認(2回目)  
(導入軸力の安定性を確認)

翌日以降の作業 ↓

14. 仮設吊材(PC鋼棒4本)の撤去

## 9.新設吊材の架設 【上段】(下段は設置済み)



# 特徴(施工)：ICT・IoTを活用した軸力モニタリングによる高精施工と安全性確保

- 動的(100Hz)で計測可能な光ストランドセンサー(センサー長1m)を使用：1m間の平均ひずみを計測
- ICT・IoTを活用したモニタリングシステム：リアルタイムで遠隔監視可能

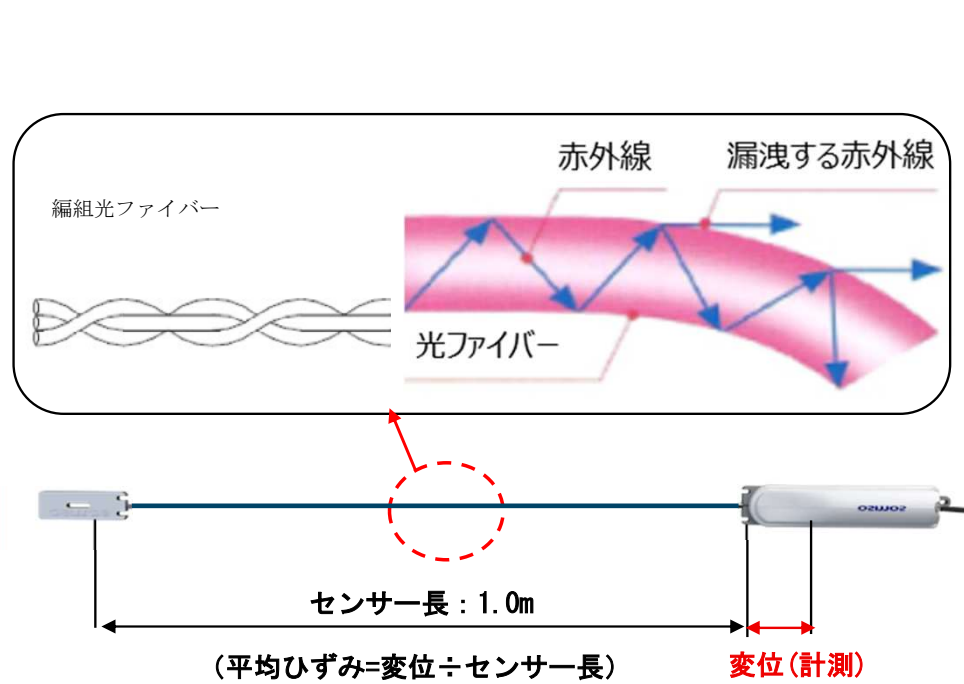


図. 光ストランドセンサー

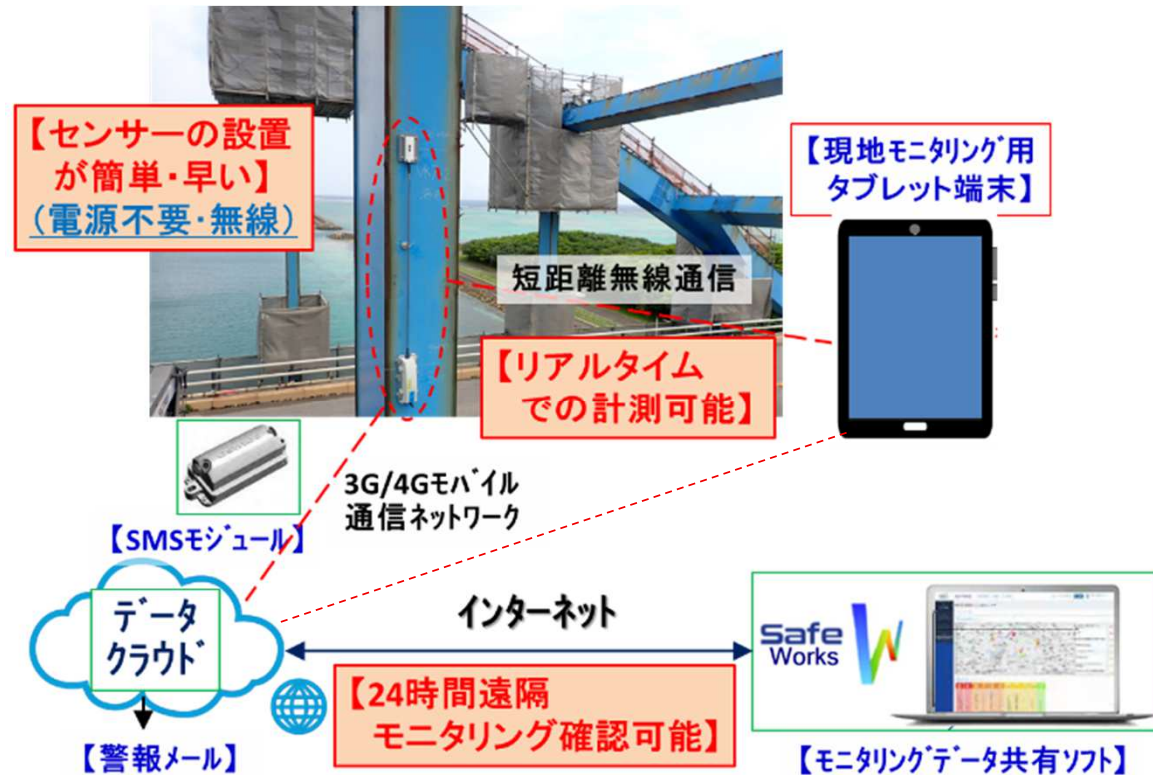


図. モニタリングシステム

# 特徴(施工)：ICT・IoTを活用した軸力モニタリングによる高精施工と安全性確保

表. 吊材取替え時の設計軸力およびひずみの管理値 (VL7)

項目	単位	VL7
設計軸力	kN	660
既設吊材撤去時		
解放張力	kN	660
想定ひずみ量	μ	146.3
目標管理値 下限(-15%値)	μ	124.4
目標管理値 上限(+15%値)	μ	168.2
新設吊材設置時		
導入軸力	kN	660
想定ひずみ量	kN	79.0
管理値 下限(-15%値)	μ	67.2
管理値 上限(+15%値)	μ	90.9

表. 吊材取替えにおける軸力管理結果一覧

吊材の軸ひずみ：ε N (μ)

歩道側				車道側			
吊材No.	①既設吊材軸力の実測値(管理値)	②新設吊材計測値	管理値と計測値の比率②/①	吊材No.	①既設吊材軸力の実測値(管理値)	②新設吊材計測値	管理値と計測値の比率②/①
VR5	102.0	92	0.90	VL4	79.0	76	0.96
VR4	103.3	91	0.88	VL7	73.1	79	1.08
VR7	86.3	91	1.05	VL3	79.0	78	0.99
VR3	86.3	95	1.10	VL8	68.4	76	1.11
VR8	95.4	87	0.91	VL2	85.5	75	0.88
VR2	80.9	82	1.01	VL9	69.8	72	1.03
VR9	75.0	78	1.04	VL1	53.4	58	1.09
VR1	96.7	91	0.94				
		平均値	<b>0.98</b>			平均値	<b>1.02</b>

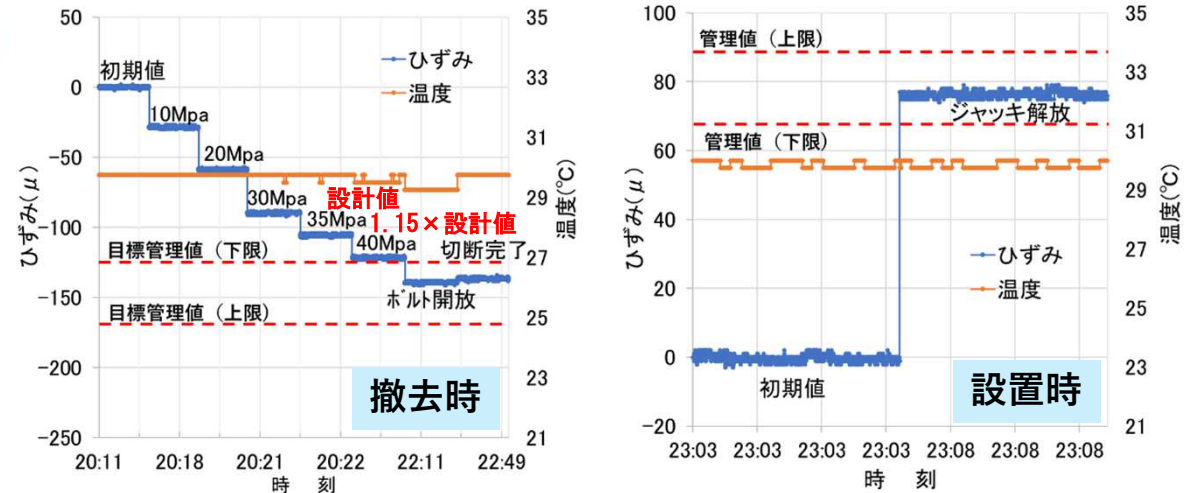


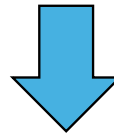
図. 吊材取替え時の軸力モニタリング結果 (VL7)

管理値(上限・下限)内で軸力が安定的に移行している。

- 解析精度の低い可能性のある設計値に依存しない **実構造に即した軸力管理が可能**
- 新設吊材の導入軸力を「既設比98%~102% (誤差±2%)」と **高精度で管理できた**

## 効果・成果：健全性の回復と長寿命化への寄与

- 詳細な損傷調査・健全性評価に基づき、全吊材の吊材取替えが完了し、鋼材腐食と疲労損傷が進行していた橋梁の健全性が確実に回復された。
- 供用下・夜間施工を前提とした合理的な吊材取替えの一手法が確立された。



厳しい海洋環境下における既設鋼橋の長寿命化に寄与する成果が得れた。