

生月大橋の損傷事例について

第1章	損傷の概要	1
第2章	緊急処置及び応急対策	3
第3章	計測及び監視	4
第4章	本復旧比較検討	5
第5章	本復旧の構造	6
第6章	本復旧工事	8

第1章 損傷の概要

◆生月島の概況

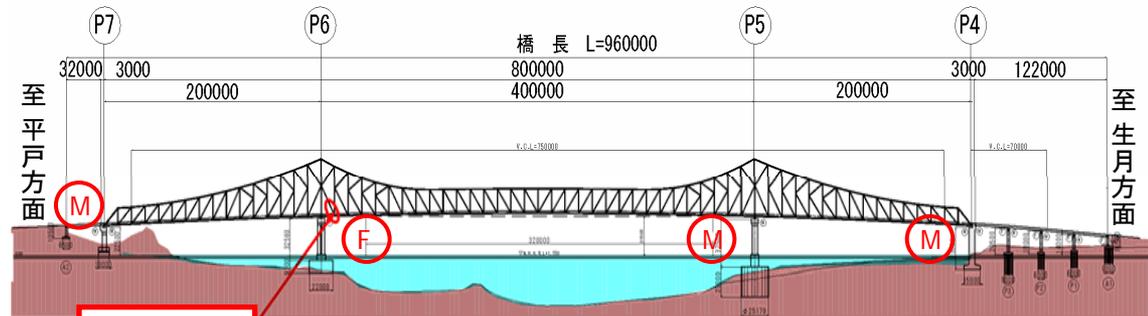
- ・町名：平戸市生月町（旧北松浦郡生月町）
- ・人口：6,861人（H21.4.1現在）
- ・世帯数：2,467世帯（H21.4.1現在）

◆生月大橋の概要

- ・路線名：主要地方道平戸生月線
- ・橋長：960m
- ・供用開始：平成3年7月31日
- ・交通量：3,076台/日（H21.4月～11月までの実績平均）
- ・道路規格：第3種第4級
- ・幅員：6.5m
- ・設計速度：40km/h
- ・橋梁形式：3径間連続トラス
- ・橋格：2等橋（T-20, L-14）
- ・桁下高：N.H.H.W.L上 31.0m
- ・航路幅：320m



【生月大橋 位置図】



【生月大橋 側面図】

◆これまでの点検状況とひびわれ発見までの経緯

ひびわれ箇所

- ・日常点検 管理事務所職員が、車上から目視点検
~~~~~
- ・H20.3～10 コンサルタントによる詳細点検を全橋にわたって実施  
（該当箇所の損傷は確認されていない）
- ・H21.12.7～8 定期点検用の定点観測箇所を選定するための事前調査  
を実施
- ・H21.12.8午後 P6橋脚北側付近の斜材のひびわれを発見  
調査者（コンサル）から道路維持課、道路公社へ連絡



（車道側から撮影）



（海側から撮影）

【ひびわれ状況写真（発見時）】

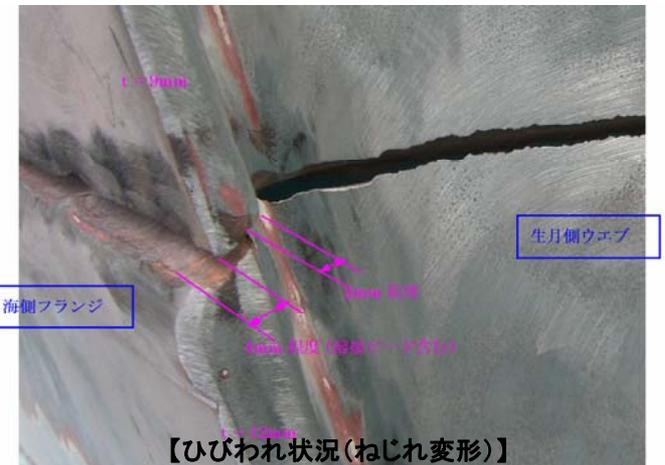
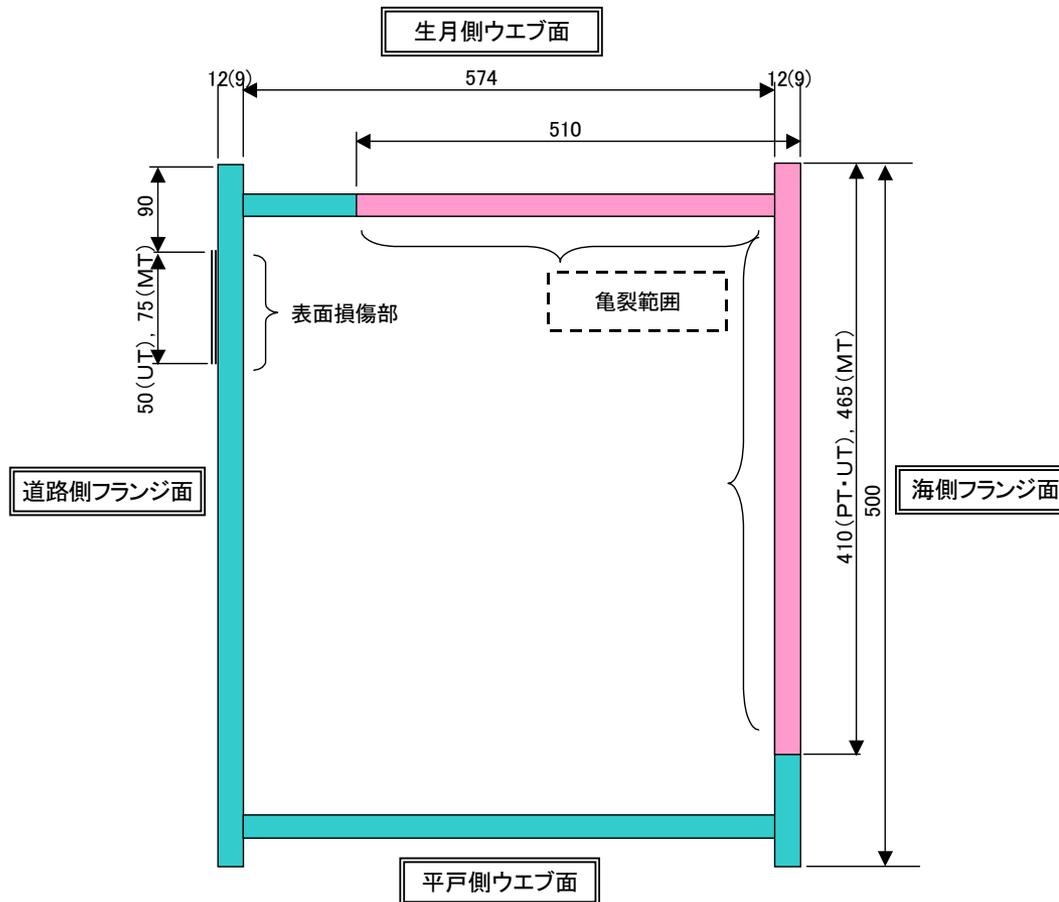
## ●ひびわれの状況

P6橋脚北側斜材（下端部）のひびわれ規模は以下のとおり。

（浸透探傷試験、超音波探傷試験、磁粉探傷試験による）

- ①海側フランジ面のひびわれ：最大幅（開き）4mm，長さ46.5cm
- ②生月側ウェブ面のひびわれ：最大幅（開き）4mm，長さ51cm
- ③道路側フランジ面のひびわれ（表面損傷）：深さ約2mm，長さ7.5cm

P6北側トラス 斜材（中央径間側）亀裂断面図



## ●他の部材の検査結果

以下の対称部材の検査を行った。

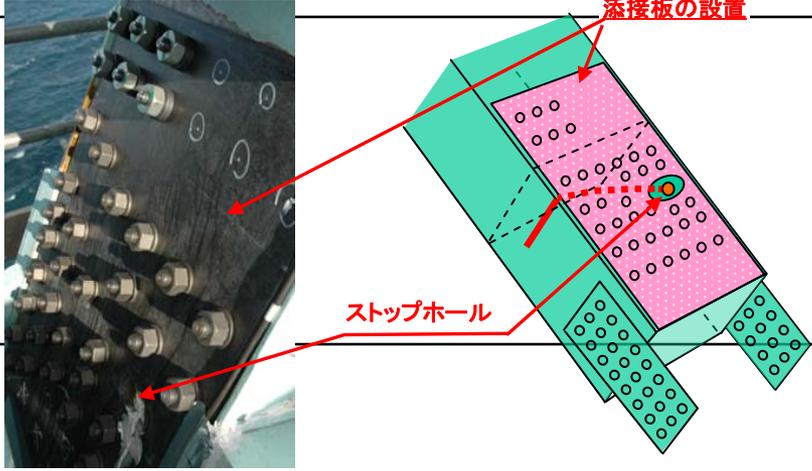
（超音波探傷試験、磁粉探傷試験による）

- ①P6橋脚北側斜材（上端部）：異常無し
- ②P6橋脚南側斜材（下端部）：異常無し
- ③P5橋脚北側斜材（下端部）：異常無し
- ④P5橋脚南側斜材（下端部）：異常無し

# 第2章 緊急処置及び応急対策

## ●緊急処置および応急対策

ひびわれの進展による部材の破断を防ぐとともに、本復旧までの当面の安全性を確保するため、以下の緊急処置および応急対策を実施した。

| 対策工法                         | 目的                                                                                                                     | 概要図・写真                                                                              | 作業工程            |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ①緊急処置<br>ストップホール             | ひびわれ先端部に孔をあけ、ひびわれ先端での応力集中を低減させる。                                                                                       |   | 12/11           |
| ②緊急処置<br>添接板の設置<br>(生月側ウェブ面) | ひびわれ発生部に添接板を接合し、ひびわれ部分を閉じ合わせるとともに、ひびわれによる断面欠損を補う。                                                                      |  | 12/12～<br>12/14 |
| ③応急対策<br>PC鋼棒による<br>締め付け     | ひびわれによる断面欠損を補うとともに、鋼棒を締め付けることで応力の流れを鋼棒へバイパスさせ、残存部材にかかる応力を緩和する。<br>※締め付け張力は約40t(10t/本)。設計軸力(266t)の15%であり設計軸力の活荷重分に相当する。 |  |                 |

# 第3章 計測及び監視

## ●ゲージ取付位置

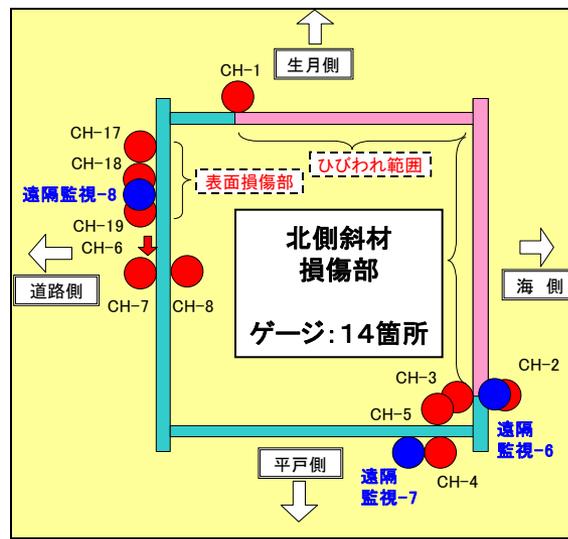
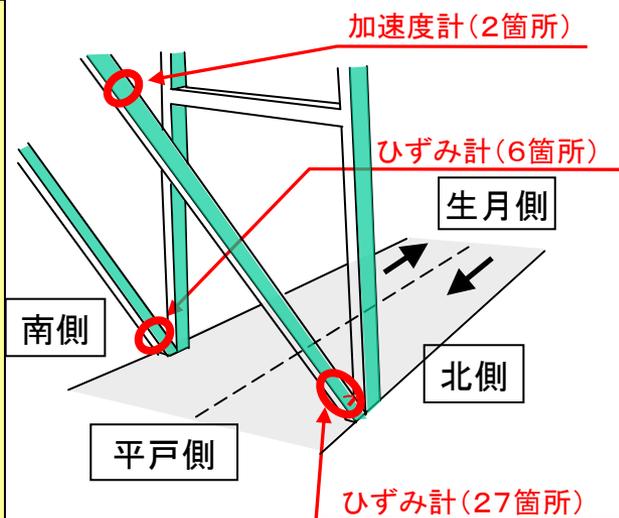
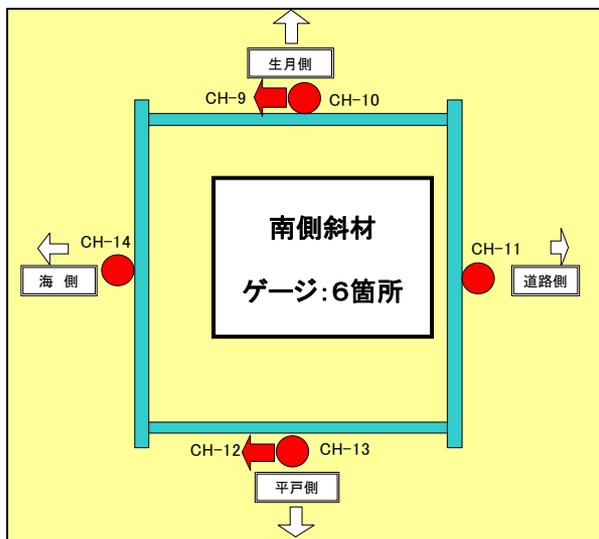
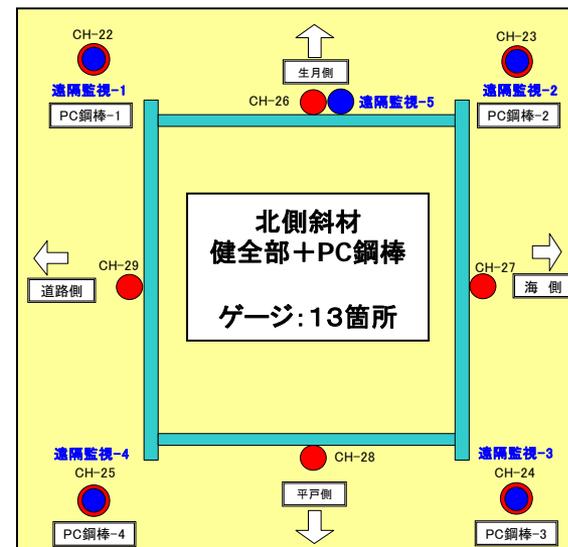
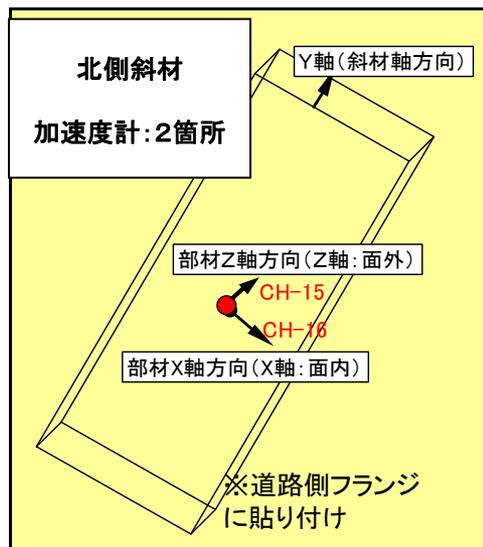
目視できない微小な変状や内部応力の変動を把握するためにひずみ計を設置し、さらに風や活荷重による影響を把握するために加速度計を設置して観測を続けた。

ひずみ計 現場計測用 29箇所  
 遠隔監視用 8箇所  
 合計 37箇所

加速度計 現場計測用 2箇所

### 【観測開始日】

現場計測用 合計 16箇所 H21/12/14～  
 現場計測用 合計 29箇所 H21/12/20～  
 遠隔監視用 合計 3箇所 H21/12/27～  
 遠隔監視用 合計 8箇所 H22/01/20～



# 第4章 本復旧比較検討

## ●本復旧比較案

|       | 第1案 当て板補強案                                  | 第2案 斜材部分取替え案                            | 第3案 斜材全体取替え案                    |
|-------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| イメージ図 |                                             |                                         |                                 |
| 施工要領  | 既存のPC鋼棒により必要張力導入後、フランジに既存継手をバイパスする当て板を設ける構造 | 既存のPC鋼棒により必要張力導入後、損傷部を切断除去し、新設部材を取付ける構造 | 新設PC鋼棒より必要張力導入後、損傷斜材を1本丸ごと取替る構造 |
| 交通規制  | 片側交互通行：約5日間                                 | 片側交互通行：約2週間<br>全面通行止め：1晩(切断時)           | 片側交互通行：約3週間<br>全面通行止め：夜間約2週間    |
| 工期    | 約2ヶ月                                        | 約3ヶ月                                    | 約5ヶ月                            |
| 経済性   | 20百万円                                       | 35百万円                                   | 100百万円                          |

生月大橋緊急対策検討委員会を立ち上げ、3回にわたる審議の結果、損傷のあった斜材を部分的に取り替える工法を採用することとした。

# 第5章 本復旧の構造

●委員会で決定した本復旧構造に、施工業者からの改善案を加え、以下の構造改良を行った。

## 元設計

## 本復旧

設計軸力2660kN

元設計の設計軸力2660kNにて設計。  
→立体解析結果に対し23%の余裕確保される。

部材断面構成  
ウェブ : 574mm×9mm (SS41)  
フランジ : 500mm×9mm (SS41)  
 $\sigma_t = 135\text{N/mm}^2 < \sigma_a = 140\text{N/mm}^2$

部材断面構成  
ウェブ : 574mm×12mm (SM400)  
フランジ : 500mm×25mm (SM400)  
 $\sigma_t = 67\text{N/mm}^2 < \sigma_a = 140\text{N/mm}^2$   
→増厚することにより部材の作用応力を軽減し、許容値に対する余裕を持たせる。

ウェブとフランジの溶接 : すみ肉溶接

ウェブとフランジの溶接 : 完全溶け込み溶接  
→強度向上、疲労耐久性の向上

フランジの断面変化9mm→12mm : 板継溶接

フランジの断面変化25mm→68mm  
: 1枚鋼板の切削テーパ加工  
→疲労耐久性の向上

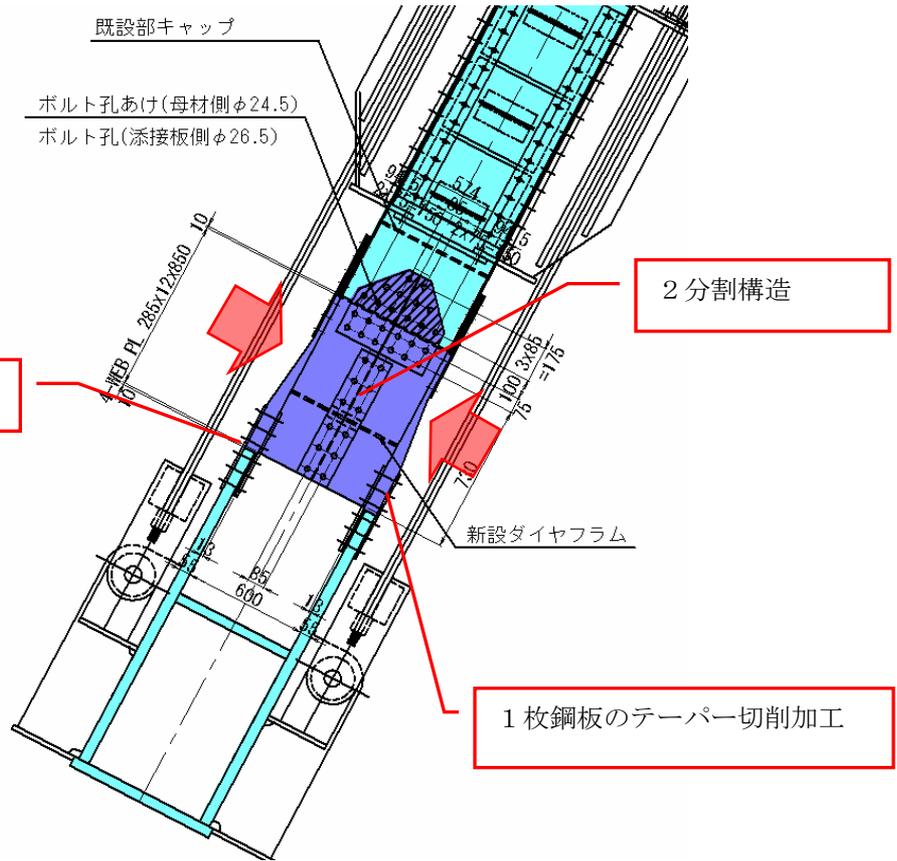
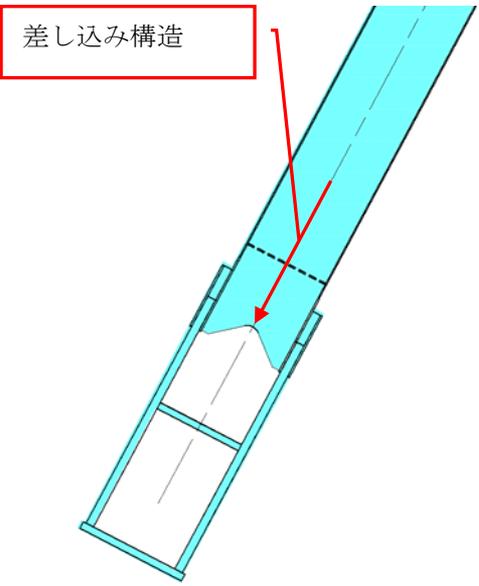
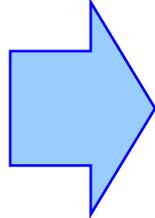
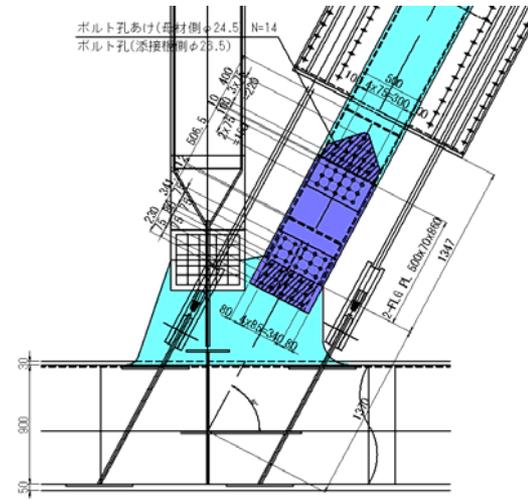
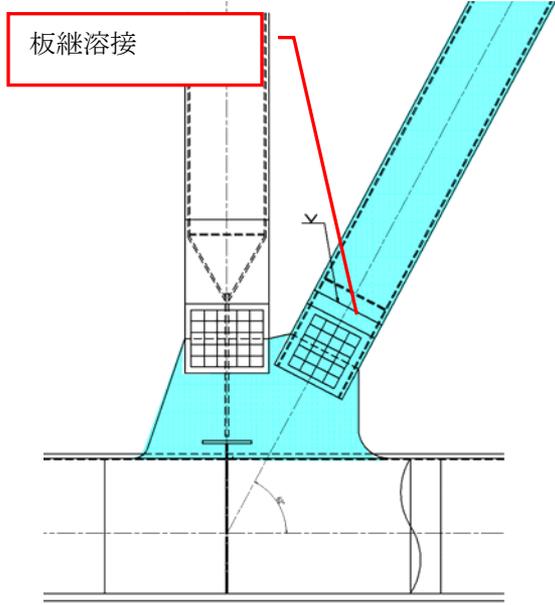
下弦材との連結 : 差し込み構造

下弦材との連結 : 突き合わせ構造  
→力の伝達が明確な構造へ改良

既設部材と新設部材の連結 : ボルト連結  
→既設部材への現場溶接による熱影響を避ける。

新設部材の部材軸方向の2分割構造  
→既存損傷部材の1/2断面部分づつを撤去し、新設部材に取り替えることにより、既存部材が完全に撤去されことなく、1/2斜材が連結されている状態とすることで、衝撃的な破断リスクを回避する。

# ●本復旧設計の考え方



# 第6章 本復旧工事

## 1. 本工事における課題と対策

### ①安全性の向上。

新設部材の2分割での取替え、当て板併用での作業  
仮設支材の設置、PC鋼棒の破断試験

### ②無応力確認

確認方法の立案

計測精度向上：PC鋼棒ひずみ値の確定試験

油圧ジャッキ検定、ロードセルの使用

PC鋼棒軸力導入前試験施工の実施

### ③部材への熱影響排除

ピースカッターの使用

### ④交通規制時間管理

切断施工試験結果によるタイムスケジュール作成

実物大模型による作業手順確認

## 2.施工前試験

### ①切断施工試験

既設斜材切断に**ピースカッター**を使用するため、実物大の模型を製作し、**現地状況を再現した施工試験**を実施した。

試験により下記の事項を確認した。

- 1) ピースカッターの施工性の確認。
- 2) 切断時間の計測（斜材入れ替え時の**タイムスケジュール作成**のため）
- 3) 切断時の問題点の洗い出し。  
（ピースカッター機種を選定、ピースカッター架台の変更、ストップホールの位置・個数）
- 4) その他、孔明け時、ボルト締め付け時等の問題点の洗い出し。  
（既設ダイヤフラムの先行切断、仮スプライスの製作）



切断試験実施状況



孔明け試験

## ②PC鋼棒の引張試験

導入軸力の精度向上のため、引張試験により、応急復旧時に使用している**PC鋼棒の荷重とひずみの関係**を確認した。

また、使用しているPC鋼棒の破断試験を実施し、**カタログ等の破断荷重値以上であることを確認**し、安全管理値を決定した。

## ③油圧ジャッキ検定試験

軸力導入時の精度及び施工性の向上のため、120t型センターホールジャッキを、大型アムスラー試験器により荷重検定を実施し、**油圧ジャッキ付きデジタル荷重計の校正**を行った。

## ④軸力導入施工前の現地試験

軸力導入施工前に、現地にてひずみゲージ及びロードセル、油圧ジャッキ付きデジタル荷重計等の**整合性確認**及び、**PC鋼棒に1本ずつ軸力を導入した時の他PC鋼棒への影響**を確認した。

試験結果をもとに、**PC鋼棒軸力導入要領**を、作成した。

### 3. 実施工程表

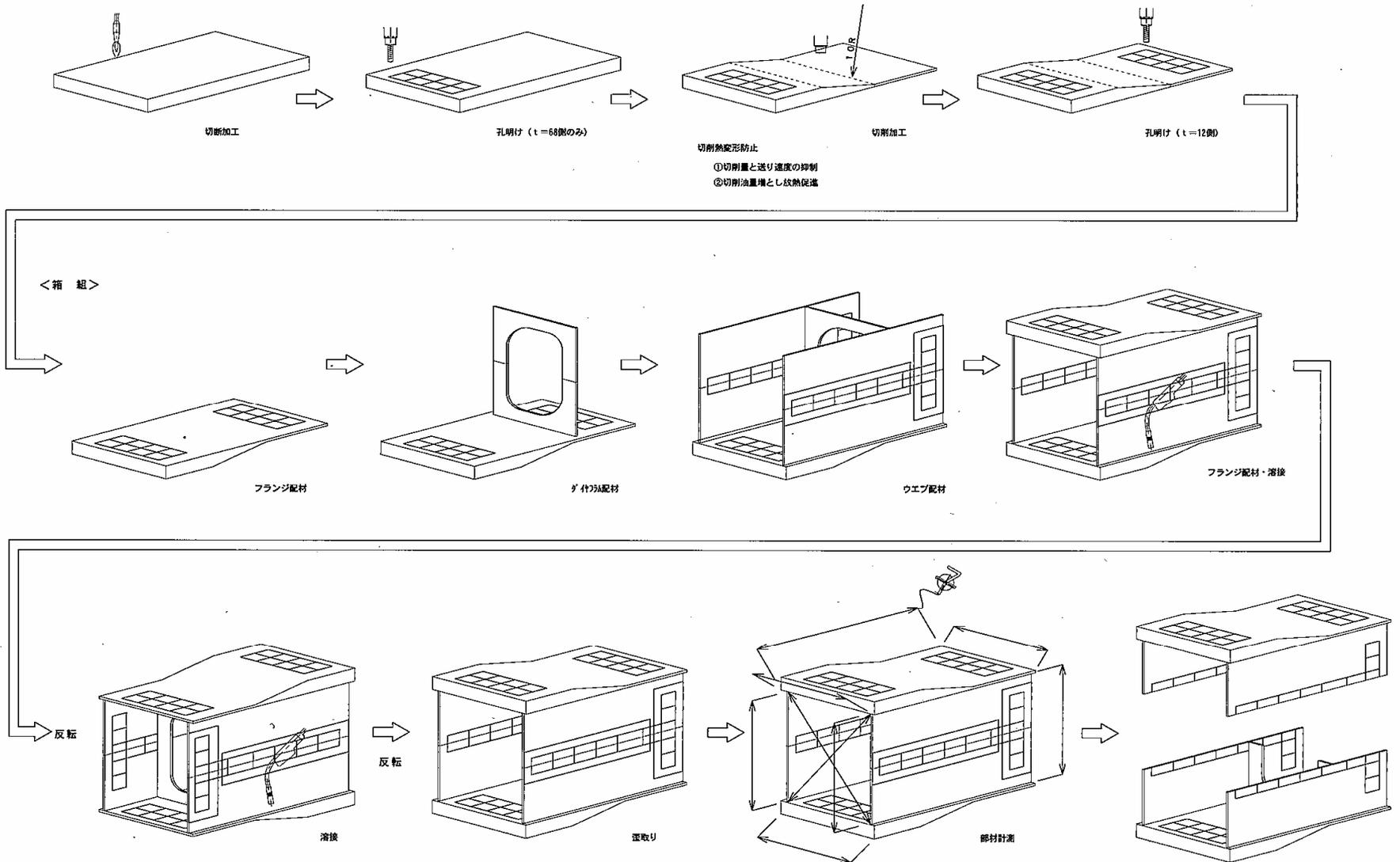
#### 全体工程表

|                       | 4月 |    | 5月 |    | 6月 |            |
|-----------------------|----|----|----|----|----|------------|
|                       | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20         |
| 設計照査                  | ■  |    |    |    |    |            |
| 事前検討                  | ■  |    |    |    |    |            |
| 工場製作工                 |    | ■  | ■  |    |    |            |
| 現地準備工                 |    |    | ■  |    |    |            |
| 足場工                   |    |    | ■  |    |    |            |
| 仮設材設置                 |    |    |    | ■  |    |            |
| 夜間工事<br>(軸力導入、斜材撤去設置) |    |    |    |    | ■  | ▶ 詳細は次頁に記載 |
| 仮設材撤去                 |    |    |    |    | ■  |            |
| 現場塗装工                 |    |    |    |    |    | ■          |
| 足場解体                  |    |    |    |    |    | ■          |
| 後片付け                  |    |    |    |    |    | ■          |

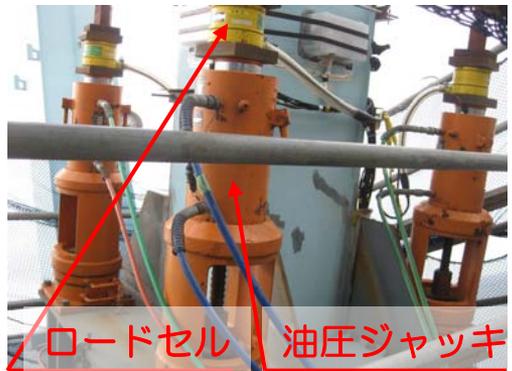


# 4. 施工

## ①工場製作工



## ②計測機器等の配置



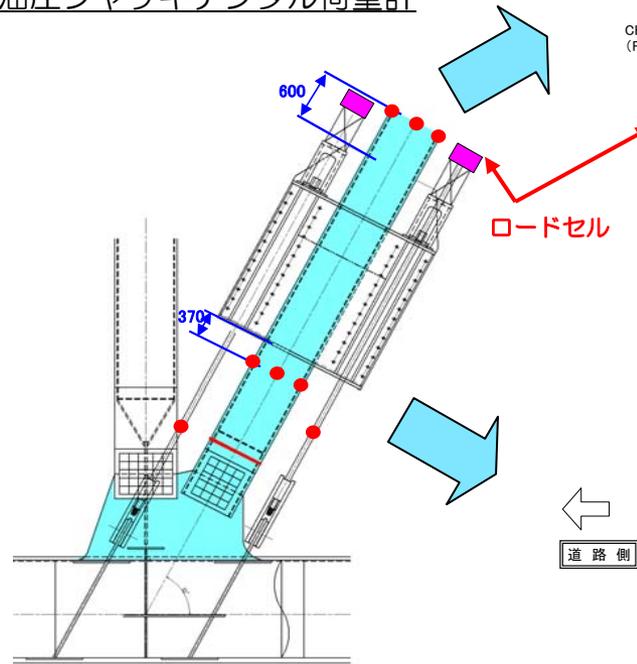
ロードセル設置



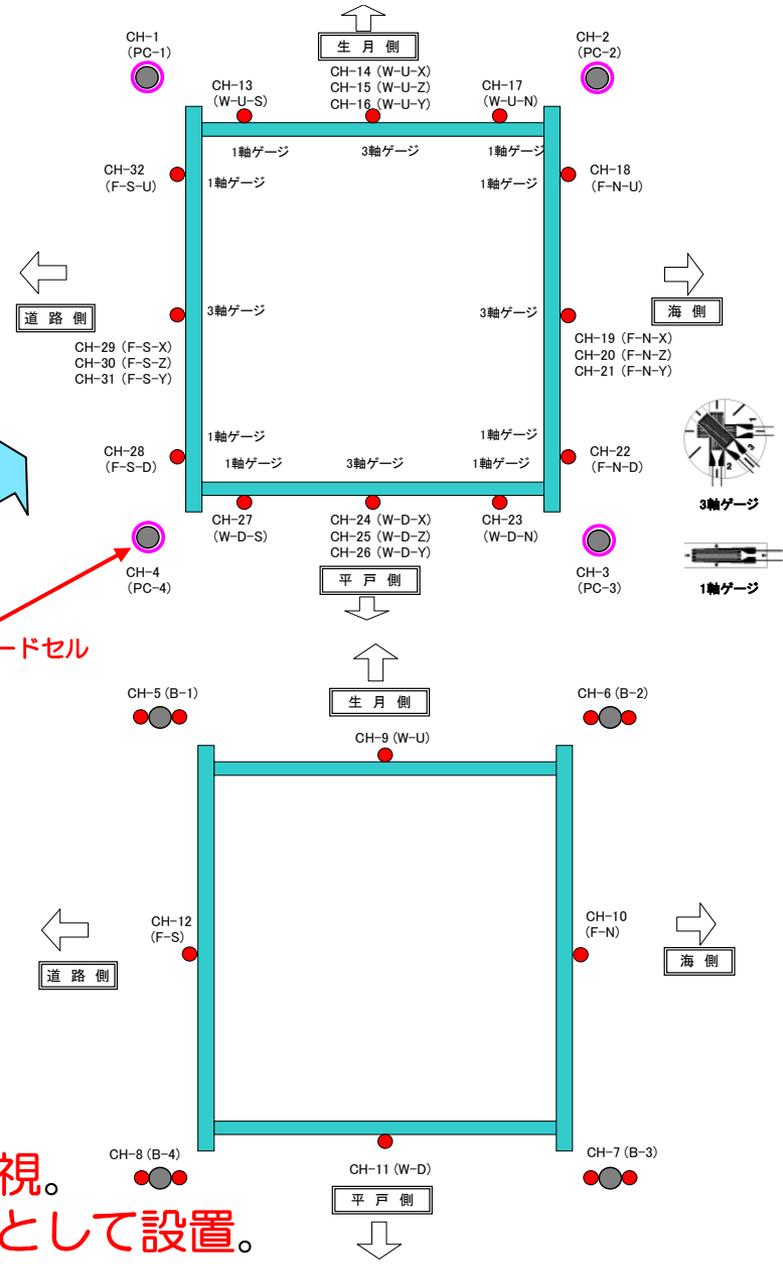
油圧ジャッキデジタル荷重計



計測状況



## ひずみ計設置状況

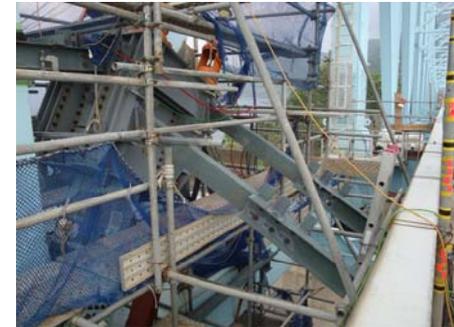


- ひずみ計及びロードセルは、監視小屋内で計測監視。
- 油圧ジャッキ付きデジタル荷重計は作業時の目安として設置。

### ③仮設支材の設置

#### 1) 橋軸直角方向仮設支材

- 軸力導入後の斜材のねじれ防止
- 風等による橋軸直角方向の振動の抑制
- 橋軸直角方向の調整



#### 2) 鉛直材支材

- 軸力導入後の斜材のねじれ防止
- 風等による振動の抑制
- 橋軸方向の調整



#### 3) 主桁付き支材

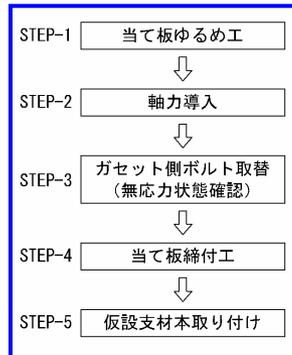
- 軸力導入後の斜材のねじれ防止
- 斜材の死荷重によるたわみの抑制
- 風等による振動の抑制
- 鉛直方向の調整



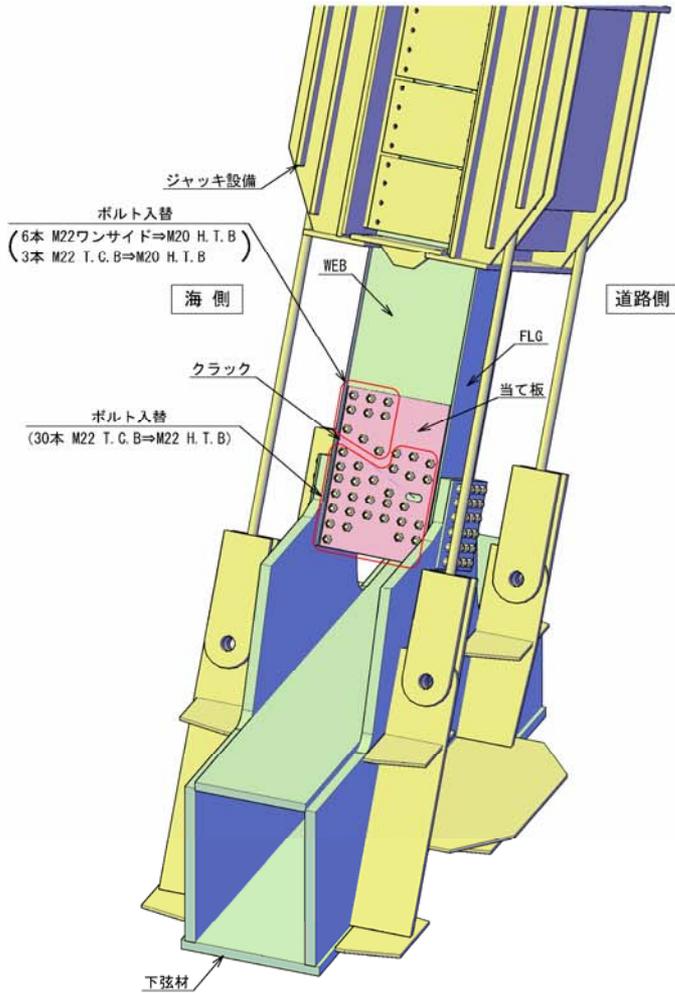
本復旧用仮設支材は、**本体部材に孔明け及び溶接することなく**取り付けた。

# ④ 軸力導入工（1日目）

## 1) 軸力導入時施工ステップ

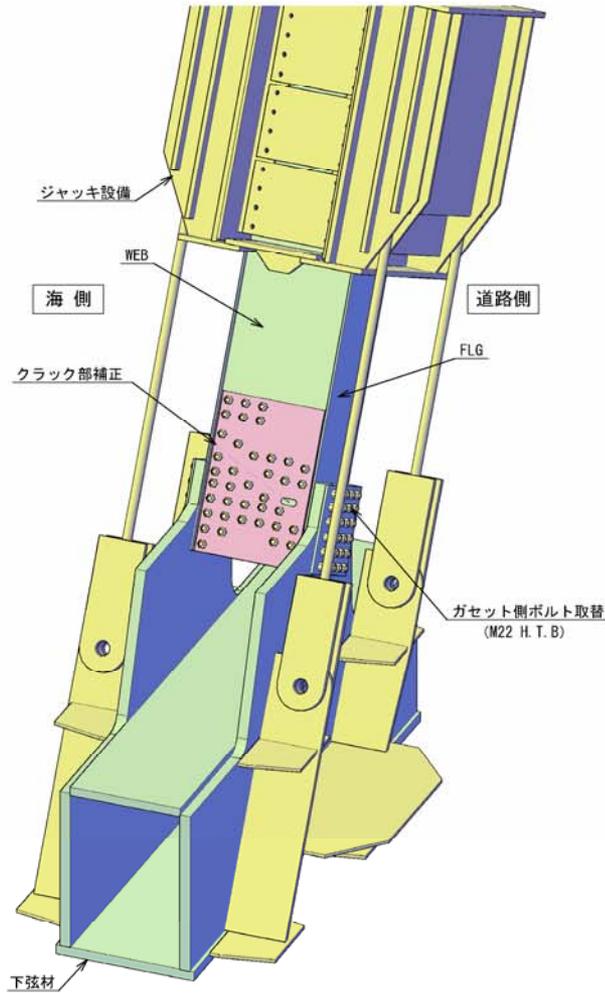


STEP-1 : 当て板ゆるめ工

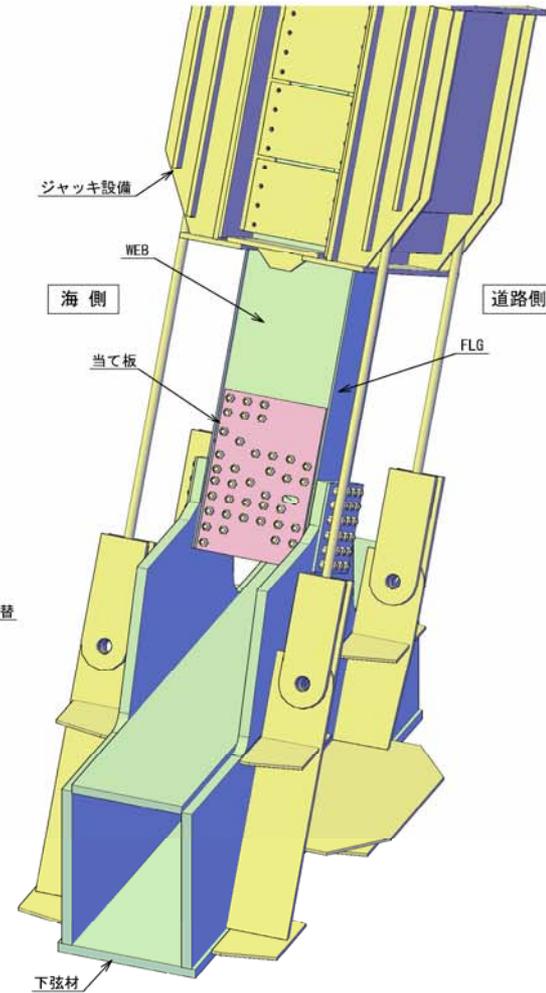


STEP-2 : 軸力導入

STEP-3 : ガセット側ボルト取替 (無応力状態確認)

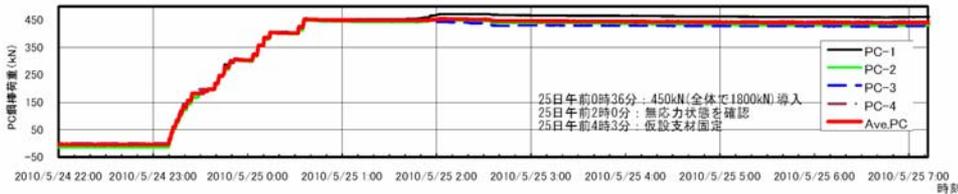


STEP-4 : 当て板締付工

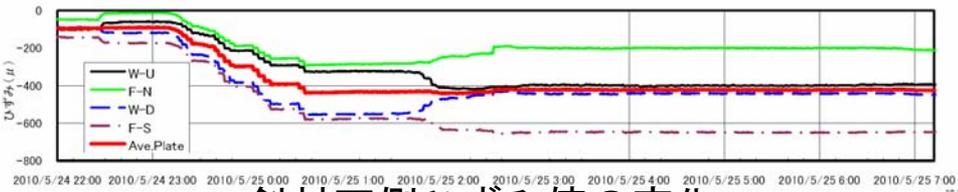


## 2) 軸力導入状況 STEP-2 軸力導入

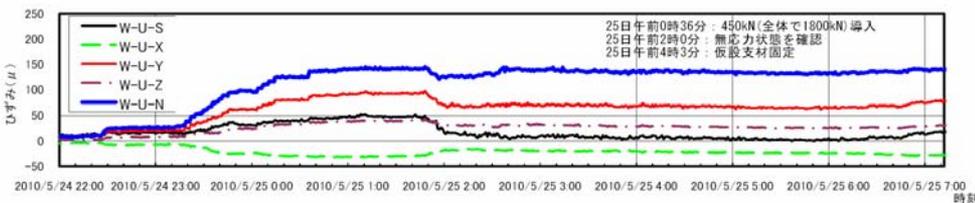
軸力を1本当たり25KNずつ導入し、**目標値1本当たり450KNまで導入**した。導入しながら、斜材本体のひずみゲージの計測及び亀裂断面の形状変化を同時に計測した。



PC鋼棒導入軸力の変化



斜材下側ひずみ値の変化

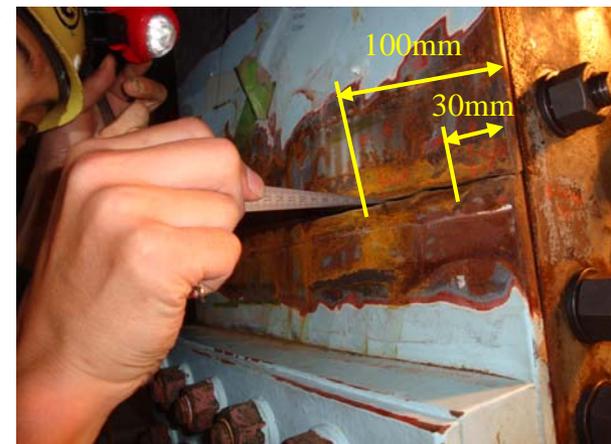


斜材上側ひずみ値の変化

- PC鋼棒の軸力が上昇することにより、斜材下側のひずみ値が低下し、PC鋼棒へ荷重移動したことが確認できる。
- 軸力導入により、**破断面の隙間及びねじれが改善**された。

### 破断面計測結果

|       | 隙間 (mm) |         | ねじれ (mm) |
|-------|---------|---------|----------|
|       | 30mm位置  | 100mm位置 |          |
| 100KN | 2.8     | 2.6     | 2.5      |
| 200KN | 2.5     | 2.2     | 2.1      |
| 300KN | 2.1     | 1.9     | 1.5      |
| 400KN | 1.7     | 1.5     | 1.2      |
| 450KN | 1.4     | 1.4     | 1.1      |



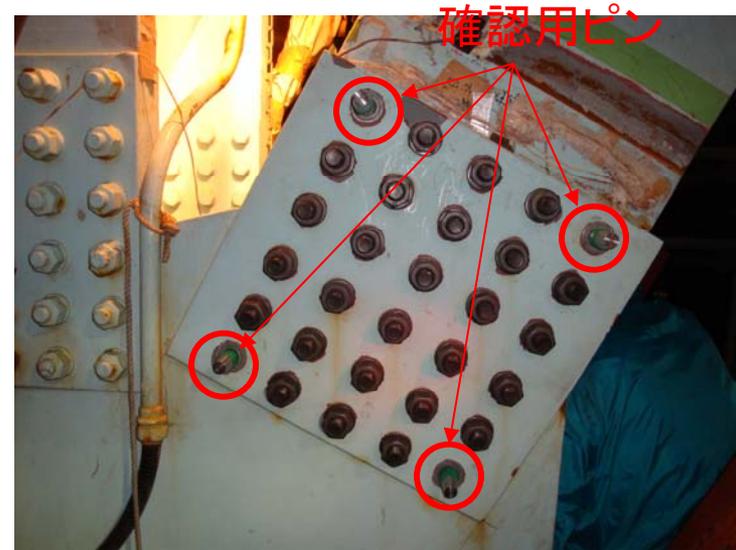
破断面計測状況

### STEP-3 無応力状態確認

- 下側ガセットの高力ボルトを入れ替えながら、無応力状態を確認した。
- 設計軸力導入後に、**下側のボルトを抜きピンを挿入し、ピンの拳動を確認**しながら、高力ボルトを緩めた。



高力ボルト入れ替え状況



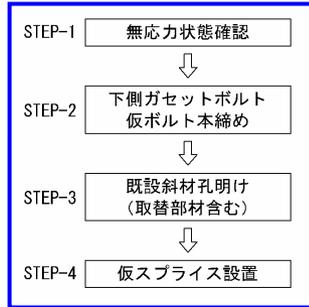
確認用ピン挿入状況

- ピンを挿入後高力ボルトを全て緩めたが、**ピン位置での斜材の動きは僅か**であり、無応力状態が確認できた。
- 作業日毎に、無応力状態を確認後作業を実施した。

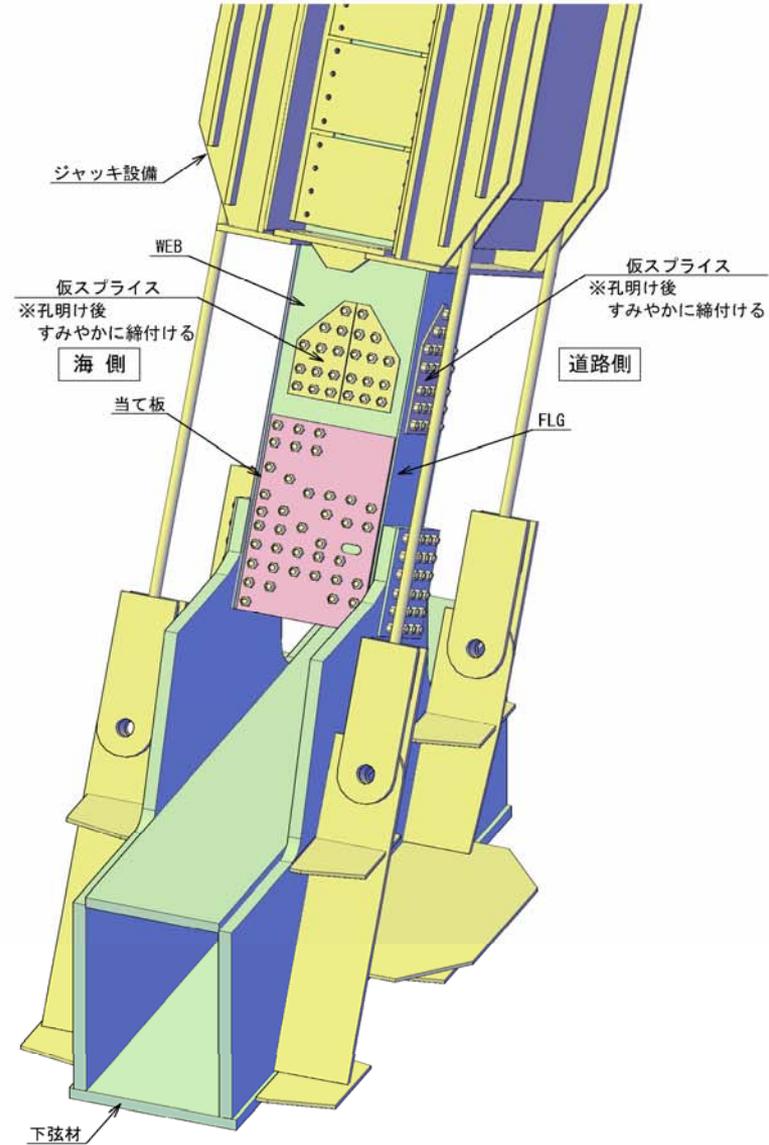
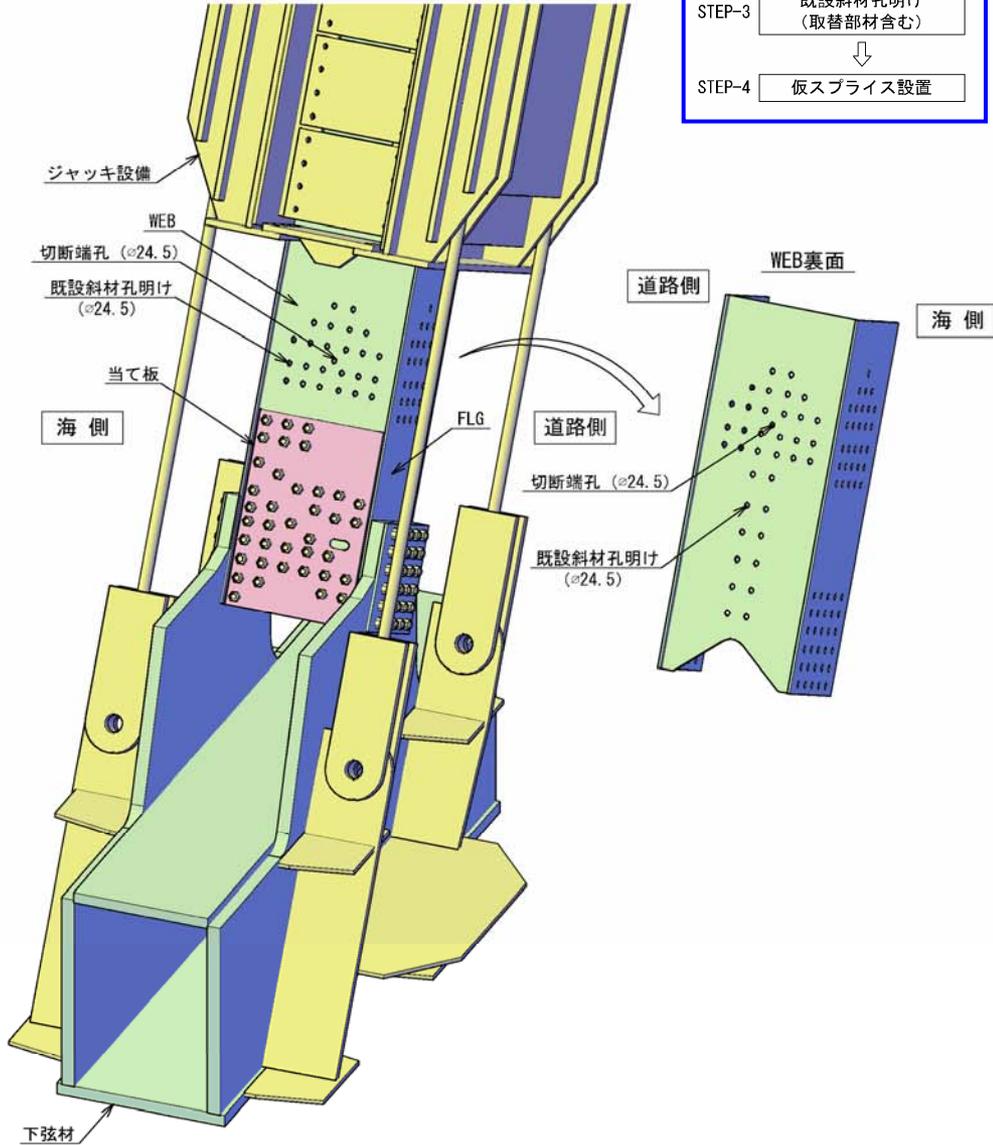
# ⑤ 孔明け (2日目)

## 1) 施工ステップ

STEP-3 : 既設斜材孔明け (取替部材含む)



STEP-4 : 仮スプライス設置



## 2) 施工状況

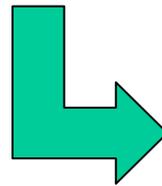
### 孔明け・当て板設置

当て板には、新設斜材のスプライスからフィルム型をとった仮スプライスを作成使用した。仮スプライスは孔明け時のガイドとして使用し、現場での孔明け精度を向上させた。



孔明け前  
仮スプライス設置

孔明け状況



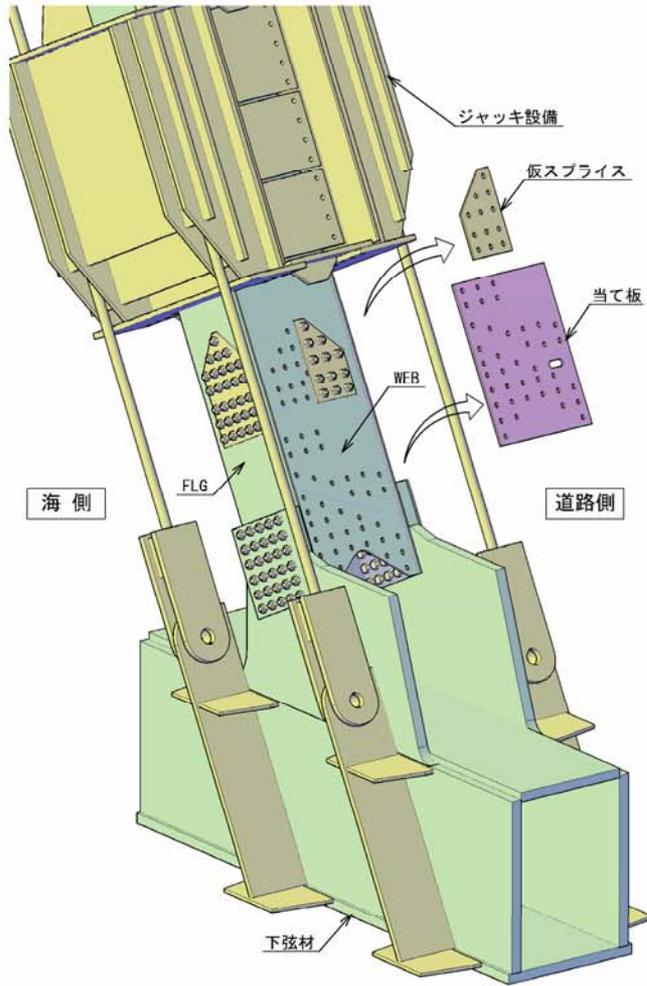
当て板設置

# ⑥斜材切断・撤去・設置 (3日目)

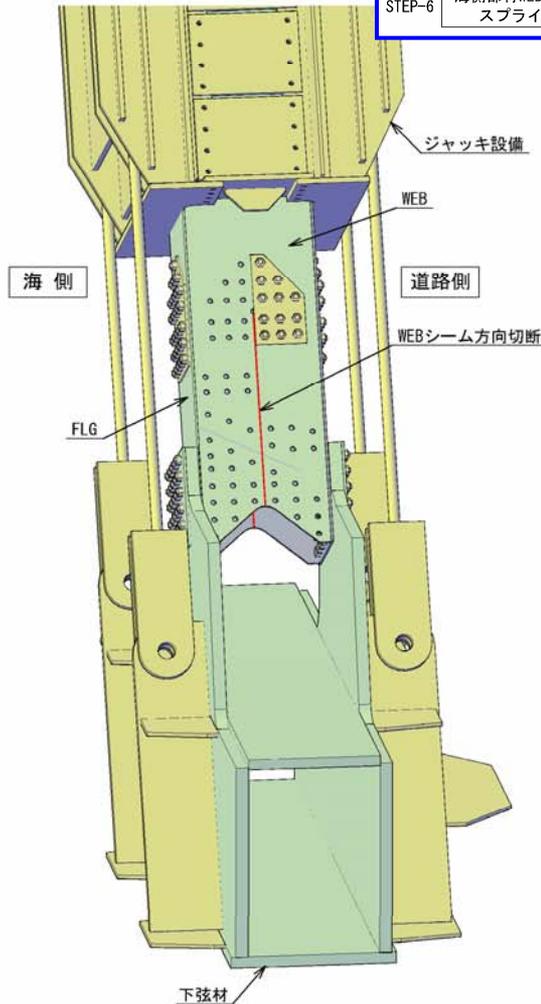
## 1) 切断施工ステップ

- STEP-1 無応力状態確認
- ↓
- STEP-2 下側ガゼット  
仮高力ボルト本締め
- ↓
- STEP-3 当て板撤去
- ↓
- STEP-4 WEBシーム方向切断
- ↓
- STEP-5 WEBシーム方向当て板設置
- ↓
- STEP-6 海側部材WEB、FLG切断  
スプライス設置

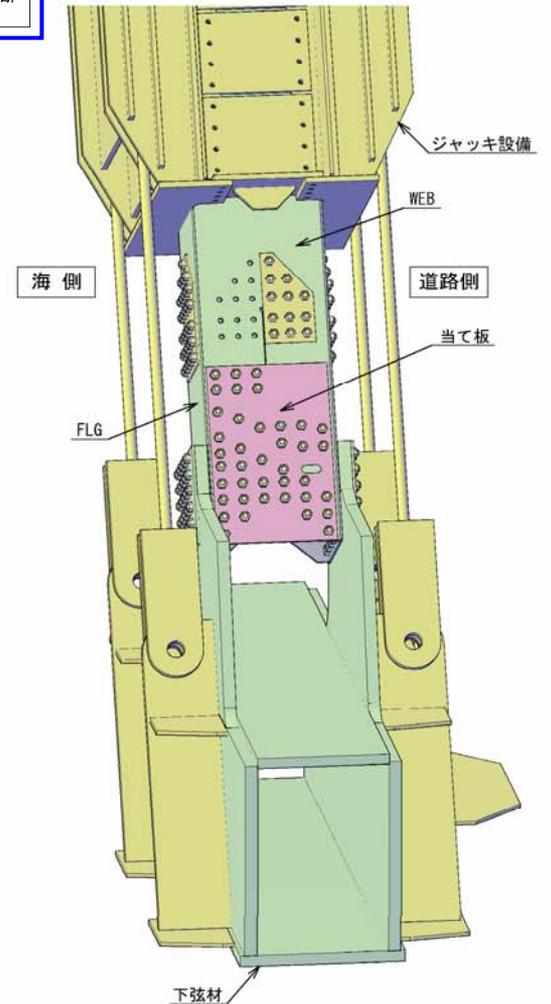
STEP-3 : 当て板撤去



STEP-4 : WEBシーム方向切断



STEP-5 : WEBシーム方向当て板設置

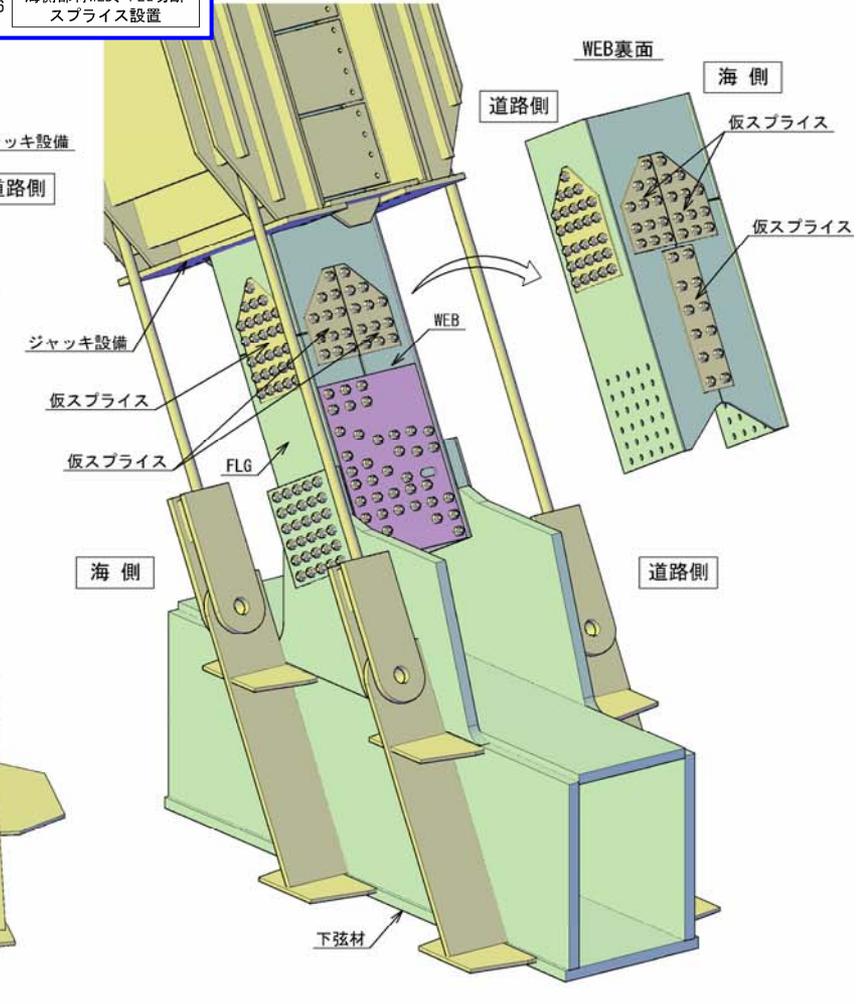
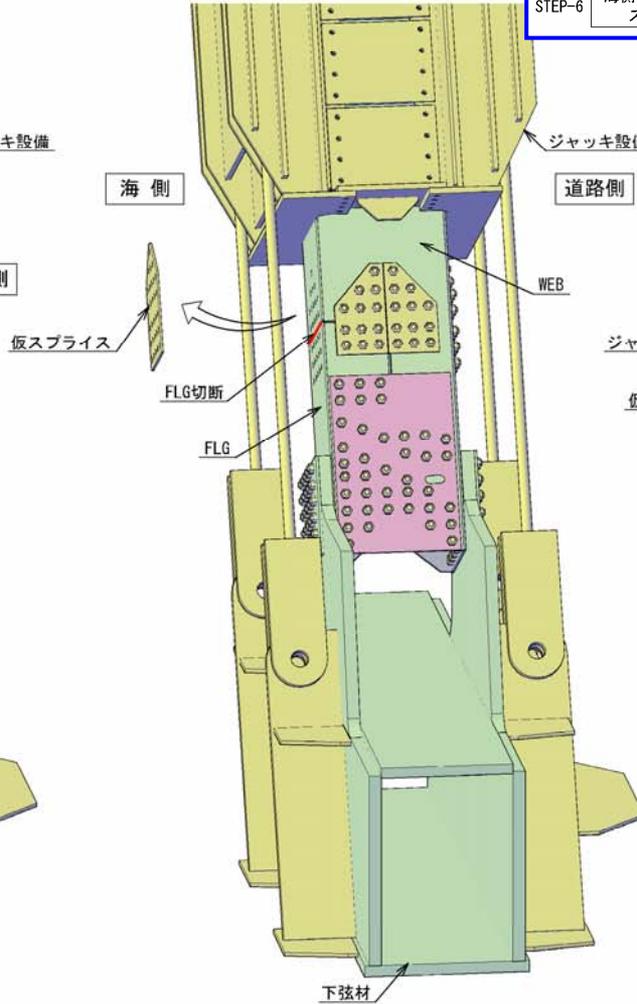
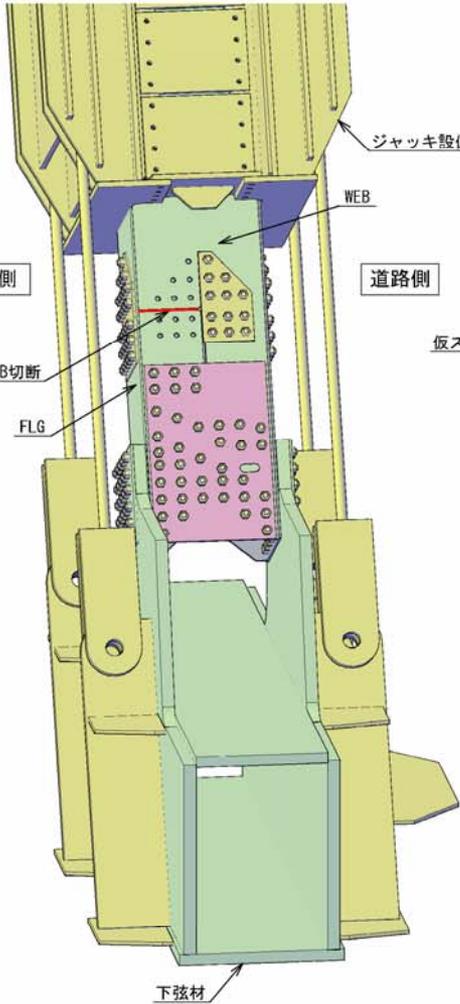


- STEP-1 無応力状態確認
- ↓
- STEP-2 下側ガセット  
仮高カボルト本締め
- ↓
- STEP-3 当て板撤去
- ↓
- STEP-4 WEBシーム方向切断
- ↓
- STEP-5 WEBシーム方向当て板設置
- ↓
- STEP-6 海側部材WEB、FLG切断  
スプライス設置

STEP-6 : 海側部材WEB切断

STEP-6 : 海側部材FLG切断

STEP-6 : スプライス設置



## 2) 切断施工状況

斜材を**ピースカッター**により**切断**し、切断面は面取り及び素地調整後、切断面を有機ジンクリッチペイントを塗布した。

切断状況



切断完了



面取り加工

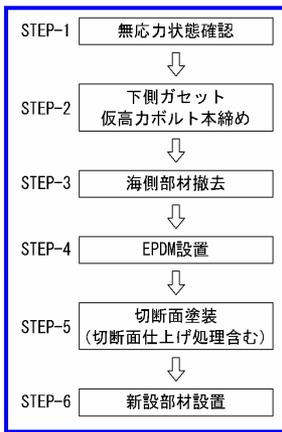


当て板再設置

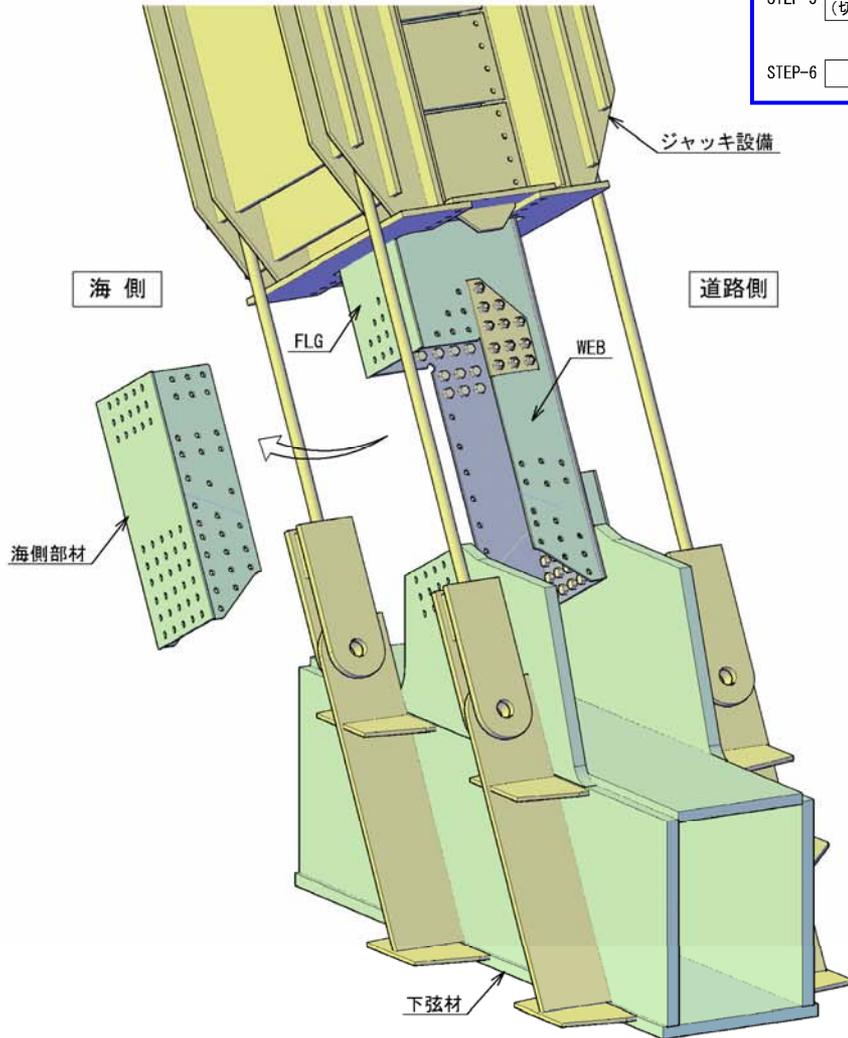


安全性を向上させるために、1面切断後には当て板を設置した。

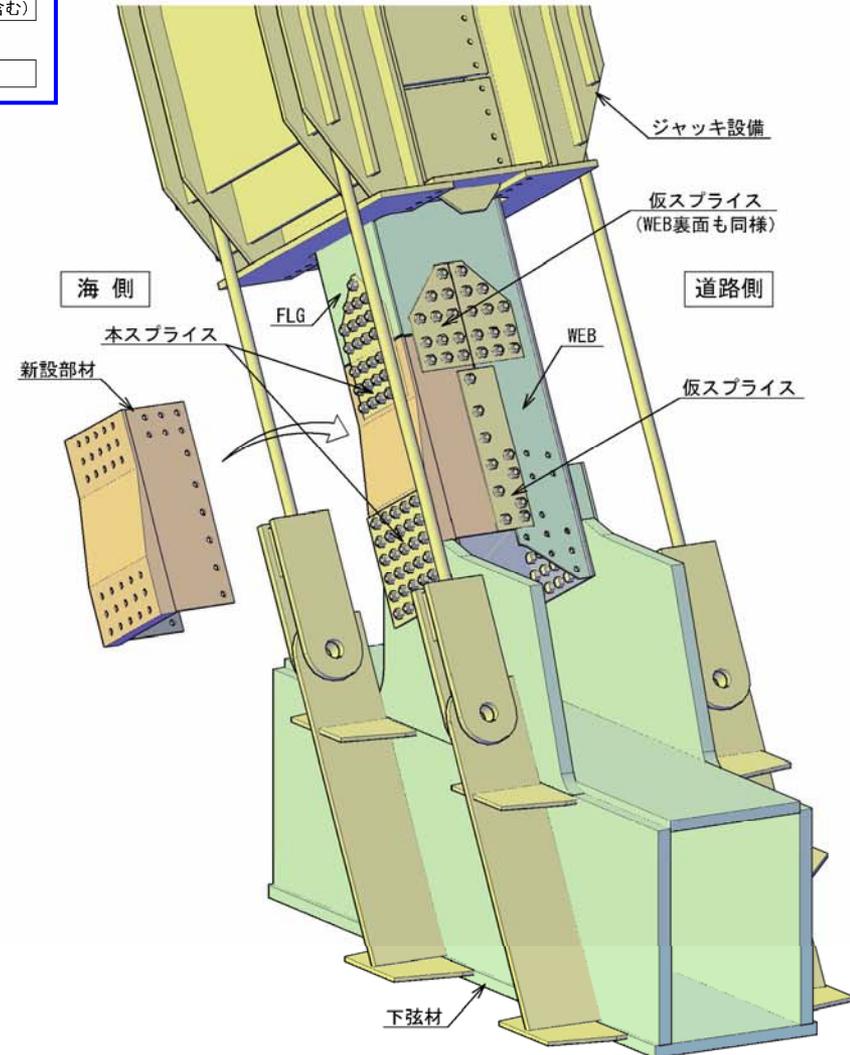
### 3) 撤去・設置施工ステップ

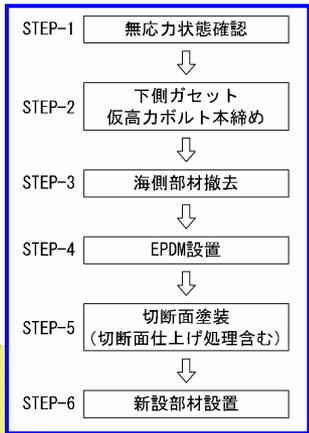


STEP-3 : 海側部材撤去

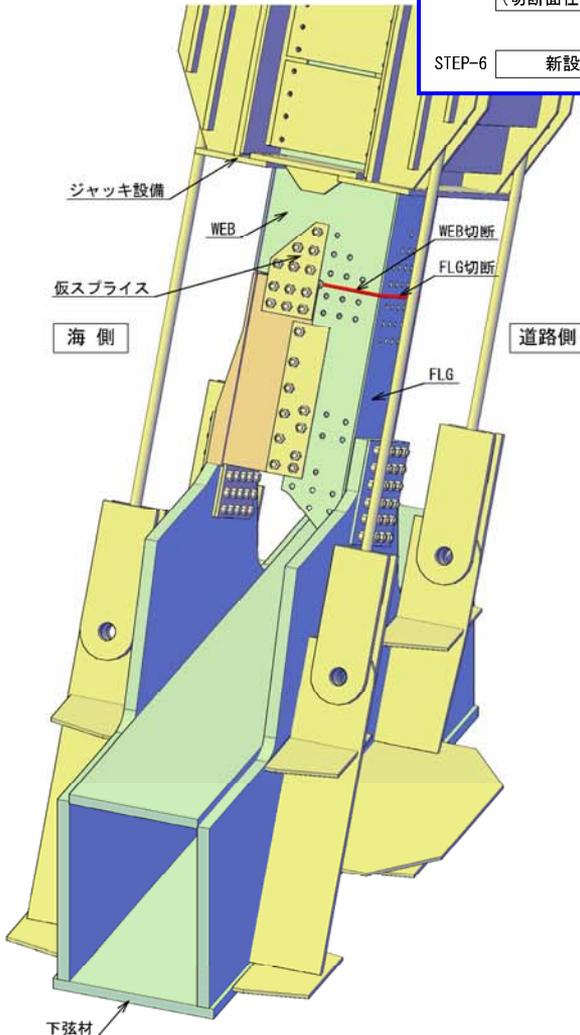


STEP-6 : 新設部材設置

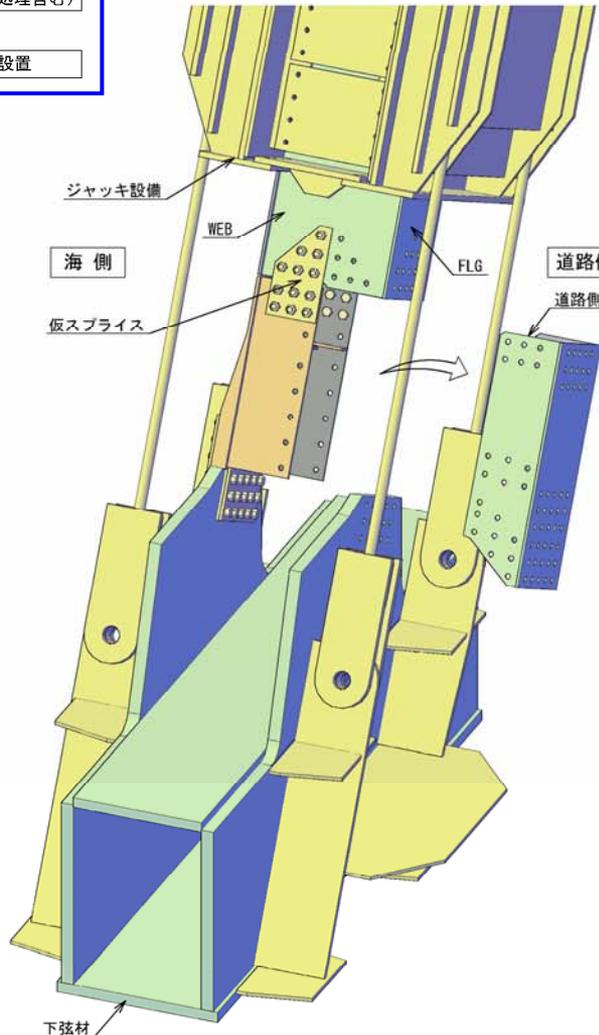




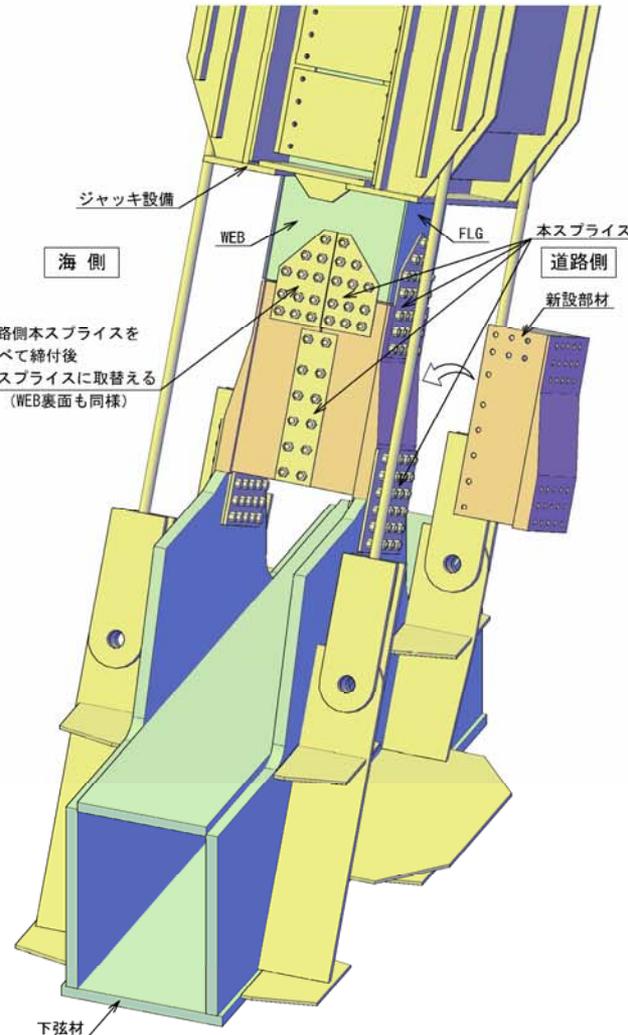
STEP-3 : 道路側切断



STEP-4 : 道路側既設部材撤去



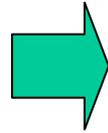
STEP-6 : 新設部材設置



#### 4) 撤去・設置施工状況

2分割に分け撤去・設置を行った。

設置撤去後、仮ボルトにより締め込み形状を確認し、防錆トルシア形高力ボルトに入れ替え本締めした。

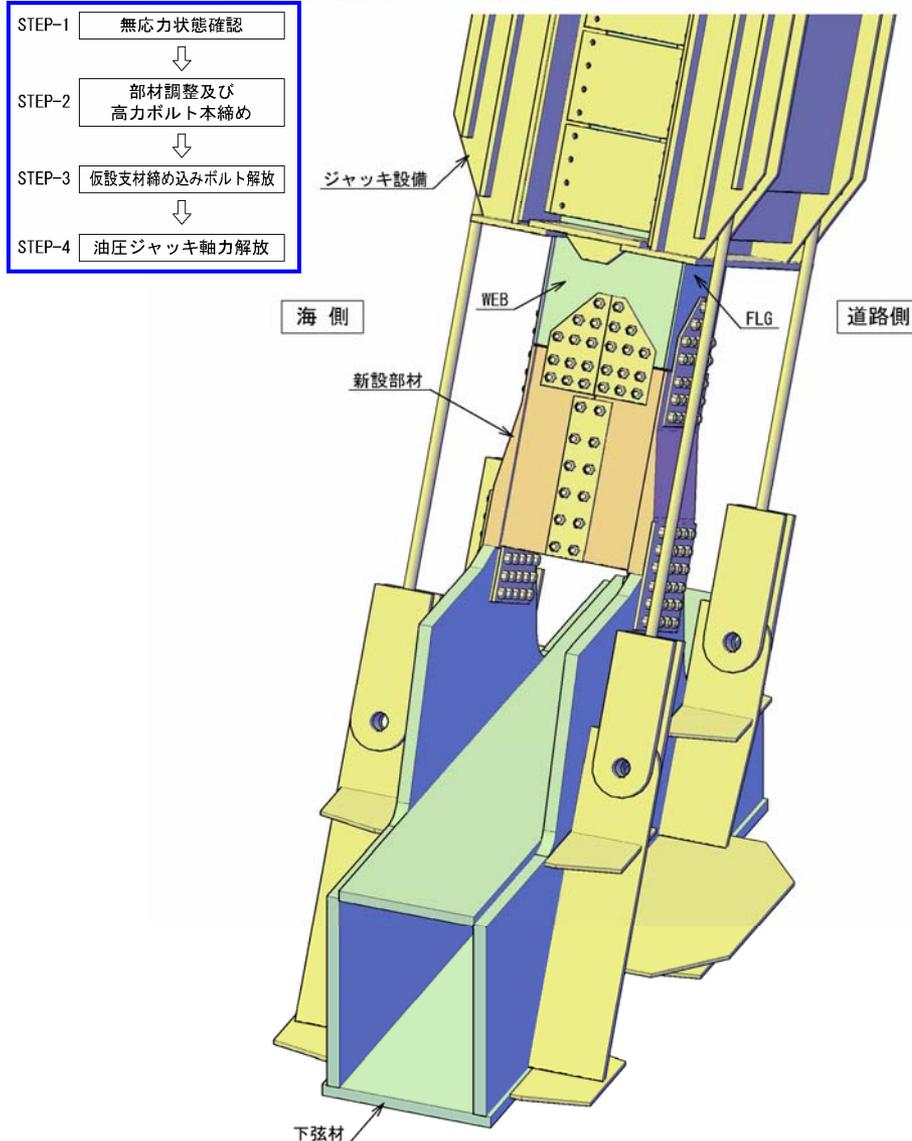


・高力ボルトは防錆を向上させるために、**ナット側を桁内面側**にした。

# ⑦高力ボルト本締め・軸力除荷（4日目）

## 1）施工ステップ

STEP-4：油圧ジャッキ軸力解放



2) 軸力除荷施工状況  
設置完了後、導入していた軸力を除荷し、**新設斜材へ軸力を移行**させた。



・最初は25KNづつ荷重を下げ、ひずみ等の影響を見て100KNづつ除荷した。

## ⑧仮設備の撤去

本復旧時及び応急復旧時に設置した、仮設備を撤去した。特に、応急復旧時、本体に溶接で設置した部材は、**ピースカッター及びグラインダー等を使用し、熱による本体への影響を低減させた。**



撤去状況



下弦材部切断状況



斜材部切断状況

## ⑨防錆

- 補修塗装は**外面はRc-Ⅲ系**、**内面はRd-Ⅲ系**で塗布した。
- 密閉ダイヤフラムがなくなることから、**EPDM**を斜材途中に設置し密閉を保つようにした。
- スプライスの隙間には、**高発泡ウレタンフォーム**を充填すると共に、塗装する面には**変成シリコン**によりシールした。



塗装状況



高発泡ウレタンフォーム



シール状況



EPDM

## 5. 完成

