

# 今後の対策（恒久対策案）

## § 4. 今後の対策（恒久対策案）

### 1. 亀裂による断面欠損対策

#### (1) 基本方針

##### 1) 断面欠損対策案

亀裂による断面欠損対策は、以下の手法が考えられる。

①当て板：鋼橋における断面欠損対策として一般的な対策工法

※本橋梁は部材が鋼管で全溶接構造であるため、構造等の検討が必要

②再溶接：残留応力・ひずみの増加・新たな溶接欠陥の発生により、品質の確保が困難

③部材取替：施工時の全面通行止め及び、施工上困難かつ大規模工事となる（図-5.1）

※上記により、断面欠損対策として当て板補強について検討する。

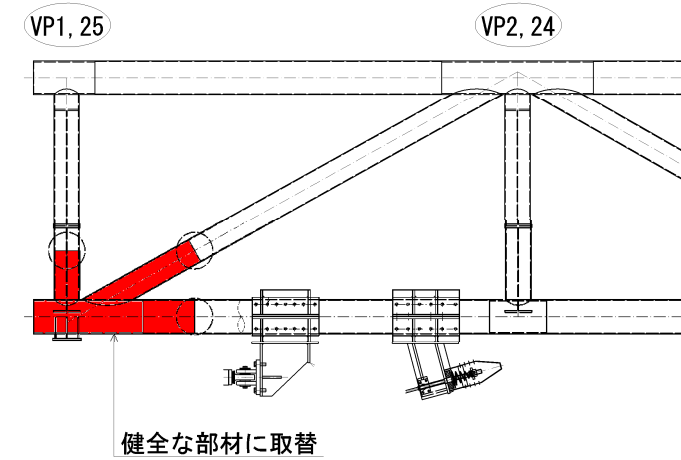
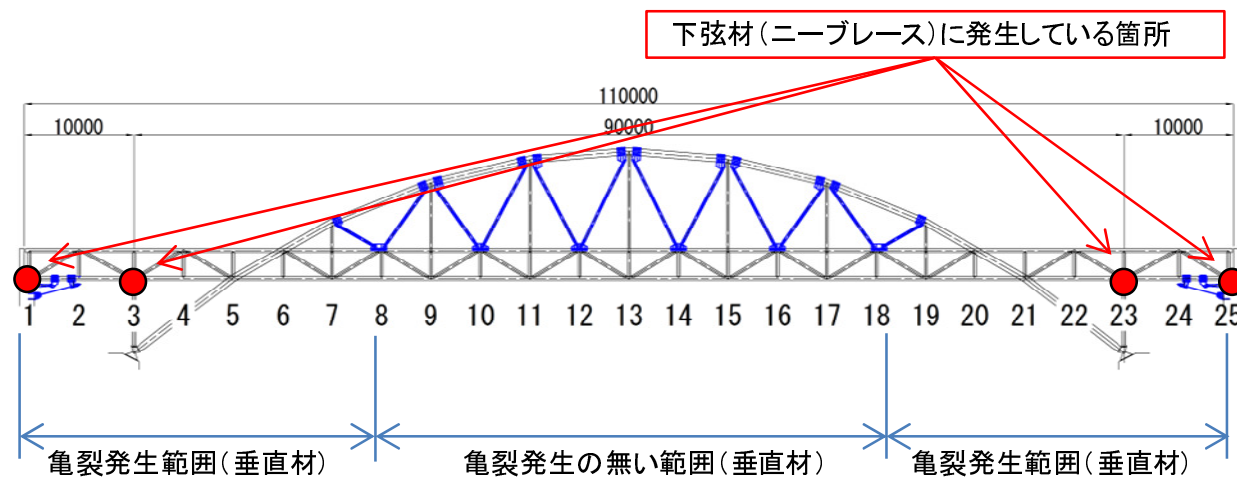


図-5.1 部材の取替イメージ

##### 2) 対策箇所

対策箇所は、亀裂発生部（切削により亀裂が消去した箇所を含む）を対象

なお、亀裂発生が無い垂直材（下図）については、今後目標とする供用年数によっては疲労亀裂が発生する可能性があるため、解析により別途対策箇所を検討するものとする。



#### 上弦材

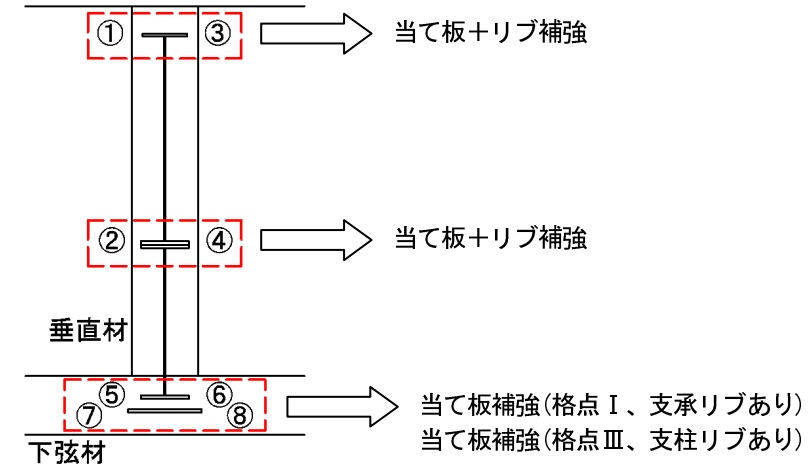


図-5.2 各部位の断面欠損対策の構造タイプ

#### (2) 断面欠損対策の構造タイプ

当て板の構造としては、部位、格点の構造により、以下を基本として検討した（図-5.2）。

・垂直材①～④：当て板+リブ補強（横桁上下フランジと垂直材を囲む構造）

・下弦材⑤～⑧：当て板補強（下弦材とニーブレースの接合部に当て板を施す構造）

※ニーブレースの撤去、又は構造変更が前提

※斜材との取り合い上、下弦材を囲む構造が困難（写真-5.1、写真-5.2）



写真-5.1 格点I (VPR1)

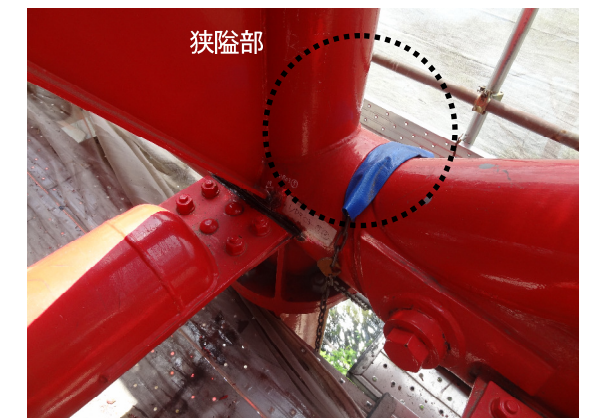


写真-5.2 格点III (VPR3)

(3) 横桁フランジと垂直材の接合部対策

1) 構造細目

当て板と垂直材の接合方法は垂直材が鋼管であるため、高力ワンサイドボルトで接合し、その他は高力ボルトにより接合するものとし、表-5.1に基づきボルトの配置計画を行う。

表-5.1 ボルトの構造細目

	ボルト径	ボルト間隔	最少縁端距離
高力ワンサイドボルト	M24	最小85mm、最大170mm	45mm
高力ボルト	M22	最小75mm、最大150mm	40mm

※高力ワンサイドボルト径は、配置可能本数が少ないため、既存耐震補強でも実績のある太径で検討  
高力ボルトは、横桁と共締めするため、既設と合わせるものとする。

2) 構造条件

- ・垂直材と横桁の添接部が上フランジで71mm、下フランジで56mmと近接しており、ボルト配置が制約を受ける(図-5.3)。
- ・上弦材と横桁上フランジの離隔が161mmと近接しているため、高力ワンサイドボルトの鉛直方向の段数が制約を受ける。また、上弦材と床版の離隔も153mmと近接しているため、横桁部のボルト配置が制約を受ける(図-5.4)
- ※整列配置の上下2列の場合、補強板厚18+縁端45mm+最小ボルト間隔85mm+縁端45=193mm>161mmとなる  
千鳥配置の上下4列の場合、補強板厚18+縁端45mm+鉛直ボルト間隔60mm+縁端45=168mm>161mmとなる  
∴鉛直方向のボルト配置は1列として検討
- ・応急対策を実施していない亀裂先端部の処置は、恒久対策時に施工する。

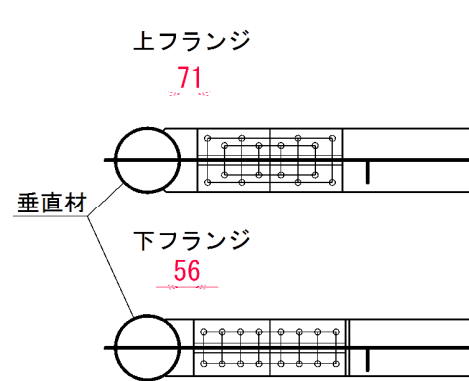


図-5.3 垂直材と横桁の添接部の離隔

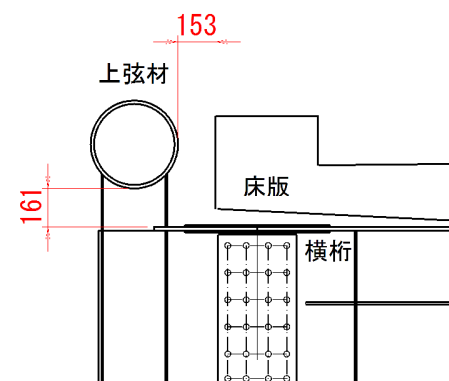


図-5.4 上弦材と横桁上フランジ・床版の離隔

3) 対策図

上記の構造細目および現地条件を踏まえて、横桁フランジ部で想定している当て板+リブ補強の上フランジ部を図-5.5、下フランジ部を図-5.6に示す。

当て板+リブ補強は、垂直材と横桁部との一体化を図る必要があるため、横桁の添接部と近接していることを勘案して、横桁側の添接部の高力ボルトを一時取外し共締めする構造とした。

なお、床版と干渉する箇所は、部分的に床版を取り壊す必要がある。

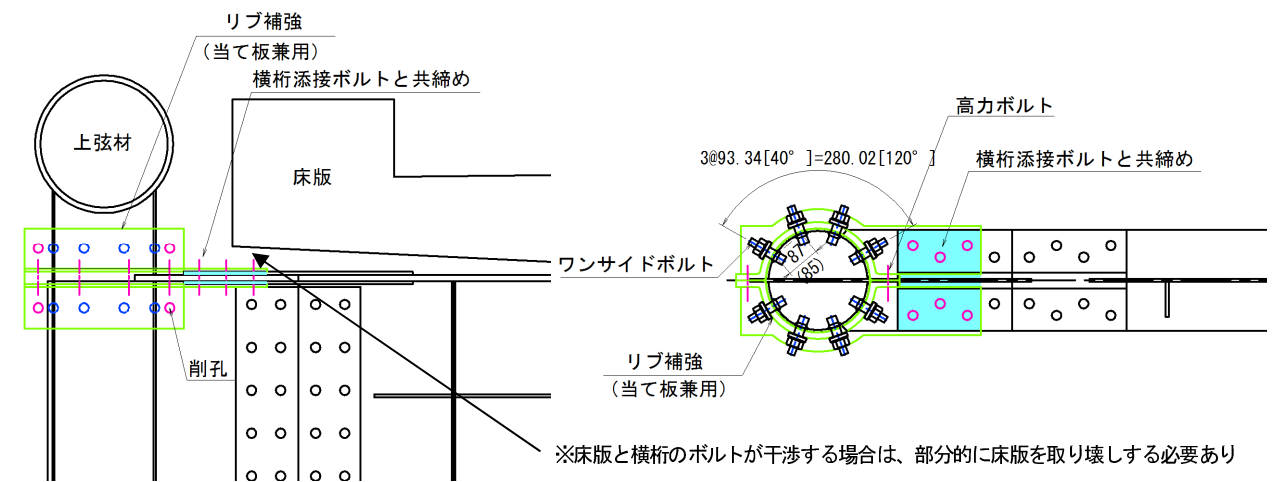


図-5.5 上フランジ対策図 (当て板+リブ補強)

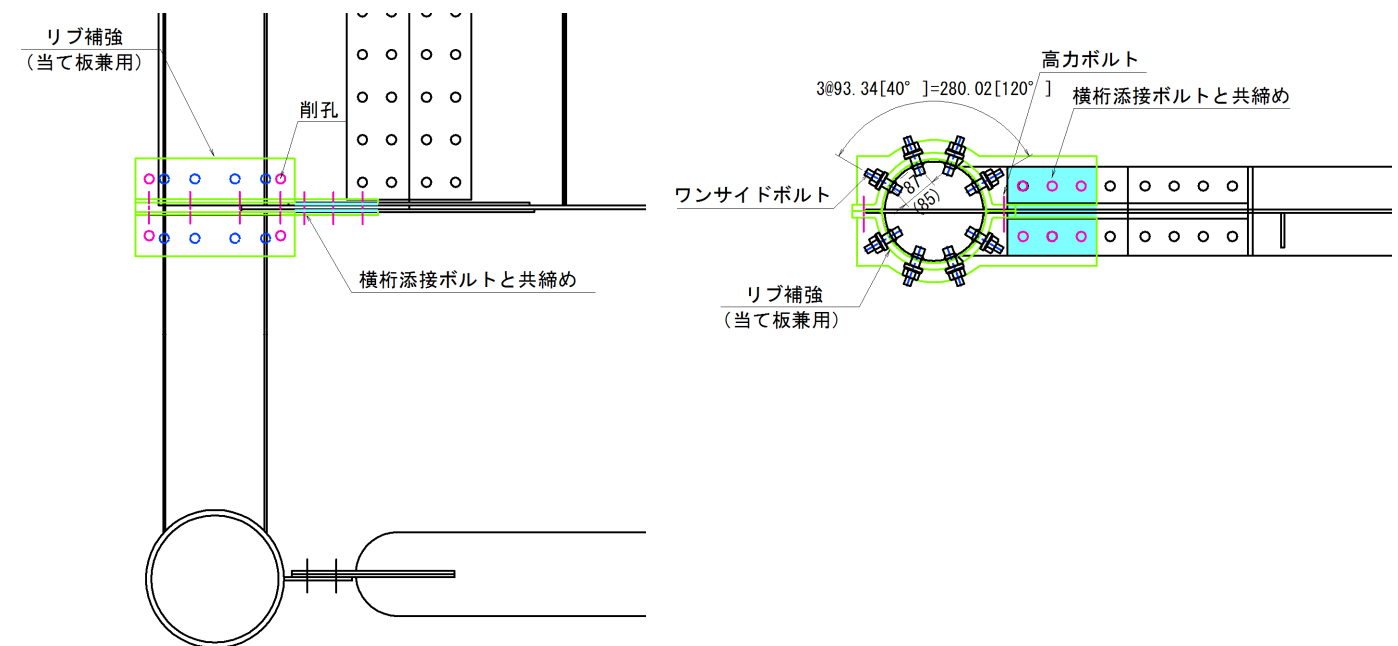


図-5.6 下フランジ対策図 (当て板+リブ補強)

写真：横桁上フランジ



写真：垂直材と横桁の接合部



#### 4) 検討方針

対策工法は、図-5.7の検討フローに従い検討する。

- ①当て板+リブ補強により、新たに疲労損傷の可能性がある箇所を推定  
 ※当て板と垂直材の接合部、横桁添接部端部の母材、横桁と縦桁のフランジ接合部が推定される (図-5.8)
- ②上記①の箇所で応力度による疲労照査・累積損傷度による疲労照査を実施 (供用年数を検証)
- ③当て板+リブ補強で疲労照査を実施した結果、損傷の原因と推定される横桁の面外変形が当て板+リブ補強により軽減 (供用年数: 目標設定) できない場合に、横桁の面外変形を軽減するバイパス部材 (プレーキトラス等) を検討し、疲労照査を満足する補強工法を決定する。
- ④補強については鋼管部にワンサイドボルトでの接合をすることから、接合技術の妥当性を検証することを目的として、供試体を用いた実証実験を行う。

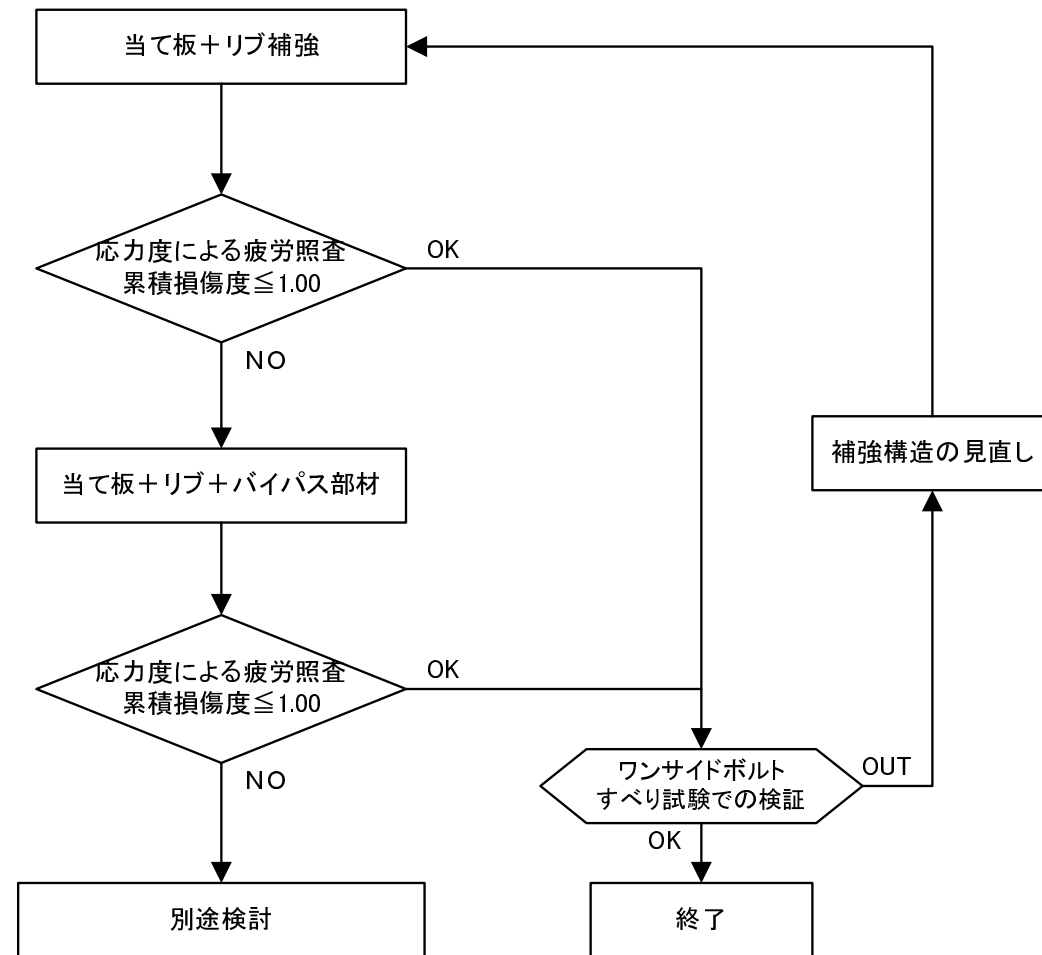


図-5.7 検討フロー

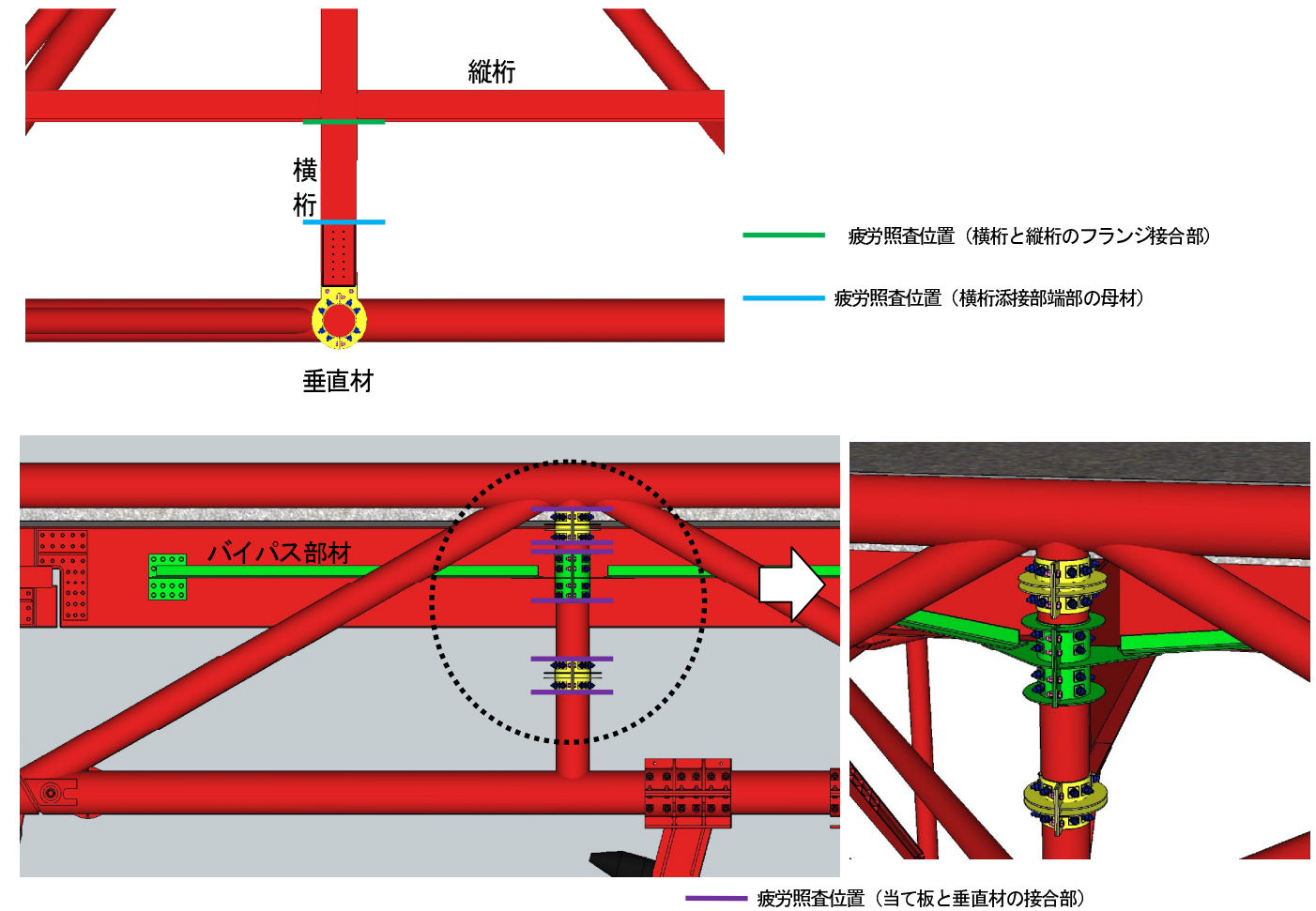


図-5.8 疲労照査位置



(4) ニーブレースフランジ接合部の対策

1) 構造細目

当て板と下弦材の接続方法は下弦材が鋼管であるため、高力ワンサイドボルトにより接合するものとし、前述の横桁フランジ接合部の対策と同様に表-5.1に基づきボルトの配置計画を行う。

2) 構造条件

- ・当て板の構造として、斜材及びヒンジ部（ピン構造）により下弦材を囲む補強ができない。
- ・ニーブレースフランジ及び水平材（ガセットプレート）を切断する必要がある。
- ・ニーブレースフランジ接合部の損傷箇所は、下弦材に支承リブ、又は支柱リブが取り付けられている2タイプあり、それぞれボルト配置が制約を受ける（図-5.9、5.10）。
- ※ただし、支承部については、H24 道示に基づく耐震補強により、取替を行う可能性がある。
- ・支柱部の下弦材は、ピン構造が近接しており、ボルト配置に制約を受ける。また、ピン構造は、鋼管内の鞘管と一体化され、橋軸方向にスライドできる構造となっている（図-5.10）。
- ・応急対策を実施していない亀裂先端部の処置は、恒久対策時に施工する。

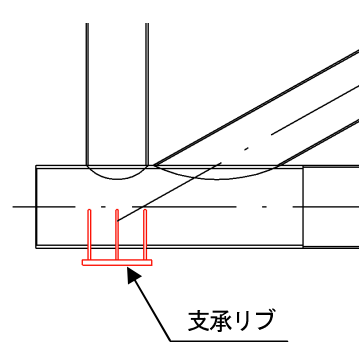


図-5.9 支承リブ

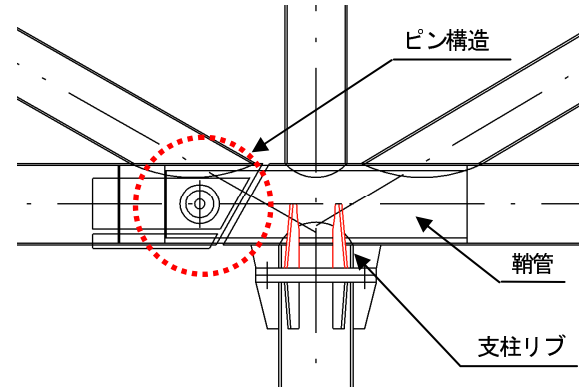
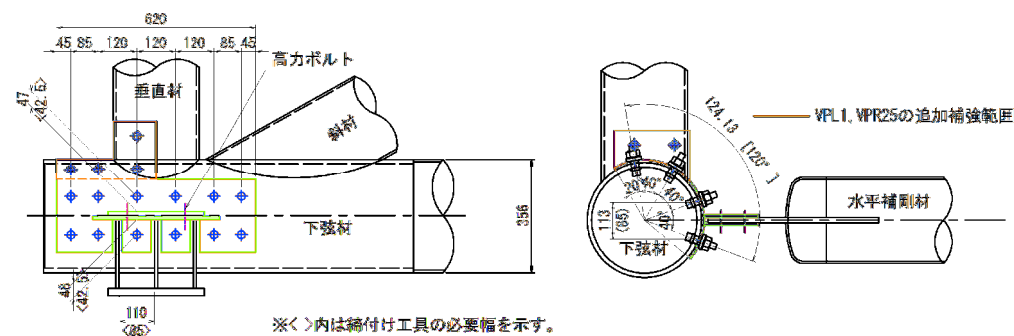


図-5.10 支柱リブおよびピン構造

3) 対策図

上記の構造細目および現地条件を踏まえて、ニーブレースフランジ接合部で想定している当て板補強を以下に示す。損傷箇所は、支承リブおよび支柱リブが存在しており、各々でリブを存置させたままの対策・リブを撤去再設置させる2タイプについて検討した。（図-5.11～5.14）

【支承部：VP1・25（リブ存置）】



※リブ存置：リブを避けるために配置できるボルト本数が少なく、当て板が切欠構造となる。

図-5.11 支承リブ部（リブ存置）

【支承部：VP1・25（リブ撤去再設置）】

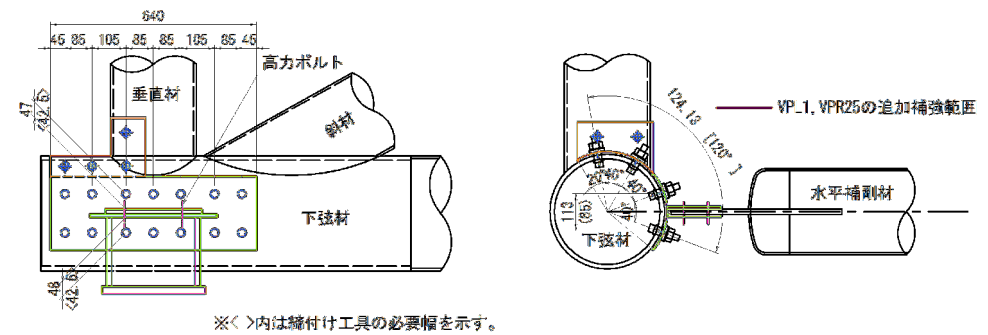


図-5.12 支承リブ部（リブ撤去再設置）

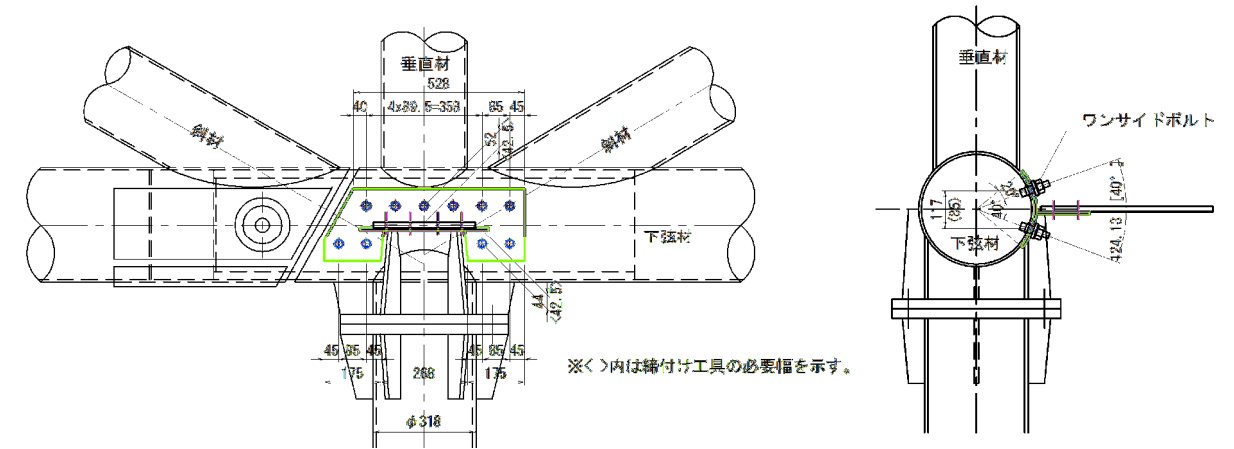


図-5.13 支柱リブ部（現況）

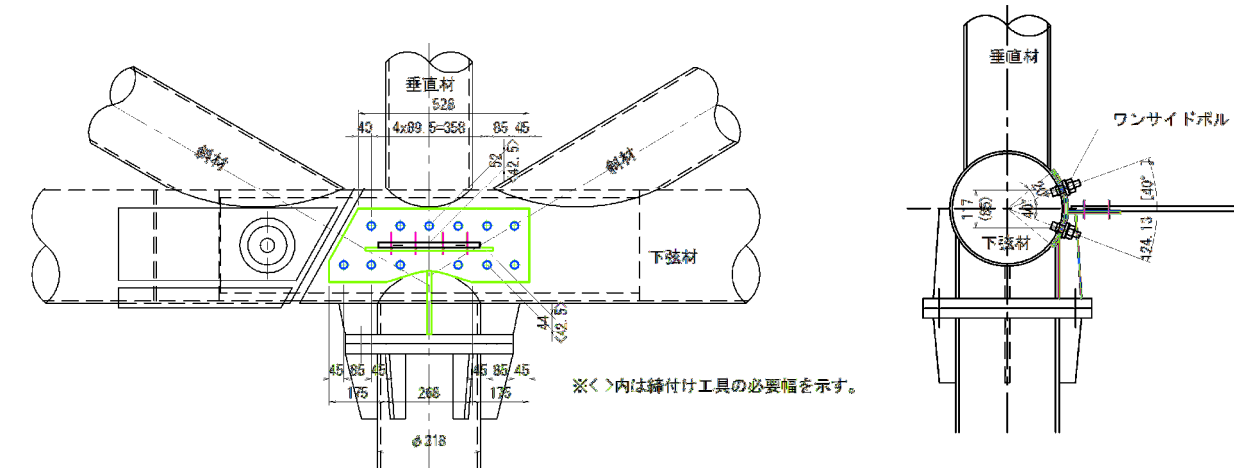


図-5.14 支柱リブ部（改良）



4) 検討方針

対策工法は、図-5.15 の検討フローに従い検討する。

- ①当て板+ニーブレース（撤去又は構造変更：図-5.16、17）により新たに疲労損傷の可能性がある箇所を推定  
 ※当て板と垂直材の接合部、横桁添接部端部の母材、横桁と縦桁のフランジ接合部、ニーブレースと垂直材の接合部、水平材と下弦材の接合部が推定される（図-5.18）
- ②上記①の箇所で応力度による疲労照査・累積損傷度による疲労照査を実施（供用年数を検証）
- ③当て板+ニーブレース（撤去又はディテールの変更：図-5.16、17）で疲労照査を実施した結果、損傷の原因と推定される横桁の面内変形の軽減（供用年数：目標設定）できない場合に、横桁の面内変形を軽減するバイパス部材（対傾構等）を検討し、疲労照査を満足する補強工法を決定する。
- ④補強については鋼管部にワンサイドボルトでの接合をすることから、接合技術の妥当性を検証することを目的として、供試体を用いた実証実験を行う。

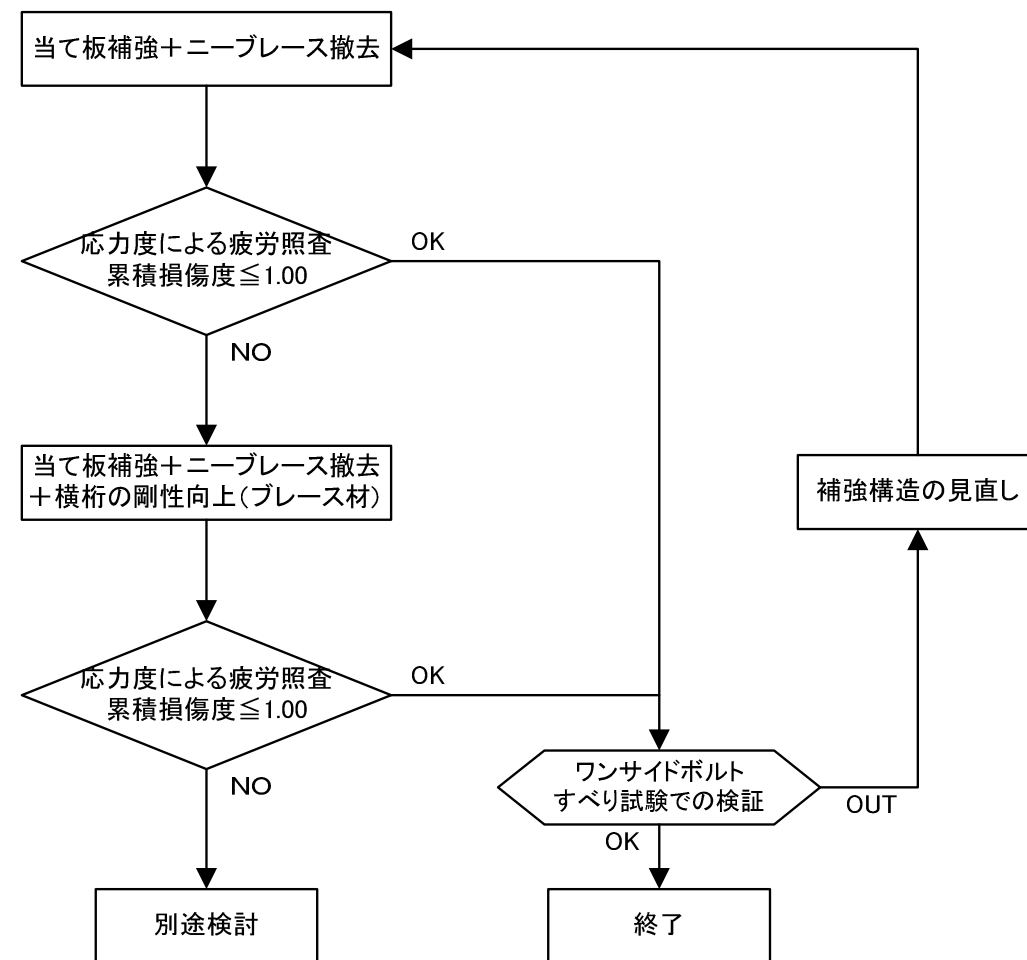
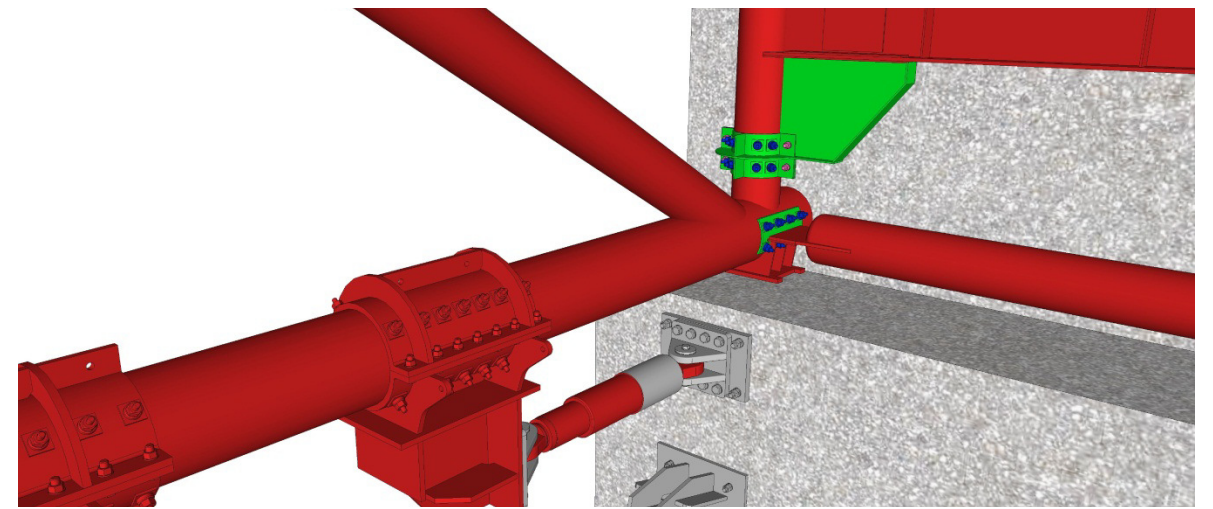


図-5.15 検討フロー



※現在の構造で活荷重は、横桁のウェブから垂直材、ニーブレースから下弦材に分担して伝達しているが、ニーブレースを一部撤去することにより、全ての鉛直力を垂直材が負担することになる。ニーブレースを完全に撤去した場合は、図-5.17 に示すように横桁のモーメントの増加による応力増が懸念される。

図-5.16 ニーブレース一部撤去

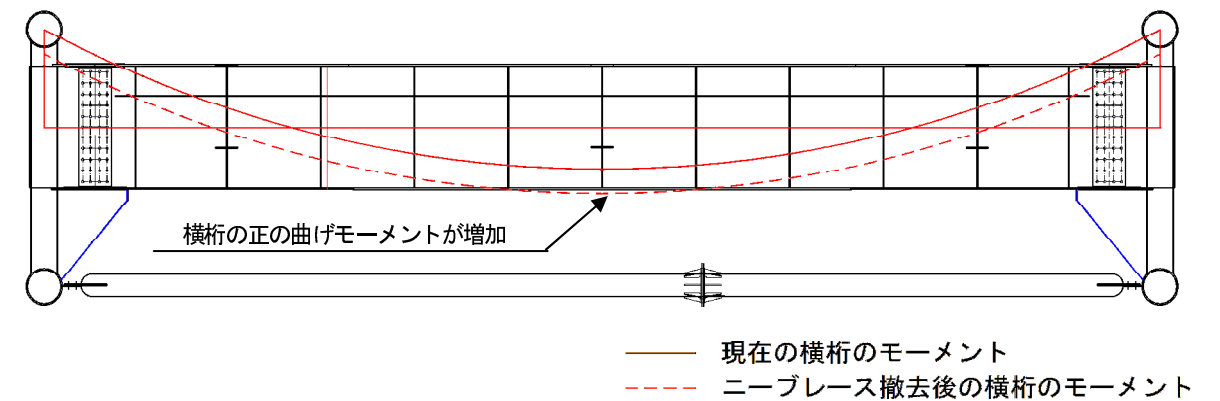


図-5.17 ニーブレース撤去後の横桁のモーメントの変化

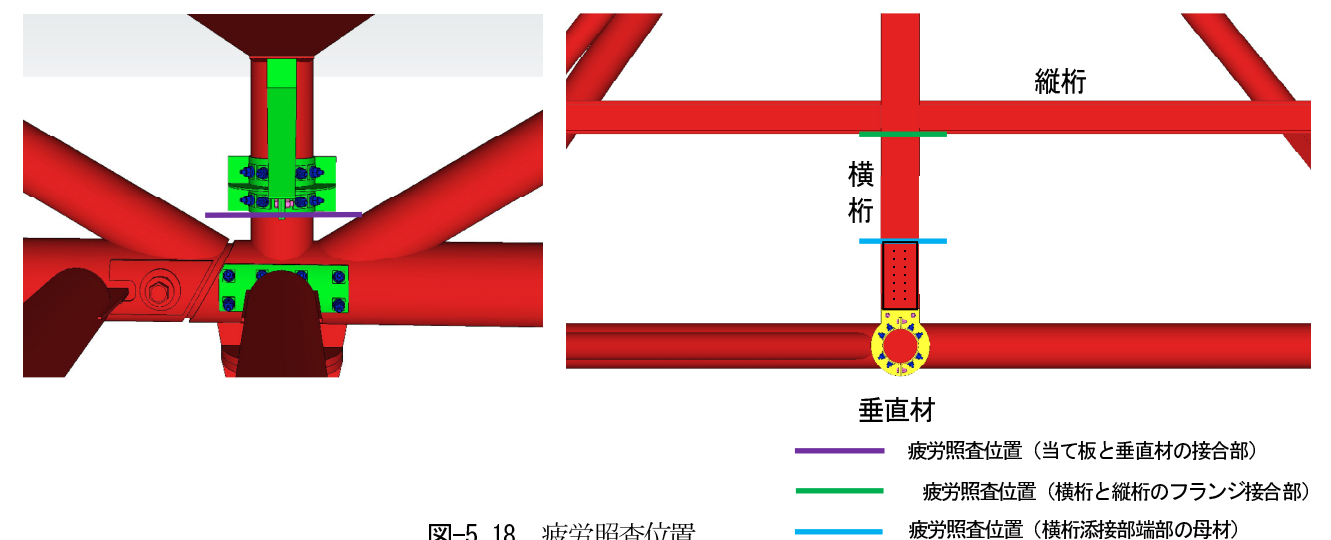


図-5.18 疲労照査位置

## (5) 高力ワンサイドボルトのすべり試験

### すべり試験の目的

垂直材（φ267.4mm）に高力ワンサイドボルトにより当て板補強を行う場合、以下の考えられる課題を解決するため、実験を実施する。

- ① 曲率が厳しい曲面、かつ実際の現場で行われる接合面の処理方法でのワンサイドボルトのすべり係数  
※すべり係数は、引張試験機側およびボルト間に設けたπ型ゲージの変形の相関により着目して算出
- ② 曲面内側に曲面座金が使用できない高力ワンサイドボルトにおける、ボルトの曲げ応力の影響  
※高力ワンサイドボルトにひずみゲージを貼付（2箇所）することにより、ボルトの曲げ応力の影響を確認
- ③ 曲面部における母材と添接板の密着度  
※すべり試験の供試体を使用して、すきまゲージ、水の浸透で確認

### 供試体の製作条件

供試体の条件は以下とする。

- ① 高力ワンサイドボルトは、伊達橋の耐震補強でも使用されている M24（F8T 相当）とする。
- ② 接合面は、1面とする。
- ③ 添接板の縁端、ボルト間の接合面を確認するため、ボルト配置は 2×2 列を最少とする。
- ④ 鋼板は、SM400 材（又は SKK400）、板厚 9.3mm を使用する。
- ⑤ 供試体は、油圧万能試験機（2000KN）を使用する。
- ⑥ 母材の接合面は 2 種ケレン+高摩擦型有機ジンクリッチペイント、添接板の接合面は無機ジンクリッチペイントとする。また、内面は、無塗装（腐食状態等の検討）とする。

### 供試体の形状

想定される供試体を図-5.19、5.20 に示す。

供試体 A は、鋼管を使用した案で、偏心荷重が作用しない構造となっているが、全長が約 1.7m あり、2000KN 試験機では引張試験が困難と考えられる。供試体 B は、2000KN 試験機での引張試験が可能となるように、最小限のボルト配置とした案である。

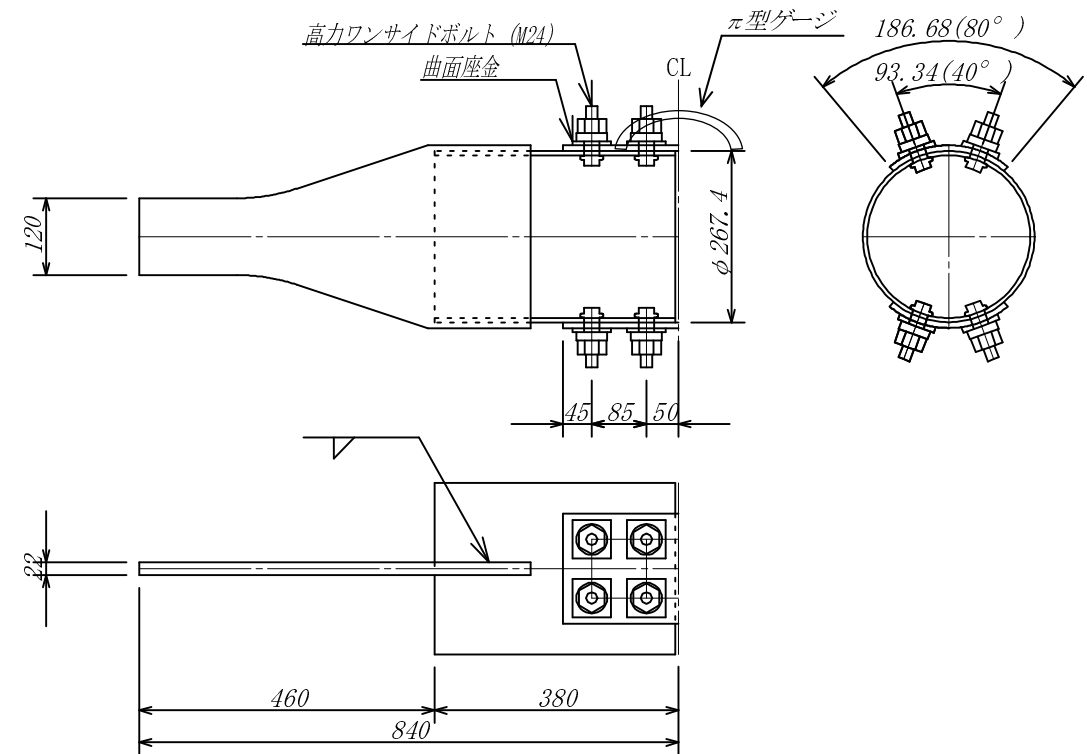


図-5.19 供試体 A（鋼管を使用）

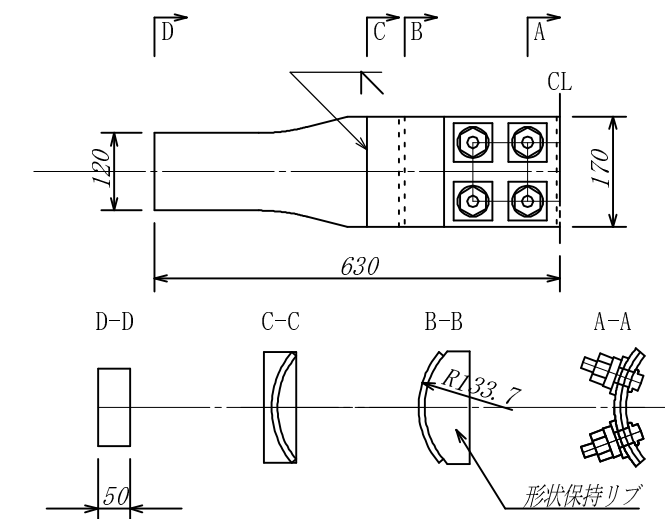


図-5.20 供試体 B（鋼板を使用）



## 2. 補助対策

前述の検討フローより、断面欠損対策として横桁フランジ部は「当て板+リブ補強」、ニーブレースフランジは「当て板補強+ニーブレース撤去」を基本案としており、疲労照査により新たに疲労亀裂の恐れがある場合は、補助対策を追加する必要がある。以下に、補助対策の概要を示す。

### (1) 横桁フランジの曲げ応力対策（横桁の面外曲げ対策）

#### ①対策方法

バイパス部材（ブレイキトラス等）の設置（図-5.21）

#### ②概要

- ・垂直材と横桁をバイパス部材で連結することにより亀裂の発生原因である横桁の面外方向の変形を抑制する工法である。
- ・垂直材側はワンサイドボルト、横桁側は横桁の高力ボルトで一体化を図る。

#### ③課題等

- ・当て板+リブ補強の効果を確認し、所要の耐用年数が得られない場合に併用を検討する。
- ・ブレース部材と主構トラスとの接合部において、垂直材に負担を増加させない構造とする必要がある。

#### ④概要図

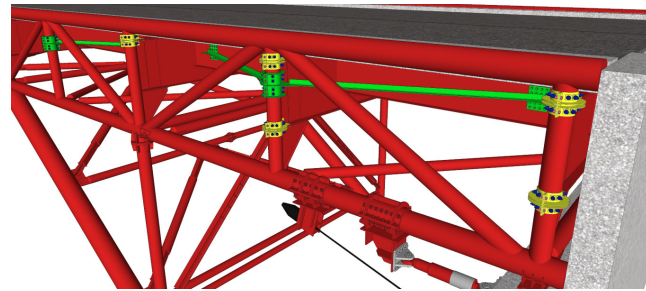


図-5.21 バイパス部材（ブレイキトラス）※イメージ

### (2) 横桁、ニーブレースのフランジの直応力対策（横桁の面内曲げ対策）

#### ①対策方法

バイパス部材（対傾構）の設置（横桁の剛性向上）（図-5.22）

#### ②概要

- ・下横構の水平材と横桁の間にバイパス部材を設ける事により、横桁フランジの応力を低減する工法である。
- ・下横構の水平材は、取り外す必要があるため、形鋼を採用する。

#### ③課題等

- ・横桁フランジの応力を低減することが必要な場合に、採用を検討する。
- ・取り付け部が当て板補強部となるため、構造上必要なボルト本数を配置可能か検討が必要である。
- ・下弦材の水平材を撤去する必要があるため仮設のバイパス材を設置して取り付けを行う。

#### ④概要図

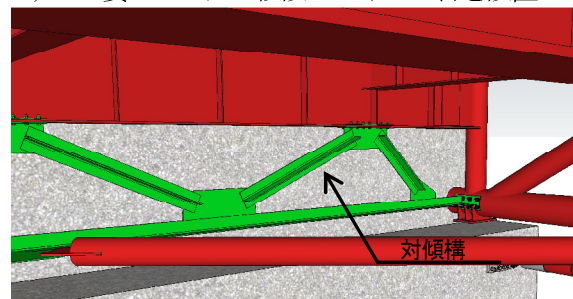


図-5.22 対傾構 ※イメージ

## 3. その他対策

### (1) 沓の接触対策

#### ①対策方法

支承の取り換え

#### ②概要

- ・H24 道示に適合した支承に取り換えると共に支承と下弦材の接触を改善する工法である。

#### ③課題等

- ・支承の取り換えのためのジャッキアップ時（補剛材部は無応力状態）に、亀裂を除去し新たに溶接を行う。

#### ④写真



写真-5.3 支承の接触状況

### (2) 鋼管内の滞水対策

#### ①対策方法

- ・発砲ウレタン樹脂注入

#### ②概要

- ・圧縮空気を送り込み密閉性が確保されていない場合に検討する。

#### ③課題等

- ・将来的に高力ワンサイドボルトによる部材の取り付けが必要になった場合に支障となる。

#### ※現状のまま存置

- ・滞水処理後に削孔穴を存置（ゴム栓等で観察窓口及び今後の滞水処理口として使用）



#### 4. 恒久対策の考察

##### (1) 施工の可能性

###### ■亀裂による断面欠損対策

###### ①横桁フランジと垂直材の接合部対策

- ・横桁の添接版部と当て板補強部材の高力ボルトの共締め  
→高力ボルトを一時撤去するため、交通規制の実施が必要と考える  
→施工箇所が狭隘なため、床版を一部取り壊した後に断面修復を実施

###### ②ニーブレースフランジ接合部の対策

###### 【共通】

- ・水平材を一時撤去するため、施工中はバイパス部材による補強（耐震補強工事の反省点）
- ・高力ワンサイドボルトにより当て板と下弦材内の鞘管（2重管）を一体で定着するため、側径間およびアーチ支間の下弦材の水平変位が拘束され双方に軸力を伝達する構造となり、影響を確認する必要がある。

###### 【リブ撤去再設置の場合】

- ・母材に影響を与えないように切断する必要がある。
- ・下弦材と当て板の密着性を確保するため、グラインダー等で滑らかに仕上げる必要がある。
- ・リブを再設置する際に残留応力が生じないように無応力下での施工が必要  
（施工手順：ジャッキアップ⇒リブ切断⇒表面仕上げ⇒当て板設置・ボルト締付⇒新設リブ溶接）  
∴長期の交通規制（全面通行止めの実施）

##### (2) 接合技術の妥当性の検証

鋼管との接合については高力ワンサイドボルトを使用する必要があるため、実証実験にて検証を行う必要がある。

##### (3) 対策の信頼性・効果の確認

- ①解析（骨組み解析・シェル）での検証
- ②対策前後で応力の計測を行い、応力の変化を把握すると共に、対策後の応力と設計計算の応力を対比して対策効果の確認を行う。

##### (4) 点検方法

###### ■恒久対策後の点検方法

###### ①亀裂損傷箇所の確認

- ・鋼管内の滞水処理を行う際に設けた削孔穴を存置させ、孔内の状況をCCDカメラ等で観察し、亀裂損傷の確認を定期点検時に観察する。

###### ②鋼管内の腐食状況の確認

- ・上記同様にCCDカメラ等で定期点検時に観察する。

###### ③当て板接続の重点観察

- ・定期点検時に亀裂調査を行った結果を用いて、接続部からの亀裂進展などを定期点検時に観察する。