

# 恒久対策

# 1. 恒久対策基本方針

伊達橋の補修・補強設計の基本方針について、検討フローを図-1.1 に示す。

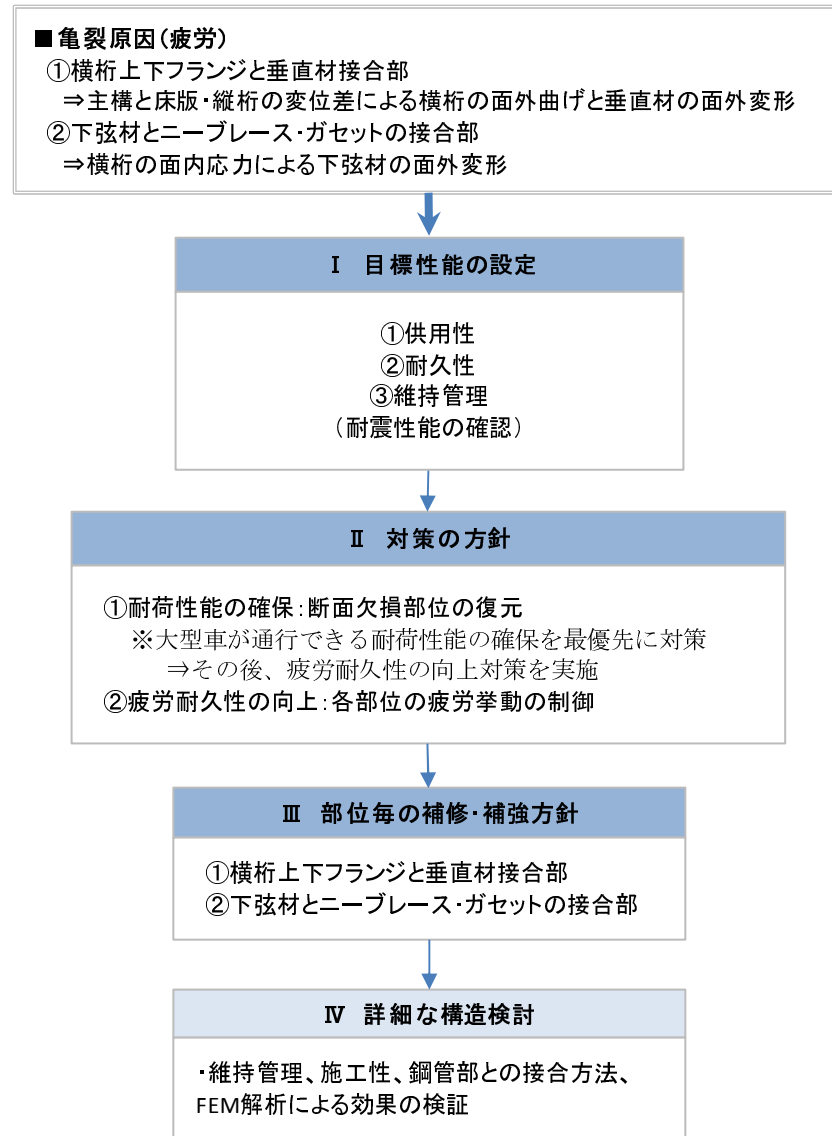


図-1.1 検討フロー

## I 目標性能

- ①供用性 : 補修補強後 50 年、大型車 25 t 対応
- ②耐久性能 : 疲労亀裂をできるだけ進展・発生させないようにする
- ③維持管理 : 橋梁定期点検 5 年で対応出来る水準とする  
 (耐震性能の確認: 補修補強案で H24 道示レベルの耐震性能を確認)

## II 対策の方針

### ■原因をできるだけ排除し、目標性能を満足するための対策方針

1. 耐荷性能の確保 : 既存の亀裂箇所(断面欠損部位)の耐荷力を復元する  
 ※亀裂が再進展し部材が破断しても耐荷力が確保される構造とする【リダンダンシー】  
 (ポイント: ①従前の耐荷力を確保する構造 or 落橋しない構造)
2. 疲労耐久性の向上 : ①既存の亀裂箇所の応力集中を緩和する  
 【横桁上下フランジと垂直材接合部】  
 ・亀裂発生格点の局部応力を亀裂が発生していない格点 (VP9-17) の局部応力

並に低下させる

### 【下弦材とニーブレース・ガセット接合部】

- ・横桁の面内応力による下弦材への応力集中を軽減させる
- ②新たな応力集中箇所を発生させない  
 ※恒久対策により構造特性が変わることにより、他の部材又は格点へ応力集中が発生した場合、疲労照査を行い疲労耐久性の確認を行う
- ・疲労強度等級がある継手の種類: 疲労設計指針による疲労照査実施
- ・疲労強度等級がない継手(鋼管部材との継手): シェル解析から得られる解析値からホットスポット的な応力を算出し疲労照査を実施

## III 部位毎の補修・補強方針

### 1. 横桁上下フランジと垂直材接合部

#### 【原因】床版と床組の変位差による横桁の二次応力と垂直材の面外変形

- 耐荷性能の確保 : 当て板により断面欠損部位の耐荷力を復元する
- 疲労耐久性の向上: ①床版打ち替え+縦桁の増桁  
 (効果) 橋梁全体の剛性を向上させ、横桁の橋軸方向の変位を小さくさせる
- ②プレーキトラス+一部床版打ち替え  
 (効果) 主構と床組をトラス材で連結させ、横桁の橋軸方向の変位を小さくさせる
- ③床版と上弦材の連結(一部床版打ち替え)  
 (効果) 床版と上弦材を連結させ、横桁の橋軸方向の変位を小さくさせる

### 2. 下弦材とニーブレース・ガセット接合部

#### 【原因】横桁の面内応力による下弦材の面外変形

- 耐荷性能の確保 : 当て板により断面欠損部位の耐荷力を復元する
- 疲労耐久性の向上: ①横桁下に対傾構を設置  
 (効果) 対傾構を設置することにより、横桁の剛性不足を解消し下弦材への応力集中を軽減させる
- ②横桁の桁高アップ  
 (効果) 横桁の桁高を高くすることにより、横桁の剛性不足を解消し下弦材への応力集中を軽減させる

## IV 詳細な構造検討

### ■設計にあたっての留意事項

- ①製作・施工性 : 信頼性のある品質で製作・施工が可能なものにする
- ②鋼管部材との接合方法 : ワンサイドボルトの力学特性を検証、肌隙から鋼管部材への浸水対策
- ③維持管理 : 点検できる構造ディテールにすること(既存亀裂の再進展、補強部材接合部の亀裂、腐食)
- ④FEM解析による効果の検証 : 補修補強工法について有効性を確認  
 ・本体への影響と補強材自体の挙動  
 ・新たな応力集中箇所が発生しないための確認  
 ・実態と解析の乖離を見込んだ余裕の設定

## 2. 亀裂の発生状況

亀裂発生箇所を図-2.1、表-2.1、代表的な亀裂発生箇所を写真-2.1～2.6に示す。

亀裂は、横桁フランジと垂直材の接合部 (①②③④) と下弦材とニーブレース・下横構ガセットの接合部 (⑤⑥⑦⑧)、支承部補剛リブに発生している。横桁フランジと垂直材の接合部の亀裂は橋台付近 (VP1～7、19～25)、下弦材とニーブレース・下横構ガセットの接合部の亀裂は支点部 (VP1、3、23、25) に発生する特徴が見られる。

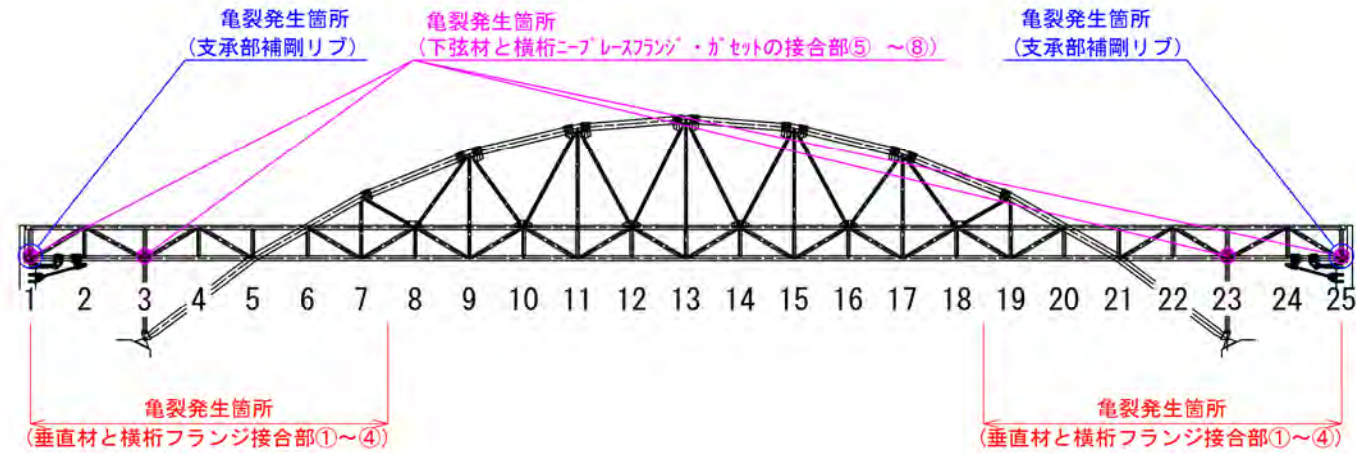


図-2.1 亀裂発生箇所図

表-2.1 亀裂発生箇所一覧表

位置		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
①、③	VPL																									
	VPR																									
②、④	VPL																									
	VPR																									
⑤、⑥	VPL																									
	VPR																									
⑦、⑧	VPL																									
	VPR																									

- : 未対策亀裂箇所
- : 亀裂削り取りにて消去箇所【応急対策】
- : ストップホール実施箇所【応急対策】

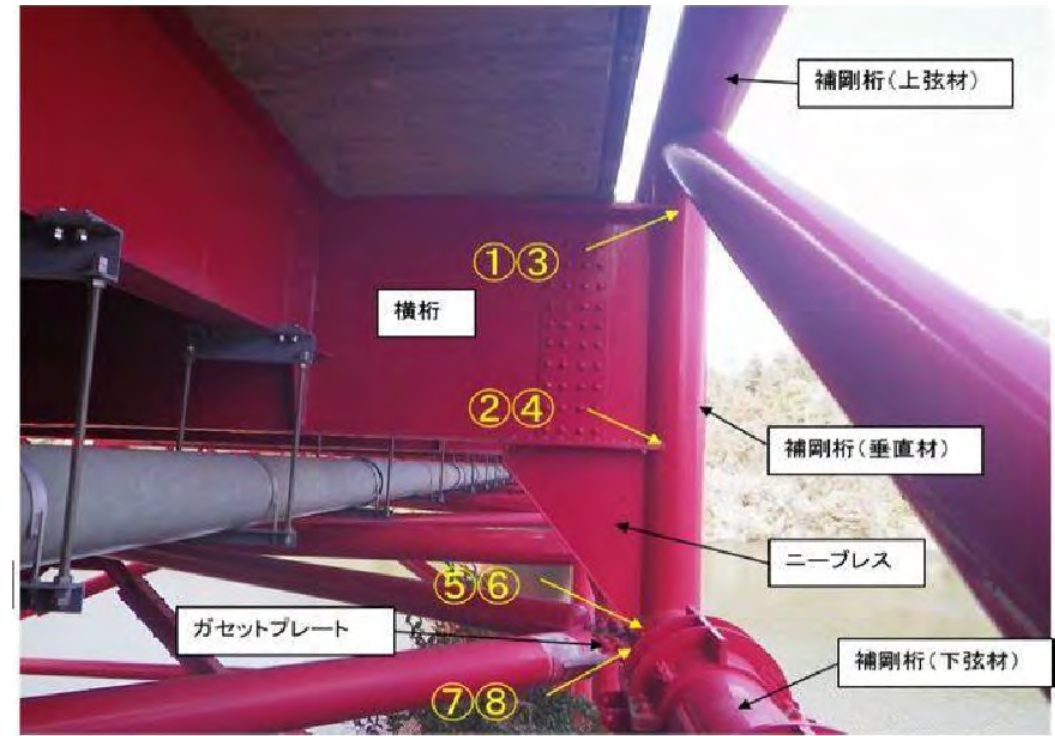


写真-2.1 亀裂の位置



写真-2.2 垂直材と横桁上フランジ (VPL2③)



写真-2.3 垂直材と横桁下フランジ (VPL2④)



写真-2.4 下弦材とニーブレースフランジ (VPL25⑥)



写真-2.5 下弦材とガセットの接合部 (VPR03\_⑦⑧)

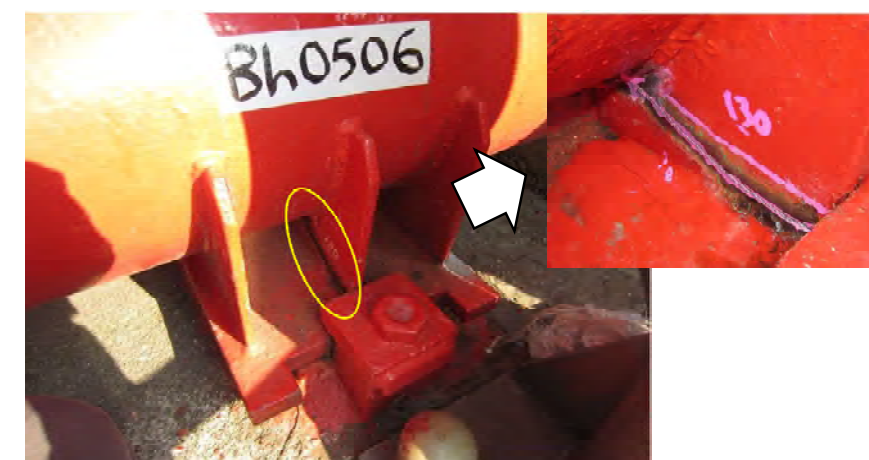


写真-2.6 支承部補剛リブ (VPL25\_支承)

### 3. 垂直材と横桁フランジの接合部

#### 3.1 補修検討

##### (1) 補修工法の抽出

亀裂およびストップホールによる補修工法として、以下の案を抽出する。

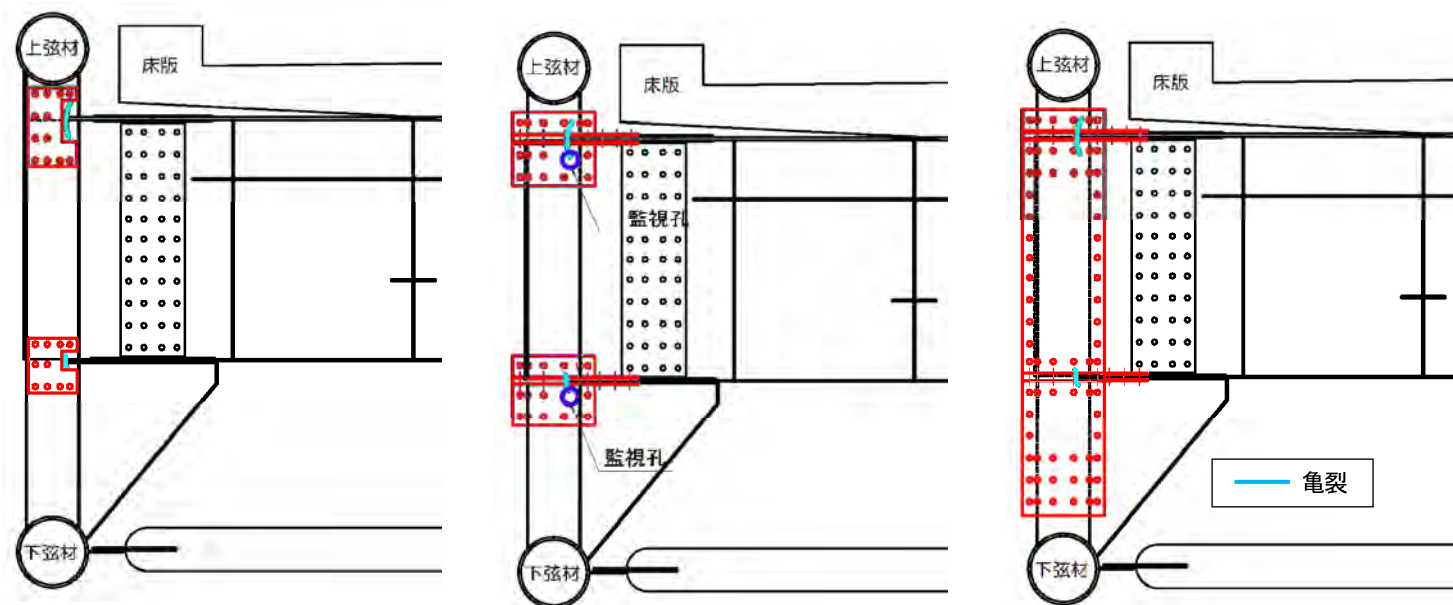
- ① 当て板 : 亀裂発生箇所に添接板を設置し、亀裂に伴う断面欠損を添接板により補う。
- ② 溶接 : ベント等により亀裂箇所を無応力状態とし、亀裂発生部をグラインダー、ガウジング等により除去し、再溶接を行う。
- ③ 部材交換 : ベント等により亀裂箇所周辺を無応力状態とし、部材を切り取り、新たな部材に取り換える。

##### (2) 補修工法の選定

補修工法の比較検討結果を表-3.1に示す。②溶接、③部材交換では、亀裂発生箇所周辺の応力を解放するためのベント等の設置が困難なことから、①当て板を選定する。

表-3.1 補修工法の比較表

	構造的性	製作性・施工性
① 当て板	△ ・鋼管ではワンサイドボルトを用いる必要があり、構造特性が不明確	○ ・施工事例が多い。 ・曲面加工において、詳細な現地計測が必要
② 溶接	× ・裏側からの施工が困難 ・裏当て材の設置が困難	× ・無応力状態にするためのベント等の設置が困難
③ 部材交換	○ ・鋼管の接合は、フランジを溶接し、高力ボルトによる引張継手となり施工実績が多い	× ・無応力状態にするためのベント等の設置が困難



(a) 垂直材だけを当て板  
(亀裂全てを点検)

(b) 垂直材と横桁を当て板  
(亀裂の先端だけを点検)

(c) 垂直材全体にバイパス部材を設置する案  
(リダンダンシーを確保)

図-3.1 当て板案

##### (3) 当て板の構造

当て板の構造は、図-3.1に示す3案が考えられる。

- (a) 垂直材だけを当て板 : 垂直材の耐力向上、既存の亀裂全体が確認(点検)できる構造
- (b) 垂直材と横桁を当て板 : 垂直材の耐力向上、既存の亀裂の先端が確認(点検)できる構造、横桁上下フランジの裏当て構造(疲労耐久性の向上)
- (c) 垂直材全体に当て板 : 垂直材の耐力向上、既存の亀裂が進展し破断した場合でも耐力を確保できる構造、横桁上下フランジの裏当て構造(疲労耐久性の向上)

なお、鋼管に当て板を接合する方法として、表3.2に示す比較結果より、高力六角ボルトの適用が困難なことから、高力ワンサイドボルトを適用する。ただし、高力ワンサイドボルトの鋼管への適用に際しては、表-3.3に示す課題あることから、今後、実験等により対応する予定である。

表-3.2 鋼管部の当て板連結構造比較

	構造的性	施工性
高力ワンサイドボルト 図-3.2、写真-3.1	△ ・鋼管への適用に際して、表-3.3に示す課題がある	△ ・締結不良は2~5%程度であるが、取り換えが困難
高力六角ボルト	○ ・施工実績も多く、構造的な問題はない	× ・ウェブの控え材が鋼管内にあり、ハンドホールが2箇所必要となり、断面欠損による応力の低下率大きい ・ハンドホールから最縁端のボルトまで50cm程度あり、施工が困難(図-3.3)

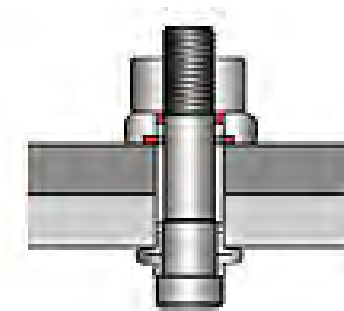


図-3.2 高力ワンサイドボルト



写真-3.1 高力ワンサイドボルト施工事例  
(伊達橋耐震)

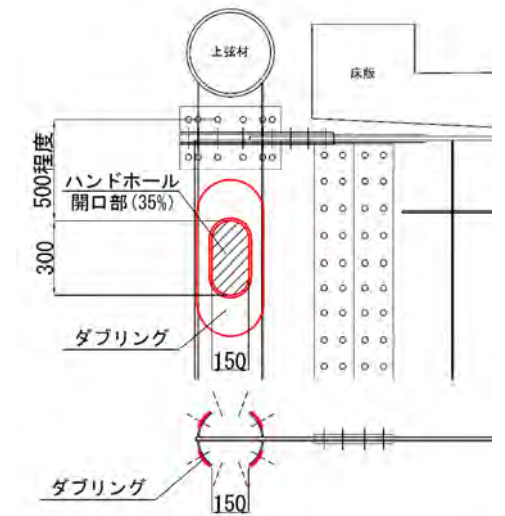


図-3.3 ハンドホール

表-3.3 高力ワンサイドボルトの鋼管への適用上の課題

- I. 曲率が大きい曲面での高力ワンサイドボルトのすべり係数
- II. 曲面内側に曲面座金不能使用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
- III. 曲面部における母材と添接板の密着度、母材の変形
- IV. 曲率が大きい曲面での高力ワンサイドボルトの耐久性(軸力抜け、疲労亀裂等)
- V. 高力ワンサイドボルトによる引張接合(短縮め形式)の力学的挙動
- VI. 高力ワンサイドボルトによる引張接合(短縮め形式)の疲労耐久性

### (3) 補修対策後の疲労損傷の恐れのある箇所

当て板補修による対策効果、および当て板補修後に疲労損傷の恐れのある箇所の照査を図-3.4、表-3.4に示す。

現時点では、当て板補修後においては、主構と床版・床組の橋軸方向変位差に対して図-3.5に示す横桁と縦桁の接合部の応力が高くなることが予想される。

表-3.4 照査方法

照査箇所	応力・変位の算出	疲労照査の方法	疲労強度等級	
A	当て板と垂直材の接合部	FEM解析※ (シェルモデル)	ホットスポット応力 (JSSC 疲労設計指針)	B等級 (高力ボルト摩擦接合継手の母材) ※※
B	横桁フランジの添接板の接合部	骨組解析	公称応力 (道示II 6.2)	B等級 (高力ボルト摩擦接合継手の母材)
C	横桁と縦桁のフランジ接合部	骨組解析	公称応力 (道示II 6.2)	G等級 (完全溶込み開先溶接し、止端仕上げしたガセット継手)

※ 当て板部のモデル化は、ボルトをモデル化せず、当て板+母材の板厚をシェル要素で表現したものを使用。

※※ 接合部の応力集中が発生している構造により適宜、設定

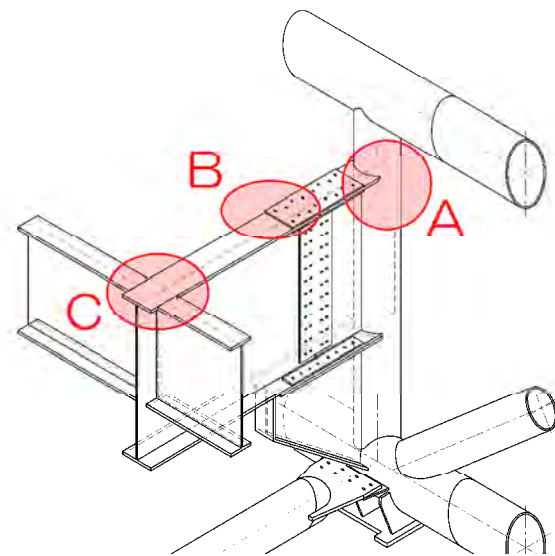


図-3.4 照査箇所

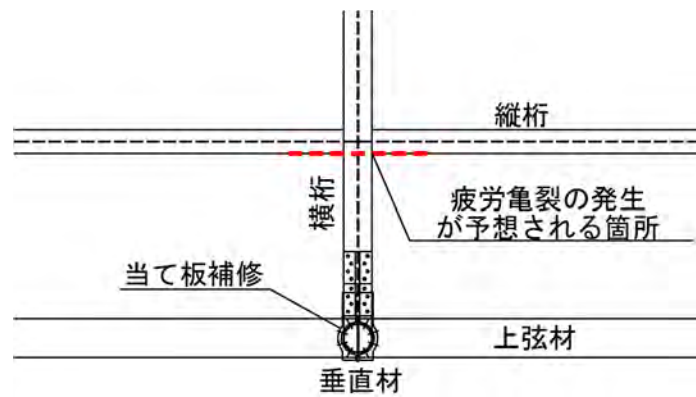


図-3.5 疲労損傷の恐れのある箇所 [横桁と縦桁の接合部]

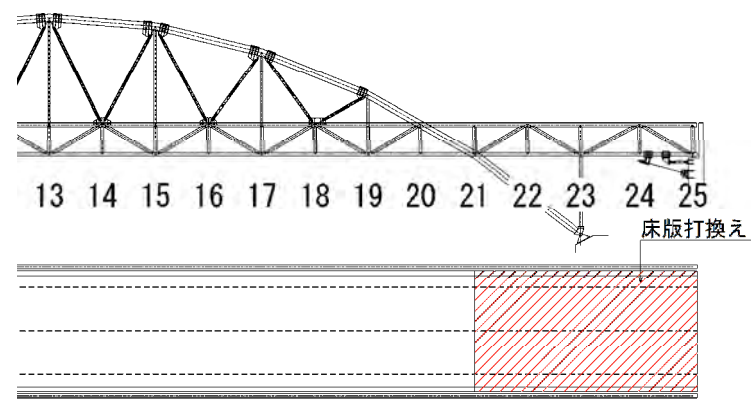
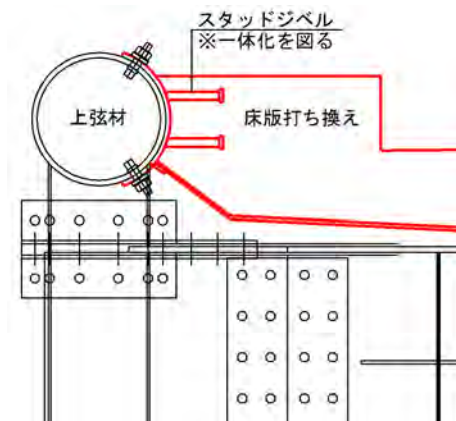


図-3.8 床板と主構 (上弦材) の連結



## 3.2 補強検討

### (1) 補強工法の抽出

主構と床版・縦桁の橋軸方向変位差による横桁の面外曲げを小さくさせる補強工法として、以下の案を抽出する。

#### ① 床板打ち換え+縦桁増し桁 (図-3.6)

床板を増厚し、縦桁と床版の合成構造とすることにより断面剛性を向上させ、橋梁全体の活荷重たわみを低減することで、主構と床版・縦桁の軸方向変位差を縮小させる案である。

縦桁の合成断面としての剛性増加のため床板を厚くしており、その結果、床版作用としての耐荷力が十分確保できることから、RC床板を採用する。

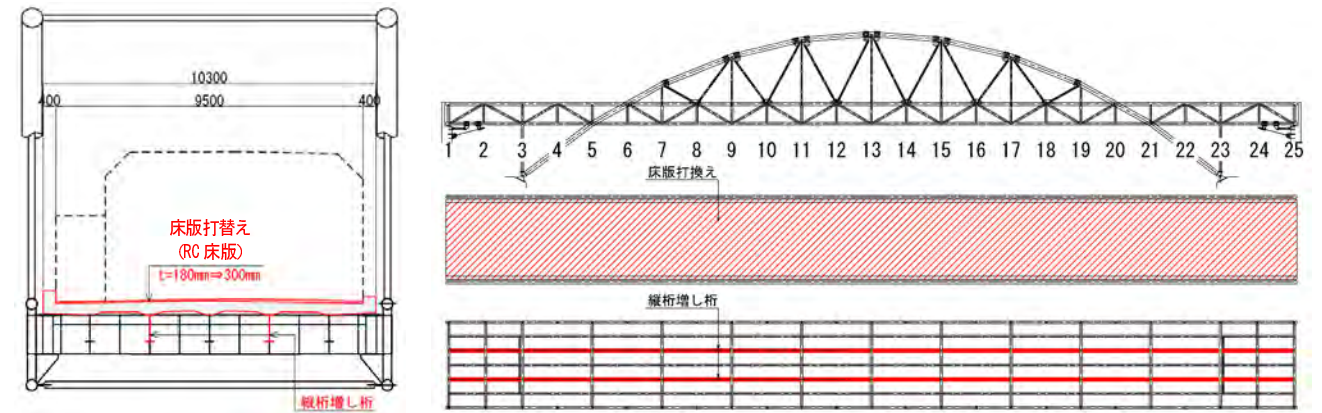


図-3.6 床板換え+縦桁増し桁

#### ② プレーキトラス (図-3.7)

横桁と縦桁の間にブレース材を設置し、主構と床版・縦桁の軸方向変位差を縮小させる案である。

ブレース材を設置するためには、床板を一部撤去・復旧を行うか、あるいは床板の損傷対策として全面打ち換えに合わせて行う方法が考えられる。

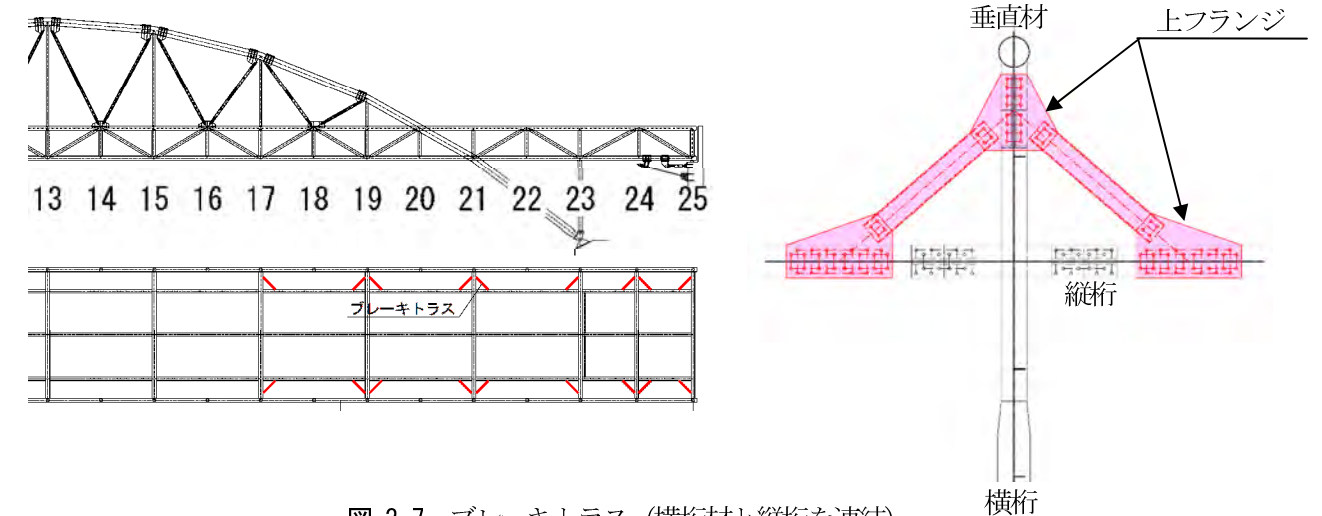


図-3.7 プレーキトラス (横桁材と縦桁を連結)

#### ③ 床板と主構 (上弦材) の連結 (図-3.8)

上弦材にジベルを取り付けた当て板をボルトで設置し、床板と主構 (上弦材) を一体化し、主構と床版の軸方向変位差を縮小させる案である。床板と主構 (上弦材) を一体化する範囲だけの床板を打ち換えるか、あるいは床板の損傷対策として全面打ち換えに合わせて行う方法が考えられる。

床板は、現在のRC床板 (t=18cm) から合成床板 (t=16cm、ハンチを2cm高くする) に変更するとともに、縦桁の増設を行うことで床板厚の増加を抑え、死荷重の増加を解消する。また、施工を半断面施工とすることで、通行止めを解消する。

④ 縦桁ヒンジ部支承の交換 (図-3.9)

ヒンジ部の縦桁のヒンジ支承を可動支承に変更することで、側径間部の主構と床板・縦桁の軸方向変位差を縮小させる案である。  
 交換する支承は、設置可能な高さが100mm程度であることから、薄型の可動ゴム支承が考えられる。

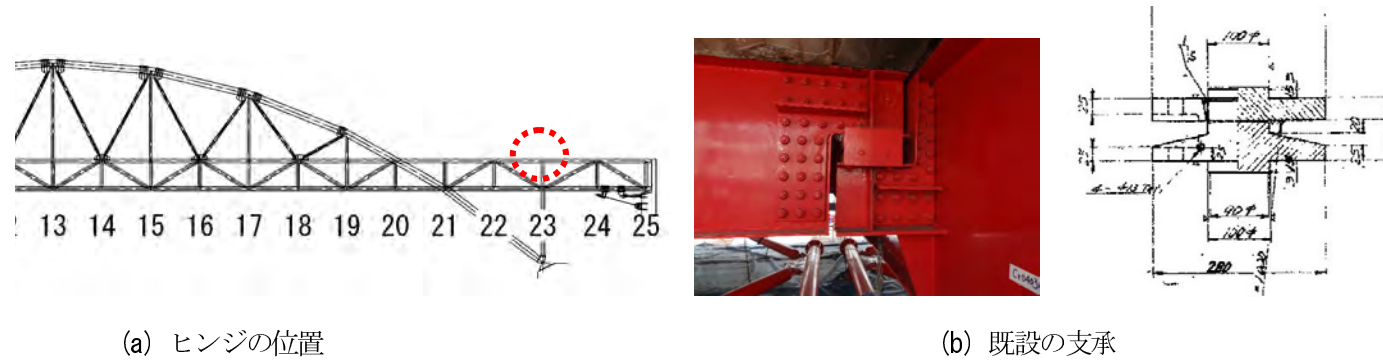


図-3.9 縦桁ヒンジ部支承の交換

⑤ 横桁の面外方向ヒンジ化 (図-3.10)

当て板後に疲労損傷の恐れのある縦桁との接合部の横桁に切欠きを設け、ヒンジ化することで、横桁の面外曲げモーメントを低減する案である。

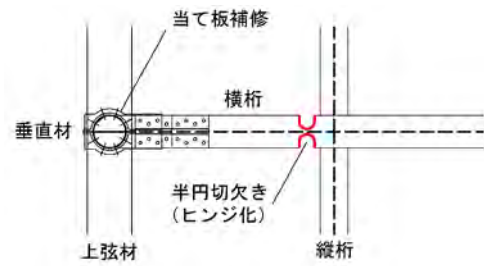


図-3.10 横桁の面外方向ヒンジ化

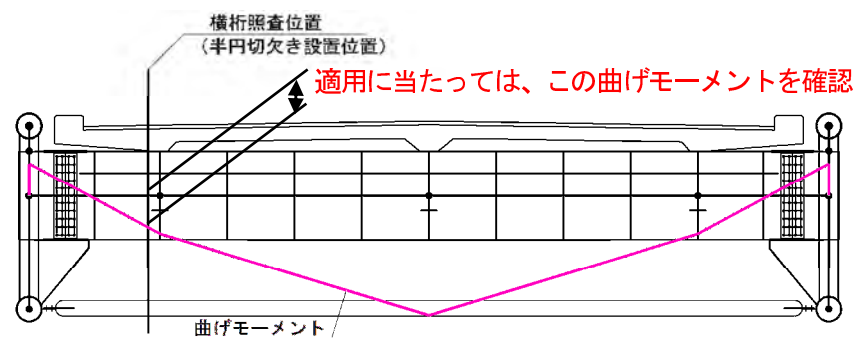
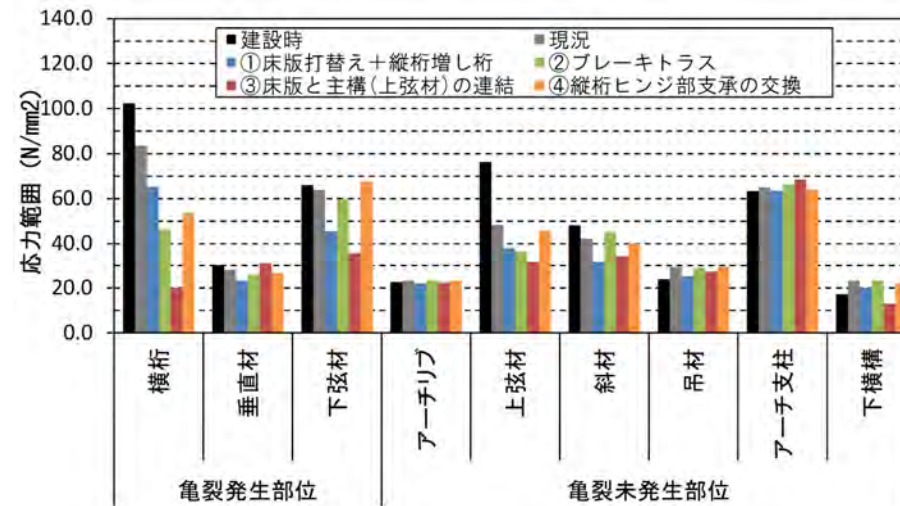


図-3.11 横桁の面内方向の曲げモーメント分布

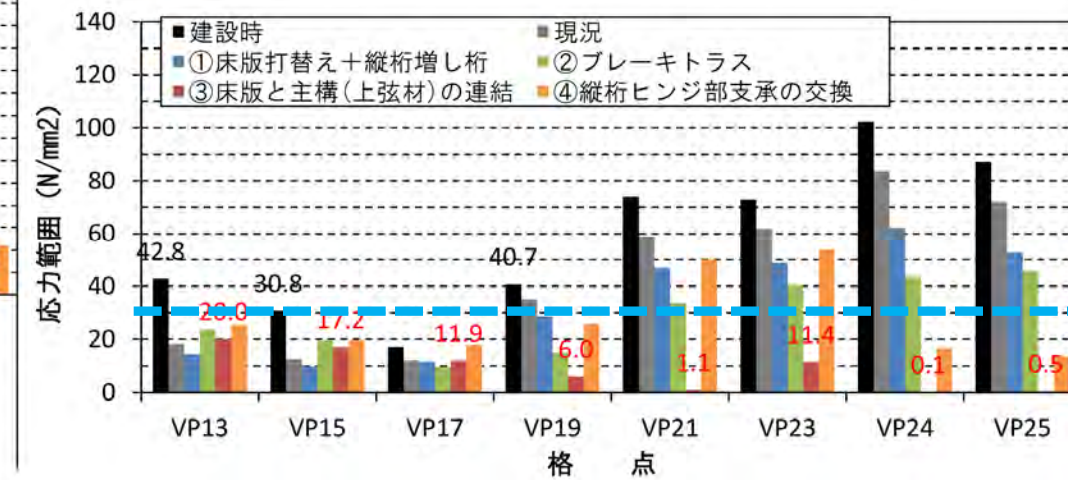
(2) 補強工法の選定

主構と床版・縦桁の橋軸方向変位差による面外曲げを小さくさせる補強工法についての比較検討を表-3.5に示す。また、⑤横桁の面外方向ヒンジ化以外の補強案に対する骨組解析結果を図-3.12に示す。これらの結果から、以下の傾向が確認できる。

- ▶ 『①床版打ち換え+縦桁増し桁』は、主構と床板・縦桁の軸方向変位差を低減する効果が低く、経済的にも劣る。
- ▶ 『②ブレイキトラス』は、亀裂が発生している横桁に対して低減効果が期待でき、ブレース材の断面によって補強効果の調整が可能である。そのため、期待する効果を現実的な部材断面で得られる必要がある。また、ブレース材設置に伴う縦桁の面外曲げに対して、合成構造として床板に分担させる方法、縦桁間に横桁を設置して鋼部材だけで分担させる方法が考えられる。
- ▶ 『③床版と上弦材の連結』は、主構と床板・縦桁の軸方向変位差を低減する効果が非常に高いが、経済性に劣る。ただし、床板の損傷対策と併せて行う場合には経済性に優れる。上弦材と床版を部分的に一体化するため、地震時や活荷重時に上弦材に作用する応力を詳細に検討する必要がある。また、縦桁のヒンジ部の支承に作用する水平力が増加するため、支承やその周辺の部材の補強が必要となる場合がある。
- ▶ 『④縦桁ヒンジ部支承の交換 (可動支承)』は、側径間部の軸方向変位差は解消されるが、アーチ部の横桁VP21、23の補強効果が僅かであり、別の工法と併用する必要がある。
- ▶ 『⑤横桁への半円孔設置 (縦桁との接合部)』は、切欠きを設ける位置が設計計算上、図-3.11に示す横桁の面内方向曲げモーメントを多少受ける箇所であり、FEM解析や現地計測により、フランジに作用する応力を確認の上、適用を検討する必要がある。フランジに作用する応力が大きい場合には、適用が困難となる。



(a) 各部材 (最大応力範囲)



(b) 横桁 (面外応力)

図-3.12 補強案の横桁面外方向の応力範囲

表-3.5 補強工法一覧表

	概要	経済性（工事費）	疲労耐久性	製作性・施工性	維持管理性
<p>①床板換え+縦桁増し桁</p>	<p>■床板を増厚し、縦桁と床板の合成構造とすることにより断面剛性を向上させ、橋梁全体の活荷重たわみを低減することで、主構と床板・縦桁の軸方向変位差を小ささせる案である。</p> <p>■床板は、全面打ち換え（RC床版）する。</p> <p>■床板打ち換えを半断面施工とするため、縦桁の増設を行う。</p>	<p>床版全面打換 125 百万円 縦桁増し桁 15 百万円 合計 140 百万円</p>	<p>■最大横桁面外応力を 74%に低減することが可能であるが、亀裂が発生していない格点の応力範囲まで下げることにはできない。（最大応力範囲は亀裂未発生部位の 3.4 倍）</p> <p>■床版の増厚により死荷重が増加するため、各部材の最大応力が増加する。</p>	<p>△ ■片側交互通行にて床版を半断面施工する。【施工期間 8 ヶ月】</p> <p>■施工手順は、以下の通り。</p> <p>①下り線床版撤去→②縦桁増設→③床版打設→④下り線に交通切替→⑤上り線床版撤去→⑥縦桁増設→⑦床版打設→⑧交通開放</p>	<p>△ ■鋼管に部材を取り付ける必要がないため、現状と同等の維持管理性を確保できる。</p> <p>■全ての床版を打ち換えするため、床版が健全となり維持管理は容易である。</p>
<p>②ブレイクトラス</p>	<p>■横桁と縦桁の間にブレース材を設置し、主構と床板・縦桁の軸方向変位差を小ささせる案である。</p> <p>■ブレース材を設置するためには、床板の一部撤去・復旧を行うか、あるいは床板の損傷対策として全面打ち換えに合わせて行う方法が考えられる。</p> <p>■格点 1~9 および 17~25 の範囲にブレース材を設置する。</p>	<p>床版部分打換 25 百万円 連結材 30 百万円 合計 55 百万円</p> <p>【参考：床版損傷対策併用】</p> <p>床版全面打換 135 百万円 連結材 30 百万円 合計 165 百万円</p>	<p>■最大横桁面外応力を 52%に低減することが可能であるが、亀裂が発生していない格点の応力範囲まで下げることにはできない。（最大応力範囲は亀裂未発生部位の 2.5 倍）</p> <p>→ 部材の断面調整が必要</p>	<p>△ ■片側交互通行にて、床版を一部（張出部）撤去し、橋面上よりブレース材の積み下ろしを行う。</p> <p>【施工期間 4 ヶ月】</p> <p>■施工手順は、以下の通り。</p> <p>①下り線床版一部撤去→②ブレイクトラス材設置→③床版復旧→④下り線に交通切替→⑤上り線床版一部撤去→⑥ブレイクトラス材設置→⑦床版復旧→⑧交通開放</p>	<p>△ ■横桁と縦桁を連結するため、全て高力六角ボルトにて取り付けが可能であり、鋼管に取り付ける案と比べて鋼管内に滞水の恐れが少ない。</p>
<p>③床板と上弦材の連結</p>	<p>■上弦材にジベルを取り付けた当て板をボルトで設置し、床板と主構（上弦材）を一体化し、主構と床板の軸方向変位差を低減させる案である。</p> <p>■床板は、死荷重の増加を避けるため、合成床版にて打ち換える。</p> <p>■床版は、部分的に打ち換える場合は、格点 1~5 および 21~25 のみとする。</p>	<p>床版打換 25 百万円 連結材 15 百万円 合計 40 百万円</p> <p>【参考：床版損傷対策併用】</p> <p>床版全面打換 135 百万円 連結材 15 百万円 合計 150 百万円</p>	<p>■最大横桁面外応力を 0.1%に低減することが可能であり、亀裂が発生していない格点の応力範囲まで下げることが可能である。</p> <p>■上弦材と床板を部分的に一体化するため、地震時や活荷重時に上弦材に作用する応力を詳細に検討する必要がある。また、縦桁のヒンジ部の支承に作用する水平力が増加するため、支承やその周辺の部材の補強が必要となる場合がある。</p>	<p>○ ■片側交互通行にて床版を半断面施工する。【施工期間 4 ヶ月】</p> <p>■施工手順は、以下の通り。</p> <p>①下り線床版撤去→②上弦材にスタッド付当て板の設置→③床版打設→④下り線に交通切替→⑤上り線床版撤去→⑥上弦材にスタッド付当て板の設置→⑦床版打設→⑧交通開放</p>	<p>△ ■床版と上弦材を連結するが、橋面から点検が可能であり、点検は容易である。</p> <p>■活荷重の繰返し作用によりスタッドボルトの疲労が懸念される。</p> <p>■上弦材の当て板部の端部にて応力集中が生じるため、定期的な点検が必要である。</p>
<p>④縦桁ヒンジ部支承の交換（可動支承）</p>	<p>■縦桁ヒンジ部の固定支承を可動支承に変更することで、側径間部の主構と床板・縦桁の軸方向変位差を解消させる案である。</p> <p>■ジャッキアップのため、アーチアバット上にベントの設置、縦桁の補強が必要となる。</p>	<p>支承取替 30 百万円 合計 30 百万円</p> <p>【参考：床版損傷対策併用】</p> <p>床版全面打換 135 百万円 支承取替 30 百万円 合計 160 百万円</p>	<p>■最大横桁面外応力を 20%に低減することが可能であるが、アーチ部の軸方向変位差は残るので、全体としての効果は小さい。</p>	<p>△ ■上部工補強を行った上で、アーチアバット上の平場（VP2-3、24-25 間）を活用して下からジャッキアップを行う。</p> <p>■施工手順は、以下の通り。</p> <p>①上部工補強→②ジャッキアップ→③支承取替→④①~③繰返し</p>	<p>△ ■支承部の移動量が大きくなることから、伸縮装置からの漏水が懸念される。</p>
<p>⑤横桁への半円孔設置</p>	<p>■当て板後に疲労損傷の恐れのある縦桁との接合部の横桁に切欠きを設け、ヒンジ化することで、横桁の面外曲げモーメントを低減する案である。</p> <p>■切欠きを設ける位置の、横桁の面内方向における応力が大きい場合には適用が困難となる。</p>	<p>半円孔設置 3 百万円 合計 3 百万円</p> <p>【参考：床版損傷対策併用】</p> <p>床版全面打換 135 百万円 支承取替 3 百万円 合計 141 百万円</p>	<p>■切欠き位置の横桁の断面力に対する面内応力の程度によっては、適用が困難となる。</p> <p>■孔縁からの亀裂発生恐れがあるため、傷などを残さないように縁取りを丁寧に仕上げる必要がある。</p>	<p>△ ■上フランジ側は、一部床版（張出部）を取り壊して切欠き形状をなめらかに処理する必要がある。</p> <p>■施工手順は、以下の通り。</p> <p>①床版一部撤去→②切欠き設置→③床版打設→④①~③繰返し</p>	<p>△ ■切欠き部の定期的な点検を行う必要がある。</p>

#### 4. 下弦材と横桁ニーブレースフランジの接合部

##### 4.1 補修検討

###### (1) 補修工法の抽出

亀裂およびストップホールによる補修工法として、以下の案を抽出する。

- ① 当て板 : 亀裂発生箇所へ添接板を設置し、亀裂に伴う断面欠損を添接板により補う。
- ② 溶接 : ベント等により亀裂箇所を無応力状態とし、亀裂発生部をグラインダー、ガウジング等により除去し、再溶接を行う。
- ③ 部材交換 : ベント等により亀裂箇所周辺を無応力状態とし、部材を切り取り、新たな部材に取り換える。

###### (2) 補修工法の選定

補修工法の比較検討結果を表-4.1に示す。②溶接では裏当て材が設置できないことから溶接の品質の確保が困難となる、③部材交換(図-4.3)では工事費が高価(①16百万円に対して③60百万円)であることから①当て板を選定する。

###### (3) 当て板の構造

当て板の構造は、図-4.1に示す(a)リブを存置する案、(b)リブを撤去・復旧する案の2案が考えられる。当て板には、既存亀裂の進展を点検できるように、亀裂先端部に監視孔を設置する。なお、当て板の設置に伴い、ニーブレースと干渉するため、図-4.2に示すようにニーブレースのフランジが下弦材と接合しない構造を検討する。鋼管に当て板を接合する方法として、表-4.2に示す比較結果より、高力六角ボルトの適用が困難なことから、高力ワンサイドボルトを適用する。ただし、高力ワンサイドボルトの鋼管への適用に際しては、表-4.3に示す課題あることから、今後、実験等により対応する予定である。

表-4.1 補修工法の比較表

	構造的性	製作性・施工性
① 当て板	△ ・鋼管ではワンサイドボルトを用いる必要があり、構造特性が不明確	○ ・施工事例が多い。 ・現地の形状に合わせて製作するため、詳細な現地計測が必要
② 溶接	× ・裏側からの施工が困難 ・裏当て材の設置が困難	△ ・片側交互通行とし、ベント等を設置、ジャッキアップ後の施工となる
③ 部材交換	○ ・部材の接合は、フランジを溶接し、高力ボルトによる引張継手となり、施工実績が多い	△ ・片側交互通行とし、ベント等を設置、ジャッキアップ後の施工となる

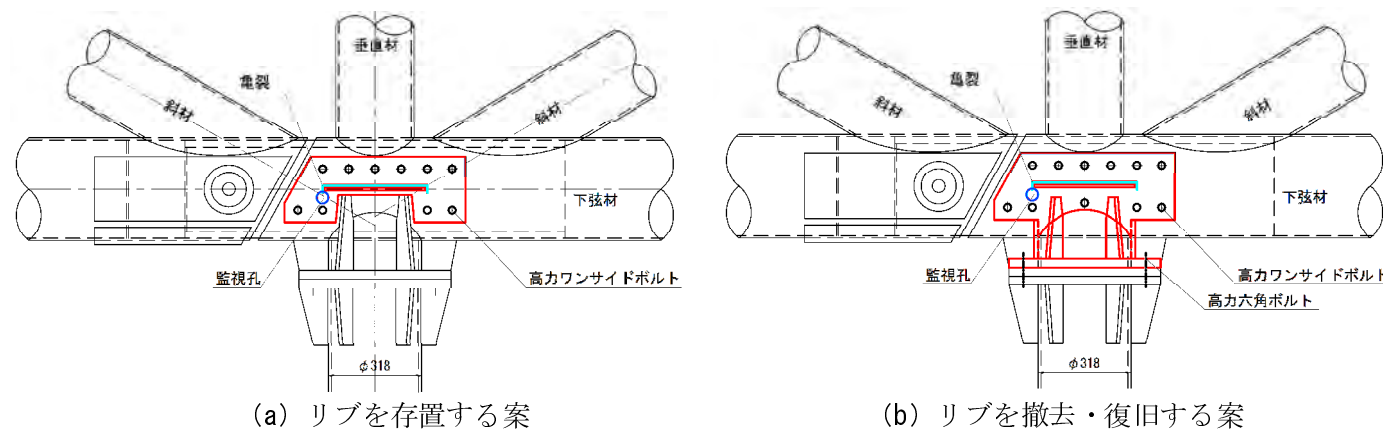


図-4.1 当て板 (VP3、VP23)

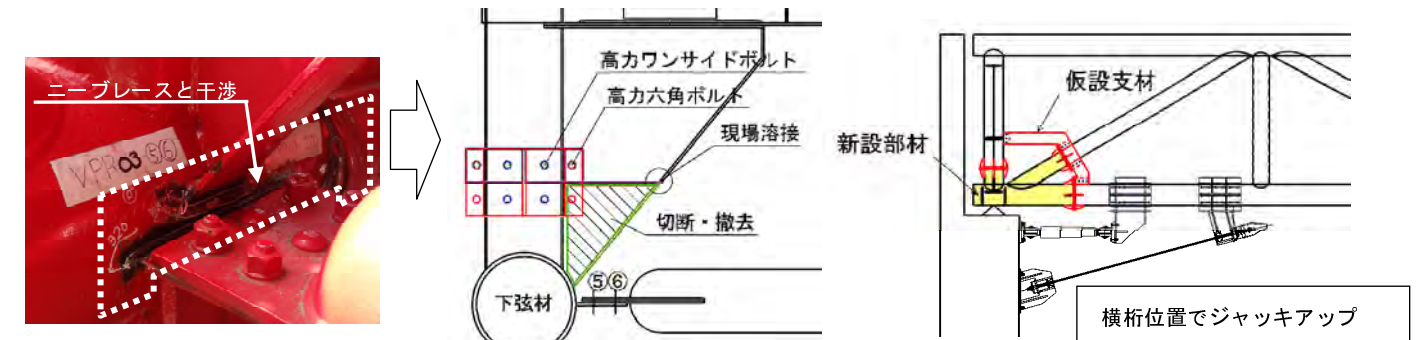


図-4.2 ニーブレースの一部改良(下弦材への接合回避)

図-4.3 ③部材交換

表-4.2 鋼管部の当て板連結構造比較

	構造的性	施工性
高力ワンサイドボルト	△ ・鋼管への適用に際して、表-4.3に示す課題がある	△ ・締結不良は2~5%程度であるが、取り換えが困難
高力六角ボルト	○ ・施工実績も多く、構造的な問題はない	× ・ハンドホールから最縁端のボルトまで110cm程度あり、施工が困難(図-4.4)

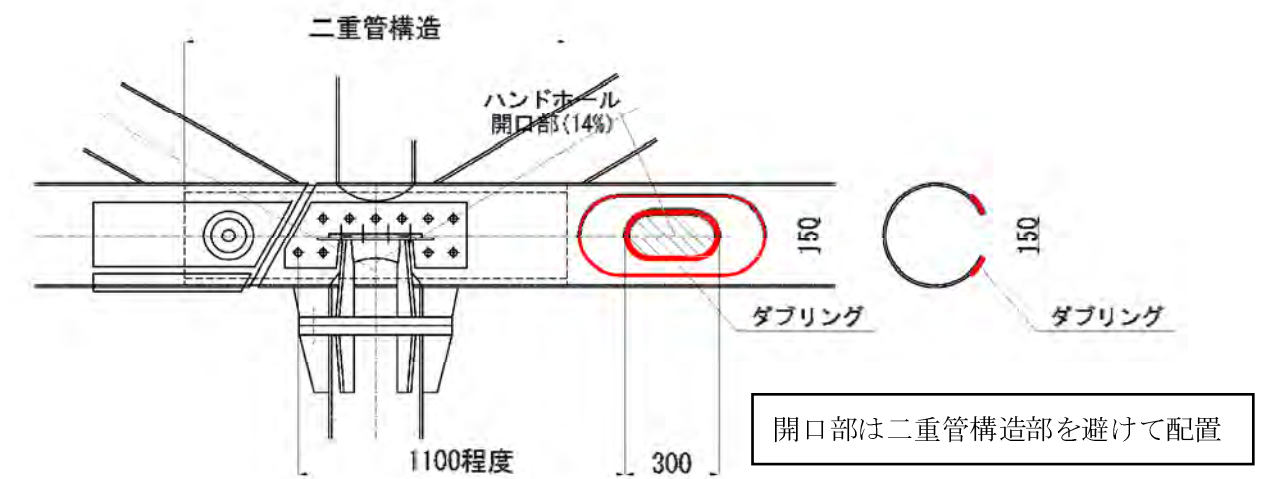


図-4.4 ハンドホール

表-4.3 高力ワンサイドボルトの鋼管への適用上の課題

- I. 曲率が大きい曲面での高力ワンサイドボルトのすべり係数
- II. 曲面内側に曲面座金を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
- III. 曲面部における母材と添接板の密着度、母材の変形
- IV. 曲率が大きい曲面での高力ワンサイドボルトの耐久性(軸力抜け、疲労亀裂等)
- V. 高力ワンサイドボルトによる引張接合(短縮め形式)の力学的挙動
- VI. 二重管構造における高力ワンサイドボルトの適用性、効果



### (3) 補修対策後の疲労損傷の恐れのある箇所

当て板補修による対策効果、および当て板補修後に疲労損傷の恐れのある箇所の照査を図-4.5、表-4.4に示す。

現時点での疲労損傷の恐れのある箇所として、図-4.5(a)に示す当て板と下弦材の接合部と、図-4.5(b)に示す当て板に近接する下弦材とリブの接合部における下弦材の面外変形による応力集中が予想される。

表-4.4 照査方法

照査箇所	応力・変位の算出	疲労照査の方法	疲労強度等級
A 当て板と下弦材の接合部	FEM解析* (シェルモデル)	ホットスポット応力 (JSSC 疲労設計指針)	B 等級 (高力ボルト摩擦接合継手の母材) ***
B 下弦材と支柱リブの接合部	FEM解析* (シェルモデル)	ホットスポット応力 (JSSC 疲労設計指針)	B 等級 (高力ボルト摩擦接合継手の母材) ***

\* 当て板部のモデル化は、ボルトをモデル化せず、当て板+母材の板厚をシェル要素で表現したものを使用。

\*\* 接合部の応力集中が発生している構造により適宜、設定

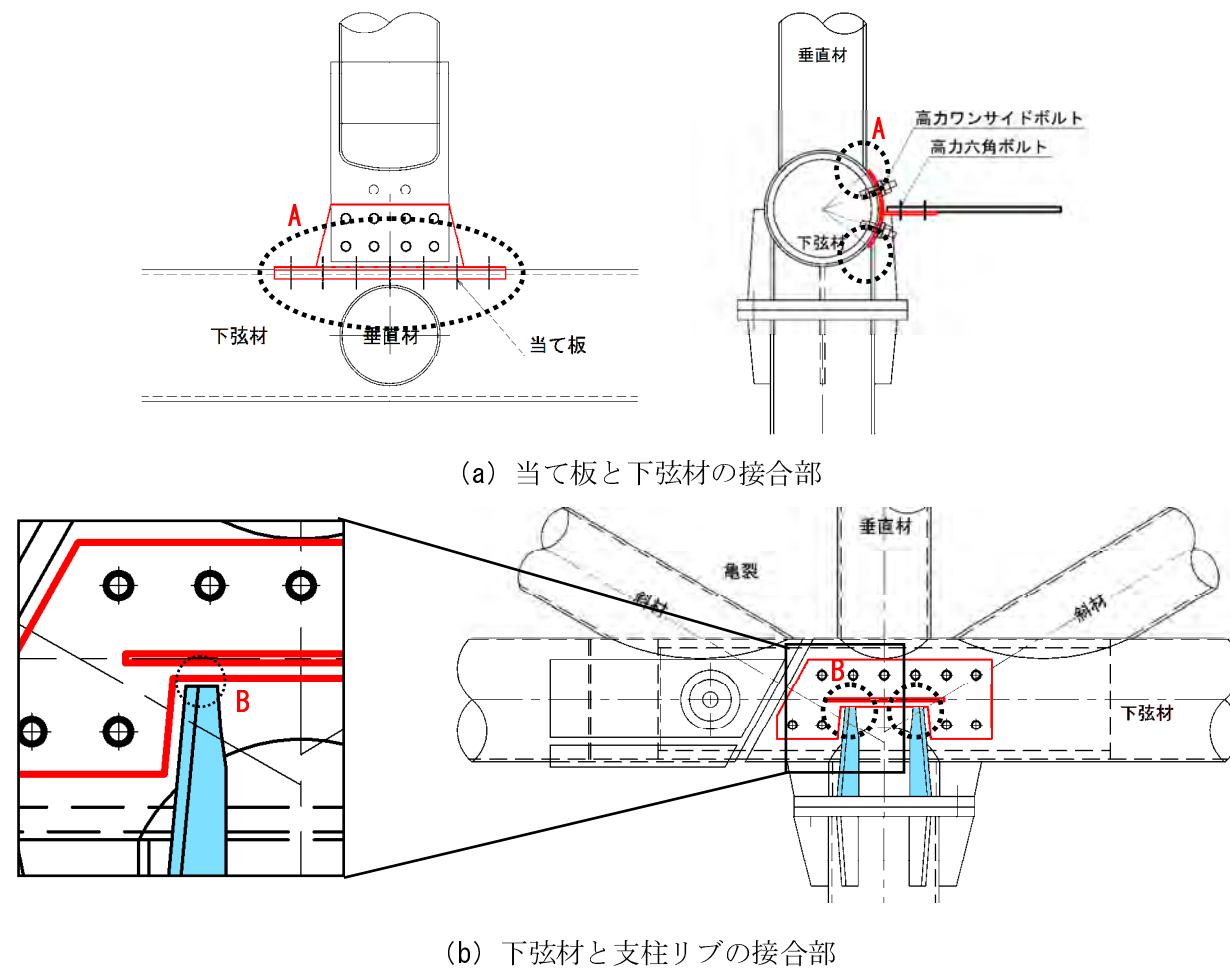


図-4.5 照査箇所

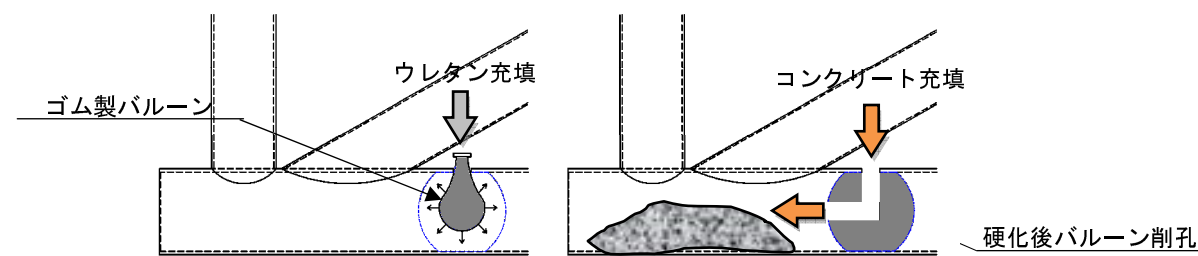


図-4.9 バルーン型枠施工イメージ

### 4.2 補強検討

#### (1) 補強工法の抽出

横桁ニーブレースフランジの面内応力による下弦材の面外変形の低減、又は解消、横桁の剛性不足を解消できる補強工法として、以下の案を抽出する。

##### ① 下横構ガセットの拡大 (図-4.6)

下横構のガセットを拡大することにより、下弦材に作用する応力を分散させる案である。

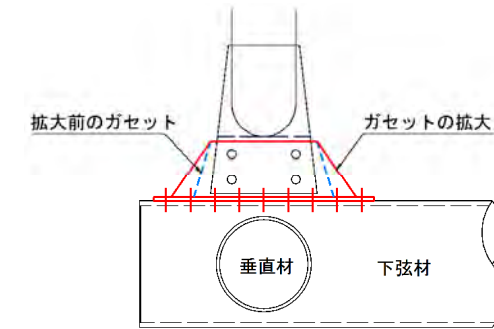


図-4.6 下横構ガセットの拡大

##### ② 当て板にリブの追加 (図-4.7)

当て板にリブを設けて剛性を高め、下弦材の面外変形が生じにくい構造に改良する案である。

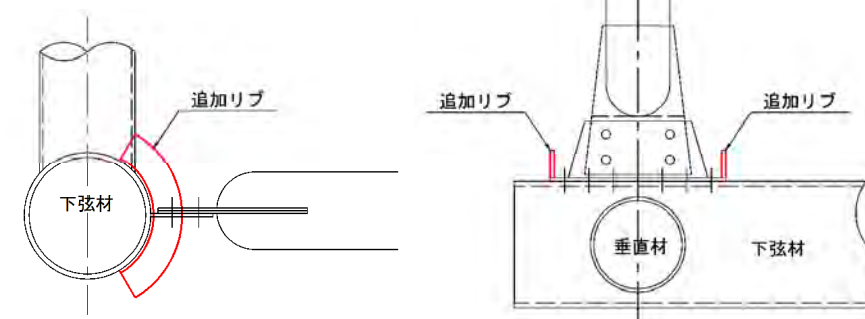


図-4.7 当て板にリブの追加

##### ③ 当て板の増厚

当て板を増し厚することで剛性を高めて、下弦材の面外変形が生じにくい構造に改良する案である。

##### ④ コンクリート充填 (図-4.8)

鋼管内をコンクリートで充填することで剛性を高めて面外変形が生じない構造に改良する案である。鋼管内への充填範囲は、隔壁として設置されるバルーン型枠を利用する (図-4.9)。

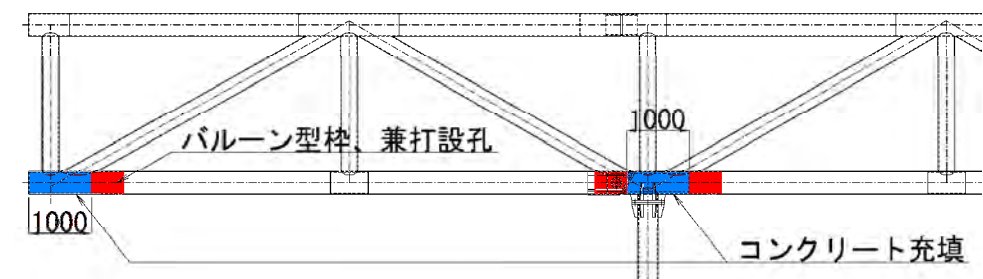


図-4.8 コンクリート充填

⑤ 横桁の下に対傾構の設置 (図-4.10)

対傾構を設置することにより横桁の剛性を高めて、ニーブレースへの負担を軽減する案である。  
ニーブレースの一部を撤去し、新たに設置するガセットとニーブレースのウェブをボルトで接合し、一体化を図る。

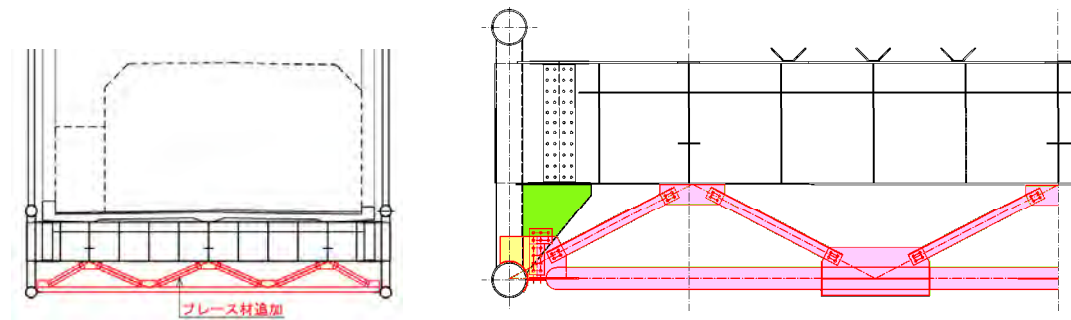


図-4.10 横桁の下に対傾構の設置

⑥ 横桁の桁高アップ (図-4.11)

横桁の桁高をアップすることにより横桁の剛性を更に高めて、ニーブレースへの負担を軽減する案である。  
ニーブレースのウェブの一部を残し撤去し、新たに設置する横桁のウェブとボルトで接合し、横桁のウェブと一体化を図る。

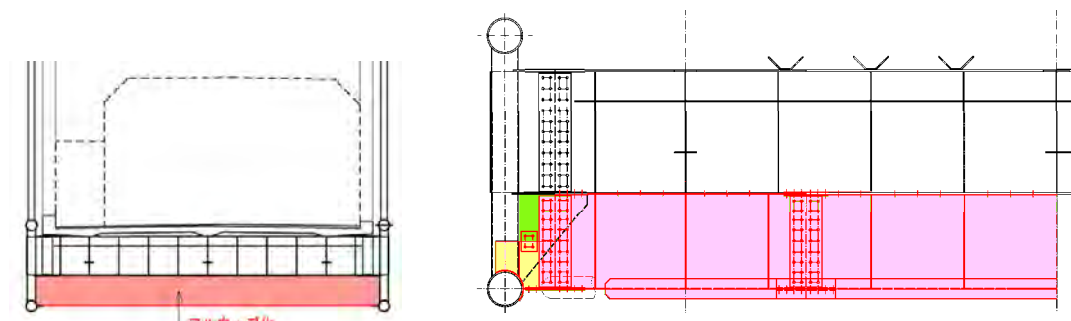


図-4.11 横桁の桁高アップ

(2) 補強工法の選定

横桁ニーブレースフランジの作用力による下弦材の面外変形の低減又は解消、および横桁の剛性不足を解消できる補強工法について比較検討を表-4.6に示す。この結果から、今後、以下の方針で検討を行う。

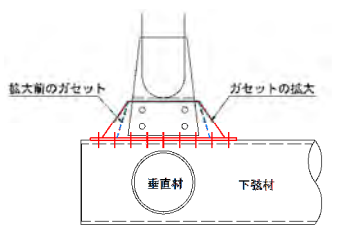
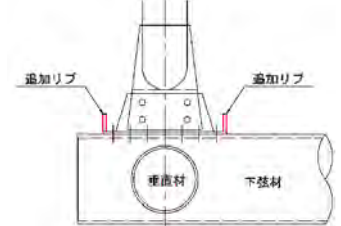
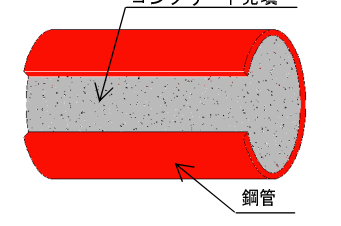
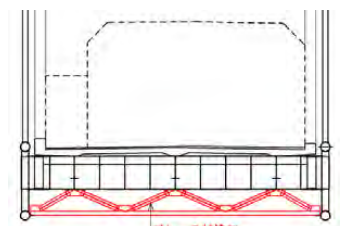
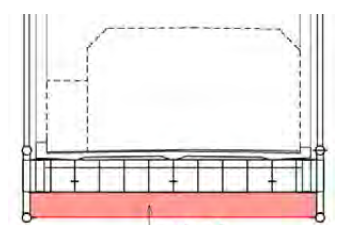
- 下弦材の面外変形対策案のうち、『①下横構ガセットの拡大』においてはピン構造が近接しており拡大量に制限があること、『②当て板にリブの追加』においては製作精度の確保に難があること、『③当て板の増厚』においては効果が低いことが考えられる。このため、この3案に対してはFEM解析により形状等を検討し、3案の中から最適な案を選定、あるいは組合せを検討する。
- 下弦材の面外変形対策案の『④コンクリート充填』は、全体解析(梁要素)により死荷重増の影響の確認、コンクリート打設方法、品質の確認方法、維持管理方法等の検討の必要がある。特に、コンクリート充填時に必要となる、バルーン等による隔壁施工の確実性が重要と考えられる。構造的には、下弦材を押し付ける力に対しては抵抗できるが、引張力に対しては効果が期待できない可能性があるため、解析により効果を確認する。
- 横桁の剛性向上策の『⑤横桁の下に対傾構の設置』、『⑥横桁の桁高アップ』に対しては、施工性、維持管理性に優れた『⑤横桁の下に対傾構の設置』を優先的にFEM解析により検討し、『⑤横桁の下に対傾構の設置』が適用不可能な場合に『⑥横桁の桁高アップ』を検討する。
- 対策工法は、「下弦材の面外変形対策」および「横桁の剛性不足対策」の各々から組み合わせを考慮して決定する。(表-4.5)

組合せⅠ：当て板補修の細部構造を改良することにより面外変形を抑制、対傾構(必要に応じて横桁の桁高アップ)を新設することでニーブレースの負担を軽減する。  
 組合せⅡ：下弦材をコンクリートで充填することにより面外変形を防止、対傾構(必要に応じて横桁の桁高アップ)を新設することでニーブレースの負担を軽減する。

表-4.5 対策案の組合せ

	対策案	組合せⅠ	組合せⅡ
下弦材の面外変形対策	①下横構ガセットの拡大	1案を選定、または組合せ案	
	②当て板にリブの追加		
	③当て板の増厚		
	④コンクリート充填		○
横桁の剛性不足対策	⑤横桁の下に対傾構の設置	○	○
	⑥横桁の桁高アップ		

表-4.6 補強工法一覧表

	概要	経済性 (工事費)	疲労耐久性	製作性・施工性	維持管理性	
下弦材の面外変形対策	<b>①下横構ガセットの拡大</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■下横構のガセットを拡大することにより、下弦材が負担する応力を分散させる対策案である。</li> </ul>	ガセット改良 2百万円 合計 2百万円	<ul style="list-style-type: none"> <li>■下横構の応力を分散することにより面外変形を小さくすることが可能である。⇒FEM解析にて効果を確認</li> <li>■ヒンジ部のピンと近接し、形状が制限を受けることから、効果に限界がある。</li> </ul>	△ ■設置箇所の形状の計測を行い、その結果を基に、加工を行う。 ○ ■当て板の剛性が比較的 low、ボルト締め付け時に変形が生じ、形状に馴染むことから、製作精度の要求は多少緩和される。	○ ■部材が少なく、点検、塗装の塗替えが容易である。 ■VP3、23での二重鋼管部のワンサイドボルトのゆるみ等の点検が必要である。
	<b>②当て板にリブの追加</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■当て板にリブを設けて剛性を高め、下弦材の面外変形が生じにくい構造に改良する案である。</li> <li>■リブの設置に伴いボルト配置に制約を受ける。</li> </ul>	リブ追加 1百万円 合計 1百万円	<ul style="list-style-type: none"> <li>■当て板の剛性アップにより下弦材の面外変形を小さくすることが可能である。⇒FEM解析にて効果を確認</li> </ul>	○ ■当て板の重量が重くなると施工性に劣る。 △ ■当て板の剛性がリブにより高まり、ボルト締め付け時に誤差の吸収が小さくなるため、製作の精度が要求される。	△ ■溶接による接合部が増え、点検での疲労チェック箇所が多くなる。 ■表面積の増加のため、塗装の塗替え面積が増加する。 ○ ■VP3、23での二重鋼管部のワンサイドボルトのゆるみ等の点検が必要である。
	<b>③当て板の増厚</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■当て板を増し厚することで剛性を高め、下弦材の面外変形が生じにくい構造に改良する案である。</li> <li>■リブの追加よりも剛性の向上効果は低いが、ボルト配置の制約は少ない。</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>■当て板の剛性アップにより下弦材の面外変形を小さくすることが可能である。⇒FEM解析にて効果を確認</li> </ul>	○ ■当て板の重量が重くなり、施工性に劣る。 ○ ■当て板の剛性が比較的 low、ボルト締め付け時に変形が生じ、形状に馴染むことから、製作精度の要求は多少緩和される。	○ ■部材が少なく、点検、塗装の塗替えが容易である。 ○ ■VP3、23での二重鋼管部のワンサイドボルトのゆるみ等の点検が必要である。
	<b>④コンクリート充填</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■コンクリートを充填することで剛性を高めて面外変形が生じにくい構造に改良する案である。</li> <li>■下弦材を押し込む力に対しては有効であるが、引張力に対しての効果は低い。</li> <li>■改良箇所は、VP1, 3, 23, 25の計8箇所</li> </ul>	コンクリート充填 8百万円 合計 8百万円	<ul style="list-style-type: none"> <li>■部分的に下弦材にコンクリートを充填することにより、押し込み側の面外変形が生じにくい構造となる。</li> <li>■死荷重は増加するが部分的であるため全体構造への影響は小さい。</li> <li>■ガセットの引張力による疲労耐久性の照査が必要である。⇒FEM解析にて効果を確認</li> </ul>	△ ■下弦材を削孔して、隔壁となるバルーン設けてコンクリートの充填を行う。【施工期間1ヶ月】 △ ■VP23の側径間側がピン構造となっているため、ピン構造の箇所にコンクリートが及ばないように隔壁設置の確実性が要求される。	△ ■充填部は、今後、部材の取り付けが困難となる。 △ ■充填前の鋼管内部の錆の処理の影響、未充填箇所等、鋼管内部の腐食の管理方法を検討する必要がある。
横桁の剛性不足対策	<b>⑤横桁の下に対傾構の設置</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■対傾構を設置することにより横桁の剛性を高めてニーブレースへの負担を軽減する案である。</li> <li>■ニーブレースの一部を撤去し、新たに設置するガセットとニーブレースのウェブをボルトで接合し、一体化を図る。</li> </ul>	対傾構 12百万円 合計 12百万円	△ ■ガセット部に対傾構の斜材が接合されるため、ガセット部に応力が集中し、下弦材の面外変形が大きくなる可能性がある。⇒FEM解析での取り付け部の耐力照査	○ ■下横構の水平材を一時撤去する際は仮設材を設置する。 ○ ■搬入する部材の重量が小さく、施工性は良い。 ○ ■部材は、桁下からチェーンロックにて吊り上げる。【施工期間2ヶ月】	○ ■部材の設置がボルト接合となることから、疲労損傷の恐れがある箇所が少なく、点検での疲労チェック箇所が少ない。 ○ ■バラペットと橋台バラペットの通気性が良く、点検も容易である。
	<b>⑥横桁の桁高アップ</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■横桁の桁高をアップすることにより横桁の剛性を高めて、ニーブレースへの負担を軽減する案である。</li> <li>■ニーブレースのウェブの一部を残し撤去し、新たに設置する横桁のウェブとボルトで接合し、横桁のウェブと一体化を図る。</li> </ul>	対傾構 20百万円 合計 20百万円	○ ■対傾構よりも剛性を高くすることが可能である。 ○ ■横桁の下フランジと下弦材が接合する構造となり、下弦材の面外変形が大きくなる可能性がある。⇒FEM解析での取り付け部の耐力照査	○ ■下横構の水平材を撤去する際は仮設材を設置する。 ○ ■搬入する部材の重量が大きく、既設部材へのボルト孔明が多く、施工性は悪い。 ○ ■部材は、桁下からチェーンロックにて吊り上げる。【施工期間2ヶ月】	△ ■部材の設置がボルト接合となることから、疲労損傷の恐れがある箇所が少なく、点検での疲労チェック箇所が少ない。 △ ■横桁と橋台バラペット間の点検、塗装の塗替えが困難となる。

## 5. 支承部補剛リブ

### 5.1 補修検討

#### (1) 補修工法の抽出

亀裂による補修工法として、以下の案を抽出とする。

- ①溶接 : ベント等により亀裂箇所を無応力状態とし、亀裂発生部をグラインダー、ガウジング等により除去し、再溶接を行う。
- ②部材交換 : ベント等により亀裂箇所周辺を無応力状態とし、新たな部材に取り換える。
- ③現状維持 : 応急対策でストップホール (SH) を実施しているため、新たに補修を実施しない。

#### (2) 補修工法の選定

補修工法の比較検討結果を表-5.1 に示す。比較の結果、耐震補強のための支承交換を前提とした場合、①溶接が有利となる。

表-5.1 補修工法の比較表

	構造的性	施工性
① 溶接	○ ・品質によっては疲労損傷の可能性がある ・鋼材の溶接性は確認済み (表-5.2)	○ ・支承の交換とともに実施することで、ジャッキアップ作業を兼用
② 部材交換	△ ・支承補剛リブを下弦材に高力ワンスайдボルト、又は溶接にて取り付け必要がある	○ ・支承の交換とともに実施することで、ジャッキアップ作業を兼用 ・部材重量が重く、搬入、設置が劣る
③ 現状維持 (SH)	△ ・応急対策であり耐荷力は復元しない ・耐荷力の照査が必要	○ ・実施済み

表-5.2 鋼材の化学成分

試料名	化学成分 (%)				
	C	Si	Mn	P	S
VPL01-⑥	0.12	0.32	0.47	0.018	0.023
SS400の規格	-	-	-	≤0.050	≤0.050
SM400の規格	≤0.18	≤0.35	≤1.40	≤0.035	≤0.035

※溶接構造用圧延鋼材である SM400 の化学成分の規定値を満足している。

### 5.2 補強検討

#### (1) 補強工法の抽出

接触を解消できる対策案について、以下の案を抽出する。

##### ① ピンチプレートの交換 (図-5.1)

支承補剛リブと接触しているピンチプレートをコの字型に交換することにより、接触を解消する案である。

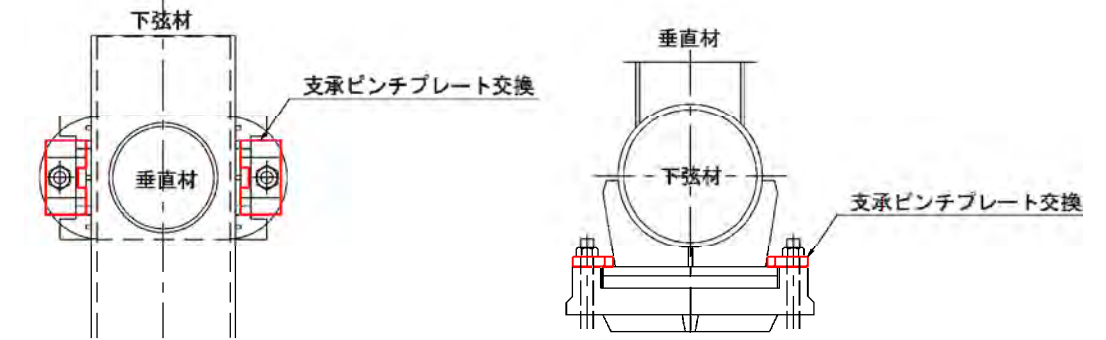


図-5.1 ピンチプレートの交換

##### ② 支承交換

耐震補強と合わせて支承を交換することにより、接触を解消する案である。

#### (2) 補強工法の選定

支承補剛リブとピンチプレートの接触による応力を解消できる対策案については、今後、以下の方針で検討を行い最適案を選定する。

- ▶ 『①ピンチプレートの交換』は、耐震補強対策を兼ねることができないため、別途支承部の耐震補強 (固定装置を設置、地震力の低減) の検討を行う。概略比較検討を表-5.3 に示す。
- ▶ 耐震補強により支承交換を実施する場合は、別途支承部の耐震補強は検討しない。

表-5.3 支承部の耐震補強と支承交換の比較

	経済性	
支承部の耐震補強	固定装置	25 百万円
支承の交換	支承工	20 百万円

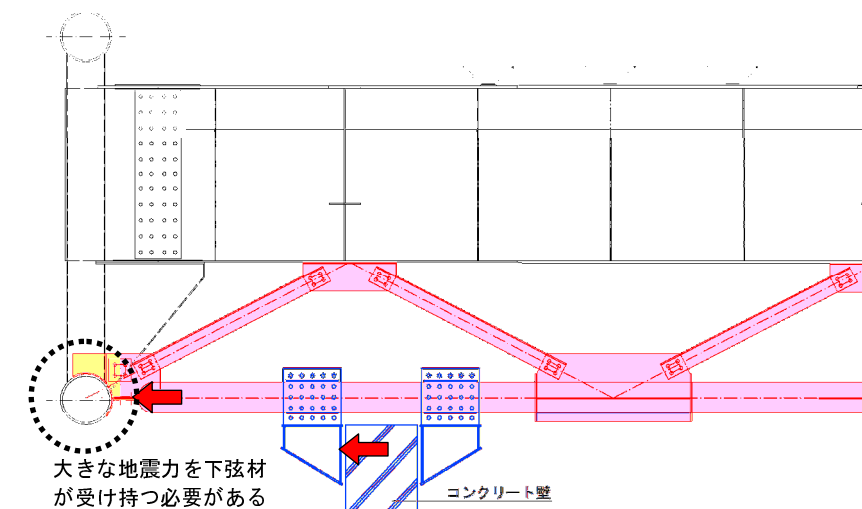


図-5.2 固定装置

## 6. 腐食

鋼管内の滞水による腐食対策として以下の案を抽出し、確実かつ他の恒久対策に影響の少ない『③密閉構造+発砲ウレタン樹脂注入』とする。

- ①密閉構造：ボルト部にシーリングを行い密閉構造とするが耐久性に懸念がある。
- ②密閉構造+モルタル充填：鋼管内をモルタルで充填して空気および水を遮断するが死荷重の増加が懸念される。
- ③密閉構造+発砲ウレタン樹脂注入：鋼管内を発砲ウレタン樹脂で充填して空気および水を遮断する。
- ④再塗装：鋼管内の再塗装は品質の確保が困難である。
- ⑤点検孔の設置：(常時、蓋等で閉じる)

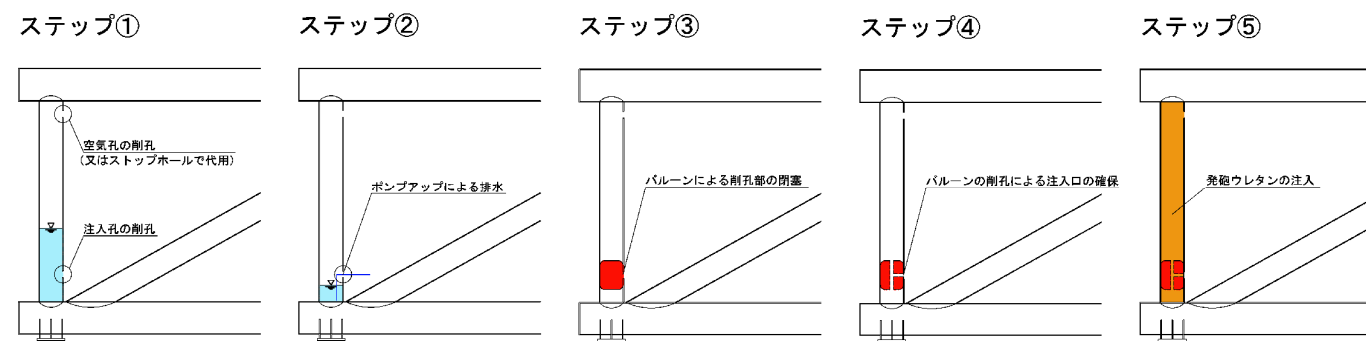


図-6.1 発砲ウレタン注入手順