

鋼橋の補修補強事例

小藤 輝正
横河工事(株)

鋼橋の補修・補強事例

(一社)日本橋梁建設協会
保全委員・小藤 輝正

1. 腐食損傷
2. 亀裂損傷
3. 高力ボルトの緩み・脱落
4. 支承部の機能不全
5. 変形損傷
6. 伸縮装置の損傷

1. 腐食損傷

1. 1 R C 床版貫通部の腐食補修対策



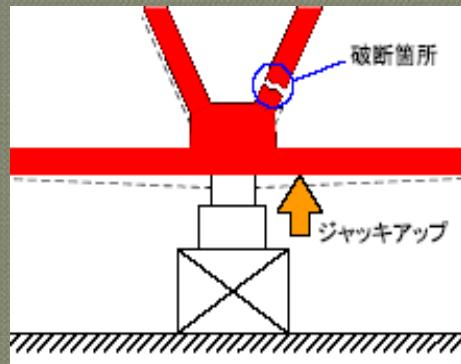
－損傷状況－

- R C 床版貫通部のトラスの斜材が腐食により破断損傷

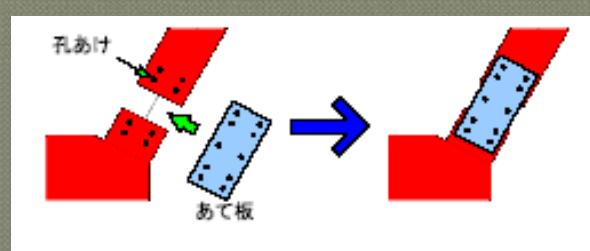
－損傷原因－

- 地覆コンクリートと斜材の境界部から雨水が浸透し腐食
- 過積載車両等の重交通による繰り返し作用からの疲労破断と推定

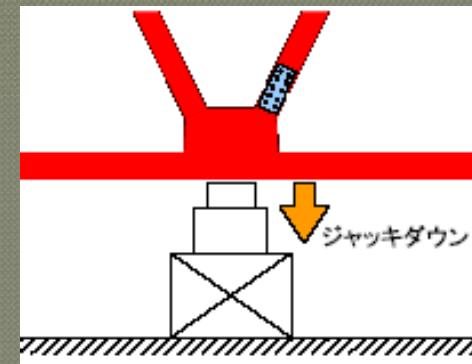
1. 1 R C 床版貫通部の腐食補修対策



STEP①



STEP②



STEP③

一補修対策一

- ①破断箇所近傍のトラス格点を架台で仮受け、ジャッキアップ
- ②破断箇所に孔明けし、当て板を高力ボルトで取付
- ③本締め完了後、ジャッキダウン

1. 1 R C 床版貫通部の腐食補修対策

－施工上の留意点－

- ①ジャッキアップにより破断していない箇所に想定外の応力が発生しないことを確認する。→応力検討
- ②応力超過発生が考えられる場合、事前に補強対策等を実施してからジャッキアップを行う。→補剛材の追加等
- ③腐食対策では、漏水、湿潤状態などの発生原因を排除することが重要。→防食塗装、清掃、止水等

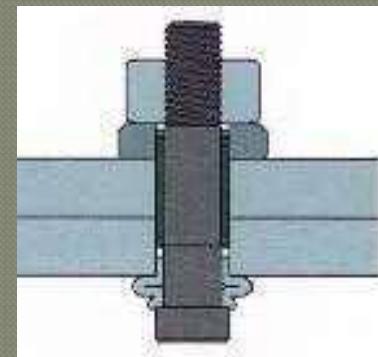
1. 1 R C 床版貫通部の腐食補修対策

一腐食部の当て板補強一

- 腐食が進行し断面欠損を伴い、強度上の弱点となる箇所には、それを補うために当て板を設置する。
- 接合方法は、品質確保の点から高力ボルトを用いる。
- 溶接接合は、溶接部が新たな疲労強度上の弱点となりやすいため、特殊な場合を除いて避ける。

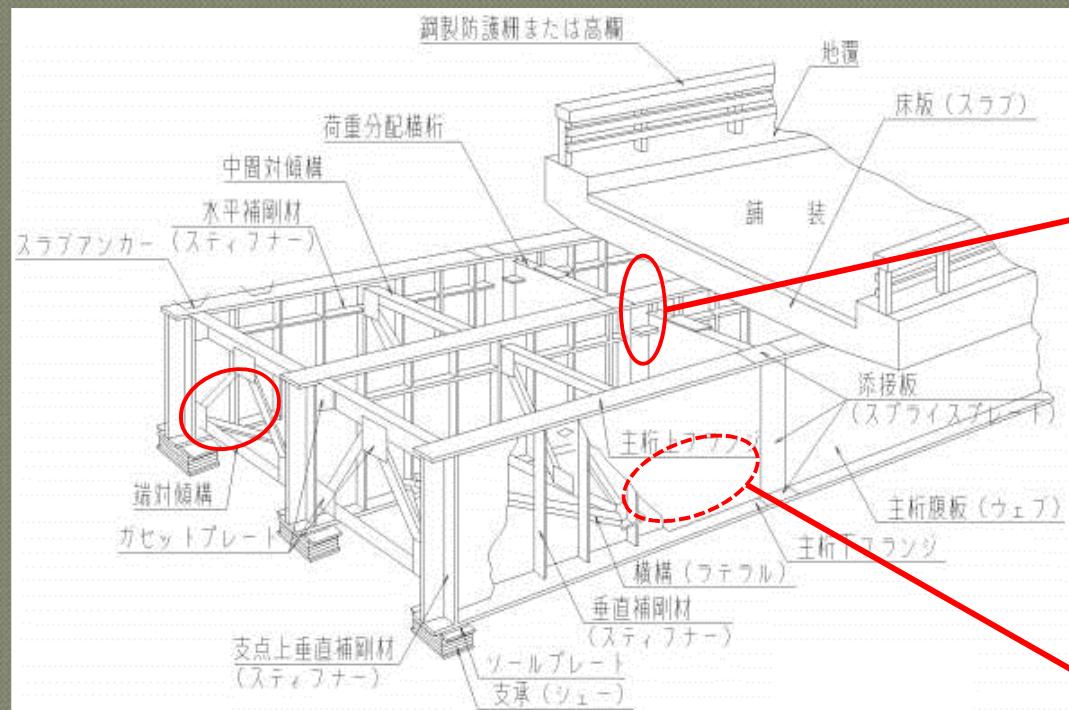


箱形状斜材の補修（全体改修）



ワンサイドボルト

1.2 局所的に腐食した部材の取替対策



局所的な腐食が生じやすい部位



写真-1



写真-2

一損傷原因一

- ▶排水管からの漏水などがフランジ上で帶水
- ▶桁の内側は乾燥し難く、局所的な腐食損傷を発生

1.2 局所的に腐食した部材の取替対策

一腐食対策一

腐食程度：小

→防食塗装、ブラスト+塗替え塗装等

腐食程度：中

腐食により減厚

→防食塗装、当て板補強

腐食程度：大

局所的に大きく減厚、孔食などが発生

→損傷部を切除して補修、補強

1.2 局所的に腐食した部材の取替対策

—腐食部の部分取替の留意事項—

- 供用下での施工となるため、溶接による添接は、作業者の技量依存や振動の影響など施工上リスクが高いため採用は避けた方が望ましい。
- ボルトによる添接の場合、鋼材の健全部との取合いを考慮し、詳細な調査を実施実測を行った上で、切除範囲を決める。
- 切断交点は、電気ドリルで孔明けをし、角のRを確保するようとする。

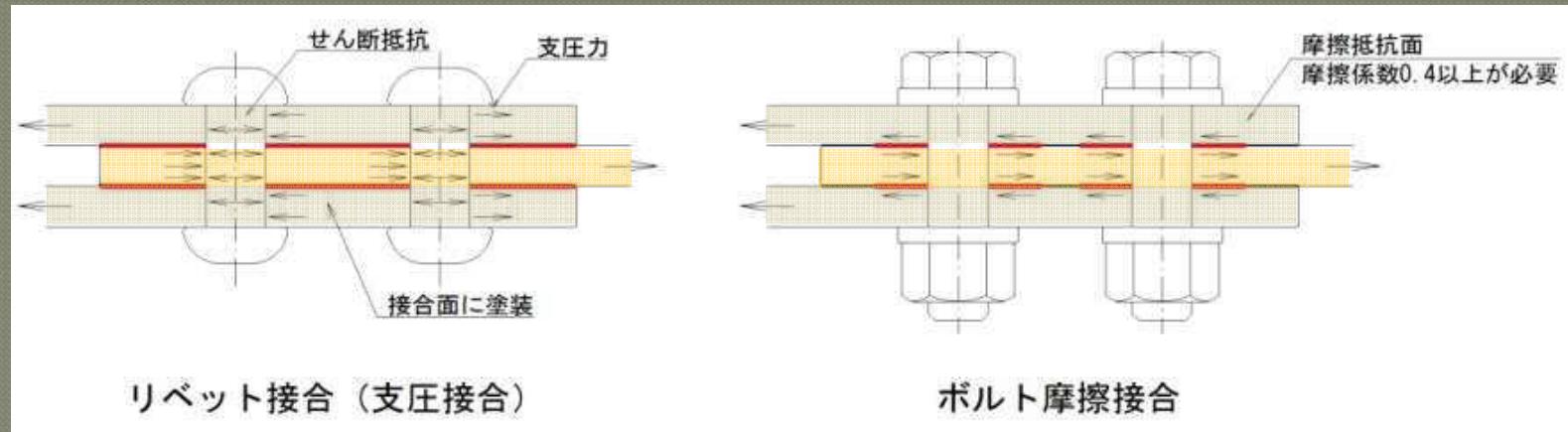
1.2 局所的に腐食した部材の取替対策



1. 3 リベットの取替え対策

—リベット接合について—

リベット接合は摩擦接合ではなく、摩擦+軸部のせん断と孔壁との支圧により抵抗する継手であり、高力ボルト接合や溶接接合が使用される前は、最も一般的に数多く使用されてきた継手の一種



リベット接合と摩擦接合の構造

1. 3 リベット取替対策

—リベットの損傷の現状—

- 添接部材の腐食による補修などに伴い、抜き取る事例がほとんどである。
- 抜取後は、高力ボルト接合に変更する。
- 道路橋では、車両の衝突や地震などの外力によるもの以外では、リベットそのもののゆるみはあまり報告がない。
- 昭和50年初頭くらいを最後に現在ではほとんど使用されていない。リベット接合自体は、問題のない接合方法であるが、作業を行える職人は現在ほとんどいない。

1. 3 リベット取替対策

－施工時の留意点－

所定摩擦係数を確保する

- リベットの接合面には防錆塗料として鉛丹錆止め塗料が使用されていることがある。その摩擦係数は0.3程度。
- 接合面全て高力ボルトに取り替える場合は、接合面の処理、ボルトのサイズアップ、打ち込み式高力ボルトの使用などを検討する。

高力ボルトの許容応力度

ボルトの種類	許容応力度 (1摩擦面あたり)	比率
F10T(S10T)M22	48KN	1.00
F10T(S10T)M24	56KN	1.16
B10T,M24	72KN	1.50



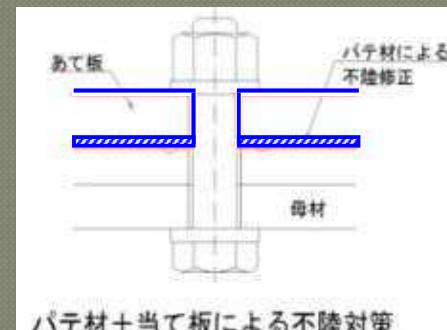
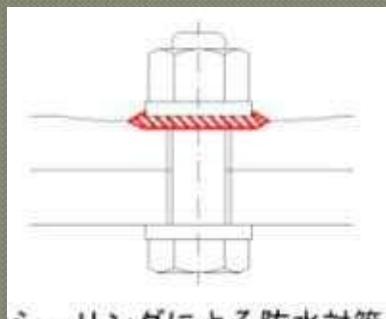
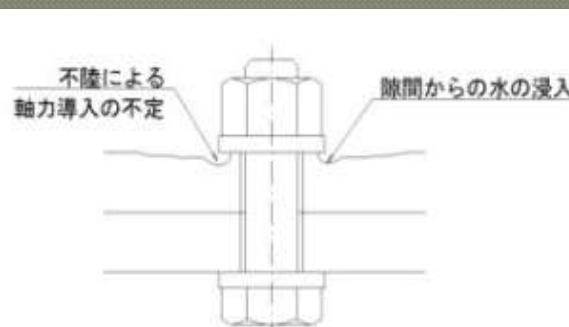
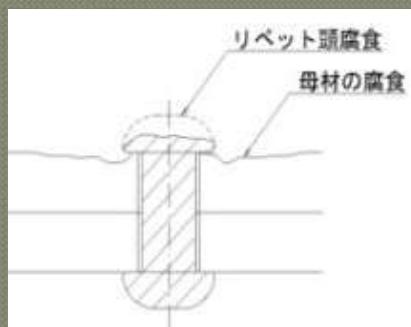
支圧接合用打ち込み式高力ボルト(B10T)

1.3 リベット取替対策

－施工時の留意点－

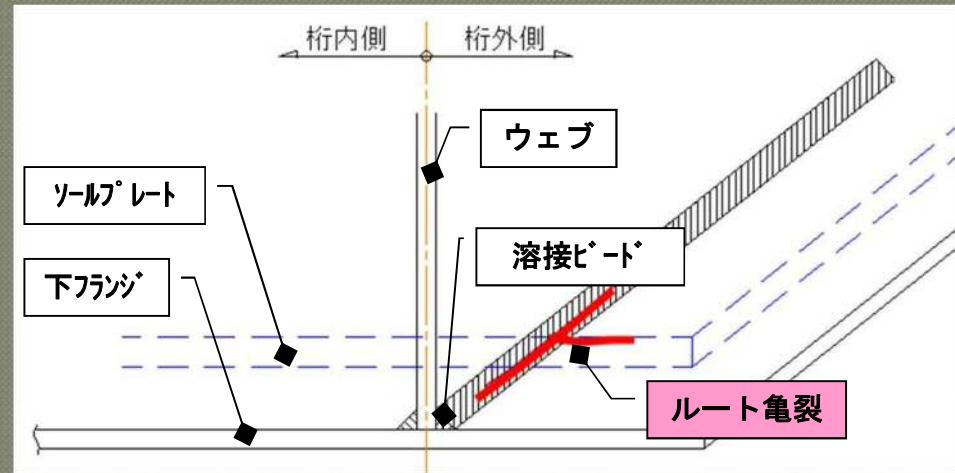
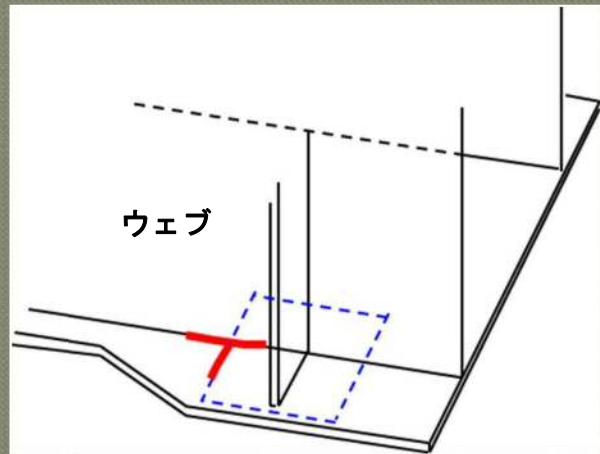
母材の腐食対策

- 母材の凹凸からボルト孔に水が浸入し逆に腐食が進行するケースがある。
- 母材とボルトに不陸が発生し、正しい軸力が導入されない。



2. 龜裂損傷

2. 1 主桁下フランジに発生した亀裂損傷対策



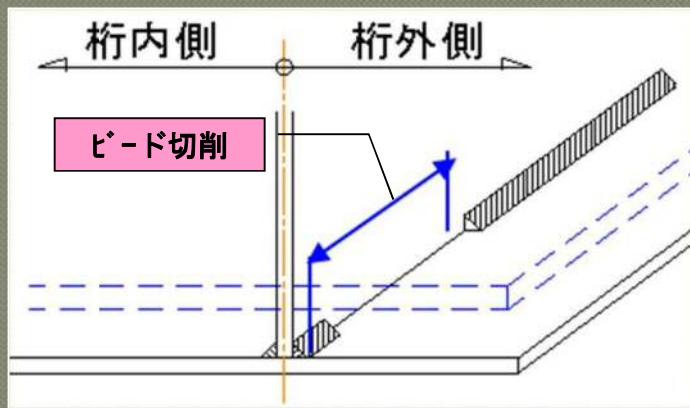
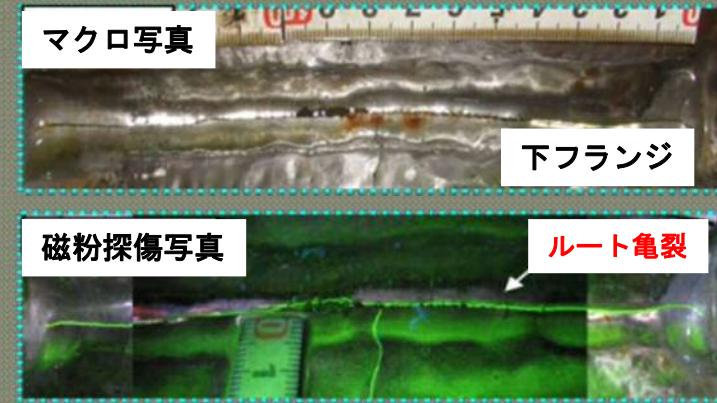
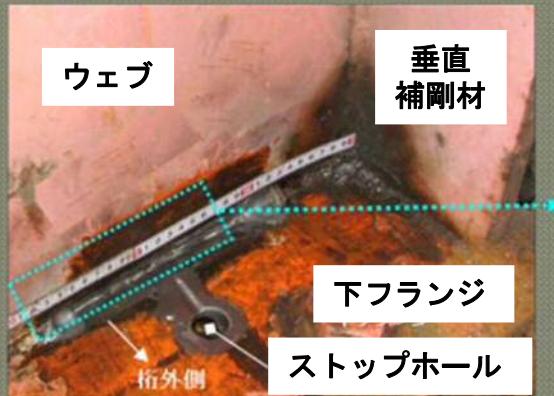
一損傷状況一

- 主桁下フランジ下面のソールプレート溶接部に亀裂
- 主桁下フランジ上面のウェブ溶接部に亀裂

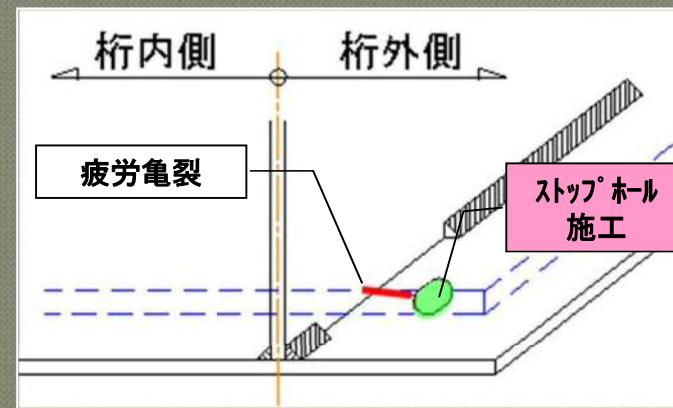
一損傷原因一

- 経年劣化による支承の回転機能が低下
- 断面急変部（ソールプレート溶接部）に応力集中

2. 1 主桁下フランジに発生した亀裂損傷対策

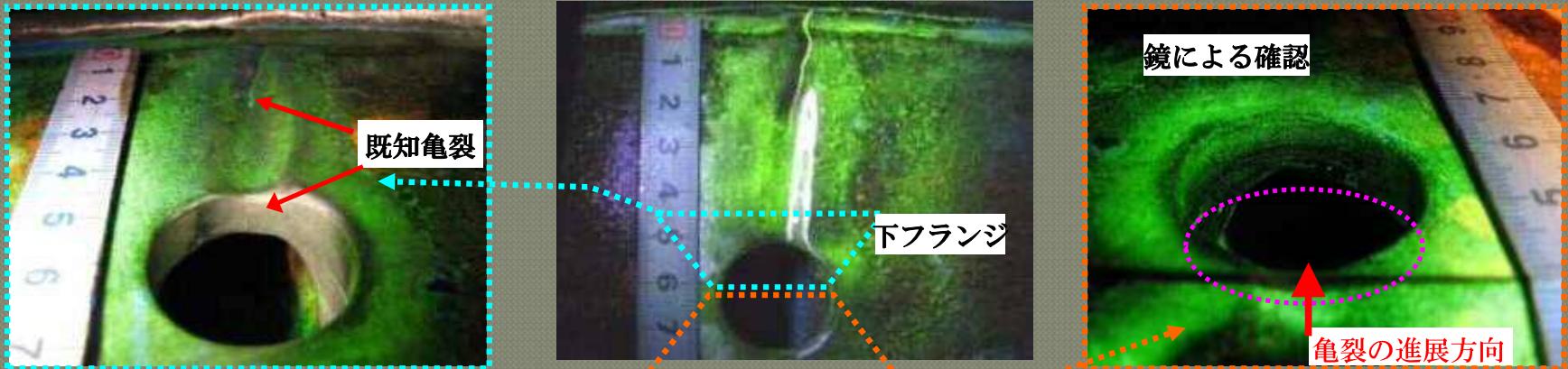


—補修対策 1 —
溶接ビード切削



—補修対策 2 —
亀裂先端にストップホール
を施工

2. 1 主桁下フランジに発生した亀裂損傷対策



一施工上の留意点一

- 亀裂処理の成否判断ができる技術者が必ず帯同する。
- ストップホール施工時には、必ず亀裂先端をとらえる。
- 亀裂進展方向の孔壁に残存亀裂が無いか確認する。
- 狹隘部での確認は「検査用鏡」を用いる。

2. 2 鋼製橋脚隅角部の亀裂損傷対策

－損傷要因－

- 鋼製橋脚の隅角部は、製作時における板組みや開先形状に伴い不溶着部が生じやすい。
- 3方向の溶接が交差するため溶接内部に欠陥や未溶着部などが生じやすく構造上の弱点となっている。
- 近年の重交通化に伴う活荷重の増加により、内部の弱点箇所を起点に発生した疲労損傷亀裂が数多く発生している。

2. 2 鋼製橋脚隅各部の亀裂損傷対策

一損傷事例概要一



- 磁粉探傷検査により表面亀裂を発見
- 表面切削除去処理→亀裂消滅せず



活荷重の繰り返しにより溶接内部の弱点から発生した亀裂

2. 2 鋼製橋脚隅各部の亀裂損傷対策

—亀裂除去作業—



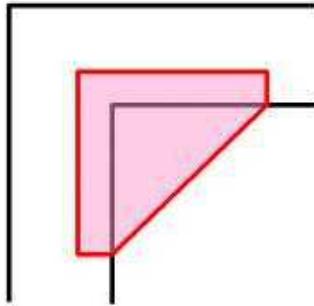
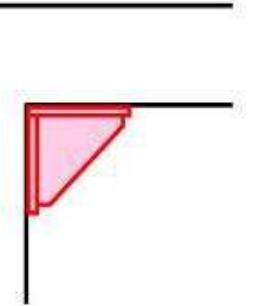
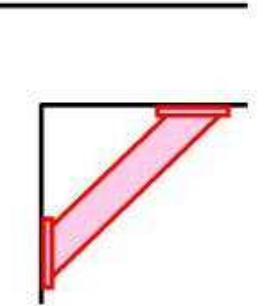
亀裂除去中間



亀裂除去完了

- 表面の亀裂が小さい場合も内在する範囲は広い。
- 切削除去を試みると大きなルートギャップや溶け込み不良による空洞部に到達。
- 棒グラインダーで滑らかに処理

一補強対策例一

工法	当て板補強	ブックエンド補強	方づえ補強
構造 イメージ			

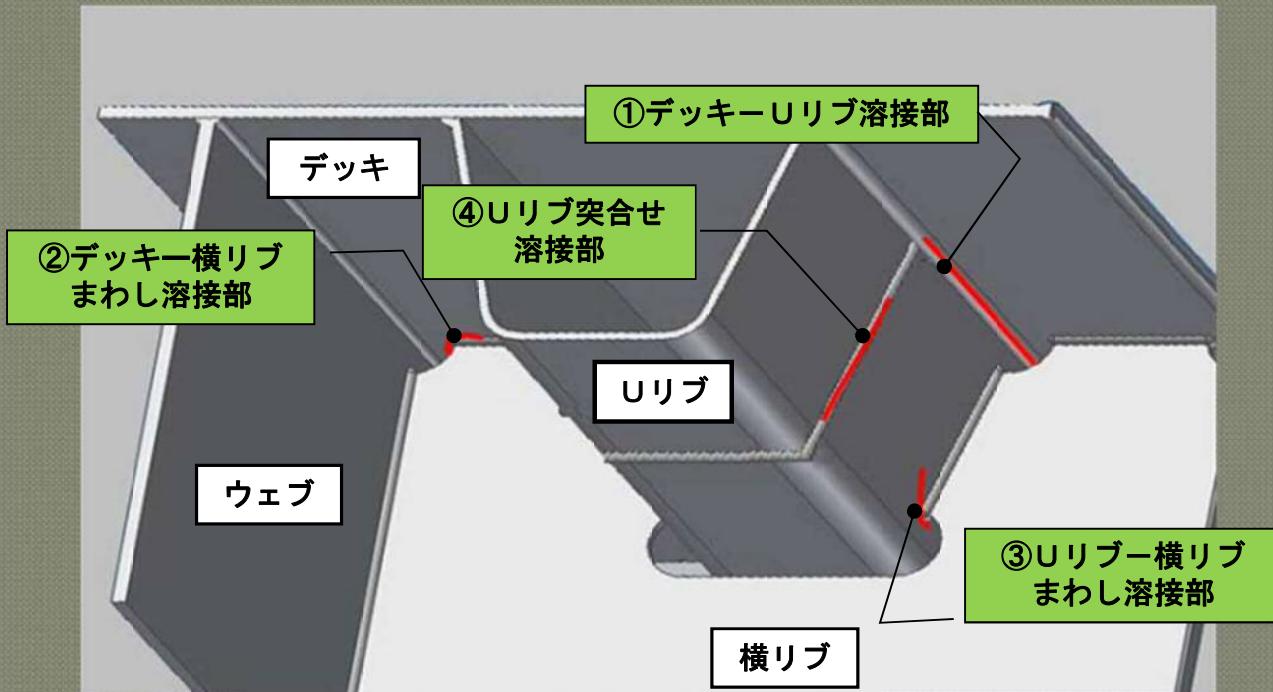


当て板補強完了



ブックエンド補強例

2. 3 鋼床版に発生した各種亀裂の対策

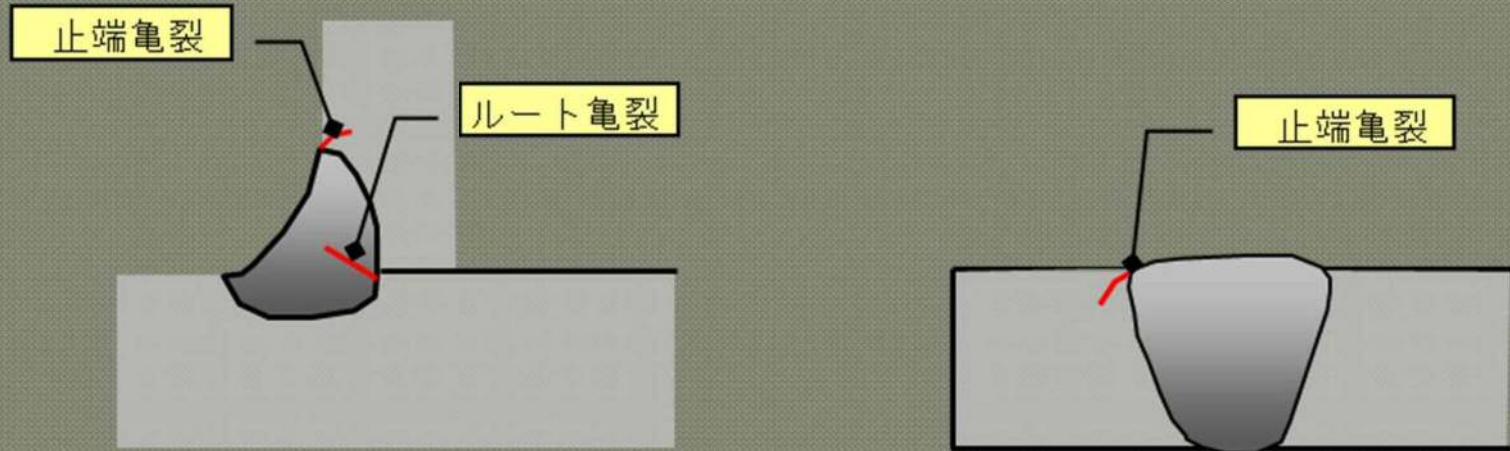


—鋼床版に発生する疲労亀裂—

- ① デッキプレートとUリブの溶接部
- ② デッキプレートと横リブの溶接部
- ③ Uリブと横リブのまわし溶接部
- ④ Uリブ突合せ溶接部

などがある

2. 3 鋼床版に発生した各種亀裂の対策

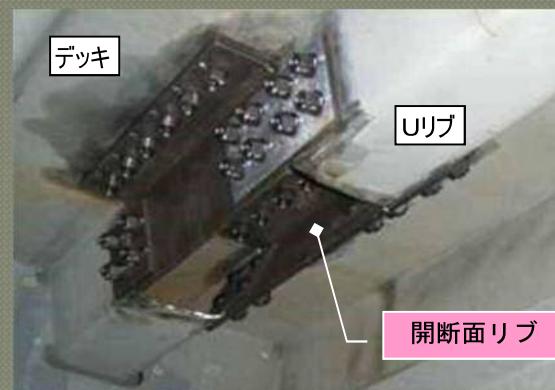
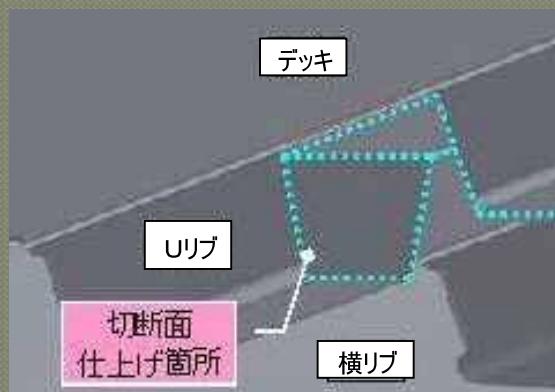
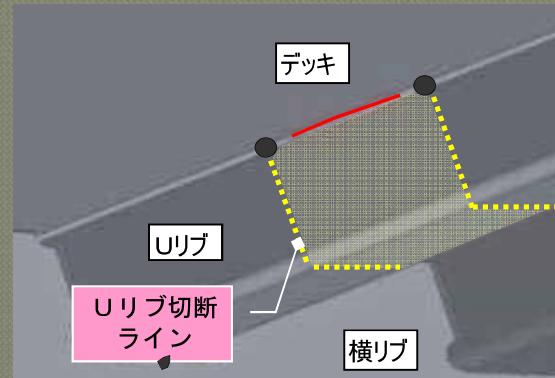
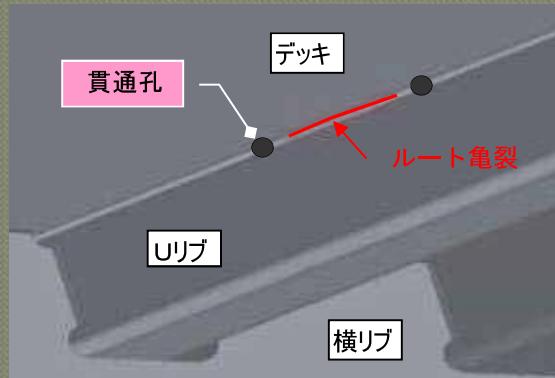


一損傷原因一

- 交通量や車両重量（過積載含む）の増加
- 疲労に対する構造詳細の配慮不足

2. 3 鋼床版に発生した各種亀裂の対策

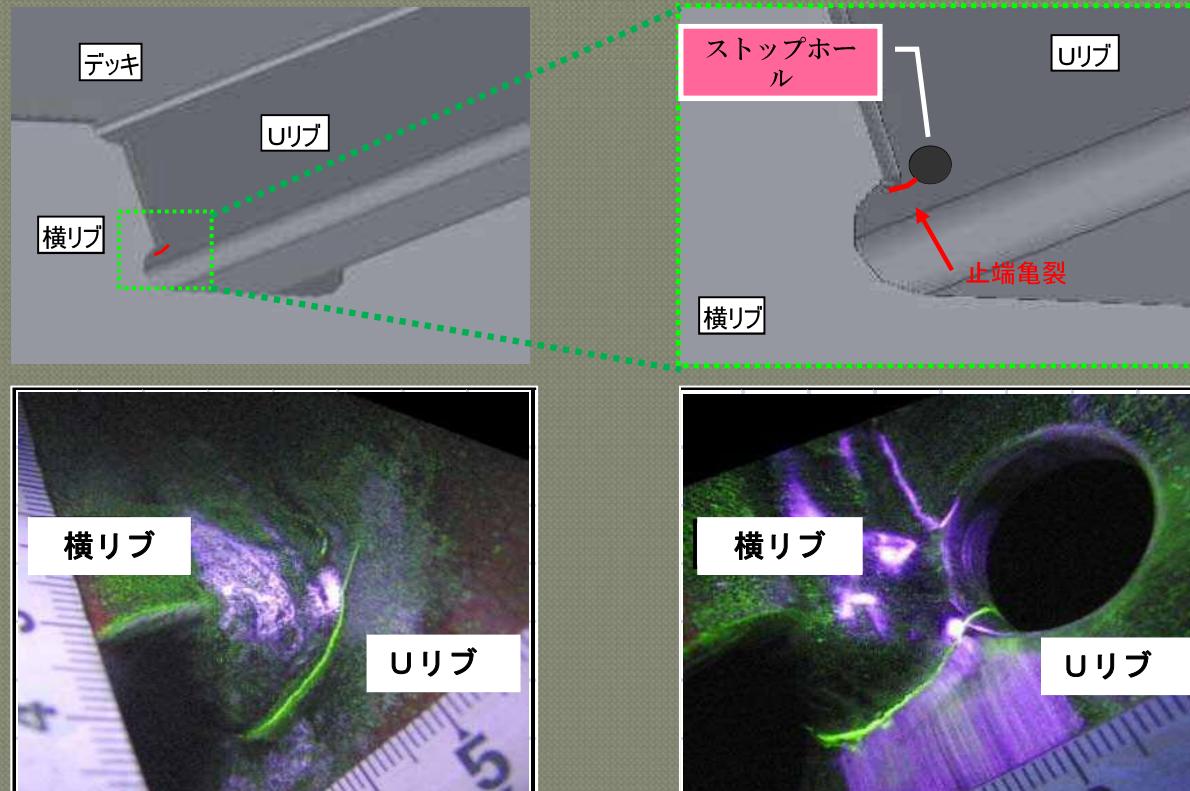
—補修対策例（デッキプレートとUリブの溶接部）—



—施工上の留意点—

- 亀裂先端を貫通孔により確認する
- Uリブ切斷～開断面リブ作業は直上の規制を伴う

2. 3 鋼床版に発生した各種亀裂の対策 —補修対策例（Uリブと横リブのまわし溶接部）—



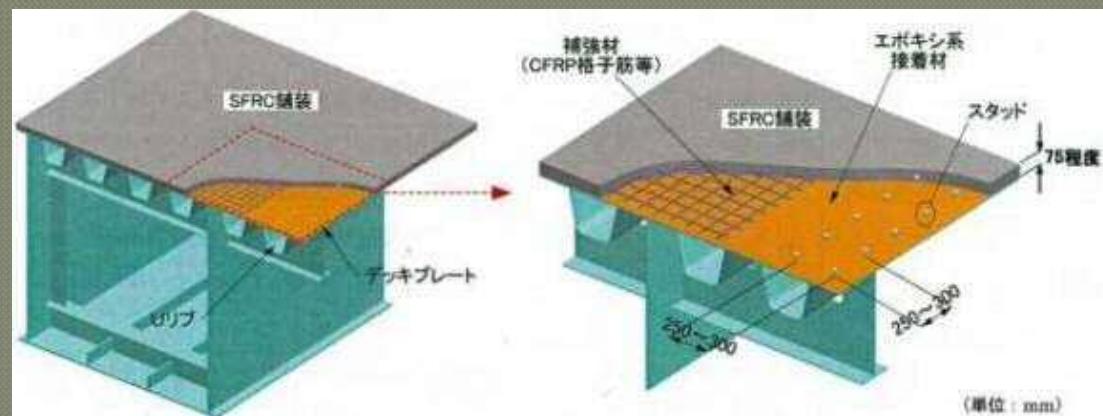
—施工上の留意点—

- ストップホール施工時には、亀裂先端をとらえる。
- 亀裂進展方向の孔壁に残存亀裂が無いか確認する。

2. 4 SFRC舗装による鋼床版補強対策

一対策概要—SFRC舗装

- As舗装と比較して剛性が高く、比重もほぼ同等。
- 鋼床版との一体化を図り、デッキプレートの局部変形を抑制。
- デッキプレートとUリブの溶接部の応力を軽減することにより、当該溶接部の疲労き裂の発生防止、進展抑制を目的。



SFRC補強工法の構造概要

3. 高力ボルトの緩み・脱落

3. 1 F11T高力ボルトの落下対策

—F11T高力ボルト損傷概要—

- 鋼橋の現場継手に用いられている摩擦接合用の高力ボルトは、1964年（昭和39年）にJIS規格化されるとリベット接合に変わり急速に普及。
- しかし、1964～1966年にF13T(引張強さ 130kgf/mm^2 以上)級のボルトが遅れ破壊の事故を多発して問題となる。
- さらに1970年代より、F11T級のボルトまで遅れ破壊の発生が顕在化。
- その後、遅れ破壊に関する研究が各所で進められ、その対策検討が行われた。

3. 1 F11T高力ボルトの落下対策

—F11T高力ボルト損傷概要—

- 現在、鋼橋においてF11T級の高力ボルトの使用は認められていないが、過去に使用されたF11T級の高力ボルトはまだ数多く残っている。
- 高力ボルトの遅れ破壊は現在も進行中であるという認識は必要。
- F11T高力ボルトを見つけたら、まず第三者に被害を与えないようにすることを第一に考えることが重要。
- 部分的な脱落であれば耐荷力がすぐに低下することはない。
- しかし、脱落のリスクを内在していることは変わりがない。

3. 1 F11T高力ボルトの落下対策

—落下対策概要—



落下防止柵

利点：防止対策として確実性が高く、耐久性もある。

欠点：他の方法に比べ高価。製作時間がかかる。

- 鋼桁や箱桁などの添接部全体を覆いたい場合に有効。



落下防止ネット

利点：施工が簡単、安価である。

欠点：材料の劣化、ゆるみ。

- 恒久的な対策には向かない。
- 建築限界に配慮し、弛まないように設置する。

3. 1 F11T高力ボルトの落下対策

—落下対策概要—



落下防止キャップ

利点：施工が簡単で安価。
購入即施工できる。

欠点：添接部の本数が少量の部位では不向き。
サイズは、M22のみ

- 早急な対応が必要な時や部分的なボルトの落下対策に向いている。
- ナット・ボルト頭の両側に設置する。



ボルト頭側



ナット側

3. 2 高力ボルトの取替対策

一損傷概要一



- 塗装塗替え用等の足場設置時に脱落を発見ことがある。
- 一本でも見つけた場合、管理者に報告する。

一留意事項一

- F11TからF10Tにボルト取替ると継ぎ手強度
(設計軸力は、約5%低下) するため応力照査を行う。

等級	呼び	設計軸力		許容力(摩擦接合1面) ρ_a (KN/本)
		N(KN)	ρ_a (KN/本)	
F10T	M22	205	48	
F11T	M22	216	51	
$\rho_a(F10T) / \rho_a(F11T)$		0.95		

4. 支承部の機能不全

支承部の機能不全について

－支承の役割－

支承には、活荷重による桁の回転と水平荷重を伝達をする機能が必要であり、さらに可動支承では温度変化による桁の伸縮を円滑にする機能が必要。

しかし、支承が腐食するとこの二つの機能は不良となり、桁の円滑な動きを阻害し、桁の亀裂、破断につながったりして、最悪の場合、落橋につながる恐れがある。

支承における変状の発生は、他の上部構造部材の変状を誘発する場合がある。

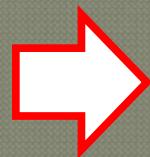


支承における損傷に関しては、支承の機能状態も考慮して補修、取替え等の対応を行う。

支承部の機能不全について

—機能不全の原因と損傷—

伸縮装置からの漏水による腐食や土砂堆積



支承本体の腐食

材料、施工不良



沓座モルタルの損傷

地震等の強制的外力



ローラーの脱落
アンカーボルトの抜出し
支承本体の変形

基準の改定



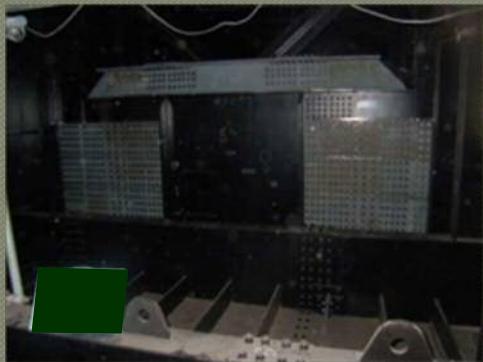
耐震・耐震力の向上

4. 1 支承取替え補修

—補修理由—

➤ 耐震基準改定に伴い耐震性の向上を図る

—施工ステップ—



ジャッキアップ補強



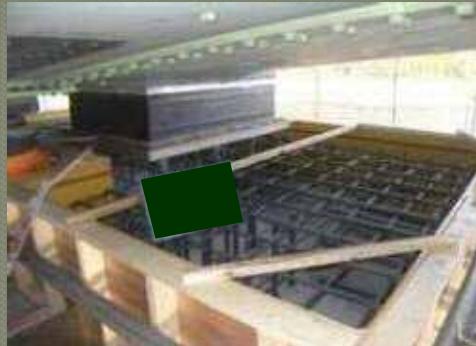
ジャッキアップ



既設沓座撤去



既設支承撤去



新規沓座設置



新規支承設置

4. 1 支承取替え補修

－施工上の留意点－

▶ 現地計測を充分に行い補強材等に反映する

ジャッキアップ補強材等を設置する際、既設造物への干渉により設置はおろか、マンホールを通らない等留意する必要がある。

▶ ジャッキアップ量は必要最低限にとどめる

過渡なジャッキアップは本体部材の座屈を誘発する。特に、橋台部においては路面段差により一般通行車両の事故につながるため留意する必要がある。

4. 2 背座補修対策

一損傷概要一

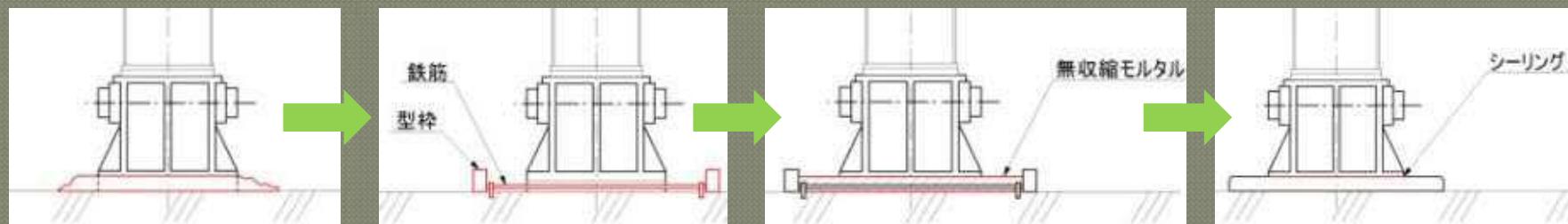


古い橋梁においては、

- 背座に使用しているモルタル材が、現在のような無収縮モルタルと異なり、カラ練りモルタルやドライパッキン等を使用しているものが多い。
- 強度も低く無筋であることもあり、経年の使用により割れなどの劣化損傷

4. 2 背座補修対策

—補修ステップ—



劣化背座はつり



型枠・配筋



シーリング処理

4. 3 機能回復対策（清掃、グリスアップ）

一損傷状況一

- 海岸付近に架橋
- 伸縮部からの排水と塩分を含んだ風雨によりローラー一部の腐食
- 数年後に隣接地域に新設橋梁の架け替え計画

取替対策： × → 延命化対策： ○



4. 3 機能回復対策（清掃、グリスアップ）

清掃+グリースアップ工法

- 1回の効果は約10年が目安。
- 支承の取替えコストに比べると構造形式にもよるが約1/10程度。
- 仮受け設備を必要としないため、施工は比較的容易。
- 耐用年数、更新時期等が判明している場合などは有効。

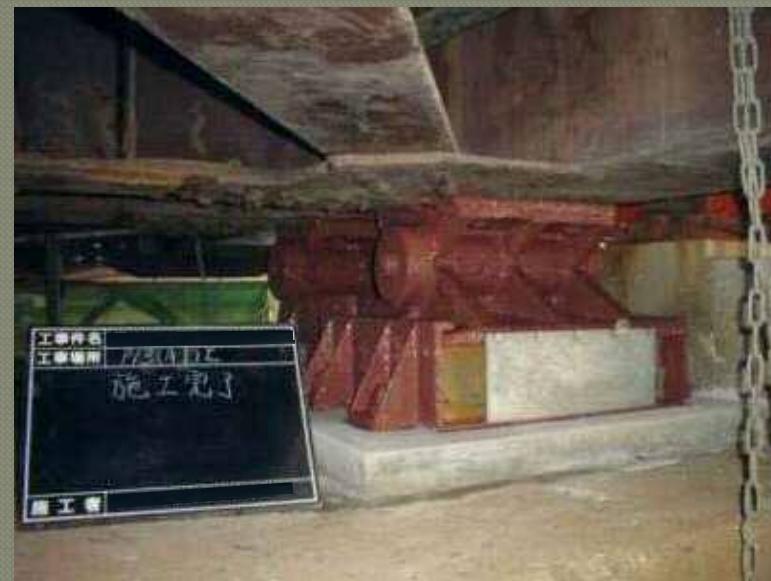
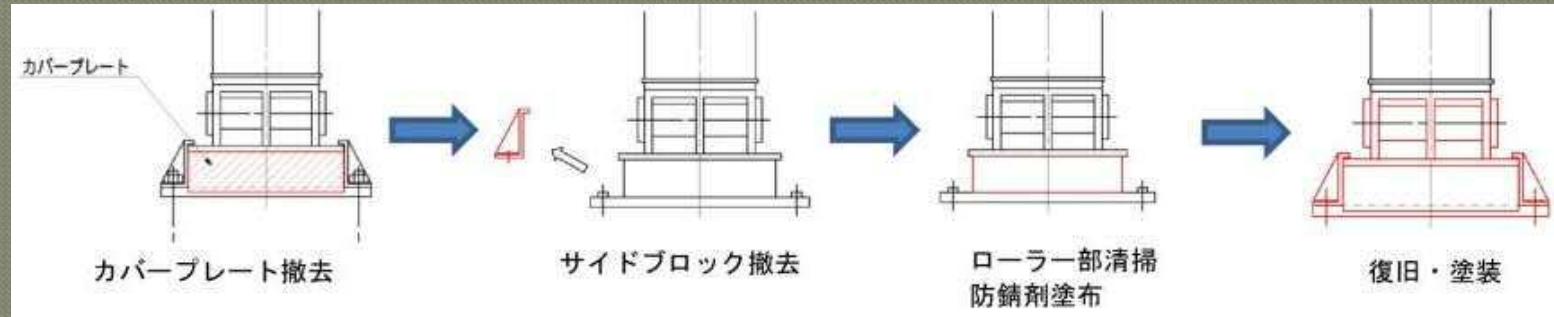


清掃完了



グリス塗布

4. 3 機能回復対策（清掃、グリスアップ） —補修ステップ—



施工完了

4. 4 防食対策（塗替え、亜鉛溶射）

－損傷状況－

- 支承外周のさび、腐食
- 支承そのものの機能低下はない
- 桁の塗替え塗装の実施



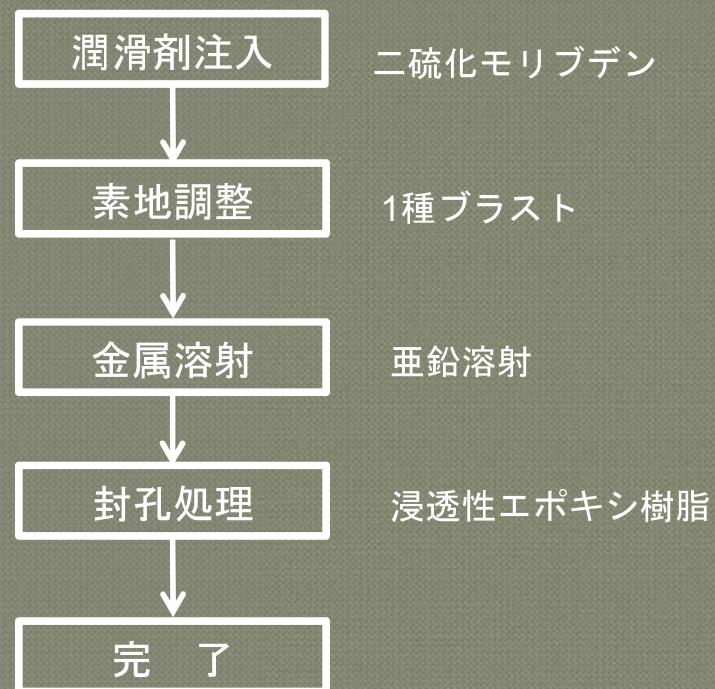
長寿命化対策として金属亜鉛溶射



4. 4 防食対策（塗替え、亜鉛溶射）

金属溶射工法

優れた密着性を発揮する専用の粗面形成材を塗布して素地を強制的に粗面化し、防錆効果の高い亜鉛・アルミ擬合金を軽量小型の溶射機を用い常温で溶射する重防食を目的とした工法。



5. 変形損傷

5. 1 車両衝突による変形部の補修対策

変形が小さい場合



ガス炎による加熱矯正



ただし、

- 損傷箇所によっては施工不可。
- 作業員の技量依存度が高い方法。
- 必ずしも元の通りに戻るとは限らない。
- 当て板補強などを併用するのが望ましい。

5. 1 車両衝突による変形部の補修対策

—設計・施工上の留意点—

- 鋼材の材質によっては、強度や韌性の低下もあるので加熱による影響を調べてから施工する。
- 加熱時は、車両通行による衝撃で思わぬ変形をすることが考えられるため、矯正中は、車両の交通規制を実施して行う。
- 加熱温度管理。温度管理は、温度チョークが可視的に管理できるため一般的に使用。

5. 1 車両衝突による変形部の補修対策

－施工ステップ－



加熱状況



矯正状況



矯正完了



温度チョーク

指示温度以上になると溶けだし、温度がわかる。

5. 1 車両衝突による変形部の補修対策

変形が大きい場合



部材の取替または部分取替

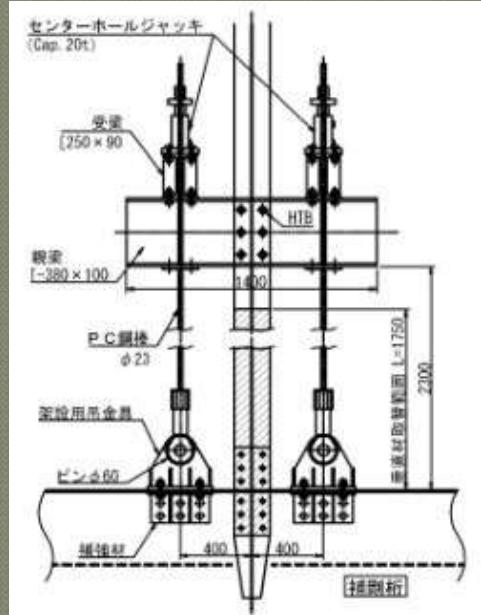
ただし、

供用下で主要部材を撤去するため、一時的に部材を撤去したときの応力計算を必ず実施する。



5. 1 車両衝突による変形部の補修対策

一補修概要一



バイパス設備図

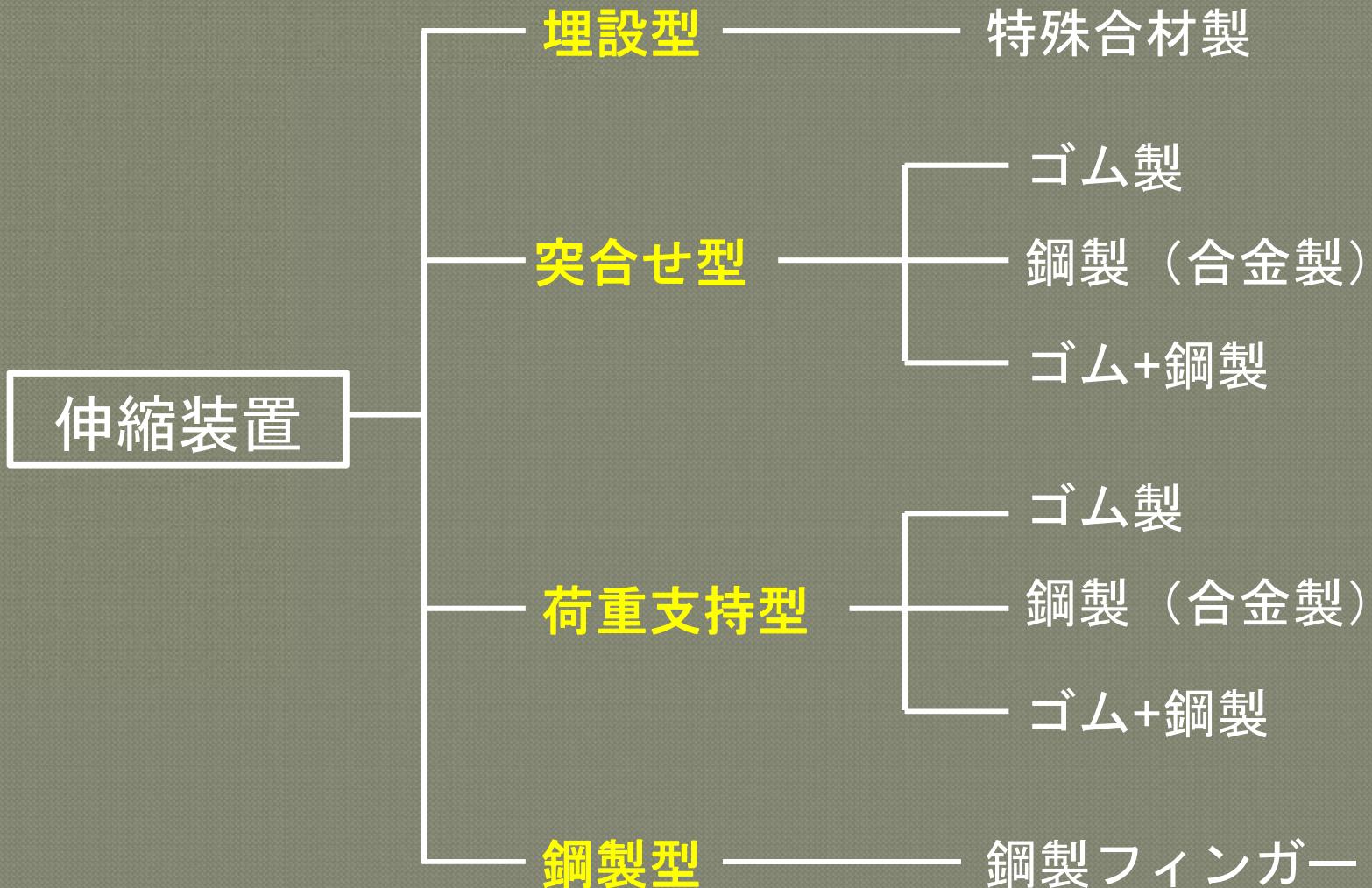


部分取替完了

- バイパス設備構築後、損傷部分を無応力にして切断撤去。
- 設計上の垂直材発生応力と実応力の誤差に留意。
- 桁の全体形状と応力を併用管理。

6. 伸縮部の損傷

伸縮装置の構造区分



6. 伸縮装置の補修

－伸縮装置損傷の要因－

設計時の配慮不足



・伸縮量の算定誤り

・たわみによる回転を未考慮

・伸縮構造形式の選定誤り

製作・施工時の不備



・溶接部の製作不良

・設置不良（不陸、段差等）

維持管理上の問題



・輪荷重の繰り返し作用

・支承部および土工部の沈下

その他の問題



・設計基準の改定

・排水型構造伸縮装置

6. 1 埋設型→荷重支持型へ取替え

一損傷概要一

路面の連續化工事に伴い、

鋼フィンガージョイント → 埋設ジョイントへ交換

しかし、

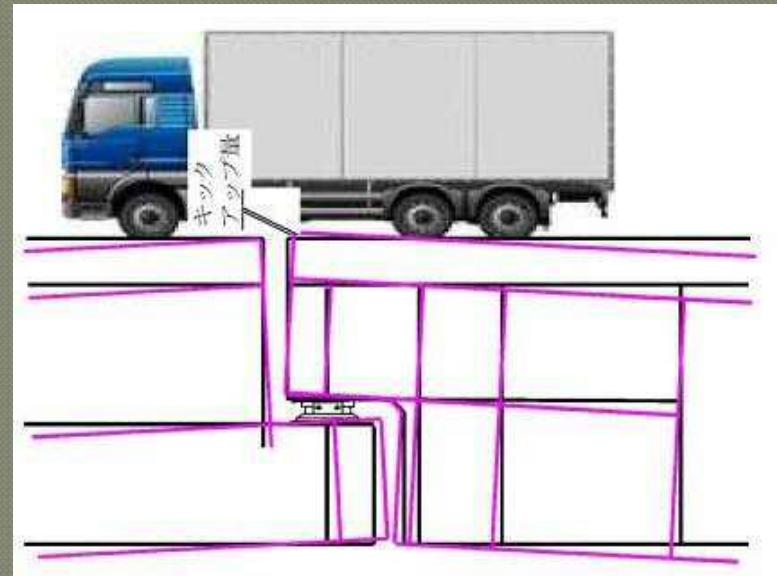
埋設ジョイントが活荷重たわみによって生じる桁端のキックアップ量に追随できず、

▶ 埋設ジョイントと舗装の境界、および埋設ジョイントの中央部に割れが発生。

▶ 輪荷重が作用する頻度の高い位置では、埋設ジョイント部が凹み路面に不陸が発生。

6. 1 埋設型→荷重支持型へ取替え

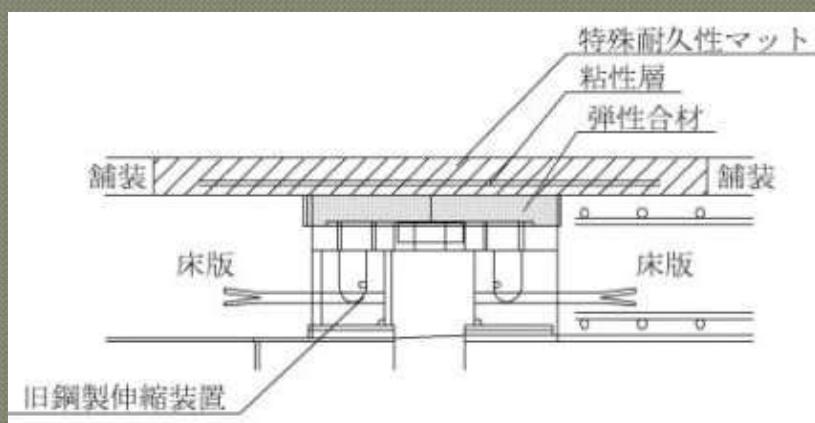
一損傷概要一



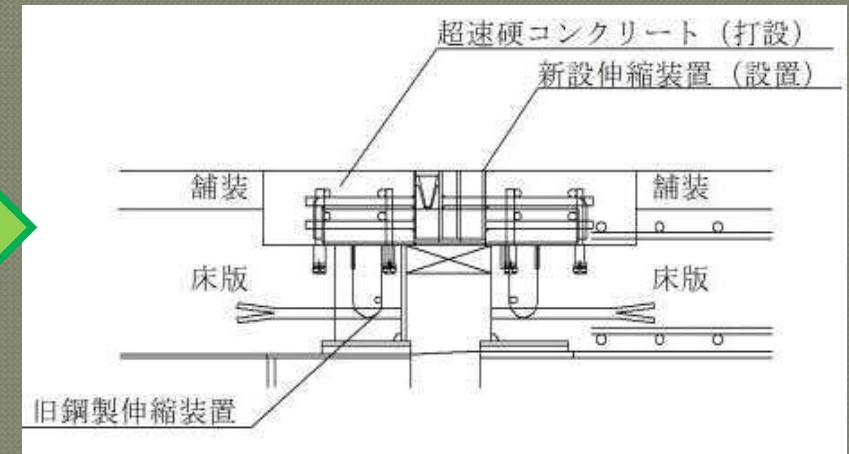
- ジョイント部の凹み
- 舗装境界部での割れ
- ジョイント中央部での割れ

6. 1 埋設型→荷重支持型へ取替え

一補修概要一



埋設型ジョイント



荷重支持型ジョイント

取替る伸縮装置の選定にあたっては、

- 活荷重たわみによって生じる桁端のキックアップ量を算出。
- キックアップ量に追随できる製品を採用。

6. 伸縮装置の補修

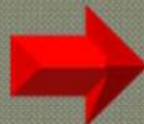
－伸縮装置損傷の要因－

設計時の配慮不足



- ・伸縮量の算定誤り
- ・たわみによる回転を未考慮
- ・伸縮構造形式の選定誤り

製作・施工時の不備



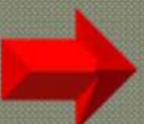
- ・溶接部の製作不良
- ・設置不良（不陸、段差等）

維持管理上の問題



- ・輪荷重の繰り返し作用
- ・支承部および土工部の沈下

その他の問題



- ・設計基準の改定
- ・排水型構造伸縮装置

6. 2 鋼製型→鋼製型へ取替え

一損傷概要一

路面の段差解消のため、取替え工事を実施。

伸縮装置の選定理由

- 鋼床版桁構造
- 遊間量が大きい

鋼フィンガージョイント ➡ 鋼フィンガージョイントへ

6. 2 鋼製型→鋼製型へ取替え

一補修概要一



施工前



施工後



既設ジョイント撤去状況



遊間部清掃状況



新設ジョイント設置状況

6. 2 鋼製型→鋼製型へ取替え

ー取替え時における留意点ー

- 鋼フィンガージョイントは、主桁と確実に連結する必要がある。
- 1車線のみの交通規制では、構造上施工ができない場合が多い。
- 事前に車線の境界位置と伸縮装置の割付など十分調査して設計や施工順序等に反映させる。
- オーダーによる工場製作であり、製作に時間がかかる。
- 2次製品となっている荷重支持型伸縮装置とは施工の難易度、現場作業時間が大きく異なる。

6. 3 伸縮装置の補修

一伸縮装置損傷原因一

設計時の配慮不足



- ・伸縮量の算定誤り
- ・たわみによる回転を未考慮
- ・伸縮構造形式の選定誤り

製作・施工時の不備



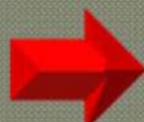
- ・溶接部の製作不良
- ・設置不良（不陸、段差等）

維持管理上の問題



- ・輪荷重の繰り返し作用
- ・支承部および土工部の沈下

その他の問題



- ・設計基準の改定
- ・排水構造型伸縮装置

6. 3 伸縮装置の非排水化

一損傷概要一

鋼製フィンガージョイントからの排水



- ▶ 桁端部の腐食
- ▶ 支承の腐食により機能不全を誘発



施工前

しかし、
鋼製ジョイントは健全、取替が困難



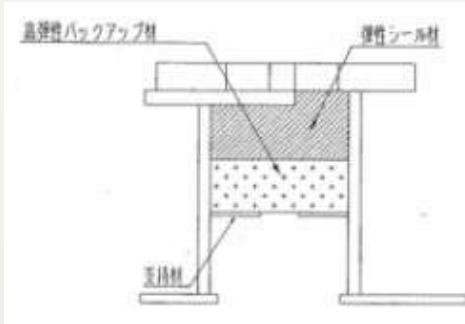
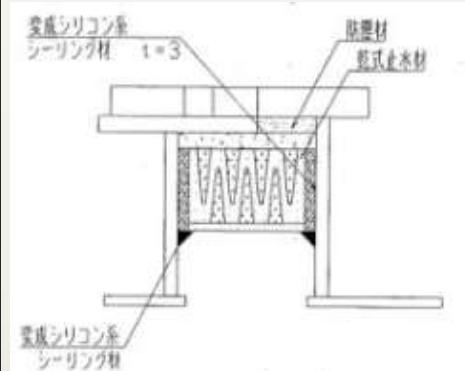
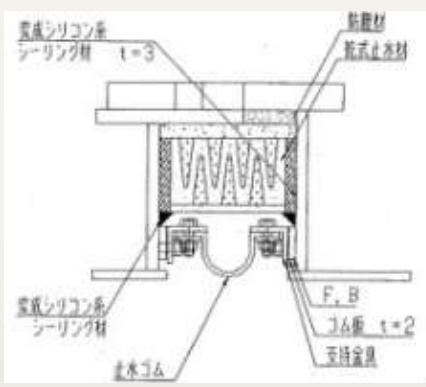
伸縮装置の非排水化を実施



土砂堆積による支承の状況

6. 3 伸縮装置の非排水化

—非排水化工法の比較—

工法	弾性シール材充填工法	乾式止水工法	乾式工法(止水ゴム併設)
構造図			
構造部材	弾性シール材(ポリブタジエン系)	乾式止水材	乾式止水材+止水ゴム
適用範囲	引張率15%・圧縮率35%以内	50mm～843mm (タイプ別により範囲が異なる)	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 弾性シール材の伸縮特性により、伸縮に追従し止水をおこなう。 高弹性バックアップ材と支持金具により、弾性シール材の挙動を支持し、フェイス遊間からの土砂等の侵入による不具合を防止する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水材は発泡ウレタンを使用しているため、圧縮変形率が高くあらゆる方向の伸縮挙動にスムーズに追従し、ウレタンシートにより止水を行う構造。防塵材により塵埃等の進入・落下を防止する。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水材は発泡ウレタンを使用しているため、圧縮変形率が高くあらゆる方向の伸縮挙動にスムーズに追従し、ウレタンシートにより止水を行う構造。防塵材により塵埃等の進入・落下を防止する。 止水ゴムを設置することにより、万一の漏水に対応する。

6. 3 伸縮装置の非排水化 —施工ステップ—



素地調整



シール材塗布



バックアップ材設置



施工完了

ご清聴ありがとうございました。