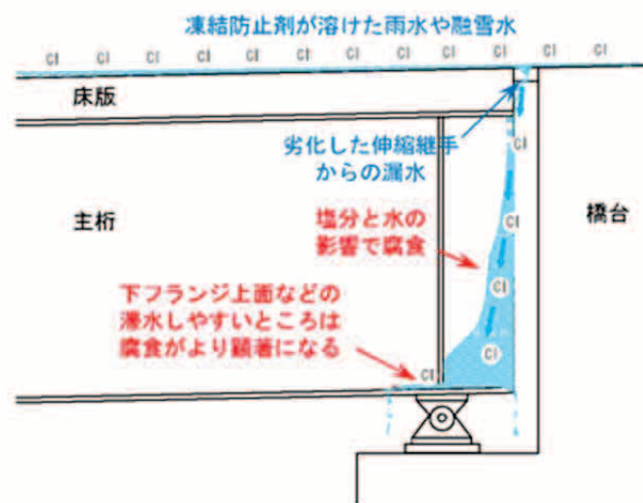


鋼橋桁端部補修工法

鋼橋桁端部補修

1. 鋼橋桁端部の劣化

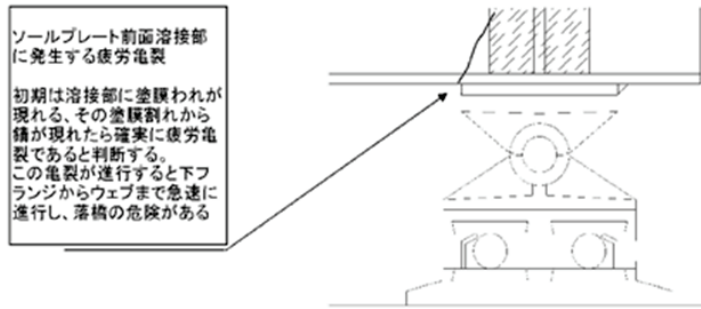
- (1) 鋼橋では、単純桁や連続桁の桁端部において鋼材が著しく腐食している事例があります。この劣化メカニズムは、凍結防止剤の溶けた雨水や融雪水が劣化した伸縮継手から漏水し、その影響で腐食が生じるものであります。冬季に多量の凍結防止剤が散布される山間部や積雪地帯の橋梁で顕著になる傾向があります。
- (2) 鋼材が腐食すると保護膜である塗装が浮き、腐食因子である水と塩分がより浸透しやすくなって加速的に腐食が進行します。断面欠損が大きくなると桁の耐荷性能や荷重分配に影響を及ぼすので、腐食が著しくなる前に適切な補修を施すことが望ましいです。



【凍結防止剤による塩害の劣化メカニズム】



【桁端部の塩害劣化】

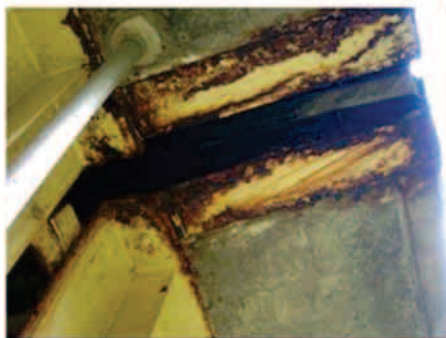


【主桁に発生する疲労亀裂】

2. 鋼橋桁端部の劣化



【劣化した伸縮継手からの漏水】



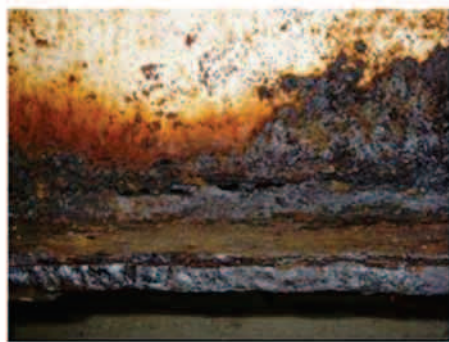
【劣化した伸縮継手】



【劣化した伸縮継手の下の桁端部の腐食】



【漏水の影響範囲で桁端部が腐食】



【滞水しやすい下フランジ付近で顕著になった腐食】

(3)劣化が代表的な劣化メカニズムではない可能性が考えられる場合は、劣化メカニズムを究明するための詳細調査の実施を別途検討します。鋼部材の腐食は、劣化した排水管や床版などの漏水の影響によって発生する場合があります。

これらの劣化メカニズムは桁端部と類似のものであるので、調査方法などは参考になります。ただし、補修については、部材の応力状態や漏水対策が桁端部とは異なる場合があるので別途に検討する必要があります。



【腐食して破れた排水管】



【RC床版からの漏水による対傾構の腐食】

3.劣化メカニズムの判定

- (1) 補修の検討にあたっては、対象構造物の劣化が代表的な劣化メカニズムによるものであることを確認します。
- (2) 劣化メカニズムは、既存資料や現地踏査で得た情報を代表的な劣化メカニズムの特徴や劣化事例と比較して判定します。

劣化が代表的な劣化メカニズムであるかどうかは、既存資料や現地踏査で得た情報を、以下に示す変状の特徴や発生傾向、劣化事例と照合して判定します。

北陸地方の鋼橋桁端部の代表的な劣化は、劣化した伸縮継手から漏水した凍結防止剤を含んだ水による塩害です。対象とする桁端部の劣化がこの劣化メカニズムであるかどうかは、以下の事項を既存資料や現地で確認します。

- a) 伸縮継手からの漏水があり、その影響を受ける範囲で鋼部材に塗膜の劣化や腐食が発生します。
- b) 漏水量が多い箇所や滞水する箇所で腐食が顕著になる傾向があります。乾湿の繰り返し激しい環境条件の場合は、腐食の進行がより顕著になります。

4.鋼桁詳細調査の方法

詳細調査は、補修計画の立案に必要な基礎資料を収集するために実施します。詳細調査の実施にあたっては、事前に収集すべき情報を事前によく吟味し、それらを適切に収集できる方法を検討します。

鋼橋桁端部の補修計画を検討する際に最低限必要となる基礎資料としては、橋梁の概要や構造寸法がわかる「一般図」と「構造一般図」、主桁や対傾構などの端部の詳細が把握できる「詳細図」などの図面と、「劣化度評価に必要な情報」です。

劣化度評価に必要な情報としては、鋼部材の腐食の範囲、腐食の程度、塗膜の劣化状況、疲労亀裂の有無などです。詳細調査の実施にあたって、これらの情報を現地で適切かつ効率的に収集できる調査方法および作業要領を検討します。

鋼橋桁端部の詳細調査においては、以下の情報を適切に把握できる調査方法を選択します。

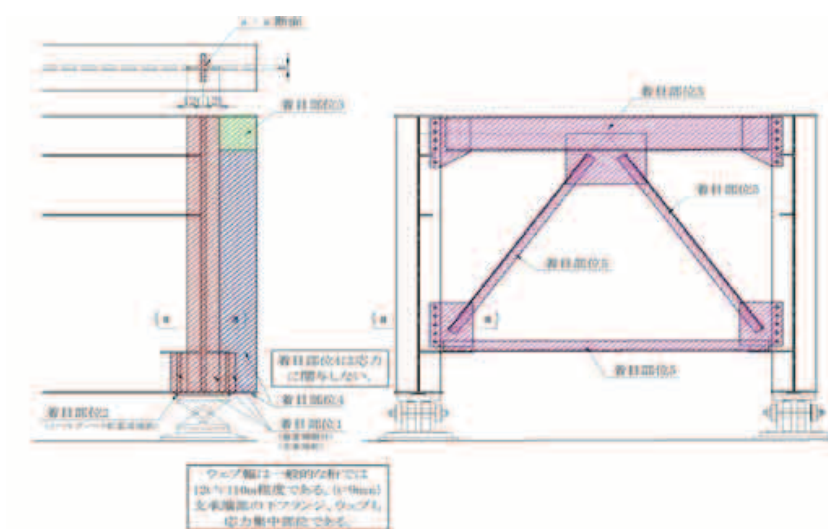
- 1) 鋼部材の腐食の範囲
- 2) 鋼部材の腐食の程度

3)塗膜の劣化状況

4)疲労亀裂の有無

部 位		概 要	備 考
着目部位 1	支承上の断面(下図 a-a 断面)	支点反力を支持する耐荷性能上の重要な断面	・断面欠損が大きい場合、補修の緊急性あり
着目部位 2	支承ソールプレートの前面	疲労亀裂が発生しやすい箇所	・ひび割れがある場合、補修の緊急性あり
着目部位 3	支承よりも縁端側の断面（上部）	ジョイントを支持する重要な箇所	・ジョイントからの漏水の影響で腐食しやすい
着目部位 4	支承よりも縁端側の断面（上部以外）	耐荷性能には直接寄与しない断面	・補修の緊急性は低い
着目部位 5	端対傾構、端横桁、それらがセットプレート	主桁を連結し、挙動を分配する部材。	・ジョイントからの漏水の影響で腐食しやすい箇所
その他	上記以外	耐荷性能上必要な断面	・横桁や対傾構、がセットプレートを含む

【詳細調査時の着目部位】



【着目部位の位置】

5.鋼部材の腐食の程度

鋼部材の腐食の範囲

腐食の範囲については、橋台・橋脚付近以外は検査路などから桁端部に接近して近接目視で調査します。これらで接近の難しい範囲については、高所作業車や橋梁点検車を使用して接近するといいです。

調査箇所にて土砂が堆積している場合や、劣化した塗膜や剥離した腐食片が付着して詳しい状況を観察できない場合は、それらを取り除いて清掃してから観察します。

鋼部材の腐食の程度

鋼部材の腐食の程度については、近接目視での調査を基本とし、断面欠損が認められた場合は板厚を測定して評価します。なお、板厚の測定箇所は、目視判断で最も断面欠損が顕著な箇所と平均的な箇所とし、その結果および近接目視の結果を基に、劣化グレードを判定します。

板厚を測定する場合は、ノギスやキャリバーゲージ、超音波板厚計などを使用するといいです。なお、板厚を測定した場合は、測定位置を明確に記録する必要があります。

劣化グレード	着目部位または対象部材の外観状況
I	塗膜がほぼ健全であり、発錆が認められない。
II	塗膜の劣化が認められ、部分的に発錆が認められるが断面欠損には至っていない。
III	塗膜の劣化および発錆が広範囲に認められ、局所的な断面欠損や10%以下の連続した板厚減少の部位が存在する。
IV	腐食による断面減少が広範囲に発生し、その断面欠損量としては、10%～30%の連続した板厚減少の部位が存在する。
V	断面欠損を生じている部位の断面欠損量が大きく、その断面欠損量としては、30%以上の連続した板厚減少、もしくは、局所的に板厚が喪失している状態が見られる。

【外観上の劣化グレード】



超音波板厚計



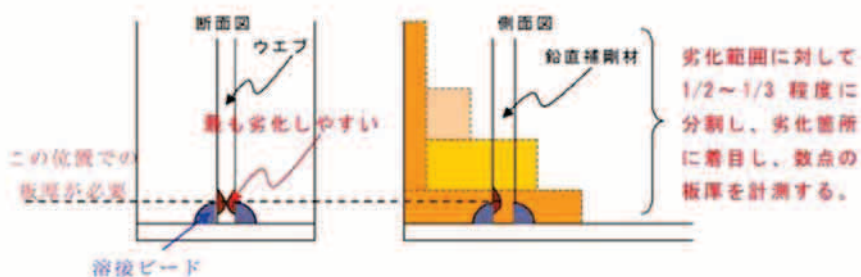
キリバゲージ

【板厚の測定機材】

鋼部材の腐食の程度

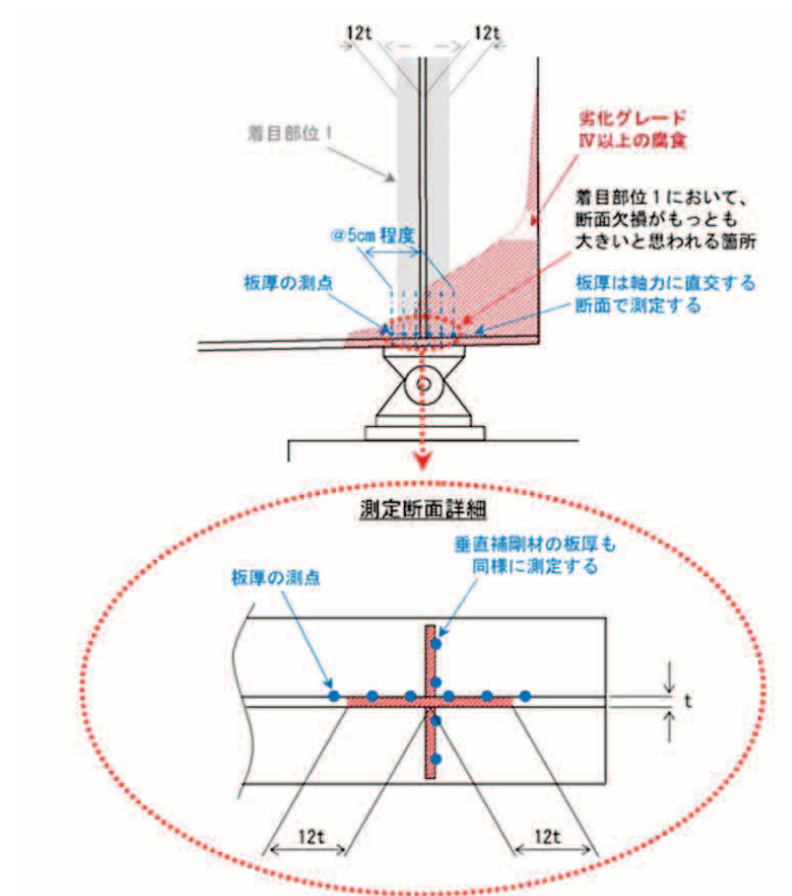
着目部位 1 は耐荷性能上重要な断面であるので、大きな断面欠損が生じている場合は応力照査が必要となります。この部位に目視で顕著な断面欠損が認められた場合は、もっとも欠損が大きいと思われる箇所において、板厚を測定します。多くの場合、滞水などの影響でウェブと下フランジの接合部付近で腐食が最も顕著になるので、板厚はここで測定することを基本とします。

なお、板厚の測定には超音波板厚計などを用いるといいです。



【最も劣化しやすい箇所】

(板厚測定的基本的測定箇所)



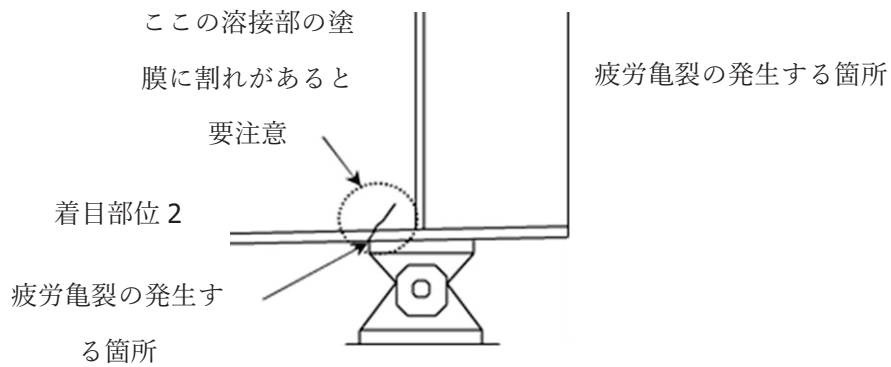
【板厚の測定箇所】

疲労亀裂の有無

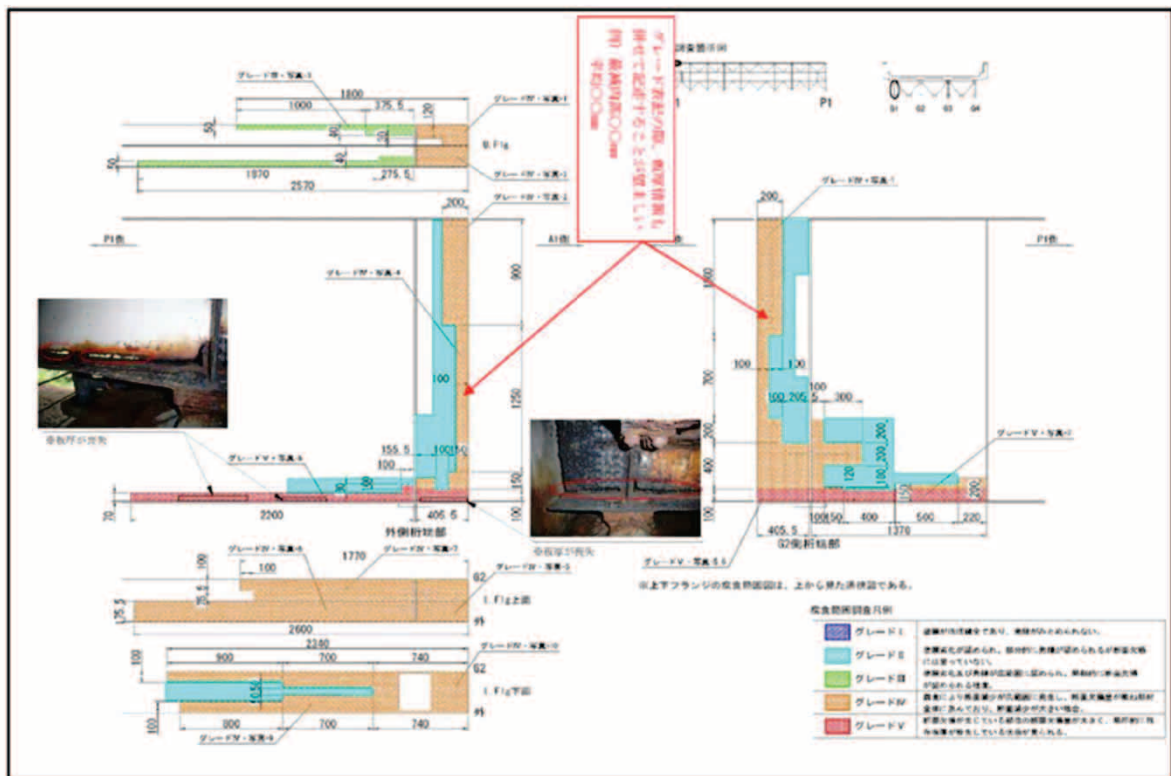
疲労亀裂については、着目部位 2 を近接目視で観察して亀裂の有無を確認する。亀裂が確認された場合は、亀裂の始点と終点の位置を正確に示す状況図を作成するとともに、写真でも記録します。

目視で亀裂が確認できなくても、溶接部に塗膜の割れがある場合は亀裂が生じている可能性があります。（解説 図 2.3.2.4 参照）このような場合は、超音波探傷試験、磁粉探傷試験、浸透探傷試験などによって亀裂の有無を確認するといえます。

なお、これらの探傷試験については、試験の専門家が実施する必要があります。



【桁端部の外観状況図の一例】



6.劣化度の評価と判定

鋼桁端部の腐食による劣化グレードの評価は、塗膜の劣化、発錆状態、断面欠損状態に基づくものとします。着目する部位は3箇所とします。

劣化グレード	桁端部に認められる劣化の程度
I	塗膜がほぼ健全であり、発錆が認められない。
II	塗膜の劣化が認められ、部分的に発錆が認められるが断面欠損には至っていない。
III	塗膜の劣化および発錆が広範囲に認められ、局部的に断面欠損が認められる。
IV	腐食により断面欠損が広範囲に発生し、断面欠損量が概ね部材全体に及んでおり、断面欠損が大きい。
V	断面欠損を生じている部位の断面欠損量が大きく、局所的に残存板厚が喪失している状態が見られる。

【劣化の程度の劣化グレード】

- (1) 補修の緊急度の判定は、腐食量の計測結果に基づいた応力照査を参考にするといいです。
- (2) 疲労亀裂に関しては、亀裂の有無で評価します。



【グレードⅢの例】



【グレードⅣの例】



【劣化グレードの事例】

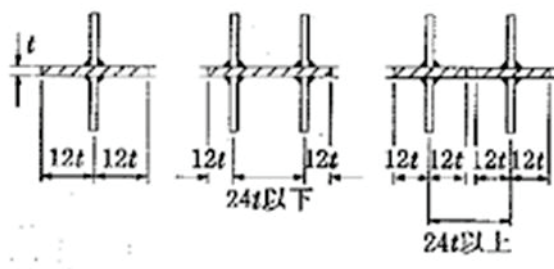
7. 支点部の照査

腐食劣化した着目部位 1 は、耐荷安全性の面で重要です。このため、腐食による断面減少が大きい場合は、計測結果に基づく残存板厚により応力照査を実施して耐荷安全性を評価するものとしました。応力照査の結果は、補修対策の緊急度を判断するために利用します。なお、応力度に余裕があっても、腐食が進行している場合は、耐久性向上と耐荷安全性を確保するために、補修対策を早期に行うことが基本です。

以下に、支点部の照査方法を示します。

有効断面の考え方（道示 10.5.2）

- ① 支点部の鉛直反力に係る応力部材 a - a 断面（全有効断面積）は、道示に基づいて主桁ウェブの有効断面と垂直補剛材の断面の合計面積とします。
- ② 主桁ウェブの有効断面積は、垂直補剛材取付け位置から両側にそれぞれ腹板厚（ t ）の 12 倍とします。ただし、全有効断面積は補剛材の断面積の 1.7 倍を超えてはなりません。
- ③ 許容応力度の算出に用いる断面二次半径は腹板の中心線について求めるものとし、有効座屈長は桁高の $1/2$ とします。



【支点部の有効断面積の考え方】

鋼桁の補修工法

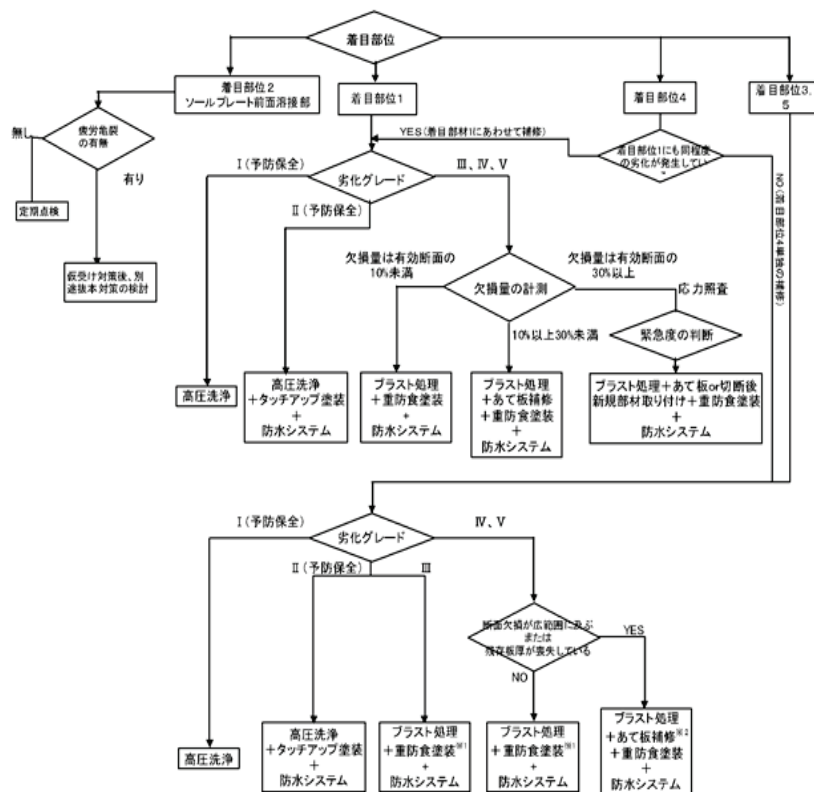
1. 補修工法の選定

- (1) 補修工法の選定は、事後保全と計画保全を合わせて実施するものとします。
- (2) 補修工法は、高圧洗浄工、再塗装工、当て板もしくは部材取替え工を基本とします。疲労亀裂が発見された場合は別途補修方法を検討します。
- (3) 補修工法の選定は、劣化グレードと着目部位に基づくものとします。

(4)補修に当たっては、防水システム（伸縮装置部の非排水化、高欄地覆部止水工）などの計画保全対策も合わせても実施します。

劣化グレード	劣化グレードに対応する補修工法
I	桁端部に汚れが認められる場合は必要に応じ高圧洗浄等で汚れを除去します。
II	高圧洗浄+発錆部位をタッチアップ塗装等により部分的に補修します。
III	ブラストにより塗膜を除去し、再塗装します。
IV	断面欠損部を部分的に当て板等により補修し再塗装します。
V	当て板もしくは断面欠損部を切断撤去し、新しい部材を高力ボルト、あるいは溶接にて取付け、断面を修復する。その後重防食塗装を施します。

【劣化グレードと補修工法の目安】

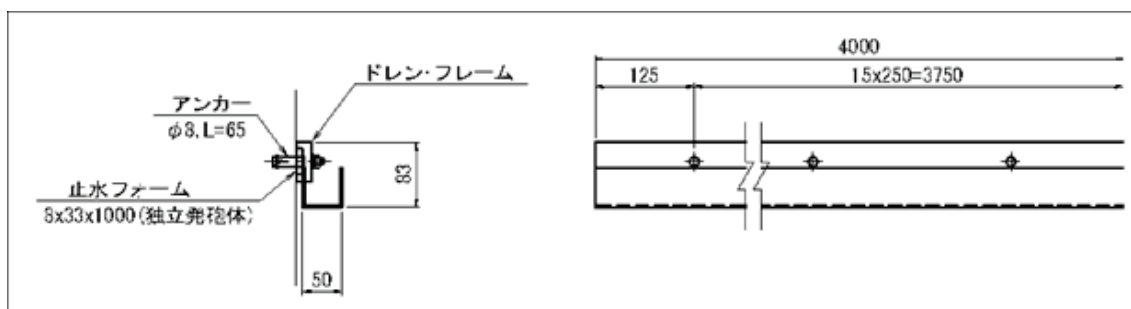
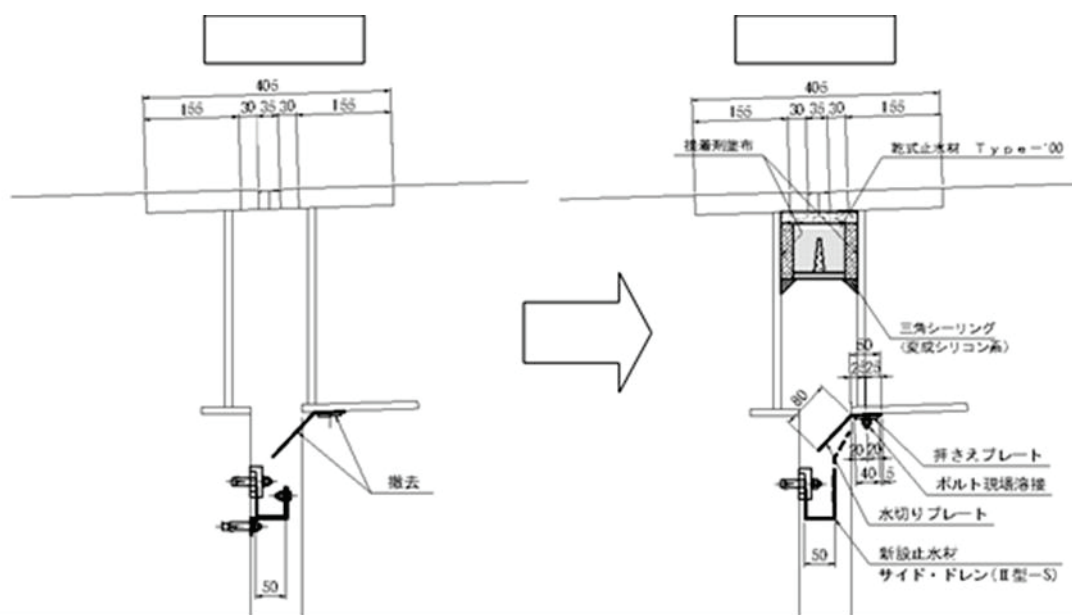


※1 「重防食塗装」に代わり、「アラミド繊維シート補修」の適用を検討する。
 ※2 「当て板補修+重防食塗装」に代わり、劣化部位4は「アラミド繊維シート補修」、
 劣化部位5は炭素繊維シート補修、部材取替の適用を検討する。

【鋼桁補修工法選定の流れ】

2.劣化因子の供給源である漏水を遮断

防水システムとしての対策（伸縮装置部の非排水化対策など）が講じられていない場合で、冬季散布する凍結防止剤が塗装面に付着していると判断される場合は、高圧洗浄にて洗い流し、塩分の浸透を防ぐものとししました。部分的な発錆が発見された場合は、高圧洗浄により付着した塩分を除去し、その後タッチアップ再塗装を施して防錆機能を確保するといわれています。



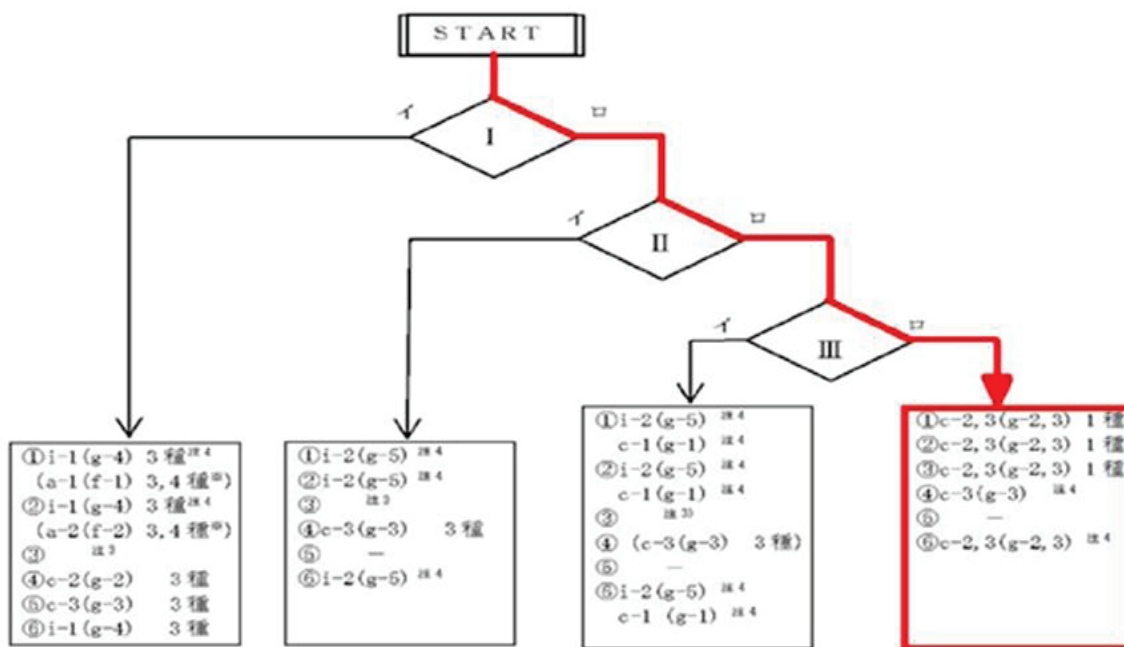
【防水システムの事例（現況と取替後の比較）】

3.鋼桁の補修(再塗装工)

再塗装工とは、劣化した塗膜や錆をブラストで除去した後、重防食塗装を施す部分塗替え塗装です。

桁端部の塗膜の劣化部は、塩化物イオン等、塗膜に有害な物質が浸透している可能性が高いです。このため、ブラスト等でこれらの有害物質を完全に除去した後、重防食塗装を実施

するものとししました。なお、ブラスト処理に当たっては、研削材や塗膜の飛散を防止するため、板材、シート等で養生を行う必要があります。



※ 0下段は局所的な部分塗替え

- 注1： ○数字は、表2-4に示す旧塗装系の各グループ番号を示す。
 注2： 1種あるいは3種は、その塗装系の劣化調整程度を示す。なお、劣化調整程度4種は特に景観を考慮する場合や足場工が安価に設置できる場合に採用するものとする。
 注3： 旧塗装系がB及びC塗装系（塩化ゴム系）の場合は、原則として塗装系を変更する。
 注4： 劣化調整程度は、3種を基本とする。ただし、なお、旧塗装系がB（塩化ゴム系）の場合は1種とする。また、3種を採用する場合も、塗装の損傷状況を把握し十分に検討したうえで判断する。

[I] 塗膜性能の条件(その1)

区分	期待する塗膜性能
イ	塗替え塗装前の塗膜性能(防食性、耐候性)と同程度の塗膜性能とする
ロ	塗替え塗装前よりも塗膜性能(防食性、耐候性)を向上させる

[II] 塗膜性能の条件(その2)

区分	期待する塗膜性能
イ	主に耐候性を向上させる
ロ	防食性と耐候性を向上させる

[III] 塗膜性能の条件(その3)

区分	期待する塗膜性能
イ	主に防食性を向上させる
ロ	より防食性と耐候性の両方を向上させる (特に塗膜劣化の進行が想定以上に早い場合)

図 2-4-1 一般部(外面)の塗替え塗装系選定のフローチャート

【一般部(外面)の塗替え塗装系選定のフロー】

4.鋼桁の再塗装補修範囲

再塗装補修の範囲は、詳細調査の結果を参考とし、錆の範囲、地形、縦断勾配等を勘案して決定します。また、対策の範囲については、設計要領の保全編を参考とするとよい。以下に設計要領(NEXCO)の保全編の抜粋を掲載します。

- ・鋼材外観調査等により異常さびが発生している範囲
- ・付着塩分調査により付着塩分量が周辺と比較し高い範囲
- ・下部工天端や山肌等に近く、雨天時などに結露が多く確認される範囲
- ・上下線が近接しており隣接する橋梁からの凍結防止剤の影響を受ける範囲
- ・砂塵等が溜まりやすくそれらの堆積により常湿環境にある範囲
- ・下フランジ下面などで下フランジの幅方向の勾配により結露が溜まりやすい構造となっている場合の下フランジ
- ・排水管などからの漏水や伝い水などの影響がある範囲
- ・桁の上下方向に塗膜の段差があるとその境界で腐食が進む場合があるので、塗装範囲は主桁ウェブの上下方向には分けない方がよい。
- ・主桁ウェブは補剛材に囲まれたパネルでせん断等に抵抗することから塗分けも補剛材のある位置で分けた方がよい。

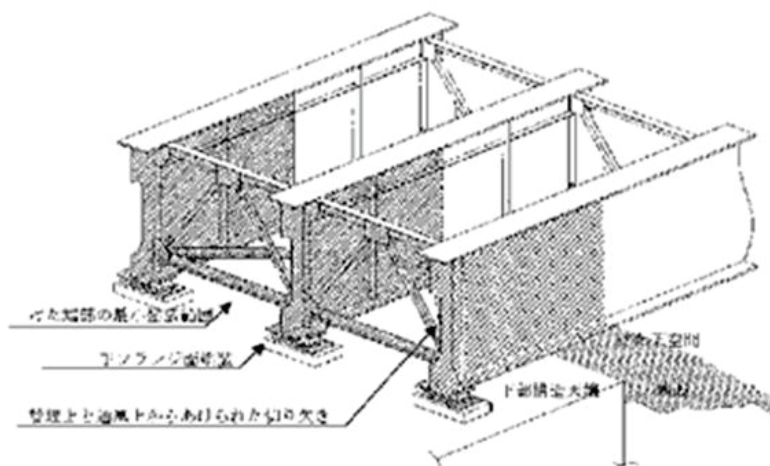


図2-4-3 下部構造上の塗装範囲の例（桁端部）

【下部構造上の塗装範囲の例】

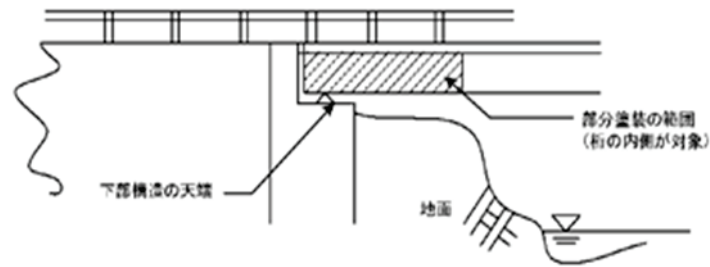


図2-4-4 地面が違った地形での部分塗装の例

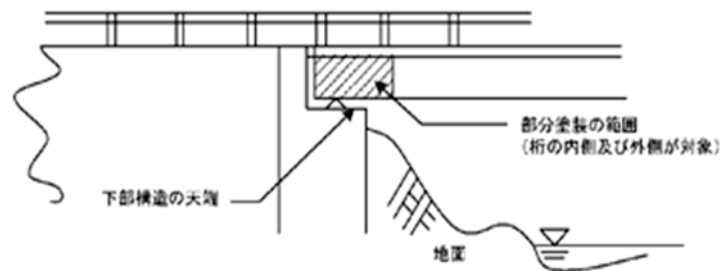


図2-4-5 凍結防止剤を大量に散布する場合の部分塗装の例

【凍結防止剤を大量に散布する場合の部分塗装の例】

5. 鋼桁の補修(当て板による補修工)

当て板補修工は、腐食劣化した部位に、補修用の鋼材を高力ボルト（HTB）もしくは溶接にて取り付ける工法です。

溶接による補修を行う場合は、当て板の材料に溶接性の良い材料（SM材）を選定する必要があります。

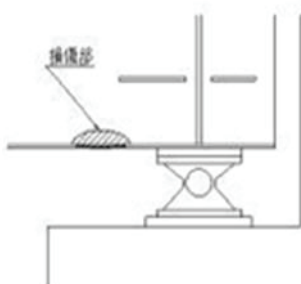
当て板補修工で使用する材料は、既設部材と同等以上のものとします。

施工にあたっての留意事項は以下の通りです。

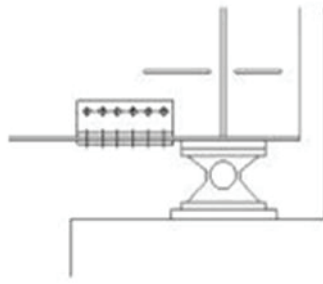
- ① 腐食部に残存する塩分をブラストにより入念に行います。
- ② 除去する。必要に応じて、凹凸面を平滑にします。
- ③ 当て板端部は、結露等で水が滲入すると発錆の原因となるため、コーキング材等でシールします。
- ④ 断面欠損部の修復は、樹脂系の材料によりパテ塗りをを行い、補修面を充填します。

現場溶接による当て板補修工を施工するにあたっての留意事項は以下の通りです。

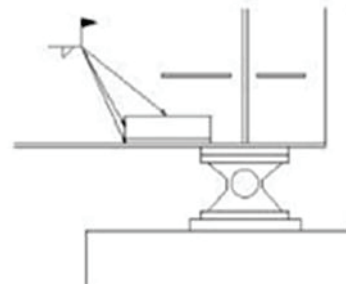
- ① 母材と新設部材間の腐食を防止するために、当て板を全周溶接により密封状態にします。
- ② 母材の断面欠損量が大きい場合は、溶接部の残留応力で亀裂が発生する危険性もあるため、この部位は避けることが望ましいです。



【補修前状況】



【高力ボルトによる補修例図】



【溶接による補修例】

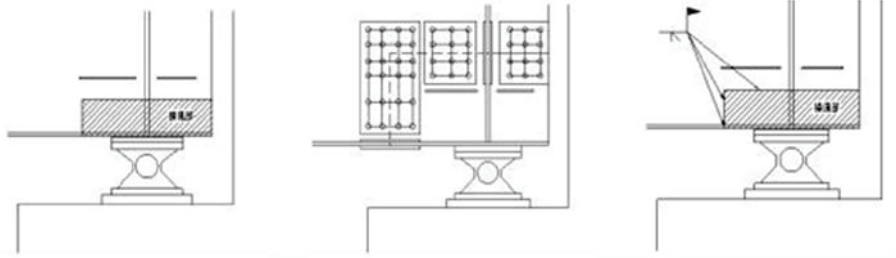


【当て板補強工の施工例】

6. 鋼桁の補修(部材取替え工)

部材取替え工は、腐食劣化した部材を切断撤去後、補修用の新規部材を高力ボルト（HTB）もしくは溶接にて取り付けて補修する工法です。

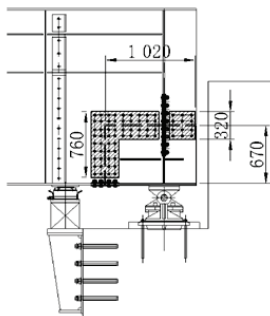
高力ボルトによる部材の取付けは、支承受け部や端対傾構まで影響が及ぶため、あらかじめジャッキアップのための仮受け支点と仮の対傾構を設置する必要があります。端対傾構にまで影響が及ぶ理由は、端対傾構取り付けガセットと下フランジの間は狭く、HTBの添接が不可能であるためです。このため、端対傾構の取り外しや仮の対傾構の設置など大規模な工事が必要となります。（b）に示すように、既設端対傾構に影響が及ばない現場溶接による方法で新規部材に取替えた事例もあります。



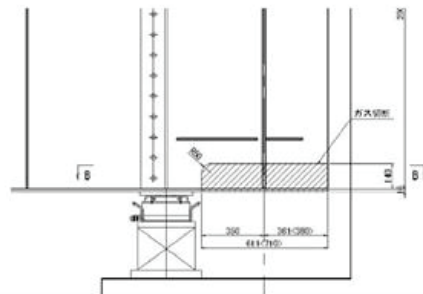
【補修前状況】

【(a) 高力ボルトによる補修例図】

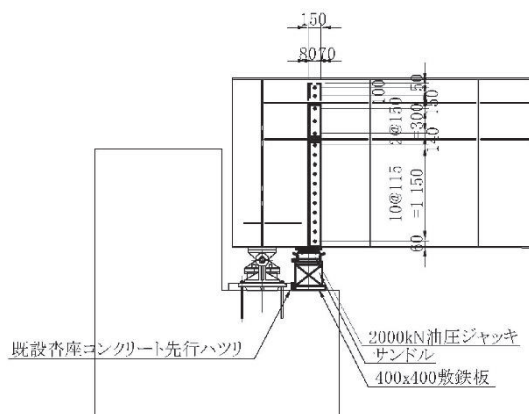
【(b) 溶接による補修例】



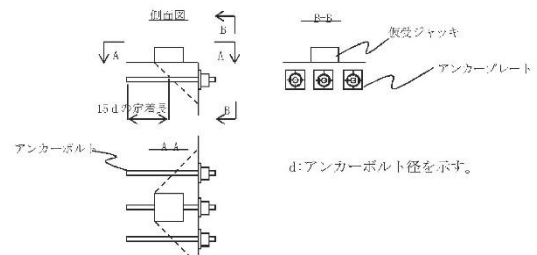
【HTBによる取付け概要図】



【桁端部のガス切断と現場溶接による取付け概要図】



【仮受けジャッキ部の補剛部材取付け概要図】



【橋座部の補強概要図】