

保全工事における補修・補強設計の留意点

—補修工事事例から考えた補修・補強設計への提案—

保全委員会 保全技術小委員会

1. はじめに

平成18年度の技術発表会では、保全委員会から保全工事の施工事例というタイトルで「トラス橋の支承取替工事」を報告させて頂きましたが、今年度のテーマとして「保全工事における補修・補強設計の留意点」を選定致しました。

橋梁の維持管理が、以前にも増して重要視されるようになり、橋梁の維持管理の制度化への議論も広まりつつありますが、損傷の補修というものは、損傷原因、メカニズムの解明とともに、実構造、施工についても深い理解、洞察が要求される高度なエンジニアリング分野であります。

ご存じのように昨年6月に木曽川大橋の斜材断面の破断が発見され、これに引き続く重点検査でいくつかの緊急補修、補強工事が必要な事態が発生しています。また、補修工事が一因となったミネソタの落橋は橋梁技術者にとって、維持管理の重要性と難しさを痛感させられた事故でもありました。



写真-1 木曽川大橋の斜材破断

保全工事は、工法の検討から設計・計画・施工、さらに施工後のデータ集積に至るまですべての工程が密接に関連しており、前後の工程間でのやりとりは欠かすことができません。本報告書では、このような保全工事の特殊性をふまえた設計の手順を提案すると共に、最近の施工事例を集めて設計面へフィードバックできる現場の情報を紹介しています。本報告が橋梁をよみ

がえらせるための補修補強工事の参考となり、難問を解決するヒントとなることを願いつつ今年度の報告をまとめました。



写真-2 ミネソタの落橋

2. 設計の手順

橋梁保全工事は施工性が悪い中での作業となることが多く、要求性能、要求品質を確保するために高度なエンジニアリングを必要とする場合が多々あります。また、手を加えることにより、かえって構造物の寿命を縮める結果になる可能性も否定できません。

これらは保全工事特有のことであり、解決するためには補修方法の検討～設計～計画～施工の各プロセスが密接に関わっていく必要があります。対象となる構造物に最も有効な補修・補強方法は何かを考え、現場の諸条件をふまえて施工性や確実に品質確保が出来る補修方法を検討し、これらの条件を合わせて満足する最適な設計を行うことが重要です。同時並行的に施工計画が進められ、最終的に設計趣旨をふまえ、施工計画に忠実な施工が行われることで、要求性能と要求品質が確保されます。

今までの流れでは、各プロセスが独立した状態で進んでいたため、施工性が考慮されずに設計されたり、設計思想が反映されない施工が行われたりしていました。今回、一方通行の流れではなく、つながった輪のようなイメージで作業を進めることを手順として提案しています。図-1に設計の手順を示します。

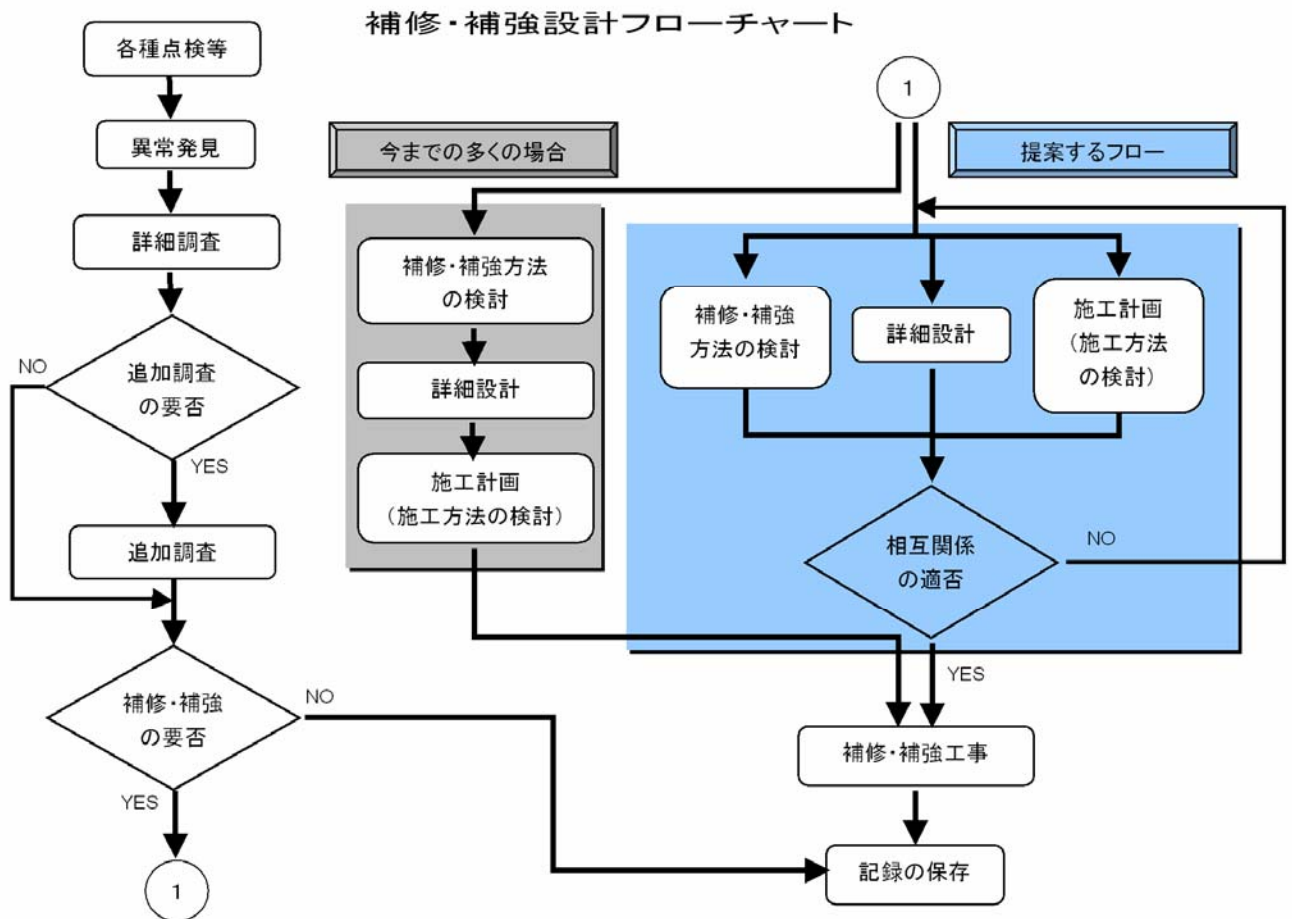


図-1 補修・補強設計フロー

3. 補修・補強事例

実施された補修・補強設計に基づき、要求性能を満たすべく品質・出来形を管理しながら施工が進められます。しかしながら、施工性の検討が不十分であったり、事前調査の不備により施工着手後に支障物の存在が明らかになったりして、構造変更が必要となるケースもあります。また、現地条件によっては要求性能や要求品質が確保できなくなる場合もありますので、補修・補強設計では、要求される性能に対して確保できる品質やコスト面も考慮したバランスのとれた設計を行う必要があります。

今回の報告では、施工性をキーワードとして、実際の施工事例から設計上の留意点を抽出しました。また、設計時に施工性を検討するには現場作業のイメージを描く必要がありますが、その助けとすべく代表的な工種の一般的な施工手順も紹介したいと思います。

施工性

- ・ 設置調整構造の確保
- ・ 作業空間の確保
- ・ 既設部材に対する影響
- ・ 部材の取り込み・ハンドリング
- ・ 施工品質の確保

補修工事における一般的な施工手順

- ・ リベットの撤去手順
- ・ アンカーボルトの施工手順
- ・ 現場孔明け（鋼材への孔明け）
- ・ ボルト締め付け機械の種類

3. 1 施工性の検討

事例1 部材取り付け時の誤差吸収

(1) 内容

縦桁・横桁交差部にブラケット形式の補強材を取り付ける工事の事例である。補強構造は縦桁と横桁に補強材を差し込む構造(図-2)であった。補強部材は小型部材ではあるが完全溶け込み溶接が要求され、さらに曲げ加工もあるため製品精度の確保が難しい構造であった。

部材取り付け時には既設部材の架設時の誤差も影響し、グラインダーによるすりあわせ作業に多くの時間を要し、当初工程を超過する事態となった。

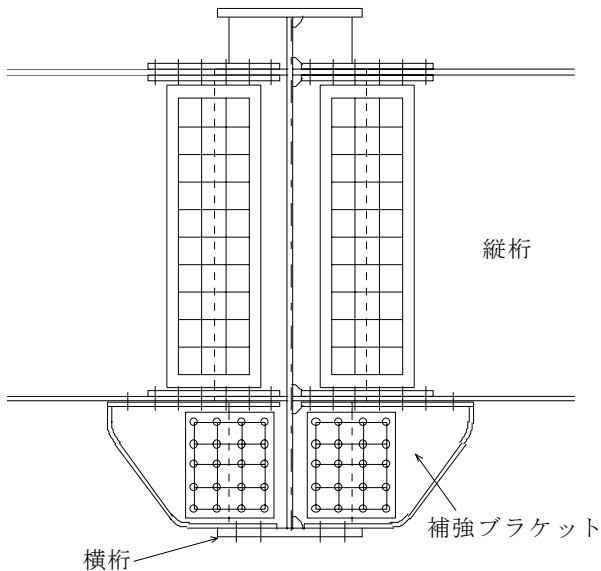


図-2 補強概念図

(2) 設計の留意点・改善提案

既設構造物は製作誤差や架設誤差があり、新設部材にも製作誤差が存在する。また、現地実測の誤差も発生するので、これらの誤差吸収のためには、設計段階でフランジとの間にフィラープレートを設置し寸法調整できる構造(図-3)とする等の配慮が必要である。数種類の板厚のプレートを用意しておき、製作・現地誤差の量により使い分けることで、現場でのすりあわせ作業が無くなり、施工性は格段に上がるものと思われる。また、新設部材は製作誤差を少なくするために、曲げ加工などを少なくして極力シンプルな構造とすることも検討すべきである。



写真-3 作業状況



写真-4 作業状況



写真-5 補強完了

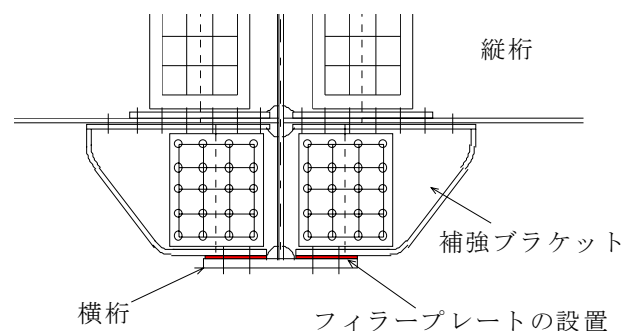


図-3 改善案

事例2 作業空間の確保（1）

（1）内容

支承交換工事におけるアンカーボルトの施工についての事例である。現橋は1箱桁1支承の形式であり、桁下空間が500mm程度しかないため桁の真下に設置される取替支承のアンカーボルトの削孔・設置作業が困難であった。

補修設計では図-4、5のように主桁下フランジに作業孔を設け、この孔を通してアンカーボルトの削孔・設置を行うようになっていたが、アンカー削孔時に鉄筋の干渉があった場合などは削孔位置をずらすことが出来ない方法であり、検討の余地があった。

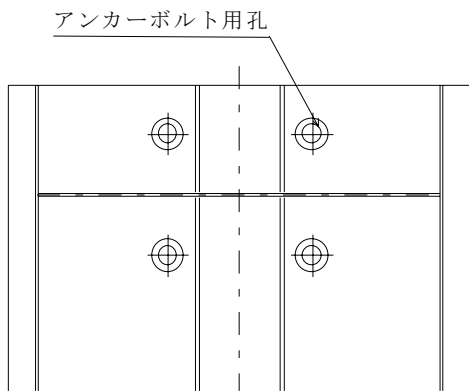


図-4 アンカー位置平面図

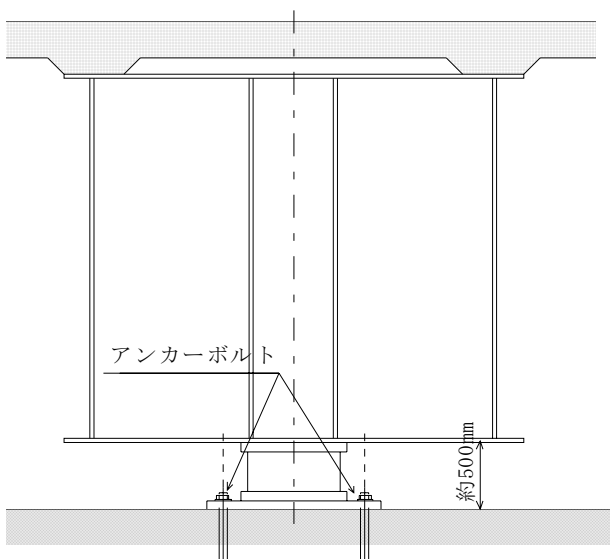


図-5 アンカー位置断面図

（2）設計の留意点・改善提案

機械メーカーや専門工事業者から情報を集め、施工

方法、施工機械の検討を行い、写真-6のようなドリルを製作した。ドリルは既存の機械（H=600）のガイドレールを切断し、H=450mmに改造したものである。短尺の専用ビットを使用する必要があるが、既存の機種に比べ200mm低い場所までの施工が可能である。また、低い桁下でアンカーボルトの挿入を行うためアンカーボルトは2分割して接続部をねじ切りし、ねじ式カップラーで接続する形式（図-6）に変更した。

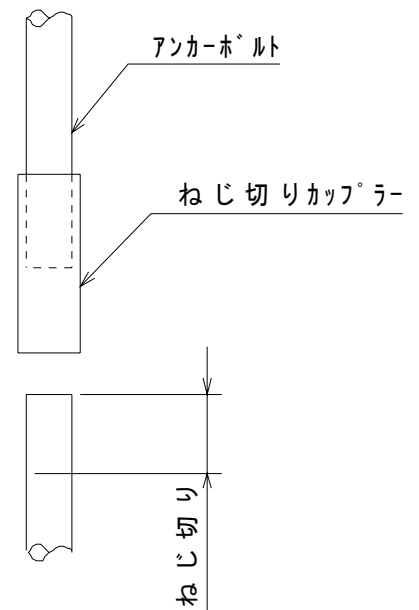


図-6 アンカーボルト接続図

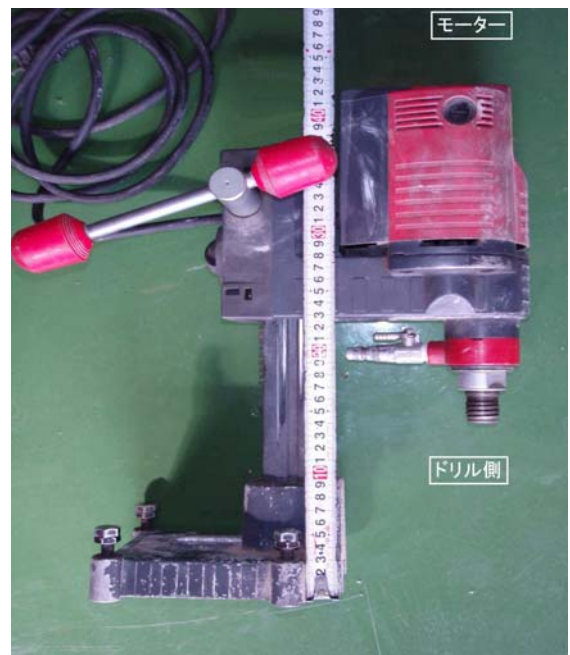


写真-6 改造コアドリル

事例3 作業空間の確保 (2)

(1) 内容

主桁中央部の段差防止構造において、変位制限取付金具と段差防止ゴムとの遊間が狭くゴムの設置が不可能であった。このため、ゴムの取り付け構造を変更するとともに、受圧面積を確保するためにゴムの大きさも変更した。(図-7)

- ① 桁内側の取付構造についてはコンクリートにL字鉄筋を固定しておき、ゴム側にザグリ孔を設け手前から差し込んだ。手前側のゴム取付ボルトは打込みアンカーボルトとした。
- ② 上記に伴いゴムの幅を変位取り付けプレートの手前までとし、ゴム全体の受圧面積を変えないため、橋軸直角方向に減った分を橋軸方向に伸ばした。



写真-7 施工完了状態

(2) 設計の留意点・改善提案

支点周りの耐震補強部材は、狭隘な場所での施工となるため既設物が障害となり施工不可能になるケースもある。現場施工性を高めるためには、現地条件を把握し、完成形状に至るまでの実施工の手順をイメージしながらディテールの検討を行うことが重要である。

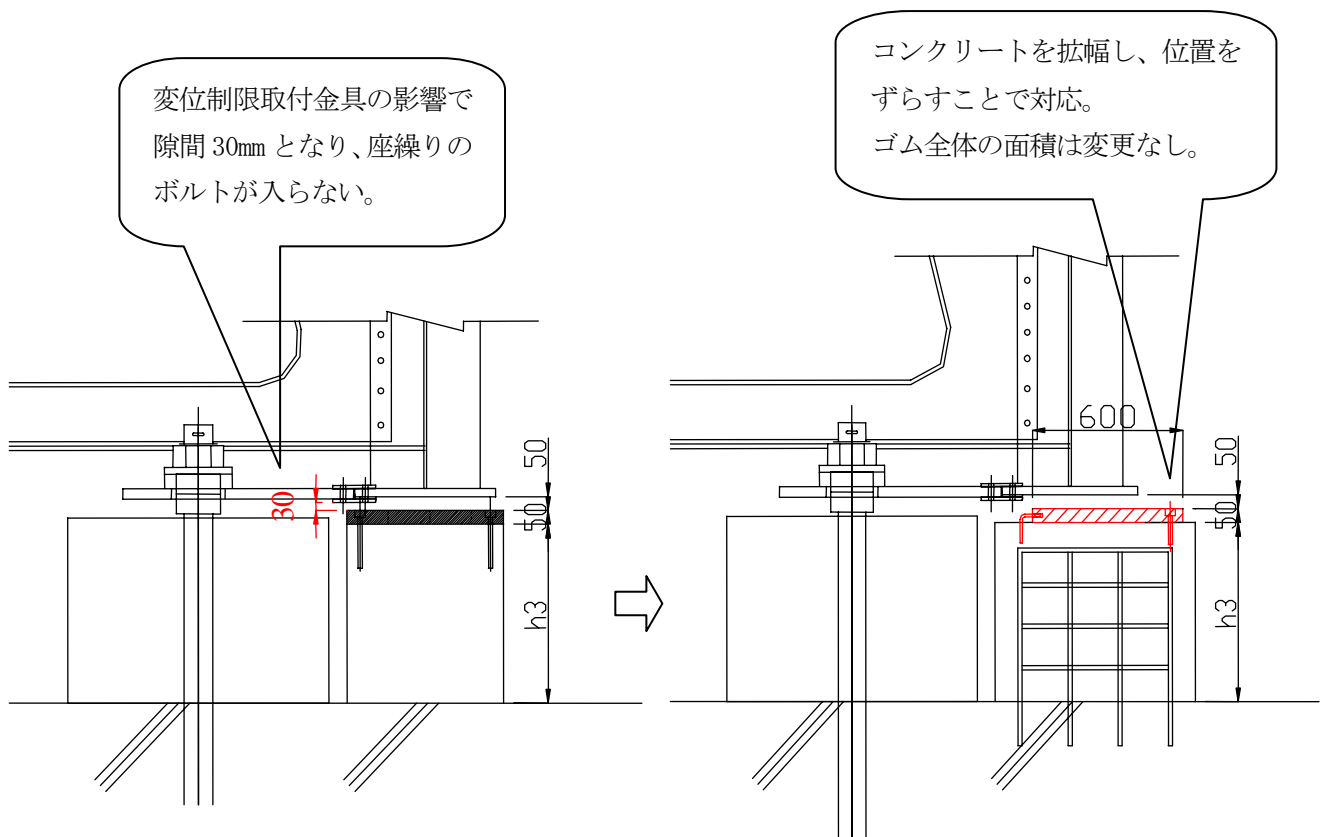


図-7 構造変更(側面図)

事例4 作業空間の確保 (3)

(1) 内容

頭が腐食欠損したリベット（緩みは無し）の高力ボルトへの取り替え施工において、対象リベット継手のすぐ脇に地覆および高欄が位置していたため、リベットの抜き取りが出来なかった。（図-9）

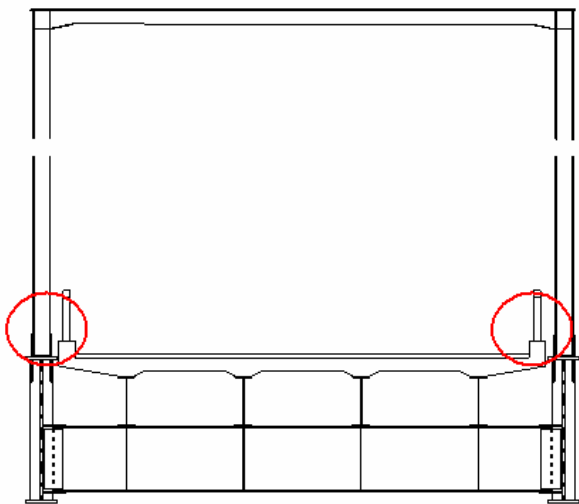


図-8 橋梁断面図

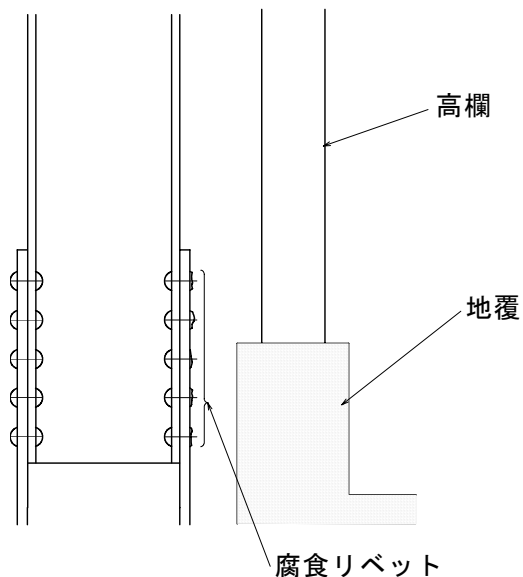


図-9 当該箇所断面図

(2) 設計の留意点・改善提案

補修・補強工事は、現地の施工条件によって使用する機械や施工方法が制約されるケースも多い。設計時は現地条件を把握するとともに、ある程度実施工をイメージしながら進める必要がある。また、腐食があれ

ば直ちに補修を行うということではなく、腐食度合いや構造物の重要度を考慮して補修工事の必要性を考慮すべきである。



写真-8 現況写真



写真-9 類似構造(1)



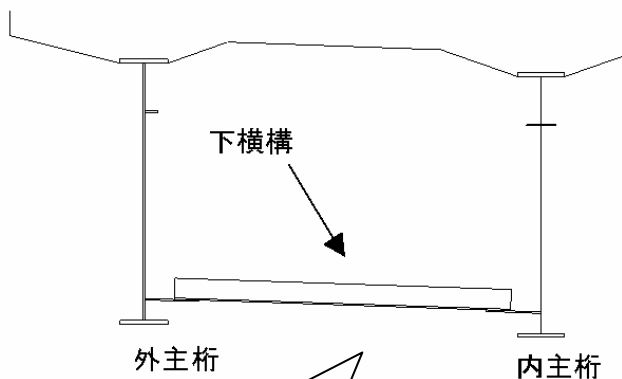
写真-10 類似構造(2)

事例5 既設部材に対する影響

(1) 内容

標識柱設置にあたり、既設桁桁にブラケット及び控え材（補強部材）を追加しようとした際、既設桁桁の下横構（ラテラル）が支障になるため、一時撤去し補強部材を取り付けた後、復旧する計画であった。しかし、一時撤去した下横構に残留している二次応力が解放されることにより、復旧時に孔ずれが生じ再取付けは困難となるケースが多い。（図-10）

このため、取り付け時に既設横構と干渉しないように補強部材を分割する構造に変更した。（図-11）



桁間にキャンバー差がある状態で取り付けられ床版打設後にキャンバーが下がるため、横構には二次応力が入る。撤去は出来ても、復旧時は孔ずれにより取り付けが出来なくなる。

図-10 現況図



写真-11 現況写真

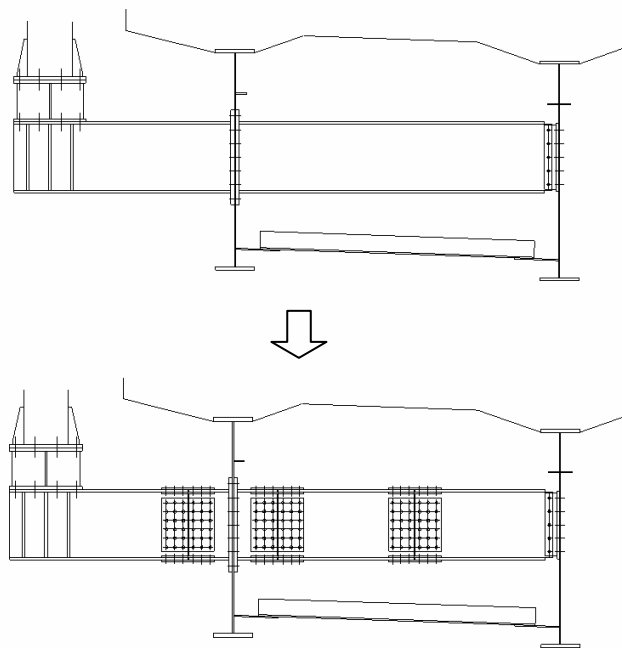


図-11 部材分割

(2) 設計の留意点・改善点

補修・補強工事は供用下において行われることが多く、既設部材の撤去・復旧は内部応力が解放あるいは導入されたりするため、極力避けることが望ましい。既設部材が施工上の支障物となる場合は、新設部材を分割する等の方法を検討すべきである。やむを得ず既設部材の撤去を行う場合は、撤去による影響を事前に十分検討し、必要であれば仮設材による補強等も考慮すべきである。

事例6 部材の取り込み・ハンドリング

(1) 内容

箱桁に落橋防止装置を設置するにあたり、部材の箱桁内部への搬入方法が考慮されていなかった事例である。当初設計の形状では、既設のマンホールより箱桁内部に部材を搬入することが出来ず、新設マンホールの設置等も考慮されていなかった。(図-12)

新設マンホールの設置を提案したが発注者の理解を得られなかったため、主桁端部より部材を箱桁内部に搬入することとした。(図-13)

また、主桁端部より搬入出来ない部材は図-14のように一部分割したが、それでも入らない橋脚については隣接する橋脚より搬入し、箱桁内部を最大65m運搬して設置した。

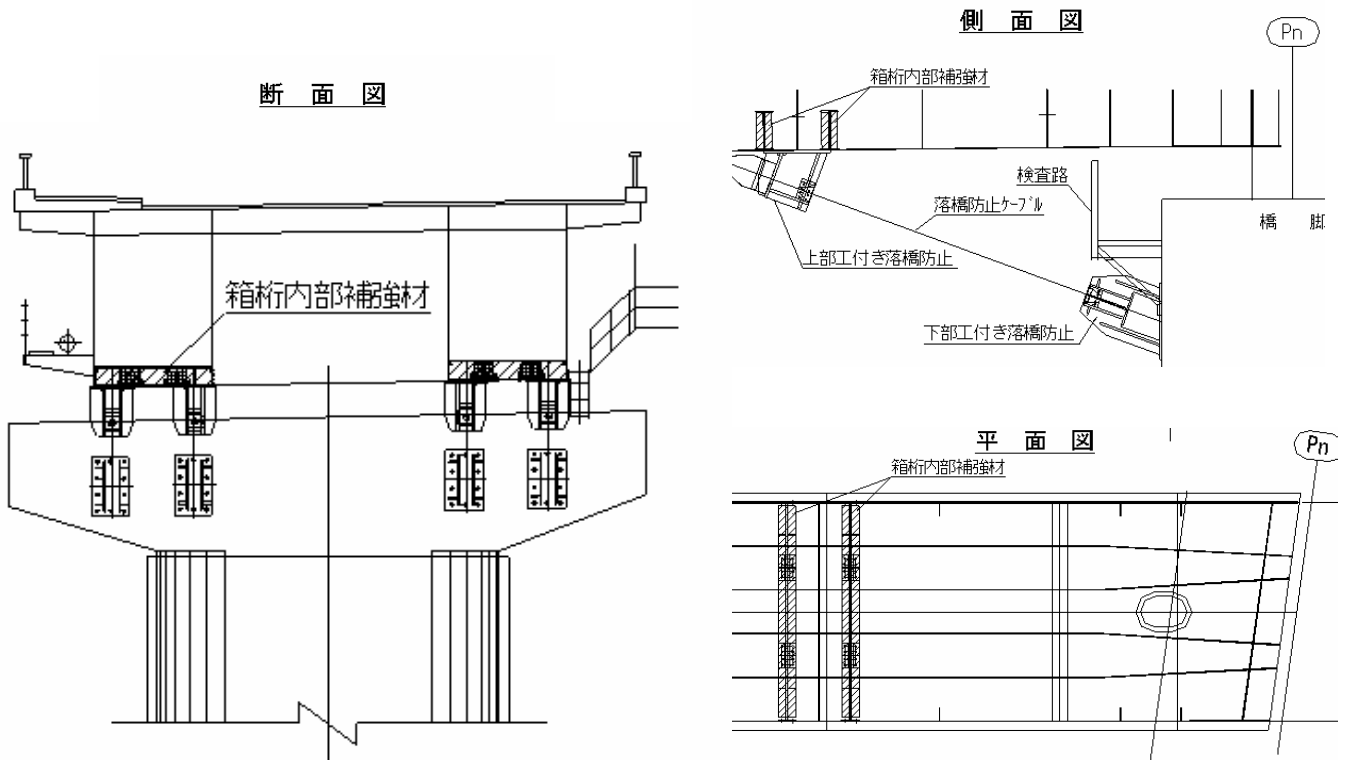


図-12 構造図

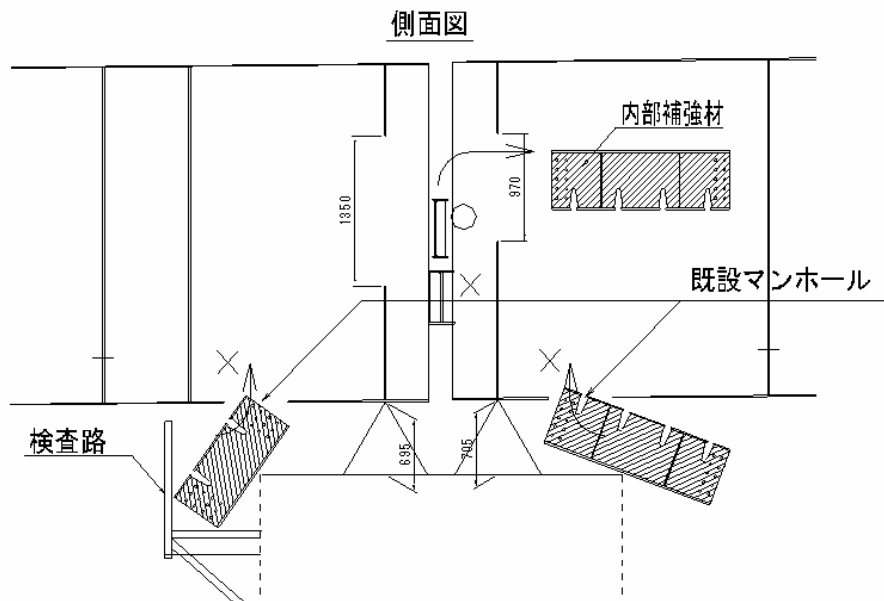


図-13 部材搬入検討図

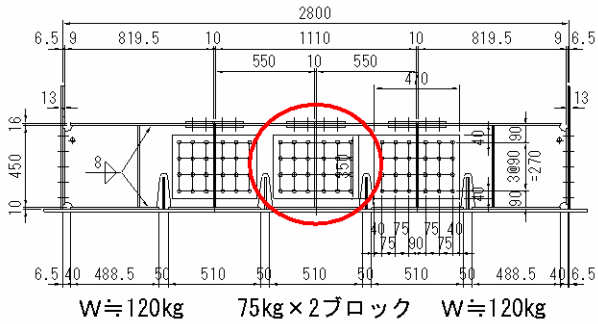
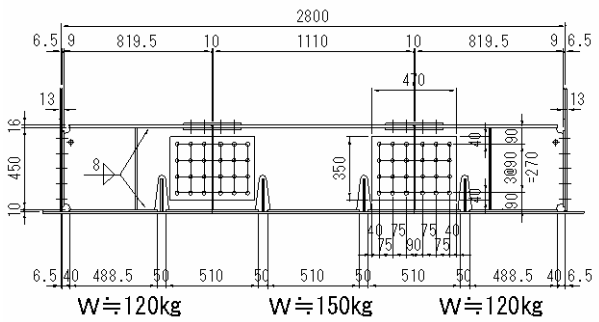


図-14 部材分割



写真-14 取付完了(外観)



写真-15 取付完了(内部)



写真-12 部材搬入状況(1)



写真-13 部材搬入状況(2)

(2) 設計の留意点・改善提案

特に補修・補強工事においては、狭隘な場所、クレーン等の重機が使用出来ない場所での作業が主である。現地条件によって一概に言うことは出来ないが、一般的には軽量でかつ小さく分割された部材の方が施工性は良い。結果的には品質確保やコスト低減にも繋がっていく。特に、箱桁や閉断面部材内部の補強については、部材の搬入方法を考慮し、必要であればマンホールの設置も検討すべきである。

事例7 施工品質の確保

(1) 内容

斜角のある橋梁の橋台前面に縁端拡幅ブラケットを取り付ける工事で、アンカーボルトを橋軸方向に設置する設計となっていた。(図-15)

橋台前面に対して角度を付けてコアを削孔する場合、鉄筋探査結果と実際のコア位置とを照合することが非常に困難であり、かつ角度があるために鉄筋と干渉する可能性が高いことから、アンカーボルト方向を橋台前面に対して直角方向に変更した。(図-16)

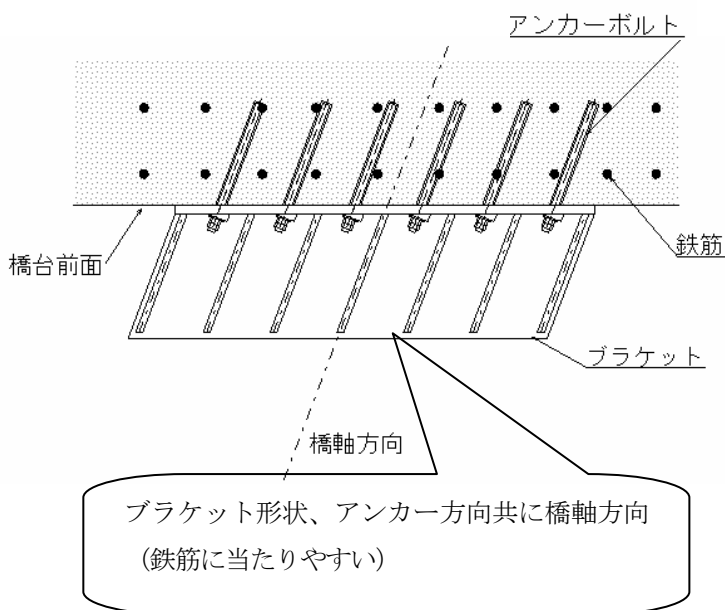


図-15 当初構造

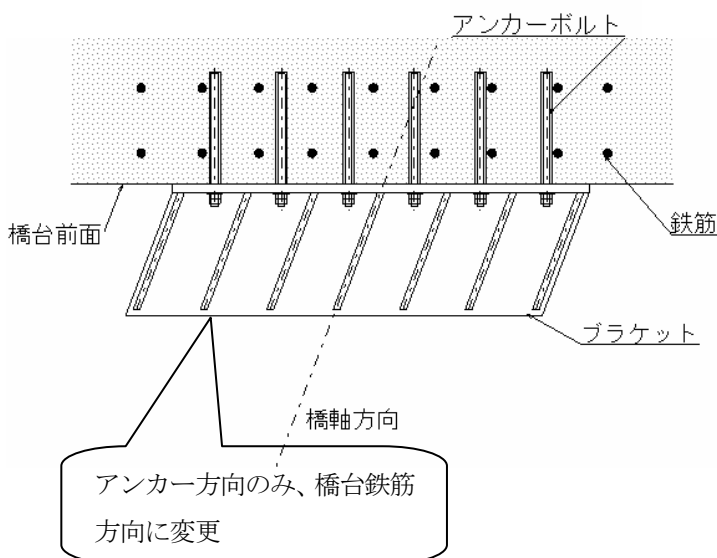


図-16 変更構造

(2) 設計の留意点・改善提案

コンクリートコア削孔方法および削孔時の鉄筋干渉は事前に完全に防ぐことは困難であるが、干渉の可能性を出来る限り低くするための検討は必要である。また、本事例ではブラケットは斜角なりに製作したが、製作時の溶接品質や、製品精度を確保するには下部工面に直角の形状(矩形)で製作する方が良い。(図-17)

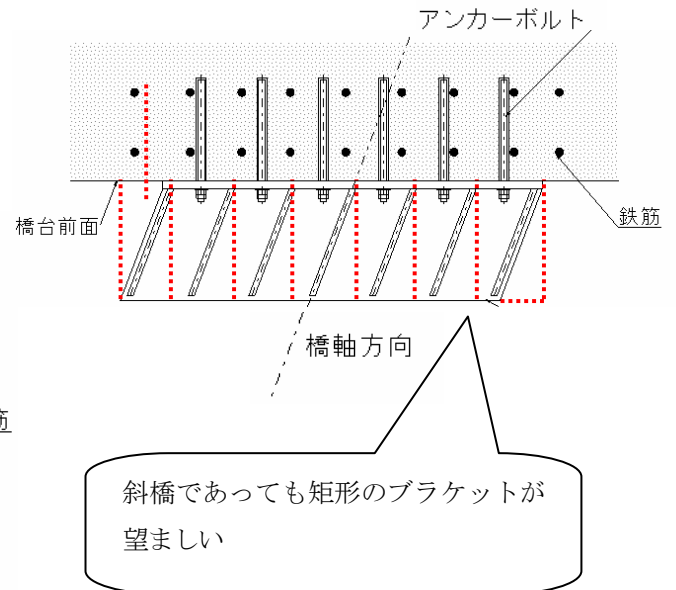


図-17 推奨構造

3. 2 補修工事における一般的な作業工種例

補修・補強工事は新設橋梁の架設作業ように工場製作された部材を組み立てるだけではなく、既設構造物への孔明け作業や、リベット孔を利用しての部材取り付け・ボルト締め付け作業が多くあります。また、既設構造物へ手を加えるために狭隘な部分での作業も多く、ボルト締め付け機械なども小型のものが開発されています。

ここでは、補修工事の標準的な工種において橋建協への問い合わせの多かった事項について、標準的な施工方法を紹介します。

事例1 リベット撤去工

鋼橋の補修・補強工事では、既設リベット孔を利用して部材の取り付けを行うケースが多々ある。また、最近では腐食したリベットを高力ボルトに交換する作業も増えてきており、現場におけるリベットの撤去作業は必要不可欠なものとなっている。

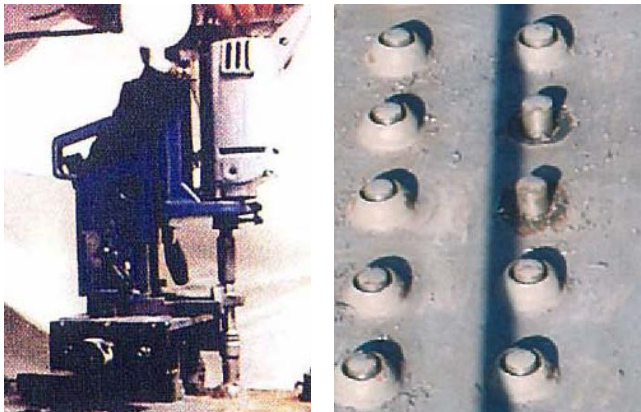


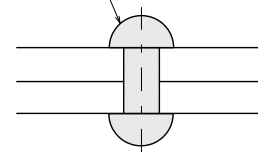
写真-16 コアドリルによるリベット頭穿孔とドリル穿孔後の状況



写真-17 リベット撤去後の状況と撤去したリベット

リベットの撤去作業はガス切断による方法とドリルによる方法があるが、ここではドリルによるリベットの撤去手順を紹介する。

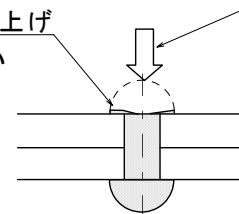
ガス切断 または
コアドリルで頭を撤去



ガス切断の場合

ハンマー打撃で
軸部抜き取り

グラインダーで仕上げ
*母材を傷めない
よう若干残す



コアドリルの場合

ハンマー打撃で
軸部抜き取り

コアドリルの
中心部のみ残って
頭が取れる

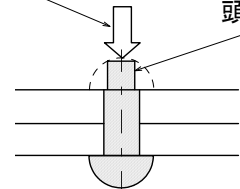


図-18 リベット撤去手順



写真-18 ドリル穿孔後のリベット抜き作業状況

事例2 アンカーボルト工

落橋防止装置や変移制限装置など、コンクリート下部構造に部材を取り付ける場合にはアンカーボルトによる方法が採用されている。アンカーボルトの施工に際し、下部構造への削孔作業が必要となるが、現在ではダイヤモンドコアドリルによる削孔が一般的である。

下部工の配筋に干渉しないように削孔する必要があるが、電磁波レーダーなどによる探査には探査深さの限界があり、実施工において配筋に干渉するケースが多々ある。施工次第によっては既設構造物に損傷を与えてしまう可能性もあり、難易度の高い作業であるといえる。

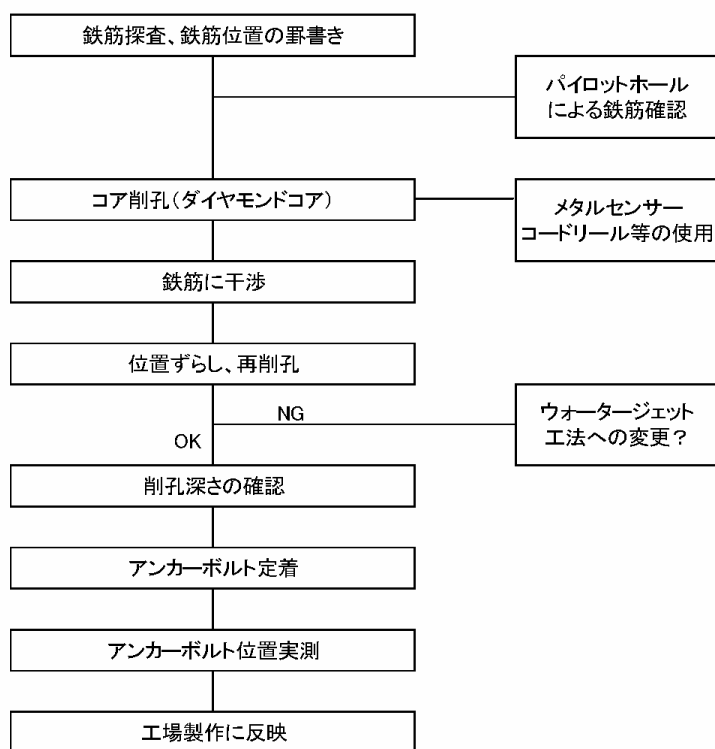


図-19 アンカーボルト施工フローチャート



写真-19 電磁波レーダによる鉄筋探査



写真-20 パイロットホールによる鉄筋確認



写真-21 ダイヤモンドコアドリル穿孔状況



写真-22 コア穿孔後状況
(鉄筋干渉による再穿孔跡)



写真-23 メタルセンサーコードリール

事例3 現場孔明け工

鋼材面への孔明け作業は、過去製作工場では大型のドリルを二人がかりで使用したりしていたが、現場での孔明け作業の増加に伴って、最近では小型で大口径まで孔明け可能なドリルが開発されてきており、現場作業の労力は軽くなってきていると言える。



写真-24 ウェブ面の孔明け



写真-25 狭隘部の孔明け（小型ドリル使用）

しかし、経年劣化によるリベットの交換や、亀裂対策のためのストップホール孔明け等、狭隘部や様々な姿勢での作業が多くなってきており、施工条件としては悪くなっている。今後もこのような施工条件の悪い箇所での作業は増えるものと思われ、孔明け機械のさらなる技術開発が求められている。



写真-26 鋼床版トラフリブへの大口径孔明け
（上向き施工のためレバーブロックにより
マグネット反力を補助している）



写真-27 トラス格点部の孔明け
（小型ドリル使用）

事例4 ボルト締め付け機械の種類

補修・補強工事では狭隘部の施工が多く、機械・工具類も小型軽量なものが望まれている。最近では、鋼床版トラフリブの亀裂補強等のボルト締め作業時に、通常の締め付け機械は隣接するリブと干渉し使用できないため、機械高を低くしたものが開発され現場作業に使用されている。



写真-28 トルシアボルト用レンチ
(右端は狭隘部用レンチ)

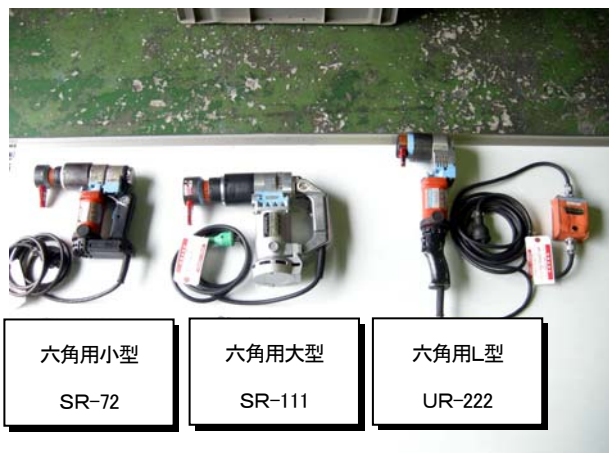


写真-29 六角HTB用レンチ



写真-30 ボルト締め付け状況

今後も耐震補強部材の取り付けや亀裂補強作業などでは小型で軽量な機械の需要が高まっていくものと思われる。

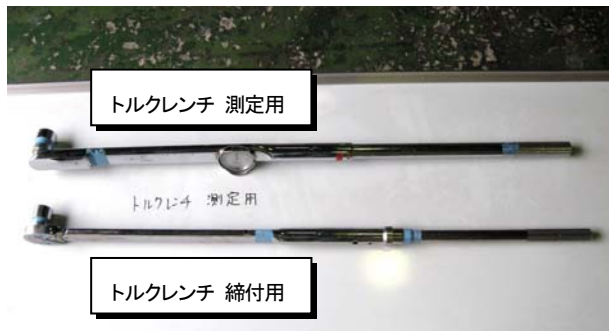


写真-31 手締め用レンチ



写真-32 ボルト締め付け状況

4. まとめ

補修・補強工事は供用下でかつ狭隘な場所での施工という悪条件ゆえに、所定の品質を確保しつつ求められた性能を100%満足させることが困難な場合があります。補修・補強設計を行うにあたっては、現地条件を考慮に入れ要求性能と確保品質のバランスの取れた設計を行う必要があります。

また、コスト面も忘れてはならない要件です。今後、老朽化した構造物の維持補修費用が急激に増大していった場合、財源不足により計画に支障を来すことの無いように、品質と性能とコストそれぞれの条件のバランスを取りながら、保全計画を進めていく必要があります。

将来にわたり良質な社会資本を提供しかつその社会資本を保全していくことはわれわれ橋梁技術者の責務であり、積極的に取り組んでいかなければならない課題であると考えます。