



インフラ老朽化と安全-4  
Infrastructure Aging and Safety No.4

## 維持、補修及び補強

Measures (Preservation, Repairing, Retrofit)

高木千太郎  
Sentaro Takagi

(一財) 首都高速道路技術センター  
上席研究員

社会基盤施設(インフラストラクチャー: infrastructure)は、必要な機能や性能が得られるように建設時の種々な技術基準によって構築されている。しかし、供用を開始した後、社会基盤施設を取り巻く環境は日々変化し、建設時には想定が出来なかった変状が発生することから、保有している性能が低下する場合が多々ある。このように施設の機能や性能に悪影響を与える変状に対し、適切な措置を適切な時期に行うことによって事故を未然に防ぎ、供用期間中の「安全・安心」が確保されることになる。

供用している施設、特に構造物に対して行われる措置は、新設の構造物に採用する標準的な形式や工法とは異なって、環境の異なる構造物に発生する種々な変状を正常な状態に戻すため、個々の施設特有の環境に適して効果をあげる措置をその都度選別し、実施するのが望ましい。その理由は、対象構造物が同一材料、同一構造、同一規模であったとしても供用環境によって全く異なった変状が現れるからである。事例をあげれば、使用環境の違いとしては、飛来塩分の多い海岸付近と内陸、高温多湿の地域と寒冷地、大型車通行の多い道路と生活道路などである。具体的な変状の差異は、飛来塩分が多ければ当然鋼材の腐食進展速度は早まるし、高温であれば低温地域と比較して温度が10℃上昇すると化学反応速度が2倍となる。これはファントホッフの規則<sup>1)</sup>が成り立つと仮定すれば明らかである。また、大型車走行による差異としては、車両の重量が2倍となると構造物に与える疲労ダメージとして8倍となることなどが挙げられる。供用している施設に行われる措置は2つに大別できる。一つは、ソフト的な措置である利用者の制限・規制と、もう一つはハード的な措置、維持、補修、補強、更新などである。ここに示した措置が期待する効果をあげるためには、施設に発生している変状を正しく捉え、どのような損傷や劣化で変状に至ったのか、損傷や劣化の原因は何か、変状の進展度は、構造物としての影響度はどの程度かなどを的確に診断し、効果的・効率的な措

置を選定、実施することが求められる。発生した変状の把握が十分に行われず、誤った措置を行うと、変状は止まらず進展し、最悪、人命を奪うような重大事故となる。例えば、米国・ミネソタ州で2007年8月1日に起こった高速道路橋崩落事故(I-39W橋)があげられる。崩落事故は、トラス構造の格点部にあるガセットプレート(写真1参照)が破断したことが主原因となっているが、崩落事故発生前には側径間の疲労き裂発生や主径間部分の床組構造及び床版の著しい腐食、変位の進展が危惧されたことから、何度も定期点検、追加点検を行っている。先に示した種々な点検結果を反映して腐食や疲労き裂等を対象とした対策工事を実施していたにも関わらず、対策効果が十分ではなかったことや施工時の詳細な安全性確認が不十分であったことから崩落事故が発生した。その理由は、当初設計及び製作時の誤りはあるものの、定期的に行っていた点検を基に行われていたミネソタDOTとFHWAによる当該橋梁のメンテナンスマネジメント、補強工法の選択、施工方法などに関する配慮不足が複数絡み合っ発生した事故と考えられる。I-39W橋の崩落事故では、13人の尊い命が失われたことも大きかったがそれ以上に、まるで実験室のように崩落する鋼トラス橋の動画が事故放映画面上



写真1 I-39W橋のガセットプレート(崩落前)

に映し出されたことで世界に衝撃が走ったのは事実である。供用中の施設を対象に行う点検・診断は重要ではあるが、その結果を対策に活かさなければ「絵に描いた餅」、全く意味の無いことであり、事故は起こるべきして起こったとも言える。

それでは、前報で説明した点検・診断の結果を活かす措置方法の選択、対策方法の決定、対策の設計・施工の流れについて説明することとする。

## 1 点検・診断の結果を活かす措置(対策)の流れ<sup>2)</sup>

図1に示す点検・診断から対策の流れを基に順を追って説明する。

種々な点検・診断を行った結果や施設に関係する住民から苦情があった場合には、管理者は診断結果や苦情の内容、影響度などを基に措置を行うか否かの判断を行うことになる。確認された変状が重大で、直ぐにでも対策を行わないと利用者や第三者被害が想定される場合には、緊急措置を行うことになる。道路橋の緊急措置として、緊急対策工事を行う時間的な制約がある場合はソフト的な措置を第一に選定する。具体的には、通行規制(車線制限や荷重制限など)、最悪の場合通行止めであるが、対策決定を管理者側の技術者が行うことになるので、判断の是非を問われる場合が多々ある。

ハード的な措置としては、支保工等を使った対象構造物の仮受(写真2参照)や鋼板等を使ったひび割れ部分や陥没の可能性が高いエリアの覆工などが挙げられる。緊急措置の判断と実施は、時間的に余裕がないことから判断を誤ると大事故に直結する事態となる。対応する技術者として必要な知識

は、材料や構造に関する技術的な知識は当然必要であるが、それ以上に技術者としての豊かな想像力が求められる。緊急措置を行った判断は、その後過大であるとの評価がなされたとしてもそれは結果論であり、事故を未然に防いだことを高く評価することが重要で、躊躇せずに判断を下す実行力が常に求められていることを自覚すべきである。種々な点検、特に定期的に行われる点検の結果を基に健全度が十分でないとして診断されると、先に示した緊急対策の要否を判断し、緊急対策が必要ない場合は、その後に行う対策を定量的に選別するための詳細調査が行われることになる。ここで言う詳細調査の目的は、変状の範囲と影響度、変状の起因となった損傷や劣化を当初の状態に戻す、もしくは現在の要求性能に上げることが可能な対策は何か、ここで選択した対策の施工は可能か、費用対効果が高いか等を判断するためである。詳細調査の段階で行う現地調査及び書類調査は、点検・診断の場合と異なっている。点検・診断の場合は、変状の位置、規模、損傷や劣化の種類と内容などを明らかにする目的で行う。しかし、ここで行う詳細調査は、措置、それも補修工事や補強工事を行うことが大前提である。現地調査や書類調査にしても、一般的な健全度を診断するための調査とは本質的に異なっている。より細かく説明すると、対策を行うための現地調査は、変状の程度を機器等によって精度高く計測し、正規な状態との差異を数値で示すことが必要となる。書類調査も同様で、使われている材料、適用した設計基準、施工時の管理データなどを調査し、変状の起因となった損傷や劣化の発生原因が当初設計や施工時の誤りで起こったものか否かの判定や、これから行う対策の効果を数値で示すために行うものである。また、変状を確実に改善する工法の選定、対策の設計を行うには、先に示す調査だけでなく、外観では分からない内在する損傷の種類や程度、保有している性能を物理的に確認することになる。具体的には、内在する損傷や劣化の調査方法としては、超音波(写真3参照)、磁粉(写真4参照)、渦流、X線を使った探傷試験や赤外線、弾性波、レーダー波を

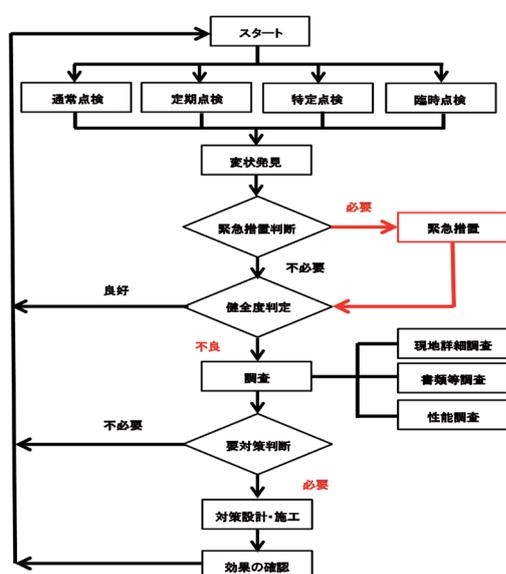


図1 点検・診断から対策への流れ



写真2 橋梁を支える支保工

使った調査法がある。

構造物の性能調査の方法としては、写真5に示すように対象構造物に想定している荷重を作用させることによって発生

する各部材の変形量や応力値などを部材に貼付したゲージ等によって計測する方法(写真6、図2参照)や、想定した荷重が作用した時に発生する応力状態などモデル化して、実測値と比較解析するFEM解析法(図3参照)などがある。ここに示した種々な詳細調査を行った結果を基に、対象構造物に対策が必要か不要かの最終判断を行う。その際に必要なことは、変状が確認されてもその影響が少ない場合は、経過観察

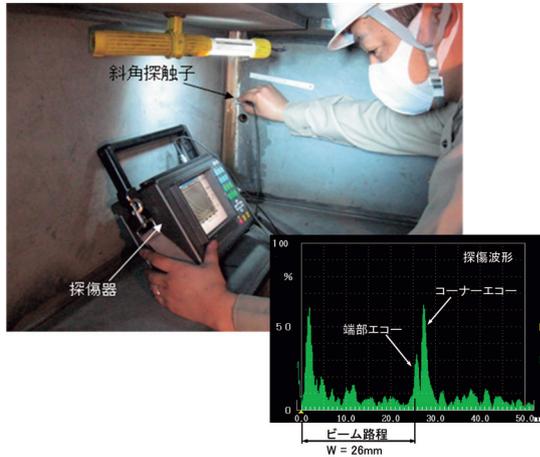


写真3 超音波探傷試験実施状況



写真5 実橋載荷試験状況

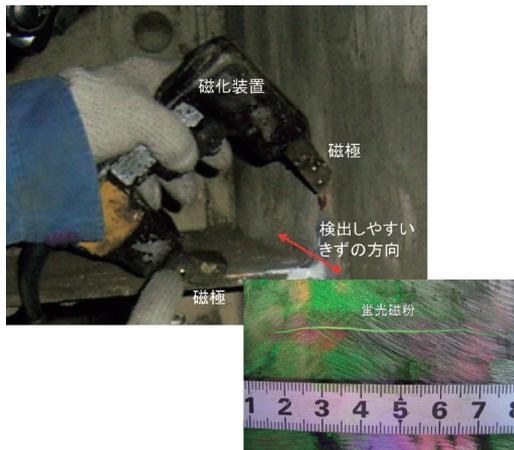


写真4 磁粉探傷試験実施状況

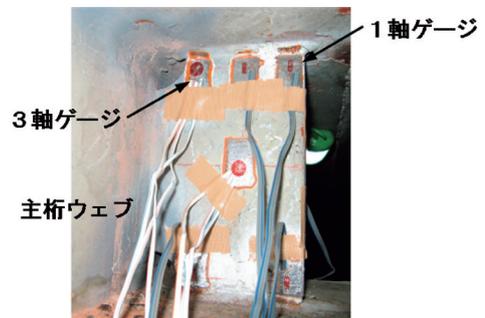


写真6 ひずみ計測の目的で貼付されたゲージ

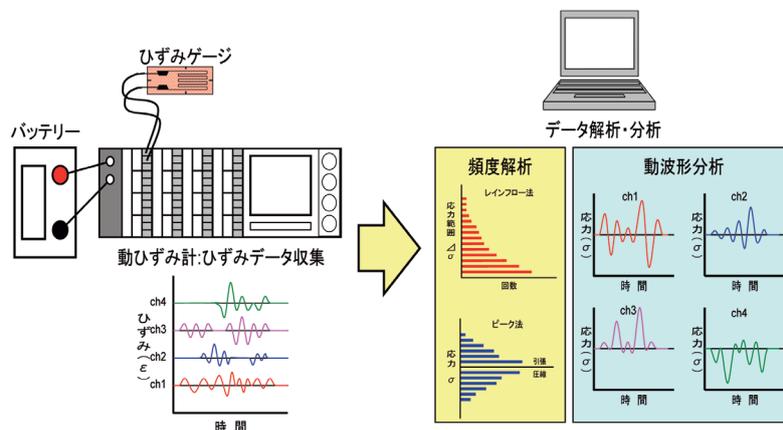


図2 測定したひずみデータの解析イメージ

が現状では好ましいと判定することである。その理由は、対策が不要な段階であるのに不必要な対策を行うことは、ライフサイクルコスト（以下、LCC）の観点からも不経済となるので注意が必要である。

詳細調査の結果、補修や補強対策が必要となった場合は、選定する対策が何を目的として行うのかを明確にすることが第一である。具体的には、変状が腐食による断面欠損で変形しているのであれば、必要な耐荷力を満足する部材の追加や構造変更するだけでなく、再度腐食が発生しない環境とする環境改善を目的とした対策を加えて選択することが必要である。さらに、今回対策を行う範囲に接している部材や部位についても、マネジメントの観点から先行投資が好ましいかの判断を行い、対象構造物全体のLCC判定やネット網を含めて判断することが重要となる。変状に対する対策の選定、設計、施工については、この後に示す個別損傷別の各論で説明することとする。発生している変状に対して対策を行った後には、必ず対策効果の確認を行うことが必要である。対策効果の確認は期待した効果の確認以外に、対策を行ったことで各部材の荷重分配量が変わったり、既存部材に新たな応力

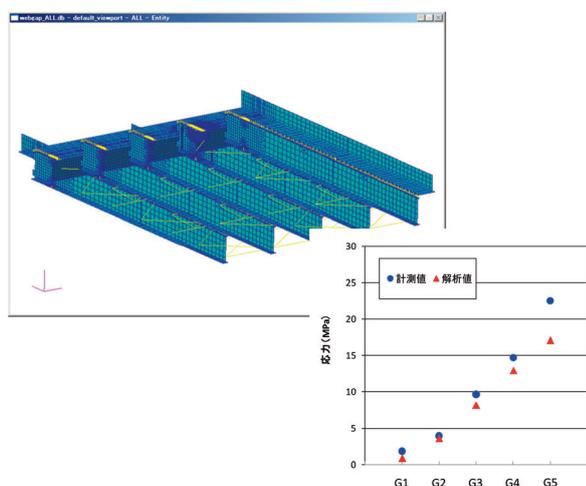


図3 FEM解析結果と計測値の比較

集中現象が発生したりするなど、新たな変状が起こる可能性も含めて事後調査が必要不可欠である。次に、変状の原因となる個別の損傷や劣化に対する対策を含めて、維持、補修及び補強について説明することとする。

## 2 維持対策

発生している変状に対して行う対策としては、維持、補修及び補強（長寿命化を含む）がある。日常的に行わなくてはならない対策として、身体に溜まった脂や汚れを落とす行為と同様な施設の清掃、浚渫や除草作業である（写真7参照）。施設は、供用し始めると日々の汚れが部材や部位に付き、期待する性能を発揮することができなくなる。また、土や塵埃が堆積するとそこに植物が根付き施設に悪影響を及ぼすことになる。最も軽微な作業とも言えるここに示す維持対策は、財政が逼迫すると手を抜きたくなるが、手抜きをすると耐久性が著しく落ちることを忘れてはならない。特に、橋梁であれば、温度変化や荷重载荷によって動くことが必要な支承や伸縮装置は、土砂、塵埃、滞水等で機能を失い、その結果、写真8に示すように主要部材が断面欠損したり、座屈するなど重大な変状を起こすことになる。

次に、材料を使う維持対策としては、鋼部材の局部腐食に行われる塗料によるタッチアップ、舗装に発生したわだちの



写真8 日々の清掃を怠ったことによる主桁の断面欠損状況

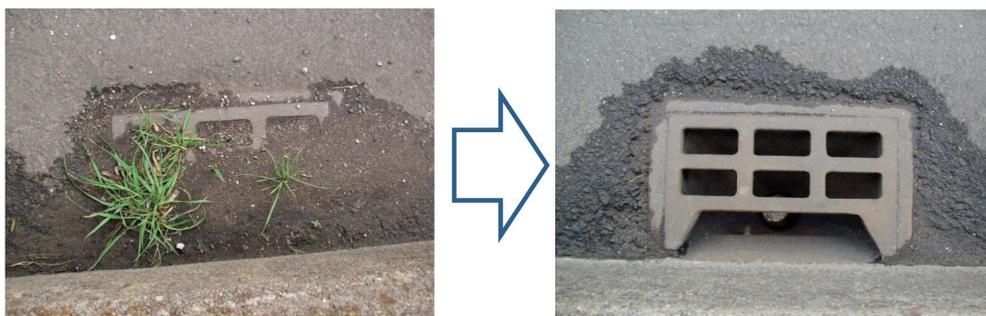


写真7 路面排水柵の浚渫前と浚渫後

切削、舗装ひび割れへのアスファルトによる充填、部分的な表層部の打替え、伸縮装置の取り換え、写真9に示すように変形したり欠損した高欄や防護柵の修繕などがある。いずれの対策も、構造物の主たる性能や機能を保持する目的で行われる軽微ではあるが忘れてはならない耐久性を保つために必要となる重要な対策である。これまで行われる対策内容について説明してきたが、何故か多くの組織で維持対策を軽視する傾向にある。ここで、維持対策を軽視し、予算化が困難となる理由を考えてみる。視点を変えて行政の経費区分で維持対策を分けると、維持対策は人件費と同様な義務的経費に該当し、保有資産として計上しない取り替え資産として扱われる。一方、この後で説明する補強対策は、投資的経費に区分され、対策を行うことで資産計上している資産の価値向上につながる資産価値向上対策として区分される。義務的経費として扱われる維持対策は予算費目としては、一次経費（計画管理費やA経費など分類する場合もある）分類で、本来であれば必要経費であるにも関わらず予算シーリングを受けることが多々ある。これは、維持対策が非計画的であること、維持対策を怠ったとしても直ぐに構造物への影響が出てこないこと、職員定数に反映していないことなどから、予算を要求する側も査定する側も予算の調整枠と捉えている場合が多いからである。シーリングを受けやすい維持対策は、先にも示したが維持対策の良否で大きく耐久性や安全性に影響を与える重要な対策であることを忘れてはならない。次に、経年や自然災害、人為的行為等で発生した変状を正常な状態に戻す目的で行う対策、補修と補強について説明することとする。

### 3 補修と補強

国内において、長く建設中心の時代が続いたことから、先に示した維持対策も同様であるが補修や補強に対する理解度が少ないと感じることが多々ある。そこで、補修や補強の言



写真9 変形した横断抑止柵

葉がどのような過程を経て使われ始めたかを第一に整理し、その後具体的に補修と補強の内容について説明することとする。戦後しばらくは、供用中の施設に対して行われる対策は維持修繕と呼ばれ、区分けの中によやく補修という用語が使われている。この根拠は、1948年（昭和23年）11月27日に連合国最高司令官マッカーサーから日本政府に出された文書である。それは、国に対して「道路及び道路網の維持修繕五箇年計画」を速やかに樹立し総司令部に提出を求めた覚書である。当時作成された総括表には、補修と言う用語はあっても、まだ補強と言う用語は見当たらない。補強と言う用語が使われ始めたのは、震災対策を行うために全国的に行った1979年（昭和54年）耐震点検が起因で、耐震対策として耐震補強の用語が使われ始めた。であるから、補修も補強も言葉としては新しく、多くの技術者には馴染みがないのは当たり前なのかもしれない。しかし、これまで長く続いた建設の時代は先が見え、既存の構造物に対する補修や補強を行わなくてはならない時代へと移り変わっている。嫌でも、補修や補強を理解し、効果的にそれらを行わなくてはならない時代となったのである。

ここで本章において使用する補修と補強の定義を行う。補修とは、供用開始当初に保有していた性能の状態に戻すこと、補強とは、当初の性能以上に現性能・機能を向上させる状態とすることと区分した。補修、補強どちらを選択するにしても、既に供用されている構造物（施設）に発生した変状に対して、対策を前提として行う詳細調査の項で説明した検討を行った後、失われた性能や機能を戻す対策である補修、もしくは向上させる補強を選択し、適切な時期に対策することが重要である。誤った判断のもとで対策を行った場合は、変状が再発する可能性が高く、これまでの事例を見てもこれに該当するケースも多々ある。したがって、補修や補強を行うのに際しては何度も示すが、事前に行う現場調査が最も重要であり、現場調査の良否が補修や補強の出来を左右すると言っても過言ではない。次に、対策工法を決定した後に行う設計の留意点は以下である。①事前現地計測：対象施設の当初設計図書のみを鵜呑みにして設計を進めると手痛い失敗となる可能性が極めて高い。この理由は、供用後に付けられた支障物（道路橋の場合、添架物や吊り金具など）や供用した後に発生した微細な変形やズレなどのために、対策部材が現地で設置できないことがある。このような、二度手間となる事態を避けるためには、事前に対策で追加する部材と既設部材の取り合いの計測（写真10参照）や施工機械等の搬入路などの確認は必須である。②費用対効果とLCC算定：設計を行う際には、必要となる費用と対策を行った効果、費用対効果を数値で算出し、採用する工法を選定する必要がある。また、補修や補強を行ったことによって変わる耐用年数を算出

しそれを基にLCCを算定した後、補修や補強と更新の比較を行うことが重要である。その理由は、対策の前提が補修や補強であったことから更新との比較を行わず、対策工事完了後に総費用や工事期間の面で更新の方が優位であったと評価された事例が多々あるからである。補修や補強対策を行う際には、計画段階で図4に示す物理的寿命、機能的寿命及び経済的寿命を考慮して、対策を決定することが必要となる。③補修や補強実施時に必要な判断：選定した対策によって供用している施設に与える影響を十分に考慮して対策及び対策工法の判断を行うことが必要である。具体的には、鋼構造物の場合、部材を添接するために用いる溶接による熱影響や高力ボルトを挿入するための孔明による穴引き欠損などを考慮することである。④添接方法の使い分け：一般的に補修や補強対策が必要となる施設は建設後かなりの年月が経過したものが多く、材質や当初の建設状況が不明な場合が多く、溶接が可能であるか否かの判断に迷う場合が多いのが現状である。また、供用中の施設は、車両の走行によって常時振動下にあったり、狭隘な空間における作業であったりする。このような施工環境を考慮すると、既設部材への添接作業は、溶接と比較して高力ボルトによる接合方法が望ましいと言える。しかし、施工環境が溶接作業に問題が無い場合は、溶接

による添接の長所である添接による断面欠損が少ないこと、継手効率や気密性が高いことなどを考慮して溶接による添接を採用することも可能である。その際には、施工管理を十分に行う必要がある。⑤新旧取り合い部の検討：施工前と施工後、あるいは施工中に、部材間でたわみ差が起こる場合がある。これを無視して作業を進めると、構造体に欠陥が生じ耐荷性や耐久性が劣ることになるので、十分留意して設計を進めることが必要である。⑥安全照査：供用している施設に対策を行う場合、施工ステップごとに安全性を検査することが必要である。例えば、各部材が一体となった条件で供用されている場合、対策ステップごとに支持条件が変わることがあり、ステップごとの構造系に適合した補助治具が必要な場合がある。完成系ばかりに捉われ、各ステップの構造系を忘れて作業を行うと剛性を失い、最悪構造物が崩落に至る場合があるからである。⑦維持管理上の配慮：対策を行った後に維持管理上の問題点が起こらないように、十分に配慮する必要がある。一般的に、補修や補強を行うことは、既設の部材や部位に新たな部材や部品を追加する場合が多々あり、写真11に示すように、対策後に行う維持管理作業が困難となる環境となる場合が多いからである。⑧景観上の配慮：補修や補強の設計を行う際に忘れてはならないのは、対策後の外観である。新設時に景観や美観を考慮して設計、施工したにも関わらず、対策を行ったことで大きく外観が変わり、評価を下げた事例が多々ある。逆に、対策時の設計や施工段階の工夫によって外観が変わり、評価を上げた事例もあることから、対策後の景観を疎かにしてはならない。補強対策によって輻輳した部材によって外観の大きく変わった事例を写真12、遮音壁を追加する際に景観を考慮したことによって外観が変わらなかった事例を写真13に示したので参考にすると良い。次に、損傷及び劣化別に補修と補強について説明を行う。なお、説明については、鋼構造を主として行い、補助的にコンクリート構造に触れて説明する。



写真10 部材が輻輳する桁下の主構造

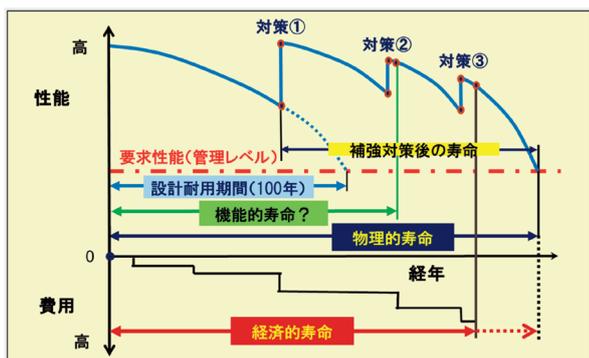


図4 構造物の物理的、機能的、経済的寿命のイメージ



写真11 耐震補強によって支承部分の点検が困難となった状況

### 3.1 防食機能の劣化

国内における鋼構造物変状事例から判断すると、最大の損傷は腐食である。腐食が進展すると、鋼材断面を減少させその結果強度低下を起し、き裂、破断、部材変形などの重大な変状に至る。そもそも腐食とは、水と酸素が介在した電気化学的反応に基づいて進行する現象である。腐食反応は、アノード領域で生じる反応とカソード領域で生じる反応が必ず等量で進行し、片方の反応が抑制されれば当然他方の反応も抑制されることになる。鉄が溶出するアノード反応には鉄と水分が接することが必要であり、カソード反応の進行には水と酸素の存在が必要となる(図5参照)<sup>3)</sup>。このようなことから、腐食を防ぐには、水と酸素が供給されることを絶つか、イオン反応を抑止するかである。そのため鋼構造物には防食機能を付加しているのが一般的である。腐食を防止する対策としては、被覆、耐食性材料の使用、環境改善、電気防食の四つに大別できる。被覆による防食は、腐食の原因を遮断することによって防止する方法であるが、これには塗装等の非金属による被覆と亜鉛等によるめっきや金属溶射等の金属被覆による方法がある。耐食性材料による防食は、腐食速度を低下させる合金元素を含む鋼材にすることによって耐食性を有する材料に改質する防食法である。また、環境改善による防



写真12 床版補強によって外観が大きく変わった事例



写真13 環境対策・遮音壁設置で外観の変わらなかった事例

食は、対象施設や対象部材の周辺から腐食因子を排除するなどによって、腐食しにくい環境条件とする防食法である。これには、構造の改善によって腐食因子を排除する方法と、除湿や換気によって湿度を一定値以下に保つ方法がある。最後に電気防食とは、対象施設に電流を流すことで表面電位差をなくし、腐食電流の回路を遮断する防食法である。鋼構造物に採用される事例の多い防食方法の種類と特徴を表1に示した。次に、防食法別の防食機能劣化対策について説明する。

#### (1) 塗装の補修<sup>3)</sup>

鋼構造物の塗装による防食法が採用されている場合は、防食機能が適切に維持されるよう塗り替え時期や塗り替えに採用する塗装仕様を決定する必要がある。なお、防食機能の劣化以外に景観や美観上が求められている環境の場合には、塗膜の変色や汚れの程度も考慮して塗り替え時期や塗装仕様を検討する必要がある。ここに、塗膜の防食性能の劣化を原因として塗り替えを決定する事例を参考に紹介する。現状が一般塗装系(合成樹脂系塗装仕様の場合)である場合は、発生しているさびとはがれの表2に示した4段階評価に基づいて、塗り替え必要性和時期を検討すると良い。なおここに示した事例は、既設の道路橋で一般的に採用されている塗り替え判定事例である。塗り替えの実施時期や塗り替え順序は、上記の判定に塗装後の経過年数や対象施設の架設環境等を考慮して最終決定する。次に選定する塗り替え仕様である。道路橋の場合以前は塗膜の暴露される環境が変わらないと判断し、旧塗装と同じ性能を有する塗装系を選定するのが一般的であった。しかし、防食塗装のLCC、環境対策、景観上の配

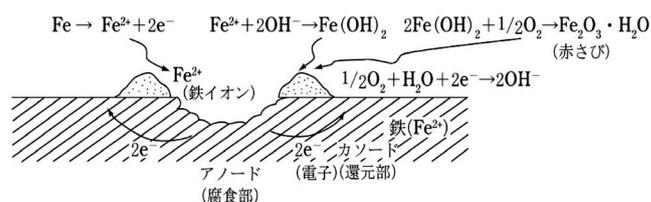


図5 鉄の腐食反応

表1 鋼材の防食法と特徴

防食法	塗 装		耐食性鋼材	溶融亜鉛めっき	金属溶射
	一般塗装(A系)	重防食塗装(C系)			
防食原理	塗膜環境遮断	・防食ジंकリッチ ・塗膜環境遮断	緻密なさび	めっき被膜	溶射被膜
防食材料	塗料	塗料	合金元素添加	亜鉛	亜鉛・アルミ等
施工方法	スプレー、はけ等	スプレー、はけ等	製鋼時合金	浸漬	溶射
構造、施工制限	湿度、温度		換気、塩分等制限	めっき槽制限	溶射ガン制限
外観	色彩自由	色彩自由	さび色	灰白色	灰白色
維持管理	さび、塗膜調査	さび、塗膜調査	異常さび調査	亜鉛被膜調査	溶射被膜調査

慮などの観点から検討した結果、より耐久性の優れた塗装系にする方が有利かつ合理的と判断し、塗り替え塗装仕様は耐久性に優れる重防食塗装系（有機ジンクリッチペイント+変性エポキシ樹脂塗料下塗り+ふっ素樹脂系塗料中・上塗り）が基本となった。塗り替えた塗膜の寿命をより長くするためには、素地調整程度1種となるよう旧塗膜を完全に除去したうえで、新たな重防食塗装系に変更することが必要である。また、旧塗膜に鉛化合物、六価クロム化合物及びPCB等の有害物質を含む場合には、旧塗膜を飛散させずに除去し、産業廃棄物として適切に処理しなければならない。

(2) 耐候性鋼構造の補修<sup>3)</sup>

耐候性鋼材を使用した構造物に層状はく離さび等の異常なさびが発見された場合は、発生原因を確実に排除することが必要となる。原因の排除対策が可能であったとしても、確実に原因が排除されるか否かは異常なさびが発生した箇所の措置が異なるので、工法選定及び施工時の注意が必要である。原因の排除が適切であれば、異常なさび部分を除去することによって、ち密さび形成環境状態となるため、塗装など他の方法による対策の必要はない。しかし、確実な原因排除が困難な場合は、可能な範囲で原因排除をするとともに、異常なさびが発生した部位やその周辺も含めて重防食塗装や金属溶射など他の防食法による対策を行うことが必要となる。

表2 鋼道路橋塗り替え基準

		はがれの程度			
		1	2	3	4
さびの程度	1	塗り替えの必要なし		数年後に塗り替え計画	
	2				
	3	数年後に塗り替え計画		早期に塗り替え計画	
	4				

(3) めっき及び金属溶射の補修<sup>3)</sup>

めっき及び金属溶射被膜の補修は、再めっきが困難であることから重防食塗装または金属溶射で行う。補修工法の選択には、塗装及び金属溶射それぞれの特徴を理解し、対象となる構造と経済性を考えた対策方法を選択する必要がある。防食性能に多大な影響のある素地調整については、鋼材表面、合金層、溶射被膜層から発生している赤さびを除去し、有効な合金層及び溶射被膜層は残すように行うことが必要である。対策を行う範囲は、部位による劣化の差異や機能を有する被膜の程度によって、全体補修、部分補修、局部補修を選択して対策を行うことになる。

3.2 腐食の補修と補強

腐食損傷が進展した鋼構造物の対策は、断面が欠損したことによる耐荷力不足量を確認し、それを補う対策を選択することである。腐食に対する設計照査としては、まず現状の腐食によって応力的に問題がないかを判断することになる。現状で応力的に不足する場合もしくは、現状ではまだ余裕があるがこのままの状態では放置すると、近い将来耐荷力不足になると判断した場合は、断面が欠損した部分を対象に部材の交換または追加によって応力的改善対策を行うことになる（写真14参照）。

対策方法としては、①当て板を用いた添接板による補修、補強、②腐食によって断面が欠損した部分の取り替え、である。また、ここで示した対策以外にも、応力的に問題がなければ、滞水や土砂等が堆積しないような細部構造の改造や湿潤状態を緩和する設備の設置なども対策としては考えられる。防食機能の劣化や軽微な断面欠損については前述しているので、ここでは腐食の程度が大きく、断面欠損等によって耐荷力不足となり、部材の交換または追加を行う対策を説明する。腐食対策の留意点は以下である。①腐食した部分及び周辺部分を断面欠損断面として判断し、その不足部分を補う追加部材断面を算定する。②塗装する鋼材面の十分な素地調

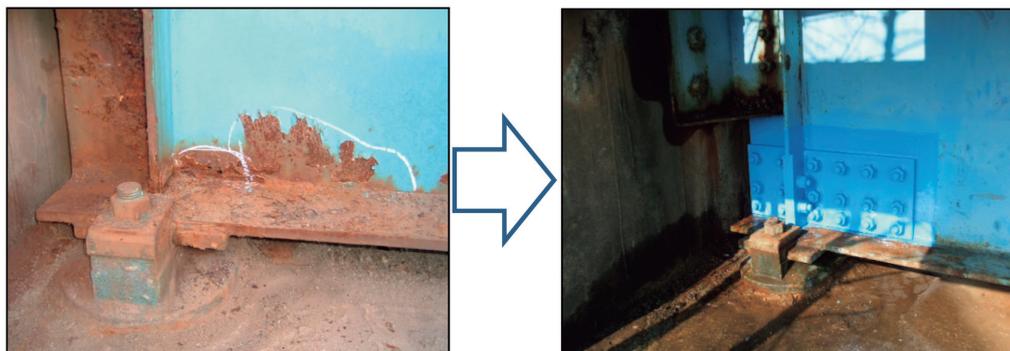


写真14 腐食による断面欠損部の補修事例

整及び付着している塩分の除去を確実にを行う。なお、付着塩分量は、水洗い等によって50mg/m<sup>2</sup>未満<sup>3)</sup>とする。これは、さび落としや付着塩分の除去が不完全な状態であると、再度早期に腐食が起こるからである。③高力ボルトによって部材を接合する場合、腐食した部分に凹凸があり所定の摩擦係数確保が困難な場合がある。高力ボルト接合は、摩擦接合の場合がほとんどであることから、凹凸を除去することで所定の摩擦係数を確保できる接触面となるような処理が必要である。近年、腐食によって顕著な凹凸が生じた部分に接着剤を併用して対策を行う場合がある。その際は、接着剤の性能を事前に試験するだけでなく、接着剤の硬化時間と部材接合時期の検討を行うことが必要である。④溶接によって部材を接合する場合、対象部材が層状に腐食していることから未溶着部分が多く、溶接による追加部材の接合が困難となり所定の品質を確保できない場合がある。また、既設橋梁に使用されている鋼材の溶接性が劣る場合もある。使用鋼材の材質が不明な場合は、必要に応じて鋼材の成分分析(硫黄の含有量、炭素当量や割れ感受性指数などの調査)を行い、評価すると良い。⑤対策の設計時に要検討する事項として詳細構造があげられる。これは、既設部材や部位に新たな部材や部品を添接するので、防食困難箇所が新たに発生することである。防食が困難な詳細構造を採用すると、腐食損傷が早期に起こり再度対策が必要となるので十分注意して設計を行う必要がある。また、事前調査において滞水する箇所や結露する箇所を発見した場合は、新たに水抜き孔を設けるなど、腐食原因を除去する構造を採用する必要がある。

### 3.3 疲労き裂の補修と補強<sup>4)</sup>

鋼構造物に繰り返し外力が作用する場合、発生する応力が静的な耐力に比較して低い場合でも応力集中箇所から疲労

によるき裂が発生し、部材破断に進展する場合がある。このようなことから、疲労き裂発生可能性がある環境下で供用している場合は、繰り返し作用する外力の大きさと回数を確認し、疲労照査を行うことが必要である。疲労き裂は、防食機能の劣化や腐食などのように徐々に進展する損傷とは異なり、ある一定の条件が揃った場合、表面にき裂が確認されて初めて損傷を認識する場合が多い。疲労によって発生したき裂は、急速に進展し、脆性的破壊に至る場合もあることから措置を誤らないようにすべき損傷である。崩落となる最悪な事態を回避するためには、き裂の発生した部位が過去に重大損傷に至った事例と同様か、構造的に亀裂が進展する可能性が高いかなどを注意深く確認する必要がある、発生部位によっては緊急措置を取らなければならない。具体的には、主桁及び横桁のフランジやウェブ(写真15参照)、桁端切欠き部、支承部周辺の下フランジ、ウェブに取りつくガセットプレート、主要部材のグループ溶接部(写真16参照)などに発生したき裂である。緊急措置が必要なき裂については、措置が完了した段階で詳細調査を行い、適切な補修及び補強対策選定し施工することになる。いずれにしても、鋼構造物に発生した疲労き裂は、疲労き裂の起こりやすい環境を改善する構造とすることが重要で、過去の対策事例調査や高度解析によってき裂発生環境を再現し、それを生かして補修及び補強対策を行うことが必要である。

疲労き裂に対して行われる対策は、変状をできるだけ早期に発見し、き裂損傷の規模が軽微なうちに、簡易な方法によって対策を行うことが基本である。しかし、これまで発生した疲労き裂の多くは、通常的设计において応力照査しないような部位に発生している場合が多い。ここに示したき裂は、二次的な応力や変形の発生もしくは鋼部材溶接部の品質不良などといった要因が複合して発生する場合が多いので、き裂発生原因を明らかにすることや、発生した疲労き裂を止める効果的な対策を選定することが困難となる場合が多



写真15 主桁ウェブに進展した疲労き裂



写真16 主桁グループ溶接部に発生した疲労き裂

表3 疲労き裂対策方法と対策区分

対策内容	目的	き裂の一時的な進展防止	補修	補強(強度改善)
①ストップホール		○	○	
②き裂の切削除去			○	
③添接板補修		○	○	
④溶接補修			○	○
⑤グラインダーによる止端仕上げ				○
⑥TIG処理				○
⑦付加溶接				○
⑧ハンマーピーニング				○
⑨UIT処理				○
⑩ICR処理			○	○

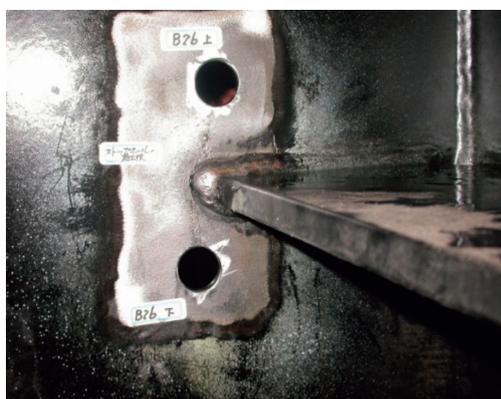


写真17 ストップホールによる対策事例



写真18 棒グラインダーによるき裂切削状況

い。疲労き裂に対する対策を表3に取り纏めたので参考にすると良い。疲労き裂の対策に関する留意点は以下である。①疲労き裂は、発生形態が類似していても発生した部位や供用環境によって構造物に与える影響度に違いがあり、画一的(標準的)な対策を行うと更に危険性が高まる場合がある。このようなことから、疲労を原因とした変状が発見されても取りあえず応急措置を行い、十分な検討の後に恒久的な対策を行うことが望ましい。②疲労き裂の発生部位は、桁端部や桁の取り合い部など狭隘部であることが多く、磁粉探傷や超音波探傷試験等を使ってき裂長さやき裂先端を把握することが困難な場合もある。しかし、狭隘部であってもき裂に対する非破壊検査は、内外面から行い、き裂の規模、深さ、進行方向などを調査することが必要である。また、き裂を対象とした調査は必要に応じてビード部分を削り込み、的確に行うことが必要である。次に疲労き裂対策について個別に説明する。

#### (1) 応急的な対策(ストップホールによるき裂進展防止)

ストップホールは、発生しているき裂の先端部分に円孔を開けることで、き裂先端を除去し、先端部の高い応力集中を

低減させき裂進展を防止する対策である(写真17参照)。さらに、ストップホール部に高力ボルトを挿入し締め付けると、ストップホールの効果を高めることになる。なお、ストップホールは、一時的なき裂進展抑制対策であることから、他の恒久対策と併用することが必要となる。ストップホール対策の留意点は、以下である。①本対策を適切に行うには、き裂先端がストップホール孔内に入るようき裂先端を完全に除去することが必要である。②孔径は一般的に20~30mm程度であるが、効果を高める高力ボルトによる締め付けを行なうことを前提とした場合、孔径 $\phi$  24.5mmとするのが良い。

#### (2) き裂発生部の補修

##### a) 表面切削補修

発生しているき裂が浅く小さい場合には、棒グラインダー等によりき裂を切削して除去する補修対策を選定する(写真18参照)。応急対策としての一時的な対策とする場合が一般的であるが、発生している部位や状況によっては切削仕上げ(止端部を滑らかに仕上げる)を行い恒久対策とする場合もある。切削深さは一般的に、2mm程度までとしている事例が

多い。

#### b) 溶接補修

軽微なき裂をグラインダー、ガウジング等で除去した後、に再溶接することで損傷度を補修する方法である。当該対策は、き裂発生の原因が部材中に残された溶接不良や工作傷などであり、溶接補修によって原因除去が可能となる場合についてのみ、き裂の再発防止対策として有効である。溶接補修は、グラインダー、ガウジング等によってき裂を除去する際に、き裂を完全に除去出来ているかを確認することが重要であり、多くは、裏はつり溶接を行うことが必要となる場合が多い。局所的な応力集中や部材の変形が主原因である場合は、溶接補修では不十分であることから、添接板などを併用する対策が必要となる。

#### c) 添接板補修

き裂が発生した部位や部材に添接板を接合し、き裂部分を閉じ合わせるとともに、き裂の進展によって断面欠損した部分を補う対策である。当該対策は、き裂がすでに大きく進展している場合の補修工法として採用される場合が多い。なお、添接板を既設部材に接合する方法は、溶接欠陥が起こる確率が高いことから溶接よりも高力ボルトによる接合が好ましい。添接板は、既設材と同等以上の材質、板厚のものを使用し、ある程度広範囲に設置することが必要となる。また、き裂の先端には前述したストップホールを設置し、当て板の止めボルト孔と併用すると良い。

### (3) 損傷部の補強

#### a) 溶接継手部の疲労強度改善

溶接部のビード形状を改良することによって、溶接止端部の局所的な応力集中を低減し継手の疲労強度を向上させる対策である。疲労設計指針（日本鋼構造協会）における継手の疲労強度等級では、同じ継手種類において、非仕上げ継手に対し仕上げることで、1ランク上位となると示している。具体的には、リブ十字溶接継手の荷重非伝達型止端非仕上げの場合、強度等級はE等級 ( $80 \Delta \sigma_f$ ) であるが、止端仕上げ行うとD等級 ( $100 \Delta \sigma_f$ ) に上がることになる。止端仕上げする方法としては、棒グラインダーなどによって止端部を切削加工する方法と、TIG溶接機により止端部を再溶融して形状を滑らかにする方法がある。棒グラインダー等による方法は、作業が簡便ではあるが、品質が作業者の技量に依存することから注意が必要である。一方TIG処理は、施工条件を管理することが容易で一定の品質を確保することが可能な工法と言える。当該工法の対象として、浅いき裂であればTIG処理による再溶融時に除去が可能などの長所があるが、使用機器材が多いことから、施工数量が少ない場合などは非効率的で割高となる。その他の疲労強度改善となる補強は、溶接止端をハンマー等で叩き圧縮残留応力を導入させるハンマーピーニ

ング、超音波振動で溶接止端に打撃を与える改善方法のUIT処理、フラックスチツパたがねを加工した器具を使ってき裂表面を閉口させる改善方法のICR加工処理などがある。

#### b) 部材接合部の詳細構造改良対策

疲労き裂が発生した部材接合部あるいは詳細構造部を対象に、局所的な応力や変形状を改善する補強対策である。具体的には、応力の伝達がスムーズとなるように詳細構造の改良を行ったり、当該部位に発生する応力や変形を低減する目的で補強材として添接板やリブなどを添加する対策である。対策事例としては、桁高制限箇所を採用事例の多い桁端部切り欠き部がある。切り欠き部の円弧形状箇所のみ肉溶接部には、活荷重が作用すると、溶接部と直交する方向に大きな引張応力が作用し、疲労き裂の発生する事例が多々ある。当該箇所の補強対策としては、き裂の溶接補修や溶接継手の疲労強度改善対策を行なった上で、高力ボルト摩擦接合によってウェブに添接板を追加する補強対策がある。追加する添接板には、垂直方向の補強リブ及び割込みフランジに相当する水平方向の補強リブを設置する事例が一般的である（写真19参照）。なお、切り欠き部の変形防止のために主桁下フランジの水平及び鉛直方向、それぞれを連結する。

### 3.4 変形部材の対策<sup>4)</sup>

交通に関係する施設は、走行車両の接触、落下物、船舶の衝突、波浪などによって、局所的に部材が変形する場合がある。また、地震、台風、異常豪雨などの自然災害によって作用する力は設計条件を超える場合があり、その結果、変状が発生する場合が多々ある。

道路橋の場合、走行する車両が部材に接触した事例としては、I桁や箱桁のフランジ、トラスやアーチ構造の弦材や橋門構、走行車両からの落下物事例としては、舗装、床版、床組、防護柵などに変状として変形や破断損傷が発生する。また、道路橋や鉄道橋と交差する道路において桁下の高さ制限を越



写真19 添接板を使った切り欠き部補強事例

えた車両が走行し、主桁や下弦材などに衝突、変状が発生する場合もある。ここに示すような事故が発生した場合は、第一に変状が発生している構造物が安全であるかの判定を行うことが必要である。

変状のある部材の補修方法としては、変形した部材を元に戻す方法と、変形がさらに進行したり、破断した部位が進展したり、座屈しないように鋼板を添接追加する方法(写真20参照)がある。変形を戻す方法としては、加熱矯正、溶接補修及び部材交換がある。加熱矯正や部材交換のみで終わる場合もあるが、複数の対策を組み合わせる場合もある。具体的には、縦リブや下フランジの変形は加熱矯正とし、添接部は添接板や高力ボルトの取替え、変形したウェブに形鋼を添接するなど、対策の必要性や施工性によって複数の工法を併用する場合がある。変形部材の対策を行う場合の留意点を以下に示す。①設計の基本は、対象構造物の当初に設定した設計強度を低下させない範囲まで対策を行うことである。②異なった部材に同様な変形が発生しても、構造物を構成する部位によって変形による影響度が異なる場合が多い。対策の対象となる部材や部位の応力度について余裕をとるなどの少しの工夫で耐力や耐久性が大きく異なるので、種々な検討を行って対策の必要性や工法の選定を行うことが必要である。次に、対策工法を個別に説明する。

#### (1) 加熱矯正

常温下で変形した部材や部位を矯正するためには、かなりの塑性変形を起こす力を作用させる必要がある。矯正時及びその後のじん性低下などを考慮すると、対象部材を加熱して矯正を行う方法を採用するのが一般的である。加熱矯正は、必要な部分を許容温度内で加熱し、ジャッキを用いて変形の大きい箇所から小さいほうに向かって徐々に矯正し、この作業を何度か繰り返して行うのが一般的である。加熱矯正の留意点は以下である。①非調質鋼材の加熱矯正許容温度は、900℃程度である。調質鋼材は加熱すると材質及び強度への



写真20 車両の衝突で変形した主桁を補修した事例

影響がでることから事前に調査する必要がある。一般的には、調質鋼材は非調質鋼材と比較して加熱許容温度は低い。②加熱矯正終了後に、荷重荷が可能な温度は約250℃であるが、一般の鋼材における放熱に要する時間は30～40分程度が必要である。③加熱矯正に用いるバーナーは、可能な限り火口の大きいものを用いることで部分的な加熱を避け、矯正部周辺も含めて十分加熱する。④加熱矯正後の冷却は水等による急速冷却は行わず、自然放冷とする。

#### (2) 部材交換

変状が広範囲である場合や変形量が大きく加熱矯正が困難な場合は、対象となる部材を交換する方法を選択する。部材交換は、部材が変状を起こしている部分を含めて一時的に取り外すことになるので、十分注意して施工を行う必要がある。その理由は、変形している部材には予想以上の力が作用している場合があり、安易にガス切断などで応力開放すると部材が跳ね上がる場合もあり、対象部材を含めた影響を考慮して安全対策を実施する必要がある。部材交換時には、仮受け部材が必要となったり、所定の応力導入を行うジャッキを使った応力調整を必要とする場合がある。

### 3.5 ゆるみ、脱落の対策

鋼部材は、部材同士を連結したり、添接したりする場合に、リベット、高力ボルトなどを使用する場合がある。リベットや高力ボルトは、腐食、振動、衝突、過荷重、遅れ破壊などによってゆるんだり、脱落したりする変状が発生する。リベットや高力ボルトは、当初設計時に必要本数や必要締め付け力が設定されている場合がほとんどで、これらがゆるみや脱落すると当初性能を確保できなくなる。また、供用している構造物から、ゆるんだ継手部材等が脱落すると第三者被害となる場合が多々あり、事故を未然に防止する意味からも早めに対策を行う必要がある。

#### (1) 変状(腐食、断面欠損、ゆるみ等)を起こしたリベットの取り替え

腐食によってリベット頭部や軸が欠損した場合や何らかの原因でゆるみを生じたリベットを撤去し、高力ボルトに交換する対策である。対象リベットの撤去方法としては、一般的にガス溶断やドリルせん孔法がある。リベット撤去時の留意点としては、添接部材への損傷を与えたり、過大な熱を加えたりしないことである。

#### (2) 高力ボルトの取り替え

高力ボルトの取り替え事由の多くは、遅れ破壊現象である。遅れ破壊現象が発生する可能性の高いボルトは、高強度ボルトとして使われているF11T、F13T以上が該当し、ボルトが緩んだり、写真21に示すように抜け落ちたりする。変状が確認されたボルト等がある場合は、変状(打音点検や超音



写真21 遅れ破壊現象による高力ボルトの脱落事例

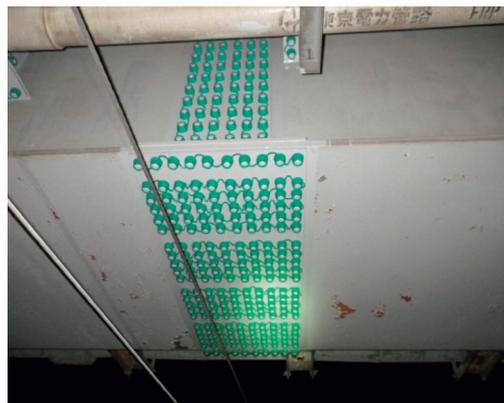


写真22 高力ボルト対策事例（落下防止キャップによる）

波調査による破断の確認)が確認されたボルトを含んで同一構造体のボルトを対象に新たなボルト(F10Tなど)に取り替える対策が一般的である。ボルトの取り替えは、原則として1本ずつ取り替えるが、継手部の応力照査を行った結果、安全性が確認された場合には1列のボルトを同時に取り替えることも可能である。なお、対象ボルトの交換が困難な場合は、ネットで当該部分を覆ったり、破損したボルトが落下しないような写真22に示す対策方法などがあるので放置せずに何らかの対策を行う必要がある。

### 3.6 コンクリート構造物の補修と補強<sup>5)</sup>

コンクリートに発生する変状を大別すると、初期欠陥、経年劣化、構造物の変状に分類される。初期欠陥としては、ジャンカ、コールドジョイント、内部欠陥及び表面気泡がある。また、経年劣化としては、ひび割れ、浮き、剥落、錆び汁、エフロッセンス及びすりへりなどがある。構造物全体の変状として捉えると、たわみ、変形及び振動がある。このように、コンクリートに発生する変状は複数あるが、基本はひび割れ現象である。コンクリート構造物に発生している変状はそれぞれに対して原因があることから、維持、補修及び補強工法を選定するにあたっては、部材または構造物の劣化要因を把握し、補修及び補強後の耐久性を十分考慮して、変状程度に応じた適切な対策を選定する必要がある。鋼構造の対策と同様で、対策計画の策定にあたっては、対策を行う対象や目的、期待する効果などを明確にしておくことが必要である。また、対策の目標レベルをどこに設定するかが重要となる。一般的な劣化原因とその対策方法を以下に示す。

#### (1) 中性化

二酸化炭素がセメント水和物と炭酸化反応を起こし、細孔溶液中のpHを低下させることで、鋼材の不導帯被膜が減少、腐食が促進し、コンクリートのひび割れやはく離、鋼材の断面減少となる劣化現象である。対策としては、劣化因子の遮

断や劣化速度の抑制を目的として表面被覆工法やひび割れ補修工法が用いられ。また、劣化因子を除去するための工法としては、断面修復工法や再アルカリ化工法などがある。

#### (2) 塩害

コンクリート中の鋼材腐食が塩化物イオンによって促進し、コンクリートのひび割れやはく離、鋼材の断面減少を引き起こす劣化現象である。対策としては、劣化因子の遮断する表面被覆工法、ひび割れ補修工法、劣化因子を除去する脱塩工法などがある。

#### (3) 凍害

コンクリート中の水分が凍結と融解を繰り返すことによって、コンクリート表面にスケーリング、微細ひび割れ及びポップアウトなどが生じる劣化現象である。対策としては、水分の供給を抑制する表面被覆工法やひび割れ補修工法があり、劣化部を取り除く工法として、断面修復工法がある。

#### (4) アルカリ骨材反応

骨材中に含まれる反応性シリカ鉱物や炭酸塩岩を有する骨材がコンクリート中のアルカリ水溶液と反応することによって、コンクリートに異常膨張やひび割れを発生させる劣化現象である。国内で発生している反応性骨材による劣化現象は、アルカリシリカ反応であるが、国ではアルカリ骨材反応と呼称しているため今回もアルカリ骨材反応としている。劣化因子の遮断や劣化速度を抑制するためには、表面被覆工法やひび割れ補修工法が用いられる。

以上が、コンクリート構造物に発生する変状、損傷と劣化の原因、対策の概要である。コンクリート構造物の変状は、ひび割れ損傷が基本と示したが、ほとんどが鉄筋やPC鋼材を内在し引張応力に主として抵抗するシステムであることや塑性体に近いことから、変状対策が後手に回ると致命的な状態となる場合が多い。また、鋼構造物と異なって、変状部分の部分的な交換や追加が困難な場合が多く、通常、損傷部材全体もしくは構造体全体の取り替えが必要となるので早め



写真23 塩害によるひび割れが鉄筋破断となった事例

早めの対策を行うことが必要である。写真23に鉄筋コンクリート道路橋が塩害によって顕著なひび割れが発生、その後内在する鉄筋が腐食、破断した事例を示したので参考にすると良い。このような、状態に至った場合は、脱塩処理等ではなく対象となるひび割れ変状が発生している部材の取り換えが必要となる。

### 3.7 火災による変状を起こした部材の補修<sup>6)</sup>

構造物、特に橋梁の場合は、橋面や桁下における車両事故などによって車両が炎上したり、桁下における火の不始末等による出火などで火災となる場合が多々ある。火災による変状は、変形や破断など目視で判断が可能な場合以外は、被災した部材や部位の受熱温度と耐熱温度の対比が健全性診断の基本データとなる(図6参照)。一般的に鋼材の場合は塗装の変色から、コンクリートの場合は表面の変色からそれぞれ受熱温度の推定が可能である。火災によって大きく変形した鋼部材に対しては、先に示した加熱矯正や部材交換などの対策を行うことになるが、留意点を以下に示す。①施工ステップごとの設計条件と現場との差異を常時監視し、危険な状態としないことをチェックする必要がある。②狭隘な空間での作業が伴うため、所定の品質を確保することが可能な施工方法を採用する。③供用下において、少量で多工種にわたる工事を短期間に施工しなければならぬ場合が多く、事前の準備、確実な計画策定が必要となる。

### 3.8 震災後の補修と補強<sup>4)</sup>

地震によって被災した構造物の補修と補強は、一般的に緊急措置、応急復旧、本復旧の3段階で進められるのが一般的である。ここで言う、緊急措置とは、発災直後の対応であり、短時間で数多くの構造物を調査し、その結果を短時間で判断し、二次災害防止対策を行うことである。時間的な制約の中で二次災害防止対策を行うことから、平時の点検時に判断する緊急措置と同様で、使用制限(道路橋の場合の通行止め措置)を行うか行わないかの二者択一判断となる場合が多い。

被災温度	防食外観	亜鉛メッキ	調質鋼(SM570)	非調質鋼(SS400等)
1000				
900~800	塗膜の白色化 塗膜のはく離 塗膜の消失	熔融 消失	強度低下	強度若干低下
700			強度低下の開始	
600		はく離		
500	塗膜の黒色化 (炭化現象)			
400				
300				

図6 火災による被災程度判断の目安

応急復旧とは、被災地域全体の被災状況を包括的に調査し、二次災害防止対策実施の判断とともに被災した構造物に対して対策を行うことで、緊急輸送路の確保など段階的に被災構造物の機能を確保する段階である。応急復旧は、被災構造物が保有していた機能の応急的な保持と、著しい損傷の進展を抑止する対策を行うことである。本復旧は、応急復旧等によって最低限の機能確保、著しい損傷による二次災害の発生防止対策が行われ、発災時から発災直後の混乱もある程度収まった後の対策である。本復旧は、被災構造物を対象に行った詳細調査や災害復旧調査結果をもとに対象構造物の長期的な機能、性能を確保する対策を選定、実施する段階である。ここでは、震災特有の応急復旧時の補修及び補強について説明する。

#### (1) 応急復旧時の補修・補強

応急復旧時における対策は、数多くある被災した構造物の中から応急復旧優先度を決定することが必要である。応急復旧の優先度を決定する関連事項としては以下がある。

- ①対象構造物の重要度
- ②被災状況及び程度
- ③一次災害に伴う二次的影響(二次被害を含む)の生じる可能性及び程度

#### ④応急復旧に対する制約条件

ここに示す関連事項を基に応急復旧の優先順位を決定し、復旧の水準をどの段階にするかを判断して対策を行う必要がある。これは、被災時は時間や物資、人が制限される中で、二次被害を防止し本復旧に向けた正しい道筋を可能な限り早急に構築しなくてはならないためである。

##### (2) 応急復旧時の補修と補強

被災した構造物の応急復旧事例として鋼道路橋を対象として説明する。

##### ①落橋した場合の対策

落橋した場合には、落橋による通行止めの影響を考慮し、必要に応じて仮橋や応急組立橋等を使用した応急復旧を行う。

##### ②損傷の進行防止のための補修と補強

耐力の判定において、車輛を走行させるには対策が必要とされた損傷や、余震などによって二次災害の可能性が考えられる変状に対して行うものである。これには、最悪の事態である落橋を防止するための主構造の仮受け、簡易な落橋防止システム代替機能の設置、補強材の仮取付けなどを対象工法として想定するのが一般的である。

##### ③通行車輛、歩行者の安全性確保

走行性判定において通行不可または通行注意とされた場合に行う対策で、路面段差発生時の段差修正、伸縮装置等継手部開口部の覆工対策などがある。応急復旧における対策は、比較的現場合わせが容易な継手である現場溶接の採用が多くなる。しかし、緊急車両等の常時通行が想定され、振動下での溶接となる。このような状況での溶接作業は、品質を低下させる可能性が高くなるため、可能な限り振動のない状態で施工が望ましい。

以上が、供用している施設に行う、維持、補修及び補強対策の概要である。

供用している施設(構造物)の性能を確保する種々な対策を行う目的は、これまでの放置型管理や対症療法型管理から予防保全型管理へ転換するためである。しかし、供用中の施

設に対する対策選定は標準的な基準が無いことから困難を極めているのが現状である。供用している施設には、いかなる対策を行っても必要な性能を確保することが不可能な場合もあったが、近年の新材料や新工法の開発によって、これまで困難であった損傷や劣化に対し、効果のある材料や工法も開発されているので、対策選定には最新の情報によることが必要である。また、前前報で示した点検・診断技術、前報で示した劣化速度と対策時期の内容を理解し、現実が発生している変状に機能する対策を選択、設計・施工することで、予防保全型管理の目標とする寿命まで延命することが可能となるはずである。そのためには、幅広い知識と豊かな経験を持つ優れた専門技術者が必要となる。国内には、社会が期待する優れた専門技術者は、数は多くは無いが存在するはずであり、それを柱にネズミ算式に技術者育成を行うことで、時間はかかるが望ましいレベルの社会基盤施設が多くを占めるメンテナンス日本となる。今回は、優れたメンテナンス実行国との評価を世界から受け、海外に多くの技術供与が出来ることを期待して技術者育成に関して執筆し、最終回とする予定である。

#### 参考文献

- 1) 増子昇：さびのおはなし，日本規格協会，(2007)
- 2) 日本鋼構造協会：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術，(2014)
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，丸善，(2014)
- 4) 日本鋼構造協会：土木鋼構造物の点検・診断・対策技術，(2016)
- 5) プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造診断技術，(2016)
- 6) 土木学会：鋼構造シリーズ24 火災を受けた鋼橋の診断補強ガイドライン，(2015)

(2016年9月15日受付)