

鋼橋床版の劣化と保全について

～ コンクリート系床版の点検と補修・補強の留意点 ～

床版小委員会 関 政利 藤井 基史

1. はじめに

国土交通省のメンテナンス年報(2023年8月)¹⁾によると、我が国の道路橋は建設後50年以上経過したものが2022年度末時点で約37%、2032年度末時点で約61%に達する見込みである。また、橋梁の架替えに関する調査結果²⁾によると、鋼橋における架替え理由は、道路線形改良や河川改修および都市計画などによる改良工事、耐荷力不足や耐震対策、あるいは幅員狭小などを理由とする機能上の問題が半分を占めており、上部構造の損傷に起因するものは全体の24%程度(平成28年度調査結果)となる。

鋼橋上部構造の損傷に起因する架替えの主要因は二つあり、一つは鋼材の腐食、もう一つはコンクリート系床版の損傷による抜け落ちである。図-1に示すとおり平成8年度に行われた橋梁の架替え要因の調査では、床版の損傷によるものが7割弱を占めており、平成18年で3割弱、平成28年で2割弱と推移している。このことから、鋼桁の損傷・腐食と床版の劣化を適切に維持管理することにより、橋梁の長寿命化やライフサイクルコストの削減が図られると推察できる。

この現状を踏まえ、本稿では、鋼橋床版の劣化と保全をテーマとして、道路橋のコンクリート系床版の劣化や損傷要因の考察を行い、既存の橋梁に対する点検技術や、劣化損傷した橋梁に対する補修・補強工法について述べる。

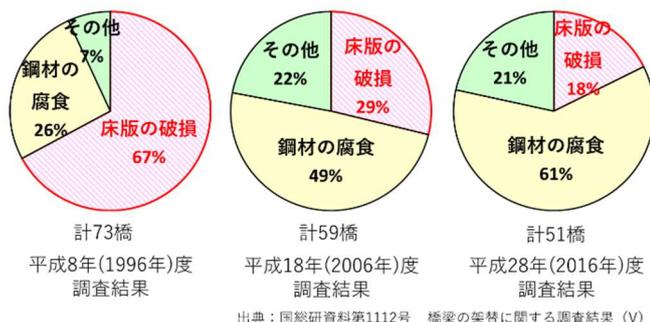


図-1 鋼橋の上部構造の損傷による架替え理由の内訳²⁾

2. 道路橋床版の損傷

2-1. 設計基準の変遷

床版の疲労損傷は、「床版の耐荷力」と「載荷される荷重」に大きな影響を受けるため、疲労損傷を理解するには、設計基準の変遷と、床版を取巻く環境の変化を知る必要がある。図-2、図-3に設計基準の変遷を示す。

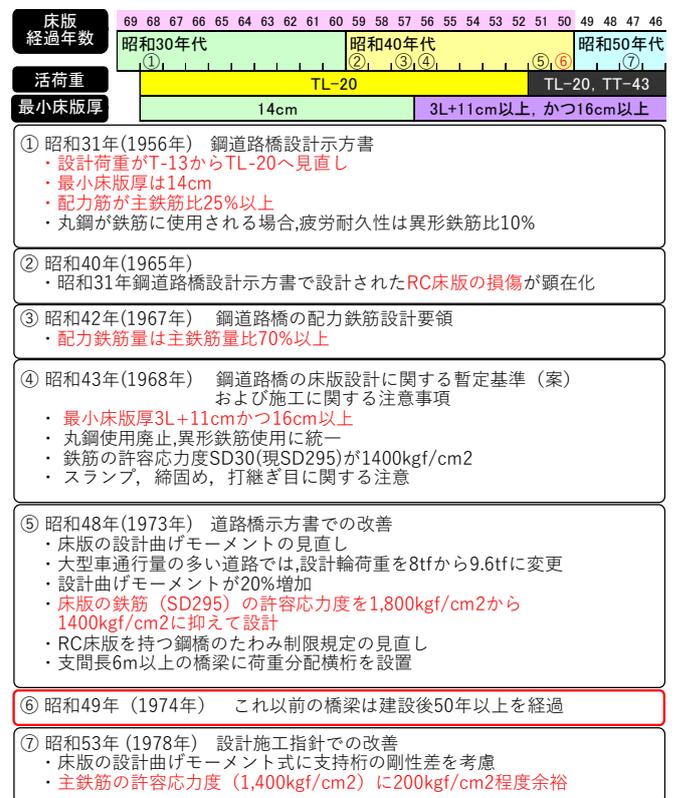


図-2 設計基準の変遷(1)

まず、旧基準による疲労耐久性の低いコンクリート系床版について図-2に示す。昭和31年の鋼道路橋設計示方書によって昭和40年代前半までに設計された床版は、現在の仕様と比較して耐荷力が低いと考えられる。活荷重は戦前の基準T-13からTL-20に改定されたものの、最小床版厚は14cmであり、配力鉄筋は主鉄筋の25%以上あればよいとされていた。また、鉄筋には、疲労強度が現在使用されている異形棒鋼の10分の1程度³⁾となる丸鋼が使用されてお

り、この時期に建設されたコンクリート系床版は疲労耐久性が低く、多くの橋梁において補修・補強対策が行われてきた。

これに対して、昭和 43 年に最小床版厚や使用する鉄筋などが見直された。また、昭和 48 年には大型車の通行量に応じた設計や鉄筋の許容応力度を低減させる設計上の見直しが行われ、それ以降は、現在とほぼ同等の耐荷力を持つ床版が建設されるようになった。



図-3 設計基準の変遷(2)

次に、雨水や塩害などの外部環境による影響の顕在化への対応が図-3に示すように始まった。平成(1989年以後)に入り、環境問題(粉塵)からスパイクタイヤが禁止となり、路面への凍結防止剤散布が広く採用されるようになった。さらに、経済性の観点から凍結防止剤として、塩化ナトリウムが使用されるようになり、沿岸地域特有の課題であった塩害が積雪寒冷地を中心に広がり始めた。

これに対応するため、平成14年の道路橋示方書において、床版と舗装の間に防水工の設置が定められた。

このように、床版の設計基準は年々大きく変化しているため、建設時に適用した設計基準が異なることで、床版が持つ耐荷力や耐久性が大きく異なることとなる。

床版の維持管理を行う際は、建設された年代と適用基準および架橋地域の環境を踏まえて点検と補修・補強を行う必要がある。その際には、補修履歴についての確認も重要となる。

2-2. 劣化・損傷メカニズム

劣化・損傷の要因としては、構造的要因と材料的要因などに分類される。

(1) 構造的要因(疲労損傷)

構造的要因には、繰り返し载荷される輪荷重による疲労損傷が挙げられる。建設当時の設計基準から自動車荷重が増加したことや、過積載車両の影響が疲労損傷の要因と考えられる。床版の構造的要因による疲労損傷メカニズムを図-4、図-5に示す。

以下のようなRC床版の疲労損傷①～⑥のメカニズムは、輪荷重走行試験によって実橋床版と同様の損傷パターンが再現されるなど、多くの試験研究により解明されている。

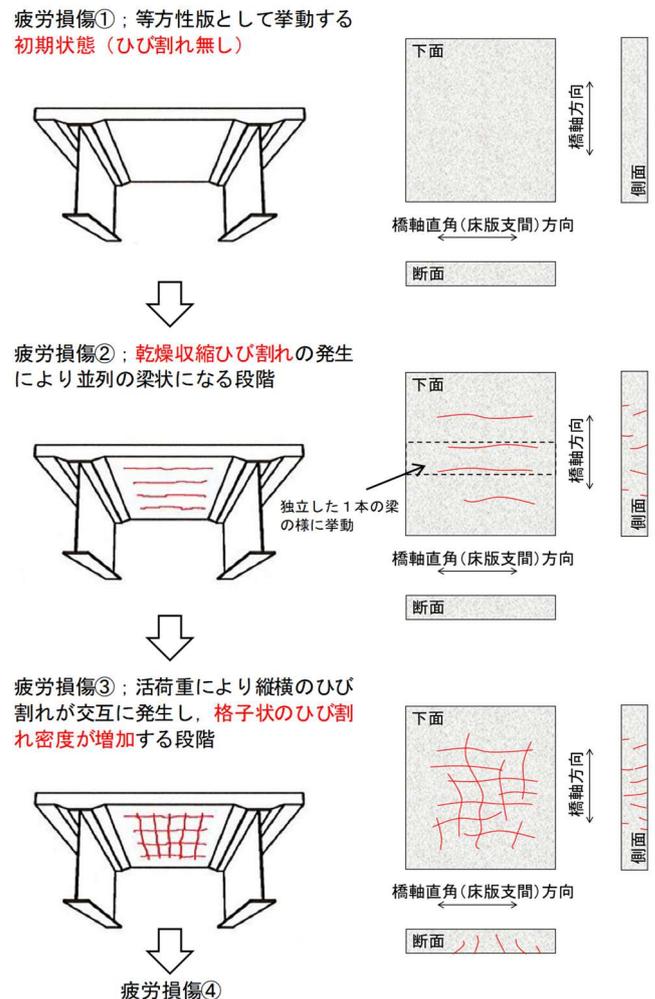


図-4 床版の疲労損傷のメカニズム(1)

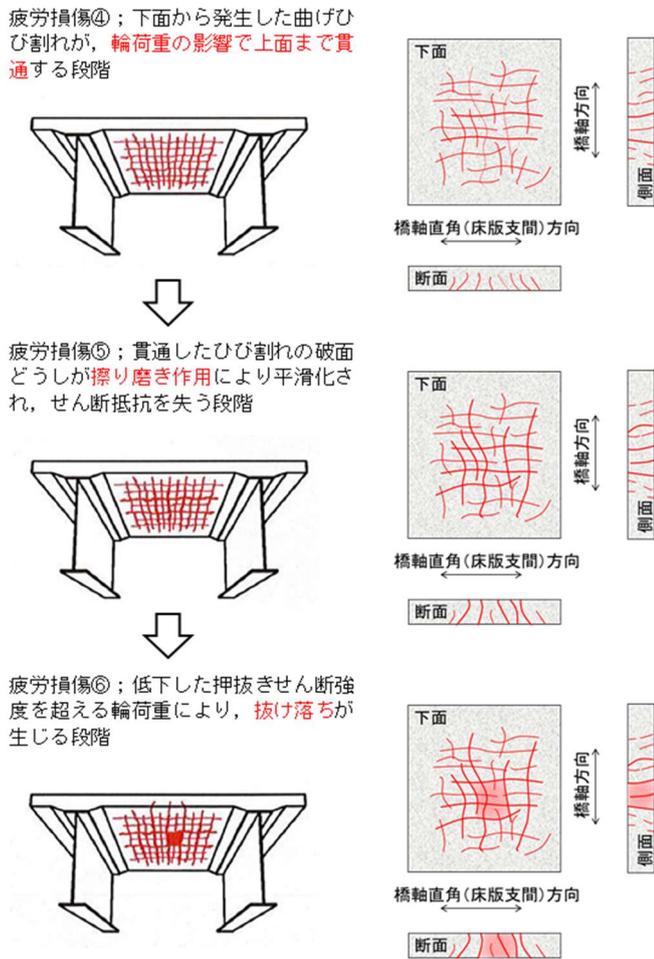


図-5 床版の疲労損傷のメカニズム(2)

疲労損傷①；ひび割れの無い初期状態で、床版は等方性版として挙動する。

疲労損傷②；初期状態からコンクリートの乾燥が進むと、コンクリートの乾燥収縮により橋軸直角方向にひび割れが発生する。等方性版として挙動した床版は、徐々にひび割れで区切られた幅を持つ梁のような挙動をするようになる。

疲労損傷③；乾燥収縮による橋軸直角方向のひび割れが生じた状態に輪荷重（活荷重）が載荷される。これにより、乾燥収縮ひび割れに交差する形でひび割れが発生して格子状になる。

疲労損傷④；疲労損傷が進むにつれ、ひび割れの密度が高くなり、格子が小さくなる。そして、床版下面から発生した曲げひび割れが、床版上面に達する。

疲労損傷⑤；ひび割れが貫通すると、破断面に存在する骨材やモルタルどうしが擦り合わされ、破断面の凹凸が少なくなる「擦り磨き」

が発生する。その結果、破断面が平滑になって凹凸による機械的な結合が無くなり、せん断抵抗を失うことになる。防水層の不備などにより、貫通したひび割れに床版上面から水分が供給された場合には、擦り磨きが加速度的に進行する。

疲労損傷⑥；せん断抵抗が低下したコンクリートに、押抜きせん断強度を超える輪荷重が載荷されると、最終的にコンクリートが抜け落ちる。

(2) 材料的要因（材料劣化）

材料的要因には、①海からの飛来塩分や凍結防止剤による塩害、②積雪寒冷地などでみられる凍結融解作用の繰り返しによる凍害、③反応性骨材に起因するアルカリシリカ反応、④二酸化炭素や酸性物質による中性化などがある。また、これらが相互に作用して劣化する複合劣化も考えられる。

塩害は、図-6に示すようにコンクリートの微細なひび割れから塩化物イオンが侵入し、不動態皮膜で保護された鉄筋の皮膜が破壊され、腐食を促進させることにより生じる。鉄筋が腐食すると、体積膨張によりコンクリートのひび割れを大きくし、浸水を伴うと劣化は加速する。

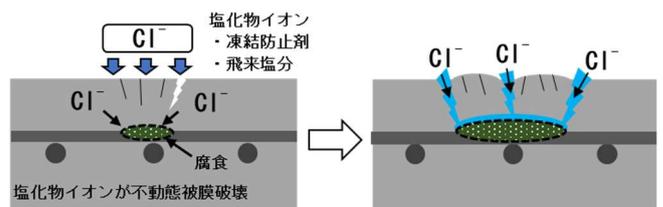


図-6 ①塩害の発生イメージ

凍害は、図-7に示すように微細なひび割れから浸入した水が、気温の変化により凍結と融解を繰り返すうちに、その体積変化からコンクリー

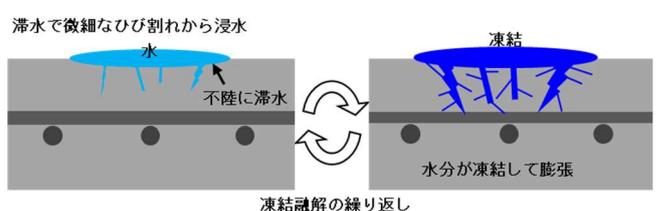


図-7 ②凍害の発生イメージ

トのひび割れを加速させることにより生じる。床版の場合、コンクリート上面の不陸部分に溜まる水などが原因となることが多い。

アルカリシリカ反応は、図-8 に示すように骨材中に酸化ケイ素が含まれている場合に生じる。この骨材を「アルカリ反応性骨材」というが、アルカリ性を示すコンクリート中の Na^+ などと反応し、ゲルとよばれる反応生成物が爆発的に吸水膨張することにより、不規則で全体にわたるひび割れが生じる。

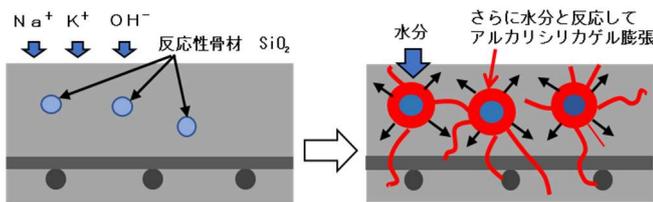


図-8 ③アルカリシリカ反応の発生イメージ

中性化は、図-9 に示すようにコンクリート中のアルカリ成分である水酸化カルシウムが、外部からの CO_2 供給により、化学反応によって炭酸カルシウムに変化することにより生じる。これにより PH が低下するが、それが鉄筋位置に達した時、鉄筋腐食が生じやすくなる。

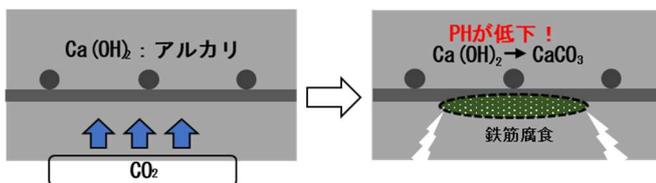


図-9 ④中性化の発生イメージ

(3) 複合劣化

地域によっては、塩害と凍害など複合的な劣化損傷が問題となることがある。自動車荷重による疲労の影響が小さいと考えられる路線であっても、疲労現象によるひび割れ進展と同様に上側鉄筋に沿うような水平ひび割れが進展する。その後は輪荷重位置の上層部分に浮きが生じて、土砂化するような過程をたどる。

また、材料的要因による複合劣化に限らず、構造的要因と材料的要因による複合劣化も考えられる。このような複合劣化の損傷メカニズ

ムの解明と対策が今後の課題となる。

(4) 浸水による影響

図-10 は、床版上面が乾燥状態と水を張った時の輪荷重走行試験結果を比較している。水を張った状態においては、乾燥状態よりも少ない走行回数で破壊に至る。図-10 の結果より、疲労寿命が 1/200 程度になると推定される。すなわち、床版の損傷において、水の影響が極めて大きいことを表している。これを踏まえ、床版防水の大切さを理解する必要があるとともに、施工時管理不足による漏水などに留意する必要がある。

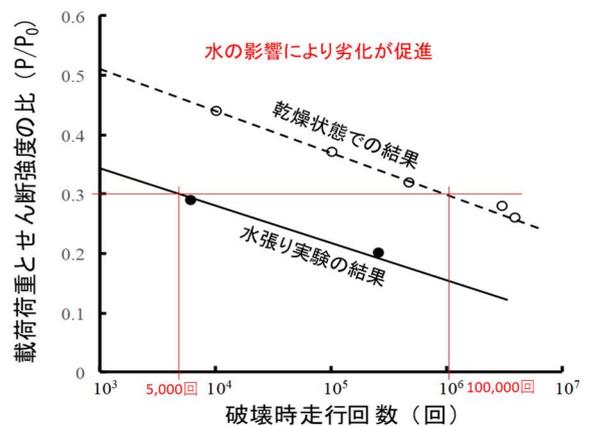


図-10 床版の疲労強度と水の影響³⁾

3. 点検技術

3-1. 詳細点検の種類

橋梁の維持管理は、図-11 に示すメンテナンスマネジメントフローに沿って行われる。

全体の流れとして、①日常的な点検業務で行われる「日常点検」、②5年に1度の頻度で行われる「定期点検」、③定期点検で異常が確認された場合の「詳細調査」がある。

どの段階にあっても記録を必ず残し、蓄積されたデータベースを参照した点検を行うことが重要となる。さらに、対策区分の判定により緊急対応や追跡調査等の対策を講じる。将来の維持管理や実施計画を策定する際の参考として、損傷程度の評価と外観性状の記録を残すことも必要となる。

なお、本稿においては、「橋梁定期点検要領（平成 31 年 3 月）国土交通省」を引用している。一方、令和 6 年 3 月に「道路橋定期点検要

領（技術的助言の解説・運用標準）国土交通省」，令和6年4月に「点検支援技術性能カタログ 国土交通省」が更新されたことから，今後の定期点検のあり方や最新技術に関する情報を確認して点検業務を行う必要がある。

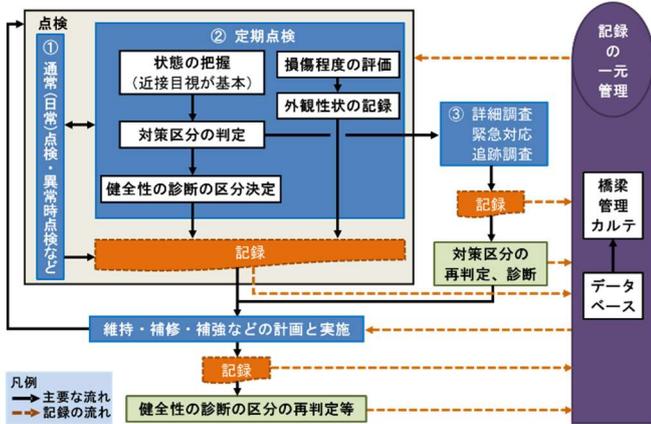
調査項目	主な検査法
剥離・鉄筋露出	目視，点検ハンマー（写真撮影，打音検査）
漏水・遊離石灰	目視
抜け落ち	目視
床版ひびわれ	目視・クラックスケール（写真撮影）
うき	目視，点検ハンマー（打音検査，赤外線調査）

定期点検では，全ての部材に近接して部材の状態を把握することが基本となる

図-12 床版の損傷と標準的な点検方法

手法も取り入れるとよい。

床版の点検のポイントは図-13に示すとおりである。床版上面は，路面の凹凸やひび割れ，伸縮装置の異常や排水桝の異常などが挙げられる。一方，床版下面は，輪荷重走行位置や張り出し部などの水みちとなりやすい箇所です，コンクリートの変状を見逃さないことが重要である。床版上面および下面の変状の関係が状態の把握に役立つ。



「橋梁定期点検要領（平成31年3月）国土交通省」を引用

図-11 メンテナンスマネジメントフロー

(1) 日常点検

日常点検は，点検の第一段階として，日常的に行う目視を主体とした点検である。ここでは，橋梁全体の確認が行われる。

路面の点検では，舗装や地覆の変状を検出することが重要である。床版の劣化・損傷は，コンクリート内部への水の浸入がその起点となるため，伸縮継手，排水桝などの近傍での異常な滞水を見逃さないことも重要となる。

(2) 定期点検

定期点検は，日常点検と異なり「近接目視」が基本となる。橋梁に設置された点検通路や橋台や橋脚上，必要に応じて高所作業車や橋梁点検車を用いて点検が行われる。

点検実施前には，点検項目，点検方法，点検体制，安全対策などを反映した実施計画の下に行う必要がある。路面からの点検に加えて，構造物に近接して点検を行う必要がある。定期点検の主要な着目点は，顕在化が予想される変状を確認することである。

定期点検要領で示される，床版の損傷の種類と対応する標準的な点検手法について述べる。点検方法は，概ね目視とされているが，調査項目に応じて図-12に示す計測機器を用いた点検

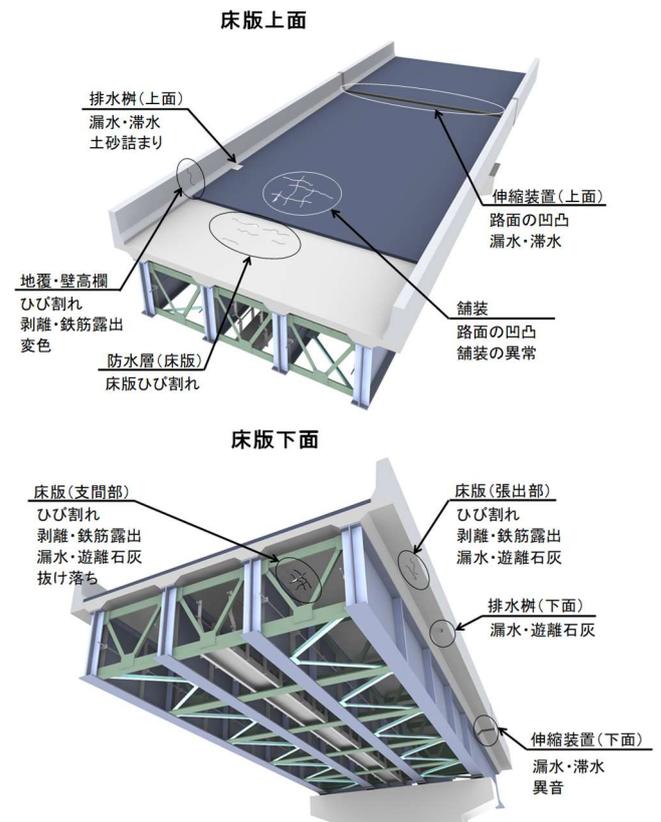


図-13 床版の点検のポイント

(3) 詳細調査

詳細調査は，定期点検にて損傷が発見され，補修等の必要性を判定する際に，原因の特定が必要な場合に行われる。また，変状発見により，

床版の非破壊検査，たわみ計測が必要となる場合もある。床版の調査項目に対して適用できる，主な非破壊検査方法を図-14に示す。

詳細調査では，「非破壊検査」が主体となるが，必要に応じてたわみ計測を実施する。詳細調査では，日常点検，定期点検におけるデータベースからのフィードバックも重要となる。

調査項目	主な検査法
床版の空洞・浮き	打音法、超音波法、赤外線法
ひび割れ発生状況	外観目視・写真画像法
ひび割れ幅	ルーペ・クラックスケール
鉄筋の位置やかぶり	電磁波レーダー法
鋼板の腐食(合成床版)	超音波板厚計
塗装膜厚(合成床版)	膜厚計
床版のたわみ	直接載荷試験、衝撃加振試験(FWD)

図-14 床版の詳細調査方法

3-2. 詳細調査の手法

(1) 外観調査

詳細調査においても，まずは外観調査を行う。以下，外観調査における検査方法を示す。

① ひび割れのトレース

ひび割れのトレースは，定期点検にて詳細調査の必要性を判定された範囲について行われる。具体的には，橋梁点検車などで近接目視にてひび割れ損傷箇所のトレースをした後，机上で損傷状況の判定を行う一般的な方法である。

② デジタル画像を利用した外観調査

この方法は，写真-1に示すように画像処理でひび割れを検出しやすく，記録性にも優れる方法である。望遠レンズを使用することで，離れた場所からの外観調査が可能となる。

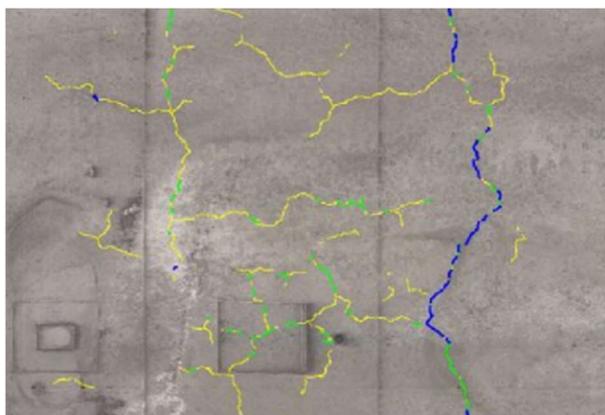


写真-1 画像処理によるひび割れのトレース

これにより，コンクリート表面のエフロレッセンスや剥落の確認のほか，ひび割れを強調することも可能である。

③ たたき検査

たたき検査は，床版下面を点検ハンマでたたいた音で確認する方法である。空隙がある場合は，低い音が確認できる。剥離の発生がある場合は，打診棒で確認することができる。

床版下面の点検範囲が広い場合は，点検ハンマでは労力を要するため，最近では写真-2に示すドローンを使用した点検装置も開発されている。

なお，たたき検査において剥離が確認された場合は，第三者被害を防止するために，事前に点検ハンマなどで除去しておく必要がある。



写真-2 ドローンを利用した点検

(2) 非破壊検査法

1) 弾性波法

弾性波法は，図-15のように対象物の表面で人工的に弾性波を発生させ，受信子に到達した波形を解析することで，内部欠陥の位置や種類を推定する方法である。調査員が行う検査法と比較して，判定の個人差を小さくできる。

弾性波法には，使用する弾性波の周波数により超音波法，AE法，衝撃弾性波法，打音法があるが，本稿ではコンクリート床版に多く用いられる「打音法（20kHz以下の可聴域）」と「超音波法（20kHz以上）」を紹介する。これらの技術は，鋼コンクリート合成床版（以下，合成床版）にも適用が可能であり，鋼板接着補強への適用も検討できる技術である。



図-15 弾性波法の例（写真は合成床版で実施）

① 弾性波法（打音法）

打音法は、合成床版の底鋼板とコンクリートの剥離について、写真-3 に示す検知装置を用いて検査する方法である。検査は、インパルスハンマで打撃した時に生じる打撃音をマイクで収録し、その周波数分布により欠陥の有無を検知する。波形により剥離や滞水の有無などについて判断できる。



写真-3 打音法（検査装置）

② 弾性波法（超音波法）

超音波法は、ひび割れ深さや床版厚の計測が

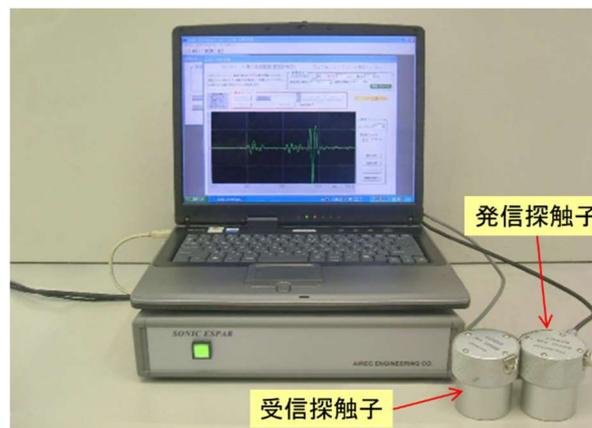


写真-4 超音波法（検査装置）

可能である。写真-4 に超音波法による検査装置を示す。

2) 電磁波レーダー法

電磁波レーダー法は、コンクリート内部の異物（鉄筋、空隙等）に反射した電磁波を受信することで反射物までの距離を算出し、内部状況を調査する方法である。この検査方法は、電磁波が鋼材に反射するため、合成床版には適用できないことに留意する。写真-5 に電磁波レーダーによる検査装置と検査事例を示す。

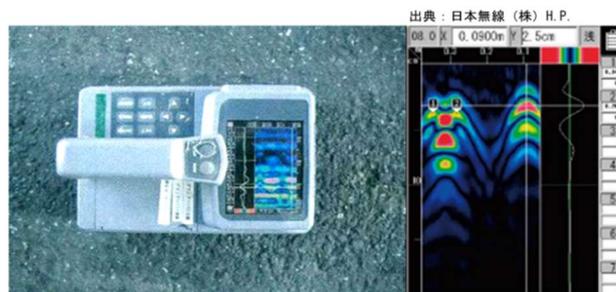


写真-5 電磁波レーダー

3) 電磁波レーダー法（車載型）

車載型電磁波レーダー法は、図-16 に示すように、車両に搭載したラインカメラで路面画像を撮影することによって、路面のひび割れ情報を取得し、車両後方の電磁波レーダーによって路面下の損傷箇所を特定する方法である。路面画像と電磁波レーダーの測定結果を合成し、視覚的に異常が生じている箇所を見つけるシステムである。舗装を剥がすことなく、床版内部劣化を可視化することができ、床版上面の土砂化を検出するために有用である。



図-16 車載型点検装置

4) 赤外線法

赤外線法は、物体表面から放射される赤外線を走査し、得られた熱分布を映像として出力する検知方法である。コンクリートに剥離や豆板、空洞などの欠陥がある場合、熱的特性が健全部と異なるため、表面温度の差となって表れる。

図-17 に赤外線法による計測状況を示す。図-17 からわかるように、温度が高い範囲（点線枠部）が浮きと判断している個所である。

この点検方法は、ある程度離れた場所からの測定が可能で調査の省力化が期待できる。一方で、内部欠陥の検出は表面から5cm程度までが適用範囲であり、主にコンクリートかぶり部分

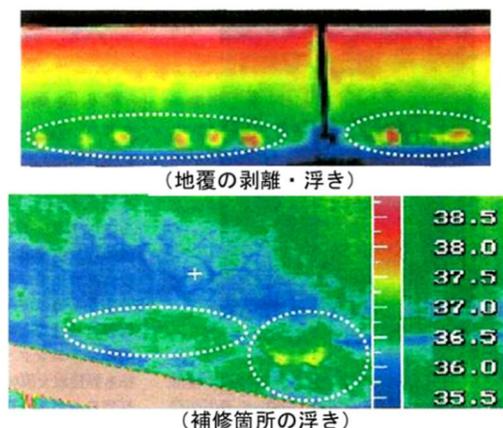


図-17 赤外線法サーモグラフィー

の異常を検出するのに用いる。また、結果が測定時の気象条件に左右されることに留意する。

3-3. 床版たわみ計測

(1) たわみ変化の概念

図-18 の横軸に床版の供用期間と、縦軸に劣化に伴うたわみ値の概念図を示す。図からわかるように、輪荷重走行試験による床版別のたわみ性状から損傷度を表している。図-18③~④に示すように、二方向ひび割れが発生した状態において、急激に性能が低下するのがわかる。

さらに、RC床版と比べて、PC床版や合成床版は疲労耐久性が高くなることを示している。いずれの床版も、剛性が低下しはじめ、たわみが増加しはじめると、その後の損傷の進行は早くなる。

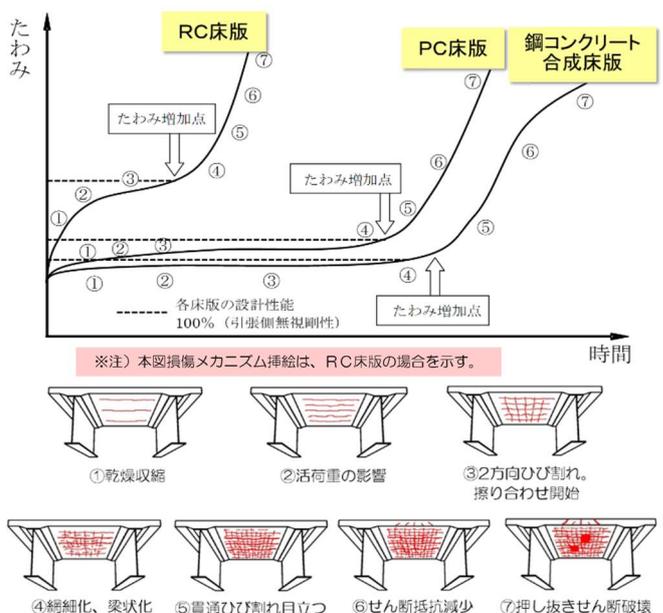


図-18 供用期間と劣化に伴うたわみ値の概念図

次に、図-19 に床版たわみの定量的な指標として、輪荷重走行試験で得られた合成床版のたわみ変化の概念図を示す。これは当協会の「鋼コンクリート合成床版 維持管理の計画資料」(2021年1月)に記載のものであり、合成床版に生じる変状は、床版のたわみによる定量的な評価が可能である。床版支間 $L=6m$ に対して、引張側のコンクリートを無視した断面性能が確保された状態でのたわみは $L/2,000$ 、水平ひび割れが生じて二層化した場合の断面性能によ

るたわみはL/1,000程度である。このことから、たわみ計測と図-19に示す概念によって評価が可能であるとしている。

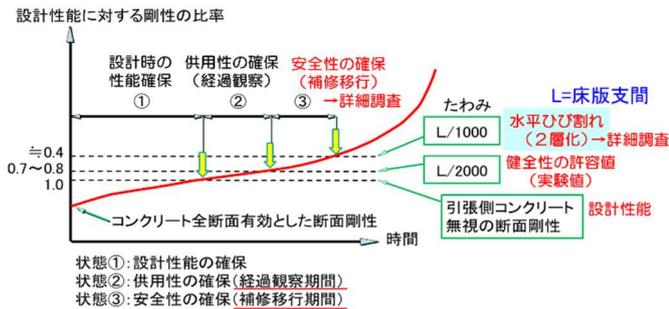


図-19 合成床版のたわみ変化の概念図 (床版支間(L)=6m)

(2) 静的載荷試験による計測

静的載荷試験は、床版全体の耐力を、床版にたわみを生じさせて計測する方法である。具体的には、クレーンやダンプトラックなどの静的荷重を載荷し、たわみを計測する。

(3) 衝撃加振による計測

衝撃加振による計測は、路面に錘を落としたときに舗装表面に生じるたわみ量を図-20に示す装置(FWD:フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ)にて複数点で同時に測定する方法である。一箇所ごとに2~3分と短時間でできる装置である。衝撃加振による計測は、載荷と計測のシステム一式が車両などに搭載されており、特別な試験準備が不要となる利点がある。

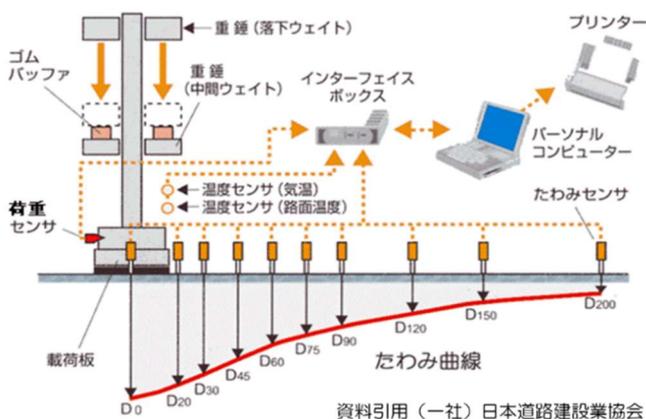


図-20 FWD(フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ)

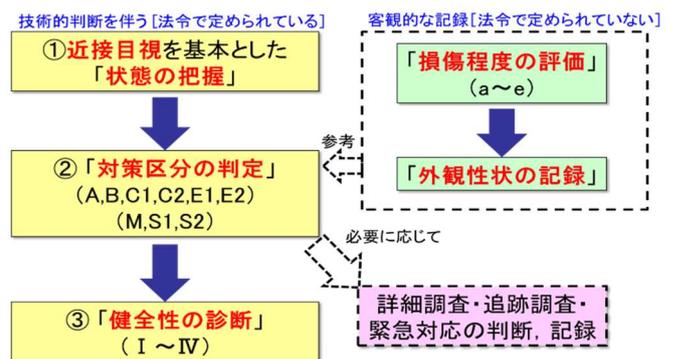
4. 点検結果の評価手法

4-1. 健全性診断の流れ(定期点検)

健全性の流れを図-21に示す。図-21の左側①~③は法令に基づく技術的判断を伴う作業の流れ、右側の点線枠内の記述はその流れを補足するために行う客観的な記録に関する事項である。

具体的には、図-21の左側①は、すべての部材等への近接目視を基本とした「状態の把握」を行うことを示し、②は「対策区分の判定」を行うことを示す。その際、図-21右側の点線枠内の「損傷程度の評価」「外観性状の記録」を参考にする必要がある。この対策区分の判定では、詳細調査の要否や、経過観察等の判断を行う。このとき、損傷の要因を分析し、その損傷が今後どのように進捗するかも合わせて検討を行う。③は「対策区分の判定」をもとにその損傷の「健全性の診断」を行うことを示している。定期点検要領では、損傷程度や対策区分、健全性の診断は、判定基準により評価される。

なお、令和6年改定の「道路橋定期点検要領」では、③健全性の診断を行うために、構造区分ごとの判定と損傷状態の見立てを行う要領も追加となっていることに留意する。



「橋梁定期点検要領(平成31年3月)国土交通省」を引用

図-21 健全性診断の流れ(定期点検)

4-2. 各判定段階の評価手法について

各段階の評価方法について、次の(1)~(5)に詳細を述べる。

(1) 状態の把握

状態の把握は、すべての部材等に近接して、必要に応じて触診や非破壊検査結果などを用

いて状態を把握することである。剥離などによって第三者被害が想定される場合は、応急的措置を行った上で、対策区分の判定などを行う。

(2) 損傷程度の評価

損傷程度の評価は、効率的な維持管理をする上で必要な情報を詳細に把握して、定性的な a～e の評価基準を用いて評価する。a～e の評価要領については、「橋梁定期点検要領（平成 31 年 3 月）付録-2」を参照する。

(3) 外観性状の記録

外観性状の記録は、再現性が重要であるため、状態の変化を正確に把握できるような損傷図を作成する必要がある。

(4) 対策区分の判定

対策区分の判定は、A～M の判定段階がある。緊急性を要する判定は、E1, E2 となる。この判定に合わせて、詳細調査 (S1, S2) の必要性についても判定を行う。対策区分の判定区分については、「橋梁定期点検要領（平成 31 年 3 月）」を参照する。

なお、対策区分を判定する場合は、損傷原因を推定し、その損傷が今後どのように進展するかを見極めて判定する必要がある。

(5) 健全性の診断

健全性の診断は I～IV の判定区分で示され、それぞれ「健全」、「予防のための保全」、「早期に処置を要する」、「緊急的に処置を要する」の区分となる。過去の点検記録も参照し、損傷の進行度合いについて現状と今後を想定したうえで判断する。

4-3. 定期点検の結果と現状

定期点検結果について、2019 年度～2022 年度に実施した点検より、判定区分 IV とされた橋梁の措置の現状を図-22 に示す。図からわかるように「撤去・廃止または撤去・廃止済等」とされる橋梁は、2019 年度では 31% (255 橋) であったが、2022 年度には 40% (454 橋) と増加している。判定区分 IV とされる橋梁も年々増加している。

一方、緊急措置が必要であると判定されたにもかかわらず、対応が未定の橋梁は 2022 年度に

おいて 12% (133 橋) にもおよぶ。判定区分 IV まで進むと補修できないケースもあるため、早期の予防保全が大切となる。

判定区分 IV の橋梁の措置状況 (完了済・予定のものを含む)

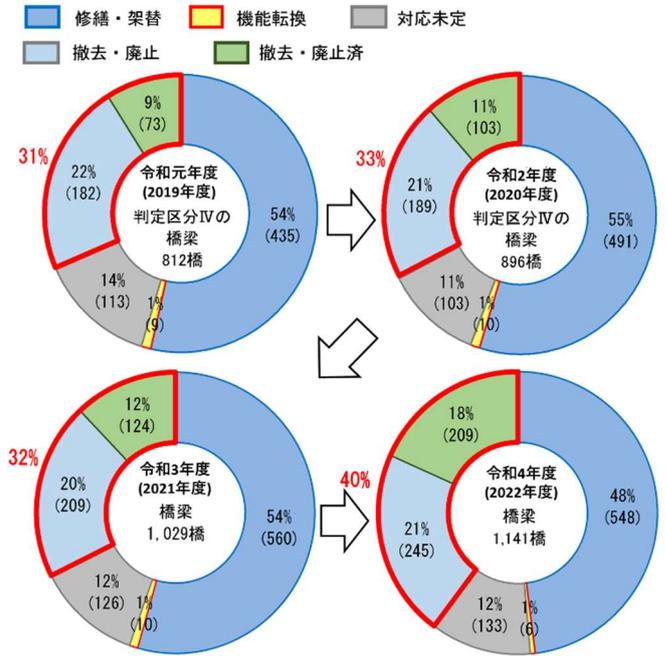


図-22 判定区分 IV の橋梁の措置状況 ^{1), 4)}

5. 補修・補強

コンクリート床版の補修・補強および取替えについては図-23 に示すような工法がある。これらの工法は、劣化の状態や原因、補修・補強の施工条件や目的に応じて、単独で行う場合や組み合わせて施工することも考えられる。

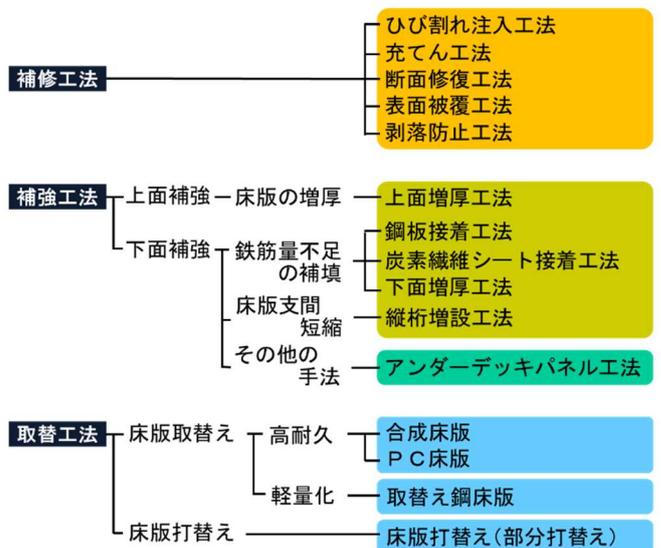


図-23 床版保全の工法の種類

5-1. 補修工法

床版の代表的な補修工法として、図-23 に示す、(1)表面被覆工法、(2)ひび割れ注入工法、(3)充てん工法・断面修復工法について述べる。

(1) 表面被覆工法

表面被覆工法は、損傷程度が軽度となるひび割れ幅が 0.2mm 以下の場合、ひび割れの表面を被覆して浸水を防ぐ工法である。

図-24 に示すように、①パテ状のエポキシ樹脂を被覆する工法、②ひび割れの変動が懸念される場合に可とう性のエポキシ樹脂を用いる工法、③含浸材によりひび割れに浸透し、空隙を充てんする工法などがある。

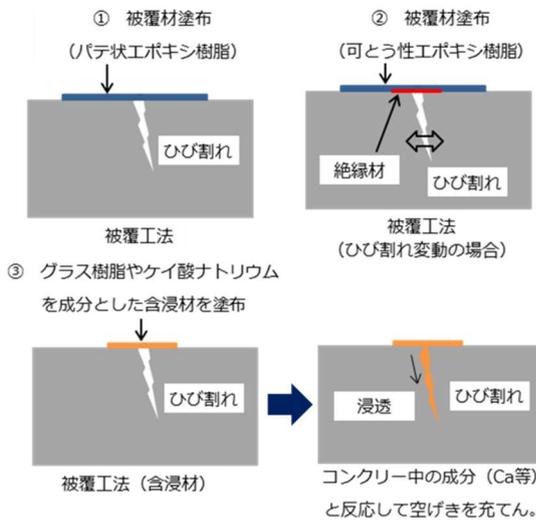


図-24 表面被覆工法

(2) ひび割れ注入工法

ひび割れ注入工法は、図-25 に示すように、ひび割れ幅が 0.2mm を超えるひび割れの中に、ポリマーセメントや樹脂を注入機材の加圧により物理的に直接注入する工法である。

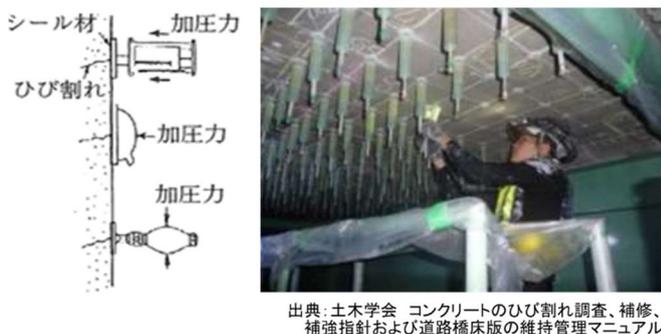
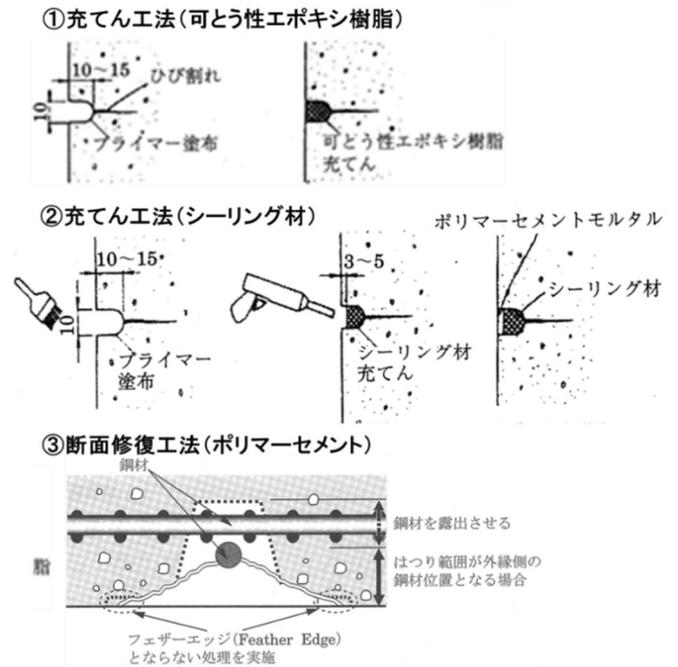


図-25 ひび割れ注入工法

(3) 充てん工法・断面修復工法

充てん工法や断面修復工法は、ひび割れ幅が 1.0mm 以上の深刻な場合に適用する、図-26 に示す工法である。

充てん工法は、①や②のように表面のコンクリートをカットし、ポリマーセメントなどを充てんする。その際、損傷が鉄筋にまで至っている場合は、③のように損傷部分のすべてをはずりだして断面修復工法を適用する。



出典:土木学会 コンクリートのひび割れ調査、補修、補強指針
図-26 充てん工法・断面修復工法

5-2. 補強工法

補強工法には、(1)鋼板接着工法、(2)炭素繊維シート接着工法、(3)縦桁増設工法、(4)アンダーデッキパネル工法などがある。床版の設計で定める断面性能が損なわれている損傷箇所に対して、性能を向上させる工法である。これらを適用する際、既設床版に損傷が確認される場合は、事前にコンクリートの補修を適切に行う必要がある。

(1) 鋼板接着工法

鋼板接着工法は、床版が劣化により版としての性能が保てなくなった場合、図-27 に示すように、床版の引張作用面に補強鋼板を取り付けて補強を行う工法である。

鋼板により鉄筋量を補い、曲げ耐力を向上させる方法であり、鋼板はコンクリートにアンカ

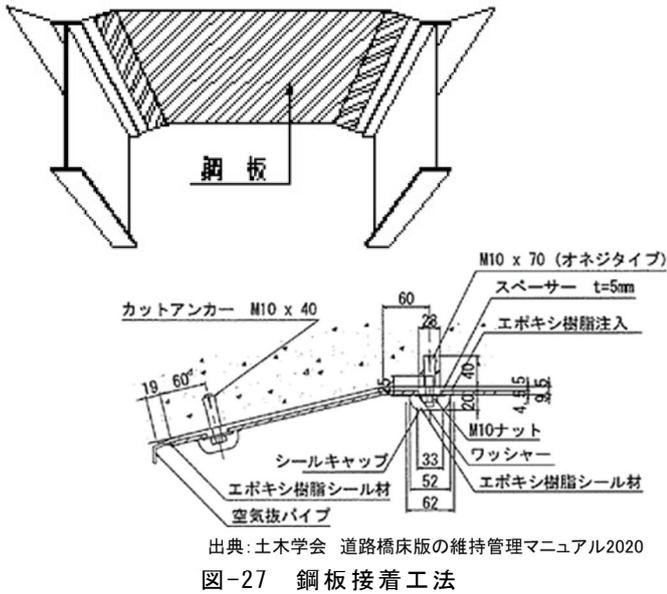


図-27 鋼板接着工法

一を用いて固定し、鋼板とコンクリートの隙間にエポキシ樹脂を充てんする必要がある。

(2) 炭素繊維シート接着工法

炭素繊維シート接着工法は、(1)鋼板接着工法と同じ原理による補強であるが、図-28 に示すように、鋼板に替えて炭素繊維シートを用いる工法である。炭素繊維シートを、何層も重ね貼りし、コンクリートと一体化させる必要がある。

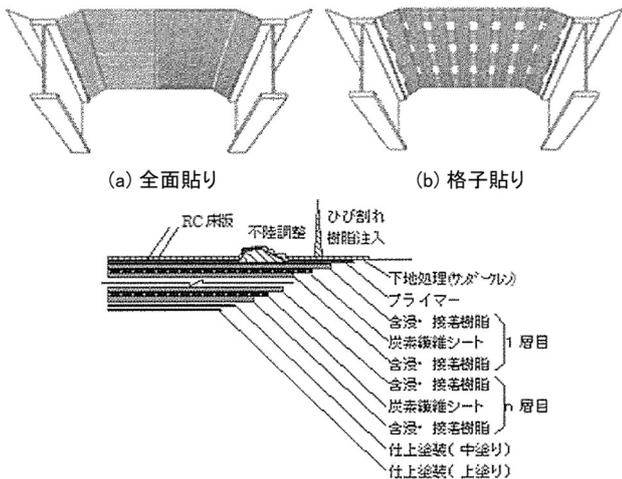


図-28 炭素繊維接着工法

(3) 縦桁増設工法

縦桁増設工法は、鉄筋量や床版の曲げ耐力不足を補うため、床版を支持する既設主桁や縦桁の間に新たな鋼縦桁を増設する工法である。床版支間を短くすることにより、床版に作用する

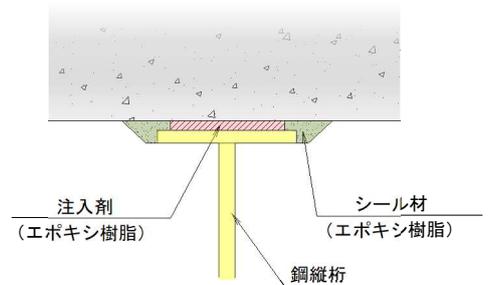


図-29 増設縦桁工法

曲げモーメントを減少できる。図-29 に示すように、既設床版と増設した鋼縦桁の間は、注入材により間詰めを行うことに留意する。

(4) アンダーデッキパネル工法

アンダーデッキパネル工法は、図-30 に示すように、床版下面に剛性の高い部材を設置し、床版の変形を抑えることで、床版の疲労損傷を抑制する工法である。ひび割れが床版上面まで貫通した床版に対しても、交通規制を伴わずに補強が可能である。

近年では、主部材にFRPを使用することで、部材を人力で運搬できるほどに軽量化した工法が開発されている。これにより、交通規制による渋滞が回避されるのに加え、施工時の重機使用頻度の面においてもCO₂排出量削減効果が期待される。

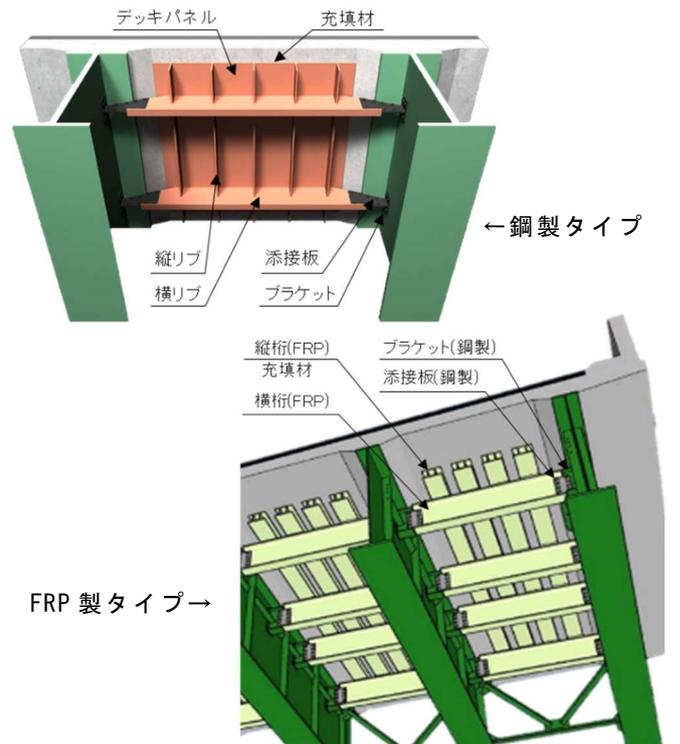


図-30 アンダーデッキパネル工法

5-3. 床版取替え・床版打替え

床版取替え・床版打替えについて述べる。ここでは、(1)床版取替え、(2)床版の部分打替え、(3)幅員分割施工について述べるが、その他としては、幅員をひろげるための「床版拡幅」もある。

(1) 床版取替え

床版取替えとして、供用開始から50年程度経過した高速道路の床版取替え工事(RC床版からプレキャストPC床版に取替えた事例)を写真-6に示す。住宅や隣接橋梁など周辺環境を考慮してプレキャスト床版架設機を用いた事例である。

床版の取替え・拡幅の検討事項として、①床版取替えに伴う鋼桁の補強の要否、②合成桁の床版撤去時の鋼桁全体の変形、③複雑なたわみ性状を有する橋梁の床版取替え手順、④増し桁を伴う床版の拡幅手順、⑤幅員分割施工を伴う床版取替え・拡幅の手順、⑥床版撤去時の安全対策などがあり、これらは鋼橋の床版取替え工事に特有のものといえる。床版の取替えは、施工時の桁の横倒れ座屈、新床版の重量増、適用基準による設計活荷重の見直しなどの理由により鋼桁の補強が必要となる場合が多い。また、床版取替え工事においては、施工時の安定性確保に留意する必要がある。この点を踏まえて、ここでは、②合成桁の床版取替えと(死活荷重合成桁の事例)、⑥床版撤去時の留意事項(アーチ橋の事例)について述べる。



写真-6 床版取替え

1) 合成桁の床版取替え時の鋼桁の安定性確保
合成桁の床版取替え時は、図-31に示すように、死活荷重合成桁は鋼桁だけでは床版撤去時に不安定な構造となるため、床版撤去・取替え施工時の桁の耐荷力、安定性に注意を要する。

対処方法には、ベントでの桁中間支間部を仮支持する工法や外ケーブルにより鋼桁の断面力を調整して床版施工中の安定性を確保するなどの工法が用いられている。また、実際の施工ステップを踏まえるなど、現場の施工条件により、安定性確保の方法が異なる場合がある。

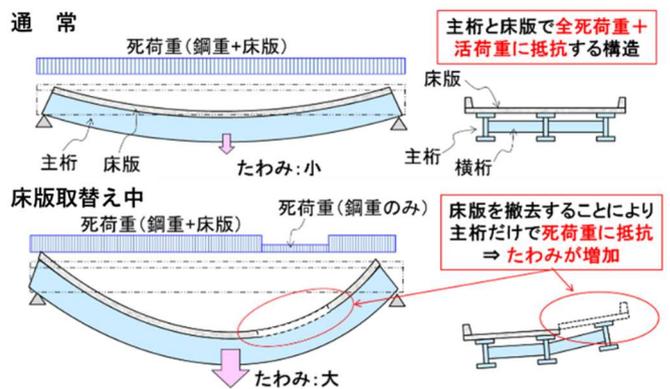
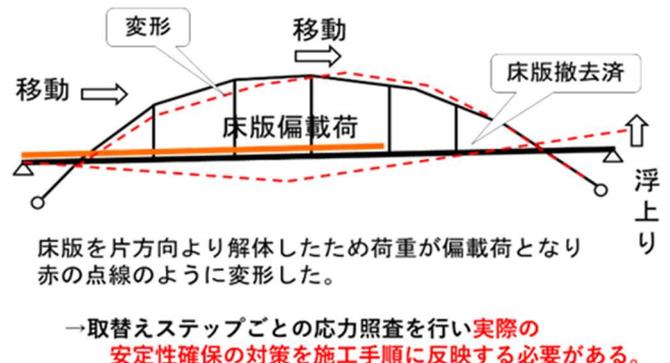


図-31 合成桁の床版取替え（鋼桁全体の変形）

2) アーチ橋床版撤去時の鋼桁の安定性確保

アーチ系橋梁の場合、鋼桁のたわみ性状が複雑なため、図-32に示すように、既設床版撤去の際、片方向より床版を撤去していくと、床版重量の偏りにより構造全体が不安定となることがある。このような場合、取替えステップにおける鋼桁の状態を事前に検討し、安定性確保の対策を施工手順に反映する必要がある。



→取替えステップごとの応力照査を行い**実際の安定性確保の対策を施工手順に反映する必要がある。**

図-32 複雑なたわみ性状を有する橋梁の床版取替え

(2) 床版の部分打替え

床版の部分打替えは、図-33 に示すように床版の損傷の範囲が小さく、コンクリートを局部的に打替える工法である。この際、合成床版では、片側交互通行しながら仮設の支持材を設置せずに補修が可能と考えられる。パネル単位での比較的大きな打替え補修においても、仮設縦桁やブラケット設置により、片側交互通行を確保して補修が可能である。

仮設支持材の設計・施工は、鋼橋では比較的容易にできるが、予め検討しておき、縦桁支持点の横桁に補強リブを溶接しておくなどの対処も考えられる。

片側交互通行を確保して、鋼コンクリート合成床版3パネルの半幅員部の打替え施工

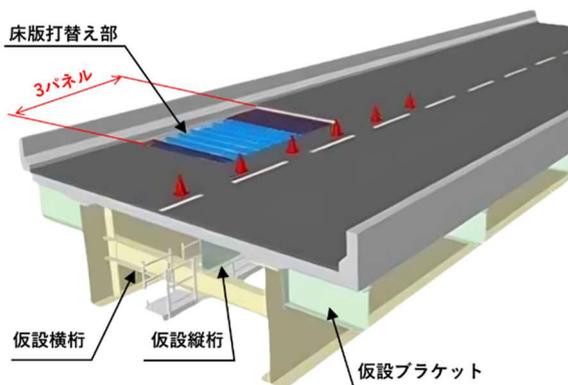


図-33 床版の部分打替え（合成床版の例）

(3) 幅員分割施工について

幅員分割施工は、交通供用下における施工となるため、活荷重による桁相互のたわみ差の影響や、車両の振動が硬化中のコンクリートへ与える影響を最小限に抑えながら施工を行う必要がある。

図-34 に示すように、一次施工部分と二次施工部分の連結部は、出来形誤差を最小とする床版打込みや横桁連結ステップを計画し、施工においても、その誤差を最小化することが重要である。また、連結部コンクリート打込みの際は、振動の影響によって床版コンクリートにひび割れが生じない対策として、一時的な交通止めや速度規制などを行い、必要に応じて超速硬コンクリートを使用するなどの配慮が必要である。

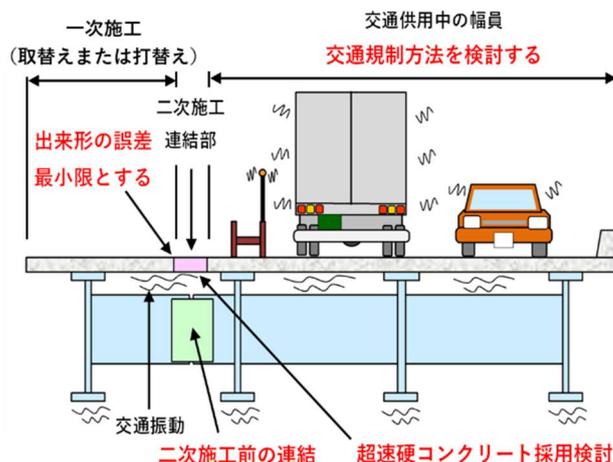


図-34 幅員分割施工における計画と施工

6. おわりに

床版の点検においては、まず机上において床版の設計基準の変遷を事前に把握しておくことが極めて重要である。また、現地調査においては、損傷メカニズムや損傷段階、地域の気候特性や交通状況なども理解したうえで、変状などを記録として残す必要がある。

床版の劣化は、雨水の影響が大きいことから、床版防水の実施状況の確認だけでなく、日常点検において、伸縮装置や排水柵周辺などの滞水しやすい箇所における異常を見逃さないことが重要である。また、定期点検においては、それらの情報も参考に適切な判定を行うことに留意する必要がある。

床版に劣化損傷が見られる場合は、早期に補修を行う必要があり、補修を怠るとライフサイクルコストの悪化につながる。その際は、様々な調査手法、補修工法、補強工法を用いることで、適切な維持管理を行うことができる。

今後も、日本橋梁建設協会では、床版劣化要因に関する未解明な部分を明らかにする研究を行うとともに、床版に関する調査・点検技術ならびに補修・補強工法の開発を進める所存である。

[参考文献]

- 1) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，p. 40, p. 60, 2023. 8
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：橋梁の架替に関する調査結果（V），国総研資料

第 1112 号, pp. I -6~ I -23

- 3) 赤代恵司 他：丸鋼鉄筋を用いた RC 床版の疲労特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, pp. 1297~1304, 2011
- 4) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, pp. 627~632, 1987
- 5) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報, p. 49, 2021. 8