

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 前川 勉 藤井 基史

1. はじめに

我が国では、高齢化した道路橋の割合が時代を追うごとに増加している。図-1 は、2024 年までに建設され、年代が判明している道路橋の橋梁数について、施設の管理者グループに分けて、年代別にあらわす¹⁾とともに、その年以前の累計橋梁数をあらわしている。左側の縦軸は管理者グループごとの橋梁数に対応し、右側の縦軸は橋梁数の累計値に対応している。建設後 50 年以上経過した道路橋の橋梁数は、2025 年度末時点で約 42%，2035 年度末時点で約 65% に達する¹⁾。

他方、橋梁の架替にかかわる調査結果によると、鋼橋の架替理由は、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%²⁾程度である。

鋼橋の上部構造の損傷に起因する架替の主要因は、鋼材の腐食とコンクリート系床版の破損による抜け落ちである。図-2 は、損傷に起因する架替要因の変遷をあらわしている。平成 8 年度に行われた調査では、床版の破損による要因が 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²⁾。したが

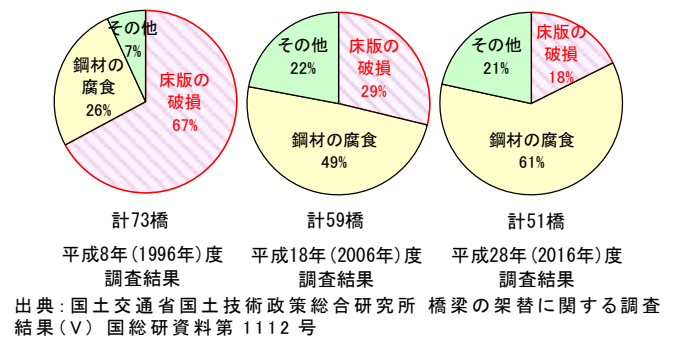


図-2 鋼橋の上部構造の損傷による架替理由の内訳²⁾

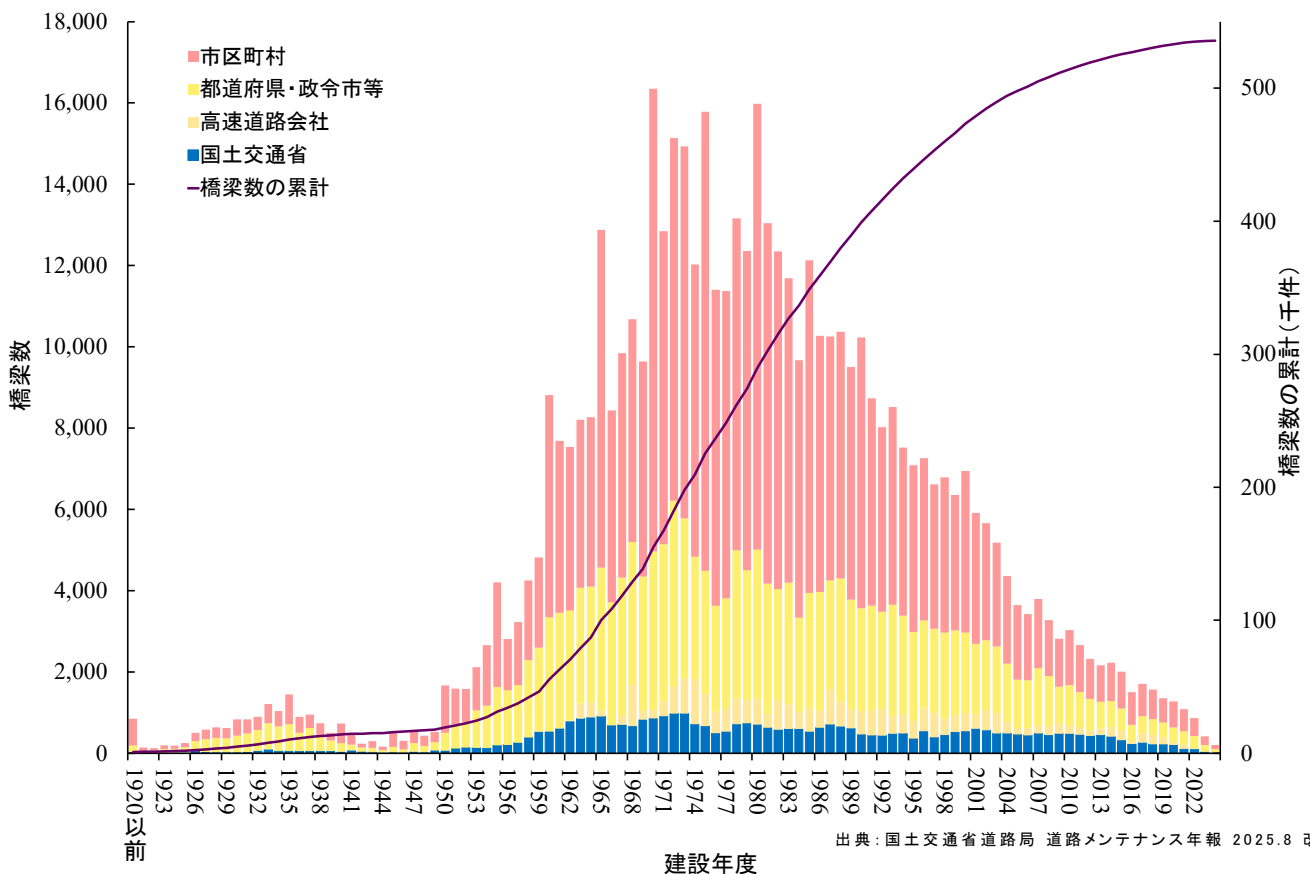


図-1 道路橋の建設年度別橋梁数と累計橋梁数¹⁾

って、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で、橋梁の長寿命化やライフサイクルコストの削減が実現されると期待できる。

本稿では、こうした現状を踏まえ、鋼橋床版の劣化と保全について、道路橋のコンクリート系床版の劣化、損傷要因を考察し、既存の橋梁に対する点検技術、道路橋の定期点検の要点および劣化、損傷した橋梁に対する補修・補強工法について示す。

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。疲労損傷を理解するためには、設計基準の変遷と、床版を取巻く環境の変化を知ることが必要である。図-3 および図-4 は、設計基準の変遷に加え、外部環境の変化、環境への対応などを整理してあらわしている。

昭和31年の鋼道路橋設計示方書に準拠して、昭和40年代前半までに設計された床版は、平

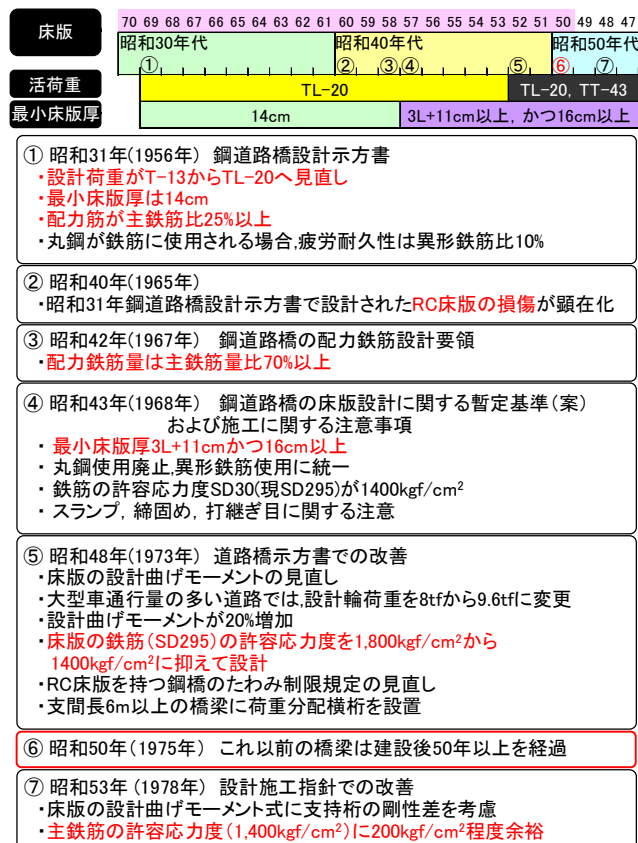


図-3 設計基準の変遷 (1)



図-4 設計基準の変遷 (2)

成29年の道路橋示方書による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、配力鉄筋については、主鉄筋量の25%以上配筋されれば良いとの規定であった。さらに、鉄筋には、丸鋼が使用されたため、その当時の床版の疲労強度は、現代の床版に比して相当低い³⁾。この時期に建設されたコンクリート系床版については、補修・補強の対象となる場合が多いと考えられる。

他方、昭和43年に最小床版厚や使用される鉄筋などが見直しされた。さらに、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する設計法の見直しが行われ、それ以降は、現在とほぼ同等の耐荷力を有する床版が設計、建設されるようになった。

続いて、雨水や塩害などの外部環境による影響が顕在化し、その対応がはじまった。平成の時代に入る1989年以後、スパイクタイヤの使用が原因で、環境問題が発生し、その使用が禁止された。さらに、路面の凍結を防止するために、薬剤が散布されるようになった。その際、塩化ナトリウムが使用された。その使用は経済性に優れている反面、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発生するようになった。

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層を設置することが規定された。

床版の設計基準は時代や社会からの要請に応えるために改定されているが、床版の耐荷力や耐久性は建設時に適用された設計基準に依存することに留意すべきである。

なお、床版の耐久性に配慮した維持管理においては、橋が建設された時期とその時代の適用基準および架橋地域の環境を踏まえて、点検を実施し、補修・補強が必要に応じて実施されなければならない。また、補修の履歴を確認することも重要である。

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に大別される。

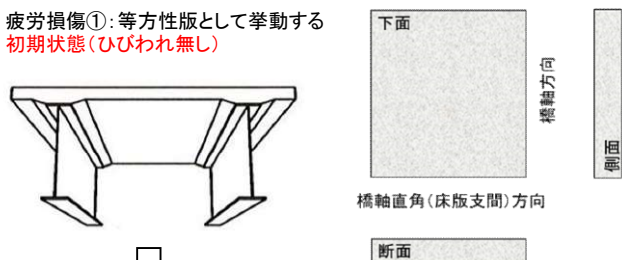
(1) 構造的要因（疲労損傷）

構造的要因としては、繰り返し载荷される輪荷重による疲労損傷があげられる。現在の自動車荷重が建設当時の設計基準で規定された荷重よりも増加したことや、過積載車両の走行が疲労損傷の要因と考えられる。図-5 は、鉄筋コンクリート床版（これ以降、RC 床版と記す。）の疲労損傷メカニズムをあらわしている。メカニズムについては、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、多くの研究により解明されている。疲労損傷のメカニズムについて、①から⑥の段階に整理し、以下に示す。

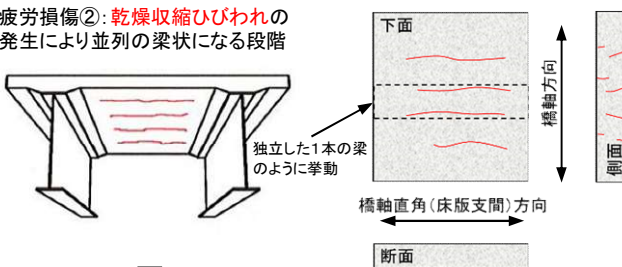
疲労損傷①：ひびわれの無い初期状態では、床版は等方性版として挙動する。

疲労損傷②：初期状態からコンクリートの乾燥が進むと、乾燥収縮により橋軸直角方向にひびわれが発生する。等方性版として挙動した床

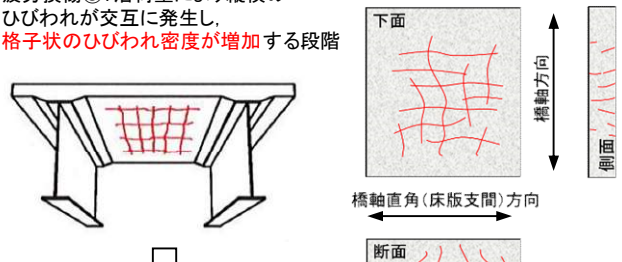
疲労損傷①：等方性版として挙動する初期状態（ひびわれ無し）



疲労損傷②：乾燥収縮ひびわれの発生により並列の梁状になる段階

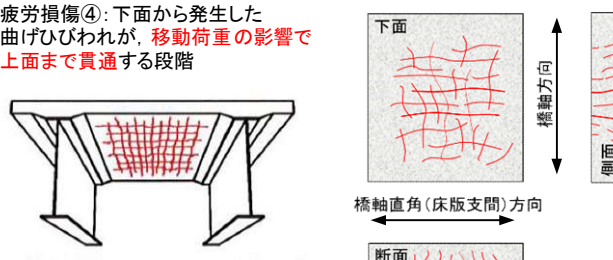


疲労損傷③：活荷重により縦横のひびわれが交互に発生し、格子状のひびわれ密度が増加する段階

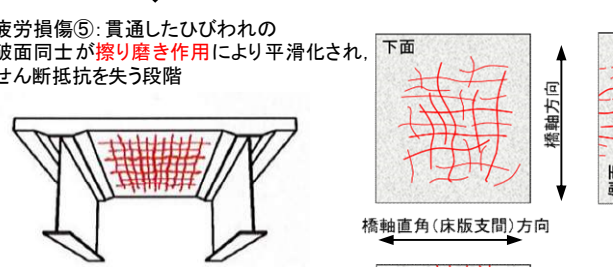


疲労損傷④へ

疲労損傷④：下面から発生した曲げひびわれが、移動荷重の影響で上面まで貫通する段階



疲労損傷⑤：貫通したひびわれの破面同士が擦り磨き作用により平滑化され、せん断抵抗を失う段階



疲労損傷⑥：低下した押抜きせん断強度を超える輪荷重により、抜け落ちが生じる段階

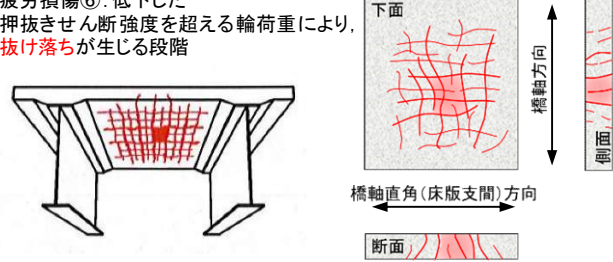


図-5 RC 床版の疲労損傷のメカニズム

版は、ひびわれにより、徐々に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：輪荷重（活荷重）が載荷されることで、橋軸方向にもひびわれが発生し、格子状になる。

疲労損傷④：疲労損傷が進むにつれ、ひびわれが密になることで、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われが、床版上面に達する。

疲労損傷⑤：ひびわれが厚さ方向に貫通すると、破断面に存在する骨材やモルタル同士が擦り合わされ、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。さらに、防水層の損傷などにより、貫通したひびわ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：この段階では、床版コンクリートのせん断抵抗が低下しており、輪荷重が載荷されることで、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げられる。また、これらが融合しながら劣化する複合劣化も考えられる。

図-6 は、塩害発生 の仕組みをあらわしている。塩害は、コンクリートの微細なひびわ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われを大きくし、浸水を伴うと劣化は加速する。

図-7 は、凍害発生 の仕組みをあらわしている。微細なひびわ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トのひびわ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

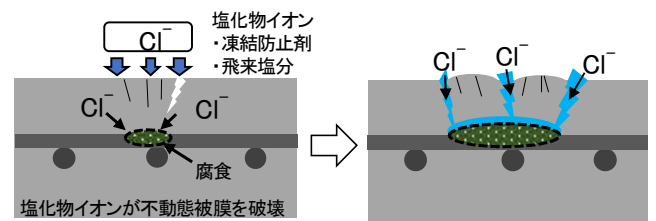


図-6 ①塩害発生 の仕組み

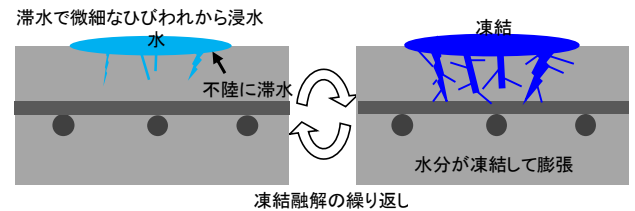


図-7 ②凍害発生 の仕組み

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。

図-8 は、アルカリシリカ反応発生 の仕組みをあらわしている。アルカリシリカ反応は、酸化ケイ素が骨材中に含まれている場合に生じる。こうした骨材は、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われを生じさせる。

図-9 は、中性化発生 の仕組みをあらわしている。中性化は、 CO_2 が外部から供給されることで、化学反応が発生し、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、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 が低下し、それが鉄筋位置に到達した時、鉄筋腐食が生じやすくなる。

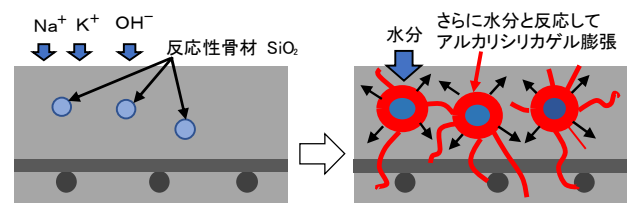


図-8 ③アルカリシリカ反応発生 の仕組み

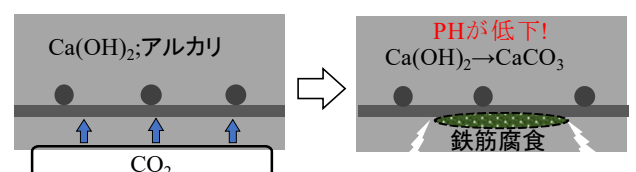


図-9 ④中性化発生 の仕組み

(3) 複合劣化

地域によっては、塩害と凍害などの複合的な劣化、損傷が発生することがある。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われ進展と同様に上側鉄筋に沿うような水平ひびわれが進展することがある。その後は、輪荷重位置の上層部分に浮きが生じて、土砂化へ移行する過程をたどる。

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が組み合わさって、複合劣化が生じることも考えられる。

(4) 浸水による影響

図-10 は、床版上面が乾燥している状態と水張りの状態の輪荷重走行試験の結果にもとづく床版の疲労強度⁴⁾をそれぞれあらわしている。水張りの状態においては、乾燥している状態よりも少ない走行回数で破壊に至る。図からわかるように疲労寿命については、1/200 程度になると推定される。床版の損傷においては、水の影響が極めて大きいといえる。これを踏まえ、床版防水の重要性を理解しなければならない。不適切な施工による漏水などにも留意する必要がある。

3. 床版の点検技術

3-1. 点検の種類

橋梁の維持管理にあたっては、「橋梁定期点検要領」⁵⁾が実務上有用な資料と位置づけられ、参照されている。この要領は、国土交通省が管

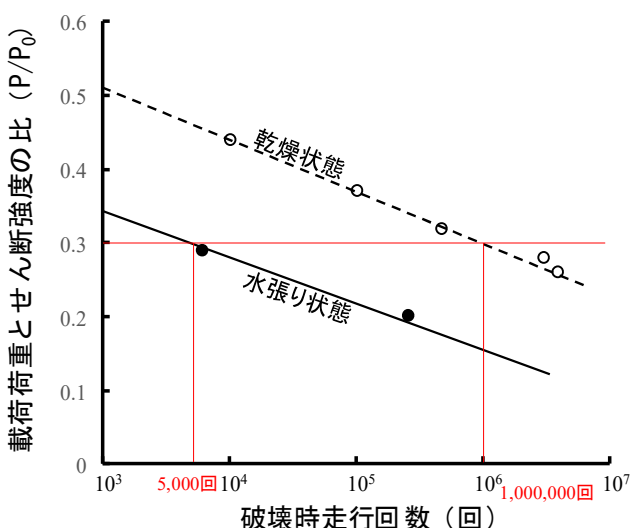


図-10 輪荷重走行試験にもとづく床版の疲労強度⁴⁾

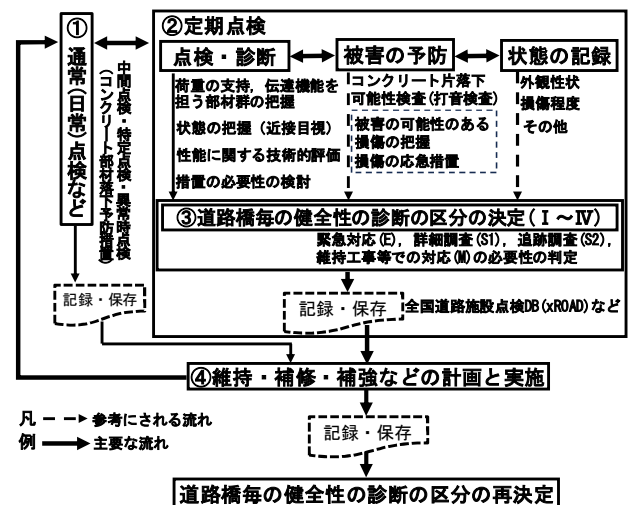
理する道路橋に適用されるが、全国の道路施設の管理者の多くは、この要領を引用して独自の要領を定めていると思われる。図-11 は、定期点検に関連づけた維持管理サイクル⁵⁾をあらわしている。道路橋の点検には、日常的な点検として行われる通常点検、5 年毎の頻度で行われる定期点検、そのほかとしては、中間点検、特定点検および異常時点検があり、これらは、詳細な点検あるいは調査と関連づけられる。

点検の段階にかかわらず、記録を必ず残し、記録が蓄積されたデータベースを参照しながら、点検サイクルを継続的にまわすことが重要である。さらに、健全性の診断の区分の決定に際しては、緊急対応や追跡調査等の必要性について、あわせて検討する。また、将来の維持管理や実施計画を策定する際には、外観性状や損傷程度の評価にかかわる記録は、有用であるといえる。

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）」、令和 6 年 4 月に「点検支援技術性能カタログ」および令和 6 年 7 月に「橋梁定期点検要領」がそれぞれ改定された。定期点検のあり方や最新技術にかかわる情報を継続的に収集しながら、点検を実施する必要がある。

(1) 通常点検

通常点検は、点検の第一段階に位置づけられ、目視を主体とした日常点検である。ここでは、橋梁全体の確認が行われる。



出典：国土交通省道路局国道・技術課 橋梁定期点検要領 2024.7 改変

図-11 道路橋の維持管理サイクル⁵⁾

路面の点検においては、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、排水柵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、法令に準じて5年毎に実施される。点検においては、対象物を近接目視しなければならない。このため、橋梁に設置された点検歩廊、橋台や橋脚上からの目視や高所作業車や橋梁点検車を利用することが一般的である。

点検の実施前には、点検項目、方法、体制、安全対策などが盛り込まれた実施計画を策定することが求められている。定期点検では、顕在化が予想される変状を見逃すことなく、確認し、記録することは点検の目的の一つである。

次に、橋梁定期点検要領に示される、床版の損傷の種類とそれらに対応する標準的な点検手法について述べる。表-1は、床版の損傷と標準的な点検方法をあらわしている。点検に際しては、表中の主な検査法を参考にして、目視と対応する機器を活用するとよい。

図-12は、点検における床版の着目箇所をあらわしている。床版上面において、路面の凹凸やひびわれ、伸縮装置や排水柵の異常などがあげられる。一方、床版下面では、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において、水の影響を受けた変状を見逃さないことが重要である。床版上面の変状と下面の変状を関連付けて整理すると、床版の状態の把握に役立つ。

(3) 中間点検

中間点検は、定期点検を補うために、定期点検の中間年に実施される。その際には、近接目

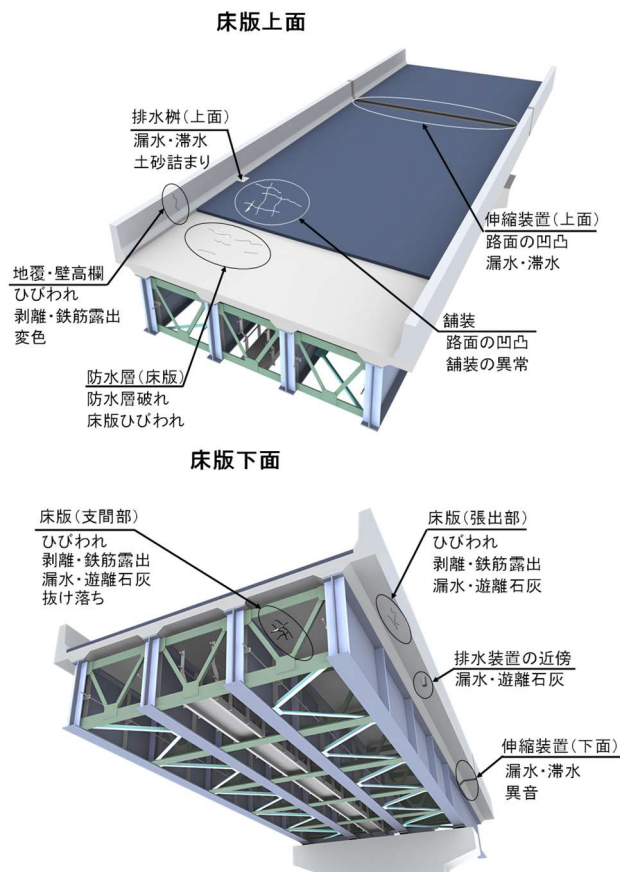


図-12 点検における床版の着目箇所

視で行うことは必ずしも必要なく、既設の点検設備の活用、路上、路下などからの目視によって点検を実施しても良いとされている。

(4) 特定点検

特定点検は、疲労、塩害、ASRなど、維持管理を行ううえで重要である特定の事象に焦点をあてて、点検の頻度をあらかじめ定めて実施される。床版においては、床版コンクリートの剥離、落下についても特定の事象とみなされ、それが確認された場合、すみやかに第三者被害を防ぐ対応が必要となる。

(5) 異常時点検

異常時点検は、地震、台風等の大きな災害や事故の発生がきっかけとなり、予期していなかった異常が懸念される場合に実施される。その結果として、橋梁の機能を著しく損なうような異常が確認された場合には、車両や歩行者の利用制限等の緊急措置が発動されることもある。

3-2. 調査の手法

(1) 外観調査

外観調査は、調査の種類や段階にかかわらず、はじめに行われる。直接目視以外の検査方法と

表-1 床版の損傷と標準的な点検方法

調査項目	主な検査法
剥離・鉄筋露出	目視、点検ハンマ(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(打音検査、赤外線調査)

して、外観調査に用いられる方法について、①から③を以下に示す。

① ひびわれの描画

ひびわれの描画は、点検において、詳細調査の必要性が判定された範囲に対して行われる。具体的には、橋梁点検車などで対象に接近し、直接目視にてひびわれ損傷箇所の描画を行った後、机上で損傷状況の判定を行うのが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

デジタル画像を利用した外観調査は、画像処理の技術を用いることでひびわれを検出しやすく、記録性にも優れている。**写真-1**は、デジタル画像を利用したひびわれ調査の例をあらわしている。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。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、ひびわ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、床版下面に点検ハンマで打撃を与えることで、床版から発せられる音を介して、床版の内部の状況を確認するという方法である。空隙が存在すると、低い音が発せられる。なお、剥離が発生している場合は、打診棒で確認することができる。

写真-2は、人が直接目視する代わりにドローンを利用した検査事例をあらわしている。床版下面の点検範囲が広い場合においては、人が移動する代わりに、こうした機器を利用することで、橋梁診断員の負担軽減にもつながっている。また、点検機器の開発が活発であり、今後、精

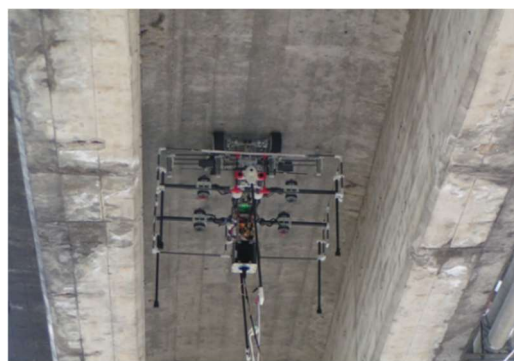


写真-2 ドローンを利用した検査

度の高い機器に期待が持てる。なお、たたき検査において、床版コンクリートの剥離が確認された場合は、第三者被害を防止するために、点検ハンマなどで剥離部をできるだけすみやかに除去する必要がある。

(2) 非破壊検査法

表-2は、床版の調査項目に適用できる主な非破壊検査の方法をあらわしている。

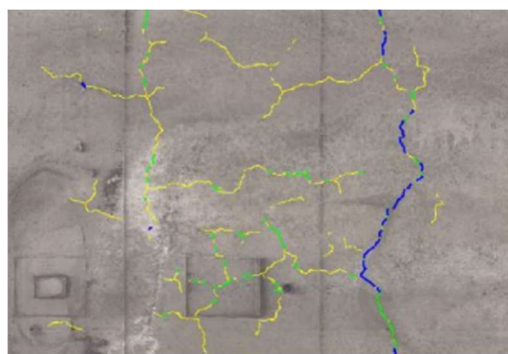
1) 弾性波法

弾性波法は、使用される弾性波の種類により、打音法、超音波法、AE法、衝撃弾性波法に分類される。**図-13**は、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をあらわしている。

本稿では、コンクリート床版に一般的に用いられる①打音法（20kHz以下の可聴域）と②超音波法（20kHz以上）を紹介する。これらについては、鋼コンクリート合成床版（これ以降、合成床版と記す。）にも適用が可能であり、鋼板接着により補強された床版への適用も検討できる技術である。

表-2 床版の詳細調査方法

調査項目	主な検査法
床版の空洞・浮き	弾性波法(打音法, 超音波法), 赤外線法
ひびわれ発生状況	外観目視・写真画像法
ひびわれ幅	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)



出典：(有)ジーテック

写真-1 画像処理によるひびわれのトレース

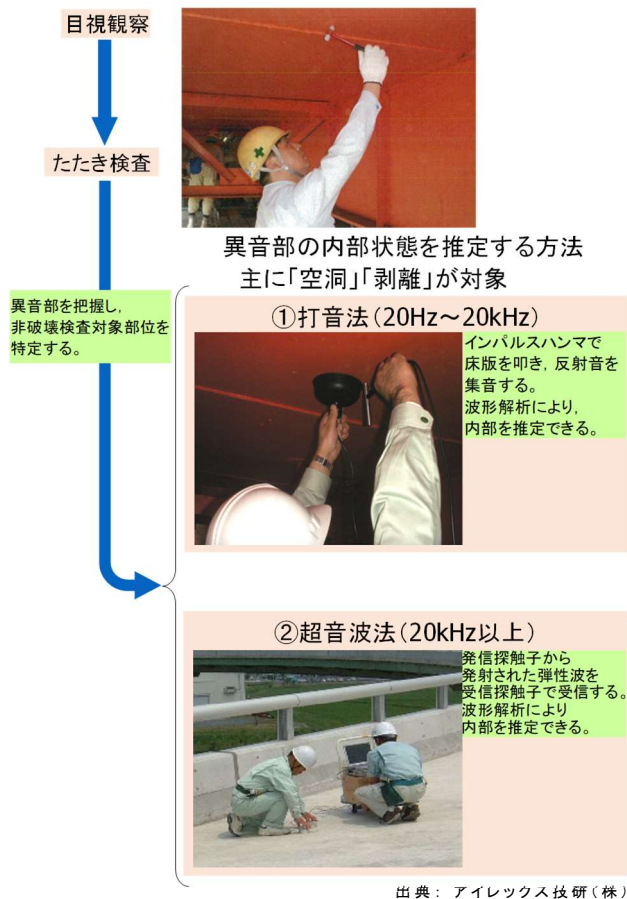


図-13 弾性波法の例（写真は合成床版で実施）

① 弾性波法（打音法）

打音法では、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。写真-3は、合成床版の底鋼板におけるコンクリートの剥離を調査するために利用される機器類をあらわしている。計測を経て作成される波形を通じて、床版内部の剥離や滞水の有無などの推定に用いられている。



写真-3 打音法（検査装置）

② 弾性波法（超音波法）

超音波法は、ひびわれ深さや床版厚の計測が可能である。写真-4は、超音波法による検査装置の事例をあらわしている。

2) 電磁波レーダ法

電磁波レーダ法は、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。ただし、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。写真-5は、電磁波レーダによる検査装置と検査事例をあらわしている。

3) 電磁波レーダ法（車載型）

電磁波レーダ法では、床版内部の劣化を可視化することや床版上面の土砂化の検出に用いられている。検査は、舗装を剥がすことなく可能である。図-14は、車両に搭載されたラインカメラで路面の画像を撮影することによって、路面のひびわれの位置ほかを取得し、車両後方から電磁波レーダを発することで路面下の損傷箇所を特定する方法の事例をあらわしている。

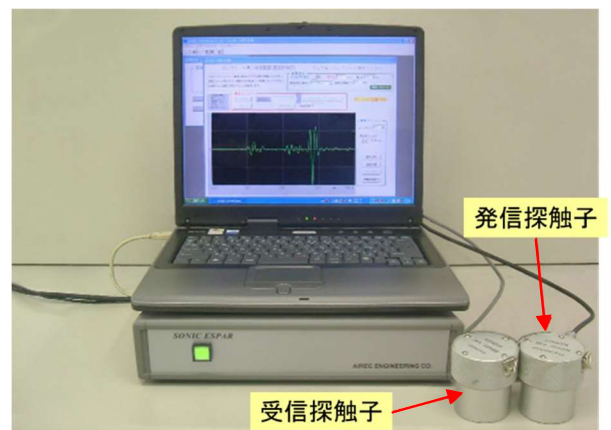


写真-4 超音波法（検査装置）

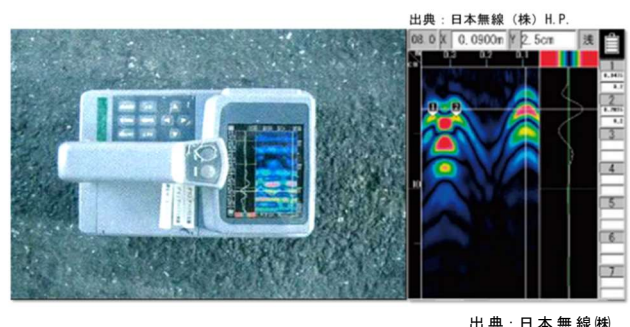


写真-5 電磁波レーダによる検査例

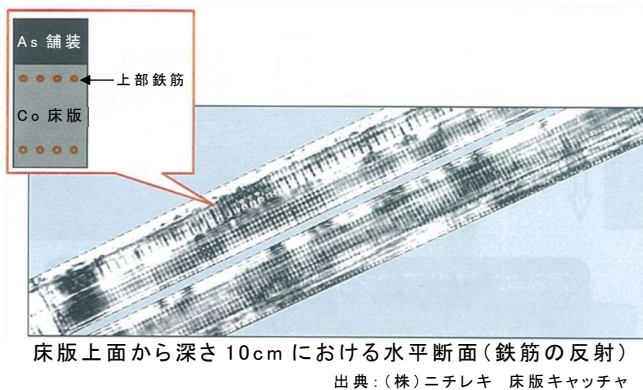


図-14 車載型点検装置

る。路面画像と電磁波レーダの測定結果を合成し、異常が生じている箇所を視覚的に発見するシステムである。

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させ、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、豆板、空洞などの欠陥がある場合、熱的特性が健全部とは異なるため、表面温度の差となっておりあられる。

図-15 は、赤外線法によるサーモグラフィの例をあらわしている。温度が高い範囲は、空気があたためられていると想定され、浮きが存在していると判断できる。

この方法は、測定がある程度離れたところから可能であり、調査の省力化が期待できる。一方、内部欠陥の検出については、表面から 5cm 程度までに限られているため、主にコンクリートのかぶりの異常を検出する際に用いられる。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必要がある。

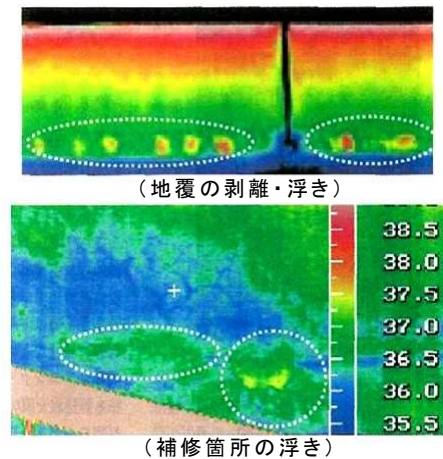


図-15 赤外線法によるサーモグラフィの例

3-3. 床版のたわみ計測

(1) 床版の劣化、損傷の程度とたわみ性状の関係

床版の劣化、損傷の程度とたわみ性状の関係を明らかにしようとする試みが輪荷重走行試験にて行われている。図-16 は、輪荷重が床版の試験体に繰り返し載荷される実験において、疲労による床版の損傷が進行することで、床版のたわみ値が変化している様子をあらわしている。

二方向ひびわれが床版に発生した状態では、床版のたわみが急激に増加している。他方、プレストレストコンクリート床版（これ以降、PC 床版と記す。）や合成床版については、疲労耐久性が RC 床版よりも高くなっているといえる。さらに、床版の種類にかかわらず、床版の剛性

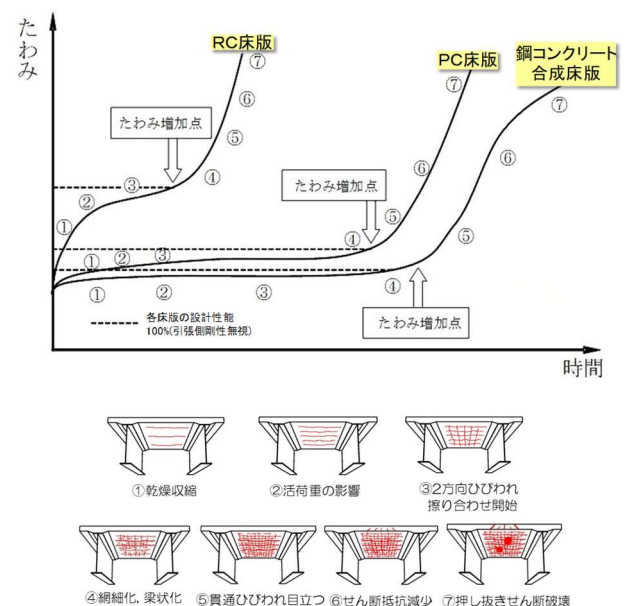


図-16 供用期間と劣化、損傷に伴うたわみ値の概念図

の低下にともない、たわみが増加しはじめると、損傷の進行が加速するといえる。

図-17 は、合成床版の試験体を用いて実施された輪荷重走行試験において、計測された床版のたわみ量をあらわしている。床版支間 $L=6\text{m}$ に対して、引張側のコンクリートが無視された断面、すなわち、断面が健全な状態では、たわみは $L/2,000$ 、水平ひびわれが生じて二層化した状態では、たわみは $L/1,000$ 程度である。したがって、合成床版内部に生じているコンクリートの損傷の程度は、床版のたわみを計測することで、おおむね評価可能であるといえる。

(2) 静的載荷試験による計測

静的載荷試験は、実際の床版全体の耐力を、床版に発生させたたわみを介して評価する方法である。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床版に載荷し、たわみを計測する試験である。

(3) 衝撃加振による計測

衝撃加振による計測は、錘を路面に落下させたときに舗装表面に生じるたわみ量を複数点で同時に測定する評価方法である。図-18 は FWD(フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ)とよばれる装置を用いたたわみ計測にかかわる概要をあらわしている。この装置では、路面を加振したのち、センサが設置されたすべての箇所において、たわみが 2 分程度の短い時間の間に計測される。衝撃加振による計測では、加振機と計測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。

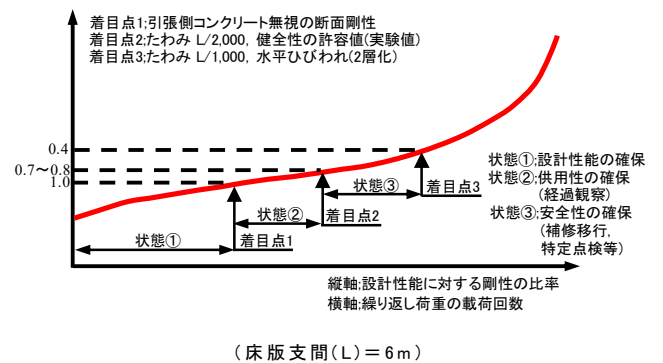


図-17 合成床版のたわみ変化の概念図

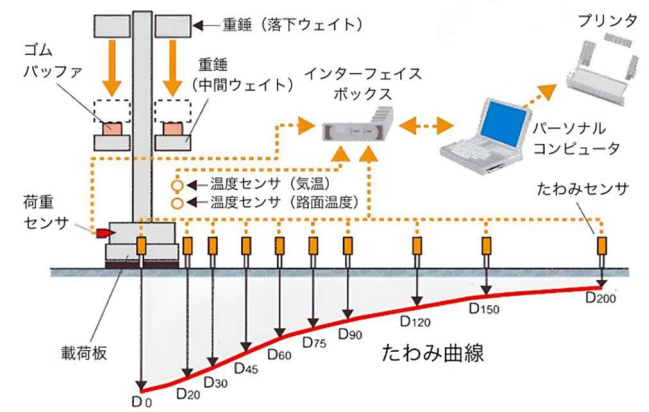


図-18 FWD(フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ)

4. 道路橋の定期点検の要点

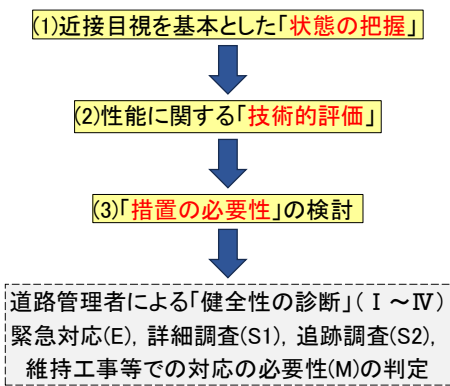
4-1. 点検・診断

法令にもとづく国内の道路橋の定期点検に際しては、道路施設の管理者が点検要領をそれぞれ定めているが、県や市町村などでは、国の「橋梁定期点検要領」が 2024 年 7 月に改定⁵⁾されたことから、それらの点検要領の改定が今後進むと予想される。

図-19 は、橋梁定期点検要領における点検・診断の流れをあらわしている。ここでは、(1)～(3)の段階に分けて、詳細を示す。

(1) 状態の把握

橋梁診断員は、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通じて、状態を把握しなければならない。近接する箇所をあらかじめ絞り込む、あるいは特定することも検討すると良い。なお、橋梁診断員、あるいは点検を業務として担う者については、知識や技術、経験を有しているという要件を満たす必要があることから、定期点検、なかでも法定点検に際しては、道路管理者が担当者、あ



出典：国土交通省道路局国道・技術課 橋梁定期点検要領 2024 改定

図-19 定期点検における点検・診断の流れ⁵⁾

るいはグループを選任している。

（2）技術的評価

橋梁診断員は、点検において、劣化、損傷の箇所が確認された場合、該当する損傷の種類、あるいは類型の特定、劣化、損傷の発生要因ならびに損傷の程度を推定しなければならない。さらに、床版の劣化、損傷が上部工の耐荷性能、その前提となる耐久性能に及ぼす影響について技術的な評価が求められる。なお、橋梁点検要領では、こうした技術的行為が見立てを意味するとの記載がある。

具体的には、橋梁診断員は、活荷重、地震時荷重ほかに対する耐荷性評価ならびにその前提となる耐久性評価を考慮に入れて、A、B および C の 3 段階のいずれかの評価を下す。さらに、所見を簡潔に記述する。なお、アルカリシリカ反応などの特定の事象の有無についても判断を下す必要がある。

（3）措置の必要性

上部工に対する措置の具体的な内容としては、たとえば、定期的あるいは常時の監視、補修・補強などの修繕、橋の撤去や通行規制・通行止めなどがあげられる。他方、部材や部位に対する措置の必要性については、4つの判定区分に対する適合性が検討される。それぞれについては、交通に支障が生じるまえに、緊急対応を済ませる必要がある場合(E)、損傷の原因が明確、範囲や規模が限定的であるため通常の維持工事で対応可能な場合(M)、詳細調査を実施する必要がある場合(S1)あるいは追跡調査を実施する必要がある場合(S2)となっており、一つもしくは複数を組み合わせて判定する。

4－2．被害の予防

定期点検においては、たとえば、床版コンクリートの剥離、落下などによって第三者被害の恐れがあると判断できる場合、それを未然に防止する対応が求められている。この際には、橋梁診断員と道路管理者が連携して対応にあたると想定される。

4－3．状態の記録

点検を効率的に実施する上では、過去の記録を参照することは有用であり、点検の際に、記

録を残すことが重要であるといえる。

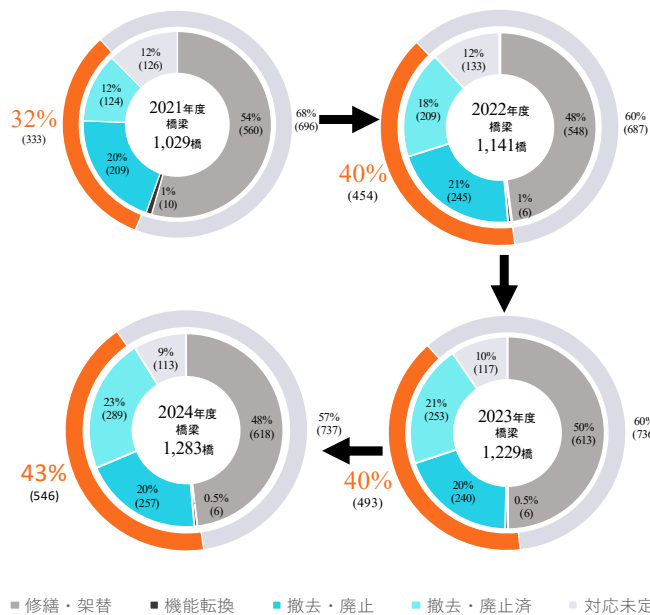
形式的には、a～e の基準を用いて評価する。評価基準にかかわる詳細は、「橋梁定期点検要領（令和 6 年 7 月）付録-2」あるいは「基礎データ収集要領（道路橋）令和 6 年版（令和 6 年 8 月）」に紹介されている。

4－4．健全性の診断

健全性の診断については、Ⅰ～Ⅳの4段階の判定区分が示されており、健全(Ⅰ)、予防のための保全(Ⅱ)、早期に処置を要する(Ⅲ)あるいは、緊急的に処置を要する(Ⅳ)とそれぞれ区分されている。過去の点検記録も参照され、損傷の進行度合いについて現状と今後の行方を想定したうえで判断される。なお、健全性の区分については、道路施設の管理者が橋梁診断員によってまとめられた点検結果を総合的に判断して決定される。

4－5．定期点検の結果と現状

定期点検の結果については、道路施設の管理者がとりまとめ、全国道路施設点検データベース(xROAD)などを通じて、定期的に公表されている。図-20 は、判定区分Ⅳに評価された橋梁の措置の現状^{6), 7)}をあらわしている。2021 年から 2024 年まで実施された定期点検において、撤去・廃止または撤去・廃止済とされる橋梁が、2021 年度では 32% (333 橋) であったが、2024



出典：国土交通省道路局 道路メンテナンス年報 2023.8, および 2025.8 改変

図-20 判定区分Ⅳに評価された橋梁の措置^{6), 7)}

年度には 43% (546 橋) と増加している。さらに、判定区分Ⅳとされる橋梁も年々増加している。他方、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 2024 年度において 9% (113 橋) にもおよぶ。劣化、損傷が判定区分Ⅳまで進行すると、補修が困難となるケースも想定されるので、早期の予防保全に取り組むべきである。

5. 補修・補強

コンクリート構造物の補修・補強にあたっては、劣化、損傷の状態や要因、施工の条件、目的などを考慮して、適切な方法を選定する。図-21 は、床版の代表的な補修・補強工法をあらわしている。コンクリート系床版の補修・補強および取替えに関係する工法については、単独で行う場合や組み合わせて施工する場合もある。

5-1. 補修工法

本報告では、(1) 表面被覆工法、(2) ひびわれ注入工法、(3) 充てん工法・断面修復工法について以下に紹介する。

(1) 表面被覆工法

表面被覆工法は、損傷程度がひびわれ幅 0.2mm 以下の場合、ひびわれの表面を被覆して浸水を防ぐ工法である。

図-22 は、表面被覆工法の個別工法をあらわしている。①パテ状のエポキシ樹脂を被覆する工法、②ひびわれの変動が懸念される場合に可とう性エポキシ樹脂を用いる工法、③含浸材によりひびわれに浸透し、空隙を充てんする工法などがある。

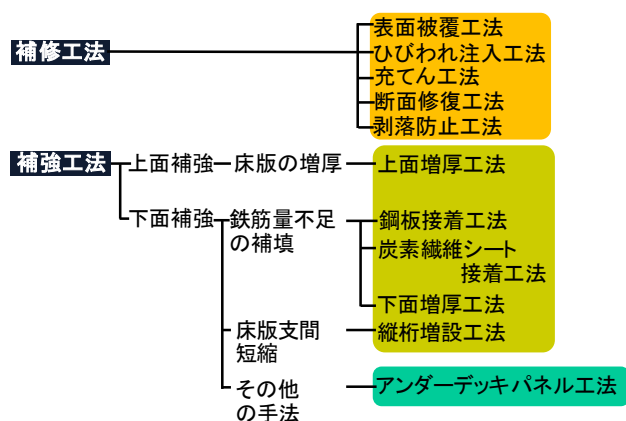


図-21 床版の代表的な補修・補強工法

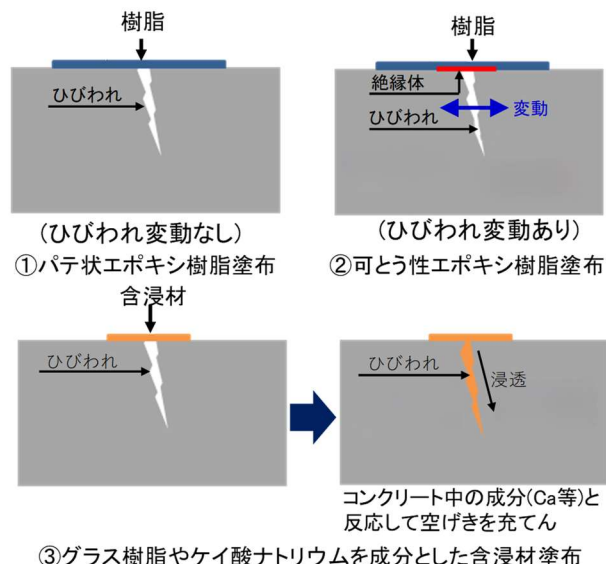


図-22 代表的な表面被覆工法

(2) ひびわれ注入工法

ひびわれ注入工法は、ひびわれ幅が 0.2mm 超の場合に適用され、ひびわれの中に、ポリマーセメントや樹脂などを注入する工法である。図-23 は、ひびわれ注入工法の施工内容を具体的にあらわしている。ここでは、機材を用いて、加圧しながら物理的に注入する。

(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、ひびわれ幅が 1.0mm 以上の深刻な場合に適用される。図-24 は、2 種類の工法の施工要領をあらわしている。

充てん工法は、ひびわれがあるコンクリート表面をカットし、ポリマーセメントなどを充てんする。一方、ひびわれが鉄筋にまで至っている場合などにおいては、損傷部分のコンクリートを完全には取りだし、断面修復工法により補修しなければならない。

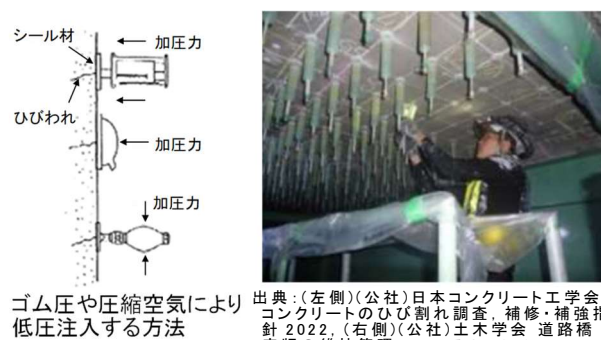


図-23 ひびわれ注入工法の例

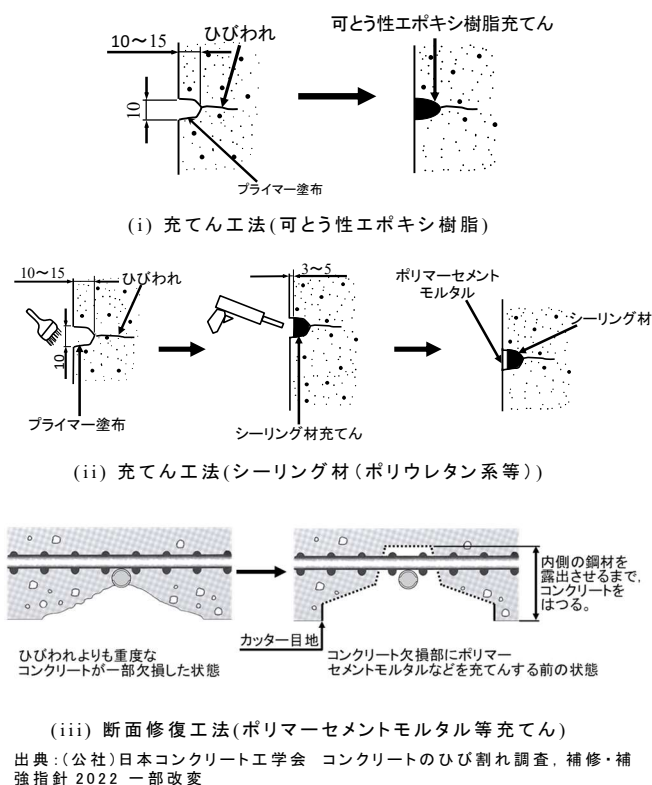


図-24 充てん工法・断面修復工法

5-2. 補強工法

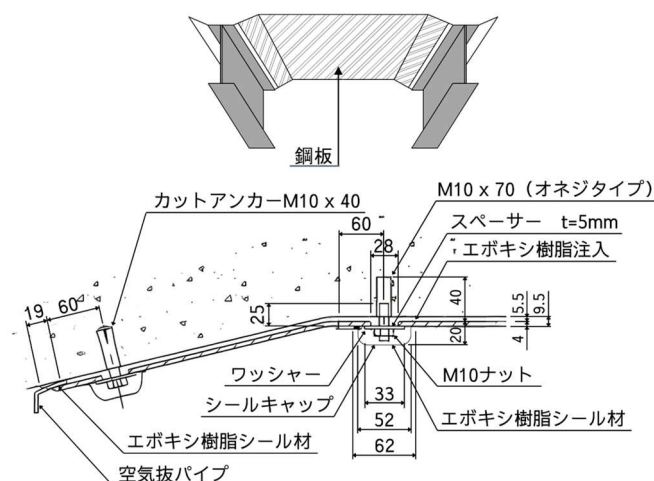
補強工法には、(1)鋼板接着工法、(2)炭素繊維シート接着工法、(3)縦桁増設工法、(4)アンダーデッキパネル工法などがある。これらの工法は、建設時当初の断面性能が損傷によって損なわれている箇所に対して、もともとの性能を向上させる工法である。これらを採用するにあたり、既設床版に損傷が確認される場合は、コンクリートの補修を事前に行うことに留意する必要がある。

(1) 鋼板接着工法

鋼板接着工法は、床版が劣化、損傷したことで、版としての性能を保てなくなった場合、床版の引張作用面である下面に補強鋼板を取り付ける工法である。図-25は、鋼板接着工法の施工内容を具体的にあらわしている。鋼板を設置することで、鉄筋量増加と同じ効果が発揮されるため、その結果として曲げ耐力が向上する。鋼板はコンクリートにアンカーを用いて固定され、鋼板とコンクリートの隙間には、エポキシ樹脂が充てんされる必要がある。

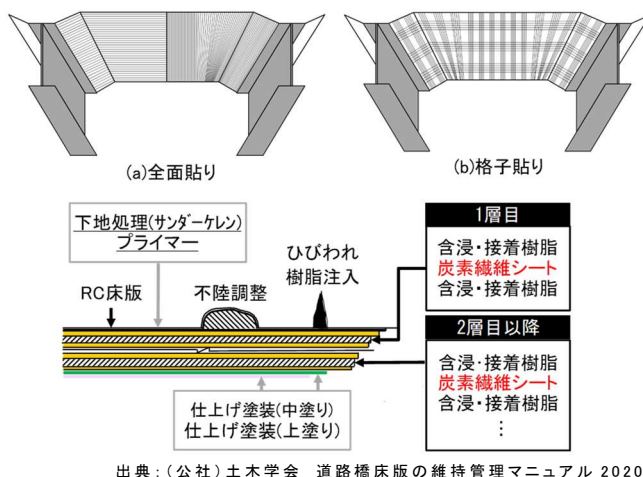
(2) 炭素繊維シート接着工法

炭素繊維シート接着工法は、(1)鋼板接着工



出典:(公社)土木学会 道路橋床版の維持管理マニュアル 2020

図-25 鋼板接着工法



出典:(公社)土木学会 道路橋床版の維持管理マニュアル 2020

図-26 炭素繊維接着工法

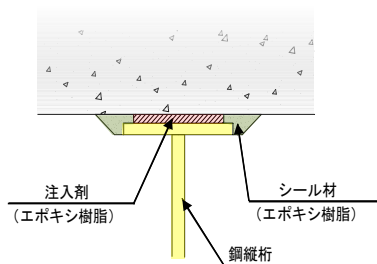
法と同じように、床版下面に取り付ける補強工法である。図-26は、鋼板の代わりに、炭素繊維シートを用いる工法をあらわしている。炭素繊維シートを、何層も重ね貼りし、コンクリートと一体化させることに留意する必要がある。

(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鋼縦桁をあらたに増設する工法である。床版支間が短くなることで、床版に作用する曲げモーメントを低下させる。図-27に示すように、既設床版と増設した鋼縦桁の間には、注入材により間詰めを行うことに留意する必要がある。

(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、床版下面に剛



出典：(公社)土木学会 道路橋床版の維持管理マニュアル 2020 改定

図-27 縦桁増設工法

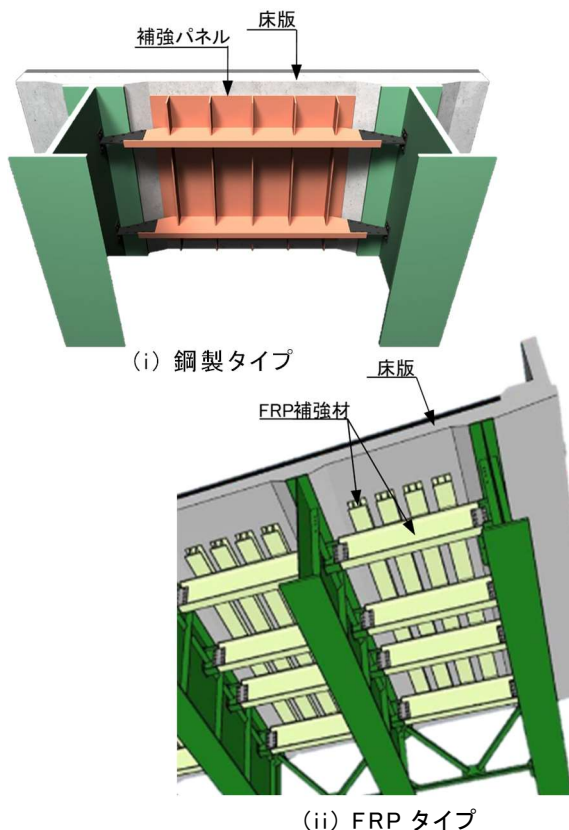


図-28 アンダーデッキパネル工法

性の高い部材を設置し、床版の変形を小さくすることで、床版の疲労損傷を抑制する工法である。図-28は、アンダーデッキパネル工法による補強にかかわる主要部の構造をあらわしている。ひびわれが床版上面にまで貫通した床版であっても、交通規制を伴わずに補強が可能である。

近年では、図-28(ii)に示すように主部材にFRPを使用することで、部材を人力で運搬できるほど軽量化した工法が開発されている。これにより、交通規制が原則不要であることに加え、施工時の重機使用の頻度が少なくなり、CO₂排出量の削減が可能である。

5-3. 取替え工法

取替え工法が適用されると、床版は、元の床

版、すなわち撤去前の床版に比して、優れた耐久性能等を発揮する。なお、最近では、合成床版においてもプレキャストタイプが標準合成床版⁸⁾として加わっている。また、鋼床版への取替えは、床版が軽量化されることで、橋の耐荷性能や耐震性能等の改善が実現される。他方、床版打替えについては、床版の損傷範囲が比較的狭い範囲に限られる場合に採用される。図-29は、取替え工法について、床版取替えにおける高機能化ほかの観点から整理された系統図をあらわしている。

ここでは、(1)床版取替え、(2)床版の部分打替えおよび(3)幅員分割施工について以下に紹介する。

(1) 床版取替え

床版取替え工法は、床版の劣化、損傷の程度が激しく、損傷が広範囲にわたっている場合などで採用される。写真-6は、高速道路の床版取替え工事の様子をあらわしている。高速道路は、供用開始から50年程度経過しており、RC床版からプレキャストPC床版に取替えた事例である。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ている。

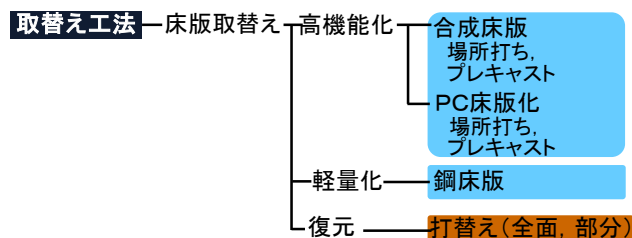


図-29 床版取替え工法の系統

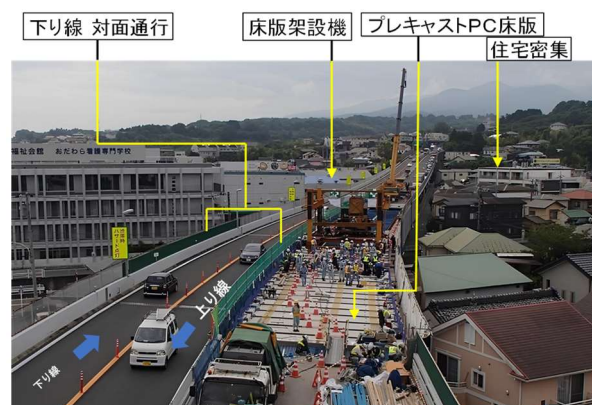


写真-6 床版取替え

床版取替えにおける検討事項としては、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の推定、③複雑なたわみ性状を有する橋梁の床版取替え手順、④増し桁を伴う床版拡張の施工手順、⑤幅員分割施工を伴う床版取替え・拡張の施工手順、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課題である。

床版取替えは、施工時の桁の横倒れ座屈、新規床版の重量増、最新の設計基準を適用することによる活荷重の増加などの理由により鋼桁の補強が必要となる場合が多い。さらに、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、1) 合成桁の床版取替え（死活荷重合成桁の事例）、2) 床版撤去時の留意事項（アーチ橋の事例）について以下に示す。

1) 合成桁の床版取替え時における鋼桁の安定性確保

図-30 は、死荷重合成桁の床版取替え前後に、桁のたわみ差が生じることをあらわしている。死荷重合成桁の床版取替えにおいては、床版を撤去した後、鋼桁のみの不安定な構造となるため、床版撤去・取替え施工時の鋼桁の安定性、耐荷力に注意を要する。

対処方法としては、高力ボルトを用いて、主桁に補強部材を接合する当て板補強工法や桁に作用する力の一部を外ケーブルの緊張によって負担させる工法⁹⁾などを採用することで、

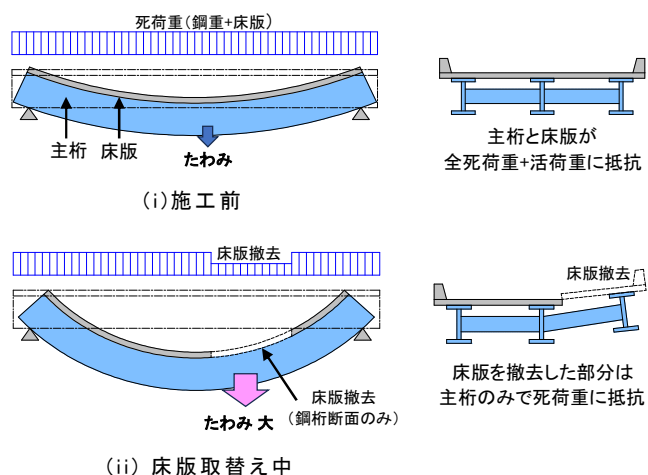


図-30 合成桁の床版取替え前後における桁のたわみ

床版施工中の鋼桁の安定性を確保できる。なお、こうした安定性確保の方法については、現場の施工条件を考慮して検討する必要がある。

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である。図-31 は、既設床版を撤去する際、鋼桁の端部から一定の向きを保って、床版を撤去すると、床版重量の偏りが生じて、橋の構造全体が不安定となることをあらわしている。このような場合では、取替えステップ毎に鋼桁の変形や応力の状態を事前に検討し、構造の安定性を確保するための対策を施工に反映する必要がある。

(2) 床版の部分打替え

床版の部分打替えは、床版の損傷範囲が狭い場合、その部分に限定してコンクリートを打替える工法である。図-32 は、合成床版の場合、片側交互通行しながら仮設の支持材を設置せずに補修することが可能であるだけでなく、パネル単位での比較的大きな打替えを行う場合においても、仮設縦桁やブラケットを設置することで施工可能であることをあらわしている。仮設支持材の設計・施工は、鋼橋では、比較的

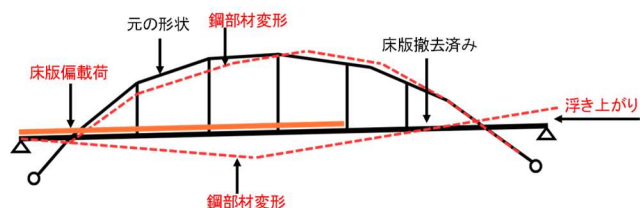


図-31 床版取替えにおいて注意すべき橋の形状の変化

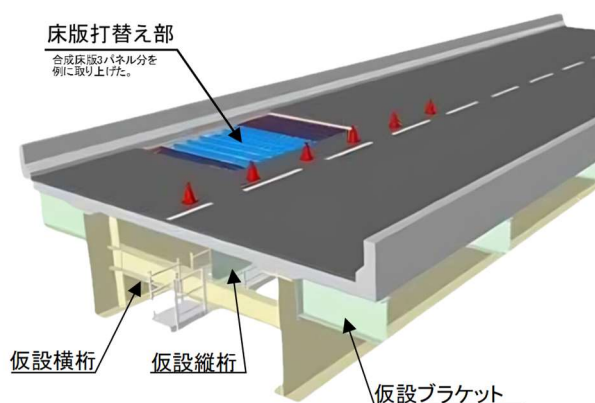


図-32 合成床版の部分打替えの例

容易であるが、新設時に維持管理に配慮して縦桁支持点となる横桁に補強リブを設置するなどの対応も考えられる。

(3) 幅員分割施工について

幅員分割施工においては、交通供用下における施工となるため、活荷重によるたわみ差が桁相互に発生する影響や、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-33 は、幅員分割施工を行う際の検討内容や注意すべき点をあらわしている。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ステップや横桁連結ステップを計画し、施工時には、出来形を逐次管理することが重要である。

コンクリートを連結部に打込む際には、一時的な交通止めや速度規制などの実施、超速硬コンクリートの使用などを検討すると良い。

6. おわりに

床版の点検においては、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きわめて重要である。さらに、実施される点検、あるいは調査においては、手段にかかわらず、劣化、損傷の類型、それらが発生したメカニズムや劣化、損傷の状況、地域の気候特性や交通状況なども考慮したうえで、変状などを記録として継続的に残すべきである。

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、滞水しやすい箇所、たとえば、伸縮装置の付近、排水柵の周りなどにおける異常を見逃さないことが重要である。その上で、定期点検においては、それらの情報も参考にしながら、適切な技術的評価、見立てが求められる。

床版の維持管理においては、点検をきっかけにして、橋梁の長寿命化やライフサイクルコストを視野に入れながら、補修・補強、高機能化、あるいは復元の適切なタイミングを追求するとともに、維持管理のサイクルを継続的にまわすことが重要である。

日本橋梁建設協会では、床版の劣化、損傷の要因にかかわる未解明な部分をテーマとした研究を継続するとともに、床版にかかわる調査・点検技術ならびに補修・補強工法の開発、それらにかかわる情報の発信に今後も取り組む所存である。

[参考文献]

- 1) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，pp. 146，2025. 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-12，pp. I-23，2020. 6
- 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. 3
- 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. 6
- 5) 国土交通省道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領，2024. 7
- 6) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，pp. 42，2023. 8
- 7) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，pp. 42，2025. 8
- 8) 日本橋梁建設協会：新しい鋼橋の「鋼コンクリート合成床版」橋建協標準合成床版，pp. 13，2025. 4
- 9) 日本橋梁建設協会：床版取替え施工の手引き，pp. 22～24，2018. 9

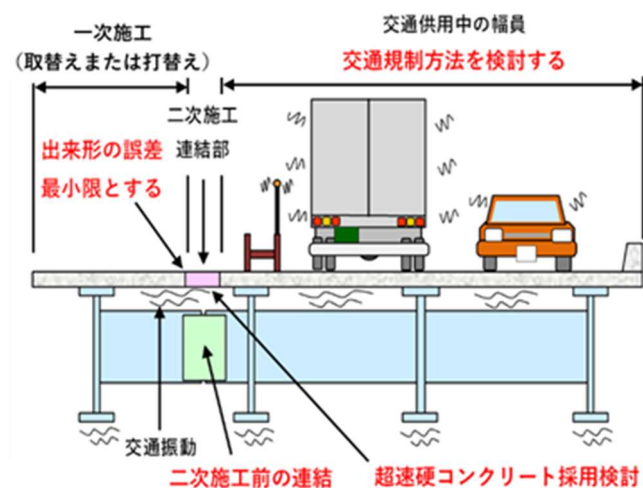


図-33 幅員分割施工における計画と施工