

付録 2

詳細調査について

目次

《付録2》詳細調査について.....	付 2- 1
1. 複合劣化の診断方法.....	付 2- 1
1.1 複合劣化の診断フロー.....	付 2- 1
1.2 塩害を想定した場合.....	付 2- 3
1.3 凍害を想定した場合.....	付 2- 5
1.4 アルカリシリカ反応を想定した場合.....	付 2- 7
2. ケーススタディー.....	付 2- 9
2.1 複合劣化の検討事例1（塩害）.....	付 2- 9
2.1.1 橋梁の諸元および定期点検結果.....	付 2- 9
2.1.2 詳細調査.....	付 2- 10
2.2 複合劣化の検討事例2（アルカリシリカ反応）.....	付 2- 13
2.2.1 橋梁の諸元および定期点検結果.....	付 2- 13
2.2.2 詳細調査.....	付 2- 14
3. 道路橋床版の詳細調査方法.....	付 2- 19
3.1 床版上面からの調査項目.....	付 2- 19
3.1.1 舗装撤去前.....	付 2- 19
3.1.2 舗装剥ぎ取り後の損傷調査.....	付 2- 25
3.2 その他の調査項目.....	付 2- 26
3.2.1 コンクリート床版に発生した水平ひび割れ調査方法.....	付 2- 26

付録 2 詳細調査について

1. 複合劣化の診断方法

1.1 複合劣化の診断フロー

RC床版における複合劣化の検討を行う時には、図-付 2.1.1 に示すフローを参考に、最初に机上の検討を行うことも必要である。

基本的には、初期欠陥の有無や疲労の可能性を確認した後、両者以外の原因による損傷と疑われる場合については、複合劣化を検討する必要がある。

複合劣化には、交通荷重などによる疲労以外の劣化要因である塩害、凍害、ASR 反応などを想定する必要がある。劣化の想定には、供用環境要因や施工時期などの情報、また外観の変状などから疲労以外の劣化要因を推定する必要がある。以下に、各種要因の推定目安および劣化の程度について記載する。ただし、初期欠陥が複合劣化を誘発する可能性があるため注意する必要がある。

また、定期点検結果をもとにある程度の劣化要因を推定し（表-付 2.1.1）、次項に示す各劣化要因の検討フローを参照しながら調査項目を選定し、劣化の推定をするのが良い。

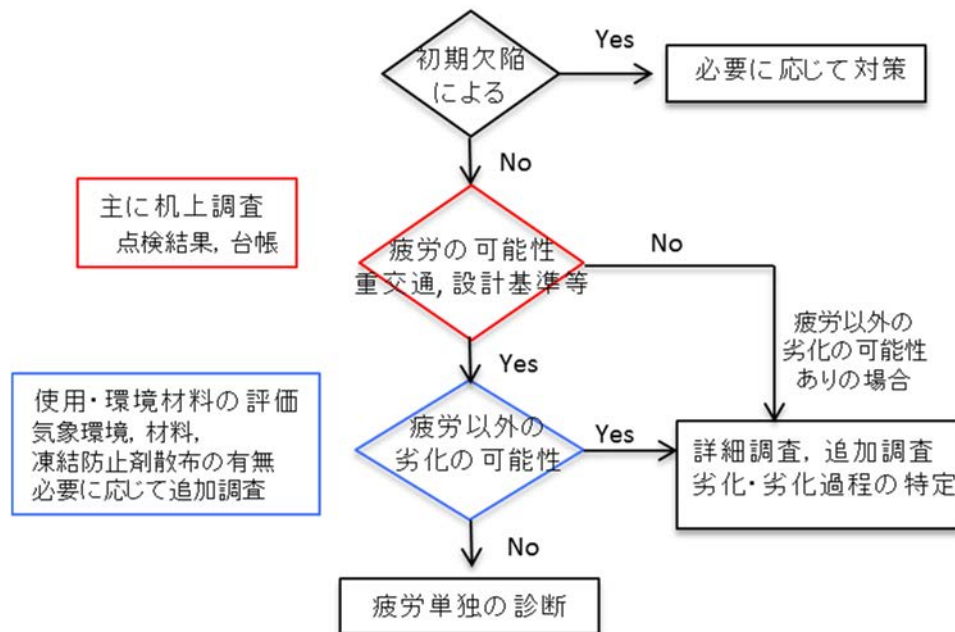




図-付 2.1.1 複合劣化の検討フロー

表-付 2.1.1 各劣化の症状および推定される劣化因子の例

床版の劣化状況(写真から推定)	変状	推定される劣化因子	推定された劣化原因
	<ul style="list-style-type: none"> -鉄筋が腐食している。 -かぶりコンクリートが剥落している。 	<ul style="list-style-type: none"> -塩化物イオンの供給元 (海岸、凍結防止剤) -建設時期 (海砂の使用) -漏水の有無 	塩害
	<ul style="list-style-type: none"> -コンクリート表面が濡れている。 -コンクリート表面がスケーリングを起こしている。 	<ul style="list-style-type: none"> -外気温 (冬季に氷点下になる) -漏水の有無 	凍害
	<ul style="list-style-type: none"> -コンクリート表面が濡れている。 -鉄筋にそっていない細かなひび割れがある。 -白色析出物が確認される。 	<ul style="list-style-type: none"> -ASR発生地域 (周辺にASRが確認される) -建設時期 (アルカリ総量抑制前) -漏水の有無 	ASR

1.2 塩害を想定した場合

塩害を想定した場合の詳細調査フローを図-付 2.1.2 に示す。塩害で最も問題となるのは鉄筋の腐食であり、コンクリートのひび割れや錆び汁が確認された場合には塩害を要因として考えても良い。なお、使用材料や供用環境からある程度の劣化が推定できるため、机上での検討や定期点検の結果を照らし合わせて劣化を推定した後、詳細調査を実施するのが望ましい。

詳細調査の項目としては、塩化物イオンがどの深さまで浸透しているのか、鉄筋近傍で塩化物イオン量がどの程度含まれているのかを調査することが重要である。また、中性化深さを測定する理由としては、固定化されている塩化物イオン（フリーデル氏塩）が pH の低下により破壊され、中性化が起これり始めている近傍で塩化物イオンの濃縮現象があり、腐食を促進するためである。また、鉄筋の腐食については、塩害で最も問題となる劣化であることから、腐食の有無や腐食の程度を正確に把握することが望ましい。

劣化判断の判定イメージの目安を記載しているが、管理者レベルで異なることから状況に合わせた判断をすることが望ましい。

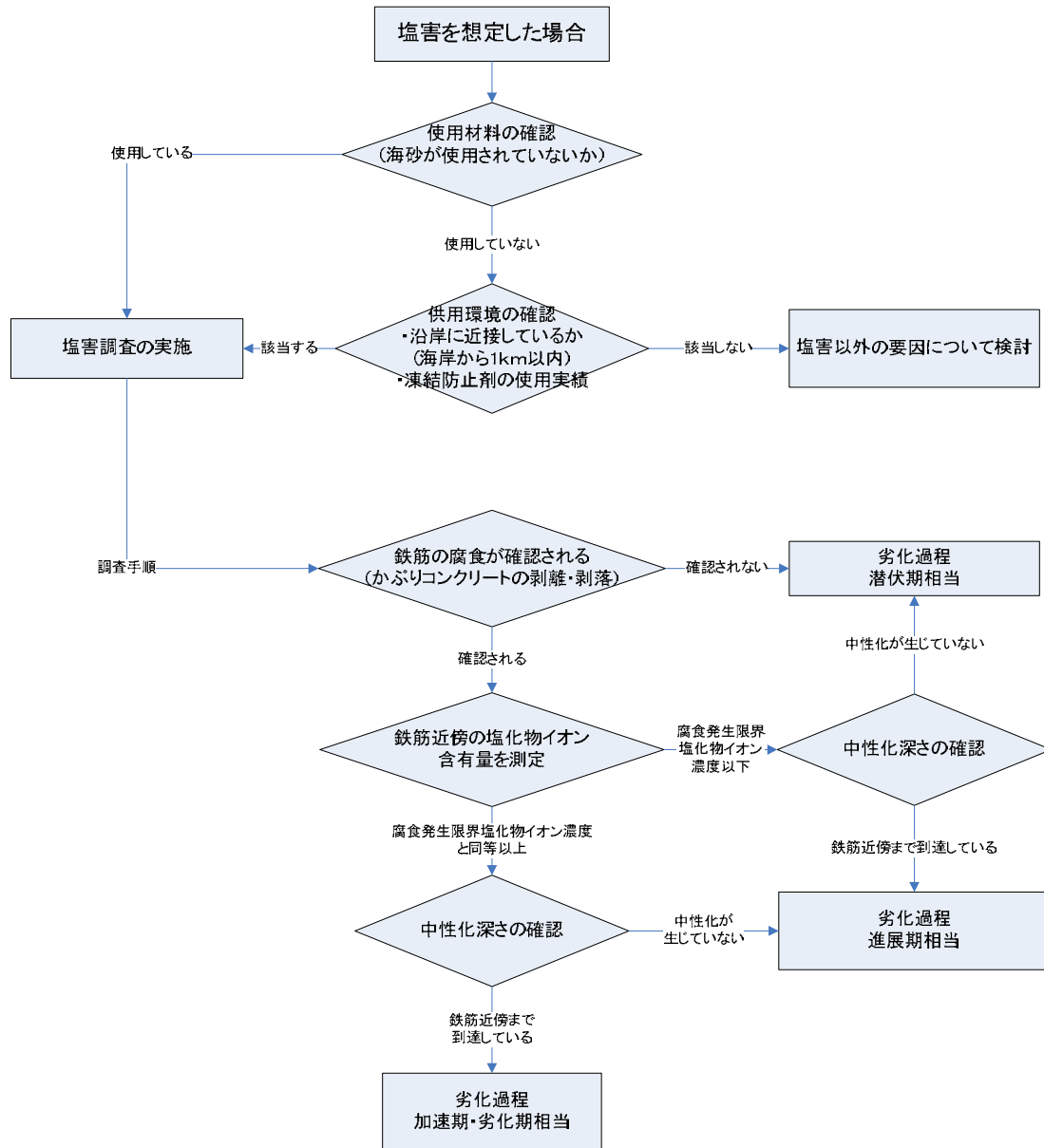


図-付 2.1.2 塩害劣化の検討フローおよび劣化判定イメージ

1.3 凍害を想定した場合

凍害を想定した場合の詳細調査フローを図-付2.1.3に示す。凍害で最も問題となるのは断面の欠損や強度低下などが考えられる。使用材料（水セメント比が大きい、AE 剤が使用されていない）や供用環境からある程度の推定できるため、机上での検討や定期点検の結果を照らし合わせて劣化を推定した後、詳細調査を実施するのが望ましい。

詳細調査の項目としては、凍害をどの程度受けているのかを推定する目的で、コンクリートの表面観察（スケーリングやポップアウトなど）や舗装面のポットホール発生などを行う。また、コンクリート強度の把握を行う箇所として、表面の損傷が激しい箇所と損傷が小さい箇所について調査を行うことが望ましい。また、コンクリート中に水平ひび割れが発生した床版も確認されていることから、内部の損傷（ひび割れなど）の有無を調査することが望ましい。

劣化判断の判定イメージの目安を記載しているが、管理者レベルで異なることから状況に合わせた判断を行うことが望ましい。

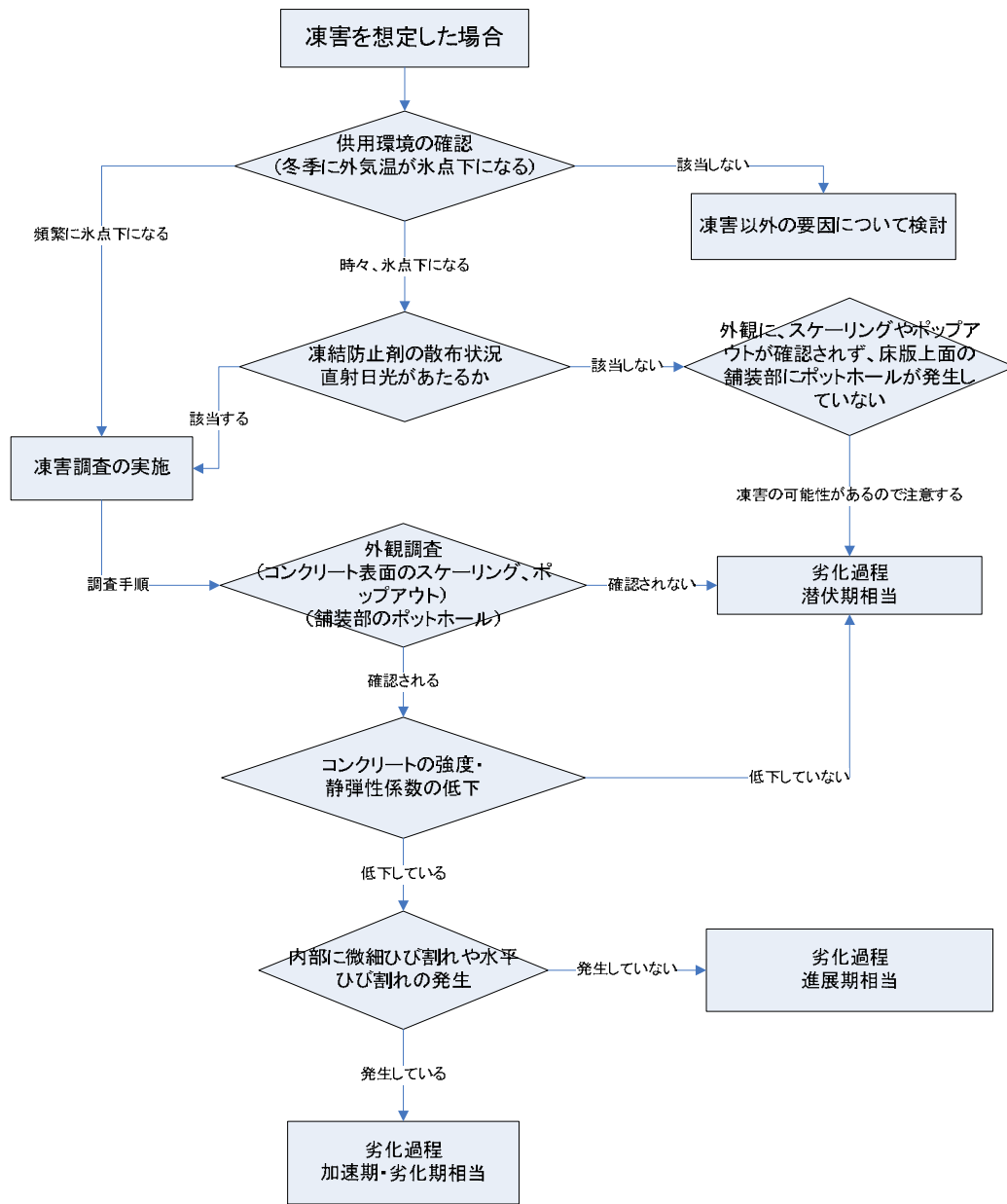


図-付 2.1.3 凍害劣化の検討フローおよび劣化判定イメージ

1.4 アルカリシリカ反応を想定した場合

ASR を想定した場合の詳細調査フローを図-付 2.1.4 に示す。ASR で最も問題となるのはひび割れの発生による劣化因子（塩化物イオンや二酸化炭素）の浸透が容易になることや、内部に微細なひび割れが発生して床版の剛性が低下することなどである。

ASR は、使用材料（反応性骨材が使用されている、もしくは疑われるなど）や供用環境（周辺のコンクリート構造物に ASR による劣化が確認される）などからある程度の発生が推定できるため、机上での検討や定期点検の結果を照らし合わせて劣化を推定した後、詳細調査を実施することが望ましい。

詳細調査の項目としては、ASR がどの程度進行しているのかを把握する必要がある。なお、内部損傷については、ASR によりコンクリート床版内部の微細なひび割れや水平ひび割れなどを確認する必要がある。

劣化判断の判定イメージの目安を記載しているが、管理者レベルで異なることから状況に合わせた判断をすることが望ましい。

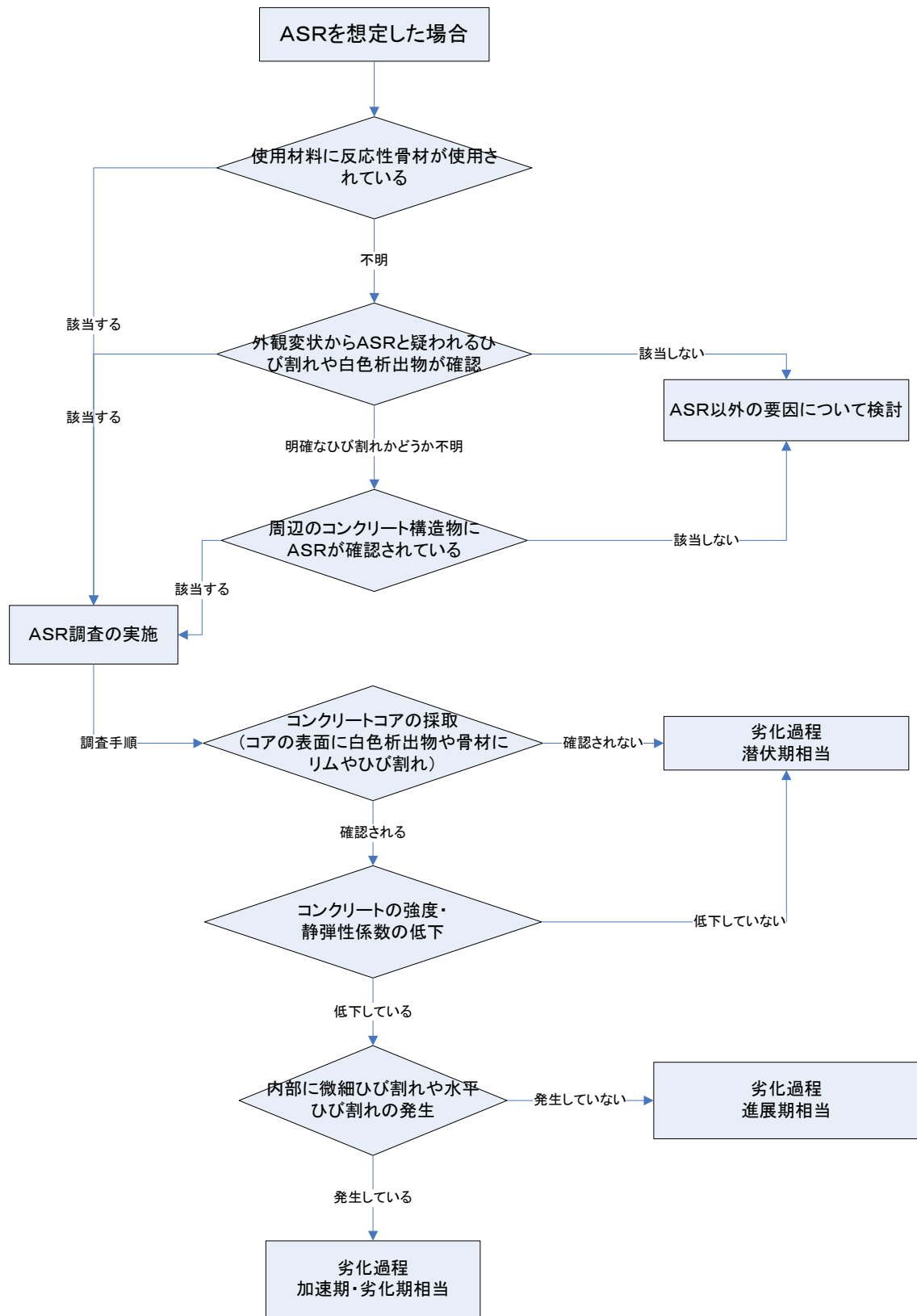


図-付 2.1.4 ASR 劣化の検討フローおよび劣化判定イメージ

2. ケーススタディー

2.1 複合劣化の検討事例1（塩害）

2.1.1 橋梁の諸元および定期点検結果

(1) 橋梁概要および環境条件

対象とした橋梁の形式や交通量および設置されている環境条件を以下に示す。

- i) 橋梁形式：鋼3径間連続非合成鈹桁橋
- ii) 交通量などの情報：都市間高速道路で交通量が多い
- iii) 供用年数：38年（1976年供用開始）
- iv) 環境条件：山間部（凍結防止材散布地域）

(2) 環境条件や橋梁諸元から考えられる損傷要因

橋梁概要および環境条件で示した条件から、本橋梁に損傷を与える影響を机上で検討した。その結果を以下に示す。

- i) 交通量が多いことから、疲労損傷を受けやすい。交通量などの情報：都市間高速道路で交通量が多い
- ii) 山間部であり、凍結防止剤を散布していることから塩害や凍害が考えられる。供用年数：38年（1976年供用開始）
- iii) 供用から38年経過していることから、中性化によるpHの低下が考えられる。
したがって、複合劣化（疲労と塩害もしくは凍害）が損傷の要因として考えられる。

(3) 定期点検結果

国土交通省の橋梁定期点検要領に従い、定期点検結果を表-付2.2.1に示し、床版下面の状況を図-付2.2.1に示す。なお、表-付2.2.1中の番号や記号は、橋梁定期点検要領に示されたものを用いている。

表-付2.2.1 定期点検の結果

点検箇所	項目	状態	評価※	パターン
床版上面	⑮舗装の異常	ポットホールが多数	e	5
床版下面	⑦剥離、鉄筋露出	有り	e	—
	⑧漏水、遊離石灰	有り	e	—
	⑨抜け落ち	無し	a	—
	⑩床版のひび割れ	格子状、部分的な角落ちが確認	e	2

※評価の表記は、橋梁定期点検要領 H26年6月 国土交通省 道路局 国道・防災課に準じている。



図-付 2.2.1 定期点検から得られた外観情報

(4) 定期点検結果より推定できる項目

表-付 2.2.1 に示した定期点検結果より，本橋梁で推定できる劣化の状況を以下に示す。

- i) 舗装の損傷で，ポットホールが多発する場合，床版上面の劣化が疑われる。
- ii) 床版下面のかぶりコンクリートのはく離や鉄筋が露出しているのは，鉄筋腐食が疑われる。
- iii) 漏水，白色析出物が生じていることから，貫通ひび割れがあり，床版防水工の劣化もしくは施工がなされていないことが考えられる。したがって，凍結防止剤による塩化物イオンが浸透しやすくなっている可能性がある。
- iv) 床版のひび割れで格子状および部分的な角落ちが確認されていることから，疲労損傷を受けていることが推測できる。

(5) 環境条件や橋梁諸元から考えられる損傷要因と定期点検結果のまとめ

橋梁の諸元および供用環境や，定期点検の結果などを勘案し検討を行った結果，本橋梁の劣化は疲労と塩害の複合劣化であることが想像できる。したがって，詳細調査は，塩害と疲労の観点から調査を実施することが望ましい。

2.1.2 詳細調査

(1) 実施目的

本橋梁の劣化を机上で検討した結果，疲労と塩害の複合劣化であることが推定された。したがって，疲労と塩害の観点から，本橋梁の詳細調査を計画した。詳細調査で知りたい事項を以下に示す。

- i) 損傷範囲の選定：補修対策を実施する場合に設計数量を把握するため
- ii) 鉄筋腐食の原因解明：外来塩なのか内在塩の影響かを検討するため
⇒ 事後対策に必要な情報である
- iii) 床版の健全度の把握：損傷部と健全と思われる場所での床版剛性を確認するため
⇒ 健全と思われる場所でも，剛性が低下している可能性が考えられることから

本詳細調査では，知りたい事項を的確に調査するために，詳細調査の実施項目を検討する必要がある。

(2) 詳細調査実施項目

調査目的に沿った調査方法を表-付 2. 2. 2 に示す.

表-付 2. 2. 2 詳細調査の項目

調査目的	調査方法
コンクリートの状態を把握する	コア採取による圧縮強度・静弾性係数の測定
鉄筋の腐食状況や腐食範囲を確認する	自然電位法によるマッピング
コンクリート中の塩化物イオン量を把握する	全塩化物イオン含有量の測定
内部損傷を確認する	コア採取による内部調査
床版の剛性を把握する	荷重車を用いたたわみ測定

(3) 詳細調査結果

橋面（軸方向 7m, 幅員方向 3m）の自然電位測定結果を図-付 2. 2. 2 に示す. その結果, 自然電位により腐食箇所の抽出ができ, かぶりがはく落した場所以外にも鉄筋の腐食が推定された. 鉄筋の腐食が生じている箇所 (A : 図中に示す) と腐食が生じていない箇所 (B : 図中に示す) からコアを採取し, 圧縮強度と静弾性係数を測定した結果を表-付 2. 2. 3 に示す. その結果, コンクリート強度は概ね同等であり, 両箇所とも設計基準強度 24.0N/mm^2 以上であった. また, 静弾性係数も低下が生じていないことが判明した.

床版の厚さ方向の塩化物イオン含有量の分布を測定した結果を図-付 2. 2. 3 に示す. 鉄筋腐食ありの箇所 A では, 床版上面から内部にかけて多量の塩化物イオンが含有していることがわかる. また, 床版下面から 50mm の範囲で塩化物イオンが多くなっている. 床版内部まで塩化物イオンが多いことから, 貫通ひび割れなどの影響も考えられる. 一方で, 鉄筋腐食なしの箇所 B では, 深さ方向に関係なく概ね 3kg/m^3 の高い塩化物イオンが一律に含有されている. このことから, 建設時から海砂が使用されていることが疑われる. また, 塩化物イオンが多いことから, 将来的に鉄筋が腐食する可能性が高いことが考えられる.

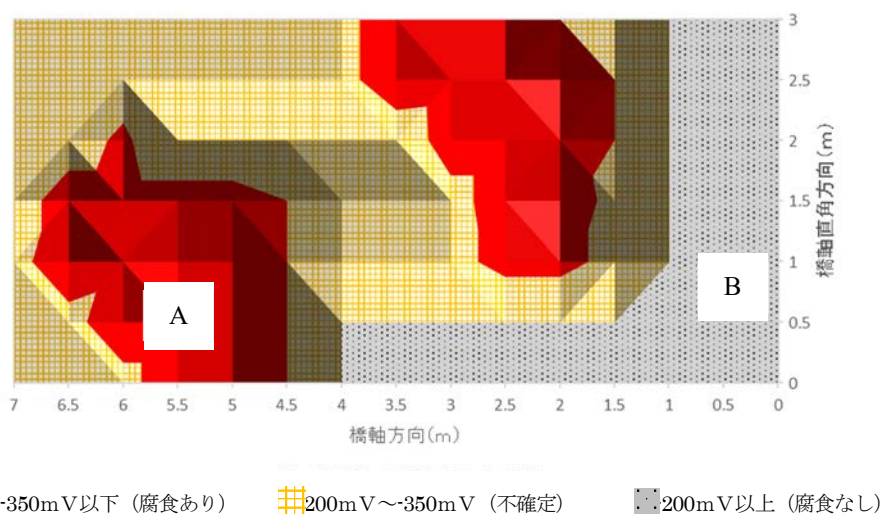


図-付 2. 2. 2 自然電位の測定結果

表-付 2.2.3 コンクリートコアの力学的性質

採取場所	A	B
状況	鉄筋腐食あり	鉄筋腐食なし
圧縮強度 (N/mm ²)	28.5	30.3
静弾性係数 (kN/mm ²)	28.9	29.1

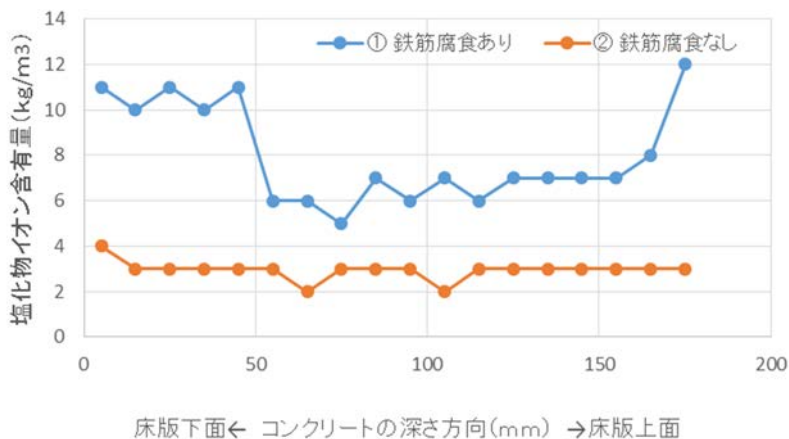


図-付 2.2.3 塩化物イオン含有量の測定結果

荷重車を用いてたわみ測定を行った結果を図-付 2.2.4 に示す。その結果、鉄筋腐食箇所ではたわみが大きいですが、たわみ量としては0.6mm程度であり、有意な差であるかわからなかった。

コア試験体の断面を用いて内部損傷を確認した結果、水平ひび割れなどは確認されなかった。

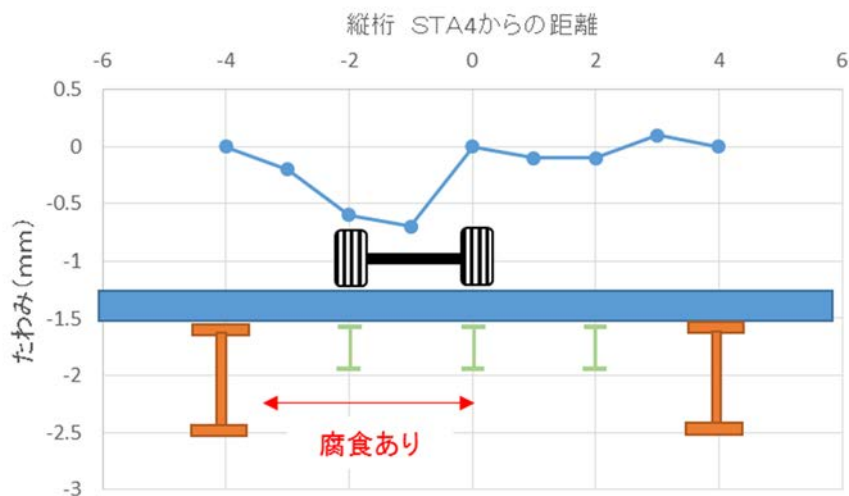


図-付 2.2.4 荷重車によるRC床版のたわみ測定

(4) 詳細調査のまとめ

鉄筋の腐食が進行した部分があり、なおかつ塩化物イオン含有量が全体的に多いことから、塩害による劣化である。また、圧縮強度および静弾性係数の低下は確認されていないことから、ASR や凍害の影響は小さいと考えられる。

荷重車を用いたたわみ測定を行った結果、腐食箇所は若干の剛性低下が確認されているが、健全部と比べ大差ない。また、内部損傷も確認されなかったことから疲労損傷は小さいことが考えられる。

以上のことより、本床版の劣化は、塩害が主要因であるといえる。

2.2 複合劣化の検討事例2（アルカリシリカ反応）

2.2.1 橋梁の諸元および定期点検結果

(1) 橋梁概要および環境条件

対象とした橋梁の形式や交通量および設置されている環境条件を以下に示す。

- i) 橋梁形式：鋼2径間連続合成鉄桁橋
- ii) 交通量などの情報：交通量は普通で、大型車混入率が多い。
- iii) 供用年数：50年（1965年供用開始）
- iv) 環境条件：山間部（凍結防止材散布地域）、周囲の構造物にASRの報告あり

(2) 環境条件や橋梁諸元から考えられる損傷要因

橋梁の概要および環境条件で示した条件から、本橋梁に損傷を与える影響を机上で検討した。その結果を以下に示す。

- i) 大型車混入率が多いことから、疲労損傷を受けている。
- ii) 山間部であり、凍結防止剤を散布していることから塩害や凍害が考えられる。
- iii) 気象庁のアメダスデータを確認したところ、外気温が氷点下となる期間が短いので、凍害による劣化の可能性は低いと考えられる。
- iv) 供用から50年経過していることから、中性化によるpHの低下が考えられる。
- v) 細かなひび割れや白色析出物が確認され、なおかつ周囲の構造物にASRの報告があることから、ASRも疑われる。

したがって、複合劣化（塩害、ASR）が損傷の要因として考えられる。

(3) 定期点検結果

国土交通省の橋梁定期点検要領に従い、定期点検結果を表-付2.2.4に示し、床版下面および舗装面の状況を図-付2.2.5に示す。なお、表-付2.2.4中の番号や記号は、橋梁定期点検要領に示されたものを用いている。

表-付 2.2.4 定期点検の結果

点検箇所	項目	状態	評価※	パターン
床版上面	⑮舗装の異常	ポットホールが多数	e	5
床版下面	⑦剥離, 鉄筋露出	無し	a	—
	⑧漏水, 遊離石灰	有り	e	—
	⑨抜け落ち	無し	a	—
	⑩床版のひび割れ	格子状, 漏水有り, 角落ち無し	d	2



(a) 床版下面



(b) 舗装面

図-付 2.2.5 定期点検から得られた外観情報

(4) 定期点検結果より推定できる項目

表-付 2.2.4 に示した定期点検結果より, 本橋梁で推定できる劣化の状況を以下に示す.

- i) 舗装の損傷で, ポットホールが多発する場合, 床版上面の劣化が疑われる.
- ii) はく離, 鉄筋露出が無いことから, 塩害による損傷ではない可能性がある.
- iii) 漏水, 白色析出物が生じていることから, 貫通ひび割れがあり, 床版防水工の劣化もしくは施工がなされていないことが考えられる. したがって, 凍結防止剤による塩化物イオンが浸透しやすくなっている可能性がある.
- iv) 床版のひび割れで格子状のひび割れが確認され, 漏水 (水染み) も確認されている. また, 角落ちはない. 疲労損傷よりも別な要因で損傷が受けていると推測できる.
- v) コンクリート表面にスケーリングやポップアウトなどの外観変状が確認されない.

2.2.2 詳細調査

(1) 実施目的

本橋梁の劣化を机上で検討した結果, 疲労と ASR の複合劣化であることが推定された. したがって, 疲労と ASR の観点から, 本橋梁の詳細調査を計画した. 詳細調査で知りたい事項を以下に示す.

- i) 損傷範囲の選定: 補修対策を実施する場合に設計数量を把握するため
- ii) ASR の確認: ひび割れが ASR によるものなのか検討するため
⇒ 事後対策に必要な情報である
- iii) 床版の健全度の把握: 損傷部と健全と思われる場所での床版剛性を確認するため
⇒ 健全と思われる場所でも, 剛性が低下している可能性が考えられることから

本詳細調査では, 知りたい事項を的確に調査するために, 詳細調査の実施項目を検討する必要がある.

(2) 詳細調査実施項目

調査目的に沿った調査方法を表-付 2.2.5 に示す。

表-付 2.2.5 詳細調査の項目

調査項目	調査方法
コンクリートコアの表面を確認する	外観目視（ひび割れの有無，反応リムの有無など）
コンクリートの状態を把握する	コア採取による圧縮強度，静弾性係数の測定
コンクリート中の塩化物イオン量を把握する	全塩化物イオン含有量の測定
内部損傷を確認する	微破壊調査（single i 工法）によるコンクリート床版内部の確認
床版の剛性を把握する	自走式衝撃加振装置（SIVE 法）による床版の剛性確認

(3) 詳細調査結果

コア試験体を採取し，コア側面の外観を図-付 2.2.6 に示す。目視調査をした結果，粗骨材のひび割れや，反応リムが確認された。また，コア試験体を用いて圧縮強度試験および静弾性係数試験を実施した結果，圧縮強度は 24.9N/mm^2 に対して，静弾性係数が 14.1kN/mm^2 であり，コンクリート標準示方書に記載されている標準的なコンクリートとは異なり，静弾性係数が著しく低下していることが確認された。この3項目より，ASR による劣化であることが推定される。

コンクリート中の全塩化物イオンを測定した結果を図-付 2.2.7 に示す。その結果，床版上面に塩化物イオンが多く存在するが，鉄筋近傍では， 1kg/m^3 を下回る結果となった。この結果から，鉄筋の腐食によるひび割れではないことが推定される。また，測定した場所では貫通ひび割れはなく，床版上面から拡散により塩化物イオンが浸透したことが言える。

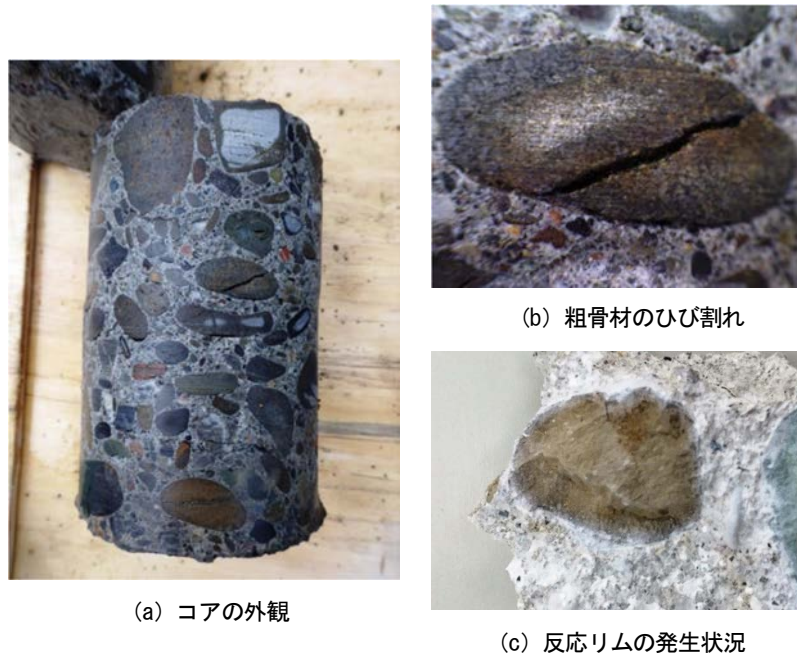


図-付 2.2.6 コンクリートコアの外観観察

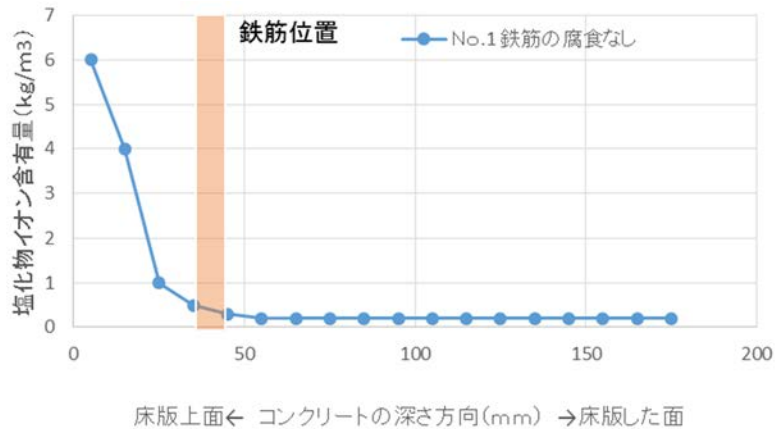


図-付 2.2.7 全塩化物イオン量の測定結果

床版内部の水平ひび割れを微破壊試験法 (single i 工法) (図-付 2.2.8) で測定した結果を図-付 2.2.9 に示す。床版下面のひび割れが少ない場所では、内部に損傷 (水平ひび割れなど) が確認されなかった。一方で、床版下面のひび割れが多い箇所では、水平ひび割れや床版上面の砂利化が確認された。

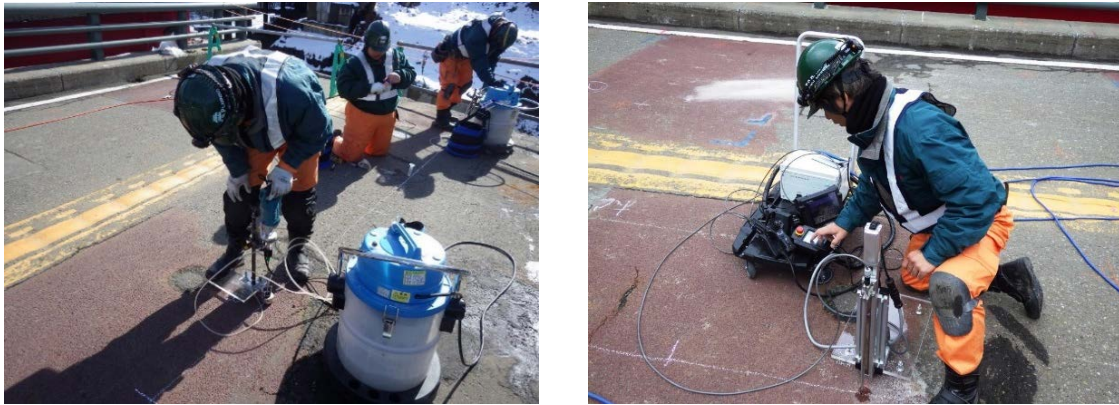
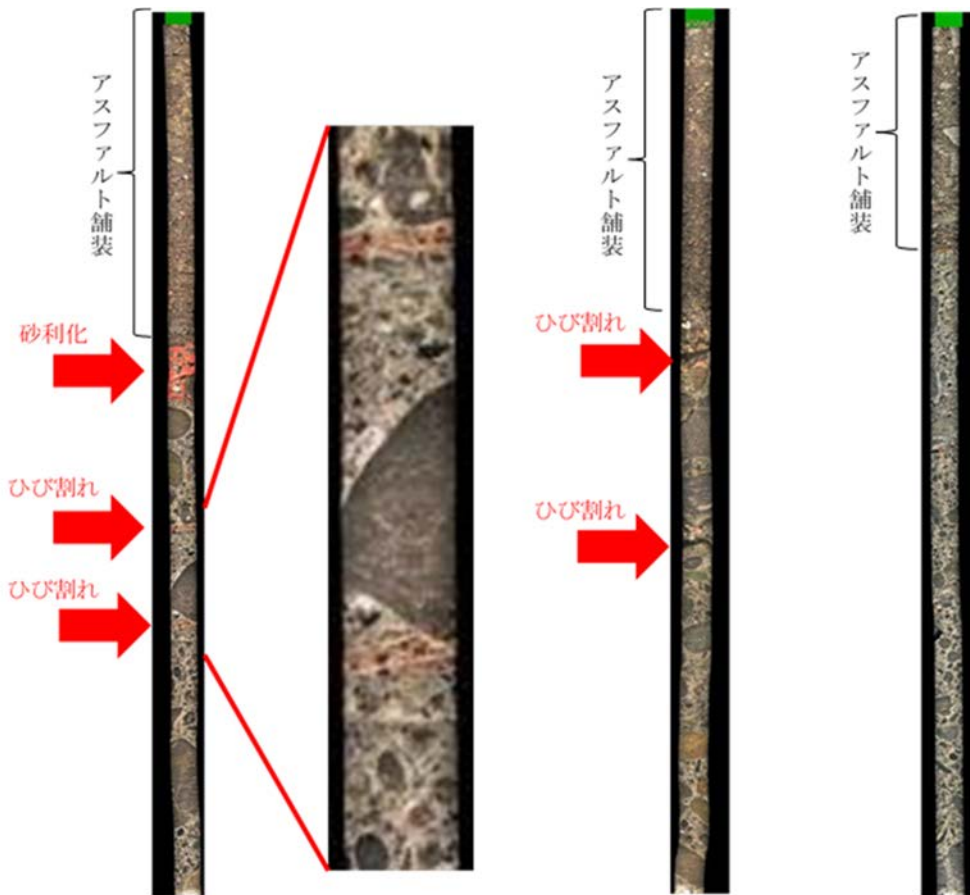


図-付 2. 2. 8 微破壊試験法による内部調査



- 1) 白色析出物が多い箇所
- 2) 白色析出物が多い箇所
- 3) 白色析出物が少ない箇所

図-付 2. 2. 9 微破壊試験法による内部調査の結果

自走式衝撃加振装置（SIVE（Self-propelled Impact Vibration Equipment）法）の測定状況を図-付 2. 2. 10 に示し、測定結果を図-付 2. 2. 11 に示す。この結果、ひび割れが少ない床版では、変位が小さくなり、ひび割れが多い場所では変位が大きくなることを確認された。変位が大きい場所では RC 床版の剛性が低下しているのが推定された。



図-付 2. 2. 10 自走式衝撃加振装置（SIVE 法）による床版の健全性調査

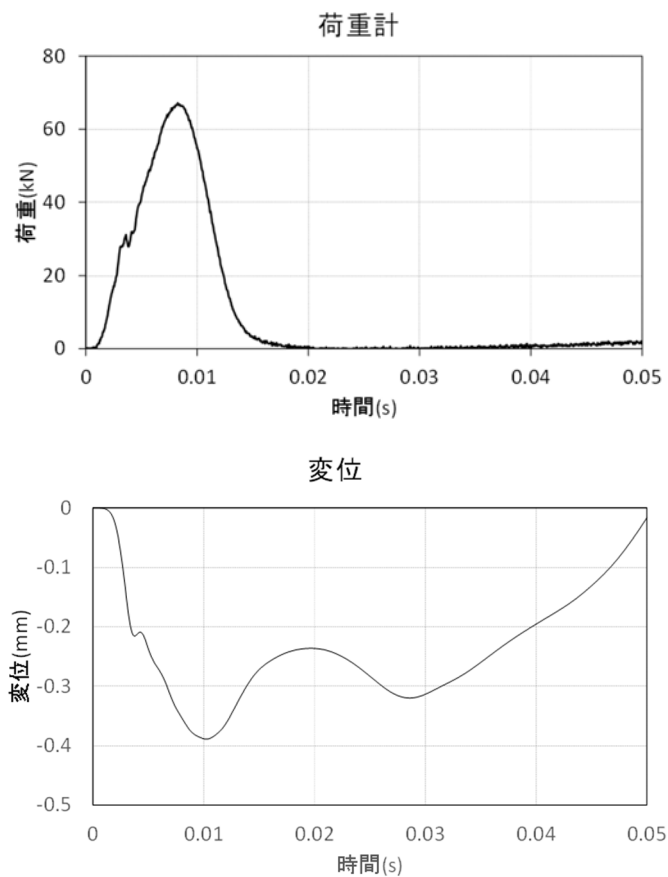


図-付 2. 2. 11 自走式衝撃加振装置（SIVE 法）による測定結果

(4) 詳細調査のまとめ

コンクリートコアの外観目視および力学的性状から推測すると、ASRによる劣化と考えられる。また、塩化物イオン量を測定した結果、鉄筋近傍には塩化物イオンが少ないことから、鉄筋腐食はまだ生じていないと推測された。

床版下面の白色析出物が少ないところでは、床版内部の損傷がなく、自走式衝撃加振装置（SIVE法）の結果からも剛性を有していると推定された。一方で、白色析出物が多いところでは、床版内部に水平ひび割れが発生しているのがsingle i工法より確認され、また自走式衝撃加振装置（SIVE法）の結果からも剛性が低下していることが判明した。

以上の結果より、ASRによる床版劣化であり、剛性が低下している床版もあることから、打ち替えなどの対策を行うことが良いと考えられる。

3. 道路橋床版の詳細調査方法

道路橋床版の詳細調査方法として現時点で適切である方法について記載する。なお、一般的な方法においては、日本コンクリート工学会が出版している「コンクリート診断技術」を参照することを勧める。

3.1 床版上面からの調査項目

3.1.1 舗装撤去前

(1) 電磁波レーダ法による舗装および床版の劣化状態の調査

電磁波レーダ法を用いた床版上面の調査方法としては、近年多くの技術が開発され、実用化されている。図-付2.3.1に示すように床版用の電磁波レーダを多数配列した手押し式の探査機器を使用したり、牽引式の車両に搭載したりすることで、走行中の測定が試みられている。電磁波の跳ね返りエネルギーを解析することにより（図-付2.3.2）、舗装と床版の境界位置や舗装のポットホールのほか、目視できない断面内のひび割れ、漏水や滞水箇所、鉄筋腐食、砂利化などの脆弱部が推定され、詳細調査や補修時の事前調査にも活用できる可能性がある。







(a) 手押し式

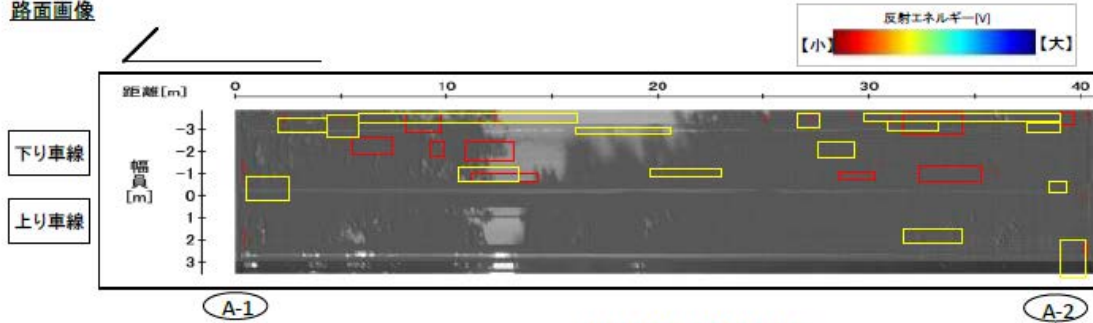


(b) 牽引式測定車

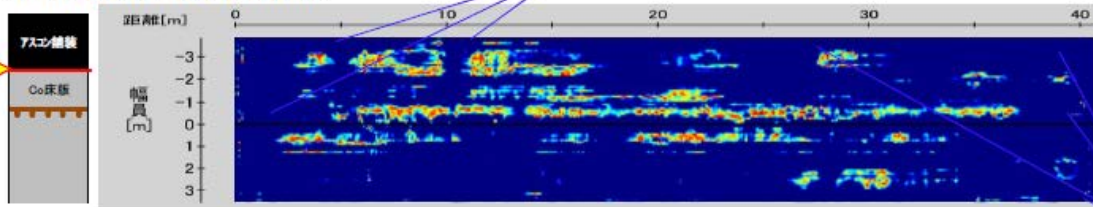
図-付2.3.1 床版用地中レーダ

信号の種類		推定要因
	路面のひび割れ	-
	路面のパッチング	-
	異常信号①	アスコン層と床版の境界面に異常(接着不良等)、床版上面に軽微な損傷の可能性あり
	異常信号②	かぶりコンクリート内部に損傷の可能性あり

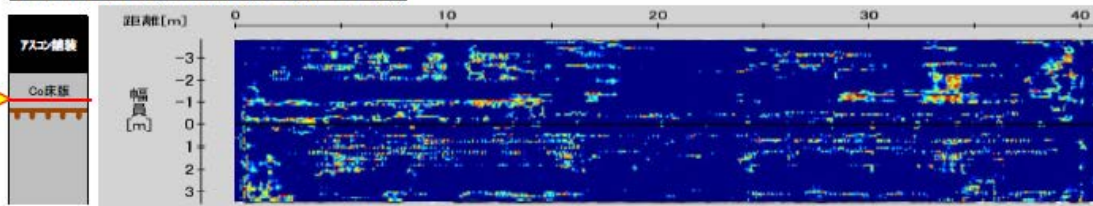
路面画像



平面図 深度6cm (床版上面付近)



平面図 深度10cm (かぶりコンクリート内部)



平面図 深度11cm (上部鉄筋付近)

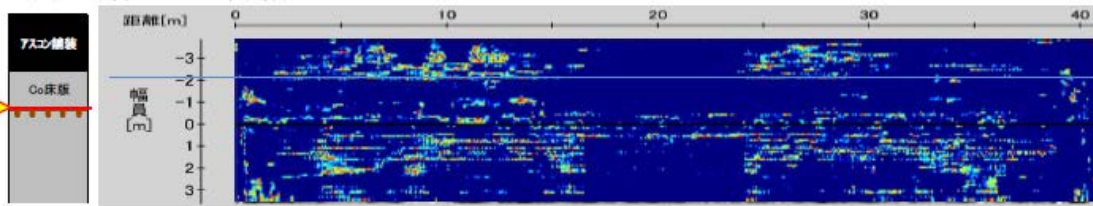


図-付 2.3.2 三次元レーダ解析画像

(3) FWD によるたわみ測定

道路橋床版の健全度調査法は、ひび割れ密度の調査や載荷試験による床版たわみの測定が有効であるが、これらの調査方法は、多大な労力と経費が不可欠であり、全ての橋梁に適用することは極めて困難である。そこで簡便にたわみ量を測る方法として、舗装の動的たわみ測定機（FWD：Falling Weight Deflectometer）を用いて、舗装面から衝撃荷重を与えたときのたわみ量を測定することにより、床版の健全度や損傷度を評価する新しい点検手法が試行されている。FWD を用いた調査では、衝撃荷重を与えたときのたわみ量からたわみによる劣化度を求め、ひび割れ密度による劣化度と合わせて、床版の健全度や損傷度の評価指標として活用する。

この FWD によるたわみ測定は、計測車線のみ交通規制が必要であるが、舗装面に重錘を落下させることにより発生する振動を計測して変位に変換する調査方法である。床版上面から FWD を用いて、補修・補強前後の床版たわみを測定することにより、補修・補強効果を確認することに利用できる^{1) 2)}。ただし、FWD のたわみ測定では、主桁のたわみ成分の補正ができないため、図-付 2.3.3 に示すように補修や補強前後での相対比較による評価にとどまる。

一方、東京都が開発した重錘落下たわみ法（IIS（Impulse Input System）法）では、舗装面での主桁位置と床版支間中央の振動を速度センサで計測して、速度を積分して変位に変換した上で、波形合成法^{3) 4)}で主桁のたわみを補正して高い精度で床版のたわみ量を測定できる。舗装用 FWD および床版専用の重錘落下たわみ測定機 IIS を図-付 2.3.4 に示す。

図-付 2.3.5（上）は、昭和 48 年道路橋示方書に準じて製作された RC 床版について、輪荷重走行試験の途中で静的載荷を行い床版下面から変位計により測定したたわみと、IIS 重錘落下たわみ法により推定した床版たわみ（衝撃）の比較である。両者の差は僅かであることから、IIS 重錘落下たわみ法により概ね床版たわみを推定可能である⁵⁾。図-付 2.3.5（中）は、ロビンソン型の鋼・コンクリート合成床版について、荷重車による静的載荷試験時の変位計によるたわみと FWD および IIS による重錘落下によるたわみの関係をキャリブレーションした事例⁶⁾である。測定方法ごとの差は僅かであり、床版上面から測定する重錘落下によるたわみ測定方法により、荷重車を用いた静的載荷試験とほぼ同程度の床版たわみを推定することができる。

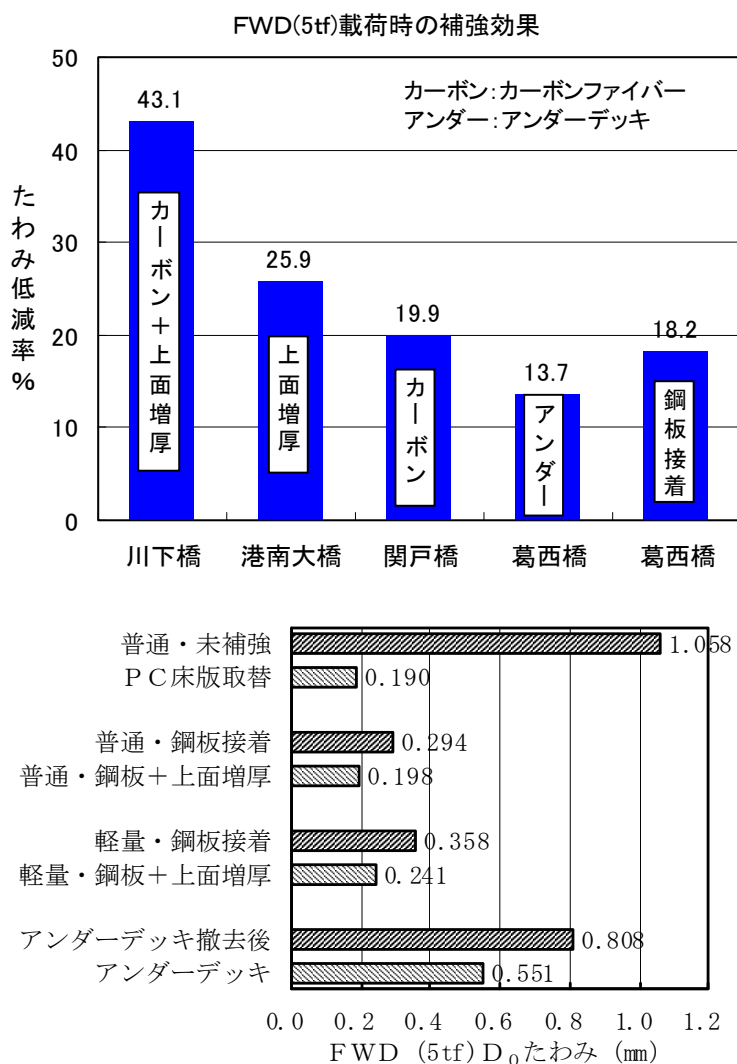


図-付 2.3.3 FWD を用いた重錘落下たわみ法による検討事例 (上: 文献1), (下: 文献2)



(a) 舗装用 FWD



(b) 東京都の床版専用 IIS

図-付 2.3.4 重錘落下たわみ測定機

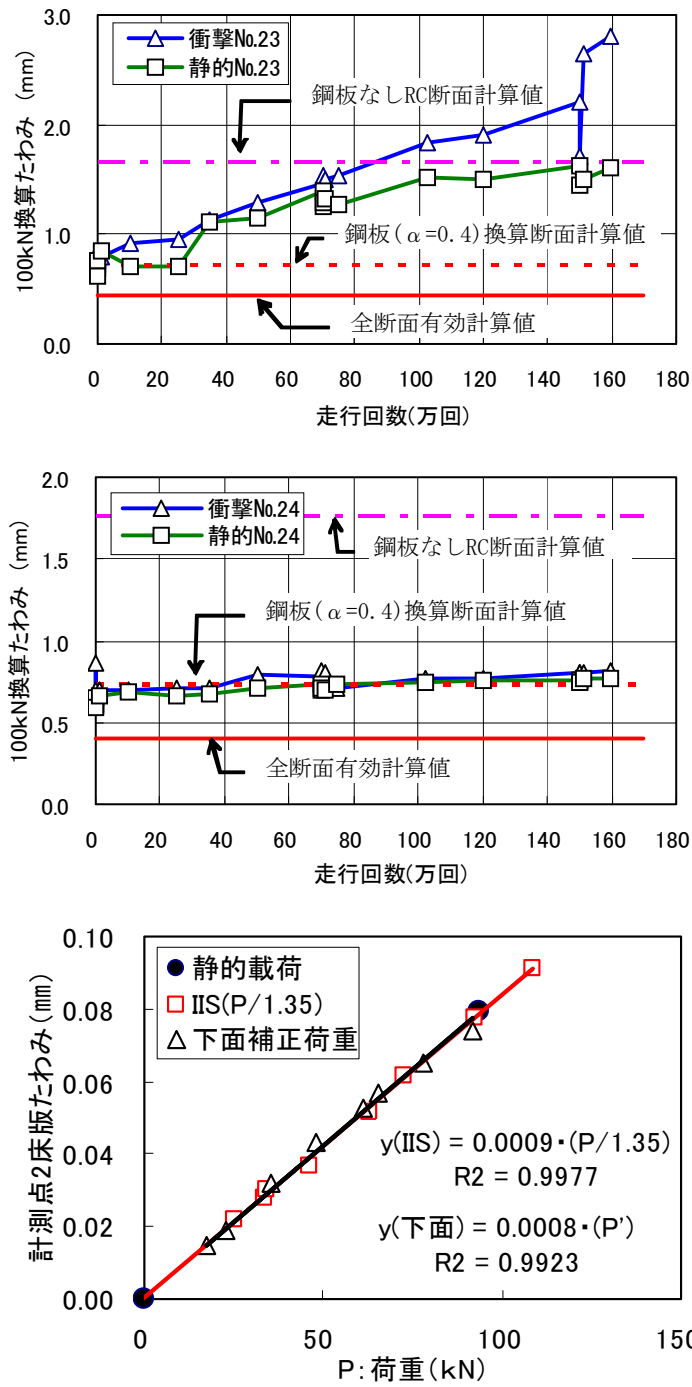


図-付 2.3.5 主桁の変位を考慮した衝撃たわみ法による検討事例 (上: 文献3), (中: 文献5)

(3) 荷重車による載荷試験

既設 RC 床版の健全性を直接的に評価する方法として、荷重車を用いた載荷試験により、床版たわみやコンクリート、鉄筋ひずみ等を測定する方法がある。一般的に荷重車としては図-付 2.3.6 に示すような散水車が使用され、重量を調整後、荷重車を図-付 2.3.7 に示すように測定位置に合わせて静止させた状態で計測する静的載荷試験と、荷重車を走行させて計測する動的載荷試験が行われる。

床版たわみの測定は図-付 2.3.8 に示すように主桁間に渡した不動梁と床版下面との相対変位を、高感度のひずみゲージ式の変位計で測定する。床版下面のひずみ測定では、図-付 2.3.9 に示すように、コンクリート面にひずみゲージを貼付して、載荷試験時のコンクリートひずみの変化を計測する。

鉄筋ひずみの測定は、図-付 2.3.10 のように部分的に鉄筋をはつり出し、ひずみゲージを貼付して行う。鉄筋のひずみゲージの貼付けの際は極力、はつり面積を小さくして床版を傷めないように留意し、載荷試験後は、はつり箇所を付着性能の良いパテ材（エポキシ樹脂）で補修するのがよい。また、代表的なひび割れの開口変位を測定するため、図-付 2.3.11 のようにパイ型変位計を用いた測定を行うこともある。



図-付 2.3.6 荷重車に載荷試験状況

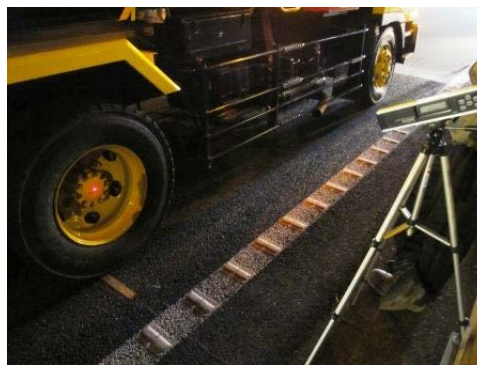


図-付 2.3.7 レーザーポインタによる位置調整



図-付 2.3.8 床版たわみの測定

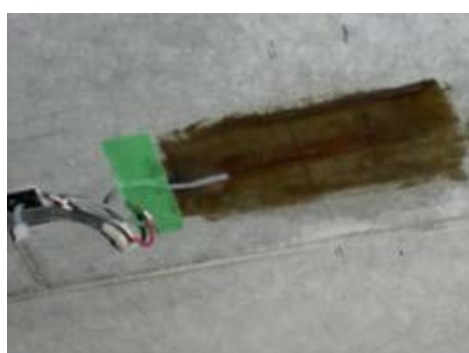


図-付 2.3.9 コンクリートひずみの測定



図-付 2.3.10 鉄筋ひずみの測定



図-付 2.3.11 ひび割れ開口変位の測定

3.1.2 舗装剥ぎ取り後の損傷調査

(1) 打音・目視調査

床版上面の浮きやはく離箇所は、舗装面のポットホールの発生原因となり、走行車両の安全性の確保や床版の耐久性に影響を及ぼすことが考えられる。このため、床版上面の浮きやはく離箇所を舗装撤去後の打音調査や目視調査により確認することは重要である。床版上面の調査では交通規制が必要となり、時間や作業ヤード等の制約を受ける場合が多いことから、舗装補修工事で既設の舗装を剥ぎ取った際に調査が行われることが多い。

打音調査は図-付 2.3.12 に示すように、テストハンマー（質量は重い方がわかり易い）によりコンクリート表面を打撃し、その時の反発音や反動からコンクリート面の浮きや、内部空洞などの内部損傷の有無を確認する手法である。コンクリートが健全な場合は、周波数の高い金属性の音色や反動が大きくなるが、コンクリートに浮きや空洞がある場合には、周波数の低い鈍い音色や反動が小さくなることで判定することができる。なお、打音調査とともにひび割れや鉄筋腐食状況、砂利化などの発生状況も目視調査し、劣化・損傷程度や範囲を確認する。図-付 2.3.13 に示すようなマーキングした損傷箇所は、舗装工事までにはつり取り、鉄筋の防錆処理とともに断面修復を行うものとする。

(2) コア採取

上面劣化等の変状の見られる床版において、打音や目視調査によって十分な情報が得られない場合には、劣化程度や劣化原因を特定することを目的として、できるだけ床版を傷めないように床版上面からコアを採取し、圧縮強度、静弾性係数、塩化物イオン含有量、残存膨張量などの各種試験を実施することがある。コア採取に当たっては、電磁波 RC レーダ等によって鉄筋位置を確認し、鉄筋を傷つけないように留意する必要がある。コアは、粗骨材の最大寸法を考慮して $\phi 50 \times 100\text{mm} \sim 75 \times 150\text{mm}$ 程度とすることが多いが、コア採取による床版の損傷を少なくするために、近年、 $\phi 50\text{mm}$ 以下の小径コアによりコンクリートの強度を推定する方法も提案されている。コアは図-付 2.3.14 に示すようにダイヤモンドコアカッターを用いて採取する。採取したコアについて、表面や採取孔を観察し（図-付 2.3.15）、内部ひび割れやコンクリートの品質について、目視調査を行うこともできる。なお、コア採取箇所は、清掃後に無収縮モルタル等で補修を行うものとする。



図-付 2.3.12 打音調査および目視調査



図-付 2.3.13 損傷箇所のマーキング



図-付 2.3.14 コアボーリング



図-付 2.3.15 採取孔の目視調査

3.2 その他の調査項目

床版の調査項目として、床版下面のひび割れ、かぶり厚、鉄筋位置、浮き・はく離、塩化物イオン含有量、中性化深さ、残存膨張量、コンクリートの圧縮強度、静弾性係数、鉄筋腐食、試料分析などがある。ほとんどが床版に特化した調査方法ではないことから、前述した日本コンクリート工学会が出版している「コンクリート診断技術」を参照されたい。ここでは、床版で研究的に実施されている調査項目について紹介する。

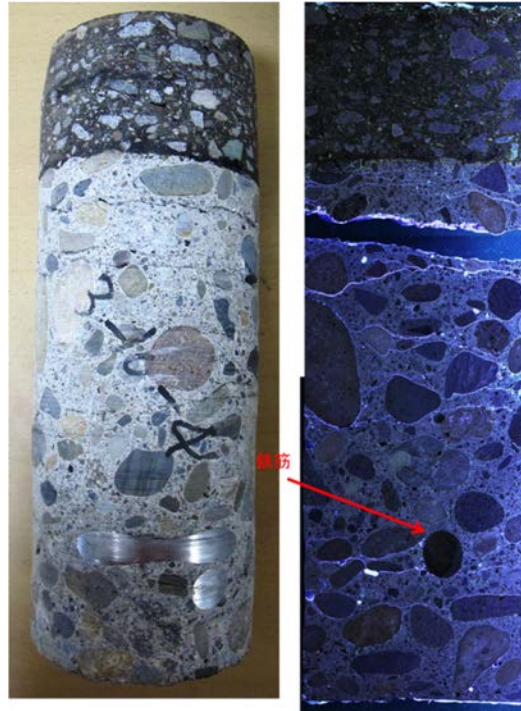
3.2.1 コンクリート床版に発生した水平ひび割れ調査方法

(1) コア採取法

コンクリート中の微細ひび割れや水平ひび割れを調査するには、コア (ϕ 50mm~100 mm) 試験体を採取し、その試験体を持ち帰り、試験室で蛍光エポキシ樹脂等を微細ひび割れに含浸させ調査する方法 (図-付 2.3.16) がある。



(a) 真空脱泡の実施状況



(b) 蛍光エポキシ樹脂によるひび割れ観察

図-付 2. 3. 16 微細ひび割れ調査法

(2) 小口径削孔法 (single i 工法)⁷⁾

コンクリート構造物に損傷をなるべく与えず、調査結果も調査現場で確認ができる方法が近年開発された。開発された微破壊試験法の作業フローを図-付 2. 3. 17 に示す。本微破壊試験は、調査箇所に $\phi 5\text{mm}$ の水循環式ドリルを用いて削孔した後、特殊樹脂を注入する。特殊樹脂の硬化に要する時間は約 20 分程度であり、その間は静置する。その後、同一箇所に $\phi 9\text{mm}$ の水循環式ドリルを用いて削孔を行う。削孔した穴を用いて工業用内視鏡 (ファイバースコープ) によりコンクリート内部の調査を行う。したがって、調査に用いる穴は最大 $\phi 9\text{mm}$ であり、コンクリート構造物には損傷が小さいと言える。調査のイメージを図-付 2. 3. 18 に示す。また、調査結果を図-付 2. 3. 19 に示す。この調査方法は、動画から静止面に合成する技術で、報告書を作成しやすくなっている。また、従来の方法では、調査範囲の制限があるが、本調査方法は、最大で 7m 程度まで調査することが可能な技術である。

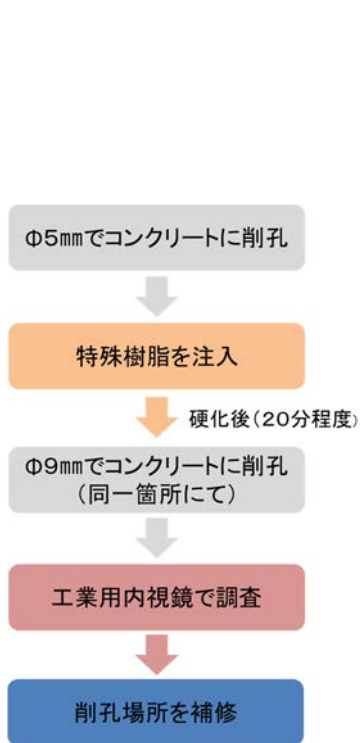


図-付 2. 3. 17 微破壊試験法のフロー

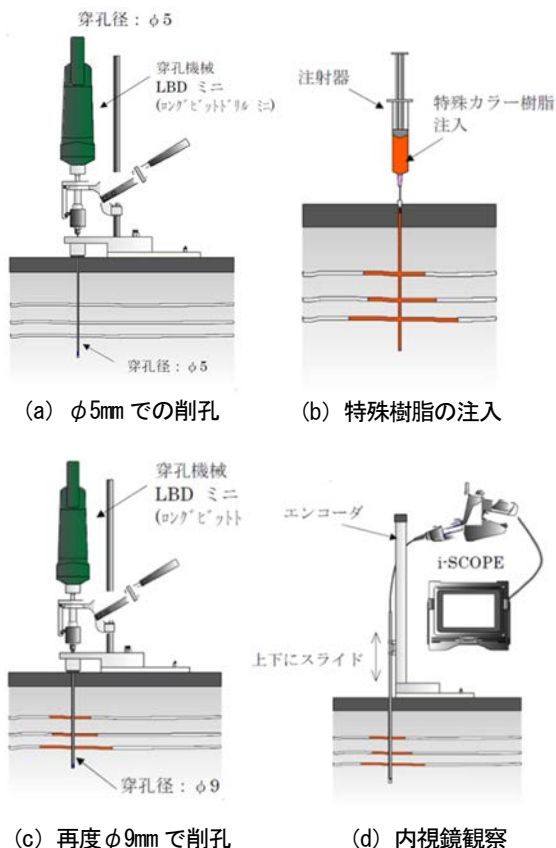
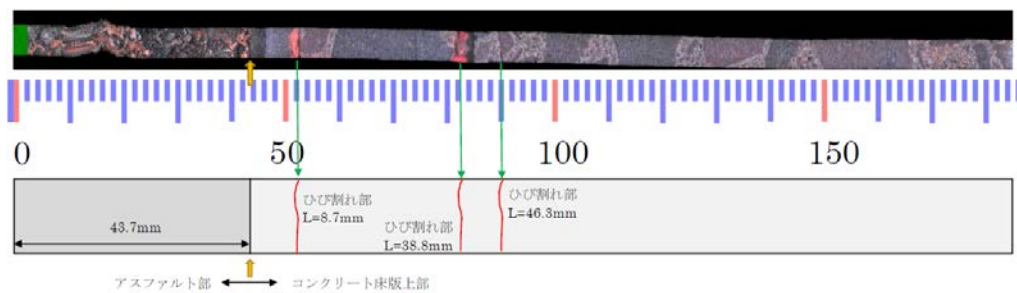


図-付 2. 3. 18 微破壊調査法の実施イメージ



(a) 直視レンズによる測定結果 (b) ひび割れ幅の測定結果



(c) 動画処理によるひび割れ展開図の作成

図-付 2. 3. 19 微破壊調査法の測定結果

(3) 衝撃弾性波法

衝撃弾性波法は、ハンマーなどによる打撃により生じた弾性波を、コンクリート表面に設置した振動子や AE センサにより受振し、コンクリート内部の空隙や部材厚を評価する方法である。

1) 計測原理

衝撃弾性波法は、ハンマー等でコンクリート表面に打撃を加えて変形を与えることで発生する波（衝撃弾性波法）がコンクリート中を伝播した時の振動応答を調べることによって、コンクリート内部の情報を間接的に得る方法である。超音波法が 20kHz 以上の周波数を使って行う手法に対して、衝撃弾性波法は打撃方法にもよるが主に 20kHz までの周波数帯域の低い周波数の波を使用する。コンクリートは、材料的に不均一であり、超音波の減衰が大きくなるが、衝撃弾性波法の場合は、減衰の小さい低周波数を使用し、大きなエネルギーを与えることができるため、より遠くまで伝播させることができる。

2) 適用範囲

衝撃弾性波法は、超音波法と比較して、入力する弾性波のエネルギーが大きく波長が長いいため、コンクリート中の骨材や微小空隙等による減衰の影響を受けにくい。したがって、伝播距離を長くすることが可能であり、受信子で捉えた反射波の周波数分析することにより、部材の厚さ、空洞、はく離面の検出に適用されている。

3) 機器

衝撃弾性波法の測定システムは、図-付 2.3.20 のように振動センサ（加速度センサ、AE センサ等）、アンプおよび波形記録・表示装置により構成される⁸⁾。



図-付 2.3.20 測定機器例⁸⁾

4) 測定手法

衝撃弾性波法のうち、代表的な測定方法としてインパクトエコー法がある。この方法では、図-付 2.3.21 のように部材表面と底面との間、あるいは部材表面と内部空隙との間でそれぞれ縦波の共振現象が生じることに着目し、受信波スペクトルにおけるピーク値から内部空隙の評価を行う⁹⁾。この方法は、内部空隙がない場合は、板厚に相当する縦波共振周波数が明確なピークとして現れる。内部空隙がある場合は、板厚に相当する周波数よりもさらに高い周波数領域に、部材表面から空隙までの距離に相当する縦波共振周波数が現れる。このように、周波数ピークの変化に着目することによって、内部空隙の把握が可能である。

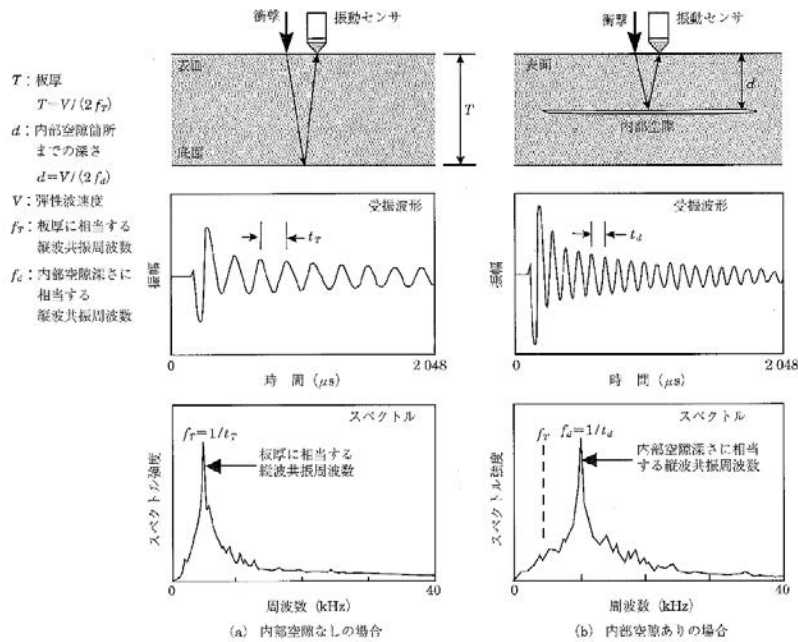


図-付 2.3.21 衝撃弾性波法による内部空隙検出の原理⁹⁾

5) 評価方法

衝撃弾性波法の評価パラメータとしては、伝播時間および受振波形の周波数分析からコンクリート内部の欠陥の評価を行う方法がある。

6) 適用例¹⁰⁾

増厚界面が部分的にはく離れた実橋床版について、はく離れた界面へ樹脂注入補修を行い、樹脂の充てん状況を確認するために図-付 2.3.22 に示す衝撃弾性波法による調査を行った。施工前調査では、35 測点のうち 20 測点で床版内部欠陥ありと判定され、これは床版上面からのたたき点検で異常音を確認されたエリアと概ね一致していた。樹脂注入後にこの 20 測点の注入状況を衝撃弾性波法により測定したところ、19 測点で樹脂が充てんされていることが確認された。このうち、代表的な樹脂注入前後の波形を図-付 2.3.23 に示す。注入前に欠陥箇所を確認されたピーク値が、注入後になくなっており、床版内部が樹脂で充てんされていることが推定される。



図-付 2. 3. 22 衝撃弾性波法による調査状況

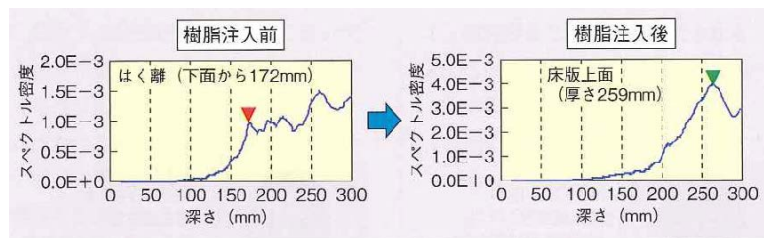


図-付 2. 3. 23 代表的な樹脂注入前後の分析波形

参考文献

- 1) 関口幹夫 (1997) : RC 床版補強工法の評価について, 第 22 回日本道路会議論文集, pp.1034-1035.
- 2) 関口幹夫, 宍戸薫, 今里光夫 (2000) : 供用 30 年間の RC 床版の追跡調査結果, 平成 12 年東京都土木技術年報, pp.55-66.
- 3) 関口幹夫 (2005) : 重錘落下たわみによる RC 床版の健全度評価要領(案), 平成 17 年東京都土木技術年報, pp.257-262.
- 4) 関口幹夫, 横山広, 堀川都志雄 (2008) : リブ付き多層版解析による各種補強床版の実測たわみの評価, 土木学会構造工学論文集, Vol.54A, pp.442-451.
- 5) 関口幹夫, 橋原正周, 橘吉宏(2010) : 24 年供用した鋼コンクリート合成床版の重錘落下たわみ法による評価, 平成 22 年東京都土木技術支援・人材育成センター年報, pp.111-122.
- 6) 関口幹夫, 佐々木俊平 (2007) : IIS による各種床版の健全度評価, 平成 19 年都土木技術センター年報, pp.229-240.
- 7) 谷倉泉, 渡邊晋也 (2015) : コンクリート内部に発生した微細ひび割れの微破壊試験法に関する研究, 建設機械施工 Vol.67, No.9, pp.81-85.
- 8) <https://fujjengi.co.jp/>
- 9) 鎌田敏郎 : 講座 第 4 回ひび割れ・はく離・空洞 (その 2), プレストレストコンクリート, Vol.47, No.4, 2005.
- 10) 「非破壊検査を用いた上面増厚床版内の損傷検知」, EXTEC, No.83, pp45-49.