

活用事例⑤：凍害により材料劣化が生じた橋梁上部工（床版）の評価事例

1. 概要

1.1 対象構造物の概要

構造形式：単純非合成鋼鈑桁橋

橋 長：49.0m， 支間長：47.9m

供用開始：1975 年（昭和 50 年）

設計基準：昭和 48 年道路橋示方書

環境条件：積雪寒冷地に架橋された道路橋

スパイクタイヤの使用規制に伴い，1991 年から凍結防止剤が本格的に散布

使用材料：AE 普通ポルトランドセメント（RC 床版）

交差条件：河川（桁下空間の利用なし）

1.2 維持管理計画

設計耐用期間：100 年

維持管理区分：構造物や路線の重要度，残存供用期間等を考慮して事後維持管理と設定

1.3 全体的な流れ

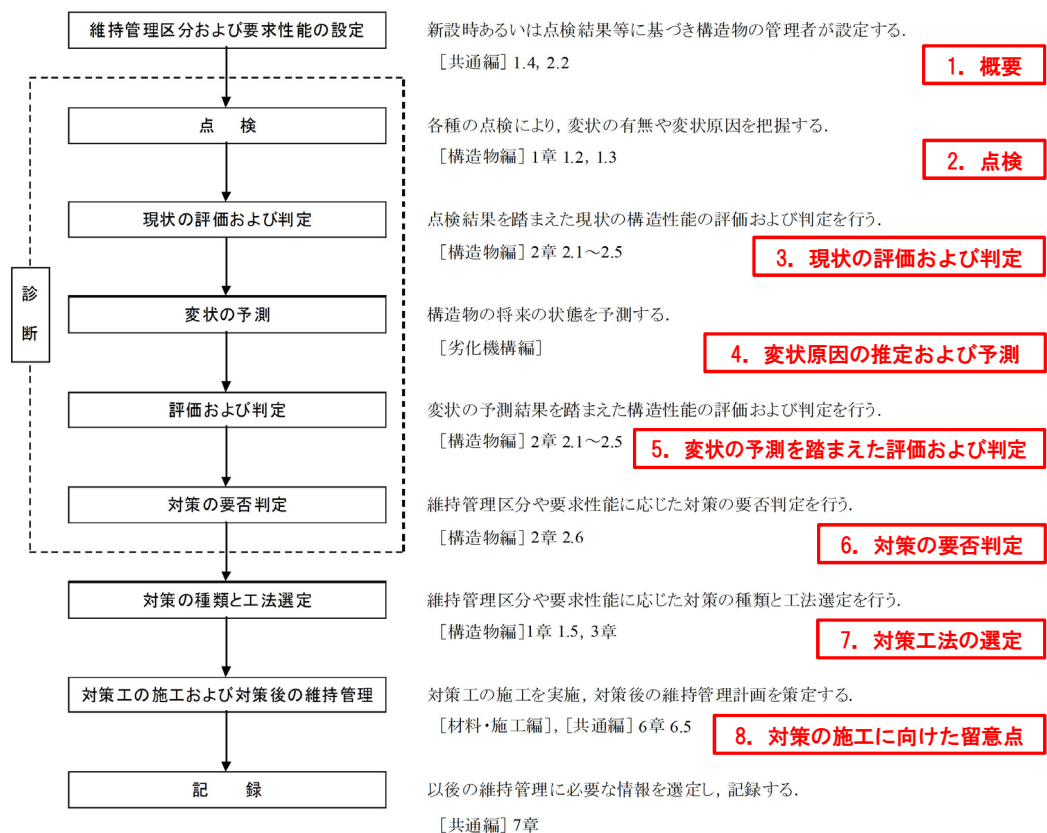


図 1.1 対策に至るまでの全体的な流れ※1

※1 本指針 [構造物編] p.1. 図－1.1.1

2. 点検

2.1 点検概要

近接目視点検による外観変状調査を実施した。ここで、点検を実施するにあたっては本指針〔構造物編〕の重点点検箇所を留意して行った。

2.2 点検結果

本例は RC 床版端部の水溜まり部（縦横断勾配の低い位置）に生じた部分的な変状である。

RC 床版の重点点検箇所の点検結果から、床版上面表層部の砂利化が予想されたため、舗装面の変状部を部分的に撤去し、床版上面の状態を確認した。

また、橋面防水設置の履歴がないことから未防水である可能性が高く、凍結防止剤の散布による塩化物イオンの浸透によって塩害も生じていることが予想されたため、塩化物イオン量の調査も行った。

その結果、床版上面の鉄筋位置程度の深さまで砂利化が認められたものの、砂利化部近傍の健全部から採取したコンクリート試料には、床版上面の鉄筋位置に現行の諸基準において安全側に設定されている腐食発生限界値である 1.2 kg/m^3 を超える塩化物イオン量は認められなかった（表 2.1、図 2.1 参照）。

表 2.1 床版上面の鉄筋位置における塩化物イオン量

調査年次	2018 年
塩化物イオン量 (kg/m^3)	0.9

RC 床版の重点点検箇所の点検結果

- 1) 床版上面における舗装の変状
アスファルト舗装面の一部に浮きおよびひび割れ、泥状化噴出物
- 2) 伸縮装置部
伸縮装置部に段差等の変状は認められない
後打ちコンクリートの無い構造形式である
- 3) 支点部
支承に沈下等の変状は認められない
- 4) 床版下面の変状
ひび割れ幅 0.1mm 程度の一方向ひび割れ（橋軸直角方向）が散見される程度
漏水や錆汁、うき、剥離等の変状は認められない
- 5) 排水装置部
排水ますに土砂詰まり等の変状は認められない

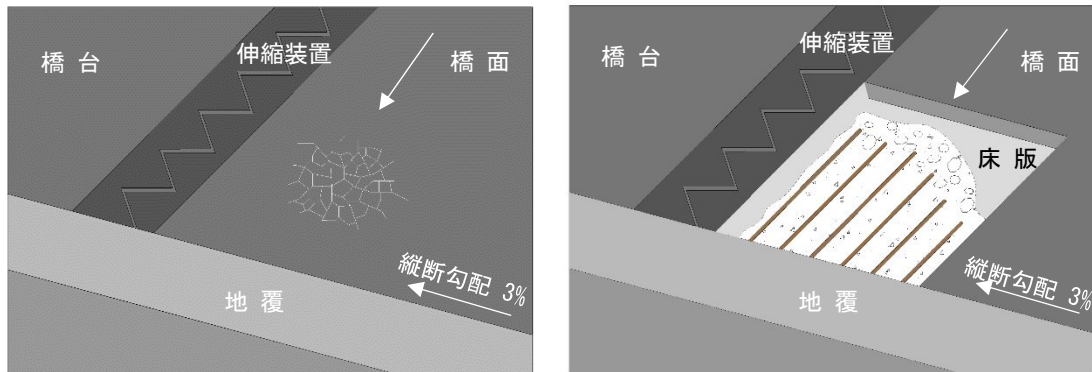


図 2.1 舗装の浮きとひび割れ（左図），舗装を撤去して判明した床版上面の砂利化（右図）

3. 現状の評価および判定

3.1 評価および判定の概要

近接目視点検の結果に基づいて、本指針[構造物編]の「2.5 構造性能の評価および判定」に示した構造性能評価判定表により行う(表 3.1 参照)。

表 3.1 構造性能評価判定表[R C床版]※2

構造性能評価判定													【環境作用および輪荷重の繰り返し作用による変状】																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
構造物	部位	変状 パターン	変状内容	想定される変状原因	外観変状の程度	現状の構造性能に対する評価										構造性能レベル (レベル1～4)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
						安全性					使用性																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
						部材の破壊・損壊		機能上の安全性			快適性		機能性																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
断面破壊	疲労破壊	安定限界	走行性限界	第三者影響度 限界	走行性限界	外観阻害	騒音振動数 の限界	水密性限界 気密性限界 透水性限界 など	安全性	使用性																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

※2 本指針[構造物編] p.130. 図一解 2.5.7(4)構造性能評価判定表(R C床版)

3.2 評価および判定結果

橋面防水の未設置に起因した床版上面鉄筋位置までの砂利化が生じているものの、鉄筋はごく表面的な腐食が生じている程度で断面の欠損まで至っていない。

したがって、表 3.1 に基づいて評価した場合には、安全性および使用性に対しては性能が低下している状態であると判断される。

この評価をもとに構造性能のレベルを判定すると、安全性に対してはレベル3、使用性に対してはレベル2となる。

4. 変状原因の推定および予測

4.1 変状原因の推定

変状の原因としては、①初期欠陥による変状、②外力や構造条件の変化などによる変状、③環境作用による変状が考えられる。

本変状は、橋面防水の未設置と排水不良（床版排水パイプの未設置）、凍結融解作用、輪荷重の繰り返し作用によって床版上面に砂利化が認められることから、②と③の外力および環境作用が原因と推定される。

4.2 変状の予測

床版の変状は、浸入した水により床版上面側に凍害が発生すると、輪荷重の繰り返し作用によってコンクリートが砂利化し、床版の有効厚さが減少することで押し抜きせん断耐力が低下して、交通量が少ないにもかかわらず疲労破壊に至る場合もある。ただし、この変状に対する予測手法は確立していない。

一方、凍結防止剤に含まれる塩化物イオンと凍結融解繰り返し作用の複合劣化および疲労現象と合わさることで進行が早まり、近い将来に次のステージに進展することが予測される。

5. 変状の予測を踏まえた評価および判定

5.1 評価および判定の概要

変状の予測を定量的に評価できないものの、近い将来に次のステージに進展するものと考えられることから、本指針[構造物編]の「2.5 構造性能の評価および判定」に示した構造性能評価判定表により行う(表 5.1 参照)。

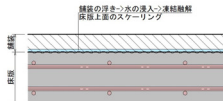
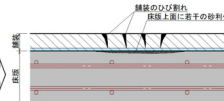
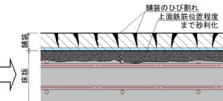
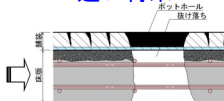
5.2 評価および判定の結果

表 5.2 に基づいて評価した場合、安全性は性能が不足している状態、使用性は性能が低下している状態であると判断され、構造性能レベルを判定すると安全性のレベル 4、使用性のレベル 3 となる(表 5.1 参照)。

表 5.1 変状パターンからの構造性能評価判定

	安全性		使用性	
	要求性能に対する評価	構造性能レベル	要求性能に対する評価	構造性能レベル
現時点(竣工後 43 年) 上面鉄筋深さまで砂利化	▲ (性能低下)	3	▲ (性能低下)	2
近い将来 コンクリートの砂利化・抜け落ち	× (性能不足)	4	▲ (性能低下)	3

表 5.2 構造性能評価判定表[RC 床版]※3

構造性能評価判定【環境作用および輪荷重の繰返し作用による変状】																			
構造物	部位	変状パターン	変状内容	想定される変状原因	外観変状の程度	現状の構造性能に対する評価												構造性能レベル (レベル1～4)	
						安全性			機能上の安全性			使用性			機能性				
						断面破壊	疲労破壊	安定限界	走行性限界 変形たわみ	第三者影響度 限界	剥落	走行性限界 変形たわみ	外観障害	騒音振動数 の限界	ひび割れ (有害)	水密性限界	気密性限界	遮断性能限界 など	安全性
		e-1	舗装面の変状	材料劣化(凍害) 疲労	舗装の浮き (床版上面のスケーリング)	—	●	—	●	●	●	●	—	—	—	1	1		
		e-2			舗装の浮きおよびひび割れ (床版上面表層部の砂利化)	—	▲	—	●	●	●	●	●	●	—	—	—	—	—
		e-3			舗装の浮きおよび亀甲状のひび割れ (上面鉄筋深さまで砂利化)	—	▲	—	▲	▲	▲	▲	▲	—	—	—	3	2	
		e-4			舗装のポットホール・陥没 (コンクリートの砂利化・抜け落ち)	—	×	—	×	×	×	×	×	×	—	—	—	4	3
近い将来  図e-1 舗装の浮き  図e-2 舗装の浮き・ひび割れ  図e-3 舗装の浮き・亀甲状のひび割れ  図e-4 舗装ポットホール・陥没 *疲労破壊に対する構造性能レベル(安全性)は、床版の供用年数も勘案し評価・判定すること。  写真1 亀甲状のひび割れ  写真2 ポットホール 要求性能に対する評価(構造性能への影響度) ●: 影響なし(要求性能を満足している) ▲: 影響あり(性能が低下している) ×: 性能不足(性能が不足しているか、その可能性がある) 構造性能レベル レベル1: 性能に影響はないが、外観変状が認められる レベル2: 性能は低下しているが、補修で性能回復が可能 レベル3: 性能は低下しているが、大規模補修や補強で性能回復が可能 レベル4: 性能が低下し、性能不足となっている																			

※3 本指針 [構造物編] p.130. 図一解 2.5.7(4)構造性能評価判定表 (RC 床版)

6. 対策の要否判定

以上より、近い将来に構造性能レベルが4となるものと考えられる。

耐用期間内に構造性能レベルが4となり、供用制限・解体撤去（または更新）が必要となる可能性が高いため、レベル3の段階で安全性（疲労破壊、変形・たわみ、剥離）と使用性（変形・たわみ、ひび割れ（有害））に対する性能の回復を目的とした対策を速やかに講じるものとする（表 6.1 参照）。

表 6.1 維持管理区分と構造性能レベルに応じた対策工の関係※4

		維持管理区分		
		維持管理区分 A (予防維持管理)	維持管理区分 B (事後維持管理)	維持管理区分 C (観察維持管理)
構造性能 のレベル	レベル 1	予防維持管理の場合 には、補修時期や効果 を検討した後に、 予算等の制約条件を 考慮した上で最適な 対策工を選択する。	①	①
	レベル 2		②	①
	レベル 3		③	①, ④ 現時点(竣工後 43 年)
	レベル 4		④	④ 近い将来

ここに、

1) 構造性能レベル

レベル 1：性能に影響はないが、外観変状が認められるレベル。

レベル 2：性能は低下しているが、補修で性能回復が可能なレベル。

レベル 3：性能は低下しているが、大規模補修や補強で性能回復が可能なレベル。

レベル 4：性能が低下し、性能不足となっているレベル。

2) 対策の種類

①：経過観察（無処置）・点検強化

②：補修（軽微）

③：補修（大規模）

④：供用制限・解体撤去（または更新）

※4 本指針〔構造物編〕 p.10. 表一解 1.5.1

7. 対策工法の選定

7.1 対策の種類

構造性能レベルに応じた対策の種類は、維持管理区分を「事後維持管理」とした場合にはレベル3では補修（大規模）となる。

補修（大規模）の場合の主たる適用範囲は、①構造物や部材の損傷による耐荷性能低下に対して行う耐荷性能の復旧対策、②コンクリート断面や部材に増加等、③供用制限、④解体・撤去である。

本例では RC 床版端部の水溜まり部（縦横断勾配の低い位置）に生じた部分的な変状であることから、②、③、④の対策は不要となる。

よって、①の構造物や部材の損傷による耐荷性能低下に対して行う耐荷性能の復旧対策を講じるものとする。

7.2 補修工法の選定

1) 部材（RC 床版）の損傷による耐荷性能の復旧

部材（RC 床版）の損傷（変状）の種類は、「剥離」と「鉄筋露出」である。鉄筋の腐食はごく表面的であるため補強の必要はないが、凍害によるコンクリートの組織が弛緩していることから、劣化部の除去と表面保護を目的として断面修復工法を適用する。

表 7.1 変状毎の補修工法の選定例※5

コンクリート構造物に適用される主な補修工法		コンクリート構造物に生じる代表的な変状				
		ひび割れ	剥離・剥落	鉄筋の露出・腐食	変色・遊離石灰	スケーリング
ひび割れ補修工法	表面被覆工法	○			△	
	ひび割れ注入工法	○			△	
	充填工法	△			△	
	浸透性防水材塗布工法	○			△	
表面保護工法	表面被覆工法	△	△	△	△	△
	表面含浸工法	△	△	△	△	△
	断面修復工法	△	○	○	△	○
電気化学的防食工法	電気防食工法			□		
	脱塩工法			□		
	再アルカリ化工法			□		
	電着工法	△		□		

○：一般的に適用される補修工法

△：要求性能によって適用されることがある補修工法

□：劣化機構によって適用されることがある補修工法

※5 本指針「構造物編」p.156. 表一解 3.1.1

ここで、凍害によるコンクリート組織の弛緩は、外観上からはその範囲や深さを判定することが難しいことに留意し、超音波伝播速度の測定（透過法や表面走査法）による相対動弾性係数を用いて判定する方法もある。

断面修復工法は、左官工法、吹付工法および充填工法に分類されるが、本例の補修対象は部分的であるため、人力施工が可能な左官工法を適用する。なお、補修工法の詳細や留意点については、本指針〔構造物編〕の「3.2 各種補修工法の概要」を参考にするとよい。

また、はつり方法に関しては、本指針〔構造物編〕 p.61 や本指針〔材料・施工編〕の「4.2 断面修復工」を参考にするとよい。

2) 劣化抑制対策

本例では、「橋面防水の未設置と排水不良（床版排水パイプの未設置）」に起因する変状であるため、橋面防水と水仕舞い対策（床版排水パイプの設置）も併せて行う。また、維持管理区分 B（事後維持管理）の橋であるものの、塩害による劣化も将来的（腐食発生限界値 1.2kg/m^3 以上）に生じる可能性があると予想されることや、凍害に関しても砂利化した範囲の現状復旧に加え、他の床版箇所にも問題がないことを確認した上で予防保全を目的とした劣化抑制対策を橋面全体に対して実施する。

橋面防水は、主に①塗膜系、②シート系、③吹付け、④これらを合わせた複合系等がある。

供用下での橋面防水は、施工性や交通量、橋の重要度から選定されるが、施工時間が夜間に制限される場合等では施工工程の少ない塗膜系が選ばれる場合が多い。本例においては、交通規制の時間的制約はないものとするが、高性能の防水を採用する特別な理由もないため「塗膜系の橋面防水工法」を選定する。

水仕舞い対策の選定については、本指針〔構造物編〕の「3.2.10 水仕舞い対策」を参考にするとよい。

8. 対策の施工に向けた留意点

8.1 補修材料の選定に対する留意点

本指針[材料・施工編]の「3 章 材料の品質」より、施工時期の制約等によって補修材料に求められる性能は異なることに留意する必要がある。特に低温環境下における左官工法では、「適応外気温」や「付着強度」の確認が重要となる。

また、RC 床版上面の補修では、補修材料の養生期間が長くなると交通規制期間も長くなるため、渋滞による社会的な損失や工事費の増大等にも考慮した材料を選定することに留意が必要である。

左官工法では、常温時は主にポリマーセメントモルタルや樹脂モルタルが使用され、いずれの材料も温度依存性が大きいポリマー成分が含まれるため、施工時や養生期間中の外気温が品質に与える影響が大きい。特に厳しい低温環境下で施工する場合には、①現地における供試体の作成により効果特性を調査、②低温硬化特性に優れるアクリル樹脂系材料を使用、③低温環境下の室内試験が実施されている補修材を使用する等の対策を講じるのがよい。

補修材料の選定にあたっては、本指針[材料・施工編]の「参.1 材料の性能試験結果」を参考にするとよい。

8.2 施工方法に対する留意点

本指針[材料・施工編]の「4 章 施工の留意事項」より、施工は積雪寒冷地においても適切な施工環境および施工後の要求性能を十分に確保するように実施しなければならない。特に断面修復工法は、以下に示すような工程毎に留意すべき対策を指定する必要がある。

- ① 材料は適切に管理・保管しなければならない。
- ② 施工の実施においては、気象条件や作業環境に十分な留意が必要である。
- ③ はつり工および下地処理は入念に行い、良好な施工条件を準備することが重要である。
- ④ 材料や工具の取り扱いについては、十分に把握していなければならない。
- ⑤ 要求性能を十分に発揮するように、所定の期間、適切な養生を実施する。

なお、施工時の留意事項については、材料に対する要求性能とともに設計図書や仕様書等に明確に記載する必要がある。

以上（技術指針の活用事例⑤）