

9．橋梁点検に関する技術向上

9．1 概要

北海道開発局では現在、約3,300橋（H19.4 現況台帳より、橋長2m以上）を管理している。これらの橋梁は、図9-1に示すように1960年代の高度成長期から札幌オリンピックまでに建設数が急増し、建設ラッシュ以降においても年間60橋程度の橋梁が建設されてきている。これらの橋梁は、図9-2（建設年不明橋梁を除く）に示すように供用50年を経過したものは現在4%程度であるが、20年後には60%、30年後には70%を超え、いわゆる老朽化橋梁が増加する見込みであり、今後、老朽化に伴い損傷が増加すると予想されることから点検の重要性が高まってきている。

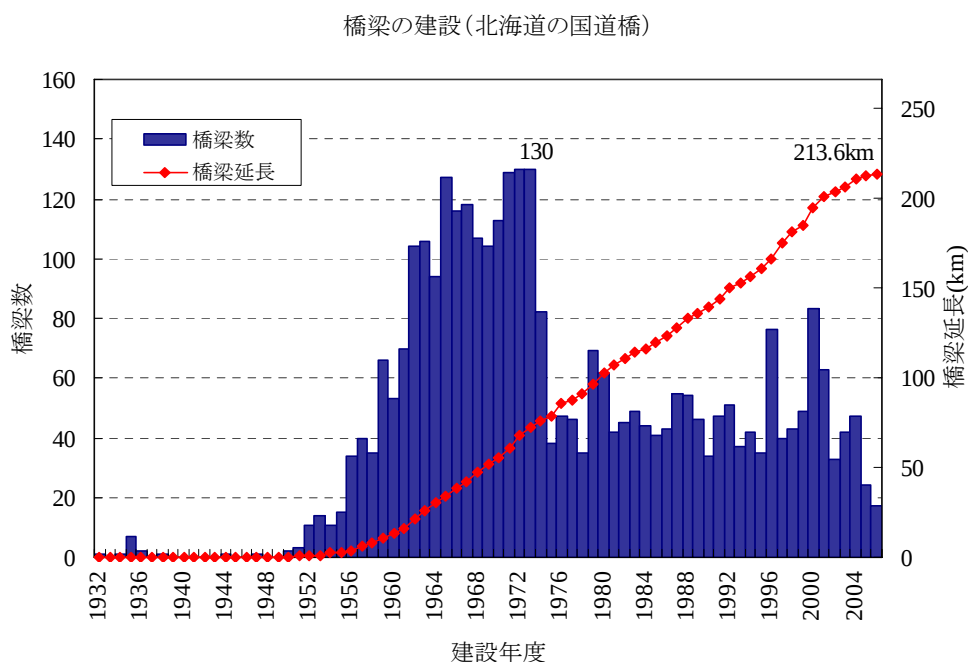


図9-1 北海道開発局の管理橋梁数

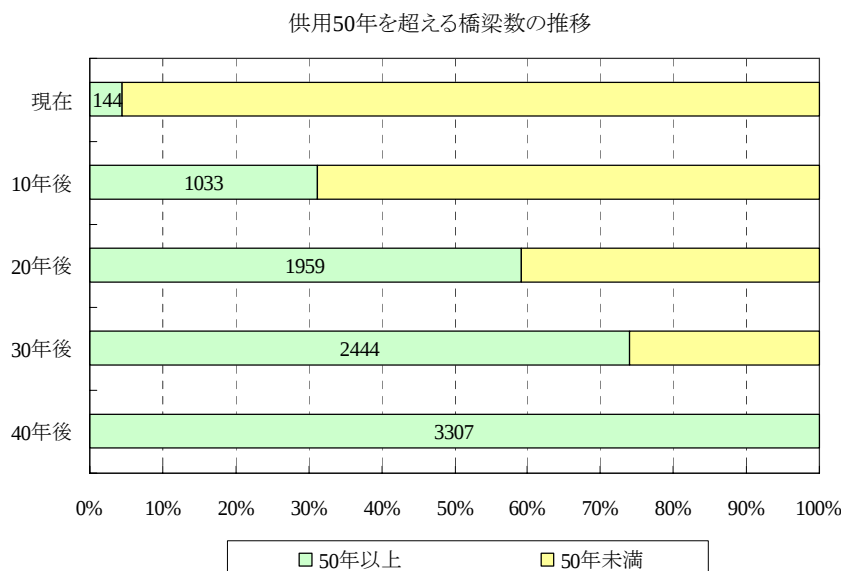


図9-2 供用50年を超える橋梁数の推移

北海道開発局では昭和 6 3 年より橋梁点検を実施している。(図 9 - 3)橋梁点検により発見されている損傷の出現率を図 9 - 4 に示す。損傷としては床版ひび割れ (40%)、コンクリート部材の損傷 (ひび割れ 13%、剥離・鉄筋露出 3%、遊離石灰 7%)、防食機能 (腐食 8%、塗装劣化 4%) となっており、全体の損傷の 75%に相当する。

点検は昭和 6 3 年に「橋梁点検要領」が規定され、平成 1 6 年に改訂された。S 6 3 では 1 0 年ごとの点検であったが、H 1 6 には「橋梁定期点検要領」が規定され 5 年ごとの点検頻度に改訂された。H 1 5 は新点検要領の試行として実施されている。

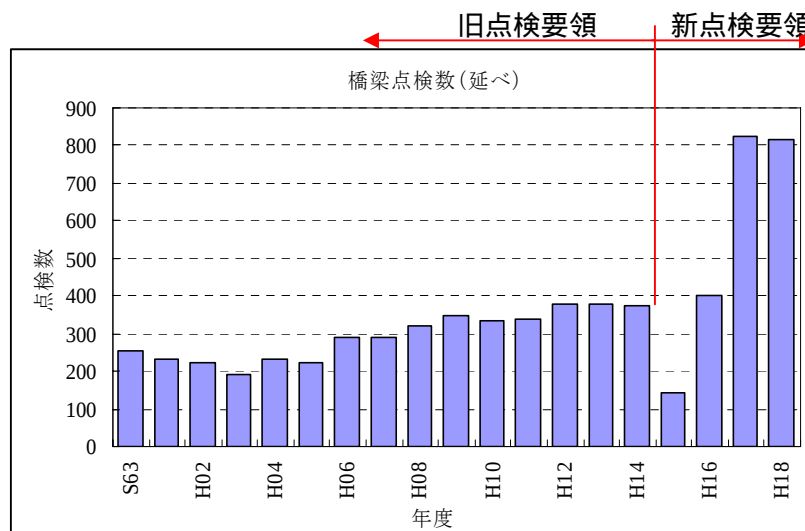


図 9 - 3 北海道開発局における橋梁点検実施数

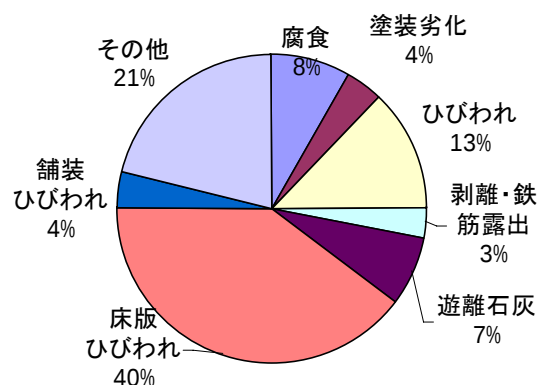


図 9 - 4 損傷の出現率

これらの損傷の原因として、
 床版ひび割れ (40%) …… 経年劣化、疲労
 コンクリート部材 (23%) …… 経年劣化、塩害、凍害、中性化
 防食機能 (12%) …… 経年劣化、他部材 (床版、伸縮など) の損傷による漏水等
 があげられる。橋梁点検結果からは損傷の原因が明らかにはならないが、北海道では海岸線沿いの道路が多く、特に塩害環境が厳しいと言われている日本海塩害にも多数の橋梁が建設されていることから、図 9 - 4 に示すコンクリート系の損傷 (ひび割れ、剥離・鉄筋露出、遊離石灰) には塩害の影響が多く含まれていると考えられる。

一方、図 9 - 5 は損傷が原因で架け替えられた橋梁の損傷原因の調査結果¹⁾である。

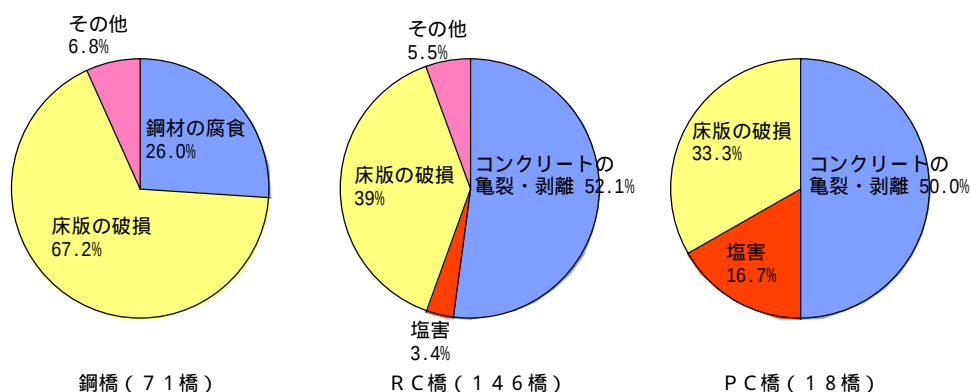


図 9 - 5 損傷が原因で架け替えられた橋梁の損傷原因

これによると鋼橋では床版の破損、腐食、PC・RC 橋ではコンクリートの亀裂(ひび割れ)剥離、塩害、床版の破損が主要因となっており、北海道の国道橋で多く出現している損傷と同様の傾向がうかがえることから、橋梁点検において特に床版ひび割れ、コンクリートの損傷(塩害の影響)、腐食に関しての点検・評価が重要であり、これらの損傷を的確に評価、診断、対策を行えば多くの架け替えは回避できると考えられる。

このことから、点検・診断における技術向上を目的として以下の項目について検討を行う。

塩害

(1) 塩害特定点検データの分析(北海道)

(2) 東北地方整備局における塩害調査

橋梁点検・診断における損傷評価

(1) 床版の診断(補修の必要性判定)の方法の検討

(2) 鋼部材の腐食判定(一般鋼材、耐候性鋼材)方法

9.2 北海道における塩分量調査

9.2.1 概要

北海道の国道は図9-6に示すように海岸線に沿って道路が形成されている。これに伴って、塩害の影響を受けやすい環境に多くの橋梁が建設され、今後塩害の影響を受けた橋梁の損傷が深刻化することが予想される。

塩害は飛来塩分などによって内部に塩化物イオンが侵入し鉄筋やPC鋼線が腐食して外観にひび割れなどの損傷として現れることが知られている。橋梁点検によって塩害の症状が発見された段階では既に相当量の塩分が浸透していることが多く、早期発見が重要である。これに対応して北海道開発局では、平成16年度より橋梁の特定点検として沿岸部にある橋梁のコンクリート内部の塩分量調査を実施している。本節では、平成16～17年に実施された函館開発建設部において実施された塩害特定点検結果を用いて、塩害の特性分析および橋梁点検（目視）による損傷との相関について検討を行い、今後の橋梁点検における塩害の早期発見の可能性について検討する。

9.2.2 塩害特定点検の分析

(1) 塩害特定点検

塩害特定点検は、塩害の影響地域（道路橋示方書）に位置するコンクリート橋を対象として、平成16年3月に国土交通省で点検要領作成し、目視点検、かぶり測定、コア採取による塩化物イオン試験を実施する調査である。点検頻度は、原則として10年毎に実施するもので、北海道開発局では、今後、100橋/年程度で実施する予定である。

(2) 対象とした塩害特定点検の対象橋梁の概要

塩害特定点検は、平成16年度には図9-6に示す80橋、平成17年度は図9-7に示す57橋を対象に実施された。



図9-6 平成16年度調査橋梁の位置図

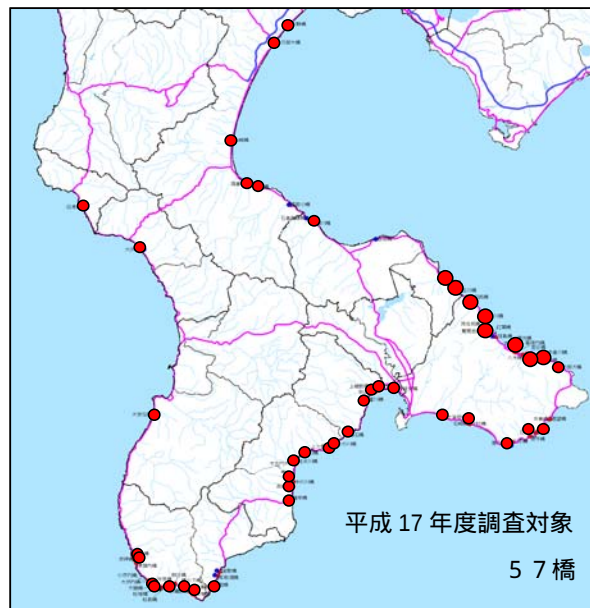


図 9 - 7 平成 17 年度調査橋梁の位置図

対象橋梁の供用年数を図 9 - 8 に、対象橋梁の海岸線からの距離を図 9 - 9 に示す。ただし、飛沫帯にある橋梁は検討対象外とする。

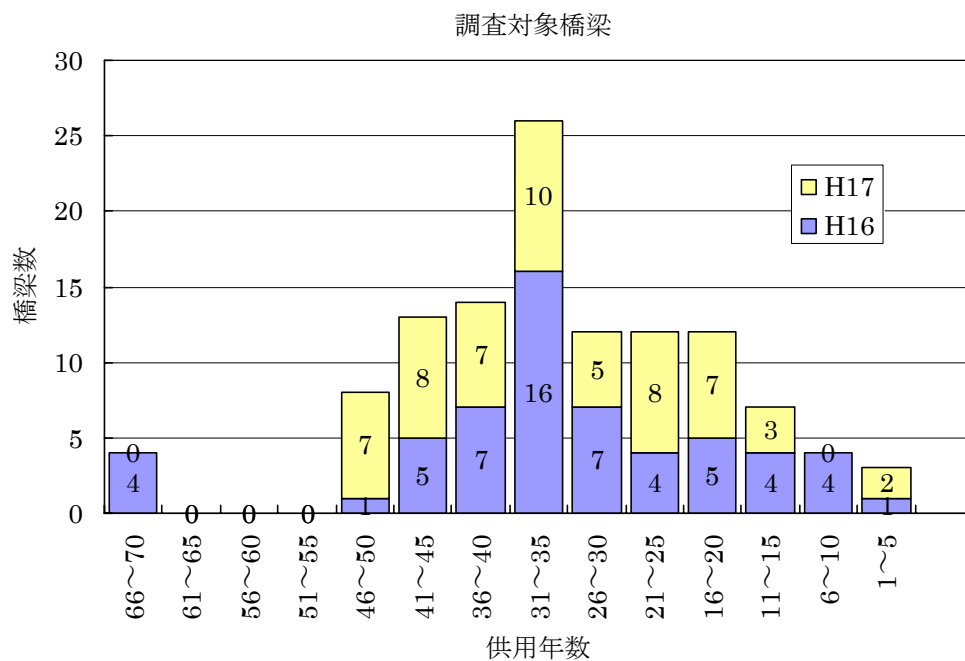


図 9 - 8 対象橋梁の供用年数

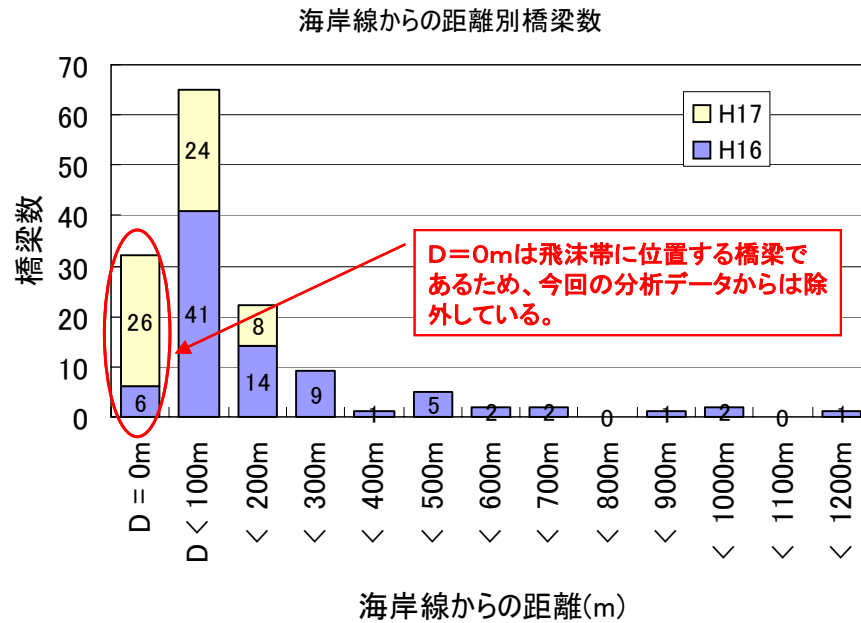


図 9 - 9 対象橋梁の海岸線からの距離

9 . 2 . 3 塩害特定点検結果の分析結果

(1) 塩化物イオン濃度の測定結果のまとめ

コンクリートコアの塩分量は鉄筋位置における塩化物イオン濃度を測定し、コンクリート表面の塩化物イオン濃度を推定した。

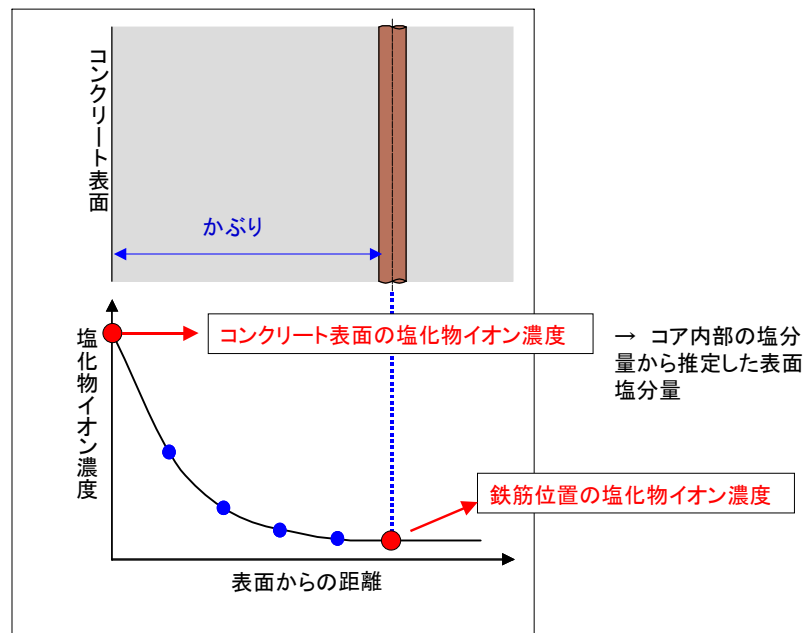


図 9 - 1 0 塩化物イオン濃度の測定位置

コンクリート表面の塩化物イオン濃度

1) 経年との関係

図 9 - 1 1 はコンクリート表面の塩化物イオン濃度と経年の関係をプロットしたものである。経年が大きくなるほどコンクリート表面の塩化物イオン濃度が高くなる傾向が見られる。また、日本海沿岸に厳しい傾向が見られる。

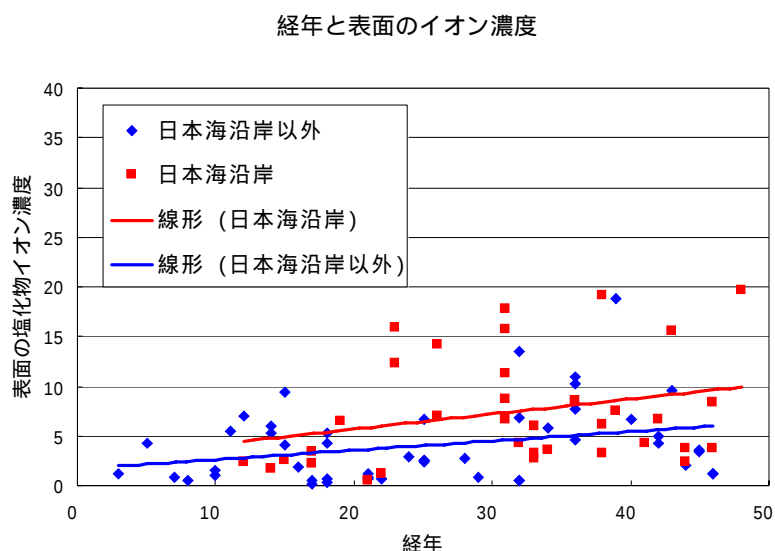


図 9 - 1 1 表面の塩化物イオン濃度と経年の関係

2) 海岸線からの距離との関係

図 9 - 1 2 は表面の塩化物イオン濃度と海岸線からの距離の関係を示したものである。海岸からの距離が近い方が、表面の塩化物イオン濃度が高い傾向があり、日本海沿岸に厳しい傾向が見られる。

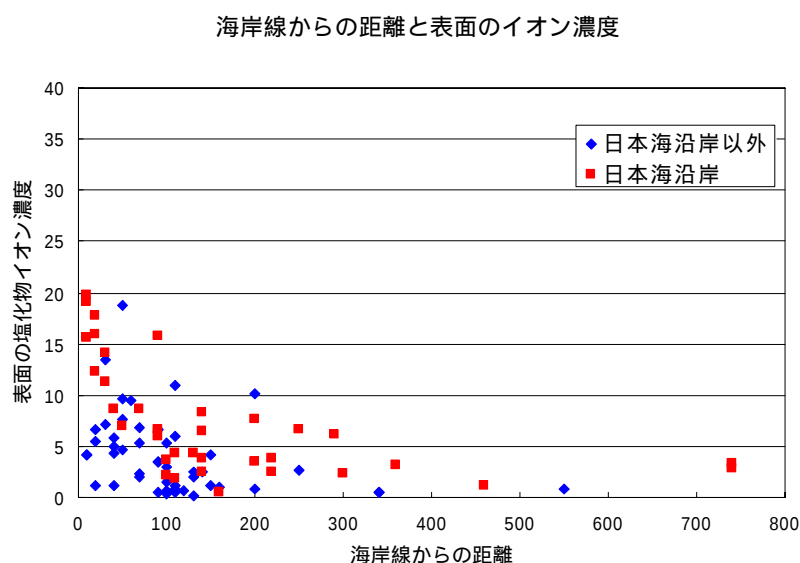


図 9 - 1 2 表面の塩化物イオン濃度と海岸線からの距離の関係

鉄筋位置の塩化物イオン濃度

図 9 - 1 3 は鉄筋位置の塩化物イオン濃度と経年の関係を示したものである。供用 2 5 ~ 3 0 年後で鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界(1.2kg/m^3)を超えるものが増えている。また、図 9 - 1 4 は海岸線からの距離との関係を示したものである。海岸線に近い方が、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界 (1.2kg/m^3) を超えるものが多い。いずれも日本海側に厳しい傾向が見られる。

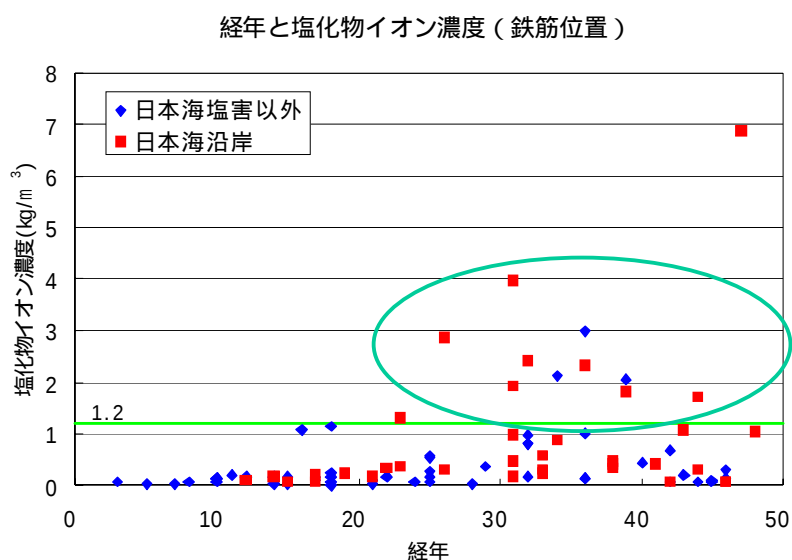


図 9 - 1 3 鉄筋位置の塩化物イオン濃度と経年の関係

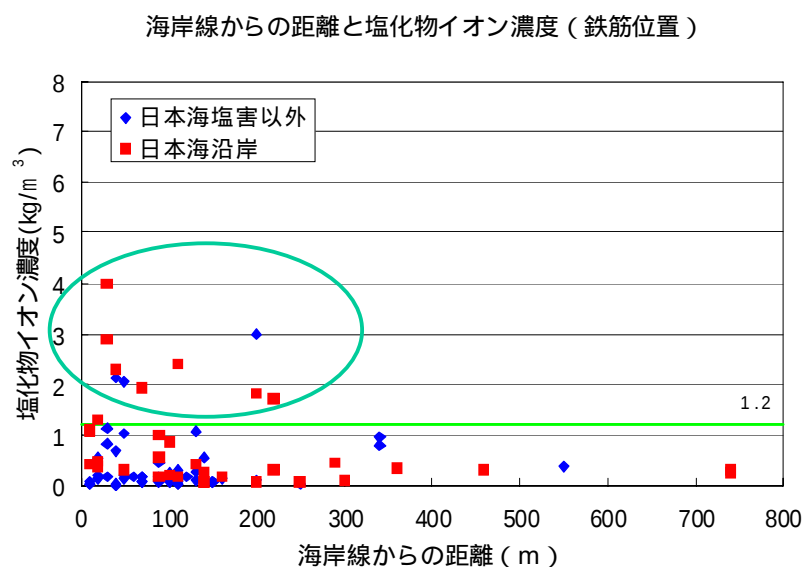


図 9 - 1 4 鉄筋位置の塩化物イオン濃度と海岸線からの距離の関係

鉄筋かぶりの影響について

図 9 - 1 5 に経年と実測かぶりの関係を示す。鉄筋かぶり（実測）は概ね 40mm～100mm 程度の範囲であり、経年で大きな変化は見られない。図 9 - 1 6 に海岸線からの距離と実測かぶりの関係を示す。海岸線からの距離との関係においても、鉄筋かぶり（実測）の大きな変化は見られない。

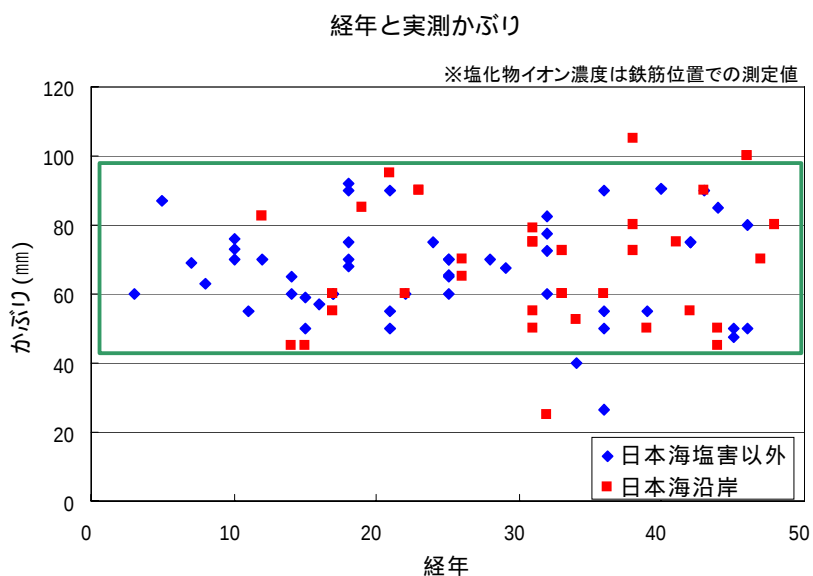


図 9 - 1 5 経年と実測かぶりの関係

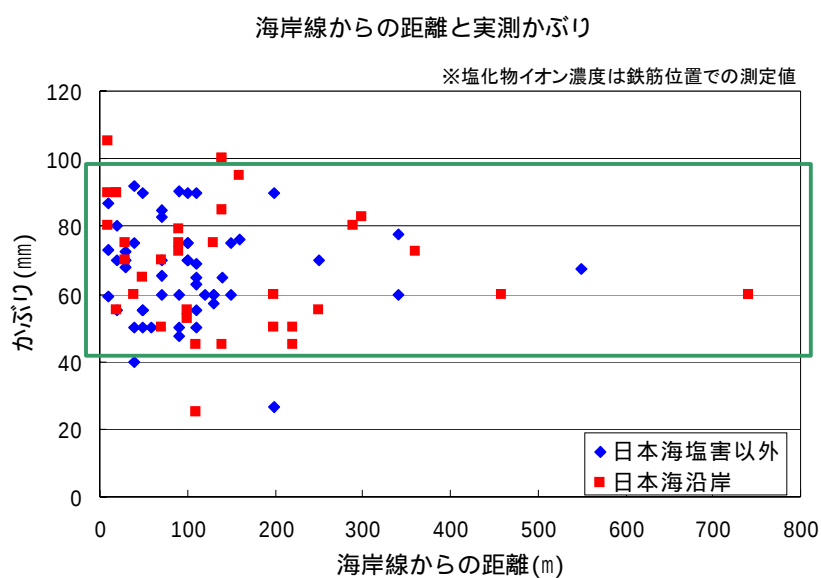


図 9 - 1 6 海岸線からの距離と実測かぶりの関係

鉄筋かぶり別にみた鉄筋位置の塩化物イオン濃度

鉄筋位置の塩化物イオン濃度と海岸線からの距離の関係について、鉄筋かぶり別に

図 9 - 1 7 ~ 図 9 - 1 9 に示す。鉄筋かぶり（実測）70mm 以上では、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界（ $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ）を超えるものはほとんどない（

図 9 - 1 7 ）。鉄筋かぶり（実測）50mm 以上 70mm 以下では、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界（ $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ）を超えるものがある（図 9 - 1 8 ）。鉄筋かぶり（実測）50mm 以下では、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界（ $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ）を超えるものが多い（図 9 - 1 9 ）。

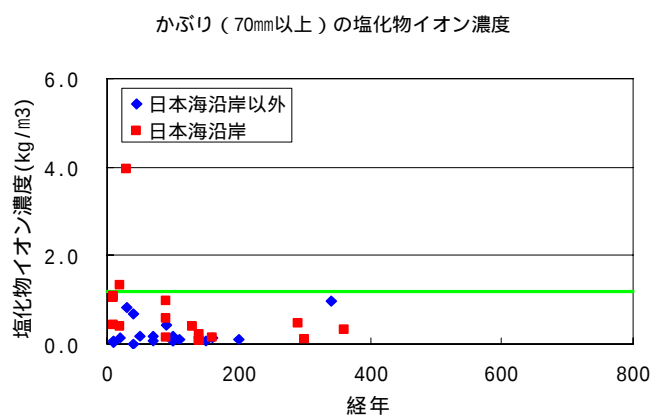


図 9 - 1 7 かぶり（70mm 以上）の塩化物イオン濃度

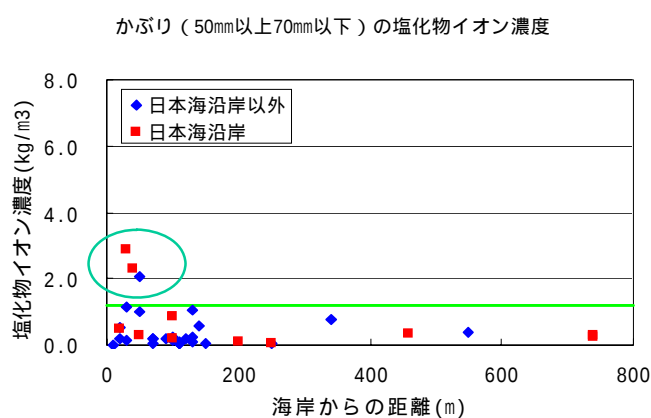


図 9 - 1 8 かぶり（50mm 以上 70mm 以下）の塩化物イオン濃度

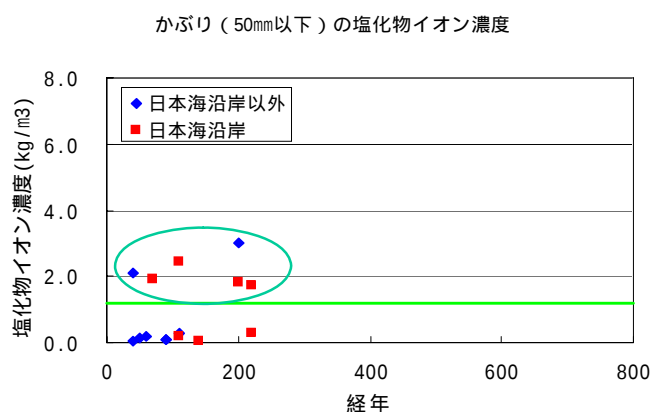


図 9 - 1 9 かぶり（50mm 以下）の塩化物イオン濃度

(2) 塩化物イオン濃度調査のまとめ

- ・コンクリート表面の塩化物イオン濃度は、海岸線からの距離が近いほど、また経年数が大きくなるほど、大きくなっている傾向が見られた。また、日本海側の方が大きくなっている傾向も見られた。
- ・鉄筋位置の塩化物イオン濃度は、海岸線からの距離が近いほど、経年数が大きくなるほど、発錆限界 (1.2kg/m^3) を超える橋梁が多くなっている。また、鉄筋かぶりの小さい橋梁ほど、発錆限界 (1.2kg/m^3) を超える橋梁が多くなっている。

データ数が少ないこと、得られているデータは下部工のみであること（今後は上部工のデータも得られていく予定）などから、今回は十分な分析結果が得られていないが、経年数の大きな橋梁、海岸線近くの橋梁では、実際に塩化物イオン濃度の高いものが多く、また日本海側の方が厳しい環境である傾向も見られた。塩害に対する早期の調査・対策が重要であると言える。

9.2.4 目視点検による損傷区分と塩化物イオン濃度

(1) ひび割れ

ひび割れに関して、塩化物イオン濃度と橋梁点検（目視）の損傷ランクを比較して図9 - 20に示す。鉄筋位置の塩化物イオン濃度が高いほど、「ひびわれ」の損傷ランクが高くなるという傾向（図9 - 20中の ）に対して、 のデータが存在する。

- ：塩分量が多いのに損傷ランクが低い。
- ：塩分量が少ないのに損傷ランクが高い。

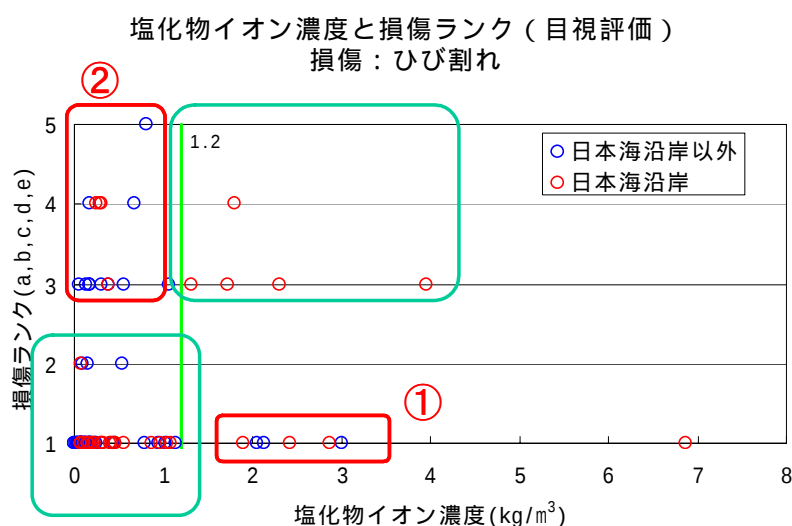


図9 - 20 塩化物イオン濃度と損傷ランクの比較（ひび割れ）

(2) 剥離・鉄筋露出

剥離・鉄筋露出に関して、塩化物イオン濃度と目視評価による損傷ランクを比較して図 9 - 2 1 に示す。鉄筋位置の塩化物イオン濃度が高いほど「剥離・鉄筋露出」の損傷ランクが高くなるという傾向（図中の ）に対して、 のデータが存在する。

：塩分量が少ないのに損傷ランクが高い。

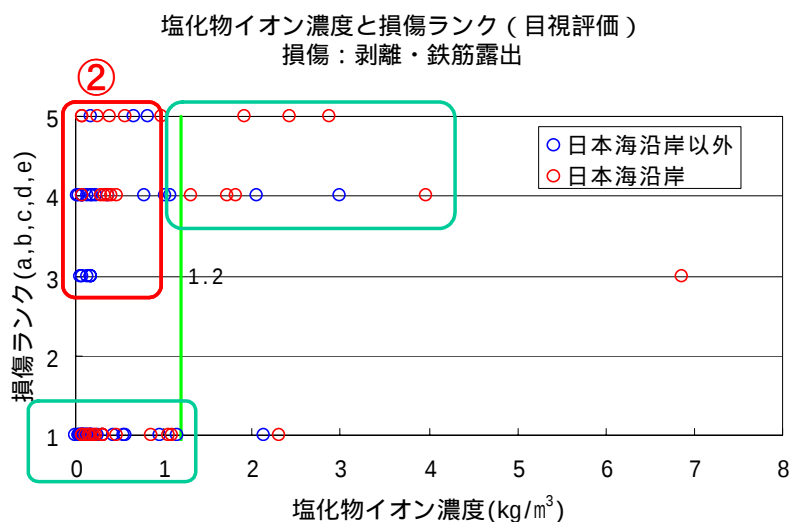


図 9 - 2 1 塩化物イオンと損傷ランクの比較（剥離・鉄筋露出）

(3) 比較のまとめ

今回のデータからは有意な相関が見られなかった。その原因としては以下が考えられる。

- ・塩分量が少なくても「ひびわれ」の損傷ランクの高いものは、「かぶり不足」などの施工に起因するものもある。
- ・鉄筋かぶりが十分に確保されていて表面に表れる「損傷ランク」が低い場合でも、内部の塩化物イオン濃度が高い場合がある。したがって、目視点検だけでは早期発見が困難である。
- ・北海道では塩害と凍害の「複合劣化」も重要な課題であるが、目視点検項目は「ひびわれ」と「剥離・鉄筋露出」であり、劣化初期の軽微な「スケーリング」などの状況が損傷ランクに反映されていない。

【塩化物イオン濃度が高くても、表面的な損傷が見られない例：函館開建の橋梁】



コア採取による
塩化物イオン濃度
13.9 kg/m³

9.2.5 まとめ

塩害特定点検データより、以下の事項が得られた。

- ・経年数の大きな橋梁、海岸線近くの橋梁では、実際に塩化物イオン濃度の高いものが多く、また日本海側の方が厳しい環境である傾向も見られた。
- ・鉄筋かぶりの小さな橋梁ほど、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が発錆限界（ $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ）を超える橋梁が多くなっている。

「目視による損傷ランク」と「塩化物イオン濃度」の関係より、以下の事項が得られた。

- ・塩分量が少なくても「ひびわれ」の損傷ランクの高いものは、「かぶり不足」などの施工に起因するものもある。
- ・鉄筋かぶりが十分に確保されていて表面に表れる「損傷ランク」が低い場合でも、内部の塩化物イオン濃度が高い場合がある。したがって、目視点検を基本とした橋梁点検だけでは早期発見が困難であり、定期的な塩分量調査が必要である。
- ・目視点検項目は「ひびわれ」と「剥離・鉄筋露出」であり、劣化初期の軽微な「スケーリング」などの状況が損傷ランクには反映されていない。
- ・「定期点検（目視点検）」だけで塩害の劣化を予測することは難しく、「塩害特定点検」とリンクして、早めの調査・対策を行うことが重要である。

9.3 東北地方整備局における塩害調査

9.3.1 概要

従来、コンクリート中に鋼材はコンクリートが強アルカリを示す材料であることから腐食に対して耐久性が高いと考えられてきた。しかし、1970年代には山形県の国道7号線で剥離やひび割れ補修が行われた際にかぶり位置に相当量の塩分浸透が確認され、それらの損傷が波しぶきや潮風による塩分の浸透に起因するものと判明し、沿岸部におけるコンクリート構造物の塩害が着目された。東北地方整備局管内酒田工事事務所管内（現酒田河川国道事務所）は日本海沿岸部に位置し、厳しい塩害環境にある同当事務所では塩害により15橋がすでに架け替えられている。さらに建設後5年程度で塩害の影響が見られ始めた橋梁に対し、塗装（表面被覆）による応急対策を実施していたが、塩害の進行を完全に止めることは出来ないことが判明し、損傷の激しい橋梁から架け替えを実施している。²⁾³⁾⁴⁾

北海道においても塩害によると思われる損傷が発見され始めていることから、東北地方整備局の事例について資料を収集した。



図9-22 山形県温海地区の季節風による越波²⁾

9.3.2 東北地整の架け替え橋梁の例

(1) A橋の事例

橋長：35.0m

形式：PC ポステン T 桁

建設：1966年

A橋は、橋長：35.0m、構造形式：単純PC プレテン T 桁、竣功年：1966年の橋梁である。1980年（14年経過）には、主桁の補強のため鋼板接着が行われている。

損傷状況は次の通りである。

１９９４年（２８年経過）に写真９－１に示すように横桁に剥離・鉄筋露出が見られた。また、主桁（鋼板接着）にも損傷が見られた。（写真９－２）１９９７年（３１年経過）には、主桁の PC 鋼線の破断が確認され（写真９－３）延命は困難と判断され架け替えられた。



写真 9 - 1 １９９４年に発見された横桁の剥離・鉄筋露出



写真 9 - 2 １９９４年に発見された鋼板接着の損傷



写真 9 - 3 １９９７年に発見された PC 鋼線の破断

写真 9 - 4 は架け替えられた A 橋である。



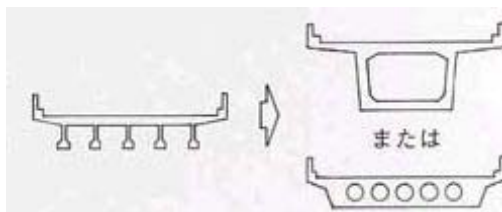
写真 9 - 4 架け替えられた A 橋（東北地整）

（ 2 ） 架け替え橋梁の計画方針

塩害を受けた橋梁は、現在では一般的な対策となっているが、東北地整では従来から次のような対策が行われている。²⁾

構造計上・コンクリートの配合

橋梁形式は、塩分付着面積の少ない閉断面の箱桁もしくは中空床版橋とする。水セメント比を小さくし、密実なコンクリートとする。



鋼材のかぶり

上部工は、塗装鉄筋を使用し、ひび割れ制御の観点から通常 5cm 以上（塗装鉄筋を使用しない場合には 7cm 以上）箱内断面では 3.5cm 以上の純かぶりを確保する。下部工は 7cm 以上確保し、コンクリート製またはモルタル製のスペーサーを用いる。

エポキシ樹脂塗装鉄筋

上部工、下部工ともに、塗装鉄筋を使用する。切断面にもエポキシ樹脂を塗る。また、被覆結束線を使用し、内側に折り込む。耐食性の高い PC シースを使用する。

などの対策が行われている。



9.3.3 表面被覆が手遅れであった例

B橋は建設後13年が経過した橋梁であり、13年経過した段階（図9-23、 ）では鉄筋かぶり位置における塩分量は $1.2\text{kg}/\text{cm}^3$ 以下であり、発錆限界値以下であった、塩害対策として表面被覆（塗装）が検討された。しかし、33年後の予測では、鉄筋かぶり位置における塩分量は無対策（□）の場合と塗装した場合（ ）で差はなく、33年後には鉄筋腐食が予想され、既に表面被覆が適用できないレベルであった事例である。このように、現在の鉄筋位置における塩分量が少ない場合でも既にコンクリート内部には相当量の塩分が浸透している場合があり、早期の塩分量調査と対策が望まれる。東北地整では目安として、鉄筋位置における塩分量が $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ を超えると表面被覆が適用できないレベルと考えている。

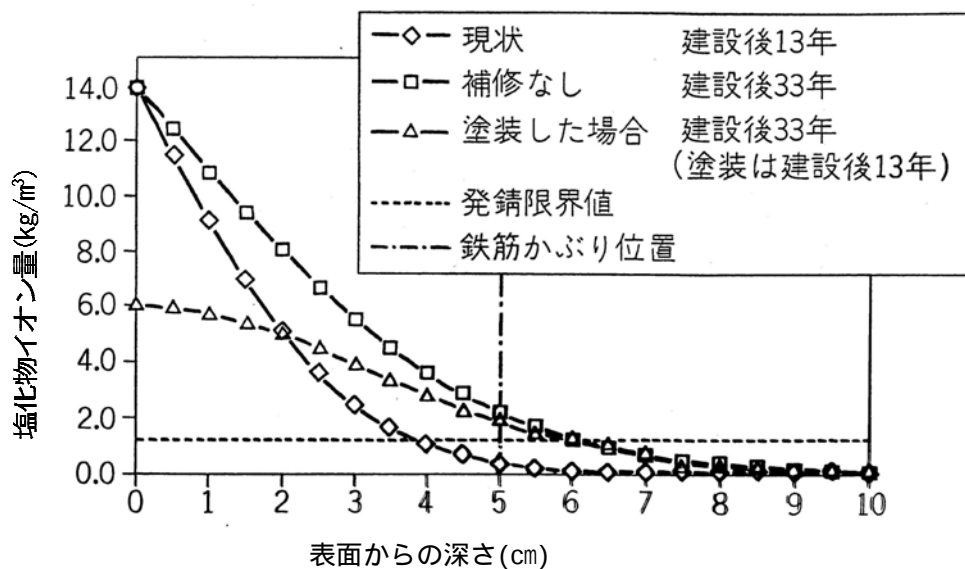


図9-23 B橋における将来予測例

9.3.4 塩害における評価例

一般的に塩害に対しては、鉄筋かぶり位置における塩化物イオン濃度が 1.2kg/m^3 を超えると鉄筋が腐食されているとされている。東北地方整備局では判定基準を表9-1のように設定しているようである。

表9-1 塩害の損傷度評価

損傷度	状 態	対 策
O K	所見なし	・ 塩害対策は不要
	・ 塩分の飛来、多量の凍結防止剤散布なし	
	所見あり（損傷とは判定せず）	・ 引き続き点検対象
	・ 塩化物イオンの付着あり、侵入量は微少	
	損傷と確認（時期を見て補修必要）	・ 表面被覆の段階
	・ 塩化物イオンの侵入あり、発錆レベルには余裕	
	進行した損傷（要補修、猶予なし）	・ 電気防食の段階
	・ 塩化物イオン濃度が発錆レベル($0.9 \sim 1.2\text{kg/m}^3$)	・ 鉄筋位置での濃度が低くても必要な場合あり
	危険な状況（要危機管理体制）	・ 架替えの判断、緊急補強

9.3.5 塩害を受けた橋梁からの知見

東北地方整備局における塩害対策から、以下の点が教訓として述べられている。

塩害は目視点検では発見できない

定期的なコア抜き調査が必要

早期の予防（表面被覆）が重要

塩分量が限界を超えたら電気防食、症状（外観上の損傷）が出たら手遅れ（架け替え）
（脱塩工法は現在のところ信頼性が低いいため適用しないとのことである）

9.4 橋梁点検・診断における損傷評価

9.4.1 概要

北海道開発局では、昭和63年より橋梁点検要領（昭和63年、建設省土木研究所）に基づいて点検を実施してきている。平成16年には点検要領⁵⁾が改定され、補修の必要性は点検結果を受けて専門技術者が、損傷の劣化過程におけるフェーズを推定して対策区分（補修の必要性）を判定することとなった。そこで、損傷の出現率の高く、重大な損傷である床版の破損や鋼部材の腐食については特に精度の高い損傷評価が求められる一方で、評価において以下の課題がある。

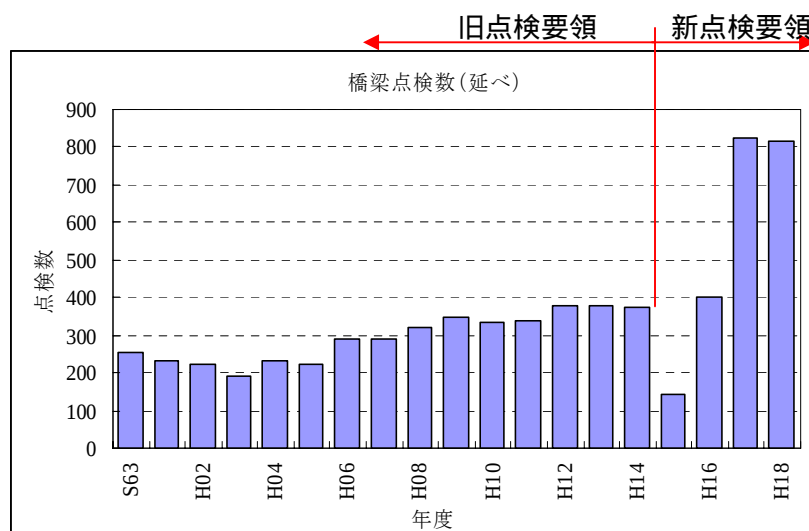


図9-24 点検橋梁数の推移（北海道開発局管理橋梁）

(1) 床版について

輪荷重走行試験や各種研究成果より床版の劣化過程が明らかになってきており、表9-2に示す評価方法は、床版の劣化過程に応じた損傷評価となっている。しかし、対策の必要性を判断する場合において、図9-25に示すように対策が必要とされるレベル（dランク）でも、初期段階では直ちに補修する必要はなく、破壊までは時間的に非常に緩やかに進行することが明らかにされており、損傷ランクだけでは補修の必要性を的確に判断することができない。

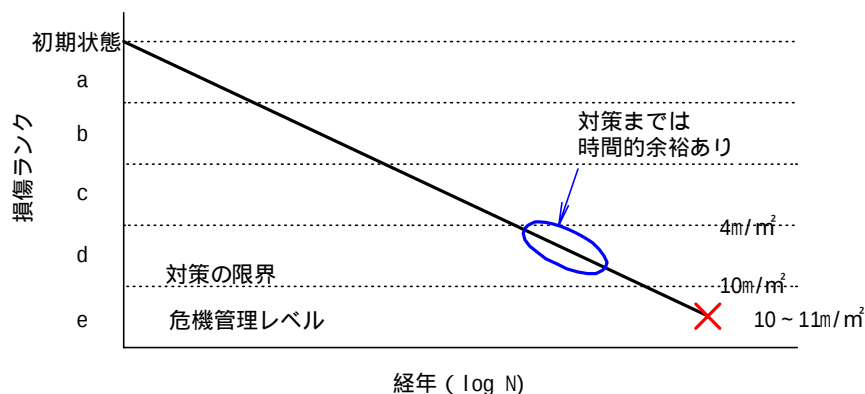


図9-25 床版の劣化イメージ（横軸は対数）

(2) 鋼部材の腐食について

鋼部材の腐食は、経年劣化で現れることが少なく、例えば床版や伸縮装置からの漏水が原因となって現れるため、劣化の推移を予測することは困難であるので損傷評価は、腐食の重大性とその範囲により評価される。重大性については断面欠損の有無の判断により容易に行えるため、範囲（全体的、部分的）の特定が重要となる。また、耐候性鋼橋梁において保護性鍍であるか腐食であるかの判断が難しい。

ここでは、特に重要である以上の部材の損傷評価方法について考察を行い、効率的で精度の高い点検・診断を行うための基礎資料として取りまとめるを行う。

9.4.2 課題に対する解決方法

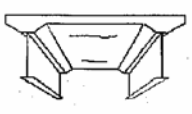
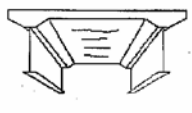
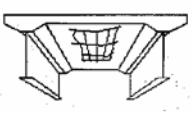
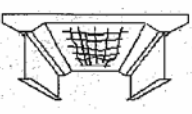
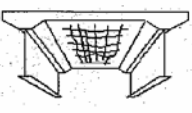
(1) 床版の損傷評価

損傷評価の課題と解決方法

既往の研究成果⁶⁾では、ひび割れ密度（ m^2 当たりのひび割れ延長）が $8\text{m}/\text{m}^2$ までは緩やかに密度が増加し、 $8\text{m}/\text{m}^2$ を越えるとひび割れが増加しはじめ、 $11\text{m}/\text{m}^2$ 程度でせん断破壊に至ることが明らかになっている。一方、表9-2に示す損傷評価ではdランクのひび割れ密度は（ $0.2\text{m} \sim 0.5\text{m}$ 程度） $4\text{m} \sim 10\text{m}/\text{m}^2$ であるので、d判定はひび割れ密度 $10/\text{m}^2$ 以下、e判定は $10\text{m}/\text{m}^2$ 以上と判断することができ、ひび割れ延長によって補修の必要性を的確に判定することができる。

しかし、橋梁点検でひび割れ密度を測定するとすれば、ひび割れをチョークで描写し、延長を測定するとい作業が必要となり、足場の問題や費用、時間的な制約から橋梁定期点検では困難であると考えられる。その手法として、寒地土木研究所が共同研究により、CCD カメラを用いた劣化判定システムの研究が進められており⁷⁾⁸⁾、これを活用したひび割れ延長の取得の可能性を検討する。

表9-2 鉄筋コンクリート床版の損傷評価

区分	ひびわれ幅 に着目した程度	ひびわれ間隔 に着目した程度
a	[ひびわれ間隔と性状] ひびわれは主として1方向のみで、最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上 [ひびわれ幅] 最大ひびわれ幅が0.05mm以下(ヘアークラック程度)	
b	[ひびわれ間隔と性状] 1.0m～0.5m, 1方向が主で直交方向は従、かつ格子状でない [ひびわれ幅] 0.1mm以下が主であるが、一部に0.1mm以上も存在する	
c	[ひびわれ間隔と性状] 0.5m程度、格子状直前のもの [ひびわれ幅] 0.2mm以下が主であるが、一部に0.2mm以上も存在する	
d	[ひびわれ間隔と性状] 0.5m～0.2m, 格子状に発生 [ひびわれ幅] 0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる	
e	[ひびわれ間隔と性状] 0.2m以下、格子状に発生 [ひびわれ幅] 0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている	

床版劣化判定システムの概要

開発土木研究所（現、寒地土木研究所）と(株)ニコンシステムにおいて開発されたシステムは、CCD カメラで撮影された画像データを補正・加工してひびわれの認識処理を行なうとともに、ひびわれ図（ベクターデータ：複数の基準点とそれらを結ぶ線で記録・表現できる大きさや方向を持つデータ）を作成する。このようなベクターデータ化されたひびわれをもとに、ひびわれの幅を認識し延長等が算出され、ひびわれ損傷に対する数量的な判定・評価が可能なシステムである。撮影された画像からひびわれ劣化判定までの流れを図9 - 26に示す。

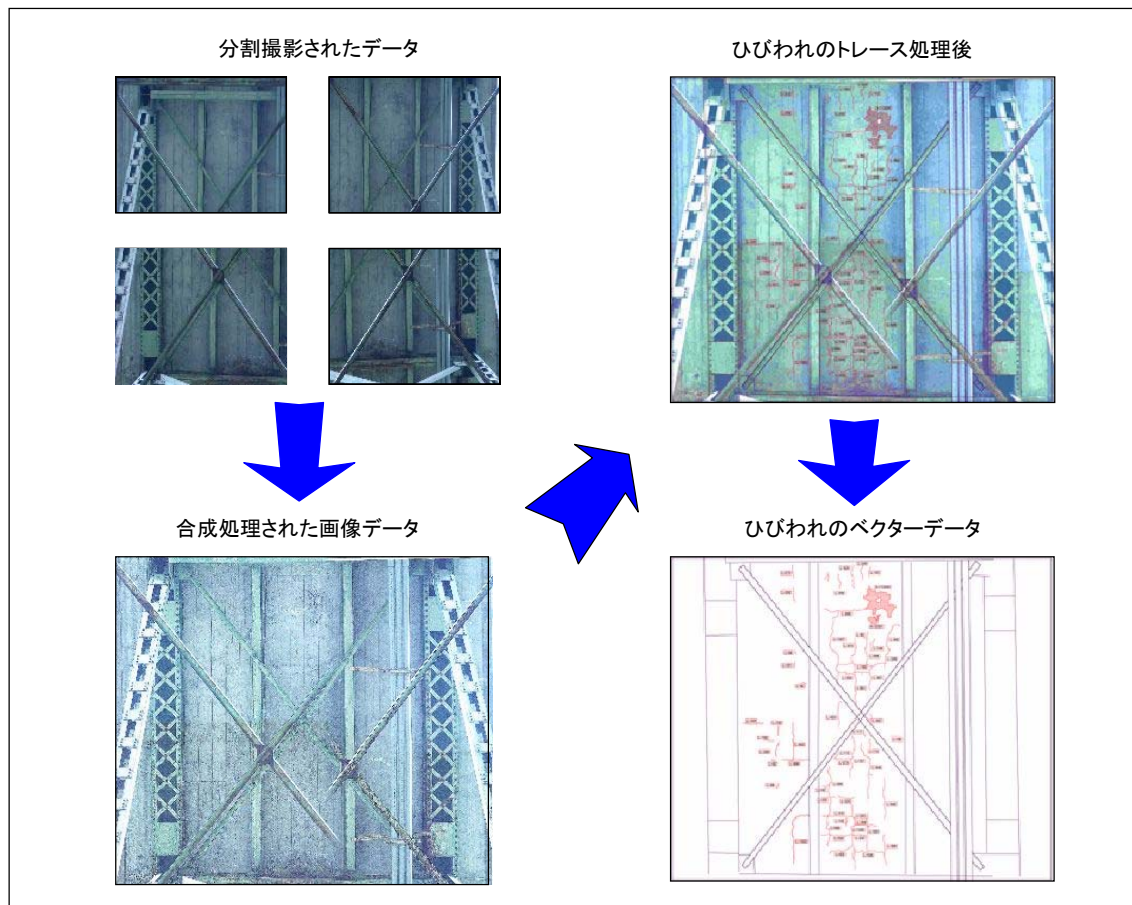


図9 - 26 劣化判定までの流れ

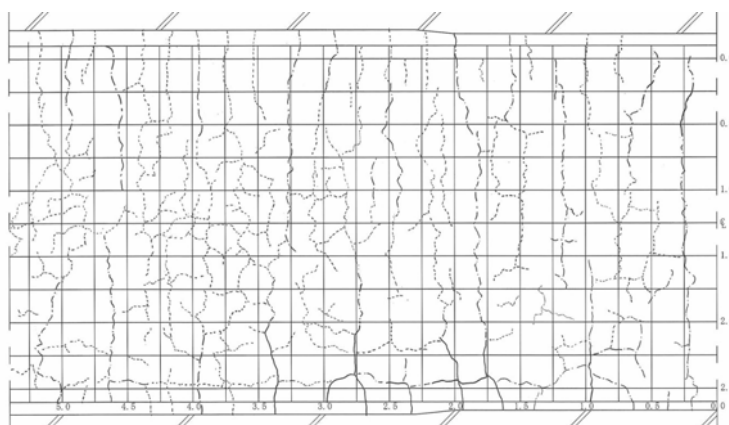
システムの検証

1) ひび割れの認識度

橋梁 RC 床版のひびわれについて、本システムによるひび割れ密度と、従来の足場を用いた目視点検方法による測定との比較検証を行った結果を以下に示す。

図 9 - 27 にスケッチによる床版ひび割れ図と、図 9 - 28 に CCD カメラを用いた床版ひび割れ図を掲載する。スケッチによるひび割れ判定総延長は 75.0m、短辺長が約 2.0m の画角で撮影し当システムでひび割れ判定した総延長は 58.5m で、約 78% を認識している。認識されなかったものは、0.1mm 以下のひび割れであり、問題となるひび割れ幅 0.2mm 以上のものは、ほぼ認識されている。

	0.1mm	0.2mm	0.3mm以上	合計	橋軸方向延長	直角方向延長	パネル面積
小計	48.01	22.78	4.25	75.044 m	5.4	3.4	18.36 m ²
	2.21	0.66	0.633		ひび割れ総延長	床版面積	= 4.09 m/m ²
	0.348	1.13	0.575		ひび割れ間隔		鉄筋ピッチ程度
	0.225	1.306	0.401		判定		劣化ランク4
	0.121	1.18	0.301				
	0.119	0.313	0.681				
	1.923	0.536	0.282				
	0.597	0.694	0.53				
	0.605	1.650	0.140				



床版名	判定ランク	ひび割れ幅(mm)	ひび割れ間隔(m)	ひび割れ密度(m/m ²)	ひび割れ延長(m)	剥離面積(m ²)
19~22	4	0.1	0.363773	3.183892	58.456254	0

図 9 - 27 近接目視によるひび割れ図

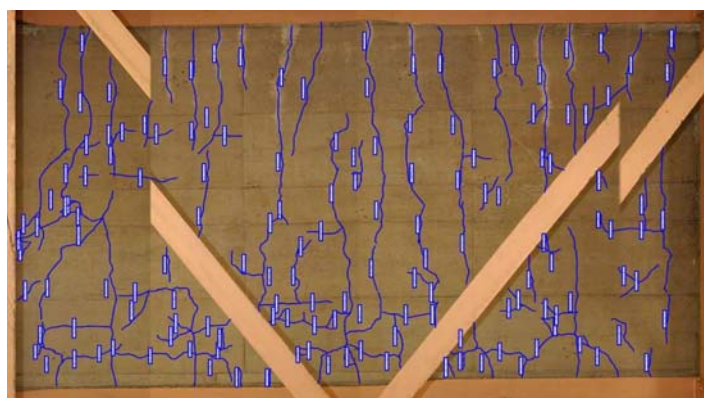


図 9 - 28 CCD カメラによるひび割れ図

2)作業効率

従来の床版ひび割れ調査は、作業足場上で以下の工程にしたがって作業を行っていた。

)床版下面に格子線をチョーク等で表示し、ひび割れ計測を行う。

(1 パネル 3 人で 1 時間程度)

)チョーキング及び計測したひび割れをその場でスケッチする。

(1 パネル 3 人で 3 0 分程度)

)ひび割れを CAD 図化し、ひび割れ延長の集計を行う。

(1 パネル 4 0 分程度)

)ひび割れ間隔等を考慮し、床版の劣化判定を行う。

(1 パネル 5 分程度)

これに対して、CCD カメラを用いた場合、以下の工程を経て床版劣化判定に至る。

)現場にてデジタルカメラで床版を撮影する。(1 パネル 5 分以下)

)室内で、画像整理する。(1 パネル 4 5 分程度) また、その画像をひび割れトレースする。(1 パネル 1 0 分程度)

)トレースした画像に位置情報を入力し、床版劣化判定を実行する。(複数パネル数秒)

この結果を図 9 - 2 9 に示す。近接目視では 1 パネル当たり延べ 5 時間半程度必要としていたが、当システムを使用した結果、1 時間程度で劣化判定が可能となり、従来の近接目視判定の 1/5 程度で完了するばかりでなく、現場作業が大幅に省力化することができる。

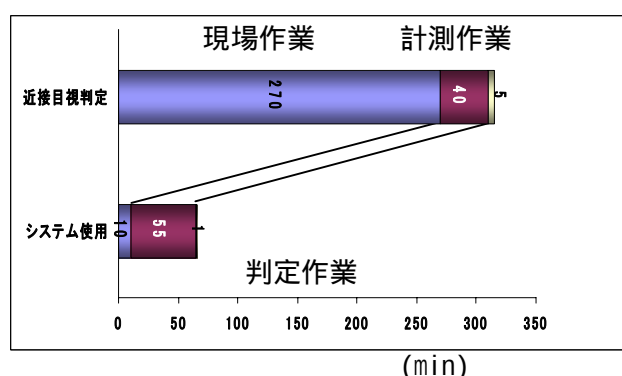


図 9 - 2 9 作業効率比較

まとめ

床版劣化の判定はひび割れ延長により確実な判定が可能であり、現場作業においては CCD カメラを用いたシステムを活用することにより、効率的にデータの取得が可能である。

尚、現在は鋼橋の腐食面積率の算定も可能となっており、範囲の特定も可能であり「全体的」「部分的」な判定を数値的にとらえることが可能となる。

以上より、本システムを活用してひび割れ密度、腐食面積率のデータ取得により診断精度の向上が可能と考えられる。

(2) 耐候性鋼橋梁の劣化判定

これまで、橋梁の点検において耐候性鋼材の保護性錆が有害な錆であるかの判定が難しいとされてきた。これについては、既往の評価方法を整理して、評価例を示す。

橋梁定期点検要領による評価方法

橋梁定期点検要領(案)(平成16年3月)⁵⁾による耐候性鋼材橋梁の評価は、「防食機能の劣化」に分類され、「安定錆が形成されず異常な錆が生じている場合や、極度な錆の進行により断面減少が著しい状態」と定義されている。また、腐食しやすい個所は漏水の多い桁端部、水平材上面など滞水しやすい箇所、支承部周辺、通気性、排水性の悪い連結部、泥、ほこりの堆積しやすい下フランジの上面、溶接部等である、とされている。

この評価方法は、耐候性鋼材で安定錆を生じるまでの期間は、錆の状態が一樣でなく異常腐食かどうかの判断が困難な場合があるが、著しい断面欠損を伴うと見なせる場合には腐食としても評価することとなっている。

表 9 - 3 耐候性鋼材の評価⁵⁾

区分	一般的状況
a	損傷なし(安定錆は粒子が細かく、一様に分布、黒褐色を呈す) (安定錆の形成過程では黄色、赤色、褐色を呈す)
b	-
c	錆の大きさは1～5mm程度で粗い
d	錆の大きさは5～25mm程度のうろこ状である
e	錆は層状の剥離がある

注) 一般に、錆の色は黄色・赤色から黒褐色へと変化して安定して行くが、錆色だけで安定錆かどうかを判断することはできない。

また、安定錆が形成される過程では、安定化处理を施した場合に、皮膜の残っている状態で錆むらが生じることもある。

土木研究所による評価区分⁹⁾

土木研究所では、「耐候性鋼材の耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書」で図9 - 3 0 に示す外観評価区分を示している。

レベル 5		レベル 4	
さびの量は少なく、比較的明るい色調を呈する。 [今後の処置の目安：不要]		さびの大きさは1 mm 程度以下で細かく均一である。 [今後の処置の目安：不要]	
レベル 3		レベル 2	
さびの大きさは1～5 mm 程度で粗い。 [今後の処置の目安：不要]		さびの大きさは5～25 mm 程度のうろこ状である。 [今後の処置の目安：経過観察要]	
レベル 1		<処置の目安> レベル3～5：全く問題なく、そのまま引き続き使用できます。 レベル2：さび外観の変化を継続観察する必要があります。 レベル1：板厚測定し板厚減少量が大きく設計応力上近い将来に問題になると予測される場合は補修が必要です。	
さびは層状の剥離がある。 [今後の処置の目安：板厚測定]		※ 写真は建設省土木研究所／耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書（XⅦ）より引用	

図9 - 3 0 土研共同研究による外観評価基準

開発土木研究所（現、寒地土木研究所）

開発土木研究所では、室蘭新道の5橋（日の出跨道橋、母恋高架橋、御崎高架橋、仲町高架橋、輪西高架橋）を対象として外観調査とさび膜厚調査および断面観察を実施し、これら
を対比することによって評価基準を作成している。⁴⁾

これまでの耐候性鋼材橋梁の調査結果によれば、図9-31に示すように、初期の段階ではA→Bと徐々に表面の腐食層が厚くなり、腐食環境が悪いあるいは漏水等があればD、Eへと腐食層が厚くなり、うろこ状、こぶ状、あるいは層状のさびとして外観に現れる。一方、環境が良好な場合にはCへと変化し、概ね400μm以下で良好な保護層を形成するとされている。この外観変化イメージとさび膜厚の関係を

表9-4に示すように関連付け、外観評価方法の妥当性を検討している。

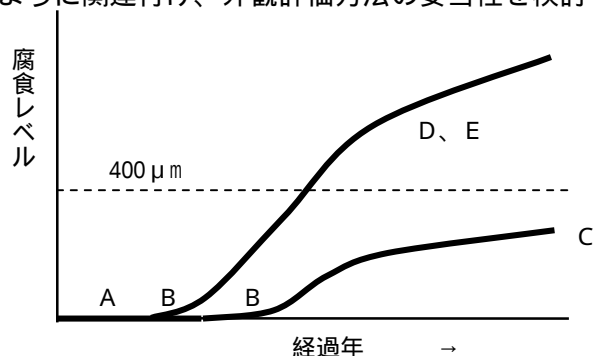


図9-31 耐候性鋼材の経年変化イメージ

表9-4 表面処理を施した耐候性鋼材の健全度評価基準（案）

劣化評点		外観調査		さび膜厚調査				
		さび面積率	外観による分類	さび膜厚による分類（μm）				
			さび膜厚さ（μ）	5	4	3	2	1
		(%)	被膜やさびの状態	< 200	< 300	< 400	400～800	> 800
A		< 0.3	被膜にさびが見られない	A5	A4	A3	A2	A1
B		< 0.3	被膜の中に点さびが見られる	B5	B4	B3	B2	B1
C	C1	< 3	微細で外観平均粒径が5mm程度のさび	C1-5	C1-4	C1-3		
	C2	< 30		C2-5	C2-4	C2-3		
	C3	30 以上		C3-5	C3-4	C3-3		
D	D1	< 3	・外観粒径5～25mm程度のうろこ状さび ・こぶ状のさび(小)				D1-2	D1-1
	D2	< 30					D2-2	D2-1
	D3	30 以上					D3-2	D3-1
E	E1	< 3	・層状剥離さび				E1-2	E1-1
	E2	< 30	・こぶ状のさび(大)				E2-2	E2-1
	E3	30 以上					E3-2	E3-1

1) 外観評価と膜厚調査の対比

外観評価：表面に多少の点さびが見られ、評価はBとした。

膜厚評価：さび膜厚は180 μ mで、B5に分類される。

コア状況：表面には安定化処理被覆が残存し、薄く保護層が生成されている。

評価：環境が良好と考えられ、30年経過後においても腐食が進行していない。

外観から判定したBランクは妥当である。

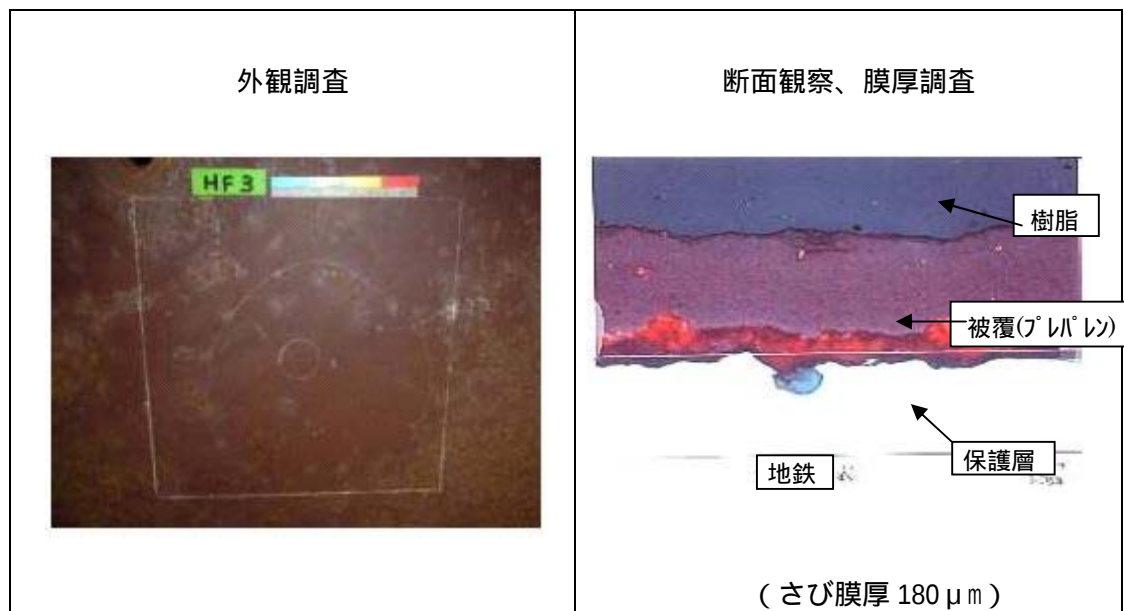


図9 - 3 2 B判定の例

外観評価：表面全体に微細なさびが生成された状態で、評価はC3とした。

膜厚評価：さび膜厚は100 μ mで、膜厚評価は5である。

コア状況：フレイムが内部に残存し、保護層も生成されている状況である。

評価：腐食環境が比較的マイルドと考えられ、30年経過後においても内部に腐食が進行していない。

外観から判定したC3ランクは妥当である。

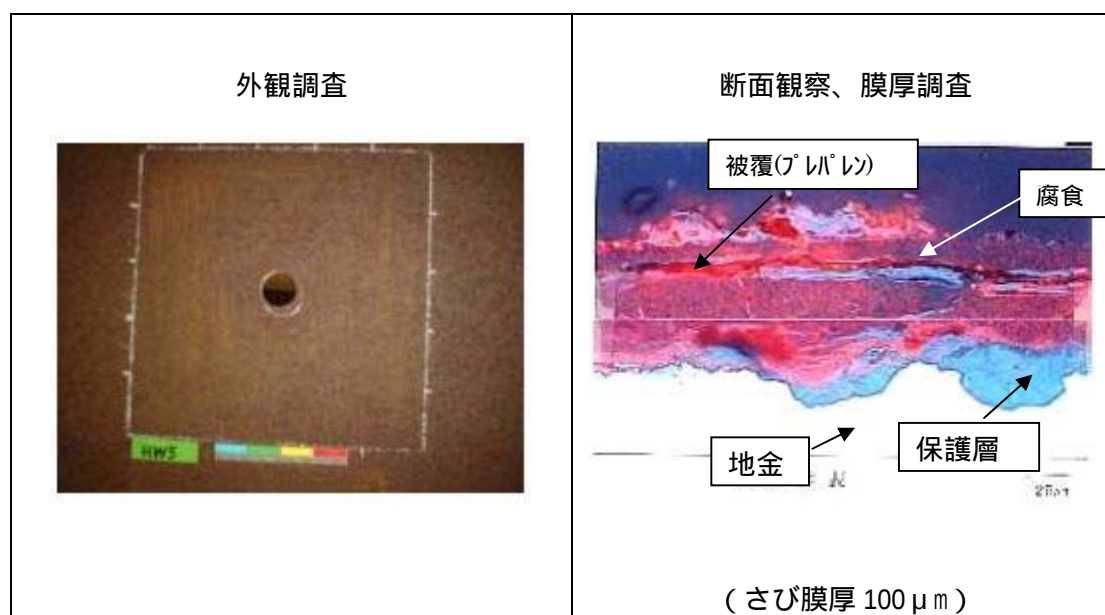


図9 - 3 3 C判定の例

外観評価：表面全体に層状のさびが生成された状態で、評価はE 3とした。

膜厚評価：さび膜厚は 325 μ m で、膜厚評価は3である。

コア状況：表面には厚く腐食層が存在するが、地金表面には保護層が生成されている。

評 価：表面は層状のさび層があるが、保護層が概ね良好な状態で生成されている。

良好な保護層が生成されており、評価はC 3となり、外観評価とは一致しない。

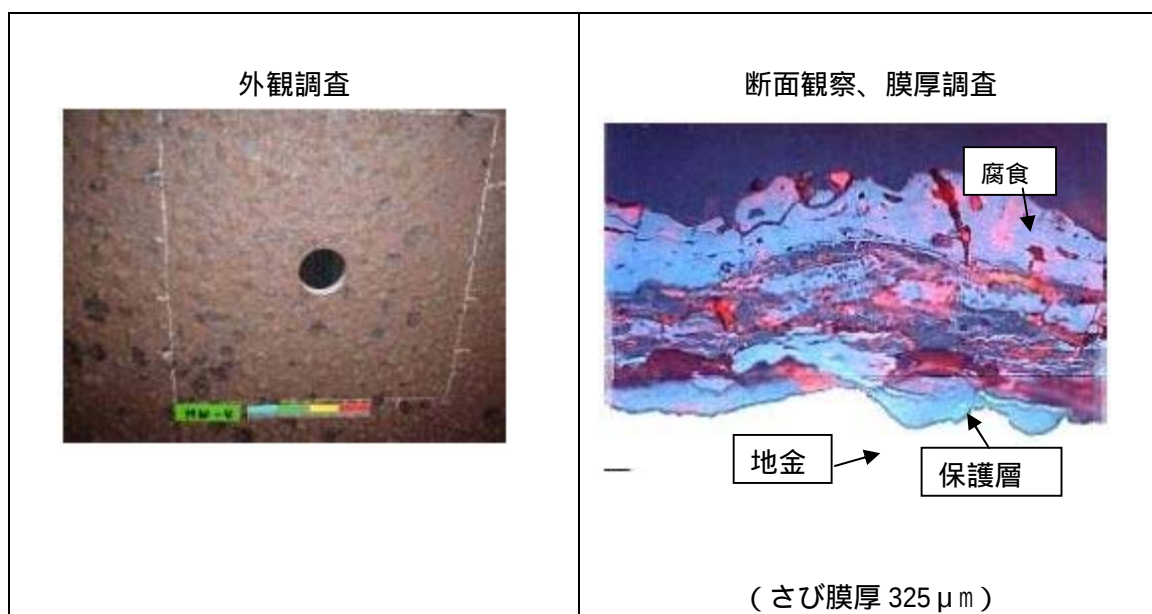


図 9 - 3 4 E 判定の例

以上のような調査および評価を全 27 箇所実施し、18 箇所で外観評価と詳細調査が一致した。不一致箇所は、6 箇所が外観とさび膜厚の不一致、3 箇所が外観調査で E 判定としたものがコア断面観察により C と判定されたものであり、評価自体は安全側であり、評価方法としては妥当と判断している。その上で、外観評価基準(案)を表 9 - 5 のようにしている。

表 9 - 5 外観評価基準¹⁰⁾

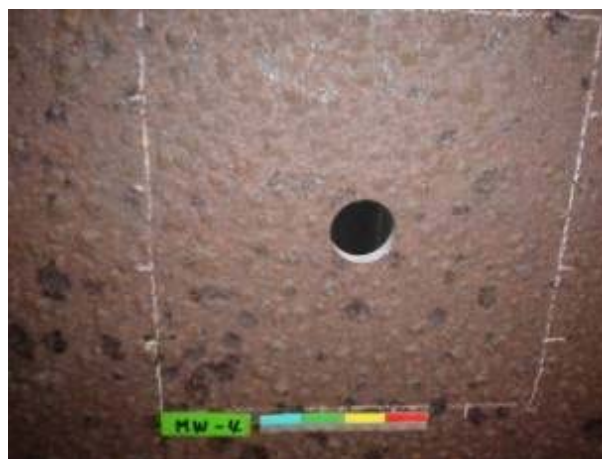
被膜やさび部の外観状態		劣化評点	さび面積率(%)	備考
正常	被膜にさびが見られない	A	< 0.3	・被膜が健全であることは環境が良好で、鋼材表面は被膜で保護されている状態。 ・環境が変化しない限り、B, Cへ推移する
	被膜の中に点さびが見られる	B		・被膜下に錆が生成され始め、表面にも点さびが見られ、さびと被膜が混在したさび生成初期状態 ・環境が変化しない限り、Cへ推移する
	微細で外観平均粒径が5mm程度のさび	C1	< 3	・被膜がさびへと変化し、保護性のさびに置き換わってきた状態で、環境が変化しない限り、Cの状態を維持する。
		C2	< 30	
要観察	・外観粒径5～25mm程度のうろこ状さび	C3	> 30	・要因(漏水、塩害など)を特定し、除去する。 ・さび状況の変化(健全度Eに行くのかどうかなど)を定期的に観察する必要がある状態
		D1	< 3	
	・こぶ状のさび(小)	D2	< 30	
要検討	・層状剥離さび	D3	> 30	・要因を特定し、除去する。 ・補修方法を計画し、要否を検討する。
	・こぶ状のさび(大)	E1	< 3	
		E2	< 30	
		E3	> 30	

橋梁点検要領（案）と2つの研究成果は概ね一致した結果となっており、点検員および診断員に対しては、これに加えて判定例を示すことによって評価のバラツキが小さくなるものと考えられる。以下に、室蘭新道における評価事例を示す。

E判定の例（腐食が大きく、対策が必要な段階）¹⁰⁾



事例1 層状剥離の例



事例2 こぶ状の錆の例



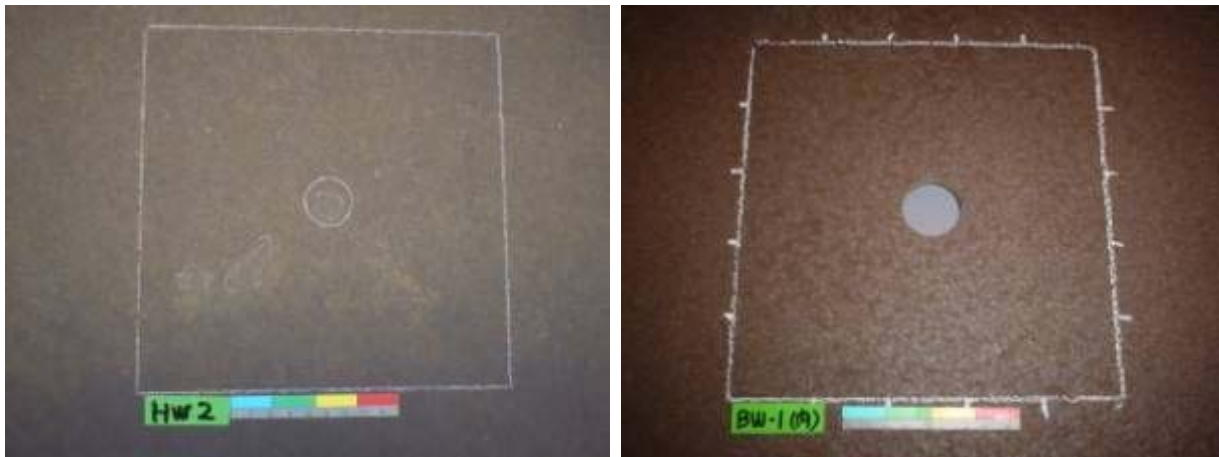
事例3 フランジ下面のこぶ状の錆



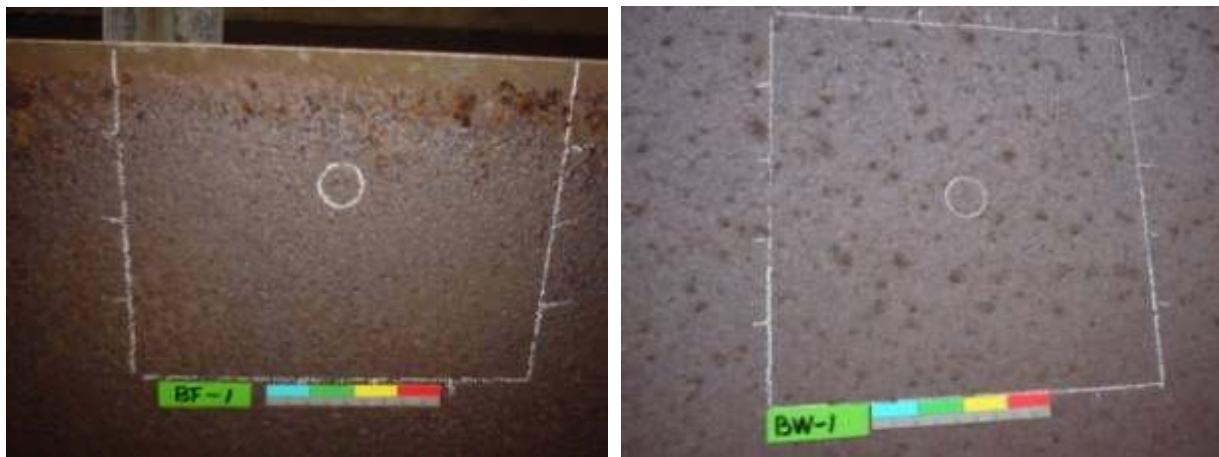
事例4 フランジ上面の層状剥離

被膜やさび部の外観状態		劣化評点	さび面積率(%)	備考
正常	被膜にさびが見られない	A	< 0.3	- 被膜が健全であることは環境が良好で、鋼材表面は被膜で保護されている状態。 - 環境が変化しない限り、B,Cへ推移する - 被膜下に錆が生成され始め、表面にも点さびが見られ、さびと被膜が混在したさび生成初期状態 - 環境が変化しない限り、Cへと推移する - 被膜がさびへと変化し、保護性のさびに置き換わってきた状態で、環境が変化しない限り、Cの状態を維持する。
	被膜の中に点さびが見られる	B		
	微細で外観平均粒径が5mm程度のさび	C1	< 3	
		C2	< 30	
要観察	・外観粒径5～25mm程度のうろこ状さび	D1	< 3	- 要因（漏水、塩害など）を特定し、除去する。 - さび状況の変化（健全度Eに行くのかどうかなど）を定期的に観察する必要がある状態
	・こぶ状のさび(小)	D2	< 30	
		D3	> 30	
要検討	・層状剥離さび	E1	< 3	- 要因を特定し、除去する。 - 補修方法を計画し、要否を検討する。
	・こぶ状のさび(大)	E2	< 30	
		E3	> 30	

C判定の例（保護性さびが生成された段階）¹⁰⁾



事例5 微細な保護性さびの例

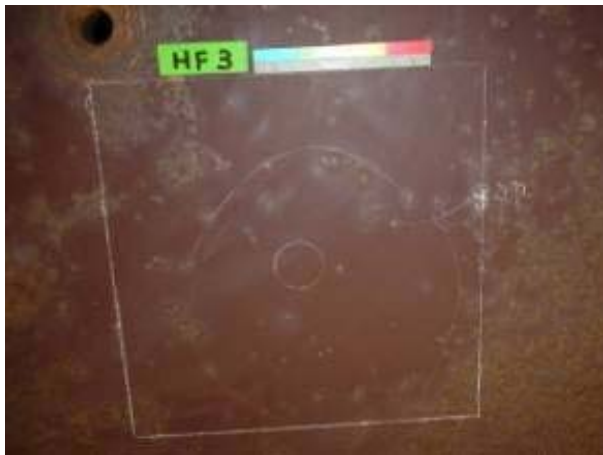


事例6 微細な保護性さびの状態
事例3のような層状さびは無い

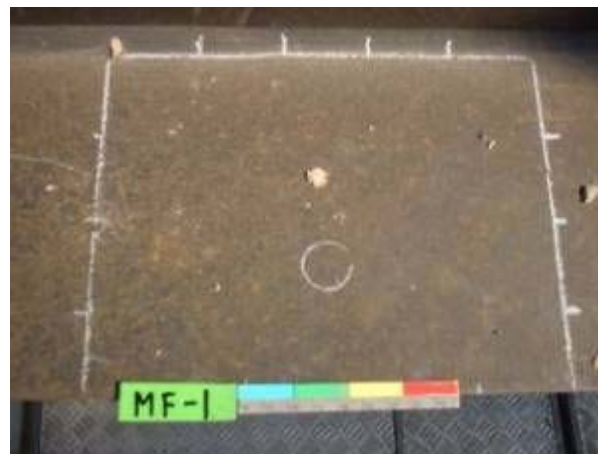
事例7 微細な保護性さびの例

被膜やさび部の外観状態		劣化評点	さび面積率(%)	備考
正常	被膜にさびが見られない	A	< 0.3	- 被膜が健全であることは環境が良好で、鋼材表面は被膜で保護されている状態。 - 環境が変化しない限り、B,Cへ推移する - 被膜下に錆が生成され始め、表面にも点錆が見られ、さびと被膜が混在したさび生成初期状態 - 環境が変化しない限り、Cへと推移する
	被膜の中に点錆が見られる	B		
	微細で外観平均粒径が5mm程度のさび	C1		
		C2		
		C3		
要観察	・外観粒径5～25mm程度のうろこ状さび	D1	< 3	- 要因（漏水、塩害など）を特定し、除去する。 - さび状況の変化（健全度Eに行くのかどうかなど）を定期的に観察する必要がある状態
		D2	< 30	
	・こぶ状のさび(小)	D3	> 30	
要検討	・層状剥離さび	E1	< 3	- 要因を特定し、除去する。 - 補修方法を計画し、要否を検討する。
	・こぶ状のさび(大)	E2	< 30	
		E3	> 30	

B判定の例（保護性さび生成過程）¹⁰⁾



事例8 表面に錆が発生し始めた段階
表面処理剤（安定化処理）が残存している部分と錆が混在



事例9 表面処理剤は消失し、全面に錆が発生している段階

被膜やさび部の外観状態		劣化評点	さび面 積率(%)	備考
正常	被膜にさびが見られない	A	< 0.3	・被膜が健全であることは環境が良好で、鋼材表面は被膜で保護されている状態。
	被膜の中に点さびが見られる	B		・環境が変化しない限り、B、Cへ推移する
	微細で外観平均粒径が5mm程度のさび	C1		・被膜下に錆が生成され始め、表面にも点さびが見られ、さびと被膜が混在したさび生成初期状態
		C2		・環境が変化しない限り、Cへと推移する
要観察	・外観粒径5～25mm程度のうろこ状さび	D1	< 3	・被膜がさびへと変化し、保護性のさびに置き換わってきた状態で、環境が変化しない限り、Cの状態を維持する。
	・こぶ状のさび(小)	D2	< 30	
		D3	> 30	
要検討	・層状剥離さび	E1	< 3	・要因を特定し、除去する。
	・こぶ状のさび(大)	E2	< 30	・補修方法を計画し、要否を検討する。
		E3	> 30	

【 9 章の参考文献】

- 1) 国土交通省 HP , 道路構造物の今後の管理・更新のあり方 ,
(<http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/4-2.html>)
- 2) 東北地方整備局 HP (<http://www.thr.mlit.go.jp/sakata/5nen/atsumi.html>)
- 3) 建設省土木研究所 , 河野広隆, コンクリート橋の塩害に関する最近の動向と新技術
(<http://www.pwri.go.jp/jpn/news/20030221/3-3.pdf>)
- 4) 建設省土木研究所 , コンクリート構造物の長寿命化と維持管理戦略 ,
(<http://www.pwri.go.jp/jpn/news/20020228/kouensyu-1.pdf>)
- 5) 国土交通省道路防災課 , 橋梁定期点検要領 (案) , H16.3
- 6) 松井繁之 , 前田幸雄 , 道路橋 RC 床版の劣化度判定法判定法の一提案 , 土木学会論文集 No374, pp419-426
- 7) 佐々木聡 , 渡邊一悟 , 小出 博 , 山本利生 ,
デジタル画像によるコンクリート床版劣化判定システムの開発 , コンクリート工学年次大会 2003
- 8) 上北正一 , 佐々木聡 , 池田憲二 , 渡邊一悟 , 岡田慎哉 , 小出 博 ,
デジタル画像を用いた橋梁 RC 床版劣化判定システムの実橋検証 , 平成 15 年度土木学会北海道支部
年次技術研究発表会
- 9) 建設省土木研究所 , (社)鋼材倶楽部 , (社)日本橋梁建設協会 , 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する
共同研究報告書 - 無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領 (改訂案) - 共同研究報告書 , 整理番号88
号
- 10) 北海道開発土木研究所構造研究室資料 , 共同研究成果報告書 , 無塗装耐候性鋼橋の劣化判定基準
法に関する研究 (平成 1 6 年 3 月)