

# 北海道の鋼橋塗装における早期劣化対策の 効果検証

## －試験施工4年経過後の報告－

独) 土木研究所 寒地土木研究所 道央支所 ○田畑浩太郎  
同 耐寒材料チーム 林田 宏  
同 道央支所 磯田 卓也

鋼橋塗装は鋼材を腐食環境から保護し健全な状態に保つために重要である。塗膜の防食効果を維持するためには適切な時期に塗替え補修を行う必要があるが、作業足場などの経済性から部分的な塗膜の早期劣化を許容し、全面塗替による方法が一般的である。このため、早期劣化部位の劣化進行を抑制して他の部位との劣化差を小さくする「早期劣化対策」について、平成18年度に試験施工を実施し、その有効性を確認するための追跡調査を行っている。

本論文では試験施工の4年経過後の状況を報告し、早期劣化対策の効果を検証する。

キーワード：維持管理、鋼橋塗装、早期劣化対策、塗膜増厚

### 1. まえがき

鋼橋塗装において、部材端部、連結部、下フランジ下面など特定部位の塗膜は他の部位の塗膜に比べて早期に劣化することが分かっている。劣化した塗膜は塗替塗装により防食効果を回復させる必要があるが、作業足場の架設や作業効率などの経済性を考慮して、部分的な塗膜劣化を許容し全面塗替えで対応するのが一般的である。

しかし平成17年度に改訂された鋼道路橋塗装・防食便覧<sup>1)</sup>により鋼橋塗装は重防食塗装系が基本となったため、塗替え補修間隔が長くなることから、早期に劣化した部位と他の部位との劣化差が更に広がる可能性がある。このため、早期劣化部位の劣化進行を抑制して劣化差を小さくする「早期劣化対策」の必要性が高まるものと考えられる。

本文では、平成18年度に実施した「早期劣化対策」試験施工の4年経過後の状況を報告する。

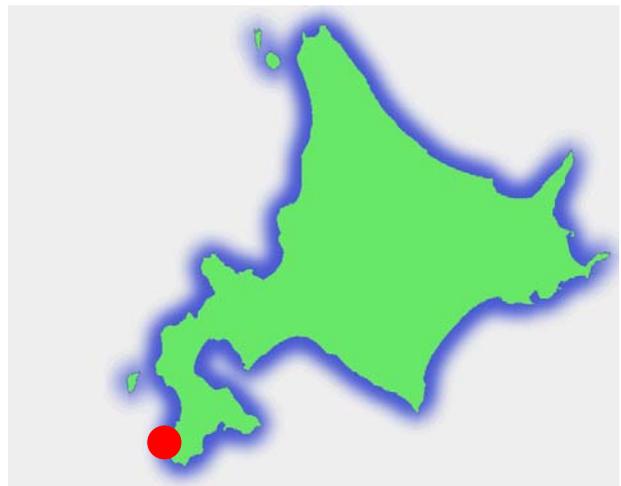


図-1 調査対象橋梁位置図

### 2. 試験施工の概要

#### (1) 調査対象橋梁

北海道南西部の日本海に面した国道に架設されている橋梁を調査対象とした(図-1)。海岸線からの距離は200mと近く、鋼道路橋塗装便覧<sup>2)</sup>の腐食環境分類表では、飛来塩分の影響を強く受け「厳しい腐食環境」とされる海岸部に分類される。橋梁諸元を表-1に示す。

表-1 調査対象橋梁諸元

所在地	松前町 (一般国道228号)
河川名	鴨津川
海岸線からの距離	200 m
上部形式	4径間連続鋼合成鈹桁、3主桁
橋長	124 m
幅員	9.3 m
架設年度	1973年 (架設後経過38年)
対策前の塗装系	C-1

## (2) 早期劣化対策

鋼道路橋塗装・防食便覧では、特定の部位に早期劣化が発生する原因のひとつとして塗膜厚不足が指摘されている。本試験施工では、塗膜厚の増加による早期劣化対策の効果を検証するため、増厚量を変えた3パターンの「塗膜増厚」を行った。

塗膜増厚の対象部位を図-2に示す。過年度の調査において早期劣化が生じ易い部位として、素地調整が難しいボルト継手部、鋭角な部位を多く有している2次部材、下フランジのエッジ部などが明らかになっている<sup>3)</sup>。これら知見に基づき、主桁下フランジ、2次部材、ボルト継手部、ガセットを対象部位とした。なお、下フランジについては、隅角部が弱点となるのを防ぐためにウェブの下端から10cmまで塗膜増厚の立ち上げを行った(図-3)。

塗膜増厚の塗装仕様を表-2に示す。早期劣化対策として、標準の塗装仕様に下塗り(60 $\mu$ m)を1層増やした「増塗り1層」、下塗りを2層増やした「増塗り2層」、下塗りの1層分を弱溶剤形変性エポキシ樹脂から超厚膜形エポキシ樹脂(300 $\mu$ m)に変更した「超厚膜」の3パターンとした。また、早期劣化対策と比較するために標準塗装仕様の部位を「無対策」とした。なお、ボルト継手部とガセットプレートは「超厚膜」のみ実施した。また、素地調整については、旧塗膜の影響を避けるため2種ケレンを実施した。

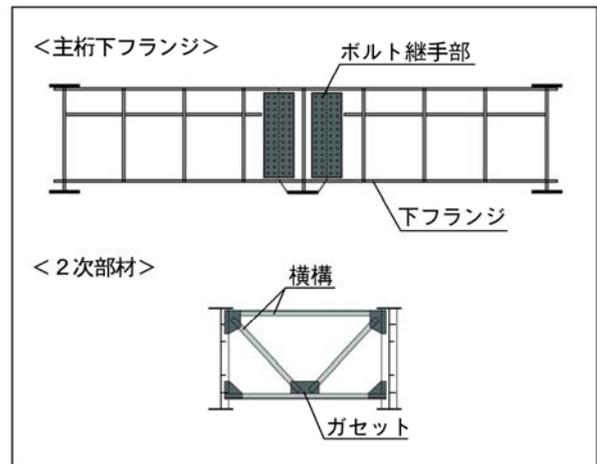


図-2 塗膜増厚の対象部位

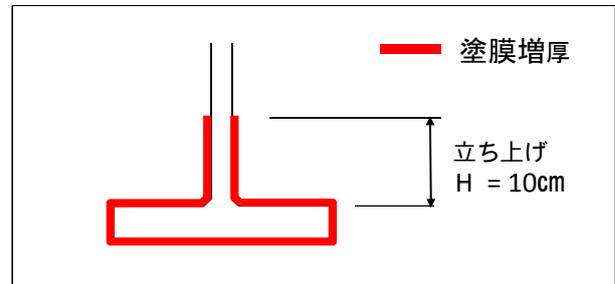


図-3 下フランジの塗膜増厚立ち上げ

## (3) 評価方法

塗膜の腐食状態を定量的に検討するため、米国材料試験協会 (ASTM) 及び米国鋼構造物協会 (SSPC) の「腐食面積とさびの評価判定図」<sup>4)</sup>

を用いた。図-4に示す。これは、塗装した鋼表面のさび発生程度を示すもので、部材面積に対するさび発生面積の割合で表される。以下、評価判定図と記す。

実際の調査においては、目視により部材毎のさびの発生状況を確認し、評価判定図の9段階のさび発生程度と比較し判定を行った。そしてさびが発生している部分の面積と判定結果から、各部材の全面積に対するさびの割合を求め、これをその部材の評価判定値とした。今回の

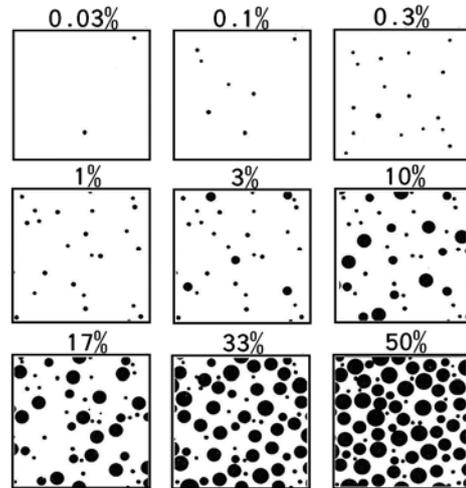


図-4 腐食面積とさびの評価判定図

表-2 塗膜増厚の塗装仕様

塗膜増厚 塗装構成	無対策	早期劣化対策 (塗膜増厚)		
	標準 (250 $\mu$ m)	増塗り1層 (310 $\mu$ m)	増塗り2層 (370 $\mu$ m)	超厚膜 (490 $\mu$ m)
素地調整	2種	2種	2種	2種
下塗り	有機ジンクリッチペイント	有機ジンクリッチペイント	有機ジンクリッチペイント	有機ジンクリッチペイント
下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料
下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	超厚膜形エポキシ樹脂塗料
中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	
上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	
		弱溶剤形ふっ素樹脂塗料	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料	
			弱溶剤形ふっ素樹脂塗料	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料

調査における評価例を写真－1，－2に示す。

次に早期劣化対策別に評価判定値毎の部材数を集計し、以下に示す「さび発生度」により、早期劣化対策別のさび発生状況を評価した。

$$\text{さび発生度} = \sum (a_n \times b)$$

$a_n$  : 評価判定値 (0, 0.03, 0.1 …)

$b$  : 各判定値毎の部材数の割合

さび発生度は、評価判定値とそれに対応する部材数の割合との積の総和で表される。部材にさびが発生していない時に最小値0となり、部材のさび発生程度が大きくなるほどさび発生度の値も大きくなる。例えば、半数(50%)の部材の評価判定値が0.03で、残り半数の部材の評価判定値が0.3の場合、さび発生度は以下のように16.5になる。

$$\text{さび発生度} = 0.03 \times 50 + 0.3 \times 50 = 16.5$$

### 3. 調査結果

#### (1) 早期劣化対策の効果検証

##### a) 一般部

主桁下フランジのさび発生度を表－3に、2次部材のさび発生度を表－4に、ボルト継手部・ガセットのさび発生度を表－5に示す。

早期劣化対策を実施した部材のさび発生度と無対策の部材のさび発生度を比較してみると、全ての表において無対策の部材のさび発生度は大きな値であるのに対して、早期劣化対策を実施した部材では、塗膜増厚の方法により多少の差はあるものの、いずれもさび発生度が低く抑えられている。平成20年度に調査した2年経過後のデータを見ると、無対策の部材のさび発生度は早期劣化対策を実施した部材のさび発生度の4倍～15倍の値であったが、平成22年度の4年経過後の調査データでは17倍～100倍になり、差が大きくなっていることが分かる。これらにより、早期劣化対策として塗膜増厚を実施することはさび発生度低減に有効であることが確認された。

次に、経過年数によるさび発生度の変化について、無対策の部材と早期劣化対策を実施した部材を比較してみる。一般にさびは発生すると加速度的に進行する傾向にあるが、本調査においても無対策の部材のさび発生度が大きく増加している。しかし早期劣化対策を実施した部材のさび発生度は、僅かな増加にとどまった。また主桁下フランジや2次部材では、3年経過～4年経過においてさびの進行が抑えられていることが確認出来た。

このことから、早期劣化対策としての塗膜増厚は塗膜



写真－1 さび評価判定 : 0.1 % (無対策)



写真－2 さび評価判定 : 0 % (増塗り2層)

表－3 主桁下フランジのさび発生度

試験施工 調査年度	無対策	早期劣化対策		
	標準仕様	増塗り1層	増塗り2層	超厚膜
H18	0.0	0.0	0.0	0.0
H20 (2年経過)	7.7	2.0	2.0	0.0
H21 (3年経過)	40.0	3.0	2.0	2.0
H22 (4年経過)	136.7	3.0	2.0	2.0

表－4 2次部材のさび発生度

試験施工 調査年度	無対策	早期劣化対策		
	標準仕様	増塗り1層	増塗り2層	超厚膜
H18	0.0	0.0	0.0	0.0
H20 (2年経過)	10.0	0.0	1.5	0.0
H21 (3年経過)	300.0	3.0	3.0	3.0
H22 (4年経過)	300.0	3.0	3.0	3.0

表－5 ボルト継手部・ガセットのさび発生度

試験施工 調査年度	無対策	早期劣化対策		
	標準仕様	増塗り1層	増塗り2層	超厚膜
H18	0.0	—	—	0.0
H20 (2年経過)	32.8	—	—	2.2
H21 (3年経過)	59.8	—	—	2.7
H22 (4年経過)	68.6	—	—	4.0

の経年劣化においても有効であり、塗膜増厚を実施することでさび発生の進行を遅らせることが出来ることが確認された。

**b) エッジ部**

主桁下フランジのエッジ部のさび発生度を表-6に、2次部材のエッジ部のさび発生度を表-7に示す。

どちらの表においても、早期劣化対策を実施した部材のエッジ部は、無対策の部材のエッジ部と比較すると明らかにさび発生度が低く抑えられている。これらにより、エッジ部においても塗膜増厚はさび発生度低減に有効であることが確認された。

次に、経過年数によるエッジ部のさび発生度の変化を比較する。無対策の部材をみると、主桁下フランジで3年経過～4年経過のさび発生度の増加が少ないものの、全体的に大きく増加しているのが確認された。しかし早期劣化対策を実施した部材では、主桁下フランジの「増塗り2層」において3年経過～4年経過で大きな増加があるが、全体的に僅かな増加にとどまった。

このことから、塗膜増厚は部材エッジ部の塗膜の経年劣化においても有効であることが確認された。

**(2) 増厚量の違いによる効果検証**

次に「増塗り1層」「増塗り2層」「超厚膜」を比較して、増厚量の違いによる効果検証を行った。

**a) 一般部**

表-3を基にした主桁下フランジのさび発生度グラフを図-5に、表-4を基にした2次部材のさび発生度グラフを図-6に示す。さび発生度を縦軸、経過年数と調査年度を横軸とした。無対策部材のデータは「参考」として、グラフエリア内に表示出来るものだけ表示した。

主桁下フランジのグラフを見ると、2年経過データでは、「超厚膜」のさび発生度が一番低く「増塗り1層」と「増塗り2層」のさび発生度は等しかった。3年経過データでは、「超厚膜」と「増塗り2層」のさび発生度が等しくなり「増塗り1層」のさび発生度がそれよりも大きくなった。4年経過データはいずれも3年経過データと同じさび発生度となった。これらの結果から、増厚量が多い「超厚膜」のさび発生度は常に低く抑えられていること、増厚量が少ない「増塗り1層」のさび発生度は高めに出ていることが判り、早期劣化対策としての塗膜増厚は、増厚量が多くなるほどさび発生を抑えられる傾向を示すことが確認できた。

2次部材のグラフでは、増厚量が一番多い「超厚膜」と一番少ない「増塗り1層」のさび発生度が全ての経過年数において等しく推移した。「増塗り2層」のさび発生度は、2年経過データでは「増塗り1層」よりも大きな値となったが、3年経過、4年経過データで「超厚膜」「増塗り1層」と等しくなった。このように、増厚量が多い「超厚膜」のさび発生度が常に低く抑えられていることについての確認は出来たが、「増塗り1層」

表-6 主桁下フランジエッジ部のさび発生度

試験施工 調査年度	無対策	早期劣化対策		
	標準仕様	増塗り1層	増塗り2層	超厚膜
H18	0.0	0.0	0.0	0.0
H20 (2年経過)	168.9	2.5	4.8	2.5
H21 (3年経過)	786.7	3.7	6.0	3.7
H22 (4年経過)	793.3	13.8	40.5	3.7

表-7 2次部材エッジ部のさび発生度

試験施工 調査年度	無対策	早期劣化対策		
	標準仕様	増塗り1層	増塗り2層	超厚膜
H18	0.0	0.0	0.0	0.0
H20 (2年経過)	1000.0	6.5	10.0	3.0
H21 (3年経過)	1700.0	10.0	10.0	3.0
H22 (4年経過)	2500.0	10.0	10.0	3.0

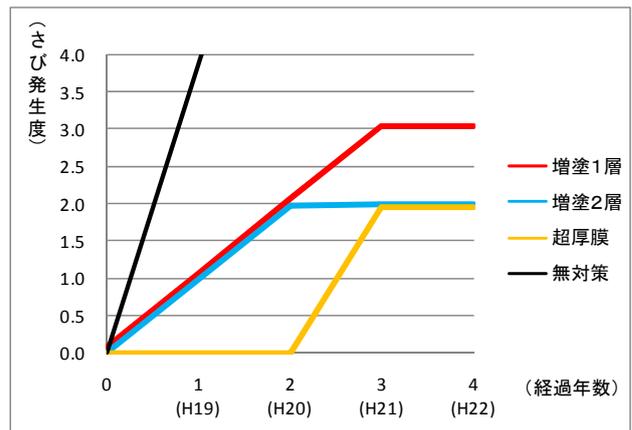


図-5 主桁下フランジのさび発生度

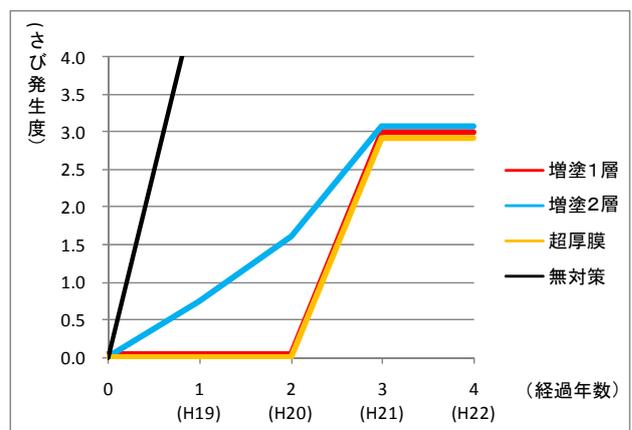


図-6 2次部材のさび発生度

と「増塗り2層」については、増厚量とさび発生度低減の明らかな関係を確認出来なかった。

#### b) エッジ部

表-6を基にした主桁下フランジエッジ部のさび発生度グラフを図-7に、表-7を基にした2次部材エッジ部のさび発生度グラフを図-8に示す。一般部のグラフと同様に、無対策データについては「参考」としてグラフエリア内に表示出来るものだけを表示する。

主桁下フランジエッジ部のグラフをみると、増厚量が一番多い「超厚膜」のさび発生度は、経過年数の全てで低く抑えられていた。一番増厚量が少ない「増塗り1層」のさび発生度は、3年経過まで「超厚膜」のさび発生度と等しく推移した。4年経過データでは「超厚膜」は3年経過データと等しいさび発生度だったが「増塗り1層」のさび発生度は増加が見られた。次に「増塗り2層」を見ると、「増塗り2層」は「増塗り1層」よりも増厚量が多いが、経過年数の全てにおいて「増塗り1層」よりもさび発生度が大きくなった。特に4年経過データでは、「超厚膜」のさび発生度3.7、「増塗り1層」のさび発生度13.8に対して、「増塗り2層」のさび発生度は40.5と大きくなった。

次に、2次部材エッジ部のグラフを見ると、「超厚膜」は全ての経過年数でさび発生度が低く抑えられており、2年経過以降はさび発生度の増加は無かった。「増塗り1層」は、「超厚膜」よりも大きなさび発生度で3年経過まで増加した。4年経過データではさび発生度の増加は無かった。「増塗り2層」は「増塗り1層」よりも大きなさび発生度で2年経過まで増加が見られたが、2年経過以降はさび発生度の増加は無く、3年経過以降は「増塗り1層」と同じさび発生度になった。

上記より、主桁下フランジエッジ部と2次部材エッジ部では、増厚量が多い「超厚膜」について、さび発生度が常に低く抑えられていることの確認が出来た。しかし、「増塗り1層」と「増塗り2層」については、増厚量とさび発生度低減の明らかな関係を確認出来なかった。

#### 4. まとめと考察

(1) 早期劣化対策として塗膜増厚を実施した部材のさび発生度と無対策の部材のさび発生度と比べると、試験施工した全ての塗膜増厚量で、さび発生度が明らかに低く抑えられている。これにより、早期劣化対策として塗膜増厚を実施することはさび発生度の低減に有効であることを確認した。

(2) 無対策の部材では、経過年数が増えるとさびの発生度が大きく増加したが、早期劣化対策として塗膜増厚を実施した部材では、経過年数が増えてもさび発生度は、僅かな増加にとどまった。これにより、塗膜増厚は塗膜の経年劣化に対する対策としても有効であり、塗膜増厚

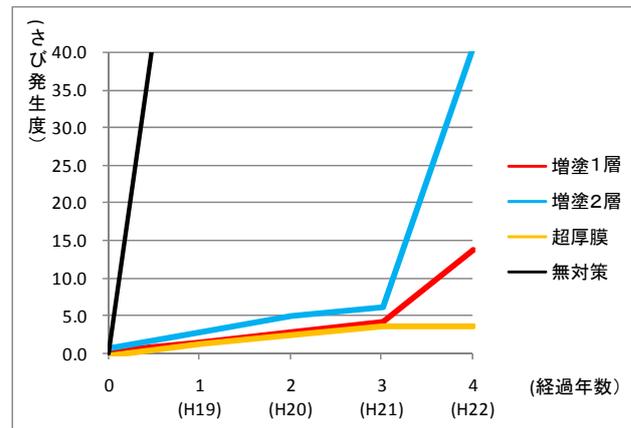


図-7 主桁下フランジ エッジ部のさび発生度

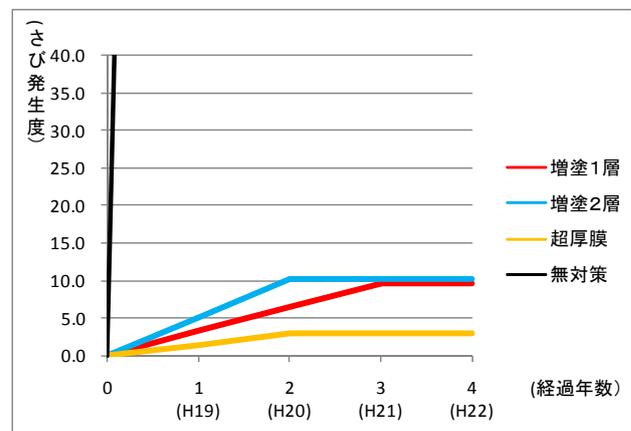


図-8 2次部材エッジ部のさび発生度

を実施することでさび発生度の進行を遅らせることが出来ることを確認した。

(3) 主桁下フランジの一般部において、増厚量が多い「超厚膜」ではさび発生度が常に低く抑えられており、増厚量が少ない「増塗り1層」ではさび発生度が高めに出的ることから、早期劣化対策としての塗膜増厚は、増厚量が多いほどさび発生度低減に有効であることを確認した。

(4) 2次部材の一般部や、主桁下フランジエッジ部、2次部材エッジ部においても、増厚量が多い「超厚膜」のさび発生度は低く抑えられていることを確認した。しかし、「増塗り1層」と「増塗り2層」については、増厚量とさび発生度の低減について明らかな関係を確認出

来なかった。

この理由として、2次部材は形状が複雑でケレン作業が困難なこと、エッジ部は塗料が十分に付着せず塗膜厚が薄くなったなどにより、塗膜増厚の効果が十分に得られなかったことが考えられる。

(5) 今回の追跡調査の範囲では、早期劣化対策として塗膜増厚の有効性が確認できた。しかし、経過年数が4年と短いことや、部材のさび発生割合が小さい範囲での検討であったことから、今後も調査を継続し、本対策が積雪寒冷地において、長期的にも有効な「早期劣化対策」になり得るか確認していきたい。

#### 【参考文献】

- 1) 鋼道路橋塗装・防食便覧、社団法人日本道路協会、平成17年12月
- 2) 鋼道路橋塗装便覧、社団法人日本道路協会、2002年6月
- 3) 林田宏、後田悟、伊藤健一：北海道におけるC塗装系の鋼橋塗膜劣化調査・予測に基づく早期劣化対策及び部分塗替えの検討、第50回（平成18年度）北海道開発局技術研究発表会
- 4) 塗装技術者のための鋼橋塗装の知識、山海堂、1978年8月