

V - 6 耐候性鋼材裸使用の橋梁への適用に関する調査

北海道開発局土木試験所 正員 北野 初雄
北海道開発局稚内開発建設部 正員 吉田 紘一
北海道開発局土木試験所 正員 小玉 茂

1. はじめに

近年、鋼橋メンテナンス・フリーの面から耐候性鋼材裸使用の橋梁への適用が各方面から注目されるようになってきた。耐候性鋼材の大気暴露による調査は、全国的にも各方面で実施されておりその成果が橋梁の設計施工に反映されてきているが、現状ではまだ資料が少なく特に実橋梁での試験調査が必要である。

このため北海道開発局では、昭和53年から試験片による各種構造用鋼材の大気暴露試験（以下、暴露試験という）に着手し、さらに昭和58年から山岳地域を対象として実橋梁の適用を試みてきている。

本文は、試験片による暴露8年経過の腐食量と架設後3年経過した実橋梁における追跡調査から、各種環境下における耐候性鋼材裸使用の適用性と実橋梁における安定さび生成対策について述べるものである。

2. 暴露試験片の腐食量

2.1 暴露場所と試験片

暴露場所は気象条件、自然環境の特性から次の7箇所の橋梁とした。

(記号)	(地域)	(環境)	(橋梁)
①	臨海工業	太平洋沿岸	輪西高架橋
②	海岸	日本海沿岸	小椴子橋
③	都市	札幌市内	北都橋
④	田園	石狩平野	角山橋
⑤	山岳	札幌市山間	凌雲橋
⑥	山岳(1)	三国山山麓	三国橋
⑦	山岳(2)	旧羽幌炭坑	二股橋

試験片の形状は50×165×6～8mm、三国橋のみ100×150×6mmの鋼板であり、表面処理はプラスト処理を行なった。その化学組成を表-1に示す。表中の①～⑤のSMA50AW材相当は、従来、通称特殊耐候性鋼といわれていた鋼材であり、JIS G 3114-1983規格の改正前の材料である。ここでは、以下SMA50AW材ということにする。なお、⑥～⑦の実橋梁および試験片はJIS改正後の材料である。

試験片の添架は、①～⑤の塗装橋梁と⑥～⑦の裸使用橋梁とした。その添架位置を図-1に示す。山岳地域のうち、⑤の暴露状態は⑥、⑦と異なり暴露条件がより厳しく腐食量が多いものと予測される。

2.2 各暴露地域の腐食環境

各地域について試験片の暴露開始から昭和61年回収までの間の腐食因子は表-2に示すとおりである。このうち、特徴的なものについて述べると次のようになる。

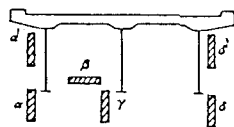
臨海工業地域では気温、湿度が高く、さらに亜硫酸ガス、海塩粒子の影響があること。海岸地域は海塩粒子が多く湿度が高いが、反面降

表-1 試験片の化学組成

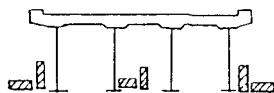
(レドール値、×100 wt)

記号	鋼種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V
①～⑤	SM50A	14	35	130	1.9	0.9	—	—	—	—	—
	SMA50AW 相当	12	23	102	2.1	1.2	30	46	11	—	4
⑥	SM50A	12	35	124	2.0	1.5	—	—	—	—	—
	SMA50AW	12	35	86	1.8	0.4 ～0.9	31	52 ～53	13 ～14	3	5
⑦	SMA50BW	13	47	95	1.8	0.7	35	49	11	—	—
JIS G 3106	SM50A	23	—	250 × C	≤ 4	≤ 4	—	—	—	—	—
JIS G 3114 -1983	SMA50A・B・C (P)	≤ 18	≤ 55	≤ 140	≤ 3.5	≤ 3.5	20 ～35	30 ～55	—	—	—
	SMA50A・B・C (W)	≤ 18	15 ～65	≤ 140	≤ 3.5	≤ 3.5	30 ～50	45 ～75	5 ～30	—	—

注) JIS G 3114の元素について、Mo, Nb, Ti, V, Zrなどを添加しても良い。
ただし、これらの元素の総計は0.15%を超えないものとする。



(日陰側) — (①～⑤) — (日照側)



(日陰側) — (⑥～⑦) — (日照側)

図-1 試験片の添架状態
(上段は①～⑤、
下段は⑥～⑦)

水量、日照時間が少ないこと。都市地域は気温が高く亜硫酸ガスが多いが、湿度は低く日照時間が多いこと。田園地域では気温が低く降水量が多いこと。山岳地域では気温が低く降水量が最も多いこと。山岳地域(1)、(2)は降水量が少なく、日照時間が多いことなどが挙げられる。

2.3 腐食量

耐候性鋼材裸使用橋梁の適用性の可否は架橋地点における環境条件の良否で決まる場合が多い。ここでは、暴露地域、部材位置

ごとにそれぞれ50年後の推定腐食量を求めて板厚に換算し、その値が0.4mmを越える場合やさび層が層状剥離の様相を呈した場合、その地域は環境条件が悪いと区分することにした。

推定腐食量は、経年変化を指数関数で仮定した次式¹⁾を適用した。

$$Y = AX^B e^{C/X} \tag{1}$$

ここで、Yは腐食量(mg/cm²)、Xは暴露期間(月)、A、B、Cは定数である。(1)を対数で示すと次式で表わされる。

$$\ln Y = \ln A + B \ln X + C/X \tag{2}$$

表-3には現段階での腐食量推定式の回帰係数、50年後の推定腐食量および板厚減少量を一覧で示した。ここでの板厚減少から見た結果によると、都市、田園、山岳地域では環境条件が良く、臨海工業、海岸地域は悪く部位別差異はきわめて顕著であり、中げた部などの☆印の意味は試験片が消滅するものである。

ちなみに、暴露後8年の海岸地域の中げた部、日照側は日陰側よりも一段と腐食の進行が顕著で、腐食量の最大は1.44mm(片面)に達し、さび層は剥落し新たに腐食が進行中である。また、さび層の構造解析でもクラックが数多く観察され、安定さび層にほど遠い形態である。

いずれにせよ、このような特に海塩粒子の多い海岸地域については、裸使用の機能を期待することが難しく耐候性鋼材の裸使用は困難である。

表-3 推定腐食量と環境条件

暴露地域	部材位置	日 陰 側 α (α')					中 げ た 部 β (γ)					日 照 側 δ (δ')				
		A	B	C	Y ₅₀	T ₅₀	A	B	C	Y ₅₀	T ₅₀	A	B	C	Y ₅₀	T ₅₀
臨海工業	下段水平						3.205	0.489	-8.469	555	0.71					
	下段鉛直	0.470	1.007	11.285	1023	1.30	1.582	0.637	0.084	286	0.36	1.218	0.730	7.593	365	0.47
海 岸	上段鉛直	2.466	0.583	7.202	496	0.63	2.139	1.024	1.315	☆	☆	1.228	1.038	5.950	☆	☆
	下段鉛直	3.420	0.229	-0.171	132	0.17	-0.842	1.608	20.418	☆	☆	4.046	0.133	-6.968	132	0.17
都 市	上段鉛直	1.670	0.431	3.557	84	0.11	2.216	0.305	-4.703	64	0.08	1.485	0.470	0.397	89	0.11
	下段鉛直						2.664	0.257	-8.792	73	0.09					
田 園	下段水平						1.635	0.624	0.196	278	0.35					
	下段鉛直	1.638	0.623	0.173	277	0.35	1.406	0.596	4.930	186	0.24	1.672	0.568	1.089	202	0.26
山 岳	下段水平						1.569	0.459	-2.396	90	0.11					
	下段鉛直	1.809	0.447	-3.389	107	0.14	1.269	0.506	-0.462	91	0.12	1.472	0.490	-2.270	100	0.13

注) (1) α、δは主げたの下フランジ付近に添架、α'、δ'は主げたウェブの上端付近に添架(図-1参照)。

(2) ☆印は試験片の消滅を示す。

(3) Y₅₀は50年後の推定腐食量(mg/cm²)。Xは(月)、A、B、Cは定数。

(4) T₅₀は50年後の推定板厚減少量(mm)。

なお、参考までに鋼種別の腐食量は図-2に示すように SM50A材がSMA50AW (BW)材よりも多く、腐食速度は両材ともゆっくりと進行している。橋梁別の腐食量は凌雲橋が三国橋および二股橋より多い。これは耐候

性に有効な元素の組合せや添加量、添架位置からくる暴露状態、気象因子などの要因が影響しているためと考えられる。その詳細は参考文献²⁾に譲る。

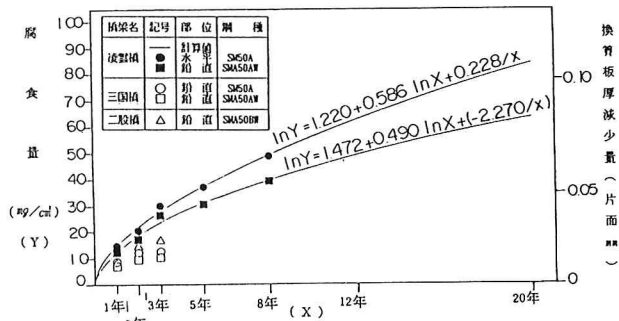
3. 実橋梁のさび生成対策

前述の裸使用の可否は、各種環境下に添架しておいた試験片から判定してきた。しかし、実橋梁の構造部分によっては、安定さび生成のしやすいところは問題はないが、安定さび生成の遅いところや生成しにくい部分があり、さび生成が長期間継続する可能性もある。このような重要部分は、試験片回収時に併せて定期点検している。

その知見から、ほとんどの裸使用橋梁は安定さびが生成しやすいようディテールなどに工夫がなされているが、さび生成がしやすいような処置を講ずるべきものもある。主な点検箇所とその対策の具体例を以下に紹介する。

(1) 伸縮装置、けた端、支承部

最近、伸縮継手は路面からの漏水に対する配慮から弾性シールなどの充填により、非排水形式の施工が一般的になってきているようである。非排水形は現時点では確かに止水性能があり、けた端部、端対傾構、支承などには濡



外げた日照側の試験片

図-2 山岳地域の腐食量経年変化

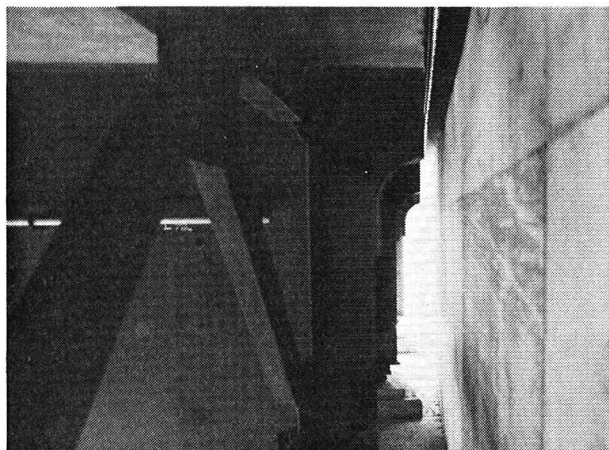


写真-1 伸縮継手下面およびけた端

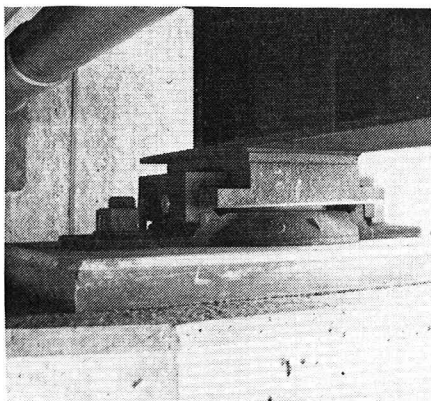


写真-2 支承部

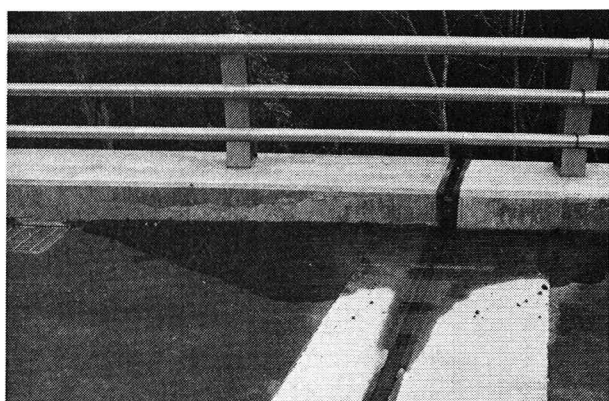


写真-3 伸縮継手上的の滞水

れなどの痕跡は認められず、けた端切欠による風通しの配慮などあって、さび生成は順調である。その状況を写真－１、２に示す。しかし、この非排水形は写真－３に示すように排水ますで流下できない橋面水は滞水し、ごみや土砂などを招き地覆付近に堆積している。滞水は走行車両の安全性低下、跳水によるけた端周辺部材の安定さび形成の障害が懸念される。

この対策として、排水ますまでの導水に工夫するか、山岳地域の降雨の多い橋梁では伸縮継手の端部から排水パイプを設けるなどして、その解消を図っている橋梁も見受けられる。

(2) 黒皮とブラスト処理の表面状態

実橋梁のうち、２径間連続げた橋の第１径間を黒皮付きの状態で、第２径間を製品ブラスト処理し、さび層の経年変化を比較している。架設時の外観を写真－４に、架設後４年経過を写真－５に示す。

架設当初は黒皮が目立ち美観も悪くブラスト処理面との差は一目瞭然である。しかし、経年ともに黒皮は剥離しさび層の暗色化に伴い黒皮、さびむらが減少している。４年を経た現在では両面の外観はほぼ同じようになってきているが、肉眼で見たさび層表面の密度は粗で荒れており、ブラストに比べち密さにかける。強固な黒皮は４年を経てもまだ剥離しない部分がある。

(3) 箱げた内面

箱げた内部は雨水の侵入や結露の発生によって湿潤状態となりやすいといわれている。構造研究室では昭和62年６月から７月にかけて箱げた内の現況調査を実施した。その結果、塗装橋梁14橋中11橋は乾いていたが、3橋だけが結露現象を生じており、濃霧の発生や湿度の高い地域の2橋は特に湿潤状態が激しかった。その気象状況を表－４に示す。このようなところに裸使用する場合には、内面は塗装することが望ましい。写真－６は乾いている状態を、写真－７に調査橋梁中、最も結露が激しかった橋梁に付着した上フランジの水滴の状況を示す。



写真－４ 架設時の外観



写真－５ 架設後４年経過の外観

表－４ 結露していた箱げたの気象状況

橋 梁 名	A 橋	B 橋	C 橋		
月 日 時 間	6月17日 11:50	6月25日 11:40	6月17日 10:37	6月19日 13:30	7月21日 11:15
外 気 温 (℃)	15.4	15.7	20.4	23.5	20.0
内面の外側ウェブ温度	12.1	16.8	12.9	25.6	19.2
内面の中側ウェブ温度 (℃)	—	14.8	—	22.8	18.6
けた内の温度	13.5	15.4	13.9	22.9	19.2
けた内の湿度 (%)	—	96	—	—	96

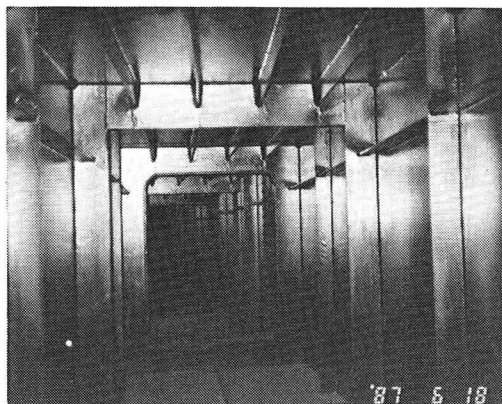


写真-6 乾いている箱げた内部

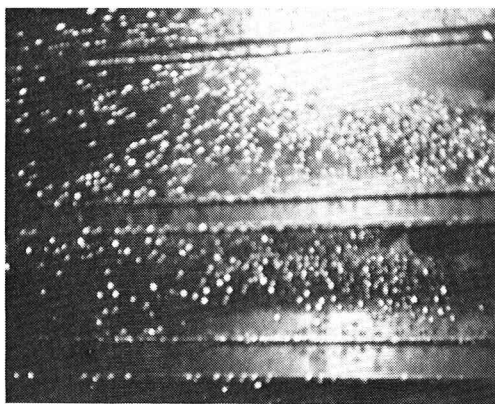


写真-7 箱げた内の結露

(4) 鋼げたの滞水

写真-8は晴天時にもかかわらずトラス橋の下弦材上面に雨水が滞水しているが、土砂の堆積例もあった。

日本鉄道建設公団の施工例では、湿潤状態が長時間続かないよう主構に5%の傾斜を付けて組み立て、製作時の施工性は普通のトラスと何らかわらず、架設後の上下弦材上フランジの排水も容易に行なわれると報告³⁾している。

(5) 耐候性高力ボルト摩擦接合試験体

塗装を施していない接合面の腐食状況は、臨海工業、海岸、田園地域のいずれの試験片ともさびの発生が認められた。最も腐食進行の速い海岸を例にとると、試験体の接合面は褐色さびが全面に発生している。一方、ボルト頭部およびナットを含めた外面は、接合面およびボルト軸部より一段と腐食が激しく、ジンクリッチプライマー塗装(80 μ m)の有無に関係なくさび層剥離の徴候が認められた。

実橋梁においても写真-9に見られるように継手部の添接板は降雨や結露などの水が滞留しやすく、局部的に腐食が進行している。一例として、縦断こう配の急なところでは、主げたにV字形の水切りを設けるなどして、湿潤状態の解消を図ることも有効な手段である。

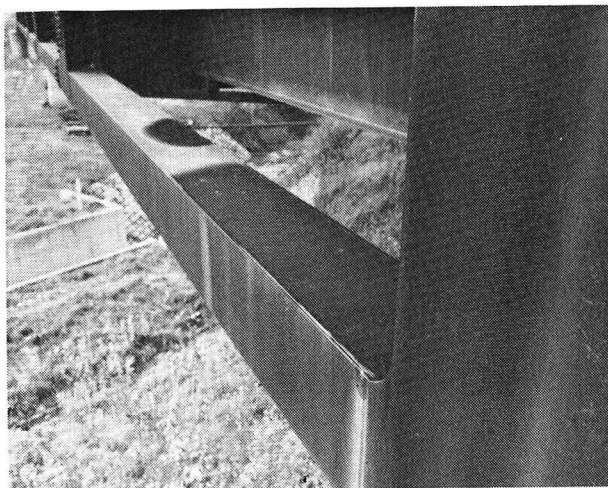


写真-8 下弦材上の滞水

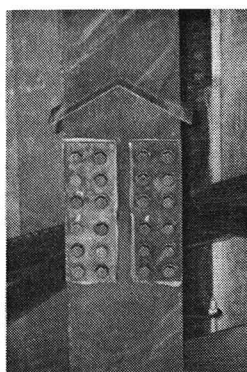
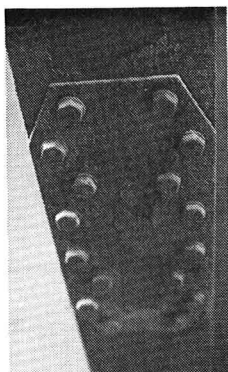


写真-9 継手部の腐食状況と水切り対策

4. あとがき

ここでは、各種環境下の橋梁に添架しておいた試験片の暴露8年までの腐食量から50年後の腐食量を推定し、その適用性を検討した。

適用性の可否は最終12年の腐食量を加えることにより、より精度の向上が期待できるが、都市、山岳、田園地域では環境条件が良く、海岸、臨海工業地域は悪く部材位置別の差異はきわめて顕著である。特に海塩粒子の多い海岸地域の裸使用については裸使用の機能を期待することが難しく、耐候性鋼材の裸使用は困難である。一方、実橋梁における安定さび生成対策ではさび生成がしやすいよう湿潤状態や水仕舞に対する対策、ほこりや汚物などの排除、定期的な点検、清掃などを詳細設計、製作架設の施工、維持管理などで総合的に配慮しなければならない。特に例え環境条件の良いところに裸使用しても、これらの配慮および対策を怠ると耐候性能を確保することが難しいと思われる。今後、適用性についてJISG 3114-1983規格改正前後、鋼種別の相違を含めて明らかにしていかなければならない。

〔参考文献〕

- (1) 堀川一男、滝口周一郎、石津喜雄、金指元計；各種金属材料および防錆被覆の大気腐食に関する研究（第5報）、防錆技術No11、昭和42年11月
- (2) 北野初雄、吉田紘一、小玉 茂；山岳橋梁に使用した耐候性鋼材の腐食について、第41回建設省技術研究会論文集 道路部門 昭和62年10月
- (3) 下条義章、剣持三平、小川達哉；耐候性鋼材を使用した橋りょうの設計施工について、土木学会第39回年次学術講演会論文集、1984（昭和62年）年10月