ISSN **1346-7328** 国総研資料 第778号 平成 26年1月

# 国土技術政策総合研究所資料

# 共 同 研 究 報 告 書

TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.778

January 2014

耐候性鋼橋の適用環境評価手法の高度化に関する研究(Ⅱ) - 凍結防止剤散布の影響に関する検討--

Research on Evaluation Technique of Applicable Condition for Weathering Steel Bridge (II) Study about Effect of the Scattered Deicer on the Bridge



National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure,Transport and Tourism,Japan Japan Iron and Steel Federation Japan Bridge Association

Technical Note of NILIM No.778 January 2014

# 耐候性鋼橋の適用環境評価手法の高度化に関する研究(Ⅱ)

一凍結防止剤散布の影響に関する検討一

Research on Evaluation Technique of Applicable Condition for Weathering Steel Bridge (II) Study about Effect of the Scattered Deicer on the Bridge

> 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (一社)日本鉄鋼連盟 (一社)日本橋梁建設協会

National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

Japan Iron and Steel Federation

Japan Bridge Association

### 概要

耐候性鋼材の道路橋への適用環境評価指標については、飛来塩分量との相関についての実績から、 海岸線からの離隔距離に応じて無塗装での適用可否条件が定められている。しかし、架設後に予期 せぬ異常さびの発生する事例もあり、その原因のひとつに凍結防止剤の影響が考えられる。本研究 (II編)では、凍結防止剤の散布が腐食環境に及ぼす影響を把握することを目的として、我が国の 事例及び米国における無塗装耐候性鋼橋の実態を調査し、さらに並列橋や地山が近接した局所的な 環境条件について、凍結防止剤の飛散による桁への塩分付着量に関する解析的検討を行ったもので ある。

キーワード: 耐候性鋼橋梁, 腐食, 凍結防止剤, 飛散

### Synopsis

The construction of weathering steel bridges is applicable in the region defined as the distance from the shoreline around Japan in the specifications for highway bridges. The deicer is able to make rust abnormal after the construction of the weathering steel bridge. In this paper, the achievement of weathering steel bridges in Japan is investigated, and the actual situation the bridges in U.S. is conducted for consideration of the influence of the deicer on the corrosion. The salt accumulation on the bridge by scattering of the deicer is also analyzed in consideration of the local condition around the bridges, parallel bridges, adjacent the face of mountain.

Key Words: weathering steel bridge, corrosion, deicer, scatter

【研究参加機関及び研究担当者(順不同)】

- 国土交通省 国土技術政策総合研究所
  - 道路研究部 道路構造物管理研究室 玉越 隆史 (2006.4~2009.3)[A, B, C] 星野 誠 (2008.4~2009.3)[A, B, C] 市川 明広 (2006.4~2008.3)[A, B, C] 七澤 利明 (2006.4~2009.3)[A, B, C] 大久保 雅憲(2007.4~2009.3)[A, B, C] 小林 寛 (2006.4~2007.3)[A, B, C] 高橋 晃宏 (2007.4~2009.3)[A, B, C] 生田 浩一 (2007.4~2009.3)[A, B, C] 武田 達也 (2006.4~2007.3)[A, B, C] 川間 重一 (2006.4~2007.3)[A, B, C] 石尾 真理 (2006.4~2007.3)[A, B, C]
- (社)日本鉄鋼連盟※1
  - 川崎 博史 (2006.4~2009.3) [A, B, C] 藤井 康盛 (2006.4~2009.3) [B, C] 松田 穣  $(2006.4 \sim 2009.3)$  [C] 田中 睦人 (2006.4~2009.3)[A] 星野 俊幸 (2006.4~2008.3) [A, B, C] 安藤 隆一 (2006.4~2009.3) [A, B, C] 岡野 重雄 (2006.4~2009.3)[B] 紀平寛  $(2006. 4 \sim 2009. 3)$  [A, B] 鹿毛 勇  $(2006. 4 \sim 2009. 3)$  [A, B] 幸 英昭 (2006.4~2009.3)[B] 中山 武典 (2006.4~2009.3)[B] 浅岡 裕之 (2006.4~2009.3) [A, B, C] 鹿島 茂行 (2008.4~2009.3)[A, B, C] 野中 正幸 (2006.4~2008.3) [A, B, C]
  - ※1 日本鉄鋼連盟は、2011年4月に社団法人 から一般社団法人に移行。
  - ※2 日本橋梁建設協会は、2012年4月に社団 法人から一般社団法人に移行。

(社)日本橋梁建設協会\*\*2

麻野	純生	$(2006. 4 \sim 2009. 3)$ [A, B, C]
山本	哲	$(2006.4 \sim 2007.9)$ [C]
鈴木	克弥	$(2007.10 \sim 2009.3)$ [C]
碇山	晴久	$(2006.4 \sim 2008.3)$ [A]
沢田	寛幸	$(2006.4 \sim 2007.3)$ [C]
志賀	弘明	$(2007.4 \sim 2009.3)$ [C]
金子	修	$(2007.10 \sim 2009.3)$ [B]
白石	薫	$(2006.4 \sim 2007.3)$ [C]
後藤	悟史	$(2006.4 \sim 2009.3)$ [C]
米本	榮一	$(2006. 4 \sim 2009. 3)$ [A, B, C]
神田	恭太臣	郡 (2006. 4~2008. 3) [A, B, C]
窪田	公二	$(2006.4 \sim 2009.3)$ [A]
中村	宏	$(2006.4 \sim 2008.4)$ [A]
中原	勝也	$(2008.5 \sim 2008.9)$ [A]
今井	誠	$(2008.10{\sim}2009.3)[A]$
伊藤	功	$(2006.4 \sim 2007.8)$ [B]
上田	博士	$(2007.9 \sim 2009.3)$ [B]
森田	浩隆	$(2006.4 \sim 2008.3)$ [A, B, C]
中松	裕	$(2008.4 \sim 2009.3)$ [B]
山井	俊介	$(2006.4 \sim 2007.9)$ [B]
岡田	俊之	$(2007.10 \sim 2008.5)$ [A, B, C]
石原	一伸	$(2008.6 \sim 2009.3)$ [A]
藤原	英之	$(2006.4 \sim 2008.3)$ [B]
小早川	豊	$(2006.4 \sim 2009.3)$ [A, B, C]
小沼	靖己	$(2006. 4 \sim 2007. 3)$ [A, B, C]

注)

- 研究項目担当
- [A]: 耐候性鋼材使用可否の検証方法の検討
- [B]: 簡易環境判定方法の開発・判定基準の検討
- [C]: 凍結防止剤散布の影響及び対策の検討 ()内は研究担当者が上記の所属機関に属した研 究期間を示す。
- 【研究参加機関及び取りまとめ担当者(2014年1月現在 順不同)】

国土交通省	国土技術政策総合研究所	(一社)日本鉄鋼連盟
道路研究音	阝 道路構造物管理研究室	高木 優任
玉越	隆史	
窪田	光作	(一社)日本橋梁建設協会
横井	芳輝	鈴木 克弥

### 協力者名簿

(2009年3月研究当時 順不同)

共同研究担当者の他に、本研究において下記の方々のご協力を得た。ここに感謝の意を示す。

- 橋の調査 宮城県 北部土木事務所 長野県
  西日本高速道路株式会社 四国支社 高松技術事務所
- 2. 米国調査

U.S.Department of Transportation ,Federal Highway Administration (FHWA) State of New Jersey Department of Transportation (NJTB) High Steel Structure (HSS ,National Steel Bridge Aliance) Arcelor Mittal (American Iron and Steel Institute) New Jersey Turnpike Authority (NJTA) 九州工業大学 教授 山口 栄輝 阪神高速道路株式会社 平野 敏彦

### まえがき

1981年(昭和56年)より1990年(平成2年)にかけて建設省土木研究所、(社)鋼材倶 楽部、(社)日本橋梁建設協会の3者により行われた耐候性鋼材の橋への適用性に関する共 同研究の成果として、「無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領(改定案)1993年(平成5年) 3月」において、飛来塩分量に着目した耐候性鋼材を無塗装で橋に用いることが出来る適 用環境評価指標が示されている。これをうけて道路橋示方書で、所定の方法で計測した飛 来塩分量が0.05mddを超えない地域、あるいは地域区分ごとに図で示された海岸線からの 距離を越える地域において使用することが出来るとされている。凍結防止剤の散布の影響 に関しては、関ヶ原周辺鋼桁の付着塩分量調査等の結果により現行の凍結防止剤の散布 程度であれば、無塗装耐候性鋼橋の使用には支障ないとされ、前掲の設計・施工要領(改 定案)において、凍結防止剤が散布される橋においては、特に水の処置に注意しなければ ならないとされていた。しかしながら、スパイクタイヤの使用禁止に伴う凍結防止剤散布 量の増大が報告されており、また、前掲の設計・施工要領(改定案)の提示から約20年 が経過し耐候性鋼橋の適用実績が増える中で、凍結防止剤散布による影響を改めて検証す ることが求められている。

このような背景から、本研究は、凍結防止剤の散布が腐食環境に及ぼす影響を把握する ことを目的として、凍結防止剤を散布している橋の事例及び米国の無塗装耐候性鋼橋の実 態を調査し、さらに並列橋や地山が近接した局所的な環境条件について、凍結防止剤の飛 散による桁への塩分付着量に関する解析的検討を行ったものである。

本報告書は、2006年度(平成18年度)より3カ年をかけて国土交通省国土技術政策総合研究所、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本橋梁建設協会の3者で行った共同研究の成果 についてとりまとめたものである。

本報告書のとりまとめにあたっては、暴露試験片の設置場所の提供など各機関に多大なるご協力を頂いている。ここに謝意を表する。

## 耐候性鋼橋の適用環境評価手法の高度化に関する研究(Ⅱ)

## 凍結防止剤散布の影響に関する検討

## 目 次

第1章	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
1.1	我が国の道路構造物を取り巻く塩分境境と凍結防止剤・・・・・・・・・・・・・・・
1.2	本研究の目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
第2章	凍結防止剤が無塗装耐候性鋼橋に与える影響について・・・・・・・・・6
2. 1	既往の調査結果に基づくさびレベルと環境条件に関する評価・・・・・・・・・・6
2. 1	.1 はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
2. 1	.2 調査データとその整理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
2. 1	.3 分析結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2. 1	.4 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
2.2	橋の調査結果 ~地山近接橋、並列橋~・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・20
2.2	.1 はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・20
2.2	.2 対象橋と調査内容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・20
2.2	.3 地山までの距離とさび厚・付着塩分量の関係・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
2.2	4 隣接橋の有無とさび厚・付着塩分量の関係・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31
2 2	5 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.3	橋の調査結果 ~地山近接橋~・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2 3	1 はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2 3	2 対象橋と調査内容・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.3	
2.3	
2.0	- 5000
2. 1	
2.1	2
2.4	·2 /3 永铜。 3 从鉬調杏結里 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
2. <del>-</del> 2 /	
2.4	$= 1 \times 10^{-1}$
Z. 0	τζα)····································
第3章	米国における無塗装耐候性鋼橋の実態・・・・・・・・・・・・・・43
3.1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
3. 2	調査目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43

3.3	訪問先・	•	•	•	•	•	·	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	·	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	44
3.4	調査内容	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	45
3.5	調査結果	Į.	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	46
3.6	まとめ・	•	•	•	•	•	·	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	50
第4章	凍結阞	方止	_斉	刊背	枚す	布	ກ	飛	;散	(13	- 0	¢.	5	桁	~	. <i></i> ,	) <b></b>	三方	介	寸疗	着(	12	関	す	Ś	解	科	Ťά	内	検	討	•	•		•	•	- !	52
4. 1	はじめに	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	52
4. 2	解析方法	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	52
4.3	平地の橋	÷	デノ	ル	Ξ.	۶	<b>る</b> ∮	解	析	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	63
4.4	地山近接	橋	£	デ	ル	に	よ	る	解	析	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1	12
4.5	並列橋モ	デノ	ル	Ξ.	よん	5¢	解	沂	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	•	•	• •		•	•	•			•					• •	1	38
4.6	まとめ・	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	•	•	• •			•	•	•	•	•	•	•		•	• •	•	• 1	66
第5章	まとめ	5.	-		•	-	•	•	•				-	•	•	•	•	•			-	•	•	-	•	•		•		•		•	-	•			1	71

### 第1章 はじめに

### 1.1 我が国の道路構造物を取り巻く塩分環境と凍結防止剤

周囲を海に囲まれた日本の沿岸部に建設される構造物は、海からの飛来塩分に暴露される環境にあ る。塩分は、木材、コンクリート、鋼など、多くの素材の耐久性に悪影響を及ぼす。海からの飛来塩 分量は内陸へ行くほど少なくなるが、スパイクタイヤの使用が禁止された 1991 年以降、道路での凍 結防止剤散布量が増加したことにより、一部の道路構造物が凍結防止剤の影響を受けている可能性が 指摘されている。ただし、道路橋に対する凍結防止剤の飛散の状況や構造物への付着、雨による洗浄 効果や湿度等の環境条件との相関など、凍結防止剤が道路構造物へ与える影響については、未だ定量 的には把握できていない点が多い。

### (1) 凍結防止剤散布の状況

凍結防止剤散布量に関する報告は多くはないが、「非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書」<sup>1.1)</sup>によると、1990年6月に「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」 が公布され、1993年4月から大型車を含む全ての車両が規制区域内でスパイクタイヤの使用が禁止されて以降、日本国内の凍結防止剤の散布量は年々増加し、2000年度には総散布量が50万t 近い値を記録している。(図1.1)





一方、単位面積あたりの凍結防止剤散布量のデータとしては、1993年に出された3者共同研 究報告書<sup>1.2)</sup>において、凍結防止剤の散布が比較的多い関ヶ原周辺での凍結防止剤散布量と付着塩 分量の調査結果が報告されており、この路線における一雪氷期(1987年12月~1988年3月)で の凍結防止剤散布量(NaCl)は、16橋の平均で約2050g/m<sup>2</sup>となっている。また、図1.2に青森県 下での凍結防止剤散布量推移を示す<sup>1.3)</sup>。

さらに、凍結防止剤散布量に関するデータの例として、表1.1に宮城県にヒアリングして得ら れたデータを、図1.3に長野県にヒアリングして得られた信越地方(高速道路)のデータを示す。 凍結防止剤の散布量が年間1000g/m<sup>2</sup>を越えるとさびの状態に影響が現れるといった知見<sup>1.4</sup>に対 し、2章に実橋調査結果を示す宮城県内の橋では、凍結防止剤(NaCl)の年間散布量平均値が約 3600g/m<sup>2</sup>と極めて多い。同じく2章に実橋調査結果を示す信越地方の高速道路についても、凍結防止剤の年間散布量平均値が約2400g/m<sup>2</sup>と比較的多い。



図 1.2 青森県における凍結防止剤散布量の推移

						_
	11 月	12 月	1月	2 月	3 月	計
2002 年度	324	666	1530	918	666	4104
2003 年度	108	756	1116	900	684	3564
2004 年度	_	_	_	-	_	-
2005 年度	0	1116	1098	810	630	3654
2006 年度	0	810	1062	900	720	3492
2007 年度	0	918	1134	1044	450	3546
平均值	86.4	853.2	1188	914.4	630	3672

表1.1 宮城県における冬期の凍結防止剤 NaCI 散布量

[g/m²]

※一回当りの散布量は、、16-20g/m<sup>2</sup>。平均値 18g/m<sup>2</sup>にて散布量を算出。

※2004 年度はデータ無し。

### (2) 凍結防止剤の種類

我が国では、スパイクタイヤの禁止以降、凝固点降下による手法及び経済性から、NaCl などの塩化物系の凍結防止剤が広く用いられているが、道路周辺環境や道路構造物への影響が懸念されることから非塩化物型凍結防止剤の開発がなされている。「非塩化物型凍結防止剤の開発に関する研究報告書」<sup>1.5)</sup>では、以下の材料及びその組合せについて融氷性能や鋼板腐食性、環境への影響、散布効果などを総合的に評価している。

<塩化物系材料>

塩化ナトリウム、塩化カルシウム

<非塩化物系材料>

酢酸ナトリウム、酢酸カルシウム・マグネシウム (CMA)、酢酸カリウム、尿素、蟻酸ナトリウム

この中で、酢酸ナトリウムが、従来の塩化物系凍結防止剤と同等の凍結防止効果を有するとされている。



図1.3 信越地方の高速道路における凍結防止剤散布量の推移

### (3) 土木構造物への凍結防止剤の影響について

塩化物は、木材、コンクリート、鋼など、種々の材料に対してその耐久性に悪影響を及ぼす。 例えばコンクリート構造物における塩化物の作用による部材の劣化の主なものは、コンクリート 表面の激しいスケーリング劣化として現れる凍害、アルカリ骨材反応の促進、コンクリート中の 鉄筋の急速な腐食などである <sup>1.6)</sup> 。 そのため、特に橋に関しては、凍結防止剤に含まれる塩化 物が床版コンクリートに浸透することや、漏水等により塩化物が定常的に供給される環境を避け なければならない。

塗装により防食された鋼構造物の場合、凍結防止剤の塩分は塗膜の耐久性に影響を及ぼす可能 性があるが、塩分に対して耐久性の高い塗装を施す、または適切な時期に塗り替え塗装を行う等 の対処を確実に施すことにより、鋼材自体の腐食を防ぎ、その性能を維持することが可能である と考えられる。ただし、塗膜の損傷や劣化もあるため、漏水等により塩化物が定常的に供給され る環境を避けることが必要である。

耐候性鋼材を無塗装で使用する場合、その防食は、保護性さびによるものであるため、仮に凍 結防止剤の塩分が鋼材に付着し滞留すると、鋼材表面が常時結露状態となりやすく、腐食速度が 著しく増加する可能性があり、その影響は大きいものと考えられる。特に橋における漏水等は、 塩分が定常的に供給される環境を作り出すため、耐候性鋼材に悪影響を及ぼすことは明らかであ る。

写真 1.1~1.2 は、それぞれ凍結防止剤が混入した漏水により耐候性鋼橋に生じた層状剥離さびの状況である。写真 1.2 は、凍結防止剤(NaCl)年間散布量が 3600 g/m<sup>2</sup> と多い路線に位置する宮城県内の橋である。凍結防止剤散布量が多いが、橋全体にわたって層状剥離さび等の異常が発生してはいない。床版漏水箇所等の滞水や不適切な環境により層状剥離さびが発生している。



写真1.1 床版漏水による影響



写真1.2 伸縮装置からの漏水による影響

### (4) 耐候性鋼橋の位置付けと凍結防止剤環境

道路橋示方書・同解説(日本道路協会、2012.3)<sup>1,7)</sup>では、無塗装耐候性鋼橋の適用可否は海岸 からの飛来塩分量を基準に決められている。しかし、先に述べたように 1991 年にスパイクタイ ヤの使用が禁止されて以来、道路には凍結防止剤が多量に散布されるようになり、これに伴い無 塗装耐候性橋が塩分に暴露される環境は大きく変化し、海からの飛来塩分量が少ない山間部にお いてもこの影響による腐食性さびの発生が指摘されている。

同様な事例は、米国において既に 30 年以上前に発生している。米国では、1970~1975 年頃に スパイクタイヤの使用が禁止され、凍結防止剤が多量に散布され始めた。その結果、ミシガン州 の無塗装耐候性鋼橋において腐食性さびによる損傷が報告され、1979 年に同州では、無塗装耐候 性鋼橋の建設が禁止された。その後、多くの実橋調査が実施され、これらの調査結果に基づき FHWA(米連邦高速道路局)が耐候性鋼材の橋への適用に関する規定を明確にし、1989 年 10 月 3 日、Technical Advisory T5140.22(October 3.1989)<sup>1.8)</sup>として提示した。ここで凍結防止剤散布地域 に無塗装耐候性鋼橋を建設する際の留意点や構造ディテール等が具体的に提示されたことによ り、道路橋への無塗装耐候性鋼材の使用禁止令は解除されている。

### 1.2 本研究の目的

日本における耐候性鋼橋に及ぼす海からの飛来塩分の影響に関しては、3 者共同研究<sup>1.2</sup>)において 検討され、その適用に関する規定が明確になっている。一方、凍結防止剤の影響については、特異な 地形条件(地山近接環境等)及び構造条件(並列配置等)についてある程度明らかにされているもの の、一般的な条件下での凍結防止剤の塩分の影響度合については不明な点が多く、適用に関する規定 を明確に定めるには至っていない、その原因の一つは、凍結防止剤の塩分が飛散し、鋼材に付着・滞 留するメカニズムを特定することが極めて困難であるためと考えられる。路面から凍結防止剤が飛散 し、鋼材に付着・滞留するというメカニズムを考えた場合、これを構成するパラメータは以下のよう に多く、これらは橋が位置する個々の地域・地形・部材構成等の環境条件によりその影響は大きく異 なるものと考えられる。

<パラメータ>

凍結防止剤散布量及び凍結防止剤の種類、路面の滞水状況、交通量及び大型車混入率、車速、 風向、風速、温度、湿度、高欄の有無や形式、積雪状況、橋形式、地形条件・・・

これらの現状を踏まえ、本研究では凍結防止剤散布地域に建設された無塗装耐候性鋼橋がどのよう な条件で凍結防止剤の影響を受けるのか、また、影響を受ける場合に、どのような対策を施せば同地 域において無塗装耐候性鋼橋を建設し、健全に維持することができるのか、ということを明らかにす ることを目的としている.

そこで、本研究では、これまで日本橋梁建設協会と日本鉄鋼連盟が行ってきた実橋調査結果を整理 し、無塗装耐候性鋼橋が凍結防止剤の影響によりどのように腐食損傷が発生しているかを分析した。 また、実際に国内の無塗装耐候性鋼橋を調査し、凍結防止剤の影響について調査した。さらに、米国 を訪問し、凍結防止剤の影響とその対策についての実態調査を実施した。最後に、これらの分析及び 調査結果を基に、耐候性鋼橋に関する凍結防止剤対策を整理した。

【1章参考文献】

- 1.1) 独立行政法人土木研究所: 非塩化物型凍結防止剤の開発等に関する共同研究報告書 整理番号第 293 号, 2003.8
- 1.2) 建設省土木研究所,鋼材倶楽部,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(XX) 整理番号第88号,1993.3
- 1.3) 日本鉄鋼連盟,日本橋梁建設協会:耐候性鋼の橋梁への適用[解説書],2002.9
- 1.4) 独立行政法人土木研究所:非塩化物型凍結防止剤の開発に関する研究報告書(整理番号 293 号),
- 1.5) 土木学会:凍結防止剤の耐候性鋼橋梁のへの影響,土木学会第60回年次学術講演会,2005.9
- 1.6) 日本コンクリート工学協会:融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書・論文集, 1999.11
- 1.7) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 2012.3
- 1.8) Federal Highway Administration : Technical Advisory T5140.22, 1989.10

### 第2章 凍結防止剤が無塗装耐候性鋼橋に与える影響について

### 2.1. 既往の調査結果に基づくさびレベルと環境条件に関する評価

### 2.1.1. はじめに

本節では、日本橋梁建設協会と日本鉄鋼連盟が毎年行っている我が国における耐候性鋼橋の経年 変化調査の結果、及び既往の文献や公表されている調査データ等を整理・分析し、凍結防止剤を散 布する地域の耐候性鋼橋のさびレベルの傾向と環境条件について評価する。

### 2.1.2. 調査データとその整理

- 2.1.1.で収集した全調査データから、分析に用いるデータを以下の要領で整理する。
  - 全ての調査データのうち、凍結防止剤が散布される山間部に位置する橋を抜粋する(表 2.1.1)。
  - ② 表 2.1.1 のうち、非塩化物系凍結防止剤を使用している橋・データを除く。凍結防止剤の 種類は一般的には塩化物系が用いられているため、種類が明記されていない橋に関しては、 塩化物系の凍結防止剤を使用していると判断し分析対象に含める。
  - ③ 調査年によって評価のカテゴリ数が異なるため(5段階評価や良悪評価等)、ここでは外観 評点1~5の5段階評価(表2.1.2)として整理・統一する。
  - ④ さび外観評点が良・悪と判定されている場合は、良を外観評点3、悪を外観評点2とする。
  - ⑤ さび外観評点が 3~4 と判定されている場合等は、低い方(外観評点 3)とする。
  - ⑥ 分析に使用するデータは、着目するパラメータによって母集団の数が変わる。 (調査データには、さび外観評点の評価値や凍結防止剤散布量が記載されていないものが ある。また、一般部のさび外観評点はあっても桁端部がない場合もあり、その逆もある。)

分析対象橋(全 82 橋)の経過年数を図 2.1.1 に、一般部と桁端部のさび外観評点別の橋数をそれぞれ表 2.1.3、図 2.1.2 に示す。

8
É
乬
$\overline{\mathcal{M}}$
 1ัL
香
÷
No
5
ا
扫
Ù
53
- 114
<u>ڦ</u>
Ξ
Ξ.
<del>, -</del>
сi
表

空禰:データ兼し × :対象外

							_		<u> </u>				_	-											_		
	3-4	長野県 上水内郡	県道31号線	2径間連続非合成 飯桁	69.3	1991	2000	6	60	SMA50W SMA41W	檪	41-177	1200g/m <sup>*</sup>	塩カル・ナクルロード	12.5	2.8	887.0	84.0	×	0	南北とも	×		良好	2	析下空間が地盤か 61.3m程度、湿潤 環境 A1個外折下フラン バ上面にさびいく ル2	0
	3–3	長野県 上木内郡	県道31号線	単純非合成飯桁	40	1991	2000	6	60	SMA50W SMA41W	莱	45-562	1200g/m <sup>*</sup>	塩カル・ナクルロート	12.5	2.8	887.0	84.0	×	,	<	x	風通し良	良好		排水桝からの飛散 あり(レベル2)	0 (一 <sup>101</sup> 41)
	3-2	長野県 上水内郡	県道31号線	5径間連続非合成 飯桁	296	1991	2000	6	70	SMA50W SMA41W	檪	83-2000超	1200g/ mੈ	塩カル・ナりルロート	12.5	2.8	887.0	84.0	×	0	南側	×		良好		スープドレーンから の飛散めり の飛散めり	00000000000000000000000000000000000000
	3-1	長野県 長野市	県道31号線	上路式アーチ橋 飯桁	124.65+94.8	1990	2000	10	55	SMA490W SMA400W	莱	25-2000超	1200g/m <sup>*</sup>	塩カル・ナクルロード	12.5	2.8	887.0	84.0	×	,	<	×	風通し良	良好	1	P3G1希端部にスラ ブドレーンからの 飛渡あり(レメル1) 床筋クラックによる 漏米あり(レメル1)	0
	2-5	岐 中県 郡郡	国道257号線	単純非合成箱桁		1997	2000	9	69	SMA490W SMA400W	檪	166-167	373g/m <sup>*</sup>	塩ナト、塩カル	11.6	1.7	1459.5	176.0	×	,	<	×		良好			0(一部的44)
	2-4	岐 中県 大野郡	国道257号線	単純非合成箱桁		1995	2000	5	69	SMA490W SMA400W	襍		373g/m <sup>*</sup>	塩ナト、塩カル	11.6	1.7	1459.5	176.0	×	C	C	×		良好			0(100001)
	2–3	咳 大野郡	国道257号線	単純非合成箱桁	63.5	1994	2000	9	69	SMA490W SMA400W	鞣		373g/m <sup>*</sup>	塩ナト、塩カル	11.6	1.7	1459.5	176.0	×	0	端部	×		3~4		A1上流側は湿気 滞留	(一部他在21)
	2-2	大野郡荘川村大字 三谷地内	国道158号線	2径間連続非合成 飯桁橋	93.5	1998	2000	2	80	SMA490W SMA400W	檪		266g/ m <sup>*</sup>	塩ナト、塩カル	1.7	-2.6	2189.0	176.0	×	,	<	×		5			() 0
	2-1	大野郡丹生川村町 方	高山~上宝線	単純非合成箱桁橋	52	1996	2000	4	75	SMA490W SMA400W	辚		292g∕ m	塩ナト、塩カル	11.6	1.7	1734.0	176.0	×	,	<	×		4			(一部第一3)
	1-5	北海道深川市	道央自動車道	連続トラス橋 連続鈑析橋	166	1988	1999	11	30km以上	SMA41W SMA50W	莱		30t/km程度		7.1	-4.2	830.0	783.0	O 上下なし、間隔20mm	,	<			良好	1	伸縮装置 (排水型) からの越流があ り、層状剥離さび あり	0
	1-4	北海道奈井江町	道央自動車道	単純合成飯桁橋	45	1986	1999	13	30km以上	SMA41W SMA50W	辚		30t/km程度		7.8	-3.5	1256.0	799.0	0 上下なし、間隔1m	C	þ			2	良好	凍結防止剤が原 困?うろこ状の薄 いさびあり	0
	1–3	北海道室蘭市	室蘭新道	2径間連続箱桁橋		1975	1999	24	1km以下		化成処理				9.2	0.3	951.0	113.0					風通し良	良好	良好	床版からの漏水あり	0
	1-2	北海道室蘭市	室蘭新道	2径間連続箱桁橋	43	1977	1999	22	1km以下		化成処理		-		9.2	0.3	951.0	113.0	0					良好	第い	伸縮装置の漏水あ り 床版内に雨水が浸 透して箱内まで浸 入	0
		北海道室蘭市	室蘭新道	2径間連続箱桁橋		1975	1999	24	1km以下		化成処理				9.2	0.3	951.0	113.0	×	0	創道			良好	悪い	A1 伸縮装置(排水型)の減水あり 4回、加減水あり 箱内面無塗装	0
×:対象外		所在地	路線	形式	橋長[m]	竣工年	調査年	調査時の経過年数[年]	離岸距離[km]	材質	仕様	付着塩分量[mg/m2]	凍結防止剤散布量	凍結防止剤種類	年平均気温[°C]	冬季平均気温[°C]	年間降雨量(mm)	年間降雪量(cm)	並列	李二本六	#0. <b>LH</b> 15X2L	オーバーブリッジ゙	その他環境条件	一般部の状態(さびレベル)	桁端部の状態(さびレベル)	楷	分析対象の可否

8
છે
ー 見
$\mathcal{U}$
一下燈
Ň
す
님님
1
H
钷
罰
ᆿ
—
_
Ξ.
2
表

消産: ナーダ 載つ

	Γ₽		01			_				-				1						-		1	-		,	
5-7	西村山郡大江町7 字颜好	町管理	単純合成鈑桁×2	50	1992	2001	6	51	SMA41W SMA50W	莱	0-57	散布量不明	塩化ナトリウム	1.11	1.3	1356.0	329.0	×	>	¢	×		3	e		0
5–6 1	西村山郡大江町左 沢地先	一般国道458号	連続非合成箱桁 十単純非合成飯桁	137	1993	2001	m	70	SMA400W SMA490W	軼	0-42	0.20ton	塩化ナトリウム	1.11	1.3	1356.0	329.0	×	,	ć	×		4	4	採取さびによるX線 回析を実施、Bさ びはほとんど検出 されず、素結防止 剤の影響はほとん どない、	0
2   2	西村山郡朝日町	町管理	単純合成鈑桁	33.9	1988	2001	13	55	SMA41W SMA50W	莱		散布量不明	塩化ナトリウム	FH	1.3	1356.0	329.0	×	>	, ,	×					×
5-4	西村山郡朝日町	町管理	3径間連続非合成 飯桁	153.6	1986	2001	15	55	SMA41W SMA50W	檪	3–39	散布量不明	塩化ナトリウム	11.1	1.3	1356.0	329.0	×	,	¢	×		3~4	3~4		0
ц 1-3	) )	町管理	単純合成飯桁	37	1993	2001	80	53	SMA400W SMA490W	莱		散布量不明	塩化ナトリウム					x	>	<	×					×
5-0	西村山郡大江柳川	(主)大江西川線	連続非合成鈑桁	106	1997	2001	4	09	SMA400W SMA490W	鞣	0-38	0.15ton	塩化ナトリウム	9.3	-0.3	2372.0	1113.0	×	>	¢	×		3~4	3~4	採取さびによるX級 回析を実施、Bさ びはほとんど検出 されず、凍結防止 剤の影響はほとん	0
л-1	東村山郡中山町大 字柳沢	町管理	連続非合成鈑桁	76	1986	2001	15	65	SMA41W SMA50W	檪	9-55	Oton	塩化ナリウム	12.2	2.4	1247.5	164.0	×	>	¢	×		4	4		0
4-4	下伊那郡上村程野	三遠南信自動車道	単純非合成鈑桁	37.3	1992	2000	8	70	SMA490W SMA400W	莱		400g/mੈ	塩カル・ナクルロード	13.5	4.5	1912.0	25.0	×	,	¢	×		良好			(一時第64)
4-3	下伊那郡上村程野	国道152号線	単純非合成鈑桁	31	1990	2000	10	110	SMA490W SMA400W	莱		400g/mੈ	塩カル・ナクルロート	13.5	4.5	1912.0	25.0	×	C	>	×		良好			(一時第0年)
4-0	- 下伊那郡喬木村氏 東	三遠南信自動車道	2径間連続非合成 箱桁	46.5	1991	2000	6	06	SMA490W SMA400W	檪		400g/ m <sup>2</sup>	塩カル・ナクルロート	13.3	4.1	1622.0	25.0	×	0	上流側	×		良好			(一部第の社)
4-1	下伊那郡根羽村小 川	国道153号線	2径間連続非合成 籤析	76	1989	2000	Ŧ	96	SMA490W SMA400W	莱		400g/m <sup>*</sup>	塩カル・ナクルロート	9.8	0.8	2401.0	25.0	×	0	上流側	×		良好			(一船部のみ)
3-7	長野県 上水内郡	県道31号線	単純合成鈑桁	37	1989	2000	Ŧ	50	SMA50W SMA41W	檪		1200g/mੈ	塩カル・ナクルロート。	12.5	2.8	887.0	84.0	×	,	ć	×		良好			(一部第の4)
3-6	500 長野県 上水内郡	県道31号線	単純鋼鈑桁	44.5	1990	2000	10	55	SMA50W SMA41W	檪	36-635	1200g/m <sup>*</sup>	塩カル・ナクルロード	12.5	2.8	887.0	84.0	×	,	ć	×		良好			(一部第のみ)
3—6	500 長野県 上水内郡	県道31号線	2径間連続飯桁橋 ×2	156	1989	2000	11	52	SMA50W SMA41W	莱	45-542	1200g/m <sup>*</sup>	塩カル・ナクルロード	12.5	2.8	887.0	84.0	×	0	南側	×		良好	2	た 諸語の み 先 下 J	0
— × :対象外	所在地	路線	形式	播長[m]	竣工年	調査年	調査時の経過年数[年]	雜岸距離[km]	材質	仕様	付着塩分量[mg/m2]	凍結防止剤散布量	凍結防止剤種類	年平均気温[°C]	冬季平均気温[°C]	年間降雨量(mm)	年間降雪量(cm)	並列	本に旅行	THE ALE AND A DECEMBER OF A	オーバーブリッジ	その他環境条件	一般部の状態(さびレベル)	右端部の状態(さびレベル)	橋	分析対象の可否

8
3
髧
Ĩ
卜
橋
NO
᠆
ا
臼
Ŭ
鹄
틾
Ξ
-
÷
с,
表

浜壷:イータ帯し × :対象外	0.000													
	6-1	6-2	6—3	6-4	6-5	9-9	6-7	7-1	7-4	7-5	8-1	8-2	8—3	8-4
所在地	超翅	矢巾町大字土橋~ 紫波町東長岡宇天 王	关巾氏宇北郡山	紫波町北日詰大巻	石鳥谷町大瀬川	花巻市太田及び上 根子	花巻市東12丁目	松本市神林町	廊山市古川町	長岡市	宮城県古川市	宮城県鳴子町	宮城県鳴子町	宮城県鳴子町
路線	盛岡市管理	紫波町管理	失中町道	紫波町管理	東北農政局	花巻市	花巻市管理	長野自動車道	国道41号	国道8号				
形式	連続非合成飯桁	連続非合成箱桁× 2	単純合成箱桁	連続非合成箱桁	HBB+単純鈑桁 ×4	連続非合成飯桁	連続非合成箱桁× 2	4径間連続飯桁			単純合成析	2径間連続桁	単純合成桁	3径間連続桁
橋長[m]	162.7	161*2	38	221.9	120.3	126.4	188.06*2	146						
竣工年	1984	1990	1995	1995	1990	1990	1990	1986			1990	1995	1996	1996
調査年	2001	2001	2001	2001	2001	2001	2001	1995			2001	2001	2001	2001
調査時の経過年数[年]	17	11	9	9	E	14 V	11	σ			E	9	a	D.
離岸距離[km]	66	65	85	70	70	73	70	90	57	20				60
材質	SMA41W SMA50W	SMA41W SMA50W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA50AW	SMA41W SMA50W	SMA41W SMA50W							
仕様	<b>*</b>	*	蒙	鞣	莱	鞣	à	無塗装橋			祼(外面化成)	裸(外面化成)	鞣	鞣
付着塩分量[mg/m2]	2-164	7-1999	2-1999	12-944		3-1287	6-1100							
凍結防止剤散布量	3000cc/m			2000g/ mੈ		1400g/m <sup>*</sup>	1400g/m <sup>2</sup>	500g/m <sup>*</sup>						
凍結防止剤種類	非塩化物系液剤	際雪	除雪	塩化マグネシウム	不明	家素	尿素							
年平均気温[°C]	10.7	10.5	10.5	10.5	1.11	EUE	11.1	11.5	11.6	13.6	11.8	11.8	11.8	11.8
冬季平均気温[°C]	11000	0.0	0.8	0.9	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	4.1	2.6	2.8	2.8	2.8
年間降雨量(mm)	1398.0	1485.0	1426.0	1485.0	1450.0	1450.0	1450.0	804.0	1459.5	2508.0	1060.0	1277.0	1277.0	1277.0
年間降雪量(cm)	161.0	161.0	161.0	161.0	161.0	188.0	188.0	54.0	176.0	104.0	75.0	5.0	5.0	5.0
並列	×	×	×	×	×	×	×	0 上下なし			×	×	×	×
地山接近	×	×	×	×	×	×	×	×			×	×	0	
オーパーブリッジ	×	×	×	×	×	×	×	×			×	×	×	x
その他環境条件														
一般部の状態(さびレベル)	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好						
杵端部の状態(さびレベル)	1000 <b>4</b> 000 0000	良好				2	良好							
输	非協行物米液剤 非協た物米液剤 酢酸と原素をプレ ンドにナリジナリ 液合酸乳からの 漏米あり(編22) 構て入し」)	は スープドレーンの排 米が低にかかって メ いるが、特に問題 つ なし				お下の河川・檜住 により湿潤環境 右端下フランジト 面にうろに状さび		<b>张来塩分濃度</b> 0014~0.021mdd	飛来塩分量 0.013mdd 0.013mdd	祼来塩分量 9.090mdd				
分析対象の可否	×	×	×	(一般部のみ)	(一般部のみ)	×	×	〇 〇 (一般部のみ)	×	×	×	×	×	×

# 表 2.1.1 山間部に位置する橋データー覧(4/8)

د	
兼	
\$	轪
1	袰
ĩ۲	衣
	• •
調	×

×:对象外														
-	8-5	8-6	追加	9-1	9-2	9–3	9-4	9-5	9-6	9-7	10-1	10-2	10-3	11-1
所在地	宮城県鳴子町	宮城県玉造郡 鳴子町鬼首	宮城県玉造郡 鳴子町鬼首	山梨県 光都留郡	亡梨県 光都留郡	山梨県 埴山市	丘梨県 植丘市	山梨県 酒山市	山梨県 酒口市	旧 婚 一 一	群馬県 富岡市	群馬県 松井田町	群馬県 松井田町	岐阜県 郡上市
路線		国108号パイパス	国108号バイバス								上信越自動車道	上信越自動車道	上信越自動車道	中部縦貫自動車道
形式	单純桁	2径間連続 非合成飯桁	2径間連続 非合成鈑桁	単純箱桁	単純鈑桁	単純飯桁2連	連続箱桁	単純箱桁	単純飯桁	単純箱桁	4径間連続鈑桁	3径間連続飯桁	2径間連続飯桁	3径間連続箱桁
橋長[m]		103.5	103.5					32			180	105	85	180
竣工年	1991	1989	1989	1994	1990	1988	1997	1994	1992	1993	1990	1991	1991	1995
調査年	2001	2001	2007	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2003	2003	2003	2002
調査時の経過年数[年]	10	12	18	9	10	12	e	9	80	7	13	12	12	7
離岸距離[km]		60	60	40	40	60	60	60	60	60	100以上	100以上	100以上	70
材質		SMA50W	SMA50W								SMA41W SMA50W	SMA41W SMA50W	SMA41W SMA50W	SMA490W
仕様	莱	莱	莱	莱	莱	莱	莱	莱	莱	莱	莱	莱	辚	莱
付着塩分量[mg/m2]		11-182	0-252	181	65	300	34	52	65	97				8-73
凍結防止剤散布量		1150g/m <sup>2</sup>	1150g/m <sup>*</sup>	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	1332g/m	1332g/m <sup>*</sup>	1332g∕ mੰ	4066g/ m <sup>*</sup>
凍結防止剤種類		塩化ナトリウム	塩化ナトリウム	塩化カルシウム	塩化カルシウム	植化カルシウム	塩化カルシウム	塩化カルシウム	植化カルシウム	植化カルシウム				
年平均気温[°C]	11.8	11.9	11.9	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	15.3	15.3	15.3	13.2
冬季平均気温[°C]	2.8	2.8	2.8	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	6.4	6.4	6.4	3.9
年間降雨量(mm)	1277.0	1057.0	1057.0	1387.0	1387.0	1180.0	1180.0	1180.0	1180.0	1180.0	1063.0	1063.0	1063.0	2300.0
年間降雪量(cm)	5.0	5.0	5.0	0.0	0:0	0:0	0.0	0:0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	176.0
北列	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0	0	0	×
1	×	<	<	¢	ć	ć	č		,	ć	間隔1400mm	間隔20mm	間隔20mm	¢
		0	0	0	0	C					0	C	¢	0
HULH (X)JU		G4桁側	G4桁側	端部	端部	þ					þ	>	>	南側
オーハーブリッジ	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
その他環境条件													風通し・日照悪	風通し良
一般部の状態(さびレベル)	3	3	良好	4	4	4	4	4	4	4	2~4	2	2~3	4~5
桁端部の状態(さびレベル)				ъ	e	3	4	4	4	4	-	F	-	4~5
韂考	木道管からの漏木 による剥離さびあ リ(レベル1)	床版からの漏水に よる剥離さびあり (レベル1)	床版おらの漏水に よる剥離さびあり (レインロ)								外析下フランジ外 側上面は全面的に さびレメリル2 た版・伸縮からの 編水あり	外析下フランジ外 1 制上面は全面的に1 きびレベル2(部分 7 201-1) 的に1) の約(1-1) 1 の析でもレベル2あ 1 3 素版・伸縮からの 1 (素板)	4桁下フランジ外 側上面は全面的に さびレベル1 ちがレベル2 り がでもレベル2あ り 自給からの漏水あ	
分析対象の可否	( - ( - 第 の な )	( 一 徳 郎 の み)	(一憲部のみ)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8
(5/
Ⅰ 髧
$\tilde{\mathcal{U}}$
 1L
收局
Ř
No
φ
ا
늰
Ð
5
ᄪ
≞
Ξ
Ξ.
-
ц,
表

,	
兼	
\$	I
	4
îト	1
船牆	;

11-2     11-3     11-4     11-6     11-7     11-8     11-10     11-11     11-12     11-13     11-14     11-16     11-14     11-16
113     114     115     119     1110     1111     1112     1114     1116
11-4     11-6     11-7     11-9     11-9     11-12     11-12     11-12     11-14     11-16     11-16     11-17     11-16     11-16     11-16     11-17     11-16     11-1
115     116     111     1110     1110     1110     1110     1116
11-16     11-17     11-18     11-19     11-10     11-11
11-7     11-6     11-16 <t< td=""></t<>
11-66     11-10     11-11     11-12     11-13     11-14     11-16     11-16       11-66     11-90     11-10     11-11     11-12     11-13     11-14     11-16       11-67     第上市     第上市     第上市     第上市     第上市     第上市       11-61     第2.6     100     11-10     11-12     11-14     11-14       11-15     110-15     1955     1995     1995     1995     1995       110-15     110-5     1905     1995     1995     1995     1995       110-5     1905     1995     1995     1995     1995     1995       110-5     1905     1995     1995     1995     1995     1995       1005     1995     1995     1995     1995     1995     1995       1005     1995     1995     1995     1995     1995     1995       1005     1995     1995     1995     1995     1995     1995       1005     1995     1995 </td
119     1110     1111     1112     1114     1116       成長期     の長期     の
11-10     11-11     11-12     11-13     11-14     11-15       0.55     0.5     0.5     0.5     0.5     0.5     0.7       2.55     0.5     0.5     0.5     0.5     0.7     0.7     0.7       2.55     1955     1955     1955     1955     1955     1955     1955       2002     2002     2002     2002     2002     2002     2002     0.7     7 <td< td=""></td<>
11-11     11-12     11-13     11-14     11-15       岐尾市 都上市 都上市 都上市 都上市 新工作 新工作 新工作 和田田橋属白動車道中部機實自動車道中部機實自動車道 5600     11-15     11-15     11-15       5601     越上市 都上市 都上市 第二市     第二市 第二市     第二市 第二市     11-15     11-15       5601     3837     15697     11.3     79.7       204     2337     15695     113     79.7       7     7     7     7     7     7       7     7     7     7     7     7       7     7     7     7     7     7       7     7     7     7     7     7     7       7     7     7     7     7     7     7     7       7     7     7     7     7     7     7     7     7       7     7     7     7     7     7     7     7     7       7     7     7     7     7     7     7     7     7     7
11-12     11-13     11-14     11-15       岐阜県     岐阜県     岐阜県     岐阜県     岐阜県     岐阜県       郡上市     郡上市     郡上市     郡上市     郡上市       4径間進術施析     4径間進術施析     4径間進術施析     部上市       238.7     158.97     村.3     79.7       1995     1995     1995     1995       2002     2002     2002     2002       7     7     7     7       7     7     7     7       7     7     7     7       7     7     7     7       7     7     7     7       7     7     7     7       7     7     7     7       8MA490W     SMA490W     SMA490W     MA490W       第     #     #     #       13.2     13.2     13.2     13.2       13.3     3.9     3.9     3.9       3.9     3.9     3.9     3.9       1750
11-13     11-14     11-15       0.11-13     11-14     11-15       0.02     0.02     0.02       0.02     1.00     7     7       1.158.97     41.3     79.7       1.58.97     41.3     79.7       1.58.97     41.3     79.7       1.58.97     41.3     79.7       1.58.97     41.3     79.7       1.995     1.995     2002       2002     2002     2002     2002       2002     2002     2002     2002       2002     2002     2002     1995       7     7     7     7     7       7     7     7     7     7       7     7     7     7     7       7     7     7     7     7       7     7     7     7     7       7     7     7     7     7       7     7     7     7       7     7
11-14     11-15       岐阜県     岐阜県       岐阜県     岐阜県       都上市     郡上市       市田市     郡上市       市田市     部上市       市田市     部上市       市田市     北市       市田市     部上市       市田市     部上市       市田市     部上市       市田市     2611       13     79.7       1995     1995       2002     2002       2002     2002       2002     2002       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       3.9     3.9       175.0     176.0       175.0     176.0       0     0
11-15     11-15       廃岸市県     廃岸市県       市田湾龍山市     第上市       2名昭国連続航台     19-5       2002     2002       79.7     1995       3.9     2002       3.9     3.9       3.9     2300.0       13.2     3.9       23.9     2300.0       176.0     0       176.0     170.0       176.0     170.0

(8/9)
-ター覧
- る橋 デー
に位置す
山間部
表2

د	
兼	
5	3
	4
۱ĥ	1
龗	2
₿H	

× : 29条75 行在地	11-16 世界 11-16 日 日	11-17 岐阜県 瀬上市	1118 東市 18 市市	1119 威卓県 14-1	1120 憲府 14-1	12-1 河沼郡柳津町 十字統公	12-2 大沼郡会津高田町; 十字446	12-3 大沼郡会津高田町 十9011	12-4 南会津郡南鄉村 十今山口	12-5 南会津郡田島町 十字ショ	12-6 南会津郡田島町 十字 6 13	13-1 安達郡安達町 トⅢ屹Ⅲ→#	13-2 二本松市 <sup>創13</sup> 年2	13-3 安達都本宮町 /-+
貘	都上中 中部縦貫自動車道	都上巾	都上巾 中部縦貫自動車道	都上巾 中部縦貫自動車道	都上巾 中部縦貫自動車道	大子 取谷 持寄麻生線	大子松吸 会津若松南鄉線	天子宮川 国道401号	大子山口 国道289号	天子杀沢 国道121号	天子杀厌 国道121号	上川崎川之漸	<b>癌</b> 带在	仁开出
it.	3径間連続鈑桁	2径間連続箱桁	3径間連続箱桁	単純飯桁	3径間連続箱桁	吊橋	2径間連続 非合成鈑桁	3径間連続 非合成飯桁	単純非合成飯桁	単純非合成飯桁	単純合成飯桁 4連	3径間連続 飯桁	3径間連続 トラス	3径間連続 箱桁
[長[m]		99.3	122.1	25	122	201.7	78	132.1	33.4	41.5	119.55	158	134.3	231.65
<b>注工年</b>	1995	1995	1995	1995	1995	1987		1993			1979	1992	1988	1997
調査年	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2002
問査時の経過年数[年]	7	7	7	7	7	15		6			23	10	14	5
雜 洋 晤 雜 [km]	70	70	70	70	70	75	80	80	33	42	120	50	50	55
「「」		SMA490W	SMA490W	SMA490W	SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA50W SMA41W	SMA50W SMA41W	SMA400W SMA490W
土様	莱	襍	莱	襍	莱	莱	莱	襍	襍	檪	化成処理	化成処理	化成処理	襍
寸着塩分量[mg/m2]			5-9		0-197	2.5-13.0		2.4-27.6	7.6-72.1	21.8-39.0	4.5-127	0-73.7	0-97.2	0-144.8
東結防止剤散布量	4066g/m <sup>*</sup>	4066g/m <sup>*</sup>	4066g/m <sup>*</sup>	4066g/ m <sup>*</sup>	4066g/ m <sup>*</sup>	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明
東結防止剤種類														
年平均気温[°C]	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	12.1	12.1	12.1	10.0	9.8	9.8	12.6	12.5	12.5
冬季平均気温[°C]	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	2.1	2.1	2.1	-0.1	-0.1	-0.1	3.4	3.4	3.4
年間降雨量(mm)	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	2300.0	1198.5	1198.5	1198.5	1387.0	1206.0	1206.0	1126.0	1356.0	1356.0
年間降雪量(cm)	176.0	176.0	176.0	176.0	176.0	259.0	259.0	259.0	758.0	459.0	459.0	492.0	43.0	492.0
並列	0	0	0	0		×	×	×	×	×	×	×	×	×
地山接近						×	×	×	×	×		×	×	×
<b>ナー</b> パープリッジ						×	×	×	×	×	×	×	×	×
その他環境条件						水面近接				跨線橋				
一般部の状態(さびレベル)		3~5	3~5	3~5	4	良好	良好	良好	良好	良好	良好	良好		
桁端部の状態(さびレベル)	2	2	2	-	-									
橋	P37の外桁は、雨 水が縦桁から流れ 込む環境となって おり、この部分の みレベル2	端支点で伸縮装置 - からの漏水あり 	端支点で伸縮装置 および床版からの 漏水あり	端支点で伸縮装置 および床版からの 漏水あり	罐支点で伸縮装置 からの漏水あり 「	塔はさびが若い	A2伸縮装置に漏 水や苔の発生があ るが、影響なし		A2橋台は湿潤状 態 スラプドレーンから の漏水あり		皮膜がほとんど 残っており、腐食 環境は極めてマイ ルド	A1橋台床版からの 漏水あり		
分析対象の可否	O (桁端部のみ)	0	0	0	0	0 (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	(その) (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	×	×

# 表 2.1.1 山間部に位置する橋データー覧(7/8)

>	
_ 兼	
Ŕ	*
	儆
iト	荪
• •	
響い	×

—————————————————————————————————————														
	13-4	13-5	13-6	13-7	14-1	14-2	14-3	14-4	14-5	14-6	14-7	14-8	14-9	15-1
所在地	郡山市日和田町	岩瀬郡長沼町 大字勢至堂	大沿郡本鄉町 大字米玉	南会津郡下鄉 大字南倉沢		大野郡荘川村 大字三尾川	岐阜県山県市	大野郡清見村 夏厩	吉城郡古川町 大字畦畑	大野郡清見村大原	大野郡清見村大原	大野郡清見村大原	大野郡清見村大原	吉城郡古川町 太江字こわそ
路線		国道294号	下郷本郷線	国道289号		国道158号		国道158号	古川清見	国道257号	国道257号	国道257号	国道257号	月ヶ瀬・神岡
形式	単純合成飯桁	3径間連続 飯桁	単純合成H鋼桁	単純非合成 飯桁	4径間連続 非合成鈑桁	2径間連続 非合成鈑桁	単純非合成飯桁	単純非合成飯桁	単純非合成飯桁	単純合成箱桁	単純非合成箱桁	単純非合成箱桁	単純非合成箱桁	単純非合成鈑桁 H型鋼桁2連
橋長[m]	28.4	87	59.4	18.46	131.8	93.5	48.4	38	27	59	63.5	59	59.5	73
竣工年	1995	1984	1986	1985	2001	1999	2003	2002	2001	1992	1994	1996	1996	1991
調査年	2002	2002	2002	2002	2004	2000	2004	2004	2004	2004	2000	2000	2000	2004
調査時の経過年数[年]	7	18	16	17	e	-	-	2	e	12	9	4	4	13
雜岸距離[km]	55	75	100	4		80					69	69	80	20以上
材質	SMA50W SMA41W	SMA50W SMA41W	SMA50W	SMA50W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W		SMA400W SMA490W		SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W
仕様	外面のみ化成	莱	莱	鞣	莱	鞣		莱	莱	辚	莱	莱	莱	莱
付着塩分量[mg/m2]			0-315			0-13.5		0-44.4	5.6-47.9		0-11.7		4.4-19.2	
凍結防止剤散布量	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明
凍結防止剤種類														
年平均気温[°C]	12.6	10.3	12.1	9.3		7.7	15.0	11.6	11.6	7.7	7.7	7.7	7.7	11.6
冬季平均気温[°C]	3.4	0.3	2.1	0.1		-2.6	5.9	1.7	1.7	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	1.7
年間降雨量(mm)	1126.0	1295.0	1198.5	1608.0		2189.0	1864.0	1459.5	1459.5	2189.0	2189.0	2189.0	2189.0	1459.5
年間降雪量(cm)	492.0	492.0	259.0	323.0		337.0	13.0	176.0	176.0	337.0	337.0	337.0	337.0	176.0
並列	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
地山接近	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
オーバーブリッジ	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
その他環境条件	跨線橋				風通し良	風通し良	風通し良			風通し良		風通し良	風通し良	風通し良
一般部の状態(さびレベル)	良好	良好	良好	良好	良好	良好	初期さび	初期さび		良好	良好	良好	良好	
桁端部の状態(さびレベル)														
龖考								A2桁端部に排水 装置からの漏水あ り					スリプドレーンから   の漏水あり (レメル)	羊細調査不可
分析対象の可否	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	×	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	O (一般部のみ)	×

# 表 2.1.1 山間部に位置する橋データー覧(8/8)

空欄:データ無し

× : 対象外									
	15-2	15-3	15-4	15-5	15-6	15-7	15-8	15-9	15-10
所在地	吉城郡古川町 太江字こわそ	吉城郡古川町 太江字まきはた	吉城郡古川町 太江	大野郡朝日村 見座	大野郡高根村 日和田	大野郡高根村 日和田	大野郡高根村 大字日和田	大野郡高根村 日和田	大野郡朝日村 一之宿
路線	神岡河合	月ヶ瀬・神岡	神岡河合	国道361号	国道361号	国道361号	国道361号	朝日高根	御岳山朝日
形式	3径間連続 非合成鈑桁	2径間連続 非合成鈑桁	単純合成飯桁	2径間連続 非合成鈑桁	単純非合成飯桁	単純非合成飯桁	単純非合成箱桁	3径間連続 非合成箱桁	単純非合成箱桁
僑長[m]	82	68	35	67	34	31	49	66.7	83.7
竣工年	1990	1991	1992	1997	2002	1996	1989	1997	1991
調査年	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004	2004
調査時の経過年数[年]	14	13	12	7	2	8	15	7	13
離岸距離[km]	20以上	20以上	20以上	20以上	20以上	20以上	20以上	20以上	20以上
材質	SMA400W	SMA400W	SMA400W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W SMA490W	SMA400W	SMA400W SMA490W
仕様	襍	鞣	鞣	襍	襍	襍	襍	襍	襍
付着塩分量[mg/m2]	0-232	3.7-172.5	4.7-247	11.8-200	13.7-71.7	14.1-115.7	0-16.1	1-24.1	0-152.2
凍結防止剤散布量	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明	不明
凍結防止剤種類									
年平均気温[°C]	11.6	11.6	11.6	11.6	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
冬季平均気温[°C]	1.7	1.7	1.7	1.7	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3
年間降雨量(mm)	1459.5	1459.5	1459.5	1459.5	1740.0	1740.0	1740.0	1740.0	1740.0
年間降雪量(cm)	176.0	176.0	176.0	176.0	176.0	176.0	176.0	176.0	176.0
並列	×	×	×	×	×	×	×	×	×
计算计	0	0	0	>	0	c	c	>	>
昭山1女迎	A1:2m , A2:10m	端部2m、中央10m	端部2m、中央5m	×	端部2m、中央5m	D	D	×	×
オーバーブリッジ	×	×	×	×	×	×	×	×	×
その他環境条件	風通し良	風通し良	風通し良	良好				-	
一般部の状態(さびレベル)									
桁端部の状態(さびレベル)									
糖		自動融雪剤散布装 置あり		A2橋台側が植生により覆われている					
分析対象の可否	×	×	×	×	×	×	×	×	×

### 表 2.1.2 さび外観評点基準(案)<sup>2.1)</sup>





表 2.1.3 一般部と桁端部のさび外観評点別の橋数

部位		—f	般部			桁如	耑部	
さび外観評点	データ数	比率(%)	データ数	比率(%)	データ数	比率(%)	データ数	比率(%)
1	0	0	1	5	9	21	10	11
2	4	5	+	J	10	23	13	++
3	53	65			13	30		
4	21	26	77	95	11	26	24	56
5	3	4			0	0		
合計	81	100	81	100	43	100	43	100

注)対象橋は82橋であるが、一般部のみ、桁端部のみしか損傷状況が明記されていない橋 があるため、データ総数と全橋数は一致しない。



### 2.1.3. 分析結果

### (1) 一般部

一般部のさび外観評点の分布状況を図2.1.3に示し、このうち、さび外観評点2(要観察さび)の橋データを表2.1.4に示す(明らかに漏水等のアクシデントによる腐食性・要観察さびのデータは除く)。これらより、一般部の95%はさび外観評点3以上のさびであり、ほとんどの耐候性鋼橋で良好なさび状況となっていることがわかる。一方、さび外観評点2と評価された4橋は、表2.1.4のとおり全て並列橋や地山に近接した橋にあり、これらの環境が影響を与えていると思われる。

### (2) 桁端部

桁端部のさび外観評点の分布状況を図2.1.4に示し、このうち、さび外観評点1(腐食性さび)・ 2の箇所で確認された不具合を図2.1.5に示す。桁端部の44%はさび外観評点1・2のさびであり、 一般部と比べて異常さびの発生事例は多い。しかし、そのほとんどが伸縮装置と床版からの漏水が 原因で、その他も排水装置の不備や桁下空間が狭い等、原因が特定されるものである。一方、桁端 部に損傷が無い橋では83%の橋が伸縮装置や床版漏水等の不備が見られないことから、桁端部は、 これら特定の原因によって局部的に厳しい腐食環境になるため、注意が必要であることがわかる。



図 2.1.3 一般部のさび外観評点の分布(%)



表 2.1.4 さび外観評点 2(要観察さび)の橋データ

橋梁No.	並列橋の間隔(mm)	地山の有無
1-4	1000	地山近接
10-1	1400	地山近接
10-2	20	地山近接
10-3	20	地山近接



図 2.1.5 さび外観評点 1・2 橋における不具合 (重複あり)

### (3) 並列橋および地山に近接した橋データの整理

凍結防止剤を大量に散布する路線においては路面水が交通車両によって飛散し他の近接する橋 の部材や当該橋の部材に付着する。鋼道路橋塗装・塗装防食便覧(日本道路協会、2005.12)<sup>2.2)</sup>で は、並列橋や地山が近接した橋は、凍結防止剤の飛散の影響が受けやすく配慮が必要としており、 具体的な避けるべき橋配置を図2.1.6のように定めている。ここでは図2.1.6の条件に当てはまる 橋を、並列橋及び地山に近接した橋とそれぞれ定義する。



図 2.1.6 並列橋および地山に近接した橋

図2.1.7に並列橋のみを対象にした部位別さびレベルの分布状況を、図2.1.8に地山に近接した橋のみを対象にした部位別さびレベルの分布状況をそれぞれ示す。これらの橋は、全体を対象にした整理(図2.1.3、図2.1.4)と比較して、レベル1・2の発生比率が一般部・桁端部ともに大きくなっており、並列橋や地山が近接した環境の影響があることがわかる。



### 2.1.4. まとめ

本節では、これまで得られている調査データ等を整理・分析し、凍結防止剤を散布する地域の耐候性鋼橋のさび外観評点の傾向と環境条件について評価した。以下に得られた知見をまとめる。

- ①本節で調査対象とした非塩化物系凍結防止剤を除いた凍結防止剤が散布され、かつ山間部 に位置する橋における95%以上の耐候性鋼橋で、一般部はさび外観評点3以上の良好なさ びが生成されている。
- ② 同様に凍結防止剤が散布され、かつ山間部に位置する橋における桁端部は、伸縮装置や床 版からの漏水等の特定の原因によりさび外観評点2以下の異常さびが発生している。しか し、これらは原因を排除すれば腐食環境の改善が予想されるものであり、適切な維持管理 が必要であることがわかる。
- ③ 並列橋や地山が近接した環境においては、これら以外の環境も含めた調査対象全体に対してさび外観評点1・2のさび発生比率が一般部・桁端部ともに大きく、これらの環境条件が 異常さびの生成に影響を与えると考えられる。

### 2.2. 橋の調査結果 ~地山近接橋、並列橋~

### 2.2.1. はじめに

凍結防止剤が耐候性鋼橋に与える影響を評価することを目的とし、該当地域に位置し特に地山近 接橋や並列橋が多く存在する岐阜県内の橋群を対象に、外観やさび厚、及び付着塩分量等の調査を 行う。同時に地山との距離や隣接橋との位置関係を調査し、さび厚や付着塩分量等と地形環境の相 関を分析する。

### 2.2.2. 対象橋と調査内容

調査対象橋群の概観写真を写真 2.2.1 に示す。I.C.から東西に延びる橋群で、全長にわたり地山 斜面に沿う環境にある。これらは全橋とも橋齢 10 年前後であり、さびの発生について架設年次に よる違いはないと考えられる。また、国道と接続するため ON・OFF ランプと本線上を跨ぐ橋を有 しており、これらの地形環境や周辺構造物が保護性さびの生成に与える影響が懸念される。測定は、 予め抽出した主桁のウェブ下端と下フランジ上下面について行ったが、安全上作業ができない箇所 や、箱桁のフランジ張出長が小さく機器の使用が困難な箇所は測定できていない。さび厚と付着塩 分量の測定結果を表 2.2.1 に、計測位置を図 2.2.1 にそれぞれ示す。



写真 2.2.1 調査対象橋群

括町	桁	測定箇所	さび厚	付着塩分量
们而加			(µm)	$(mg/m^2)$
P21	本線 G1	ウェブ外側	186	43.5
	(箱桁)	フランジ上面外側	182	計測不可
		フランジ下面	121	8.4
		フランジ上面内側	144	計測不可
		ウェブ内側	76	21.8
	本線 G2	ウェブ内側	72	22.5
	(箱桁)	フランジ上面内側	188	計測不可
		フランジ下面	150	14.9
		フランジ上面外側	143	計測不可
		ウェブ外側	124	73.0
P28	本線 G1	ウェブ外側	124	0.3
	(箱桁)	フランジ上面外側	計測不可	計測不可
		フランジ下面	190	0.2
		フランジ上面内側	計測不可	計測不可
		ウェブ内側	197	0.0
	本線 G2	ウェブ内側	152	1.5
	(箱桁)	フランジ上面内側	計測不可	計測不可
		フランジ下面	132	15.5
		フランジ上面外側	計測不可	計測不可
		ウェブ外側	76	3.0
P32	本線 G1	ウェブ外側	87	34.1
	(箱桁)	フランジ上面外側	計測不可	計測不可
		フランジ下面	141	5.2
		フランジ上面内側	計測不可	計測不可
		ウェブ内側	101	0.0
	本線 G4	ウェブ内側	86	4.8
	(箱桁)	フランジ上面内側	計測不可	計測不可
		フランジ下面	127	32.2
		フランジ上面外側	計測不可	計測不可
		ウェブ外側	98	1.3
P37	DランフG1	ウェブ外側	136	31.5
	(鈑桁)	フランジ上面外側	249	131.0
		フランジ下面	458	146.9
		フランジ上面内側	118	66.6
		ウェブ内側	95	25.3

表 2.2.1(1) さび厚と付着塩分の測定結果

					1
橋脚	桁	測定筒所	さび厚	付着塩分量	
11-17-17-17			(μm)	(mg/m²)	
PB2	DランプG1	ウェフ外側	113	進入不可	
	(鈑桁)	フランジ上面外側	190	進入不可	
		フランジ下面	175	32.0	
		フランジ上面内側	263	110.5	
		ウェブ内側	109	16.9	
	D ランプ G3	ウェブ内側	118	9.1	
	(鈑桁)	フランジ上面内側	242	39.6	
		フランジ下面	193	27.0	
		フランジ上面外側	273	30.1	
		ウェブ外側	133	6.7	
AA2	0 ランプ <b>G1</b>	ウェブ外側	116	0.0	
	(鈑桁)	フランジ上面外側	164	0.0	
		フランジ下面	190	0.0	
		フランジ上面内側	237	0.0	
		ウェブ内側	128	0.0	
	CランプG3	ウェブ内側	127	7.1	
	(鈑桁)	フランジ上面内側	179	42.0	
		フランジ下面	進入不可	31.7	
		フランジ上面外側	進入不可	36.9	
		ウェブ外側	進入不可	49.2	
P45	本線 G1	ウェブ外側	962	酷<腐食,計測不可	
	(鈑桁)	フランジ上面外側	819	酷く腐食,計測不可	
		フランジ下面	1289	79.7	
		フランジ上面内側	793	11.9	*
		ウェブ内側	118	11.7	
P47	本線 G1	ウェブ外側	82	14.6	
	(鈑桁)	フランジ上面外側	162	15.8	
		フランジ下面	250	92.0	
		フランジ上面内側	241	30.8	
		ウェブ内側	89	13.8	
	本線 G6	ウェブG5側	115	16.2	
	(鈑桁)	フランジ上面G5側	333	50.4	
		フランジ下面	171	24.3	
		フランジ上面G7側	344	69.8	
		ウェブG7側	135	15.3	
EP2	EランプG1	ウェブ外側	65	8.5	
	(箱桁)	フランジ上面外側	103		
	800.000.000.000.000	フランジ下面	114	4.5	
		フランジ上面内側	181		
		ウェブ内側	84	6.2	

表 2.2.1(2) さび厚と付着塩分の測定結果

\*印部は腐食が著しく進んでいるため、計測値は参考値とする。







<u>計測位置:P32</u>



図 2.2.1(2) 計測位置



<u>計測位置:P45, AA2</u>







<u>計測位置:EP2</u>



図 2.2.1(4) 計測位置

### 2.2.3. 地山までの距離とさび厚・付着塩分量の関係

図2.2.2 に主桁ウェブ表面から地山までの水平距離とさび厚・付着塩分量の関係を部位別に示す。 P45 橋脚は地山に沿っていないため、評価対象から外している。また、測定がそれぞれ不可能であったポイントもあるため、さび厚と塩分量は同数ではない。

図より、地山側である外側のウェブ・下フランジのさび厚が、地山との水平距離が大きい場合に 薄くなっていることがわかる。しかし、両者の相関はわずかであり、さび外観評価としては外側・



内側とも同程度である(3~5)。また、下フランジ下面で高いさび厚が1点測定されているが、これはP37橋脚の測定値で伸縮装置やスラブドレーンからの漏水の影響を受けており、地山からの直接的な影響ではないと考えられる。

また、図 2.2.3 に主桁下フランジ下面から地山までの鉛直距離とさび厚・付着塩分量の関係を部 位別に示す。水平距離と同様、外側における地山までの距離とさび厚にはわずかな負の相関が見ら れるが、さび厚自体は 300 μ m 程度と小さい。



図 2.2.3 地山までの鉛直距離とさび厚・付着塩分量

図2.2.4に、地山側外桁と内桁を合わせて測定した各橋脚におけるさび厚を部位別に示す。先の 図2.2.2、図2.2.3と異なり、橋脚別に比較することで地山以外の環境条件の影響を小さくするこ とができる。図より、地山に近接した P21・P28 橋脚において、外側ウェブ・下フランジのさび厚 が内側より大きくなっていることがわかる。測定不可能であったポイントもあるが、地山に接する 外桁外側では全て同じ傾向であり、地山の影響によるものと考えられる。しかし、外桁のさび厚は 厚くても 200 µ m 程度であり、外観評価でも全く問題ない状態であった。

図2.2.5に、図2.2.4と同様の整理による付着塩分量を示す。凍結防止剤を散布される路線では あるが塩分量は少なく、また図2.2.4でさび厚に確認された地山の影響は見られない。これは、雨 水や結露水によって塩分が洗い流され、累積していないためと考えられる。これまでにも同様の結 果が得られた報告2.3)があり、付着塩分量のみで塩分環境を評価することは難しいことがわかる。

地山の影響を受けていると思われ、剥離さびやうろこ状さびが発生していた箇所は、地山に最も 近接する側縦桁であった。写真 2.2.2 に P31・P37 橋脚の地山側の側縦桁の状況を示す。足場がな く手が届かない位置にあるため、これらのさび厚や塩分量は測定できなかったが、他の部位とは明 らかに異なる状態であった。側縦桁は、主桁よりもさらに(2m 程度)地山に近接するため、その 影響はより大きなものになると考えられる。



図 2.2.4 各橋脚における部位別のさび厚


写真 2.2.2 地山側の側縦桁下フランジの外観

# 2.2.4. 隣接橋の有無とさび厚・付着塩分量の関係

図 2.2.6 に、本線に隣接する PB2 (D ランプ)、AA2 (C ランプ) における地山側と隣接橋側の さび厚と付着塩分量を部位別に示す。PB2 のウェブ外側と下フランジ上面外側のさび厚は、隣接橋 側が山側より大きい (下フランジ上面外側では 1.5 倍程度) ことがわかる。また、AA2 橋台部では 測定ができなかったが、写真 2.2.3 に示すように C ランプの隣接橋側下フランジ下面には剥離さび やうろこ状さびが確認された。さらに、写真 2.2.4 は P37 の分離帯隙間直下の異常さびの状態であ るが、これは橋面で舞い上がった塩水が水切りのない床版から鋼桁へ多量に伝わったことが原因と 予想される。水切りを設置していればこれほどまでの被害にはならなかったと考えられるが、隣接 橋の影響による異常さび発生のリスクが大きいことを示しており、耐候性鋼橋にとって隣接橋の影 響は無視できないものと考えられる。なお、図 2.2.7 には付着塩分量の測定値も示しているが、図 2.2.5 と同様、雨水や結露水によって塩分が洗い流されたことも含まれた測定結果であるため、こ の結果のみで塩分環境を評価することはできないと考えられる。











写真 2.2.3 AA2 橋台から見上げた主桁下フランジ



写真 2.2.4 P37 橋脚分離帯下の腐食状況

### 2.2.5. まとめ

本節では、凍結防止剤が耐候性鋼橋に与える影響を評価することを目的とし、該当地域に位置す る岐阜県内の橋群を対象に、外観やさび厚、及び付着塩分量等の調査を行った。同時に地山との距 離や隣接橋との位置関係を調査し、さび厚や付着塩分量等と地形環境の相関を分析した。以下に、 得られた知見をまとめる。

- ① 本節の調査対象とした岐阜県内の I.C.付近の橋群において、地山との水平・鉛直距離が小さいほど、地山側の主桁ウェブ・下フランジのさび厚が大きくなる傾向が見られた。ただし、さび厚は最大でも300µm程度であり、異常さびは確認できなかった。地山との水平・鉛直距離とさび厚には相関関係が有ある可能性がある。
- ② 同様に、岐阜県内の I.C.付近の橋群において、主桁よりも地山に近接する側縦桁の下フランジ下面に異常さびが確認され、地山の影響を大きく受けていることが推測された。地山に近接する部材は、近接距離の定義が不明確ではあるものの、異常さびを生じる可能性が示唆された。
- ③ 同様に、岐阜県内の I.C.付近の橋群において、隣接橋側の下フランジのさび厚や付着塩分量は、反対側に比べ大きくなる傾向が確認され、隣接橋の影響を受けていると推測された。 隣接橋がある場合、その相対的な位置や影響を受ける箇所の特定はできないものの、異常 さびを生じる可能性が示唆された。
- ④ 今回の調査で見られた異常さびのほとんどは伸縮装置やスラブドレーン、排水桝等からの 漏水が原因であり、これらを適切に補修して原因を除去することが解決に必要である。

# 2.3. 橋の調査結果 ~地山近接橋~

# 2.3.1. はじめに

宮城県内にある地山に近接した耐候性鋼橋において、凍結防止剤散布前(2000.10 調査)の付着 塩分量と凍結防止剤散布後(2008.4 調査)の結果を比較することにより、冬季に桁に付着する凍結 防止剤塩分量を確認する。また、一般部や桁端部のさびの状態や排水装置・伸縮装置等からの漏水 状況と当該箇所のさびの状態を調査することにより、部位毎の凍結防止剤の影響を把握する。

# 2.3.2. 対象橋と調査内容

調査対象橋の位置を図 2.3.1 に、橋の外観を写真 2.3.1 にそれぞれ示す。対象橋は 1989 年 9 月 に完成した橋長 103.5m の 2 径間連続非合成鈑桁形式(JIS G 3114 に規定される溶接構造用耐候性 熱間圧延鋼材の W 種(以下、「JIS 耐候性鋼材」という)裸仕様)で、日本海からの離岸距離はお よそ 60km である。また、中間支点から桁端部の間のおよそ 1 径間分は、G4 桁と地山が近接して おり、凍結防止剤の地山による影響も懸念される橋である。図 2.3.2 に橋断面と地山との位置関係 を示す。対象橋について、さび外観検査、さび厚測定、付着塩分量測定、及びセロハンテープ試験 等の調査を行った。



図 2.3.1 橋の位置 (地図は国土地理院発行の地図を使用)



写真2.3.1 橋の概観



図 2.3.2 橋の断面と地山との位置関係

### 2.3.3. 調査結果

図2.3.3 に P1 橋脚における 2000 年 10 月と 2008 年 4 月の付着塩分量を示す。測定ポイントが全 く同一ではないが、両者には桁のどの部位においてもほとんど相違は見られない。また、床版から の漏水の影響を受けている G4 桁下フランジ下面以外、ウェブ・下フランジともほぼ同程度の塩分 量が測定されており、同時期での部位別の塩分量の相違も見られない。現地調査時に本橋の桁環境 は湿気が多く結露が発生しやすいことが推測されており、付着塩分が雨水や結露水によって洗い流 されていることが考えられる。さらに、2000 年 10 月のデータを凍結防止剤散布前、2008 年 4 月の データを散布後のものとすると、本橋では散布前後で付着塩分量に変化はなく、地山に近接する環 境にあっても凍結防止剤の影響は受けていないと考えることができる。





図 2.3.3 P1 橋脚における付着塩分量(単位:mg/m2)

**写真 2.3.2**に, P1 橋脚近傍の G4 桁で確認された床版漏水と剥離さび等の概況写真を示す。床版 からの多量の漏水により、直下のウェブや下フランジのみならず縦断方向にも剥離さびや異常さび が発生している。漏水は床版コンクリート下面で茶色と確認されたため、橋面上で露出した地覆鉄 筋のさび汁が含まれていると推測され、橋面上で凍結防止剤を多量に含んだ雨水が床版コンクリートから桁に流れ込んでいることが考えられる。



P1 部山側(G4 桁)概観



床版漏水部拡大



A2 側ウェブ・下フランジ上面

A2 側下フランジ下面

写真2.3.2 さび状況

# 2.3.4. まとめ

本節では、凍結防止剤散布前後の付着塩分量を比較することにより、冬季に桁に付着する凍結防 止剤塩分量を確認した。その結果、対象の橋では、凍結防止剤が桁全体に与える影響はなかった。 また、異常さびと床版や伸縮装置からの漏水状況を調査することにより、部位毎の凍結防止剤の影 響を把握した。床版からの漏水は塩分を多量に含んだ水が桁に直接降りかかることになり、その影 響は著しく大きいものとなることがわかった。

# 2.4. 橋の調査結果 ~並列橋、湿潤環境~

#### 2.4.1. はじめに

信越地方の凍結防止剤散布地域(山間部・離岸距離約 100km)における耐候性鋼橋について、凍結防止剤散布がさび形成に及ぼす影響を確認するため、さびの調査を行う。本検討は、表 2.1.3 で示した過去にレベル 2 と判定されている橋群の一部を対象とし、以後の経年変化と異常さびの原因究明を主な目的とした。

### 2.4.2. 対象橋

対象橋の概要を以下に示す。

- ・ 離岸距離: A 橋、B 橋、C 橋とも約 100km。
- 橋形式:鋼連続鈑桁橋(A橋:3径間,B橋:2径間,C橋:4径間)
- ・ 使用鋼材:SMA41W、SMA50W(裸使用)
- 竣工年度:A橋、B橋:1991年7月、C橋:1990年6月
- · 周辺環境
  - (1) A 橋 (写真 2.4.1)

並列する床版の間隔は約 20mm である。桁端部は風通しが非常に悪く、湿度の高い好ま しくない環境にある。一般部は、地山からの離隔は十分確保できているが、付近は低い雲 や霧の発生しやすい地域で、湿度が高い環境にある。2006 年 5 月~6 月に桁水洗が実施さ れている。

(2) B 橋 (写真 2.4.2)

並列する床版の間隔は約 20mm である。A 橋と同様、桁端部は風通しが非常に悪く、湿度の高い好ましくない環境にある。また、一般部についても付近に樹木が茂り、構造的に 風通しの悪い好ましくない環境にある。また A 橋と同様、付近は低い雲や霧の発生しやす い箇所で、湿度が高い環境にある。2006 年 5 月~6 月に桁水洗が実施されている。

(3) C 橋(写真 2.4.3)

並列する床版の間隔は約910mm である。A 橋、B 橋と比較すると、A1 桁端部・一般部の 環境は概ね良好である。A2 桁端部は地山が迫り、風通しが悪く湿度が高い環境にある。2006 年5月~6月に桁水洗が実施されている。



写真 2.4.1 A 橋 周辺環境(2008 年 10 月 24 日撮影)



写真 2.4.2 B橋 周辺環境(2008年10月24日撮影)



写真 2.4.3 C橋 周辺環境(2008 年 10 月 24 日撮影)

#### 2.4.3. 外観調査結果

(1) A 橋・B 橋 (写真 2.4.4)

A橋、B橋とも、定常的に低い雲や霧が発生しやすく、非常に多湿な環境にあり、内桁と外桁の 両方に結露水の跡が多数見られた。特にB橋では、周囲に草木が生い茂り、全体的に風通しが悪い 環境であった。また、伸縮装置からの漏水が多く見られ漏水の影響を受ける範囲には層状剥離さび 等の顕著な異常さびが発生していた。これは、凍結防止剤が混入した漏水が鋼材に直接流れ込んだ ことによるものと考えられる。

漏水箇所以外の部位においては、桁端部は桁が橋軸方向にずれた配置となっていることから風通 しが悪く、非常に湿潤な環境となっており、一部にこれが原因と見られる薄い剥離さびが生じてい た。その他一般部については全体的にやや粗いさびが発生していたが、顕著な異常さびは見られな かった。

内桁と比較して外桁外側のさびは粗いが、過去の調査で確認されているレベル2の状態ではなく、 レベル3と評価される状況であった。これは、両橋が2006年5月~6月に水洗されており、水圧 により表面の異常さびが除去されたためと考えられる。

(2) C橋(写真2.4.5)

C橋は、A橋・B橋と同じ路線にあるが両橋と比べると風通しがよく、湿度は比較的低い環境に あると推測された。ただし、結露水の跡は多数認められた。A橋・B橋同様、伸縮装置からの漏水 が見られ、漏水の影響を受ける範囲には剥離さびなどの異常が生じていた。これは、凍結防止剤が 混入した漏水が鋼材に直接かかったことによるものと考えられる。

A橋・B橋と比べるとC橋の一般部は良い環境にあると推測され、さびの性状は内桁外桁とも良好であった。凍結防止剤の散布量にも影響を受けるが、このような良好な環境にある限り、一般部での凍結防止剤の影響は大きくない可能性がある。

並列する床版の離隔は 910mm であり、その部分の下フランジのさびはやや粗い状態であった。 並列橋からの凍結防止剤の飛散の影響を受けていると考えられるが、ここでは床版からの漏水も多 数確認されたため、凍結防止剤の混入した漏水がさびの進行に影響を与えている可能性がある。た だし、本橋も 2006 年 5 月~6 月に水洗されているため、A 橋・B 橋とともに調査時の評価のみで凍 結防止剤散布のさび形成に及ぼす影響を把握することは不十分であることに注意が必要である。

### 2.4.4. まとめ

本節では、表 2.1.2 で示した過去にレベル 2 と判定されている橋群の一部を対象とし、以後の経 年変化と異常さびの原因究明を主な目的として調査を行った。以下に、得られた知見をまとめる。

- 凍結防止剤が混入した漏水が耐候性鋼橋に与える影響は大きく、層状剥離さびの最も大きな 原因となる可能性がある。
- ② 多湿環境においては、凍結防止剤の影響が鋭敏かつ顕著に現れる可能性が考えられ、この作用については今後更なる調査・研究が必要である。



外桁端部 伸縮装置からの漏水による剥離さび



並列側 下フランジ上面での粗いさび



並列側 粗いさび(多湿な環境) 喬のさび外観



外桁端部 伸縮装置からの漏水による剥離さび 並列側 粗 写真 2.4.4 A 橋・B 橋のさび外観



外桁端部 床版からの漏水による剥離さび



並列側 下フランジ上面のやや粗いさび

写真2.4.5 C橋のさび外観

### 2.5. まとめ

本章では、凍結防止剤が無塗装耐候性鋼橋に与える影響について、複数のアプローチから検討した。本章で得られた知見を以下にまとめる。

- ① 非塩化物系凍結防止剤を除いた凍結防止剤が散布され、かつ山間部に位置する橋梁を対象に行った調査データ等を整理・分析した結果、対象の橋の中で一般部においては95%以上の耐候性鋼橋でさび外観評点3以上の良好なさびが生成されている。桁端部は、伸縮装置や床版からの漏水等特定の原因によりさび外観評点2以下の異常さびが発生しているが、これらは原因を排除すれば腐食環境の改善が予想されるものであり、適切な維持管理を行う必要がある。
- ② 並列橋や地山が近接した環境条件は、異常さびの生成に影響を与えると考えられる。しかし、 その度合いは個々の橋によって異なり、本検討で行った調査では影響が確認できないものもあった。
- ③ 凍結防止剤が混入した漏水が耐候性鋼橋に与える影響は大きく、層状剥離さびの最も大きな原因となる可能性がある。床版や伸縮装置からの漏水は早急に補修する必要があり、漏水の早期発見のためには定期的な点検が重要であると考えられる。
- ④ 多湿環境においては、凍結防止剤の影響が鋭敏かつ顕著に現れる可能性が考えられ、この作用 については今後更なる調査・研究が必要であると考えられる。

【2 章参考文献】

- 2.1) 建設省土木研究所,鋼材倶楽部,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(XVⅡ) 整理番号第85号,1993.3
- 2.2) 日本道路協会:鋼道路橋塗装·防食便覧, 2005.12
- 2.3) 岩崎英治,長井正嗣,加賀谷悦子,成田英樹,高橋拓也:新潟県内の耐候性鋼橋の腐食状況と腐 食環境,構造工学論文集 Vol.51A, pp.1119-1128, 2005.3

# 第3章 米国における無塗装耐候性鋼橋の実態

# 3.1 はじめに

米国では、1970年にスパイクタイヤの使用が禁止されて以降、凍結防止剤が多量に散布されるようになり、その影響により1980年には一部の州で無塗装耐候性鋼橋梁の建設が一時禁止された。しかし、その後、調査・研究がなされ、1989年にFederal Highway Administration(以下、「FHWA」という。)から技術解説書<sup>3.1)</sup>が発行され、禁止令は解除された。以降、無塗装耐候性鋼橋梁はライフサイクルコストの観点から積極的に採用され、現在では年間鋼橋建設量の約40~45%<sup>3.2)</sup>を占めるに至っている。

そこで、凍結防止剤散布の歴史が我が国よりも約20年古い米国の実態を把握し、凍結防止剤が無 塗装耐候性鋼橋梁に与える影響と対策に関する情報を収集することを目的として調査を実施した。調 査では、FHWAの他に New Jersey Department of Transportation (以下、「NJDOT」という。)や New Jersey Turnpike Authority (以下、「NJTA」という。)等を訪問した。

### 3.2 調査目的

調査の主な目的は、下記3項目に関する情報収集である。

- ・ 凍結防止剤が無塗装耐候性鋼橋へおよぼす影響
- ・ 凍結防止剤への対策
- 補修方法

# 3.3 訪問先

調査では、下記の道路管理者及び関係機関を訪問した。



図 3.3.1 訪問地

- (1) U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration(FHWA):米国運輸省・連邦高速 道路局。
- (2) State of New Jersey Department of Transportation (NJDOT): New Jersey 州道路局。
- (3) High Steel Structure (HSS, National Steel Bridge Alliance), Arcelor Mittal (American Iron and Steel Institute): High Steel Structure は、米国のファブリケーターであり、NSBA のメンバーである。NSBA は、鋼橋ファブリケーターの協会で、我が国の(一般社団法人)日本橋梁建設協会にあたる。Arcelor Mittal は、米国のミルメーカーであり、AISI のメンバーである。AISI は、ミルメーカーの協会で、我が国の(一般社団法人)日本鉄鋼連盟にあたる。
- (4) New Jersey Turnpike Authority (NJTA): Wilmington と New York を結ぶ幹線高速道路 (New Jersey Turnpike) を建設・管理する高速道路公社。

### 3.4 調査内容

凍結防止剤の悪影響は、漏水部において極めて顕著となる。そのため、凍結防止剤散布地域で耐候 性鋼橋梁の性能を確保するには、漏水を防ぐ技術、及び漏水による損傷が生じた場合に補修する技術 が極めて重要なものとなる。

ところで、我が国における調査結果から、並列橋や地山近接といった地形、及び構造条件による凍結防止剤の影響に関する知見は得られている<sup>3.3)</sup>ものの、立体交差等での巻き上げによる影響は不明である。

以上より、調査は下記の項目について特に重点的に実施する必要があった。

- 伸縮装置・排水装置などからの漏水対策
- ② 橋面防水方法
- ③ 補修方法(塗装仕様、現場ブラスト諸元、等)調査、及び米国基準・標準の入手
- ④ 立体交差における凍結防止剤の影響および対策、及びその基準や基礎データの入手

# 3.5 調査結果

(1)凍結防止剤の散布状況

本調査を実施した際に寒波が襲来しており、各所で凍結防止剤が大量に散布される様子を目にする ことができた。ただし、米国における凍結防止剤の散布量は地域によって大きく異なり、具体的な量 を把握することはできなかった。調査を行ったワシントン D.C.やニュージャージー州では、路面の 積雪や凍結を完全に除去し、路肩や壁高欄に堆積・付着するほど多量の凍結防止剤を散布していた。 写真3.5.1は、調査中に見かけた除雪兼凍結防止剤散布車である。荷台に凍結防止剤を満載したこの ような車両が頻繁に行き交っていた。写真3.5.2は、高速道路沿いに点在する凍結防止剤貯蔵庫であ る。





写真 3.5.1 除雪兼凍結防止剤散布車(ワシントン)

写真 3.5.2 凍結防止剤貯蔵庫(ワシントン)

写真3.5.3は凍結防止剤が付着した壁高欄の状況を、写真3.5.4は凍結防止剤が付着した桁の様子 をそれぞれ示す。いずれも NJTA であり、NJTA の管理者は「この様な凍結防止剤は雨により洗い流 されるため問題は無い」という認識であった。実際、この桁のさび外観は特に問題が無いように見受 けられた。ただし、これらは米国特有の温度・湿度等の気象条件によってのみ成立する可能性があり、 我が国における管理に安易に適用できるものではないことに注意する必要がある。



写真 3.5.3 凍結防止剤が付着した壁高欄 (NJTA)



写真 3.5.4 凍結防止剤が付着した橋桁 (NJTA)

(2)設計上の留意点

米国における凍結防止剤散布地域に無塗装耐候性鋼橋を建設する際の設計基準は、FHWA の技術 解説書<sup>3.1)</sup>に示されている。解説書には、掘割道路において幅の広い橋によりトンネル状となるよう

な構造(tunnel-like condition)を避けることや、水面からの離隔を確保すること等が記されている。 表 3.5.1 に、本調査において得られた設計に関する情報を日米比較の形で示す。

	日本	
基準	鋼道路橋塗装·防食便覧	TA5140.22
設計上の留意事項	漏水・並列配置・斜面からの離隔,他	漏水・水面からの離隔・tunnel-like condition, 他
桁端塗装範囲	桁外面含めた1.0H <sup>※1</sup> 範囲を推奨	桁外面含めた1.5H <sup>※1</sup> 範囲
橋面防水	防水層	伸縮装置や排水桝周囲をシール <sup>※2</sup>
床版鉄筋	鉄筋	エポキシ樹脂被覆鉄筋
伸縮装置	非排水構造	極力設けない. 簡易なsealerまたは排水構造.
橋梁への排水桝設置	塗装橋と同じ	可能な限り橋梁には設置しない <sup>※2</sup> .
水洗	無し	補修塗装時のみ実施 <sup>※2, ※3</sup> .
腐食代	無し	無し
連結防止剤券き上げの影響	不明	特に規定無し

表 3.5.1 凍結防止剤散布地域での無塗装耐候性鋼橋の設計における留意点の日米比較

※1:桁高,※2:NJTAの方針,※3:洗剤を混ぜた温水を用い,3000-5000psiにて残留塩分量が7mg/cm2以下となるように実施.

今回訪問したいずれの機関においても「凍結防止剤が無塗装耐候性鋼橋に影響を与える主な要因は 漏水である」との認識であった。また、その影響度については「たとえ量が少なくても漏水に凍結防 止剤が混じっている場合は悪影響を及ぼす」との意見であった。そのため伸縮装置は極力設けないよ うに桁の連続化を進め、伸縮装置を設ける場合は維持管理が容易な簡易型の sealer (写真 3.5.5)等 としている。さらに、漏水が生じた場合に備えて桁端部は外面も含めて塗装(写真3.5.6)している。 また、NJDOT では「インテグラルアバット(写真 3.5.7)を採用して伸縮装置を無くし、かつ橋の 上への排水桝は極力設置しない(**写真 3.5.8**)ようにする」とのことであった。NJTA では「伸縮装 置と床版が接する部分や排水桝の周囲等にシールを施し、漏水を防いでいる」とのことであった。ま た、床版の鉄筋腐食への影響を懸念して標準的にエポキシ樹脂被覆鉄筋を採用している点は、我が国 と異なる。我が国でも桁端塗装はなされているが、米国では「漏水が最も問題」という認識から我が 国より塗装範囲は広く、徹底して実施されている印象を受けた。「凍結防止剤が混入した漏水は、そ の混入量に関わらず無塗装耐候性鋼橋に対して有害なので排除すべきである」という米国機関の明確 な方針が印象的であった。現在、我が国において懸念事項となっている凍結防止剤の巻上げによるオ ーバーブリッジへの影響については、米国では tunnel-like condition を除いて特に問題視はされていな い。「オーバーブリッジであってもオープンでドライな環境である場合、凍結防止剤が無塗装耐候性 「鋼橋に与える影響は小さい」ということのようだが、湿度等気象条件の異なる我が国における影響度 については今後調査を行っていく必要があるものと考えられる。



写真 3.5.5 sealer の例 (NJTA)





写真 3.5.7 インテグラルアバット (NJDOT)



写真 3.5.8 排水桝の無い橋梁 (NJDOT)

(3)維持管理および補修

FHWA は、各 DOT に伸縮装置の破損を前提とした維持管理計画の策定を求めている。NJTA では、 我が国で一般的な非排水型伸縮装置は破損した場合の補修が困難なため,写真 3.5.5 のような sealer を採用しているとのことであった。つまり、現在の米国では、無塗装耐候性鋼橋に確実に悪影響を及 ぼす要因(例えば漏水)を明確に捉え、管理者が維持管理及び補修を行う前提で、それに対する簡潔 かつ合理的な対策(例えば sealer の採用)を策定している。さらに、定期的な点検と補修を前提とし た維持管理を実践している。すなわち、無塗装耐候性鋼橋に対してメンテナンスフリーではなく、メ ンテナンスを前提とした維持管理を実践しているという印象を強く受けた。ちなみに、FHWA の Bridge Inspector's Training manual/90 では 2 年に 1 回の橋梁点検を定めているが、NJTA は毎年実 施しているとのことであった。写真 3.5.9、写真 3.5.10 は、両方とも NJTA の 1965 年完成(44 年経 過)の並列橋である。並走する車道からのスプラッシュを受ける厳しい環境にあるが、外桁外側の側 面は健全である。ただし、外桁下フランジ下面には一部薄い剥離さびが見られた。予算の関係から補 修はできていないとのことであったが、定期的にモニタリングしながら供用している状態にある。各 機関とも補修要否の判断パラメータは残存板厚とのことであったが、明瞭かつ統一された指標は無い ようである。また、さびの状態が良くない場合には、ブラストによりさびを除去して補修塗装を施す のが一般的であるが、塩分の除去とブラスト材飛散による周辺環境への影響が問題とのことである。 これは、我が国の状況と同じである。なお、NJTAでは、**表 3**.5.1に示すように補修塗装に際して洗 剤を混ぜた温水を用いた洗浄による塩分の除去を実施している。



写真 3.5.9 並列橋(44 年経過·NJTA)



写真 3.5.10 伸縮部漏水(44 年経過·NJTA)

### 3.6 まとめ

米国における無塗装耐候性鋼橋の実態を調査した結果、得られた知見を以下にまとめる。

① 問題点の認識

- 無塗装耐候性鋼橋が凍結防止剤の影響を受ける場合の主要因は漏水である。凍結防止剤の含有 量に関わらず、影響は大きいと認識されている。
- ・ 掘割道路における Tunnel-Like Condition や水面との離隔が小さいことが不適切な環境とされている。Tunnel-Like Condition は下層の道路が掘割の長手方向に距離のある状態となるオーバーブリッジのことを示し、滞水や高湿環境が問題になるものと考えられる。
- Tunnel-Like Condition 以外のオープンな環境のオーバーブリッジに関して特に規定はなく、問題とはされていない。凍結防止剤の巻上げの影響についても特に規定はない。ただし、高湿な環境では問題となる可能性があるものと考えられる。

2 対策

- ・ 桁端塗装を徹底し、必要に応じて水切板等を採用する。
- ・ FHWAは、各DOTに対して伸縮装置の破損を前提とした維持管理計画の策定を指示している。
- ・ 伸縮装置は極力設けない方針としている。NJTA では補修が容易な Sealer タイプを採用している。
- ・ NJDOT では、橋の上に排水桝を極力設けない方針としている。
- ・ 水洗は補修塗装時のみ実施されることがある。

③ 維持管理

 Bridge Inspector's Manual(FHWA)に基づき、2年に1度の点検が実施されている。NJTAでは 毎年点検が実施されている。

凍結防止剤が無塗装耐候性鋼橋に与える影響と対策に関する課題は、日米で多くの部分が共通して いるが、その状況下で米国では積極的に無塗装耐候性鋼橋が建設されている。そこには、無塗装耐候 性鋼橋に確実に悪影響を及ぼす要因(例えば漏水)を明確に捉え、管理者が維持管理及び補修を行う 前提でそれに対する簡潔かつ合理的な対策(例えば sealer の採用)を策定し、定期的な点検と補修を 前提とした維持管理を実践しているという背景が存在するものと考えられる。このような無塗装耐候 性鋼橋の建設及び維持管理方針の思想は、我が国においても参考にできる部分が大きいと考えられる。 ただし、日米では湿度等の環境条件の違いや地震の有無、交通量等の荷重条件の違いや設計手法の違 い等があるため、これらを踏まえて、我が国における凍結防止剤が無塗装耐候性鋼橋に及ぼす影響と 対策を見極めていく必要があるものと考えられる。

# 【3章参考文献】

- 3. 1) FHWA : Technical Advisory 5140.22, 1989.10
- 3. 2) MODERN STEEL CONSTRUCTION : MARCH 2012
- 3.3) 山田稔、渡辺祐一、加納勇、山井俊介:凍結防止剤による耐候性橋梁の現状と課題、第57回土 木学会年次学術講演会、平成14年9月

# 第4章 凍結防止剤の飛散による桁への塩分付着に関する解析的検討

# 4.1 はじめに

本章では、凍結防止剤が飛散した塩分の付着箇所・程度を把握し、桁空間構造の違いによ る塩分の付着傾向を評価することを目的として、凍結防止剤が路外飛散する際の挙動を二次 元的に解析する。

# 4.2 解析方法

# (1) 流れ場の予測

橋の周りの流れ場の解析には、**表 4.2.1** に示す通り、浮力や温度の影響などは考慮しない 非圧縮性粘性流体の基礎方程式(支配方程式)を用いて解析する。乱流モデルは標準 k-ε モ デルを用いる。

基礎方程式の離散化は有限体積法(FVM)による。有限体積法は離散化手法が物理の保存則 に立脚しているため、気流解析に用いられる。

①連続の式
$\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_i} = 0$
②平均流の輸送方程式
$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u}_i \overline{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ v_t \left( \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u}_j}{\partial x_i} \right) \right\}$
③kの輸送方程式
$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_S - \varepsilon$
$G_{S} = v_{t} \left( \frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} + \frac{\partial u_{j}}{\partial x_{i}} \right) \frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}}$
<ul><li>④ ε の輸送方程式</li></ul>
$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u}_{j}\varepsilon}{\partial x_{j}} = \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left( \frac{v_{t}}{\sigma_{\varepsilon}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_{j}} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1}G_{S} - C_{2}\varepsilon)$
$\sigma_k = 1.0, \sigma_{\varepsilon} = 1.3, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92$

表 4.2.1 流れ場の基礎方程式

### (2) 塩分粒子の発生と移動

凍結防止剤が自動車走行等によって巻き上げられ、路外に飛散して桁下に到達する過程に ついて、粒子法を用いて追跡する。

路面上に粒子群を設定し、橋の周りの気流による塩分粒子の挙動を流れ場との相互作用を 解いて追跡し、塩分粒子が各部位に付着する粒子数を解析する。粒子追跡においては、流れ 場の乱れを考慮する。



図 4.2.1 粒子法による粒子追跡概要

#### (3) 凍結防止剤の飛散粒子条件

粒子法によって凍結防止剤の飛散過程を追跡するには、路面上での粒子の発生条件及び代 表粒径を決める必要がある。発生条件及び代表粒径を次の様に設定する。

### ①自動車走行等による凍結防止剤の巻き上げ範囲

路面に散布された凍結防止剤は、散布直後の散乱・飛散及び一般車両による巻き上げ等に よって路外に飛散すると考えられる。しかし、凍結防止剤の散布による散乱や走行車両の巻 き上げに関する知見が乏しく、この物理現象をモデル化することが難しいため、本解析では 輪荷重位置に一様に分布するものと想定する。

# ②凍結防止剤の飛散粒径について

凍結防止剤の飛散する粒子の大きさは、飛散距離に大きく関わるパラメータであるため、 桁下まで飛散する粒子の代表粒径を決める必要がある。しかし、これらの粒径を実測した事 例は見当たらない。そこで、海塩粒子に関する粒子径の検討例を参考に決定する。一般的に 粒径が大きい程、飛散距離は短く、粒径が小さいほど飛散距離は長くなり、粒子径が 10μm 以下は浮遊し沈降しない。

文献 4.1)によれば、路上に散布された凍結防止剤について、粒径  $10 \mu$  m 以上を捕集する「ガーゼ法」の結果が飛散浮遊量の性状を示していることから、通行車両の巻上げ等によって、空中に飛散する凍結防止剤を含む粒子は  $10 \mu$  m 以上のものと推測される。よって、解析に用いる代表粒径として  $10 \mu$  m 以上が望ましい。

凍結防止剤が飛散する粒径に関する知見がないため、中村・藤井ら 4.3)らと加藤・赤井ら 4.4) が行った海塩粒子に飛散に関する解析に基づいて代表粒径を検討する。これらの文献では**表** 4.2.2 に示す Size1~Size7 までの粒子を用いている。しかし、これらは海塩粒子の飛散解析 を目的としており、凍結防止剤の路外飛散を目的としているものではない。凍結防止剤の路 外飛散は走行車両の巻上げによるものが主体と考えられるため、橋の周りに飛散する粒子は、 海塩粒子の粒径より大きいものが飛散している可能性が高く、文献 4.4)の代表粒径の算出式 をもとに、表4.2.2 に示す Size8~Size10 の粒子も加える。

階級	平均質量(g)	粒径(mm)
Size1	$5.62 \times 10^{-12}$	$4.06 \times 10^{-3}$
Size2	$1.78 \times 10^{-11}$	$5.96  imes 10^{-3}$
Size3	$5.62 \times 10^{-11}$	$8.75 \times 10^{-3}$
Size4	$1.78 \times 10^{-10}$	$1.28  imes 10^{-2}$
Size5	$5.62 \times 10^{-10}$	$1.89 \times 10^{-2}$
Size6	$1.78 \times 10^{-9}$	$2.77 \times 10^{-2}$
Size7	$5.62 \times 10^{-9}$	$4.06 \times 10^{-2}$
Size8	$1.78 \times 10^{-8}$	$5.96  imes 10^{-2}$
Size9	$5.62 \times 10^{-8}$	$8.75 \times 10^{-2}$
Size10	1.78×10 <sup>-7</sup>	$1.28 \times 10^{-1}$

表 4.2.2 飛散粒子の特性値

#### (4) 予備計算

粒子法による解析の妥当性を検証するため、文献 4.1)、4.2)で実施された路外飛散の減衰状 況と一致するかどうかを検討する。

#### ① 解析条件

図 4.2.2の解析モデルを用いて、妥当な粒子数(H1=2m で固定し、1 粒径あたり 5,000 個 ~30,000 個)を求め、次いで、走行車両の巻上げの粒子速度や巻上げ角度を無視し粒子発生範囲(H1=1m, 2m 及び 3m)を設定し文献 4.1)の結果と比較する。

風速は、文献 4.2)における実測値の平均風速 1.4m を用いて地上高さ 10m で与える。



地表面の粒子検査面位置

図 4.2.2 予備計算モデル 4.1)

### ②粒子数(1粒径あたり)の検討

乱流現象による粒子の振る舞いは、風の乱れ(乱流エネルギー)をもとに確率論的に変動 するため、粒子数を多くする必要がある。そこで、1粒径あたりどの程度の粒子数で粒子追跡 を実施すれば、飛散状況を再現できるかを検討する。無次元化濃度の距離減衰を図 4.2.3 に 示す。ここでの無次元化濃度とは検査面で捕捉した塩分量を路面上に発生させた総塩分量で 割ったものである。

地表面に沈降する粒子の距離減衰を見ると、1 粒径あたり 7,500 個では、それ以上の粒子数 の予測結果と比べバラツキがある。10,000 個以上では、20,000 個、30,000 個とほぼ変わらな い結果となっている。

以上のことから、1 粒径あたりの粒子数は 10,000 個以上であれば、飛散状況を再現できる と考えられる。本解析では、地表面に沈降する解析結果より複雑な空間である橋の桁下に粒 子がまわり込む状況を解析するため、1 粒径あたりの粒子数を 30,000 個程度で解析すること とする。



図 4.2.3 地表面に沈降する粒子の距離減衰





【地上高さ 4m】

図 4.2.4 粒子数の鉛直分布

### ③粒子飛散減衰性状の検討

無次元化濃度の鉛直分布を図 4.2.4、表 4.2.3 にそれぞれ示す。鉛直分布は、粒径 Size1~ Size10、粒径 Size1~Size9、及び Size1~Size8 の合計の結果を示す。図 4.2.5 に、粒子発生 高さ H1=2m の粒径 Size5 の飛散状況を示す。

表 4.2.3 と図 4.2.6 を比較すると、粒子発生高さ H1=1m と 2m (Size1~9)の回帰式の係数 a,bの値が、文献 4.2)のケース 9.10の値と比較的近い結果となっている。なお、予備計算で用いた風速 1.4 m/s は、ケース 9,10 それぞれの風速 1.3、1.1m/s とほぼ同じ値である。粒径によって係数 a,bの値は変化し、粒径が小さい場合ケース 5 に近づく傾向にある。

無次元化濃度の鉛直分布は、文献 4.1)の実測結果によると、地上高さ 2m~4m は同じような傾向を示し、水平距離 2m の地上高さ 1m の場合にのみ、濃度が高くなる傾向を示す。図
4.2.6 を見ると、その傾向と若干の相違が見られる。

以上の結果から、予備計算は実測結果と比較して、鉛直分布の傾向では相違が見られるも のの、風下の距離減衰の傾向はある程度整合していることがわかる。

ケース	係数 a	係数 b	風速	相関係数	車種
5	0.00151	-1.067	1.6m/s	0.9744	小型
9	0.01034	-1.544	1.3m/s	0. 9844	大型
10	0.00976	-1.503	1.1m/s	0.9578	大型

表 4.2.3 実測結果における回帰式の係数 4.2)

ケース 5,9,10 は全て相関係数 r2 が 0.9 以上のものである。







図 4.2.5 塩分粒子の飛散状況(粒子発生領域高さ:2m, 粒子径:Size5)(1)







図 4.2.5 塩分粒子の飛散状況(粒子発生領域高さ:2m, 粒子径:Size5)(2)







図 4.2.5 塩分粒子の飛散状況(粒子発生領域高さ:2m, 粒子径:Size5)(3)







図 4.2.5 塩分粒子の飛散状況(粒子発生領域高さ:2m, 粒子径:Size5)(4)



粒子階級	密度(kg/m <sup>3</sup> )	粒径(m)
Size1	1.11E+03	4.06E-0(
Size2	1.11E+03	5.96E-06
Size3	1.11E+03	8.75E-0(
Size4	1.11E+03	1.28E-0
Size5	1.11E+03	1.89E-0
Size6	1.11E+03	2.77E-0
Size7	1.11E+03	4.06E-0
Size8	1.11E+03	5.96E-0
Size9	1.11E+03	8.75E-0
Size10	1.11E+03	1.28E-04





# 4.3 平地の橋モデルによる解析

#### (1) 解析モデル

付着塩分量の現地調査を実施した橋の構造で最も多い鋼鈑桁橋について、飛散塩分の挙動 解析を実施する。解析モデルは平地に位置する橋とし、現地調査で桁下部位の付着塩分量に 傾向が見られた図4.3.1に示す橋Aをモデルとして解析を実施する。現地での付着塩分量の 測定結果を図4.3.1に示す。



図 4.3.1 橋 A モデル(2 径間連続非合成鈑桁、耐候性鋼材)

### (2) 解析風向・風速について

①風向

本解析は二次元解析であるため、橋の横断方向を解析風向とする。

### 2 風 速

凍結防止剤が撒かれ飛散する冬季~春季(11月~4月)について、調査対象の橋が位置する地域(秋田・岩手)にあるアメダス観測局のデータから、冬季~春季の平均的な 風速を把握し、これを解析風速とする。

調査対象の橋の付近の道路周辺に位置するアメダス観測局の冬季~春季(11月~4月) の平均風速を図4.3.2に示す。アメダス観測局の期間平均風速は角館が0.9m/s、田沢湖 が1.6m/s、雫石が2.2m/sとなっている。

橋Aモデルは、アメダス雫石観測局が最寄りの観測局である。本解析は二次元解析で あるため、橋の横断方向における風速成分の平均値を解析風速(1.3m/s)とする。





# 図 4.3.2 調査対象の橋 (地図は国土地理院発行の地図を使用)

測定部位		P1(右)	A2(右)	A2(左)
輪位置	(mm)	2750	2750	5950
構造高	(mm)	2900	2900	2900
張出長	(mm)	1500	1500	1500
	測定			
	位置			
	1	146	93	69
	2	107	58	40
	3	130	97	16
	4	416	35	41
	5	221	39	53
表面塩分量	6	53	34	44
(mg/m2)	7	62	44	30
	8	96	25	26
	9	86	48	28
	10	105	60	28
	11	57	21	24
	12	160	47	58

表 4.3.1 表面塩分量測定結果



測定位置

現地調査:2008年2月2日(土)~2008年2月6日(水) 対象の橋:橋梁A、橋長:100.7m、有効幅員14.5m 2径間連続非合成鈑桁、2002年架設
## (3) 橋面上における粒子飛散の再現性確認

粒子追跡法による橋面上における水平方向の粒子飛散の再現性を確認するため、次の2つの方 法で凍結防止剤を模擬した粒子を設定した場合の飛散性状について、実測結果である図4.2.6と 比較する。

・凍結防止剤が車両走行等によって巻き上がった状態とする。

- →「① 鉛直方向に一様に分布させた場合」
- ・凍結防止剤が車両走行によって飛散する過程を再現する。
  - →「② 車輪位置から射出させた場合」

# ① 鉛直方向に一様に分布させる場合

車両走行等によって凍結防止剤が車道上全体に巻き上がった状態を粒子の初期状態とし て解析する。粒子の設定は、図4.3.3に示す様に車道上の鉛直方向に1m及び2mの範囲に おいて、表4.2.2に示したSize1~Size10の粒子を一様に分布させた状態で解析する。



図 4.3.3 模擬粒子の設定条件

表	4. 3. 2	計算ケースと粒子の設定条件
表	4. 3. 2	計算ケースと粒子の設定条

計算ケーフ	設定範囲(m)	
可昇クース	鉛直方向(H)	横断方向(W)
CaseA-1	1.0	10.4
CaseA-2	2.0	10.4

## ② 車輪位置から射出させる場合

車両走行によって凍結防止剤が飛散する過程を再現し解析する。走行車両による凍結防止 剤の飛散過程として、1)タイヤと路面(凍結防止剤)が接触した時に飛散する場合、2)タイ ヤに付着した凍結防止剤がタイヤの回転によって飛散する場合などを想定する。

そこで、粒子の設定は、図4.3.4に示す様に車道内の上下線位置において、走行車両の車 輪位置を想定し、路面からタイヤの直径程度の鉛直範囲に Size1~Size10 の粒子を一様に分 布させ、表4.3.3に示す初速度及び射出角を粒子一つ一つに設定して解析を行う。



図 4.3.4 模擬粒子の設定条件

べ 前井 パート パート・パート					
計算ケース	初速度 V <sub>0</sub> (m/s)	射出角 θ(°)			
CaseB-1		15			
CaseB-2	3.0	30			
CaseB-3		60			
CaseB-4		15			
CaseB-5	5.0	30			
CaseB-6		60			
CaseB-7		15			
CaseB-8	7.0	30			
CaseB-9		60			

表 4.3.3 計算ケースと粒子の設定条件

### ③ 各計算ケースの解析結果

鉛直方向に一様に分布させる場合(CaseA)と車輪位置から射出させる場合(CaseB)の 路外に飛散した粒子の減衰曲線を図4.3.5に示す。また、CaseBについてはSize1~10、Size1 ~9及びSize1~8の減衰曲線を図4.3.6に示す。

また、桁下空間へ付着した塩分量の割合を図4.3.7、粒径毎の桁下空間へ付着した塩分量の割合を図4.3.8、図4.3.9 にそれぞれ示す。

なお、ここで示す解析結果は発生粒子の総塩分量で無次元化している。

#### ④ 粒子の発生条件の違いによる飛散性状

図 4.3.5 に示す様に減衰曲線(q=a X<sup>-b</sup>)で回帰した減衰曲線のパラメータ b の値は CaseAでは1.75程度であり、実測結果である図4.2.6の値よりも大きくなっている。一方、 CaseB のbの値は 1.5 以下となっており、路外飛散した凍結防止剤の実測結果である図 4.2.6 の値と概ね同様である。

これは、粒径の大きい粒子は路外に飛散せず路面に沈降する割合が高いと考えられるが、 鉛直方向に一様に分布させた場合は、粒径の大きい粒子も鉛直方向 1m、又は 2m の空間に 配置されるため、風に流されて路外まで飛散する割合が高くなったことが原因と考えられ る。

粒径による飛散性状の違いを確認するため、CaseBの粒径を Size 1 ~ Size10、Size 1 ~ Size9、Size 1 ~ Size8 それぞれで合計した結果を図 4.3.6 に示す。減衰曲線のパラメータ b は CaseB-1~CaseB-9 で 1.2~1.45 程度の範囲となっており、実測結果である図 4.2.6 の値と概ね同様である。

CaseBは、粒径の分類方法を変えたいずれの条件においても解析結果と実測結果が概ね 同様であったこと、車両走行等による飛散状況を再現できていると考えられる。

以上より、凍結防止剤は車両走行等に伴い路面から飛散することから、CaseBのように 車輪位置から射出させた方が、現象に類似した状況を再現していると考えられる。

次に、解析における図 4.3.7 に桁下空間へ回り込んで付着した付着量の割合を示す。さらに、外桁に付着した粒子サイズ毎の塩分量の割合を図 4.3.8、図 4.3.9 にそれぞれ示す。 これらの粒子が付着した位置は風下側の外桁のみであるが、車道上に一様に分布させた CaseA の方が桁下空間へ回り込みやすい結果となった。

この原因として、車輪位置から射出させた CaseB の場合は、車道上に沈降・沈着する粒子の割合が多く、路外へ飛散する粒子数が少なくなるが、逆に、車道上に一様に分布させた CaseA の場合は車道上に沈降・沈着する粒子の割合が少なく、路外へ飛散する粒子数が 多くなるためと考えられる。

図4.3.8と図4.3.9のSize8~Size10の粒子の付着量を見ると、CaseBと比較してCaseAの付着量が多くなっていることから、特に粒径の大きい粒子が路外へ飛散する数が多くなっていると考えられる。







図 4.3.5 車道上一様分布(CaseA)及び車輪位置から射出(CaseB)の減衰曲線(1)







図 4.3.5 車道上一様分布(CaseA)及び車輪位置から射出(CaseB)の減衰曲線(2)







図 4.3.5 車道上一様分布(CaseA)及び車輪位置から射出(CaseB)の減衰曲線(3)





図 4.3.5 車道上一様分布 (CaseA) 及び車輪位置から射出 (CaseB)の減衰曲線(4)



[粒径 Size1~Size10 の合計]

図 4.3.6(1) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(1)

[粒径 Size1~Size9 の合計]



図 4.3.6(1) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(2)

[粒径 Size1~Size8 の合計]



図 4.3.6(1) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(3)

[粒径 Size1~Size10 の合計]



図 4.3.6(2) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(1)

[粒径 Size1~Size9 の合計]



図 4.3.6(2) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(2)





図 4.3.6(3) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(1)

[粒径 Size1~Size9 の合計]



図 4.3.6(3) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(2)

[粒径 Size1~Size8 の合計]



図 4.3.6(3) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(3)



図 4.3.7 CaseA 及び CaseB の外桁に付着した塩分量の割合



図 4.3.8 桁に付着した各粒子の塩分量割合(CaseA)







図 4.3.9 外桁に付着した各粒子の塩分量割合(CaseB)(1)







図 4.3.9 外桁に付着した各粒子の塩分量割合(CaseB)(2)







図 4.3.9 外桁に付着した各粒子の塩分量割合(CaseB)(3)

#### (4) 風速の違いによる粒子飛散の再現性確認

橋の周囲の風の速さの違いが模擬粒子の飛散にどの様に影響するかを検討するため、固定風速 を 1.0、3.0 及び 5.0 m/s の 3 ケースに設定して解析を実施する。なお、解析モデルは「(3)②車輪 位置から射出させた場合」を用い、風速のみを変更する。

# ①計算ケースと風速条件

固定風速を表4.3.4に示す3ケースについて解析する。

計算ケース	風速値(m/s)	初速度(m/s)	射出角(°)
Case1-1			15
Case1-2	1.0		30
Case1-3			60
Case2-1			15
Case2-2	3.0	5.0	30
Case2-3			60
Case3-1			15
Case3-2	5.0		30
Case3-3			60

表 4.3.4 計算ケースと風速条件

### ②各計算ケースの解析結果

桁下空間の無次元化した塩分付着量を表 4.3.5 に示す。桁下空間の塩分付着は、図 4.3.10 に示す外桁 P1のフランジ(6)とウェブ(7~9)にほぼ集中していたため、表には外桁 P1の No.6~9の結果のみ示している。

次に、外桁 P1 への塩分付着量の合計を図 4.3.11 に示す。固定風速の条件下においては、 風速が大きい程、外桁 P1 のフランジとウェブへの塩分付着量が大きくなる傾向を示して いる。

これは粒径の大きい粒子、すなわち重い粒子は、風速が小さい場合は重力沈降等の影響 が支配的と考えられるが、風速が大きくなるに従い、粒子に対する橋の周りの流れの影響 が大きくなり、路外に飛散する割合が多くなることで、桁下空間へ回り込み易くなったも のと考えられる。なお、表 4.3.4 の Case1-1、Case2-1 及び Case3-1 の粒子の飛散状況を 図 4.3.12~4.3.14 にそれぞれ示す。

以上より、本解析によって、固定風速 1.0、3.0 及び 5.0m/s の条件下では、風速が大き いほど外桁に付着する塩分量は多くなるが、粒子が内桁まで回り込むことは再現できなか った。

付着塩分量の現地測定時において、橋の周りの風速や風向きは変動が大きいことが確認 されている。解析結果も踏まえると、この風速や風向きの変動によって粒子が内桁まで回 り込む可能性が高くなるものと推測される。



図 4.3.10 桁下空間の位置番号

表 4.3.5 外桁 P1 への塩分付着量(%)

No	Case1-1	Case1-2	Case1-3	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case3-1	Case3-2	Case3-3
6	0.021	0.022	0.031	0.137	0.182	0.213	0.231	0.256	0.312
7	0.018	0.023	0.023	0.159	0.172	0.182	0.257	0.290	0.302
8	0.019	0.023	0.019	0.145	0.154	0.182	0.276	0.366	0.373
9	0.008	0.010	0.011	0.076	0.077	0.101	0.137	0.172	0.202
計	0.067	0.078	0.085	0.517	0.584	0.678	0.900	1.083	1.188



図 4.3.11 外桁 P1 の塩分付着量



図 4.3.12 固定風速下における粒子の飛散状況(U<sub>0</sub>=1m/s, Case1-1)(1)



図 4.3.12 固定風速下における粒子の飛散状況(U<sub>0</sub>=1m/s, Case1-1)(2)



図 4.3.12 固定風速下における粒子の飛散状況(U<sub>0</sub>=1m/s, Case1-1)(3)







図 4.3.13 固定風速下における粒子の飛散状況 ( $U_0=3m/s$ , Case2-1) (1)







図 4.3.13 固定風速下における粒子の飛散状況 ( $U_0=3m/s$ , Case2-1) (2)







図 4.3.13 固定風速下における粒子の飛散状況 (U<sub>0</sub>=3m/s, Case2-1) (3)







図 4.3.14 固定風速下における粒子の飛散状況(U<sub>0</sub>=5m/s, Case3-1)(1)







図 4.3.14 固定風速下における粒子の飛散状況 (U<sub>0</sub>=5m/s, Case3-1) (2)







図 4.3.14 固定風速下における粒子の飛散状況 (U<sub>0</sub>=5m/s, Case3-1) (3)

## (5) 床版下(桁空間)での解析

① 路外に飛散した塩分粒子の解析

路外に飛散した凍結防止剤の粒子が橋の周りの風の影響により、桁空間へ回り込む過 程を解析し、塩分の付着傾向を把握する。

**図** 4.3.15 に示す様に車道の片側車線の輪荷重位置に粒子を配置し、粒子には初速度 V<sub>0</sub>(=5.0m/s)と射出角θ(=15°)を与えて路外に飛散する塩分量の分布を解析する。

風速 U は図 4.3.16 に示す様に 1.3m/s を中心として、±1.0m/s で周期的に変動させた。現地で実施した簡易風速計による風速観測でも橋の周りの風速や風向きは絶えず変動しており、その変動によって桁空間へ塩分粒子が周り込んでいると考えられる。このため、風速は一定で与えるのではなく、平均的風速を周期的に変動させて解析することとする。

解析に用いた塩分粒子の粒径は Size4~Size10 を用いている。Size1~Size3 は粒径が 小さく、塩分の付着量として殆ど寄与しないため、解析に用いていない。

なお、粒子数は1粒径1回あたり約2,000個として、10秒間隔で30回放出している。 よって、総粒子数は600,000個程度となる。



図 4.3.15 解析橋モデル(橋Aモデル)



図 4.3.16 入力風速の周期的変動

解析した桁下への塩分粒子の付着量を表4.3.6に示す。橋Aモデルの実測値は、二次 元断面の解析であるため、橋の縦断方向の中間である P1 付近の実測値と比較している。 図4.3.17 には付着塩分量を算出した位置を示している。

なお、塩分粒子の飛散状況を図 4.3.18 に示す。図中の1~9 は飛散の経過を示している。

	外	桁		内桁		
No.	P1 付近 実測値 (mg/m <sup>2</sup> )	解析值 (×10 <sup>-7/</sup> m²)	No.	P1 付近 実測値 (mg/m <sup>2</sup> )	解析值 (×10 <sup>-7</sup> /m²)	
1	146	2439	8	96	11	
2	107	2038	9	86	10	
3	130	6805	10	105	21	
4	416	65	11	57	31	
5	221	78	12	160	36	
6	53	19	13	85	3	
7	62	3	14	91	7	

表 4.3.6 桁下の付着塩分量(橋Aモデル)



実測値 付着量レベル	内容	評価方法
4	付着が多い	付着量>2A
3	付着がやや多い	2A>付着量>A
2	付着がやや少ない	A>付着量>1/2A
1	付着が少ない	1/2A>付着量

A:当該横断面における平均値

図 4.3.17 付着塩分量の算出位置

表 4.3.6 と図 4.3.17 をもとに、付着塩分量を外桁と内桁のウェブで比較すると、外桁の外側ウェブで極めて多く、外桁の内側ウェブ、内桁の外側及び内側ウェブは同程度の付着塩分量である。この結果は、本解析、及び現地実測ともに同様な傾向を示している。

次に、外桁と内桁のフランジでは、付着塩分量は外桁のフランジで多く、内桁のフラ ンジで少ない。この結果は、本解析、及び現地実測ともに同様な傾向を示している。し かし、外桁の下フランジ上下面における付着塩分量の分布を見ると、本解析では外側フ ランジ上面で極めて多くなっており、現場実測における下面が最も多い傾向と異なって いる。凍結防止剤は路面上から飛散するため、外桁の外側ウェブに塩分が多く付着する と考えられるが、橋の一番外側にある外桁のウェブ側は雨の影響を最も受けやすいこと から、一度付着した塩分が洗い流され、付着塩分量が低くなっていると考えられる。な お、内桁下フランジの上下面における同分布を見ると、内側フランジ上面が最も多い傾 向は一致していることがわかる。

武邊ら<sup>4.5</sup>は、海塩粒子の鋼橋の付着塩類量を分析しており、すべての橋に共通して 外桁のウェブ外側の付着塩類量は低く、さび厚が薄いことを確認している。この理由と して、橋の一番外側にある外桁のウェブ側は雨の影響を最も受けやすいことから、一度 付着した塩類が洗い流され、付着塩類量が低く保たれていると結論付けている。



※赤色:粒径大、青色:粒径小を表す。

図 4.3.18 塩分粒子の飛散過程(橋Aモデル)(1)



※赤色:粒径大、青色:粒径小を表す。

図 4.3.18 塩分粒子の飛散過程(橋Aモデル)(2)







※赤色:粒径大、青色:粒径小を表す。

図 4.3.18 塩分粒子の飛散過程(橋Aモデル)(3)
#### ② 桁高の違いによる塩分付着状況

桁高の違いによる桁空間の塩分付着量の傾向を把握するため、図 4.3.19 に示す様に 桁高が H=1.5m の橋 B モデルで解析を実施する。

それ以外の解析条件は、鋼橋の構造による塩分付着傾向の相違を検討するため、橋A モデルの解析条件と同様とする。

解析した桁下への塩分粒子の付着量を表 4.3.7 に示す。図 4.3.20 には付着塩分量を 算出した位置を示している。

なお、塩分粒子の飛散状況を図4.3.21 に示す。図中の1~9 は飛散の経過を示している。



図 4.3.19 桁高が異なる解析橋モデル(橋Bモデル)

表 4.3.7 を見ると、桁高 1.5m(橋 B モデル)でも、内桁より外桁の外側ウェブ及び フランジの付着塩分が極めて多く、同じ主桁内では下フランジ周辺に多く付着しており、 桁高 2.5m(橋 A モデル)と傾向は同様である。

桁高 2.5m(橋 A モデル)と桁高 1.5m(橋 B モデル)の相違点は、1)外桁の外側ウェ ブ及びフランジへの付着塩分量は少なく、2)内桁の外側への付着塩分量が多くなる傾向 を示していることである。

外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が少ない原因は、桁高が小さくなった ことで、外桁の外側にできる気流の渦が小さくなり、外桁の外側に付着する粒子数が少 なくなるためと考えられる。また、内桁の外側への付着塩分量が多くなる傾向は、桁高 が小さくなることで、外桁の外側に付着する粒子が少なくなり、内桁へ回り込む粒子が 多くなったことが原因のひとつと推測される。

	外	桁		内桁		
No.	桁高 2.5m (×10 <sup>-7</sup> /m²)	桁高 1.5m (×10 <sup>-7</sup> /m²)	No.	桁高 2.5m (×10 <sup>-7</sup> /m²)	桁高 1.5m (×10 <sup>-7</sup> /m²)	
1	2439	851	8	11	10	
2	2038	849	9	10	50	
3	6805	4606	10	21	109	
4	65	103	11	31	40	
5	78	37	12	36	0	
6	19	9	13	3	0	
7	3	7	14	7	0	

表 4.3.7 桁高の違いによる付着塩分量比較



図 4.3.20 付着塩分量の算出位置







図 4.3.21 塩分粒子の飛散過程(桁高 1.5m)(1)







※赤色:粒径大、青色:粒径小を表す。

図 4.3.21 塩分粒子の飛散過程(桁高 1.5m)(2)







図 4.3.21 塩分粒子の飛散過程(桁高 1.5m)(3)

#### ③ 張出し長の違いによる塩分付着状況

張出し長の違いによる桁空間の塩分付着量の傾向を把握するため、図 4.3.22 に示す様に張出し長が L= 0.7m の橋 C モデルで解析を実施する。

それ以外の解析条件は、橋Aモデルの解析条件と同様である。

解析した桁下への塩分粒子の付着量を表 4.3.8 に示す。図 4.3.23 には付着塩分量を 算出した位置を示している。

なお、塩分粒子の飛散状況を図4.3.24 に示す。図中の1~9 は飛散の経過を示している。



図 4.3.22 張出し長が異なる解析橋モデル(橋Cモデル)

表 4.3.8 を見ると、張出し長 0.7m (橋 C モデル) も、内桁より外桁の外側ウェブ及 びフランジの付着塩分が極めて多く、同じ主桁内では下フランジ周辺に多く付着してお り、桁高 2.5m (橋 A モデル) と傾向は同様である。全体的な付着塩分量は張出し長 1.5m (橋 A モデル) の場合よりも多くなっている。特に、外桁の外側ウェブ及びフランジへ の付着塩分量が多くなっている。

張出し長 1.5m(橋 A モデル)と張出し長 0.7m(橋 C モデル)の相違点は、1)外桁の 外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が多く、2)内桁への付着塩分量が少なくなるこ とである。

外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が多くなる原因は、張出し長 0.7m と 短くなったことで、路外に飛散した塩分粒子と外桁の外側との移動距離が短くなったこ とで、外桁の外側に付着しやすくなったためと考えられる。また、内桁への付着塩分量 が少なく傾向は、外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が多くなるため、内桁 へ回り込む粒子が少なくなったことが原因と推測される。

	外	桁		内桁		
No.	張出し長 1.5m (×10 <sup>-7</sup> /m <sup>2</sup> )	張出し長 0.7m (×10 <sup>-7</sup> /m <sup>2</sup> )	No.	張出し長 1.5m (×10 <sup>-7</sup> /m <sup>2</sup> )	張出し長 0.7m (×10 <sup>-7</sup> /m <sup>2</sup> )	
1	2439	5857	8	11	0	
2	2038	5711	9	10	2	
3	6805	22068	10	21	0	
4	65	16	11	31	8	
5	78	41	12	36	15	
6	19	18	13	3	2	
7	3	9	14	7	1	

表 4.3.8 張出し長の違いによる付着塩分量比較



図 4.3.23 付着塩分量の算出位置







図 4.3.24 塩分粒子の飛散過程(張出し長 L=0.7m)(1)







図 4.3.24 塩分粒子の飛散過程(張出し長 L=0.7m) (2)







※赤色:粒径大、青色:粒径小を表す。

図 4.3.24 塩分粒子の飛散過程(張出し長 L=0.7m) (3)

# 4.4 地山近接橋モデルによる解析

## (1)解析概要

図4.4.1 に示す地山近接の条件下にある橋において、吹き上げ風及び吹き降ろし風の風環境 下における凍結防止剤の路外飛散する際の挙動を二次元解析し、飛散した凍結防止剤の桁空間 への付着状況を定性的に評価する。



図 4.4.1 地山近接の対象橋

## (2) 解析モデル

橋モデルは図4.4.2のモデルを用い、地山近接の状況は東高速道路株式会社らの設計要領4.6) にある"保護性さびの形成に影響の可能性がある範囲"を参考とし、地山斜面と橋の離隔距離 として、橋の山側に位置する下フランジの斜面距離(s)=5m及び桁下高さ(h)=2mを設定する。

〔保護性さびの形成に影響の可能性がある範囲〕 ・斜面距離(s) <5m, けた下高さ(h) <2m</li>





図 4.4.2 地山近接モデル

## (3) 斜面吹き上げ風の解析

図4.4.2 に示す地山斜面を吹き上げる風環境下における凍結防止剤の飛散状況について解 析を実施する。

① 解析条件

解析に用いた風速条件は表4.4.1のとおりである。

計算ケース	風速条件	備考
Case1	固定風速:U=1.3m/s	
Case2	変動風速:U=0.3m/s~2.3m/s	

表 4.4.1 斜面吹き上げの計算ケースと風速条件

## 2 解析結果

Case1 と Case2 の桁下空間への塩分付着量を表 4.4.2、表 4.4.3 にそれぞれ示し、桁下の各 部位(P1~P6)全体の塩分付着量を図 4.4.4、図 4.4.5 にそれぞれ棒グラフで表す。数値は単 位面積あたりの塩分付着量を表し、発生させた塩分の総質量に対する比で表している。 図4.4.6、図4.4.7に斜面吹き上げ風(Case1, Case2)の粒子の飛散状況図をそれぞれ示す。



表 4.4.2 Case1 の桁下空間への塩分付着量(固定風速)

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1						
2						
3						
4						
5						
6						6.03E-04
7						8.25E-05
8						6.51E-05
9						7.01E-05
全体						5.50E-05

(単位:1/m<sup>2</sup>)

表 4.4.3 Case2 の桁下空間への塩分付着量(変動風速)

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	1.88E-07					
2	1.12E-06					4.63E-08
3	2.34E-06					1.67 E-08
4	1.80E-05		1.50E-08			
5		2.32E-09				
6						7.26E-04
7					4.71E-10	1.84E-04
8					4.63E-08	1.89E-04
9						8.07E-05
全体	1.23E-06	1.95E-10	6.18E-10		6.28E-09	9.16E-05

(単位:1/m<sup>2</sup>)



図 4.4.4 Case1 における各部位の塩分付着量(固定風速)



図 4.4.5 Case2 における各部位の塩分付着量(変動風速)



図 4.4.6 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case1, 固定風速)(1)



図 4.4.6 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case1, 固定風速)(2)



図 4.4.6 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case1, 固定風速)(3)



図 4.4.7(1) 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(1)



図 4.4.7(1) 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(2)



図 4.4.7(1) 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(3)



図 4.4.7(2) 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(1)



図 4.4.7(2) 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(2)



図 4.4.7(2) 斜面吹き上げの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(3)

### (4) 斜面吹き降ろし風の解析

図4.4.2に示す地山から吹き降ろす風環境下における凍結防止剤の飛散状況について解析を 実施する。

① 解析条件

解析に用いた風速条件は表4.4.4のとおりである。

X		スに通信者工
計算ケース	風速条件	備考
Case1	固定風速:U=1.3m/s	
Case2	変動風速:U=0.3m/s~2.3m/s	

表 4.4.4 斜面吹き降ろしの計算ケースと風速条件

2 解析結果

Case1 と Case2 の桁下空間への塩分付着量を表 4.4.5、表 4.4.6 にそれぞれ示し、桁下の各部 位(P1~P6)全体の塩分付着量を図 4.4.9、図 4.4.10 に棒グラフでそれぞれ表す。数値は単位 面積あたりの塩分付着量を表し、発生させた塩分の総質量に対する比で表している。

図 4. 4. 11、図 4. 4. 12 に斜面吹き降ろし風(Case1, Case2)の粒子の飛散状況図をそれぞれ示す。



No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	9.56E-06					
2	1.09E-05	1.51E-08	1.38E-07		1.37E-09	
3	8.76E-06	5.80E-08				
4	4.51E-06	4.47E-09				
5	1.91E-06	7.55E-08	2.43E-07	6.86E-08		
6						
7						
8	8.71E-08					
9	3.81E-08					
全体	4.42E-06	1.62E-08	3.89E-08	5.76E-09	1.84E-10	

表 4.4.5 Case1 の桁下空間への塩分付着量(固定風速)

(単位:1/m<sup>2</sup>)

表 4.4.6 Case2の桁下空間への塩分付着量(変動風速)

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	2.75E-06	6.15E-07	4.72E-07	2.02E-06	2.10E-06	2.52E-06
2	2.66E-06	1.39E-06	3.07E-06	4.41E-06	5.85E-06	1.10E-05
3	4.00E-06	3.43E-06	5.87E-06	4.86E-06	1.15E-05	1.38E-05
4	3.34E-06	3.57E-06	8.41E-06	8.17E-06	1.02E-05	2.96E-05
5	8.05E-06	5.55E-06	1.70E-05	2.90E-05	6.12E-05	2.86E-05
6	2.20E-06	1.11E-06	2.61E-06	7.00E-06	2.83E-05	1.36E-03
7	1.49E-06	2.05E-06	2.48E-06	3.36E-06	1.27E-05	3.75E-04
8	2.74E-07	1.61E-06	1.21E-06	1.26E-06	1.70E-06	4.20E-04
9	5.65E-08	4.10E-07	3.65E-07	1.52E-07	6.04E-07	2.17E-04
全体	2.44E-06	1.94E-06	3.68E-06	5.23E-06	1.13E-05	2.02E-04

(単位:1/m<sup>2</sup>)



図 4.4.9 Case1 における各部位の塩分付着量(固定風速)



図 4.4.10 Case2 における各部位の塩分付着量(変動風速)



図 4.4.11 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case1, 固定風速)(1)



図 4.4.11 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case1, 固定風速)(2)



図 4.4.11 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case1, 固定風速)(3)



図 4.4.12(1) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(1)



図 4.4.12(1) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(2)



図 4.4.12(1) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(3)



図 4.4.12(2) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(1)



図 4.4.12(2) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(2)



図 4.4.12(2) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況(Case2, 変動風速)(3)

## (5) 地山近接解析のまとめ

## ① 斜面吹き上げ風の場合

固定風速(Case1)では地山斜面側の外桁のフランジとウェブにしか粒子が付着しなかったが、変動風速(Case2)では桁下空間まで粒子が付着している。

#### 斜面吹き降ろし風の場合

吹き降ろし風の場合には、固定風速(Case1)でも内桁へ粒子が付着している。変動風速 (Case2)では、地山斜面近傍の外桁で付着量が最も多いが、内桁への粒子の付着量が①斜面 吹き上げ風の場合よりも多くなっている。

#### ③ 現地調査結果との比較

橋の表面に付着した塩分量の現場実測結果と比較する。まず、実測結果による斜面近接橋の 塩分付着量レベルと桁下空間の付着傾向を図 4.4.13 に示す。外桁より内桁に多く付着する傾 向を示し、内桁のフランジ上面とウェブに多く付着する傾向となっている。

一方、解析結果では、吹き上げ風(固定・変動風速)と吹き降ろし風(固定風速)では、内 桁より外桁に多く塩分が付着する傾向となっている。しかし、吹き降ろし風の変動風速では風 下側の外桁(P6)で最も多く付着しているが、内桁の塩分付着量も多くなっている。

解析は実測の様に外桁より内桁の塩分付着量が多くなる結果にならなかったものの、吹き降 ろし風の変動風速の場合には、外桁と同程度に内桁の塩分付着量が多くなる傾向である。



【斜面近接橋の塩分付着傾向】

- ・外桁に比べ、内桁に多く付着している。
- ・特に、内桁の外側(ウェブ、フランジ上面)に多く付着している。
- ・外桁では、外側のフランジ上面に多く付着している。

図4.4.13 斜面近接橋の塩分付着量傾向(実測結果)

解析の結果より、「斜面吹き上げ」よりも「斜面吹き降ろし」の風環境下において、内桁の塩 分付着量が多くなっている。このことから、凍結防止剤は、特に吹き降ろし風時に内桁まで粒子 が回り込みやすく、塩分の付着量が多くなるものと推測される。

また、固定風速に比べ変動風速の場合に内桁の粒子付着量が多いことから、風速が変化する環 境下において、内桁まで粒子が飛散し塩分付着が多くなるものと推測される。
# 4.5 並列橋モデルによる解析

# (1) 解析概要

4.4 では、地山近接の条件下にある橋において、吹き上げ風及び吹き降ろし風の風環境下における飛散した凍結防止剤の桁空間への付着状況を定性的に評価した。本節では地山近接と同様に 凍結防止剤の飛散挙動に影響を与える要因として考えられている並列橋の影響について検討す る。

本節では並列橋による影響のみを評価するため、図4.5.1 に示す上下線の橋が並列したモデル を用いて、吹き上げ風及び吹き降ろし風の風環境下における凍結防止剤の路外飛散する際の挙動 を二次元解析し、飛散した凍結防止剤の桁空間への付着状況を定性的に評価する。



図 4.5.1 並列橋の対象橋

# (2) 解析モデル

橋モデルは図4.5.2のモデルを用い、地山近接の状況は東高速道路株式会社らの設計要領(研究当時)4.7にある"さびの安定化に影響の可能性がある範囲"を参考とし、2つの橋の離隔距離として、壁高欄間隔(d)=2.5m及び高低差(f)=10mを設定する。また、高低差による橋モデルBへの粒子付着量の変化を把握するため、高低差(f)=5mについても解析を行う。

〔さびの安定化に影響の可能性がある範囲〕					
・斜面距離(s)<5m, ハ	けた下高さ	(h) $<\!2m$			
・ <u>壁高欄間隔(d)&lt;2.5</u> 1	<u>m,高低差</u>	(f) <10m			





# (3) 解析条件

解析に用いた風速条件は表4.5.1のとおりである。

計算ケース	高低差(f)	風速条件	備考
Case1-1	10m	固定風速 : U=1.3m/s	
Case1-2	10m	変動風速:U=0.3m/s~2.3m/s	
Case2-1	$5 \mathrm{m}$	固定風速 : U=1.3m/s	
Case2-2	5m	変動風速:U=0.3m/s~2.3m/s	

表 4.5.1 並列橋の計算ケースと風速条件

#### (4)解析結果

Case1-1, Case1-2, Case2-1 及び Case2-2 における橋モデル A, Bの桁下空間への塩分付 着量を表 4.5.2~表 4.5.5 に示す。また、桁下の各部位 (P1~P6) 全体の塩分付着量を図 4.5.4 ~図 4.5.7 に示す。Case1-1 は橋モデル Bの桁下空間への付着は見られなかった。なお、数値 は単位面積あたりの塩分付着量を表し、発生させた塩分の総質量に対する比で表している。

**図 4.5.8~図 4.5.11** に並列橋 (Case1-1, Case1-2, Case2-1, Case2-2)の粒子の飛散状況 図を示す。



図 4.5.3 橋モデル A, B における桁下空間の位置番号

表 4.5.2 Case1-1 の桁下空間への塩分付着量(高低差:10m, 固定風速)

【橋モデル A】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	3.76E-07	4.08E-10	1.29E-09	4.37E-08	2.99E-09	3.01E-08
2	6.76E-07	4.59E-10	2.90E-09	2.38E-08	3.12E-07	$2.55 \text{E}{-}08$
3	3.78E-07	1.84E-07	5.65 E-09	6.35E-08	1.89E-07	3.26E-07
4	2.86E-06	1.53E-07		1.50E-09	2.03E-07	3.00E-08
5	9.68E-08	7.58E-07	1.29E-06	6.36E-07	7.62E-07	2.35E-06
6	4.76E-07	4.02E-07				5.38E-07
7	7.02E-07	1.68E-07	6.03E-08	$5.65 \text{E}{-}09$	5.18E-09	9.33E-08
8	4.59E-07	4.59E-10		4.63E-08	5.09E-08	2.12E-07
9	1.29E-09	1.28E-08	1.29E-09	5.37E-09	5.78E-09	3.04E-07
全体	4.97E-07	1.35E-07	1.18E-07	7.94E-08	1.48E-07	3.58E-07

(単位:1/m<sup>2</sup>)

表 4.5.3 Case1-2の桁下空間への塩分付着量(高低差:10m, 変動風速)

【橋モデル A】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	1.18E-06		1.32E-08		2.11E-09	4.25E-08
2	1.43E-06	5.10E-07	4.63E-08	4.59E-09	1.89E-06	2.22E-06
3	1.41E-06	5.05 E-07	1.10E-07	5.27E-08	5.26E-07	1.93E-06
4	9.92E-06		4.75E-06	4.85E-07	4.96E-07	4.48E-06
5	2.53E-08	6.58E-07	8.37E-08	4.53E-07	2.69E-06	6.42E-06
6	1.50E-08			1.55E-06	6.55E-06	5.91E-04
7				2.07E-07	8.70E-07	1.29E-04
8			4.59E-10		$1.67 \text{E}{-}07$	1.39E-04
9	2.99E-09			4.08E-10	2.15 E-07	6.38E-05
全体	9.68E-07	1.90E-07	2.25E-07	1.56E-07	1.01E-06	7.08E-05

【橋モデル B】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	3.76E-07	4.08E-10	1.29E-09	4.37E-08	2.99E-09	3.01E-08
2	6.76E-07	4.59E-10	2.90E-09	2.38E-08	3.12E-07	2.55E-08
3	3.78E-07	1.84E-07	5.65 E-09	6.35E-08	1.89E-07	3.26E-07
4	2.86E-06	1.53E-07		1.50E-09	2.03E-07	3.00E-08
5	9.68E-08	7.58E-07	1.29E-06	6.36E-07	7.62E-07	2.35E-06
6	4.76E-07	4.02E-07				5.38E-07
7	7.02E-07	1.68E-07	6.03E-08	5.65 E-09	5.18E-09	9.33E-08
8	4.59E-07	4.59E-10		4.63E-08	5.09E-08	2.12E-07
9	1.29E-09	1.28E-08	1.29E-09	5.37E-09	5.78E-09	3.04E-07
全体	4.97E-07	1.35 E-07	1.18E-07	7.94E-08	1.48E-07	3.58E-07

(単位:1/m<sup>2</sup>)

表 4.5.4 Case2-1 の桁下空間への塩分付着量(高低差:5m,固定風速)

【橋モデル A】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1						
2						
3						
4						
5						
6						5.39E-04
7						1.77E-04
8						2.38E-04
9						6.33E-05
全体						8.70E-05

【橋モデル B】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1		5.06E-09	1.26E-07	2.47E-06	2.20E-06	5.83E-06
2		1.38E-06	3.16E-07	3.17E-06	5.96E-06	1.26E-05
3	1.40E-08	6.24E-07	5.59E-06	5.22E-06	9.73E-06	1.21E-05
4		9.01E-07	5.07E-06	2.85E-06	4.42E-06	4.13E-06
5	6.92E-09	8.94E-06	6.42E-06	1.50E-05	$2.95 \text{E}{-}05$	2.52 E- $05$
6		5.10E-06	7.53E-06	1.90E-06	6.96E-06	5.57 E-06
7	1.45E-06	1.56E-06	4.13E-06	1.36E-06	2.48E-06	1.35 E-05
8	1.42E-07	6.79E-08	2.23E-06	2.05E-06	$2.65 \text{E}{-}06$	5.90E-06
9		4.44E-08	2.23E-08	1.04E-06	1.76E-06	2.49E-06
全体	2.12E-07	1.49E-06	2.70E-06	3.55E-06	6.30E-06	9.61E-06

(単位:1/m<sup>2</sup>)

表 4.5.5 Case2-2 の桁下空間への塩分付着量(高低差:5m, 変動風速)

【橋モデル A】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	1.64E-06	6.74E-07	1.99E-08	1.85 E-07	9.76E-08	2.65 E-07
2	5.97E-06	2.04E-06	3.11E-08	3.38E-07	2.30E-07	6.34E-07
3	7.79E-06	1.21E-06	1.86E-06	8.07E-07	1.03E-06	1.18E-06
4	6.77E-05	3.02E-06	6.48E-07	1.48E-06	2.95E-06	3.92E-06
5	3.32E-07	1.64E-06	2.26E-06	1.29E-06	2.13E-06	4.75E-06
6	1.10E-07		4.76E-07	2.56E-07	5.68E-06	2.60E-04
7	4.71E-07	4.71E-10	7.08E-08	1.38E-06	1.57 E-06	7.82E-05
8	6.86E-08	4.59E-07	4.59E-10	5.55E-08	1.33E-07	7.87E-05
9	1.42E-07	4.08E-10	4.08E-09		2.77E-08	4.24E-05
全体	4.99E-06	8.58E-07	4.97E-07	5.47E-07	9.43E-07	3.88E-05

【橋モデル B】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	1.08E-05	3.51E-07	6.10E-08	6.77E-07	3.72E-07	1.19E-06
2	$2.52 \text{E} \cdot 05$	4.94E-07	1.52E-06	1.25E-06	1.61E-06	4.26E-06
3	2.26E-05	2.11E-06	5.13E-06	4.41E-06	3.92E-06	3.83E-06
4	6.70E-05	4.24E-06	3.84E-06	2.86E-06	1.29E-06	2.75E-06
5	5.47E-06	1.02E-05	1.24E-05	9.41E-06	1.18E-05	9.10E-06
6	5.99E-07	3.66E-06	1.42E-06	1.82E-06	7.32E-07	3.86E-06
7	1.93E-06	9.66E-07	1.49E-06	2.71E-06	6.22E-07	4.44E-06
8	1.52 E-06	1.33E-06	4.91E-07	2.61E-07	4.19E-07	2.99E-06
9	1.07E-06	3.25E-07	6.36E-08	2.35E-07	3.06E-07	1.49E-06
全体	1.19E-05	1.94E-06	2.41E-06	2.26E-06	2.04E-06	3.50E-06

(単位:1/m<sup>2</sup>)



図 4.5.4 Case1-1 の各部位の塩分付着量(高低差:10m, 固定風速)





図 4.5.5 Case1-2 の各部位の塩分付着量(高低差:10m, 変動風速)



図 4.5.6 Case2-1 の各部位の塩分付着量(高低差:5m,固定風速)





図 4.5.7 Case2-2 の各部位の塩分付着量(高低差:5m, 変動風速)

#### (5) 並列橋解析のまとめ

# ① 高低差(f)10mの場合

固定風速(Case1-1)では、橋モデルAの風下側の外桁(P6)に粒子が付着しているが、橋 モデルBの桁下空間までは粒子が飛散せず、橋モデルBの桁下空間への付着は見られない。

変動風速(Case1-2)では、橋モデルA, Bのそれぞれの桁下空間(外桁・内桁)へ粒子の 付着が見られ、橋モデルAの方が橋モデルBよりも付着量が若干多い傾向である。

#### ② 高低差(f)5mの場合

固定風速(Case2-1)では、橋モデルAは風下側の外桁(P6)にしか粒子が付着していないが、橋モデルBは桁下空間全体に粒子が付着している。

変動風速(Case2-2)では、橋モデルA,Bのそれぞれの主桁(外桁・内桁)に粒子が付着 している。橋モデルBの桁下空間の粒子の付着量は外桁(P6)を除き、橋モデルAよりも多 くなっている。全般的に、高低差5mの橋モデルBの付着量は、高低差10mの橋モデルBの 付着量より多くなっている。

橋モデル B に関する固定風速(Case2-1)と変動風速(Case2-2)の付着量を比較すると、 付着量は両者とも同程度であるが、固定風速(Case2-1)では風下側の桁下の付着量が多くな っているのに対し、変動風速(Case2-2)では風上側の桁下の付着量が多くなっている。これ は、固定風速(Case2-1)の場合には風下距離が大きくなるに従い、粒子の拡散幅が大きくな っていくが、変動風速(Case2-2)の場合には風上側でも橋モデル B の位置まで粒子が十分拡 散しており、風上側の粒子の空間密度が大きいことが原因と考えられる。

①と②から並列橋解析の結果をまとめると、橋の高低差が小さくなるに従って、橋の桁下空間 への付着量が多くなるとともに、隣接する風下側の橋への付着量も多くなると推測される。







図 4.5.8 並列橋における飛散状況 (Case1-1、高低差 10m、固定風速) (1)







図 4.5.8 並列橋における飛散状況 (Case1-1、高低差 10m、固定風速) (2)







図 4.5.8 並列橋における飛散状況(Case1-1、高低差 10m、固定風速)(3)







図 4.5.9(1) 並列橋における飛散状況(Case1-2、高低差 10m、変動風速)(1)







図 4.5.9(1) 並列橋における飛散状況(Case1-2、高低差 10m、変動風速)(2)







図 4.5.9(1) 並列橋における飛散状況(Case1-2、高低差 10m、変動風速)(3)







図 4.5.9(2) 並列橋における飛散状況 (Case1-2, 高低差 10m、変動風速) (1)







図 4.5.9(2) 並列橋における飛散状況(Case1-2, 高低差 10m、変動風速)(2)







図 4.5.9(2) 並列橋における飛散状況(Case1-2, 高低差 10m、変動風速)(3)







図 4.5.10 並列橋における飛散状況(Case2-1、高低差 5m、固定風速)(1)







図 4.5.10 並列橋における飛散状況 (Case2-1、高低差 5m、固定風速) (2)







図 4.5.10 並列橋における飛散状況 (Case2-1、高低差 5m、固定風速) (3)







図 4.5.11(1) 並列橋における飛散状況(Case2-2、高低差 5m、変動風速)(1)







図 4.5.11(1) 並列橋における飛散状況(Case2-2、高低差 5m、変動風速)(2)







図 4.5.11(1) 並列橋における飛散状況(Case2-2、高低差 5m、変動風速)(3)







図 4.5.11(2) 並列橋における飛散状況(Case2-2、高低差 5m、変動風速)(1)







図 4.5.11(2) 並列橋における飛散状況(Case2-2、高低差 5m、変動風速)(2)







図 4.5.11(2) 並列橋における飛散状況(Case2-2、高低差 5m、変動風速)(3)

#### 4.6 まとめ

#### (1) 平地の橋の場合

- ① 平面道路での予備解析結果から、塩分粒子の飛散が減衰曲線(q=aX<sup>b</sup>)に概ね従うことを確認できる。さらに、橋面上の一定風速による解析結果から、橋においてもq=aX<sup>b</sup>の減衰曲線に従って塩分粒子が飛散することを確認できる。
- ② 現地での簡易風速計による観測や降雪時の雪の飛散状況から、橋の周りの風は絶えず変動していることがわかる。本解析では、気流場を単純化して、風速を周期的に変動させた解析を実施した。解析結果は、塩分粒子が桁下へ周り込み、現地調査結果と概ね同様な付着傾向を示している。
- ③ 塩分粒子が路外に飛散し、粒径の大きい粒子は外桁の外側に付着しやすく、風が弱まり逆 向きの風になる場合に、粒径の小さい粒子が内桁まで塩分粒子が到達すると考えられる。

今後の課題として、桁空間の構造毎の塩分付着傾向を把握・評価するには、橋の桁空間にのみ 着目し、外桁の外側下部に中・小の粒径の塩分粒子を配置した解析を行うことで、桁空間の構造 の違いによる塩分付着傾向を把握することが考えられる。

#### (2) 地山近接橋の場合

固定風速と変動風速ともに、斜面吹き上げ風よりも斜面吹き降ろし風の条件下で桁下空間への 塩分の付着量が多くなることから、凍結防止剤は、吹き降ろし風の環境下において桁下空間(外 桁・内桁)へ回り込みやすくなり、塩分の付着量も多くなるものと考えられる。

また、変動風速の条件下で桁下空間への塩分の付着量が多いことから、風の変化が大きくなる に従い、桁下空間の塩分付着が多くなるものと推測される。

平地の橋と地山近接橋を比較すると、桁下空間の塩分付着量は、地山近接橋の吹き降ろし風で 多くなっている。

地山近接した橋では、風が吹き上げ、吹き降ろしなど、風の変化が激しいことが予想される。 特に吹き降ろし風では地山の風下に位置するため、風速や風向きの変動、又は風の乱れも大きく なり、橋の桁下空間へ塩分が回り込む確率も高くなると推測される。変動風速の条件で解析した 平地の橋、地山近接橋における桁下空間の各部位の塩分付着量を図4.6.1 に、粒子の飛散状況を 図4.6.2 にそれぞれ示す。

#### (3) 並列橋の場合

橋の高低差が小さくなるに従って、橋の桁下空間への付着量が多くなるとともに、隣接する風 下側の橋への付着量も多くなると推測される。

変動風速の条件で解析した平地の橋と並列橋における桁下空間の塩分付着量を見ると、並列橋 は桁下空間の塩分付着量が多くなる傾向が見られ、橋の間の高低差が小さくなるとこの傾向は顕 著になっている。変動風速の条件で解析した平地の橋、地山近接橋と一緒に、桁下空間の各部位 の塩分付着量を図4.6.1に、粒子の飛散状況を図4.6.2にそれぞれ示す。 なお、並列橋の解析では、風上側に位置する橋モデルAにしか凍結防止剤を模擬した粒子を設定 していない。このため、変動風速の条件では、橋モデルBの路面からの凍結防止剤の飛散を追加 して考慮すると、平地の橋よりも並列橋の方が桁下空間への塩分の付着量はさらに多くなること が予想される。







く吹き上げ風>

く吹き降ろし風>







図 4.6.1 各架橋条件下における解析結果比較(付着量)



【平地の橋】



<吹き上げ風>

<吹き降ろし風>





<高低差 10m>

<高低差 5m>

【並列橋】

図4.6.2 各架橋条件下における解析結果比較(粒子拡散状況)

【4 章参考文献】

- 4.1) 国土技術政策総合研究所:国土技術政策総合研究所資料第 412 号 凍結防止剤散布と沿道環 境,2007.7
- 4.2)角湯克典,大西博文,並河良治:凍結防止剤の飛散状況に関する研究,第24回 日本道路会 議,pp.152-153,2001.10
- 4.3) 中村秀治,藤井堅,緒方琴未・田口義隆:地形影響を考慮した飛来塩分量の推定と構造物への塩分付着に関する検討,鋼構造論文集,第14巻第54号,pp.43-54,2007
- 4.4)加藤央之・赤井幸夫:簡易型塩分飛散予測モデルの構築と評価,農業気象,57(2),pp.79-92,2001.6
- 4.5) 武邊勝道,松崎靖彦,大屋誠,安食正太,古川貴士,麻生稔彦:耐候性鋼橋梁の表面状態と 付着塩類量の関係,土木学会論文集 F, Vol. 63No. 2, pp. 172-180, 2007. 5
- 4.6) 東日本高速道路株式会社,中日本高速道路株式会社,西日本高速道路株式会社:設計要領 第 二集 橋梁建設編, pp.7\_16-7\_17, 2013.7
- 4.7) 東日本高速道路株式会社,中日本高速道路株式会社,西日本高速道路株式会社:設計要領 第二集 橋梁建設編, pp. 7\_86, 2011.7

# 第5章 まとめ

道路橋における耐候性鋼材の適用については、異常腐食発生の主因である飛来塩分量に着目して、 耐候性鋼材を無塗装で使用する場合の適用可能地域が海岸線からの離隔距離に応じて定められてい る。一方、凍結防止剤の影響については、特異な地形条件(地山近接環境等)及び構造条件(並列配 置等)についてある程度明らかにされているものの、一般的な条件下での凍結防止剤の塩分の影響度 合については不明な点が多く、適用に関する規定を明確に定めるには至っていない。路面から凍結防 止剤が飛散し、鋼材に付着・滞留するというメカニズムを考えた場合、橋が位置する個々の地域・地 形・部材構成等の環境条件によりその影響は大きく異なるものと考えられる。

本研究は、凍結防止剤散布地域に建設された無塗装耐候性鋼橋がどのような条件で凍結防止剤の影響を受けるのかということを明らかにするための検討を行ったものである。

本研究で得られた主な知見は以下の通りである。

- 1. 実橋の調査結果に基づく無塗装耐候性鋼橋への凍結防止剤の影響について
- 異常さびが発生している耐候性鋼橋において、異常さびは橋の一部に局所的に発生し、他の箇 所ではレベル3以上の良好なさびが生成されていることから、異常さびの原因は局所的な環境 条件であると考えられる。
- ② 桁端部は、伸縮装置や床版からの漏水等特定の原因によりレベル2以下の異常さびが発生しているが、これらは原因を排除すれば腐食環境の改善が予想されるものであり、適切な維持管理を行う必要がある。
- ③ 並列橋や地山が近接した環境条件は、異常さびの生成に影響を与えると考えられる。しかし、 その度合いは個々の橋によって異なる。
- ④ 凍結防止剤が混入した漏水が耐候性鋼橋に与える影響は大きく、層状剥離さびの最も大きな原因となる可能性がある。床版や伸縮装置からの漏水は早急に補修する必要があり、漏水の早期発見のためには定期的な点検が重要であると考えられる。
- ⑤ 多湿環境においては、凍結防止剤の影響が鋭敏かつ顕著に現れる可能性が考えられる。
- 2. 米国における無塗装耐候性鋼橋の実態調査結果について

凍結防止剤が無塗装耐候性鋼橋に与える影響と対策に関する課題は、日米で多くの部分が共通している。米国では、無塗装耐候性鋼橋に悪影響を及ぼす要因として漏水等を明確に捉えて対策を策定し、 管理者が定期的な点検と維持管理の実践を前提として、積極的に無塗装耐候性鋼橋が建設されている。

3. 凍結防止剤の飛散による桁への塩分付着に関する解析的検討結果について

第2章の実橋の調査結果において、異常さびの生成に影響を与えると考えられる並列橋や地山が 近接した環境条件について、凍結防止剤の飛散による桁への塩分付着状況の解析的検討から得られ た知見は以下の通りである。 (1) 平地の橋の場合

- ① 平面道路での予備解析結果から、塩分粒子の飛散が減衰曲線(q=aX<sup>b</sup>)に概ね従うことを確認できる。さらに、橋面上の一定風速による解析結果から、橋においてもq=aX<sup>b</sup>の減衰曲線に従って塩分粒子が飛散することを確認できる。
- ② 現地での簡易風速計による観測や降雪時の雪の飛散状況から、橋の周りの風は絶えず変動していることがわかる。本解析では、気流場を単純化して、風速を周期的に変動させた解析を実施したところ、塩分粒子が桁下へ周り込み、現地調査結果と概ね同様な付着傾向を示している。
- ③ 塩分粒子が路外に飛散し、粒径の大きい粒子は外桁の外側に付着しやすく、風が弱まり逆向きの風になる場合に、粒径の小さい粒子が内桁まで塩分粒子が到達すると考えられる。

(2) 地山近接橋の場合

- 固定風速と変動風速ともに、斜面吹き上げ風よりも斜面吹き降ろし風の条件下で桁下空間への 塩分の付着量が多くなることから、凍結防止剤は、吹き降ろし風の環境下において桁下空間(外 桁・内桁)へ回り込みやすくなり、塩分の付着量も多くなるものと考えられる。
- ② 変動風速の条件下で桁下空間への塩分の付着量が多いことから、風の変化が大きくなるに従い、 桁下空間の塩分付着が多くなるものと推測される。
- ③ 平地の橋と地山近接橋を比較すると、桁下空間の塩分付着量は、地山近接橋の吹き降ろし風で 多くなっている。

(3) 並列橋の場合

- ・価の高低差が小さくなるに従って、橋の桁下空間への付着量が多くなるとともに、隣接する風 下側の橋への付着量も多くなると推測される。
- ② 変動風速の条件で解析した平地の橋と並列橋における桁下空間の塩分付着量を見ると、並列橋 は桁下空間の塩分付着量が多くなる傾向が見られ、橋の間の高低差が小さくなるとこの傾向は 顕著になっている。

# 国土技術政策総合研究所資料 TECHNICAL NOTE of NILIM N o. 778 January 2014

\_\_\_\_\_

編集·発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは 〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地 企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675