

# 耐候性鋼材のワッペン試験における実施期間と 予測腐食減耗量の関係に関する検討

A study on relationship between experimental period and  
predicted corrosion loss in weathering steel small sample exposure tests

今井亮太\*、桑名弘暁\*\*、田島啓司\*\*\*、麻生 稔彦\*\*\*\*

Ryota IMAI and Hiroaki KUWANA and Keiji TAJIMA and Toshihiko ASO

\*学生会員 山口大学大学院 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

\*\*正会員 宇部興産機械 (〒755-0067 山口県宇部市大字小串字沖ノ山 1980)

\*\*\*正会員 山口大学大学院 助教 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

\*\*\*\*正会員 山口大学大学院 教授 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

耐候性鋼橋梁を良好な状態で長期間使用するためには、橋梁の置かれた腐食環境を適切に把握することが必要である。近年、耐候性鋼橋梁の腐食環境を把握するために、ワッペン試験が実施される例が増えている。ワッペン試験は1年間実施されることが多いものの、複数年にわたって実施された場合と100年後の腐食減耗量の推定値に差が生じる場合がある。そのため、文献より複数年にわたって実施されたワッペン試験の実施結果を収集したうえで、複数年の結果から得られる腐食減耗量がより現実に近いと考え、単年の結果からの腐食減耗量の予測式の再検討をおこなった。

キーワード：耐候性鋼材、腐食、ワッペン試験、予測

## 1. はじめに

耐候性鋼材は無塗装で使用され、鋼材表面に緻密な保護性さびを形成し腐食速度を低減する。そのため供用期間中の塗り替えが不要となり、ライフサイクルコストの低減が可能となる。一方で、飛来塩分の多い環境や湿潤状態が長く続く環境下では緻密な保護性さびが生成されず、腐食速度が速くなる。耐候性鋼橋梁を良好な状態で長期間使用するためには、橋梁の置かれた腐食環境を適切に把握することが必要である。耐候性鋼橋梁の使用にあたっては主として海からの飛来塩分量に着目されている<sup>1)</sup>。しかし、腐食環境は飛来塩分量、温湿度、日射量、供給水分量等が複雑に関連し形成される。そのため、個々の因子からなる腐食環境を総合的に評価する手法が必要となる。

耐候性鋼橋梁の腐食環境を把握するための方法の1つとしてワッペン試験がある<sup>2)</sup>。ワッペン試験は、50mm×50mm×厚さ2mmの耐候性鋼材からなるワッペン試験片を橋梁に貼付し、所定期間後のワッペン試験片の腐食減耗量から試験片貼付位置における腐食環境を定量的に評価する試験法である。また、ワッペン試験に使用する試験片は小型であるため、橋梁の様々な部位に貼付が可能であり、局所的な腐食環境を評価することも可能である。ワッペン試験の実施にあたっては、これまでも種々の検討がなされている。これによれば、橋梁本体とワッペン

試験片とは濡れ時間や熱容量の違いによる腐食の差異が発生することも指摘されている<sup>3)</sup>。そのため、橋梁本体の腐食予測ではなく、あくまでも腐食環境の把握のために用いられるべき試験法である。

通常、ワッペン試験は1年間実施されることが多い。1年間曝露された試験片はさびを除去し、重量減から腐食減耗量を算定する。これは初年度腐食減耗量と呼ばれ、試験片が曝露されたその局部の大気腐食環境の腐食性を示す指標となる<sup>2)</sup>。この指標をもとに、100年後の腐食減耗量を算定する方法が示されている<sup>2)</sup>。一方、最近ではワッペン試験を複数年にわたって実施する事例が増えている。ワッペン試験を複数年にわたって実施する場合には、毎年ごとの腐食減耗量が計測される場合が多く、これによれば経過年と腐食減耗量について複数の点が得られ、この関係を曲線近似できることになる。このようにして求めた100年後の腐食減耗量と従来の方法による100年後の腐食減耗量には差が生じることが指摘されている<sup>4)</sup>。

そこで本検討では、まず、文献より複数年にわたって実施されたワッペン試験の実施結果を収集した。それらの資料を用いて単年での結果より推定される100年後の腐食減耗量と、複数年の結果から推定される100年後の腐食減耗量の差について検討した。さらに、複数年の結果から得られる腐食減耗量がより現実に近いと考え、単

表-1 橋梁一覧

No	橋梁名	所在地	No	橋梁名	所在地
1	A1橋	鳥取県米子市	43	TC橋 <sup>2)</sup>	沖縄県西原市
2	A2橋	島根県出雲市	44	S1橋 <sup>2)</sup>	北海道石狩市
3	A3橋		45	S2橋 <sup>2)</sup>	北海道札幌市
4	A4橋	島根県益田市	46	S3橋 <sup>2)</sup>	北海道千歳市
5	A5橋		47	S4橋 <sup>2)</sup>	北海道室蘭市
6	A6橋	山口県萩市	48	S5橋 <sup>2)</sup>	宮城県宮城郡
7	A7橋		49	S6橋 <sup>2)</sup>	山形県東根市
8	A8橋		50	S7橋 <sup>2)</sup>	宮城県仙台市
9	A9橋		51	S8橋 <sup>2)</sup>	群馬県
10	A10橋	山口県山口市	52	S9橋 <sup>2)</sup>	埼玉県川越市
11	RA橋 <sup>5)</sup>	沖縄県中部	53	S10橋 <sup>2)</sup>	千葉県船橋市
12	RB橋 <sup>5)</sup>	沖縄県那覇市	54	S11橋 <sup>2)</sup>	神奈川県横浜市
13	A橋 <sup>6)</sup>	新潟県新潟市	55	S12橋 <sup>2)</sup>	新潟県長岡市
14	B橋 <sup>6)</sup>		56	S13橋 <sup>2)</sup>	新潟県柏崎市
15	C橋 <sup>6)</sup>	新潟県五泉市	57	S14橋 <sup>2)</sup>	富山県高岡市
16	D橋 <sup>6)</sup>	島根県出雲市	58	S15橋 <sup>2)</sup>	新潟県東蒲原郡
17	E橋 <sup>6)</sup>		59	S16橋 <sup>2)</sup>	岐阜県飛騨市
18	F橋 <sup>6)</sup>	愛知県知多郡	60	S17橋 <sup>2)</sup>	三重県南牟婁郡
19	G橋 <sup>6)</sup>		61	S18橋 <sup>2)</sup>	愛知県名古屋
20	H橋 <sup>6)</sup>	愛媛県今治市	62	S19橋 <sup>2)</sup>	三重県四日市市
21	M1橋 <sup>7)</sup>	島根県松江市	63	S20橋 <sup>2)</sup>	和歌山県有田市
22	M2橋 <sup>8)</sup>	島根県松江市	64	S21橋 <sup>2)</sup>	滋賀県大津市
23	M3橋 <sup>9)</sup>	島根県出雲市	65	S22橋 <sup>2)</sup>	京都府京都市
24	M4橋 <sup>9)</sup>		66	S23橋 <sup>2)</sup>	大阪府大阪市
25	M5橋 <sup>10)</sup>	島根県松江市	67	S24橋 <sup>2)</sup>	鳥取県鳥取市
26	M6橋 <sup>11)</sup>		68	S25橋 <sup>2)</sup>	島根県江津市
27	SN橋 <sup>12)</sup>	長崎県佐世保市	69	S26橋 <sup>2)</sup>	広島県三次市
28	IS橋 <sup>13)</sup>	茨城県	70	S27橋 <sup>2)</sup>	岡山県岡山市
29	KA橋 <sup>14)</sup>	千葉県	71	S28橋 <sup>2)</sup>	岡山県倉敷市
30	GA橋 <sup>15)</sup>	岐阜県	72	S29橋 <sup>2)</sup>	香川県三豊市
31	NA橋 <sup>16)</sup>	新潟県	73	S30橋 <sup>2)</sup>	愛媛県松山市
32	NB橋 <sup>17)</sup>	新潟県西蒲区	74	S31橋 <sup>2)</sup>	高知県安田市
33	NC橋 <sup>18)</sup>	新潟県新潟市	75	S32橋 <sup>2)</sup>	愛媛県大洲市
34	SA橋 <sup>19)</sup>	長崎県	76	S33橋 <sup>2)</sup>	宮崎県宮崎市
35	SB橋 <sup>19)</sup>		77	S34橋 <sup>2)</sup>	大分県
36	SC橋 <sup>19)</sup>		78	S35橋 <sup>2)</sup>	福岡県福岡市
37	SD橋 <sup>19)</sup>		79	S36橋 <sup>2)</sup>	福岡県北九州市
38	SE橋 <sup>19)</sup>		80	S37橋 <sup>2)</sup>	沖縄県大宜味村
39	SF橋 <sup>19)</sup>		81	S38橋 <sup>2)</sup>	沖縄県名護市
40	SG橋 <sup>19)</sup>		82	S39橋 <sup>2)</sup>	沖縄県中頭部
41	TA橋 <sup>2)</sup>		沖縄県読子市	83	S40橋 <sup>2)</sup>
42	TB橋 <sup>2)</sup>	沖縄県宮古市	84	S41橋 <sup>2)</sup>	茨城県つくば市

表-2 地域別橋梁数

地域	橋梁数	地域	橋梁数
北海道	4	近畿	4
東北	3	中国	23
関東	7	四国	5
北陸	10	九州	12
中部	7	沖縄	9

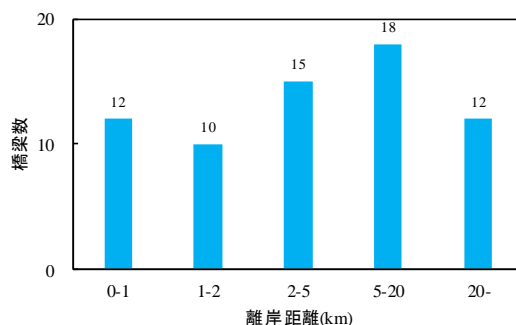


図-1 離岸距離ごとの橋梁数

減耗量が得られている橋梁は7橋あり、試験片は42枚である。また、初年度および3年目の腐食減耗量がある橋梁および試験片は56橋の99枚である。収集した試験結果の中には4年目や5年目の腐食減耗量も存在するが、それらは標本数が少ないため本検討では使用しない。なお、本検討では曝露期間の違いによる予測減耗量の差異を対象とするため、部位ごとの比較はおこなわない。

表-2に使用する橋梁の地方別橋梁数を、整備局での地方区分により示す。表-2から、中国地方の橋梁が大半を占めていることがわかる。これは、著者らが過去にワッペン試験を実施した橋梁が多いためである。また、図-1に全84橋のうち離岸距離が明らかとなっている67橋について、離岸距離ごとの橋梁数を示す。離岸距離が5km以内の橋梁が半分を占めており、離岸距離が最も遠い橋梁では155kmである。

年の結果からの腐食減耗量の予測式の再検討を行った。

## 2. 収集データ

本検討では、著者らが実施したワッペン試験および文献調査により得られた腐食減耗量の記載があるワッペン試験結果を用いる。表-1に本検討で使用したワッペン試験が実施された橋梁の一覧を示す。表-1中、No. 1~No. 10は著者らが実施した橋梁であり、No. 11~No. 43は文献から得られた橋梁である。これらから得られたワッペン試験片は総数251枚である。また、No. 44~No. 84の計41橋は小型試験片により腐食減耗量が計測された橋梁であり、本検討ではこれらのデータも使用した。

対象とした試験結果の内、初年度および2年目の腐食

## 3. 腐食減耗量の推定

ワッペン試験による鋼材の腐食減耗量は、腐食反応による単位表面積あたりの鋼材減少量であり、腐食量から次式により算出される<sup>2)</sup>。

$$\begin{aligned} \text{腐食量}(\text{g}/\text{mm}^2) &= \text{試験前後の質量差}(\text{g})/\text{試験片面積}(\text{mm}^2) \quad (1) \\ \text{腐食減耗量}(\text{mm}) &= \text{腐食量}(\text{g}/\text{mm}^2)/\text{試験片密度}(\text{g}/\text{mm}^3) \quad (2) \end{aligned}$$

ここで、ワッペン試験から得られる腐食減耗量は試験片の片側当たりの腐食減耗量であるため、試験片面積は片

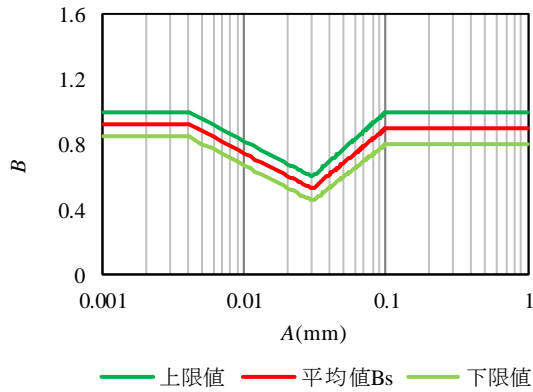


図-2 Bの推定

側である。一方、小型試験片では両側の腐食減耗量が得られるため、試験片両側の面積で除すことにより片側平均腐食減耗量が得られる。

通常、鋼材の腐食減耗量  $y$  と経過年数  $x$  の関係は次式で表される<sup>2)</sup>。

$$y = Ax^B \quad (3)$$

ここで、 $y$ : 累積腐食減耗量 (mm)、 $A$ : 初年度腐食減耗量 (mm)、 $x$ : 経過年数 (年)、 $1/B$ : 保護性さび形成効果指標

ワッペン試験結果から 100 年後の腐食減耗量を推定する場合、 $A$  はワッペン試験の初年度減耗量として直接得られるものの、 $B$  は別に定める必要がある。そのため、全国 41 橋での試験結果をもとに以下による  $B$  の推定法が用いられている<sup>2)</sup>。

$B$  の上限値

I.  $A \leq 0.004$  (mm) :  $B^{\text{Upper}} = 1.0$  (4)

II.  $0.004 < A \leq 0.03$  (mm) :  
 $B^{\text{Upper}} = -0.45711 \cdot \log(A/0.004) + 1.0$  (5)

III.  $0.03 < A \leq 0.1$  (mm) :  
 $B^{\text{Upper}} = 0.76500 \cdot \log(A/0.1) + 1.0$  (6)

IV.  $0.1 < A$  (mm) :  $B^{\text{Upper}} = 1.0$  (7)

$B$  の下限値

I.  $A \leq 0.004$  (mm) :  $B^{\text{Lower}} = 0.85$  (8)

II.  $0.004 < A \leq 0.03$  (mm) :  
 $B^{\text{Lower}} = -0.45711 \cdot \log(A/0.004) + 0.85$  (9)

III.  $0.03 < A \leq 0.1$  (mm) :  
 $B^{\text{Lower}} = 0.66937 \cdot \log(A/0.1) + 0.8$  (10)

IV.  $0.1 < A$  (mm) :  $B^{\text{Lower}} = 0.8$  (11)

上式から初年度腐食減耗量  $A$  によって  $B$  の上限値と下限値が算出される。図-2 に式(4)～(11)によって得られる  $B$  の上・下限値と上・下限値の平均値  $B_s$  を示す。

一方、ワッペン試験が 2 年以上実施され各年の腐食減耗量が測定されていれば、式(3)がそれらの点を通ると考

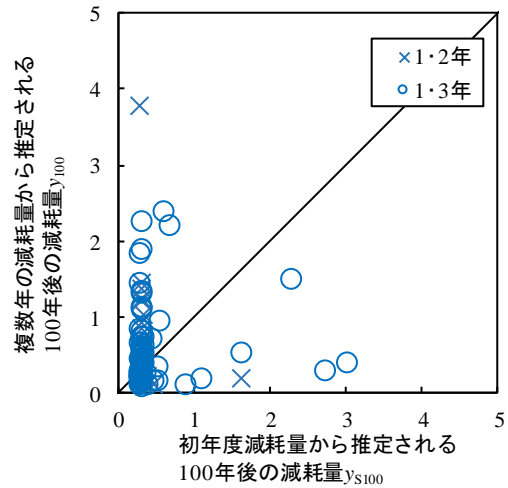


図-3 初年度および複数年の減耗量から推定される 100 年後の減耗量の比較

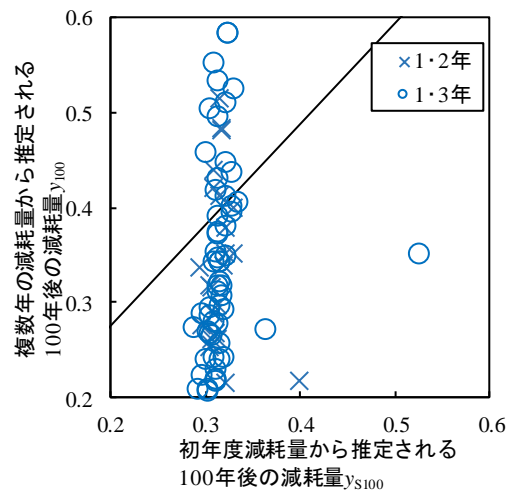


図-4 図-3 の拡大図

えれば直接的に  $B$  が算定される。なお、本検討では経過年に対する腐食減耗量が 3 点以上与えられる場合には、最も長く曝露した後の腐食減耗量と初年度減耗量を用いて  $B$  を算定することとした。

図-3 に、1 年目の腐食減耗量のみを用いて推定した 100 年後の腐食減耗量  $y_{S100}$  と、同一部位における複数年の減耗量から推定した 100 年後の腐食減耗量  $y_{M100}$  の比較を示す。なお、 $y_{S100}$  は式(3)により推定するが、その際の  $B$  は上限値と下限値の平均値を用いている。ここで、図-3 中の「1・2 年」は  $y_{M100}$  の推定にあたり 1 年目および 2 年目の腐食減耗量を用いた試験片を、「1・3 年」は 1 年目および 3 年目の腐食減耗量を用いた試験片をそれぞれ示している。図-3 から、1 年目の腐食減耗量から推定した  $y_{S100}$  と、複数年の減耗量から推定した  $y_{M100}$  には大きな差があることがわかる。図-4 に、図-3 の  $y_{S100}$  が 0.2 から 0.6 の範囲の拡大図を示す。図-4 から、初年度減耗量から推定した  $y_{S100}$  は 0.3mm 付近に集中している。これらの試験片の 1 年目腐食減耗量  $A$  のヒストグラムを図-5 に示す。今回使用した試験結果では 1 年目の腐食減耗量が

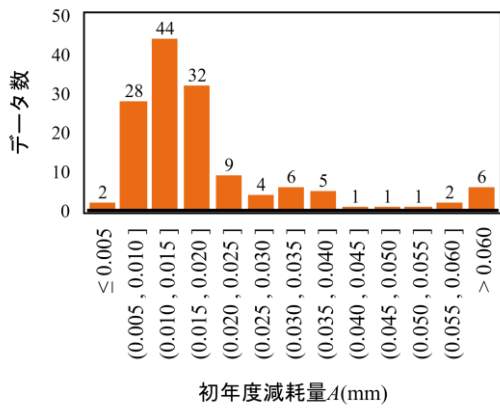


図-5 初年度減耗量のヒストグラム

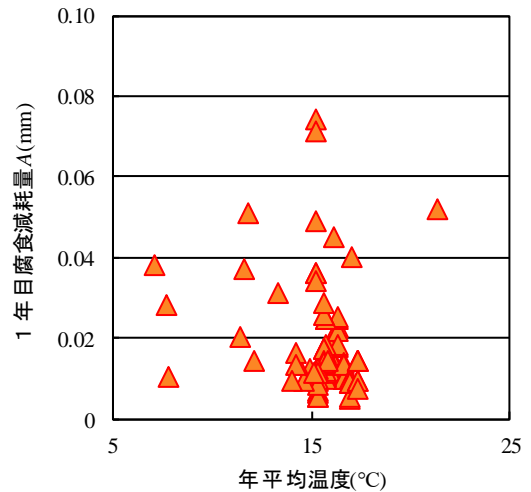


図-7 温度と初年度減耗量の関係

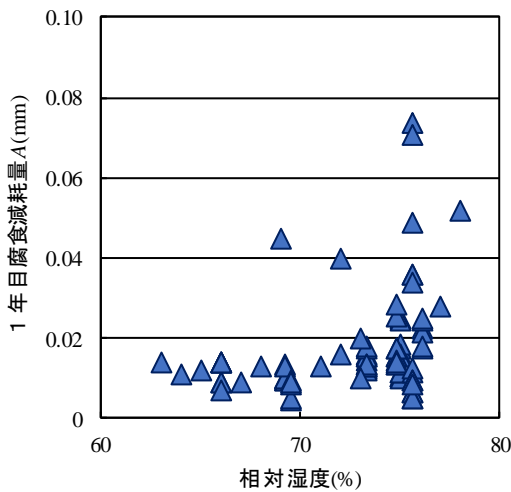


図-6 湿度と初年度減耗量の関係

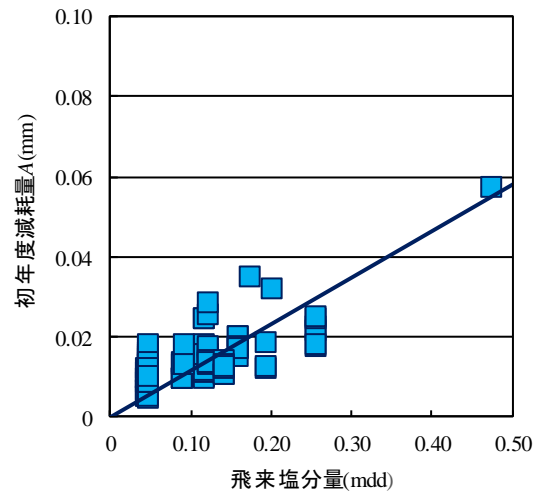


図-8 飛来塩分と初年度減耗量の関係

0.004~0.030mm である試験片が8割以上を占めている。また、この区間は初年度減耗量の上昇に伴いBが低下していることも踏まえ、初年度減耗量から推定した  $J_{S100}$  が0.3mm 付近に集中したと考えられる。ごく短期間の曝露試験である1年目の腐食減耗量からの推定に比べ、可能な限り長い時間の曝露による腐食減耗量の方が、より正確にワッペン貼付箇所の腐食環境を表すものと考えられる。

ここで1年目腐食減耗量Aと相対湿度、気温および飛来塩分量との関係についてみる。相対湿度が高いほど結露による鋼材表面への水の供給が容易になると推測され、気温が高いほど橋梁の温度も高くなるため腐食反応は早く進行すると考えられる。なお、気温、相対湿度とも12ヶ月間の年平均温度および年平均湿度で評価するものとし、温湿度計測がワッペン試験と同時に実施されていない橋梁については、近傍のアメダスのデータを使用した。図-6に年平均湿度と1年目腐食減耗量の関係を、図-7に年平均気温と1年目腐食減耗量の関係をそれぞれ示す。年平均気温と年平均湿度ともに1年目腐食減

耗量と明確な相関はみとめられない。ただし、ばらつきはあるものの、概ね年平均気温と年平均湿度の上昇にともない、1年目腐食減耗量も増加しているように見受けられる。特に年平均湿度75%以上で1年目腐食減耗量が大きくなる傾向にある。塩化ナトリウムが潮解性を発現する相対湿度が75%であることから、付着塩分と1年目腐食減耗量Aに関係があることが示唆される。

飛来塩分の多い環境下では保護性さびが形成されず、層状剥離さび等の異常さびが生成した事例が多くある。そこで、飛来塩分量と1年目減耗量Aとの関連性を検討する。図-8は、横軸に年平均飛来塩分量、縦軸に1年目腐食減耗量Aを示す。ここで、同一飛来塩分量に対して複数の腐食減耗量がプロットされているのは、通常、飛来塩分量は1つの橋梁で1か所測定されるのに対し、ワッペン試験は複数の部位で実施されるためである。図-8より、飛来塩分量が多いほど1年目腐食減耗量も多い傾向にある。

#### 4. 腐食減耗量予測式の再検討

前章で示したように、1年目の腐食減耗量のみを用いて推定した100年後の腐食減耗量  $y_{S100}$  と、同一部位における複数年の減耗量から推定した100年後の腐食減耗量  $y_{M100}$  には差が生じている。その差は  $y_{S100}$  に比べて  $y_{M100}$  が大きくなる場合が多いものの、逆の場合もある。現行の予測法では1年目減耗量から式(4)～(11)を用いて  $B$  を推定し、式(3)から100年後の腐食減耗量を求めるものである。しかし、複数の経過年と腐食減耗量が明らかとなれば、式(3)より直接  $B$  を求めることが可能となる。そこで、本検討では従来の  $B$  を1年目腐食減耗量  $A_1$  と3年目腐食減耗量  $A_3$  から表現し、さらに、 $B$  を  $A_1$  より推定する方法を検討する。

図-9は横軸に1年目腐食減耗量  $A_1$  ととり、縦軸に1年目を除く2年間の平均減耗量  $A_{AV2}$  を示す。

$$A_{AV2} = (A_3 - A_1)/2 \quad (12)$$

図-9より、初年度減耗量  $A_1$  に比べ、平均減耗量  $A_{AV2}$  は小さいことが明らかとなった。これはワッペン試験においては初年度にさび生成が進み、その後は鋼材表面と腐食因子（酸素、水）や腐食促進因子（飛来塩分）との接触面積が減り、腐食速度が低下するためと考えられる。ここで、初年度減耗量と平均減耗量の関係について検討するために、平均減耗量  $A_{AV2}$  の初年度減耗量  $A_1$  に対する腐食倍率  $\lambda$  に着目する。

$$\lambda = A_{AV2}/A_1 = (A_3 - A_1)/2A_1 \quad (13)$$

図-10に腐食倍率  $\lambda$  と、初年度と3年目の腐食減耗量から算出した  $B_p$  の関係に加え、その近似曲線を赤線で示す。図-10から、腐食倍率  $\lambda$  と  $B_p$  は相関関係にあり、次の式(14)で表現することができる。

$$B_p = -0.393 \cdot \left(\frac{A_3 - A_1}{2A_1}\right)^2 + 1.43 \cdot \left(\frac{A_3 - A_1}{2A_1}\right) \quad (14)$$

ここで、式(14)は2次式である。そのため、この式は図-10に示す腐食倍率  $\lambda$  の範囲のみを近似するものである。式(14)により1年目腐食減耗量  $A_1$  と3年目腐食減耗量  $A_3$  を用いれば  $B_p$  が算出できるものの、 $A_1$  のみを用いて  $B_p$  を推定する式を構築するためには  $A_3$  を  $A_1$  で表現する必要がある。図-11に1年目腐食減耗量  $A_1$  と3年目腐食減耗量  $A_3$  の関係を示す。図-11より、 $A_3$  を  $A_1$  を用いて定式化するためには  $A_1$  が小さい領域と大きい領域では近似式を変える必要がある。従来の方法において耐腐食性能レベル I（設計供用期間100年で腐食減耗量が片面当たり平均0.5mm以下）を満たす初年度減耗量のしきい値が0.03mmであることから、 $A_1$  が概ね0.03mmを境として2区間に分け、それぞれ近似した。その結果が図-11中

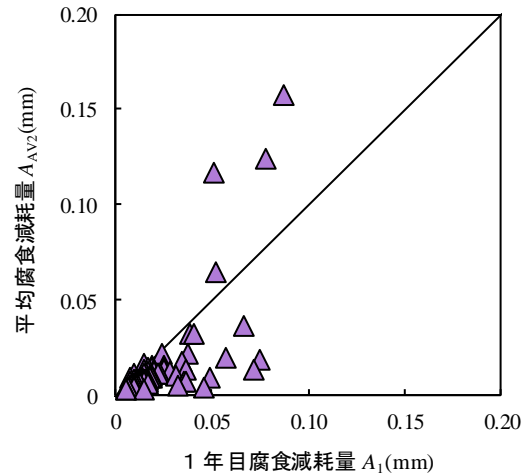


図-9 腐食の進行について

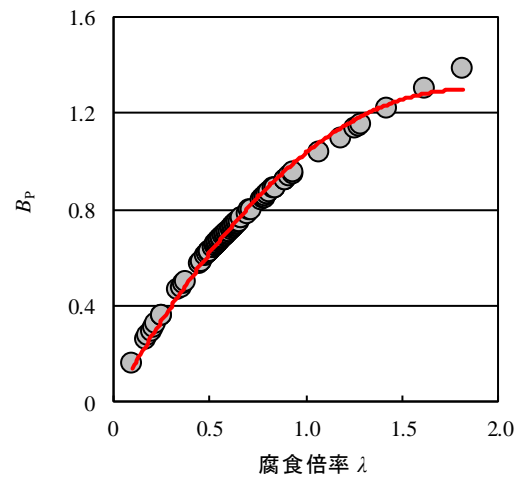


図-10 Bの提案

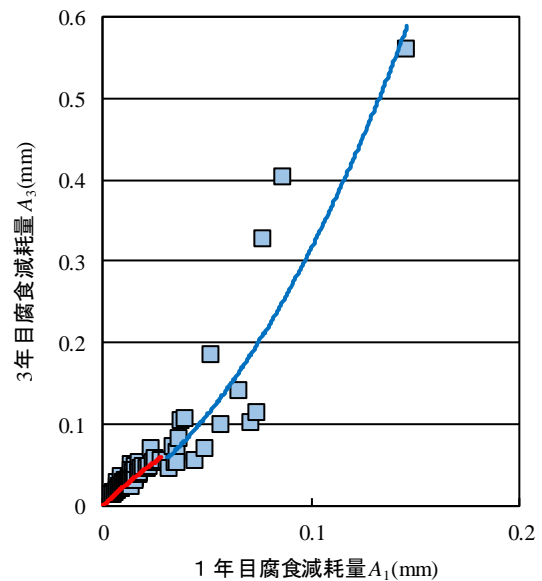


図-11 3年目の減耗量の推定



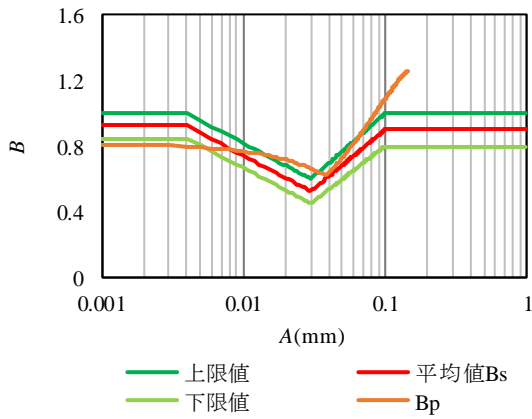


図-12 従来法で推定される  $B_s$  と提案式  $B_p$

の実線であり、 $A_1$  が 0.03mm 以下の近似曲線および  $A_1$  が 0.03mm 以上の近似曲線を赤線、青線として示す。2本の近似曲線の交点が  $A_1 \doteq 0.038$ (mm) であるため、 $A_1=0.038$ (mm)を境界として区間分けする。

$$A_3 = -10.8A_1^2 + 2.42A_1 \quad (0 \leq A_1 \leq 0.038) \quad (15)$$

$$A_3 = 18.8A_1^2 + 1.29A_1 \quad (0.038 < A_1 \leq 0.15) \quad (16)$$

このように、 $A_3$  を  $A_1$  を変数とする関数で表現することができる。以上より、式(14)に式(15)、(16)をそれぞれ代入することで  $B_p$  が次式で得られる。

$$B_p = -11.5A_1^2 - 4.71A_1 + 0.821 \quad (0 \leq A_1 \leq 0.038) \quad (17)$$

$$B_p = -34.9A_1^2 + 12.4A_1 + 0.196 \quad (0.038 < A_1 \leq 0.15) \quad (18)$$

ここで、式(4)～(11)で示される従来の  $B$  と今回提案する式(17)、(18)で算出される  $B_p$  を比較して図-12に示す。今回提案した  $B_p$  は  $B_s$  と概ね同じ傾向をとるものの、1年目腐食減耗量  $A_1$  が 0.005mm までは従来の下限値より低い。一方、1年目腐食減耗量  $A_1$  が 0.008mm 以上では  $B_p$  は  $B_s$  より大きくなっており、0.008mm 以上では従来の上限値より大きくなっている。なお、今回の検討では  $A_1$  が 0.15mm までの範囲を対象としているため、これ以上の  $A_1$  については比較できない。従来は  $B$  の上限と下限が与えられているのみであったが、今回の提案により新たに  $B$  の再構築ができ、実用に供されると考える。

図-13は提案した  $B_p$  を用いて推定した100年後の減耗量  $Y_{P100}$  と、1年目と3年目の腐食減耗量から推定した100年後の減耗量  $Y_{M100}$  との関係を示す。図-12中の数字は橋梁 No を示す。

図-14は図-13における  $Y_{P100}$  が 0 から 1.0 の範囲の拡大図である。図-14と、図-4を比較すると、1年目腐食減耗量が 0.004～0.030mm の範囲において、従来法で推定した  $Y_{S100}$  は100年後の腐食減耗量が約 0.3mm に集中したのに対し、提案式から推定した  $Y_{P100}$  は 0.15～0.64mm となり、従来法より高い相関を示していることがわか

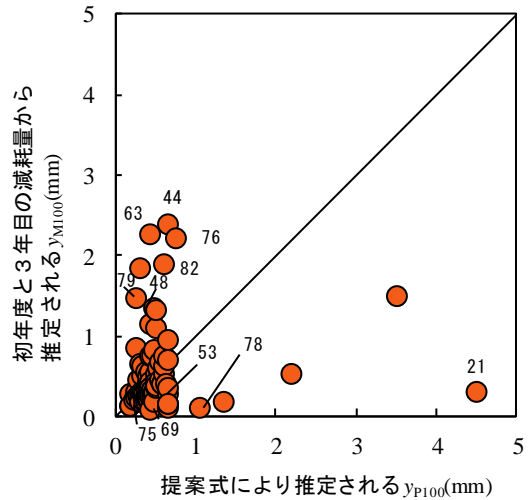


図-13 提案式  $B_p$  および初年度と3年目の減耗量から推定される100年後減耗量の比較

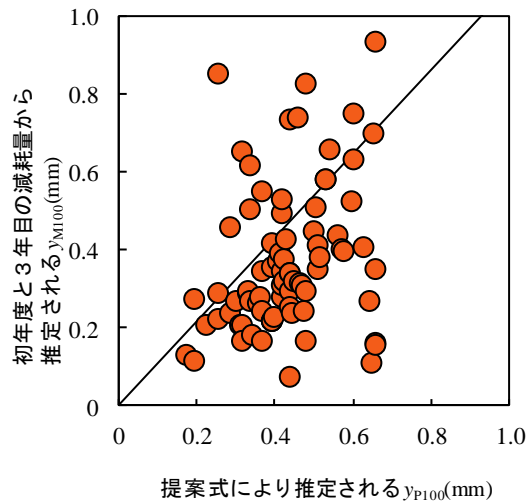


図-14 図-13の拡大図

る。また、1年目と3年目の腐食減耗量から推定した100年後の減耗量  $Y_{M100}$  と従来法で推定した100年後の減耗量  $Y_{S100}$  の差の標準偏差が 6.63 に対し、 $Y_{M100}$  と  $Y_{P100}$  の差の標準偏差は 5.37 となり、ばらつきは小さくなっている。一方、一部の橋梁ではばらついたままであったり、 $Y_{M100}$  との差がさらに開いてしまった橋梁も存在する。それらのうち、よりばらつきが大きくなり、 $Y_{S100}$  よりも  $Y_{P100}$  の方が過大評価となった No. 21 の橋梁に着目する。この橋梁が調査された1年目は飛来塩分が多く厳しい腐食環境であったのに対して、3年目では1年目比べてマイルドな環境であったことが文献に記されている<sup>7)</sup>。そのため、3年目の腐食減耗量は小さく  $Y_{M100}$  が小さいことがばらつきの原因であると推測する。 $Y_{S100}$  よりも  $Y_{P100}$  の方が過大評価となった原因については、初年度腐食減耗量が非常に大きいことが考えられる。

図-13において、 $Y_{M100}$  が提案した  $B_p$  から推定した100

表-3 6橋の離岸距離

No	地域区分		離岸距離 (km)	
			実測	規定
44	日本海沿岸部	I	1.5	>20
79		II	4.5	>5
63	太平洋沿岸部		1.8	>2
76			0.8	
48			1.4	
82	沖縄		2.8	—

表-4 5橋の離岸距離

No	地域区分		離岸距離 (km)	
			実測	規定
21	日本海沿岸部	II	10	>5
78			1.8	
53	太平洋沿岸部		0	>2
69	瀬戸内海沿岸部		56	>1
75			13	

年後の減耗量  $Y_{P100}$  の2倍以上の差となった橋梁について検討する。表-3はそれらの橋梁のうち、離岸距離が明らかとなっている6橋の地域区分と離岸距離および道路橋示方書に記載された耐候性鋼材を無塗装で使用する事が可能とされている地域ごとの離岸距離を示す<sup>1)</sup>。表-3より、これらの6橋は道路橋示方書に規定される離岸距離を満足していない。そのため、耐候性鋼材を無塗装で使用できないとされている地域の橋梁において、今回提案した式の適用は困難だと考える。また、図-12において、 $Y_{M100}$ が $Y_{P100}$ の1/2倍以下の差となった橋梁に着目する。表-4はそれらの橋梁のうち、離岸距離が明らかとなっている5橋の地域区分と離岸距離(実測と規定)を示す。表-4から規定を満たしている橋梁が3橋、満たしていない橋梁が2橋であった。

鋼材の腐食は単に離岸距離のみならず温湿度、濡れ時間等に強く影響される。また、腐食を評価する部位によっても腐食の進行状況は異なる。今回の検討に用いた腐食減耗量は文献から収集したものが多く、腐食に与える要因を検討するためには腐食環境に関する資料が伴わないものが多い。そのため推定式との差を検討することは困難であった。ワッペン試験から得られる腐食減耗量と橋梁の腐食環境との関係の解明が必要である。

## 5. 結論

本検討では、近年実施例が増えているワッペン試験を対象に、初年度腐食減耗量から100年後の腐食減耗量を

算定する手法の再検討を行った。主として文献により収集した測定値を使用した今回の検討では、予測式中の  $B$  について新たな方法を提案した。この方法によれば、従来の方法に比べばらつきは小さくなったものの、推定法により差が出る橋梁が依然存在する。

ワッペン試験は簡便であり、当該部位の腐食環境を評価するためには有効な手法と考える。今後はワッペン試験による腐食減耗量予測の予測式の適用性や適用可能環境について検討を進める必要がある。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編, 2017.
- 2) (社)日本鋼構造協会, 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術, JSSCテクニカルレポート No. 73, 2006.
- 3) (社)日本鋼構造協会, 耐候性鋼橋梁の適用性評価と防食予防保全, JSSCテクニカルレポート No. 86, 2009.
- 4) 川内康寛, 桑名弘暁, 山脇英俊, 中山賢司, 麻生稔彦: ワッペン試験による Ni 系高耐候性鋼橋梁の腐食環境調査, 第 67 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, I-16, 2015.
- 5) 所宏祐, 下里哲弘: 沖縄における鋼橋の腐食減耗量と腐食減予測式  $Y=AX^B$  に関する研究, 沖縄ブロック国土交通研究会 沖縄会場, 2013.
- 6) 国土交通省 国土技術政策総合研究所: 耐候性鋼橋の適用環境評価手法の高度化に関する研究 (I), 国土技術政策総合研究所資料 共同研究報告書, No. 777, 2014.
- 7) 大屋誠, 武邊勝道, 広瀬望, 古川正志, 大野滉貴, 長谷川弘: ワッペン式暴露試験による耐候性鋼橋梁桁内の腐食環境評価, 第 61 回材料と環境討論会 速報論文特集, 64, pp315-319, 2015.
- 8) 大屋誠: 山陰地域における耐候性鋼橋梁の腐食環境評価, 中国地方建設技術開発交流会 島根県会場, 2008.
- 9) 大屋誠, 武邊勝道, 広瀬望, 麻生稔彦: ワッペン式暴露試験を用いた山陰地域の大气腐食環境評価に関する一考察, 第 62 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, I-32, 2010.
- 10) 古川正志, 大野滉貴, 長谷川弘興, 大屋誠, 武邊勝道, 広瀬望, 松崎靖彦: 短期暴露試験による耐候性鋼材の経過変動を考慮した腐食環境評価, 第 66 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, I-16, 2014.
- 11) 武邊勝道, 大屋誠, 広瀬望, 安食正太, 石田和正, 佐野大樹, 今井篤実: ワッペン式暴露試験による松江高専屋上の腐食環境調査, 第 67 回土木学会中国支部研究発表会講演概要集, I-17, 2015.
- 12) 中野正則, 安波博道, 加藤勇, 中島和俊: ワッペン式暴露試験結果を用いた腐食予測の試算例, 土木技

術資料 Vol. 57, No. 8, 2015.

- 13) 安波博道, 関慎一郎, 中島和俊, 中野正則: 茨城県新長茂橋における部分塗替え塗装と経過観察, 第 69 回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, I-569, 2014.
- 14) 佐藤恒明, 岩崎英治, 宇田見賢司, 今井篤実: 耐候性鋼橋の腐食状況の追跡調査について, 第 67 回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, I-147, 2012.
- 15) 畑佐陽祐, 村上茂之, 坂井田実: 融雪剤散布地域における耐候性鋼橋の腐食環境調査, 第 65 回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, I-166, 2010.
- 16) 佐藤由梨, 坂井龍一, 岩崎英治: 耐候性鋼橋梁の腐食環境及び曝露試験による腐食量予測の検討, 第 66 回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, I-579, 2011.
- 17) 中嶋龍一朗, 岩崎英治, 坂井龍一, 佐藤由梨: 耐候性鋼材の暴露試験片の設置時期の影響について, 第 67 回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, I-149, 2012.
- 18) 中嶋龍一朗, 岩崎英治, 野添裕輔, 山本順也: 耐候性鋼材の曝露試験片の設置時期の影響とその補正に関する研究, 第 68 回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, I-188, 2013.
- 19) 中村昌文, 田崎智, 中島和俊, 加納勇, 安波博道, 森田千尋: 長崎県における耐候性鋼橋梁の健全度診断, 第 69 回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集, I-074, 2014.

(2018. 06. 30 受付)