

# ワッペン式暴露試験結果を用いた腐食予測の試算例

中野正則・安波博道・加納 勇・中島和俊

## 1. はじめに

長崎県が管理する瀬戸中央橋は、大村湾から外海へ通じる早岐瀬戸に架橋された海上橋である(2009年3月竣工)。主桁と海水面の離隔は満潮時に最小2m程度にまで近接するが、波浪による飛沫などはほとんど観測されない環境であるため、維持管理費用削減の目的からニッケル系高耐候性鋼材が使用された。本橋への耐候性鋼材の適用にあたって、橋梁環境を模擬した百葉箱内におけるワッペン式暴露試験を架橋に先立って実施し、ニッケル系高耐候性鋼の適用が可能であると判断したり。

本稿では、瀬戸中央橋の建設から6年が経過した2015年時点における実橋梁の腐食状況、ならびに建設とともに実橋梁へ設置したワッペン式暴露試験の結果から、同橋へのニッケル系高耐候性鋼材の適用性評価の妥当性検証を行った結果を報告する。また、同時期に長崎県内の実橋に設置したワッペン式暴露試験の結果から、橋梁の部位毎の腐食傾向に関して考察した結果を報告する。

設計上耐荷力性能に影響がない範囲に留まる性能レベルとして耐腐食性能レベル I (文献2で定義)を規定し、その片面当り腐食減耗量は0.5mm/100年以下であることを目標(しきい値)としている。

瀬戸中央橋では、実橋の腐食が長期的に安定し、100年間の腐食量が0.5mm以下となることを確認するため、図-1に示す箇所においてワッペン式暴露試験を実施した。試験条件は以下の通りである。

- ・暴露期間：2009年1月～2019年1月
- ・回収時期：暴露開始から1・3・6・10年目
- ・使用鋼種：ニッケル系高耐候性鋼(3%ニッケル鋼、以下Ni鋼と称す)、JIS耐候性鋼(比較材、以下SMAと称す)

得られた複数年の暴露試験結果を鋼材の腐食挙動を現す一般式(式(1))の関係に当てはめ、長期腐食予測を行い、適用性の評価を行った。

$$Y=A \cdot X^B \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

(ここに、X：経過年数、Y：腐食量、A・B：腐食速度パラメータ)

## 2. 瀬戸中央橋の実橋モニタリング調査

### 2.1 ワッペン式暴露試験の結果

耐候性鋼橋梁では、設計供用期間中の腐食量が

各年の暴露試験結果を表-1、長期腐食予測結果を図-2、図-3に示す。

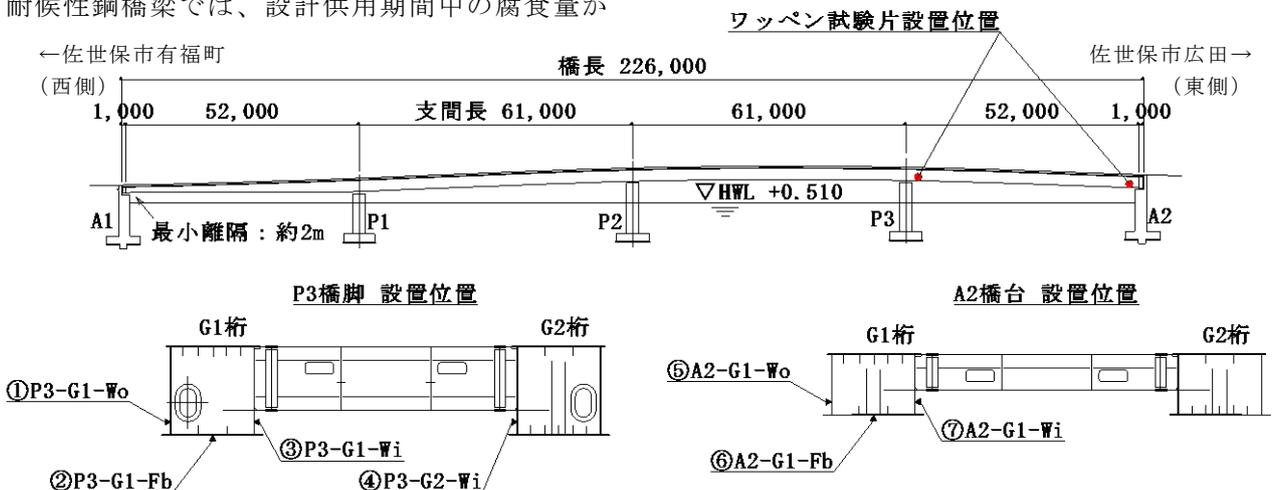


図-1 ワッペン試験片設置位置(瀬戸中央橋)

表-1 瀬戸中央橋のワッペン試験結果 (mm)

	Ni鋼			SMA		
	1年	3年	6年	1年	3年	6年
①P3-G1-Wo	0.013	0.027	0.041	0.014	0.030	0.045
②P3-G1-Fb	0.013	0.030	0.046	0.014	0.036	0.054
③P3-G1-Wi	0.008	0.017	0.027	0.009	0.018	0.032
④P3-G2-Wi	0.013	0.025	0.037	0.014	0.028	0.042
⑤A2-G1-Wo	0.012	0.028	0.040	0.009	0.032	0.045
⑥A2-G1-Fb	0.015	0.033	0.061	0.014	0.040	0.074
⑦A2-G1-Wi	0.007	0.015	0.023	0.007	0.016	0.028

は至らず、本橋でのNi鋼の適用は妥当であったと評価できる。

2.2 ワッペン式暴露試験と実橋の相違

ワッペン式暴露試験が実橋梁での腐食傾向を精確に表現する試験であることを確認するため、ワッペン試験片と橋梁本体の外観観察ならびにさび厚測定を行った。さび厚測定結果を表-2に、外観観察の結果を写真-1~写真-3に示す。

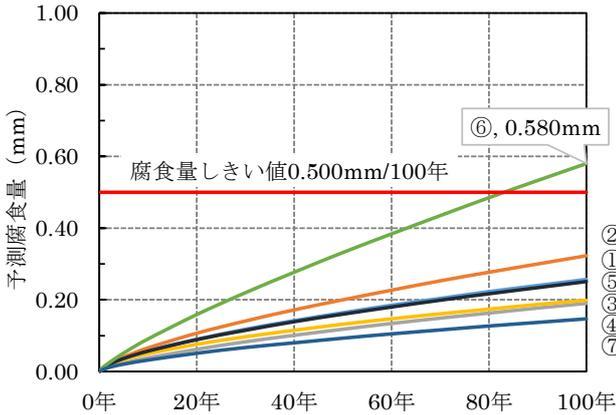


図-2 長期腐食予測結果(Ni鋼)

表-2 実橋梁とワッペン試験片のさび厚推移 (μm)

		③P3-G1-Wi	④P3-G2-Wi	⑦A2-G1-Wi
1年	試験片	32	60	17
	実橋梁	49	77	24
	比率	66%	75%	72%
3年	試験片	55	72	53
	実橋梁	74	113	50
	比率	75%	64%	105%
6年	試験片	124	144	114
	実橋梁	121	165	113
	比率	102%	87%	101%

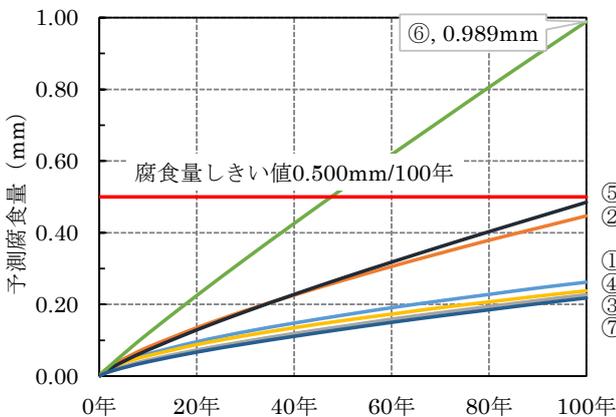


図-3 長期腐食予測結果(SMA)

上記の通り、本橋の環境においては海面との離隔が狭いA2橋台の下フランジ側に設置した試験片(⑥A2-G1-Fb)が最大の腐食量を示し、Ni鋼で0.580mm/100年、SMAで0.989mm/100年の腐食量であった。

SMAではしきい値を大きく超過し、本橋への適用は妥当でないと考えられる。一方、Ni鋼においてはしきい値を上回るが、超過量が小さいこと、下フランジ側は表面処理剤が施され、現時点においても顕著な風化が見られず初期の腐食勾配がより緩やかであると考えられることから、100年間程度は構造安全性に問題が生じる腐食損傷に



写真-1 ⑦A2-G1-Wi 0年目(設置時)



写真-2 ⑦A2-G1-Wi 6年目



写真-3 試験片拡大(赤丸部)

土研センター

実橋梁は架設完了前から裸仕様で屋外に暴露されていたため、ワッペン試験片の設置時(写真-1)にはさびが生じている。建設から6年が経過した時点においては、遠目には実橋梁と試験片の区別が出来ないほど腐食の外観性状が一致(写真-2)し、ウェブ面には結露による水みちが橋梁本体と試験片の両者に共通して生じている(写真-3)。また、さび厚も建設初期には実橋梁が大きい、経年と共に試験片との差がなくなる様子が見られる(表-2)。これらの結果から、瀬戸中央橋の実橋梁に設置したワッペン試験片は、実橋梁の腐食環境を適切に評価した試験片であることが推察される。

2.3 百葉箱による適用性評価との相違

既報<sup>1)</sup>の通り、本橋では架橋に先だてて百葉箱による暴露試験結果からニッケル系高耐候性鋼の適用性を評価していた。このとき、百葉箱の暴露試験はあくまでも実橋梁の模擬環境であることから、その精度を考慮して1年間のワッペン試験で得られた腐食量の計測値を1.5倍した値を実橋梁の腐食パラメータA値とした。

今回、実橋梁における6年間のワッペン式暴露試験結果が得られたことから、百葉箱による同試験結果との比較を行った。表-3に比較結果を示す。

表-3の通り、百葉箱により橋梁の腐食環境を模擬した暴露試験の結果は、水面と比較的離隔がある②P3-G1-Fbとほぼ同等の結果が得られている。一方、海面との離隔が狭く、水面に直接曝される⑥A2-G1-Fbに比べ、概ね半分程度の腐食量となっている。

以上より、一般部では百葉箱試験によって高い腐食予測の精度が得られた。一方、水面との離隔が狭く、水蒸気などの影響を直接受けやすい部位における腐食予測では、百葉箱試験結果を適切に補正する必要があると言える。

表-3 百葉箱ワッペン試験との比較 (mm)

		腐食パラメータ		予測腐食量		比率(100年) 百葉箱/実橋
		A	B	50年	100年	
Ni鋼	百葉箱	0.018	0.650	0.288	0.359	—
	実橋梁②	0.014	0.689	0.200	0.323	111%
	実橋梁⑥	0.014	0.806	0.332	0.580	62%
SMA	百葉箱	0.003	0.606	0.667	0.489	—
	実橋梁②	0.015	0.742	0.267	0.447	109%
	実橋梁⑥	0.014	0.921	0.523	0.989	49%

※上表の百葉箱試験A値は、補正(1.5倍)を行わない値を示した。

3. 実橋の各部位における腐食傾向

3.1 実橋ワッペン試験の概要

長崎県では、県内に建設された耐候性鋼橋梁の健全性を評価することを目的として、離島や沿岸部、内陸部など様々な環境にある5橋(図-4)を選定し、平成23年度よりワッペン式暴露試験を開始した。実橋の外観評点<sup>2)</sup>は2~5の範囲であり、いずれも腐食に対する補修・補強等は不要と評価している。主な試験条件を以下に示す。

- ・暴露期間：2011年1月～2021年1月(10年間)
- ・回収時期：暴露開始から1・3・5・10年目
- ・使用鋼種：JIS耐候性鋼(SMA)

この他、建設後早期に異常さびが生じ、7年目に塗装橋へ切替えられた橋梁(Ko橋)と、前述の瀬戸中央橋(Se橋)の計7橋の試験結果から、部位毎の腐食傾向について考察を行った。なお、ここで用いた試験結果は、Se橋のみ1、3、6年目のデータを用い、その他は1、3年目までのデータを使用した。

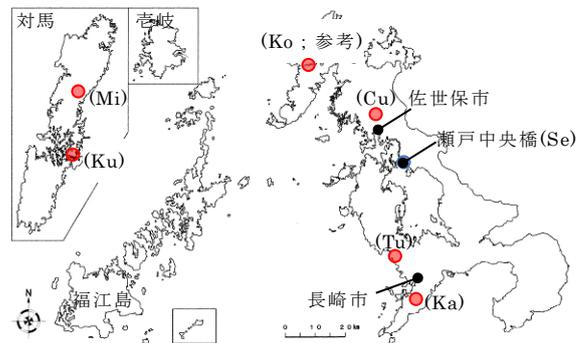


図-4 調査対象橋梁位置  
※( )内は橋梁名称の略称

3.2 ワッペン式暴露試験片の設置位置と腐食量

ワッペン式暴露試験片の設置位置は、桁端部等の腐食が進行しやすい部位で補修塗装が必要になった際にも、支間部などその他の大部分は無塗装のまま放置できる可能性が高いため、橋梁の全体環境を代表すると考えられる部位(桁端部から数m離れた位置)に設置した。また、ワッペン式暴露試験片は、図-5に示す外桁5箇所を基本に設置した。

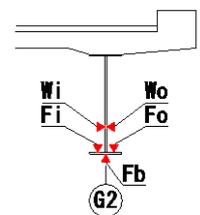


図-5 設置部位と略称

得られた暴露試験結果から、式-1の腐食パラメータA・Bをワッペン試験

片を設置した部位毎に整理し、図-6に取りまとめた。図中の赤線は腐食量のしきい値を0.5mm/100年とした場合の境界である。

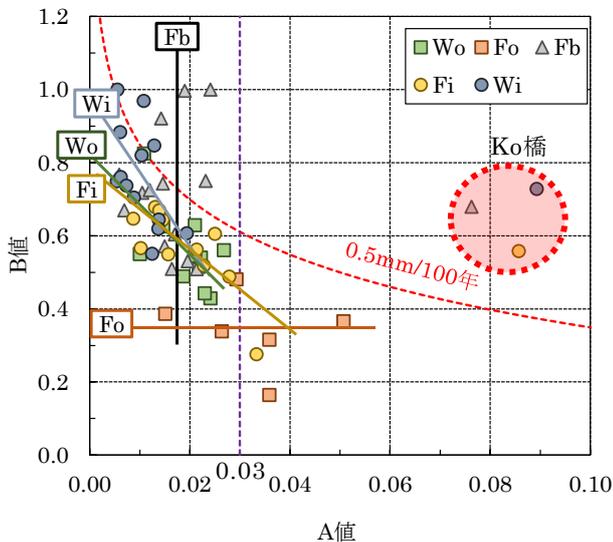


図-6 ワッペン式暴露試験7橋のA・B相関

図-6中の赤範囲は、建設後早期に異常さびが生じたKo橋であり、ワッペン試験でも初期1年間に0.08mm程度の腐食が生じるなど、他の橋梁と比較して特に厳しい環境であることが推察される。また、図-6中の実線は、極端に腐食量が多いKo橋を除いた各部のA・B値の分布傾向を示した線である。それぞれの傾向は以下の通りである。

- ・フランジ上面内側 (Fi) では、A・B間に相関が見られた。Fiは内桁側であり、他の部位に比べて橋梁毎の環境差が小さいため、A・B間に相関が得られたものと考えられる。また、腐食パラメータA (1年目腐食量に相当) は概ね0.03以下であり、100年後の腐食量も0.5mm以下に留まると推察される。

- ・フランジ上面外側 (Fo) では、A・B間に明確な相関は見られなかった。床版の張出量や隣接橋梁の近接度合いに影響を受けるため、初期1年間

の腐食量は大きくばらつくが、適度な乾湿の繰り返しが見られることから長期的には腐食進行速度が緩やかとなるためと考えられる。

- ・フランジ下面 (Fb) では、A・B間に明確な相関は見られなかった。地山や水面との離隔が様々であるために、設置部位だけでは整理できない結果になったものと考えられる。この部位では腐食パラメータAが0.03mm以下であっても直線的に腐食が進行し、100年後に0.5mm以上の腐食に至る可能性があり、少なくとも5年程度の暴露期間を経る必要があると考えられる。

- ・ウェブ面 (Wo, Wi) では、いずれもA・B間に弱い相関が見られたが、Fiに比べてバラツキが大きい。また、WoはWiに比べてA値は大きくB値が小さい傾向が見られる。Woは桁外側に位置し、適度な乾湿の繰り返しにより腐食進行速度が緩やかとなるためと考えられる。

#### 4. まとめ

長崎県内で建設された耐候性鋼橋梁に関し、ワッペン式暴露試験を用いた耐候性鋼材の適用性評価、ならびに健全性診断を行った。この結果、ワッペン式暴露試験は実橋の腐食性状とよく一致し、精確な腐食予測が可能であることがわかった。また、フランジ・ウェブなどの部位毎の腐食傾向についても一定の相関が得られた。今後より多数の橋梁での試験結果を整理し、より適切な腐食予測技術の確立を図る予定である。

#### 参考文献

- 1) 安波博道、金井浩一、中島和俊：「ワッペン式暴露試験によるニッケル系高耐候性鋼の適用性評価」、土木技術資料、第50巻、第11号、pp.57~60、2008
- 2) 日本鋼構造協会：「耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術」、テクニカルレポートNo.73、2006.10

中野正則



(一財)土木研究センター  
専務理事  
Masanori NAKANO

安波博道



(一財)土木研究センター  
材料・構造研究部長、  
工博  
Dr.Hiromichi YASUNAMI

加納 勇



(一財)土木研究センター  
材料・構造研究部 主幹  
研究員  
Isamu KANO

中島和俊



(一財)土木研究センター  
材料・構造研究部 主任  
研究員  
Kazutoshi NAKASHIMA