

# ワッペン試験から得られる減耗量予測に関する検討

山口大学 学生会員○今井亮太  
山口大学 正 会 員 田島啓司  
山口大学 正 会 員 麻生稔彦

## 1. はじめに

現在、耐候性鋼橋梁の腐食環境調査の1つとしてワッペン試験がある。ワッペン試験は、既設橋梁の各部位にワッペン試験片を貼り付け、試験片の腐食環境を定量的に評価する曝露試験である。ワッペン試験により得られた腐食減耗量から、100年後の腐食減耗量を予測することができるとされている。しかし近年ワッペン試験の実施例の増加に伴い、初年度減耗量から推定される100年後の腐食減耗量と、複数年の減耗量から推定される100年後の腐食減耗量の乖離が指摘されている。また、腐食減耗量の予測式は41橋のデータから得られたものであり、データ量として十分とはいえない。そこで本研究では、新たに収集したワッペン試験データを用いて、腐食減耗量の予測式の再検討を行うことを目的とする。

## 2. 腐食減耗量の予測式

腐食減耗量の予測式は以下の式(1)で与えられる<sup>1)</sup>。

$$y = Ax^B \quad (1)$$

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

$A$ 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図-1による $B$ の推定法が用いられている<sup>2)</sup>。図-1には $B$ の上・下限値、平均値 $B_s$ 、および41橋の結果を示している。また、ワッペン試験を2年以上行う場合には $A$ および複数の $y$ および $x$ が得られるため、回帰分析により直接的に $B$ が推定される。本研究では、計84橋についての曝露試験データを収集した。このうち小型試験片が41橋(41枚)、ワッペン試験片が43橋(251枚)である。収集したデータの中には4年目や5年目のデータも存在するが、それらは標本数が少ないため本研究では使用しない。初年度および2年目のデータのある橋梁および試験片が7橋、42枚、初年度および3年目のデータのある橋梁および試験片が56橋、99枚である。

## 3. 予測式の再検討

図-2に、初年度減耗量から推定した100年後の腐食減耗量 $y_{s100}$ と、複数年の減耗量から推定した100年後の腐食減耗量 $y_{100}$ の比較を示す。図-2中の1・2年は初年度および2年目の減耗量のある試験片を、1・3年は初年度および3年目の減耗量のある試験片を示している。図-2から、初年度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 $y_{100}$ には大きな差があることがわかる。また、初年度減耗量

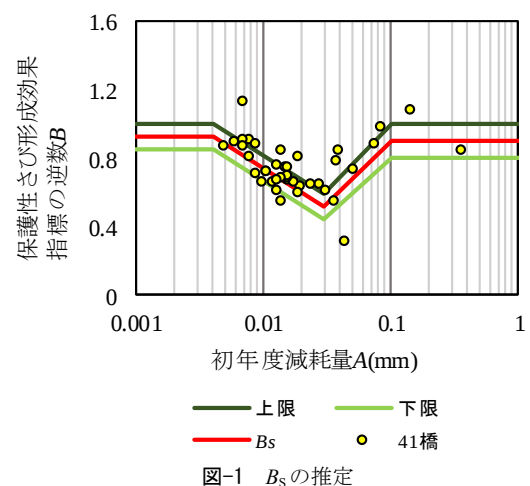


図-1  $B_s$ の推定

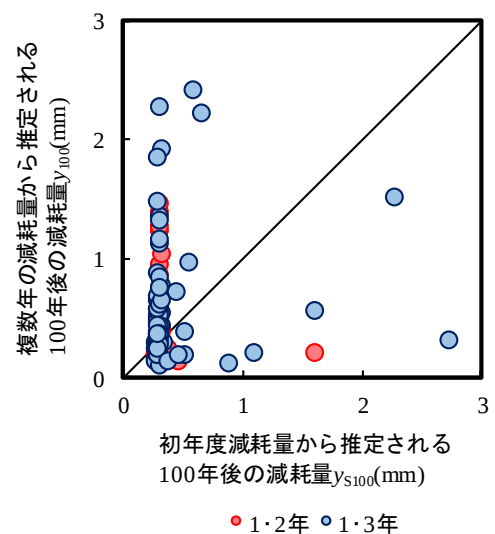


図-2 初年度、複数年の減耗量から推定される100年後の減耗量の比較

キーワード 耐候性鋼材, 腐食, ワッペン試験

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 山口大学社会建設工学科 TEL0836-85-9323

から推定した  $y_{s100}$  は 0.3mm 付近に集中している。これらの試験片の初年度減耗量  $A$  は 0.004~0.030mm であった。

図-3 は、複数年の減耗量がある試験片における初年度減耗量のヒストグラムを示す。図-3 から、初年度減耗量が 0.004~0.030mm である試験片が 8 割以上と多く占めていることから、初年度減耗量から推定した  $y_{s100}$  が 0.3mm 付近に集中したと考えられる。ここで、新たに初年度減耗量から 100 年後の腐食減耗量を予測する式を構築するために、 $B$  の推定式を提案する必要がある。

新たに  $B$  を提案するにあたり、初年度および 3 年目の減耗量があるものを用いて検討する。初年度と 3 年目の腐食減耗量をそれぞれ  $A_1$  および  $A_3$  とする。図-4 は横軸に初年度減耗量  $A_1$  をとり、縦軸に初年度を除く 2 年間の平均減耗量を示す。図-4 より、初年度減耗量  $A_1$  に比べ、平均減耗量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上で、図-4 の縦軸に示す平均減耗量  $(A_3-A_1)/2$  の初年度減耗量  $A_1$  に対する倍率  $(A_3-A_1)/2A_1$  に着目する。図-5 に倍率と 1 年目と 3 年目の減耗量から推定した  $B$  の関係を示す。図-5 から、倍率と  $B$  は相関関係にあり、 $B$  を  $A_1$  と  $A_3$  を変数とする以下の式(2)で表現することができる。

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

しかし、 $A_1$  のみを用いて  $B$  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-6 は初年度減耗量  $A_1$  と 3 年目の減耗量  $A_3$  の関係を示す。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、初年度減耗量が 0.03mm 以下と 0.03mm より大きい区間に分け、それぞれ近似した。図-6 に示す 2 本の近似曲線の交点が  $A_1 \doteq 0.038(\text{mm})$  であるため、 $A_1=0.038(\text{mm})$  を境界として場合分けする。近似式を以下の式(3)、(4)に示す。

$$A_3 = -10.8A_1^2 + 2.42A_1 \quad (A_1 \leq 0.038) \quad (3)$$

$$A_3 = 18.8A_1^2 + 1.29A_1 \quad (0.038 < A_1) \quad (4)$$

このように、 $A_3$  を  $A_1$  を変数とする 2 通りの関数で表現することができる。以上より、式(2)に式(3)、(4)をそれぞれ代入することで  $B$  が 2 通り得られる。新たに提案した  $B$  を  $B_p$  とし、提案式を以下の式(5)、(6)に示す。

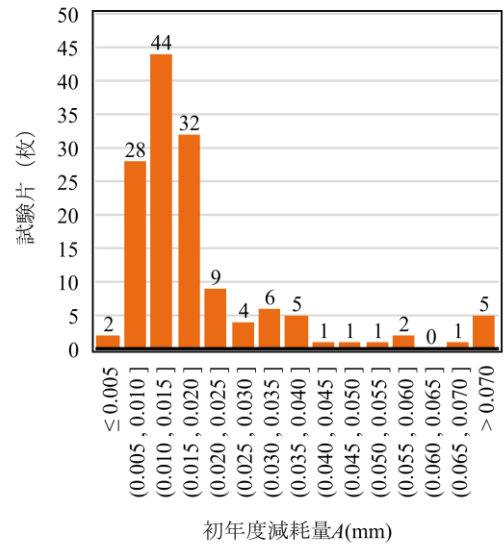


図-3 初年度減耗量のヒストグラム

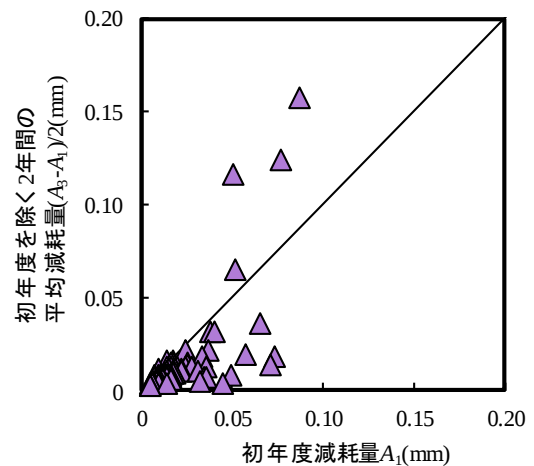


図-4 腐食の進行について

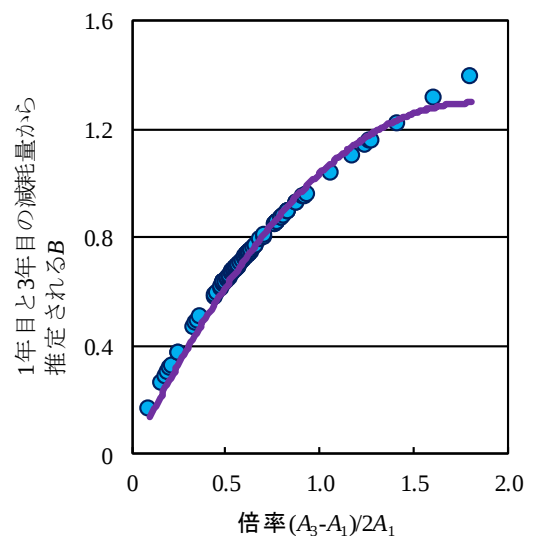


図-5  $B$  の提案

$$B_P = -11.5A_1^2 - 4.71A_1 + 0.821 \quad (A_1 \leq 0.038) \quad (5)$$

$$B_P = -34.9A_1^2 + 12.4A_1 + 0.196 \quad (0.038 < A_1) \quad (6)$$

図-7 に、従来法で推定される  $B_S$  と提案した  $B_P$  を示す。図-7 から、初年度減耗量  $A_1$  が 0.008 以上の場合、従来法で推定される  $B_S$  は提案した  $B_P$  より大きくなる。図-8 は横軸に提案式  $B_P$  から推定した 100 年後の減耗量  $y_{P100}$  とし、縦軸に 1 年目と 3 年目の減耗量から推定した 100 年後の減耗量  $y_{T100}$  として示す。

図-8 において、1 年目と 3 年目の減耗量から推定した 100 年後の減耗量  $y_{T100}$  と提案式から推定した 100 年後の減耗量  $y_{P100}$  で 2 倍以上の差となった橋梁に着目すると、離岸距離が明らかとなっているいずれの橋梁も離岸距離が 5km 以内であった。これらは、道路橋示方書に記載された、耐候性鋼材を無塗装で使用できる地域に位置していない。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。図-8 と、図-2 の 1・3 年を比較すると、初年度減耗量が 0.004~0.030mm において、従来法で推定した  $y_{S100}$  は約 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 となった。また、1 年目と 3 年目の減耗量から推定した  $y_{T100}$  と従来法で推定した  $y_{S100}$  の差の標準偏差 6.63 に対し、1 年目と 3 年目の減耗量から推定した  $y_{T100}$  と提案式から推定した  $y_{P100}$  の差の標準偏差は 5.37 となり、ばらつきは小さくなった。

#### 4. 結論

本検討では、新たに  $B_P$  を提案し、100 年後の腐食減耗量の予測を行った。提案した  $B_P$  は、初年度減耗量が 0.008mm 以上の場合、従来法で推定される  $B_S$  よりも大きくなる。耐候性鋼材を無塗装で使用できない地域の橋梁において、提案式の適用は困難である。1 年目と 3 年目の減耗量から推定される 100 年後の減耗量と比較すると、提案式から推定した減耗量は従来法で推定した減耗量に比べばらつきは小さい。

#### 参考文献

- 1) (社)日本鋼構造研究: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 No73, 2006.
- 2) 大屋誠, 山陰地域における耐候性鋼橋梁の腐食環境評価, 平成 20 年度 中国地方建設技術開発交流会 島根県会場.

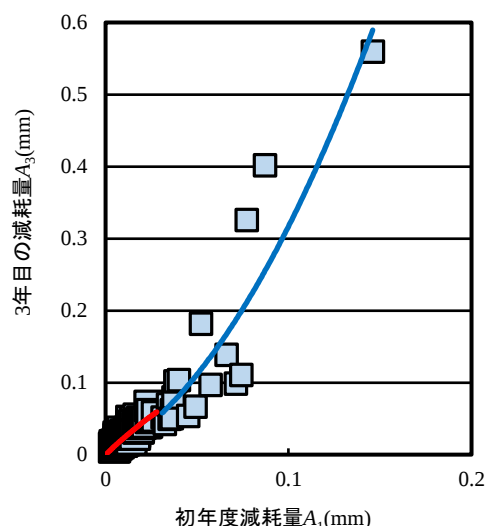


図-6 3 年目の減耗量の推定

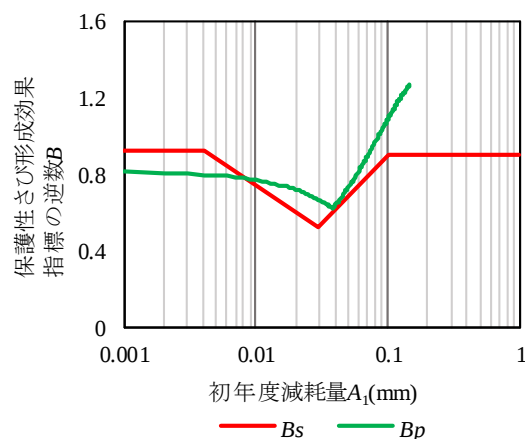


図-7 従来法で推定される  $B_S$  と提案式  $B_P$

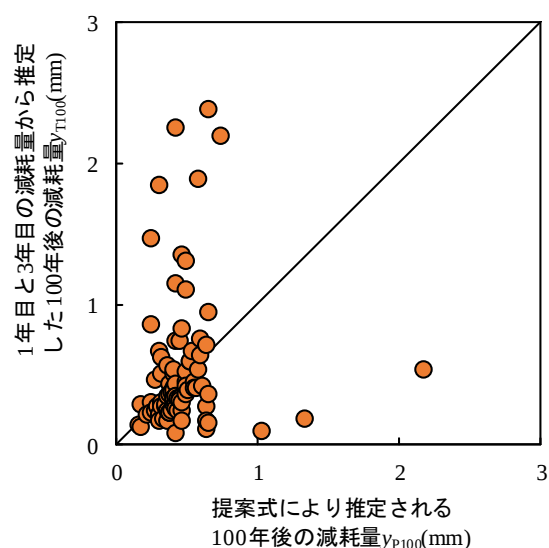


図-8 提案式と 1・3 年による 100 年後の減耗量の比較