

各種耐候性鋼の腐食量予測技術

鹿毛 勇¹⁾ 松田 穰²⁾ 塩谷和彦¹⁾
小森 務¹⁾ 京野一章^{**}

1. はじめに

鋼橋の設計供用期間は従来50～60年とされており、高度経済成長時に架けられた鋼橋が、現在丁度寿命を迎えつつある。21世紀に入り国内の公共投資が削減される中、新設の鋼橋に関しては、例えば寿命を100年と設定したライフサイクルコスト(LCC)特性に優れた鋼橋⁽¹⁾の計画、建設が進められている。

耐候性鋼は、Cu, Ni, Crなどを微量含有する低合金耐食鋼であり、形成される保護性さびによって腐食速度が次第に低減していく鋼材である。したがって、構造物に無塗装で長期に供用することができ、補修など維持管理費の軽減につながることから鋼橋への適用が広がっており、現在では鋼橋に使用される鋼材重量の20%以上を占めるに至っている⁽²⁾。

著者らは、鋼橋への適用が拡大している耐候性鋼に関し、鋼橋の建設予定地の住所、気象情報から腐食量を予測し、環境への適合性を評価する新たな技術^{(3)～(5)}を開発し、実橋梁の建設に活用した。本論文では、腐食量の予測技術ならびにその活用状況について述べる。

2. 耐候性鋼適用上の課題

耐候性鋼は厳しい腐食環境では、著しい腐食が発生する場合がある。したがって、耐候性鋼の適用上、“架設地は保護性さびが形成する環境であるか否か”を見極めることが重要となる。耐候性鋼の保護性さび形成を阻害する最も影響の大

き環境因子は塩分であることから、国内では海岸線の多い日本の国土事情に鑑み、飛来塩分量により適用地域が制限されている。例えば道路橋示方書では、従来型の耐候性鋼(以降JIS-SMAと略す)に対し、飛来塩分量が0.05 mdd(mg/dm²/day)以下となる地域での適用を推奨し、この値を満足する地域を離岸距離より定めている⁽⁶⁾。しかしながら、飛来塩分量規定の場合には、季節影響を考慮して1年間計測しなければならない、また離岸距離規定の場合には、広範な地域を一律の距離で規定するために、厳しく設定しているものの、本来使用できるが使用できないという課題がある。また、飛来塩分量は、重要な環境因子であるが、気温やぬれ時間等の腐食因子は考慮されていない、という課題もある。

一方、耐塩分性能を高めたニッケル系高耐候性鋼が開発^{(7)～(9)}されている。しかし、飛来塩分量規定は、JIS-SMAを対象に定められたものであり、新たに開発されたニッケル系高耐候性鋼の場合、適用規定の整備を図る必要がある。

3. 耐候性鋼の腐食量予測技術の特徴

耐候性鋼の長期の腐食量は、堀川らの提案した式(1)で表せることが知られている⁽¹⁰⁾。

$$Y_{(t)} = At^B \quad (B \leq 1) \quad (1)$$

Y: 片側平均板厚減少量(mm), t: 時間(年), A, B: 係数
著者らは、土木研究所らの全国の実橋暴露試験結果⁽¹¹⁾を再解析した結果、適度な腐食環境のときにさびの保護性が最も効果的に作用することを見出し、JIS-SMAにおけるAとBの間には、図1に示す関係が存在することを見出した。すなわち、

$A < 0.083$ のとき

$$B = -4.6 \times 10^3 \cdot A + 7.6 \times 10^2 \cdot A - 3.2 \times 10 \cdot A + 1.0 \quad (2)$$

$0.083 \leq A$ のとき

$$B = 1$$

式(2)で表せる。ここで、 $t=1$ のとき $Y=A$ であり、Aは初期の1年間の腐食量を意味する。式(2)を導出したことにより、A値を地域の環境データにより表すことができ

* JFE スチール株式会社

1) スチール研究所耐食防食研究部(主任研究員)

2) 厚板セクター部(主任部員)

** JFE テクノリサーチ株式会社 腐食防食部(部長)

Prediction Method for Corrosion Loss of Weathering Steels in Domestic Environment; Isamu Kage*, Yutaka Matsuda*, Kazuhiko Shiotani*, Tsutomu Komori*, Kazuaki Kyono** (*JFE Steel Corp., **JFE Techno-Research Corp.)

2008年11月4日受理

れば、式(2)より腐食予測が可能となる。

一般に鋼材の大気腐食は、電気化学反応によって進行することから、水の存在下で起こり、温度により促進される。そこで、実際の大気環境の腐食量は、これまで指標とされてきた飛来塩分量に、ぬれ時間、気温の因子を加え1年間の腐食量 A をそれぞれの因子の積で示す式(3)を提案した。

$$A = k(\alpha \cdot T + \beta) \cdot TOW \cdot C^\gamma \quad (3)$$

k : 定数, T : 気温, TOW : 年間の濡れ時間, C : 飛来海塩, α, β, γ : 耐候性鋼の種類に依存する係数

ここで、 TOW は、Kucera らが ISO/TC156 にて提案している式⁽¹²⁾を用いた。Kucera は、塩分などが存在する大気環境の場合、相対湿度が80%以上のとき金属表面では濡れが発生していることに基づき、世界各地の数千点におよぶデータを解析して、 TOW を気温、相対湿度の分布関数の積で表す式を考案している⁽¹¹⁾。 α, β, γ の各係数は、実験室内で温度、湿度を変えた腐食試験を行い、重回帰分析により決定した。また、ニッケル系高耐候性鋼を含む各種耐候性鋼の暴露試験を全国各地で独自に開始しデータの収集を行い、各々の暴露試験を実施した地点の近接気象官署データの年平均気温、年平均相対湿度、ならびに測定した飛来塩分量を用いて、 k を決定した。以上計算の過程は煩雑なため割愛するが、文献(4)に詳しい。

さらに、これまでに得られてきた全国の飛来塩分量の測定データを解析して飛来塩分量を離岸距離で表す式を求め、1年間飛来塩分量を測定せずとも、飛来塩分量を推定できるようにした。

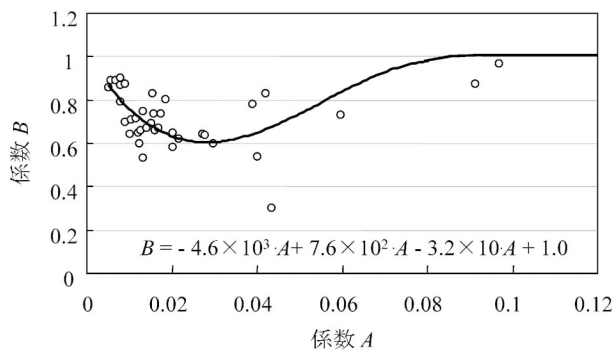


図1 JIS-SMA の全国暴露試験⁽¹¹⁾における式(1)の係数 A と B の分布と再解析による近似曲線。

$$C = C_1 X^{-0.6} \quad (4)$$

C : 推定される飛来塩分量(mdd), C_1 : 離岸距離 1 km の地点の飛来塩分量, X : 離岸距離(km)

これら(1)~(4)の式を用いることにより、各種耐候性鋼の腐食量を予測することが可能となる。図2に、土木研究所の9年間の暴露試験結果(Y_{ex})⁽¹¹⁾と、各暴露地の近接気象データと本手法に基づいて予測した結果($Y_{(9)}$)との相関を示す。飛来塩分量のみによる従来予測手法⁽¹³⁾による結果と比較して、傾きが1に近く、また広範囲で一致していることがわかる。

耐候性鋼橋梁の許容腐食量は、0.5 mm/100年以下という目安がある⁽¹⁴⁾。予測式より100年後の腐食量を計算し、この目安と照査することにより、適用可否の検討が可能である。ただし、式によって予測された値は、係数を算出するにあたって生じた回帰の中央値に過ぎず、暴露試験の結果と比較して $\sigma=30\%$ とする正規分布の関係を見出している⁽⁴⁾。紙面の都合上、詳細は省略するが、予測結果に対する表現の正確性を期すために、予測した腐食量は確率を持った幅(中央値, $\pm\sigma$, $\pm2\sigma$)で表している。

腐食予測の手順を、図3のフローに示す。温度、湿度の値には、導出の際に用いた近隣の気象官署の年平均気温、年平

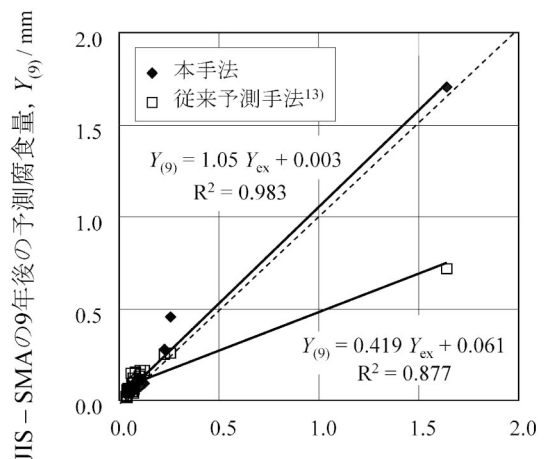


図2 JIS-SMA における腐食量の実測値と予測値の相関。

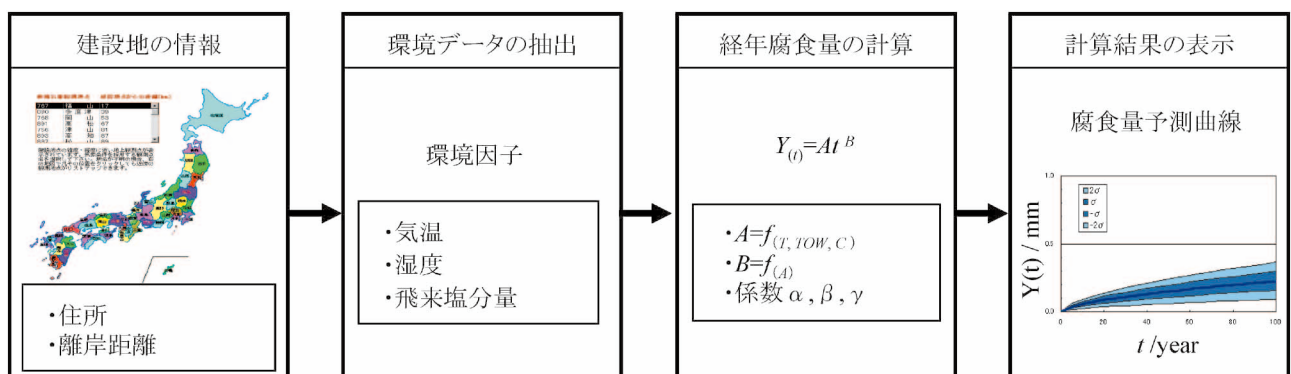
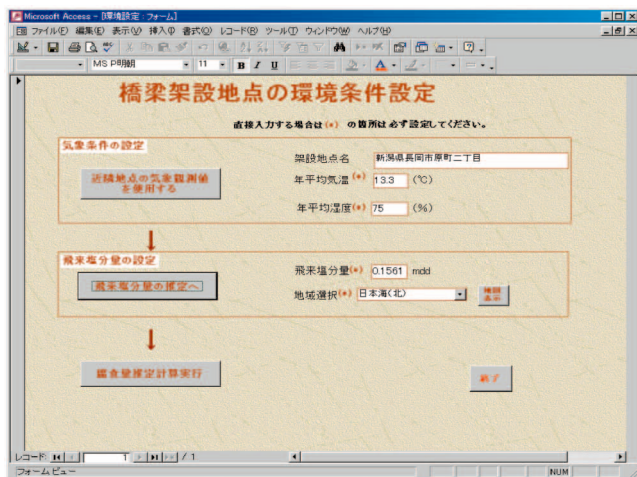
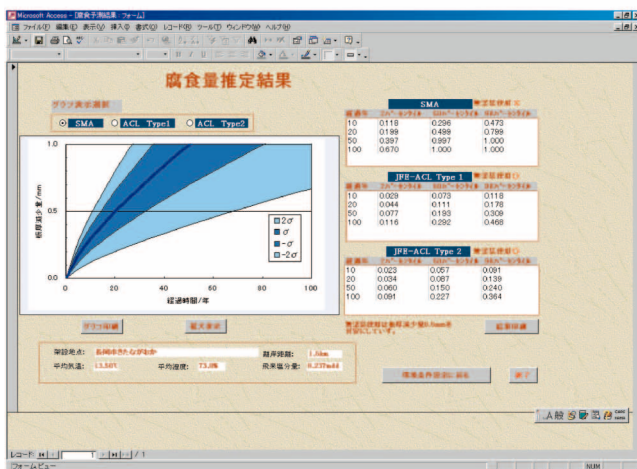


図3 建設地情報からの耐候性鋼の腐食予測フロー。



環境条件の設定画面



腐食量予測結果表示画面

図4 初期画面とJIS-SMAの計算の表示例。

均相対湿度を用い、また地図上で最近接の海岸から離岸距離を求めることによって、上記一連の式から腐食量予測が可能となる。

4. 実用化状況

本技術は、特許2件を出願している⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。また、煩雑な計算作業を軽減し、初心者でもデータ選択を間違えることのないよう、ソフトウェアを作製して便宜を図っている。図4にソフトウェアによる高飛来塩分環境における条件設定画面およびJIS-SMAの計算例を示す。

また、本技術は、社団法人日本鋼構造協会にて発行された耐候性鋼の適用技術に関する最新の資料に、防食設計技術の腐食予測方法の一つとして取り上げられており⁽¹⁷⁾、業界関

係者にも広く知られている。これまで全国の橋梁管理者、コンサルタント会社、ファブリケータなどに本予測技術による計算結果を提供し、実際の耐候性鋼橋梁に対する環境への適合性評価とともに、最適耐候性鋼材の選定の一助に用いられている。現在までに活用された案件の累計は70件を超えている。

5. おわりに

耐候性鋼に関するこれまでの多大な知見を元に、独自の新たなニッケル系高耐候性鋼に関する曝露データや、実験室の腐食試験結果を加え、腐食量の予測技術を構築してきた。また本技術をソフトウェア化することにより、任意の架設地における長期腐食量を簡便に予測し、ライフサイクルコストを低減する最適な鋼材を迅速に提案することを可能とした。本技術は、これまで多くの実際の橋梁において適用の判断に活用されている。

今後は、継続している長期の曝露試験結果が得られるにつれて、数式の係数などの改良をはかり、腐食量の予測精度を向上させると共に、機能の充実を図る。耐候性鋼材の信頼性を向上させることを通じて、信頼性の高い鋼橋に貢献していく。

文 献

- (1) 土木研究所資料，第3506号(1997)。
- (2) 山口栄輝：腐食防食協会，第160回腐食防食シンポジウム資料(2007)。
- (3) 鹿毛 勇，松井和幸，川端文丸：JFE 技報，No. 5(2004)，31。
- (4) 鹿毛 勇，塩谷和彦，竹村誠洋，小森 務，古田彰彦，京野一章：材料と環境，**55**(2006)，152。
- (5) 鹿毛 勇，京野一章，松田 稔：JFE 技報，No. 18(2007)，62。
- (6) 日本道路協会編：道路橋示方書(I 共通編・II 鋼橋編)・同解説(2002)，183。
- (7) 宇佐見明，富田幸男，紀平 寛，都築岳史，田辺康児：材料と環境1998講演集，(1998)，65。
- (8) 竹村誠洋，藤田 栄，鈴木伸一，松井和幸：NKK 技報 No. 171(2000)，913。
- (9) 塩谷和彦，川端文丸，天野虔一：川崎製鉄技報，**33**(2001)，39。
- (10) 堀川一男，瀧口周一郎，石津善雄，金指元計：防食技術，**16**(1967)，153。
- (11) 建設省土木研究所，鋼材倶楽部，日本橋梁建設協会：共同研究報告書 第86号(1993)，29。
- (12) V. Kucera, J. Tidblad and A. Mikhailov: ISO/TC156/WG4-N314 Annex A (1999)。
- (13) 西川和廣，村越 潤，田中良樹：土木技術資料，**36**(1994)，60。
- (14) 日本鋼構造協会編：テクニカルレポート No. 73(2006)，16。
- (15) 特許公開 2006-208346。
- (16) 特許公開 2006-053122。
- (17) 日本鋼構造協会編：テクニカルレポート No. 73(2006)，124。