

半永久耐候性橋梁設計への腐食減耗予測ソフトウェア開発

Development of Corrosion Prediction Software for Designing Weathering Steel Structures with Semi-Eternal Service Life

紀 平 寛^{*(1)}
Hiroshi KIHIRA

抄 録

社会資本のミニマムメンテナンス化ニーズが強まる中、耐候性鋼への期待が高まっている。この鋼材は合金元素の作用により保護性の高いさび皮膜形成が促されるため、普通鋼に比較し腐食速度が遅く、構造物の長期耐久性を無塗装で実現することが可能である。ただし、耐候性鋼の腐食挙動は環境条件により変化するので、適用に当たっては鋼材の耐食性と環境条件の腐食性との整合について十分吟味する必要がある。このプロセスをより簡単に誰でも行えるよう、建設予定地の腐食環境条件を入力することで、耐候性鋼や耐塩害性を高めた 3Ni 耐候性鋼の長期腐食挙動を予測計算できるパーソナルコンピュータ用ソフトウェアを開発した。

Abstract

Needs for minimum maintenance materials for infrastructure, such as weathering steel are growing. Since corrosion rate of weathering steel is much lower than plain carbon steel, it is possible to construct durable steel structures without painting, or plating, which reduces life cycle cost of the structures to a great extent. To realize this conception, it is very important to select the best alloyed weathering steel, in accordance with corrosiveness of the atmosphere at construction sites. In order to facilitate such assessing processes, long-term corrosion prediction software for weathering steel has been developed.

1. 緒 言

耐候性鋼は、さびでさびを制するというユニークな特性¹⁾ゆえに橋梁をはじめとする多くの実構造物に適用されてきた。その機能を生かしてこの鋼材を適用し、維持管理コスト低減に成功している事例は多い。一方、飛来塩分の多い海浜地域などに不用意に適用された場合、問題を生じることもあった。近年では内陸地域でも凍結防止剤散布の影響を受け、局所的な異常なさび形成が認められることもある。

今後橋梁をはじめとした構造物においては、国土交通省より提唱されたミニマムメンテナンス橋構想²⁾に代表されるように、更なる維持・管理コストの削減をしつつも超長期にわたり安心して実使用が可能となる耐候性鋼材、表面処理技術、構造設計法などが求められており、わが国全体としてアジア諸国等との共生へ向けたコスト競争力を維持発展させる、21世紀型インフラストラクチャーの一形態として安全で安心なLCCミニマム構造物の実現が必須であり、それをなす耐候性鋼の利用技術開発に期待が寄せられている。

2. 耐候性鋼の腐食挙動に関する正しい認識と道路橋示方書の改訂

耐候性鋼はこれまで安定さびが形成すると腐食進行が完全に停止すると誤解されてきた面がある。この誤解により、耐候性鋼には安定さびが形成するのでどのような腐食性の大気環境においてもメンテナンスフリーで使用可能と思われたこともある。しかしながら上述のような現象は物理化学的には起こりえず、およそ全ての物質は周辺環境と化学反応を起こし、初期の材料機能は徐々に劣化する。

(社)腐食防食協会に設立された21世紀のインフラストラクチャーを支えるさびサイエンス研究会(主査:室蘭工業大学 三澤俊平教授)のシンポジウム³⁾や、東京工業大学創造プロジェクト“都市基盤施設研究体(研究長:三木千壽教授)”および土木工学専攻“鋼橋設計工学講座”主催により開催されたシンポジウム⁴⁾において、耐候性鋼橋の耐久性能に関わる基本認識の提言が示された^{3,4)}。

これら学会での議論が正確に反映され、2002年3月に改訂された道路橋示方書・同解説⁵⁾には、第5章“耐久性の検討”が加わり、“鋼橋の部材の設計にあたっては、経年的な劣化による影響を考慮するものとする”と規定された。

^{*(1)} 技術開発本部 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 主幹研究員
千葉県富津市新富20-1 ☎293-8511 ☎(0439)80-2284

3. 腐食減耗予測と構造物の耐久設計

ミニマムメンテナンス半永久橋を耐候性鋼で実現しようとした時、最初に正確に認識すべき事項はその耐食性能である。一般に材料の腐食、劣化は、材料と環境の化学反応に起因して起こるため、耐食パフォーマンスは環境の腐食性によって異なる。耐候性鋼においても例外ではなく、鋼材自体の耐食性は合金元素の添加により普通鋼に比べ高められているが、その耐食パフォーマンスは適用環境の腐食性に応じて異なる。

このことの理解を深めるため、耐候性鋼のさび安定化概念イメージを図1に示した⁹⁾。腐食環境の厳しさが小さい場合、鋼材の腐食そのものが殆ど進まないためにさび発生量がわずかとなり、保護性さびも生じない。しかしながら鋼材の板厚減少も殆ど起きないため、異常なさびの発生も起きず、定義によりさび安定化状態となる。また腐食環境の厳しさが中程度になると、耐候性鋼に添加された合金元素の作用により保護性さびが形成し、腐食速度が経年的に低減してさび安定化状態になる。つまり耐候性鋼と環境との化学的相互作用の産物が表面に形成するさびになるので、鋼材が同じであっても環境条件が異なれば、さびの組成や構造にも違いが出る。

さらに腐食環境の厳しさがある限界を超えると、保護性さびによる腐食抑制作用が効かなくなり過度な腐食発生を起こす。この状態では鋼材の腐食速度の方が、形成したさびの風化速度より大きく、〔さびの増加速度〕>〔さびの風化減耗速度〕となるので、さび厚は厚くなり、鱗状または層状剥離さびとなる。このような異常を示すさびが発生しない経年累積腐食量については、建設省土木研究所、(社)鋼材倶楽部、(社)日本橋梁建設協会で行われた耐候性鋼材の橋

梁への適用に関する共同研究報告書^{7,8)}に見解がまとめられている。50年間で片側0.3mm以内の腐食減耗量に収まる環境条件でJIS G 3114に規定された耐候性鋼は無塗装で適用が可能⁹⁾とされている。

この環境条件は、改訂された道路橋示方書⁹⁾に明記されたように、飛来塩分量として0.05mg/dm²/day以下となる地域である。改訂された道路橋示方書では、設計供用期間の目安を100年としていることに対応し、100年間での累積腐食減耗曲線を予測した結果、片側0.5mm以内¹⁰⁾の腐食量に収まる環境条件で耐候性鋼は使用可能と解釈される。100年後に片側0.5mm、両側で1.0mmの腐食減耗があったとして残存耐荷力を試算してみた。道路橋示方書の規定通りに橋梁が設計されていれば、部材の残存耐力比の低下はわずかとなり、安全率等も考慮すれば、十分な構造安定性が確保できると考えられる。一般に、道路橋示方書に示された規定に加えて腐食代を付与する必要は無いとされる理由が理解できた。

このような考え方の中で、改訂された道路橋示方書の基本思想である、性能照査型の橋梁設計を行う場合、従来型の耐候性鋼のみならず、耐塩害性を高めた3Ni耐候性鋼¹¹⁾の適用にあたっては、100年で片側0.5mm以内の累積腐食減耗量に収まる環境条件下で無塗装使用することが望ましい。この見極めを効率的に行うことを目的として、耐候性鋼や3Ni耐候性鋼の長期の腐食減耗予測技術を開発し、パーソナルコンピュータ用にソフトウェア化して煩雑な計算操作を簡素化した^{12,13)}。

4. 腐食減耗予測ソフトウェアによる材料選定シミュレーション

従来は飛来塩分量だけで腐食環境を定義してきたが、本開発方式では温度、湿度、濡れ時間、風速、硫酸化物量なども考慮にいられた^{12,13)}。地域の腐食環境の厳しさをより正確に表現できたものと考えている。曝露試験をせずともA値およびB値を推定できる計算アルゴリズムを開発した^{12,13)}。導出過程は専門的かつ複雑なので、別途論文投稿を準備している⁹⁾。開発した耐候性鋼の腐食減耗予測ソフトウェアを用いた材料選定シミュレーションを行ってみる。はじめに、建設サイトとして東京湾岸地区を想定し、平均気温、年平均湿度、年間降水量、年平均風速、飛来塩分量、硫酸化物量の6種類のデータを入力する。そのうち年間降水量は桁下環境を想定した計算が行える現バージョンにおいては参考値入力であり、実計算

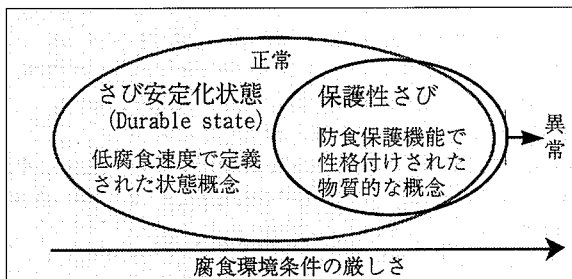


図1 耐候性鋼のさび安定化概念のイメージ図

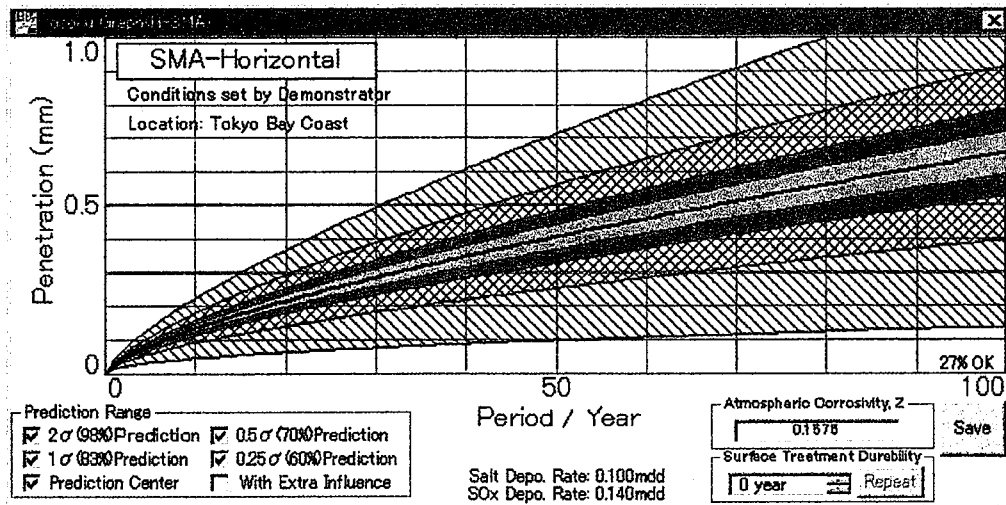


図2 東京湾岸モデル環境水平曝露条件でのJIS-SMA耐候性鋼裸使用の腐食減耗予測結果

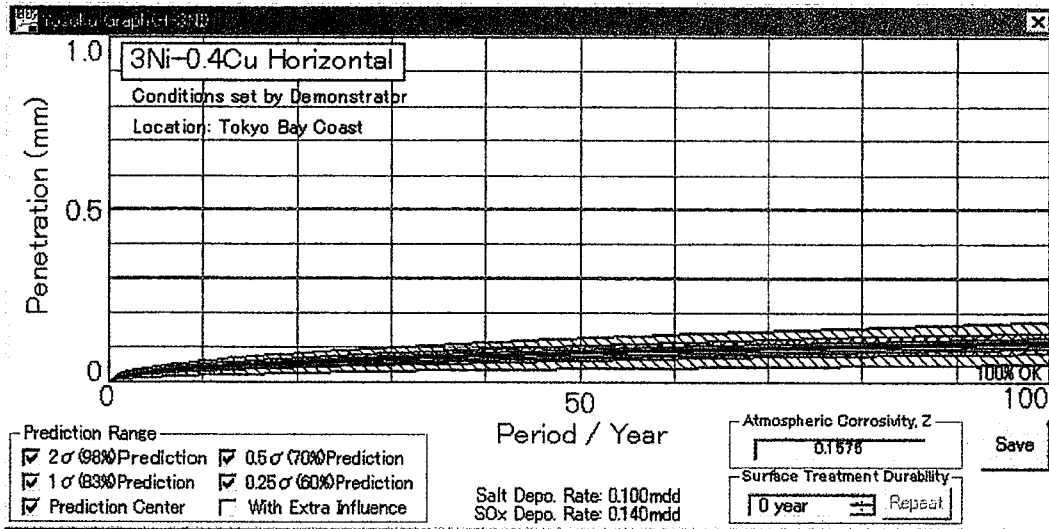


図3 東京湾岸モデル環境水平曝露条件での3Ni 耐候性鋼裸使用の腐食減耗予測結果

には使用されない。

モデル計算においては、全国41橋曝露データのうち、海老川大橋の事例を参考にしながら飛来塩分量を0.1mdd、硫酸化物量を0.14mddと設定した。図2、図3に計算結果のグラフを示す。得られた図面の右下の隅に100年0.5mmを目安にした異常さびが発生しない確率値が表示される。この図より、従来型のJIS-SMA耐候性鋼では73%の確率で異常を示すさびが発生すると評価でき、3Ni 耐候性鋼の場合は図3の通り異常さび発生率の確率はきわめて小さいと判断ができる。

このように開発した耐候性鋼の腐食減耗予測ソフトウェアを活用すれば、これまで飛来塩分量だけで判断してきた耐候性鋼の適用可否について、さらに詳細にリスク低減への対策を初期設計時に策定できるようになる。同時に維持管理計画の策定や留意点の抽出など、様々な視点で本ソフトウェアは有効に活用できる。

参考文献

- 1) 岡田秀弥, 細井祐三, 内藤浩光: 鉄と鋼, 56, 277 (1970)
- 2) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室: ミニマムメンテナンス橋 鋼橋編
- 3) 大塚俊明, 三澤俊平: 第132回腐食防食シンポジウム資料, 腐食防食協会, 2001-06-25
- 4) 市川篤司: 耐候性鋼材の橋梁への適用に関するシンポジウム論文等報告集, 2001-04, 東京工業大学創造プロジェクト“都市基盤施設研究体”, 東京工業大学土木工学専攻“鋼橋梁設計工学講座”
- 5) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 2002-03
- 6) 紀平寛: 第132回腐食防食シンポジウム資料, 2001-06-25, p.27
- 7) 建設省土木研究所, (社)鋼材倶楽部, (社)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, 1993-03
- 8) 建設省土木研究所, (社)鋼材倶楽部, (社)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(XV), 整理番号第71号, 1992-03
- 9) 紀平寛他: 土木学会論文集へ投稿準備中
- 10) (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会, 耐候性鋼の橋梁への適用, 2000-08
- 11) 紀平寛, 伊藤勲, 溝口茂, 村田朋美, 宇佐見明, 田辺康児: 材料と環境, 49, 30-40 (2000)
- 12) Kihira, H.: 17th US-Japan Bridge Engineering Workshop, Tsukuba Japan, 2001-11 Public Works Research Institute, p.337-350
- 13) Kihira, H.: Proc. First International Conference on Advanced Structural Steels (ICASS2002), Tsukuba, May 22-24, 2002, 2002, p.291