

耐候性鋼材の性能評価に関する研究

東京工業大学 学生会員 鶴飼 真  
 東京工業大学 フェロー会員 三木 千壽

1. はじめに

耐候性鋼材とは、通常の鋼材に Cu, P, Ni, Cr, S などを添加することによって、強固な錆を発生させ、無塗装で使用した場合にも錆の進展が非常に遅くなる性質を有する構造用鋼である。耐候性鋼材は鋼構造物のライフサイクルコスト削減に大きく寄与する鋼材として橋梁への適用が期待されている。しかし一方で、最近いくつかの橋梁において層状錆や流れ錆の発生など錆の保護性に関して、当初の期待と異なる現象が見られるようになってきた。その原因の一つとして耐候性鋼材に関して、現在その性能を評価するための指標、試験法が未整備の状況になっていることが挙げられる。

そこで本研究では、実橋調査に基づいて性能指標の重要性を指摘し、米国で規格化されている性能指標である Weathering Index の問題点を指摘した上で、Weathering Index に代わる新たな耐候性鋼材の評価指標を提案する。さらに、タイ・東工大暴露試験の評価と、新たな方法による促進腐食試験を行い、その結果から性能指標の信頼性、促進腐食試験の有効性を確認する。

2. 実橋調査

耐候性鋼橋の現状を把握するため、静岡県および神奈川県 of 橋梁 19 橋において、写真・セロテープ剥離試験等の実橋調査を行った。その結果、①年間降水量の多い静岡県の方が温帯な環境の神奈川県より腐食が激しい②山間部の方が海岸部より錆が緻密③上・下フランジ下面およびウェブ下方に腐食が激しい等、環境および構造の各部位により錆の状態が大きく異なるという所見を得た。このようなことから、耐候性鋼材選定の段階で、性能指標等を用い、環境に合った鋼材を適用することが重要であると考えられる。

3. 耐候性鋼の性能指標の提案

Weathering Index とは ASTM で規格化されている耐候性鋼材の性能指標で以下のように示されている。

$$\text{Weathering Index} = 26.01(\text{Cu}) + 3.88(\text{Ni}) + 1.2(\text{Cr}) + 1.49(\text{Si}) + 17.28(\text{P}) - 7.29(\text{Cu})(\text{Ni}) - 9.1(\text{Ni})(\text{P}) - 33.39(\text{Cu})(\text{Cu})$$

しかし、この指標は、図 1 に

示すように低飛来塩分量の環境では評価できるものの、図 2 に示すように高飛来塩分量の環境ではばらつきが大きく評価が困難である。また、図 3 に示すように、最近開発された新耐候性鋼材（下線部）では、腐食量の順位と Weathering Index の順位が一致せず正しい評価ができない。そこで本研究では、Weathering Index の元データに全国 41ヶ所暴露試験<sup>1)</sup>のデータを加え、さらに飛来塩分量の項を組み込むことによって以下に示す新たな指標を提案した。

New Index =

$$\begin{aligned} \text{New Index} = & 0.036 - 0.0317(\text{Cu}) - 0.00887(\text{Ni}) - 0.00242(\text{Cr}) - 0.0651(\text{Si}) - 0.169(\text{P}) + 0.221(\text{NaCl}) \\ & + 0.00541(\text{Cu})(\text{Ni}) - 0.00625(\text{Cu})(\text{Cr}) + 0.0615(\text{Cu})(\text{Si}) + 0.0981(\text{Cu})(\text{P}) - 0.00131(\text{Ni})(\text{Cr}) \\ & - 0.00259(\text{Cr})(\text{Cr}) + 0.0007(\text{Cr})(\text{NaCl}) + 0.0528(\text{Si})(\text{Si}) - 0.890(\text{P})(\text{P}) \end{aligned}$$

この式は、目的変数に係数 A（腐食量に対する暴露年数の累乗回帰係数）、説明変数に鋼材成分および飛来塩分量をとり、重回帰分析（Stepwise 回帰）を行ったものである。さらにこの式から得られる値に関して、3年・10年・20年以内に保護性の錆が形成されるレベルを、それぞれ Level A・B・C、さらに20年以降も保護性のキーワード；耐候性鋼材、Weathering Index、促進腐食試験

連絡先；〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1 緑ヶ丘 5 号館 3 階 (Tel:03-5734-2596 Fax:03-5734-3578)

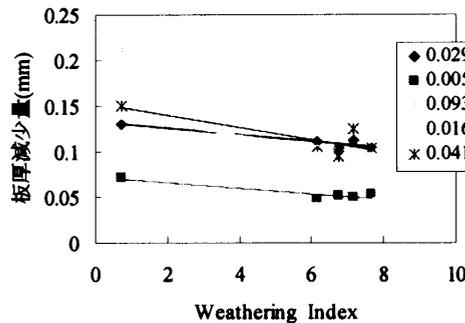


図 1 低飛来塩分量環境

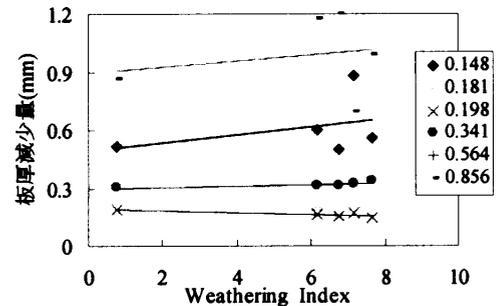


図 2 高飛来塩分量環境

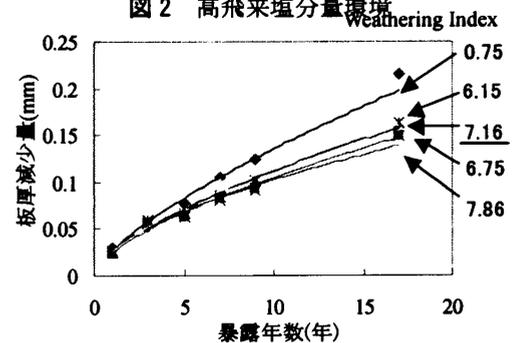


図 3 成分範囲外の鋼材

錆が形成されないレベルを Level D とし，耐候性鋼材を 4 段階で評価できる指標を提案した。

4. タイ・東工大暴露試験

耐候性鋼材を実環境において腐食させる暴露試験は，実際の腐食の挙動を観測できるため，鋼材の性能評価としては最も有効な試験法である。そこで，平成 10 年より，東工大（日本）と Kasetsart 大（タイ）共同研究として写真 1

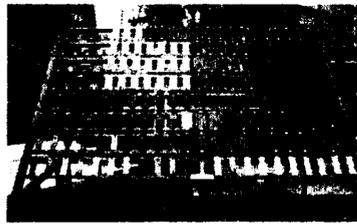


写真 1 暴露試験

のような暴露試験を実施している。すでに 3 年間の暴露試験が終わっており，その結果を図 4，図 5 に示す。図に示すように，上記の性能指標と腐食量の順位は一致し，性能指標の信頼性を確認した。また，このグラフから，東工大の 3 年分の腐食量はタイの 0.8 年～1.5 年に相当し，タイにおける腐食量は東工大における腐食量の 2～4 倍促進されることが分かった。

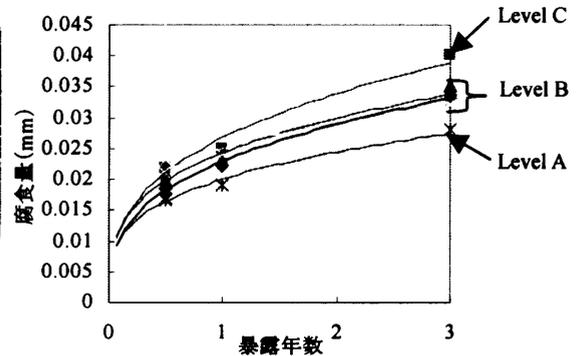


図 4 タイ暴露試験結果

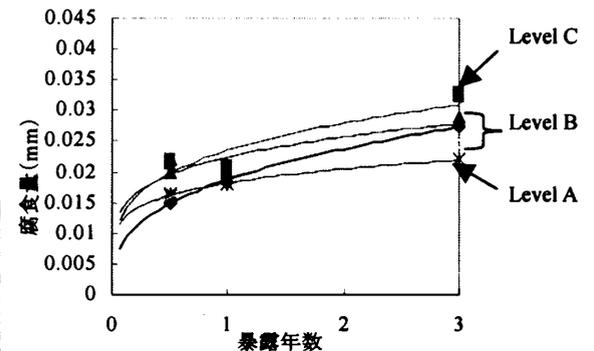


図 5 東工大暴露試験結果

5. 促進腐食試験

暴露試験は結果が得られるまで長期間を必要とするため，実験室内において短時間で結果の得られる促進腐食試験を行った。試験条件は創造プロジェクトの一環として鉄鋼会社・腐食専門家の共同研究の成果として提案されたものであり，写真 2 のような恒温恒湿層内において温度 35℃・湿度 90%・2 時間→温度 40℃・湿度 50%・6 時間を 1 サイクルとして，8 鋼種

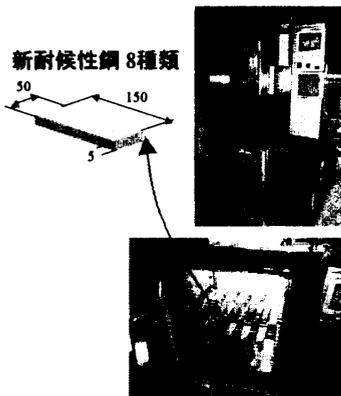


写真 2 促進試験

について，72 サイクル（24 日間）行った。さらに最初の 24 サイクルにおいては 0.3%NaCl 水溶液を 3 サイクルに 1 回づつ鋼材に塗布するものとした。その結果を図 6 に示す。本試験において，各鋼材の腐食量の差が明確に出ること，誤差が非常に小さいことから，高精度な試験法であることを確認した。さらに上記の性能指標と腐食量の順位が一致することから性能指標の信頼性を確認した。また，本促進試験の腐食量がタイ暴露試験の何年分に相当するのかを表したグラフを図 7 に示す。この図から促進試験の 48 サイクルはタイの 1～3 年，72 サイクルはタイの 5～8 年分に相当し，暴露試験を模擬していることが分かった。

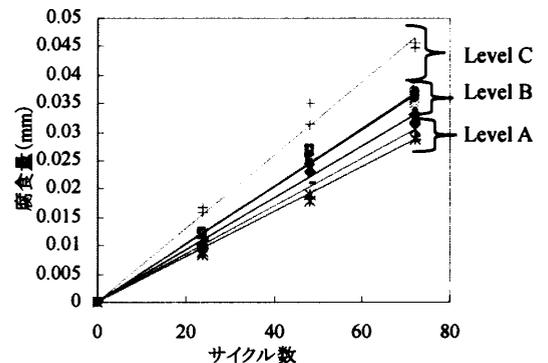


図 6 促進腐食試験結果

6. 結論

①本研究で提案した性能指標により，環境・成分によらず，耐候性鋼の性能を A・B・C・D の 4 段階で評価できる。②暴露試験において，タイ環境は東工大環境の 2～4 倍腐食が促進される。③腐食量において，本促進試験の 48 サイクルはタイの 1～3 年に，72 サイクルはタイの 5～8 年分に相当し，暴露試験を模擬できる。④実橋調査により，環境・構造により錆の状況が異なることを確認した。

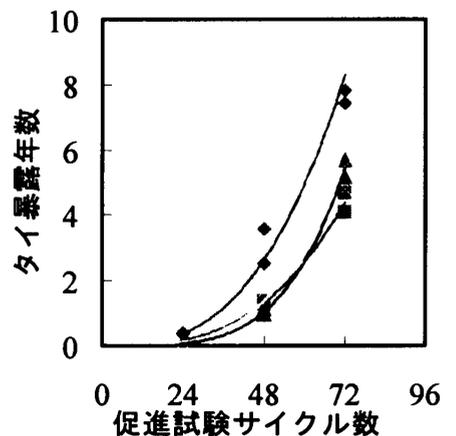


図 7 暴露試験と促進試験の関係

参考文献 1) 建設省土木研究所：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する研究報告書(XVIII),平成 5 年 3 月