

京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝 京都大学工学研究科 正会員 白土博通
 京都大学工学研究科 正会員 八木知己 (株)三菱総合研究所 正会員○丸山大亮¹⁾

¹⁾研究当時京都大学大学院

1. はじめに 本研究では、まず過去に提案された腐食量推定システム¹⁾を基に、これまでは対象としていなかった特殊環境について、特に硫黄泉環境での腐食劣化について調査を行い、その実態の解明を図った。さらに、鋼橋の維持管理を経済的・物理的な観点から評価し、効率的な維持管理についての検討、ならびに鋼橋の寿命についての考察を行った。

2. 鋼橋の腐食劣化推定システム¹⁾ ①目視調査による腐食劣化の定量評価 鋼橋の腐食劣化を塗膜劣化については塗膜の欠損面積に応じて健全なものから4, 3, 2, 1の4段階評価、鋼材腐食についてはA～G'の8段階の評価基準を用いて1橋につき24部位で目視調査を行う。腐食鋼材の板厚測定結果からそれぞれの鋼材腐食評価に対応する腐食量が得られている。これをもとに、1橋の平均的腐食量(全体劣化指数X)を以下の式で定義する。

$$X = \frac{0 \times N_A + 0.1 \times N_B + 0.23 \times N_C + 0.4 \times N_D + 0.6 \times N_E + 0.9 \times N_F + 3 \times N_G + 10 \times N_{G'}}{N_A + N_B + N_C + N_D + N_E + N_F + N_G + N_{G'}} \quad N_A \sim N_{G'}: \text{評価点 } A \sim G' \text{ の個数}$$

(ただし、漏水箇所はのぞく)

②塗膜劣化過程のモデル化 鋼橋は一般的に塗膜で防錆されているが、ある期間経過した時点で、塗膜の防錆能力が失われ、鋼材の腐食が開始すると考えられる。そこで、鋼材の腐食量を推定するために、まず塗膜が防錆能力を保持している期間(塗膜寿命)を知ることが必要である。塗膜劣化評価点(PL)は、 $PL=4-bt$ (ただし、b:係数, t:塗装後経過年数)で表せるとした。また、係数bを求める環境因子(気温、海塩粒子量)を説明変数とした回帰式が得られている。また、塗膜劣化評価点3が錆の発現に相当することより、 $PL=3$ を塗膜寿命とした。③鋼材腐食過程のモデル化 塗膜が防錆能力を失った後は、暴露試験のデータより、鋼材の腐食量が指数関数で表されると考えられる。そこで、各部位の腐食量を $y = kt^m$ (ここで、y:各部位の腐食量, k, m:係数)で推定する。さらに、暴露試験地の環境因子(気温、湿度、降水量、 SO_2 濃度、海塩粒子量)を用いて、k, mのそれぞれについて回帰式が提案された。④腐食劣化推定システムの適合度 環境因子により、塗膜寿命、鋼材腐食量が推定され、橋梁の24部位のそれぞれの腐食量を平均した全体劣化指数の推定値 X_c が得られる。これを目視調査によって得られた全体劣化指数 X_o と一致するように補正係数 α を用いて補正する。これを α による補正も含めた腐食量推定システムの精度とし、過去の調査で本システムは実用に耐えうる精度を有することが確認されている。

⑤鋼橋の余寿命評価 調査を行った橋梁における架替実績から、全体劣化指数 $X=1$ が鋼橋の寿命であるとした。図1に余寿命推定の概念を示す。

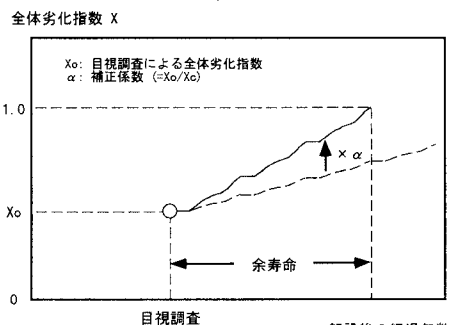


図1 余寿命の概念図

3. 硫黄泉環境における鋼橋の腐食劣化 硫黄泉の周辺では空中に遊離した硫化水素によって、雨が酸性になることや、自動車等の金属製品が早く損傷することは一般的に知られている。本研究では、

このような環境が鋼橋の劣化に及ぼす影響を知るために、温泉地(CITY-J)に存在する鋼橋を調査し、さらに環境因子(気温、湿度、降水量、 SO_2 濃度、海塩粒子量)により本システムを用いて腐食量を推定した。その結果、これらの橋梁の α (目視値/推定値)の平均値は1.300となり、対象地域では鋼橋の腐食劣化がシステムで推定されたものより速く進んでいることが考えられる。よって、硫化水素による橋梁の腐食劣化への影響が示唆されたと考えられる。

4. 鋼橋の維持管理に関する評価 腐食量推定システムに基づいて、鋼橋の腐食劣化、それに対する維持管理について物理的・経済的な観点から評価を試みた。①腐食劣化に関する物理的評価 腐食鋼材の機械的性質は腐食形状の複雑さ、モデル化の困難さ等の要因により把握することは容易ではない。そこで、松本ら²⁾によって提案された有効板厚を用いた。有効板厚は、腐食鋼材と同等の引張強さをもつ両面平滑材の板厚をもって定義されている。

Masaru MATSUMOTO, Hiromichi SHIRATO, Tomomi YAGI, Daisuke MARUYAMA

腐食鋼材の各測点の腐食深さの測定結果から、以下のような有効板厚推定式を得ている。

$$t_e' = t_m - \alpha \cdot S_t \quad (1)$$

{ここに、 t_e' :推定有効板厚、 t_m :最小平均板厚(各測線での板厚平均値の最小値)、 α :係数、 S_t : t_m を与える測線での測定板厚の標準偏差}

さらに、本研究への適用のために、式(1)を変形し、

$$t_e' = t_0 - 1.24138y_m \quad (2)$$

ここに、 y_m :最大腐食深さ

とした。表1に支間中央部での直応力と平均板厚を示す。

②塗替塗装の経済的評価 鋼橋が劣化から防ぐためには架設後も定期的に塗替塗装を実施していかなければならない。塗替時期は塗膜の劣化がみられた時点で行えば理想的であるが、あまり早すぎでは不経済である。また遅すぎると塗膜劣化が進み、特に錆の発生が著しくなった後の塗替塗装においては、素地調整の歩掛が増大し、不経済となることがある。そこで、塗替塗装に関して、経済的な評価を行った。塗装工事費用と塗替間隔の関係を明らかにし、経済的に最適な塗替間隔(以後、経済塗替間隔)を示した。また、美観等を考慮した場合は、経済塗替間隔以前での塗替の必要性が考えられる。

5. 鋼橋の寿命に関する考察 過去の研究¹⁾では、約 300 橋の橋梁を調査し、そのうちの架替実績から全体劣化指数 X が 1 に達した時を橋梁の寿命としている。本研究では鋼橋の寿命に関して(寿命を $X=1$ として)経済的・物理的な観点から考察を行った。図2に曲げモーメントによる支間中央部フランジでの直応力の経年変化を示した。支間中央部フランジ直応力については、CITY-G(海岸環境)内桁以外は3~7%のフランジ平均板厚の減少がみられるが、それによる応力の増加は5~10%となっている。桁端部では腹板に10%程度の板厚減少がみられ、それに伴って13~26%程度、応力が増加している。ある一定の間隔で塗替塗装を実施したときの、全体劣化指数 X が1に到達するまでに要する期間をその塗替間隔での橋梁の寿命とし、図3に示す。図中で、塗替工事費曲線が極小値を示す経済的に最適な塗替間隔で、寿命をしめす曲線は負勾配を示している。よって橋梁管理者には少なくとも経済塗替間隔以前での塗替が求められる。また、経済塗替間隔以前で塗替塗装を実施する場合、工事費の増大とそれに伴う寿命の延伸からもたらされる利益とを考慮する事により、最も経済的な維持管理計画が提案されることが考えられる。

6. 結論 (1)硫黄泉環境では大気中の硫化水素により鋼橋の腐食劣化が促進されていると考えられる。

(2) $X=1$ の時点で、3~5%のフランジ平均板厚の減少、桁端部腹板に10%程度の板厚減少がみられたが、これらから鋼橋の寿命が決定されているとは考えられない。橋梁の美観等から決定されている可能性が考えられる。

(3) 塗替塗装工事費をモデル化することにより、経済的に最適な塗替間隔が示された。今後、架替工事費・補修費等を反映したより経済的な維持管理計画に関しての検討が必要である。

【参考文献】1) 松本 勝, 三宅広昭, 白石成人, 鋼橋の腐食に関する劣化診断, 可視化情報, vol.12, No.47, 1992

2) 松本 勝, 中村幾雄, 白井義朗, 白石成人, 腐食鋼材の有効板厚評価法の一提案, 橋梁と基礎, 1989.12

表1 支間中央部での直応力・平均板厚

都市	環境	直応力		フランジ平均板厚	
		外桁	内桁	外桁	内桁
A	田園	1.042	1.040	0.974	0.976
B	海岸	1.064	1.145	0.967	0.917
B	市街	1.042	1.040	0.974	0.977
C	田園	1.024	1.021	0.984	0.987
F	山間	1.027	1.034	0.984	0.980
G	海岸	1.072	1.196	0.967	0.901
I	海岸	1.039	1.052	0.977	0.970

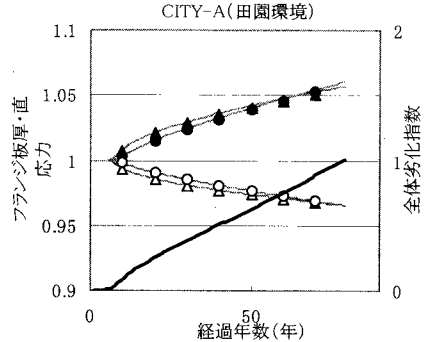


図2 支間中央フランジでの板厚・直応力

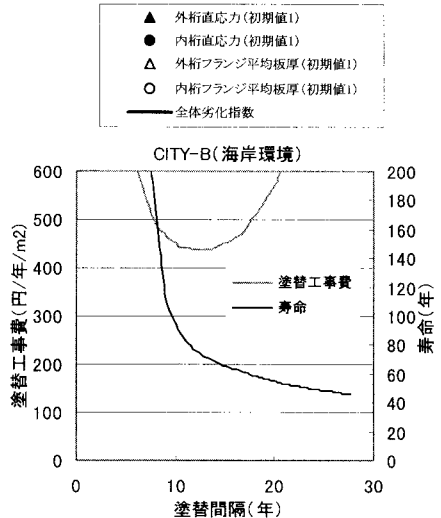


図3 塗替間隔と寿命