

# 腐食劣化を受ける耐候性鋼橋梁の残存耐荷力予測手法の提案

愛媛大学 ○学生員 宮内 雅弘  
 愛媛大学大学院 正員 全 邦 釘  
 NEXCO エンジニアリング四国 非会員 古川 清 司  
 愛媛大学大学院 正員 大賀水田生

## 1. はじめに

我が国の橋梁の多くは高度経済成長期に建設されており、耐用年数の目安とされる建設後 50 年を超える橋梁数が今後 10 年から 20 年で急激に増加する。そこで、損傷を早期に発見し補修するといった予防保全を計画的に実施し、橋梁の長寿命化を図ることが急務とされている。その一環として耐候性鋼について将来の腐食量を予測する取り組みが行われているが、鋼材の腐食量を予測することができても橋梁が将来どの程度の耐荷力を有するかよくわかっていないという問題がある。

よって、本研究では文献(1)の試験結果を基に、将来橋梁の各部材に生じる腐食を原因とした板厚減少を、腐食量分布として導出する方法を提案する。さらに、腐食量分布を用いて将来の橋梁の FEM モデルを多数作成し、FEM 解析を行いモンテカルロシミュレーションにより耐荷力の確率分布を導出する。図 1 に本研究の流れを示す。

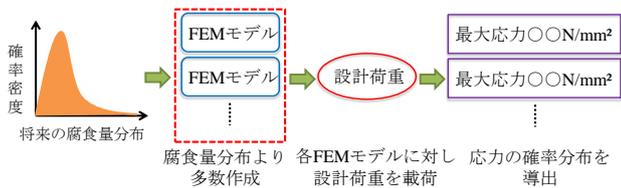


図 1 本研究の流れ

耐荷力の確率分布とは図 2 の概念図に示す右側の分布を指し、将来橋梁に作用する外力  $S$  と橋梁の有する耐荷力の分布  $R$  をそれぞれ求め  $S$  が  $R$  を上回る領域を危険確率  $Z$  として評価できる。

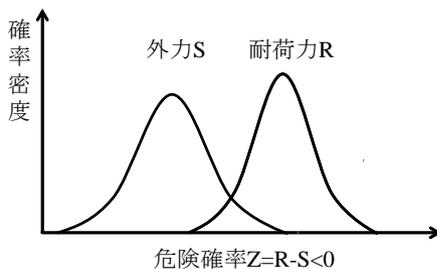


図 2 将来の外力・耐荷力の概念図

## 2. 耐荷力予測手法の提案

### 2. 1. 腐食量分布の導出

耐候性鋼の腐食速度は 9 年目以降の外観評価から判断できるとされており<sup>2)</sup>、また将来の腐食量は腐食量予測式 (1)により算出することが可能である<sup>3)</sup>。

$$Y = AX^B \quad (B \leq 1) \quad (1)$$

$Y$ : 片側平均腐食減厚量(mm)

$X$ : 時間(年)  $A, B$ : 係数

よって、文献(1)から得られた過去の暴露試験結果を用いて、将来における外観評価に対応した腐食量分布をブートストラップ法により導出した。図 3 に外観評価 2 のときの 20 年目、50 年目の腐食量分布の概略図を示す。

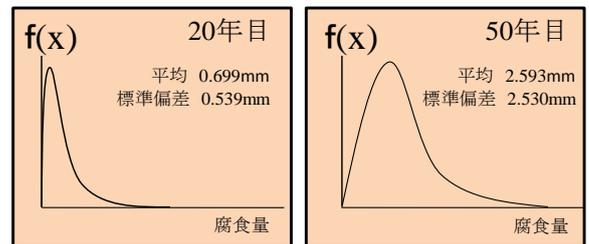


図 3 評価 2 のときの腐食量分布図

ここで耐候性鋼の腐食量の変化は、対数正規性を有すると仮定し、腐食量分布を求める際の確率分布には対数正規分布(2)を用いた。また外観評価基準について表 1 に示す。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad 0 < x < \infty \quad (2)$$

表 1 外観評価基準

評点	外観調査基準
5	さび化が進んでいない (さびが少ない)
4	さび安定化が進んでい (粗いさびはない)
3	さび安定化が遅れてい (ややさびが粗い)
2	さび安定化が悪い (粗いさびがある)
1	さびは安定化しない (層状剥離さびがある)

### 2. 2. 実存橋梁での耐荷力予測

本解析では商用有限要素パッケージ Abaqus/Standard

を用いて解析を行い、高速道路橋(以下、A橋)をモデル化および解析対象とした。A橋は橋長180.65mの4径間連続非合成鋼桁橋で、径間はそれぞれ33.3m, 48m, 55.5m, 42.95mである。4本の主桁のうち隣接するB橋の融雪剤の影響を受けるため腐食劣化の著しい主桁1本(G4桁)と5つの支承をモデル化した。A橋の断面図を図4に、主桁断面図および支承寸法を図5に示す。また、要素タイプ、材料定数について表2に示す。

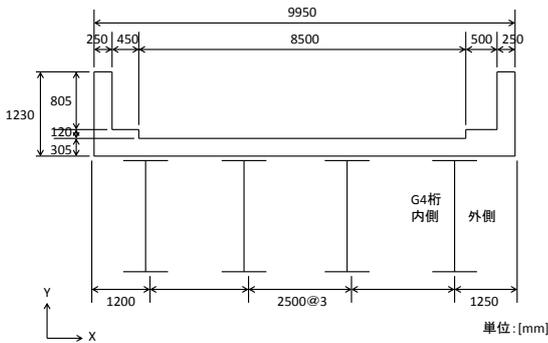


図4 A橋断面図

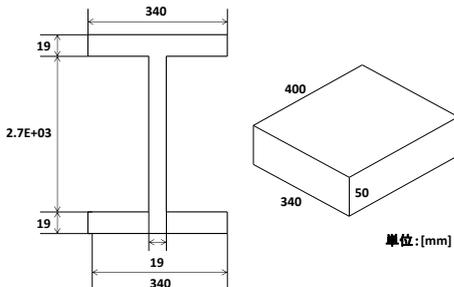


図5 主桁断面図および支承寸法

表2 要素タイプおよび材料定数

	主桁	支承
要素タイプ	3次元4節点低減積分シェル要素(S4R)	3次元8節点ソリッド要素(C3D8)
節点数	22,914	125
要素数	21,070	64
使用材料	SS400	弾性ゴム
ヤング率(MPa)	210	99
ポアソン比	0.3	0.4
比重(g/cm <sup>3</sup> )	7.7	0.91

荷重条件としてはG4桁の分担する死荷重と活荷重をそれぞれ載荷し、境界条件には支承底面を完全固定するものとした。図6に活荷重の載荷位置および応力測定位置の概略図を示す。なお測定応力は、応力測定位置に生じる最大ミーゼス応力である。

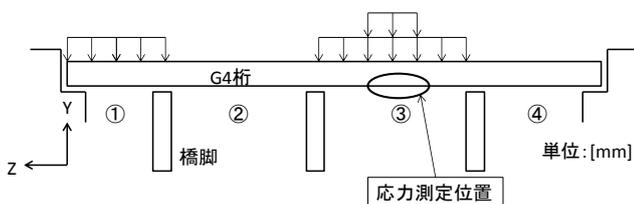


図6 活荷重載荷位置および応力測定位置

### 3. 解析結果

A橋の供用9, 20, 30, 40, 50年目を想定したFEMモデルをそれぞれ1,000パターン作成し、上記の条件で線型静解析を行い測定位置に発生した最大ミーゼス応力をそれぞれグラフ化した。図7に解析結果から得られた9年目と50年目のヒストグラムをそれぞれ示す。

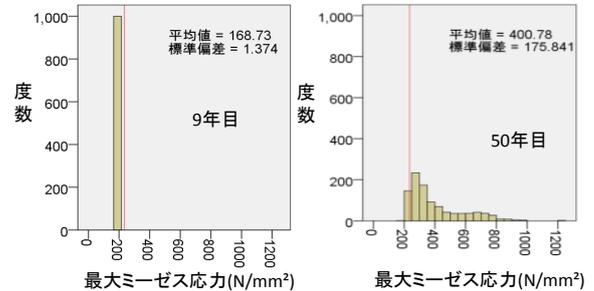


図7 9年目と50年目の応力分布

図8に示す赤い線はSS400の降伏点を意味し、50年目では92.1%の確率で降伏応力に達する。また、図6に90%, 95%の信頼区間のグラフを示す。

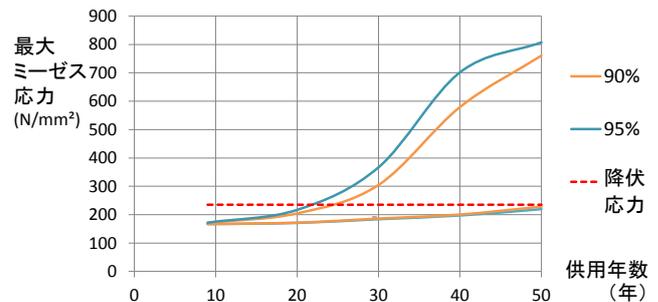


図8 区間推定

これらの結果から任意の時点において、何%の確率で部材が降伏応力に達するか評価でき、補修時期の策定に寄与することが期待できる。

### 4. まとめ

- 1) 対数正規分布に基づいた腐食部材の表面形状データを、既存の耐候性鋼材の腐食量予測式を利用して作成し、解析対象橋梁の有限要素モデルに与えることで腐食劣化を受ける橋梁を再現した。
- 2) 腐食劣化を受けた橋梁の有限要素モデルに対して、着目点の応力の変化を確率的に予測する手法を確立した。

### 5. 参考文献

- (1) 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, 1992.
- (2) 三木千壽, 市川篤司: 現代の橋梁工学, 2004.
- (3) 堀川一男, 瀧口周一郎, 石津善雄, 金指元計: 防食技術, 1967.