

# 孔食進展シミュレーションと表面不整形

1090405 石井 翔大

高知工科大学工学部社会システム工学科

50×50mm, t=2.1mmの鋼板を想定して, 線状の塗膜損傷からの孔食進展予測式を点状損傷から2次元的に進展する孔食予測に拡張し, 孔食進展シミュレーションを行なった. シミュレーション結果を促進腐食試験結果と比較した. 月毎の腐食発生数Nを適切に選べば, 断面積減少率, 板厚変動係数とも実験値とよく一致することが分かった.

**Key Words** : 孔食, 孔食進展予測式, 断面積減少率, 板厚変動係数

## 1. はじめに

現在, 既設の橋梁の維持管理が大きな問題となってきた. 鋼橋では防食のために再塗装などが必要であるが, 現状では財政悪化による予算不足で十分なメンテナンスが行われていない橋梁が多く存在する. このような橋梁の安全性確保のためには, 腐食構造物の残存耐荷力の推定とともに, 腐食の進展予測法の確立が必要である.

腐食鋼板の降伏や強度は, 板厚変動係数とある程度の相関がある. したがって, 適切にメンテナンスできない鋼橋の将来の耐力を推定するためのひとつの方法として, 板厚変動係数を予測することが考えられる. 本研究では, 孔食の進展予測式をベースにした腐食シミュレーションによって, 平均断面積減少率や板厚変動係数を予測する方法を提案し, 予測精度に検討を加えた.

## 2. 孔食進展予測式

福岡は線状の塗膜損傷から進展する孔食の深さ, 幅を予測する式として次式を提案している<sup>2)</sup>.

$$\alpha e \frac{|x|^{2.5}}{|\beta|} \quad (1)$$

ここに $\alpha$ は孔食の最大深さ,  $\beta$ は代表幅,  $x$ は孔食中心からの水平距離を表す.  $\alpha, \beta$ は時間の関数であり, 塩水噴霧による促進腐食試験のデータ<sup>1)</sup>, および既往の研究から

$$\alpha = n \times t^{0.7}, \quad \beta = m \times t^{0.6}$$

としている. ここに,  $n, m$ は腐食環境を表すパラメータ,  $t$ は時間で単位は月である.

平面的に広がる孔食を予測するためには, 線状の塗膜損傷ではなく, 点状の塗膜損傷から進展する孔食を考える必要がある. ここでは, 点状の塗膜損傷から進展する孔食は同心円状に広がると仮定し, 深

さや広がりには孔食中心から距離の関数で表されると考えた. さらに, 式(1)を2次元の場合にそのまま拡張して, 式(1)中の $x$ を孔食中心からの距離で置き換えることとした. この時, 任意の位置 $x, y$ における腐食深さは次式で表されることになる.

$$\alpha e \frac{\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}^{2.5}}{\beta} \quad (2)$$

ここに,  $x_1, y_1$ は孔食中心の座標である.

## 3. 孔食進展シミュレーション

促進腐食試験結果と比較するために, 50×50mm, t=2.1mm 鋼板を想定して孔食シミュレーションを行なった. 進展予測式の時間の単位が月であることから, 毎月一定の数N個の孔食が新たに発生すると考え, 既発生 of 孔食は時間とともに(2)式に従って進展するとした. 新たに発生する孔食の位置は一様乱数で与えた. 既にある程度孔食が進展している位置に新たな孔食が発生することもあるが, 特にこれを防ぐようなことは考えていない.

シミュレーションに乱数を用いているので, 同一初期条件を与えても結果がランダムに変動することが考えられる. ここでは, 同一条件で5回試行し, その平均をもって結果を評価することとした. 毎月発生させる孔食の数Nは, 結果に大きな影響を及ぼすパラメータである. ここでは, Nを変化させて, 平均断面積減少率や板厚変動係数の変化を調べた.

比較する対象としては, 促進腐食試験データの中, 点状塗膜損傷を与えた試験体の結果を用いた. 文献1)では, 点状塗膜損傷を与えた試験体として丸, および細丸の2種類を用いているので, これらの結果の平均を比較すべき実験値とした.

## 4. シミュレーション結果

結果の評価は, 基本的に板厚変動係数によった.

すなわち、シミュレーションから求めた変動係数と実験値との整合性をもってシミュレーションの精度とした。

Nを一定としてシミュレーションを行った結果では、経過月は3ヶ月のように短期間の場合の変動係数は実験値より小さく、12ヶ月、15ヶ月のように長期間になると、逆に実験値を大きく上回ることが分かった。そこで、3ヶ月毎の結果と最も整合するようなNを求めた。結果を表1に示す。表から明らかのように、経過月の増加とともに、最適なNは急激に減少する。長期間の場合、早期に発生して時間とともに進展した孔食の影響が大きいと考えられる。実際の腐食においても、腐食発生から時間が経過した孔食の影響が大きいと思われるので、本シミュレーションは単なる数値実験というだけではなく、ある程度は実現象の特性を捉えているようにも思われる。

表1 最適な発生数N

月	N
3	90
6	35
9	24
12	15
15	11

単一のアルゴリズムで全期間をシミュレートするとすれば、孔食の進展にともなって毎月の腐食発生数を減じることも考えられるが、Nの関数形を定めるのに十分なデータがないので、今回はNは一定とした。

表1の最適Nを用いて3ヶ月毎の板厚変動係数、平均断面積減少率を求めた結果を表2, 3, および図1, 2に示す。

表2 平均板厚変動係数

	実測値	シミュレーション結果
3ヶ月	0.026~0.027	0.026
6ヶ月	0.039~0.044	0.042
9ヶ月	0.082	0.085
12ヶ月	0.088~0.116	0.102
15ヶ月	0.137~0.226	0.163

表3 平均断面積減少率 (%)

	実測値	シミュレーション結果
3ヶ月	2.66~3.73	2.85
6ヶ月	6.19~6.41	5.32
9ヶ月	8.96~13.52	10.12
12ヶ月	11.47~16.09	13.40
15ヶ月	10.23~19.48	18.07

表、および図から分かるように、板厚変動係数が実験値と整合するようにNを定めた結果、断面積減少率のシミュレーション結果も実験値をよく一致し

ていると言える。実際の現象においては、断面積減少率と板厚変動係数にはかなり高い相関があることが知られている。従って、一方の結果が一致すれば、他方も一致するのが当然という解釈もできないこともない。しかしながら、今回の結果は、あくまで腐食形状だけに着目した数値シミュレーションであって、電気化学的な腐食現象そのもののシミュレーションではないことを考えれば、自明の結果とは言えないのではないかとも思われる。

いずれにしても、比較的簡単な考え方に基づいてシミュレーションが実現象をよく近似していることから、ここで提案する方法は、将来、実構造物の孔食の進展予測に十分利用可能であると考えられる。

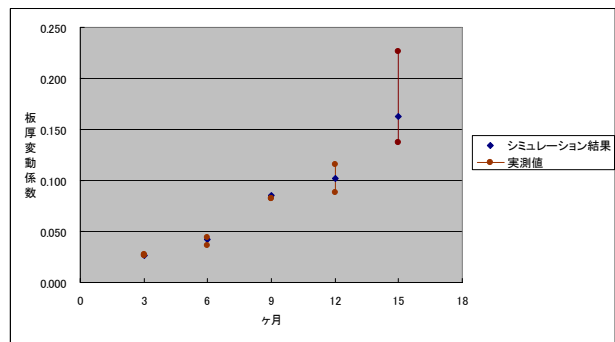


図-1 板厚変動係数

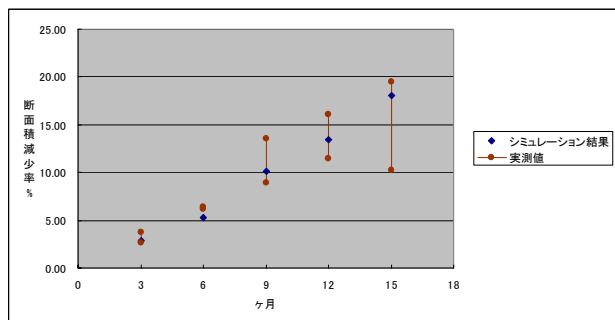


図-2 断面積減少率

## 5. 結論

線状の塗膜損傷からの孔食進展予測式を点状損傷から2次元的に進展する孔食予測に拡張して、孔食進展シミュレーションを行なった。シミュレーションの結果、パラメータNを適切に選べば、断面積減少率、板厚変動係数とも実験値とよく一致することが分かった。

## 参考文献

- 1) 谷口津美：鋼板の孔食による降伏荷重の低下とそのメカニズム，2006 年度高知工科大学修士論文
- 2) 福岡弘次，藤澤伸光：鋼板の孔食進展予測，土木学会四国支部第14回技術研究発表会講演概要集，平成20年5月