

構造物への塩分沈着に対するセルオートマトンの適用に関する研究

広島大学 学生会員 田口 義隆
 広島大学大学院 フェロー会員 ○中村 秀治
 広島大学大学院 正会員 藤井 堅

1. はじめに

塩分粒子の飛来する地域において、鋼構造物の腐食進行が一般的に顕著に見られる。また、同一の構造物においても、部位毎に腐食速度に大きな違いが見られる。この主な理由の一つとして、構造物周りの気流の影響が考えられるが、乱流解析するのは容易でなく、実用的でもない。そこで、本研究においては、セルオートマトン法 (CA)¹⁾を用い、腐食実態により近い状態をシミュレーションできるローカルルールを検討して、腐食分布予測に対する CA の適用性を確認する。

2. CA によるシミュレーション方法

以下の手順で検討を行う。

- (1) 長方形領域を正方格子状に区切り、 50×100 のセルを設定する。
- (2) 特定のセルは橋の断面を構成するものとして指定する。
- (3) 有限要素法による 2 次元ポテンシャルフロー解析を行い、空間内の流れ場を設定する²⁾。
- (4) 乱数を用いて、流れ場の中に塩分粒子を発生させる。塩分粒子の質量も乱数で与える。
- (5) 気流および重力の作用下でローカルルールに従って塩分粒子を移動させ、橋断面に衝突した塩分粒子は沈着させる。
- (6) 橋断面に沈着した塩分粒子の質量の分布状態を検討する。

3. ローカルルールについて

腐食実態により近づける為に、以下のようなローカルルールを設定した。

(1) 塩分粒子の動きについて

- (i) 塩分粒子の存在するセルの 4 つの節点の流速を平均化したものと、その塩分粒子が Δt 時間ステップ前に持っていた流速とを加味して、セルの流速とする。
- (ii) 得られた流速の範囲によって移動セル数を Table 1 のように割り当てる。この時、1 ステップでの最大移動数は、 x, y 軸方向ともに 4 つまでとし、 y 軸方向は重力の作用も考慮する。また、塩分粒子は Fig. 1 に示すような移動履歴をとる。

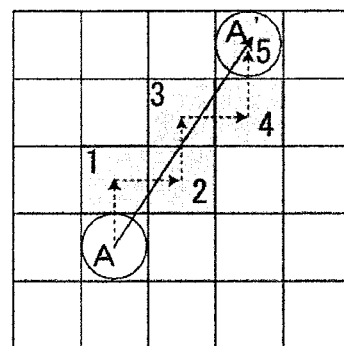


Fig. 1 塩分粒子の移動履歴

- (2) 塩分粒子のセルが重なった場合、二つの塩分粒子は一つのものになることにする。その際、それぞれの粒子に乱数で与えた質量は衝突によって合体することにする。
- (3) 塩分粒子のセルと、橋の断面のセルが重なった場合は、塩分粒子は沈着すると考え、そこで移動を止める。塩分が沈着した橋の断面には、それぞれの粒子が有する質量を累積していき、その値を累積評価する。
- (4) 塩分粒子が 50×100 のセルの枠の外、すなわち上下端、及び左右端を越えた場合、越えた塩分粒子は消滅するものとする。

x軸方向		y軸方向	
流速 V_x (m/s)	移動セル数	流速 V_y (m/s)	移動セル数
$V_x < -2.5$	-4	$V_y < -2.5$	-4
$-2.5 \leq V_x < -1.5$	-3	$-2.5 \leq V_y < -1.5$	-3
$-1.5 \leq V_x < -0.5$	-2	$-1.5 \leq V_y < -0.5$	-2
$-0.5 \leq V_x < 0$	-1	$-0.5 \leq V_y < -0.2$	-1
$0 \leq V_x < 0.5$	1	$-0.2 \leq V_y < 0.2$	0
$0.5 \leq V_x < 1.5$	2	$0.2 \leq V_y < 0.5$	1
$1.5 \leq V_x < 2.5$	3	$0.5 \leq V_y < 1.5$	2
$V_x \geq 2.5$	4	$1.5 \leq V_y < 2.5$	3
		$V_y \geq 2.5$	4

Table 1 塩分粒子の移動におけるローカルルール

4. シミュレーション結果

上記のルールに従い、桁断面周りの流れ場を生成し、塩分粒子の移動をシミュレーションしてみた。

(1) プレートガーダー断面 (Fig. 2)

プレートガーダーの断面を用いて、重力成分を様々に変化させてのシミュレーションを行った。

Fig. 2 は、重力作用による移動を各ステップで 0.5 セルとし、100 ステップまでシミュレーションを行った時の結果である。重力の作用により、下フランジへの沈着が顕著に見られる結果となった。

(2) 4 主桁断面 (Fig. 3)

次に、4 主桁断面を用いたシミュレーションを行った。重力作用による移動を 0 とすると、100 ステップまで行った結果は Fig. 3 のようになる。また、1000 ステップ後の断面別沈着割合を Fig. 4 に示す。

この結果を日本道路公団が行った実橋調査結果 (Fig. 5) と比較する³⁾。このとき、さびの程度からレベル 3 以上の割合だけを対象として考えると、ウェブはレベル 3 の割合が少し存在するだけでほぼ 0%、また、下フランジ上面の合計と、下フランジ下面の合計については、ほぼ同じ割合でさびが存在していることから、シミュレーション結果とほぼ類似していることがわかる。

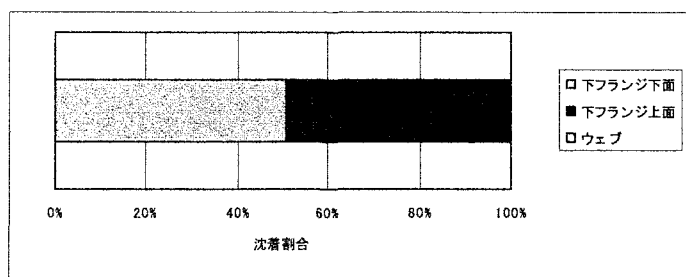


Fig. 4 4 主桁断面のシミュレーション結果

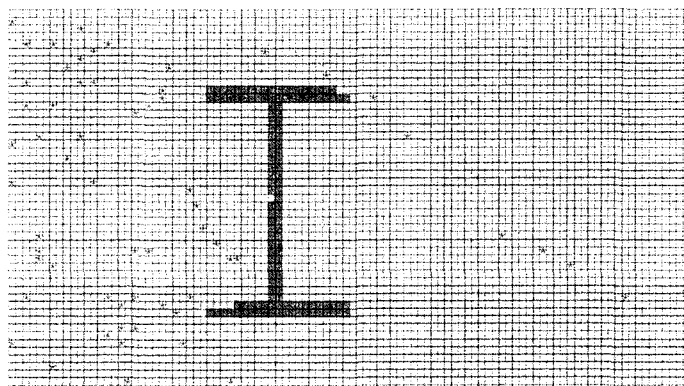


Fig. 2 プレートガーダー断面

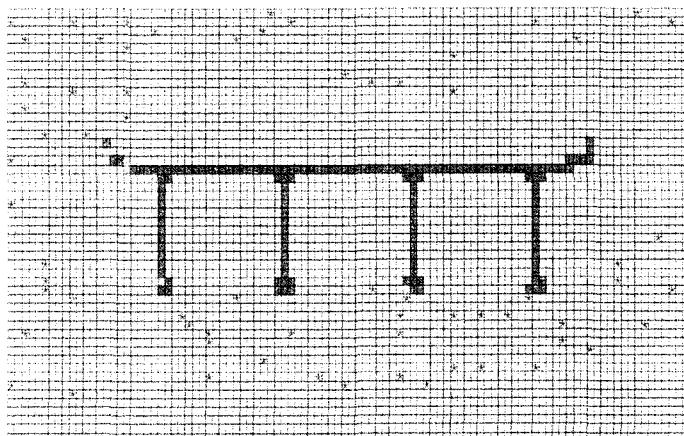


Fig. 3 4 主桁断面

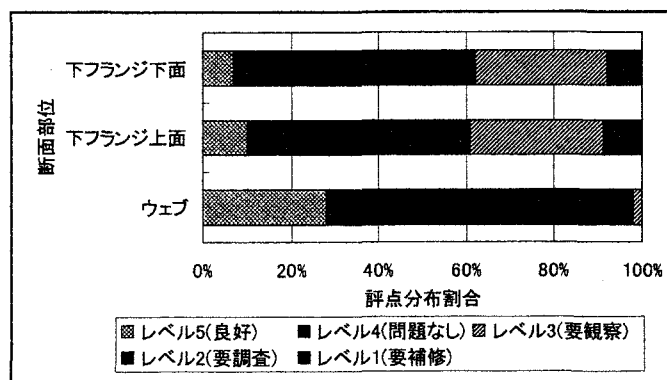


Fig. 5 実橋調査結果におけるさびの生成状況評価

5. 結論

以上の通り、ポテンシャルフロー理論に従い有限要素解析することで橋桁まわりの流れ場を生成し、設定したローカルルールにより塩分粒子が気流に乗って移動する様子をシミュレーションしてみた。本検討の結果、次の結論が得られた。

- (1) 重力の影響を適切に設定することにより、腐食分布実態に近い塩分粒子の沈着分布を得ることができる。
- (2) シミュレーション結果に基づく塩分付着分布特性と、実際に供用中の橋桁の腐食計測結果による腐食分布特性とを比較した結果、両者は概ね合っていることが確認できた。

参考文献

- 1) 森下信：セルオートマトン—複雑系の具象化—, 2003
- 2) 土木学会：風工学における流れの数値シミュレーション法入門, 1992
- 3) 財団法人 高速道路技術センター：四国支社管内 鋼構造物補修方法に関する検討 報告書, 2002