

橋桁形状に応じた飛来塩分作用の定量評価

氏名：Hashizume Lujan Alex Kazuo

指導教員：中村文則

1. はじめに

高度経済成長期に整備された社会インフラが老朽化している状況は、多くの地域で共通の課題となっている。道路橋の老朽化がその一例である。国土交通省より、国内の道路橋が約70万橋あり、今後の10年で建設後50年以上経過する老朽橋が4割以上になると見込まれている。コンクリート橋に広く見られる劣化現象は主に塩害である。これは、海などから飛来する塩分が鋼コンクリート橋に大量に浸透し、結果としてコンクリート内の鋼材が腐食したり、コンクリートが剥離したりする現象を指す。

海から運ばれる飛来塩分は、橋梁の部位や部材ごとに付着量が異なるため、その劣化の程度に大きく影響を与えることが知られている。したがって、橋梁の維持管理の観点からも、構造物表面に到達する飛来塩分を事前に予測することが重要である。これにより、劣化の進行状況を把握し、適切な補修や塩害対策を行うことが可能となる。既往研究¹⁾のように数値解析によりT桁橋梁上部工に付着する塩分量分布を予測されている。しかしながら、構造物表面に到達する飛来塩分は、形状や寸法によって変化するが、これらの影響を詳しく研究した事例は限られている。

そこで、本研究では、実際に建設された橋梁を基に、様々な桁橋の断面に応じて数値解析により付着した飛来塩分を定量的に評価する調査を行った。

2. 対象橋梁

青海川橋、マレーシア・シンガポール第二連絡橋、青山地区高架橋、ワルミ大橋、阿嘉大橋、新五十川橋などの橋梁を参考にし、図-1に示す橋桁の断面を解析した。

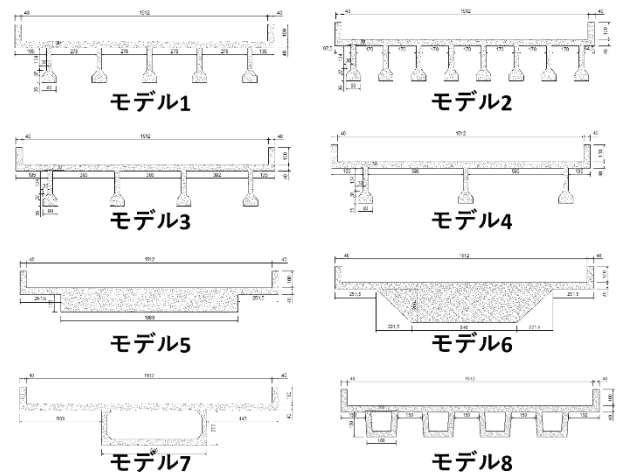


図-1 対象断面

3. 数値解析概要

本研究の解析手法は、2段階に分かれている。第一段階では有限要素法を用いて、桁橋断面の近傍の風速の流れを解析する。そして、第一段階で得られた結果を用いて、第二段階では粒子拡散手法の一種であるランダムウォーク法²⁾を用い、飛来塩分の移動を解析した。

3.1 風速の解析

橋梁周辺の風速場は、OpenFOAMを用いて解析している。

OpenFOAMは、有限体積法を用いた計算流体力学(CFD)のオープンソースソフトウェアであり、計算領域を制御体積やセルに分割する。支配方程式をこれらの制御体積に沿って積分し、各セルにおける速度、圧力、温度などの未知の流れ変数に関する代数方程式を得る。

計算領域は制御体積のグリッドに分割され、有限体積法が使用されてこれらの制御体積内でナビエ・ストークス方程式を数値的に解く。また、計算領域の境界に境界条件を適用して、モデルの入流、出流等表現する。この解析は、空気流のパターンが空気中の塩粒子の輸送と拡散にどのように影響するかを理解するために不可欠である。

3.2 飛来塩分の移流・拡散・構造物への付着解析

本研究では、飛来塩分の移流拡散モデルとして3次元ランダムウォーク法が採用されている。このモデルは、空気中の個々の塩粒子のランダムな移動をシミュレートし、その軌跡やモデル表面への堆積パターンを予測する。

4. 模型実験概要

本研究の解析の妥当性を確認するためには、結果を実験データと比較するための実験である。

この実験で使用した模型は、寸法は高さ346mm、幅1592mm、である。奥行きは実験設置の測定範囲を合わせるために、900mmとなっている。模型は実際の橋桁である青海川橋の形状を基にしており、縮尺は約1/6で発泡スチロール製である。

縮尺模型は、図-2のように実験施設の中に設置した。施設の寸法は、長さが9.0m、幅が2.0m、高さが2.0mである。中央部は断面の寸法が幅0.9m、高さ2.0mの測定領域である。

風速を約3.5m/sに設定し、熱線式風速計を4台使用し、模型周辺の風速を各測定点で移動させる手法で測定を行った。

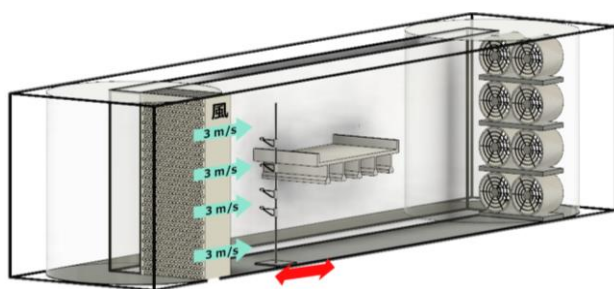


図-2 実験設置の全体図

5. 解析方法

4.1. 解析領域と解析条件

図-3に示している解析領域は模型実験を再現するために、寸法が一緒となっている。

図-4には、要素分割図（メッシュ図）を示す。総体的には、目標メッシュを10,000要素と

設定し、モデル近傍で高い解像度を確保するため、図-3に示す再分割を行い、周囲は6倍のメッシュとした。

計算条件は、流体相は空気であり、空気の動粘性係数は $0.00001515 \text{ m}^2/\text{s}$ 、密度は $0.001201 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。また、流体の種類はニュートン流体とし、計算は非定常の乱流であり、計算時間は30秒または時間間隔は0.1秒と設定した。

初期条件として、速度を(1.0, 0.0, 0.0) m/s に設定し、境界条件として、左側の風上側から速度を(3.5, 0.0, 0.0) m/s とし、自然流入境界条件を設定した。また、速度0.7と圧力0.3の緩和計数を計算設定として行った。

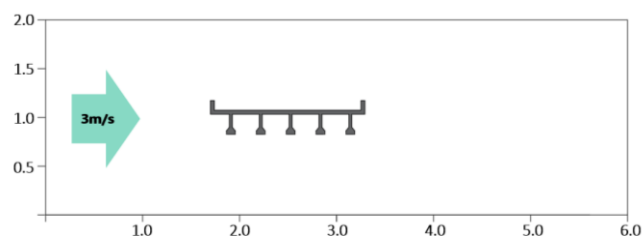


図-3 計算領域（単位：m）

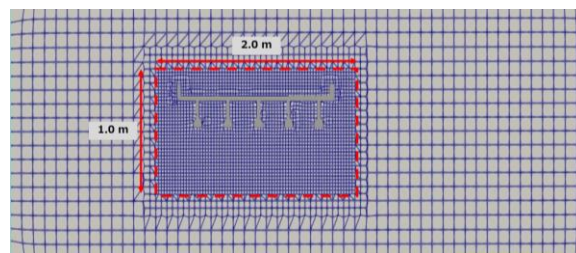


図-4 計算メッシュ

4.2. 解析結果

図-5は、30秒後の橋桁周辺の風速分布を示しており、色は風速の値を表している。これらの図から明らかなように、モデルの上下で風の流れが分けられ、風速は増減することが分かった。また、モデル近傍では風速が低下する傾向が観察される。また、橋桁上部では、大規模な渦が発生し、風速は2.5 m/s程度に達することが観察される。

同様に、橋桁下部では主桁の間で渦が発生し、風速は 1.0m/s 程度となり、風が吹いていると反対側の風速がより大きいことがみられる。これらの渦は、時間の経過とともにその大きさと強度が常に変化するダイナミックな振る舞いを示している。このダイナミックな振る舞いは、乱流の現象に特有のものであり、流れの分離、循環、渦度などの要因に影響を受けると考えられる。渦の変動する性質にもかかわらず、比較的高い速度でモデルを取り囲む「バブル」が形成されるパターンが現れる。このバブル内では、空気の色が低く不安定なままである。

図-6では、実験と解析の結果を比較し、誤差の存在にもかかわらず、実験データとシミュレーションデータの両方で観察される全体的な流れパターンは一貫している。この一貫性は、計算モデルがモデル構造物周りの気流の一般的な特性を効果的に捉えていることを示している。したがって、解析の信頼性が確認された。

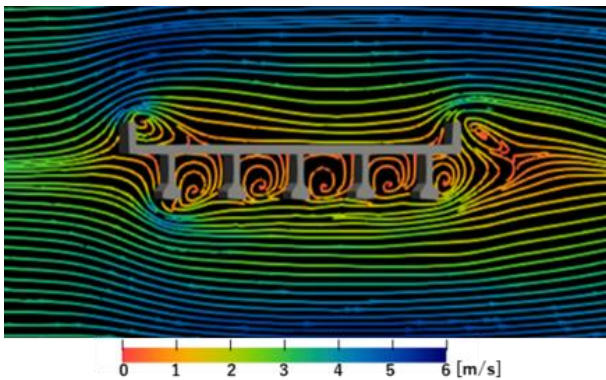


図-5 風速分布の結果

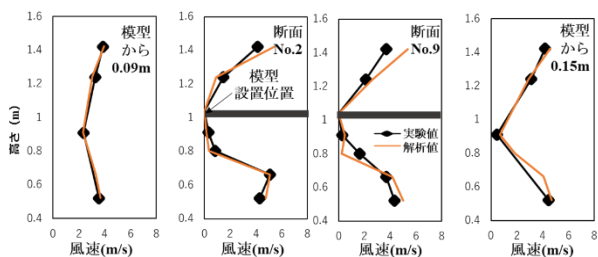


図-6 結果の比較

図-7は、表面に塩分子が付着する様子を示す。観察から、モデル1では、主に後部の主桁の間に塩分が蓄積している。一方、より滑らかな空気流パターンを持つモデル5はより均等な分布を示している。図-8では、モデル全体やその下部に付着する塩分子の量には大きな違いがないことを示している。代わりに、主な違いは、塩分子がモデル表面に蓄積する特定の領域にある。この観察から、異なる領域間でモデルに付着する塩分子の総量が似ている場合でも、分布や蓄積パターンが異なることが示唆され、粒子の付着に影響を与える局所的な要因があることが示されている。

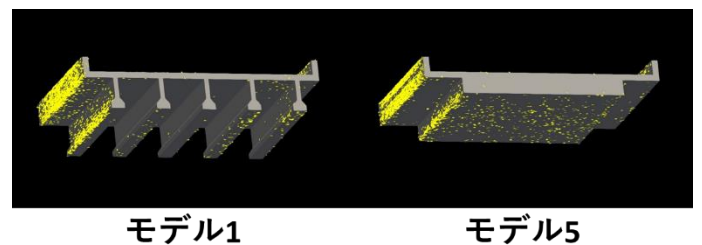


図-7 塩分付着の結果

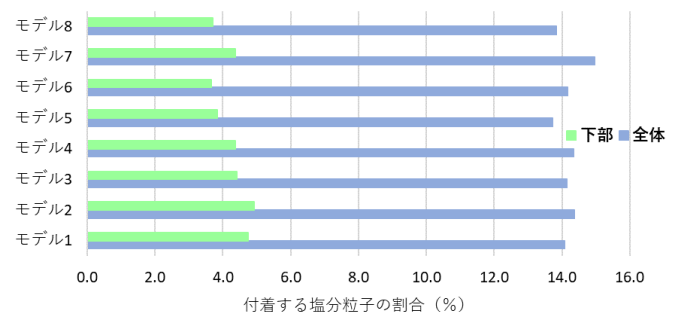


図-8 風速分布の結果

参考文献

1. 富山潤、他：「コンクリート橋上部工に付着する飛来塩分に関する数値解析」、コンクリート工学年次論文集、Vol. 36、2014年
2. 田中 孝和、他：「ランダムウォーク法による飛来塩分の拡散シミュレーションに関する研究」、コンクリート工学年次論文集、Vol. 26、2004年