

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15067

研究課題名（和文）海洋コンクリート構造物における塩化物イオン供給メカニズムの解明

研究課題名（英文）Study on the Mechanism of Chloride Ion Supply for Marine Concrete Structures

研究代表者

田中 豊 (Tanaka, Yutaka)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・港湾空港技術研究所・研究員

研究者番号：00792706

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：係留施設の一つである栈橋の上部工下面を対象として、現地における表面塩分濃度測定および数値流体解析による風況解析を実施し、栈橋上部工下面における塩化物イオンの供給メカニズムについて検討を行った。現地測定による表面塩分濃度の空間分布と栈橋上部工下面の風況解析結果との間に相関があることが示唆された。また、パラメトリックスタディーにより、海面と栈橋上部工下面との距離が近いほど風速場が乱れて梁側面や床版に直接的に向かう流れが形成され、塩化物イオン供給の空間的な非一様性に影響を与えていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

栈橋は非常に厳しい塩害環境下にあるため、特に上部工下面は塩害による劣化が進行しやすい。施設を長期に亘って安全に利用するためにも適切な維持管理が必要であるが、上部工下面の点検は、小型ボート等からの目視点検が一般的であり、労力を要する作業となる。本研究では、数値解析により塩化物イオンが供給されやすい箇所を概ね見当付けることができることを示した。この成果は、重点的に点検する箇所やセンサ設置箇所の選定等の維持管理の高度化および効率化に資するものであり、社会的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：To understand the mechanism of chloride ion supply for the underside of a superstructure of an open-type wharf, on-site investigation and wind flow simulation have been carried out in this study. From the results of this study, the spatial distribution of chloride ion supply and wind flow at the underside of the superstructure has a relation. In addition, the shorter the distance between the sea-water surface and the superstructure becomes, the stronger the wind flow becomes disturbed. This disturbance causes the complex wind flow directed toward slabs. Therefore, not only beams but also slabs, which have a long distance from the sea-water surface, have much surface chloride ion content. Moreover, the complex wind flow affects the spatial distribution of the surface chloride ion content at the underside of the open-type wharf.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：塩害 海洋構造物 維持管理 栈橋 数値解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋鉄筋コンクリート(RC)構造物は、非常に厳しい塩害環境下にさらされている。海洋RC構造物を長期に亘って安全に利用するためにも、適切な維持管理が必要である。海洋RC構造物の点検では、目視による点検が一般的に行われるが、係留施設的一种である栈橋の上部工下面のように、小型ボート上から目視点検を実施する場合もある。そのため、潮汐等の気象・海象条件に起因する作業時間の制約および作業安全性の問題等、点検作業に要する労力が大きい。点検作業の効率化を図る方法として、センサによるモニタリングや劣化が進行しやすい箇所を予測し重点的に点検を行う等が挙げられる。しかしながら、劣化の進行は一様でないこと、さらには一部材内でも塩化物イオンの浸透状況が一様でないことが既往の研究等で示されており、劣化進行の非一様性を考慮してセンサ設置箇所や重点点検箇所を選定する必要がある。

塩害による劣化進行の非一様性に関して、海水からの塩化物イオンの供給状況やコンクリートの品質等様々な要因が影響を及ぼしているが、それらの要因がどの程度影響を及ぼしているのか、どの要因が支配的であるか等は明確でないため、正確度の高い劣化予測は困難である。このことから、塩害による劣化進行に影響を及ぼす要因とその影響度を把握することができれば、より正確度の高い劣化予測、ひいては維持管理の高度化および点検の効率化を実現できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、栈橋上部工下面の塩害による劣化が進行しやすい箇所およびその条件を明らかにし、維持管理の高度化および点検の効率化を図ることである。塩害による劣化は、塩化物イオンの供給、コンクリート中への塩化物イオンの浸透、鋼材腐食、ひび割れ発生と進んでいくが、本研究では、最初の段階である塩化物イオンの供給に着目し、栈橋上部工下面においてどこが塩化物イオンの供給が多いのか、影響を及ぼす要因は何かを検討することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、現地観測による栈橋上部工下面における付着塩分濃度の空間的な分布の把握、数値解析による再現計算および数値解析によるパラメトリックスタディーの流れで研究を行うこととした。

について、供用開始から約50年、表面被覆工法により補修が行われてから約20年が経過した栈橋(栈橋Aと称する。)において表面塩分濃度調査を実施した。測定方法は、鋼材の下地表面の付着塩分濃度測定に用いられるプレスル法を用い、図-1および図-2に示す計22箇所(N=3)で測定した。

および について、オープンソースの数値計算ツールであるOpenFOAMを用いて、栈橋上部工下面における風況解析を実施した。現地観測結果と風況解析結果との整合性を確認し、前垂れの有無等の構造諸元や海面-部材間距離を変化させたパラメトリックスタディーを行った。

4. 研究成果

現地観測による栈橋上部工下面における付着塩分濃度測定

図-3に付着塩分濃度の測定結果を示す。港湾構造物では一般的に、海面からの距離が近いほど表面塩化物イオン濃度が高い傾向にあることが示されており、梁に関する測定結果(1~5、11~17、20~22番)は概ね既知の傾向と整合する結果となった。特に、海面に近い1番においては、他の梁

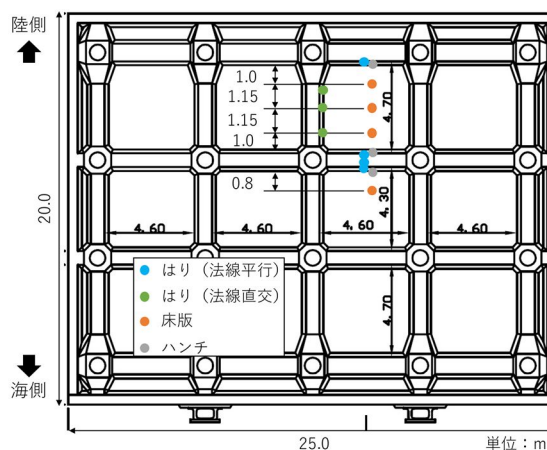


図-1 対象栈橋の平面図および測定箇所

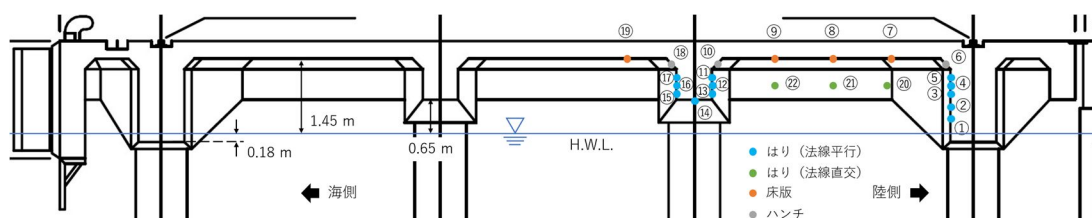


図-2 対象栈橋の断面図および測定箇所

の測定結果よりも付着塩分濃度が高いため、波による直接的な塩分の供給が多いものと推察される。床版に関する測定結果（7～9、19番）は、梁の結果よりも付着塩分濃度が低いことを予想していたが、実際には、全測定結果中最も高い付着塩分濃度が床版（7および8番）で測定された。このことは、海面からの距離や波による影響とは別の要因が、付着塩分濃度の空間的な分布に大きく影響を及ぼしていることを示唆している。そのため、その一つの要因と考えられる風の影響を検討するため、OpenFOAMによる数値解析を実施することとした。

数値解析による栈橋上部工下面の風況解析およびパラメトリックスタディー

OpenFOAMを用いて、鉛直二次元の風況解析を実施した。流入境界に2.5 m/s（栈橋Aの最寄りの気象観測所で観測された風速データの20年分の平均風速）の一樣風速を与えた解析結果を図-4に示す。なお、海面は波を考慮せず平坦とし、高さは平均潮位とした。図より、栈橋上部工下面の複雑な形状の影響を受けて流れも複雑となっており、床版へ向かう流れが形成されていることが確認された。概ね床版の中央から陸側にかけて風が直接的に作用する解析結果となっており、7および8番で付着塩分濃度が高かったこととも整合した。このことから、栈橋Aにおける上部工下面の付着塩分濃度の空間的な分布には、波の影響だけでなく、風の影響も大きいこと、数値解析により、概ね付着塩分濃度の空間的な分布を推定できる可能性が示された。

栈橋の構造諸元および海面 - 部材間距離を変化させ、風況解析を実施した。構造諸元については、現地観測を実施した栈橋Aとは異なる2つの栈橋（栈橋B、栈橋Cと称する。）を参考とし、海面 - 部材間距離についても、それぞれの栈橋が設置されている場所におけるHWL（朔望平均満潮位）およびLWL（朔望平均干潮位）を用いた。解析結果を図-5～図-8に示す。図-5および図-7より、海面 - 部材間距離が近い場合、比較的速い流れが上部工下面でも生じ、流れが乱れやすくなることが確認できる。特に図-7では、梁側面にぶつかった流れにより渦が生じ、特に床版の陸側に直接的に風が作用する結果となった。また、図-4とも比較すると、栈橋Aは前垂れが長く、梁高さも異なっているため、複雑な流れが形成されているが、前垂れが短く、梁高さも概ね揃っている栈橋Bおよび栈橋Cでは、LWL時における栈橋上部工下面の流れが比較的平坦である。しかし、HWL時には流れが乱れ、複雑な流況を示している。以上のことから、栈橋上部工下面の形状が流況に影響を及ぼすことはもちろんのこと、海面 - 部材間距離も大きな影響を及ぼすことが確認された。特に、HWL時のように海面 - 部材間距離に近いほど、栈橋上部工下面の流速が大きくなり、流れも乱れやすくなることが確認された。

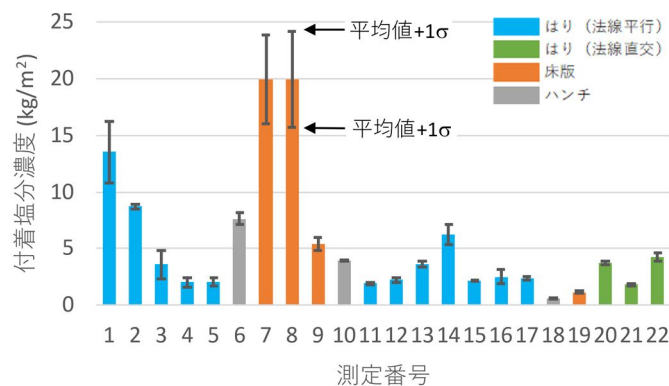


図-3 付着塩分濃度の測定結果

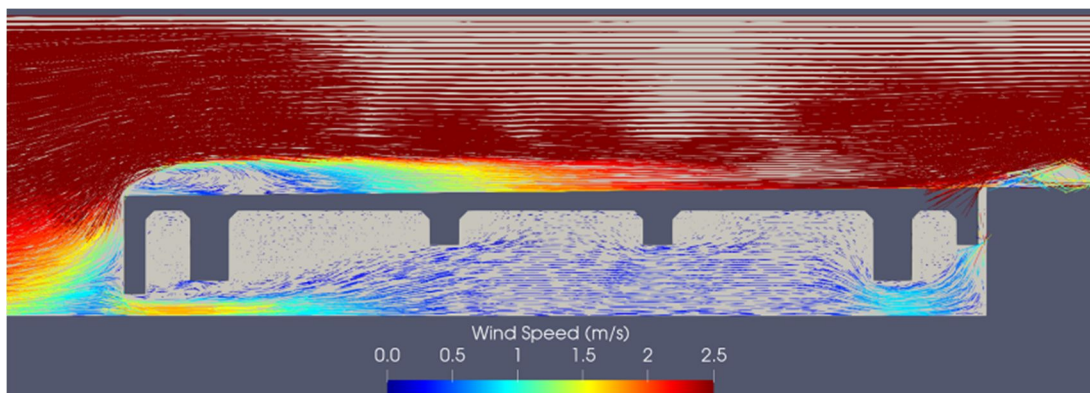


図-4 解析結果（栈橋A）

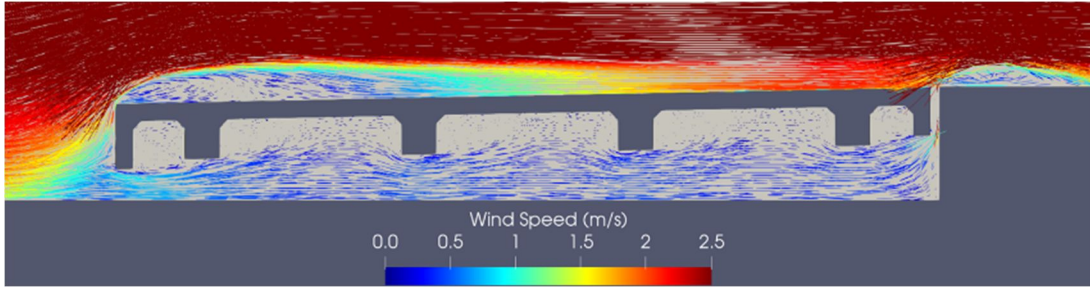


圖-5 解析結果 (棧橋 B、HWL 時)

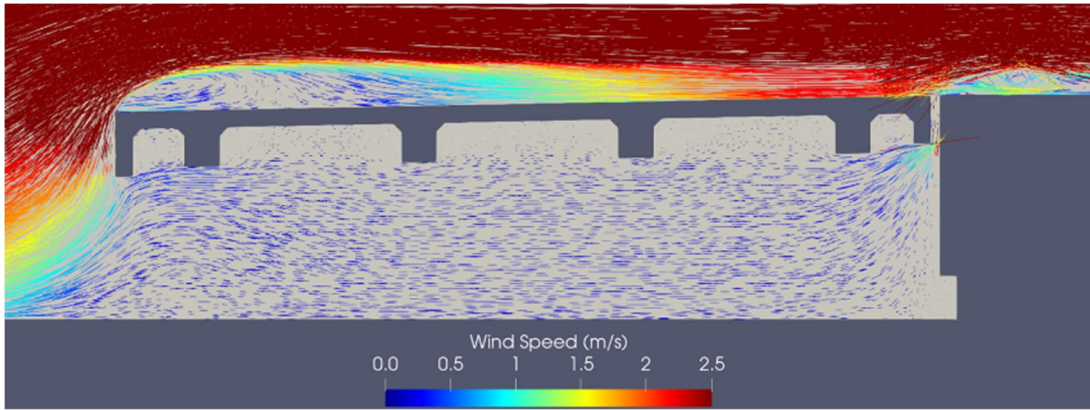


圖-6 解析結果 (棧橋 B、LWL 時)

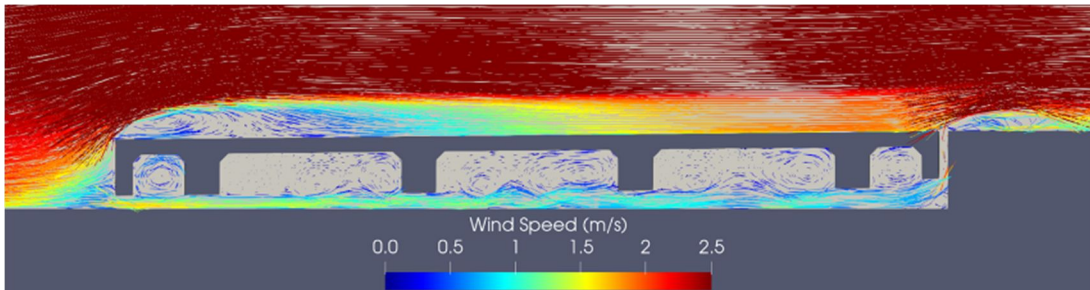


圖-7 解析結果 (棧橋 C、HWL 時)

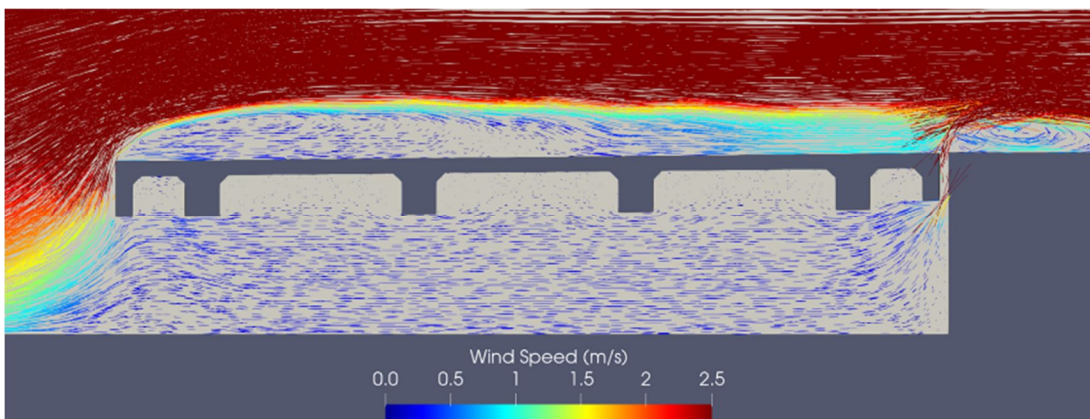


圖-8 解析結果 (棧橋 C、LWL 時)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 田中 豊 |
| 2. 発表標題 棧橋上部工下面における付着塩分濃度の空間分布に関する現地調査 |
| 3. 学会等名 土木学会第76回年次学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|