

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14224

研究課題名（和文）水掛かりを受けるコンクリート構造物の劣化機構の理解と維持管理への提案

研究課題名（英文）Understanding the deterioration mechanism of concrete structures subjected to local water supply and suggestions for maintenance management

研究代表者

小池 賢太郎 (Koike, Kentaro)

鹿児島大学・理工学域工学系・助教

研究者番号：30781992

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：橋梁では排水不良等が原因で部材へ局所的に水が供給される場合があり、水掛かり部周辺における集中的な劣化が問題となっている。そこで、本研究では、水掛かり部を模擬した供試体を作製し、埋設電極を用いたコンクリート比抵抗の計測により、コンクリート内部の水分移動特性の把握を行った。また、RC梁供試体を用いた実環境暴露により水掛かりが内部鉄筋に及ぼす影響についても併せて検討した。これらの検討により、水掛かりを受けるコンクリート構造物の劣化機構の理解と維持管理への提案に資する情報の取得を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、鉄筋コンクリート構造物の維持管理では、内部鋼材に及ぼす水の影響について、耐久性照査へ十分に反映されているとは言えず、耐久性照査に資する情報としての包含的な整理、また鋼材腐食への影響が十分に評価されたとは言えない。

本研究で得られた成果は、水掛かりを受けるコンクリート構造物の劣化機構の理解につながるもので、これらの情報を基に、今後は適切な補修工法の提案、維持管理体系の高度化が期待される。

研究成果の概要（英文）：In bridges, water is sometimes supplied locally to members due to poor drainage, etc., and concentrated deterioration around water-hanging areas is a problem. In this study, a specimen simulating a water-hanging area was fabricated, and the concrete resistivity was measured using a buried electrode to understand the characteristics of water movement in the concrete. In addition, the effect of water exposure on the internal reinforcing bars was also investigated by using RC beam specimens exposed to a real environment. Through these investigations, we obtained information that contributes to understanding the deterioration mechanism of concrete structures subjected to local water supply and to making suggestions for maintenance and management.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：水掛かり 塩害 水分移動 環境差腐食 腐食速度

## 様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物の劣化現象の多くには“水”が係わっている。実構造物を例に、橋梁では構造上の問題あるいは排水装置の不良が原因で、局所的に水分が供給される環境が形成されるケースがあり、このような“水掛かり部”周辺では、特に変状が顕在化しやすいことが明らかになっている。また、土木学会コンクリート標準示方書設計編、維持管理編では、劣化に対する照査において水の影響を考慮する旨の記載が改訂に伴い追加されるなど、近年はコンクリート構造物の耐久性において水の影響を重要視する傾向にある。しかし、水の影響を考慮した耐久性照査を行うにあたり、水掛かり部などの局所的な給水を受ける環境でのコンクリート中の劣化因子の移動特性や、それに起因する内部鋼材の腐食特性(マクロセルの形成や腐食速度など)については、未だ体系化されていない状況にある。

### 2. 研究の目的

本研究では、これら課題への対応として、中性化、塩害、およびこれらの複合劣化に着目し、局所的な給水を受ける環境でのコンクリート中の劣化因子の移動特性、内部鋼材の腐食特性を実験的に明らかにするとともに、水掛かりを受ける構造物に対する適切な維持管理手法を提案することを目的とする。

### 3. 研究の方法

そこで、本研究では上記課題に対して、以下を検討項目として設定し、水掛かりを受けるコンクリート構造物の劣化機構の理解と維持管理への提案に取り組んだ。

#### (1) 水掛かり部周辺における劣化因子の移動特性の把握

劣化因子(水、二酸化炭素、塩化物イオン)について、水掛かり部、非水掛かり部での移動特性の違いを実験的に検討し、セメント種類、水セメント比、空隙構造の観点から整理する。

#### (2) 水掛かり部周辺における内部鋼材の腐食特性の把握

同一鉄筋上に水掛かり部、非水掛かり部が混在する場合の鋼材の腐食特性を電気化学的(自然電位法、交流インピーダンス法、直線分極法ほか)に評価する。

#### (3) 水掛かりを受けるコンクリート構造物に対する適切な維持管理手法の提案

上記の結果を基に、水掛かりを受けるコンクリート構造物に対する適切な維持管理手法の提案をする。

### 4. 研究成果

#### (1) 供試体概要

図-1 に供試体概要図を示す。供試体は主筋として 13 の磨き丸鋼をかぶり 30mm で 4 本、スタールップ筋として 5 の磨き丸鋼を 180mm 間隔で 7 本埋設した 150 × 150 × 1200mm の角柱供試体とした。また、塩害による腐食環境を模擬するため、練り混ぜ時に  $C1^-$  量が  $5\text{kg}/\text{m}^3$  となるように NaCl を外割添加した。打設後、材齢 28 日まで湿潤養生を行った。

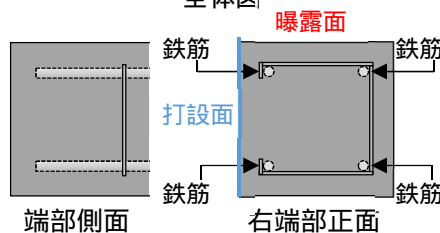
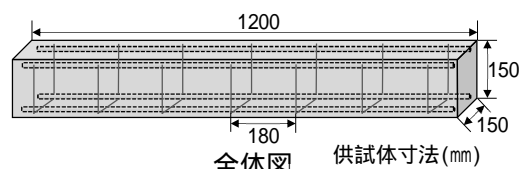


図-1 供試体概要図

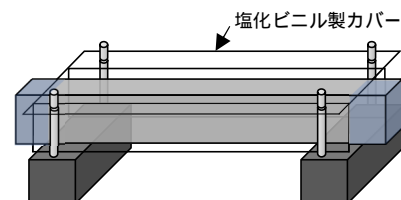


図-2 端部露出供試体概要図

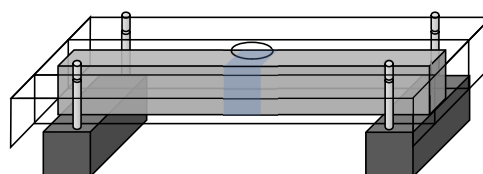


図-3 中央露出供試体概要図

■...水掛かり部

試験概要

水分の供給状態を変化させた，以下4種類の曝露を実施した．

屋内カバーなし：水分供給がない20一定の室内に静置した．

屋外カバーなし：遮蔽物のない状態で屋外に曝露した．

屋外端部露出：梁両端12.5cmのみ開放させたカバーを設置し屋外に曝露した．(図-2)

屋外中央露出：梁中央部に5cmの孔を設けたカバーを設置し屋外に曝露した．(図-3)

なお，屋外曝露はいずれの供試体も鹿児島大学海洋土木工学棟の屋上に曝露した．また，曝露期間は3年である．

(2) 試験項目

カソード分極試験

水掛かり部，非水掛かり部での内部鉄筋の腐食特性を評価するため，カソード分極試験を実施した．計測は，各供試体の鉄筋

の中央部と右端部で行った．ガルバノスタットを用いて自然電位から卑側へ分極させた．測定方法は，対極(10×3cm)をコンクリート表面に設置し，電流を1μA~1mAまで変化させたときの電位を測定した．

腐食面積率および腐食減量

各供試体の主筋4本をはつりだし，鉄筋を10等分になるように114mmで切断した．その後，鉄筋の腐食面積率，腐食減量を求めた．

(3) 試験結果および考察

カソード分極試験

図-4に屋外端部露出および屋外中央露出供試体のカソード分極曲線を示す．屋外端部露出の各位置での分極曲線は類似しており，ターフェル勾配は同程度であった．このことから，水および酸素の供給状態は同程度であったと予想される．これは，端部からの水の供給が供試体中央部まで影響していた可能性が高い．

一方，屋外中央露出の各位置での分極曲線は大きく異なり，

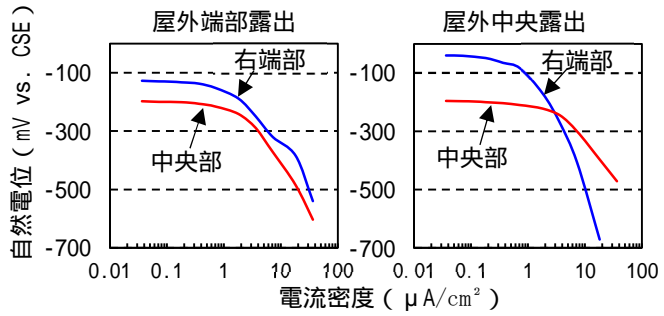


図-4 カソード分極曲線

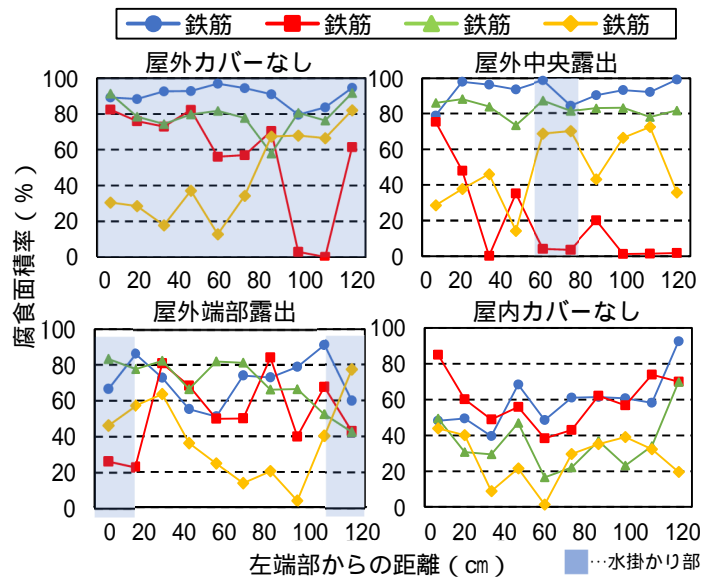


図-5 各供試体の腐食面積率

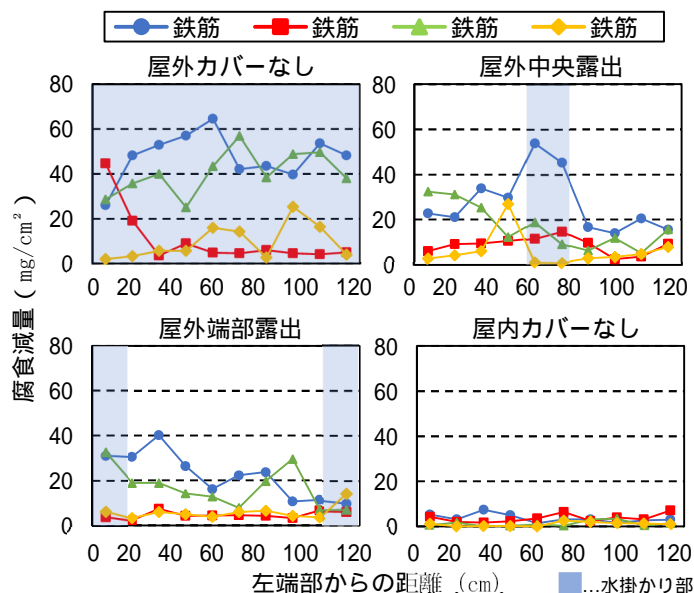


図-6 各供試体の腐食減量

水掛かり位置となる中央部は屋外端部露出と類似した分極曲線でターフェル勾配も同程度あったが、乾燥状態にあると予想される右端部の分極曲線は大きく異なり、ターフェル勾配は大きくなった。このことから、端部は水の供給が著しく低下しカソード分極抵抗が増大したと考えられる。

#### 腐食面積率および腐食減量

図-5 に各供試体の腐食面積率、図-6 に腐食減量の分布を示す。水掛かりの違いによる影響に関して考察すると、腐食面積率は室内カバーなしが若干低い傾向にあるが概ね同程度となった。このことから、同じCl濃度の環境であれば、水分供給がない範囲でも水分供給のある範囲と同等に腐食が進行することが考えられる。しかしながら、腐食減量の結果から、各位置の腐食速度は水分供給の有無で大きく異なる結果となった。乾燥状態にある構造物の腐食速度は極めて遅いと予想される。一方、水分供給のある場合についてみると、水掛かり部の腐食減量はいずれの供試体も同程度となった。この結果は濡れ時間等の影響を受けられるが、一般大気環境下での降雨等の水分供給であれば、降雨等によって部材全面が直接水分供給を受ける環境であっても、局所的な水掛かりによる水分供給であっても、腐食速度は概ね一定になると予想される。また、屋外端部露出の右端部では中央部に比べて腐食減量が少ない結果となったが、これは水平のずれにより水掛かりに偏りが生じたことや、端部が乾燥の影響を受けやすいことなどが要因として考えられる。

#### (4) まとめ

本研究では、水掛かりによるコンクリート中の環境差が鉄筋腐食に及ぼす影響を評価するため、実構造物を模擬したRC梁供試体を用いて検討を行った。その結果、水分供給の有無で腐食に差が生じることが確認された。また、部材全面に水分が供給される環境と局所的な水掛かりによる水分供給を受ける環境を比較すると腐食速度は概ね一定になり、同程度の腐食が生じることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 小池賢太郎, 加藤佳孝, 蔵重勲, 上野敦, 高橋駿人	4. 巻 131
2. 論文標題 水分浸透速度係数試験におけるコンクリートの吸水量と水分浸透深さとの関係	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンクリート中への水分浸透評価とその活用に関する研究小委員会（362委員会）成果報告書およびシンポジウム講演概要集	6. 最初と最後の頁 241-244
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小池賢太郎, 山口明伸, 審良善和, 水田健太	4. 巻 21
2. 論文標題 鹿児島県与論島における飛来塩分特性の把握および予測に関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 295-300
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小池賢太郎, 山口明伸, 審良善和	4. 巻 37
2. 論文標題 水掛かりを受けるコンクリートの水分移動および内部鉄筋の腐食 に関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木構造・材料論文集	6. 最初と最後の頁 163-169
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小池賢太郎
2. 発表標題 コンクリートの吸水量から水分浸透深さへの変換に関する一検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会 第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小池賢太郎, 加藤佳孝, 蔵重勲, 上野敦, 高橋駿人
2. 発表標題 水分浸透速度係数試験におけるコンクリートの吸水量と水分浸透深さとの関係
3. 学会等名 コンクリート中への水分浸透評価とその活用に関する研究小委員会 (362委員会) 成果報告書およびシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小池賢太郎, 山口明伸, 審良善和, 後藤一樹, 阿久根航, 矢野智大
2. 発表標題 局所的な水掛かりがコンクリート中鉄筋の環境差腐食に及ぼす影響
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会 第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小池賢太郎, 山口明伸, 審良善和, 水田健太
2. 発表標題 鹿児島県与論島における飛来塩分特性の把握および予測に関する検討
3. 学会等名 第21回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢野 智大, 審良 善和, 山口 明伸, 小池 賢太郎, 阿久根 航, 長井 信也
2. 発表標題 異なる環境に曝されたコンクリート中鉄筋の腐食傾向について
3. 学会等名 令和3年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2022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
---------	---------