

# 報告 内在塩分を有するちとせ商店街ビルの損傷調査

石綿 凜\*1・今本 啓一\*2・根路銘 安史\*3・清原 千鶴\*4

**要旨：**沖縄県に現存する築51年の内在塩分を有したRC造建築物の調査を実施した。該当建築物は楕円状の吹き抜けを伴う共用廊下が敷地中心部より十文字に設けられており、吹き抜け部分の手摺や共用廊下裏側のコンクリート剥落が確認されている。5年程前よりコンクリート剥落片の落下防止策として2階吹き抜け部分を鉄板で覆ったことにより、雨水が鉄板を介して共用廊下へ流入していることを確認した。また、室外機からの結露水が共用廊下へ水分を供給している可能性も指摘された。既往の文献・調査より得られた含水率と塩化物イオン量の関係より、鉄筋腐食状況を評価できる可能性を示唆した。

**キーワード：**含水率、塩化物イオン、水掛かり、内在塩分、防水層

## 1. はじめに

沖縄県は、その地理的条件から良質な骨材の確保が困難であり、海砂が主な細骨材として使用されてきたが、この海砂の内在塩分による塩害が以前から社会問題となっている<sup>1)</sup>。内在塩分による塩害は、補修後に鉄筋が再劣化することが多く<sup>2)</sup>、これらの構造物の耐久性を適切に評価し、維持管理を行う手法を確立することが必要である。既往の研究<sup>3)</sup>から内在塩分を含む鉄筋コンクリート造建築物においても十分な水が存在しない場合は鉄筋腐食が発生しない例が確認されている。そのため、構造物損傷調査においてかぶりコンクリートの含水率を把握することは非常に重要であるといえる。

そこで本研究では、内在塩分を有するちとせ商店街ビルの建築物を対象に特に劣化の激しい共用廊下裏側の損傷調査を行い、塩化物イオン含有量と含水率の関係について検討を行った。

## 2. 調査概要

### 2.1 対象建築物

本調査の対象となった建築物は、沖縄県の第一牧志公設市場を中心に形成された商業地区に位置するちとせ商店街ビルである。図-1に上部からの様子、表-1に建築物概要を示す。当該建築物は、昭和40年(1965年)に発足したスラム街解消促進協議会の依頼で計画された。不良住宅地区であった敷地を3つの工区に分け、同時に施工することにより、約8か月で総延建物面積約5000m<sup>2</sup>、最高5階のRC建築物を建築した<sup>4), 5)</sup>。1階の敷地中心部より十文字に敷地内通路を設け公共空間とし、2階以上の各階にも下階に光を取り入れる楕円状の吹き抜けを伴う共用廊下が設けられている。



図-1 衛星画像

表-1 建築物概要

所在地	沖縄県那覇市松尾
竣工年	1972年
構造	RC造3-5階
総延建物面積	約5000m <sup>2</sup>
設計者	大城龍太郎
施工者	1工区：南洋土建
	2工区：金城工務店
	3工区：前元建設
調査期間	1回目：2023.7.31
	2回目：2023.11.13

### 2.2 調査箇所

図-2に、コア抜き箇所、挿入式電気抵抗含水率計による含水率測定箇所を示す。共用廊下スラブ厚さは実測した結果150mmであった。2工区屋上部分は、居住区域に水漏れが発生したため30年程前に施工した防水層の上から2012年に部分的にウレタン防水工事を実施している。なお、本調査では30年前に施工した防水箇所を改修前、2012年に設置した防水箇所(ウレタン防水厚さ2mm)を改修後と呼ぶこととする。

### 2.3 調査項目

#### (1) 塩化物イオン濃度

JISA 1154に準拠して塩化物イオン量の測定を行った。

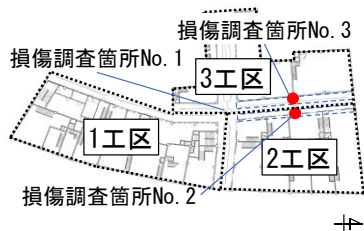
\*1 東京理科大学大学院 工学研究科建築学専攻 (学生会員)

\*2 東京理科大学 工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

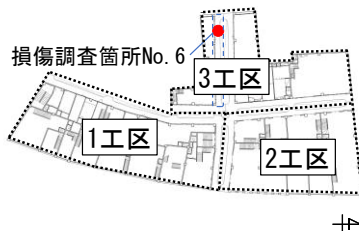
\*3 東京理科大学大学院 工学研究科建築学専攻

\*4 東京理科大学 研究推進機構総合研究院 プロジェクト研究員 工博 (正会員)

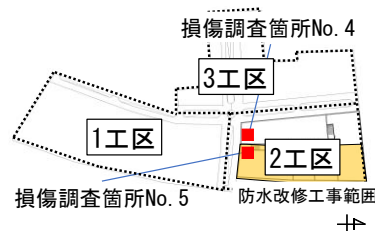
## 2階



## 3階



## 屋上



● : 含水率測定位置, ■ : 含水率およびコア採取位置

図-2 調査箇所

採取した φ80mm の乾式コアをコンクリートカッターによって厚さ20mm程度の円盤状に切断し試料片を0.15mm以下に微粉碎した。微粉碎した試料に硝酸を加えて煮沸し塩化物イオンを抽出し、その不溶分をろ過洗浄した後、電位差滴定装置を用いて滴定を行った。

### (2) 乾式コア含水率測定

試験体の含水率を JIS A 1476 に準拠して測定した。仕上げ材表面からの含水率分布を測定するため、厚さ20mm程度の円盤状に切断し質量法を用いた。切断したコアは、105℃乾燥炉により絶乾状態とし、その後十分に浸水させ飽水状態とし、乾燥前、乾燥後および浸水後の質量を計測した。含水率の算出に用いた計算式を式(1)および式(2)に示す。ここでの相対質量含水率とはコンクリートが飽水状態時の水分量に対する調査時の含有水分量の比である。

$$m_A = \frac{M - M_{dry}}{M_{dry}} \times 100 \quad (1)$$

$$m_R = \frac{M - M_{dry}}{M_{wet} - M_{dry}} \times 100 \quad (2)$$

ここに、  
 $m_A$  : 質量含水率 (%)  
 $m_R$  : 相対質量含水率 (%)  
 $M$  : 105℃乾燥前質量 (g)  
 $M_{dry}$  : 105℃乾燥後絶乾質量 (g)  
 $M_{wet}$  : 浸水後飽水質量 (g)

### (3) 挿入式電気抵抗含水率計による含水率測定

図-3に、挿入式電気抵抗含水率計による含水率測定方法を示す。挿入式電気抵抗含水率計はφ6.5mmの孔を30mm間隔で2箇所設け、その中にブラシ電極を差し込みこの間の電気抵抗を基に含水率を計測するものである。本調査では、コンクリート表面から10mm毎に測定した。

## 3. 調査結果・考察

### 3.1 塩化物含有量

塩化物イオン量の測定結果を図-4に示す。該当建築物は、海岸から約2km離れた場所に位置しているため海

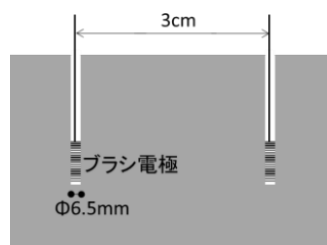


図-3 電気抵抗含水計による測定方法

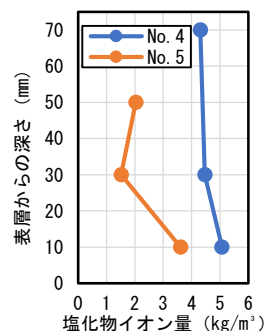


図-4 塩化物イオン量

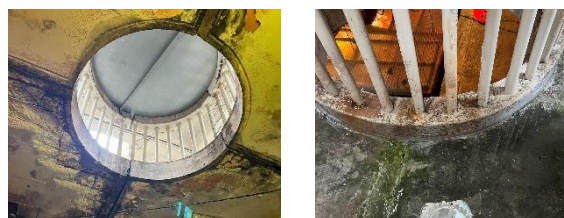


写真-1 調査箇所 No. 1 下部 写真-2 調査箇所 No. 1 上部

からの飛来塩分の影響は受けにくいと考えられる。図-4から塩化物イオン量にバラつきがあるが、2.4~4.8kg/m³程と高く、未除塩の海砂が使用されていたと考えられる。

### 3.2 損傷・滞水状況

写真1~10に各工区の状況を示す。

#### 3.2.1 2階共用廊下

##### (1) 中央吹き抜け部

写真-1は、2階共用廊中央スラブ下(図-2:調査箇所 No.1)のコンクリート剥落の様子である。当該建築

物は図面が現存していないこと、電磁波レーダーによるスラブ裏の検査は足場が必要になることなどからコンクリートのかぶり厚さを把握できていない。剥落したコンクリートの厚さを写真などから推定したところ20mm程となった。円形の吹き抜け箇所においては剥落が集中している。写真-2に示す通り、雨天後に確認すると、剥落箇所上部に水溜まりが発生していた。また、工区の境目に沿って防水層に1~2mm程度の亀裂が確認された。さらに、藻類が植生していたことから水分が保持され湿潤状態が続いていると考えられる。

### (2) 2工区2階共用廊下西方

写真-3は、2工区2階共用廊下スラブ下(図-2:調査箇所No.2)のコンクリート剥落の様子である。写真より、剥落したコンクリートの厚さは20mm程と推定される。また、コンクリートが剥落している箇所上部は写真-4に示すように滞水が発生する場所であった。

### (3) 共用廊下滞水の要因

要因1: 該当建築物では2018年に2階吹き抜け部分に鉄板(写真-5)が設置されたが、工区間の手すりの高さにながれが生じていることで鉄板に0.6~1.9°の傾斜が発生し、雨天時に雨水が鉄板を介して一方の共用廊下に流入したと考えられる。写真-6に雨天後の2階共用廊下の様子を示す。写真より、片側の廊下に雨水が滞水していることが確認できる。さらに吹き抜け側からドレン孔へ水勾配がとれていないため、流入した雨水が排水されずに共用廊下で滞留している。滞水無し(図-2:調査箇所No.3)、滞水有り(図-2:調査箇所No.2)の2箇所において挿入式電気抵抗含水率計で測定した含水率結果を図-5に示す。これによると、含水率は滞水していない箇所は表面からの深さ50mmまで1.1~1.4%と低い値を示しているが、雨水が滞水している箇所は表面からの深さ60mmまで4.2~5.1%と高くなっていることが確認された。

要因2: 該当建築物では、写真-4に示すように1階飲食店の空調設備の室外機が2階共用廊下に設置されている。特に2階共用廊下上部には室外機が多く設置されているため、結露水による滞水が顕著である。11月の調査で室外機からの結露水の流出量を測定したところ、1時間あたり1.5mlほど計測された。該当建築物の位置する沖縄県は高温多湿な気候であり、このエリアはほぼ24時間365日操業のため、空調機の使用頻度が高く年間を通して結露水の流出が予測される。結露水による共用廊下への水の流出を年間降水量に変換したところ44mm相当となった。該当建築物の位置する沖縄県那覇市の年間降水量は約2000mmであり、降水量44mmは、沖縄県那覇市の月間降水量で最も少ない1月および2月の降水量の1/2程度である。これより、共用廊下への水掛かりは主に



写真-3 調査箇所 No. 2 下部



写真-4 調査箇所 No. 2 上部



写真-5 吹き抜け鉄板部



写真-6 滞水の様子(左:滞水無し 右:滞水有り)

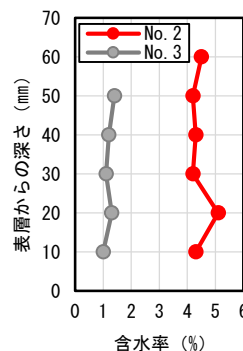


図-5 2階共用廊下の含水率測定結果

は雨天時においては吹き抜け鉄板、それ以外では室外機により発生していると考えられる。

### (4) 降雨時の共用廊下の滞水状況

上記の調査結果より、降雨時における2階共用廊下の滞水および剥落状況を図-6に示す。滞水状況は、降雨終了から6時間ほど経過した際に目視で確認し、滞水の深さなどは考慮せずに滞水の範囲で示した。コンクリート剥落状況は、剥落およびひび割れ箇所を塗りつぶし、目視で確認のできない部分および金属で補修工事がされている箇所は斜線で示した。滞水状況を確認すると鉄板の傾き方向と滞水の発生位置は多くの場所で一致することが確認された。また、コンクリートの剥落は2工区西側および3工区南側で多く発生していることが確認でき、いずれの箇所においても上部には滞水が存在している。

a) 滞水状況

## 2階 共用廊下 上部



b) コンクリートの剥落状況

## 2階 共用廊下 下部

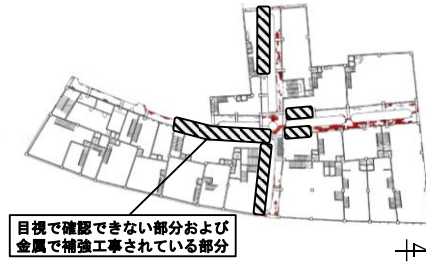


図-6 降雨時の滞水箇所とコンクリートの剥落状況

これらのことから、スラブ上部に滞留した水がコンクリート内部まで浸透し、スラブコンクリートの含水率が高い状態で維持されることで滞水していない箇所に比べて鉄筋腐食が進行しやすい環境だったと考えられる。

## 3.2.2 3工区3階共用廊下

写真-7は、3工区3階共用廊下北方(図-2:調査箇所No.6)のスラブ下のコンクリート剥落の様子である。この箇所は、他の箇所と比較してあばら筋が多く露出しており、剥落の激しい箇所となっている。写真-8に示す通り、上部を確認すると植物が自生していることが確認できる。共用廊下の端に位置しているため人の移動が少なく雨水や太陽光などが供給されやすいため、植物の生育条件として最適な環境であったことが指摘される。該当する箇所の挿入式電気抵抗式含水率計で測定した含水率結果を図-7に示す。含水率は表層から内部まで4.6~5.7%と高いことが確認された。該当箇所は雨掛かり箇所であることと、自生した植物および堆積した土壌によって水分が保持されることが要因とされる。



写真-7 調査箇所 No. 6 下部



写真-8 調査箇所 No. 6 上部

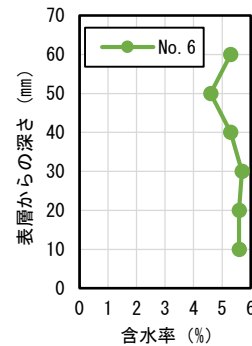


図-7 調査箇所 No. 6 における含水率

## 3.2.3 2区屋上屋外廊下上裏

写真-9に示す2工区屋上上裏(図-2:調査箇所No.4)においては、厚さ20mm程のコンクリートの剥落がみられたが、写真-10に示す2012年に防水工事を実施した箇所(図-2:調査箇所No.5)においては、コンクリートの劣化は確認されなかったものの、ヒアリング調査によるとスラブ下奥部は補修したとのことであった。写真-11に防水層の状況を示す。なお、防水層の種類はウレタン塗膜防水層(厚さ2mm)である。既往の研究<sup>6)</sup>に従って、改修前および改修後防水層に対して目視による劣化診断を行った結果、改修前は保護層が消失しているため劣化度III、改修後は保護層の摩耗により劣化度IIと判定された。改修前後の箇所の含水率の測定を行った。その結果を図-8に示す。挿入式電気抵抗含水率計による測定結果は改修前No.4防水層箇所で5.6~7.7%、改修後No.5で4.8~5.7%となり2箇所共に含水率は高くなっているが、改修後の方がやや低い結果となった。



写真-9 調査箇所 No. 4 下部



写真-10 調査箇所 No. 5 下部



写真-11 調査箇所

No. 4, No. 5 上部

一方、乾式コアによる含水率は改修前No.4が6.9~7.5%、改修後No.5が7.4~9.6%となり改修後の含水率が若干高く結果は逆転しているがいずれにしても厚さ1~2mm程

度の防水層による水分浸透抑制効果は高くないと考えられる。

図-9に相対質量含水率の測定結果を示すが、前述の電気抵抗含水率と呼応する結果となっており、電気抵抗式含水率を質量含水率もしくは相対質量含水率の評価に用いるかについては今後検討してゆきたい。

#### 4. 含水率-塩化物イオンによる評価

該当建築物と同様に内在塩分を有するコンクリートの含水率と塩化物イオンが鉄筋腐食に及ぼす影響について検討した既往の文献を収集した。その結果を表-2に示す。表中には既往の構造物を調査した結果と試験体を作製し、実環境下で暴露試験を実施した結果も含まれている。その結果から、鉄筋位置近傍の含水率と塩化物イオン量に関する鉄筋腐食評価図を図-10に示した。含水率と塩化物イオン量から重度の腐食を進行させないための閾値を点線で示した。鉄筋腐食の腐食グレードは既往の指針<sup>14)</sup>より判断し、分かるものは表に示す。図中には該当建築物の調査結果を示している。鉄筋腐食が進行しにくい閾値の範囲内に入った調査箇所は写真-6に示すように廊下に滞水が見られず、コンクリートの剥落が確認できなかった調査箇所 No.3 のみである。

一方、鉄筋腐食が進行しやすいエリアにある調査箇所 No.2 および No.6, No.4 についてはコンクリートの剥落

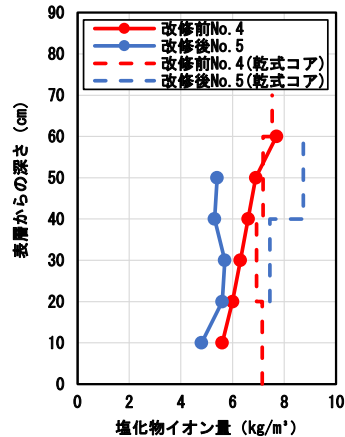


図-8 2工区屋上の含水率

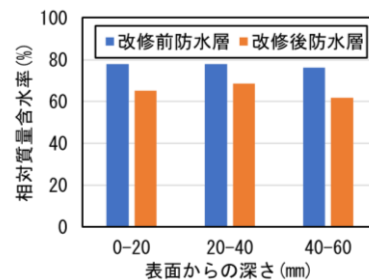


図-9 相対質量含水率

がみられており、鉄筋腐食が進行している可能性が高い。このことから塩化物イオンと含水率の関係から内在塩分

表-2 建築物一覧表

構造物名称	所在地	竣工年数 暴露年数	調査箇所	含水率 (%)	塩化物イオン量 (kg/m <sup>3</sup> )	かぶり厚 (mm)	鉄筋腐食
今帰仁村公民館 <sup>7)</sup>	沖縄県	1975	屋根部	6.38	3.80	40	重度
端島 <sup>8)</sup>	長崎県	1918	16号棟1階	4.57	3.19	110	軽微
		1918	16号棟3階	2.83	3.55	70	軽微
		1918	16号棟3階	3.12	2.48	115	軽微
		1918	16号棟5階	1.82	0.35	40	軽微
		1931	25号棟1階	6.09	3.21	70	軽微
		1939	57号棟1階	2.60	1.44	50	軽微
		1945	65号棟北1階	7.62	10.23	40	重度
		1949	65号棟東1階	2.41	0.29	110	軽微
		1958	65号棟南1階	5.71	0.38	100	軽微
		1958	69号棟1階	5.20	0.25	不明	軽微
1959	3号棟1階	5.54	0.21	120	軽微		
奥武島住宅 <sup>9)</sup>	沖縄県	1977	北側柱	2.30	4.20	68	軽微(腐食I)
			南側柱	4.90	7.50	50	重度(腐食V)
大宜味村役場 <sup>10)</sup>	沖縄県	1925	北側柱	2.64	4.30	70	軽微(腐食I)
松川邸	沖縄県	1969	1階屋内柱	1.56	3.80	30*	軽微(腐食I)
			2階壁	3.00	3.80	40*	軽微(腐食I)
			RF防水	6.35	4.60	30~40*	重度(腐食V)
仲村邸	沖縄県	1971	2階梁	3.06	4.64	40*	重度
文献3)	関西内陸	1968	東側2階	3.00	3.68	70	軽微
文献11)	記載無し	記載無し	記載無し	6.05	0.42	不明	重度(腐食IV)
文献12)	記載無し	記載無し	床版	4.45	1.00	不明	軽微(腐食I)
			橋脚	3.10	3.50	不明	軽微(腐食II)
			橋脚	4.25	3.00	不明	軽微(腐食II)
			橋脚	4.25	3.00	不明	軽微(腐食III)
			橋脚	4.25	3.00	不明	軽微(腐食III)
			床版	5.00	1.00	不明	軽微(腐食III)
			トンネル側壁	7.55	10.00	不明	重度(腐食IV以上)
トンネル側壁	7.55	10.00	不明	重度(腐食IV以上)			
文献13)	千葉県	暴露3年		5.00	2.50	30	軽微(腐食IもしくはII)
	静岡県	暴露3年		6.00	10	30	重度(腐食IV)

\*: 撮影画像からの推定値

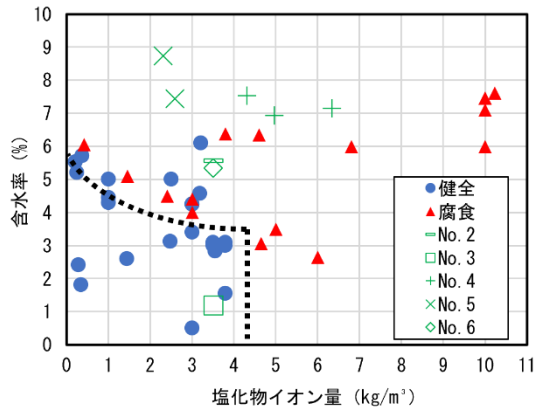


図-10 鉄筋腐食評価図

を有する鉄筋コンクリート構造物の劣化診断に適用できる可能性を示唆した。

## 5. まとめ

内在塩分を有するちとせ商店街の建築物を対象に特に劣化の激しい共用廊下裏側の損傷調査を行った。その結果、当該建築物の劣化要因は水掛かりの影響を受けていることが確認できた。特に、2階共用廊下下部では、5年ほど前に吹き抜け部に設置された鉄板を介して雨水が流入した。さらに、空調機の室外機から結露水が流出することによって含水状態が高くなったと推定され、当該建築物のような改修・更新を行うにあたっては新たな水道が建物の劣化に影響しており、総じて水の存在が剥落の原因となっていると考える。また、含水率と塩化物イオン量から鉄筋腐食の閾値を設定することで当該建築物および周辺の類似構造物の劣化診断に活用できる可能性を示唆した。当該建築物については雨仕舞の検討および共用廊下への防水工事によって防水層の改修水勾配を設けることで含水率を低下させ、コンクリート中への水分の浸透を抑制する必要があると考えられる。

## 謝辞

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業 (JPNP21014) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

また、本調査ではちとせビル管理組合、東京理科大学工学部建築学科エルドンオチル助教、他関係者の皆様のご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を示す。

## 参考文献

1) 笠井芳夫：塩化物による鉄筋コンクリートの劣化、コンクリート工学, Vol.25, No.11, pp.28-31, 1987.11

- 2) 伊藤正憲, 宇野祐一, 弘中義昭, 魚本健人：補修条件の違いによる補修後の再劣化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1701-1706, 2004.7
- 3) 古賀一八, 林典男, 平田延明：高濃度塩化物イオン含有 RC 造建築物の含水率および鉄筋腐食調査, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.783-788, 2008
- 4) 石川悠, 入江徹：那覇市ガープ川周辺地区の形成と大城龍太郎の関係について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8
- 5) 初田香成：第二次世界大戦後の那覇市牧志公設市場と周辺商業地の形成：市場・通り会の形成過程と、営業及び占有の諸形態の考察, 日本建築学会計画系論文集, Vol.88, No.807, pp.1857-1866, 2023.5
- 6) 古賀純子ほか：建築物の長期使用に対応した外装・防水の品質確保ならびに維持管理手法の開発に関する研究, 独立行政法人建築研究所資料, No.145, pp.315-333, 2013.8
- 7) 遠藤真路, 今本啓一, 清原千鶴：内在塩分を有する今帰仁公民館の維持保全に向けた取り組み, 日本建築学会関東支部研究報告集, Vol.93, pp.61-64, 2023.3
- 8) 篠原佳代子ほか：マルコフ連鎖モデルに基づく軍艦島構造物群の寿命予測と遷移確率に及ぼす要因に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, Vol.86, pp.221-224, 2016.3
- 9) 今本啓一, 清原千鶴, 多賀紀星, 根路銘安史：飛来塩分環境下における内在塩分 RC 造建築物の劣化に及ぼす立地環境の影響, 日本建築学会大会講演梗概集 (関西), pp.161-162, 2023.7
- 10) 数馬良一ほか：大宜味村役場旧庁舎に関する調査研究その 2.配筋とコンクリートについて, 日本建築学会大会講演梗概集 (関西), pp.157-158, 2023.7
- 11) 上田洋ほか：厳しい塩害環境下において架替え後 15 年が経過した PC 道路橋の詳細調査および今後の維持管理に関する提案, 土木学会論文集 E2, Vol.71, No.2, pp.161-180, 2015
- 12) 立松英信, 佐々木孝彦, 高田潤：塩害による鉄筋腐食の診断と抑制に関する研究, コンクリート工学会論文集, Vol.11, No.2, 2000.5
- 13) 戸田勝哉, 星野富夫, 伊藤学, 魚本健人：補修した鉄筋コンクリートの電気化学的測定による鉄筋腐食推定に関する研究, 土木学会論文集, Vol.65, No.4, pp.508-521, 2009
- 14) 公益財団法人日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針 2022