

大宜味村役場旧庁舎におけるコンクリートの材料試験

- 種別 材料試験 [木材・煉瓦・鉄・コンクリート その他]、重量測定、
要素試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]、
補強性能試験 [接合部・軸組・壁・水平構面 (床・天井・小屋組・屋根)・非構造部材・その他]

●基本情報

文化財名称：大宜味村役場旧庁舎

文化財種別（指定年月日）：重要文化財（平成 29 年 2 月 23 日）

所在地：沖縄県国頭郡大宜味村字大兼久 157 番地 2

所有者（管理団体）：大宜味村

構造形式：鉄筋コンクリート造、建築面積 169.98 m²、一部二階建

建築年：大正 14 年（1925）

事業名称：重要文化財大宜味村役場旧庁舎 建造物保存修理（耐震診断）

事業期間：令和 4 年 6 月から令和 5 年 3 月まで

工事種別：耐震診断

事業者：大宜味村

受託事業者：m3 那覇建築事務所、技術指導：(公財) 文化財建造物保存技術協会

実験計画者：m3 那覇建築事務所

東京理科大学今本研究室

実験機関：(財) 沖縄県建設技術センター

東京理科大学今本研究室

実験年月日（試験体採取日）：令和 4 年 10 月 14 日

引用・参考文献：

『大宜味村役場旧庁舎の構・工法に関する調査研究』 田中・今本・遠藤・多賀・清原 2023. 2
(2022 年度日本建築学会関東支部研究報告書 掲載)

2017 年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説

●実験に至る経緯と目的

大宜味村役場旧庁舎は、大正 14 年に建設されて以来、記録に残る限り大規模な増築・改修等は行われておらず、建具取替や修理などを行い今日に至る。詳細な記録が残る直近の修理は、沖縄県指定文化財時の平成 13 年頃から数年間に行われている。この頃から鉄筋爆裂やクラック等が見られこれらの修理が行われたが、その後現在までに一部再び劣化が進

んだ。また天井や壁のクラック等から一時大量の雨漏りが生じていたため、令和 2 年度に屋根部に防水を施す修理を行っている。

当該文化財は今後保存活用計画を検討・策定し、計画に則って一般への公開や活用を行うことを検討している。修理等を進めるにあたり、耐震安全性の確認及び必要な工事項目等を調査・検討するため、耐震診断事業を行うこととなった。診断にはコンクリート強度や中性化、塩化物イオン濃度による劣化具合を確認する必要があったことから、本材料試験を実施した。

同時に、東京理科大学工学部今本啓一教授及び同教授の研究室より、本事業についての助言及びコンクリートに関する調査への協力が得られたことから、事業内の調査とあわせて調査・実験を行った。

● 姿図・寸法

【使用材料・試験箇所】

コンクリートコア

コア採取にあたっては、技術指導者の（公財）文化財建造物保存技術協会と相談し、壁面貫通を避け、かつ今後の修理・公開時に外観に影響を及ぼさない地中の基礎部分から採取した。また、当該建造物は北西側が海に面しており、海側と陸側の塩化物イオン濃度や中性化の差なども検証する必要があることから、海側 2 か所、陸側から 1 箇所採取する箇所として選定した（図 1 コア採取 No.1～No.3）。

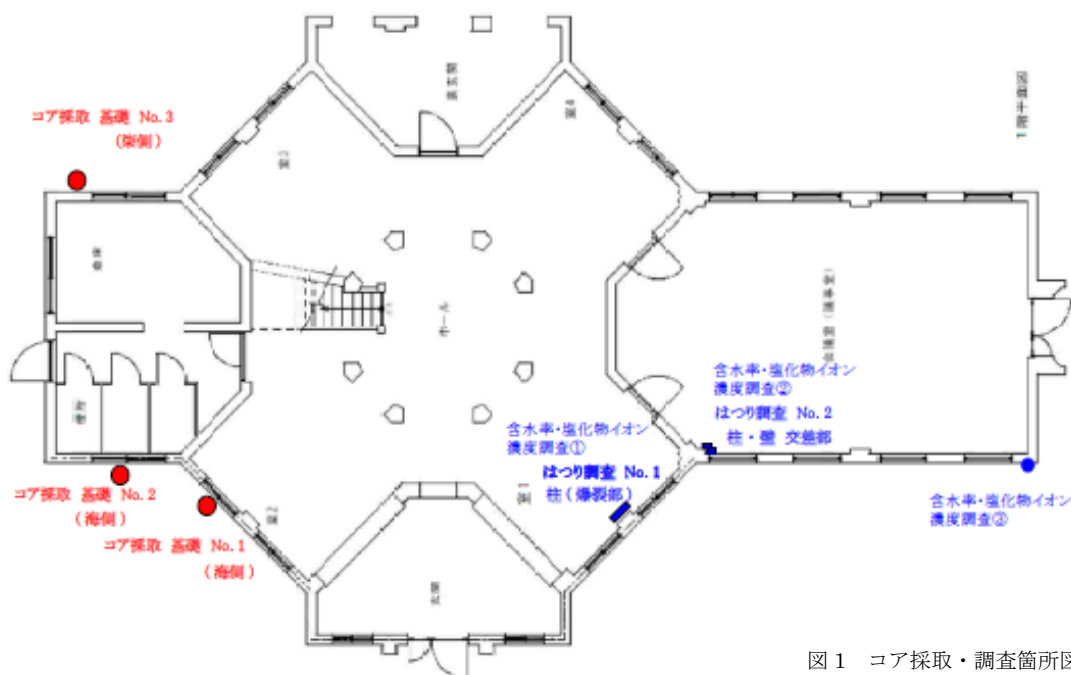


図 1 コア採取・調査箇所図

なお、本耐震診断では鉄筋腐食度を確認する調査を行う必要があるため、修理履歴があるまたは今後修理が見込まれる付近 2 箇所ではつり調査を行い、同箇所についてもはつりを

行って露出した面について中性化試験を行っている（図1 はつり調査 No.1・No.2）。

東京理科大学今本研究室は、はつり調査箇所及び海側外壁の1箇所においてコンクリート含水率・塩化物イオン濃度の試験を行った（図1 含水率・塩化イオン濃度調査①～③）。

【試験体寸法】

コンクリートコアの試験体寸法は以下の表の通りである。

表1 コンクリートコア寸法一覧

	採取場所 (詳細は図1)	直径mm	高さmm	断面積mm ²	高さと直径 の比
No.1	海側基礎	104.0	185.4	8495	1.78
No.2	海側基礎	103.9	157.2	8479	1.51
No.3	陸側基礎	103.9	184.0	8479	1.77

●実験概要

本実験は耐震診断の中で実施するものであり、診断に必要な調査項目を中心に試験する。採取した3つのコアについて、それぞれ(1)圧縮強度(2)中性化調査(3)塩化物イオン濃度の試験を行った。(1)及び(3)については、(公財)沖縄県建設技術センターに試験を依頼した。

また耐震診断調査内で鉄筋腐食度を確認するはつり調査箇所2か所についても中性化深さを調査すると同時に、東京理科大学今本研究室によりはつり調査箇所2か所及び外壁1において、コンクリート含水率調査及び塩化物イオン濃度測定を行った。

●実験方法

各実験方法は以下の通りである。

(1) コンクリート圧縮強度

建物コンクリートの劣化の度合と耐力を検討する為に、コアボーリング法によりコア供試体を採取し最大圧縮荷重を測定する。最大圧縮荷重から1平米あたりの耐力を計算して求めたコンクリート圧縮強度が設計基準の参考強度を上回っているかどうかを確認する。

コンクリートの圧縮強度は、JIS規格(JIS A 1108)により以下の式で計算される。

$$\text{圧縮強度 } f_c = p / \pi \times (d/2)^2 \quad ※$$

f_c : 圧縮強度(N/mm²)

p : 供試体に載荷した最大荷重

π : 円周率

d : 供試体の直径

また、JIS規格(JIS A 1107)により、高さ直径との比が1.00以上1.90未満の場合は、

試験で得られた圧縮強度に補正係数（供試体の高さとの比を用いて、表より定められた係数を求める）を乗じて直径の2倍の高さをもつ供試体の強度に換算することとなっているため試験体ごとに係数による補正後圧縮強度を求める。

上記より算出した補正後圧縮強度より、数値の各コアの平均値（ X_{mean} ）から標準偏差（ σ ）の 1/2を差し引いた値により、推定強度（ σ_B ）として算定する。式は以下の通りである。

$$\text{平均値} : X_{\text{mean}} = (X_1 + X_2 \cdots + X_n) / n$$

$$\text{標準偏差} : \sigma = \sqrt{\sum (X_i - X_{\text{mean}})^2 / (n - 1)}$$

$$\text{推定強度} : \sigma_B = X_{\text{mean}} - (\sigma / 2)$$

設計基準の参考強度は参考資料より、以下のとおり設定する。

$$\text{昭和 28 年以前の推定値} = 135 \text{kgf/cm}^2 * 0.098 = 13.23 \text{ N/mm}^2$$

(2) 中性化

アルカリ性を調べるため、試験体及びはつり調査箇所付近にフェノールフタレイン溶剤を噴霧し、色変化により判別する。試験体全体に噴霧し、色変化が躯体表面側及び内部側からそれぞれどの程度変化したかを計測する。

(3) 塩化物イオン濃度

採取したコンクリートコアのうち No. 1（海側）と No. 3（陸側）を試験して塩化物イオン濃度を算出し、算出したから濃度から各部単位容量あたりの塩分量を換算する。塩化物イオン濃度の測定は以下の手順である。

①まずコアの表面側から 3cm、中心部 3cm、残り内部側に分類する。各位置から採取した微粉末にした資料 10g と硝酸溶剤 70ml をビーカーに入れて 30 分攪拌後、5 分間静かに煮沸して塩化物イオンを抽出する。

②冷却後、吸引ろ過にてコンクリート残部と試験用材に分離させ、電位差測定装置を用いて塩化物イオン濃度（Cl%）を算出する。

(4) 東京理科大学 今本研究室による調査

東京理科大学の実験については、試験個所の項目でも述べた通り、はつり調査箇所に付近及び海側外壁にて以下の試験を行った。

① 含水率調査

はつり調査を行う付近にて 7 mm 径深さ 5 cm の穴を 3 cm ピッチで 2 か所にあけ、それぞれ電極を差し込んで電気抵抗を確認する。またさらに詳細に調査するため、はつり調査付近の 2 か所については電気抵抗調査後試験穴を飲み込むような形で 50 φ の乾式コアを採取する。

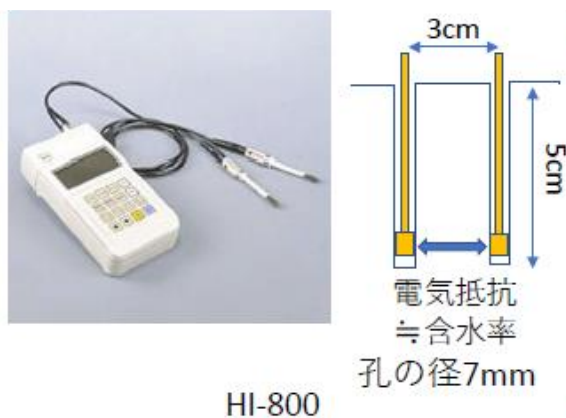


図 1 調査機器 (HI-800) 及び試験イメージ (今本教授より提供)

調査付近の 2 か所については電気抵抗調査後試験穴を飲み込むような形で 50 φ の乾式コアを採取する。

② 塩化物イオン調査

電極用の穴をあける際に発生するコンクリート粉末を深さ 0~2 cm、2~4 cm ごとに採取し、塩化物イオン濃度の試験を行う。

③ 中性化深さ調査

含水率調査を行った箇所付近でも中性化の確認をするため、当該箇所についてもフェノールフタレイン溶剤による中性化試験を行った。

● 結果

(1) コンクリート圧縮強度

測定の結果、各箇所の圧縮強度試験結果は以下のとおりとなった。

試験体番号	最大荷重	補正係数	補正前圧縮強度 (N/mm ²)	補正後圧縮強度 (N/mm ²)
基礎 No.1	169	0.98	19.9	19.5
基礎 No.2	193	0.96	22.8	21.9
基礎 No.3	122	0.98	14.4	14.1

表 2 コンクリート圧縮強度試験結果

表 2 で確認した補正後圧縮強度を算定式にあてはめると、

平均値 18.5 N/mm²

標準偏差 4.0 N/mm²

推定強度 16.5 N/mm² との結果が得られた。

このことから、すべての地点及び推定強度が参考強度 (13.23 N/mm²) を上回っていることが確認できた。

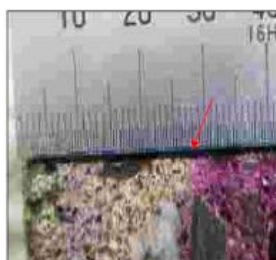
(2) 中性化試験

すべてのコアは建設当初は打ちっぱなしだったと思われるが、長期間土砂に接しており、浸食討によりコンクリート表面に骨材が露出していると推察される状態であった。また地中の基礎から抜いたため、表面側については軽い水洗いを施した上で試験を行っている。各コアの状態及び色変化は以下のとおりである。

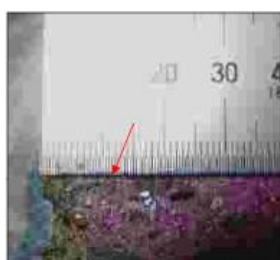
①コア No.1 (写真左が表面側)



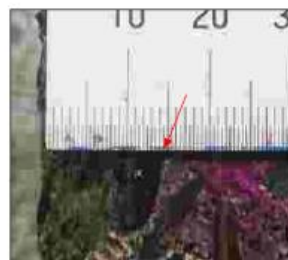
(ア) 表面側 (左側) : 先端から色が変わっている = 中性化深度を 3 点計測した。3 点の著しい差がなかったため、平均値を中性化深度とした。



地点①28.0 mm



地点②12.0 mm



地点③14.5 mm

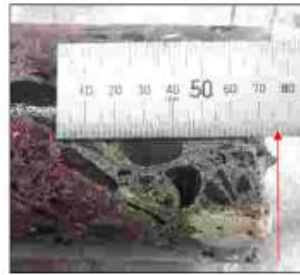
3 点平均中性化深度 : 18.2 mm

(イ) 躯体内部側 (右側) : 色変化が大きく偏る結果が確認できたため、3点計測し最大値を確認した。特に豆板部からの中性化深度が深くなっている。

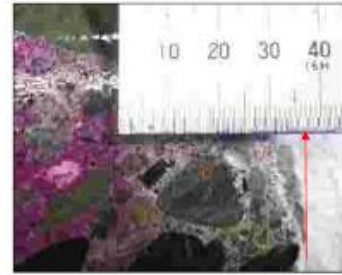


①107.0 mm

最大値 : 107.0 mm

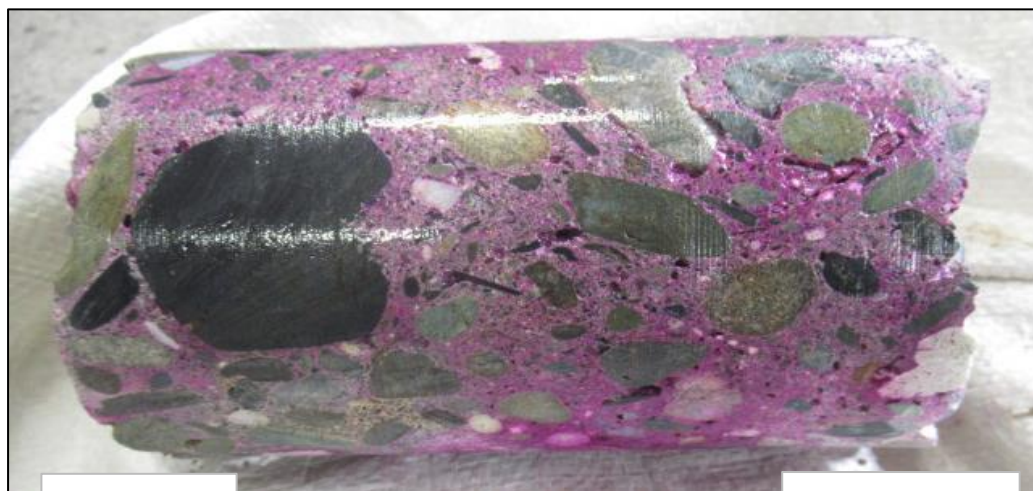


②75.5 mm



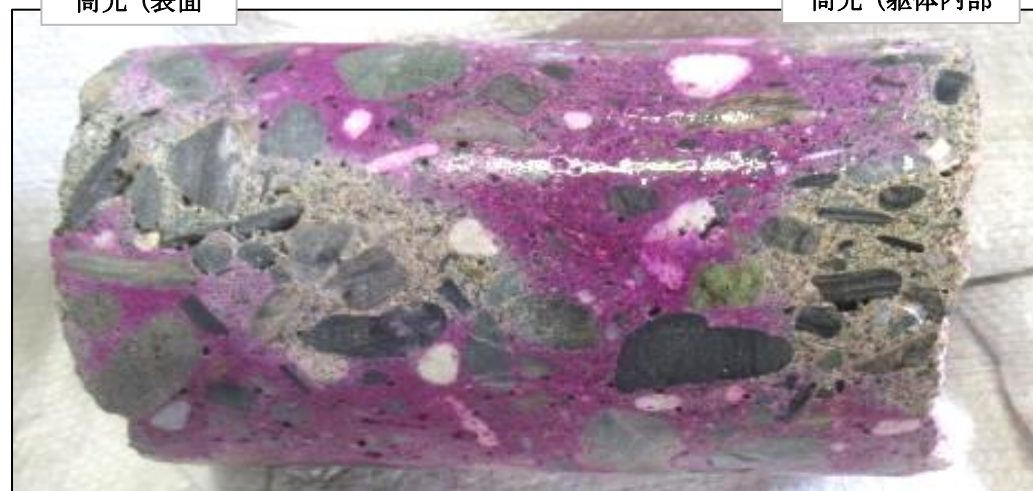
③37.0mm

②コア No.2



筒元 (表面)

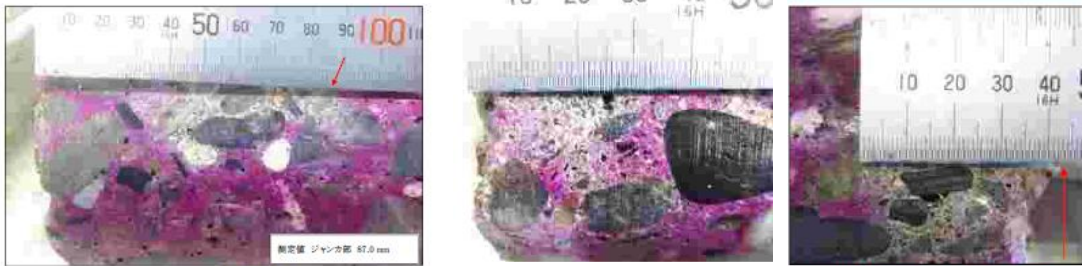
筒先 (躯体内部)



全体的に、豆板部から内側に伸びるように中性化など、端からの中性化にばらつきがあった。

(ア) 表面側（左側）：豆板部からの範囲で2点に中性化が確認できたため、該当箇所2か所を計測した。

(イ) 躯体内部側（右側）：1か所から偏って中性化が見られたため、該当部を計測した。



表面側①：87.0 mm

表面側②：32.0 mm

躯体内部側：43.0 mm

表面側最大中性化深度：87.0 mm

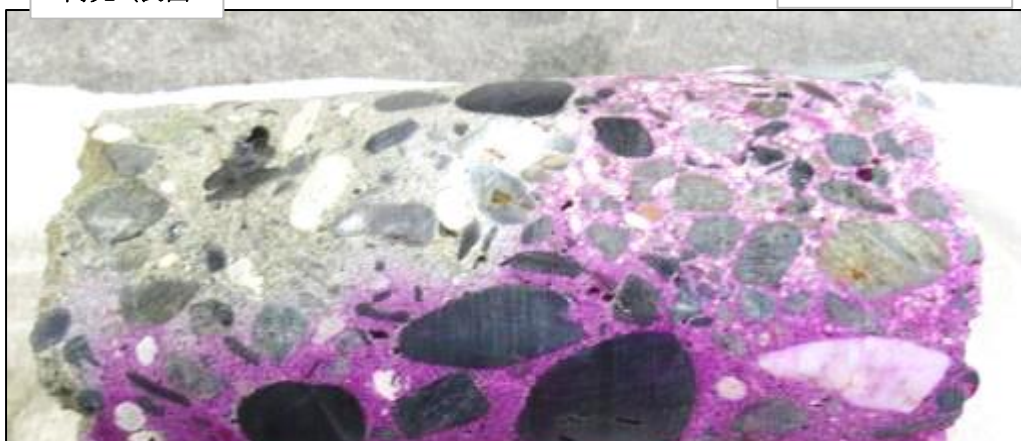
躯体内部側最大中性化深度：43.0 mm

③コア No.3



筒元（表面）

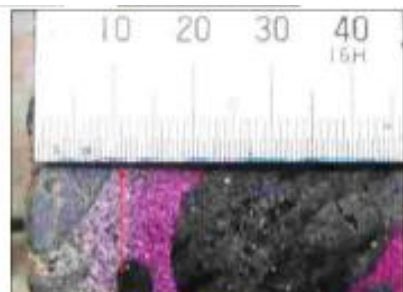
筒先（躯体内部）



中
性化

試験より前に、他部分と色が違う部分が確認できた。

(ア) 表面側 (写真左)：先端から一部と色が変わっている部分において中性化が確認できたため、それぞれ計測した。



先端部の中性化



色の相違がある部分

先端からの中性化深度：11.0 mm

相違部分の中性化深度：115.0 mm

(イ) 躯体内部側 (写真右)：こちら側は反応の差はあるもののほとんど中性化が確認できなかった。

このように、全体的に豆板部から中性化がみられた。なお、今回試験体を採取した基礎部分については、採取時調査にて無筋であることが判明したため、試験体の中性化結果からは鉄筋腐食への影響は不明である。なお、今本研究室の実験で行った乾式コアでは、はつり No.1 付近の柱では中性化深さ 29 mm (コアの長さ分)、はつり No.2 付近の柱では中性化なしという結果であった。また、はつり調査で鉄筋腐食を確認した周辺でも中性化深度が 52 mm (はつった部分まで) という結果を確認している。

(3) 塩化物イオン濃度

試験結果及び試験結果より換算した塩化物イオン濃度は以下の通りである。

採取位置	コアの部位	試験結果 (NaCl%)	容量あたりの濃度 (Cl kg/m ³)
基礎 No.1 (海側)	表面側 3cm	0.013	0.185
	中心部 3cm	0.065	0.927
	残り内側部	0.065	0.927
基礎 No.3 (陸側)	表面側 3cm	0.039	0.566
	中心部 3cm	0.074	1.055
	残り内側部	0.097	1.383

表 3 塩化物イオン濃度試験

2 つの試験体どちらも、表面に近い側よりも内部側の濃度が高い結果となった。ただし、土木学会監修のコンクリート標準示方書によれば、コンクリート中の塩化物イオン濃度が

1.75 kg/m³ を超えると鉄筋の腐食が始まるとされているが、この基準についてはすべての箇所では数値を下回っている。

(4) 東京理科大学によるコンクリート含水率及び塩化物イオン濃度

東京理科大学今本研究室による実験では、以下の塩化物イオン濃度と含水率の結果が得られた。

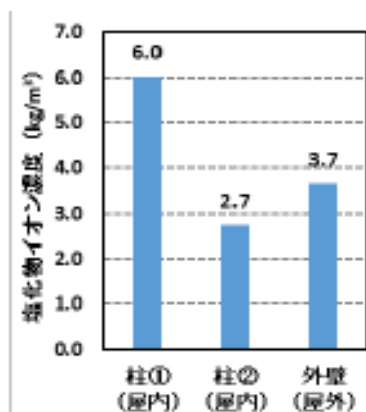


図-6 塩化物イオン濃度

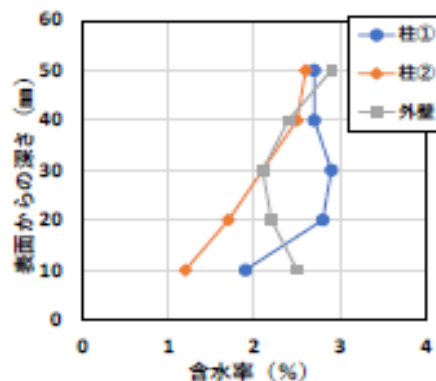


図-7 含水率

『大宜味村役場旧庁舎の構・工法に関する調査研究』2022年度日本建築学会関東支部研究報告書(2023.2)より抜粋

この結果からの考察については、報告済の『大宜味村役場旧庁舎の構・工法に関する調査研究』(田中・今本・遠藤・多賀・清原 2023)より関係箇所を抜粋し、下記のとおり一部補足・要約し記載する。

①含水率

含水率が 3.5%を超えると鉄筋腐食が起こると言われているが、今回調査した箇所においては鉄筋腐食との相関関係は見られなかった。

②塩化物イオン濃度

南側外壁部からの表層から以深約 4cm の鉄筋かぶり付近の削孔紛による塩化物イオン量は約 3.7kg/m³であった。このことから基礎 No.3 コアの内側部の塩化物イオン 1.383kg/m³ を内在塩分量と仮定すると、飛来塩分による塩化物イオン量の浸透は (3.7-1.383) ≒約 2.3 kg/m³強と推察され、約 100 年間に渡る塩分の浸透量としては相当程度に抑制されていたものと判断できる。一方、含水率は先に示されるように、概ね 3.5%以下と鉄筋の腐食リスクを下回るものであり、以上のことから塩害環境下において、海砂であっても丁寧な洗浄を行うとともに、高炉セメントを用いたことにより飛来塩分の浸透を抑制し、本建築物は健全な状態を維持し得たものと考えられる。

また施工当時の証言として、“大宜味村役場旧庁舎を設計と同時に施工の指導をし

た清村勉が、施工時に地元大工に指導し骨材を何度も水洗いして使用した。さらに使用した材料について清村自身の舌で塩分が除去できていることを確認した” という証言があるため、その成果であるとも考えられる。

③中性化試験

調査箇所①の鉄筋腐食が進んでいる箇所については中性化が進んでおり、②の比較的健全な部分については中性化なしという結果となった。

このような結果から、報告では②と③の結果より、塩化物イオン濃度と中性化が鉄筋腐食の原因であると推察している。

●考察

コンクリート圧縮強度については、すべての地点で設計基準強度を上回る結果となった。当該建造物はレーダーによる鉄筋探査の結果、鉄筋ピッチがかなり広いことが判明している。鉄筋は少ないものの、建物そのものがそれほど大きくなく、コンクリート壁全体の厚さや鉄筋へのかぶり厚がしっかり確保されていることから、鉄筋が少ないながらも建物全体の強度がある程度保たれている、ととらえることができる。

中性化については、豆板部からの中性化がみられた。今回試験体を採取した基礎部分については、採取時の調査にて無筋であることが判明したため、試験体の中性化結果からは鉄筋腐食への影響は不明である。

塩分濃度については、コア試験体すべてで鉄筋腐食限界値を下回っており、また東京理科大の実験・考察においても爆裂が進んでいる 1 箇所以外は比較的低い数値を示している。含水率調査も合わせた今本研究室の所見から、塩化物イオン量の多さが鉄筋腐食の一因であると考えられるという考察がされる結果となった。ただし、約 100 年間に渡る塩分の浸透量としては相当程度に抑制されていたものと判断できる。一方、含水率は概ね 3.5%以下と鉄筋の腐食リスクを下回るものであり、以上のことから塩害環境下において、海砂であっても丁寧な洗浄を行うとともに、高炉セメントを用いたことにより飛来塩分の浸透を抑制し、本建築物は健全な状態を維持し得たものと考えられる。

これら試験結果から、今後の修理時には現在健全を保っている部分について現状を維持しつつ、既に劣化が始まっている箇所や亀裂等の破損及び水分や塩分の侵入口となる窓枠付近において、雨水等による含水率上昇や飛来塩分等による塩化物イオン量の増加を抑える対策が有効であると考え。ただし、一見健全に見える部分についても鉄筋が腐食しているケースもあり、鉄筋の腐食が生じていないかの確認は何らかの機会をみて必要であると考え。

なお、飛来塩分量については、年間通しての季節変化や台風等による変化などの要因も探っていく必要があることから中長期的に継続的な調査を行う必要があるため、現在も今本研究室の協力のもと試験体による飛来塩分測定を行っている。

さらに、今回基礎から採取したコンクリートコアの色及び東京理科大学今本研究室の分析により、高炉セメントが使用された可能性が高いことが指摘されたが、今回の結果の補足や今後の修理及び健全部分における劣化対策の検討における参考条件として、また当該文化財が建設された当時の沖縄近代建築の状況などの歴史を知る上でこの情報を深化させることは重要と考えられる。今後機会を得られれば、これについても継続して調査したいと考える。また今回、外部の鉄筋腐食状態については塩分浸透量や含水率からの間接評価となっているが、できれば部分的なはつりによる目視確認ができることが望ましい。