

報告 大正 14 年に竣工した RC 造建造物の解体調査

川瀬 みなみ*1・佐藤 大輔*2・青木 孝義*3

要旨：コンクリートコアの採取やはつり調査などの局所的なサンプリングによる調査結果は、建物全体から見ればほんの一部にしかすぎない。本稿では、竣工から約 92 年が経過した野島埼灯台霧信号舎を対象に、解体前に実施した劣化調査および材料調査の結果と解体により明らかとなった実情を比較し、(1)コンクリートの圧縮強度に影響を及ぼすような骨材周辺の白色生成物が存在していること、(2)材料の計量などのばらつきによって打込まれた層ごとに中性化進行が異なること、(3)全塩化物イオン濃度の深さ方向の分布傾向が建物方位と地形、風向の影響を受けていること、(4)部位によって鉄筋の腐食グレードが異なることを報告する。

キーワード：解体調査、圧縮強度、中性化深さ、全塩化物イオン濃度、鉄筋腐食

1. はじめに

かつて、日本の建造物の構造種別は木造が大半を占めていたが、明治から大正期に組積造（煉瓦や石）、大正以降は鉄筋コンクリート造（以下、RC 造という。）が増えていった。このため、重要文化財は木造、次いで組積造が多い。近年では、平成 8 年の文化財保護法改正¹⁾によって登録有形文化財制度が導入されたことから、建設後 50 年を超える RC 造建造物の登録有形文化財件数が増加している²⁾。さらに、平成 30 年の文化財保護法改正³⁾により文化財活用の活発化が予想され、今後増大する RC 造の登録有形文化財の活用を前提とした保存手法の確立が求められている。

しかし、これらの RC 造建造物の多くは、黎明期²⁾と呼ばれる戦前に建てられたものであり、建設当時の施工技术やノウハウ不足による不具合やその後の経年劣化、維持管理不足から、耐久性や美観を損なう問題に直面している。さらに地震に対する安全性も危惧されている。

適切な補修・補強を行うためには、建造物の状態を的確に把握する必要がある。しかし、実際に供用中の構造物がどのような状態であるかは、外観目視、コンクリートコアの採取やはつり調査などの局所的なサンプリング、あるいは非破壊試験による情報からの推定となる。特に、文化的・歴史的価値の高い建造物では、破壊行為は避けられる。このように限られた調査による結果が示す意味から建物全体の変状や劣化傾向を推定するためには、類似建物の調査結果などの参照が有効である。

平成 30 年 12 月、竣工から約 92 年が経過した野島埼灯台霧信号舎が解体された。本報告では、解体前に実施した劣化調査および材料調査の結果と解体により明らかとなった実情を比較し、長期供用された RC 造建造物の調査に有用な情報を提供するものである。

2. 調査概要

2.1 建物概要

対象建物は、大正 14 年 8 月 31 日に供用が始まった壁式 RC 造平屋の霧信号舎である。外観を写真-1 に示す。房総半島最南端に位置しており、北面以外の 3 面が海に面した厳しい塩害環境下にあった。壁厚は、1 階で約 245mm、塔屋で約 245mm である南面を除き、約 160mm である。

本建物の工事は、関東大震災により倒壊した野島埼灯台の復旧を目的とした「野島埼燈臺并全霧信號」工事⁴⁾により行われ、大正 13 年 10 月 17 日から大正 14 年 8 月 31 日までの約 10 ヶ月間に施工された。供用開始から 67 年が経過した平成 4 年 6 月 30 日に霧信号の役割を終え、その後解体されるまでの 26 年間は無人化しており、この間に急速に劣化が進んだものと推察される。老朽化が激しい霧信号舎内に侵入して撮影された映像が動画投稿サイトに公開されるなどし、事故防止のために解体が決まった。



写真-1 対象建物の外観（北西側上空より望む）

*1 (株)コンステック 診断技術部 博士(芸術工学) (正会員)

*2 (株)コンステック 調査診断技術部部長 博士(工学) (正会員)

*3 名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科教授 工博 (正会員)

表-1 解体前に実施した調査項目

対象	項目	目的	数量・範囲
内 外 観 観	目視・打診調査	ひび割れ、鉄筋の露出、浮き、漏水の有無などの劣化症状を把握するため	実施可能な範囲
コン ク リ ー ト	圧縮強度試験 (静弾性係数)	建設当時の基準と比較するため	コンクリートコア 8 本
	中性化深さ測定	中性化に対する耐久性評価のため	コンクリートコア 18 本 はつり箇所 (4 箇所)
	成分分析	混和材・ASR ゲル・水和物観察および岩種判定のため	コンクリートコア あるいはガラ 1 試料
	塩化物イオン濃度測定	塩害に対する耐久性評価のため	コンクリートコア 8 本
鋼 材	配筋調査	構造図作成のため	はつり箇所 (4 箇所)
	鉄筋の腐食状況調査	鉄筋腐食に対する耐久性評価のため	はつり箇所 (4 箇所)
	鉄筋の引張試験	建設当時の基準と比較するため	3 本
	成分分析	建設当時の基準と比較するため	鉄筋 1 本+設備から 2 試料
構 造	レベル測量	不同沈下およびたわみ量把握のため	1 階床スラブ、屋上スラブ
	振動測定	振動性状の把握のため	実施可能な範囲
	壁の引き倒し試験	計算による曲げ終局強度との比較のため	1 階壁の南面を対象に 2 パターン

2.2 調査項目

躯体が解体される前の 11 月 8, 9, 12, 13 日に、劣化調査および材料調査を実施した。実施項目を表-1 に示す。なお、各試験は、各規格に準拠することが望ましいものの、本建物のコンクリートや鉄筋の材料の素性や経年劣化の程度が不明であるために、試験時挙動が予測できないこと、採取できた試料が適用範囲外であったことなどから、各規格に準じて実施した。

また、解体作業と並行して、順次、躯体断面の目視調査、中性化深さ測定、鉄筋の腐食状況調査を実施した。

本稿では、これらのうち、コンクリートの圧縮強度試験、中性化深さ測定、塩化物イオン濃度測定、鉄筋の腐食状況調査の結果について報告する。

3. 調査結果

3.1 コンクリートの圧縮強度

圧縮試験は、JIS A 1107⁵⁾に準じて実施した。試験に用いたコンクリートコア (φ100mm) は、1 階および塔屋で各面 1 本ずつ壁から採取した。圧縮強度試験結果を表-2 に示す。なお、推定強度は、日本建築防災協会「2017 年改定版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説」⁶⁾を参考に算定した。

設計基準強度は不明であるが、大正 13 年の市街地建築物法施行規則は強度計算時の許容圧縮応力度の最低限度として、セメント：砂：砂利または砕石＝1：2：4 のとき 45.0kg/cm²(4.41N/mm²)、1：3：6 のとき 30.0kg/cm²(2.94N/mm²)と規定している。現在、長期許容応力度は設計基準強度の 1/3 とされているが、この考えは昭和 7 年の市街地建築物法施行規則の改定で初めて導入されたものである⁷⁾。前述の長期許容圧縮応力度を設計基準強度に換算すると、それぞれ 135.0kg/cm²(13.24N/mm²)、90.0kg/cm²(8.83N/mm²)であり、本建物の推定強度は調査

表-2 コンクリートの圧縮強度試験結果

採取位置 (壁面)	圧縮強度(N/mm ²)		平均値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	推定強度 (N/mm ²)
	補正前	補正後			
1 階 南面	13.5	13.5	13.7	1.21	13.1
1 階 東面	15.4	15.4			
1 階 北面	12.5	12.5			
1 階 西面	13.5	13.5			
塔屋 南面	9.7	9.7	12.4	2.91	11.0
塔屋 東面	14.3	13.8			
塔屋 北面	16.5	15.9			
塔屋 西面	11.1	10.4			

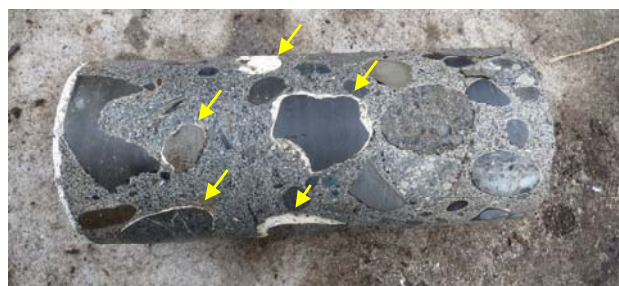


写真-2 骨材周りに確認された白色生成物
(1 階北面から採取されたコンクリートコアの外観)

によっては当時の基準を満足しない結果であった。

なお、試験時に、ひび割れが最初に生じたのが粗骨材とセメントペーストの界面 (遷移帯) であったことが確認された。本建物に使用された粗骨材の最大寸法が 50mm ほどであること、玉砂利であること、表面に白色生成物が付着した粗骨材 (写真-2) があることなどから、骨材の緩みの発生が当時の基準強度以下になった主な要因であったと推測される。

写真-2 に示した白色生成物は、建物全体で散見された。JCI-DD3⁸⁾による岩種判定によれば、粗骨材の 80%近くは安山岩と凝灰岩であり、そのほか砂岩、泥岩、玄武岩が含まれていた。このうち安山岩と凝灰岩が ASR 反応性骨材に当てはまるが、ゲルの生成やひび割れの発生な

どの顕著な現象は認められていない。白色生成物の正体は、示差熱天秤分析および粉末 X 線回折法による簡易分析結果から、炭酸カルシウムであることが判明した。石灰質の付着物がある岩石の使用、あるいは骨材とモルタル界面に生じた水酸化カルシウムと二酸化炭素との反応などが成因として考えられるものの、判明していない。

3.2 コンクリートの中性化深さ

中性化深さは、JISA 1152¹²⁾に準じて、採取したコンクリートコアの側面およびはつり箇所において各 8 点で測定した。1 階におけるコアは南面で 3 本、東面で 3 本、北面で 2 本、西面で 2 本とし、全て貫通して採取した。塔屋におけるコアは南面で 2 本、東面で 2 本、北面で 3 本、西面で 3 本とし、全て貫通して採取した。はつり箇所は、1 階南面の屋内側、1 階東面の屋外側、1 階西面の屋外側、塔屋北面の屋外側とした。仕上げモルタルは、屋内外側ともに 0~10mm 程度であった。

中性化深さの平均値、標準偏差、変動係数を表-3 に、中性化深さの平均値と変動係数の関係を図-1 に示す。中性化深さの平均値が小さいほど変動係数が大きい傾向は、既報^{10), 11)}と同じであるものの、平均値に対する変動係数の大きさは既報よりも大きかった。さらに、1 つの試料内の測定値のばらつきも大きく、最小値と最大値の較差は最大で 125mm もあった。

ここで、解体中に実施したフェノールフタレイン溶液噴霧によるコンクリート断面の呈色状況を写真-3 に示す。中性化の進行が著しい層とほとんど進行していない層に分かれており、層の高さはそれぞれ 600mm 程度であった。コンクリートの調合は、大正 13 年の市街地建築物法施行規則によって、セメントの容積 1 に対して砂と砂利または碎石の容積の和が 6 を超えないように規定されていた。水に関する規定は特になく、大正 12 年の「建築工事仕様書」¹³⁾で『如露ヲ以テ示定ノ水量ヲ注加シ』とあるのみである。現在の水セメント比によりコンクリートの強度を決定するようになったのは、市街地建築物法施行規則が昭和 7 年に改正されてからである。また、当時のセメントは、手詰めにより計量されており、軽装の場合は約 1ton/m³であったが、重装の場合は 2ton/m³にも達したことがあったと言われている¹⁴⁾。練混ぜは、手練りから蒸気式ミキサ、不傾式ドラムミキサ、可傾式ドラムミキサの順に発展し、現在のレディーミクスト工場の誕生は昭和 24 年であった。明治 45 年には国産のミキサが製造されるようになったものの、小規模工事ではほとんど手練りであったとされている¹⁴⁾。大正 12 年の「建築工事仕様書」¹³⁾でも手練りの場合の練り方が規定されている。本建物は一部塔屋があるものの平屋であり、小規模であることから、手練りであった可能性が高いと考えられる。このようなことから、材料の計量や練混ぜ、

表-3 コンクリートの中性化深さのばらつき

	屋外側			屋内側		
	平均値 (mm)	標準 偏差 (mm)	変動 係数 (%)	平均値 (mm)	標準 偏差 (mm)	変動 係数 (%)
1 階 南面	20.3	25.6	126	48.4	21.8	45
1 階 東面	14.3	15.1	106	55.1	20.0	36
1 階 北面	18.4	16.5	90	50.8	26.1	52
1 階 西面	21.9	20.2	92	58.2	6.4	11
塔屋 南面	9.8	11.3	115	34.1	22.8	67
塔屋 東面	4.0	6.9	174	76.0	7.2	10
塔屋 北面	10.4	12.4	119	46.5	20.8	37
塔屋 西面	6.7	9.3	140	86.9	13.6	16

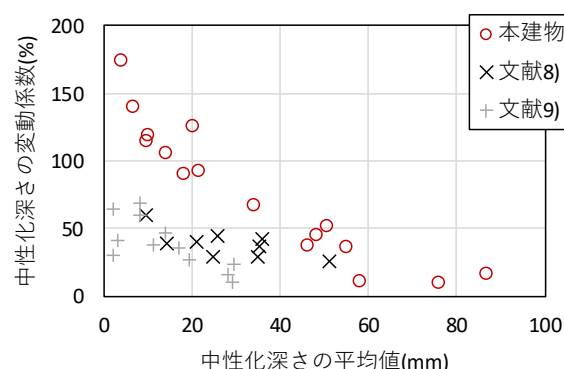


図-1 中性化深さの平均値と変動係数の関係



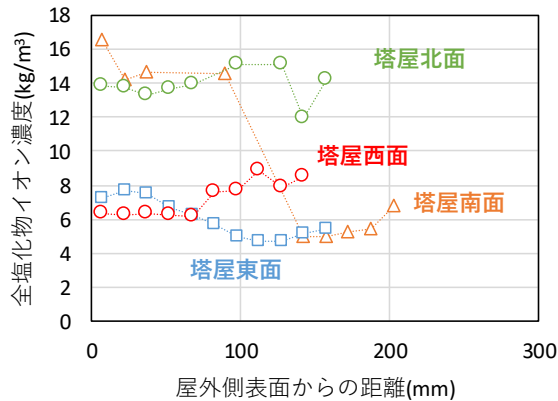
写真-3 フェノールフタレイン溶液噴霧による
コンクリート断面の呈色状況

施工精度によるばらつきが大きかったことが、本建物における中性化深さの変動係数を大きくした要因のひとつであると推察される。

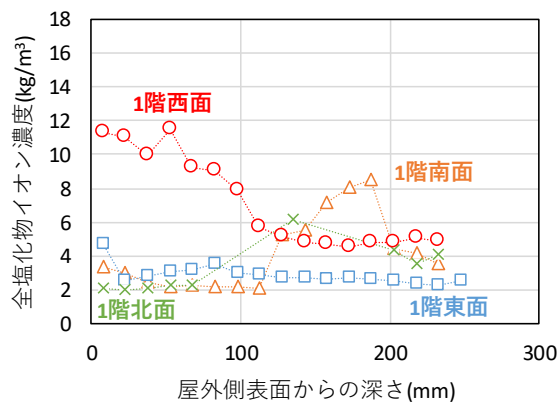
3.3 コンクリートの塩化物イオン濃度

コンクリートの塩化物イオン濃度は、JISA 1154¹⁵⁾に準じて測定した。試験に用いたコンクリートコア (φ 75mm) は、1 階および塔屋で各面 1 本ずつ壁から貫通して採取した。深さ方向の分割は 15mm 間隔を基本とし、全塩化物イオン濃度が一定値、あるいは一定の勾配であることが想定された区間ではその間隔を広げた。測定結果を図-2 に示す。

全塩化物イオン濃度は、全ての試料、深さにおいて、日本建築学会が鉄筋腐食に及ぼす影響が大きいとする 1.2kg/m^3 を超えていた¹⁶⁾。屋内側の分布傾向から、1階は 2kg/m^3 、塔屋は 4kg/m^3 以上の内在塩分を含んでいる可能性が高い。コンクリートコア側面に貝殻片が散見されており、海砂の使用が伺えた。なお、1階と塔屋で内在塩分量に差があるが、これは材料の計量による違いと考えられる。ブレーカーやバックホウによる解体において、1階はコンクリート塊が大きい傾向にあったが、塔屋は

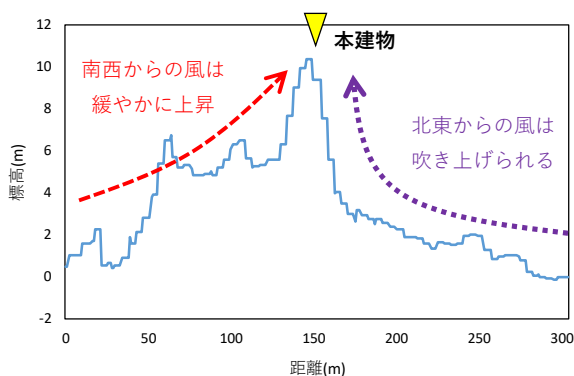


(a) 塔屋の壁



(b) 1階の壁

図ー2 コンクリート中の塩化物イオン濃度の深さ方向の分布
(最深位置は屋内側表面)



図ー3 本建物の南西－北東軸における地形
(国土地理院の断面図データ)

コンクリート塊が小さく、砂状に崩壊していく傾向にあった。よって、塔屋は1階に比べてセメント量が少なかったと考えられる。大正13年におけるセメントの卸売価格は1tonあたり28～37円、米の東京小売価格は10kgあたり2.92円だった¹⁷⁾。平成18年における米の東京小売価格が10kgあたり4,650円であったことに基づいて、その比率からセメントの卸売価格を換算すれば1tonあたり44,589～58,921円と推算される。現在の普通ポルトランドセメントの卸売価格が1tonあたり10,000円程度である¹⁸⁾ことから、当時のセメントは大変高価で貴重であり、工事が進むにつれてセメントの入手が難しくなったか、意図してセメント量を減らしたと推察される。

次に、屋外側の塩化物イオン濃度の深さ方向の分布傾向に着目すると、その特徴は1階壁では西面とこれ以外に、塔屋では東西面と南北面に二分される。まず、1階壁における違いは、建物方位と地形、風向の関係によるものと考えられる。太平洋側では、夏期から秋期にかけて台風が接近あるいは上陸する。台風の影響は周辺よりも低いため、気圧の高い周辺の空気は海水を押し上げ、台風の中心付近の空気は海水を吸い上げるように作用し、海面を上昇させる。気象庁観測点：館山を参考にすれば、同時期における最多風向は南西方向であり、本建物の西面に潮風や波しぶきが当たりやすい環境であったと考えられる。さらに、図ー3に示すように本建物の南西側（西面）は緩やかな斜面となっており、南西側（西面）からの潮風が直接壁に当たりやすい地形条件であった。一方、北東側（東面）は急勾配な斜面となっており、北東側（東面）からの風はこの急勾配な斜面に当たり、本建物よりも高い位置に吹き上がるような地形条件であった。このような様々な要因により、西面の全塩化物イオン濃度が極端に高くなったと推察される。

塔屋における違いは、屋根スラブの形状によるものと考えられる。屋根スラブはアーチ状になっており、屋根スラブへの雨水が東面と西面には流れるが、北面と南面には流れない。東面と西面は、壁表面に付着した飛来塩分が洗われるため、北面と南面に比べて全塩化物イオン濃度が低くなったと考えられる。

3.4 鉄筋の腐食状況

鉄筋の腐食状況は、解体前ははつり箇所、解体中は適宜目視確認した。腐食状況の評価は、「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」^{16), 19)}を基準に腐食グレードI～Vに分類した。

はつり箇所で確認された鉄筋の腐食グレードを表ー4に示す。腐食グレードと平均中性化深さの相関は確認されなかった。腐食グレードが特に大きい塔屋北面のはつり箇所は打重ね部分であった。当該箇所は、はつり作業により骨材がバラバラと剥落するような豆板が存在して

いた。酸素供給が容易であり、滞水もしやすい箇所であったことが、鉄筋腐食の進行に影響したと考えられる。

次に、解体中に適宜確認した鉄筋の腐食状況と中性化深さを写真-4に示す。周辺コンクリート断面で確認した中性化深さは50～80mm程度で鉄筋まで達していなかった。写真-4(b)の矢印Aにおける鉄筋の腐食グレードはⅠ程度と小さかったものの、矢印Bでは腐食グレードⅤと大きい。矢印Bの部分は、開口下端付近に位置しており、コンクリートの充填不良や乾燥収縮によるひび割れの発生により雨水が浸入しやすい箇所であった。

建物全体として、鉄筋の腐食グレードが大きい鉄筋は、連続性のない打重ね部や開口部周辺の乾燥収縮ひび割れに沿った範囲に集中しており、極端なかぶり厚さ不足の

表-4 はつり箇所を確認された鉄筋腐食状況

調査箇所	1階東面 (屋外側)	1階西面 (屋外側)	塔屋北面 (屋外側)	1階南面 (屋内側)
仕上げ厚さ (mm)	2	2	2	2
かぶり厚さ (mm)	85(横筋)	57(横筋)	55(横筋)	30(横筋)
鉄筋の直径 (mm)	9.6 (横筋) 13.2 (縦筋 1) 13.1 (縦筋 2)	10.1 (横筋) 13.4 (縦筋 1) 13.5 (縦筋 2)	10.0 (横筋) 12.2 (縦筋 1) 13.1 (縦筋 2) 12.3 (縦筋 3)	9.5 (横筋) 12.6 (縦筋 1) 12.6 (縦筋 2)
鉄筋の 腐食 グレード	全てⅡ	全てⅢ	全てⅤ	全てⅢ
平均 中性化深さ (mm)	39.8	24.8	54.9	46.5



(a) 解体範囲の外観



(b) 解体後の外観



(c) 矢印Aの鉄筋の腐食状況(腐食グレードⅠ)



(d) 矢印Bの鉄筋の腐食状況(腐食グレードⅤ)

写真-4 解体により確認された鉄筋の腐食状況

場合を除いて、開口のない部分や屋上スラブ、梁の鉄筋の腐食グレードはⅠ～Ⅲ程度がほとんどであった。

以上の結果から、はつりなどの局所的な確認では、建物全体に対する鉄筋の腐食状況を推定することは困難であると考えられる。

4. まとめ

本報告では、竣工から約 92 年が経過した野島埼灯台霧信号舎を対象に、解体前に実施した劣化調査および材料調査の結果と解体により明らかとなった実情を比較した。

コンクリートコアの採取やはつり調査などの局所的なサンプリングによる調査結果は、建物全体から見ればほんの一部にしかすぎない。そのため、本建物においては、①調査結果から推定される建物全体の変状や劣化傾向と解体により明らかとなった実情とが異なり、②調査結果から建物全体の変状や劣化傾向を推定することが困難であった。その理由としては、施工方法が不明であったり、施工精度にばらつきがあったりするため、一部の調査で建物全体を評価することの難しさを指摘している。本稿により報告した、(1)コンクリートの圧縮強度に影響を及ぼすような骨材周辺の白色生成物の存在、(2)材料の計量や施工精度のばらつきによる層ごとの中性化深さの違い、(3)塩化物イオン濃度の深さ方向の分布傾向、(4)部位による鉄筋の腐食グレードの傾向が、長期供用された RC 造建造物の調査計画を立案し、結果を理解する上で参考になれば幸いである。

謝辞

本調査は、「平成 30 年度野島埼灯台改良改修工事」のうち霧信号舎の記録史作成業務として行ったものの一部です。記録史は「野島埼灯台霧信号所変遷と概要、霧信号舎の構法及び施工に関する調査」として、第三管区海上保安本部交通部整備課によってまとめられています。

本調査の実施に当たりご調整いただいた第三管区海上保安本部交通部整備課、解体作業等工法に特段のご配慮いただいた協和建設工業株式会社、圧縮試験および塩化物イオン濃度測定にご協力いただいた芝浦工業大学濱崎研究室、骨材周りに付着した白色生成物の成分分析にご協力いただいた芝浦工業大学伊代田研究の皆様に御礼申し上げます。

また、壁の引き倒し試験は、(公社)全国解体工事業団体連合会の助成を受けて実施しました。

参考文献

- 1) 登録有形文化財に係る登録手続及び届出書等に関する規則(平成 8 年文部省令第 29 号)

- 2) 守明子, 長谷川直司, 志岐祐一, 上本晃平: 歴史的鉄筋コンクリート造建築物の保存に関する調査研究 その 1 研究の概要と資料調査, 日本建築学会東海支部研究報告書, 第 49 号, pp.761-762, 2011.2
- 3) 文化財保護法及び地方教育行政の組織及び運営に関する法律の一部を改正する法律(平成 30 年法律第 42 号)
- 4) 灯台局編: 震災復舊工事, 第 7 回灯台局年報, pp.44-45, 1931.3
- 5) 日本産業規格: JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法, 2012
- 6) 日本建築防災協会: 2017 年改定版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説, p.70, 2017.7
- 7) 大橋雄二: 構造計算規定における長期・短期概念の成立に関する考察(その 7 法令における構造関係規定の変遷に関する研究), 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp.135-136, 1990.10
- 8) 日本コンクリート工学会: JCI-DD3 骨材に含まれる有害鉱物の判別(同定)方法(案), 1989
- 9) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, pp.191-194, 2018.7
- 10) 和泉意登志, 押田文雄: 経年建築物におけるコンクリートの中性化と鉄筋の腐食, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 406 号, pp.1-12, 1989.12
- 11) 平松和嗣: 既存 RC 建物構造体の実用的な耐久性評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.931-936, 2007.7
- 12) 日本産業規格: JIS A 1152 コンクリートの中性化深さの測定方法, 2018
- 13) 建築學會編: 建築工事仕様書, 建築雑誌大正 12 年 6 月付録, 56p., 1923.6
- 14) 日本セメント株式会社: 日本セメント七十年史.序編, pp.367-378, 1955.10
- 15) 日本産業規格: JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法, 2012
- 16) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説, pp.99-126, pp.162-140, 2016.7
- 17) 森永卓郎: 物価の文化史事典, 壮光舎印刷, pp.29-31, 2008.7
- 18) 建設総合ポータルサイトけんせつ Plaza (<http://www.kensetsu-plaza.com/market/>: 最終アクセス 2019.2.28)
- 19) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断・および補修指針(案)・同解説, pp.44-72, 1997.1