

報告 鉄筋コンクリート造黎明期に建設された旧久米民之助邸洋館の構工法及び鋼材の腐食状況に関する調査

遠藤 真路*1・濱崎 仁*2・清原 千鶴*3・田中 章夫*4

要旨：大正初期頃に建てられた鉄筋コンクリート造建築物の調査を行い、調査対象建築物の歴史的背景と共に構・工法や当時のコンクリート調合および鋼材の腐食状況に関する検討を行った。その結果、当該建築物の外壁は当時の日本国内における新しい技術として提唱されていた鉄網が使用されており、コンクリートに関しては土留め工法を応用させた打設が行われていたことが推測された。鋼材腐食状況は中性化が鉄筋およびクリンプ金網に到達していたが、コンクリート内部の相対湿度が耐久性に影響を及ぼすような環境下ではなく、鉄筋の腐食グレードは2であった。

キーワード：構法, 工法, セメント樽, 鉄筋腐食, 中性化, 相対湿度

1. はじめに

既往の文献¹⁾によると、日本における主要構造体を鉄筋コンクリート造とした建築物は1905年に竣工した佐世保港内第1炊場・潜水器具庫とあり、これ以降、多くの鉄筋コンクリート造建築物が建設されている。日本における第2次世界大戦前(戦前)の鉄筋コンクリート造建築物の寿命は100年とも言われてきたが、今日において戦前に建設された鉄筋コンクリート造建築物が現存されているものは非常に少ない。これは設備機器の老朽化や使い勝手の悪さなどにより維持保存することが困難なため解体を選択されているものが多いことが考えられる。

このような背景の中、筆者らは、1912年頃に建設されたと言われている旧久米民之助洋館邸宅の調査の機会を得た。調査対象となった建築物は鉄筋コンクリート造と木造の複合構造となっている。建設された1912年(大正元年)頃は土木構造物では鉄筋コンクリートが使われ始めた時期であったものの、建築物において鉄筋コンクリートが使われた例は少なく、現存する鉄筋コンクリート造の建築物としては最古級である可能性が高い。

そこで、本研究では当時の鉄筋コンクリート造の技術を明らかにすることを目的に、本調査建築物の歴史的背景と共に施工方法やコンクリートおよび劣化状況について調査を行った。

2. 建築物概要

表-1に調査対象である旧久米民之助洋館の建築物概要を、写真-1に建築物全体の写真を示す。建築物は平屋建てで壁面は鉄筋コンクリート造、梁の一部と小屋組みは木造である。図-1に建築物の平面図および調査箇所を示す。本建築物は実業家・土木技術者であり衆議院



写真-1 旧久米邸外観



図-1 平面図・調査箇所

表-1 建築物概要

所在地	東京都渋谷区代々木上原
所有者	都内の不動産会社 (2019年まで岩佐家の親族が所有)
構造	基礎・外壁：鉄筋コンクリート造 小屋組・床組：木造
竣工年	1912年(大正元年)頃
面積	115m ²
設計者	片山東熊・木子幸三郎

議員を務めた久米民之助邸宅の一部である。久米は明治後期から大正初期にかけて渋谷区代々木上原の広大な敷地に和風邸宅を構え代々木御殿と呼ばれていた。和風邸宅に付随して接客用の洋館があった。その後所有者が変わり敷地分割や建物撤去が行われ洋館だけが残っていた。2020年に開発に伴い取り壊されたが、歴史的な価値から

*1 東京理科大学 工学部建築学科4年 (学生会員)

*2 芝浦工業大学 建築学部教授 博士(工学) (正会員)

*3 東京理科大学 工学部建築学科嘱託助教 博士(工学) (正会員)

*4 日本工業大学 建築学部建築学科助教 博士(工学) (正会員)

部材の一部は保存され、久米の故郷である群馬県沼田市に移築再現されることとなった。

2.1 設計者

設計者は正確には判明していないが、宮内省に勤め多くの宮廷建築などを手掛けた木子幸三郎と、木子の宮内省時代の上司で迎賓館赤坂離宮などを手掛けた片山東熊の名前が挙がっている。文献²⁾には木子の作品の中に「代々木久米邸」と記載されている。また、文献³⁾には片山東熊が設計したという記載などが見られる。

2.2 歴史的背景

表-2 に代々木御殿の所有者と年代を示す。文献⁴⁾によると、久米民之助は 1912 年頃に渋谷区代々木上原の約 40000 坪の土地に 800 坪の豪華な邸宅を構え、邸宅には立派な能楽堂もあったという。久米氏は、1922 年頃に経営難にあった金剛山電気鉄道に運転資金を充てるため代々木御殿を売却した。売却後、目黒に約 3000 坪の土地を購入してエレベーター付きの鉄筋コンクリート造の住宅を建てた。久米氏の売却後に代々木御殿を購入したのは、関東大震災(1923 年)で麻布区飯倉にあった本邸が被災した紀州徳川侯爵家である。紀州徳川家は当時旧藩主で有数の大資産家であったが、昭和の時代に入ると金融恐慌の影響もあり財政が傾き、昭和 13 年(1938 年)に代々木御殿を売却した。そして目黒蒲田電鉄株式会社・田園都市課で、代々木富ヶ谷土地区画整理事業による道路および街区に合わせた宅地開発の一環として区画整備・分譲した⁵⁾。その後、1945 年～1951 年の間、西洋館は占領軍による接収を受けていた。昭和 30 年代に入ると西洋館と和館の一部が残され、京浜急行電鉄の社長である田中百敏が暮らした。昭和 48 年頃から所有者が田中・岩佐となり、洋館の敷地に岩佐氏が迎賓館として使用していた。昭和 55 年頃からは和館が取り壊されてマンションに建て替えられ、洋館だけが現代まで残された⁶⁾。

3. 調査概要

本調査は、本建築物の外観目視観察による構法や劣化状況の把握ならびに壁体のコアおよびハツリから物性測定を行った。ハツリを実施した後、かぶり厚さをスケールにより実測するとともに、鉄筋の組み方や木材と鉄筋コンクリートの取り合い等について調査を行った。採取した鋼材については、指針⁷⁾に準拠した鉄筋腐食区分により鉄筋腐食グレードを 1～5 の 5 段階で目視評価を行った(表-3)。コア供試体を採取後、コンクリートの中酸化深さを JIS A 1152 に準じてフェノールフタレイン溶液を噴霧し計測した。コンクリート内部の相対湿度については、温湿度センサーをコンクリート表層から 30mm および 80mm 深さの場所に埋め込み、10/3～10/24 の期間に測定した。

表-2 年代と所有者^{4), 5), 6)}

年代	代々木御殿所有者
1912~1922	久米民之助氏
1923~1938	紀州徳川家
1938~1945	分譲
1945~1951	占領軍
1955~1973	田中百敏氏
1973~1980	田中百敏氏・岩佐多聞氏
1980~	岩佐多聞氏

表-3 鉄筋腐食の評価区分⁷⁾

グレード	腐食状況	例
1	施工時の状態を保ち、以降の腐食が認められない。	
2	部分的に腐食が認められる軽微な腐食	
3	表面の大部分が腐食している部分的に断面欠損が生じる	
4	鉄筋全面にわたり断面欠損がある	
5	鉄筋の断面欠損が当初の 2/3～1/2 程度欠損している	

4. 工法調査結果

4.1 外壁

(1) 配筋

部位によって異なるが調査した範囲では、壁厚はおおよそ 100～140mm、鉄筋には丸鋼(φ9～13mm)およびクリンプ金網が使用されていた。丸鋼は、写真-2 のように建築物に対して高さ方向のみに配置されており、結束線のような細い鉄筋を用いてクリンプ金網同士の交点で数か所固定されている。丸鋼の間隔は 450mm～800mm(約 1 尺 5 寸～2 尺 5 寸)となっておりクリンプ金網 7, 8 本に対して 1 本ほどと、本数は非常に少ない。丸鋼の径は 9mm および 13mm のものがあり方角によって多少異なり、部分的な軽微な腐食が見られ、かぶり厚さは 50mm 程度であった。クリンプ金網は、直径 4mm であり、コンクリート中に存在し、図-2 のように 100mm 間隔で相互に交差するように組まれていた。

(2) 鋸(かすがい)

本調査では「コ」の字の形状をした鋸と、写真-3 および図-3 に示すような先端部分の向きが異なる手違い鋸が発見された。後述するように、鋸は桧木と鉄筋コンクリートの接合を補強するために使用されていたと考えられる。鋸の径は 8mm、長さは 180mm 程度であった。

(3) 構工法

旧久米民之助洋館は、鉄筋コンクリートの外周壁に木の小屋組を渡すような倉庫風建築となっている。外壁については、写真-4 に示すように土留め壁工事で使用される矢板で型枠が組まれ、コンクリートが打設(写真-5)されていた。このような土木工事に通じた工法は、皇居二重橋の設計に携わった久米民之助の意向ではないかと考え、以下のような施工方法を推測した。図-4 および表-4 に外壁部分の施工の順番を示した。図-4 では①

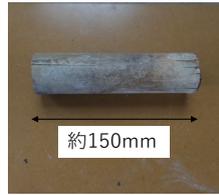


写真-2

写真-3 手違い銚

写真-4 型枠取外し前

写真-5 型枠取外し後

写真-6 竹

クリンプ金網・丸鋼

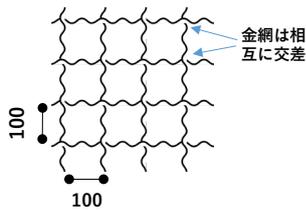


図-2 クリンプ金網配置



図-3 手違い銚模式図

表-4 施工手順

①	栈木の固定
②	クリンプ金網・丸鋼の設置
③	下から順番に型枠を入れる
④	2つの型枠の間に栈木とクリンプ金網を補強するためにクリンプ金網に引っ掛けて銚を数か所固定

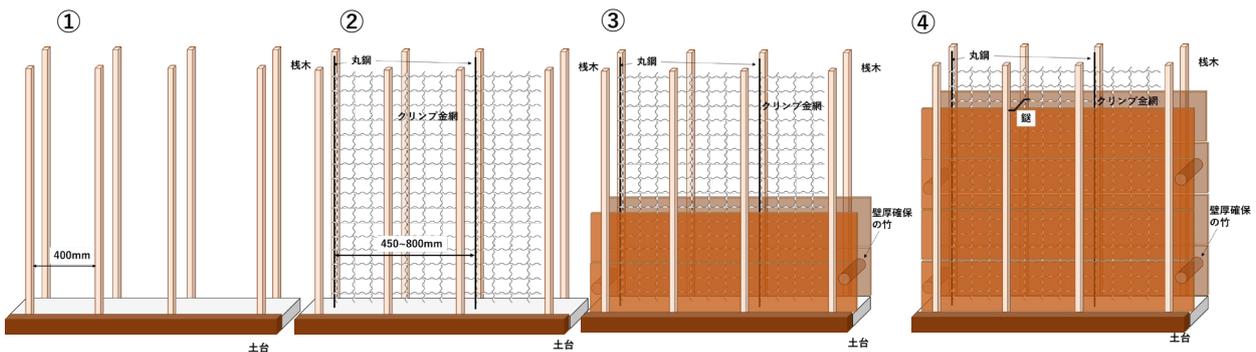


図-4 施工手順

～④の順に施工され、その後コンクリートを版築のように突き詰められたものと推測される。コンクリート表面から見られる打ち継ぎの跡から型枠の板を5枚分の高さ(1500～2000mm(5～6尺))まで立てた後に打設をし、コンクリートが固まってから再度上部に次の打設を行ったと考えられる。打設時における壁厚の確保のために竹(写真-6)が使用されていた。栈木の固定方法は、図-5のように木材の土台に栈木の大きさ分のほぞ穴を開け、栈木を差し込んでいたと推測される。栈木の上部にもほぞ穴で固定されている箇所がいくつか存在した。栈木同士の間隔は約400mm、型枠の高さは300mmおよび400mmのものが存在した。

なお、鉄網コンクリートについては1905年(明治38年)の時点で図-6のように既に三橋四郎によって提唱されていた。図-7に鉄筋コンクリートと鉄網コンクリートの違いを示す。当時は高価であった鉄筋コンクリートに対して、鉄網コンクリートは左官工法を活かして鉄

網にコンクリートを塗り込む工法であり、耐火性かつ経済的な工法であった。鉄網コンクリートの特徴は、コンクリートを鉄網に「塗り込む」ものである。これらを念頭に、旧久米邸でのクリンプ金網の使用方法を検討した。図-4に示すように旧久米邸では調査結果から型枠が使用されコールドジョイントも観察されたことから、「塗る」鉄網コンクリートではなく「打つ」鉄筋コンクリートであると考えられる。また、当時久米が生業とする土木分野では無筋コンクリートも多用されており⁸⁾、さらに当時の鉄網のピッチが0.5～1吋(12.7～24.4mm)であったことから、部位が壁ということでひび割れ防止筋として用いられた可能性が考えられるがこの点についてはさらに検討を進めたい。

4.2 基礎

本建築物の床下部分に写真-7のようなコンクリート基礎が見つかった。図-8に示すように床東部分と東石の上部はコンクリート製で、東石下部の地盤面より下は

砂利地業で構成されていた。また、束1つに対して鉄筋が4本入っていた。束石部分は樽形状となっており、当時のセメント樽を型枠代わりとして砂利とコンクリートを流し込んで作製していたと推測した。そこで、セメント樽の形状や寸法から当時のセメント会社との整合を行った。文献⁹⁾に記載された当時のセメント会社におけるセメント樽の寸法を表-5に示す。セメント樽は昭和初期頃まで使用されており全国的な公の標準規格がなかったため、各社はそれぞれ似通った規格を定めてそれを社内規格として用いていた。表中に示す浅野社の規格は大正12年から大正13年までの同社門司工場における製樽契約によるものであり、小野田社の規格は明治43年から大正6年までの同社における規格となっている。旧久米邸の竣工年(大正元年)からセメント樽は小野田社のものであると考えられる。また、実測結果から樽基礎上部の径が400mmであり、文献¹⁰⁾によるとセメント樽の蓋は樽上部よりも径が僅かに大きくなっていることから、浅野社では樽上部と蓋の径が等しくなってしまうが、小野田社であれば径14.5寸の蓋を使用すると蓋の方が樽上部より大きくなるので、年代および寸法から小野田社のセメント樽を使用していたと考えられる。

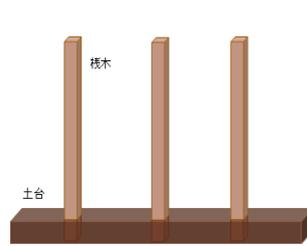


図-5 榎木と土台の固定

○ 鉄網「ラス」工法
 昭和10年代後半から1930年代前半にかけて、日本建築学会が「鉄網コンクリート」の普及を推進した。この工法は、鉄網をコンクリートに塗り込むことで、耐火性や経済性を向上させた。浅野社や小野田社など、当時のセメント会社は、この工法を採用し、鉄網コンクリートの製造を開始した。

図-6 鉄網コンクリートに関する文献⁸⁾

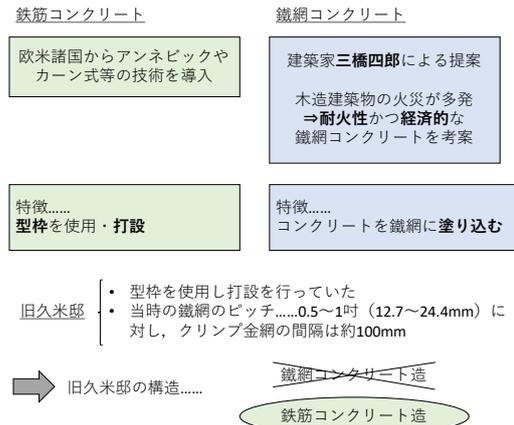


図-7 鉄網・鉄筋コンクリート

5. コンクリート調合

旧久米邸が建設された時代の建築規制としては、図-9に示す日本建築学会による東京市建築条例案¹¹⁾がある(1913年(大正2年))。ここでは、セメント1に対し砂4以下として凝元體(ぎょうげんたい)はセメントと砂の合量の2倍より1を減じたものとされていた。凝元體は6分の篩目(3/4インチ:19.05mm)を通過するものとされていたため、現代の粗骨材に相当するものと考えられる。なお、最大でこの比に準じると、セメント:砂:凝元體(粗骨材)は1:4:9(容積比)となり、骨材量が著しく大きいものとなる。一方、内務省で進められていた建築物規制を法制化する案を、建築学会提案の取締規則案を改める形で法制化したものが1919年(大正8年)の市街地建築物法(以下、物法と記す)であるとされており、物法の交付翌年の1920年には、市街地建築物法施行令および市街地建築物法施行規則(以下、物法施行規則と記す)が制定され、以後、1950年(昭和25年)に建築基準法が制定されるまで、日本における最も上位の建築規制として運用された¹²⁾。1926年(大正15年)に改正された内容が適用され、表-6に抜粋される物法施行規則の鉄筋コンクリート造に関連する部分では、粗骨材は硬質で2.5cm以下のものとし、コンクリートの調合は容積調合として、セメント骨材比が6を超えないことなどが規定されている。細骨材と粗骨材の比としては文献⁹⁾¹³⁾を見る限り、セメント:砂:粗骨材(凝元體)は1:2:4が有力で

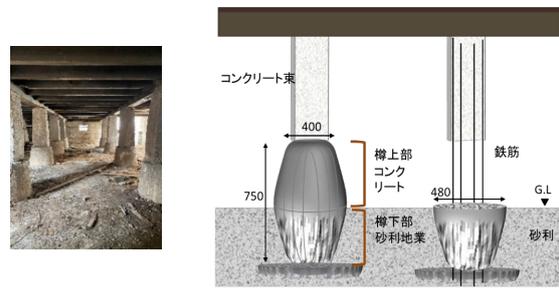


写真-7 床下基礎部分

図-8 コンクリート基礎の模式図

表-5 会社別底蓋および上蓋径⁹⁾

		浅野社	小野田社
セメント樽	高さ	25寸 (758mm)	25寸 (758mm)
	厚さ	正4分 (12.1mm)	4分3厘および 4分8厘 (13.0~14.5mm)
	幅	1寸8分~2寸8分 内周を5尺3寸 (54.5mm~84.8mm)	1寸8分~2寸8分 (54.5mm~84.8mm)
底蓋および上蓋	径	14寸 (424mm)	13~14.5寸 (394~439mm)
	厚さ	正5分 (15mm)	5分7厘及6分5厘 (17.1~19.5mm)

あると考えられるが、コンクリートの容積調合方法の過渡期とも思われ、この点については今後の骨材量の分析結果を踏まえて検討を行いたい。なお、旧久米邸のコア圧縮強度は19.2N/mm²であった。図-10より45年が経



図-9 東京市建築条例案 調査¹¹⁾

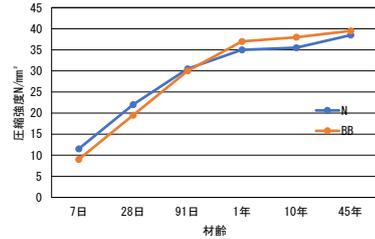


図-10 長期材齢の圧縮強度¹⁴⁾

表-6 市街地建築物法施行規則第二節構造強度¹¹⁾

第88条	<p>鉄筋「コンクリート」構造ニ使用スル「コンクリート」ハ左ノ規定ニ依ルヘシ 但シ其ノ用途ニ依リ已ムヲ得且構造上支障ナキモノニ在リテハ地方長官ノ許可ヲ受ケ第三號及第四號ノ規定ニ依ラサルコトヲ得</p> <p>一 砂ハ泥土、鹽分等ヲ含マサルモノナルコト</p> <p>二 砂利又ハ碎石ハ硬質ニシテ二種ニ分ノ一目篩ヲ通過シ且鉄筋相互間及鉄筋ト假構トノ間ヲ自由ニ通過スルモノナルコト</p> <p>三 煉瓦屑、石炭燼ノ類ハ之ヲ使用セサルコト</p> <p>四 「コンクリート」ノ割合割合ハ「セメント」ノ容積一ニ對シ砂ト砂利又ハ碎石トノ容積ノ和六ヲ超過セサルコト 但シ「セメント」ハ千五百五十珎ヲ以テ一立方メートルス</p> <p>鉄筋「コンクリート」構造ニ使用スル鉄筋ノ品質ハ第八十二條ノ規定ニ依ルヘシ</p>
------	--

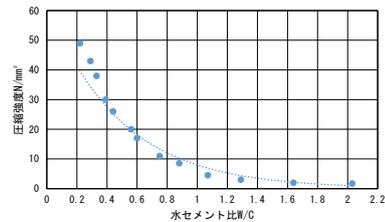


図-11 水セメント比と圧縮強度の関係¹⁵⁾

過した普通ポルトランドセメントの強度の増進が材齢28日と比較して約1.7倍であることが示されている¹⁴⁾。当時の久米邸のコンクリートに使用されていた材料および調査は異なるが、この結果を仮に材齢28日のものに割り戻すと久米邸に使用されていたコンクリートの材齢28日における圧縮強度は11.3N/mm²程度であったと推測される。図-11は当時のコンクリートにおける材齢28日における圧縮強度と水セメント比の関係¹⁵⁾であり、上記の推定結果にさらに基づくと、コンクリートの質量比としての水セメント比は80%程度と推定される。ただしこの推測は大胆の域を出ないものであり、コンクリートの水セメント比および骨材量等についてはコア画像や供試体の分析などを行い、さらに検討していく予定である。

表-7 鋼材腐食状況

鋼材	採取位置	腐食グレード	腐食状況
手違い錠	西壁面	3	
丸鋼	北壁面	2	
クリンプ金網	北壁面	2	

表-8 中性化深さ

コア方角	屋内外	仕上げ厚さ(mm)	中性化深さ(mm)
北	屋内	なし	104.0
北	屋外	29.4 (タイル10.7, モルタル18.7)	42.5
西	屋内	なし	74.0

6. 鋼材腐食状況

採取した手違い錠、丸鋼およびクリンプ金網の腐食グレードを表-7に示す。写真-3に示す手違い錠を採取した箇所は建築物の西側であった。錠を採取するためにハツリを行った範囲は屋内側から60~70mmであったが、錠までのコンクリートは全面中性化していた。表-8における西側のコンクリートコアのデータは手違い錠から1~2m程離れた場所であるが、中性化深さが74.0mmとなっており、錠が埋まっている部分よりも深い位置まで中性化が生じていた。しかしながら手違い錠はコンクリート中に埋まっていた部分において腐食はほとんど見られず、栈木に挿し込まれていた部分と空气中に触れている部分において、全面的に表-3の腐食評価区分におけるグレード3相当の腐食が確認された。また、丸鋼およ

びクリンプ金網においては、錆びている箇所が見られるが断面欠損は生じていないことから腐食グレードは2であった。これらのことから、手違い錠、丸鋼およびクリンプ金網までのかぶり厚さ(50mm)よりも深い場所まで中性化が生じているが、鉄筋の腐食は軽微であり建築物の耐久性に影響を及ぼす程の重度な腐食は見られなかった。ここで、コンクリート表層から30mmおよび80mm付近における相対湿度および温度変化について、解体までの3週間程度測定を行った。その結果が図-12である。表層から近い30mmの相対湿度は変動が大きく、80mmの相対湿度は気温の変化にかかわらず68~70%の領域を分布していた。

図-13は、既往の調査¹⁶⁾から得られた各々中性化の鉄筋位置への到達・未到達および雨掛かりの有無における

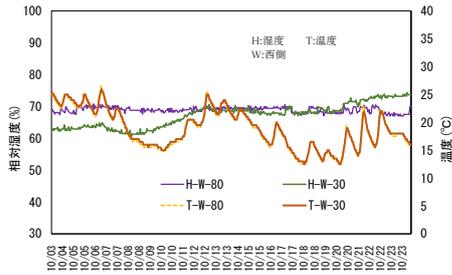


図-12 西側 30mm, 80mmにおける相対湿度・温度変化

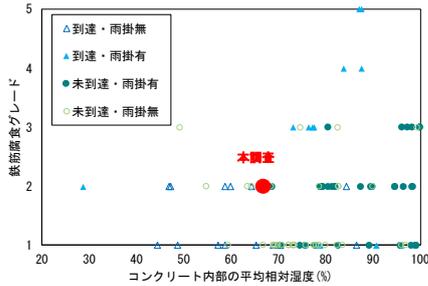


図-13 雨掛かりの有無および中性化到達・未到達における鉄筋腐食グレードと相対湿度の関係¹⁶⁾

鉄筋腐食グレードとコンクリート内部の平均相対湿度の関係に本調査における結果をプロットした図である。相対湿度 80~90%が最も鉄筋腐食が生じやすい環境にあり、なおかつ中性化が鉄筋に到達している箇所の腐食グレードが大きい。本調査では雨掛かりが無く中性化が鉄筋位置まで到達していたが鉄筋腐食グレードは 2 であった。このことから鉄筋コンクリート造の寿命は中性化が鉄筋位置に到達した時間であるとされていた¹⁷⁾が、築 100 年を超えた建築物で中性化が鉄筋位置に到達している場合において、かぶり厚さが 50mm 程度と十分に確保され相対湿度 80~90%ではない環境下であれば、建築物の寿命に影響を及ぼす程の腐食は見られないことが分かった。

7. まとめ

- (1) 旧久米邸が建てられた当時は、コンクリートの調合は質量調合ではなく容積比の変遷過渡期の時代であったと考えられる。
- (2) 旧久米邸の外壁には土留め壁工法で使用される矢板が型枠として用いられていた。また、外壁に使用された金網は三橋四郎提唱による鉄網コンクリートとは異なり、無筋コンクリートを主体とした土留め壁工法のひび割れ防止筋に使用されたものと推測される。
- (3) 基礎は樽を型枠にして作られ、形状寸法から小野田セメントのセメント樽が転用されたと推測される。
- (4) 築 100 年を超えた旧久米邸において中性化が鉄筋位置に到達していても、かぶり厚さが 50mm 程度と十

分に確保され相対湿度 80~90%ではない環境下であれば建築物の寿命に影響を及ぼす程の鋼材腐食は見られないことが分かった。

謝辞

本研究にあたり株式会社日東設計事務所の志岐祐一氏、株式会社東京アセットソリューションの沼田隆氏、代々木上原旧久米邸洋館保存プロジェクト事務局の松岡恒太郎氏、株式会社八洋コンサルタントの白石聖氏、芝浦工業大学濱崎研究室、東京理科大学兼松研究室および今本研究室の方々他関係者のご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 今本啓一：震災と空襲を乗り越えた 100 年建築一樹林館一、黎明期の鉄筋コンクリート造建築物調査雑感第 9 回、砕石、pp.42-48,2019
- 2) 石原信之：日本建築士第 28 巻第 3 号、日本建築士会、pp.72-73,1941.3
- 3) 高橋義雄：偶像録、株式会社思文閣出版、pp.396-397,422-423,1987.6
- 4) 都市建築編集研究所：素顔の大建築家たち 02、建築資料研究社、pp.118-121,2001.6
- 5) 渋谷区郷土博物館・文学館：住まいからみた近・現代の渋谷、pp.47-53,2007.10
- 6) 久米権九郎追憶誌編集委員会：久米権九郎追憶誌、株式会社久米建築事務所、pp.8-15,1966.5
- 7) 公益社団法人日本コンクリート工学会：既存コンクリート構造物の性能評価指針 2014、p.210
- 8) 三橋四郎：鉄網コンクリートに就て、建築雑誌、293 号、pp.288-306,1905.3
- 9) 日本セメント株式会社：七十年史序編、pp.367-378,1955.10
- 10) セメント協会：セメントの常識、pp.64-67,2013.4
- 11) 建築學會：東京市建築條例案、pp.15-26,1913.5
- 12) 日本建築学会：同潤会上野下アパート材料調査報告、2015.3
- 13) 内藤多仲：外國人が調べた日本の砂利、砂およびコンクリートの強度、建築雑誌、458 号、pp.73-74,1924.8
- 14) 植木康知、大塚勇介、平本真也、檀康弘：45 年経過した混合セメントコンクリートの長期強度発現性について、コンクリート工学論文集、第 23 巻第 2 号 2012.5
- 15) 濱田稔：コンクリート應圧強度に関する研究(強度の理論と配合方法)、建築雑誌、492 号、pp.141-184,1927.2
- 16) 山田宗範、今本啓一、清原千鶴、野口貴文：実構造物におけるコンクリート内部の水分が鉄筋腐食に与える影響に関する研究、コンクリート工学年次論文集、vol.40 No.1、pp.621-626,2018
- 17) 日本建築学会：建築工事指図書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事、2015