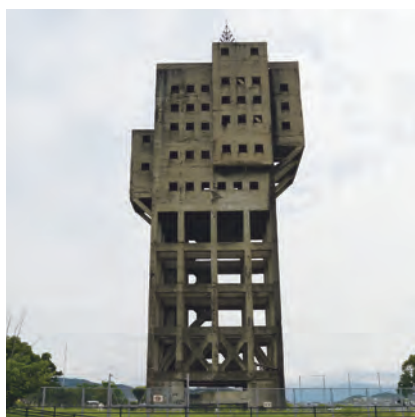


コンクリート造建造物の保存と修復



未来につなぐ人類の技 19

コンクリート造建造物の保存と修復

東京文化財研究所 保存科学研究センター 近代文化遺産研究室 [編]

巻頭言

東京文化財研究所では、様々な有形文化財の調査研究及びその保存修復に関する調査研究を行なっています。その中で、主として明治以降に生まれた多種多様な近代の文化遺産保護に繋がる基礎的な調査研究について、独立行政法人に移行した平成 13 年（2001）から「近代の文化遺産の保存修復に関する調査研究」と題する研究プロジェクトを立て、研究の深化を図りながらその情報の共有化を図るため、毎年テーマを定めて内外の研究者を招いて研究会を開催してきました。

この間、平成 18 年（2006）には近代文化遺産の保存修復に関する研究を当研究所として重点的に行うことを内外に意思表示すべく、「近代文化遺産研究室」を発足させ、体制の充実を図ってきました。

近代の文化遺産保護に関してこれまで取り上げてきたテーマは、船舶、航空機、大型構造物、鉄構造物、コンクリート構造物といった構造物の保護はもとより、レコード・フィルム・テープといった音声映像記録メディア、油性塗料、洋紙、近代テキスタイルといった素材を対象とした作品等の保存修復に関する諸問題を取り上げ、それぞれ「未来につなぐ人類の技」と題するシリーズ本として公刊してきました。

文化財としての近代の文化遺産保護に対する基本的な考え方は、平成 8 年（1996）に文化庁がまとめた「近代の文化遺産の保存と活用について（報告）」に一定の方向性が示されていますが、20 年を過ぎた現在、モニュメントとしての遺産保存ばかりでなく現役施設として従来の機能を維持または拡張し、用途転用や再活用を図る等個々の遺産の特性に応じた幅広い多様な対応が求められる様になっています。その為、平成 27 年度（2015）にはこれまでの研究成果を一旦総括すべく保存と修復の理念をテーマに研究会を開き、その成果報告書を「近代文化遺産の保存理念と修復理念」と題して刊行しました。しかしながら、近代文化遺産の保護に関する研究は未だ途上であり、これから更に研究を進める必要も感じています。

平成 28 年度（2016）からは当文化財機構の第 4 次中期計画（平成 28 年度（2016）～平成 32 年度（2020）の 5 ヶ年）の実施にあたり、近代文化遺産研究室では従来の成果の上に立って、更に広く深く研究を推進する目的で文化財指定が比較的進み保存修理実績も蓄積されている煉瓦造建築物や鉄構造物に焦点を当てて調査研究を行い、「煉瓦造建築物の保存と修復」（平成 29 年度（2017））と「鉄構造物の保存と修復」（平成 30 年度（2018））として取りまとめました。今年度はそれに引き続き、コンクリート構造物に着目して、コンクリート構造物の中性化をはじめとする劣化や耐震補強、外観（意匠）の保存など、まだ、あまり事例が多くない中でもこれまでに取り組んできた修理事例に詳しい専門家の方々からの論考も頂き、加えて近代文化遺産研究室が 1 年をかけて実施した事例調査の結果を資料として取りまとめています。

ここに、関係者に感謝の意を表するとともに、本書がコンクリート構造物の保存修復の実務に当たり大いに活用されますことを期待しています。

今後とも当研究所では多くの事例を積み上げながら、近代の文化遺産保護のあり方について調査研究を重ねていきたいと考えています。関係各位のご支援ご協力をよろしくお願いいたします。

令和元年 12 月 20 日
独立行政法人国立文化財機構 東京文化財研究所
所長 齊藤 孝正

目 次

巻頭言

齊藤 孝正 …… 3

はじめに

北河 大次郎 …… 5

第 1 章 歴史的コンクリート造建造物の保存と修復技術に関する現状の課題

今本 啓一 …… 21

第 2 章 旧美歎水源地水道施設の修理と我が国黎明期の鉄筋コンクリート造

長谷川 直司 …… 37

第 3 章 歴史的コンクリート造建造物の耐震技術に関する現状と課題

西岡 聡 …… 45

第 4 章 スイスにおけるコンクリート構造物の保存と修復からの教訓

鈴木 圭 …… 61

第 5 章 コンクリート造建造物の保存と修復に関する事例集

石田 真弥 …… 83

巻末資料

- | | | |
|--------------------------|----|-----|
| 1. コンクリート造建造物国指定物件一覧 | …… | 114 |
| 2. コンクリート造建造物保存修理工事報告書一覧 | …… | 122 |
| 3. コンクリート造建造物調査物件一覧 | …… | 123 |

はじめに

はじめに

北河 大次郎

文化庁文化資源活用課 近現代建造物部門 調査官
元 東京文化財研究所 保存科学研究センター 近代文化遺産研究室長

1. 指定の状況

重要文化財（建造物）の中で、コンクリート造建造物が占める割合は3.6%である（表1）。これは、木造建造物の数と比べると圧倒的に少ないが、近代の非木造建造物に限定すると最も多い数になる。

コンクリート造建造物の最初の重文指定は、1974年指定の旧山邑家住宅（兵庫県）で、その後しばらく指定は行われなかった。しかし、近代化遺産調査が全国に広がる1990年代になると指定の機運が高まり、建築物をはじめ、堰堤、橋梁など様々なビルディングタイプの建造物が重要文化財として指定されるようになる。数でいえば、近代化遺産の指定が始まってからのコンクリート造建造物の全体に占める割合は約10%にのぼり、現在も増加の傾向にある。

現在重要文化財に指定されている建造物を、建築と土木・産業で分けて整理すると表2・3のようになる。まず建築物（表2）を見ると、木骨コンクリートブロック造の移情閣（兵庫県）を除いて、すべて鉄筋コンクリート造または鉄骨鉄筋コンクリート造であることがわかる。年代で見ると、いずれも鉄筋コンクリート技術が一

般化する大正期以降のもので、鉄骨鉄筋コンクリートに関しては、昭和期以降の商業・業務建築に見られる。また全体の傾向として、都市部に所在し、不特定多数が利用する大規模物件が多いのも、コンクリート造建築の特徴である。そのため保存修理にあたっては、特に安全性の確保が問題になることが多い。

一方、土木構造物または産業遺構については（表3）、無筋コンクリートと鉄筋コンクリートの数がおおよそ半々で、建築物に比べると明治期につくられたものが多い。また、無筋コンクリート構造物の中には、粗石コンクリートといって、セメント量を抑え、骨材の割合を高くしたものもある。これは堰堤のような大量のセメントを必要とする巨大構造物で用いられる。さらに表には載せていないが、四日市旧港湾施設防波堤（三重県）のように、セメント代用土（石灰や真砂土など）を用いた人工石工法による構造物も存在する。その他、建築物と比べると立地（海、川、山地）や考慮すべき外力（波、土石流、水圧）が多様で、かつ供用下にあるインフラ施設も多いため、保存修理や耐震補強の手法を一般化するのは難しい。

表1 重要文化財建造物の主要材料別棟数の割合（平成30年（2018）6月現在）：附物件は含めていない。（出典：文化庁）

木	土蔵	石	コンクリート	煉瓦	鉄	銅	土
77.0%	8.2%	6.6%	3.6%	3.4%	0.7%	0.4%	0.1% 未満

表2 重要文化財に指定されている建築物一覧（令和元年（2019）6月現在）（出典：文化庁）

所在地		名称		建設年代	構造
北海道	函館市	大谷派本願寺函館別院	本堂	大正4	RC
			鐘楼	大正前期	RC
			正門	大正前期	RC
秋田県	大仙市	旧池田家住宅洋館		大正11	RC
埼玉県	川島町	旧遠山家住宅	土蔵	昭和9	RC

所在地		名称		建設年代	構造
東京都	千代田区	明治生命保険相互会社本社本館		昭和 9	SRC
	中央区	三井本館		昭和 4	SRC
		築地本願寺本堂		昭和 9	SRC
		三越日本橋本店		昭和 2	SRC
		高島屋東京店		昭和 8・昭和 29	SRC
	港区	旧朝香宮邸	本館	昭和 8	RC
			倉庫	昭和 8	RC
			自動車庫	昭和 8	RC
			正門	昭和 8	RC
	台東区	国立西洋美術館本館		昭和 34	RC
		旧東京科学博物館本館		昭和 6	SRC
		旧東京帝室博物館本館		昭和 12	SRC
	新宿区	早稲田大学大隈記念講堂		昭和 2	SRC
		聖徳記念絵画館		大正 15	RC
	渋谷区	旧朝倉家住宅	土蔵	大正 8 頃	RC
		明治神宮宝物殿	中倉	大正 10	RC
			東西倉 (2 棟)	大正 10	RC
			東西廊 (2 棟)	大正 10	RC
			東西橋廊 (2 棟)	大正 10	RC
			北廊	大正 10	RC
			車寄	大正 10	RC
			事務所	大正 10	RC
			正門	大正 10	RC
	目黒区	旧前田家本邸	洋館	昭和 4	RC
			洋館渡廊下	昭和 5	RC
			門衛所	昭和 4	RC
			正門及び塀	昭和 4	RC
		尊經閣文庫	図書閲覧所	昭和 3	RC
			書庫	昭和 3	RC
			貴重庫	昭和 3	RC
			門及び塀	昭和 3	RC
長野県	上田市	旧常田館製糸場施設	五階鉄筋繭倉庫	大正 15	RC
	諏訪市	片倉館	浴場	昭和 3	RC
静岡県	熱海市	旧日向家熱海別邸地下室		昭和 11	RC
愛知県	名古屋市	愛知県庁舎		昭和 13	SRC
		名古屋市庁舎		昭和 8	SRC
京都府	京都市	旧京都中央電話局西陣分局舎		大正 10	RC
	宇治市	松殿山荘	宝庫	昭和 9	RC
大阪市	大阪市	綿業会館		昭和 6	SRC
兵庫県	神戸市	旧村山家住宅	衣装蔵	大正期	RC
		旧村山家住宅	美術蔵	大正期	RC
		移情閣		大正 4	木骨 CB
	西宮市	神戸女学院	総務館、講堂及び礼拝堂	昭和 8	RC
			図書館	昭和 8	RC
			文学館	昭和 8	RC
			理学館	昭和 8	RC
			音楽館	昭和 8	RC
			体育館	昭和 8	RC
			葆光館	昭和 8	RC
			社交館	昭和 10	RC
			汽罐室	昭和 8	RC
			正門及び門衛舎	昭和 8	RC
	芦屋市	旧山邑家住宅 (淀川製鋼迎賓館)		大正 13	RC
広島県	広島市	広島平和記念資料館		昭和 30	RC
		世界平和記念聖堂		昭和 29	RC
山口県	山口市	有近家住宅	正門	大正 13 頃	C
	宇部市	宇部市渡辺翁記念会館		昭和 12	SRC
	防府市	旧毛利家本邸	台所付倉庫	大正 5	RC
			用達所倉庫	大正 5	RC
			石橋	大正 5	RC
			本門	大正 5	RC
徳島県	徳島市	三河家住宅		昭和 3 頃	RC
愛媛県	松山市	萬翠荘 (旧久松家別邸)	本館	大正 11	RC
沖縄県	大宜味村	大宜味村役場旧庁舎		大正 14	RC

2. 構造物の特性を踏まえた文化財修理

平成 28 年度（2016）から東京文化財研究所近代文化遺産研究室が研究対象としてきた煉瓦、鉄と異なり、コンクリートは（ブロック、プレキャストを除いて）規格化されたパーツから構成されておらず、全体がモノリシックな構造体である。これは木造との違いでもあり、保存修理に関していえば、従来の解体修理の手法が必ずしも通用しない。

一方で、コンクリートは現代的な工法の開発が最も盛んな材料の一つである。近年では新築だけでなく、維持補修に係る技術開発も広がりを見せている。歴史的コンクリート造建造物の修理実績が少なく、技術がまだ確立していないことも考え合わせれば、コンクリート造建

造物の保存修理も、現代工法の中にヒントを探すのが現実的な対応となる。このように「伝統工法」というものが存在しないコンクリートの世界では、従来の文化財とは異なるアプローチが求められる。

もちろんアプローチは異なれども、可逆性、最小限の措置、外観上の調和、実績ある技術の採用といった、旧来の文化財修理の考え方が、手法を検討する上での大きな拠り所となる。ただしこの点に関しても、これまでのコンクリート造建造物の修理実績を見ると、留意すべき点があると思われる。

例えば、モノリシックというコンクリート造建造物の特性を踏まえると、耐震補強工事で何かを付加する場合、木造建築のようなパーツ単位での対応が難しい。そのた

表 3 重要文化財に指定されている土木構造物一覧（令和元年（2019）6 月現在）（出典：文化庁）

所在地		名称		建設年代	構造
秋田	秋田市	藤倉水源地道施設	堰堤	明治 44	C
			放水路	明治 44	C
群馬	安中市	旧碓氷峠鉄道施設	熊ノ平変電所本屋	昭和 12	RC
	片品村	丸沼堰堤		昭和 6	RC
茨城	高萩市	石岡第一発電所施設	取水堰堤	大正期	C
			沈砂池	明治 44	RC
			第一号水路橋	明治 44	RC
			第二号水路橋	明治 44	RC
			調圧水槽	明治 44	RC
			本館発電機室	明治 44	RC
			本館旧変圧器室	明治 44	RC
			本館変電室	大正 5	RC
東京	荒川区	旧三河島污水処分場唧筒場施設	阻水扉室	大正 10	RC
			阻水扉室	大正 10	RC
			沈砂池及び濾格室	大正 10	C
			沈砂池及び濾格室	大正 10	C
			濾格室上屋	大正 10	RC
			量水器室及び唧筒室暗渠	大正 10、大正 12	RC
			唧筒室	大正 10	RC
神奈川	箱根町	国道一号箱根湯本道路施設	函嶺洞門	昭和 6	RC
			千歳橋	昭和 5	RC
			旭橋	昭和 8	RC
新潟	新潟市	萬代橋		昭和 4	RC
	佐渡市	旧佐渡鉱山採鉱施設	大立堅坑捲揚機室	昭和 15	RC
富山	富山市	常願寺川砂防施設	白岩堰堤	昭和 14 頃	C
			本宮堰堤	昭和 11	C
			泥谷堰堤	昭和 6-7	C
		富岩運河水閘施設（中島閘門）	閘門	昭和 9	C
山梨	大月市	八ツ沢発電所施設	第 1 号隧道	明治 45	C
			第 2 号隧道	明治 45	C
			第 1 号水路橋	明治 45	RC
			第 3 号隧道	明治 45	C
			第 4 号隧道	明治 45	C
			第 5 号隧道	明治 45	C
			第 6,7,8,9,10 及び 11 号隧道	明治 45	C
			第 12,13,14,15,16,17 及び 18 号隧道	明治 45	C
長野	南木曾町	読書発電所施設	発電所	大正 12	RC
			柿其水路橋	大正 12	RC
			桃介橋	大正 11	RC
愛知	犬山市	旧品川燈台		昭和 39（明治 3）	RC

め、価値と機能のバランスを考えて、可逆性のない増打ちやPC 鋼棒の挿入などが選択されることがある。ここでは、可逆性よりも最小限の措置または外観上の調和が重視されている。コンクリート造建造物の修理における最小限の措置の理念の重要性については、本報告書作成にあたり行ったインタビューで、ローザンヌ工科大学(スイス国)のブリュービラー教授が指摘した点でもあった¹。

また、最小限の措置と外観上の調和という2つの理念を総合的に具体化するのに苦慮する場面もある。例えば、コンクリートの劣化部位を研って、新たにコンクリートを打設する場合、原則的には最小限の範囲を研ることになるが、そこで明確な基準が設定されることはまれで、研る範囲または形状は物件によってまちまちである。

また、新たな仕上げコンクリートについては、色味や表面型枠のテクスチャーを再現するとしても、既存躯体と完全に同化することは困難である。たとえ、竣工時に完全な色あわせができたとしても、時間の経過と共にオリジナルと補修箇所で差が出てくるケースもある。そこで、スイスの聖クレメンツ教会(ベットラッハ、1966年造)では、幾何学を基調とした建物のデザインに調和するよう、最小限の範囲を念頭におきながらも、意識的に単純な線からなる幾何学形状に劣化部位を研り取る方針としている(写真1)。これは、最小限の措置と外観上の調和の兼ね合いについて考えるための1つの事例といえよう。

所在地		名称	建設年代	構造
京都	京都市	梅小路機関車庫	大正 3	RC
	舞鶴市	舞鶴旧鎮守府水道施設	桂取水堰堤	明治 33
			桂量水堰堤	明治 33
			旧岸谷川上流本流取水堰堤	明治 38
			旧岸谷川上流支流取水堰堤	明治 38
大阪	大阪市	大江橋及び淀屋橋	大江橋	昭和 10
			淀屋橋	昭和 10
兵庫	神戸市	布引水源地水道施設	分水堰堤	明治 40
			分水堰堤附属橋	明治 40
			縮切堰堤	明治 41
			五本松堰堤	明治 33
			谷川橋	大正初期
			雌滝取水堰堤	明治 33
岡山	倉敷市	高梁川東西用水取配水施設	酒津取水樋門	大正 9
			南配水樋門	大正 12
			北配水樋門	大正 11
広島	呉市	本庄水源地堰堤水道施設	堰堤	大正 5
			第一量水井	大正 5
鳥取	鳥取市	旧美敷水源地水道施設	貯水池堰堤	大正 11
			美敷川上流量水堰	大正 4
			通り谷量水堰	大正 4
			一号濾過池(上屋)	大正 4
			二号濾過池(上屋)	大正 4
			三号濾過池(上屋)	大正 4
			四号濾過池(上屋)	大正 4
			五号濾過池(上屋)	昭和 3 以前
			接合井	大正 4
香川	観音寺市	豊稔池堰堤	量水器室	昭和初期
高知	北川村	旧魚梁瀬森林鉄道施設	二股橋	昭和 4
			掘ヶ生橋	昭和 15
福岡	志免町	旧志免鋳業所竪坑櫓		昭和 16
長崎	長崎市	本河内水源地水道施設	低部堰堤	昭和 18
	佐世保市	佐世保無線電信所(針尾送信所)施設	無線塔	明治 36
			無線塔	大正 11
			無線塔	大正 11
			無線塔	大正 11
			電信室	大正 11
大分	竹田市	白水溜池堰堤水利施設	油庫	大正 11
			主堰堤	大正 11
			副堰堤	昭和 13

3. 本報告書の構成

以上の指定動向およびコンクリート造建造物の保存修理における特質を踏まえ、本報告書では材料から耐震に至る多岐にわたる話題を扱うこととした。まずは材料の観点から、東京理科大学の今本啓一教授に、「歴史的コンクリート造建造物の保存と修復技術に関する現状の課題」を示していただいた。ここでは歴史的コンクリートの補修方法について一通り解説していただいた後、先進的な試みが行われた国立西洋美術館本館の事例が紹介されている。

次に国土技術政策総合研究所の長谷川直司シニアフェローに「旧美敷水源地水道施設の修理と我が国の黎明期の鉄筋コンクリート造」をご寄稿いただいた。ここでは、極度に劣化したコンクリート造建造物の修理事例が詳しく紹介され、あわせて鉄筋コンクリートの技術史がまとめられている。

また、耐震に関する話題として、文化庁の西岡聡文化財調査官が「歴史的コンクリート造建造物の耐震技術に関する現状と課題」をまとめている。耐震に関する指針、耐震診断等の進め方、近年の注目すべき耐震補強の事例、といった実務的な内容となっている。

海外の話題としては、日本大学の鈴木圭教授に「スイスにおけるコンクリート建造物の保存と修復からの教訓」をご寄稿いただいた。20世紀初頭に優れたコンクリート造建造物を数多く建設し、早い時期からその補修を行っているスイスの経験が、事例を中心にまとめられている。

そして最後に、東京文化財研究所の石田真弥アソシエートフェローがわが国のコンクリート造建造物の保存修理の事例を紹介している。

2017年、2018年に取りまとめられた煉瓦と鉄の保存と修復に関する報告書と同様、本書は、理論研究というよりも実務者に向けた事例分析を中心とした内容となっている。ほぼ10年前に当時の最新の知見を集めて編集された『コンクリート建造物の保存と修復』（東京文化財研究所、2010年）とあわせてご覧いただければ幸いである²。

註

1. 論考については以下を参照のこと。BRUHWILER E., Les pont en béton armé de Robert Maillart : intervenir pour pérenniser, Cahiers du TSAM, pp. 126-141.
2. 東京文化財研究所が刊行している近代文化遺産に関する報告書はウェブ上で公開されている (<https://www.tobunken.go.jp/image-gallery/conservation/index.html>)。



写真1 聖クレメンツ教会（撮影：北河）

第1回 コンクリート造建造物の保存と修復に関する勉強会 議事録抄録

日 時：平成30年7月17日16時00分～18時00分

場 所：東京文化財研究所 4階 国際研修室

参加者： 今本啓一（東京理科大学）、小野田滋（鉄道総研）、鈴木圭（日本大学）、長谷川直司（国土技術政策総合研究所）、本間信之（東京都建設局）、向井智久（建築研究所）、井川博文・西岡聡（以上、文化庁）、北河大次郎・石田真弥・島海秀実（以上、東京文化財研究所保存科学研究センター）、中山俊介・西和彦（以上、東京文化財研究所文化遺産国際協力センター）（敬称略）

北 河：コンクリート造建造物の保存と修復に関する調査は、近代文化遺産研究室の5年計画のうち3年目の調査で、初年度は煉瓦造建造物、2年目は鉄構造物を対象に実施した。対象としては、建造物として指定・登録されているもの、史跡指定されている構造物を考えている。調査物件としては、国内の保存修理物件、海外ではスイスのロベール・マイヤール、イタリアのピエール・ルイージ・ネルヴィらが設計した構造物の補修物件を考えている。関連する資料をいくつか準備した。

- ・(社) 土木学会：コンクリート構造物の補強指針（案）、1999
- ・太平洋セメントグループ：コンクリート構造物の調査・診断・補修すべて、2005
- ・(社) 日本コンクリート工学協会：日本のコンクリート100年、2006
- ・(社) 日本コンクリート工学協会：建築・土木分野における歴史的構造物の診断・修復研究委員会報告書、2007

これらのほか、1990年代に日本建築学会から指針が刊行されている。

今 本：現在、日本建築学会では、1997年に刊行された『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』を2冊に分け、耐久設計に関する部分を2016年に刊行し、調査診断に関する部分と補修・改修（仕様書）の策定を現在進めている。コンクリートだけでなく、防水、外壁なども含める予定である。

北 河：土木学会と建築学会の刊行物の中身に違いは見られるのか。

今 本：防水・仕上げ材料が含まれるのが大きな違いであり、コンクリートの調査・診断部分では似かよっていると思う。補修・補強のラインナップも違ってくる。

中性化に対する対策について

井 川：昨年度から志免鋳業所堅坑櫓（以下、志免堅坑櫓という。）の修理が始まっている。現状として、コンクリートの被り厚がほとんど無いため、鉄筋が腐食し爆裂している状態になっている。健全な状態に回復させることになるだろうが、被り部分の仕上げをどのように処置したらよいのか、などが課題となっている。

西 岡：劣化というものをどのように考えるか。中性化＝劣化と見なすべきなのか。文化庁の手引の方でも、中性化＝劣化ではなく、雨水や空気などが内部に浸透し、鉄筋に腐食が発生することがコンクリートの劣化と見ている。

今 本：建築学会の委員の中でも、同様の考え方を共有しつつある。建築学会では、築50年以上を経過したコンクリート造の建造物を対象に、20～30件ほどの調査

をこれまでに実施している。調査した物件の中では、コンクリートが中性化していた場合であっても、鉄筋の腐食が発生していない物件もあれば、腐食が進行している物件もあった。腐食していない物件の方がこれまでの調査では多かった。その違いは、十分な被り厚の有無だと調査メンバー同士では話をしている。この調査に関連して、昨年度の建築学会の大会の材料施工委員会によるパネルディスカッション「限界状態再考」を実施し、コンクリートの中性化がコンクリートの限界を決める指標なのかについて議論した。調査した築50～80年の建造物を見る限り、十分な被り厚が確保されている建造物であれば、中性化しても鉄筋の腐食は見られなかった。また、今後急激に腐食が進むとも考えにくい。この点については、出席された多くの先生から同意を得られた。202X年に向けて、この考え方を反映する鉄筋コンクリート工事標準仕様書の大改訂の準備を進めている。特に、文化庁が作成した指針は、水の作用に関する項目も盛り込まれているため、参考になっている。

北 河：文化庁のコンクリートに関する手引はいつできたのか。

西 岡：平成29年（2017）3月。正確には、『重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引き（改訂版）』である。煉瓦造の診断方法、コンクリート造の劣化、天井落下対策などが今回の改訂版で加筆された。ホームページでも公開している。

今 本：建造物の場合、屋外環境になるため水への対応が重要になる。中性化はあくまで、腐食のスタートラインにすぎない。被りが厚い場合、内部の湿度の変動が極僅かである。被り厚が3～4cmの場合、乾湿の変動が起きているのは、ほとんどが表層部分だった。逆に被り厚が薄い場合、鉄筋にまで乾湿の影響が及んでしまい、腐食することになる。コンクリートの劣化のみを考えると、透湿抵抗の高い素材で保護することで、湿度変動を抑制し、被りの薄い建造物であっても保存できる可能性があるのではないかと考える。

北 河：志免堅坑櫓でも、被り厚に関してこうした考えを反映させていくのか。

長谷川：志免堅坑櫓では、一昨年まで調査工事を実施していた。被り厚の問題というよりも、既に鉄筋が爆裂しており、コンクリートが剥落し、鉄筋がむき出しになっている状態である。オリジナルの被り面まで修復しても被り厚が薄いため、十分な補修にはならないことがわかっている。そのため、プラス6cmさらに被り厚を足す必要がある。文化財の保存修理工事として、それで良いのかという議論はあるが、志免堅坑櫓を保存するためには、プラス6cm被り厚を付加しなければ同じ劣化を繰り返すことになる。

コンクリート造建造物の文化財の話とすれば、何を保存すべきか議論することが重要かと思う。志免堅坑櫓では、当時の型枠跡を確認することができ、直感的にこの型枠跡が大事になってくるかと思う。しかし、プラス6cmの被り厚を付加することで、この型枠跡は失われることになってしまうため、当時と同じ技法で型枠の木目を再現する工事を行うことも検討する必要がある。ただし、技術・コストの面が大きな問題となっている。型枠による再現が難しい場合、木目を描くという技術もあるが、左官仕上げにするぐらいなら、現在の技術の限界として、木目跡の無い仕上げとすることも十分考えられる。

世界平和記念聖堂では、極めて部分的ではあるが、実物の杉板型枠による修復工事が実施された。コストがかかったため、志免堅坑櫓の全面で実施するのは困

難ではないだろうか。

北 河：付加する被り厚の6 cm には何か根拠があるのか。
長谷川：建築基準法では柱、梁であれば被り厚は3 cm、基礎で6 cm となっているが、志免堅坑槽の断面はかなり大きいため、基礎並と考え、基礎の数値に引っ張られた可能性がある。

型枠の話をしてきたが、その他に守るべきものは何かと考えると、中性化したコンクリートや腐食した鉄筋の保存方法も考える必要があるかもしれない。

補修方法の選択について

北 河：文化財建造物で、腐食した鉄筋を残すという選択肢はあるのか。

長谷川：現状ではない。軍艦島では、実際どのように議論が進んでいるのか。

今 本：日本コンクリート工学会の主導で現在、廃墟感を維持することも意図に含めた補修方法について、約200体の試験体を暴露した共通試験を端島で実施している。志免堅坑槽は実は鉄筋が健全な部分もあり、これまでの知見を踏まえ、被り厚さを検討することによって補修の最適化を図ることができるのではないかと考えている。

北 河：腐食が時間の経過を示しており、時間の蓄積として評価する議論も一部ではある。

長谷川：原爆ドームでも同様の議論があり、原爆ドームの腐食した鉄筋などを保存する際に、発錆した状態で保存する考古資料の鉄剣のような保存方法がありえないか議論をした記憶がある。

井 川：世界平和記念聖堂は1984年に修理工事が行われ、既に壁面の補修箇所がパッチワークのようになっている。設計者の村野藤吾も、建物の維持管理で生じる補修のムラなどを許容しており、今回の壁面工事も含め特に問題ないと判断している。

長谷川：補修によるムラの発生については、個人的には、余計な古色仕上げなどを施すことはしない方が良く考える。

井 川：経年変化により、徐々に馴染んでいくのではないかと考えられている。

本 間：東京都では、聖橋、永代橋、清洲橋、勝どき橋など歴史的橋梁に対して長寿命化工事を実施している。劣化の状況については、志免堅坑槽などと同様に、被り厚の薄い箇所では、コンクリートの剥落が発生しており、鉄筋が腐食しているものもあった。中性化が進んでいる構造物であっても、被り厚が十分にあるものでは、鉄筋の腐食は見られなかった。水はけが悪い箇所は劣化しやすい。部材が健全であり、乾燥状態であればよいが、被りが薄い箇所や損傷などが発生している場合、そこから水が浸入し、コンクリートの剥落や鉄筋腐食が生じやすい。特に桁端や張出し床版で見られる。

橋梁の場合、供用下にあるため、鉄筋が腐食していれば、鉄筋の減肉量の調査などを実施し、構造上の安全性を照査する。劣化・破損の内容に合わせて補強や補修を実施する。補修に用いる材料も既存材料の色に近いものを選択し、違和感を生じさせない配慮などは行っている。

北 河：歴史的橋梁とその他の橋梁では、維持管理や補修などに違いがあるのか。

本 間：特別違いはない。

北 河：被り厚が薄い箇所でも腐食が進んでいた場合には、どのような補修を実施するのか。

本 間：腐食している鉄筋の減肉量を計測し、腐食範囲を特定する。腐食範囲のコンクリートを砕き取り、ポリマーセメントなどを用いて断面修復を行う。修復する際には、補修前の被り厚に戻している。必要に応じて、増し鉄筋や炭素繊維などによる補強を行う。

北 河：ポリマーセメントの使用に伴う問題点は、特に指摘されていないか。文化財建造物の保存修理工事でも、一般的に使用されていると思うが。

今 本：使用する箇所によっては問題となる可能性がある。ポリマーセメントモルタルは有機物のポリマーを含有しているため、ポリマーの含有量によっては耐火試験をクリアできないものがある。建築物の場合、コンクリート造自体が耐火構造であるため、ポリマーセメントの使用にも配慮が求められている。

西 岡：ポリマーセメントモルタルの色の変化などの経年変化はあるのか。

今 本：色の変化などについては、聞いたことがない。

西 岡：色の変化自体、顕在化していないだけであって、世界平和記念聖堂の補修事例などで出現してくる可能性もある。

井 川：1984年に実施された補修箇所にポリマーセメントモルタルが使用された可能性があるが、オリジナルの壁面と考えられる部分と比較すると黒ずんでいるように見える。

長谷川：1984年の補修時は、文化財の指定は受けていなかったため、ポリマーセメントモルタルも特別気にすることなく使用していたのだろう。

鈴 木：スイスの橋梁では、BASF（ドイツ）製の映像フィルム用の材料を橋の表面に貼り付けて補修する工事が実施されたが、貼り付けられた材料が白く変色するといった問題が生じている。現在、詳細について調べているところだ。

建造物の価値と修復方法について

長谷川：コンクリートを修復する際にどこに価値があるのかを十分に検討する必要がある。色の問題も大きな問題であり、後補材の色合わせなどについては、もっと議論するべきである。

本 間：聖橋の長寿命化工事に伴う調査で、アーチ部のかなり広範囲に浮きが発生していることが明らかになった。浮き部分は剥がし取り、ポリマーセメントで補修している。補修の際には、伊東孝先生に助言を頂きながら、補修材料の色などを決定していった。

長谷川：聖橋の平成元年に実施された補修工事は、当初のモルタル仕上げを石積み仕上げのような補修に変更し、聖橋の設計意図であったコンクリートを一体化したモノリシックなデザインが崩れてしまったことに対して批判的な意見があった。

本 間：今回の工事では、そうした批判も受けた箇所の劣化が進んでいたこともあり、当初の設計意図を踏まえて再補修を行った。仕上げには、ポリマーセメントを用いている。

鈴 木：聖橋は、あらかじめスチールでアーチをかけコンクリートで被覆するメラン工法が採用されている。おそらく、現在の劣化を考えると、スチールとコンクリートの付着力に問題があったのではないだろうか。メラン工法は120年ほど前の工法であり、チェコのブルノー工科大学の先生が開発し、国内に取り入れたのが聖橋の構造設計を担当した日本大学の成瀬勝武教授だった。

北 河：メラン工法は鉄骨とコンクリートだけから構成され

ているのか。鉄筋はないのか。

鈴 木：鉄筋も入っている。メラン工法は現在でも用いられている工法であり、別府明礬橋（1989 年）などがあげられる。

向 井：先ほどの長谷川氏の何を保存すべきかという問いに関連して。最近の文化財建造物の耐震診断の現場では、腐食した鉄筋に構造的な役割は期待せず、その他の部材で補う補強方法が提案されることがある。これが、鉄筋コンクリート造の構造的特徴（コンクリートが圧縮力を鉄筋が引張り力を相互補完する特徴）を活かした補強方法として良いのか疑問を持つことがある。補強方法の議論の中で、文化財価値の優先順位が検討されるが、建造物ごとに優先順位が異なってくるため、構造側として補強方法の提案が非常に難しいものになっている。外観意匠だけではなく、内部に使用されている鉄筋の形状に時代性がある場合もあり、優先順位の決定は容易ではない。

西 岡：その問題は、毎回悩まされる部分である。通常は指定説明を参考にして、意匠的な価値が評価されていれば、意匠の変更を避けるべきと考えられるし、技術的な価値が評価されていれば、技術的な部位や材料の保存を優先的に考えるようにしている。

向 井：旧前田侯爵邸の煙突の補修事例では、最終的にアウトケープルで補強する方法が選択されたが、これによって R C 造の構造的特徴を活かしたとはいえない形式になったと考えている。ちなみに補強された煙突は内部まで中性化していたが、鉄筋の腐食が見られなかったのは、コンクリート内部が乾燥した状態に保たれていたことが影響しているのではないかと思います。

北 河：腐食した鉄筋を取替える場合、当初の鉄筋（丸鋼など）の形状に合わせた材料を再現することもあるか。

西 岡：現在は、異形鉄筋で補修されることになると思う。

北 河：補修後、見えなくなることが影響しているのか。

西 岡：現在では、そのように判断されていることが多い。旧山邑家住宅の最初の修理では、コンクリートを打ち直す際に、丸鋼の部分は丸鋼で補修され、構造体として鉄筋が不足している箇所も、丸鋼で補足されていた。

長谷川：指定説明の中で、鉄筋などの材料の価値について説明したものはあるのか。

北 河：配筋への言及はあっても、材料の価値まで踏み込んだものはないかと思う。

西 岡：大谷派本願寺函館別院は、コンクリートの初期の事例として評価され指定されている。その評価の中には、材料的な価値も含まれているかと思う。

長谷川：鉄筋構法、コンクリートの調合技術、混和材技術の発展などの技術史研究にも転換期は見られるが、通常では見ることができない。鉄筋にしても、丸鋼の使用以外にも、アンネビック式（三井物産ビル）、カーン式などがある。カーン式については、関東大震災で大きな被害を受けたことにより、震災後しばらくの間禁止され、震災後の建造物にはカーンバーでなく丸鋼が使用されていた歴史がある。このように、コンクリート造の建造物の技術的な変遷は外観からは確認できない部分に含まれている。こうした技術的な変遷まで含めて保存していくべきなのか、それとも表面上の型枠跡を保存していけばよいのかという問題がある。木造の修理では、同種同材で取替られているが、コンクリートの補修では、どのように考えていくべきなのか。

材料、技術的価値の保存について

北 河：鉄構造物に、木造の同種同材の考え方をあてはまめ

ると、鋳鉄、鍛鉄、鋼鉄などになると思うが、コンクリートでそうした線引きが可能なのか。

小野田：骨材の違いなどはあるかもしれない。昭和 30 年以降は碎石だが、それ以前は川砂利が使われていたので玉砂利が多かった。

今 本：市街地建築物法にて、コンクリートの調合が決められていた。今の左官用モルタルと同じで、セメント 1 に対して、砂 2、砂利 4、水は現場で調整されていた。現在は、水セメント比となっている。この調合方法の変化は、1920 ～ 30 年ころ切り替わっている。この年代が一つの基準になっている。この切り替えが、特に水平部材と垂直部材の強度の違いとして現れているように感じている。ただし、見た目では違いはわからない。

北 河：当初の水セメント比を尊重した補修事例はあるのか。

西 岡：聞いたことはない。色味の話ぐらいではないか。旧山邑家住宅では、モルタルに大谷石が混ざっていたため、補修の際には混ぜることをしたが、あくまで、見た目に影響を及ぼすことが大きな理由になっている。以前混ぜた大谷石は粒が大きく、碎石を通して内部に水が浸入して鉄筋を腐食させていたので、今回の補修工事では、細かい粉末とする仕様に変更している。

北 河：セメント自体に時代性はあるのか。

今 本：セメントの粉末度に違いはある。

西 岡：最近のコンクリートは、青みがかって見えることがある。

今 本：セメントの世界には、5 % だけ何を入れてもよいというルールがある。昔はこのルールはなかった。現在、この 5 % はスラグが用いられることが多い。このスラグが青みを帯びているため、青みがかった色に見えるのではないだろうか。

小野田：鉄道の工事記録を確認すると、セメント代用材として火山灰を用いたという記録がある。色に違いはあるのか。

今 本：色の違いはあると思う。なお、ピラミッドの目地材にも火山灰が用いられていた。フライアッシュと言われる混和材の起源でもある。火山灰をアルカリで刺激することで固めており、セメントよりも歴史がある素材である。

北 河：強度はどうなのか。

今 本：低いと思う。

小野田：火山灰が使用されているものかを特定できるのか。

今 本：セメントとは異なる成分が含まれているため、特定することは可能。

小野田：配合量などはわかるのか。

今 本：いくつかの仮定は入ってくるが、ある程度の絞り込みは可能。

北 河：水セメント比などもわかるのか。

今 本：分析する方法はある。ただし、「50 ～ 70 % の間」などの幅は出てしまう。また、石灰石を骨材に使用している場合は分析ができないなど、分析適用範囲に制限がある。

西 岡：型枠仕上げによる補修に関連するが、型枠の施工方法にも種類がある。

本 間：土木の現場からすると、丸鋼で補修する場合、鉄筋量を増やす必要があるため断面が大きくなり、杭基礎などへも影響が出てくるため抵抗がある。

北 河：聖橋には丸鋼が使われていたと思うが、腐食鉄筋はどう修理したか。

本 間：聖橋は L 2 の地震にも耐えることができる構造だったため、補強は実施していない。鉄筋の腐食も少なかったため、断面修復程度だった。

小野田：鉄道構造物では、大正 8 年（1919）から鉄筋コンクリート杭を用いている。

長谷川：基礎が大切な建造物もある。横浜の新港埠頭は初めてニューマチックケーソンを使用し、第一生命ビルは建築物として初めてニューマチックケーソンを採用している。いずれも貴重である。その他にも、今では実施が難しい技術も含まれている。鉄筋などのコストが高かった時代には、鉄筋の使用量を減らすための工夫などがある。愛珠幼稚園の書庫の床スラブなどに当時の貴重な配筋が残っていた可能性がある。

別の話で、陸屋根の場合、防水技術と共に発展している。建具などもコンクリートと共に発展してきた部分もある。このように、コンクリートの技術発展と共に発展してきた技術に着目することも大切ではないか。

西 岡：外装のタイルや天井の技術なども含まれてくるだろう。

北 河：防水技術は保存対象となっているのか。

井 川：旧三河島汚水処分場唧筒場では、古い防水層を保存し、その上に新たな防水層を設置している。防水層の場合、重ねて防水層を設置することができるため、そのような処置ができる。ただ、過去の防水技術を再現した事例はないと思う。高島屋の補修工事ではアスファルト防水が実施されていた。

北 河：現在では失われた可能性の高い技術の中に、保存すべき技術はあるのか。

小野田：コンクリートブロックなどがあるのではないだろうか。

長谷川：日本のコンクリートブロックの歴史は、3回ほど特徴的な時期がある。最初は明治30年代（1897-1906）に小野田セメントが海外から型枠を輸入し山口で流通させた時期。2回目は大正8年（1919）の市街地建築物法、大正12年（1923）の関東大震災を機にRCが推奨されたが、RCの代わりにコンクリートブロックが多く用いられた時期。3回目は戦後。コンクリートブロックの文化財としては、重要文化財の移情閣、中村式コンクリートブロックを用いた天満教会などがある。

北 河：鉄道で用いられていたコンクリートブロックは、建築物とは違う歴史をたどっているのではないか。

小野田：トンネル上部のコンクリートは、打設しにくかったため、特にアーチ部分にコンクリートブロックが用いられていた。コンクリートブロックであれば、巻き厚も確保でき、品質にムラも生じにくいなどのメリットがあった。また、技術的にも煉瓦造の延長であったため扱いやすかった。

北 河：いつぐらいまで使用されていたのか。

小野田：戦後まで若干ではあるが使用されていた記録がある。ポンプなどの設備が発展・改良されてくると、場所打ちコンクリートへと置き換えられていった。

長谷川：科研費の中での取組みとして、既存壁面に残る木目や型枠跡を3Dスキャナーでスキャンし、3Dプリンターで型枠を再現し、打ち直すことはできないか研究している。世界平和記念聖堂の補修では、当初の施工技術は採用されたが、木目などのディテールまでは再現できていない。3Dスキャナーを用いることでディテールまで再現できるのではないかと考えている。現在試験中である。

西 岡：広島平和記念資料館の柱は、ポリマーセメントと型枠部分を樹脂成形した素材を用いて表面仕上げを補修すると聞いているが。

長谷川：昭和30年（1955）に丹下健三の設計で資料館ができた時には、型枠跡が表面に見えていた。ところが、経年変化や劣化により昭和40年代（1965-74）には表面の型枠跡が薄れてきた。そのため、木目をプリントする技術を用いて、薄れてきた柱の補修を行った。この補修を行った状態で文化財指定されている。今回の

保存修理工事では、プリントした木目部分が著しく劣化しているため、その部分を剥がし、昭和40年代にプリントした木目で再現している。そのため、現状変更にはあたらない。プリントによる補修を実施した際には、丹下健三も存命で、補修内容にOKを出したとされている。黒島天主堂、三重県庁舎など、明治時代の木造建造物の修理を見ると、扉や天井板に対して木目を描く方法が実施されたものもある。

小野田：広島平和記念資料館の事例は、同じ木目パターンが続くことになるのか。

長谷川：そうなる。

西 岡：理念的な話になるが、建築家の作品の場合、どの時代の価値を評価するかという問題がある。存命期間に実施された補修ならその時点価値の基準とするか、死去後の弟子達の仕事まで含めて評価するか。

長谷川：私は、設計者がどう考えたかは考えてはいけないのではないかと考える。指定した時点価値を保存の基準と考える。

構造補強方法について

北 河：構造補強の話に移るが、これまでの補強事例の特徴などは。

西 岡：コンクリートの場合、文化財よりも一般の建造物での補修実績が充実しているので、その中から文化財でも適用可能な方法を探している状況。診断方法についても、文化財独特の部分は少ないように感じる。文化財ならではの工夫が少ないため、もう少しその領域を増やしていければと考えている。

北 河：劣化状態はどのように診断しているのか。

向 井：現場では、一次・二次の診断に分かれている。一次は外観で判断、二次はより詳細な調査を実施する。その診断をどの程度厳密に行うべきか、具体的に検証されているわけではない。

北 河：診断を詳細に行うことで、補強工事が減る結果に結びつくことはあるか。

向 井：診断結果は1.0を最大値と見て、どの程度下回っているかで劣化状態を判断し、補修範囲を検討することになる。

北 河：診断の基準はどのようなものか。

向 井：建築防災協会が耐震診断基準というものがある。指針は1970年代に作られ、1995年の阪神・淡路大震災後に耐震改修促進法ができています。

北 河：土木構造物では、耐震診断にあたって劣化を考慮しているか。

本 間：腐食などにより断面欠損した鉄筋は、診断する際に構成部材に含めない。既設の構造物に対して耐震調査を実施すると既存不適格と診断されてしまうことが多い。東京都では、コンクリートの材料強度の数値が高い値を示す場合には、材料の試験値を取り入れて診断することもある。

今 本：その材料強度はどのように確認するのか。

本 間：コア抜きをして確認する。

向 井：診断によって評価値は出てくるが、補強が必要になる場合が大半である。しかし、一般の建築物で、これまで実施されてきた構造補強方法を検討しても、文化財の価値を損なうという理由から却下されることが多い。現在の補強方法は、既存の構造躯体に対して別の補強部材を接合させて一体化させる方法が一般的である。補強部材を既存躯体と強固に接合させるためには「あと施工アンカー」を使用することになるが、これは不可逆的であり、補強方法の選択の際に障害となって

いる。そのため、部材の外側に引張材などを取り付け、既存躯体と圧着させる方法が取られることが多い。この補強方法は、可逆性も担保されているため、より良い補強方法が開発された際には容易に変更することができる。

西 岡：あと施工アンカーはやはり、可逆性のことを考えると採用しにくい。コンクリート構造物の場合、可逆性の担保が非常に難しいため、補強方法の選択は慎重になっている。

向 井：あと施工アンカーを設置する場合、既存躯体に10cm 弱の孔を150～250mm ピッチであけていくため、既存躯体を傷めることになる。そのため採用に躊躇がある。表面を荒らすことにはなるが、接着剤の方が受け入れてもらいやすいように感じている。

本 間：接着剤の場合、十分な強度が出るのか。

向 井：歴史的なコンクリート造に使用した実績は恐らくないため、もう少し研究を進める必要がある。強度が出ていることは確認されている。鉄骨のブレース材などを固定する際に接着剤が用いられることがあるが、補強部材と一体化し、力を伝えることができる。

本 間：橋梁の場合は、安全性が特に重視され、確実に強度を確保するために橋台や橋脚に孔をあけ、あと施工アンカーによる落橋防止装置の設置や、支承の追加など、既存躯体を傷める方法も取られている。

劣化対策について

石 田：劣化防止対策として、再アルカリ化などがあるが、現状の劣化対策にはどんな方法があるのか。

西 岡：再アルカリ化の実施を検討した事例はあったが、試験的な導入に留まっている。

長谷川：重要文化財で初めて試験的に導入されたのは、梅小路機関車庫であり、柱1本だけ行われた。広島平和記念資料館では、試験的に柱2本に対して再アルカリ化が実施された。実施直後の検査では、再アルカリ化した効果が出てきている。

今 本：外観の変化などはあったのか。

長谷川：少し黒くなったように感じたが、正確な比較は実施してはいない。

本 間：表面を含浸させる方法が取られたのか。

長谷川：含浸剤を使用している。部分的に内部の鉄筋を研り出し、鉄筋を陰極にして、再アルカリ化している。

今 本：含浸剤を使用した再アルカリ化は、鉄筋を陰極にして、カルシウムなどの陽極成分を鉄筋に引きつけ、表面からはアルカリ性水溶液の様な含浸剤を塗布して失われたアルカリ分を補充する方法になる。国立西洋美術館本館の改修計画でも、コンクリートの中性化の問題があり、再アルカリ化は一つの候補として上がっていた。当時は大阪城をはじめ、いくつかで実施されていた。ただ調査の結果、再アルカリ化によって外観に変化が及ばないと保証できないと結論づけた。また、施工費用が高額になることも大きく影響した。最終的には、表面含浸剤を塗布する方法が採用された。

長谷川：試験施工された2件も、副作用の影響を恐れて、施工本数を絞っている。

井 川：海外の再アルカリ化事例を検証した資料では、副作用の問題や施工後に再び中性化した問題などが指摘されている。ただし、その資料の妥当性についてはまだ十分検証されていない。

長谷川：再アルカリ化の研究者から、一度、再アルカリ化すれば中性化することはないという発言を聞いたことがあるが、再アルカリ化の効果は十分に証明されてい

い。

井 川：J R 西日本の土木構造物の再アルカリ化に関する論文を読んだことがあるが、効果があると判断されているようだった。

北 河：山陽新幹線に関連する構造物の事例か。

小野田：そうだと思う。

今 本：大阪城もそうだが、外観に影響を与えるか判断するのは難しい。再アルカリ化では、表面にアルカリ性の溶液などを塗布して内部に浸透させる方法が取られるが、調査したケースでは、再び中性化する可能性も捨て切れないため、塗布した面の上にセメントペーストが塗られていた。そのため、外観に与える変化は確認することができなかった。土木分野ではどうか。

本 間：東京都では、再アルカリ化は経験していない。

今 本：コンクリート造の建築物では、打放しコンクリートの壁面を保存しなければならない物件があり、そうした物件で採用される再アルカリ化方法は、もしかするとスタンダードな方法ではなく、表面になんらかの撥水層を付加して鉄筋の腐食を抑制していくことではないか。そうした方法を取れば、中性化しても構造物の健全性を維持できる環境を形成できるのではないか。再アルカリ化の方法はケースによっては有効な手段ではあるが必ずしも唯一無二の方法ではなく、再アルカリ化も含めた工法の多様性を有しておくことが重要であり、文化財の持つ価値に応じた使い分けが必要だと思う。

本 間：橋梁であれば、その橋梁を何年間供用化させるかで、対策を変えている。再アルカリ化した表面に保護層を付加する処理方法は、そうした考えから出てきているものかもしれない。

長谷川：梅小路機関車庫の再アルカリ化した柱には、何らかの保護層を付加したのか。

西 岡：何か塗布されたように記憶している。

長谷川：広島平和記念資料館の場合、再アルカリ化後、ポリマーセメントで木目を付ける目的もあるが、表面に保護層を付けることになっている。

西 岡：愛珠幼稚園園舎の附・倉庫も再アルカリ化した。

北 河：再アルカリ化しない場合の方法は、西洋美術館のように含浸での対応になるのか。

今 本：西洋美術館の考え方は、材料の寿命を伸ばす延命処置に近い。

井 川：東京中央郵便局でも、再アルカリ化が実施されており、担当者へ聞き取り調査を実施したことがある。再アルカリ化の場合、表面に与える影響が大きいように思う。再アルカリ化するためには、表面に網状の金属を巻きつける必要があるが、躯体に配筋された金属以外の金属が埋設されている場合、その金属を取り外す必要があるため、躯体の状態にも大きく左右される。

ひび割れ補修について

西 岡：話は変わるが、最近話題の自己修復コンクリートについて何か情報はあ

今 本：自己修復コンクリートは、新設のコンクリートに使用され、既存コンクリート建造物の修復で使える材料ではない。バクテリアを使用した修復コンクリートなどもある。コンクリート内のバクテリアは空気に触れると窒化物を排出する。その窒化物がひび割れなどを埋めることになる。面白い材料ではあるが、バクテリアのスケールから見ると0.3mm程度のひび割れ幅もナイル川のように広いものであり、さすがに修復できる大きさではない。

北 河：修復可能なひび割れ幅はどのように判断しているのか。

今 本：修復可能と修復すべきでは意味合いが異なるが、建築学会が補修した方が良いと指摘しているひび割れ幅は、屋外が0.3mm、屋内0.5mmとされている。瑕疵の可能性があるとされているのが0.5mmになる。その辺りのひび割れを補修の対象と考えている。

北 河：文化財建造物でも、ひび割れに対する補修の考え方は同じなのか。

長谷川：0.2mmがひとつの指標になっている。

今 本：注入剤が充填できる幅が影響していると考ええる。

向 井：阪神・淡路大震災以降、建築研究所が出した被災建造物の補修補強マニュアルでは0.2mmと記述されている。この数値を基準に、現場は動いていたと聞いている。

長谷川：コンクリートのひび割れには、ひび割れ先行型のものとは鉄筋腐食に伴うひび割れの2種類がある。発生原因によって補修方法も変わってくる。建築学会の資料には、ひび割れ先行型の場合、0.4mm未満、0.4mm以上で修復の可否を判断している。腐食に伴うひび割れの場合は異なってくると思うが、どうなのか。

今 本：日本コンクリート工学協会からひび割れの調査と補修補強の指針が出ているが、ひび割れ原因ごとに補修方法を分けている。乾燥収縮などのひび割れ先行型の場合0.3mm以上は補修した方が良いとされている。腐食に伴うひび割れについては、ひび割れ幅は関係なく補修を前提とした対応が必要と判断されている。ひび割れの程度によるが、斫り取り、鉄筋の取替を実施する場合もあるし、注入剤による補修で済む場合もある。

北 河：RC造として最初に修理された文化財である旧山邑家住宅について、過去の修理の問題点などが出てきていないか。

西 岡：防水処理には苦慮している。また、旧山邑家住宅は保存修理工事と災害復旧工事の2回工事を実施しているが、修理工事の際には丸鋼で補修され、災害復旧の際には鉄筋の仕様にこだわらず異形鉄筋が用いられている。当初の設計の段階で十分な鉄筋が入れられていなかったことが、そもそもの問題である。その他にもスラブ厚が70mmほどしかないなど、当初設計により生じた問題への対応を行なっている状況。手を付けにくい物件に、いかにアプローチしていくかを考える上では参考になる物件だと考えている。

北 河：土木分野で実施された過去の補修から、新たに問題が顕在化している物件はあるか。

本 間：やはり20～30年経過し、ポリマーセメントを用いた補修箇所には劣化が見られる。

北 河：ポリマーセメントの補修には、サイクルはあるのか。

今 本：ない。

本 間：そもそもポリマーセメントモルタルの歴史はどれくらいあるのか。

今 本：開発が始まってから、30～40年ほどだと思う。

近年の修理工事事例について

北 河：最後に、現在実施されているコンクリート造の保存修理事例などを紹介していただきたい。

西 岡：旧山邑家住宅邸（ヨドコウ迎賓館）、世界平和記念聖堂、広島平和記念資料館、旧志免鋳業所竪坑槽。

井 川：旧佐渡鉱山採鉱施設の大立竪坑巻上機室、大湊の堰堤、三河家住宅。

北 河：史跡では軍艦島か。軍艦島の現状は。

今 本：向井さんが構造グループ、私は材料グループのメンバーとして活動している。コンクリートの補修実験

を実施している。現地に試験体を設置し、耐久性などを試験している。試験体は、ひび割れが生じているものや内部の鉄筋が腐食しているものなど様々な状態の試験体を作り出し、コンクリートの補修に係る20社ほどの企業に声をかけて耐久性テストを実施しており、今年が2年目になる。すでに1年半ほどで、補修効果が失われてしまった試験体も存在する。この暴露試験は10年計画で行なっている。

北 河：佐渡の現状はどうか。

井 川：工事は来年以降になる。

長谷川：史跡では、他に長崎の城山小学校がある。被爆遺構として指定され、現在、保存活用計画を策定している。

厚生労働省から補助金が出ている。

小野田：鉄道関係では、長浜駅の耐震診断を実施する予定。

井 川：土木構造物では、美濃橋の主塔部分の炭素繊維巻き補強が実施されている。

本 間：東京都では、勝鬨橋のRC床版の補修が計画されている。

北 河：今回の報告書では、これまでに実施されてきた保存修理事例の情報を可能な限り収集し、各事例を検証できるものにしていきたいと考えている。本日はありがとうございました。

第2回 コンクリート造建造物の保存と修復に関する勉強会 議事録抄録

日 時：平成30年11月2日16時00分～18時00分

場 所：東京文化財研究所 地下1階 会議室

参加者：青木孝義（名古屋市立大学大学院）、今本啓一（東京理科大学）、鈴木圭（日本大学）、長谷川直司（国土技術政策総合研究所）、井川博文・西岡聡・坂本萌（以上、文化庁）、北河大次郎・石田真弥・鳥海秀実（以上、東京文化財研究所）（敬称略）

震災対策に関する話題

北 河：今日は、前半は文化庁の西岡さんからコンクリート造建造物の震災対策に関する話題提供、後半は東文研の石田からスコットランドの政府機関が出している歴史的コンクリートの保存修復に関する指針の内容の紹介、という流れで行きたい。

西 岡：それでは鉄筋コンクリート造の耐震診断、耐震補強について、国内の事例を紹介する。幅広く捉えてもらうため、古い事例も含めて紹介する。

まず全般的な話をすると、現状では国内の耐震診断、耐震補強の事例は少ない。また耐震診断については、煉瓦造よりは容易で、既存の鉄筋コンクリート造の耐震診断指針を準用している。

文化財ならではの視点としては、極めて強度の低い建造物も保存対象である点、また大正期頃までは、カーン式やエヌビック式などの特殊な配筋の建造物が含まれている点が挙げられる。カーン式では、清水建設施工による山口銀行旧本店の補強事例がある。エヌビック式の事例としては梅小路機関車庫。また構造劣化対策については、まだまだ議論の余地があるように感じている。

その他、近年構造スリットを導入した例が出てきているが、躯体を傷めることにもなるため、使用の是非については検討の余地があると思っている。

国内の鉄筋コンクリートの保存修理事例としては、旧山邑家住宅が古い。昭和60年（1985）から平成元

年（1989）までに保存修理工事が実施されたが、阪神・淡路大震災被災後にも平成7年（1995）から10年（1998）にかけて災害復旧工事が行われた。また現在も工事が実施されており、防水設備の劣化対策と庇とスラブの補強が行われている。F.L.ライトの設計であるが、スラブ厚が薄く、鉄筋も十分入っていないため、構造が脆弱である。また、尾根に立地していて、花崗岩質の地盤にも問題が生じている。昭和60年（1985）修理では、地盤沈下部分の是正、基礎の新設、破損している柱の劣化コンクリートの撤去・打ち直し、脆弱な2階スラブについても一旦解体し、鉄筋を付加してスラブを打ち直した。その際、既存の鉄筋と同じ丸鋼が用いられた。

北 河：同じスラブ厚で復旧されたのか。

西 岡：おそらく同じ厚さで復旧されている。スラブが薄く、上に人が載るだけでスラブが下がるため、変形を感知するセンサーも併せて設置した。その後、災害復旧工事では、破損状態をランク分けし、ランクごとに異なる補修方法が実施された。スラブの鉄筋コンクリート化、部分鉄骨補強、パラペットの炭素繊維シート補強、基礎フーチングの新設など。ただし、前回と異なり、異形鉄筋が用いられた。

次に国立西洋美術館については、文化財指定前の平成8年（1996）から10年（1998）にかけて日本初の免震レトロフィットが実施された。上部構造の補強は原則実施せず、周囲にエキスパンションジョイントが新設された。その際、本館と縁を切るため南面の外部階段は一旦解体され、復旧されている。

文化財指定後の補強工事の事例としては、梅小路機関車庫が挙げられる。大正3年（1914）に建設された現存最古のコンクリート造の機関車庫である。平成23年から24年まで耐震診断が実施され、25年から28年に耐震対策工事が実施された。ここでは様々な構造補強案が検討された。案1は鉄板壁＋RC壁での補強、案2は鉄板壁＋ブレース補強、案3は外付け鉄骨フレーム補強で、最終的には案2が選択された。案2に決定後も、ブレースの見せ方が検討され、結局背面に補強部材が設置された。材料も鋼管を使用し、可能な限りスッキリとした印象となるように配慮している。また、補強部材の塗装も既存躯体とは異なる色を使い、後補材であることを明確にした。さらに柱1本だけ再アルカリ化を行い、その後経過観察を行っている。

北 河：1本だけしか再アルカリ化しない理由は？

西 岡：試験的に行ったということ。

長谷川：まずは1本実施し、経過観察することが目的に含まれていた。

北 河：当初は全体を再アルカリ化する計画はなかったのか。

長谷川：なかった。副作用など、想定外の問題も考えられたため。

今 本：副作用の確認のためのモニタリングということか。

西 岡：そうである。

北 河：副作用については、現在も調査中か。

西 岡：調査中だが、これまで問題が生じたという話は聞いてはいない。

次は、広島平和記念資料館の事例を紹介したい。これは資料館のリニューアルに合わせて実施するもので、平成19年（2007）から計画の検討を始め、28年（2016）から31年（2019）にかけて免震工事を行っている。資料館は、建造物だけでなく名勝の指定対象でもあり、世界遺産のバッファゾーンにも含まれているため、意匠には特に配慮が求められている。そのため、名勝地内ではあるが免震工事が選択された。

創建時は、解放的なつくりで、正面側から見ると背

面の原爆ドーム側まで光が抜ける空間となっていた。しかし、貴重な資料を太陽光に晒すことが徐々に問題となり、外光を遮る空間へと改修されていった。また、当初計画と異なり、表面に木目が現れない仕上げに改修されたため、平成2年（1990）から3年（1991）に大規模な改修工事が実施され、ポリマーセメントを使って表面に木目をつける変更や二階側面を花崗岩張に変更している。このときはまだ設計者がご存命だった。

今回は、免震装置の設置以外には、二階床に対して炭素繊維補強などを実施している。また地中梁の新設などの免震工事に伴い、階段基礎が撤去され、二階渡り廊下部分もエキスパンションジョイントへ変更されている。さらに見学動線の変更により、渡り廊下幅の変更も実施している。

次は、同じ広島市内の世界平和記念聖堂の事例。この聖堂も改修工事で耐震補強が実施されている。基本的には、塔屋と各面の壁量の違いが問題となっている。祭壇側の壁面の効きが強すぎるため、耐震スリットを設けて耐力が効かないようにし、特に構造耐力が不足している堂正面側小玄関は鉄骨補強と階段室のRC増打ちを行い、全体のバランスを取るような変更が行われている。塔屋については、地盤改良、上部の鉄骨ブレース補強、PC鋼棒による引張補強が実施された。一般の方は普段立ち入らない部分になるため、このような補強方法が選択された。

北 河：PC鋼棒の長さはどの程度なのか。

井 川：塔屋の地上から7階高さまでの長さを、各階高ごとに継いでいる。

西 岡：また、堂背面側3箇所耐震スリットが設置された。耐震的なバランスを取るためとはいえ、全体の耐力が弱くなる方向に調整しても良いのかという話はあった。

北 河：一般建築ではよく実施される方法なのか。

西 岡：一般建築でも実施されることはある。極短柱の折損を防ぐために設けられることが多い。ただ、今回のように全体の耐力バランスから、構造スリットを設置する考え方は少ないはず。

井 川：聖堂は、正面側にスラブが多く入る一方で、背面側は高さのある1枚壁で、偏心が問題となっており、バランスをとる必要があった。

長谷川：もちろん正面を補強する案もあった。

井 川：正面ピロティ部分に柱を入れる補強案が検討されていたが、教会側からその補強案は、建物の印象が大きく変わってしまうことを理由に断られた経緯がある。そのため階段室におさめる形で補強部材が設置された。

北 河：構造スリットを文化財で導入した最初の事例ということか。

西 岡：そうなる。なお、非構造部材への対策としては、アプスドーム部分の剥落防止ピンネット、シャンデリアの振れ止めなどが行われた。

最後に登録有形文化財の東京大学大講堂（安田講堂）の改修事例を紹介する。これは、背面に半円形の講堂を持つ建造物で、東日本大震災によりクラックや窓ガラスの破損などの被害を受け、鉄骨下地のモルタル仕上げの天井の落下が懸念されたため、耐震改修工事を実施することになった。平成25年（2013）6月から26年（2014）12月にかけて改修工事が実施された。

補強方法自体は非常にシンプル。耐力が不足する部分にはRCの壁またはアーチや鉄骨のブレースやパネルを設置する方法が取られている。ただ、補強部材が一部廊下やホール部分に表れるため、意匠的な扱いが問題になり、結局もともと鉄骨とラス下地にモルタル

塗で整形されていたアーチ部を、耐震壁へと置換された。意匠的に問題にならない部分に関しては、柱を鋼板巻き補強している。

またここでも構造スリットを設置しているが、平和記念聖堂の事例のようにバランスを取る目的ではなく、構造スリットを入れた位置で柱が折れることを防ぐ目的で設置された。神戸女学院でも導入されると聞いている。

その他天井の落下が懸念されていたため、改修前の天井材は撤去し、新たな鉄骨、材料で意匠を再現する工事が行われた。既存の天井はラスを吊り、ラスにモルタル、中塗漆喰、上塗漆喰という3層構成で厚いところで100mm以上の厚さになっていた。改修工事では、スラブと躯体を一体化させ天井が揺れないようにしている。また、正面ポーチ部をエキスパンジョイントへと変更し、天井落下防止のためネットによる安全対策を行った箇所もある。事例は以上である。

北 河：全体を通して、まずは補修に丸鋼を使うか異形鉄筋を使うか、という問題がありそうだ。

西 岡：旧山邑家住宅では、1回目の工事ではオリジナルに合わせて丸鋼が使用された。

北 河：追加する部材に対して、そこまでこだわる必要があるのか考えさせられる。

西 岡：同様の事例は他では聞かない。

北 河：丸鋼自体が劣化していた場合には、丸鋼で置換するケースもあるか。

西 岡：名勝としての修理だが、池田邸では異形鉄筋で置換されたと思う。

今 本：補強の立場を取るのであれば、丸鋼ではなく、異形を用いるべきだと思う。

北 河：付加する場合だけでなく、置換する場合も補修範囲を最小限に抑えるという原則を踏まえた上で異形鉄筋を使用するのは許容されるのではないか。

西 岡：ただし極めて脆弱な工法であっても、歴史的な価値はあり、旧山邑家住宅の場合であれば、F.L. ライトの設計ということもあり学術的な価値もある。

北 河：置換範囲を最小限にすれば、オリジナルはほとんど残ることになるが。

長谷川：配筋技術の保存はどうか。建設当時ベントさせて配筋するなど、今ではやれない技術ではないだろうか。

井 川：保存修理後に見ることが難しい技術をどのように保存するかは課題の一つである。

北 河：カーンバーなどは、保存する際に拘りたい部分になるかもしれない。

長谷川：ただし、カーンバーは耐震には効果がない。関東大震災の際には、カーンバーを設置した建造物の多くが破損した。

北 河：文化財登録されている浅草の神谷バーもカーンバーだと思うが、補強したのか。

西 岡：壁面に鋼板をはり付ける補強が実施されたと記憶している。

長谷川：函館別院もカーンバーが用いられた。

鈴 木：エヌビック式の事例はどうか。

北 河：大正3年（1914）に建設された梅小路機関車庫はエヌビック式が用いられている。

長谷川：明治42年（1909）に建設された旧三井物産横浜支店倉庫もエヌビック式だった。

鈴 木：エヌビック式はフランスで発明されたものになるが、スイスのベルンで建設されたエヌビック式の建造物が突然壊れるという事件があった。おそらくせん断破壊だったと思うが、それ以降エヌビック式の建造物は、あまり普及していないのかと思っていたが、日本国内

では使用が続いたことから、せん断補強対策など、なんらかの工夫があったのではないかと考える。

北 河：スイスでは、その後エヌビック式は用いられなくなるのか。

鈴 木：事例をフォローしていないため、正確にはわからない。ただ、それを受けてスイスでは世界で最初に鉄筋コンクリートの指針が作られた。当時はせん断補強筋の設置が必要であることが議論されていた。

長谷川：日本ではカーン式は爆発的に普及していったが、エヌビック式はカーンほどではなかった。

北 河：梅小路機関車庫の件だが、水平、垂直が明確で、角柱を多用したシャープなデザインが特徴的な建物に対して、斜めのブレースと曲線状の部材を補強に使うのは必ずしもマッチしていない印象を受けた。

西 岡：転車台からの見え方の問題もあるだろうし、内部の補強部材は、機関車を入れることで印象が変わってくる。

北 河：構造スリットについてだが、主に用いられている構造形式はRC造になるのか。煉瓦造などでもやられているのか。

西 岡：煉瓦造はほとんどないのではないか。構造スリット自体、短い柱が折れないように設置することが多いため。

鈴 木：スリットの例をはじめ、かなり細かく補強されている。

西 岡：確かに建築物の構造補強には精緻なものがあるが、精緻な方法に信頼を寄せて良いのかという問題もある。単純な形状ではないため、補強方法や補強箇所については、慎重な判断が必要になる。

長谷川：聖堂の構造設計は、内藤多伸が担当していたため、構造系の先生にも議論に入って頂き、構造スリットの設置を決定していった。

北 河：もともとの聖堂の構造には特別な工夫が見られるのか。

井 川：内藤多伸先生が構造を担当し、聖堂本体側に仕切りの代わりとなる壁を入れている。

鈴 木：オリジナルの設計書を参考にして保存修理工事を行ったのか。

西 岡：参考にしている。

北 河：広島平和記念資料館の場合はどうか。

長谷川：確か資料が見つかったと思う。構造は、松下清夫先生が担当されていた。

スコットランドの指針について

石 田：今回紹介するのは Historic Scotland（スコットランドで文化財を担当する政府機関）監修の Short Guides シリーズから出ている Historic Concrete in Scotland の3冊セット。

まず1冊目の「歴史と発展」では、歴史と背景、スコットランドにおけるコンクリート建築と構造物の開発、初期コンクリートの特性、歴史的コンクリートの修理の原則などが紹介されている。そのうち、歴史的コンクリートの修理の原則としては、石造の建造物の保存修理とは異なり、コンクリートでは材料の置換は最良の方法ではないこと、単に過去のモニュメントではなくインフラストラクチャーの機能の一部として重要な役割を果たしていることも考察すべきこと、オリジナルを尊重しつつも大きな応力に耐えることを保証する必要があることなどが書かれている。

2冊目の「欠陥の調査と評価」では、コンクリートの欠陥と崩壊、調査と評価、診断調査などが紹介されて

いる。

3冊目の「維持管理と修理」では、メンテナンス、修理方法と材料などが紹介されており、以下詳細に紹介していきたい。まずメンテナンスについては、不適切な設計として、①被り厚の不足、②塩化物、汚染物質などの排水処理不足、③劣化に対する準備不足、④不適切な骨材の使用の4点を挙げている。続いて具体的なメンテナンスの内容は、①表面の汚れの除去、②マイナークラックの修理、③表面の保護（コーティング）、④排水処理（排水溝の掃除）の4点になる。またメンテナンスの対象となる汚れとして、錆汚れ、生物の生長、落書き、塩類の析出が挙げられている。さらに12種類のクリーニング方法が紹介され、特に乾式プラス（①低圧+マイクロエア研磨剤、②低圧+柔らかい研磨剤）、薬品（アルカリ洗浄剤）（③アルカリ性湿布、④ラテックスフィルム）が推奨されていた。

北 河：クリーニングについて、日本と比較してみたい。

西 岡：高圧洗浄は推奨されていないということか。

石 田：破損する可能性があるとしてされている。

今 本：薬剤の名称はさておき、酸性の洗浄剤の使用は避けるべきという考えは日本も同じ。表を見る限り、アルカリ洗浄剤でも強アルカリ性のものは避けるべきということだと思う。

長谷川：煉瓦の洗浄にはなるが横利根閘門では、水の温度を変える方法が用いられていた。

西 岡：水に重曹を混ぜるという事例は知っている。

石 田：平和記念聖堂では、過去の修理箇所との色合わせが難しいため、洗浄するタイミングが非常に重要になるという話を聞いた。

井 川：聖堂は数回補修工事を実施しているため、そういった問題が出てくるのだろうが、もともとムラのある外壁なので、さほど目立たない。

石 田：さて指針では次に保全・修復の前に考慮すべき重要な要素として9点紹介されている。その中に、①劣化の緊急度と重要度と②構造の予想寿命とあるが、これらは日本でも取り組まれているのか。

今 本：一般的な構造物では、第三者被害に影響するものに関しては緊急という言葉を用いることがある。重要度に関して劣化の深刻さの程度に応じて評価する場合と、建物の重要度（病院、原子力発電所など）に応じて劣化を評価する場合もあるが、文化財建造物の場合は後者にあたるのではないかと考える。構造の予想寿命として明確なものは現状なく、せいぜい「中性化が鉄筋に到達した時点」を限界状態としたルート則の考え方に基づく程度であろう。しかしこれとて本当に寿命かというところではなく、この辺りの考え方が変わりつつある。

西 岡：構造物の予想寿命に関しては、文化財となっている以上は永久保存として考えるが、土木構造物の場合、インフラの一部として使用を継続していくためには、材料の耐用年数を考えることもあるかもしれない。

鈴 木：土木構造物では、新設であれば耐用年数を100年で考えるようになっている。ユーロコードを踏襲しているのではないか。

石 田：メンテナンス作業を実施した上での数字か。

鈴 木：そうだと思う。道路橋示方書では、100年と記載されている。

今 本：建築学会の「建築工事標準仕様書（JASS5）」により定められた基準では、計画供用期間として超長期にあたる200年が設定されている（計画供用期間は4段階に分けられている）。JASS5ではメンテナンスは考えておらず、コンクリートが中性化する期間で年数が設定されている。

石 田：次に表面修理のポイント。修理する際には、鉄筋から20mm以上深くまで取り除き、骨材は同じ大きさにするとされている。

北 河：この20mmに関しては日本でも同様の基準などがあるのか。

今 本：断面修復する際に、鉄筋周りの有害な物質を除去するために、鉄筋より奥まで研り取るようにとは言っているが、その深さは数字では示していない。ただし、感覚としては日本とそこまで離れた数字というわけではない。

北 河：先ほどの丸鋼と異形鉄筋の話に似ているが、骨材を同じ大きさのものをを用いるということはどうなのか。

西 岡：そこまで、追求することは現状ではない。

石 田：修復システムの選択に関する重要な考察事項として6項目紹介する。修理骨材の情報と適用では、オリジナルの骨材とサイズ、等級、色調、形状、材種を合わせることは難しいこと、海砂が使用されていた建造物を修理する際に再び海砂を使用することは劣化に繋がる恐れがあるため不適切とされている。収縮劣化の修理では、収縮劣化はオリジナルと補修部の間で亀裂を発生させ、古いコンクリートの界面で破損することがある。

西 岡：日本では、修復に用いるモルタルの方が強い傾向にあるが、無収縮モルタルを用いることが多い。

今 本：モルタルより無収縮モルタルの方が、収縮が小さいだけで、まったく収縮しないわけではない。

石 田：色合わせでは、違和感のない色合わせに仕上げることは難しいが、ホワイセメントや汎用セメントは骨材をうまく選択することで色合わせをアシストできるとされている。

北 河：ホワイセメントや汎用セメントの日本での使用実績はあるのか。

西 岡：ホワイセメントの使用はある。煉瓦目地の補修では、一般的なセメントでは青みが強いいため、ホワイセメントを使用し、既存の目地の色味に近づける配慮としてホワイセメントが用いられることがある。

石 田：次に、不十分な品質管理では、小規模なパッチ補修は既製品を用いることが一般的になっているが、既存材料で起こりうる変化に合わせるができないこと、耐久性の改善、耐凍性、収縮の減少などの特性を付与するため、ポリマーに置換される場合がある、とされている。

今 本：ポリマーセメントモルタルの使用に関しては、耐火性の問題があるため、ポリマーの種類と使用量には注意が払われている。なおガイドラインの中ではパッチ修理を批判的に取らえているわけではないようだが、そうなのか。

石 田：パッチ修理は行うべきではないというような文章は見られなかった。既存コンクリートとの接着については、修復した範囲内の露出したコンクリート表面にセメントスラリーコーティングすることで、修復部分との接着が改善されることがある。pHを下げる可能性のある接着剤の使用には注意が必要。湿潤状態では使用できない薬剤など環境によって使用制限を受ける場合がある、などが書かれている。

北 河：実際に既存躯体と修復部の接着に関する問題はありますか。

今 本：ある。補修ではあるが、構造体としての改善も含まれているため、下地の処理として目荒らしをすることがある。

鈴 木：増し打ちする場合には、骨材を出してから実施されるのが一般的ではないか。

北 河：文化財では目荒らしは避けたいところ。この箇所では

言いたいのは、目荒らしの代わりとしてスラリーコーティングで対応するということか。

今 本：接着力はスラリーの種類にもよると思う。

石 田：紹介を続けると、コンクリートの劣化が攻撃的な環境（塩害が発生する環境）では、混和材が含まれない従来のコンクリートは修理に使用すべきではない。この対応が難しい場合は、修理サイクルを短くするなどの対策が必要になる、としている。

今 本：スラグやフライアッシュが含まれない従来のコンクリートは、再び塩分が浸入し、劣化を引き起こすことになるため使用すべきではないということだと思うが、これは日本よりも進んだ考え方の一つだと思う。スラグが含まれたセメントは、塩害抵抗性がある。

長谷川：スラグが含まれたセメントは発熱量が小さいという特徴があったと思うが。

今 本：その通りである。従来のスラグでは発熱量が小さく強度発現が遅いため、（スラグを）粉末にしてそれを早める対策が取られたが、マスコンクリートがひび割れる問題が生じた。現在は、昔のスラグセメントコンクリートに近づけるよう規格の範囲内で変更しているようである。

石 田：パッチ修理の概要について紹介する。ショートガイドにパッチ修理を図化されたものが掲載されており、パッチ修理する場合には、鉄筋奥 20mm まで除去することがここでも示されている。その他の特徴的な処理として、パッチ修理の界面は蟻継形状に加工することが示されている。

今 本：日本ではフェザーエッジで処理するため形状が逆であり、こうした形状で補修しようと考えられていることに驚いた。

北 河：加工の難易度が変わると思うが。

今 本：圧倒的に日本の加工の方が簡単である。

長谷川：剥落・剥離を考えると、蟻継形状は理にかなった形状かと思う。

今 本：本当にこの形状で修理が実施されているのか気になるところではあるが、物理的な定着力は向上すると思う。

石 田：次に、電気防食（強制通電陰極保護）と犠牲陽極の 2 種類が紹介されている。

今 本：電気防食は鉄筋部分をマイナスにし、コンクリート表面をプラスにする。鉄筋が腐食する現象は、鉄筋の Fe が Fe^{2+} になることであり、それを止めるというわけである。電気防食の事例では、ある一定の間隔で陽極部が設置されており、陰極部も鉄筋が全て繋がっているかわからないため、複数箇所設置されている。犠牲陽極は、鉄筋よりも腐食しやすい亜鉛などが用いられることが多い。ただし電気は流れやすい方へと流れる性質がある。湿潤な箇所、被りが薄いところなど。そのため、電気防食を行う際には、陽極が設置されている箇所の特徴を見極めて、流す電気の量を調整する必要がある。こうした処理を行うため工事費用もかさむことになる。これらの手法については、日本国内でも実施している事例（海岸沿いの土木構造物など）はあるものの、こうした調整能力を有する作業員は、特定の企業の中でも数人だけになるため、技術継承が一つの課題にもなっている。

北 河：日本でも犠牲陽極の事例はあるのか。

今 本：犠牲陽極単独で実施している事例は聞いたことがない。多くは、電気防食の保険として犠牲陽極が設置されている。

北 河：文化財での使用実績については？

西 岡：建物では、広島平和記念資料館の鋼管杭部分で電気防食が実施されると聞いている。

今 本：日本では、建物ではほとんど実績はなく、多くが土木構造物である。現在、建築学会で作成している改修仕様書では、電気化学的な方法は優先度を下げている議論がある。

北 河：電流はどの程度の期間流し続けるのか。

今 本：脱塩の場合は約 8 週間。再アルカリ化は約 1～2 週間。電気防食の場合、電流を流すことを止めると、そこからまた腐食が再開してしまうので、流し続けることになるのではないかと。

石 田：最後に、隠れた鉄筋腐食のリスク評価を紹介する。構造物の脆弱な被り厚さや領域を特定する調査を詳細に実施することで、腐食の危険性（危険度）を提供することが考えられている。腐食初期段階の調査では、小径コア抜きをサンプルとすることやフェノールフタレインを用いたアルカリ深度の確認などの調査方法が用いられている。腐食が進行した段階では、中性化が鉄筋まで及んでも、腐食が最小限であれば、電気化学的な処置を用いることやパッチ補修を実施した範囲の鉄筋に補助陽極を設置するなどの電気化学的な方法も選択肢として記述されている。以上になる。

北 河：これらの話を基に課題を整理し、研究の方向性を決めていきたいと思います。本日はありがとうございます。

第 1 章

歴史的コンクリート造建造物の保存と修復技術
に関する現状の課題

歴史的コンクリート造建造物の保存と修復技術に関する現状の課題

今本 啓一

東京理科大学工学部建築学科 教授

1. 鉄筋コンクリート造の歴史

高度経済成長期以前に建設された鉄筋コンクリート造建築物のうち現存するものは、築50年を超え、もうすぐ100年になろうとするものも現れてきており、歴史的文化財として価値を与えられたものもある。今後、築50年を超え、使用を継続するか解体するかの判断を迫られる鉄筋コンクリート造建築物が急増することは必至であるが、鉄筋コンクリートの耐久性および鉄筋コンクリート造建築物の耐用年数については、僅か100年間の経験しか有していないのが実情である。一方、黎明期から高度経済成長期までの間に、鉄筋コンクリートに関わる材料生産技術や施工技术は大きく変化を遂げたため、それらの技術的変遷を踏まえてコンクリートおよび鉄筋の現況を評価する必要がある¹から引用。

調査対象	上野下同潤会アパートメント
所在地	東京都台東区上野
竣工（築年数）	1929年（築84年）
構造 主な仕上げ	鉄筋コンクリート造4階建て 外壁：モルタル＋リソイド仕上げ 内壁：モルタル＋漆喰仕上げ
用途	住宅72戸、店舗4戸

表1 建物概要²

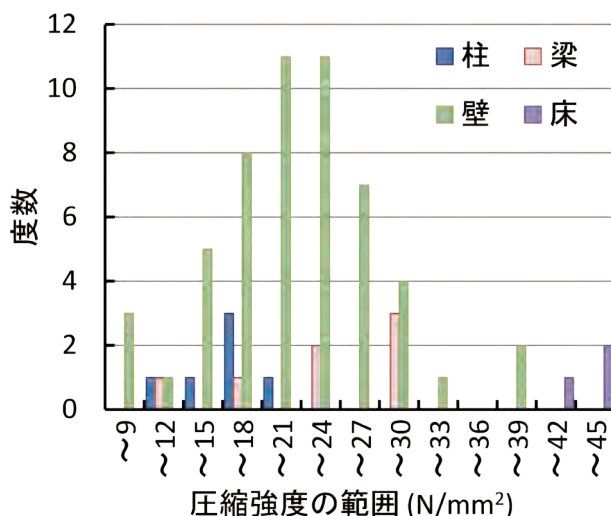


図1 圧縮強度²（芝浦工業大学、濱崎仁教授作成）

その一例として、同潤会上野下アパート（1929年竣工）の調査結果を紹介する（表1、写真1）²。コア強度を建物各部位毎にまとめたものを図1に示す。当時のコンクリートの最低基準は90kg/cm²とされており、その値は十分に上回っているが、床の強度が著しく高いことが分かる。これは当時のコンクリートの調合方法に起因している。すなわち表2に示すように上野下アパートが建設された頃は、コンクリートの調合は市街地建築物法施工規則に則って行われていた。すなわち、コンクリートは容積比としてセメント：川砂：川砂利＝1：3：6として、水の量は係員の指示に応じて調整する、という時代である。所謂左官のような調合を行っていたことになる。壁などの鉛直部材はコンクリートが打ち込みにくいためコンクリートを軟らかくする必要があり、必然的に水量の多い（水セメント比の大きい）コンクリートや、水量の少ない（水セメント比の小さい）コンクリートは、床な



写真1 上野下同潤会アパートメント 外観

部位	平均	標準偏差	単位：N/mm ²
柱	15.9	3.0	
梁	22.5	7.0	
壁	20.4	6.4	
床	43.5	1.4	

ど多少コンクリートが固くても十分施工できるため、このような強度の違いが一つの建物において生じたと考えられる。今でこそ当たり前の水セメント比による調合は1929年、すなわちこの建物の竣工後に導入されることになる。このように材料の評価及び調査位置を選定する上で当時の技術背景を把握することは重要である。

2. 鉄筋コンクリート造の劣化

鉄筋コンクリート造の普及とともに、その劣化が顕在化するようになる。図2は鉄筋コンクリート造における劣化要因との相互の関係を示したものである。

特に文化財等を考えた場合、おそらく最も顕在化した劣化として認識されるのが鉄筋の腐食とそれに伴うコンクリートの剥落であろう（写真2）。このような劣化

年	法令・標準仕様書等の変遷
1919	「市街地建築物法」制定
1920	「市街地建築物法施工規則」制定
1923	建築学会「建築工事仕様書」制定 (コンクリートの材料・調合(容積比)・製造・施工手順等)
1926	市街地建築物法施工規則」改定 (コンクリートの材料・調合(W/C強度式)・試験方法等)
1929	上野下アパート竣工
1929	建築学会「コンクリート及鉄筋コンクリート標準仕様書」制定 (材料(骨材粒度)・調合許容応力度等)
1930	「市街地建築物法施工規則」改定 (調合(W/C強度式)・軟度・許容応力度・試験方法等)

表2 コンクリートの調合の変遷²
(芝浦工業大学、濱崎仁教授作成)

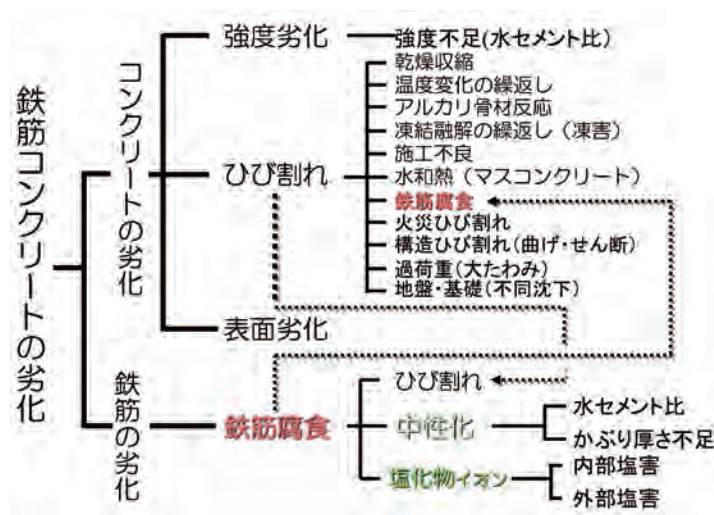


図2 劣化要因との相互の関係
(東京理科大学元教授、清水明之先生作成)



写真2 塩害による被害例写真(左³:(公社)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 2009)より抜粋、
右:軍艦島建造物(65号棟):長崎市の特別な許可を得て撮影・掲載)

を生じせしめる要因として、塩害および中性化があるが、建築物で塩害が発生する状況としては、過度の内在塩分が存在することによる場合と海岸からの飛来塩分による場合がある。飛来塩分の場合は海岸線からの距離に依存する場合が多い。目安としては海岸線からの距離が0.5～1kmとなる。コンクリートそのものは塩分浸透によって物性が極端に変化するものではなく、塩分によって鉄筋表面の不動態被膜が破壊され、鉄筋の腐食膨張によってコンクリートのひび割れ・剥離し、部材・構造体の劣化につながる事が問題となる。鉄筋の腐食膨張によってコンクリート構造物に被害がもたらされるケースは他にも中性化による鉄筋腐食が考えられるが、多くは著しいさび汁の発生を伴うことが特徴的である。

一方中性化について、コンクリートのアルカリ性が保たれていれば、鉄筋表面に化学的に安定な不動態皮膜が保持され、鉄筋の腐食は進行しないことが知られている。逆に言えば、中性化が進行し鉄筋近傍のアルカリ性が失われてしまうと、鉄筋表面の不動態皮膜が破壊され、鉄筋の腐食が進行することとなる。そのため中性化は鉄筋コンクリート構造において無視することができない劣化現象の1つとされている。

コンクリートの中性化の反応は、一般に下式で表される。



この中性化が鉄筋位置付近に到達すると鉄筋の腐食が開始するとされている（写真3）が、この中性化については日本建築学会の調査において詳細な検討がなされている⁴。



写真3 中性化による被害例写真³

3. 補修方法^{3より引用}

下図は補修工法を分類したものである。進行性ひび割れの原因には、前述した反応性骨材、コンクリート中の塩化物、被り厚さの不足、凍結融解の繰り返し、酸・塩類の化学作用、中性化による鋼材の腐食、塩化物の浸透による鋼材の腐食などがある。文化財建築を対象とした重篤な劣化は、主に進行性のひび割れであることが多く、この対処が重要になると思われる。このような進行性のひび割れは欠損を生じていない場合においても、単にひび割れを補修するだけでは不十分であり、表面被覆工法や断面修復工法などの適用が必要となる。なお、躯体欠損部の補修は、劣化原因、欠損の大きさ（深さ・面積）によって異なる（図3）。

3.1. ひび割れの補修^{3より引用}

ひび割れの補修には、(1) ひび割れ被覆工法、(2) 注入工法、(3) 充填工法があり、ひび割れ幅や補修目的を考慮して適切な工法を選定する。また、近年、電気化学的にひび割れを閉塞する電着工法の開発が進められている。一方で、近年、簡易的にひび割れを見えにくくする補修方法が提案されている。この方法は、セメント系材料の粉末やペーストなどをひび割れ部に直接塗布あるいは噴霧し、ひび割れの表面近傍を覆う方法であり、美観を改善することができる。しかしながら、上記の工法と

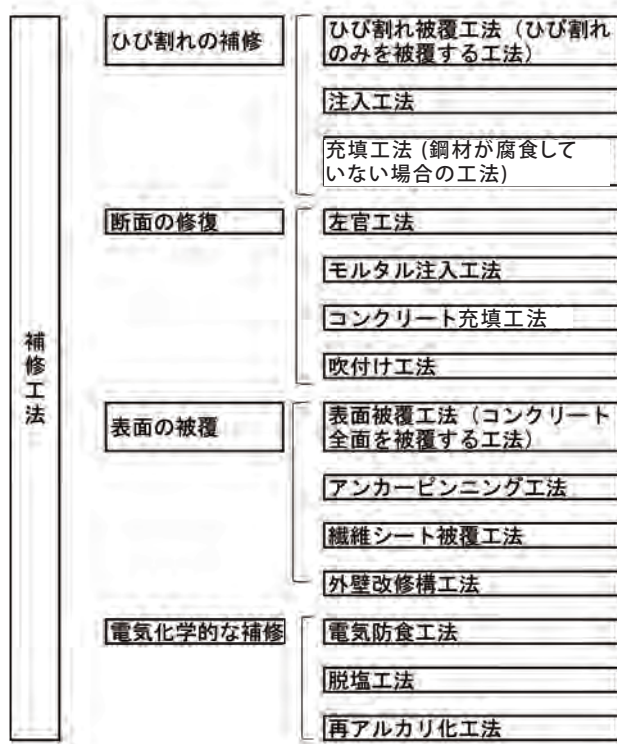


図3 補修工法の分類^{3を元に作成}

は異なり、耐久性の観点からひび割れの発生原因を直接取り除くための工法ではない。

(1) ひび割れ被覆工法³より引用

ひび割れ被覆工法とは、微細なひび割れ（一般に幅0.2mm以下）の上に塗膜を構成させ、防水性、耐久性を向上させる目的で行われる工法で、ひび割れ部分のみを被覆する方法（図4）である。

ひび割れ被覆工法は、ひび割れ内部の処理ができないことや、ひび割れ幅の変動が大きい場合や進行性のひび割れの場合には、ひび割れの動きに追従し難いことなどの欠点がある。なお、ここで示すひび割れ幅の変動が大きい場合とは、使用する被覆材の引張破壊伸びを超える変動を示しており、このような場合には、ひび割れの変動により被覆材にひび割れが生じる恐れがあるため、可とう性のある材料の採用や図4（右）に示すような工夫が行われている。

(2) 注入工法³より引用

注入工法とは、ひび割れに樹脂系あるいはセメント系の材料を注入して、防水性、耐久性を向上させるものであり、仕上げ材がコンクリートの躯体から浮いている場合の補修にも採用される。従来の注入工法では、手動や足踏み式の機械注入方式で行われていた。しかし、①注

入の精度が作業員の熟練度に左右される、②注入量の管理が難しい、③注入圧が高いとひび割れの奥に樹脂が注入される前に、ひび割れに沿って樹脂が広がったり、シール材が割れたりする場合があることなどの問題があった。現在では、低圧低速注入工法による補修方法として、図5に示すような注入器具を用い注入圧力0.4 MPa以下の低圧で、かつ低速で注入する工法が主流となっている。ひび割れ補修用の注入材には、エポキシ樹脂やアクリル樹脂などの有機系、セメント系、ポリマーセメント系がある。

(3) 充填工法（鋼材が腐食していない場合の工法）³より引用

充填工法とは、0.5～1.0mm程度以上の比較的大きな幅のひび割れ、かつ、鋼材が腐食していない場合の補修に適する工法で、ひび割れに沿ってU字形にコンクリートをカットし、その部分に補修材を充填する方法である（図6）。

ひび割れに沿って約10mmの幅でコンクリートをU字形にカットした後、このカットした部分にシーリング材、可とう性エポキシ樹脂、ポリマーセメントモルタルなどを充填し、ひび割れを補修する。U字形にカットする方法には、U字形をした円錐状のダイヤモンドビットを電動ドリルの先に付けてひび割れに沿って削る方法がある。

ひび割れ補修の充填材は、ひび割れに動きがある場合と動きがない場合で使い分ける。動きがある場合には、ウレタン樹脂やシリコン樹脂などのシーリング材（シーラント系、目地材）を使用する。



図4 ひび割れ被覆工法³
（右：ひび割れ幅の変動が大きい場合のひび割れ被覆工法の例）

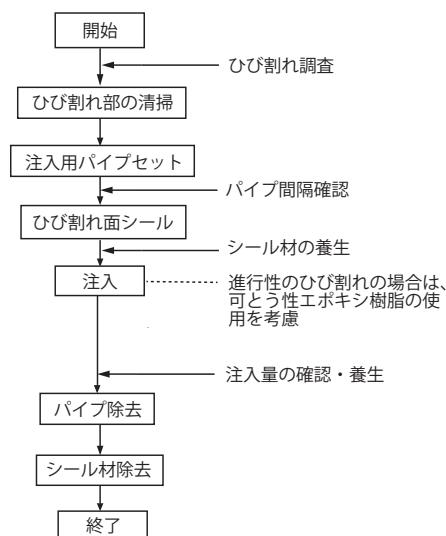
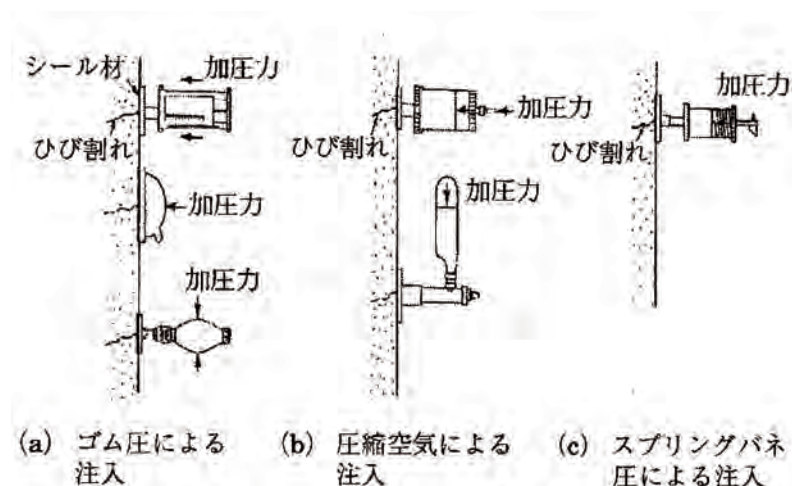


図5 低圧低速注入工法による補修方法の例とフローチャート³

3.2. 断面の修復^{3より引用}

断面の修復では、内部鋼材の腐食膨張や凍害、アルカリ骨材反応によるひび割れなどにより欠損したコンクリートの修復や中性化、塩化物イオンなどの劣化因子を含むコンクリートを撤去した場合のコンクリートの修復を目的とする。

図7に示すように、発錆している鋼材の裏側までコンクリートを斫り取り、鋼材の錆を除去し、鋼材の防錆処理、コンクリートへのプライマーの塗布を行った後に、ポリマーセメントモルタルなどのセメント系材料を充填する方法で行う。

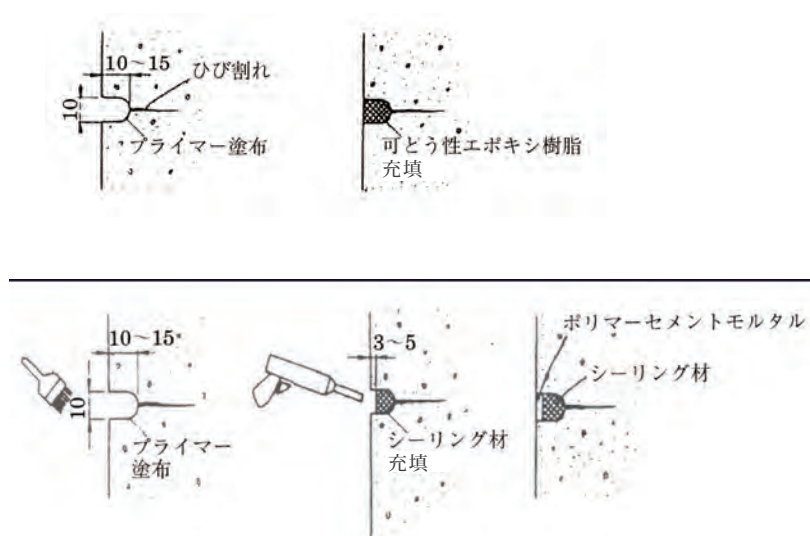


図6 充填工法（上：可とう性エポキシ樹脂，下：シーリング材の場合）³及び工程（右）

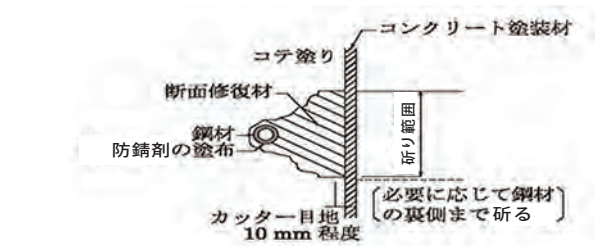
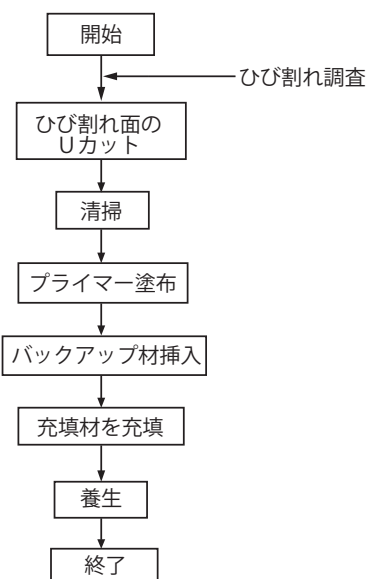
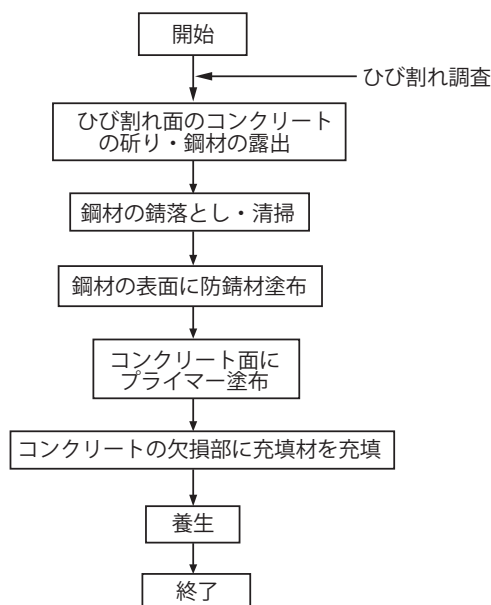


図7 断面修復工法のコンクリート³の概要図（左上）、作業写真（左下）、工程（右）

3.3. 電気化学的な補修^{3より引用}

電気化学的な補修では、陽極材料からコンクリート中の鋼材（鉄筋、鉄骨等）に向かって、直流の電気を供給することで、鋼材の腐食進行を抑制することを目的とする。この場合、ひび割れ幅に応じて工法を選択するのではなく、ひび割れの原因や期待される効果を十分に把握した上で適用を検討する。以下の工法は、直接ひび割れを補修する工法ではないため、既にひび割れが発生している場合には、前処理としてひび割れ補修や断面修復などによる補修を実施した後に、これらの工法を適用する。また、浮き・剥離などの劣化が発生している場合には、



前処理として断面修復工法などによる補修を実施した後に、電気化学的防食工法を適用する。

(1) 電気防食工法³より引用

電気防食工法には、外部電源方式（図 8(a)）と流電陽極方式（図 8(b)）がある。

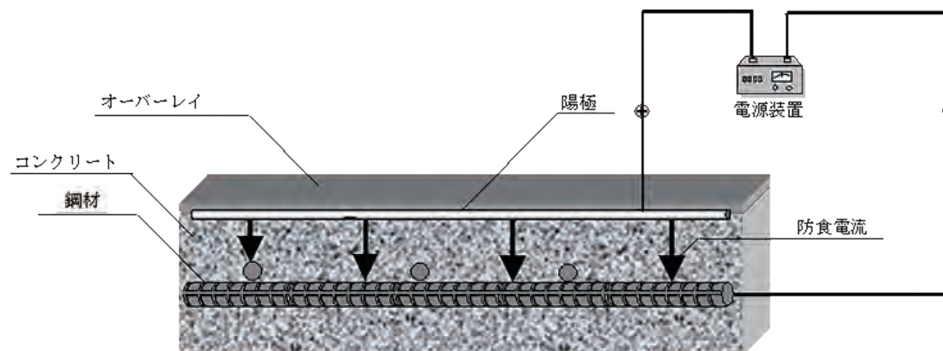
外部電源方式の場合は、電源装置から陽極を通じて防食電流（ $10 \sim 30\text{mA}/\text{m}^2$ 程度の直流電流）をコンクリート中の鋼材に向かって流す。一方、流電陽極方式の場合はコンクリート中の鋼材よりマイナス側の電位を持った陽極材（電気化学的犠牲材料）と鋼材間の電位差を利用し、陽極材が酸化するときに発生する電流を防食電流

として鋼材に向かって流す。何れの方式においても、防食電流の供給によって、鉄がイオン化（ Fe^{2+} ）する腐食反応が抑制されるため、適切な電流が供給されている限りは鋼材腐食が抑制される。

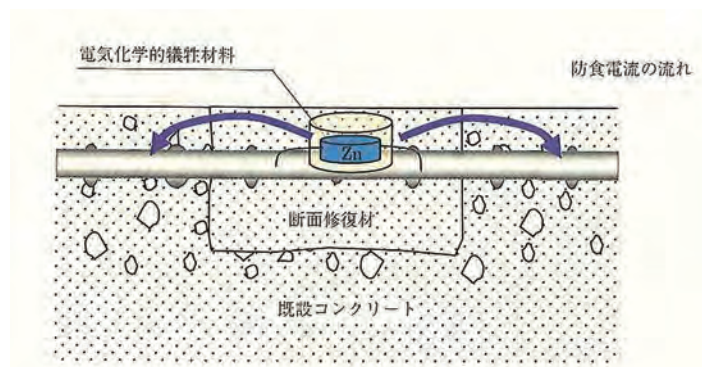
(2) 脱塩工法³より引用

脱塩工法は、塩害に対する補修工法である。

この工法は、図 9 に示すように、コンクリート表面に水酸化カルシウム（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）やホウ酸リチウム（ Li_3BO_3 ）などの電解質溶液を含んだ仮設陽極材を約 8 週間程度設置し、電気防食工法よりも大きな直流電流（標準的には $1 \sim 2\text{A}/\text{m}^2$ ）を仮設陽極材からコンクリート中の鋼材に



(a) 外部電源方式（面状陽極）



(b) 流電陽極方式（点状陽極）

図 8 電気防食工法の原理³

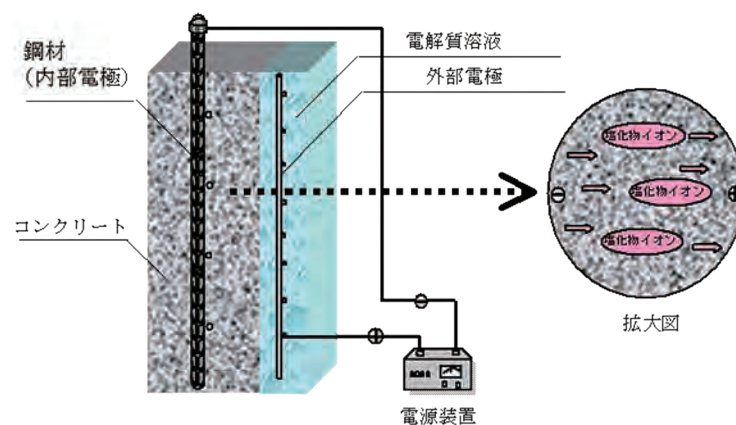


図 9 脱塩工法³

向かって流す。すなわち、コンクリート中の塩化物イオン (Cl^-) をコンクリートの外 (仮設陽極材側) に電気泳動することによって脱塩する。将来の外部からの塩化物イオンの侵入がある場合は、仮設陽極材の撤去後に、表面被覆工法と併用することが望ましい。

(3) 再アルカリ化工法³より引用

再アルカリ化工法は、中性化に対する補修工法である。

この工法は、図 10 に示すようにコンクリート表面に炭酸カリウム (K_2CO_3) などのアルカリ性溶液を含んだ仮設陽極材を約 1～2 週間程度設置し、脱塩工法と同様、直流電流 (標準的には $1 \sim 2\text{mA}/\text{m}^2$) を仮設陽極材からコンクリート中鋼材に向かって流すことで、アルカリ性溶液をコンクリート中の鋼材に向かって電気浸透させる。

なお、常時、雨水等が流れる場所においては、コンクリート中に浸透したアルカリ性溶液がコンクリート外に流出してしまう可能性もあるため、必要に応じて表面被覆工法との併用の検討を行うことが望ましい。

4. 「水」を考慮した鉄筋コンクリート造の補修方法

3 において各種の補修方法の概要を紹介したが、「文化財の修復・保存」の観点から考えると外観に影響を与える点で現在の補修方法を適用することは悩ましい。一方、鉄筋が腐食するメカニズムを改めて考えると、図 11 に示されるように、酸素と、特に水の供給が不可欠であることが分かる。すなわちこれらの供給のいずれかを断つことにより鉄筋の腐食を抑制することが可能となる。ここでは、中性化による劣化を対象とし、「水」を抑制することに着目した補修事例を紹介する。

4.1 国立西洋美術館本館の状況⁵

国立西洋美術館本館の調査を始めて行ったのは 2010 年であった。当時は、コルビュジエによって設計された本建物を「ル・コルビュジエの建築と都市計画」の一リストとして世界遺産に登録するための一つの過程として、当時、(社) 日本建築学会に組織された国立西洋美術館本館の保存活用計画策定に関する調査 WG (主査：

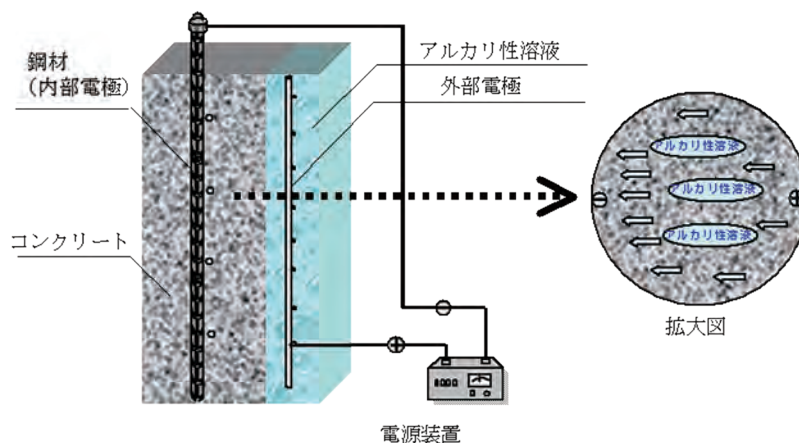


図 10 再アルカリ化工法³

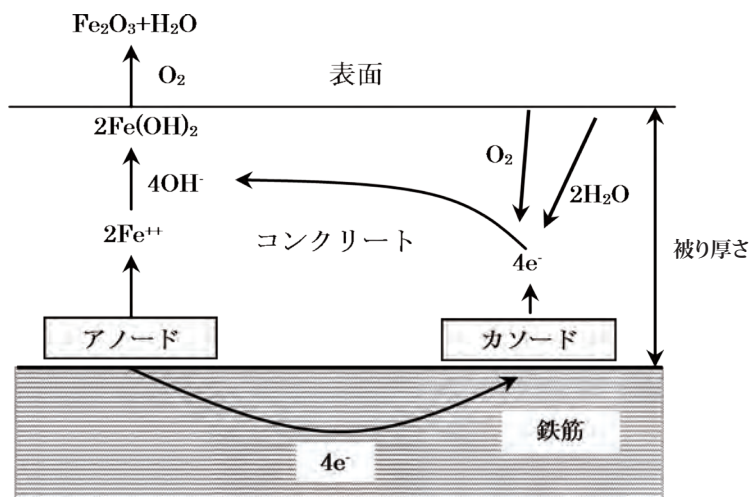


図 11 鉄筋の腐食メカニズム

故 鈴木博之 青山学院大学教授、幹事：山名善之 東京理科大学教授）において、本建物を今後 100 年間供用するための維持・改修計画が策定されていた。材料の観点からの適切な改修計画を立てるためには、まずは躯体の劣化状況を知ることがまずは必要であった。当時からこの建物には、写真 4 に示すようなコンクリートの中性化による鉄筋の腐食が散見されていた。



写真 4 トップライト部の鉄筋腐食

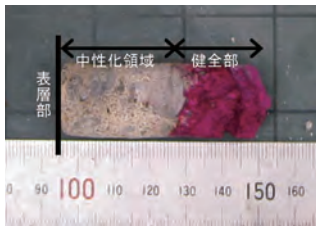


写真 6 コア抜きの中性化深さ



写真 7 表層透気試験調査状況

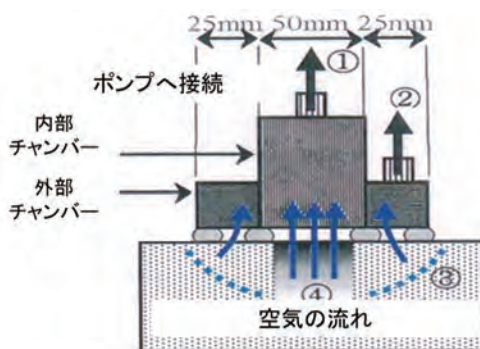


図 12 表層透気試験概要図

4.2. 国立西洋美術館本館躯体の中性化の進行状況

国立西洋美術館の躯体の劣化状況を調査するため、建物の中性化進行状況と鉄筋の被り厚さを調査することとした。まず、美術館の外周壁（ハチマキ部）において小径コアによる微破壊的な試験を実施した。その結果、築 50 年を経過した建物の中性化はほぼ鉄筋（被り厚さ 30～40mm）に到達する状況であった（写真 5、6）。

一方、ハチマキ部の調査にあたって、躯体への損傷を最小限にすることを目的として、この中性化深さを非破壊試験（表層透気試験）によって推定することとした（写真 7、図 12、13）。また、鉄筋の被り厚さをレーダーによって同じく非破壊的に調査した。下図の表層透気性と実測の中性化進行との関連性を踏まえた上で本非破壊試験を中性化進行予測に適用することとした。



写真 5 コア抜きの状況

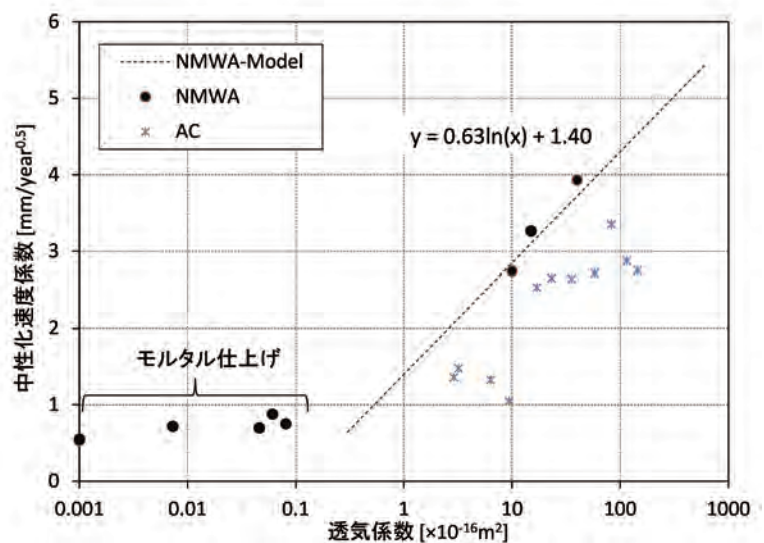
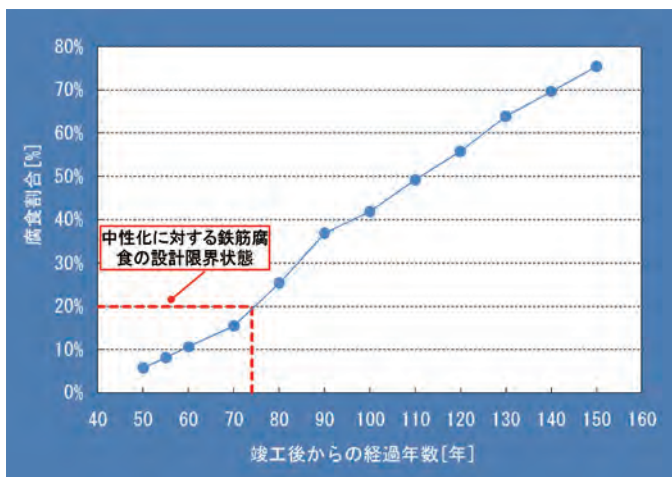


図 13 非破壊透気試験と中性化の関係

ハチマキ部の 122 箇所において測定を行い中性化が鉄筋に到達した時が寿命と仮定した場合、2010 年の調査時点から約 25 年後に本建物の寿命（腐食限界状態 20%⁶⁾）が来るとの予測結果となった（図 14）。

この結果を踏まえ、本建物の全体像を把握するために、1 階～3 階の柱計 22 本、2 階外梁および外周りのスラブ下とし（図 15）、3 階については主に屋内丸柱を対象とした調査を実施した。



4.3. 建物全体概要の把握

レーダーによる探査状況を以下に示す。レーダーは、電磁波をコンクリート表面から内部に向けて放射し、鉄筋から反射波を捉えて鉄筋の位置・深さを非破壊で同定し、鉄筋の被り厚さを測定するものである（図 16、写真 8）。透気試験の状況も併せて写真 9 に示す。

図 14 非破壊試験から推定された鉄筋の腐食

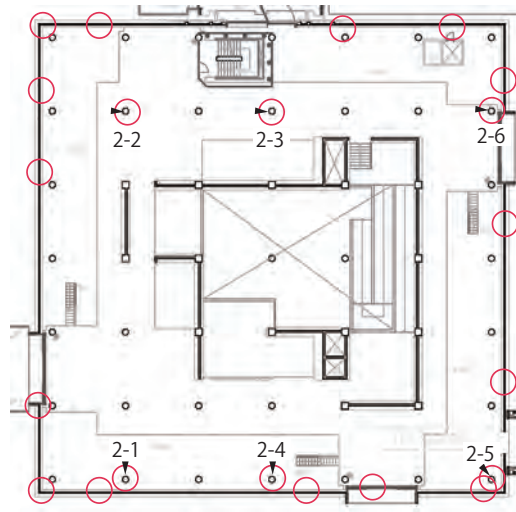
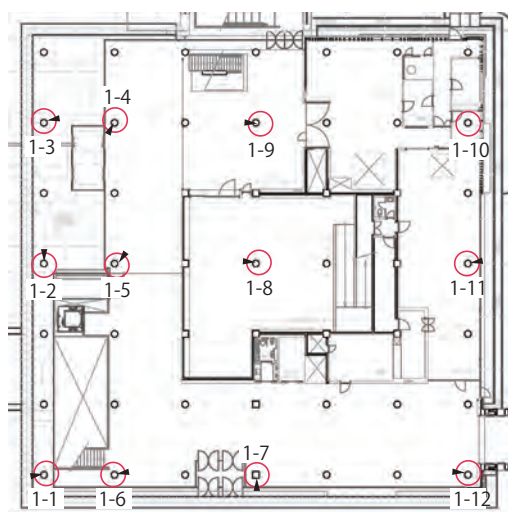


図 15 調査部位（左：1 階，右 2 階）

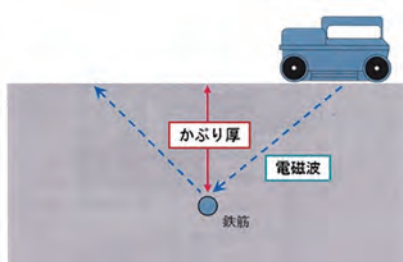


図 16 レーダーの原理と測定状況



写真 8 鉄筋調査状況

(1) 鉄筋被り厚さ

図 17 に被り厚さの全測定データのヒストグラムを示す。外梁では被り厚さが大きく、スラブ下では小さい箇所が多くみられる。また西洋美術館建設当時のコンクリート工事の仕様書である JASS 5¹ によると、要求される最小被り厚さは屋内外の打ち放しコンクリートでは 30mm とされているが、屋内柱では 64.3%、屋外柱では 63.3%、外スラブ下では 76.9% の測定点において基準に満たないものもあり、特にスラブ下はほとんどの箇所 10mm 未満と小さかった (表 3)。

一方、本建物のシンボルともいえる丸柱の何本かにおいて柱の上部にいくほど被り厚が小さくなり、その反対側では逆に大きくなっている傾向があった (図 18)。これはおそらく、当時のコンクリート打設時には、現在のような鉄筋の被り厚さを確保するためのスペーサ

ーといった便利な器具はなく、ズレや歪みが生じてしまったと考えられる。当時の施工記録によると、丸柱をまっすぐに配筋し固定具で固定した後に型枠を組む際に固定具を外して打設するといった手段が往々にして取られていたためと思われる。

(2) コンクリートの中性化深さ

下図に中性化深さの測定データのヒストグラムを示す。全般に、屋外部位は 30mm 前後の値を示しており、屋内の柱においては中性化が進行していることが認められた (図 19)。

(3) 鉄筋腐食危険度

図 20 は本調査で得た被り厚さと中性化深さのデータを用い、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」⁷ に基づいて本建物の各部位における鉄筋腐食の危険度合を大・中・小に分類したものである。特に雨がかり箇所や目視で腐食が明らかな箇所は危険度「+」として評価した。その結果、全調査箇所占める約 1/3 が危険度「大」以上を示し、スラブ下と一部の屋外柱・梁面は鉄筋腐食の危険度が「大+」



写真 9 中性化予測のための透気試験の状況

構造部材の種別		最小被り厚さ (mm)
耐力壁・柱・梁	屋外に面する部分、屋内に面する部分で有効な仕上がないもの	30
	屋内に面する部分でモルタル塗、しっくい塗、タイル貼りその他これらに類する鉄筋の耐久上有効な仕上があるもの	20
床・耐力壁以外の壁		20
直接土に接する柱・梁・壁・床		40
基礎		60

表 3 当時の JASS 5 の最小被り厚さ

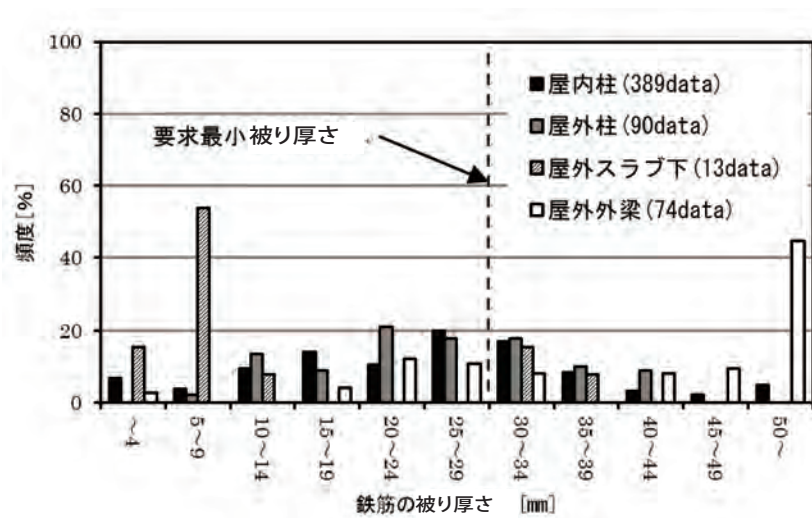


図 17 鉄筋被り厚さの分布

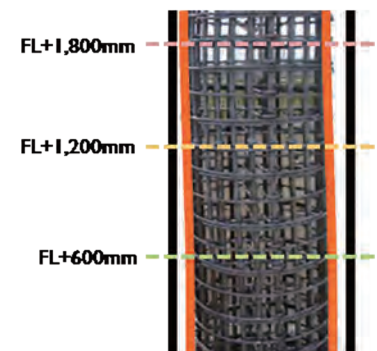


図 18 丸柱配筋測定結果の一例

と高い結果となった。部位によってその進行状況が異なることを示した意義は、建物の改修のための優先順位を具体的に導き出すことにつながる。

4.4. 躯体の保存改修⁸

一般に中性化したコンクリートの補修方法として、新しいコンクリートに打ち替える断面修復工法や失ったアルカリを電氣的に供給する再アルカリ化工法が採用される（前述）。

しかし、これらの工法はコンクリートの外観に対して明らかな変化や鉄筋の研り出しなどを伴うため、文化財

等の建築物に対する補修方法としては適応しがたい面がある。一方、鉄筋の腐食は、最終的には酸素と特に水分の供給がトリガーとなるため、視点を変えるとこのうちのどちらかの浸透を抑制することが、「中性化が生じても鉄筋の腐食が生じない」ことにつながる。そこで、外観を変えずにコンクリート中への水分の浸透を抑制する方法としての表面含浸材を本建物の改修に適用することとした。

紙面の都合上材料選定に至る詳細な検討結果は割愛するが、外観を変えずに最も水分浸透抑制効果の高い表面含浸材を選定し、試験施工を踏まえて（図 21、写真

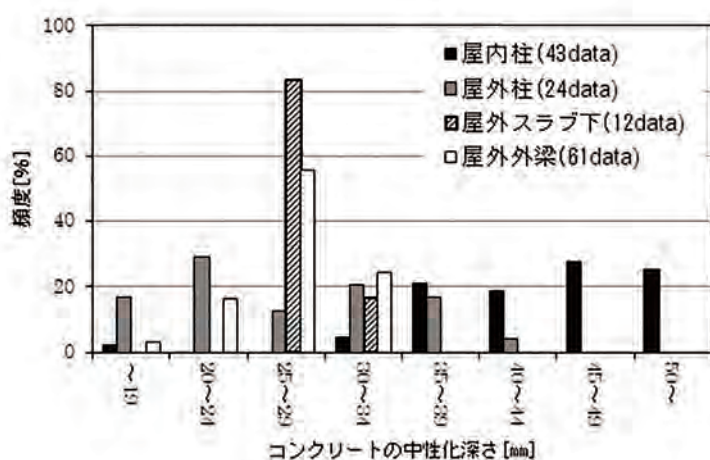


図 19 コンクリートの中性化深さ分布

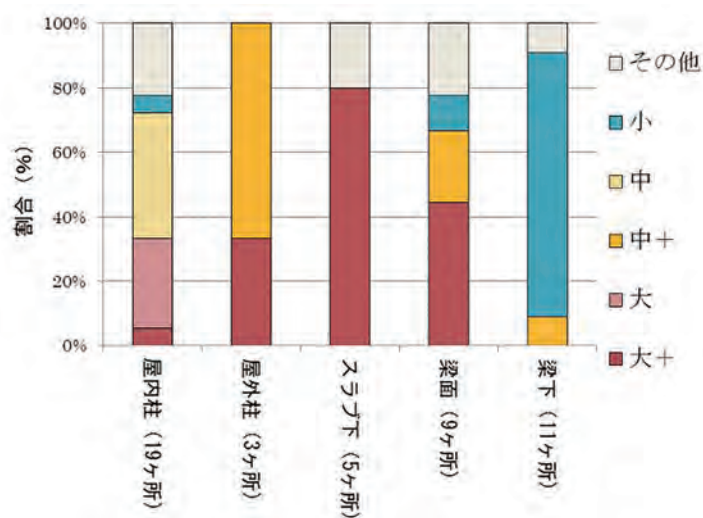


図 20 各部位の鉄筋腐食危険度分類



写真 10 含浸試験中の状況

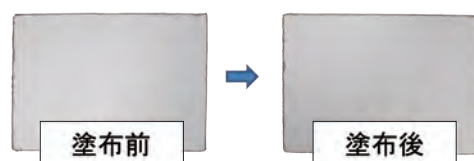
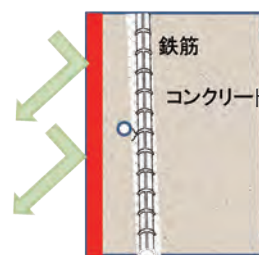


図 21 表面含浸材の効果概念

10) その材料を西洋美術館本館躯体の改修に適用した。

改修後のコンクリート表面の水分撥水性状況を図 22、写真 11 に示す。試験は同図に示されるように、電気的な非破壊手法によって評価されたものである、表面含浸材の撥水状況を確認できるとともに、本効果の持続性を今後非破壊的に評価することによって本建物の維持管理に資することが可能になるものとする。

一方、図 23 に塗布後時間が経過した状態での表面含水率の推移を示す。いずれも 3～5 箇所の平均値を示している⁹。いずれの測定面においても塗布前よりも表面含水率の値が小さく、塗布後 3 年においても一定の撥水効果が認められる。特に、東面および西面の外壁ハチマキ部では表面含水率の値が小さく、さらに測定開始時から測定終了後までの表面含水率の変化率が大きく、高い撥水性を保持している。一方、南面外壁ハチマキ部においては、ある一定の撥水効果が認められるが、塗布後 2 か月から他の測定箇所ほどの撥水効果が顕著ではなかった。これはごく表層部においてシラン層が消失しているためである。

そこで、4 プローブ法（WENNER 法などと呼ばれる）を適用することとした。この方法は、図 23 に示すように等間隔に並んだ 4 つの電極を測定対象面に押し当て、



写真 11 コンクリート表面の水分撥水性検査状況

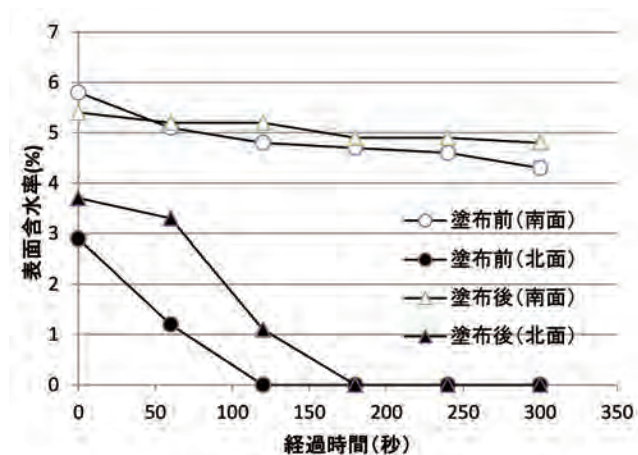


図 22 含浸材による撥水効果の確認

測定対象に流した交流電流と電位差電極間の電位差の測定値から求める方法である。4 プローブ法は測定方法が簡便なため、多くの研究がなされており、実務においても広く使用されている。また、測定電流が浸透した深さまでの比抵抗が得られるため、図 24 に示すように中心点 O に対して、電極間距離を長くすることで深さ方向の

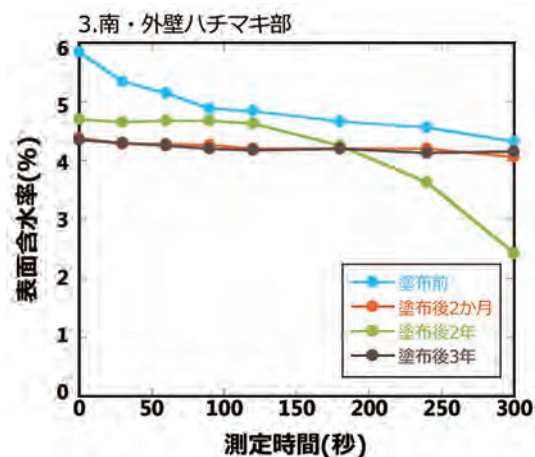
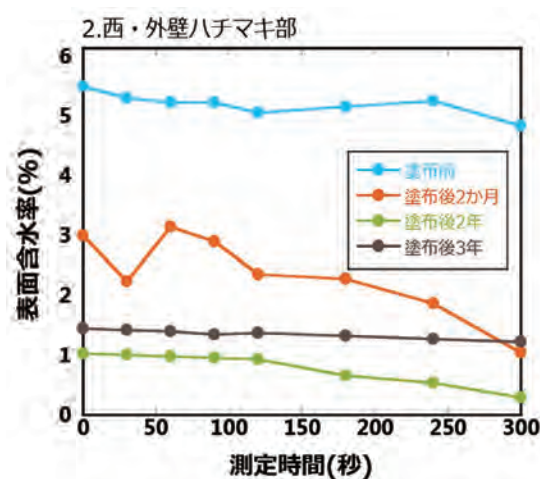
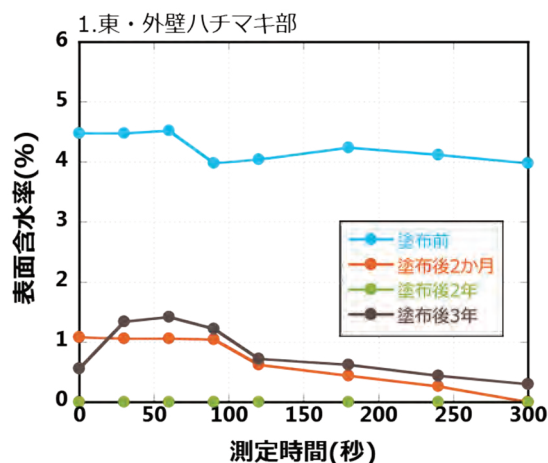


図 23 表面含水率の推移⁹

比抵抗の変化も測定可能である(写真 12、13)。

室内実験および曝露試験結果から得られた比抵抗と質量含水率の関係を図 25 に示す。図中には既往の研究¹⁰によって比抵抗 P の値も示している。これによると両者には相関性が見られることから、ここでは比抵抗 P と比抵抗 FP の機種の違いにより近似式を求めた。含浸材による影響で抵抗が大きくなる傾向が本実験でも見られており、表層部の含浸材の消失の影響を受けずに被りコンクリートの含水率を評価することができる。以上の検討結果より、西美本館の外壁ハチマキ部において全方位で比抵抗の測定調査を行った。同時に本館屋内 1 階における柱においても同様な調査を行った。測定は、3 か所その結果を図 26 に示す。屋内柱の比抵抗が最も高い値を示している。西美本館屋内は常に温度 21℃、相対湿

度 51% の環境下であり屋内柱のコンクリート内部の含水率も低い値で安定していることが推測され、そのため比抵抗値も高い値を示したものと考えられる。これまでの調査において含浸材の水分浸透抑制効果が明確に検証できなかった南面においてはいずれの電極間隔においても外壁ハチマキ部の中では最も高い値を示しており、被り部分のコンクリートにおいては含水率が低いことが推定された。図 25 の比抵抗と質量含水率の関係から図 26 における比抵抗の数値を見ると、いずれの部位も鉄筋腐食が進行しにくいとされている質量含水率 3.5% 以下¹¹ となる比抵抗以上の値となっていると評価でき、これらのことから外壁ハチマキ部のいずれの面においても含浸材塗布による水分浸透抑制効果が得られていることが確認できる。

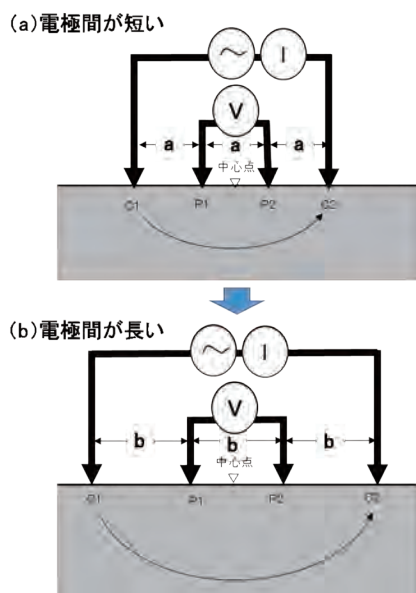


図 24 4プローブ法⁹



写真 12 比抵抗計 1⁹



写真 13 比抵抗計 2⁹

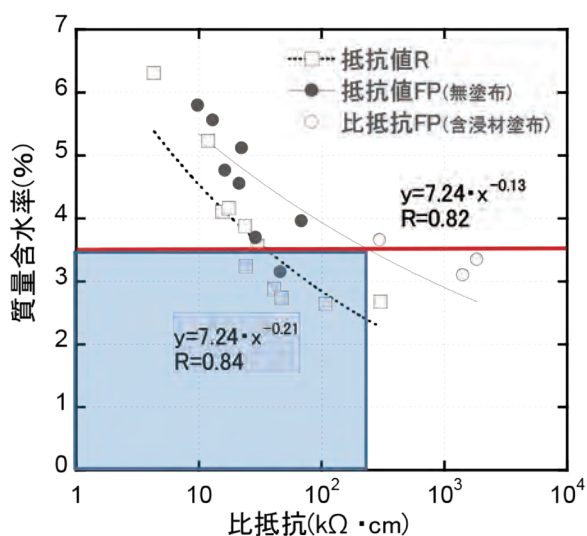


図 25 比抵抗と質量含水率の関係⁹

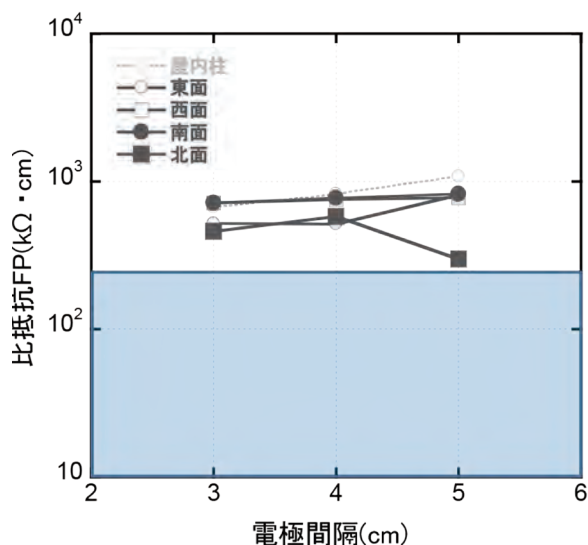


図 26 国立西洋美術館本館における比抵抗測定結果⁹

5. 文化財としての鉄筋コンクリート造建築物の 補修における一つの考え方

「補修」とは、その性能をもとの状態にまで戻すことと定義される。しかし、本館改修で適用した方法は「元に戻す」のではなく、現在の状況を維持、もしくは劣化の進行速度を大幅に低減することを志向したものである（図 27）。この考え方によって外観変化を生じさせない修復方法の選択肢を拡大できると考える。本試みが今後の鉄筋コンクリート造の材料的な保存手法の一つとして位置づけられることを期待する。

参考文献

1. <https://www.aij.or.jp/jpn/symposium/2015/a270.pdf>
2. 野口貴文ほか、同潤会上野下アパートに関する調査研究 その 1~8、日本建築学会大会（近畿）学術講演梗概集、pp. 1127-1142、2014
3. （公社）コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2013
4. 清原千鶴他、実構造物調査を通じた中性化到達鉄筋の腐食性状、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 材料施工、651-652、2017
5. 今本啓一、兼松学、梅津裕二、今川憲英、国立西洋美術館本館の躯体耐久性調査 その 1~5、日本建築学会学術講演梗概集 A-1 材料施工、pp.193-202、2010
6. （一社）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（案）・同解説、2004
7. 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、1997
8. 御園麻衣子、今本啓一、永井香織、清原千鶴、国立西洋美術館本館躯体の保全に向けた表面保護材の特性に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.1942-1947、2014
9. 清原千鶴、今本啓一、御園麻衣子、福田京、国立西洋美術館本館躯体保全に向けた表面含浸材の効果検証手法に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.40、No.1、pp.1689-1694、2018
10. 篠原佳代子ほか、端島の RC 造建築物に対する表面含浸工法の適用性に関する研究 その 1 現地調査および曝露実験におけるコンクリートの含水状態、日本建築学会関東支部研究報告集、2017
11. 古賀一八ほか、高濃度塩化物イオン含有 RC 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

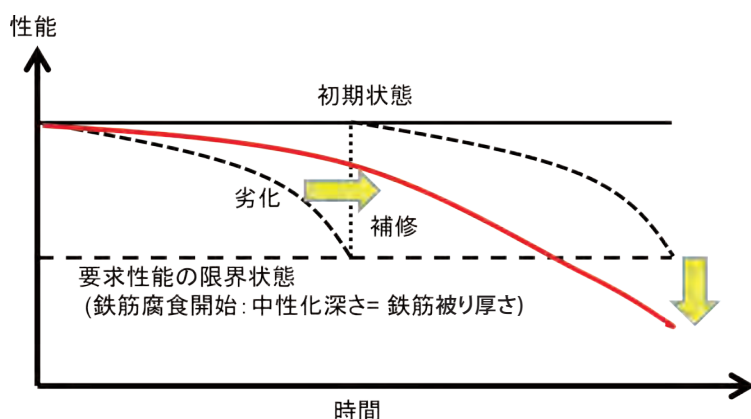


図 27 劣化進行抑制を志向した補修概念

第 2 章

旧美歎水源地水道施設の修理と
我が国黎明期の鉄筋コンクリート造

旧美歎水源地水道施設の修理と我が国黎明期の鉄筋コンクリート造

長谷川 直司

国土技術政策総合研究所 シニアフェロー

1. はじめに

鉄筋コンクリート造は、今日では建築物や土木構造物の一般的な構法であるが、歴史的な鉄筋コンクリート造建造物においては、同じ「鉄筋コンクリート造」の用語を用いても構法的にはまるで異なるものがあり、調査や修理の際の取り扱いには注意を必要とする。

重要文化財旧美歎水源地水道施設（写真1）の5箇所の濾過池にそれぞれ付属する制水井の上屋（建築面積：6.88㎡）および1箇所の接合井の上屋（建築面積：7.40㎡）は、コンクリートの躯体の内部には、鉄筋ではなく金網が込められていた。当時の建築技術書等に記載のある「鉄網コンクリート造」は、金網にはワイヤーラスを用いるのに対して、美歎ではメタルラス（エキスパンドメタル）であったため、正確には「鉄網コンクリート」の呼称は用いることはできないかもしれない。しかし、それぞれの開発意図や施工方法は類似している。「鉄筋コンクリート」と決定的に異なるのは、型枠を用いることなく、ラスを下地にして左官仕事により、コンクリートあるいはモルタルを塗りつけて壁や屋根を構築する構法および工法である。

本稿では、重要文化財建造物では初めての修理工事となった、ラス下地のコンクリート造の修理検討の経緯（保存修理工事は、国庫補助事業とし、平成25年（2013）4月24日から平成30年（2018）3月31日まで59ヶ月の事業期間）¹を記すとともに、日本において、今日のような本格的な鉄筋コンクリート造の構法が確立する以前の、いわば鉄筋コンクリート造の黎明期に開発されかつ実現した各種の構法を示す。それらは当然、今日の鉄筋コンクリート造の耐震診断指針や耐久性の調査・診断・補修の指針等によって評価できるものではなく独自の評価方法を必要とするものである。一方で、今日では実施されないそれらの構法には歴史的意義や価値が存在するかもしれない。本稿はそういった評価方法の検討や価値を見出す際の参考情報である。

2. 重要文化財旧美歎水源地水道施設の概要

重文指定説明によると、旧美歎水源地水道施設は、鳥取市中心部より約5km東方、千代川水系美歎川の上流に位置する旧上水道施設であり、鳥取市街地へ供給する飲料水の確保と公衆衛生の向上を主な目的として、鳥取市を事業主体とし大正元年（1912）6月に起工、同4年（1915）10月に竣工した。その後、大正7年（1918）9月の水害により貯水池堰堤や濾過池等が毀損したことから、大正8年（1919）7月から同11年（1922）6月にかけて復旧工事が行われた。昭和53年（1978）の新水源地建設に伴い供用を停止し平成4年（1992）から同11年（1999）にかけて貯水池堰堤を砂防堰堤へ改修した。

当該施設は、山陰地方で最初に建設された近代水道施設である鳥取市創設水道施設の代表的遺構として歴史的に価値が高い。また、貯水池堰堤を有する水源地のうち、緩速濾過池を備えた数少ない水道施設のひとつで、貯水池の上下流に残る量水施設を含め、近代水道施設の構成を知るうえで貴重である。

3. ラス下地のコンクリート造とその修理

前述のとおり、5箇所の制水井上屋と1箇所の接合井上屋がラス下地のコンクリート造であるが、正確には初期のものは「ラス下地のモルタル造」である。具体的には、制水井上屋は1号から5号と名付けられ、姿かたちは同様であるが、大正4年（1915）竣工なのは1号から4号までで、これが壁、屋根とも「ラス下地のモルタル造」である。5号は昭和2年（1927）ごろに建設され、壁が「ラス下地のコンクリート造」で屋根にはラスは込められていない。接合井上屋は大正4年（1915）竣工であり、円形平面の建物である。壁は煉瓦造小口積みとし、屋根が「ラス下地のモルタル造」である。メタルラスの骨となるのは、山形鋼（L-5×64×64）や帯鉄（P-L-3×39等）である。メタルラスは、厚0.5mmの鋼板を横30mm、縦12mm菱形網目状に広げたエキスパンドメタルである。時代の下る5号では以上に加え、ラ

スの外側に細い鋼ワイヤー（3 φ）を 150mm ピッチで入れる。コンクリートのひび割れ防止対策と考えられる。

竣工時に同じ条件で建設されたのは 1 号から 4 号制水井上屋であるが、経年により劣化の状態には差があった。2 号が最も劣化が進んだ状態であった（写真 2）。また大正 7 年の水害の際には 1 号は流されて転倒した姿が古写真で確認できる。そしてそれを建て起こしてもとの位置に戻したことが痕跡（鉄骨の変形や補強の追加ラス等）で確認できる。

修理方針の検討においてはいろいろな意見があり、例えば最も劣化の激しい 2 号は無理な修理によりオリジナルの材料や部材をほとんど欠失するよりは、劣化の見本としてそのまま別地（屋内）に移し展示し、原位位置にはレプリカ復元もありうる、という意見もあった。調査の結果、2 号もそれほどの大修理には至ることなく対応できることが判明し、原位置での修理および保存となった。そのかわり、修理順序を、比較的劣化の少ない 3 号、4 号と進め、1 号、5 号と修理の経験を深めたいうで最後に 2 号に取り掛かるということにした。

それぞれの上屋は多かれ少なかれ、鉄骨やメタルラスが腐食膨張し、モルタルやコンクリートの浮きや剥落を生じていたが、健全部は十分な強度を保っていることが確認できたことから、破損部の補修を行い、防錆および防水対策を行うことで今後の維持管理を容易にし、上屋を構成する部材断面を本来の性能に回復することを目的とした。

修理の工法は、現行の鉄筋コンクリート造の改修で通常に行われている断面修復工法を採用した。破損部の補修についてまず壁の浮きの大小や変形の有無を確認し、壁を除去する部位を決定し、部分的に除去した後、鋼材の腐食状況を目視確認したうえで、更なる除去範囲を慎重に見直ししながら作業を進めることとした。



写真 1 旧美敷水源地下水道施設 濾過池（右）の端部に建つ制水井上屋（矩形平面）の 5 号（中央）から奥に 4 号 3 号が見える。左には接合井上屋（円形平面）の修理後の姿

過大に当初材が失われる危険性があると判断された場合は、修理方針の見直しに戻ることとした。

ひび割れ部や浮きが軽微な箇所は、セメントスラリー注入を行い、壁内部の空隙を充填した。断面修復部は、ポリマーセメントモルタルを鋳を用いて充填して埋め戻す。屋根面は防水対策を行った。

修理に用いる材料は、今後の維持管理に支障がない限り、原則として当初にならうこととした。ただし、メタルラス、鉄骨材等、現行の規格にない工業製品は、入手や製作が困難な場合には代替として今日の規格品の使用を検討することとした。例えば具体にはオリジナルのメタルラスは菱形形状であったが（写真 3）、この材料を入手することは今日では困難なため、大きさの近い、亀甲形状の現行品を採用した。

モルタル、コンクリートの中性化の進行は標準的な速度より低減していた。立地環境のよさが影響していると考えられるが、鉄骨やメタルラスの被り厚さが全体的に



写真 2 修理前の制水井上屋 2 号 最も劣化が進んでいた。



写真 3 オリジナルの菱形形状のメタルラスと鉄骨部材 劣化した表面モルタルを研ったところ。

小さい。補修部分は当然として、未補修部分に対しても表面に防錆ペーストを全体的に塗ることで、モルタル、コンクリートの中酸化進行の抑制を図ることとした。

屋根は、1号から4号は防水層が無く壁と同じ仕様。5号はアスファルトルーフィングにモルタルを塗り重ねており、これが、モルタルが剥離して破損の原因となっていた。修理は、5箇所とも、壁と同様に全体的に防錆ペーストを塗ってその上に塗膜防水を施した。

接合井上屋の屋根も同様の仕様により修理した。

4. 我が国黎明期の鉄筋コンクリート造の構法

大正5年（1916）発行の日比忠彦著『鉄筋混凝土ノ

理論及其應用』²によれば、その上巻第三編 様式論 第四章が「壁の様式」の記述である。第一節 一般壁の様式、第二節 アンネビック式、第三節 ショーデー式とデゴン式、第四節 ワイス式、第五節 鉄網を使用する様式、として、1) ゴールジング式、2) レープリング式、3) エキスパンデッド・メタル、第六節 マトレー式、第七節 その他の様式、として、1) 編瓦式、2) 川崎式、3) 鈴木式、4) ハイリップ式、と各種の構法を紹介している。

旧美歎水源地水道施設の「ラス下地のモルタル造」あるいは「ラス下地のコンクリート造」は、上記の第五節3) エキスパンデッド・メタルに近い。挿図では木軸の柱間に用いられている。美歎とは異なる点である。解説文は

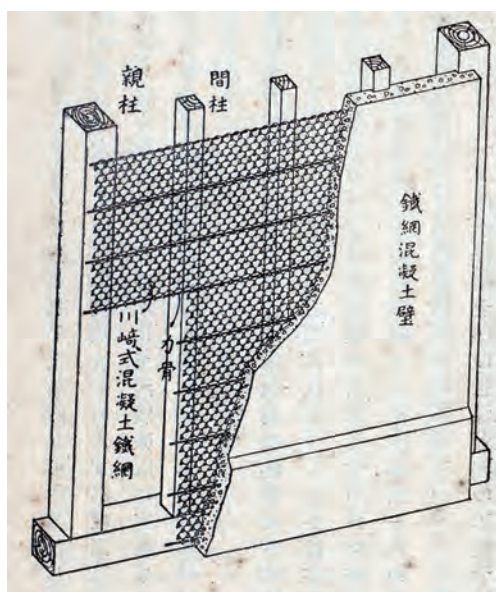


図1 川崎式鉄網コンクリートの壁構法（『改定増補大建築学』、p.616、大倉書店、1925.9）

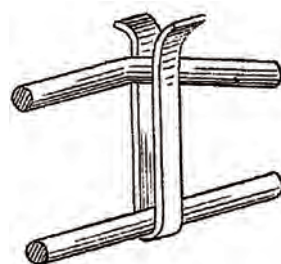


図3 アンネビック式の梁の主筋とせん断補強筋（フープフラット）（日比忠彦、『鉄筋混凝土ノ理論及其應用 上巻』、丸善株式会社、1916.1 初版、画像提供：土木学会附属土木図書館、http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/pdf/20612/20612_03.pdf、p.299より転載）



図4 カーン式の梁筋 斜めにしたウイングがせん断補強筋という触れ込みだが利きそうにない。（日比忠彦、『鉄筋混凝土ノ理論及其應用 上巻』、丸善株式会社、1916.1 初版、画像提供：土木学会附属土木図書館、http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/pdf/20612/20612_03.pdf、p.315より転載）

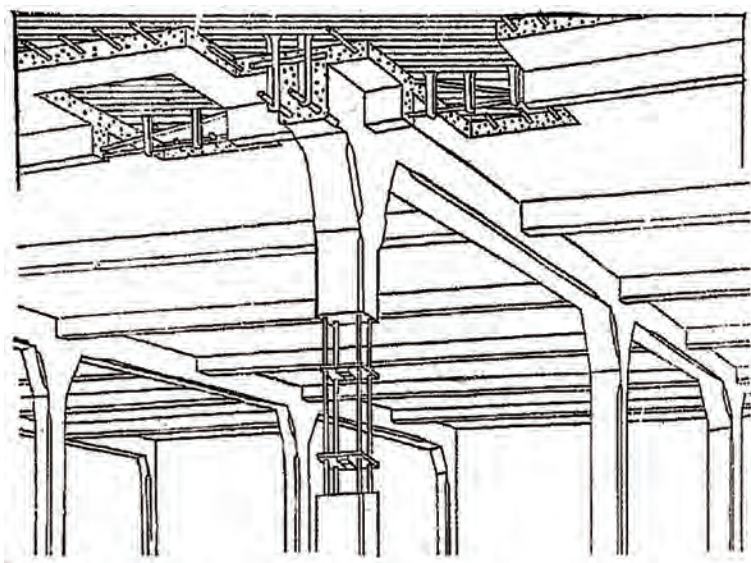


図2 アンネビック式の構法（日比忠彦、『鉄筋混凝土ノ理論及其應用 上巻』、丸善株式会社、1916.1 初版、画像提供：土木学会附属土木図書館、http://library.jsce.or.jp/Image_DB/s_book/jsce100/pdf/20612/20612_03.pdf、p.298より転載）

「小展鐵ヲ使用シテ骨格ヲ作り之ニ「エキスパンデッド・メタル」ヲ張詰メ（中略）兩側ヨリ細石混凝土ヲ塗付クルモノトス」とある。

また、第七節 2) 川崎式というのは、建築学者で建築家の三橋四郎（1867～1915）と金網製造業者の川崎寛美（1863～1926）によって開発された構法であり、明治 44 年（1911）1 月 2 日に登録されている「鐵網混凝土」である。鉄網はワイヤラスであることが特徴である（図 1）。大正年間とりわけ関東大震災までは、「金網に鍍でコンクリートを塗りつける、型枠を使用しない鉄筋コンクリート」として巷間に普及した³。現存する文化財のなかにもこの構法ものは存在する。重要文化財（建造物）では、旧山崎家別邸（埼玉県川越市／大正 14 年（1925））の土蔵がそうであるという。東京都の豊島区指定有形文化財 旧江戸川乱歩邸土蔵は、大正 13 年（1924）竣工のもので、平成 15 年度（2003）に修理工事が行われた。ここの外壁、内壁が川崎式の鉄網コンクリート造だという。報告書⁴によるとラスはスパイラル状のワイヤラスである。修理工事は、木軸部は残したまま、屋根と外壁を全面解体する半解体修理とされた。したがって旧規の川崎式鉄網コンクリート造は失われたようであるが、新たな左官下地として、旧形式を復するとして、菱形ワイヤラス（SUS 製）を用いている。また、文献資料に基づき、下塗り、中塗りの材料の配合を旧規に合わせる配慮がなされている。

さて、『鐵筋混凝土ノ理論及其應用』において紹介されているカタカナ表記の〇〇式の構法は管見のかぎり、ほとんどがわが国では見当たらないが、アンネビック式とカーン式（第四章 壁の様式では記述が無い）については実作が見当たる。両式について、『鐵筋混凝土ノ理論及其應用』の上巻第三編 様式論 第一章 床版と矩形桁

の構法の記述を以下に示す。

第十九節「アンネビック」式（Hennebique system、佛）「アンネビック」式ハ千八百七十九年ノ特許ニ係リ其方法種々アルモ最モ普通ナルハ單式平面床ヲ桁上ニ架設セルモノニシテ其一班構法ハ図 2（筆者注 図番号は変更している）ノ如シ（中略）此式ノ特點トスル所ハ帶鐵ヨリ作レル繁索（Stirrups）ヲ使用シ殊ニ支點ニ近ク剪力ニ抵抗セシムル爲メ其數ヲ多クスルニアリ此繁索ハ図 3 ノ如ク鐵筋ノ下端ヲ繞リテ上部混凝土ノ縁端ヨリ約 3/8" 内外ニ近ク其終端ヲ外方ニ折曲ゲシム（後略）

第三十三節「カーン式」（Kahn system、米）「カーン式」ハ千九百三年ノ特許ニ係リ本邦ニアリテハ「トラスド・コンクリート・スチール」會社（Trussed concrete steel Co.,）の代理店トシテ横濱貿易會社之ガ一手販賣ヲ爲ス「カーン」式鐵釘ハ図 4 ノ如ク其斷面菱形ニシテ左右ニ突出セル翼骨（Wings）ヲ有ス。此翼骨ハ釘ノ兩側ニ沿フテ剪斷セラレ上方ニ彎折ス之ニ依リテ應剪鐵筋ハ首要鐵筋ト一體ニ緊定セラルルコト他ノ方式ニ勝レル點ナリトス（後略）

現存する文化財では、アンネビック式は重要文化財（建造物）梅小路機関車庫（写真 4／京都市／大正 3 年（1914））⁵ があり、カーン式は重要文化財（建造物）大谷派本願寺函館別院本堂（写真 5／函館市／大正 4 年（1915））、山口県有形文化財山口銀行本店（写真 6／下関市／大正 9 年（1920））⁶ などがある。

そのほかにも、現存する最古の鉄筋コンクリート造アパートとされる軍艦島（端島）の 30 号棟（写真 7／長崎市／大正 5 年（1916）／国史跡）⁷ や、取り壊しになった旧黒澤ビル（東京都中央区／明治 43 年（1910））⁸ のような、建築技術者が生産に係わらない鉄筋コンク



写真 4 重要文化財（建造物）梅小路機関車庫



写真 5 重要文化財（建造物）大谷派本願寺函館別院本堂

リート造建築物も存在し、歴史的な価値は認めうるも構法的には十分に解明されていない。

最後に、鉄筋コンクリート造の周辺の技術として、コンクリートブロック造を取り上げる。

兵庫県神戸市舞子公園に移築保存されている重要文化財（建造物）移情閣（大正3年（1914））の構造形式は木骨コンクリートブロック造である⁹。大正期にはコンクリートブロックの特許および実用新案が大量に出願されている。大正10年（1921）の30数件をピークとし

て、大正7年（1918）から昭和6年（1931）までの14年間に150件以上ある。開発の動機は、鉄筋コンクリート造のコスト、工期、断熱性能、防湿性能の改良を目的としている。コスト低減の要素としては、型枠組み立てが不要となることによるものと、ブロックが中空であることによる躯体の重量軽減に伴う基礎構造の簡易化である。こうしたアイデアは多かったが、実用に供されたものはわずかで、十指にもみたなかったと思われる。

登録有形文化財の日本基督教団島之内教会（写真8／大阪市中央区／昭和3年（1928））、日本基督教団天満教会（大阪市北区／昭和5年（1930））¹⁰、栗原家住宅主屋（京都市山科区／昭和4年（1929））は、文化庁の文化遺産オンラインによると、中村式鉄筋コンクリート造とされている。「中村式鉄筋コンクリート造」とは、特許件名「中空配筋混用コンクリートブロック築造物」、出願日大正8年（1919）8月30日、登録日は大正10年（1921）9月19日、特許番号39976号の、コンクリートブロック造建築の構法である。

発明者である建築家の中村鎮（まもる）（1890～1933）は早大在学中から建築批評雑誌の編集長を務めるなど建築批評家、論客としても知られている。その彼が開発した当該構法の建物は、大正10年（1921）から彼の亡くな



写真6 山口県有形文化財山口銀行本店



写真7 軍艦島（端島）30号棟



写真9 鎮ブロック 須磨教会の取壊し工事の際に採取



写真8 登録有形文化財 日本基督教団島之内教会



写真10 DOCOMOMO Japan 選定 本野精吾邸（設計：本野精吾）

る昭和8年(1933)にかけて全国で119件が建築された。この建築に用いるブロックは特徴あるL字型のコンクリートブロックであり、それを彼の名前にちなみ鎮(ちん)ブロックと通称している。鎮ブロック構造とは、L字型のコンクリートブロックを用いた補強コンクリートブロック造と考えていい。しかし、ここで中村の目指したものは単なるコンクリートブロック造ではなく、①建築物として強度を増し、②建築の用途に完全に適合させ、③建設価格を低く抑え、④かつ美観に富む建築をつくること、であった(図5、写真9)。

鎮ブロック構造は、かなりの数量が滅失しているものと思われるが、上記3件の登録有形文化財に加え、修善寺温泉の登録有形文化財 新井温泉天平風呂(伊豆市／昭和9年(1934))やDOCOMOMO Japan 選定 本野精吾邸(写真10／京都市北区／大正13年(1924))もこの構法である。

5. おわりに

近年、鉄筋コンクリート造の建造物の重要文化財指定や登録文化財登録が進められている。修理工事もいくつかの案件で行われ、修理の考え方や方法が検討されつつあるが、まだ手探り状態の感をぬぐえない。鉄筋コンクリート造建造物の修理の基本的考え方の早急な構築の必要性を感じる。

なお本稿では、ひとくちに「鉄筋コンクリート造」といっても、黎明期のものには多様な構法があることを紹介した。それらの取り扱いにあたっては注意を要する。

(謝辞) 本稿執筆にあたっては、科学研究費基盤研究(S)(課題番号:16H06363)の助成を受け、確認調査等を実施した。

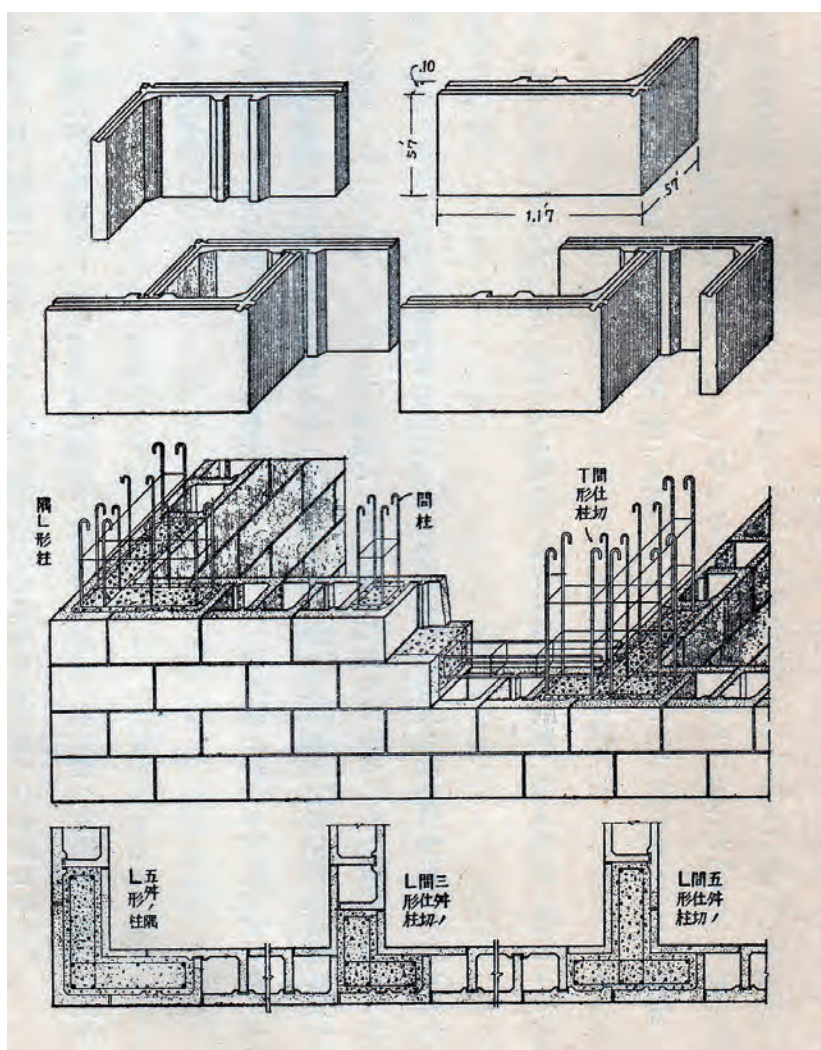


図5 鎮ブロック構造の壁構法 『中村鎮遺稿』(中村音羽 編、中村鎮遺稿刊行会、1936.9)

参考文献

1. 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会 編集著作、重要文化財 旧美歎水源地水道施設保存修理工事報告書、鳥取市教育委員会 発行、2018.3
2. 日比忠彦、鉄筋混凝土ノ理論及其應用 上巻、丸善株式会社、1916.1 初版
3. 堀勇良、『和洋改良大建築学』の世界、日本の建築「明治・大正・昭和」10 日本のモダニズム、三省堂、1981.8
4. 豊島区教育委員会生涯学習課文化財係 編集、豊島区文化財調査報告 5 / 豊島区指定有形文化財 旧江戸川乱歩邸土蔵保存修理報告書、豊島区教育委員会 発行、2005.3
5. 西日本旅客鉄道(株)大阪工事事務所・ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)・大鉄工業(株) 編集著作、重要文化財 梅小路機関車庫 耐震対策工事報告書、西日本旅客鉄道(株)大阪工事事務所 発行、2016.6
6. 清水建設株式会社 編集、山口銀行旧本店保存修理工事報告書、株式会社山口銀行 発行、2006.3
7. 阿久井喜孝、滋賀秀実、軍艦島実測調査資料集—大正・昭和初期の近代建築群の実証的研究、東京電機大学出版局、1984.3
8. 日本大学理工学部建築学科 編集、黎明期の鉄筋コンクリート構造—旧黒澤ビル解体調査報告、近江研究室 発行、1983.7
9. 財団法人建築研究協会 編集著作、兵庫県指定重要有形文化財 移情閣 移築修理工事報告書、兵庫県 発行、2001.1
10. 大学法人関西大学社会連携センター・関西大学環境都市工学部建築学科 建築保存工学研究室、建築史研究室、日本基督教団天満教会学術調査研究報告書、2008.12
11. 拙著、中村式鉄筋コンクリートブロックの話—小型プレキャスト打込み型枠構工法の先駆、セメント・コンクリート No.695、社団法人セメント協会、2005.1

第 3 章

歴史的コンクリート造建造物の 耐震技術に関する現状と課題

歴史的コンクリート造建造物の 耐震技術に関する現状と課題

西岡 聡

文化庁文化資源活用課 震災対策部門 調査官

1. はじめに

鉄筋コンクリート造をはじめとするコンクリート造の文化財建造物は、大正から昭和の建築物が順次文化財として評価されるに従い、順調に数を増やしている。

重要文化財においては、昭和 49 年（1974）指定の旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）を嚆矢として年々数を増やし、平成 31 年（2019）3 月現在で重要文化財の総数 5,033 棟中コンクリート造（鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造を含む）は 175 棟を数える。

また、登録有形文化財は総数 11,690 件であるが、そのうち、コンクリート造はおおよそ 1,200 件と、全体の 1 割程度に達する。今後戦後の建造物の評価が進めば、その数はさらに増えると思われる（写真 1）。

コンクリート造の文化財建造物はその多くが都市部にあり、何らかの活用をされているものがほとんどで、耐震診断、耐震補強などの耐震対策はほぼ必須である。コンクリート造建造物は一般の建造物の件数も多く、耐震診断、耐震補強等に関する研究、実績も膨大にあり、文化財ならではの特殊性は伝統木造や煉瓦造に比較すると少ない。しかしながら古いもの、脆弱なもの、特殊な配筋や構造を持つものもあり、また文化財的価値に配慮した耐震補強方法となると、一般の建造物以上の配慮が必要となる。



写真 1 近年指定のコンクリート造重要文化財 旧碓氷峠鉄道施設熊ノ平変電所本屋（平成 30 年（2018）8 月 17 日指定）

本稿ではまずコンクリート造の歴史的建造物の耐震診断に関する現状の指針や研究、診断法を整理した上で、実例を交えながら特殊性と課題について論じたい。なお、コンクリート構造物には無筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造などもあるが、本稿では鉄筋コンクリート造を中心に論ずることとする。

2. 既往の指針・研究

歴史的なコンクリート建築物の耐震診断・耐震補強については以下のような指針・研究がある。

○『無補強煉瓦造建築及び市街地建築物法期の鉄筋コンクリート造建築耐震性能評価ガイドライン』（財団法人国土開発技術研究センター 平成 10 年（1998）3 月）

明治期から戦前までに建築された無補強煉瓦造や鉄筋コンクリート造の耐震性能評価のガイドラインを示したものである。鉄筋コンクリート造建築については、大正 10 年（1921）頃～昭和 12 年（1937）頃の市街地建築物法期に建築されたものを対象としている。当時の建築物が現在の終局設計の考えではなく、弾性設計理論に基づいているに着目して、これらを定量的に評価するためには弾性限界までの材料安全率、層間変形角等により評価すべきとの考えを示している。

○『建築・土木分野における歴史的構造物の診断・修復研究委員会報告書』（社団法人日本コンクリート工学協会 平成 19 年（2007）6 月）

煉瓦造、鉄筋コンクリート造、石造等の非木造の建築・土木構造物に関して劣化調査、耐震診断、耐震補強について調査研究を行ったものである。コンクリート造建築物の耐震診断については、既往の耐震診断基準を歴史的建造物に適用した場合の留意点を分析した上で、主に低強度コンクリートの場合の耐震診断基準の準用について論じている。

また、耐震補強については、できるだけ変形を抑制する強度型補強とすること、応力集中を避けるために分散配置とすること、余力を付けることなどを留意点として

示している。

○『未来につなぐ人類の技 10 コンクリート構造物の保存と修復』（東京文化財研究所 平成 23 年（2011）3 月）

東京文化財研究所でも、平成 21 年（2009）にコンクリート構造物に関する研究会を開催し、報告書を刊行した。当時また実例が多くなかった主にコンクリートの保存修復に関して国内外の事例と課題をまとめたものであるが、耐震補強についても言及がある。

3. 重要文化財耐震診断指針、手引におけるコンクリート造建築物に関する記述

文化庁は、「重要文化財（建造物）耐震診断指針」（平成 11 年（1999）4 月 8 日、平成 24 年（2012）6 月 21 日改訂）で、重要文化財建造物の耐震診断の指針を示している。しかし、ここに示される手法は木造建築物を想定したもので、コンクリート造の建築物や土木構造物については、「本指針の主旨を尊重して当該建築物の構造特性に応じた手法により耐震診断を行うものとする」という表現にとどまり、具体的な記述はない。

『重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引（改訂版）』（平成 25 年（2013）9 月、平成 29 年（2017）3 月改訂）は、指針の解説を目的とした手引書である。鉄筋コンクリート造建築物については、黎明期のものには材料強度のばらつきや、配筋方法や鉄筋の種類などが現在と異なるので、一般の耐震診断法を準用する際には留意する必要があることが書かれている。

平成 29 年（2017）の改訂の際、鉄筋コンクリート造の建築物について構造劣化対策の記述を充実させた。コンクリートの中性化は必ずしも建物寿命に直結するのではなく、中性化した所に雨水等の水が侵入することで鉄筋の爆裂が生じることが問題なので、水の浸入を止めることが基本的な対策となる、との考えが示された。

4. 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準について

一般建築で広く用いられている「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」（以下「既存 R C 造基準」）は、昭和 57 年（1977）に初版が刊行された後、平成 2 年、13 年、29 年（1990、2001、2017）の改訂を経て現在に至る¹。

本基準は、既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断を現地調査および構造計算にもとづいて行う際に用いられるもので、通常保有する耐震性能を構造耐震指標 I_s 及

び非構造部材耐震指標 I_N での 2 種類の指標により数値で評価する。診断には、計算レベルの異なる第 1 次診断法、第 2 次診断法、第 3 次診断法の 3 種の診断法がある。

第 1 次診断法は、主として壁式あるいは耐震壁が多く配置された強度抵抗型の建物の耐震性能を略式に評価する診断手法である。壁強度をコンクリート強度と断面積から略算的に求めるもので、最も簡単である。

第 2 次診断法は、柱崩壊型建物の耐震性能を評価することを目的として開発された診断手法である。柱、壁の強度に鉄筋の影響も考慮して検討するため、第 1 次診断法よりも精度の高い計算が可能で、各層ごとに評価した鉛直部材の耐力と靱性から各階の耐震性能が直接評価される。

第 3 次診断法は、梁崩壊型あるいは梁降伏先行の崩壊型が支配的となる建物进行评估することを目的として開発された診断手法である。柱、壁の鉛直部材に加えて、梁の強度も評価し、梁崩壊型となる骨組の崩壊の可能性も検討して、骨組の崩壊型と終局耐力を算定する。

構造耐震判定指標 I_{so} は、一般的に第 1 次診断では 0.8、第 2 次、第 3 次診断では 0.6 であり、 $I_s > I_{so}$ が求められる。通常第 2 次診断以上が実施されることから、 I_s 値は 0.6 以上が必要、とされることが多い。国土交通省の告示²では、 I_s 値 0.6 以上で、倒壊または崩壊の危険性が低い、0.3 以上 0.6 未満で、倒壊または崩壊の危険性がある、0.3 未満だと倒壊または崩壊の危険性が高い、とされる。

ほか、国土交通省により国家機関の官庁施設の営繕に用いるため、『官庁施設の総合耐震診断・耐震基準及び同解説 平成 8 年度版』（財団法人建築保全センター）が定められており、主に官庁施設に用いられる。

5. 鉄筋コンクリート造文化財建造物の耐震診断

鉄筋コンクリート造の文化財建造物の耐震診断は、先述の「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」に基づき実施されることが多い。

一般的に古い建築物は第 2 次診断法が実施されることが多く、重要文化財建造物も第 2 次診断法が用いられた事例が多い。壁構造の建物の場合や強度に十分余裕が見込まれる場合は第 1 次診断法のみで終わる場合もある。

診断にあたっては、概ね耐震診断基準に従って判断すればよいが、特殊な構造に配慮して判断を行う場合もある。以下に事例を記す。

○頂部にスラブがなく、木や鉄骨のトラスで屋根を架けている。

現在の一般的な鉄筋コンクリート造建築物は、陸屋根でスラブを有するものがほとんどであるが、大正から戦前期のものには、頂部にスラブを持たず木造や鉄骨で小屋組を作り屋根を架けているものがある。

三河家住宅（徳島県徳島市 重要文化財）は、昭和3年（1928）築の鉄筋コンクリート造三階建壁式構造の住宅である（写真2）。平成27～28年（2015～6）に耐震診断を実施した。三階の上部は木造トラスが架かっておりスラブがなく、非剛床扱いとなるためゾーニングによる検討を行い、結果三階部分の耐震性が不足した。

○壁が鉄筋コンクリート造ではなく、煉瓦壁やコンクリートブロック壁である。また、壁の仕様・寸法が既図面がない。

フレームは鉄筋コンクリートの柱梁ラーメンの構造であるが、壁については煉瓦壁やコンクリートブロック壁を用いている場合がある。部屋の間仕切壁などは特に多い。また、壁は構造躯体として設計されていない場合は、構造図などに壁厚や配筋が記述されていない場合もある。鉄筋コンクリートと煉瓦の混構造である場合もある。

これら仕上げが施されている場合判別が難しく、鉄筋レーダー等による非破壊検査や、コア抜き、一部斫りなどの破壊調査が必要となる。

○鉄筋コンクリート造と石造の混構造。

明治神宮宝物殿中倉（東京都渋谷区 重要文化財）は大正10年（1921）築であるが、耐震診断にあたっては、高床式の建物を支える1階の石張柱の評価が問題となった（写真3）。580mm角の鉄筋コンクリート柱の周囲に厚120mmの石材を張り付けた太い柱、実際には石材を

型枠として内部に鉄筋を組みコンクリートを打設した構造であり、当初内部の鉄筋コンクリート柱部分のみ評価したところNGとなったが、この石材がコンクリートと十分一体であることをコア抜きにより確認した上で、柱の耐力に参入して検討を行い、結果一階部分は必要耐力を満足することとなった。

○構造躯体に施工不良が多い。

施工技術の未成熟な時期の建築には、豆板などの施工不良箇所が多くみられることがある。

旧池田家住宅洋館（秋田県大仙市 重要文化財）は、大正11年（1922）築の東北地方最初期の鉄筋コンクリート造の建築である。重要文化財指定前の平成18年～22年（2006～10）に保存修理工事が実施され、修理に先立って「既存RC造基準」の第1次診断法による耐震診断が行われた。結果、躯体が健全ならば強度は満足すると判断されたが、躯体は豆板などの施工不良が各所に見られ、コア採取不能な脆弱部もあり、全体が健全とは言い難い状態であった。脆弱箇所を期待せずコンクリート壁を増し打ちする案、脆弱箇所を新たなコンクリート躯体に打ち替える案も検討されたが、既存躯体を極力残し、なおかつ内外装も元位置で再用可能なように、脆弱箇所をセメントスラリーを注入し、強度を確保する方法が採られた。

6. 鉄筋コンクリート造文化財建造物の耐震補強

鉄筋コンクリート造の耐震補強方法については、既に様々な方法が実施されている。

鉄骨フレーム、ブレースによる補強、鉄筋コンクリート耐震壁の新設、増し打ち、柱の鉄板、連続繊維巻き建て、耐震スリットの設置などである。免震工法を採用する場合もある。躯体の打ち替えも補強の選択支となり得る場



写真2 重要文化財 三河家住宅



写真3 明治神宮宝物殿中倉1階の柱

合がある。ほか、タイルや天井などの非構造部材の補強も考える必要がある。

以下に特記すべき文化財的な留意点と実例を示す。

○鉄骨フレーム、ブレースによる補強

一般的に用いられている補強法であり、文化財建造物でも採用例は多い。

文化財的に求められる配慮としては、補強材をできるだけ目立たない位置につけること、見える場合には意匠的に配慮すること、取り付け部分の躯体の損傷を少なくすること、などがある。

梅小路機関車庫（京都府京都市 重要文化財）（写真4）のブレース補強は、取り付け位置については機関車庫として重要な転車台側の外観と、内部空間に極力配慮して決定したものであり（図1）、またブレース鋼材も丸形鋼管を用いてできるだけシンプルにした事例である。色は当初躯体と区別可能なように若干色調を変えている（写真5、6）。

高島屋東京店（東京都中央区 重要文化財）の補強は、既存の鉄筋コンクリート壁がせん断破壊する前にブレースが降伏する極低降伏点鋼ブレースを用いるなどして、

補強箇所を減らしたものである。露出する鉄骨ブレースについては、モールディングを施したカバーを付けるなどの意匠的な工夫を施している（写真7）。

早稲田大学大隈記念講堂（東京都新宿区 重要文化財）（写真8）の補強は、鉄骨ブレース、鉄筋コンクリート耐震壁を併用した補強方法であるが、意匠的に重要な地下一階の小講堂の柱間については、特殊な縦格子型鉄骨フレームを作成し補強に用いた。設置には躯体にアンカーを打ち込まず、樹脂で接着させる接着工法が用いられている（図2、写真9）。



写真5 内部鉄骨ブレース補強



写真4 梅小路機関車庫 外観



写真6 外部鉄骨ブレース補強

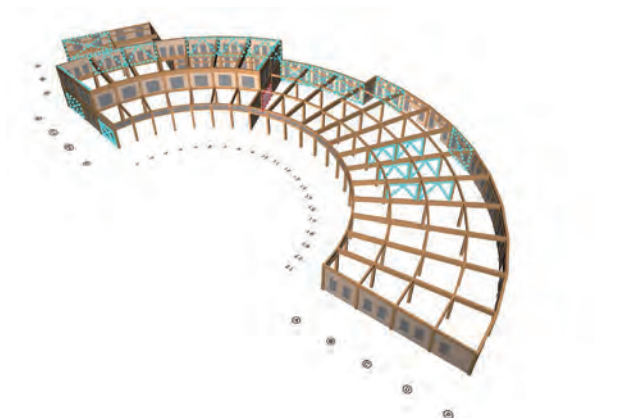


図1 補強位置概要図（『重要文化財梅小路機関車庫耐震対策小路報告書』、西日本旅客鉄道株式会社、平成28年、p.3-9、図3.3.1-1を転載）



写真7 高島屋東京店 意匠的に工夫したブレース補強

その他、旧公衆衛生院を活用した港区立郷土歴史館（東京都港区）では、見える補強のデザインを工夫した事例や、ガラスなどの透過性の材料を組み込んだ補強方法が採用されている（写真 10）。

○耐震スリット

極短柱の折損を防ぐために、そこに取り付く小壁、腰壁にスリットを設ける場合がある。躯体を痛める工法であるが、場合によってはやむを得ない工法と考えられる。一方で、計算上耐震壁に偏りがありバランスが悪いので、壁の周囲に耐震スリットを入れ耐震壁を無効化したり、



写真 8 早稲田大学大隈記念講堂



写真 9 縦格子型ブレース施工写真（『早稲田大学大隈記念講堂保存再生工事報告書』（早稲田大学、平成 20 年（2008）3 月）P.209 から転載）

接続する建物が構造診断上バランスを欠いて障害となるためエキスパンションを入れて切り離す、ということが行われる場合がある。これらは躯体を痛める工法であり、必ずしも計算どおりに挙動するかどうか不明な部分もあるため、十分配慮して採用を検討する必要がある。

○隣接する建物間の取り扱い

構造の異なる建物が接続している場合、これらを一体化させるか、エキスパンションを用いて別構造として取り扱うかが必要となる場合がある。エキスパンションを設ける場合は、既存躯体を痛める補強となるため、十分配慮が必要である。

旧東京科学博物館本館（東京都台東区 重要文化財）



写真 10 ガラス入り耐震壁の例・旧公衆衛生院（現港区立郷土歴史館）

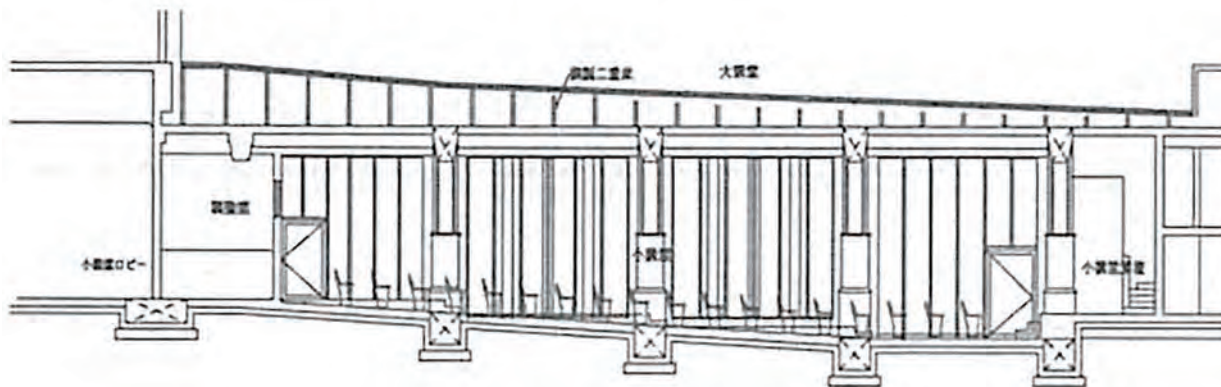


図 2 小講堂柱間縦格子型ブレース補強図（『早稲田大学大隈記念講堂保存再生工事報告書』（早稲田大学、平成 20 年（2008）3 月）p.116 から転載）

(現 国立科学博物館)は、鉄骨鉄筋コンクリート造の中央塔屋部と、鉄筋コンクリート造の南北の陳列棟の間のエキスパンションが十分でなかったため、取り合い分を補強一体化した。

東京大学大講堂(安田講堂)(東京都文京区 登録有形文化財)では、正面ポーチ部を切り離してエキスパンションジョイントを設置した。

○免震工法

免震工法については、平成10年(1998)に重要文化財指定前の国立西洋美術館本館(東京都台東区)で採用されたのが国内最初の事例であり、その後も採用事例は増えている。

コンクリート造の重要文化財の免震採用例として、指定前のものでは、国立西洋美術館本館、名古屋市庁舎(愛知県名古屋市)、愛知県庁舎(同)、三越日本橋本店(東京都中央区)、指定後で広島平和記念資料館(広島県広島市)がある。

上部構造の補強が大きく減らせることと、活用中の建物においては引越をしないで居ながら工事が可能である、という点が大きなメリットである。デメリットとしては、工費が比較的高くなること、周囲にエキスパンションを設ける必要があること、文化財的には基礎や事業、場合によっては地下階や中間階の構造が大きく失われること、史跡や名勝、埋蔵文化財包蔵地などでは現状変更許可や発掘調査が必要となり、地下遺

構によっては計画そのものの見直しが必要となる、などがある。戦前の建造物は比較的剛に作られているものが多く、通常の耐震補強でも対応可能なものも多いので、免震でなければならないか十分な検討が必要である。

○躯体の打ち替え

文化財建造物では例外的と考えるべきと思うが、場合によっては躯体を打ち替えて補強を行う選択もあり得る。既存の躯体が脆弱あるいは破損が著しく、構造躯体として耐えられない場合、どうしても意匠を損なわない補強が難しい場合などである。価値の取舍選択を伴うことになるため、判断が難しい。

重要文化財での実例としては、以下がある。

旧山邑家住宅では、脆弱な床スラブや震災で破損したコンクリート壁を新たに鉄筋を付加補強した上で新たにコンクリートで打ち替えた。



写真11 愛珠幼稚園園舎附倉庫



図3 愛珠幼稚園園舎附倉庫壁・屋根打ち増し、スラブ置換概要図

愛珠幼稚園園舎附倉庫（大阪府大阪市）（写真 11）は、昭和 2 年（1927）に作られた倉庫で、躯体に施工不良が多く、注入や再アルカリ化など実施したが所定の強度を期待することが難しいと判断され、現状変更許可を得た上で内部に新たにコンクリート壁および屋根を打ち増し、床スラブは鉄筋ごと新規に打ち替えた（図 3）。

登録有形文化財だが、意匠との兼ね合いで躯体一部の打ち替えを行った事例として、墨会館（愛知県一宮市）があげられる（写真 12）。昭和 32 年（1957）築の丹下健三設計の鉄筋コンクリート造事務所建築である。ピロティ部分の補強に際し、鉄骨ブレース等も検討されたが、開放的な内部意匠を最優先と判断して、既存の鉄筋コンクリート柱の表面を所り、配筋した上で柱の寸法を若干太くする補強を行った（写真 13）。

○非構造部材

外装材のタイル、内部の天井などの落下防止も躯体の補強とは別に必要である。

タイルの落下防止については、重要文化財でも高島屋東京店、前田家本邸本館（東京都目黒区）などで施工事例がある。重要文化財以外では全て新規に張り替えた事



写真 12 墨会館

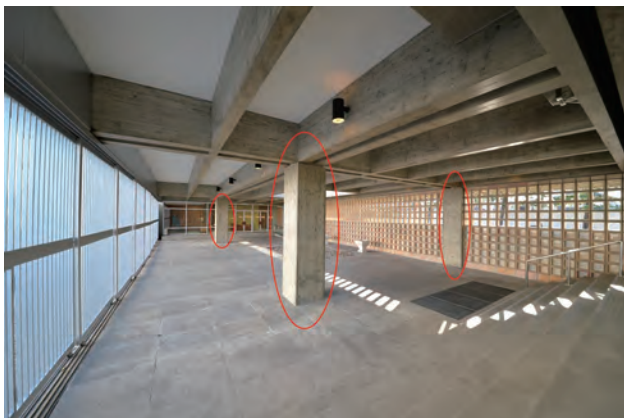


写真 13 墨会館 コンクリート柱補強 赤丸が補強で太くなった。

例もあるが、焼き物であるタイルは同じものを作るのは難しく、やはり基本は極力再用に努めるべきであろう。

天井については、東日本大震災以降、吊天井の落下の危険性が指摘されている。特に、特定天井とよばれる高さ 6 メートル超で面積 200㎡を超えるものは対策が必要となる。重要文化財であっても同等の対策は実施すべきである。戦前のものは、後述の東京大学大講堂の事例のように、モルタル塗りなどの非常に重いものが不十分な止め方をされている例があるので、対策が必要である。また、吊天井ではないが、漆喰やモルタル等を躯体に塗っただけの天井もあるので、これらも落下防止対策が必要となる。

7. 診断・補強の事例

○旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）（兵庫県芦屋市重要文化財）（写真 14）

旧山邑家住宅は、兵庫県芦屋市の高台に所在し、大正 13 年（1924）にフランク・ロイド・ライトの原設計で建てられた鉄筋コンクリート造四階建の住宅建築である。ライトによる日本国内の数少ない実作として評価され、昭和 49 年（1974）5 月 21 日に鉄筋コンクリート造建築物としてはじめて重要文化財に指定された。昭和 60 年～昭和 63 年（1985～8）に保存修理工事、平成 7 年～10 年（1995～8）に阪神・淡路大震災からの災害復旧工事が実施された。

耐震診断・補強については、地震被害を受けた災害復旧工事の際に実施された。建物を壁式構造とみなして、必要とされる 1 G の設計強度（標準せん断力係数 $C_o = 1.0$ ）に対し、壁に生じる平均せん断応力度を求め、短期許容せん断応力度が平均せん断応力度の約 7 割、間仕切壁である土壁の強度を累加すると、終局的には 8 割程度であることを確認した。被害状況の綿密な調査と比較



写真 14 旧山邑家住宅 外観（『重要文化財旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）保存修理工事報告書』（株式会社淀川製鋼所、平成元年（1989）2 月）から転載）

検討し、健全ならばおおむね現行規定を満足できる構造強度を有しているとの判断から、全体的な構造補強は実施しないこととした。ただし、地震によりひび割れ等の被害を受けた壁については、強度回復のためコンクリートの打替えもしくは門型鉄骨枠による補強を行うこととした。

コンクリート打替えは、南棟バルコニー及び主階段付近ほかで実施された（写真 15）。既存の丸鋼鉄筋はそのまま保存し、新たに補強として異形防錆鉄筋を付加し、コンクリート（4 週強度 210kg/cm²以上、コア抜き試験による既存の躯体の圧縮強度は平均 120kg/cm²程度）を打設した。

また 1 階倉庫室壁については、地震によるひび割れ被害を観察できるよう門型鉄骨枠による補強を実施し、地震力は鉄骨枠に負担させることとした（写真 16）。他、一部床スラブやパラペットに炭素繊維シート補強が実施されている。

鉄筋コンクリート造の重要文化財として耐震診断、耐震補強が実施された最初の事例であり、地震被害と耐震性能の比較や、コンクリート躯体の打ち替えを行うなど示唆に富む内容となっている。

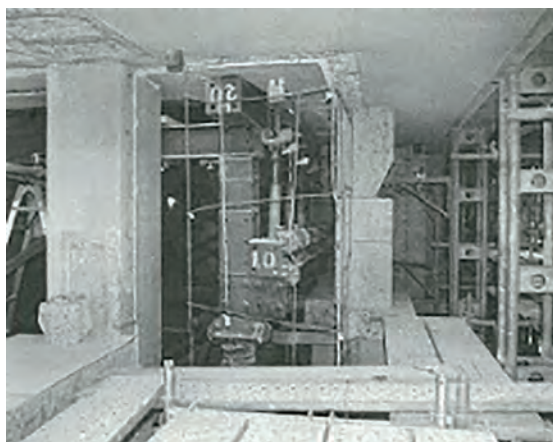


写真 15 コンクリート打替え 2階南東部壁解体（『重要文化財旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）保存修理災害復旧工事報告書』（株式会社淀川製鋼所、平成 10 年（1998）3 月）から転載）



写真 16 門型鉄骨枠による補強（非公開エリア）

なお、本建物はスラブが薄いところで厚さ 6 センチメートルほどしかなく、配筋も丸鋼でまばらであるなど、当初から鉛直荷重に対しての躯体の強度不足が課題となっていた。昭和 60 年（1985）からの保存修理工事では、2 階スラブの打替えが行われ、その際は既存丸鋼鉄筋を残し、同じ丸鋼を付加する形で補強が行われた（写真 17）。平成 28～30 年（2016～8）の保存修理工事でも、垂下した南面庇の鉄骨による支持、4 階バルコニー部のスラブに負荷をかけないよう仮設床設置が行われている。これらを今後どう扱うべきかも継続課題である。

○広島平和記念資料館（広島県広島市 重要文化財）（写真 18）

昭和 30 年（1955）に建てられた平和記念公園の中心施設で、建築家丹下健三の代表作の一つである。横長の長方形の箱をコンクリートの柱で受け 1 階をピロティとする構造で、ピロティを通じて慰霊碑、原爆ドームを一直線に望むことができるのが特徴である。

資料館全体の展示リニューアルに合わせて耐震対策も行うこととなり、平成 23～24 年（2011～2）に耐震診断が行われ、同 25 年（2013）からの調査工事を経て



写真 17 2階スラブ打替え スラブ解体（『重要文化財旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）保存修理工事報告書』（株式会社淀川製鋼所、平成元年（1989）2 月）から転載）



写真 18 広島平和記念資料館

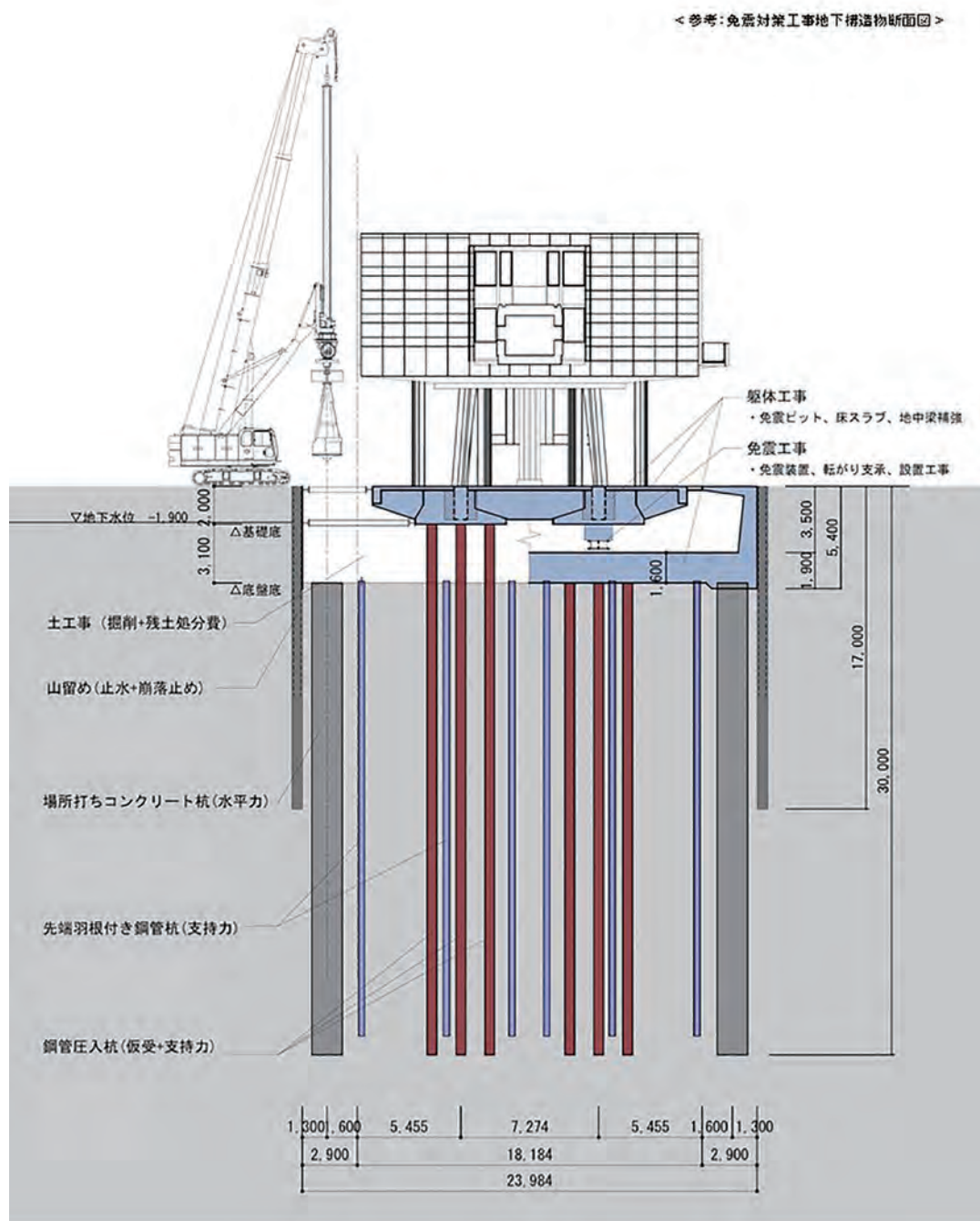
平成 28 年～令和元年（2016～19）で耐震補強工事を実施中である。

耐震診断は、『官庁施設の総合耐震診断・耐震基準及び同解説 平成 8 年度版』の手法により、目標値はⅡ類（重要度係数 $I = 1.25$ ）を目標として行った。結果、一階の長辺（東西）方向は性能を満足したが、一階短辺（南北）方向及び二階の両方向で性能が不足し、補強が必要となった。

補強は、1 階に鉄骨ブレースもしくは制震装置、2 階に耐震壁を付加する耐震補強案、柱、大梁のコンクリートを斫り、配筋を変更した上で打ち直す躯体打替補強案、

基礎下で免震を行う免震補強案が検討された。耐震補強案は外観意匠及び景観に影響が大きく、躯体打替補強案は意匠は守られるとはいえ、躯体への影響が極めて大きいことから不適と判断され、最も意匠・景観上の影響が少なく躯体への影響も最小限とできる免震補強案が採用された（図 4）。

免震化にあたっては、既存基礎梁に新たに新設基礎梁を増設し P C 鋼棒で一体化させて免震装置上に設置することとした。階段下には独立基礎が設けられていたが、新設の免震基礎梁上に階段を載せる必要があったため現状変更許可を得て記録をとって一部を撤去し、代表的な



部分は大ばらしで保存した（写真 19）。また、平和記念公園が名勝指定されているため名勝の現状変更許可も必要で、掘削前には全面的な発掘調査を実施している。二階東西には指定範囲外の渡廊下が接続するが、免震化に伴いエキスパンションジョイントを設ける必要が生じ、極力外観意匠に影響ない形状とした。

ほか、片持ちでスラブを支持している 2 階床梁は天端に炭素繊維シート補強を行った（写真 20）。

コンクリート打ち放し仕上風に見せている躯体は平成 3 年（1991）の改修でポリマーセメントによる疑似打ち放し仕上にしたものであったが、今回躯体補修のため一旦全て撤去し、豆板等の補修を行った上で同じ工法で復旧することとした。解体してみると、想定以上に施工不良箇所が多数発見された。

建築家により設計された公園全体を含めた意匠的な価値や、後の改造も含めてどこまでを保存すべきか、委員会等で相当議論した上での方針を決めた事例である。

○東京大学大講堂（安田講堂）（東京都文京区 登録有形文化財）（写真 21）

大正 14 年（1925）築の東京大学の中心建築で、外観の内田ゴシックと称される垂直を強調したタイル張りのデザインや半円形の講堂が特徴的である（写真 22）。平成 23 年（2011）の東日本大震災で躯体のクラック、窓ガラスが破損し、講堂の天井落下が懸念されたため使用を制限することとなった。平成 23 年度に耐震診断を行い、同 25 ～ 26 年（2013 ～ 4）に改修工事を実施した。

耐震診断は「既存 R C 造基準」の第 2 次診断法により、半円形の講堂とそれ以外の部分を分けて実施。Is 値の目標は、大学施設として通常より少し高めの 0.7 以上とした。建物は比較的整形だが、柱の主筋量が少なかったり、既存壁も薄く配筋が 9 φ @ 300 であるなど耐力を期待できない部分が多いなどの課題があった。結果、4 階以外は Is 値 0.7 以上を満足せず、塔屋の下層では 0.3 以下のところもあり、補強が必要となった（図 5）。

改修の方針は、創建時の姿を保持することと、多くの学生や教職員が使用できる場とすることを基本方針とし、耐震性の確保、居住環境の改善、バリアフリー化などを方針とした。耐震補強は、各階に鉄筋コンクリート造耐震壁の増設が行われ（写真 23、24）、極短柱折損の



写真 19 階段下独立基礎 現状変更許可を得て撤去



写真 21 東京大学大講堂（安田講堂）外観 改修後



写真 20 二階床梁天端炭素繊維補強



写真 22 東京大学大講堂（安田講堂）講堂 改修後

防止のため一部耐震スリット設置が行われた（図6）。一階一部柱には鋼板巻き建てが行われた（写真25）。講堂廻り廊下には鉄骨パネル壁の設置が行われた（写真26、27）。また、正面ポーチは一旦切り離しエキスパンションジョイントを設置した。

講堂の天井については、既存の天井が鉄骨下地をトラスから吊り下げ、ラス下地にモルタルと漆喰を厚く塗りつけたもので、極めて重量が重く危険であることから（図7）、鉄骨下地から全て撤去して構造を作り替え、意匠を合わせたガラス繊維補強石膏（G R G）パネルに置換することとした（写真28）。他、メイン動線にあたるロビーや廊下については講堂内部と同様に既存を撤去し準構造体として復元作業を行っているが、一部漆喰塗を存置した階段室天井には、フェールセーフとして目立たないようにネットが張られた（写真29）。

講堂天井を全て新規の全く違う素材・構造に取り替えたり、耐震壁設置のためにラスモルタルによるアーチ部分装飾を撤去置換するなど、部材の保存という側面から見ると課題はあるが意匠の保存継承という側面から見れば主要な部分は概ね保存された。診断・補強

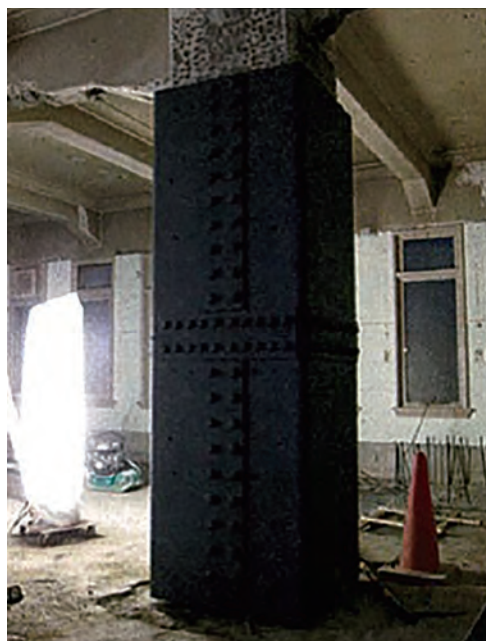


写真 25 一階柱鋼板巻き建て補強（『東京大学大講堂（安田講堂）改修工事報告書』（東京大学 平成 28 年（2016）3 月）より転載）

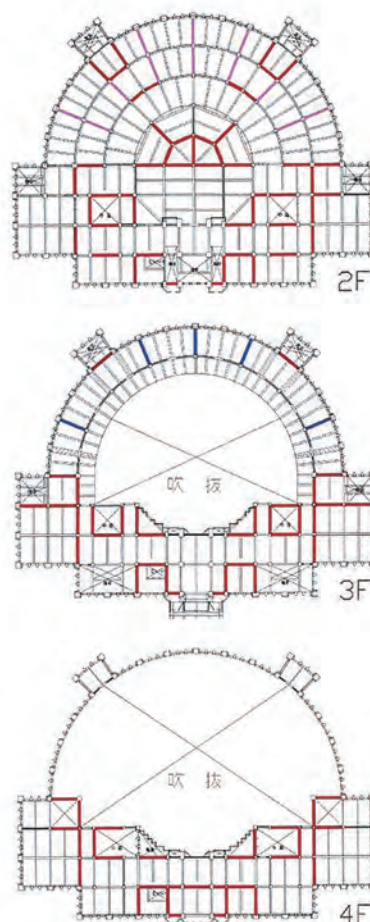
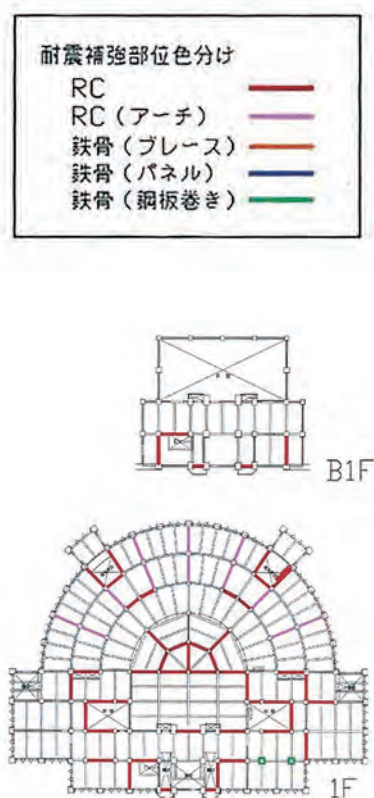


図 5 耐震補強概要平面図（『東京大学大講堂（安田講堂）改修工事報告書』（東京大学 平成 28 年（2016）3 月）より、報告書図版を使い組み合わせを加工）



写真 23 鉄筋コンクリート造耐震壁 設置前 ラスモルタルによるアーチ装飾部解体



写真 26 講堂廻り廊下 鉄骨パネル壁 施工中



写真 24 鉄筋コンクリート造耐震壁 鉄筋配筋



写真 27 同 完成 周囲意匠に合わせて尖頭形とした

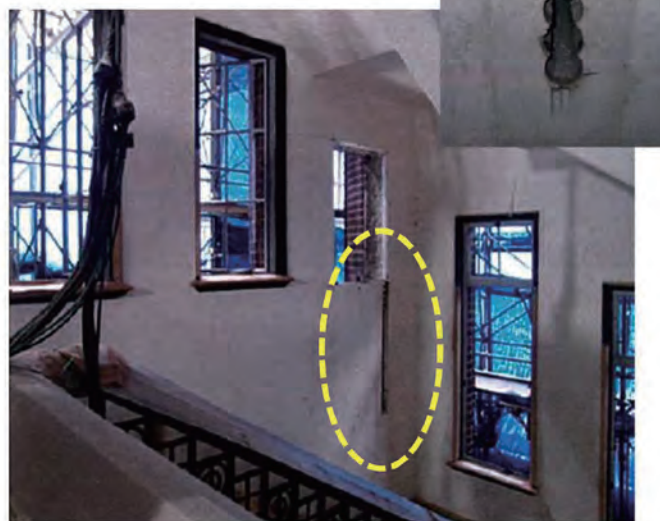
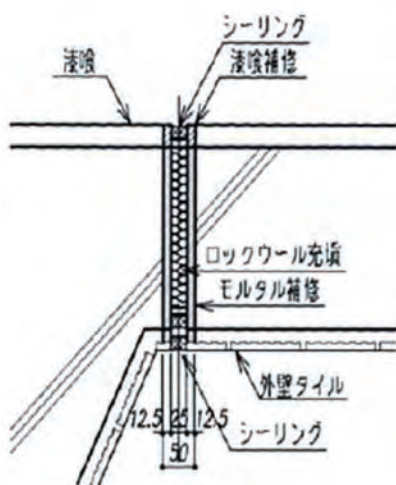


図 6 耐震スリット設置 (『東京大学大講堂 (安田講堂) 改修工事報告書』(東京大学 平成 28 年 (2016) 3 月) より、報告書図版を使い組み合わせを加工)

の手法は典型的であり参考となるため、大規模鉄筋コンクリート造文化財建造物の耐震補強を考える上での一例として紹介しておく。

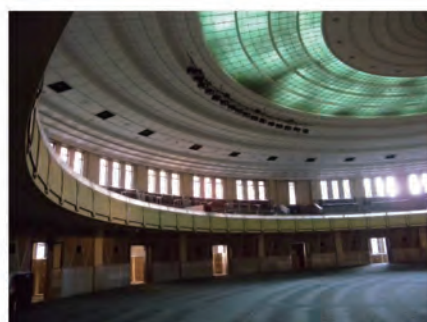
8. 課題

コンクリート造の耐震診断・耐震補強については、前述のようにおおむね既存の耐震診断、耐震補強の方法を使いつつ、文化財的な価値に配慮した判断が必要というところに集約されると考えられる。しかし、まだ実例が多くないため、考えられるだけでも以下のような課題が

想定される。技術開発が進めば解決されるものと、経験を積み上げて次第に公認されていくものがあり、着実に検討の経緯や経験を記録し、共有して次へ生かすことが求められるだろう。

○既存の方法の流用の問題点

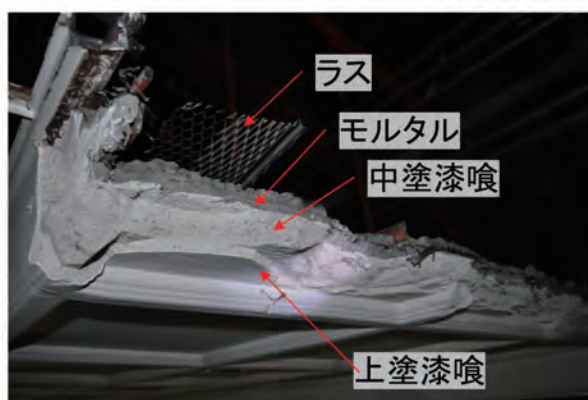
診断、補強方法は既存のものが数多くあるため、基本的にそれらを上手く流用することになると考えられるが、既存の補強方法は主にコストや施工性を主目的として開発されており、文化財として必要な既存躯体



既存天井 下から



既存天井下地



既存天井断面

図7 講堂既存天井



写真 28 新設ガラス繊維補強石膏（GFRG）パネル天井



写真 29 階段室漆喰天井落下防止ネット

を痛めないことや、現実的でないかもしれないが可逆性などを目的としているものは少ない。接着工法のように躯体への影響を抑えられるものもあるので、それらを上手く採用できるとよい。

また、調査方法についても、小径コアやリバウンドハンマーなどによる検査のように、できるだけ躯体に影響しない工法の開発・普及を期待したい。

○特殊配筋への対策

大正期にはアンネビック式、カーン式などの特殊な配筋が用いられている例がある。重要文化財では梅小路機関車庫にはアンネビック式が用いられており、診断時に大きな問題にはならなかったが、今後これらの特殊なものの調査・診断・対策が想定される。

○躯体が脆弱なもの、劣化が進んだものへの対策

『重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引（改訂版）』では、中性化が即躯体の劣化ではなく、水を止めることが重要、とされており、鉄筋の腐蝕が進んでいない建造物については、水の浸入を止めることが対策となり得ると考えられるが、既に鉄筋の腐蝕が進んでいるものについては、現状腐蝕部分の補修以上の手段がとれていない。

中性化対策の一つである再アルカリ化工法は重文ではまだ実績に乏しい。愛珠幼稚園附倉庫や梅小路蒸気機関車庫、広島平和記念資料館で施工実例があるが、後者2つは試行的に一部対策を行ったのみで、今後経過観察を行うこととしている。費用等の問題もあり、今後どこまで採用できるか不明である。

また、今後戦後の文化財建造物が増えてくると、水が多かったり海砂が使用された鉄筋コンクリートなど根本的に不良を抱えたものの登場が想定される。これらの対策については未知数である。

○躯体を犠牲にする判断

旧山邑家住宅のスラブや東京大学大講堂の天井のように、意匠を優先して構造の健全化・耐震化を行うため、躯体や材料を置換する場合がある。文化財保護の原則から言えば材料の保存、可逆性ともに問題がある工法であるが、脆弱すぎる躯体は残すことさえ困難な場合があり、意匠が優先されるべき建物では、躯体を犠牲にした方が総合的に価値が損なわれる具合が小さくなることもある。あり得る選択であると考えられるが、価値という定量的に評価しづらいものをいかに比較し、意志決定し

ていくべきか。多くの専門家による委員会等で議論して決めることになるであろうが、価値観も人によって異なり、統一見解として落ち着くには相当の時間がかかりそうである。

○特許工法、特殊な発注方式への対応

近年では文化財といえども大規模建造物の改修が増えており、大手ゼネコンや設計事務所など、耐震診断・耐震補強に特殊なノウハウを持つ会社の参画が増えている。それは歓迎すべきことであるが、特殊な工法に特許がかかっており、公共事業などにおいて施工者が限られ採用が難しいというケースが見られるようになった。様々な工法が増えるのは良いことであるが、公共事業の発注等の制限によりせっかく最良と思った方法が採用できない、というケースが今後想定され、特許等が障壁にならないような仕組みが求められる。

また、プロポーザルやデザインビルドによる発注形式というのも見られるが、費用・施工の面からベストの提案方法と文化財として許容できるベストな工法かというのは別問題であり、最悪デザインビルドで採用された工法が文化財として許可できないということも想定されるので、これらをスムーズに行える方策が必要である。

註

- 1.『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説』（一般財団法人日本建築防災協会・国土交通大臣指定耐震改修支援センター 2017年改訂）
- 2.「建築物の耐震診断及び耐震改修の促進を図るための基本的な方針」（平成18年1月25日国土交通省告示第184号、最終改正平成30年12月21日国土交通省告示第1381号）。実際は各階の構造体新指標 I_s に加えて保有推定耐力に係る指標 q も必要数値を満たす必要がある。

参考文献

- ・『国指定名勝池田氏庭園洋館保存修復工事報告書』（秋田県大仙市、平成23年（2011）3月）
- ・『重要文化財旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）保存修理工事報告書』（株式会社淀川製鋼所、平成元年（1989）2月）
- ・『重要文化財旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）保存修理災害復旧工事報告書』（株式会社淀川製鋼所、平成10年（1998）3月）
- ・『国立科学博物館本館改修工事報告書』（独立行政法人国立科学博物館、平成19年（2007）11月）
- ・『重要文化財梅小路機関車庫耐震対策工事報告書』（西日本旅客鉄道株式会社大阪工事事務所、平成28年（2016）6月）
- ・『早稲田大学大隈記念講堂保存再生工事報告書』（早稲田大学、平成20年（2008）3月）
- ・『重要文化財（建造物）耐震診断・耐震補強の手引（改訂版）事例集』（平成25年（2013）9月、平成29年（2017）3月改訂）辻英之：鉄けた火災発生時の運転再開に伴う判断基準の作成、鉄道施設協会総合技術講演会、2006.10

第 4 章

スイスにおけるコンクリート構造物の保存と修復からの教訓

スイスにおけるコンクリート構造物の保存と修復からの教訓

鈴木 圭

日本大学理工学部交通システム工学科構造デザイン研究室 教授

1. はじめに

スイスにおけるコンクリート構造物の保存と修復の考え方について、今日でも保存と修復が継続され、実際に供用されているコンクリート構造物の事例を対象として、日本国内の歴史的鉄構造物への参考の視点から述べる。

スイスの建造物の保全については、理論的な考察、実用的な対策や政治的な対策等が、原位置にある文化的な財産を保護し、維持補修していくために行われてきた。建造物の一般市民に対する重要性は、過去の知的な活動を示し、芸術的な創造や、社会生活があったことを証明するからである。約 100 年の間、スイス政府は建造物の保全に対して責任を負ってきたが、2004 年 1 月 21 日、建造物保全スイス連邦委員会は、保全に関する最新の知見を集めて報告書を作成した。そして 2006 年 3 月 22 日、最終的な議論を経て、委員会はそのガイドライン¹を認めた。以下にガイドラインの概要を述べる。

- 建造物は、メンテナンス、保存、改築する場合があります、建造物の見栄えを向上させ、長期に亘る保存を目指している。
- 建造物の保全は、合法的であり、公共の義務と、所有者の責務が規定された。
- 持続性の原則は、建造物に不具合があったときに、「観察すること」である。
- 常時のメンテナンスが、最高の保存手段である。
- 対策が実施される前に、建造物に関するあらゆる情報が必要である。
- 保全に関する質疑には、学際的なアプローチが必要である。
- 建造物の保全を実施する場合には、必修の手段やプログラムは、同意が得られていなければならない。
- 遺産価値の目的は、その時代の証拠が残るように保存することである。
- 建造物の保全また再建には、材料や技術は何度も試験しなければならない。

- 保全、改築の後、建造物は定期的にチェックされなければならない。
- 現在の仕様書は、注意深い試験なしに、建造物に適用しなくてもよい。これはケースバイケースで判断される。現在の指針に則らなくてもよい。

対象とするコンクリート構造物は、スイスのロベール・マイヤール Robert Maillart (1872 – 1940 年) が設計した鉄筋コンクリート橋 (3 ヒンジ箱桁アーチ、補剛アーチ) とハインツ・イスラー Heintz Isler (1926 – 2009 年) の設計したコンクリートシェルである。マイヤールの設計した橋梁で、補修された橋梁の中でも、ローザンヌ工科大学 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) のオイゲン・ブリュビラー教授 Dr. Eugen Brühwiler の指導によって補修された 3 橋梁として、Bern 州にある 2 橋、ロスグラベン橋 Rossgraben brücke (1932 年建設、道路 3 ヒンジ箱桁アーチ橋)、シュバントバッハ橋 Schwandbach brücke (1933 年建設、道路補剛アーチ) と、Graubünden 州のドナート Donat に架かるファルチール橋 Valtschiel brücke (1925 年建設、道路補剛アーチ) である。建築物であるコンクリートシェル屋根として、グレンシェン Grenchen にあるテニス場とベリンツォーナ Belinzona のスーパーマーケットのコンクリートシェル屋根、また、高欄の補修事例としてベリンツォーナ Belinzona のテニスコートに架かるコンクリート歩道橋の高欄である。また、ブリュビラー教授が維持・補修を担当した以外に、サルギナトobel 橋 Salginatobel brücke (1930 年建設、道路 3 ヒンジ箱桁アーチ)、テス川歩道橋 Töss Fussgänger brücke (1934 年建設、歩道補剛アーチ)、フェルゼナウ橋 Felsenau brücke (1933 年建設、道路 3 ヒンジ箱桁アーチ) についても保存と補修の事例を取り上げる (表 1)。

2. 各事例にみる保存状況

2.1. コンクリートアーチ橋

(1) ロスグラーベン橋

Rossgaben brücke (写真1)

ロスグラーベン橋は、ベルン Bern の南 15Km にあるシュバルツェンブルク Schwarzenburg の東 5Km に位置し、シュバルツバッサー Schwarzwasser を渡る 3 ヒンジ箱桁アーチ橋である。アーチスパン 82m であり、マイヤールが設計した同じ構造形式のサルギナトーベル橋 (写真2) 90.04m に次ぐ 2 番目の長さのアーチスパンである。1931 年に、マイヤールはサルギナトーベル橋をベースにして、60m と 80m の橋を提案し、アーチスパンとして 82m に決定された。ロスグラーベン橋の構造一般図を (図1) に示す。

アーチリングの板厚も中央ヒンジ部で 18cm、端部のヒンジに向かって全橋の 1/4 の地点で 20cm に代わり、端部まで一定の厚さである。遠景から見れば、床版の地覆側面部やアーチリブ側面部の一部が黒ずんでいるところがあるが、すでに、補修済であるため、とりわけ問題となる点は見つからなかった。

サルギナトーベル橋のアーチライズは 12.986m なので、アーチ:ライズ比 = 1 : 6.9 となり、ロスグラーベン橋は、アーチライズは 9.67m で、アーチ:ライズ比 = 1 : 8.5 であるため、アーチ形状はサルギナトーベル



写真1 ロスグラーベン橋 (2019年)



写真2 サルギナトーベル橋 (2019年)

表1 対象のコンクリート構造物

構造形式	名称	所在地	建設年	構造概要
コンクリート 3 ヒンジ箱桁アーチ	ロスグラーベン橋	ベルン州 シュバルツェンブルク	1932	アーチスパン 82 m は、3 ヒンジ箱桁アーチとして、サルギナトーベル橋のアーチスパン 90.04 m に次ぐ、2 番目の長さである。
	サルギナトーベル橋	グラウビュンデン州 シアーズ	1930	3 ヒンジ箱桁アーチとして、最長のアーチスパン 90.04 m を有する。
	フェルゼナウ橋	ザンクト・ガレン州 フェルゼナウ	1933	アーチスパンは 72 m の 3 ヒンジ箱桁アーチであるが、高速道路であるため、桁高を高くするため、アーチ下弦材は尖塔アーチ、上弦材は多角形としている。
コンクリート補剛アーチ	シュバントバッハ橋	ベルン州 ヒンターフルティゲン	1933	床版は R=22 m ~ 30 m の曲線であるが、アーチリングは直線とし、内側の円弧部分は、アーチを床版と同じ曲線にしている。
	ファルチールバッハ橋	グラウビュンデン州 ドナース	1925	マイヤールの補剛アーチとしては、最初のタイプであり、アーチスパンは、43.2 m で、床版は高欄とともに、活荷重に抵抗し、アーチリブは、多角形で軸力のみを伝える。
	テス歩道橋	チューリッヒ州 ヴィンターチュール	1934	アーチスパンは 33m であるが、補剛アーチとして、もっとも優美な形状を誇る。
コンクリートアーチ	ロレーヌ橋	ベルン州 ベルン	1930	完全にアーチ内部が閉じたコンクリートアーチ橋で、アーチスパンは 80m である。
コンクリートシェルアーチ	テニス場屋根	ゾロトゥルン州 グレンシェン	1979	コンクリートシェルアーチを横方向に繋げてテニス場としている。施工後 40 年経っているが、シェル本体には補修はなされなかった。ただし、シェルとシェルのつなぎ目は補修している。

橋よりも曲がりが緩くなっている。施工は1932年8月から10月に掛けて行われ、開通式が1932年11月19日に行われている。

2008年当時の論文によれば、交通量は、ここ10年で増加しており、農業車両が1日140台通り、このうち近隣の住民は日に5回はこの橋を通ると報告している。ブリュービラー教授は、ロスグラーベン橋は、この橋の約300m上流側にあるシュバントバッハ橋とともに、文化価値が高く、景観的にも優れているため、保存する処置を受ける必要があると述べた。補修の経緯を表2に示す。1978年～79年に掛けて、床版が補修された。

1984年にスイス国内で補修して保存すべき構造物(N0.485.4.2)の一つに認定された。1991年と2001年に、コンクリートに関する調査が行われ、ある部分の鉄筋が錆、コンクリートが剥離している部分があったが、アーチ全体は、クラウン部のヒンジに水漏れが見られるものの、良好な状態であった。床版の防水性能は良く、アセスメントの結果である橋の荷重耐荷力として最大10トン、今後の予想される交通量に対しても十分であると判断された。2002年に行われた従来型の補修工事は、シュバントバッハ橋含めて2橋で200万スイスフラン(2億3255万円)も掛かり、コスト的に成功とはいえなかった。

2004年にオイゲン・ブリュービラー教授は、ロスグラーベン橋とシュバントバッハ橋は、文化価値が高く景観的にも優れているため、保存する処置を受ける必要があると述べた。

特に、歴史的コンクリート構造物の保存と修復の点で、日本への適用を考える上で次の考え方は重要である。使用期間を延長するにあたり、持続可能な発展を原則として限られたコストで行い、最低限はオリジナルの色を維持し、構造的な補修方法を実施することである。2005年3月～9月に掛けて補修作業が実施された。作業は、



写真3 橋面排水装置（道路端部中央に排水樹を設置）と取り換えた手摺

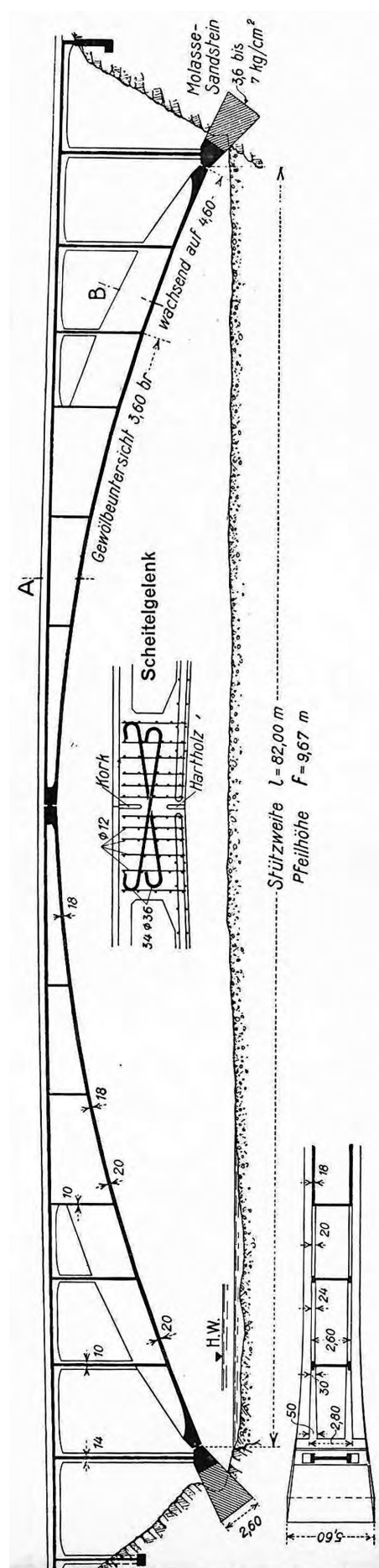


図1 ロスグラーベン橋の構造一般図²

表2 ロスグラーベン橋の補修の履歴³⁾

年 月	変状、保全の経歴
1932 年 11 月	ロスグラーベン橋の竣工
1978 年～ 1979 年	床版の補修
1984 年	補修して保存すべき構造物に選定 (No.485.4.2)
1991 年、2001 年	コンクリートに関する調査によって、ある部分の鉄筋が錆び、コンクリートが剥離し、鋼製手摺が錆びている部分があり、床版のシーリングが剥がれている部分があった。しかし、設計時に指定していた活荷重 7 トンは、将来の活荷重に対しても十分であると報告されている。
2002 年	化学的反応抑制剤を塗布したが、成功とはいえなかった。
2004 年	ブリュッシャー教授は、ロスグラーベン橋と他の橋は、文化価値が高く、景観的にも優れているため、保存するための処置を受ける必要があると述べた。
2005 年 3 月～ 9 月	橋の排水システムの改善、床版に防水層を施工し、舗装の打ち換え、コンクリートの剥離や錆びた鉄筋の補修、露出したコンクリート表面には撥水剤を塗って、約 20mm 程浸透させ、コンクリートへの浸水を防止する処置をとった。特に、オリジナルの型枠の模様を、コンクリートの表面に移す作業に注意を払った。これは最初にコンクリート打設する際に、厚板の型枠を使ったため、型枠の模様がコンクリート表面に残ったためである。費用は 55 万 6 千スイスフラン (6,460 万円) だった。

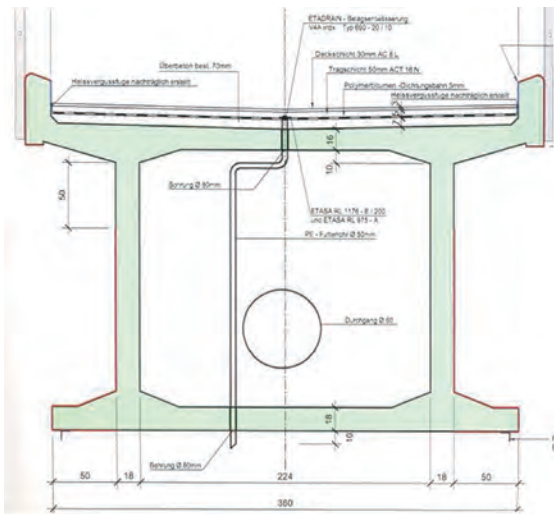


図2 橋面排水柵から排水管を使ってアーチ下面に排水する排水管のレイアウト (画像提供: ローザンヌ工科大学、Prof. Eugen Brühwiler)



0 10mm

Imprégnation hydrophobe en profondeur

Remplacement local de béton

application

absorpt. d'eau

profondeur

Valeur requise

図3 被り25mmのうち10mmは、撥水剤を塗って防水層を施工し、その後、モルタルを吹き付ける。(画像提供: ローザンヌ工科大学、Prof. Eugen Brühwiler)



中央ヒンジ部のオリジナルの詳細を図4に示す。上部はコルクを、下部には硬い木を配置しているが、施工後74年経過して、これらの部材が劣化し、コンクリート自体も劣化したため補修を行った。同様に、アーチリング端部の2つのヒンジも補修を行っている。

ロスグラーベン橋の鉄筋の被りについて、気が付いた点をあげると、まず第一に、被りが小さいと感じられる。図面を直接調べたのではなく、シュバントバッハ橋とサルギナトーベル橋の配筋図から推測すると約25mmである。平成29年(2017)の日本の道路橋示方書では、最小被りが30mmであるので、ロベール・マイヤールが設計した時期は、鉄筋の被りについては、あまり注意を払わなかったように思われる。そのため、鉄筋がさびて被り部分のコンクリートが剥落しているケースが多く、補修事例も、錆びた鉄筋の対策とその上の剥離した

コンクリート部分の補修事例である(写真6、7)。

第二は、アーチ部分の排水システムであるが、3ヒンジ式箱桁アーチでは、それぞれの鉛直壁とアーチリングに囲まれた部分には、雨水がたまりやすい構造になっているため、例えば、サルギナトーベルでは、鉛直壁の下の部分に穴を開けて、雨水が下に流れやすいように工夫しているが、ロスグラーベン橋の場合は、鉛直壁で囲まれたところに、排水管が配置されて雨水排水を行っている。

第三は、施工後80年も経過すると、周りの木々が成長し、ロスグラーベン橋を取り囲むようになっている。

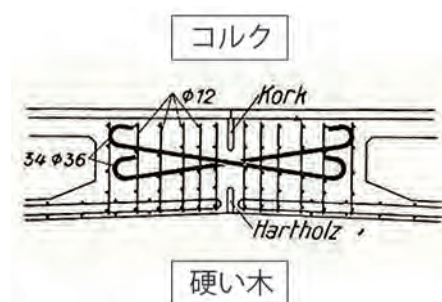


図4 ヒンジ部のオリジナルの構造 (画像提供: Prof. Eugen Brühwiler)



写真6 アーチリング下面の補修事例(新しく補修したコンクリート表面に木製型枠の年輪の模を再現している。)



写真7 鉛直壁の補修事例(オリジナルのコンクリートの色と大きな差がない)



写真8 アーチリングの補修事例(オリジナルのコンクリートの色と大きな差がない。アーチリング端部に水返しを施工。)



写真9 ヒンジ部の補修

このため、アーチリブの付根では、植物がはびこって、アーチリブが常に水分に触れる状態となり、コンクリートが黒ずんでいる状況であった（写真 8、9、10）。これはコンクリートの劣化を促進するため、定期的に周りの植物を、剪定することが必要だと思う。

第四は、維持補修後の色とオリジナルの構造物の色とあまり差がなかったため、補修の形状は四角形にすることはしなかった。つまり、ロスグラーベン橋の場合は、任意の形状で補修されている。

(2) シュバントバッハ橋

Schwandbach brücke

シュバントバッハ橋は、補剛アーチ橋で 1933 年に竣工した。橋長 = 44.65m、アーチ長さ = 37.40m である。構造上の特徴は、床版が $R=20\text{m} \sim R=22\text{m}$ の曲線が付いているが、アーチリングは曲線の外側は直線に配置されており、内側曲線が、カーブに沿ってカットされているために、内側からの景観は、アーチは曲線に配置されているように錯覚する（写真 11）。一方、アーチの外側は、アーチリブは直線に配置されているために、アーチリブ

が外側に張り出しているように錯覚する（写真 12）。このユニークな構造を理解するため平面図を図 5 に示す。シュバントバッハ橋は、1933 年 11 月に施工した後、チューリッヒ工科大学のミルコ・ロッシュ教授がシュバントバッハ橋の曲線の補剛アーチが健全な構造であることを調査するため、1935 年 6 月にセンサーを使って実橋に活荷重を作用させて応力を曲線床版の内側・外側、アーチの内側・外側で計測試験を実施した。その結果、構造物は曲線橋でありながら、応力的には、完全な弾性体であり、健全な構造であることを確認した（表 3）。

勾配については橋軸方向の勾配が 3% であり、橋軸直角方向に 2% であるため、排水桝は中央の曲線内側中央に一箇所だけ設置されている（写真 13）。シュバントバッハ橋のアーチリング部の排水方法である、壁の下端に三角形の穴を空けて、雨水がアーチリング下方に流れるような工夫をしている（写真 14）。しかし、ロスグラーベン橋の時もそうであったが、植物が橋の近くに迫っており、苔がコンクリートアーチの外側に生えている状態であった（写真 14）。特に自然環境の影響を受ける場合、



写真 10 スプリングのヒンジ部の補修



写真 12 アーチ外側の景観



写真 11 アーチ内側の景観



写真 13 シュバントバッハ橋の排水桝（曲線内側中央）



写真 14 アーチリブの排水システム

その影響をできるだけ少なくするように、植物の剪定が必要である。シュバントバッハ橋の補修は、鉛直壁の部分である（写真 15）。近くから見るとコンクリートの色が、補修した場所の方がやや明るく見える。しかしながら、遠景から見れば鉛直壁のコンクリートの色が異なっているのは見分けが付きにくいと思われる。この補修した箇所も鉄筋が錆びて、上部のコンクリートが剥離した部分だと推測する。

手摺の部分は、鋼製であるため錆が表面についていたので手摺を交換した（写真 16）。表 3 にシュバントバッハ橋の補修の履歴を示す。

シュバントバッハ橋の補修の履歴は、ロスグラール橋の事例とほぼ同じである。ローザンヌ工科大学のブリューピラー教授による補修が 2005 年 3 月～9 月にかけて行われた。この橋の欄干に看板があり、1984 年にロスグラール橋とシュバントバッハ橋がベルン

表 3 シュバントバッハ橋の補修の履歴³

年 月	変状、保全の経歴
1905 年 4 月	シュバントバッハ橋の竣工
1935 年 6 月 19 日～22 日 1935 年 10 月 19 日～22 日	EMPA（材料試験所）の技師が、82 個の計測器を使って、12.5ton の荷重を 28 か所において、2500 回の計測を行った。ミルコ・ロッシュ教授は、その結果、曲線橋であるシュバントバッハ橋は、規則正しく、完全に弾力的な構造物であり、主桁が曲線である影響は、無視できるほど小さいと述べた。
1978 年 8 月～9 月	床版が改修された。
1984 年	文化遺産として保護すべき国家遺産に選定される。（No.485.4.1）
2002 年	化学的反応抑制剤は、成功とはいえなかった。
2004 年	ブリューピラー教授は、ロスグラール橋と他の橋は、文化価値が高く、景観的にも優れているため、保存するための処置を受ける必要があると述べた。
2005 年 3 月～9 月	橋の排水システムの改善、床版の防水層を施工、床版の排水路の修復、手摺の取り換え、コンクリートの剥離や錆びた鉄筋の補修、露出したコンクリート表面には撥水剤を塗って、約 20mm 程浸透させ、コンクリートへの浸水を防止する処置をとった。特に、オリジナルの型枠の模様を、コンクリートの表面に移す作業に注意を払った。これは最初にコンクリート打設する際に、厚板の型枠を使ったため、型枠の模様がコンクリート表面に残ったためである。補修のコストは、374,000 スイスフランであった。

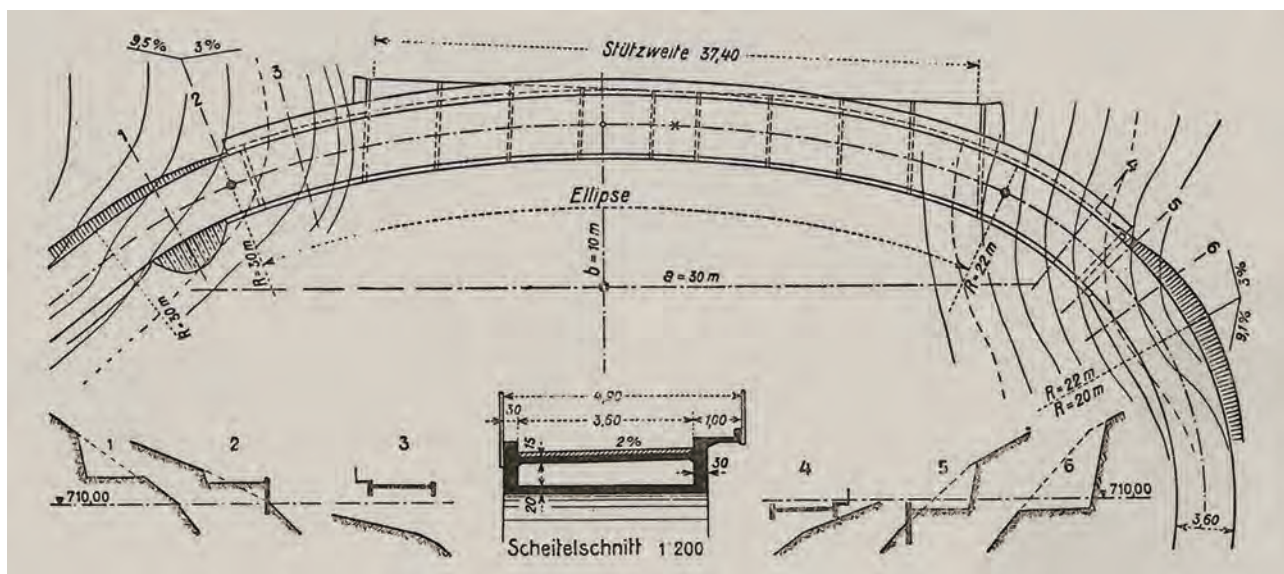


図 5 シュバントバッハ橋の平面図²

州の歴史的構造物に認定され、2005年に、リュエギスベルク Rüeggisberg とバーレン Wahlern が、スイスと州の予算を使って包括的に補修したことが述べられている（写真17）。

ロスグラーベン橋とシュバントバッハ橋のコンクリートの補修に用いられた超高強度繊維補強コンクリート



写真17 2005年に補修されたことを示す解説（現地の説明パネル撮影）



写真18 シュバントバッハ橋の橋名板



写真15 鉛直壁の補修

と同じ強度特性について、ブリュービラー教授は、圧縮強度 $> 150\text{N/mm}^2$ 、引張強度 $> 10\text{N/mm}^2$ 、と報告しており⁴、コンクリート被りが25mmと小さく、歴史的コンクリート構造物を補修するコンクリートとして、現時点では相応しい材料と言える。

一方、橋名板として、1933年にロベールマイヤールエンジニア・ベルンによって管理され、施工者はロージンガー社とエルンスト・ゲルバー社とビンゲリ・アルベルト社であり、活荷重として7トンまで可能であることが示されている（写真18）。

(3) フェルゼック橋

Felsegg brücke

フェルゼック橋は、St.Gallen 州の Felsegg でトゥール川を渡る2連の3ヒンジ式箱桁アーチ橋である（写真19、20）。1933年に竣工したが、高速道路に架かる橋であったため、桁高を高くする必要があったため、マ



写真19 フェルゼック橋



写真16 銅製手摺の交換



写真 20 フェルゼック橋の 2 連アーチ

イヤールは、初めてアーチに尖塔アーチを採用し、内側には多角形のアーチとしてアーチの 1/4 部分の桁高を大きくするアイデアを考えた（表 4）。橋長 132.4m、アーチスパン $l = 72\text{m}$ 、道路幅員は 2 車線で 6.5m、歩道は両側に 1.5m で有効幅員は 9.5m である（図 6）。アーチライズ $f = 8.53\text{m}$ なので $f:l = 1:8.53$ であり、サルギナトーベル橋が最も曲線が揺るく $1:7.2$ 、次に、ロスグラーベン橋の $1:8.27$ 、フェルゼナウ橋が $1:8.53$ と最も曲線がきつくなっている。鉛直壁は端部ヒンジに近いところで厚さ 14mm、それ以外は中央に向かって 6.8m ピッチで 3 枚施工され、厚さは 10cm であるため、かなり薄いイメージである。施工は、アーチを 1 個施工し

表 4 フェルゼック橋の補修の履歴³

年 月	変状、保全の経歴
1933 年	フェルゼック橋の竣工
1936 年 3 月	チューリッヒ工科大学 材料試験所のミルコ・ロッシュ教授によるセンサーを使った計測の結果は良好であった。トゥール川に架かる橋は、構造的に興味深く、オリジナルで経済的な橋であると述べた。
1960 年後半	アウトバーン A1 (E60) が開通するまで、Wil と St.Gallen を結ぶ主要な道路であった。歴史的構造物として、保存されるようになった。
2014 年 2 月	フェルゼナウ橋は、補強し、完全に補修することが決定され、2014 年に補修工事が開始された。

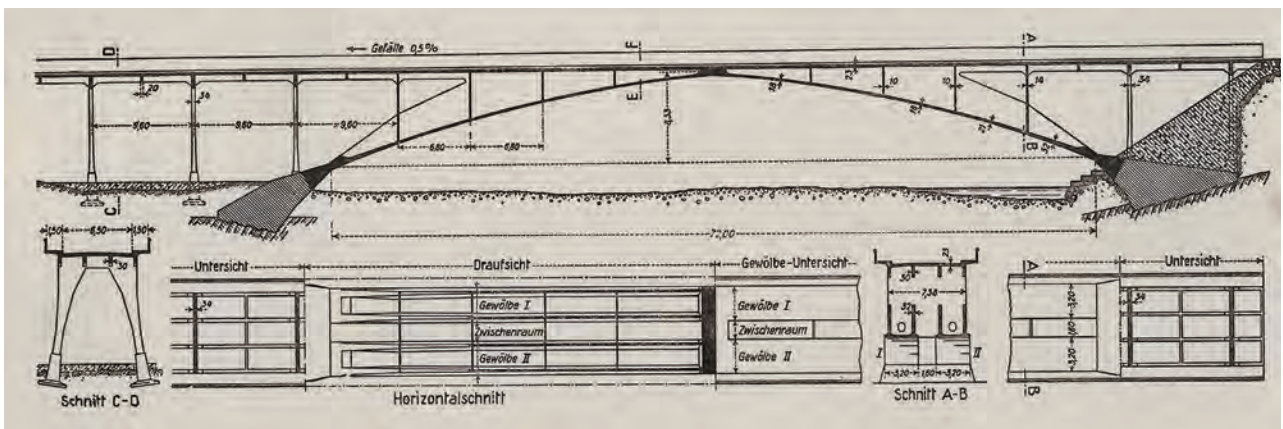


図 6 フェルゼック橋の構造一般図²



写真 21 排水管の後施行（その 1）

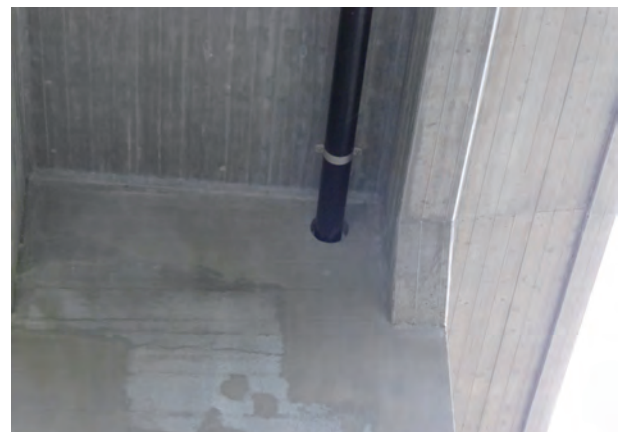


写真 22 排水管の後施行（その 2）

た後、1.6m の間隔を置いて型枠・支保工を並行移動して打設した。マイヤールの橋は、設計の時点で排水の方法について、あまり考えていなかったことが、排水システムの後施行の状態（写真 21、22）からわかる。現在の橋面排水の処理も、壁高欄の一部から排水管を外に出して、床版にたまった雨水を排水する方法が取られている（写真 23）。アーチ端部の 3 ヒンジ部にも雨水が入らないように、シーリングをしている（写真 24）。

型枠の木目の再生は、予めオリジナルの木目をもとに再生することが述べられている。橋脚（写真 25）や高欄のコンクリート（写真 26）にそれが行われている。しかし、コンクリートの色が、80 年後の色ではなくて、少し白みが強くなっている点が、やや不釣り合いであると感じる。

(4) テス川歩道橋

Fussgängersteg über die Töss

テス川歩道橋は、1934 年にチューリッヒ州、ヴィンタートゥール市のテス川に架かる歩道橋で、橋長 48 m、アーチスパン 38 m、幅員 2.4 m、壁高欄 $h = 54\text{cm}$ 、幅 20cm、有効幅員 2.0 m である。アーチリングの厚さ

14cm で床版の厚さ 9cm であり、センターでアーチと床版は結合し、厚さ 14cm になる（図 7）。アーチ・ライズ比は、1 : 10.34 であり、マイヤールが設計した橋の中でも最も扁平なアーチである。いつテス川橋を補修したのか不明だが、コンクリートの色が白すぎると思われる（写真 27、28）。

写真 29、30 はテス川歩道橋の床版部である。劣化した鉄筋コンクリートの補修を行い、手摺も新しくした。新しいコンクリートを吹き付ける場合の色については、できるだけ 80 年経った現在のコンクリートの色を再現することが望ましい。

(5) サルギナトーベル橋

Salginatobel brücke

サルギナトーベル橋（写真 31）は、マイヤールの設計した 3 ヒンジ式コンクリートアーチ橋の代表作であり、マイヤールが設計した中で最長のアーチスパンを誇る。1930 年、グラウビュンデン州シアーズ (Schiers) にあるサルギナ溪谷の上 80 m の位置に施工された（写真 32）。アーチを制作するために、支保工は、支保工会社リチャード・コレイ (Gerütbau unternehmung Richard



写真 23 排水の処置



写真 25 橋脚の木製型枠の再生



写真 24 3 ヒンジの補修



写真 26 コンクリート表面の木製川枠の再生

Coray) が担当した。アーチスパン 90.04m、アーチライズ 12.986m、有効幅員 3.5m である。設計では活荷重 8 トン（前輪荷重 3 トン、後輪荷重 5 トン）を考慮し、不意の荷重として $350\text{kg}/\text{cm}^2$ が作用することを設計条件としている。1991 年 8 月 21 日、アメリカ土木学会の委員が訪れ、サルギナトーベル橋を「国際的なランドマークとなる歴史的土木構造物」に認定したことによ

て、マイヤールのコンクリート橋の維持・補修の考え方や方法が議論されるようになった。古い橋は、ほとんどが、実際に供用されながら保存されるケースが多いため、コストを掛けず、できるだけ自然に見える補修方法が要求された。図 8 にサルギナトーベル橋の構造一般図を示す。元々の設計では、壁高欄の下側に半円形の穴を設け（写真 33）、床版に降った雨をアーチの外側に排水する



写真 27 テス川歩道橋の全体図



写真 29 橋面の状況



写真 28 スプリングング



写真 30 床版一般部

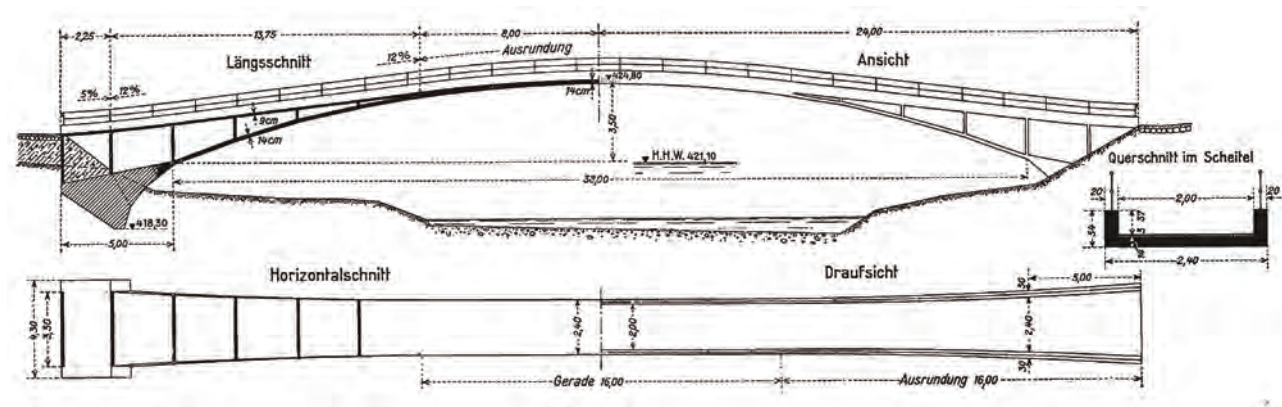


図 7 テス川歩道橋の構造一般図²

計画であったが、半円を通して外側に出た雨水が鉛直壁やアーチリングのコンクリートに掛かり、これがサルギナトーベル橋のコンクリートを劣化させる原因になっていた。マイヤールが設計したサルギナトーベル橋は、排水方法として、橋面に降った雨は、コンクリート壁高欄の下側に橋面に設置した排水溝を通して、橋の外側に排出するという概念はなかったものと思われる。

現在は、排水溝を設ける代わりに、排水桝を橋面の両

側に設置して排水し、かつ半円形の穴は完全にふさいで、雨水が橋の床版から直接半円形の穴を通して、外に漏れることを防止している（写真 33（橋の外側から見た排水孔）、写真 34（橋面の排水方法）参照）。写真 35 に桁内の排水管のレイアウトを示す。アーチリング内の排水方法については、鉛直壁の下端に開口部を設けて、人の出入りを可能としている（写真 36）。マイヤールの設計の特徴は、設計基準強度（立方供試体強度 333kg/



写真 31 サルギナトーベル橋



写真 33 橋の外側から見た排水孔



写真 32 サルギナ渓谷（橋上の景観）



写真 34 橋面の排水方法（排水桝の設計）

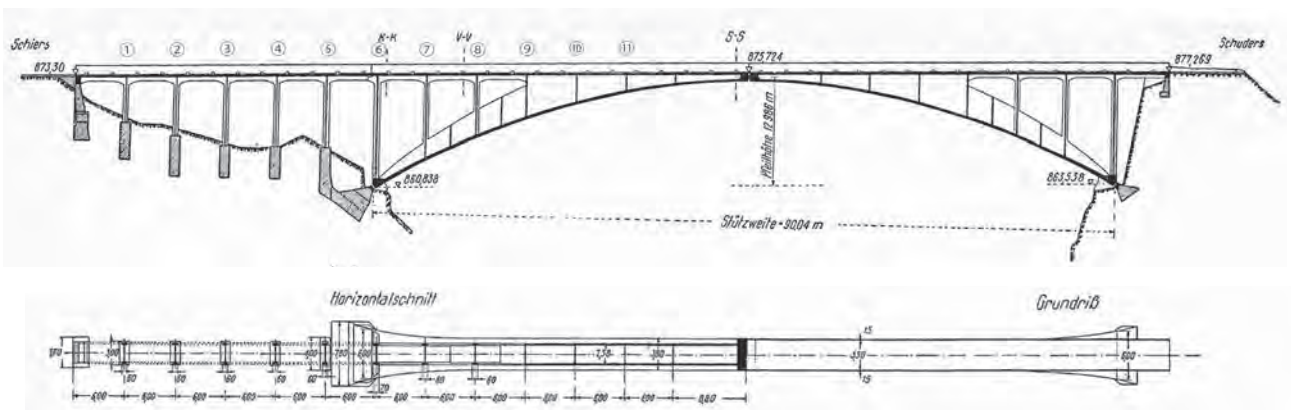


図 8 サルギナトーベル橋の構造一般図²

cm²)である。また、鉛直壁の部材厚が大変薄く、例えば、鉛直壁の中央部の厚みは側径間部（図8に示す左側の橋脚を除き、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪とすると、⑦、⑧、⑨、⑩部材は、12cm、⑪は14cmとなっており、現在の指針が規定する最小部材厚よりも小さい。アーチ部の鉛直壁の厚さは、アーチ付根で20cm、アーチ中央に向

かって14cm、12cm、10cm、10cm、10cm、10cmである。サルギナトーベル橋の補修の履歴を表5に示す。1995年、1996年、1997年に大規模な補修が行われたが、雨水によるコンクリートの劣化がひどかったため、特に、コンクリート製高欄は完全に撤去し、撤去前は厚さ150mm、高さ1.1mであったところ、撤去後は厚さ



写真 35 桁内の排水管配置の現状



写真 37 北側と南側のコンクリート



写真 36 アーチリングの桁内の排水方法



写真 38 北側のコンクリートの汚れ状況

表 5 サルギナトーベル橋の補修の履歴³

年 月	変状、保全の経歴
1930 年 8 月	サルギナトーベル橋の竣工
1973 年 6 月	橋は排水方法が十分でなかったこと、さらに冬に塩を撒くことによって、コンクリートの劣化が進行したため、高欄に設置した半円形の穴を半分埋めて、アーチに雨水が降りかかることを防いだ。シュウダー側のヒンジを補修し、橋全体に亘って、炭酸化した部分とコンクリートが剥離した部分を補修した。ひび割れが入った床版を補修するにあたり、オリジナルコンクリートを60mm取り去り、80mmのコンクリートを施工した。その結果、構造部材は、180mm～220mmになった。また、床版には、30mm～40mmのアスファルトを施工した。
1991 年 8 月 2 日	米国のASCEが、サルギナトーベル橋を国際的な歴史的橋梁に認定した。ASCEの会長であるJames.E. Sawyerがサルギナトーベル橋は、エレガントで、活用でききる重要な構造物であると述べた。その当時はランドマークとして13の構造物が認められ、その内、橋は7橋しか認定されていなかった。
1995 年と 1997 年～98 年	サルギナトーベル橋の包括的な補修が行われた。1994年設置された西側の柵を撤去し、作用する土荷重の影響を低減する新しい柵を設置した。特に、雨水によるコンクリートのダメージと鉄筋の錆については注意を払った。エクspansionジョイントは、雨水が入らないように保護し、1976年に施工した床版の防水材料を取り換えた。ダメージを受けたコンクリート製手摺は、完全に取除いた。新しいコンクリートはやや重くなり、1.35m、厚さ180mmとなった。アーチ表面と橋軸直角方向壁の表面は、ウォータージェットによって10～20mm削り、その後を30mm厚のショットクリートを吹付施工した。厚手の木製型枠によって付けられたオリジナルのコンクリートの表面パターンは、写真をもとに忠実に再現された。コストは210万スイスフランで、その内300,000スイスフランがショットクリートや手摺の施工のための支保工に充てられた。

180mm、高さ 1.35m となったため、新たなコンクリート壁高欄は、やや重くなった。補修方法として、損傷部の撤去には、ウォータージェットを使って 10 ～ 20mm を研り、その後、30mm のショットクリートを吹付施工した。手ばつりで損傷した部分を撤去しようとする、健全な部分も撤去してしまう恐れがあるため、ウォータージェットを劣化した部分に吹き付けて撤去したものと思われる。コンクリートを施工する場合も、対象とするコンクリートの厚さが薄いことから、粗骨材を混入したコンクリートは不適切であるため、吹付コンクリートを施工した。しかしながら、吹付コンクリート材料の技術開発は著しく、1994 年当時と現在では異なっていると思われる。写真 37 にアーチリングの北側と南側の違いを示す。太陽の当たる南側は、水分がすぐ蒸発し、コンクリートが白く見えるのに対して、北側のコンクリートは水分がコンクリートに残って、黒ずんでいることがわかる（写真 38）。写真 39 は、南側のコンクリートの状況である。写真 40 はマイヤールがコンクリート打設した場合の型枠の状況であるが、型枠材は厚く、年輪の後ははっきりとわかる。スイスではコンクリートの保存を考える場合に、型枠の木目を再現することを重要視しているようである。サルギナトーベル橋の場合も、橋の近傍に設計者であるロベール・マイヤールに関する情報が、看板にまとめられていた。これはいつ頃から設置されたのかは明確ではないが、橋梁施工のパイオニアであるロベール・マイヤールの生涯と、グラウビュンデン州に存在するロベール・マイヤールの橋の位置、さらにサルギナトーベル橋の技術的なデータも表示されている。これは日本の歴史的コンクリート構造物にもこのような情報が望ましいと感じた。ただし、サルギナトーベル橋の色が白っぽい点は、気になるところであり、補修の時にコ

ンクリート表面に塗る防水材に、白い顔料が含まれている可能性がある。90 年経った現在においても、自然の色に近いことが望まれるのではないだろうか。

(6) ファルチール橋

Valtschiel brücke

ファルチール橋（写真 41、42）は、1925 年にグラウビュンデン州のドナース（Donath）に架けられた補剛アーチ橋であるが、フリエングリバッハ橋 アーチスパン 28.8m、シュレーバッハ橋 アーチスパン 38.7m に次ぐ 3 番目のアーチであり、スパン 43.2m は、マイヤールが設計した補剛アーチ橋の中では最大である。図 9 に構造一般図を示す。

この橋の特徴は、床版が薄いアーチによって補剛される構造であるため、支保工のコスト低減が可能なことである。1980 年に下流にアーチ橋が施工されたことによって、ファルチール橋は、ドナース地方自治体の所有に変わり、以降歩道橋として使われている。常に湿気のある場所にあるため、橋は凍結融解作用を受け、鉄筋が錆び、表面のコンクリートが剥落する箇所がいくつかあった。一方でコンクリートの劣化が他の事例に比べて進んでいないのは、この橋を管理するにあたり、凍結防止剤を使用していなかったことである。しかしながら、ファルチール橋の維持補修に対して、ドナースはあまり積極的でなかったところ、あるスポーツクラブが、この技術的歴史的に意味のある橋梁を修復することになったのは朗報といえる。毎年、トランスビアマラ（Tranviamala）のシャム（Scham）を起点にマラソンが行われ、主催者は 2009 年に「マイヤールの橋 Valtsiel」をコンセプトに、マイヤールが設計した橋を私達が何とかしようというテーマを掲げ、橋梁の補修計画が議論されるようになった。議論の結果、例えば、グラウビュンデン州では、このフ



写真 39 南側のコンクリート

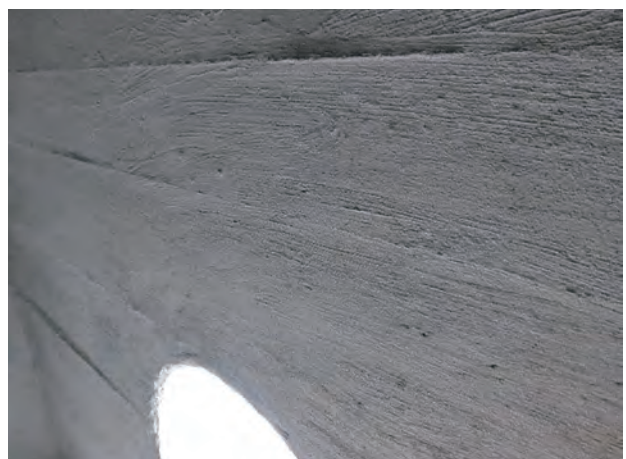


写真 40 サルギナトーベル橋の施工に用いた木製型枠

アルチール橋以外に、ウアザッハ（Urzach）にあるヘーベルトーベル橋（Hebeltobel brücke）が対象になった。写真 42 にファルチール橋のコンクリート劣化の状況を示す。これに対してファルチール橋の補修工事が行われた。表 6 に補修の経歴を示す。2013 年に行われ、まず、床版に 2 層のウルトラハイパーフォーマンスコンクリ

ート（UHPRFC）を設け、防水性能を高めたこと（写真 43、図 10）、2 番目に、床版に降った雨が半円形の穴から外側にこぼれて、コンクリートアーチに掛からないように、この半円形を半分ほど埋めて、床版上の雨水を排水できるように、その半円形の下に橋軸方向に沿って排水路を設けた（写真 44、45）。3 番目に、劣化したコン



写真 41 ファルチール橋（全景）



写真 42 ファルチール橋（近景）（現地の説明パネル撮影）

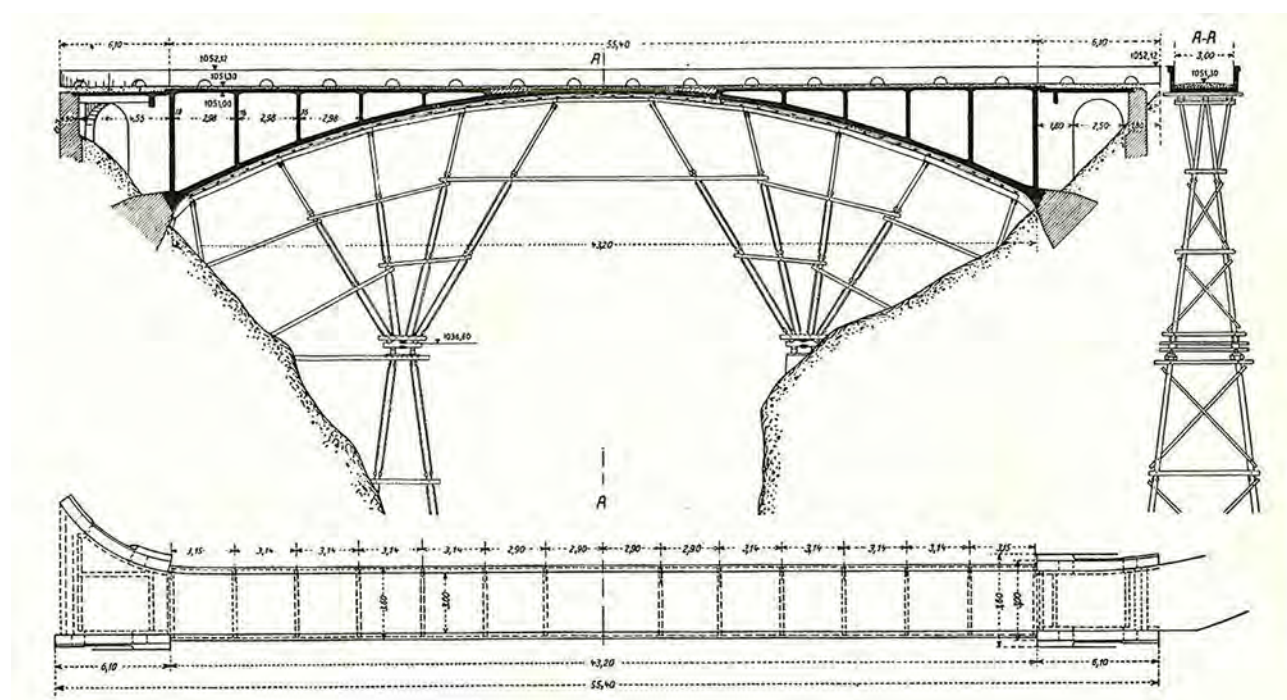


図 9 ファルチール橋の構造一般図²

表 6 ファルチール橋の補修の履歴³

年 月	変状、保全の経歴
1925 年	ファルチール橋の竣工。フリエングリバッハ橋、シュレーバッハ橋に次ぐ 3 番目の補剛アーチ橋
1926 年 9 月	チューリッヒ工科大学材料試験所のミルコ・ロッシュ教授が、センサーを使った計測を実施した。結果は十分満足いくものであった。ファルチール橋は、使用したコンクリート立方体強度 50N/mm^2 (500kg/cm^2) であり、コンクリートのヤング係数が $50,000\text{N/mm}^2$ という、現在のコンクリート強度と比較しても、高強度のコンクリートが使われていた。
2013 年	コンクリート床版を防水工事として、2 層にわたってウルトラハイパーフォーマンスコンクリート（UHPRFC）を設けた。コンクリート高欄の下端に設けられた半円形の開口部のうち、下半分をコンクリートで埋めて、雨水が橋の外側にもれないようにした。

クリートは、高圧水を劣化したコンクリートに吹き付けることによって取り除き、吹付コンクリートを吹くことによって補修したが、補修後のオリジナルのコンクリートはコンクリートの色が白く浮き上がっていることが分かる。補修時の色合わせも大きな課題となっている（写真 46、47、48、49）。

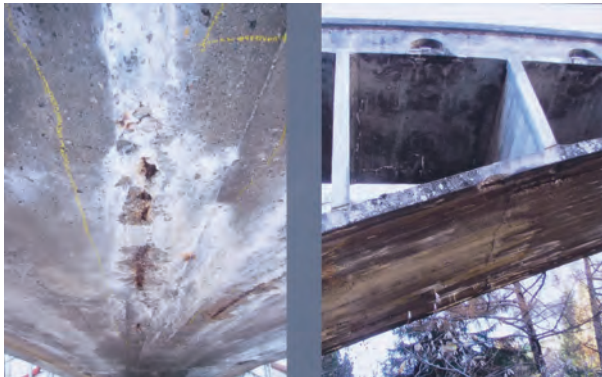


写真 43 ファルチール橋の劣化状況（現地の説明パネル撮影）

2.2. コンクリートシェル

ハインツ・イスラー Heintz Islar（1926 – 2009 年）は、スイスのコンクリートシェル構造の大家であり、今回はマイヤールの橋梁とコンクリートシェル構造で、コンクリートの維持補修の違いがあるかどうかを調査することを目的の 1 つとしている。まず、橋とコンクリートシェル構造の構造的な違いについて述べる。

橋は、1 径間の場合は、アーチ橋であれが、桁内部に

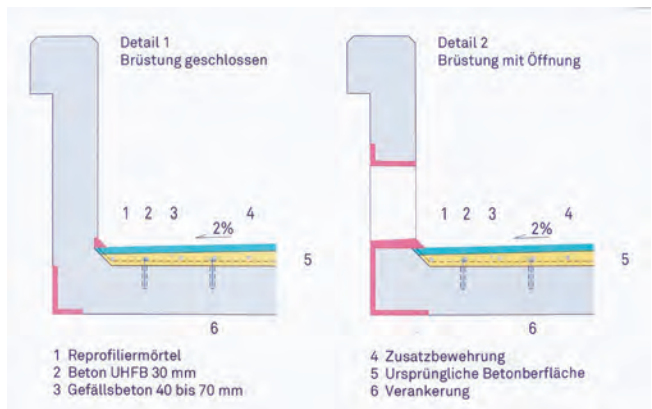


図 10 UHPRFC の施工断面図（現地の説明パネル撮影）



写真 44 UHPRFC を 2 層とした橋面防水工事（現地の説明パネル撮影）



写真 46 橋面排水を外側に流さない処置



写真 45 外側に雨水が流れない処置



写真 47 補修した後の鉛直壁端部



写真 48 補修した後のアーチリング下面



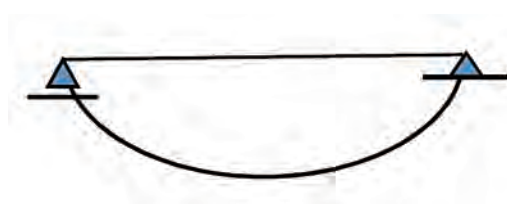
写真 49 補修した後の鉛直壁下部

圧縮力が作用し、比較的、ひび割れも少ない構造である。桁構造になると梁として働くため、上側が圧縮、下側は引張になる。そのため、桁の中央部分の下側に引張が作用し、ひび割れが出やすい構造といえる。2 径間、3 径間になると、中間橋脚上は、負の曲げモーメントが作用するため、上側が引張、下側が圧縮になり、ひび割れが発生しやすい場所が 1 径間の中央部の場合と比べて逆になる（図 11）。

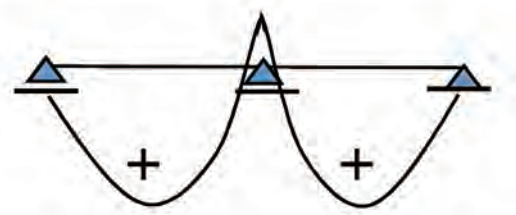
コンクリートシェル構造は、曲面形状の屋根として使われる場合が多く、屋根の端部と端部に PC 鋼材を配置することによって、コンクリートシェルの内部には、常に圧縮力が作用する構造となるため、大規模な補修が少なかったと思われる（図 12）。



写真 50 グレンシェンのテニス場



1 径間の曲げモーメント分布



2 径間の曲げモーメント分布

図 11 梁の場合の曲げモーメント



図 12 シェルの場合の軸力（圧縮）

(1) グレンシェンのテニスコート

グレンシェン（株）のテニスコートは（写真 50、51）1970 年に完成したコンクリートシェル構造であり、テニスコートが 6 面あり、その屋根を構成している。このテニスコートの管理者から、直接話を聞いたところ、1970 年代にテニスコートが建設されて以来、大



写真 51 6つのシェル屋根が連続した構造

きな補修工事はなかった（写真 52、53、54）。ただし、屋根と屋根の接手部については、雨水による漏水があり、シーリングを施工したとのことであった。コンクリートシェルは、常に圧縮力が働いているため、橋に比べてコンクリート自体の劣化が少ないという仮説が立てられる。コンクリートシェルの外側は、シェルアーチ下部に苔が付着しており、雨水の影響があると思われた。



写真 54 施行中のシェルコンクリート（現地の説明パネル撮影）



写真 52 シェル屋根構造の内部景観



写真 55 ダイティンゲン南のコンクリートシェル屋根



写真 53 施行中の型枠支保工（現地の説明パネル撮影）

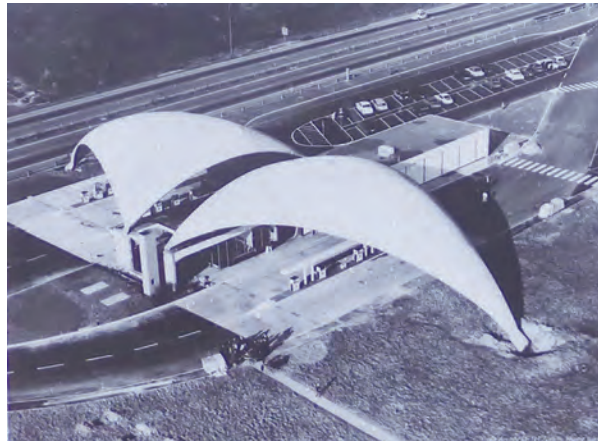


写真 56 2つの三角形シェルの構造（現地の説明パネル撮影）

コンクリートシェル構造を制作するにあたり、その建物の用途によって、コンクリート強度、シェルの形状、厚さがキーポイントになるが、このテニス場に相応しいコンクリートシェル構造の詳細寸法については、詳細な調査が望まれる。

(2) ダイティンゲン南のサービスステーション

ダイティンゲンのサービスステーションは、1968年に竣工し、形状は2つの三角形の一辺を並行にして配置した構造である（写真55、56）。このコンクリートシェル屋根の下には、お店と食堂が入っている。2つの三角形の長さは69.45mであり、三角形1編の長さは、34m×26mで、高さは11.5mである。2つの三角形を写真55、56に示す。

三角形の1点は、グラウンドにアンカーされ、2点は建物にアンカーされているのが特徴である。補修をした部分は、コンクリートシェル本体ではなく、雪が降った時に現状のままだと、屋根を落下するので、雪を屋根に止めておく処置をとった（写真57、58、59）。

この2つの三角形のシェル屋根は、メーベンピックのロゴをもとにデザインされたものである。建物の用途や、発注者の意図に応じて、コンクリートシェル構造で様々な形を創出するイズラーのエンジニアリングセンスには目を見張るものがある。

2.3. ベリンツォーナの水泳プールに至る歩道橋

ベリンツォーナの水泳プールに至るコンクリート歩道橋の修復事例を示す。写真60に歩道橋を示す。特に、ここではブリュービラー教授の指示で補修した2つの方法を示す。1つはコンクリート製壁高欄の表面に吹付をすることによって防水層を施工する方法であり、もう一つの錆びた鉄筋を補修し、吹付コンクリートを施工する方法に比べて、コンクリートの色合いが普通であり、違和感を感じさせない（写真61）。これに対して、錆びた鉄筋を補修し、吹付コンクリートを施工する方法で特に注意しなければならない点は、補修した部分の色が、オリジナルの色よりも異なって、より明るく見えることである。予め、色合わせをして、完成後できるだけ違和感



写真57 雪止めの設置状況



写真59 コンクリートシェルのアンカー部



写真58 コンクリートシェルの地盤アンカー部

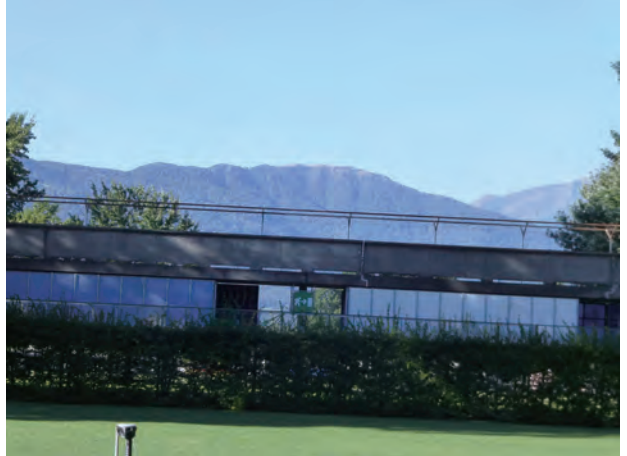


写真60 水泳プールに至るコンクリート製歩道橋

を感じさせないように心がける必要がある。写真 62 に示すように、コンクリートに含侵させる場合でも、含侵後のコンクリートの色が、数十年経った色合いとほぼ同じであることが求められる。

もし、写真 63 のように、補修後が目立つ場合には、補修形状を四角にするなどして、補修後にも気を使っていることを示すことも有効であろう（写真 64、65、66、67、68）。



写真 61 コンクリート表面に防水層を吹き付ける方法（色あいが自然である）



写真 62 コンクリート壁高欄の補修事例（補修部分が白く目立つ）



写真 63 コンクリート壁高欄の補修事例（補修部分が白く目立つ）

3. スイスのコンクリートの補修事例から学んだこと

これらの補修事例から学んだことは、コンクリート構造物に耐用年数が 100 年と示方書に規定される限り、コンクリート構造物の保存と修復は、継続して行わなければならないということである。しかし、現実には、5 年間に近接目視による検査をしなければならないというたわれており、検査はしていても、具体的にどのように修復するかは考え方が明確には示されていない。

そこで、スイスのローザンヌ工科大学のオイゲン・ブリュービラー教授の提唱するアイデアを参考にするため、以下にまとめて示す。まず、維持補修は、必ず必要であること。次に、景観、経済性、技術の 3 つを常に満足させるように維持補修を進めていく必要がある。ブリュービラー教授が担当する前の 2002 年にロスグラーベン橋とシュバントバッハ橋の補修に費やされた工費は、40 万円 /m²（橋長×全幅）であったが、これでは補修のコストが掛かりすぎるとして、経済性が強く求められ、ブリュービラー教授が担当した補修方法では、ロス



写真 64 コンクリート壁高欄の補修事例



写真 65 コンクリート壁高欄の補修事例（オリジナルの色に近いため、違和感を感じさせない）

グラーベン橋が 17.5 万円 /m² (橋長×全幅)、シュバンドバッハ橋が 20 万円 /m² と、従来のコストの半分になった。橋の補修費用の目安として、これらのコストが参考になると考えられる。スイスの補修事例でも、補修後の色あいが、元のコンクリートの色に比べて、白すぎたりする事例が多々あった。補修後が目立つと、補修した形状も四角に揃えたりしないと、逆に、補修跡が目立ってしまうことがある。3 つ目に技術であるが、新しいものが常に良いものとは言えない。定期的にその材料を使って良かったのかどうか、検討する必要がある。恐らく、新しい材料が開発されても、10 年、20 年のスパンで確認していくことが求められるといえる。維持補修に際して、構造物が建設された当時と現在の指針ではコンクリート被り厚等が、現在と異なってくる。どちらの指針に従うべきか、担当者は悩むところであるが、2006 年 3 月に制定された「スイスにおける建造物の保全に関するガイドライン」では、現在の指針に従わなくてもよいことが明言されている。しかしながら、コンクリート構造物は、特に供用しながら維持補修をしていくことが多い

ため、古い橋が、現在の荷重増に耐えられるのか検討していくことも必要である。例えば、ケーブルを取り換えることが可能であるかどうかは、喫緊の課題であろう。

参考文献

1. Guidelines for the preservation of built heritage in Switzerland, vdf Hochschulverlag AG an der Zürich, 2007, pp.68-69
2. Max Bill, Robert Maillart Girsberger Zürich, 1955
3. "engineering-timelines",
 - a) Rossgraben Bridge
<http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=1329>
 - b) Schwandbach Bridge
<http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=1328>
 - c) Salginatobel Bridge
<http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=1323>
 - d) Thur Bridge Felsegg
<http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=1325>
4. Eugen Brühwiler, Emmanuel Denarié, Rehabilitation of concrete structures using Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete, The Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, pp1 ~ pp8, March 05 - 07, 2008, Kassel, Germany



写真 66 鉄筋が錆びた状態 (1)



写真 67 鉄筋が錆びた状態 (2)



写真 68 鉄筋が錆びた状態 (3)

第 5 章

コンクリート造建造物の保存と修復に関する事例集

コンクリート造建造物の保存と修復に関する事例集

石田 真弥

東京文化財研究所 保存科学研究センター 近代文化遺産研究室

目次

1. はじめに	4.5. 世界平和記念聖堂	・・・99
1.1. 背景と目的	(1) 補修材料と工法の選択に関する事例	
1.2. 調査手法	—ひび割れ補修工法の選択	
(1) 現地調査	(2) 補修材料と工法の選択に関する事例	
(2) 聞き取り調査	—補修材料の質感及び色合わせ	
(3) 資料調査	(3) 構造補強の事例	
1.3. 事例集の構成	—耐震スリットの設置	
2. コンクリート造建造物の劣化と破損	4.6. 広島平和記念資料館	・・・105
2.1. 材料劣化の種類	(1) 工法や仕様の再現の事例	
2.2. 劣化・破損の修復方法	—工法の再現	
3. コンクリート造建造物の保存と修復に関する現状の課題	(2) 補修材料と工法の選択に関する事例	
3.1. 工法や仕様の再現に関する課題	—必要最小限の補修	
3.2. 補修材料・工法の選択に関する課題	(3) 構造補強の事例	
3.3. 構造補強方法の選択に関する課題	—補強方法の検討と撤去部材の保存	
3.4. 維持管理に関わる課題	4.7. 再アルカリ化工法	・・・111
4. コンクリート造建造物の保存と修復に関する事例	(1) 維持管理に関する事例	
4.1. 旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）	—再アルカリ化工法のモニタリング	
(1) 維持管理に関する事例		
—次回工事に配慮した修理対策		
4.2. 旧志免鉱業所竪坑櫓		
(1) 工法や仕様の再現の事例		
—補修材料の質感及び色合わせ		
(2) 補修材料と工法の選択に関する事例		
—断面修復と被り厚の付加		
4.3. 丸沼堰堤		
(1) 補修材料と工法の選択に関する事例		
—複数年度に渡る補修材料の検討		
4.4. 旧美敷水源地水道施設		
(1) 劣化・破損部に対する補修対策		
—仕様再現の判断基準		

本書に掲載した図版のうち、特に出典を明記していないものについては、石田真弥が作成・撮影を行った。

1. はじめに

1.1. 背景と目的

わが国でのセメントの製造は、明治5年（1772）に大蔵省土木寮建築局が東京府下清住町（現在の江東区清澄）に「摂綿篤（せめんと）製造所」を設立したところから始まり、民間初のセメント会社は、明治14年山口県厚狭郡西須恵村字小野田（現在の山陽小野田市）に「セメント製造會社」（のちの小野田セメント（株）、現在の太平洋セメント（株）が設立した。鉄筋コンクリート造建造物としてわが国で最初に建設されたのは、明治28年の琵琶湖疏水に架けられたメラン式弧形桁橋と言われ、建築分野では明治37年に佐世保重工に建設されたポンプ小屋が最初期の事例とされている。

文化財建造物として保存修理工事が実施されたコンクリート造建造物の先駆けは、昭和49年（1974）に重要文化財に指定された旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）であり、昭和60年（1985）7月から平成元年（1989）2月に保存修理工事が実施された。本格的にコンクリート造建造物の文化財指定件数が増加し始めるのは、平成2年から開始された近代化遺産総合調査以降となり、現在では近代以降に導入された代表的な構造形式である、煉瓦造、鋼構造、コンクリート造の中では、コンクリート造建造物が最も多く文化財指定されている（巻末資料1）。ただし、文化財指定されているコンクリート造建造物の保存修理事例は、煉瓦造、鋼構造と比べると件数が少なく、保存、修復方法などの面で課題は多い。

そこで本事例集では、近代文化遺産研究室および有識者により構成された勉強会での議論を踏まえ、以下の4点を歴史的価値を有するコンクリート造建造物の保存・修復に関する課題（表1-1）と捉え、文化財所有者や修理技術者が建造物を管理、または修理する上で参考になりうる情報を整理し、それぞれの課題に対応した保存修理事例の紹介を行う。

1.2. 調査手法

(1) 現地調査

事例集を作成するにあたり、巻末資料3に示す建造物に対して現地調査を実施した。調査建造物の選定には、各修理工事報告書（巻末資料2）などを参考にしながら、コンクリート造の劣化・破損内容やその補修方法、構造補強方法から特徴的な事例を選定した。なお、現地調査は、可能な限り修理工事を担当された技術者にご同行頂いた。

(2) 聞き取り調査

現地調査では、ご同行頂いた技術者や維持管理の担当者に対して、表1-1に示す4課題を軸に聞き取り調査を行った。

(3) 資料調査

各修理工事報告書並びに調査工事資料やコンクリート造建造物の保存や修復に関する論文などを参考にした。

1.3. 事例集の構成

まず、第1章で、背景、目的、調査手法を述べた後、第2章で、劣化・破損のメカニズム、第3章で保存と修復に関する現状の課題、第4章で各課題に対する保存修復事例の紹介とする。

2. コンクリート造建造物の劣化と破損

現存する歴史的コンクリート造建造物の中には、劣化や破損が進行し、安全性を担保できないなどの理由から利活用が困難な状態となっている建造物も含まれている。以下に代表的なコンクリート造建造物の劣化現象、各劣化に対する修復内容及び修復方法の一例、工法の概要について紹介する。

なお、反応性骨材、コンクリート中の塩化物、被り厚さの不足、凍結融解の繰り返し、酸・塩類の化学作用、中性化による鋼材の腐食、塩化物の浸透による鋼材の腐食等が原因で発生する進行性ひび割れに関する修復方法については、本報告書の第1章（p.21～）の今本先生の前稿内で詳しく紹介されている。

表 1-1: コンクリート造建造物の保存と修復に関する研究テーマと課題

	研究テーマ	課題	対応する事例
1	工法や仕様の再現	技術の発展等に伴い、建設当時の技術等が失われつつある。そのため技術保存や再現が課題となっている。 ①補修に用いる素材や材料をどこまで再現・再利用できるのか。 ②建設時の工法の再現。	①旧美敷水源地道施設 ①旧志免鉱業所竪坑櫓 ②広島平和記念資料館 ②世界平和記念聖堂
2	補修材料・工法の選択	一体構造であるため、部分的な劣化や破損が生じた場合、補修範囲を明確に定めることが難しく、補修方法が可逆性のない方法になることが多い。 ①補修材料・工法の選択の経緯 ②補修材料・工法の補修箇所ごとの使い分け ③当初材と補修材の区分 ④最小限の介入	①丸沼堰堤 ①旧志免鉱業所竪坑櫓 ②世界平和記念聖堂 ③旧志免鉱業所竪坑櫓 ④広島平和記念資料館
3	構造補強方法の選択	造形性に優れた建造物も多いため、構造補強材によって価値を大きく損なう場合がある。 ①構造補強方法の選択 ②構造剛性の改善	①広島平和記念資料館 ②世界平和記念聖堂
4	維持管理	各建造物の特性上、定期的な修理を必要とする箇所がある。（水分の浸入を防ぐ処理）施工箇所の状態を定期的に確認する事例がある。 ①定期的な修理に配慮した補修方法 ②施工箇所の変化等を確認するモニタリング	①旧山邑家住宅 （ヨドコウ迎賓館） ②梅小路機関車庫

2.1. 材料劣化・破損の種類

コンクリートの劣化現象には、塩害、中性化、化学的侵食、アルカリ骨材反応などの化学的なものと、凍害や摩耗などの物理的なものがあり、実際の劣化現象は、複数の劣化作用の複合で進行することが多い。代表的な材料劣化・破損の種類を表 2-1 に示す。

また、日本コンクリート工学会では、コンクリート造建造物の劣化を理解するうえで、次の 2 点に留意することが大切であると示している。

- ① コンクリート中では長期にわたってセメントの水和反応に代表される化学反応が進行しており、その反応のプロセスと反応生成物は、コンクリート中に含まれる化学物質の種類、量、外部から侵入する化学物質の種類、量および環境条件などの影響を受ける。
- ② コンクリートは連続した微細な空隙を有する多孔質物質であり、この空隙を通して気体（硫素、二酸化炭素など）、イオン（塩化物イオン、アルカリ金属イオン、硫酸イオンなど）、水分などの浸透や移動が生じる。

2.2. 劣化・破損の修復方法

表 2-1 で示した劣化・破損に対応した修復方法の一例を表

2-2 で示す。さらに、各修復工法の概要について表 2-3、4、5 に示す。

3. コンクリート造建造物の保存と修復に関する現状の課題

本章では、表 1-1 に記載した、本事例集で取り上げる課題について紹介する。

3.1. 工法や仕様の再現に関する課題

近代以降導入された建設材料の多くは、建設時期の僅かな違いにより工法や材料が異なる場合が多い。これは、次々と新しい技術等が開発されたことによって工法や材料等が置き換わっていったためである。こうした僅かな期間だけ使用された工法や仕様等は、建設時期の技術水準等を示しており、歴史的な価値が高い。しかし、保存・修復において次々と更新されていった技術等を再現することは容易ではなく、建設当初と同じ材料を入手することも非常に難しい状況となっている。

また、コンクリート造建造物では、躯体表面を仕上げとする建造物が少なくないため、部分的な劣化・破損が発生した場合には、補修材による充填等の修復や劣化・破損範囲が広範

表 2-1: コンクリート造建造物の劣化原因と内容（参考文献 4,5,6 を参照）

劣化現象	劣化の内容
塩害	コンクリート中に存在する塩化物イオンの作用により鋼材が腐食し、亀裂等の損傷を与える現象。塩化物イオンが一定量以上存在すると、不動態被膜が部分的に破壊され、鋼材が腐食しやすくなる。 塩化物イオンが侵入する主な原因は、以下の 2 点。 ①海砂、混和剤、セメント、練混ぜ水などに最初から含まれている場合。 ②海水飛沫や飛来塩化物、凍結防止剤などの塩化物イオンが浸透する場合。
中性化	大気中の二酸化炭素がコンクリート中に浸入し、炭酸カルシウムを生成し、コンクリートのアルカリ性が低下する現象。概ね pH が 11 より低くなると鉄筋表面の不動態被膜が破壊され、鉄筋が腐食環境下に置かれる。 以下の環境では、中性化が早まる。 ①二酸化炭素濃度が高い環境、②湿度が高い環境、③温度が高い環境。
化学的侵食	外部環境から供給される化学物質とコンクリートとが化学反応を起こすことで生じる劣化現象。供給される化学物質は、次の 3 種類に大別できる。 ①セメント水和物と化学反応を起こし、水に溶けにくい水和物を可溶性物質に変化させることにより、コンクリート組織が多孔質化したり分解したりすることにより劣化するもの（酸、動植物油、無機塩類、腐食性ガス、硫酸の生成を伴う微生物の作用等）。 ②セメント水和物と反応して新たに膨張性化合物を生成し、生成時の膨張圧によりコンクリートを劣化させるもの（動植物油、硫酸塩、海水、アルカリ濃厚溶液等）。 ③長期間にわたって水に接することにより、コンクリート中のセメント水和物の成分が外部に溶脱して硬化体組織が多孔化し劣化するもの。
アルカリ骨材反応	広義にはコンクリートの細孔溶液中の水酸化アルカリ（KOH や NaOH）と、骨材中のアルカリ反応性鉱物との間の化学反応をいう。一般には反応生成物（アルカリ・シリカゲル）の生成や吸水に伴う膨張によってコンクリートにひび割れが発生する現象。
凍害	セメントペーストや骨材中および両者の界面にて、コンクリートに含まれている水分が凍結膨張（約 9%）し、破壊をもたらす現象。
乾燥収縮	コンクリート打設後、乾燥に伴う体積減少によりコンクリートに引張力が生じ、保有する引張強さを超過してしまうと亀裂が生じる。
火災	火災などで局部的に急激な温度上昇が発生すると、コンクリート表面が剥離や亀裂が発生した状態。
摩耗	繰り返し同じ部位に力を受けることで、セメントなどが削り取られ、骨材などが抜け落ちる。その他には、強い衝撃を受け亀裂などが発生した状態。
疲労	繰り返し応力が加わることで、突然損傷あるいは破壊することがある。コンクリートの疲労、鋼材の疲労、コンクリートと鋼材付着部の疲労がある。
汚損	地衣類、藻類などの繁茂や遊離石灰やエフロレッセンスの発生による汚損。

に及ぶ場合には、部分的な打ち直し等が実施されることもある。ただし、既存躯体の色味や仕上げ面の質感などを補修材で再現することが難しく美観を損なう等の課題もある。

3.2. 補修材料・工法の選択に関する課題

一体構造であるコンクリート造建造物は、部材や部位単位で取り替える修復方法は選択しづらい構造形式である。また、修復範囲に関しても劣化・破損部と健全部の境界を見極めることが難しく、最適な修復範囲を決定しづらい。さらに、既存部と修復部を一体化する修復方法が選択されることが多く、可逆性がない修復方法となる課題がある。

その他にも、立地環境等の問題から早期に補修部が再劣化、再破損する場合があります。立地環境等の問題に十分に対応した補修材が選択できていない場合がある。

3.3. 構造補強方法の選択に関する課題

コンクリート造建造物は、一体構造の上、造形的にも自由度

の高い構造形式である。そのため、構造補強を実施する場合には、構造・意匠の両面から特に配慮が求められ、免震補強などが採用される場合もあるが、工事費用も高額となるため、全ての建造物で導入することは難しい。また、免震装置を設置するにあたり、杭などの基礎構造の一部が撤去されることになるため、基礎構造部の材料や技術的価値に対する保存措置が求められている。さらに、造形的に自由度が高いため、応力等が集中しやすい箇所が生まれ、耐震上の問題を抱える建造物が含まれている。

構造補強事例に関しては、本報告書、第3章（p.45～）にて、西岡調査官が詳しく紹介されている。

3.4. 維持管理に関する課題

コンクリート造建造物の劣化・破損を防ぐためには、定期的な修繕が必要である。特に構造躯体内部への水分の浸入は、深刻な劣化・破損へと進行していく恐れが高いため、防水対策等の定期的な修繕が必要不可欠な処置となっている。ただし、

表 2-2: 劣化・破損対策と補修内容と補修方法の一例（参考文献 4,5,6 を参照）

劣化・破損	劣化・破損対策	補修方法の一例	補修内容
塩害	①腐食の原因物質を除去する ②被りコンクリート中への腐食の原因物質の侵入・浸透を抑制する ③鋼材表面への腐食の原因物質の到達を抑制する ④防食性の鋼材を使用する ⑤コンクリート内部の鉄筋の電位を制御する ⑥防錆剤を使用する	断面修復工法	塩化物イオンの除去
		表面被覆工法	侵入抑制
		脱塩工法	塩化物イオンの排出
		電気防食工法	鉄筋の電位制御
中性化	①中性化の進行を抑制する ②鉄筋の腐食進行を抑制する	断面修復工法	中世化部分の除去
		表面被覆工法	炭酸ガス・水分の侵入抑制
		再アルカリ化工法	性能回復
化学的劣化	①化学的侵食に対しては、構造物の設計耐用年数を考慮して設計時に十分な対策をとるか、もしくは定期的な補修を計画し、新設時から何らかの対策を講じる ②酸や硫酸塩に対しては、コンクリート表面に適当な被覆を施すことが効果的 ③海水の作用に対しては、耐硫酸塩ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、高炉セメント、フライアッシュセメントなどが比較的抵抗性がある ④海水その他の侵食作用に対して、被り（厚さ）を十分に確保するなどして鋼材を保護し、水セメント比の小さい水密性の高いコンクリートを使用する	断面修復	劣化部の除去
		表面被覆工法	侵入抑制
アルカリ骨材反応	①コンクリート中のアルカリ総量を規制する ②アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメントなどを使用する抑制 ③安全と認められる骨材を使用する抑制対策	ひび割れ補修工法	水分の供給抑制
		表面被覆工法	アルカリの供給抑制
凍害	①耐凍害性の高い骨材を用いる ②AE 剤、AE 減水剤あるいは高性能 AE 減水剤を使用して適正量（使用環境条件、粗骨材の最大寸法等に応じ 3～6% 程度）のエントレインドエアを連行する ③気泡間隔係数等の気泡の特性が同一の場合、水セメント比を小さくして蜜実な組織のコンクリートとする ④融雪水がコンクリート中にできるだけしみ込まないようにコンクリート建造物の水切り、水勾配、防水等を工夫する	断面修復工法	劣化部分の除去
		ひび割れ補修工法	侵入抑制①
		表面被覆工法	侵入抑制②
摩耗	①水セメント比の小さな配（調）合として十分な湿潤養生を行い、圧縮強度を大きくする ②キャビテーションに対しては表面を平滑にして、すり減り抵抗性の高い骨材を使用する	断面修復工法	断面回復
汚損	①汚損要因の除去	洗浄	汚損要因の除去

表 2-3: 劣化・破損の補修工法と概要（参考文献 4,5,6 を参照）

工法		工法概要
ひび割れ補修工法	注入工法	補修材料（樹脂系、セメント系等）を圧力注入する工法
	充填工法	亀裂部を U 字または V 字に加工し、補修材料を充填する工法 亀裂幅がおおよそ 0.5mm 以上のひび割れなどに適している
	表面塗布工法	亀裂幅がおおよそ 0.2mm 以下の亀裂に浸透性の防水材等を塗布する工法
表面被覆工法		塗装材料などで表面を被覆する工法 塗装、取付けパネル、埋設型枠等を用いることがある
断面修復工法		劣化や破損により欠損した範囲を修復し、本来の形状に修復する工法
電気化学的補修工法	脱塩工法	コンクリートに電流を流すことで、塩分を排出する工法 表面に電解質溶液の層と電極（陽極）を設置し、コンクリート内の鋼材を陰極として、直流電流を流すことで塩分が電気泳動し排出させる
	再アルカリ化工法	アルカリ性の水溶液層と電極（陽極）を表面に設置し、コンクリート内の鋼材を陰極として、電流を流すことで表面の溶液を内部へと浸透させる
電気防食工法		表面に電極（陽極）を設置し、コンクリート内の鋼材を陰極として電流を流すことで、腐食電流を消滅させ腐食を防ぐ工法
洗浄		水や温水による圧力洗浄によって汚損物質を除去する工法 汚損物質によっては、化学薬品などを使用する場合もある

表 2-4: 乾燥収縮ひび割れの補修（参考文献 4,5,6 を参照）

劣化度	ひび割れの状態	補修方法
1	0.2mm 以下	被覆工法（塗膜弾性防水材など）
2	0.2~1.0mm	注入工法（エポキシ樹脂、アクリル樹脂系、ポリマーセメントなど）
3	1.0mm 以上	充填工法（シーリング材（ウレタン樹脂、シリコン樹脂）、可とう性エポキシ樹脂など）

定期的な修繕に伴い周辺の健全な材料が繰り返し取り外され、破損する恐れがある。また、劣化・破損原因に対する予防対策や施工後のモニタリング等、劣化・破損に関する予防措置や早期発見に繋がる定期点検等、維持管理対策の範疇として取り組むべき課題は多い。

4. コンクリート造建造物の保存と修復に関する事例¹

4.1. 旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）

(1) 維持管理に関する事例 次回工事に配慮した修理対策【経緯】

これまでに旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）（写真 1-1）は、昭和 60 年（1985）から 63 年度（1988）にアンダーピニングを含む大規模な保存修理工事、平成 7 年（1995）の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）被災に伴う災害復旧工事（平成 7 年（1995）から 9 年度（1997））と、文化財指定後 2 回も大規模な工事を経験している。今回（平成 28 年（2016）6 月から平成 30 年（2018）12 月）実施された工事は、昭和 60 年（1985）から 63 年度（1988）に施工された防水層の改修工事が主な工事であるが、次回以降の工事に配慮した修理対策が講じられているため、その対策について紹介する。

対策①：構造負荷の軽減

対策②：擬石飾りの補修

対策③：部材の縁切り

【概要】

対策①：老朽化した既存のアスファルト防水層を撤去するため、防水層の上に載っている保護モルタルや大谷石の敷石、直方体状の大谷石 232 個、擬石飾りの足元廻りの保護モルタル等が取り外された。防水層撤去後にスラブの状態を確認すると、4 階食堂から出入りする南バルコニーや東バルコニーの床面に多数のクラックが見つかった。

表 2-5: 凍害ひび割れの補修（参考文献 4,5,6 を参照）

劣化度	ひび割れの状態	補修方法
1	表面のみの軽微なひび割れ、またはスケーリング	表面被覆工法、塗布含浸工法、金属板、防水層による保護被覆
2	表面に小さなひび割れ（0.3mm 程度）ポップアウト、または中程度までのスケーリング（深さ 10mm 程度）	充填・注入工法、部分交換工法、補修後、金属板、防水層による保護被覆
3	ひび割れ幅が大きい（0.3mm 以上）または強度のスケーリング（深さ 20mm 程度まで）	部分交換工法、補修後、金属板、防水層による保護被覆
4	鉄筋付近までのひび割れ、浮き、剥離や激しいスケーリング（深さ 30mm 程度まで）	部分交換工法、補修後、金属板、防水層による保護被覆
5	コンクリートが浮き上がり、剥落も著しく、脆弱部も深い（深さ 30mm 以上）、鉄筋も断面欠損を生じている	部分交換工法、補修後、金属板、防水層による保護被覆

そのため、構造負荷の軽減を目的に以下の対策が講じられた。南バルコニーでは、大谷石の代りに厚く塗られた保護モルタルを撤去し、スラブ下部の梁状リブを利用して、鉄骨フレームを直交に組み、その上に人工木材デッキを敷き、スラブへの荷重を軽減した。さらに、バルコニーに出られる人数の制限も実施されている。一方の東バルコニーは、手摺等が未設置の箇所があり、以前から非公開とされてきたため、補修後も非公開とされた。それに伴い、保護モルタルを取り止め、非歩行仕様へと変更することで躯体負荷の軽減が図られている。

対策②：擬石飾りの補修工事では、A・Bの二種類の擬石飾り（図 1-1、1-2）が劣化の状態に合わせて、現場左官工法と型枠成形工法が使い分けられた。

A タイプの擬石飾りは、過去の資料から当初部材が比較的に残っていることが明らかになった。調査の結果、型枠の中に芯となる硬いモルタル、外側廻りは比較的柔らかい擬石モルタルで覆うように仕上げられていることも判明した。解体調査されたAタイプは、現場打設される1パーツとプレキャストの2パーツ全3パーツを組み合わせて復旧された（写真 1-2）。

擬石飾りの保存状態は、雨掛かりの状況に左右されていたため、当初材がよく残るAタイプについては、雨水による劣化を

抑えるため、擬石飾り天端にガルバリウムカラー鋼板の水切底が設置された（写真 1-3）。

一方、Bタイプの擬石飾りは、昭和58年の調査時点で全て失われていたため、当初の細かな仕様については不明である。昭和60年からの保存修理工事で製作されたBタイプは、5つのパーツに分けて制作されたが（写真 1-4）、パーツの継ぎ目から雨水等が浸入し、内部の鉄筋が発錆し、擬石飾りが爆裂していた。そのため、今回の補修工事では、5つのパーツには分けて、1つのパーツとして打設された。

また、爆裂を防ぐため内部に鉄筋を入れない仕様に変更された。さらにBタイプは、Aタイプと比べ傷みが激しいが、その原因が明確に定まっていないところがあるため、現段階での詳細意匠の修復は省略し（写真 1-5）、補修材料の耐久性も確認した上で、全ての修復を改めて実施することになっている。

擬石飾りの修復に用いる主な材料は、白セメント、セメント、山砂、大谷石の碎石である。大谷石の碎石に関しては、通称ミソと呼ばれる赤褐色粘土質の部分を除くため0.5mm目のふるいに掛けられた粒度0.6~1.2mmを使用している。修復材料の色味については、白セメントの配合比を変えたサンプルの中から選択された。使用する骨材も竣工当初は芦屋川の川砂が用いられていた可能性が高いため、芦屋川の川砂と同じような花崗岩系の粒が取れる産地のものから色味が近い岡山産の骨材が選択された。補修材料の強度試験では、JIS6909 7.11 温冷繰り返し試験を参考に20サイクルの試験が実施された。

対策③：建物の形態上、今後も防水層の改修を繰り返すことが考えられたため、防水層の改修に伴い取り外される擬石飾り等の足回り部材の縁を切る工事が実施された（図 1-3）。

【所見】

旧山邑家住宅は、重要文化財に指定されている鉄筋コンクリート建造物の中では、指定後3回の大規模工事を経験して



写真 1-1：旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）入り口アプローチ
撮影：フォトスー笠原恭太郎

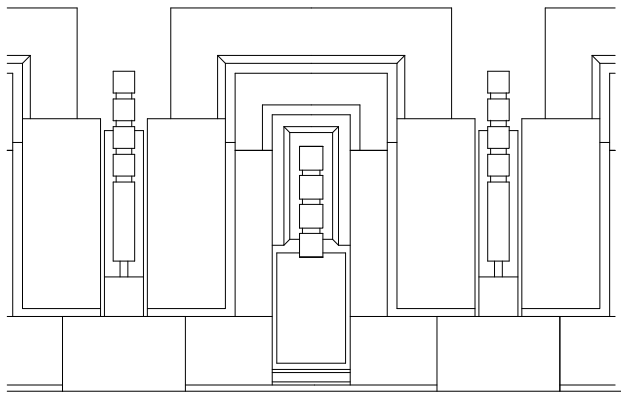


図 1-1：Aタイプ擬石飾り正面図
提供：一般財団法人 建築研究協会

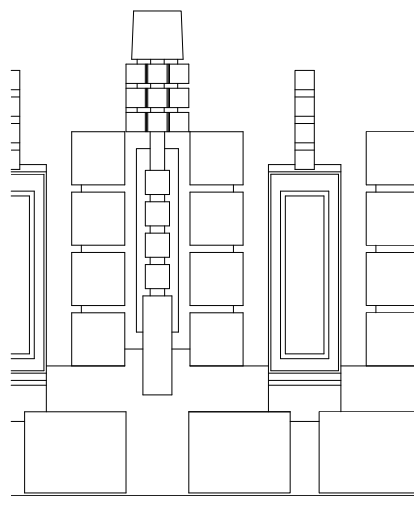


図 1-2：Bタイプ擬石飾り正面図
提供：一般財団法人 建築研究協会

おり、部材や材料の破損・劣化パターン等も解明されている部分も増えている。本工事では、破損や劣化に適応させるため、構造的弱点であるバルコニー使用の制限、補修材料の現地耐久試験、材料劣化を抑えるための仕様変更、防水処理のための縁切りの設置等、次回以降の工事を見据えた措置が随所に見られる。

【建造物情報】

名称：旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）

種別：近代／住居

時代：大正

年代：大正 13 年 2 月上棟

西暦：1924 年

構造及び形式等：鉄筋コンクリート造、四階建、陸屋根

建築面積：359.1㎡

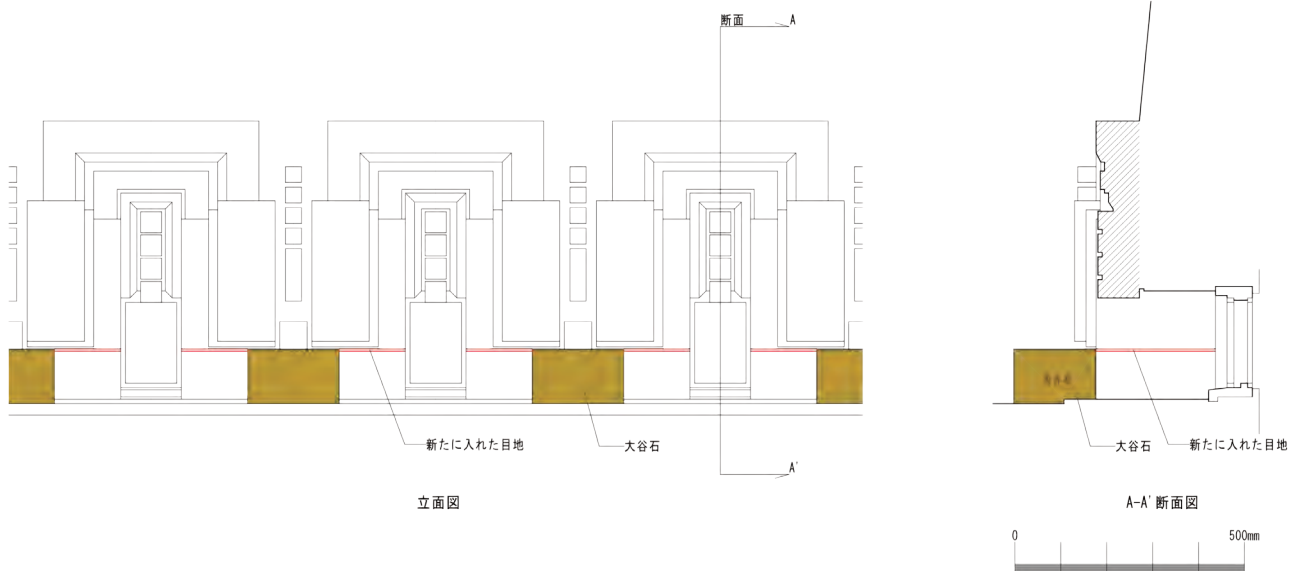


図 1-3：A タイプの擬石飾りに施された縁切り（赤線：縁切りされた目地） 提供：一般財団法人 建築研究協会



写真 1-2：A タイプ擬石飾り全 3 パーツの組み合わせ（赤のパーツが現場打設）写真提供：株式会社淀川製鋼所

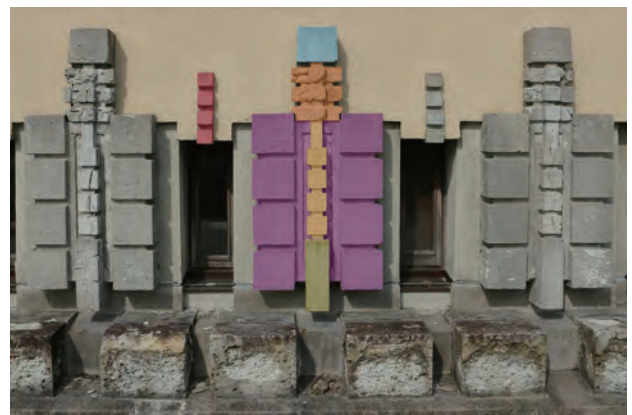


写真 1-4：B タイプ擬石飾り全 5 パーツの組み合わせ（色分け）写真提供：一般財団法人 建築研究協会



写真 1-3：擬石飾り上部に設置されたガルバリウムカラー鋼板水切底



写真 1-5：詳細意匠の修復が省略された B タイプの擬石飾り（赤矢印で示す箇所等）

国宝・重要文化財区分：重要文化財
指定年月日：昭和 49（1974）年 5 月 21 日
所在地：兵庫県芦屋市山手町 173 番地
所有者：株式会社淀川製鋼所

4.2. 旧志免鉱業所竪坑櫓

(1) 工法や仕様の再現の事例―補修材料の質感及び色合わせ【経緯】

旧志免鉱業所竪坑櫓（以下、竪坑櫓とする。）（写真 2-1）は、志免町を代表する景観を形成する建造物であり、産業遺産としても大きな価値を有している。建設から 75 年以上が経過した竪坑櫓では、構造躯体であるコンクリートの剥落や鉄筋の露出等著しい劣化・損傷が建造物全体で発生している。そのため、劣化・損傷部の補修を実施し、劣化・損傷の進行を抑制し、竪坑櫓の崩壊を防ぐことを目的とした保存修理工事が実施されている。平成 30 年（2018）9 月から令和 2 年（2020）10 月にかけて実施されている本工事では、修復箇所と既存部の質感や色味に大きな変化が生じた場合、景観的価値を大きく損なう恐れがあるため、特に配慮が求められた。



写真 2-1：旧志免鉱業所竪坑櫓修理工事前外観



写真 2-2：躯体洗浄作業
写真提供 公益財団法人文化財建造物保存技術協会

【概要】

本工事では、足場が組まれた段階で高圧洗浄処理を実施し（写真 2-2）、既存躯体の汚れ等を除去するとともに、現状の質感や色味を正確に把握する調査が実施された。この修復前に実施された洗浄処理は、世界平和記念聖堂で実施された保存修理工事の経験が活かされている。

劣化・損傷部の断面修復には、圧入工法と左官方法の 2 つの工法が用いられている。それぞれの工法で用いる主な修復材料は、圧入工法が無収縮グラウト材、左官工法が防錆剤入りポリマーセメントモルタル（以下、ポリマーセメントモルタルとする。）である。無収縮グラウト材は、9 品の中から既存の色に近いものが選択され、ポリマーセメントモルタル材は、顔料、白セメントを用いた現場調合の場合、色斑や性能低下の恐れがあるため、工場で調合されたポリマーセメントモルタルが準備された（写真 2-3）。（補修後に塗装により色合わせを行うことも考えられるが、これについては材料・技術の真実性に問題ありとして修理検討委員会で否定された。）

さらに、圧入工法では見た目の変化を抑えるため以下の工夫が行われた。当初の躯体コンクリートは打設の際に型枠を番線で締め付けて固定しているが、現代工法で打設した場合、通常セパレータを使うとφ 30mm のセパ穴（P コン痕）が躯体表面にあらわれることになる。そのため、当初と同様に今回の補



写真 2-3：調色された補修サンプル材の比較
写真提供 公益財団法人文化財建造物保存技術協会



写真 2-4：ミニコンが設置された補修箇所
写真提供 公益財団法人文化財建造物保存技術協会

修においても番線締めで型枠固定することも検討されたが、グラウト圧入の圧力（想定 41.4 k N/m²）に耐えられないと判断され、セパレータでの型枠固定が採用された。そのうえで少しでもセパ穴を目立たないようにするため、ミニコン（特殊仕様、既製品、躯体表面に現れるセパ穴径φ 17mm、被り厚 30mm 未満で使用（写真 2-4））やスペーサー付セパ引き金物（特注品、躯体表面に現れるセパ穴径φ 8mm、被り厚 30mm 以上で使用（写真 2-5））が用いられた。

さらに、せき板の割付等も可能な限り既存躯体に合わせる等、見え掛りの変化を抑える処置が取られている。また、補修の際には、鉦業施設であることを念頭に置き、当時の施工精度や品質を意識した補修を行うように指示が出されている。

【所見】

経年変化により躯体表面が汚損している場合が多いため、洗浄処理を施した上で修復方法を検討することが、修復による違和感を抑えることにもなり望ましい。さらに本事例では、ミニコンやスペーサー付セパ引き金物などの工具を用いて、打設等によって外観に生じる違和感を抑える配慮がなされている。

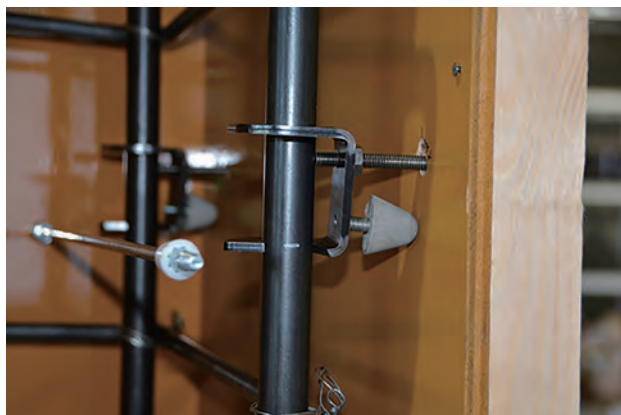


写真 2-5：試験体にスペーサー付セパ引き金物が設置された状況
写真提供 公益財団法人文化財建造物保存技術協会



写真 2-6：鉄筋の腐食状況
写真提供 公益財団法人文化財建造物保存技術協会

(2) 補修材料と工法の選択に関する事例

―断面修復と被り厚の付加

【経緯】

堅坑櫓の補修方針は、平成 25 年策定の保存活用計画で以下のように定められた。

「修理工事では、適切な補修により劣化の進行を抑制し、コンクリートを健全な状態に戻し、堅坑櫓の倒壊を防ぐことを目的とする。」

「修理後の活用は、既存のフェンス越しの見学とするため、大地震等に備えた補強は当面行わないこととする。」

修理工事着工後に躯体の断りを行ったところ主筋より内部のコンクリートは全般的に密実で健全であるという躯体の状態が明らかになり、内部コンクリートの断りの範囲を最小限とすることが建物を維持するために有効であることが確認された。（平成 31 年（2019）1 月の修理検討委員会）、これを受け前述の修理方針に加えて、「現状、建造物が保有する構造的な性能を極力保持することを優先的に考えて補修方法を再検討することが望ましい」ということが修理検討委員会で認識され、補修方法も見直されることになった。特に、断面修復方法と主筋、帯筋等の補修方法は、既存躯体が保持する構造的な性能を保存する方法が検討・実施された。



写真 2-7：写真⑦ 挿筋された補修範囲（挿筋を赤矢印で示す）
写真提供 公益財団法人文化財建造物保存技術協会

【概要】

変更前の主筋の補修方法は、個別の鉄筋断面が20%欠損かつ1サイズ下まで許容し、その値を下回る場合には取替える方針であった。見直し後は、コンクリートと鉄筋、双方の健全部を極力傷めずに修復するために、個別の鉄筋の腐食状態ではなく、柱及び梁の各面ごとの鉄筋断面積の合計値で20%減までは許容する方針となった（写真2-6）。

断面の計測は、ノギスを用いて最も細い箇所で計測を実施している。許容値を超えた場合でも鉄筋を切断して取替えることはなるべく避け、劣化した鉄筋を存置したまま新規鉄筋を脇に補足する添え筋工法を優先させている（写真2-7）。これは当初部材の保存とともに、先ほどの「現状の構造的な性能を極力保持する」という観点に則っている。添え筋する際の新規鉄筋は既存鉄筋の健全部と重ね継ぎ手をする要領で位置・長さを決め、重ね継ぎ手の長さは建築学会の建築工事標準仕様書（JASS5 鉄筋コンクリート工事）の基準に準拠し40d（φ25の柱主筋の場合は継手長さは $40 \times 25 = 1\text{m}$ ）とした。添え筋で新規鉄筋を補足できない場合（新しく鉄筋が入る余地が無い場合など）には、鉄筋が腐食し減肉した部分を切断しエンクローズ溶接により新規鉄筋に取替える方法が選択されている（写真2-8）。

また、柱脚や梁端部で添え筋を行う場合は、接合部にあと施工アンカーが設置された。一方のエンクローズ溶接では、施工後UT検査が実施され、欠陥部の有無が検査された。つづいて、帯筋の補修方法は、欠損した鉄筋を取り替える方法から、位置をずらして新規に鉄筋を追加する方法へと変更された。

さらに、被り厚が不足している箇所の断面補修の際には、次のように検討された。劣化の進行を抑えるためには、被り厚を増す必要があるが、JASS5で規定されている被り厚（外部40mm）を確保しようとする補修しない面との差が大きく外観に大きく響いてしまう。そこで見た目の変化を最小限にしつつ中性化を考慮した上で耐久性を確保できるよう、補修部の被り厚を設定した。具体的には鉄筋腐食については、建築学会の

指針で鉄筋位置まで中性化が進行した時点が劣化要因の強さを決める判断基準とされている。これを受け中性化残り（鉄筋被り厚さと中性化深さの差）が0mmで鉄筋腐食が開始すると仮定した。一方、文化財としての修理周期として50年を設定し、50年で中性化残り0mmとなる被り厚を各材料の中性化速度係数から算出し、これを補修箇所で必要な最低被り厚とした。最低被り厚さは圧入工法と左官工法の2つの工法で補修箇所の状態に合わせて設定され、雨掛りの補修箇所では圧入18mm、左官14mm、その他の補修箇所では圧入10mm、左官6mmとされている（写真2-9）。

【所見】

本事例では、建造物が保有する構造的な性能を極力保持することを優先的に考えた補修方法として、鉄筋の補修には、添え筋工法やエンクローズ溶接による取り替え工法が用いられた。被り厚が不足している箇所には、雨掛り箇所とその他の箇所で必要最低限の被り厚が設定され断面修復されている。このように、当初材料や当初の施工技術の保存を優先的に実施した事例として評価できる。

(3) 補修材料と工法の選択に関する事例―表面保護剤の選択

【経緯】

建設から75年以上が経過した竪坑櫓では、構造躯体であるコンクリートの剥落や鉄筋の露出等著しい劣化・損傷が発生している。そのため、劣化・損傷部の補修を実施し、劣化・損傷の進行を抑制し、竪坑櫓の崩壊を防ぐことを目的とした保存修理工事が実施された。ここでは、中性化が進んだ躯体の保存方法の検討過程を中心に紹介する。

【概要】

竪坑櫓全体で劣化・損傷が進んでいるため、劣化・損傷が顕在化していない部位（今回断面修復を行わない部位）も含めて保存処置が必要であると判断された。鉄筋発錆の要因となる水分の浸入を防ぎ、中性化進行の抑制を目的に表面保護



写真2-8:エンクローズ溶接された鉄筋（施工された鉄筋を赤矢印で示す）
写真提供 公益財団法人文化財建造物保存技術協会



写真2-9:被り厚が不足している箇所に増し打ち補修した状況（赤矢印は増した被り厚を示す）
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会

剤が選定された。

平成 26 年（2014）から 28 年（2016）に実施された調査工事では、塗布形防錆剤 1 種と表面含浸剤 3 種（けい酸塩系、亜硝酸リチウム、シラン系）を用いて現地試験を行い、白華を生じない組み合わせとして塗布型防錆剤とシラン・シロキサン系吸水防止剤の組み合わせが実施候補となった。

工事着手後に断面修復に用いる補修材料が決定したことを受け、実施に用いる表面保護剤の再検討を行った。そこでは先の「顕在化していない当初部分の鉄筋腐食・中性化を抑制する」という目的に加えて、次の 3 点が考慮された。

- ①塗布による色彩および質感等の外観変化
- ②補修材との相性（白華、変色を生じさせない）
- ③可逆性（塗布した剤が除去できる、または一定の経過で元の状態に戻る）

3 種類の表面保護剤を既存躯体に塗布し透水量試験を実施し、曝露試験（数ヶ月間）による外観変化も確認している。曝露試験は、既存躯体だけではなく、補修材料で制作された試験体への塗布でも行われた（写真 2-11）。表面保護剤として検討された 3 種類の概要は以下の通りである。

1. 液型水系疎水剤：無機系と有機系のハイブリットな透明塗料を用い表層と浸透層の両方で保護層を形成する。撥水性を備え外部から水が浸入するのを阻止するが、同時に一定の透湿性（水蒸気透過性）も有しコンクリート内部の水分の放出が阻止されることはない。（長所：塗布後 18 年経過した状態で撥水性を保持していた事例があり長期耐久性が期待できる。短所：表面の質感に多少の変化あり。可逆性の面で、塗膜除去のためには剥離剤の塗布が必要（足場が必要）。）試験結果：既存躯体、補修材いずれでも白華は生じなかった。
2. 表面含浸剤と塗布型防錆剤の組合せ（亜硝酸系浸透防錆剤＋ケイ酸塩系表面含浸剤）：浸透防錆剤は内部に浸透し、鉄筋の不動態被膜を形成する。ケイ酸塩系表面含浸剤は、

アルカリ性を付与するとともに、組織を緻密化する。（長所：外観変化がほぼなく、鉄筋表面に保護膜を形成し腐食を抑制する。短所：施工する材料間の反応で白華する可能性がある。表層の撥水効果の持続は 5～7 年程度と短い。）試験結果：既存躯体、補修材いずれも白華した（写真 2-10）。

3. 浸透性吸水防止剤と塗布型防錆剤の組合せ（亜硝酸系浸透防錆剤＋シラン・シロキサン系表面含浸剤）：浸透防錆剤は内部に浸透し、鉄筋の不動態被膜を形成する。シラン・シロキサン系表面含浸剤は、躯体表面に吸水防止層を形成する。（長所：外観変化がほぼない。耐久性は 15 年程度。短所：単価が高い。白華が起こり得る。）試験結果：補修材への塗布で、軽微な白華が発生した。

表面保護工法を比較した検討の結果、補修材の白華抑制に最も効果があり耐久性の高い 1 を採用した。（透水量試験結果には有意な差は認められなかった。程度の差はあるが可逆性は 3 つの工法すべてが有していると判断された。）

【所見】

中性化を抑制するために、3 種類の保護剤を検討し、15 年



写真 2-10：亜硝酸系浸透防錆剤＋ケイ酸塩系表面含浸剤を試験塗布後に発生した白華の状況

写真提供 公益財団法人文化財建造物保存技術協会



写真 2-11：3 種類の表面保護剤が塗布された補修材料で制作された試験体（左から 1 液型水系疎水剤、シラン・シロキサン系表面含浸剤＋亜硝酸系浸透防錆剤、ケイ酸塩系表面含浸剤＋亜硝酸系浸透防錆剤）写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会

以上の耐久性の実績があり、白華抑制効果のある保護剤が採用されることになったが、現在設定されている 50 年という修理サイクルを考慮すると、耐久性に不安が残る。そのため、修理竣工後中長期に渡り継続的に保護剤のモニタリングを実施し、適切な修理サイクルを改めて検討することが望ましい。

【建造物情報】

名称：旧志免鉱業所竪坑櫓

種別：近代 / 産業・交通・土木

時代：昭和

年代：昭和 18 年

西暦：1943 年

構造及び形式等：鉄筋コンクリート造、地上八階地下一階建、塔屋付

建築面積：270.71㎡

国宝・重要文化財区分：重要文化財

指定年月日：平成 21（2009）年 12 月 8 日

指定基準：（三）歴史的価値の高いもの

所在地：福岡県糟屋郡志免町大字志免

所有者：志免町

工事期間：平成 30 年（2018）9 月から令和 2 年（2020）10 月



写真 3-1：丸沼堰堤



写真 3-2：表面遮水壁の保護塗膜が剥離している状況
写真提供 東京電力ホールディングス株式会社

4.3. 丸沼堰堤

(1) 補修材料と工法の選択に関する事例

— 複数年度に渡る補修材料の検討

【経緯】

丸沼堰堤（写真 3-1）では、平成 13 年度（2001）にコンクリートの凍害劣化防止対策として、遮水壁表面に保護塗膜（ポリウレタン樹脂系）が施されていたが、塗膜背面へ雨水等が浸入したことが影響し、約 460㎡の塗膜が剥離した（写真 3-2）。さらに背面右岸上部の扶壁 2 箇所の既往補修箇所に顕著な凍害劣化が発生した（写真 3-3）。そこで、凍害劣化の拡大防止を目的とした補修工事を実施するため、複数年度に渡り現地にて補修工法・材料の性能等に関するモニタリングが実施された。



写真 3-3：凍結劣化が発生した扶壁（過去の表面補修が剥離）
写真提供 東京電力ホールディングス株式会社

【概要】

平成 30 年（2018）10 月から 12 月にかけて実施された本工事に備えて、遮水壁の既設保護塗膜の剥離原因の調査及び補修工法・材料の選定等のため、平成 25 年度（2013）から 29 年度（2017）にかけて現地にて補修工法・材料のモニタリングが実施された（写真 3-4）。

補修工法・材料の検討は以下の通りである。

既設保護塗膜の剥離原因を調査した結果、雨水等がダム天端部のクラックより浸入し、表面遮水壁内のクラックを経由して塗膜と遮水壁の境界部に至り、コンクリートを劣化させたことが主要因と推定された。これを踏まえ、剥離後の補修対応としては、あらたに保護塗膜を天端部に施工し防水を図ると



写真 3-4：試験施工した保護塗膜のモニタリング状況
写真提供 東京電力ホールディングス株式会社

ともに、遮水壁表面のクラックを充填することとした。

天端部の保護塗膜は、塗膜弾性防水剤のなかから、ポリウレタン樹脂系、エポキシ樹脂系、無機ガラス質系の3種類を現地に施工(写真3-4)するとともに室内で劣化促進試験等を行い、付着強度、耐久性等が比較された。この比較結果ならびに施工性・経済性等が考慮されエポキシ樹脂系のものが選定された。

クラック充填の工法選定にあたっては、表面遮水壁に発生しているクラックの性状(幅等)に適した方法が指向され、材料や注入方法の異なる3工法について現地で試験施工された。試験施工箇所からコアサンプリングした結果に基づき、最も深部まで充填された低粘度のエポキシ樹脂系補修材による充填工法が選定された。

なお、上記補修のほか、遮水壁表面のコンクリート保護として、シラン系の含浸保護剤の塗布も行うこととした。

施工内容は以下の通りである。

遮水壁と表面保護剤の境界への水の浸入路となっていた天端部は、既設表面保護材を除去し、コンクリート劣化箇所をポリマーセメントモルタルにより補修したうえで、エポキシ樹脂系の保護塗膜が塗布された(写真3-5)。遮水壁の補修は、剥離した保護塗膜を塗装した際のプライマーを除去清掃後、表面より低粘度のエポキシ樹脂系補修剤を注入し(写真3-6)、さらに表面にシラン系含浸系表面保護剤が塗布された(写真3-7)。

次に扶壁の補修は、凍害劣化した範囲を斫り(表面から150mm～200mm)、表面の洗浄を実施し(写真3-8)、斫った範囲に挿筋(写真3-9)、鉄筋組立、型枠設置後、コンクリートの部分打設が実施された。

【所見】

本工事では、破損原因並びに補修工法・材料の検討を複数年度に渡って実施し、選定が行われている。さらに、検討された工法・材料は、文化財建造物の保存修理工事に特化しておらず、一般建造物で実施されている補修方法の中から選定されているため、通常の補修を担当する作業員でも取り扱いやすく実績のある方法が用いられている。なお、今回実施した補修方法については、補修箇所の経年変化等の状況確認が行われる予定である。

【建造物情報】

名称：丸沼堰堤

種別：近代 / 産業・交通・土木

時代：昭和

年代：昭和6年

西暦：1931年

構造及び形式等：バットレス式鉄筋コンクリート造堰堤、堤長88.2m、堤高32.1m、高欄付、導水路・上流側コンクリート造擁壁及び下流側左岸石造擁壁附属

国宝・重要文化財区分：重要文化財

指定年月日：平成15(2003)年12月25日

指定基準：(二)技術的に優秀なもの

所在地：群馬県利根郡片品村大字東小川字根子地先

所有者：東京電力ホールディングス株式会社

修理工事：平成30年(2018)10月から同年12月



写真3-5：天端部に防水塗膜を塗布した状況
写真提供 東京電力ホールディングス株式会社



写真3-6：表面遮水壁の保護塗膜が剥離している状況
写真提供 東京電力ホールディングス株式会社



写真3-7：凍結劣化が発生した扶壁（過去の表面補修が剥離）
写真提供 東京電力ホールディングス株式会社



写真 3-8：劣化部を研り取り、表面洗浄後の状況
写真提供 東京電力ホールディングス株式会社



写真 3-9：挿筋後の状況
写真提供 東京電力ホールディングス株式会社

4.4. 旧美歎水源地水道施設

(1) 劣化・破損部に対する補修対策一仕様再現の判断基準

【経緯】

旧美歎水源地水道施設の制水井上屋は、鉄骨鉄網モルタル造（写真 4-1）で建設された、貴重な現存事例（写真 4-2）であるが、工法上、壁内部に空隙が生じやすく、結露や水の浸入により、鉄骨や鉄網が発錆し、壁の浮き、ひび割れ、剥離、脱落へ至る劣化・破損が見られた（写真 4-3）。修理方針が検討される中で、耐震性能は「復旧可能水準」を回復することが目的とされた。活用方法は、長時間上屋内部に滞在することを想定しないため、耐震補強は行わない判断となった。そのため、上屋の保存修理工事では、劣化・破損部の補修のみが実施された。

【概要】

平成 25 年（2013）から平成 30 年（2018）にかけて実施された本工事は、部分修理と定めたうえで、各建造物の意匠・構法を尊重し、本質的な変更を加えないことを前提として表 4-1、4-2 に記述された方針に沿って修理工事が実施された。表 4-1 では、経年変化によって健全でなくなった部位に関する修復方針の基準が記されている。

再用できない部材の取り換え・補修の材料及び工法は、当



写真 4-1：鉄骨鉄網モルタル造
出典 『重要文化財 旧美歎水源地水道施設 保存修理工事報告書』、p.87



写真 4-2：制水井上屋外観



写真 4-3：制水井 2 号上屋内壁劣化破損状況
出典 『重要文化財 旧美歎水源地水道施設 保存修理工事報告書』、p.95

初材に倣うことを原則としている。ただし、モルタルおよびコンクリートの配合比やセメント、骨材等の使用材料の産地や組成については、建築時に特に意図されたもの（今回の修理工事では、油性ペイントの材料と調合）を除き、当初に倣うのではなく、適正な強度、剛性および耐久性が優先されている（写真 4-4～4-7）。当初の躯体モルタルやコンクリートの配合については、材料分析や調合比を分析した結果、現工法と変わりはなく特に意図されたものではないと判断された。

さらに、建築当初の設計・施工上の問題によって生じた健全



写真 4-4～7：左①制水井 1 号上屋修理前の状況、左②躯体斫り、左③鋼材防錆処理・下地調整、左④モルタル断面修復
(出典 『重要文化財 旧美敷水源地下水道施設 保存修理工事報告書』、p.89)

表 4-1：修理方針（出典：『重要文化財旧美敷水源地下水道施設保存活用計画』、p.55。）

1	破損が軽微な部位については、保存のための手段を講じた上で現状を維持する。
2	剥離したモルタル片等のうち、意匠上重要な部材については再用する。
3	再用できない部材の取り換え・補修の材料及び工法は、当初材に倣うことを原則とする。
4	当初材と同種のものが入手困難な工業製品等については、下記のとおりとする。
ア	工業生産品のうち煉瓦やタイル等、現代でも当初と同様の製法で製造され入手可能なものについては、補足材を製作するなど極力当初材に倣った修復とする。
イ	工業生産品のうち鉄板や鋼材等については、当初材を再現した製品の入手が困難な場合は、現在入手可能な既製品の中から類似品を選んで使用する。意匠的に重要なものについては、当初と製造方法を変更して意匠を復元することも検討する。（金属部品の鋳造、鍛造から切削造への変更による形状復元等）
ウ	モルタルおよびコンクリートの配合比やセメント、骨材等の使用材料の産地や組成については、建築時に特に意図されたものを除き、当初に倣うのではなく、適正な強度、剛性および耐久性を優先する。
5	建物全体の破損が著しく、新規施工部分が広範囲におよぶ恐れがある場合は、古材の保存方法について別途検討する。

表 4-2：保存管理上問題のある部位の修復基準及び対策（出典：『重要文化財旧美敷水源地下水道施設保存活用計画』、p.55。）

1	構造補強が必要になった場合は、必要最小限かつ可逆性のある構法で、意匠的価値に影響しないものとする。
2	耐久性向上等のために工法・仕様の変更が必要な場合は、意匠的価値に影響しないものとする。

表 4-3：制水井上屋の躯体補修工事に関する仕様比較表・修理方針の基準と検討（参照：『重要文化財旧美敷水源地下水道施設保存修理工事報告書』 p.45。）

区分	在来の仕様	修理の仕様		仕様の検討	
		取替	再用	修理方針の基準	検討の概要
鉄骨（材料）	山形鋼、平鋼等	在来に倣う	残置、壁解体による露出箇所のみ防錆処理	表 1-1 表 1-3	在来形状と同等の現行圧延鋼を使用
鉄骨（工法）	リベット接合	溶接接合	残置	表 1-1 表 1-4（イ） 表 1-4（ウ） 表 2-2	壁の解体が部分的であるため、リベットが施工できない箇所が多く、打撃により未解体の壁が損傷する恐れがあり、意匠的価値に影響しないことから、リベットは採用せず、部分溶け込みによる接合とする。
壁	モルタル・コンクリート	断面修復（リフリート工法）	残置、ひび割れ補修	表 1-1 表 1-4（ウ）	当初の躯体モルタルやコンクリートの配合は特に意図されたものではないと考え、当初躯体を出来る限り残して補修を行い、さらに耐久性向上のための工法を採用。
壁（ラス）	菱形鉄製ラス	亀甲 SUS 製ラス	残置	表 1-1 表 1-4（イ）	菱形製品入手困難により類似品（亀甲型）を使用。
壁仕上げ	当初ノロがけ、後補リシン	仕上げ	再用なし	表 1-1 表 2-2	未解体部位の保存（中性化進行の抑制）及び補修箇所の段差解消のため、防錆ペーストを外部全体に塗布。仕上げは耐久性向上のため、ノロがけの色に近い吸水防止性能をもつ塗装。
屋根仕上げ	ノロがけ、制水井 5 号上屋のみルーフィング	仕上げ	再用なし	表 1-1 表 2-2	同上、屋根であるため防水を行う。5 号制水井上屋では在来の仕様が破損の原因となっていたため、制水井 1～4 号上屋と同様の仕様とする。

でない部位のうち、保存管理上問題のある部位については、表 4-2 の基準に沿って個別に手法を検討し、対策が講じられた。

制水井上屋の躯体補修工事に関する仕様比較表・修理方針の基準と検討については表 4-3 に示す。

制水井 2 号上屋は、他の上屋に比べて特に破損が著しいため、調査工事当初より保存の可否を含め修理方法について懸念が示されていた。そのため、修理工事は破損が比較的少ない制水井 3 号上屋より着手し、4 号、1 号、5 号の順に修理計画の精査・見直しをしたうえで各棟の工事が実施された。工事を進めた結果、破損部以外は鉄材を含む躯体が健全であったことが確認できたため、顕著な破損が見られた制水井 2 号上屋もその他の棟と同様の補修が行われた。

具体的な修理工法としては、現行の鉄筋コンクリート造の改修工事で行われている断面修復工法（リフリート工法相当）が採用された（制水井上屋腰壁：型枠を設置し無収縮グラウトコンクリートを流し込み、制水井上屋腰壁以外：ポリマーセメントモルタルを鑊で充填）。着手にあたり、破損部の補修は、まず壁の浮きの大小や変形の有無を確認し、壁の除去範囲が決定された。次に浮きや変形の大きい壁を部分的に除去した後、鋼材の腐食状況を確認したうえで、壁の除去範囲を見直しながら作業が進められた。その際、予想以上に当初材が失われる可能性がある判断された場合は、修理方針を見直すこととしていたが、結果として全棟部分修理で終えている。ひび割れ部や壁の浮きが軽微な箇所は、セメントスラリー注入を行い、壁面の空隙に充填して鋼材の防錆と躯体の一体化が図られた。ひび割れ補修（超微粒子セメント系ポリマーセメントを低圧注入）は、幅 0.2mm 以上かつひび割れ内部がエフロレッセンスで詰まっていない箇所が施工範囲とされた。

【所見】

本工事では、躯体の劣化・破損状態に合わせた修理工事が実施された。壁部の断面修復では、当初の躯体モルタルやコンクリートの配合について、材料分析や調合比を分析した結果、現工法と変わりはなく特に意図されたものではないと判断したうえで、当初躯体を出来る限り残すため部分修理にとどめ、建物全体として保存するために耐久性向上を考慮した材料と工法を採用している。破損部分が広範囲にわたり、最終的にオリジナル材料が失われてしまう状況が見込まれる場合は、表 4-1 の 5 に記されているように、古材の保存方法を別途検討するという条件を設定したうえで慎重に工事が行われた。

【建造物情報】

名称：旧美敷水源地道施設

種別：近代 / 産業・交通・土木

時代：大正～昭和

構造形式：煉瓦造及びコンクリート造

国宝・重要文化財区分：重要文化財

指定年月日：平成 19（2007）年 6 月 18 日

指定基準：（三）歴史的価値の高いもの

所在地：鳥取県鳥取市国府町美敷、上町

所有者：鳥取市

4.5. 世界平和記念聖堂

（1）補修材料と工法の選択に関する事例

—ひび割れ補修工法の選択

【経緯】

世界平和記念聖堂（以下、聖堂とする。）では（写真 5-1）、これまでに大規模な外壁修理工事が 2 度（昭和 58 年（1983）、平成 13 年（2001））実施されてきたが、各部材の劣化・損傷が進行してきたため、文化財指定後、初めての保存修理工事が実施されることになった。工事内容を図 5-1 に示す。

聖堂壁面で発生しているひび割れは、コンクリートの乾燥収縮によるものが大部分であり、その他には窓枠や煉瓦壁との取り合い部分などでの変形によるひび割れや、過去の補修箇所が再度ひび割れたものが含まれている。そのため、ひび割れの状態等に合わせて補修方法が選択された。

【概要】

平成 28 年（2016）11 月から令和元年（2019）9 月にかけて実施されている本工事では、ひび割れの進行抑制と美観の保持を目的に、ひび割れ補修工事が実施された。補修に用いる工法は、一般のコンクリート造建造物のひび割れ補修でも実績がある工法を選択し、かつ文化財建造物としての可逆性、同一性（同種同材料）に配慮した材料を用いた。具体的には、大部分のひび割れ補修で低圧注入工法を採用し、材料はセメントスラリーを用いた。ただし、内壁側でひび割れ幅が大きく強度が求められる箇所ではエポキシ樹脂を、止水効果が求められる箇所かつ仕上げによって隠れる部分では U カットシール充填工法を用いるなど、部分的には補修箇所や目的によって工法や材料が使い分けられた（表 5-1）。

当初、内壁のひび割れ補修は、ひび割れ周囲の仕上げ材を研って（溝掘り）、直接下地や躯体に注入する予定だったが、仕上げ材の撤去の有無による充填具合の差がほとんど見られなかったため、仕上げ材を保持したまま補修が実施された。聖堂では二重壁（写真 5-2）となっており、内側のコンクリート躯体の外側にモルタル煉瓦が積まれていることや、ひび割れ深さが比較的浅かったことにより上記の工法が選択された。一方で屋根銅板下のスラブではひび割れ幅が大きく、漏水対策にも配慮してひび割れを完全に塞ぐことができる U カットシール充填工法が選択された。なお、同工法は既存部材をひび割れに沿って切削する必要があること、材料の同一性が失われることから外部では屋根スラブの補修に限って採用された。

本工事では、主に低圧注入工法が用いられたが、ひび割れ幅ごとに補修に用いる材料や工法が異なっている。ひび割れ幅 1.0mm 以上の補修には、強度を優先してエポキシ樹脂が注入され、0.2mm 以上 1.0mm 未満の補修にはポリマーセメントス

ラリーが注入されている（表 5-2）。さらに、内陣天井のラスモルタルでは、補修後も内部の鉄筋に沿ってひび割れが発生する可能性が高く、仕上げにより隠れることから補修強度や追従性、施工性の異なる 3 つの工法を採用し、今後の経過をみることにした。（写真 5-3 ～ 5-7）。なお、エポキシ樹脂や樹脂モルタルを使用した過去の補修跡が、経年により変色して周囲との色差が生じていたため、本工事では紫外線劣化の無い内壁など紫外線劣化の少ない部位に限定的に使用された。

【所見】

ひび割れの進行抑制と美観を保持することを目的としたひび割れ補修方法として、様々な材料や工法が使い分けられているため、経過観察も含め参考にできる点が多い事例である。

(2) 補修材料と工法の選択に関する事例

—補修材料の質感及び色合わせ

【経緯】

聖堂で発生しているコンクリートの欠損や剥離は、鉄筋腐食が大きな要因であると考えられている。欠損や剥離が発生している箇所は、被り厚が薄い箇所、柱梁の隅角部、コンクリート打ち継ぎ部分、過去の補修箇所等である。その他には、建設当初の施工不良が原因と考えられる欠損や剥離などが一部見られた。聖堂は、打放し面が仕上げ面となる場所もあるため、意匠的な価値が損なわれないよう、既存躯体の質感及び色合いに倣い断面修復が実施された。

【概要】

コンクリート欠損・剥離部の補修には、左官工法と圧入工法の 2 つの工法が用いられた。2 つの工法は補修箇所の深さが 30mm 未満の場合は左官工法、それ以上の場合は圧入工法が選択された。各工法で使用された材料は表の通りである。（表 5-3）

左官工法は、ポリマーセメントモルタル充填工法が用いられ、補修箇所の断面寸法が、被り厚と同等か、それ以下の小面積

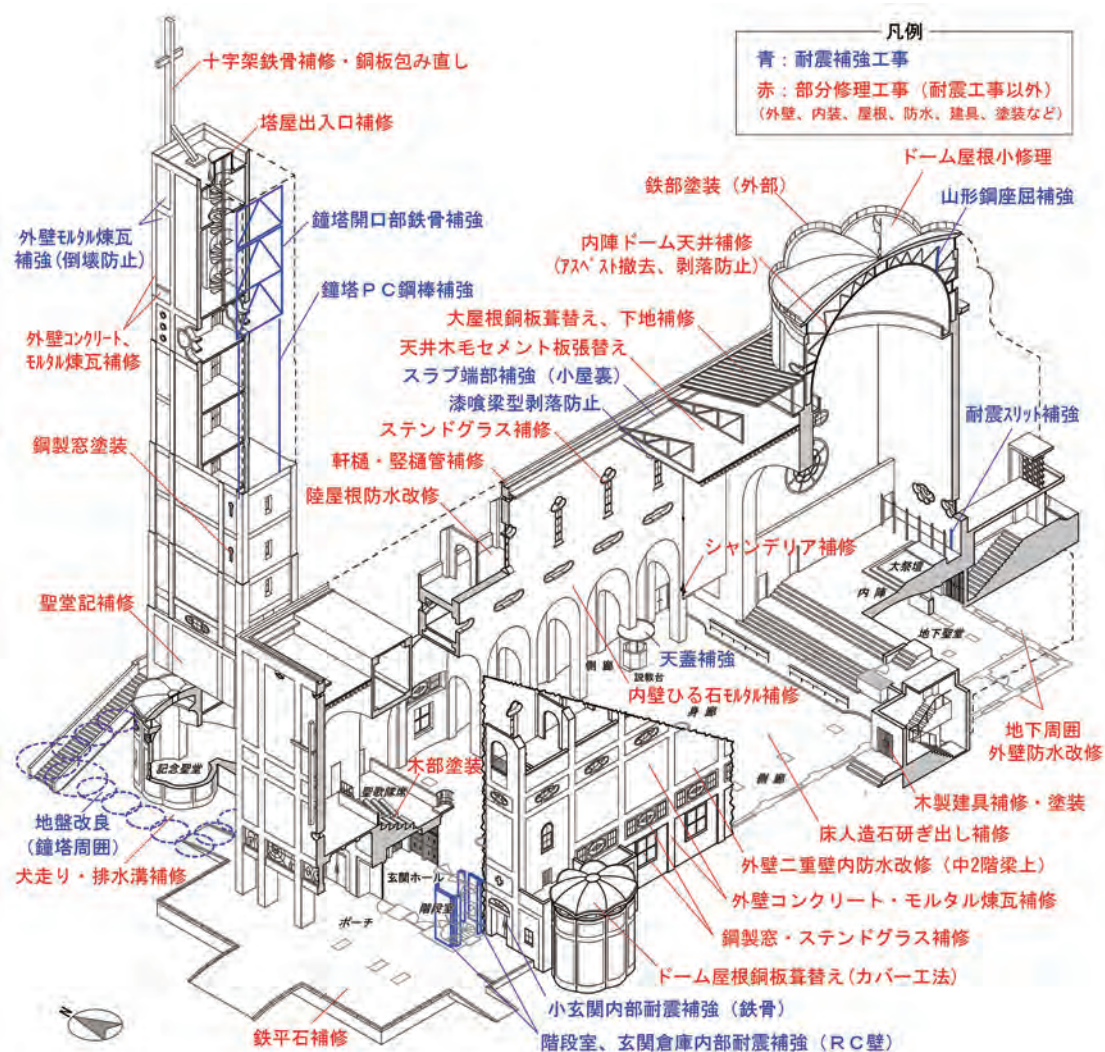


図 5-1：工事内容 聖堂アイソメ図 図提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会

の補修に採用された。

左官工法の作業手順と内容は表 5-4 にまとめる。在来のコンクリートの色合いは黄色味が強い箇所があり、周囲と調和するように調色が行なわれた。調色方法は、あらかじめ補修材に着色剤を混入する方法と補修後に周囲と調和するようコンクリート美装剤を塗布する方法の 2 つの方法が用いられた（写真 5-8）。聖堂のプレキャストコンクリートやモルタル煉瓦の補修には、骨材（砂）の種類、量、大きさなどを調整しながら質感が合わせられている（写真 5-9、5-10）。

左官工法実施後、以下の課題が残った。断面修復剤に含有されている骨材は肉眼では確認できないほど小さいため、既存のコンクリート面と質感が異なる。断面修復材にはエマルジョン樹脂が調合されているため、鏝撫するほど色が濃くなる傾向があり、色合わせが難しい。また、補修後に白華した場合、洗浄後に再調色が必要になる。

つづいて圧入工法は、補修箇所の断面寸法が、被り厚以上の比較的大面積の補修部に対して用いられた（表 5-5）。

本工事では、流し込み工法も有力な工法として実施検討されてきたが、充填不良、割れ、脱型後に木目が十分に残らないなどの問題が生じ、圧入工法へと工法の変更が行われた。圧入工法は、型枠のせき板は既存の板目に倣い設置し、コンクリート表面に板目が残るよう杉板が用いられた（写真 5-11）。また、P コン跡をコンクリート面に残さないように、セパレーターとフォームタイを使用せず、可能な限り単管やパイプサポートで外部より型枠を固定させ、必要に応じてコンクリートビスで補強された（写真 5-12）。

圧入工法施工後、以下の課題が残った（写真 5-13）。既存コンクリート面に凹凸があり、型枠と既存コンクリート面にわずかな隙間が生じ、モルタルが漏洩することがあった。また、斫り縁周辺に既存コンクリート面との段差が生じてしまうことがある。型枠の隙間からモルタルの漏洩を避けるため、無収縮モルタルの流し込みが行われたが、一部に充填不良が生じてしまった。また、圧入工法の場合は、補修箇所内に圧入口などが残ってしまい、処理が必要になる。



写真 5-1：世界平和記念聖堂 正面外観



写真 5-2：聖堂二重壁部分（外壁モルタル煉瓦を一部外した状況）
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会

表 5-1：ひび割れ補修工法の採用・利用および使用範囲

工法（大別）	工法（小別）	採用理由	使用範囲
注入工法	低圧注入工法	ボンドシリンダーを用いて、低圧・低速で連続注入が可能であり、ひび割れ深層部までの注入が期待できる	構造体の補修など、大半に使用。
	超微粒子セメント注入工法	シーリングガンを用いて、ひび割れ表層部へ限定的に注入が可能であり、施工が容易で、補修痕も目立たない。ただし、表層部への限定的な注入になるため、仕上層が厚い場合や補修による部材強化を期待する場合には不向き。	聖堂部位：内陣天井ラスモルタル補修。
充填工法	U カットシール充填工法	充填箇所をカッターで U 字型にカットし、シーリング材を充填。斫り作業により補修痕が目立つため、仕上げや塗装により隠蔽できる箇所に採用。	止水効果を期待する箇所や動きのある箇所。

表 5-2：注入工法の補修区分

補修区分	実施仕様	備考
ひび割れ 0.2mm 未満	補修なし	
ひび割れ 0.2mm 以上 0.5mm 未満	スラリー注入（灰色）	仕上げ撤去なし
ひび割れ 0.5mm 以上 1.0mm 未満	スラリー注入 + 表面セメント擦り込み	仕上げ撤去なし
ひび割れ 1.0mm 以上	エポキシ樹脂注入 + 表面セメント擦り込み	一部仕上げを撤去して注入、注入後仕上げを復旧



写真 5-3：エポキシ樹脂低圧注入工法（内陣天井部施工状況）
写真提供 清水建設株式会社広島支店



写真 5-5：Uカットシール充填工法（内陣天井部施工状況）
写真提供 清水建設株式会社広島支店



写真 5-6：セメントスラリー低圧注入工法（外壁部施工状況）
写真提供 清水建設株式会社広島支店



写真 5-4：超微粒子セメント注入工法（内陣天井部施工状況）
写真提供 清水建設株式会社広島支店



写真 5-7：セメントスラリー低圧注入工法（内壁部施工状況）
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会

表 5-3：補修材料名等

	補修材料	材料名（会社名）
左官工法	断面修復材：ポリマーセメント系モルタル	マスターエマコ S990（BASF ジャパン（株））
	セメント系鉄筋防錆材	マスターエマコ S200（BASF ジャパン（株））
	顔料：セメント・プラスター着色剤	マイン茶、山吹
	無機質系コンクリート保護美装用塗料	エレホン #400 スーパー（エレホン化成工業（株））
圧入工法	無収縮モルタル	マスターフロー 870 グラウト（BASF ジャパン（株））
	型枠材	表面を目荒らした杉板

表 5-4：左官工法作業の手順と内容

作業名	作業内容
1 目視・打診調査	テストハンマー打診などによる劣化部の調査とマーキング
2 劣化部研り	電動ピック、エアピックで脆弱部を研る
3 鉄筋錆止め	ディスクサンダー、ワイヤーブラシで鉄筋の錆をケレンし、清掃後防錆剤を塗布
4 調色①（選択）	事前に補修材に着色剤を混入する。
5 断面修復	鍔を用いて補修剤を充填。仕上げ面に定規を用いて型板の板継目を再現。表面仕上げは、木鍔、刷毛引きなどにより周囲と馴染ませる。
6 調色②（選択）	コンクリート保護美装剤を塗布し、刷毛引きやスポンジを用いて周囲と馴染ませる。

表 5-5：圧入工法作業の手順と内容

作業名	作業内容
1～3 は、左官工法と同じ	
4 型枠設置	研り部分に型枠を取り付け、注入時に型枠の外れ、はらみなどが無いように堅固に組み立てて、外部足場に緊結したパイプサポートなどで固定。
5 断面補修	無収縮モルタルを圧入し、養生後、脱型。



写真 5-8：コンクリート補修部を美装材で措置している状況
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会



写真 5-9：プレキャストコンクリート補修状況
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会



写真 5-10：モルタル煉瓦補修状況
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会



写真 5-11：表面目荒らし（浮造り）試験施工
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会



写真 5-12：圧入工法による施工状況
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会



写真 5-13：圧入工法型枠撤去後の状況
写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会

【所見】

本事例で実施された調色は、2種類の手法が用いられているため経過観察事例として、今後の参考になる。さらに、仕上げ面の復旧に木鋳や刷毛等を用いて既存の仕上げ面と可能な限り馴染ませる処理工程が組み込まれているため、その効果についても観察の対象と言える。

(3) 構造補強の事例—耐震スリットの設置

【経緯】

聖堂では、平成 25、26 年度（2013、2014）に実施された耐震診断の結果、鐘塔と聖堂それぞれに耐震補強が必要と診断されたため、表 5-6 の耐震補強が実施された。本工事では、重要文化財建造物の中で、最初の導入事例となった耐震スリット補強が実施されているため、その導入経緯や考え方について紹介する。

【概要】

耐震スリット補強が導入された聖堂は、西側 1 階がピロティとなっているため壁量が少なく、東側の内陣部は壁量が多いという特徴を持ち、建物の偏心が大きな問題となっていた。そこで、壁量が不足している西側に対しては、階段室、玄関倉庫、小玄関に耐震補強を実施した（写真 5-14、5-15、5-16）。階段室および玄関倉庫では、壁や床の一部を解体し、煉瓦壁内部

の躯体に RC 造の壁を増し打ち補強している。小玄関に対しては、鉄骨補強部材を新設する補強方法が取られ、壁量の不足が補われた。一方東側では、東面内陣部壁面および準備室壁面に計 6 箇所の耐震スリットを設けて剛性バランスが改善された（写真 5-17、5-18）。一般的に耐震スリットを設置する目的は、袖壁、垂れ壁、腰壁などが地震時に柱や梁に悪影響を与え破損することを防ぐためであり、応力が集中する柱際、梁上、梁下に設ける緩衝材である。ただし、今回の工事では、建物の偏心を改善させるために壁量を落とし、建造物全体の剛性バランスを保つために必要な処置として導入されている。耐震補強方法検討段階では、西側に大規模な耐震補強を実施し、剛性バランスを保つ案も検討されたが、建物の意匠性を大きく損なう恐れがあったため、意匠上の変化を抑えつつ、建物の偏心を改善できる耐震スリット設置案が採用された。

【所見】

建物の偏心を解消させるため、従来の付加する補強を実施するだけではなく、耐震スリットを設けて削除する補強が実施された。この耐震スリットは、健全な躯体の一部を取り除く工法となるため、導入に当たっては意匠性、構造躯体・材料の価値等、文化財建造物としての慎重な議論が求められた。

【建造物情報】

名称：世界平和記念聖堂

種別：近代 / 宗教

時代：昭和

年代：昭和 29 年

西暦：1954 年

構造及び形式等：三廊式教会堂、鉄筋コンクリート造、三階建、地下一階、鐘楼付、銅板葺、附・正門一基

建築面積：1,227.67㎡

国宝・重要文化財区分：重要文化財

指定年月日：平成 18 年（2006）7 月 5 日

指定基準：（一）意匠的に優秀なもの

所在地：広島県広島市中区幟町 4 番 29 号

所有者：カトリック広島司教区

工事期間：平成 28 年（2016）11 月から令和元年（2019）9 月



写真 5-14：階段室の RC 壁補強

写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会



写真 5-15：玄関倉庫の RC 壁配筋完了写真

写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会

表 5-6：主な耐震補強工事

	耐震補強の内容
鐘塔	①地盤改良（鐘塔周囲）、②開口部鉄骨補強、③ PC 鋼棒補強、④外壁モルタル煉瓦補強（倒壊防止）
聖堂	①階段室、玄関倉庫内部耐震補強（RC 壁）、②小玄関内部耐震補強（鉄骨）、③天蓋補強、④スラブ端部補強（小屋裏）、⑤漆喰梁型剥落防止、⑥山形鋼座屈補強、⑦耐震スリット補強



写真 5-16：小玄関の鉄骨補強

写真提供 公益財団法人 文化財建造物保存技術協会



写真 5-17：準備室内に設置された耐震スリット（赤矢印の位置）



写真 5-18：聖堂大祭壇に設置された耐震スリット（スリット部をモルタル下塗りした状況、スリット部分は最終的に仕上げ処理され表面には現れない）

4.6 広島平和記念資料館

(1) 工法や仕様の再現の事例—工法の再現

【経緯】

広島平和記念資料館（以下、資料館とする。）（写真 6-1）は、予算不足により内外装の仕上げや照明は未完成のまま、昭和 30 年（1955）に開館した建造物である。

その後、未完成部分（主に内装や設備）の整備が順次行われたが、当初設計を踏襲したものではなかったため、平成 2 年（1990）に当初設計を担当した丹下健三により再び大規模な改修工事を実施した。改修工事では、設計者の強い希望によりコンクリート面の後補仕上げ材が剥がされ、当初のコンクリート打放し仕上げを再現したモノシック工法という本実型枠の木目を転写したポリマーセメント仕上げ（以下、擬似打放し仕上げとする。）が施された。平成 18 年（2006）には、平成 2 年（1990）に施工された擬似打放し仕上げに対して上塗り補修が実施されている（写真 6-2、6-3）。

平成 19 年（2007）1 月には、「広島平和記念資料館更新計画」が作成され、建物の状態に関して以下の記述が見られる。

「外観上及び構造耐力上問題となる亀裂は認められないが、コンクリートの中性化は鉄筋の位置まで達している部分があると考えられる。また、鉄筋コンクリート造の建物に使用されるコンクリートの標準設計強度は、現行で $210\text{kg}/\text{cm}^2$ とされているが、本館は建築当時の標準設計強度の $180\text{kg}/\text{cm}^2$ で設計されているため強度面に課題がある。（一部筆者加筆）」

そこで、今回の保存修理工事では、建物の免震化を実施し、劣化・破損している躯体コンクリートの補修が行われた。躯体コンクリートを補修するにあたり擬似打放し仕上げを撤去する必要性が生じたため、躯体補修後、擬似打放し仕上げの復旧が行われた。ここでは、擬似打放し仕上げの復旧について紹介する。

【概要】

擬似打放し仕上げの撤去（写真 6-4）及び復旧は表 6-1 の手順で実施された（聞き取り調査より）。なお、復旧工事は平成 2 年（1990）に擬似打放し仕上げを施工した業者が再び担当し、若手職人へ技術継承が行われた。

擬似打放し仕上げは、仕上げ材のポリマーセメントに木目跡を付けることが最大の目的であり、立体的に木目模様が加工されたシートをポリマーセメント表面に貼り付け、木目模様を転写する工法である。シートの幅はおよそ 97mm 、シートの木目パターンはおよそ 800mm ごとの繰り返しであり（写真 6-5）、取り外したシートは水洗いすることで 3 回程度使い回しが可能である。仕上げ面の色味は複数のパターンで検討されたが、シートを剥がす日数や塗りつけた季節によって色味に変化が生じるため、色味が大きく異なる場合は、補色処理が実施された。

【所見】

今回撤去された仕上げ材は、竣工時に施工されたものではなかったことから、当初躯体が優先される形となったが、竣工時に施工されていれば、異なる補修方法や保存措置が取られていた可能性も十分に考えられる。さらに、平成2年（1990）の擬似打放し仕上げ施工時には、丹下健三から何らかの指示が与えられたことを考えれば、材料保存の観点から見ると非常に難しい選択であった。

ただし、この仕上げ方法は資料館でしか実施されていない施工技術であるため、技術の保存・継承を考えると必要な措置であったとも言える。

(2) 補修材料と工法の選択に関する事例—必要最小限の補修

【経緯】

本修理工事では、当初躯体の保存が優先されたため、躯体表面の仕上げ材等を撤去し、劣化・破損調査が実施された。調査の結果、状態がそれぞれ異なる劣化・破損、施工不良等が見つかり、劣化・破損等の位置や状態に合わせた補修方法が選択された。

【概要】

断面修復方法は、コンクリートの劣化・破損状態を4段階に分類し、状態ごとに必要最小限の補修方法が取られた。劣化・破損の状態は以下の通りである。

- ①耐震性に問題があると判断された劣化・破損・施工不良箇所
- ②鉄筋の一部が落下しているもの
- ③鉄筋以外の部材の一部が落下しているもの
- ④鉄筋の一部が見えているもの

擬似打放し仕上げが施される範囲で劣化・破損が生じた場合には、劣化・破損等が大規模な場合、コンクリート打設や注入口を設けてグラウト材の充填（写真6-6）が実施され、部分的な劣化・破損であれば、左官仕上げで埋める処理が実施された。

流し込みによる打ち直しを実施した場合、注入口付近は圧が十分にかからずに充填不良を起こす可能性があり、注入口にアゴを設置し、型枠撤去後にアゴ部分を落とす方法が取られている。一部ポンプによる圧入も設置しているが、打ち直す体積も小さいため、圧入力により型枠が破損する恐れがあったため、ポンプによる圧入は最小限に留められた。また、梁下端で鉄筋が現れている部分は、型枠を設置しグラウト材を注入する方法で対応された。さらに、僅かな鉄筋の露出程度の劣化・破損で、仕上げ材によって補修箇所が隠れる場合は、防錆剤のみの処理で補修を終わらせている箇所がある（写真6-7）。

防錆剤を塗布する範囲は基本的には見えがかり部分のみに留めているが、構造的な影響が大きいと判断された部分では、斫り込みリフリース工法で用いる防錆剤（DS-400：太平洋テクノ株式会社）が使用されている。



写真 6-1：広島平和記念資料館外観写真



写真 6-3：擬似打放し仕上げ面の劣化・破損状況



写真 6-2：擬似打放し仕上げ面（平成18年（2006）に実施された補修後の状況）



写真 6-4：仕上げ材の除去（構造躯体と仕上げ材を確認できる）



写真 6-5：補修後の疑似打放し仕上げ



写真 6-7：仕上げ材によって補修箇所が隠れる部分では、補修範囲が明確に示せる仕上げ処理となっている。

表 6-1：疑似打放し仕上げの撤去及び復旧工程

撤去	1	平ノミで仕上げ部分のみを斫り取る
	2	躯体表面に残っている仕上げをサンダーで除去
	3	躯体表面を低圧洗浄
復旧	4	防錆剤を全体に塗布（2 回）
	5	シーラーを塗布（1 回）
	6	500mm ピッチでピンを打ち込む（ピンネット工法）
	7	躯体面へポリマーセメントモルタルを塗り付け
	8	木目シートをペースト表面に当てる
	9	乾燥後、シートを外す
	10	トップコートを塗布（1 回）



写真 6-8：鋼材と既存躯体との間にグラウト材を充填した状況

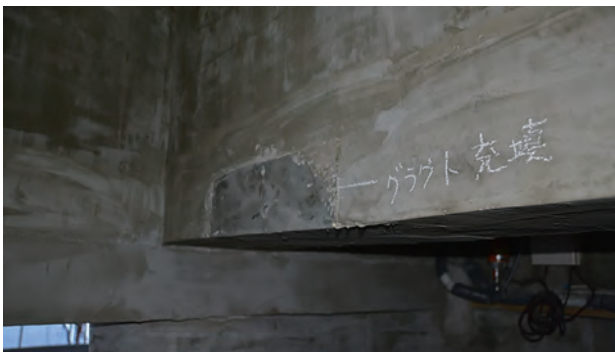


写真 6-6：グラウト材充填後の状況



写真 6-9：取り外された四連基礎の別置状況

表 6-2：各構造補強案の特徴

案	補強名	位置		主な補強方法
第 1 案	鉄骨ブレース補強	上部架構	2 階	RC 耐震壁の増し打ちと増設 (t=200、Fc24)
			1 階	大梁炭素繊維巻き補強、構造スリット
		下部架構		枠付き鉄骨ブレース
第 2 案	RC 打ち直し補強	上部架構	2 階	地中梁の増し打ち
			1 階	柱・大梁・地中梁を解体した上で、新たな配筋を行い、既存と同断面でコンクリートを打ち直す (Fc30)
		下部架構		
第 3 案	制震補強	上部架構	2 階	RC 耐震壁の増し打ちと増設 (t=200、Fc24)
			1 階	大梁炭素繊維巻き補強、構造スリット
		下部架構		地中梁の増し打ち、制震ダンパーの設置
第 4 案	免震補強	上部架構	2 階	RC 耐震壁の増設、炭素繊維補強（展示室およびギャラリー床）、構造スリット
			1 階	スラブの新設
		下部架構		地中梁の増し打ち、錫プラグ入り積層ゴム 4 基、天然ゴム系積層ゴム 8 基、転がり支承 8 基、粘性マスダンパー 8 基

表 6-3：各構造補強の検討項目

		第1案 鉄骨ブレース補強	第2案 RC 打ち直し補強	第3案 制震補強	第4案 免震補強
歴史性	材料	○	×	○	◎
		2 階：RC 壁補強 1 階（ピロティ）：仮設鉄骨ブレース 当初躯体は保存	柱・大梁打ち直し当初の躯体は失われる。 表面の型枠痕跡も失われる	2 階：RC 壁補強 1 階（ピロティ）：仮設制震装置 当初躯体は保存	2 階：RC 壁 1 階：補強なし 上部補強は最小限当初躯体は保存
	設計 意図	△	△	△	△
		設計意図のうち、ピロティの衣装が損なわれる	戦後期の RC 造の構法が失われる	設計意図のうち、ピロティの意匠性が損なわれる	設計意図のうち、ピロティを実現させた構造設計の理念が損なわれる
意匠性	外観	×	◎	×	◎
		1 階（ピロティ）に鉄骨部材が露出するため、影響大	外観は変化なし	1 階（ピロティ）に鉄骨部材が露出するため、影響大	外観は変化なし
	内観	○	◎	○	◎
		内部に影響の少ない範囲で補強可能	他案に比べて本体部で耐力向上が図れる	内部に影響の少ない範囲で補強可能	他案に比べて地震力が低減されるため、補強は最小限
	敷地 その他	×	◎	×	△
		公園としての景観に影響あり。一体性・ピロティの開放感が損なわれる	特になし	公園としての景観に影響あり。一体性・ピロティの開放感が損なわれる	地盤面・渡り廊下接続部に Exp.J が 必要
可逆性			×	○	○
			補強材は仮設のため、建物を解体せずに外すことが可能	補強材は仮設のため、建物を解体せずに外すことが可能	地上部の付加材は建物を解体せずに外すことが可能
安全性			△	△	◎
			地震時に倒壊しないが損傷する	地震時に倒壊しないが損傷する	地震時の損傷はほとんどない
総合評価			×	×	○
			意匠性に問題あり	歴史性に問題あり	意匠性・歴史性への影響は他案に比べて少ない。安全性を確保できる

表 6-4：記録保存

1	地盤掘削後、基礎解体前・後、補強後の状態を測量し、記録する。
2	配筋方法など、当時の施工技術に関する調査を実施し、記録する。
3	撤去される部材のコンクリートおよび鉄筋の一部を切り取り保管する。 四連基礎からの材料サンプル採取。

さらに、広範囲に渡り劣化・破損し、構造的にも厚み等が不足していたトイレ部分の躯体では、打ち直さず、当初スラブを残し、その下に新たな鋼材を設置し、既存躯体との間をグラウト材で充填させる方法が採られた（写真 6-8）。

【所見】

資料館では、状態の異なる劣化・破損が確認され、それぞれの状態や位置に合わせて必要最小限の補修が実施され、躯体の保存が図られている。特に仕上げ材などによって補修箇所が隠れる部分では、防錆剤のみを塗布する補修方法も選択され、最小限の介入に留められている。このように劣化・破損の

程度が同様であっても、見掛け部分と仕上げ材等によって隠れる部分で、異なる補修方法が選択されている点は、今後の保存修理工事において参考となる考え方と言える。

(3) 構造補強の事例—補強方法の検討と撤去部材の保存 【経緯】

資料館敷地は液状化が発生しやすい立地環境にあり、建物各階の水平耐力の不足等の構造的な課題も指摘されていた。平成 23 年度（2011）には、建造物の耐震補強として有効性が高いと判断された構造補強案 4 案が策定され（表 6-2）、平成 24 年度（2012）には、文化財の耐震補強として適切な案の検証が行われた（表 6-3）。

【概要】

資料館の構造補強は、重要文化財指定理由に記述されているピロティ廻りの景観を損なわないことと、当初の躯体コンクリートを極力保存することの 2 点が、特に重要な価値だと判断され検討が行われた。そのため、ピロティ部分に鉄骨ブレース

補強部材があらわれる第1案と制震装置の一部があらわれる第3案の採用は難しいとされた。さらに、第2案のRC打ち直し案は、耐震補強を目的として当初躯体表面を研ることは、一体成形されているRC造の補強方法としては、施工技術や歴史的価値を損なう方法だと判断された。

第4案の免震補強案は、地震時に建造物に掛かる力を減衰でき、ピロティの保存、躯体の保存を優先した補修、特定が難しい内部の劣化部位への負担軽減も可能であり、意匠のみならず工法や材料を含めた躯体保存に有利な方法だと判断された。また、免震装置の設置に伴い取り外されることになった階段下端部の四連基礎（写真6-9）も工法等の技術的価値、材料的な価値が評価され、免震範囲外の土中に埋め戻し保管されることになった。基礎解体に当たって実施された記録保存の内容は表6-4の通りである。

【所見】

資料館では、耐震対策を目的に4つの構造補強案が検討され、ピロティ等の意匠部の保存と躯体材料の保存を優先し、免

震補強が実施された。免震補強により解体撤去される基礎構造の一部は記録保存の上、別置保管されることになった。このような取り組みは、構造補強によって犠牲となる部材の取り扱いを考える上で参考になる。

【建造物情報】

名称：広島平和記念資料館

種別：近代 / 文化施設

時代：昭和

年代：昭和30年

西暦：1955年

構造及び形式等：鉄筋コンクリート造、二階建、一部三階

建築面積：1,351.06㎡

国宝・重要文化財区分：重要文化財

指定年月日：平成18(2006)年7月5日

指定基準：(一) 意匠的に優秀なもの

所在地：広島県広島市中区中島町1番地1

所有者：広島市

表7-2：アルカリ化処理

1	内部電極設置
-1	鉄筋探査機器を使用して内部鉄筋位置を探査する。 (1箇所：約20～30㎡で内部電極を設置)
-2	所定の位置を研り、鉄筋を露出させる。
-3	露出した鉄筋を研磨し、リード線を巻き付け接続固定する。
-4	リード線を鉄筋に接続後、研り跡をポリマーモルタルで修復する。
-5	同一部位の処理面で内部電極を複数設置する場合は、各々の電極間の導通を確認する。電気抵抗が大きく不適と判断された場合は、電極を増設し同様に確認する。
2	仮設陽極設置
-1	施工面にプラスチックアンカーで栈木を適応な間隔で固定する。
-2	固定した栈木に外部電極（スチールメッシュ）を取り付ける。
-3	通電管理単位毎に外部電極同士を渡り線で接続し、一本化させる。
-4	スチールメッシュにリード線を接続する。(1本：約10㎡)
3	電気工事
-1	所定の場所にコンバーター、分岐ボックスを設置し一次側及び、コンバーターと分岐ボックス間の配線を行う。
-2	内部鉄筋より引出されたリード線をコンバーターまで配線し、マイナス出力端子に接続させる。
-3	外部電極より引出されたリード線をコンバーターまで配線し、プラス出力端子に接続させる。
4	ファイバー・電解質溶液散布
-1	炭酸カリウムと水を計量し所定の電解質溶液を作る。
-2	計量した所定濃度の電解質溶液をセルロースファイバーに含浸させ、吹付け機械で外部電極に吹付ける
5	通電・電解質溶液散布
-1	直流電流1A/㎡（コンクリート表面積）程度を14日間通電する。
-2	通電中はファバーが乾燥しない様、電解質溶液を適宜散布する。梅小路機関車庫では、1日1回は塗布された。また、通電の状況をチェックし、電流を記録する。
6	効果確認
-1	通電期間終了後、施工部位からコアを採取し、フェノールフタレイン法で再アルカリ化した事を確認する。(中性化深さ＝0)
7	システム撤去
-1	仮設陽極及び、通電システムを全て撤去する。
-2	コンクリート表面を清掃して完了。(ファイバー等の付着物はケレンで除去する)
-3	撤去した仮設材は産業廃棄物として処理する。



写真 7-1：内部電極設置状況
写真提供 西日本旅客鉄道株式会社

表 7-1：事前調査・再アルカリ化前処理

作業項目	作業内容
1	施工対象部位からコアを採取し、中性化深さを測定する。
2	施工部位からコアを採取し残存膨張量を測定してアルカリ骨材反応に対して有害でない事を確認する。(カナダ法による。)
3	足場及び、再アルカリ化プラントの設置。
4	仮設電気(動力)及び、水供給設備の確保。
5	コンクリート表面に仕上げ材又は被覆材がある場合は除去を行う。
6	剥離・剥落・ジャンカ等はポリマーモルタルで断面修復を行う。 ※断面修復材は再アルカリ化工法で適用した実績のあるものとする。
7	ひび割れを補修する。(施工上影響が大きいと判断されたひび割れのみ)
8	コンクリート表面の電氣的障害の処理を行う。(異物除去、絶縁処理、養生)



写真 7-2：外部の仮設陽極設置状況
写真提供 西日本旅客鉄道株式会社



写真 7-4：電解質溶液散布状況
写真提供 西日本旅客鉄道株式会社



写真 7-3：ファイバー吹付完了
写真提供 西日本旅客鉄道株式会社



写真 7-5：再アルカリ化システム撤去後
写真提供 西日本旅客鉄道株式会社

表 7-3：再アルカリ化工法モニタリング方法

名称	方法	採用の可否
1 フェノールフタレイン法	コア供試体を割裂し、呈色深さを測定	直接的に中性化深さを測定することができるが、コアを採取する必要があるため施工前後のみ採用
2 削孔法	所定位置にドリルで深さ 15mm の孔をあけ、pH 計を挿入、純水を滴下して pH を測定 (コア供試体 3 本)	コアの採取が必要であるため不採用
3 粉末法	削孔法で削孔したコンクリート粉末と純水を容器にいれ、静置後 pH を測定 (コア供試体 3 本)	コアの採取が必要であるため不採用
4 カリウム含有量計測	カリウム含有量を計測 (コア供試体 3 本)	コアの採取が必要であるため不採用
5 鉄筋の自然電位	通電に用いた電極を用いて自然電位を計測、鉄筋状況の変化を抵抗により確認する。	既存のコンクリートを損傷させずに計測が可能であることから採用
6 鉄筋の分極抵抗	交流法にて鉄筋直上を測定	測定器が一般的ではなく、手配が容易ではないため、今後何年にもわたって手配することは難しいと判断し不採用

削孔法、粉末法については、以下の資料を参照。野村倫一、荒巻智ほか：約 10 年経過した再アルカリ化工法の追跡調査 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書 Vol.4.2004

4.7 再アルカリ化工法

(1) 維持管理に関する事例—再アルカリ化工法のモニタリング【経緯】

再アルカリ化工法は、平成4年（1992）から国内で実施されるようになり、現在、文化財指定・登録されている建造物の中では、平成5年に大阪城天守閣、平成27年（2015）に梅小路機関車庫、平成30年（1993）に広島平和記念資料館などで実施されている。

それぞれの建造物の再アルカリ化施工範囲は以下の通りである。大阪城天守閣では、第三者に危害を及ぼす可能性のある軒天井や外壁などに施工され、梅小路機関車庫では柱1本、広島平和記念資料館では柱2本に対して試験的に施工された。梅小路機関車庫と広島平和記念資料館では、次回以降の工事

で再アルカリ化工法を採用する可能性があるため、施工された柱に対して定期的にモニタリングが実施されている。ここでは、再アルカリ化工法の概要と施工から3年が経過した梅小路機関車庫で実施されているモニタリングの状況について紹介する。

【概要】

再アルカリ化工法の事前調査、事前処理、作業手順等は表7-1、7-2にまとめ、一部の作業工程に関しては写真にて補足する（写真7-1～7-6）。

梅小路機関車庫で実施されているモニタリングでは、コンクリート中の鉄筋電位状態を確認し、鉄筋周囲および被り部がどの程度腐食しやすい環境にあるかを推定する自然電位測定法が用いられている。モニタリング方法としては、表7-3に示すようにいくつかの方法があるが、非破壊により計測が可能な方



写真 7-6：再アルカリ化された柱の現状
写真提供 西日本旅客鉄道株式会社



写真 7-8：自然電位測定状況
写真提供 西日本旅客鉄道株式会社



写真 7-7：モニタリング前に実施する散水
写真提供 西日本旅客鉄道株式会社



写真 7-9：モニタリングのため残された内部電極用の配線

表 7-4：ASTM C 876 による鉄筋腐食評価

自然電位	鉄筋腐食評価
$E \geq -200\text{mV}$	90%以上の確率で腐食なし
$-200 > E \geq -350\text{mV}$	不確定
$-350\text{mV} \geq E$	90%以上の確率で腐食あり

表 7-5：梅小路機関車庫電位平均値

施工前	施工後	1ヶ月後	3ヶ月後	6ヶ月後	12ヶ月後	24ヶ月後	36ヶ月後
-100mV	-1344mV	-387mV	-307mV	-305mV	-278mV	-234mV	-239mV

施工後	1ヶ月後	3ヶ月後	6ヶ月後	12ヶ月後	24ヶ月後	36ヶ月後
-1344mV	-387mV	-307mV	-305mV	-278mV	-234mV	-239mV

法は鉄筋の自然電位測定もしくは、分極抵抗測定との2つの測定方法になり、測定機器の入手の容易さから自然電位測定法が取られている（写真や7-7～7-9）。

自然電位測定法は、コンクリート中の鉄筋電位状態の変化を測定するものであり、中性化や塩の浸入などにより鉄筋周辺が腐食しやすい環境になると鉄筋電位状態が著しく変化するため、その変化の度合いから測定箇所の腐食状態が評価されている。鉄筋腐食の評価はASTM C 876(Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete)で制定された数値から判断されている（表7-4）。

梅小路機関車庫のモニタリング（表7-5）では、24ヶ月後が-234mV、36ヶ月後が-239mVと鉄筋腐食評価では、不確定の値で推移している。施工者は、-200mV以上の数値まで戻ることが理想ではあるが、-230mV程で数値が安定したのであれば、その値を基準に腐食環境の変化に関するモニタリングを継続することになる。とのことだった。現在、数値に大きな変化が見られないため、腐食しにくい環境が保たれていると判断されている。

【所見】

今後、再アルカリ化を検討する文化財建造物は、以下の点に注意が必要である。

1. 内部電極を設置するため、1箇所あたり最低100mm×100mm程度の設置穴が開けられる。
2. 再アルカリ化を実施するためには、表面の仕上げ材を撤去しなければならない。
3. 施工前後でコア抜きを実施し、躯体の状態を確認する必要がある。
4. 再アルカリ化工法では、被り厚150mmまでは施工が可能である。
5. 補修材料に絶縁材料や通電しにくい材料が用いられると、再アルカリ化工法の効果を十分に得られないことがある。
6. これまでに施工してきた文化財建造物では、表面に仕上げ処理が施されていたため、施工後の壁面の色味や質感の変化は大きく問われることはなかった。

【建造物情報】

名称：大阪城天守閣

種別1：文化福祉

種別2：建築物

時代：昭和前

年代：昭和6年

西暦：1931年

構造及び形式等：鉄骨鉄筋コンクリート造8階建

建築面積：1199㎡

登録告示年月日：平成9(1997)年9月16日

登録年月日：平成9(1997)年9月3日

登録基準1：国土の歴史的景観に寄与しているもの

所在地：大阪府大阪市中央区大阪城1-1

所有者：大阪市

名称：梅小路機関車庫

種別：近代／産業・交通・土木

時代：大正

年代：大正3年

西暦：1914年

構造及び形式等：鉄筋コンクリート造扇形車庫、電動天井走行クレーン及び引込線を含む。

国宝・重要文化財区分：重要文化財

指定年月日：平成16(2004)年12月10日

指定基準：(二)技術的に優秀なもの、(三)歴史的価値の高いもの

所在地：京都府京都市下京区歓喜寺町3番地

所有者：西日本旅客鉄道株式会社

謝辞

本事例集作成にあたり、以下の方にご協力頂きました。ここに記し、感謝申し上げます。

丸沼堰堤

後藤克寛氏、松山誠氏、小島公一郎氏（東京電力ホールディングス株式会社 リニューアルパワー・カンパニー沼田事業所土木保守グループ）

小林正氏（群馬県教育委員会事務局文化財保護課文化財活用係）

東京大学大講堂（安田講堂）

坂東宏子氏、當山まゆ氏（国立大学法人東京大学施設部施設企画課）

尾形晃弘氏（清水建設株式会社東京支店建築第二部）

旧佐渡鉱山採鉱施設大立竪坑捲揚機室ほか

宇佐美亮氏、田井沙保里氏（佐渡市産業観光部世界遺産推進課）

梅小路機関車庫

藤谷哲男氏（公益財団法人交通文化振興財団京都鉄道博物館）

中西哲也氏（西日本旅客鉄道株式会社大阪工事事務所京都建築工事所）

竹下弘展氏（京都府教育庁指導部文化財保護課）

大阪城天守閣

阪本恵子氏（大阪市経済戦略局観光部観光課）

佐野世氏、川口隆憲氏（株式会社デンカリノテック）

下澤和幸氏（一般財団法人日本建築総合試験所試験研究センター構造部耐震耐久性調査室）

神戸女学院総務館講堂及び礼拝堂ほか

北條敦子氏（学校法人神戸女学院経理部施設課）

旧山邑家住宅【ヨドコウ迎賓館】
岩井忠之氏（ヨドコウ迎賓館）
野々部万美恵氏（一般財団法人建築研究協会）

旧美歎水源地水道施設
岡垣頼和氏（鳥取市教育委員会文化財課）
内海勝博氏、遠藤優氏（公益財団法人文化財建造物保存技術協会）

世界平和記念聖堂
飯國清氏（カトリック広島司教区本部事務局）
小林裕幸氏、瀬尾雅之氏（公益財団法人文化財建造物保存技術協会
事業部設計室設計課）

広島平和記念資料館
重田真裕美氏（広島市市民局国際平和推進部平和推進課）
岡吉慎太郎氏（広島市都市整備局営繕部営繕課）
佐々木明博氏（株式会社大林組広島支店広島平和記念資料館工事事務所）

旧志免鋤業所竪坑櫓
徳永博文氏（志免町社会教育課）
伊奈仁氏（公益財団法人文化財建造物保存技術協会事業部設計室設計課）

参考文献

1. NPO 法人コンクリート技術支援機構（ASCoT）コンクリート材料・製造・施工の歴史調査研究委員会、『建築用コンクリートの歴史コンクリート材料・製造・施工の歴史調査研究委員会報告書』、2016 年 3 月 pp.70-71。
2. 小林一輔、『コンクリートが危ない』、岩波書店、1999 年 5 月、P.30。
3. 下田孝、『国立科学博物館技術の系統化調査報告 第 23 集「セメント製造技術の系統化調査」』、国立科学博物館、2016 年 3 月、p.12。
4. 南里勇人、『未来につなぐ人類の技 10 コンクリート構造物の保存と修復』、独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所、2011 年 3 月、pp.37-46。
5. 和泉意登志、他 8 名、『コンクリートの劣化と補修がわかる本 update』、株式会社コンクリート新聞社、2016 年 4 月。
6. 日本コンクリート工学会、『コンクリート技術の要点 '18』、日本コンクリート工学会、2019 年 9 月 pp.81-92。

参考情報

1. 日本コンクリート工学会（<http://www.jci-net.or.jp>）、「コンクリートの基礎知識 3. コンクリートの耐久性」、日本コンクリート工学会

註

1. 各事例紹介に関しては、巻末資料 2 の保存修理工事報告書などを参考にしつつ、担当者等に原稿内容の確認を行った。

巻末資料 -1. コンクリート造建造物 国指定物件一覧

名称	棟名	種別	建設年 (和暦)	構造及び形式	指定年月日	所在地
国指定重要文化財						
旧手宮鉄道施設	貯水槽	近代／産業・交通・土木	大正 5 以前	煉瓦造及びコンクリート造	平成 13.11.14	北海道小樽市手宮一丁目
	転車台	近代／産業・交通・土木	大正 8	鋼製、コンクリート造ビット附属	平成 13.11.14	北海道小樽市手宮一丁目
大谷派本願寺函館別院	本堂	近代／宗教	大正 4	鉄筋コンクリート造	平成 19.12.4	北海道函館市元町 16 番 15 号
	鐘楼	近代／宗教	大正前期	鉄筋コンクリート造	平成 19.12.4	北海道函館市元町 16 番 15 号
	正門	近代／宗教	大正前期	一間四脚門、鉄筋コンクリート造	平成 19.12.4	北海道函館市元町 16 番 15 号
小岩井農場施設	第一号牛舎	近代／産業・交通・土木	昭和 9	木造、鉄筋コンクリート造及び木造(北面サイロ附属)	平成 29.2.23	岩手県岩手郡雫石町丸谷地
	第二号牛舎	近代／産業・交通・土木	明治 41	木造、鉄筋コンクリート造及び木造(北面サイロ附属)	平成 29.2.23	岩手県岩手郡雫石町丸谷地
	第四号牛舎	近代／産業・交通・土木	明治 41	木造、鉄筋コンクリート造及び木造(北面サイロ附属)	平成 29.2.23	岩手県岩手郡雫石町丸谷地
藤倉水源地水道施設	堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 44	重力式コンクリート造堰堤	平成 5.8.17	秋田県秋田市山内字上台ほか
	放水路	近代／産業・交通・土木	明治 44	コンクリート造	平成 5.8.17	秋田県秋田市山内字上台、秋田県秋田市山内字大畑
旧池田家住宅洋館		近代／住居	大正 11	鉄筋コンクリート造	平成 29.11.28	秋田県大仙市高梨字大嶋 1 番 1
横利根閘門		近代／産業・交通・土木	大正 10	石造、煉瓦造及びコンクリート造閘門、煉瓦造及びコンクリート造閘頭部	平成 12.5.25	茨城県稲敷市西代地先
石岡第一発電所施設	取水堰堤	近代／産業・交通・土木	大正期	重力式コンクリート造堰堤	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
	沈砂池	近代／産業・交通・土木	明治 44	鉄筋コンクリート造	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
	第一号水路橋	近代／産業・交通・土木	明治 44	鉄筋コンクリート造単アーチ橋	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
	第二号水路橋	近代／産業・交通・土木	明治 44	鉄筋コンクリート造単アーチ橋	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
	水槽余水路	近代／産業・交通・土木	明治 44	石造及び鉄筋コンクリート造	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
	調圧水槽	近代／産業・交通・土木	明治 44	鉄筋コンクリート造円筒形水槽	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
	本館発電機室	近代／産業・交通・土木	明治 44	鉄筋コンクリート造	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
	本館旧変圧器室	近代／産業・交通・土木	明治 44	鉄筋コンクリート造	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
	本館変電室	近代／産業・交通・土木	大正 5	鉄筋コンクリート造	平成 20.12.2	茨城県高萩市大字横川、同北茨城市中郷町石岡
丸沼堰堤		近代／産業・交通・土木	昭和 6	バットレス式鉄筋コンクリート造堰堤、導水路・上流側コンクリート造擁壁及び下流側左岸石造擁壁附属	平成 15.12.25	群馬県利根郡片品村大字東小川字根子地先
旧碓氷峠鉄道施設	旧丸山変電所蓄電池室	近代／産業・交通・土木	明治 44	煉瓦造、鉄骨鉄筋コンクリート造(背面小屋附属)	平成 6.12.27	群馬県安中市松井田町
	熊ノ平変電所本屋	近代／産業・交通・土木	昭和 12	鉄筋コンクリート造	平成 30.8.17	群馬県安中市松井田町
旧遠山家住宅	土蔵	近代／住居	昭和 9	鉄筋コンクリート造及び土蔵造、建築面積 67.12 m ² 、二階建、地下一階、本瓦葺	平成 30.8.17	埼玉県比企郡川島町大字白井沼字烏足 675 番地 1

名称	棟名	種別	建設年 (和暦)	構造及び形式	指定年月日	所在地
旧遠山家住宅	裏門及び外堀	近代／住居	昭和 11 頃	鉄筋コンクリート造（裏門北方、裏門南方、長屋門東方）	平成 30.8.17	埼玉県比企郡川島町大字白井沼字烏足 675 番地 1
明治生命保険相互会社本社本館		近代／商業・業務	昭和 9	鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 9.5.29	東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号
三井本館		近代／商業・業務	昭和 4	鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 10.12.25	東京都中央区日本橋室町二丁目 1 番 1 号
旧東京帝室博物館本館		近代／文化施設	昭和 12	鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 13.6.15	東京都台東区上野公園 13 番 9 号
旧朝倉家住宅	土蔵	近代／住居	大正 8 頃	鉄筋コンクリート造及び木造	平成 16.12.10	東京都渋谷区猿蓑町 29 番地
旧渋沢家飛鳥山邸	青淵文庫	近代／住居	大正 14	煉瓦造及び鉄筋コンクリート造	平成 17.12.27	東京都北区西ヶ原二丁目 16 番 1 号
清洲橋		近代／産業・交通・土木	昭和 3	鋼製三径間補剛吊橋、鉄筋コンクリート造橋脚 2 基及び鉄筋コンクリート造橋台 2 基を含む	平成 19.6.18	東京都中央区日本橋中洲、江東区清澄
永代橋		近代／産業・交通・土木	大正 15	鋼製三径間カンチレバー式タイドアーチ橋、鉄筋コンクリート造橋脚 2 基及び鉄筋コンクリート造橋台 2 基を含む	平成 19.6.18	東京都中央区新川、江東区佐賀
勝鬨橋		近代／産業・交通・土木	昭和 15	鋼製跳開橋、鉄筋コンクリート造橋脚 2 基（橋脚塔 4 棟を含む）、鉄筋コンクリート造橋台 2 基	平成 19.6.18	東京都中央区築地、勝どき
早稲田大学大隈記念講堂		近代／学校	昭和 2	鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造時計塔付	平成 19.12.4	東京都新宿区戸塚町一丁目 104 番地
旧三河島污水処分場唧筒施設	阻水扉室	近代／産業・交通・土木	大正 10	鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造上屋付	平成 19.12.4	東京都荒川区荒川八丁目 25 番 1 号
	阻水扉室	近代／産業・交通・土木	大正 10	鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造上屋付	平成 19.12.4	東京都荒川区荒川八丁目 25 番 1 号
	沈砂池及び濾格室	近代／産業・交通・土木	大正 10	コンクリート造	平成 19.12.4	東京都荒川区荒川八丁目 25 番 1 号
	沈砂池及び濾格室	近代／産業・交通・土木	大正 10	コンクリート造	平成 19.12.4	東京都荒川区荒川八丁目 25 番 1 号
	濾格室上屋	近代／産業・交通・土木	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 19.12.4	東京都荒川区荒川八丁目 25 番 1 号
	量水器室及び唧筒室暗渠	近代／産業・交通・土木	大正 10（唧筒室暗渠）、大正 12（量水器室）	鉄筋コンクリート造（量水器室、導水渠、阻水扉室、唧筒井及び唧筒井接続暗渠）、鉄筋コンクリート造（水槽附属）及び鉄製円形管並びに人孔付	平成 19.12.4	東京都荒川区荒川八丁目 25 番 1 号
	唧筒室	近代／産業・交通・土木	大正 10	鉄骨及び鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造桁橋 2 基附属	平成 19.12.4	東京都荒川区荒川八丁目 25 番 1 号
国立西洋美術館本館		近代／文化施設	昭和 34	鉄筋コンクリート造	平成 19.12.21	東京都台東区上野公園 7 番 7 号
旧東京科学博物館本館		近代／文化施設	昭和 6	鉄筋コンクリート造一部鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 20.6.9	東京都台東区上野公園 7 番 20 号
高島屋東京店		近代／商業・業務	昭和 8・昭和 29	鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 21.6.30	東京都中央区日本橋二丁目 4 番 1 号
聖徳記念絵画館		近代／文化施設	大正 15	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都新宿区霞ヶ丘町 1 番 1 号

名称	棟名	種別	建設年 (和暦)	構造及び形式	指定年月日	所在地
明治神宮宝物殿	中倉	近代／文化施設	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	東西倉 (2 棟)	近代／文化施設	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	東西廊 (2 棟)	近代／文化施設	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	東西橋廊 (2 棟)	近代／文化施設	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	東西渡廊 (2 棟)	近代／文化施設	大正 10	石造及び鉄筋コンクリート造桁橋	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	北廊	近代／文化施設	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	車寄	近代／文化施設	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	事務所	近代／文化施設	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	正門	近代／文化施設	大正 10	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	東西倉 (2 棟)	近代／文化施設		鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	東西廊 (2 棟)	近代／文化施設		鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	東西橋廊 (2 棟)	近代／文化施設		鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
	東西渡廊 (2 棟)	近代／文化施設		石造及び鉄筋コンクリート造桁橋	平成 23.6.20	東京都渋谷区代々木神園町 1 番 1 号
旧前田家本邸	洋館	近代／住居	昭和 4	鉄筋コンクリート造	平成 25.8.7	東京都目黒区駒場四丁目 861 番
	洋館渡廊下	近代／住居	昭和 5	鉄筋コンクリート造	平成 25.8.7	東京都目黒区駒場四丁目 861 番
	門衛所	近代／住居	昭和 4	鉄筋コンクリート造	平成 25.8.7	東京都目黒区駒場四丁目 861 番
	正門及び塀	近代／住居	昭和 4	鉄筋コンクリート造	平成 25.8.7	東京都目黒区駒場四丁目 861 番
尊經閣文庫	図書閲覧所	近代／文化施設	昭和 3	鉄筋コンクリート造一部木造及び鉄骨造	平成 25.8.7	東京都目黒区駒場四丁目 861 番
	書庫	近代／文化施設	昭和 3	鉄筋コンクリート造	平成 25.8.7	東京都目黒区駒場四丁目 861 番
	貴重庫	近代／文化施設	昭和 3	鉄筋コンクリート造	平成 25.8.7	東京都目黒区駒場四丁目 861 番
	門及び塀	近代／文化施設	昭和 3	鉄筋コンクリート造	平成 25.8.7	東京都目黒区駒場四丁目 861 番
築地本願寺本堂		近代／宗教	昭和 9	鉄筋コンクリート造一部鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 26.12.10	東京都中央区築地三丁目 1501 番
旧朝香宮邸	本館	近代／住居	昭和 8	鉄筋コンクリート造	平成 27.7.8	東京都港区白金台五丁目 26 番
	倉庫	近代／住居	昭和 8	鉄筋コンクリート造	平成 27.7.8	東京都港区白金台五丁目 26 番
	自動車庫	近代／住居	昭和 8	鉄筋コンクリート造	平成 27.7.8	東京都港区白金台五丁目 26 番
	正門	近代／住居	昭和 8	鉄筋コンクリート造	平成 27.7.8	東京都港区白金台五丁目 26 番
三越日本橋本店		近代／商業・業務	昭和 2	鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 28.7.25	東京都中央区日本橋室町一丁目 7 番地
横浜市開港記念会館		近代／文化施設	大正 6	煉瓦・鉄骨煉瓦及び鉄筋コンクリート造	平成 1.9.2	神奈川県横浜市中区本町一丁目 6 番地
旧横浜船渠株式会社第一号船渠 (ドック)		近代／産業・交通・土木	明治 31	石造、煉瓦造及びコンクリート造乾船渠 (ドライドック)	平成 12.12.4	神奈川県横浜市区西区みなとみらい二丁目 7 番 10 号
国道一号箱根湯本道路施設	函嶺洞門	近代／産業・交通・土木	昭和 6	鉄筋コンクリート造	平成 27.7.8	神奈川県足柄下郡箱根町湯本、塔之澤
	千歳橋	近代／産業・交通・土木	昭和 5	鉄筋コンクリート造単アーチ橋	平成 27.7.8	神奈川県足柄下郡箱根町湯本、塔之澤
	旭橋	近代／産業・交通・土木	昭和 8	鉄筋コンクリート造単アーチ橋	平成 27.7.8	神奈川県足柄下郡箱根町湯本、塔之澤

名称	棟名	種別	建設年 (和暦)	構造及び形式	指定年月日	所在地
萬代橋		近代／産業・ 交通・土木	昭和 4	鉄筋コンクリート 造六連アーチ橋、 両側鉄筋コンク リート造側径間及 び高欄（親柱を含 む）付	平成 16.7.6	新潟県新潟市中央区万代から下大川前 通・川端町間
旧佐渡鉱山採鉱 施設	大立竪坑櫓	近代／産業・ 交通・土木	昭和 15	鋼製櫓、コンクリ ート基礎及び鋼索用 開口部附属	平成 24.12.28	新潟県佐渡市下相川、同相川宗徳町
	大立竪坑撈揚機 室	近代／産業・ 交通・土木	昭和 15	鉄筋コンクリート 造、石造及びコン クリート造坑口附 属	平成 24.12.28	新潟県佐渡市下相川、同相川宗徳町
	道遊坑及び高任 坑	近代／産業・ 交通・土木	明治開削、 昭和 15 頃	石造及びコンク リート造坑道	平成 24.12.28	新潟県佐渡市下相川、同相川宗徳町
	高任粗砕場	近代／産業・ 交通・土木	昭和 12	鉄骨造、コンクリ ート造基礎附属	平成 24.12.28	新潟県佐渡市下相川、同相川宗徳町
	高任貯鉱舎及び ベルトコンベア ヤード	近代／産業・ 交通・土木	昭和 13	鉄骨造及び鉄筋コ ンクリート造（貯 鉱舎）	平成 24.12.28	新潟県佐渡市下相川、同相川宗徳町
富岩運河水閘施 設（中島閘門）	閘門	近代／産業・ 交通・土木	昭和 9	コンクリート造及 び鉄筋コンクリ ート造閘門	平成 10.5.1	富山県富山市中島二丁目字浦川原割 3 番 2
	放水路	近代／産業・ 交通・土木	昭和 9	石造及び鉄筋コン クリート造放水路	平成 10.5.1	富山県富山市中島二丁目字浦川原割 3 番 2
常願寺川砂防施 設	白岩堰堤	近代／産業・ 交通・土木	大正 8 頃 - 昭和 14 頃	重力式コンクリ ート造堰堤（本堰堤、 副堰堤）、コンク リート造床固、鉄 筋コンクリート造 方格枠	平成 21.6.30	富山県富山市有峰字真川谷割 18 番 38 ほか
	本宮堰堤	近代／産業・ 交通・土木	昭和 11	重力式コンクリ ート造堰堤（本堰堤、 旧第一副堰堤）	平成 29.11.28	富山県富山市有峰字真川谷割 18 番 38 ほか
	泥谷堰堤	近代／産業・ 交通・土木	昭和 6-7	重力式コンクリ ート造堰堤（第一号 堰堤～第一九号堰 堤）、コンクリ ート造床固（第一号 床固～第三号床固）	平成 29.11.28	富山県富山市有峰字真川谷割 18 番 38 ほか
永平寺	大庫院	近代／宗教	昭和 4	鉄筋コンクリート 造及び木造	平成 31.9.30	福井県吉田郡永平寺町志比
八ツ沢発電所施 設	取水堰堤	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	石造及びコンク リート造堰堤	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	取水口制水門	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	石造、煉瓦造及び コンクリート造四 連制水門	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	取水口沈砂池	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	石造、煉瓦造及び コンクリート造	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第一号隧道	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	コンクリート造隧 道	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第一号開渠	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	石造、煉瓦造及び コンクリート造	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第二号隧道	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	コンクリート造隧 道	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第一号水路橋	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	鉄筋コンクリート 造単アーチ橋	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第三号隧道	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	コンクリート造隧 道	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第二号水路橋	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	煉瓦造及びコンク リート造三連アー チ橋	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第四号隧道	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	コンクリート造隧 道	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第三号水路橋	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	煉瓦造及びコンク リート造五連アー チ橋	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第五号隧道	近代／産業・ 交通・土木	明治 45	コンクリート造隧 道	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか

名称	棟名	種別	建設年 (和暦)	構造及び形式	指定年月日	所在地
八ッ沢発電所施設	第四号水路橋	近代／産業・交通・土木	明治 45	煉瓦造及びコンクリート造単アーチ橋	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第六・七・八・九・一〇及び一一号隧道	近代／産業・交通・土木	明治 45	コンクリート造隧道	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	大野調整池制水門	近代／産業・交通・土木	大正 3	石造、煉瓦造及びコンクリート造七連制水門	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	大野調整池余水路	近代／産業・交通・土木	大正 3	石造、煉瓦造及びコンクリート造	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	第一二・一三・一四・一五・一六・一七及び一八号隧道	近代／産業・交通・土木	明治 45	コンクリート造隧道	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	水槽	近代／産業・交通・土木	明治 45	石造、煉瓦造及びコンクリート造	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
	水槽余水路	近代／産業・交通・土木	明治 45	石造、煉瓦造及びコンクリート造	平成 17.12.27	山梨県大月市駒橋ほか
読書発電所施設	発電所	近代／産業・交通・土木	大正 12	鉄筋コンクリート造（本館）、コンクリート造（貯水槽）	平成 6.12.27	長野県木曾郡南木曾町読書
	柿其水路橋	近代／産業・交通・土木	大正 12	鉄筋コンクリート造二連アーチ橋、両側鉄筋コンクリート造側径間付	平成 6.12.27	長野県木曾郡南木曾町読書
片倉館	浴場	近代／文化施設	昭和 3	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	長野県諏訪市湖岸通り四丁目 1 番 9 号
	会館	近代／文化施設	昭和 3	木造一部鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	長野県諏訪市湖岸通り四丁目 1 番 9 号
牛伏川本流水路（牛伏川階段工）		近代／産業・交通・土木	大正 6	石造及びコンクリート造	平成 24.7.9	長野県長野市大字内田字内田山
旧常田館製糸場施設	五階鉄筋繭倉庫	近代／産業・交通・土木	大正 15	鉄筋コンクリート造	平成 24.12.28	長野県上田市常田一丁目
旧八百津発電所施設	発電所本館	近代／産業・交通・土木	明治 44	コンクリート造(放水路)	平成 10.5.1	岐阜県加茂郡八百津町八百津 1770 番 1
	放水口発電所	近代／産業・交通・土木	大正 6	煉瓦造（発電所建屋）、鉄筋コンクリート造（水槽）	平成 10.5.1	岐阜県加茂郡八百津町八百津 1770 番 1
	水槽	近代／産業・交通・土木	明治 44	煉瓦造及びコンクリート造、長さ 73m、幅 36m	平成 17.7.22	岐阜県加茂郡八百津町八百津
	余水路	近代／産業・交通・土木	明治 44	石造及びコンクリート造	平成 17.7.22	岐阜県加茂郡八百津町八百津
美濃橋		近代／産業・交通・土木	大正 5	鋼製補剛吊橋、コンクリート造アンカーレイジ 2 基を含む	平成 15.5.30	岐阜県美濃市曾代、同曾代地先、同前野
旧日向家熱海別邸地下室		近代／住居	昭和 11	鉄筋コンクリート造	平成 18.7.5	静岡県熱海市春日町 8 番 37 号
旧名古屋控訴院地方裁判所区裁判所庁舎		近代／官公庁舎	大正 11	煉瓦及び鉄筋コンクリート造	昭和 59.5.21	愛知県名古屋市中区白壁一丁目 3 番
旧品川燈台		近代／産業・交通・土木	明治 3	煉瓦造（現在鉄筋コンクリート造）	昭和 43.4.25	愛知県犬山市大字内山 1 番地
名古屋市庁舎		近代／官公庁舎	昭和 8	鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 26.12.10	愛知県名古屋市中区三の丸三丁目 1 番
愛知県庁舎		近代／官公庁舎	昭和 13	鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 26.12.10	愛知県名古屋市中区三の丸三丁目 1 番
末広橋梁（旧四日市港駅鉄道橋）		近代／産業・交通・土木	昭和 6	鉄製プレートガーダー橋 4 基（跳上橋 1 基を含む）、コンクリート製橋台 2 基（築堤部護岸を含む）・コンクリート製橋脚 4 基（機械室を含む）	平成 10.12.25	三重県四日市市末広町・千歳町
舞鶴旧鎮守府水道施設	桂取水堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 33	重力式コンクリート造堰堤	平成 15.12.25	京都府舞鶴市大字北吸字大杉ほか
梅小路機関車庫		近代／産業・交通・土木	大正 3	鉄筋コンクリート造扇形車庫	平成 16.12.10	京都府京都市下京区歓喜寺町 3 番地

名称	棟名	種別	建設年 (和暦)	構造及び形式	指定年月日	所在地
舞鶴旧鎮守府水道施設	桂量水堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 33	重力式コンクリート造堰堤	平成 15.12.25	京都府舞鶴市大字北吸字大杉ほか
	旧岸谷川上流本流取水堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 38	重力式コンクリート造堰堤	平成 15.12.25	京都府舞鶴市大字北吸字大杉ほか
	旧岸谷川上流支流取水堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 38	重力式コンクリート造堰堤	平成 15.12.25	京都府舞鶴市大字北吸字大杉ほか
旧京都中央電話局西陣分局舎		近代／官公庁舎	大正 10	鉄筋コンクリート造及び木造	平成 18.7.5	京都府京都市上京区油小路通中立売下る甲斐守町 97 番地
松殿山荘	宝庫	近代／文化施設	昭和 9	鉄筋コンクリート造	平成 29.11.28	京都府宇治市木幡南山 18 番地
綿業会館		近代／商業・業務	昭和 6	鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 15.12.25	大阪府大阪市中央区備後町二丁目 5 番 8 号
淀川旧分流施設	毛馬洗堰	近代／産業・交通・土木	明治 43	煉瓦造、コンクリート造及び鉄筋コンクリート造洗堰	平成 20.6.9	大阪府大阪市北区長柄東三丁目
	毛馬第一閘門	近代／産業・交通・土木	明治 40	煉瓦造及びコンクリート造閘門	平成 20.6.9	大阪府大阪市北区長柄東三丁目
大江橋及び淀屋橋	大江橋	近代／産業・交通・土木	昭和 10	鉄筋コンクリート造二連アーチ橋、両側鉄筋コンクリート造側径間及び高欄（照明 16 基を含む）付	平成 20.12.2	大阪府大阪市北区堂島浜一丁目ほか
	淀屋橋	近代／産業・交通・土木	昭和 10	鉄筋コンクリート造単アーチ橋、両側鉄筋コンクリート造側径間及び高欄（照明 12 基を含む）付	平成 20.12.2	大阪府大阪市北区堂島浜一丁目ほか
旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）		近代／住居	大正 13	鉄筋コンクリート造	昭和 49.5.21	兵庫県芦屋市山手町 173 番地
移情閣		近代／住居	大正 4	木骨コンクリートブロック造	平成 13.11.14	兵庫県神戸市垂水区東舞子町 2051 番地
布引水源地水道施設	分水堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 40	アーチ式コンクリート造堰堤	平成 18.7.5	兵庫県神戸市中央区葺合町
	分水堰堤附属橋	近代／産業・交通・土木	明治 40	鉄筋コンクリート造単アーチ橋	平成 18.7.5	兵庫県神戸市中央区葺合町
	分水隧道	近代／産業・交通・土木	明治 40	石造及びコンクリート造隧道	平成 18.7.5	兵庫県神戸市中央区葺合町
	締切堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 41	アーチ式コンクリート造堰堤	平成 18.7.5	兵庫県神戸市中央区葺合町
	放水路隧道	近代／産業・交通・土木	明治 41	石造及びコンクリート造隧道	平成 18.7.5	兵庫県神戸市中央区葺合町
	五本松堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 33	重力式コンクリート造堰堤	平成 18.7.5	兵庫県神戸市中央区葺合町
	谷川橋	近代／産業・交通・土木	大正初期	鉄筋コンクリート造単アーチ橋	平成 18.7.5	兵庫県神戸市中央区葺合町
	雌滝取水堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 33	アーチ式コンクリート造堰堤	平成 18.7.5	兵庫県神戸市中央区葺合町
旧村山家住宅	衣装蔵	近代／住居	明治後半	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	兵庫県神戸市東灘区御影郡家二丁目 12 番 1 号
	美術蔵	近代／住居	大正期	鉄筋コンクリート造	平成 23.6.20	兵庫県神戸市東灘区御影郡家二丁目 12 番 1 号
神戸女学院	総務館、講堂及び礼拝堂	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造、木造（文学館間渡廊下附属）、木造及び鉄骨造（理学館、体育館及び社交館間渡廊下附属）	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
	図書館	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造、木造（文学館間渡廊下附属、理学館間渡廊下附属）	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
	文学館	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
	理学館	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
	音楽館	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番

名称	棟名	種別	建設年 (和暦)	構造及び形式	指定年月日	所在地
神戸女学院	体育館	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造（体育館、理学館間渡廊下附属、煙突附属）	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
	葆光館	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造、木造（講堂間渡廊下附属）	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
	社交館	近代／学校	昭和 10	鉄筋コンクリート造	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
	汽罐室	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造（汽罐室、煙突附属）	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
	正門及び門衛舎	近代／学校	昭和 8	鉄筋コンクリート造及び木造	平成 26.9.18	兵庫県西宮市岡田山 13 番
旧美敷水源地道施設	貯水池堰堤	近代／産業・交通・土木	大正 11	重力式コンクリート造堰堤	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	美敷川上流量水堰	近代／産業・交通・土木	大正 4	重力式コンクリート造堰堤	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	通り谷量水堰	近代／産業・交通・土木	大正 4	重力式コンクリート造堰堤	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	一号濾過池	近代／産業・交通・土木	大正 4	煉瓦造及びコンクリート造	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	二号濾過池	近代／産業・交通・土木	大正 4	煉瓦造及びコンクリート造	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	三号濾過池	近代／産業・交通・土木	大正 4	煉瓦造及びコンクリート造	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	四号濾過池	近代／産業・交通・土木	大正 4	煉瓦造及びコンクリート造	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	五号濾過池	近代／産業・交通・土木	昭和 3 以前	煉瓦造及びコンクリート造	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	接合井	近代／産業・交通・土木	大正 4	煉瓦造及びコンクリート造	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
	量水器室	近代／産業・交通・土木	昭和初期	鉄筋コンクリート造	平成 19.6.18	鳥取県鳥取市国府町美敷、上町 87 番 2
高梁川東西用水取配水施設	酒津取水樋門	近代／産業・交通・土木	大正 9	鉄筋コンクリート造樋門	平成 28.7.25	岡山県倉敷市酒津 2826 番地
	南配水樋門	近代／産業・交通・土木	大正 12	鉄筋コンクリート造樋門	平成 28.7.25	岡山県倉敷市酒津 2826 番地
	北配水樋門	近代／産業・交通・土木	大正 11	鉄筋コンクリート造樋門	平成 28.7.25	岡山県倉敷市酒津 2826 番地
本庄水源地道施設	堰堤	近代／産業・交通・土木	大正 5	重力式コンクリート造堰堤	平成 11.5.13	広島県呉市焼山北三丁目 1542 の 1
	第一量水井	近代／産業・交通・土木	大正 5	コンクリート造	平成 11.5.13	広島県呉市焼山北三丁目 1542 の 1
広島平和記念資料館		近代／文化施設	昭和 30	鉄筋コンクリート造	平成 18.7.5	広島県広島市中区中島町 1 番 3 号
世界平和記念聖堂		近代／宗教	昭和 29	鉄筋コンクリート造	平成 18.7.5	広島県広島市中区幟町 4 番 29 号
宇部市渡辺翁記念会館		近代／文化施設	昭和 12	鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造	平成 17.12.27	山口県宇部市朝日町 8 番 1 号
旧毛利家本邸	台所付倉庫	近代／住居	大正 5	鉄筋コンクリート造	平成 23.11.29	山口県防府市多々良一丁目 15 番地 1 号
	用達所倉庫	近代／住居	大正 5	鉄筋コンクリート造、建築面積 128.07㎡、二階建、地下一階、切妻造、棧瓦葺、南面下屋附属、鉄板葺	平成 23.11.29	山口県防府市多々良一丁目 15 番地 1 号
	石橋	近代／住居	大正 5	鉄筋コンクリート造単アーチ橋	平成 23.11.29	山口県防府市多々良一丁目 15 番地 1 号
	本門	近代／住居	大正 5	一間薬医門、鉄筋コンクリート造	平成 23.11.29	山口県防府市多々良一丁目 15 番地 1 号
有近家住宅	正門	近代／住居	大正 13 頃	コンクリート造	平成 24.12.28	山口県山口市徳地八坂 971 番地、同 972 番地
三河家住宅		近代／住居	昭和 3 頃	鉄筋コンクリート造	平成 19.12.4	徳島県徳島市富田浜四丁目 7 番地 2
豊稔池堰堤		近代／産業・交通・土木	昭和 4	マルチプルアーチ式コンクリート造堰堤	平成 18.12.19	香川県観音寺市大野原町田野々

名称	棟名	種別	建設年 (和暦)	構造及び形式	指定年月日	所在地
萬翠荘（旧久松家別邸）	本館	近代／住居	大正 11	鉄筋コンクリート造	平成 23.11.29	愛媛県松山市一番町三丁目 19 番地 1 号
長浜大橋		近代／産業・交通・土木	昭和 10	鋼製跳開橋、鉄筋コンクリート造(橋脚六基、橋台二基)	平成 26.12.10	愛媛県大洲市長浜町沖浦、長浜
旧魚梁瀬森林鉄道施設	二股橋	近代／産業・交通・土木	昭和 15	コンクリート造二連アーチ橋	平成 21.6.30	高知県安芸郡北川村ニタ又
	掘ヶ生橋	近代／産業・交通・土木	昭和 16	鉄筋コンクリート造単アーチ橋	平成 21.6.30	高知県安芸郡北川村ニタ又
旧筑後川橋梁（筑後川昇開橋）		近代／産業・交通・土木	昭和 10	鋼製昇開橋、コンクリート造橋台 2 基（左岸側翼壁を含む）、鉄筋コンクリート造橋脚 14 基	平成 15.5.30	福岡県大川市大字向島地先、佐賀県佐賀市諸富町大字為重地先
三井石炭鉱業株式会社三池炭鉱宮原坑施設	第二豎坑櫓	近代／産業・交通・土木	明治 34	鋼製櫓、コンクリート造基礎部附属	平成 10.5.1	福岡県大牟田市宮原町一丁目 86 の 3
南河内橋		近代／産業・交通・土木	大正 15	鋼製二連トラス橋、コンクリート造橋脚 1 基及び翼壁付橋台 2 基を含む	平成 18.12.19	福岡県北九州市八幡東区河内三丁目
旧志免鉱業所豎坑櫓		近代／産業・交通・土木	昭和 18	鉄筋コンクリート造、建築面積 270.71㎡、地上八階地下一階建、塔屋付	平成 21.12.8	福岡県糟屋郡志免町大字志免
佐世保無線電信所（針尾送信所）施設	無線塔	近代／産業・交通・土木	大正 11	鉄筋コンクリート造	平成 25.3.6	長崎県佐世保市針尾中町 382 番
	無線塔	近代／産業・交通・土木	大正 11	鉄筋コンクリート造	平成 25.3.6	長崎県佐世保市針尾中町 382 番
	無線塔	近代／産業・交通・土木	大正 11	鉄筋コンクリート造	平成 25.3.6	長崎県佐世保市針尾中町 382 番
	電信室	近代／産業・交通・土木	大正 11	鉄筋コンクリート造	平成 25.3.6	長崎県佐世保市針尾中町 382 番
	油庫	近代／産業・交通・土木	大正 11	鉄筋コンクリート造	平成 25.3.6	長崎県佐世保市針尾中町 382 番
本河内水源地水道施設	低部堰堤	近代／産業・交通・土木	明治 36	重力式コンクリート造堰堤	平成 29.7.31	長崎県長崎市本河内三丁目 2536 番、同 730 番、同 2684 番
三井石炭鉱業株式会社三池炭鉱旧万田坑施設	第二豎坑櫓	近代／産業・交通・土木	明治 42	鋼製櫓、コンクリート造基礎部及び煉瓦造入口部附属	平成 10.5.1	熊本県荒尾市原万田字蓮池 250 番地 5 ほか、福岡県大牟田市桜町 202 番地 1
旧玉名干拓施設	明丑開潮受堤防	近代／産業・交通・土木	大正 6 頃 / 昭和 4 頃	石造及びコンクリート造堤防	平成 22.6.29	熊本県玉名市大浜町字末広開ほか
	明豊開潮受堤防	近代／産業・交通・土木	昭和 4 頃	石造及びコンクリート造堤防	平成 22.6.29	熊本県玉名市大浜町字末広開ほか
	大豊開潮受堤防	近代／産業・交通・土木	昭和 4 頃	石造及びコンクリート造堤防	平成 22.6.29	熊本県玉名市大浜町字末広開ほか
	末広開西三枚戸樋門	近代／産業・交通・土木	昭和 4 頃	石造及びコンクリート造樋門	平成 22.6.29	熊本県玉名市大浜町字末広開ほか
白水溜池堰堤水利施設	主堰堤	近代／産業・交通・土木	昭和 13	重力式コンクリート造堰堤	平成 11.5.13	大分県竹田市大字次倉、同萩町大字柏原
白水溜池堰堤水利施設	副堰堤	近代／産業・交通・土木	昭和 13	重力式コンクリート造堰堤	平成 11.5.13	大分県竹田市大字次倉、同萩町大字柏原
大宜味村役場旧庁舎		近代／官公庁舎	大正 14	鉄筋コンクリート造	平成 29.2.23	沖縄県国頭郡大宜味村字大兼久 157 番 2

巻末資料 -2. コンクリート造建造物 保存修理工事報告書一覧

名称	種別	報告書名など	出版	出版年
旧池田氏庭園 旧池田家住宅洋館	名勝・重文	国指定名勝旧池田氏庭園保存整備管理計画（大仙市文化財報告書；第 11 集）	大仙市教育委員会文化財保護課 編	平成 22 年
		国指定名勝旧池田氏庭園洋館保存修復工事報告書	文化財建造物保存技術協会 編	平成 23 年
旧三河島污水処分場唧筒場施設	重文	重要文化財（建造物）旧三河島污水処分場唧筒場施設保存修理工事報告書	文化財建造物保存技術協会 編	平成 26 年
築地本願寺本堂	重文	築地本願寺本堂修復工事報告書	築地本願寺	平成 25 年
三越日本橋本店	重文	三越日本橋本店本館調査報告書 改訂第 2 版	三越日本橋本店本館調査検討会 編	平成 28 年
高島屋東京店	重文	高島屋東京店建造物歴史調査報告書	高島屋東京店建造物歴史調査検討会 編	平成 22 年
		重要文化財高島屋東京店保存修理工事報告書	文化財保存計画協会 編	平成 25 年
		重要文化財高島屋東京店保存修理工事報告書	文化財保存計画協会 編	令和元年
国立西洋美術館本館	重文	国立西洋美術館本館歴史調査報告書	日本建築学会国立西洋美術館歴史調査 WG 編著	平成 19 年
明治神宮宝物殿	重文	明治神宮宝物殿改修工事報告書	明治神宮宝物殿改修工事報告書作成委員会 編	昭和 61 年
旧前田家本邸	重文	重要文化財旧前田家本邸洋館ほか一棟保存修理工事報告書	文化財建造物保存技術協会 執筆・編集	令和元年
佐渡金銀山遺跡 旧佐渡鉱山採鉱施設	史跡	史跡佐渡金銀山遺跡保存管理計画書 第 1 期	佐渡市世界遺産推進課	平成 24 年
		史跡佐渡金銀山遺跡保存管理計画書 第 2 期	佐渡市産業観光部世界遺産推進課	平成 30 年
	重文	旧佐渡鉱山近代化遺産建造物群調査報告書	佐渡市教育委員会	平成 20 年
富岩運河水閘施設	重文	重要文化財富岩運河水閘施設（中島閘門）閘門操作室保存修理工事報告書	文化財建造物保存技術協会 編著	平成 22 年
桃介橋	重文	桃介橋修復・復元工事報告書	南木曾町 編著	平成 6 年
旧品川燈台	重文	明治村建造物移築工事報告書 第 2 集（品川燈台（重要文化財 旧品川燈台）菅島燈台附属官舎（重要文化財 旧菅島燈台附属官舎）小那沙美島燈台）	博物館明治村 編	昭和 53 年
梅小路機関車庫	重文	重要文化財梅小路機関車庫耐震対策工事報告書	西日本旅客鉄道（株）大阪工事事務所，ジェイアール西日本コンサルタンツ（株），大鉄工業（株） 編著	平成 28 年
旧京都中央電話局西陣分局舎	重文	新建築 2019 年 3 月号	NTT ファシリティーズ CUP	令和元年
移情閣	重文	兵庫県指定重要有形文化財移情閣移築修理工事報告書	建築研究協会 編・著	平成 13 年
神戸女学院	重文	重要文化財神戸女学院：ヴォーリズ建築の魅力とメッセージ：創立 140 周年記念版	神戸女学院	平成 27 年
旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）	重文	要文化財旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）保存修理工事報告書	建築研究協会 編	平成元年
		重要文化財旧山邑家住宅（淀川製鋼迎賓館）保存修理災害復旧工事報告書	建築研究協会 編	平成 10 年
旧美敷水源地水道施設	重文	重要文化財旧美敷水源地水道施設保存修理工事報告書	文化財建造物保存技術協会 編著	平成 30 年
宇部市渡辺翁記念会館	重文	新建築 1994 年 4 月号	村野・森建築事務所	平成 6 年
旧志免鉱業所竪坑櫓	重文	重要文化財旧志免鉱業所竪坑櫓保存活用計画	志免町教育委員会	平成 25 年
旧筑後川橋梁	重文	重要文化財旧筑後川橋梁（筑後川昇開橋）保存修理工事報告書	文化財建造物保存技術協会 編著	平成 23 年

巻末資料 -3. コンクリート造建造物 調査物件一覧

調査日	名称【現在の施設名】	区分
2018.10.17	広島平和記念資料館	国重要文化財
2018.10.18	世界平和記念聖堂	国重要文化財
2018.11.06	丸沼堰堤	国重要文化財
2018.11.08	旧佐渡鉱山採鉱施設大立竪坑捲揚機室ほか	国重要文化財
2018.11.13	梅小路機関車庫	国重要文化財
2019.01.10	神戸女学院総務館講堂及び礼拝堂ほか	国重要文化財
2019.01.11	旧山邑家住宅【ヨドコウ迎賓館】	国重要文化財
2019.01.30	東京大学大講堂（安田講堂）	登録有形文化財
2019.03.15	大阪城天守閣	登録有形文化財
2019.03.19	旧志免鉱業所竪坑櫓	国重要文化財

編集後記

東京文化財研究所、保存科学研究センター、近代文化遺産研究室の調査研究活動にご後援を頂いております皆様に感謝いたします。

「未来につなぐ人類の技」シリーズは平成11年(1999)年刊行の第1巻「航空機の保存と修復」から本巻まで(英語版は第10巻以降)、当研究所のホームページにて公開しておりますのでどうぞ合わせてご覧ください。今後ともご支援のほど宜しくお願い申し上げます。

- 1 航空機の保存と修復
- 2 船舶の保存と修復
- 3 鉄道の保存と修復 I
- 4 鉄道の保存と修復 II
- 5 大型構造物の保存と修復
- 6 近代化遺産の修復のための諸問題
- 7 鉄道遺産の活用
- 8 航空機遺産の保存と活用
- 9 鉄構造物の保存と活用
- 10 コンクリート構造物の保存と修復
- 11 音声・映像記録メディアの保存と修復
- 12 近代建築に使用されている油性塗料
- 13 御料車の保存と修復及び活用
- 14 近代テキスタイルの保存と修復
- 15 洋紙の保存と修復
- 16 近代文化遺産の保存理念と修復理念
- 17 煉瓦造建造物の保存と修復
- 18 鉄構造物の保存と修復

(近代文化遺産研究室 鳥海 秀実)

表紙写真

1	2	3
4	5	6
7	8	9

1. Magliana Pavillion イタリア、ローマ (北河大次郎)
2. 丸沼堰堤 外観 (石田真弥)
3. 聖クレメンツ教会 スイス、ベットラッハ (北河大次郎)
4. 旧山邑家住宅 水切庇新設 (石田真弥)
5. Palazzetto dello Sport イタリア、ローマ (北河大次郎)
6. 広島平和記念資料館 擬似打放し仕上げ (石田真弥)
7. 旧志免鋳業所竪坑櫓 鉄筋腐食 (石田真弥)
8. 旧志免鋳業所竪坑櫓 外観 (石田真弥)
9. 大谷派本願寺函館別院 ラスモルタル構造 (石田真弥)

※ () 内は撮影者名

未来につなぐ人類の技^⑩ コンクリート造建造物の保存と修復

2020年2月28日 発行

編 者 独立行政法人国立文化財機構 東京文化財研究所
保存科学研究センター 近代文化遺産研究室

発 行 所 独立行政法人国立文化財機構 東京文化財研究所
〒110-8713 東京都台東区上野公園 13-43
TEL 03-3823-2241 (番号案内)
FAX 03-3823-4835
URL <http://www.tobunken.go.jp/>

印 刷・製 本 株式会社トライ

© 東京文化財研究所 2020 Printed in Japan
※本書の無断転載を禁じます。

未来につなぐ人類の技 19
コンクリート造建造物の保存と修復