

委員会報告 歴史的建造物の診断・修復研究委員会の活動と成果の概要

谷川 恭雄^{*1}・辻 正哲^{*2}・畑中 重光^{*3}・濱崎 仁^{*4}・
青木 孝義^{*5}・佐々木 孝彦^{*6}・澤本 武博^{*7}・花里 利一^{*3}

要旨：歴史的建造物の保存・修復事業は、従来から木造建築物を中心として行われてきたが、最近では煉瓦造や石造、RC 造を中心とする近代建造物の保存・修復にも目が向けられるようになった。歴史的建造物の保存・修復にあたっては、建造物への損傷は許容されない場合がほとんどであり、また建設当時の材料や技術の再現も重要な課題である。本委員会では、歴史的建造物の調査・診断・補修・補強に関する技術を取りまとめるとともに、我が国において重要文化財、または登録文化財に指定されている歴史的建造物を中心としたガイドブックを作成した。

キーワード：歴史的建造物、オーセンティシティ、診断、修復

1. はじめに

近年、煉瓦造や石造、RC 造を中心とする近代建造物の保存・修復に対する技術的な要請が高まりつつあるが、煉瓦造や石造建造物の調査・診断・補修・補強技術については、いまだ系統的な研究がなされておらず、場当たりの方法が採られることも多い。また、歴史的建造物については、従来 RC 造建造物で適用されてきた、診断や補修・補強方法がそのままでは適用できない場合も多い。

一方、1996 年からの文化財登録制度の導入により、登録文化財に指定される歴史的建造物が急増しており、コンクリート造建造物だけでも、その数は 600 件を超えている。また、約 70 件のコンクリート造建造物が重要文化財に指定されており、その中には戦後に建設された建築物も含まれている。

歴史的建造物の保存・修復にあたっては、オ

ーセンティシティ (authenticity) の確保が重要な命題となる。オーセンティシティとは、「真正性」、あるいは「由緒正しさ」の意味で使われ、歴史的遺産として守るべき要素であるといつてよい。オーセンティシティの具体的な考え方として、世界文化遺産奈良会議で採択された“Nara Document on Authenticity”の中では、オーセンティシティを確保する視点として、①形態と意匠、②材料と材質、③用途と機能、④伝統と技術、⑤立地と周辺環境、⑥精神と感性、⑦その他内外的要因が示されている。

本委員会では、歴史的建造物の調査・診断・補修・補強に適用が可能な既往の研究・技術を委員会報告書として取りまとめるとともに、我が国における歴史的建造物のガイドブックとして、「歴史的建造物ガイドブック・200 選」を作成した。

-
- *1 名城大学理工学部建築学科 教授 工博 (正会員)
 - *2 東京理科大学理工学部土木工学科 教授 工博 (正会員)
 - *3 三重大学大学院工学研究科建築学専攻 教授 工博 (正会員)
 - *4 (独) 建築研究所材料研究グループ 博士 (工学) (正会員)
 - *5 名古屋市立大学大学院芸術工学研究科 准教授 工博 (正会員)
 - *6 (財) 鉄道総合技術研究所材料技術研究部 工博 (正会員)
 - *7 ものづくり大学技能工芸学部建設技能工芸学科 専任講師 博士 (工学) (正会員)

2. 委員会活動の概要

委員構成を表－1に示す。活動期間は、2005年6月～2007年3月の2年間であり、劣化診断・補修WG（主査：谷川恭雄）、耐震診断・補強WG（主査：畑中重光）、ガイドブック作成WG（主査：辻正哲）の3つのWGを設置した。2006年6月には、シンポジウムを開催し、委員会成果の中間報告を行うとともに、15編の論文発表が行われた。

委員会報告書の目次を表－2に示す。以降、委員会報告書およびガイドブックの内容に従って、委員会活動を報告する。

3. 歴史的建造物の現状

3.1 歴史的建造物の分類

現在、約 2300 件の歴史的建造物が重要文化財に指定されている。木造が大半を占めているが、主に明治期、または大正期に建設された煉瓦造、コンクリート造および石造も重要文化財に指定されており、全体の約 10%を占めている。これまでに登録されている歴史的建造物の有形文化財は約 5900 件であり、煉瓦造、コンクリート造および石造が全体の約 15%を占め、その割合は重要文化財での割合を大きく上回っている。

図－1および図－2は、煉瓦造、コンクリート造、石造の重要文化財および登録有形文化財について、文化庁によるデータ一覧を構造種類別に整理し直したものである。なお、構造種類別に分類した中には一部鉄骨造や木造の複合も含む。また、図中の複合は、煉瓦造、コンクリート造および石造のいずれかの複合を含むものである。

2006年7月5日までに煉瓦造、コンクリート造および石造として指定された重要文化財は建築建造物で114件、土木建造物で95件であり、それぞれ煉瓦造およびコンクリート造が最も多い。また、2006年3月2日までに煉瓦造、コンクリート造および石造として登録された有形文化財は建築建造物で512件、土木建造物で354件あり、いずれもコンクリート造が最も多い。

表－1 委員構成

委員長	谷川恭雄（名城大学）
幹事	辻正哲（東京理科大学）、畑中重光（三重大学）
委員	青木孝義（名古屋市立大学）、芦田公伸（電気化学工業）、宇治公隆（首都大学東京）、小野定（C&R コンサルタント）、勝俣英雄・竹田宣典（大林組）、佐々木孝彦（鉄道総合技術研究所）、澤本武博（ものづくり大学）、進藤義郎（ドーコン）、高山仁志（応用光学研究所）、冨永善啓・西岡聡（文化財建造物保存技術協会）、西澤英和（京都大学）、長谷川哲也（日本診断設計）、長谷川直司（文化庁）、花里利一（三重大学）、羽原俊祐（岩手大学）、馬場俊介（岡山大学）、濱崎仁（建築研究所）、林章二（清水建設）、久田真（東北大学）、武藤正樹（国土交通省）、森寛晃（太平洋セメント）、森濱和正（土木研究所）、山脇克彦（日本設計）、湯浅昇（日本大学）
事務局	大野一昭（2007年3月）

表－2 委員会報告書目次

1. 歴史的建造物保存・修復の現状と課題
 2. 文化財に指定された歴史的建造物の現状
 3. 歴史的建造物の概要（基本）調査
 - 3.1 調査・診断・補修・補強フロー
 - 3.2 建造物資料調査
 - 3.3 建造物図面の作成
 - 3.4 劣化現況の目視調査
 - 3.5 使用材料の特定
 4. 歴史的建造物の劣化の原因および調査・診断方法の種類
 - 4.1 材料的劣化とその調査・診断方法
 - 4.2 構造的劣化とその調査・診断方法
 5. 歴史的建造物の劣化診断・補修方法
 - 5.1 歴史的建造物の劣化診断方法
 - 5.2 歴史的建造物の補修方法
 6. 歴史的建造物の耐力診断・修復方法
 - 6.1 歴史的建造物の耐力診断方法
 - 6.2 歴史的建造物の修復補強方法
 7. 調査事例集
- 【別冊】歴史的建造物ガイドブック・200 選

重要文化財を用途別に分類すると、建築建造物では博物館や鉄道施設などの公共施設が最も多く、続いて工場・倉庫、住居施設、教育施設、官公庁の順となっている。土木建造物では、鉄道やトンネル、水路などの隧が最も多く、続いて橋、堰の順となっている。また、登録有形文化財を用途別に分類すると、建築建造物では公共施設が最も多く、続いて住居施設、教育施設、工場・倉庫、商業施設の順となっている。土木建造物では、堰が最も多く、続いて発電所や灯

台、ドッグなどの屋、橋の順となっている。

3.2 ガイドブックに掲載する歴史的建造物の選定

(1) 建築建造物の選定経緯

建築建造物の選定では、まず初めに、都道府県毎に調査を実施し発刊された「近代化遺産(建造物等)総合調査報告書」(35 道府県が既刊)に掲載された煉瓦造およびコンクリート造の建造物や、「官報」平成 17 年 8 月 2 日号外第 174 号掲載分までに指定された、煉瓦造建築物およびコンクリート造建築物の登録文化財を抽出した。近代化遺産調査報告書に記載がない(あるいは報告書未刊の県の)登録文化財指定物件の根拠調査として、「日本近代建築総覧:日本建築学会編、技報堂出版、1980.3(1 版)1989.7(2 版)」および「総覧日本の建築(全 10 巻 11 冊):日本建築学会編、新建築社、1986.6 より順次刊行(ただし、第 4 巻甲信越・北陸〔新潟・富山・石川・福井・山梨・長野〕および第 7 巻大阪・兵庫が未刊)」が文化庁ホームページで示されている。その他「札幌の建築探訪」、「近代京都の名建築」、「東海の近代建築」、「近代建築ガイドブック」などの大学教官等の執筆・編集の既往の文献や個別報告書、学位論文などを根拠に調査した。そして、煉瓦造を 383 件、コンクリ

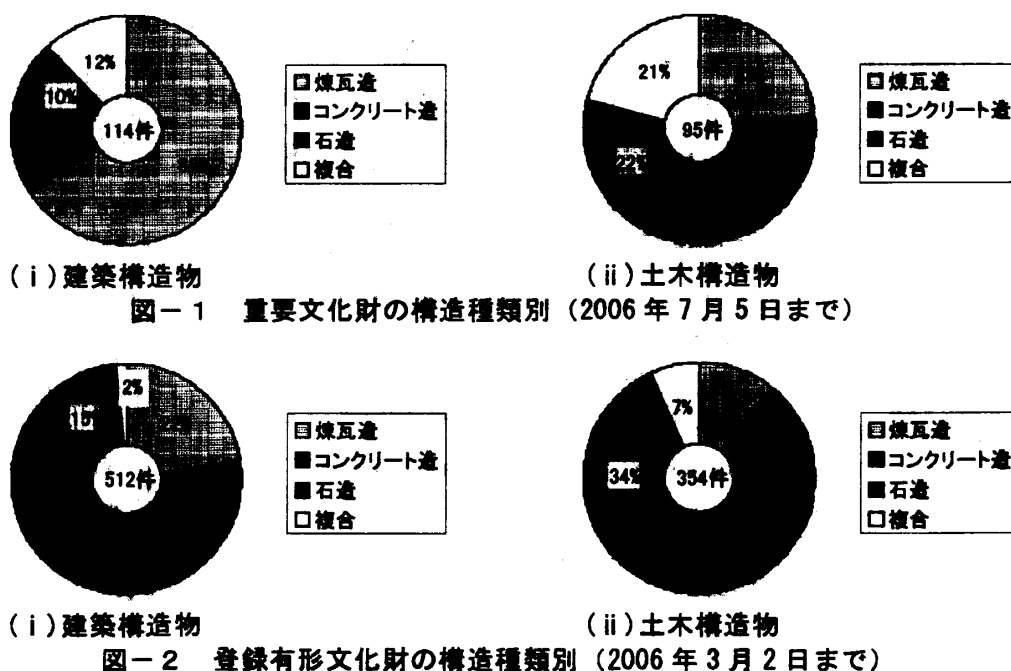
ート造を 586 件選択し、外観写真と技術的な概説文を加えた「歴史的建造物ガイドブック(中間報告)」を作成した。最終報告書では、中間報告書で選択した中から、さらに煉瓦造建築物およびコンクリート造建築物をそれぞれ 50 件ずつに絞った。

(2) 土木建造物の選定経緯

土木建造物の選定は、次の 4 つの基準で行った。第一は、「日本の近代土木遺産—現存する重要な建造物 2800 選」(土木学会、2005 年)で A ランクに該当するもの。第二は、多様な土木遺産の魅力が感じ取れるよう、建造物の種別を可能な限り広げる。第三は、許可を得ないと接近できないもの、放置されてアクセスが困難なものは極力避ける。第四は、時代による技術の発達を、建造物を通じて感じ取れるようにする。なお、本ガイドブックは、「歴史的建造物の診断・修復研究会」による成果物なので、参考までにその観点から土木関連の 100 選を見ると、保存的修復を受けたものは、コンクリート造で 12 件、煉瓦造・石造で 12 件の合計 24 件である。

(3) ガイドブックの作成

ガイドブックに記載した歴史的建造物の一覧は、表-3 に示す通りである。ガイドブックは A5 版、1 ページに 1 件、カラー印刷とし、都



道府県順に並べた。なお、写真は、報告書・文献からスキャンしたほか、独自に撮影した写真（土木構造物はすべて馬場委員が撮影した写真）を使用した。また、技術的な概説文や見学の便を図るため地図も掲載した。

4. 歴史的構造物の調査・診断

4.1 調査・診断フロー

歴史的構造物に限らず、構造物の調査・診断の基本は、①構造物の諸元（仕様）を把握し初期の状態を推定すること、②劣化や損傷による

表-3 ガイドブックに掲載した歴史的構造物一覧

No.	コンクリート造(建築構造物)	煉瓦造(建築構造物)	コンクリート造(土木構造物)	煉瓦造・石造(土木構造物)
1	小樽ペテルブルグ美術館(旧北海道拓殖銀行小樽支店・親水ホール1・2・3小樽)	北海道庁旧本庁舎	稚内港北防波堤ドーム(旧稚内港防波堤)	鉄道車輛保存館3号館(旧)手宮第三号機庫
2	木村産業研究所	旧日本郵船株式会社小樽支店	小樽港 北防波堤／南北防波堤・斜路式ケーソンドック	出町／瀬／(旧)吉崎／渡瀬
3	岩手県公会堂	函館中華会館	管流(水道)堰堤	石井南門
4	沼田市立光丘文庫・付属書庫(旧財団法人 光丘文庫)	岩手銀行(旧盛岡銀行)旧本店本館	(旧)尾去沢鉱山 選鉱場／(旧)尾去沢鉱山 シュッケナー	神山発電所
5	郡山市公会堂	旧阿仁鉱山外国人官舎	小樽運水橋	(廃)運水第三橋梁(運水川橋梁)
6	旧真室郵便局	山形県旧県庁舎及び県会議事堂	安藤運水十六橋水門	めがね橋梁(旧)倉松落大石運路
7	新本県庁舎本館	旧富岡製氷場	横利橋南門	常盤橋／日本橋
8	群馬県庁本庁舎	運水幹線施設	石岡第一発電所(本館発電機室)(本館旧開閉室)	御茶ノ水・万世橋間高架構橋／新永間市街橋高架構
9	横林寺旧本堂	ローヤル洋菓子店(旧本庄商業銀行倉庫)	黒部ダム(下流発電所→鳥取川発電所)	村山下貯水池 第一取水塔
10	あさひ銀行川越支店(旧八十五銀行本店本館)	鶴之堂	六郷水門	ドックヤードガーデン(旧)横浜船渠二号船渠
11	千歳市民ギャラリー・いなげ(旧神谷伝兵衛毛別荘)	日本聖公会旗ヶ丘パウロ教会礼拝堂	駒沢給水所 配水塔	三國港 エッセル堤
12	千歳市中央区市民センター(旧川崎銀行千歳支店)	法務省旧本館	函根酒門	駒橋発電所 落合水路橋
13	興風会館	旧近衛師団司令部庁舎	新港埠頭 第三号岸壁	牛伏川 フランス式渡路工
14	明治生命保険相互会社本社本館	東京駅丸ノ内本館	大河津分水 洗堰／大河津分水 可動堰	甲大門西橋梁
15	歌舞伎座	東京商船大学旧天体観測所(第一観測台)	白岩(砂防)堰堤(本ダム、第一～第七副ダム)	天城隧道(天城山隧道)／伊勢神隧道(伊勢神宮隧道)
16	三井本館	慶應義塾図書館	小牧ダム(小牧発電所)	木曾川ケレップ水割井
17	旧東京市室博物館本館	横浜市開港記念会館	八ツ沢発電所 一号水路橋(養橋水路橋)	大砂川隧道
18	横浜三井物産ビル	旧金澤陸軍兵器支庫(石川県立歴史博物館)	芦安(砂防)堰堤	(旧)道坂山トンネル(大津方)
19	神奈川県庁本庁舎	金沢市立玉川図書館別館(旧専売公社C-1号工場)	桃介橋／読書発電所 將其水路橋	草津川 オランダ(砂防)堰堤／天神川(砂防)堰堤
20	新津記念館	小浜聖ルカ教会	大手橋／栄橋	(旧)砂山沼清水橋
21	入善町下山芸術の森アールスペース(旧下山発電所)	半田赤レンガ建物(旧カプトビル工場)創建時主棟	大井ダム(大井発電所)	琵琶湖第一放水 第一隧道／第二隧道／南津寺水路閘(旧)蔵上発電所
22	旧森田銀行本店	西尾市岩瀬文庫書庫	五六用水逆水樋門(牛牧南門)	赤川(河川)隧道(旧)金下山隧道
23	甲府法人会館(旧甲府商工会館所)	産業技術記念館(旧豊田自衛機織工場)	西沢名橋	神戸市 水の科学博物館(真平野浄水場 (旧)急流ろ過場)
24	淡山駒記念館海国書館	旧名古屋控訴院地方裁判所区裁判所庁舎	清水灯台(三保灯台)	(旧)神戸外国人居留地 下水渠
25	愛知県庁本庁舎	旧東洋紡績細田工場原庫庫庫	津瀬橋／貴橋	龍之渡井
26	名古屋役所本庁舎	松原市文化財センター(旧カボウ橋永松飯橋倉庫)	岩津発電所 取水堰堤(瀬田堰堤)	(旧)友ヶ島第三砲台
27	瑞穂プリンスホテル(旧瑞穂ホテル)	同志社(旧真学校、神学校及び波理須理科学校)	(旧)松重南門	日御碕灯台
28	JR西日本神本線本館 旧長浜駅舎鉄道資料館	旧帝國京都博物館	名古屋市演劇練習館アクテナ(元)稲葉地配水塔	三石金剛川橋梁(上り線)／野道橋梁(下り線)
29	旧水口図書館	旧日本銀行京都支店	(旧)四日市港 北突堤上防波堤(四日市旧港防波堤、潮吹き防波堤)	(旧)藤山の舟着場
30	旧京都中央電話局西陣分局社	大谷大学専断館(旧本館)	谷坂隧道	(旧)児島湾開港 第一区干拓堤防(東高崎干拓切堤)
31	旧京都中央電話局分局	舞鶴市政記念館(旧舞鶴海軍兵器予備庫兵器庫)	日ノ岡第十一号橋／山ノ谷橋(旧)大岩橋	三野浄水場記念館(旧)動力室／半田山配水池
32	南座	大阪市中央公会堂	大江橋／浅瀬橋	(旧)東横川の黒木群
33	大阪城天守閣	日本聖公会山科福音教会	安治川(河底)隧道(歩道部)	富原浄水場 配水池(上層)
34	瑞雲会館	旧神戸商會十五番館	布引(水道)堰堤／布引水漏分水堰堤附風橋	(旧)三高山北御霊臺砲台
35	移情閣	浜田市立第一中学校館内運動場(旧歩兵第21連隊砲臺砲兵場)	神戸港 第一～第三突堤(旧)第四突堤～第二突堤	角島灯台・吏員退息所
36	フロインドリーブ本店(旧ユニオン教会)	児島虎次郎記念館	上ヶ原浄水場 繰連ろ過池	(旧)多度津港 外港西防波堤
37	旧山邑家住宅	旧中國銀行牛窓支店	思原ダム(平作原発電所)／奥津発電所調整池	女木島のオオテ
38	旧米子市庁舎	阿多田島灯台資料館(旧安芸白石燈塔立構施設)油庫	瀬津取水樋門／瀬津南配水樋門	山瀬グラウンド観覧席／(旧)東平地区貯水池
39	大原美術館本館	旧下関英商領事館	本庄(貯水池)堰堤	内田川橋梁(めがね橋)
40	広島平和記念資料館	クリエイティブ・スペース赤れんが(旧山口県立山口図書館書庫)	豊池池堰堤	(旧)堂山製塩岸壁／(旧)若松南海岸物産場岸壁
41	世界平和記念聖堂	おおず赤煉瓦館(旧大洲商業銀行)	(旧)民間海軍航空隊 スリッパ	三池港 港口南門
42	小野田セメント山手製薬部	旧日本生命保険株式会社九州支店	(旧)小島中静砲台	(旧)大瀬堤防
43	山口県労働会館下関支店(旧不動貯金銀行下関支店)	小倉修船所の跡上機小屋	一斗級沈下橋	長崎下水 第6線(しとき川支線)下水渠
44	宇都宮市歴史記念会館	旧長崎英商領事館	(旧)国鉄志堅聖坑橋	マリア園橋(西側)の坂(ドンデン坂)の石畳
45	松山地方気象台(旧愛媛県立松山測候所)庁舎	田平天主堂	前畑一号倉庫	佐敷隧道
46	愛媛県庁舎	真ヶ島天主堂	(旧)針尾無敵塔	三角港 龍岸(旧)三角港
47	門司区役所(旧門司市役所)	牛津赤れんが館(旧田中丸商店れんが造り倉庫)	(旧)片島島雷発射試験場	都築三番町橋門(旧)都築新地甲号橋門
48	佐世保市民文化ホール(旧海軍佐世保留守府鎮座記念館)	旧第五高等中学校	白水(沼池)堰堤	鳥濱橋
49	稲庭教会堂	熊本市水道記念館(旧八景水谷貯水池ポンプ場)	(旧)豊後森橋欄干	鳥津家(旧)瀬過池
50	与那原壱クラ修道院	油津赤レンガ館(旧河野赤家倉庫)	第三五ヶ瀬川橋梁／瀬ノ瀬川橋梁	我知古堀川井

変化の程度を把握すること、③劣化や損傷の原因を推定し適切な対応策（補修・補強計画）を考えることにある。特に歴史的建造物の場合には、建設からの年数も経過しており、使用されている材料も現代のものとは異なることなどから、現代の一般的な建造物に対する調査・診断の考え方が適用できない場合もある。また、基本的な情報となる図面や仕様書などの記録が残されていない例も多く、図面の作成や復元なども調査の一環として行われる場合がある。このような点を考慮した、歴史的建造物の調査・診断の基本フローを図-3に示す。図中には、報告書の各章での対応を示している。

4.2 材料的劣化とその調査・診断方法

一般に、強さと耐久性を有するコンクリートであっても、歴史的建造物のように、建設後の経過年数が長い場合、鉄筋腐食などコンクリートを構成する材料の変化も相当程度進行し、これが原因で耐荷力が低下している場合も多い。材料的な劣化について、劣化の原因を考慮して細分すると、以下の三つに区分できる。

①鋼材が腐食し部材断面中の鉄筋量が減少する劣化

②コンクリート強度や弾性係数が低下する劣化
③部材断面そのものが減少する劣化

①には中性化や塩害が、②にはアルカリ骨材反応、凍害による劣化が、③には化学的腐食によるコンクリートの溶解を伴う劣化がそれぞれ区分される。

これらの劣化が生じている場合の歴史的建造物の補修、あるいは補強を実施するにあたっては、以下のことを考慮する必要がある。

①コンクリートを構成する材料のうちのどれに生じた劣化で、そのメカニズムはなにか。
②現状は劣化過程のどの期に相当するか。
③劣化の進行速度はどのように見積もるか。

劣化進行予測の考え方など研究段階にある調査項目もあるが、現状で最適と思われる各項目とそれの調査方法の組合せを整理した。表-4に鉄筋コンクリート造における劣化原因の推定、予測のための調査方法の例を示す。

煉瓦造建造物については、煉瓦の代表的な劣化現象は凍害、塩類風化、目地材の劣化であり、これらの劣化の有無の確認方法を含め、現状で最適と思われる項目とその調査方法を整理した。

委員会報告書では、非破壊試験方法として、

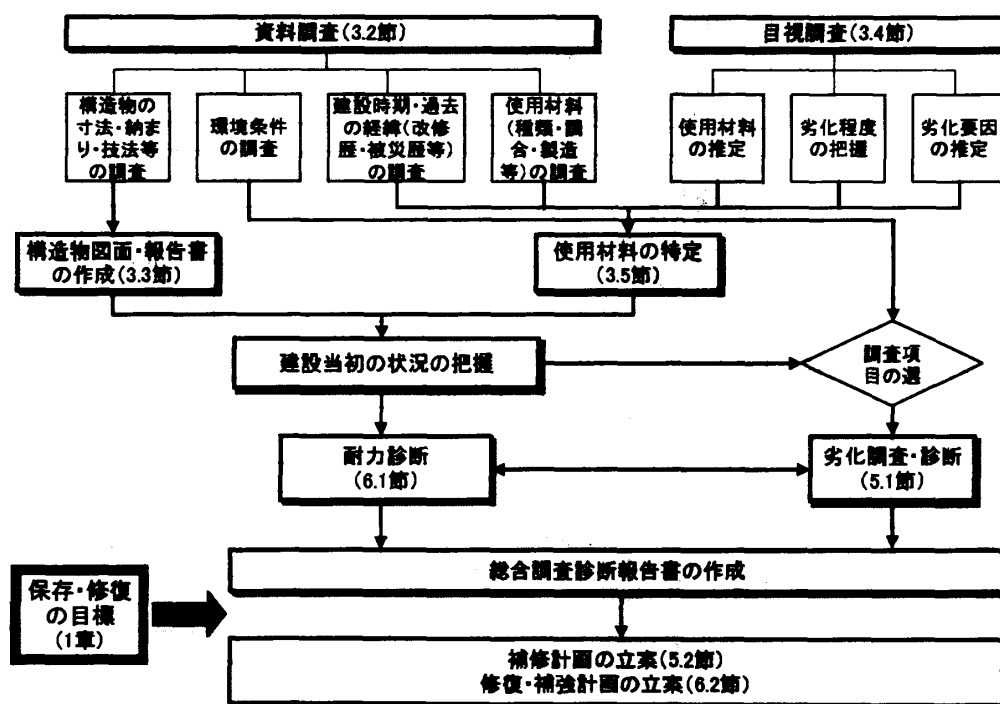


図-3 歴史的建造物の調査・診断の基本フロー

リバウンドハンマー法、打診（音）法、超音波法、衝撃弾性波法、簡易吸水試験法、鋼材腐食診断法、赤外線サーモグラフィ法、微破壊試験法として、抜取りコア法、引っかき傷法、ドリル削孔法、ウィンザーピン貫入抵抗法、細孔構造分析法について、現状の技術を取りまとめた。また、コンクリートおよび煉瓦に対する化学分析試験の適用方法について整理を行った。各方法の詳細については、報告書を参照されたい。

4.3 使用材料の特定

歴史的建造物では、そのオーセンティシティの確保のため、建設当時と同じ材料を使用して

修復・復元することを求められる場合も多い。建設当時に使用された材料の特定は、文献や当時の仕様書等によるほか、化学分析によっても概略を把握することができる。図-4に使用材料を特定するための分析フローの例を示す。

4.4 耐力診断方法

(1) 概要

歴史的建造物は、耐震設計規準が十分でない時代のものであり、コンクリート材料の品質とともに施工技術の差異が大きく、構造的安全性に問題のある建造物も多い。また、歴史的な煉瓦造建造物、石造建造物は、古くは石灰モルタ

表-4 鉄筋コンクリート造における劣化原因の推定、予測のための調査方法の例

調査方法	原理・調査項目等	劣化の原因				
		中性化	塩害	A S R	凍害	化学的浸食
資料調査	設計図書、竣工図書、検査記録簿等	◎	◎	◎	◎	◎
目視・写真撮影	双眼鏡、カメラ	○	○	○	◎	○
打音法	打撃音、波形解析	○	○		○	
表面水分率測定	比誘電率（高周波静電容量）等	○	○	◎	◎	○
はつりによる方法	中性化深さ	◎	○			
	ひび割れ深さ	○	○	○	○	
	鋼材のかぶり・配置・寸法	◎	◎			◎
	鋼材の腐食状況	◎	◎		○	◎
	鋼材の引張強度	○	○			○
コアによる方法	中性化深さ	◎	○			
	ひび割れ深さ	○	○	○	○	
	圧縮・引張強度、弾性係数	○			○	
	配合分析	○	○		○	○
	塩化物イオン含有量		◎	◎	○	
	アルカリ量分析			◎		
	骨材の反応性			◎		
	膨張量測定			◎		
	細孔径分析				◎	
	気泡分布				○	
	透気性試験	○				○
	熱分析（TG・DTA）	○				○
コンクリートの化学組成分析	X線回折	○		◎		○
	蛍光X線		◎	◎		○
	電子線マイクロアナライザ（EPMA）	○	◎	○		◎
	走査型電子顕微鏡（SEM）		○	◎		○
ドリル法	中性化深さ	◎	○			
	塩化物イオン量		◎	◎	○	
電磁波レーダ法	鋼材のかぶり・配置	◎	◎			◎
電磁誘導法	鋼材のかぶり・配置・径	◎	◎			◎
赤外線法	ひび割れ・ジャンカ・空隙等	○	○	○	○	
自然電位法	鋼材の腐食確率	○	○			○
分極抵抗法	鋼材の腐食確率	○	○			○
	鋼材の腐食速度	○	○			○

◎：劣化要因の推定、進行予測に関する主要なデータが得られるもの

○：劣化要因の推定、進行予測に関するデータが得られるもの

空欄：参考になる場合もあるもの

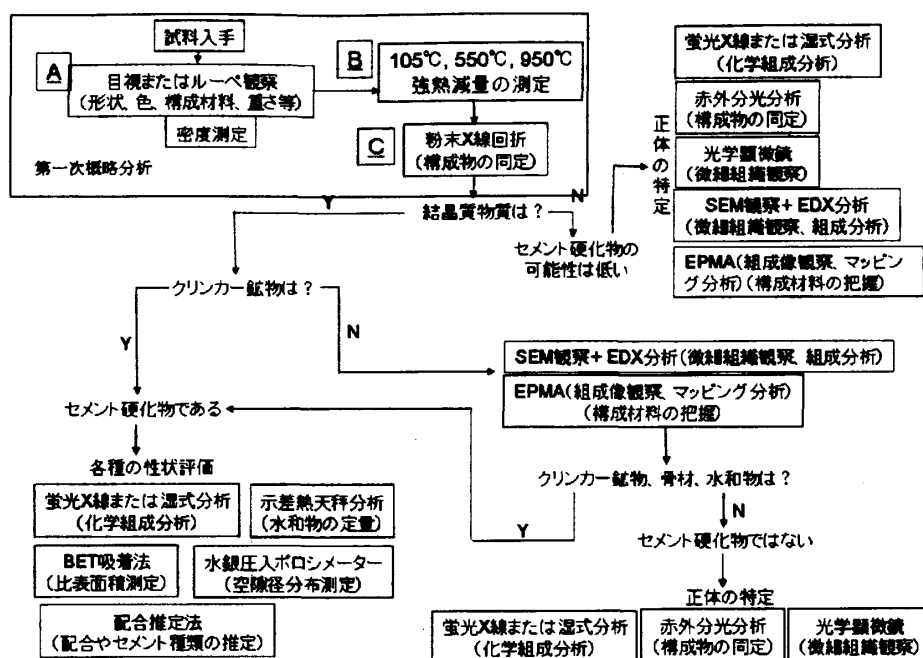


図-4 使用材料を特定するための分析フローの例

ルが使用され、煉瓦の品質にバラツキが大きく、ひび割れや変形の発生などにより、構造的安定性が脅かされている。また、構造種別にかかわらず歴史的建造物の場合、経年による各種の環境外力で材料・部材の劣化が生じて構造的安定性が損なわれる場合に加え、もともと材料・構造そのものが強度・耐力に乏しいものも少なくない。したがって、歴史的建造物の修復にあたっては、建造物の耐力・耐震性能を的確に評価する必要があり、委員会では、構造種別毎に国内外の診断事例を系統的に整理・分類した。

(2) 鉄筋コンクリート造建造物

鉄筋コンクリート造、または鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断は、日本では(財)日本建築防災協会の「耐震診断基準」^{1), 2)}に準拠して行われることが一般的である。歴史的建造物の耐震診断でもこの「耐震診断基準」を利用することが合理的である。しかし、たとえばコンクリート強度が低い、構造詳細が古い、鉄筋の形状が異なる、などの理由から、歴史的建造物では「耐震診断基準」の適用範囲外になる可能性がある。報告書では、歴史的建造物への準用を念頭にした運用方法を検討している。

低強度のコンクリートの場合、耐震診断基準

の安全率に大きな影響があるせん断強度と靱性の評価が低強度コンクリートの部材に関して確立されていない点が問題で、報告書では、低強度コンクリートが用いられている場合の耐震診断基準の運用方針について提案を行っている。

土木建造物については、耐震診断基準はなく、現基準類において要求される耐震性能を満足するかどうかで診断している。ここでは、土木建造物の設計のための代表的な基準「コンクリート標準示方書耐震性能照査編」(土木学会, 2002年制定)、「鉄道建造物等設計標準(耐震設計)」(鉄道総合技術研究所編, 1999年制定)および「道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編」(道路協会編, 2002年制定)において要求されている耐震性能をまとめるとともに、

① 静的解析法による耐震設計

② 動的解析法による耐震設計

について紹介している。

(3) 煉瓦造建造物

建築物については、常時荷重に対する構造耐力の検討は、①固定および積載荷重における基礎の接地圧のチェック、②構造計算用荷重による床版および梁の応力度が長期許容応力度以下

であるかのチェック、③常時荷重による煉瓦造壁の圧縮応力度が、煉瓦造壁の許容圧縮応力度以下であるかのチェックによって行われるのが一般的である。耐震診断は、国内では鉄筋コンクリート造の「耐震診断基準」に準じて、目地のせん断耐力から面内方向壁と面外方向壁の保有性能基本指標 E_0 を計算し、そのうちの小さい方の値をその検討方向の E_0 値として診断を行っている。

土木構造物については、耐震診断に関する報告は少なく、報告書では主に調査方法について紹介している。

また、イタリアにおける解析方法、診断方法について紹介している。

(4) 石造構造物、その他（木骨煉瓦・鉄骨煉瓦等）の構造物

組積造構造物のなかでも石造構造物を対象とした耐震診断に関する研究例は、国内外を含めても極めて数が少ないのが現状で、報告書ではいくつかの研究・調査例を紹介している。

木骨煉瓦、鉄骨煉瓦等の構造物を対象とした耐震診断の基準・指針類は見当たらない。したがって、現状では煉瓦造、木造、鉄骨造等の耐震診断法を準用し、適切に組み合わせて耐震診断を行えばよいと思われる。国内にも木骨煉瓦造の歴史的構造物はあるが、海外、特にアジア地域には少なくない。しかしながら、この分野はまだ研究例も少なく、実際の地震時挙動も不明な点が多い。今後の研究分野として、国内外の研究が進むことが期待される。

5. 歴史的構造物の補修・補強方法

5.1 歴史的構造物の補修方法

歴史的構造物の補修技術は、基本的には既往の技術が適用できる場合が多いが、外観上の変化に対する制約や使用する材料についても建設当時を可能な限り再現することが求められる。また、補修のレベルについても、建設当時の状態に戻すのか、劣化の進行を止める（遅滞させる）に留めるのか、またその時に使用すべき材

料は何かなど、議論の余地が多く残されている。

報告書では、歴史的構造物に対する補修技術として、電気化学的工法（再アルカリ化工法・脱塩工法）、断面修復工法、ひび割れ注入工法、表面改質法、表面被覆法、ポインティングなどを紹介している。この中で、ポインティング以外の技術については、一般の RC 造構造物でも適用されているため、ここでは割愛し、普段あまりなじみのないポインティングについて紹介する。

ポインティングは、煉瓦造や石造構造物で、目地材が劣化しているものの母材は健全な場合に、目地部分のみを施工し直して補修する工法である。写真-1 にポインティングの施工状況を示す。ポインティングは作業に手間がかかり、効率が悪いという難点はあるものの、母材が劣化していない限り、建設当時の材料を生かし、目地材の補修だけで機能を回復することができる方法である。イギリスにおいては、目地補修により 150 年以上経った現在でも充分健全である鉄道構造物が多く残されている。

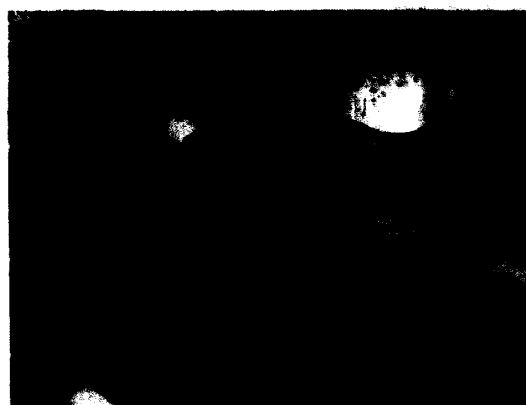


写真-1 ポインティングの施工状況

5.2 歴史的構造物の補強・修復方法

(1) 概要

歴史的構造物の修復にあたっては、構造種別にかかわらず、文化遺産の修復の原則に従って、構造物の歴史的価値が失われないような補強方法、すなわちオーセンティシティを尊重し、①最小限の補強、かつ②可逆的な工法であることが要求される。最小限の補強とするためには、もともと有している耐力・耐震性能を活かすこ

とが必要となり、診断技術とともに荷重の評価も含めて構造解析技術が重要になる。

報告書では、診断結果を踏まえた上で、必要に応じて行われる耐力補強・耐震補強の方法について、コンクリート造構造物、煉瓦造構造物、石造構造物、その他の構造物の順に紹介している。

(2) 鉄筋コンクリート造構造物

すべての構造種別に該当することであるが、歴史的構造物は、材料・部材・構造が強度・耐力に乏しいものが多いことから、変形性能が低く、靱性型補強にした場合には被災時に構造物に大きな損傷を与える可能性があると考えられる。したがって、修復・補強にあたっては、

①できるだけ変形させないように強度型補強を行う

②応力集中の緩和を図るために補強部材を分散した配置とする

③余力を付ける

に注意する必要がある。建築物の場合、一般には、鉄筋コンクリートの壁が増設されることが多く、鉄骨による補強、炭素繊維、あるいは鋼板巻きによる柱の補強なども実施されている。

土木構造物としては、橋、トンネル、鉄道、ダム・堰、運河、灯台、発電所、上下水道などが体系的に整理されている³⁾。報告書では、耐震補強の実施例として、①防波堤・ダム柱部等、②橋梁、③ダム・堰堤、④水門、⑤取水塔について、具体例をあげて説明している。笹流堰堤は、1923年（大正12年）に竣工した日本初のバットレス・ダムで、補修では23基あるバットレスは3倍以上に加厚され、6本の水平梁は断面を縦横それぞれ2倍に加厚している（写真-2）。



(a) 復旧前

(b) 復旧後

写真-2 笹流堰堤復旧状況

(3) 煉瓦造構造物

建築物については、既往の補強事例をもとに、煉瓦造建築物に適用されてきた補強工法の変遷を、補強部位毎にまとめている。耐震補強方法は一つの建物補強事例でも複数の工法を組み合わせられて採用されるのが一般的であるが、煉瓦造建築物で適用されてきた耐震改修技術を分類すると、次のように整理できる。

(a) 地震荷重の低減・制御

①免震工法

(b) 構造性能の向上

①RC壁の増設(内側に打ち増し)

②RC梁・柱の付設

③鋼板の付設

④鉄骨フレームによる補強

⑤鉄筋の挿入

⑥PC鋼棒を用いたプレストレス工法

⑦エポキシ樹脂の注入

⑧鉄骨、またはRC造バットレス付設

(c) 補足（部分）的な補強

①開口部の補強

②臥梁の設置

③床スラブ補強による面内剛性確保

④基礎の補強

報告書では、RCバットレス、鉄骨臥梁、鉄筋挿入による耐震補強が行われた重要文化財名古屋控訴院地方裁判所庁舎（図-5）⁴⁾、外部での鉄骨バットレス、補強鉄筋の挿入、壁頂部の鉄骨臥梁による補強が行われた重要文化財旧山形県会議事堂（図-6）⁵⁾など、国内の事例を紹介するとともに、海外の事例についても紹介している。

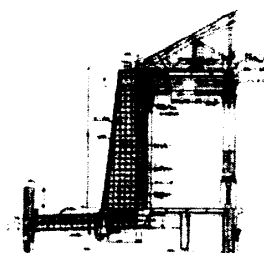


図-5 RCバットレスによる補強⁴⁾

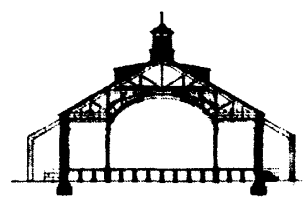


図-6 鉄骨バットレスによる補強⁵⁾

煉瓦造の土木構造物の補修、補強は、煉瓦の外観や文化財としての保存を考慮して実施されたものは少なく、トンネルやアーチ式橋梁、橋脚などの機能回復や剥落防止対策として実施されることが多い。土木分野で行われている煉瓦造構造物の補修・補強工法は、以下のように分類できる。

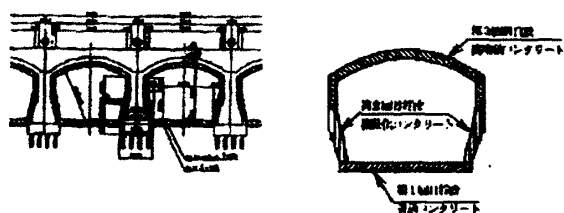
(a)補修

- ①帯鋼板巻き工法
- ②コンクリート打ち換え工法

(b)補強

- ①コンクリート巻立て工法
- ②鋼板巻き工法

報告書では、東京レンガアーチ高架橋（図－7）の耐震補強⁶⁾などの事例を紹介している。JR 山手線の東京～浜松町間の東京レンガアーチ高架橋（通称）は、1910 年（明治 43 年）に完成し、現在も供用されている日本に現存する唯一の煉瓦積み連続アーチ高架橋であるが、この高架橋の耐震補強工事では、煉瓦造りの外観の保存を考慮して、アーチ部および側壁に対して鉄筋コンクリートの内巻きによる補強工法が実施されている。



(a) 補強部位

(b) 高流動コンクリートの打設順序

図－7 東京レンガアーチ高架橋

(4)石造構造物

基本的には、石造構造物の場合もレンガ造の耐震補強法が準用できよう。我が国では、1990 年代～2001 年にかけて明治期灯台の診断と補強が行われた。報告書では、石造住宅と灯台の補強例を紹介している。

6. 補強事例集

主として指定文化財においてこれまで実施された耐震補強事例の調査を行い、事例毎に補強方法を整理している。最近では免震レトロフィットの事例が増え、文化財構造物の耐震改修法として免震工法が有力な手段になりつつある。

7. おわりに

歴史的構造物の保存・修復に関する技術は、今後ますます必要性を増すものと思われる。本委員会では、現状の技術の到達点を委員会報告として取りまとめており、その詳細については、委員会報告書を参照いただきたい。今後は、さらに診断、補修・補強技術に関する技術マニュアルの作成なども必要となるであろう。

末筆となりましたが、委員会活動に献身的にご尽力頂きました委員各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会：2001 年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，2001.1
- 2) 日本建築防災協会：改訂版既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，1997.2
- 3) ぎょうせい：建物の見方・しらべ方—近代土木遺産の保存と活用，1998
- 4) (財)文化財建造物保存技術協会：重要文化財名古屋控訴院地方裁判所区裁判所庁舎保存修理工事報告書，pp.293～294，1989.11
- 5) (財)文化財建造物保存技術協会：重要文化財山形県旧県庁舎及び県会議事堂保存修理工事報告書 旧県会議事堂編，p.264，1991.3
- 6) 斉藤哲夫：東京レンガアーチ高架橋 耐震補強工事の設計と施工，日本鉄道施設協会誌，pp.300-302，2003.4