

文化遺産防災技術研究プロジェクト

プロジェクト代表者：衣笠総合研究機構・教授 鈴木 祥之

共同研究者：大窪 健之、深川 良一、里深 好文、小林 泰三、吉富 信太、持田 泰秀、藤本 将光、
福山 智子

1. 防火環境整備技術の開発【大窪 健之、金 度源】

研究目的

(1) 地域防災情報ネットワークの開発

個別に設置されている住宅用火災警報器が感知した火災発生情報を地域全体で共有し、地域住民による初期消火や避難活動に迅速に対応できるよう、情報共有システムの開発と実践配備を目指す。社会実験などを通して地域固有の適応性能について検証しながら、火災と健康障害以外の発災情報も共有できるよう高機能化の可能性についてニーズの把握を行う。

(2) 高機能型市民消火栓および多機能型消火器ボックスの開発

消防隊が即座に対応できないような大規模災害時には、消火活動の遅れは日本の歴史文化都市にとって致命的な被害となる。しかし現状の公設消火栓はプロの消防士が複数名で操作する必要があるなど、市民一人の力では取り扱いが不可能である。このため、災害時に地域に残された市民の力だけでも最低限の消火活動が可能にするために、特別な訓練を要することなく日常的に散水などにも利用することのできる、市民一人で操作が可能な高機能型市民消火栓を開発する必要がある。さらに、歴史的景観に調和し、使いやすく、平常時にも役立つ機能を備えた、街頭設置できる多機能型消火器ボックスの開発が求められている。

研究成果の詳細

(1) 地域防災情報ネットワークの開発

これまで実装完了している「火災と急病」以外の新たな災害情報の配信可能性について、火元の正確な場所把握、自宅の場所を明示したハザードマップ配信、避難完了信号の発信などに対して期待が寄せられている。これまで、青森県黒岩重伝建地区で実証運用中のシステムをモニタリングしながらデータ収集を継続している。

2019 年度にはさらに、京都市・先斗町地域の伝統的木造密集地域において、車両の入れない街路とともに、狭小ながら避難経路となり得る伝統的な路地空間を有する地域特性を踏まえ、地域にとって最適な形で火災発見、初期消火、観光客避難誘導をサポートすべく、システムを活用した火災対応訓練を実施しており、その成果は今年度の卒業論文や次年度の学会発表に反映される予定である。

研究成果の一部はこれまでの特許申請につながっており、研究面でも今後学会への論文投稿を経て、広く社会に貢献していく予定である。

(2) 高機能型市民消火栓および多機能型消火器ボックスの開発

市民消火栓では、ホースの重さの問題から 1 本当たりの長さが 30 m 程度に制限されるため、これまでは消火可能範囲が限定されてしまう問題があった。このため付近の使われていない市民消火栓からホースのみを持参すれば、ノズルを取り外すことなくそのままワンタッチで延長

が可能な機構を開発し、さらにノズルヘッドのコンパクト化を図ってきた。2019年度は共同開発先の都合で具体的な試作はできなかったが、次年度以降の特許取得や論文発表に活かす予定である。

加えて元々市民利用の困難な公設消火栓に対して、取り付けだけで市民用消火栓ホースの接続が可能になる減圧バルブ付スタンドパイプを試作し、訓練等を経て改良を重ねてきた。2018年度に津和野重伝建地区で実施した訓練の結果を踏まえて、学会誌への寄稿により成果報告を行った。2019年度は共同開発先の都合で具体的な試作はできなかったが、次年度以降の特許取得や論文発表に活かす予定である。

多機能型消火器ボックスの開発については、これまで2回にわたる住民協議を経て試作品の改良を行ってきたが、2019年度には最終的なデザイン案に対し合意形成に至ることが出来た。



次年度に向けて予算申請を実施中であり、次年度には実際に地域への実践配備が進められる予定である。デザイン案そのものも、意匠登録やグッドデザイン賞への応募が予定されている。

今後の研究計画・展開

(1) 地域防災情報ネットワークの開発

今後は、火災発生情報や急病発生情報だけでなく、洪水や土砂災害、津波などの危険情報についても即時的な配信を可能とする多様な防災情報の受配信機能の実装と、スマートフォンによる地図情報の配信や電話による音声通知以外にも、既存の防災放送やサイレンなどと連動した多角的な情報配信により、市民への確実な情報伝達機能の実装を目指す。さらに地震などによる建物倒壊箇所についても地図上に表示可能とすることで、最適な避難経路や消防侵入経路についての判断材料を提供することを目指す。

(2) 高機能型市民消火栓および多機能型消火器ホルダーの開発

今後は、これまで実施してきた、即時的に隣接する収納箱から取り出したホースを使って延長可能なノズルシステム開発と、直観的に操作できる回転ドラム型収納箱の試作をふまえ、停電時照明機構やサイン表示などのデザイン面での改善を加えて現場での社会実験を継続し、改良を加えていく予定である。

消火器ボックスについても、現場での仮設による住民評価を踏まえながら、地域特性に応じ

た景観と機能を両立させたデザインを導くことが出来た。次年度以降は、実際に地域に実装していくことで最適な配置や数について検証し、研究開発を継続していく予定である。

2. 伝統木造建築物の耐震設計・耐震補強設計法の開発

【鈴木 祥之、大窪 健之、吉富 信太、金 度源、棚橋 秀光、佐藤 英佑】

研究目的

高山市、与謝野町、金沢市などの伝建地区などの伝統構法木造建築物を引き続き調査するとともに、以下のように、耐震設計法、耐震改修法に関する研究を行う。

- (1) 与謝野町旧加悦町役場庁舎の耐震改修のための調査研究
- (2) 伝統的構法木造建築物の耐震設計法マニュアルの作成・出版
- (3) 伝統構法木造建築物の耐震補強・改修技術の開発

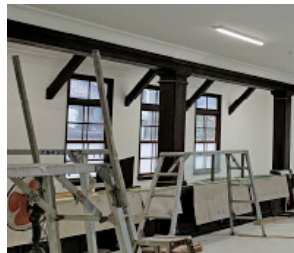
研究成果の詳細

(1) 与謝野町旧加悦町役場庁舎の耐震改修のための調査研究

昭和 4 年 7 月に竣工した加悦伝建地区の与謝野町旧加悦町役場庁舎（写真 2.1 (a)）の耐震改修のために、2018 年に地盤調査、木部の劣化調査、構造詳細、耐震調査、防火・避難など本格的な調査研究を行った。京都府指定有形文化財であることを考慮して歴史的、文化財価値を損なうことのないように耐震改修計画案を提案した。主要な構造要素である外壁鉄網モルタル壁（スタッコ仕上げ）と、1 階東側、西側の柱列に設けられた方杖（写真 2.1 (b)）は、耐震性、防火性を高めるために、当時の最新の技術、工法を採用したとされ、構造的・意匠的に重要であるので、これらを生かした補強、改修とした。改修工事は 2019 年 8 月に着工し、2020 年 3 月に竣工予定である。引き続き、外壁鉄網モルタル壁や内壁のドロマイトプラスター壁などの復元力特性を検証する実験を行う。



(a) 外観



(b) 工事中 1 階の方杖

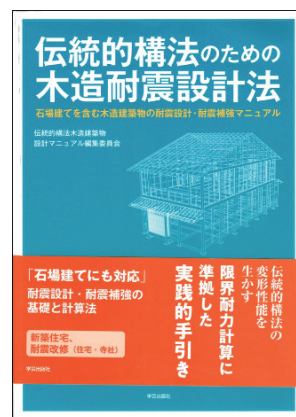


(c) 改修された 2 階会議場

写真 2.1 旧加悦町役場庁舎

(2) 伝統的構法木造建築物の耐震設計法マニュアルの作成・出版

国土交通省補助事業「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験検討委員会」の成果をもとに伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会（委員長：鈴木祥之）により発展させて、実務者、行政などが実践的に使える、石場建てを含む伝統的構法木造建築物の耐震設計法・耐震補強設計法のマニュアルとして「伝統的構法のための木造耐震設計法－石場建てを含む木造建築物の耐震設計・耐震補強マニュアル－」を学芸出版社から2019年6月10日に出版した。このマニュアルをもとに東京（2019年6月15日）および京都（2019年8月9日）で講演会を開催した。また、各地で実務者向けの講演会や講習会を開催する。



(3) 伝統構法木造建築物の耐震補強・改修技術の開発

高山市、与謝野町、金沢市などの伝建地区などの伝統構法木造建築物を引き続き調査を行った。また、新たに豊岡市出石伝建地区の調査を行うとともに、銅板瓦葺き屋根が美しい融通念佛宗総本山・大念佛寺本堂（大阪市）（写真2.2）や指定文化財小川邸（倉吉市）の調査を行い、耐震改修計画を策定している。



写真 2.2 銅板瓦葺きの大念佛寺本堂

今後の研究計画・展開

伝統的構法木造建築物の耐震設計法マニュアルについては、これまでの異なり石場建ての柱脚の滑りを許容する設計法であること、また限界耐力計算が高度な設計法であるため、実務者向けの講習会等を開催して普及を図るとともに、さらに地震応答計算法や設計法を改良して実務者が使いやすいマニュアルにする。京都市、高山市、与謝野町、金沢市などの伝建地区などの伝統構法木造建築物を引き続き調査を行い、耐震改修の実施につなげるとともに、歴史的・文化財である社寺建築物や民家などを引き続き調査を行う。

3. タイ・アユタヤおよび熊野古道、安国寺における地盤災害調査・観測・変状予測【深川 良一、里深 好文、小林 泰三、藤本 将光、石田 優子】

研究目的

王朝時代の仏塔の傾斜が問題となっているタイ・アユタヤについては、現地の地盤特性を把握し、それを反映させた地盤変形解析を実施する。さらに現地調査および変形解析結果を踏まえた防災対策を提案する。土砂災害リスクの高い熊野古道については、横垣峠を対象に現地の降雨特性、地下水変動特性を把握し、危険度評価モデルを提案する。また観光客の避難支援について、災害リスクと防災対策を周知するためのサイトの構築、斜面の変状を可視化する装置の開発と普及を推進する。

研究成果の詳細

タイ・アユタヤでは、JIP テクノサイエンス(株)の技術者と共同研究を開始した。3次元解析

の準備段階としてモデル化の見直しとパラメータのフィッティングを実施した。また、8月には現地に行って詳細な調査を実施し、実際の仏塔の挙動を把握するために、アユタヤ歴史公園事務所に協力を依頼して開始した傾斜計測のデータを収集し、傾斜設置個所で変位が発生していることを確認した。仏塔は、2013年に沈下および劣化を防止するためにオリジナルの仏塔の下1/3程度をレンガで覆っているが、北側の沈下方向に水が集まることが見つかり、修復レンガの劣化状態が浸水によって促進されていると推察した。また、オリジナルの塔が、2013年に取り付けた部分と異なる動き（北側方向への傾斜。沈下については不明）をしており、隙間が空いてきていることが確認された。この変位を継続的にモニタリングすることで、今後の塔の動きが解析の妥当性を検証できる可能性がみえてきた。地下水位については、計測機器の不具合で機能しなくなっており、メーカーで残っているデータを取り出したが完全には残っておらず、期間内にデータ欠損が生じることとなった。

熊野古道では、雨量、風向風速、地下水について観測を継続した。みえ自然災害研究会と連携して研究を進めており、三重県各地で計測している雨量、風向風速データと合わせて、データを分析中である。横垣峠の研究は、2011 年の台風 12 号による被害から始まっているが、被害発生から復旧までの経緯と、その間に生じた課題について考察したものを論文にまとめて投稿し、ジャーナルに掲載された。

斜面の変状可視化装置については、立命館大学工作センターの協力で試作品の改良を重ねたものを綾部安国寺の後背斜面に設置し、現地実験を実施している。今年度はさらに、神戸有野の崩壊現場にも設置し、現地での適用例を増やした。現地調査では、安国寺の傾斜感知器および感知器動作検証のために併設した傾斜計の、モニタリングを継続する上でのメンテナンス上の課題を抽出した。

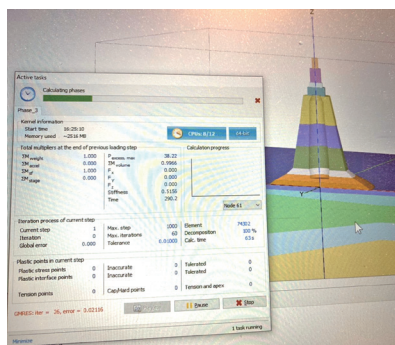


図1 アユタヤ仏塔 3次元解析



写真1 変状可視化装置設置（神戸有野）

今後の研究計画・展開

タイ・アユタヤは、共同研究を進め、3次元解析の設定条件、モデルケースを検討し、解析を行う。また現地の傾斜計測データを回収し、仏塔の変位モニタリングデータを蓄積すると同時に、仏塔表面で発生している亀裂の大きさを計測することで、3次元的な動きについて検討する。

熊野古道では引き続き各種データを蓄積し、観測サイトにおける気象、水文特性分析を進め、結果を反映させた安全管理手法（案）の策定と、情報発信の充実を図る。

変状可視化装置は、現地運用での課題を整理し、機器そのものの改良を図る。また、モニタ

リング全体のデータ回収、メンテナンスの省力化を目指して、設置方法を見直す。

4. 地盤災害、河川災害減災に向けた土砂・河川災害現象の解明、現地発生材を利用した経済的かつ効果的な防災対策工の提案および効果的な流域管理手法の提案【深川 良一、里深 好文、小林 泰三、藤本 将光、石田 優子】

研究目的

清水寺に関しては、引き続き重要建造物後背斜面内地下水流動特性の把握、斜面安定性評価のためのモニタリングシステムの開発を目指す。今年度は、降雨に伴う土壌水分の変動と斜面変状の関連性を現地調査結果から確認する。それらの結果を踏まえた浸透解析、動的安定性評価を実施する。また、豊岡市出石伝統的建造物群保存地区における洪水氾濫および土砂災害の危険性を現地調査、数値シミュレーションから評価する。

研究成果の詳細

重要建造物後背斜面において雨量、間隙水圧、変位量を長期モニタリングし、水分量変動に伴う変状および斜面崩壊発生機構を検討した。土壌水分と傾斜を同時に計測するジョイント型マルチセンサを設置し（図－1）、システムの検証を行った。降雨時に土壌水分の変動に伴って傾斜の変化がわずかに認められた（図－2）。しかし、システムの不具合も認められたことから、得られたデータの信頼性を今後検証する必要がある。また、昨年度までに地形判読結果と湧水状況等を含む現地踏査結果を組み合わせ、潜在的な斜面崩壊の発生の危険性の高い個所を抽出する方法が提案され、新たな斜面崩壊の危険性の高い斜面が抽出された。今年度はこの危険性の高い斜面を対象とし、新規に斜面変状を計測するために基礎調査を行った。計測測線において簡易乾乳試験を実施し、比較的強度が弱い崩積土が厚く堆積していると考えられた。この結果は地形解析から得られた結果と調和的であり、変状計測を行う必要性が再認識された。

出石伝建地区の水災害については、今年度の現地調査により谷山川の放水路が整備されたことから危険性はかなり小さくなっていることが判明した。ただし、上流域が豪雨等によって荒廃した場合には、多量の流木が放水トンネル入口の流木止めに捕捉されると考えられ、行き場

を失った流水の多くは伝建地区を含む出石市街地を流れ下ることが予想される。これを回避するには、谷山川上流に十分な規模の流木止めを新たに整備する必要があると考えられる。今後、2次元土砂・洪水氾濫解析を行い、必要となる施設の規模等について検討する。

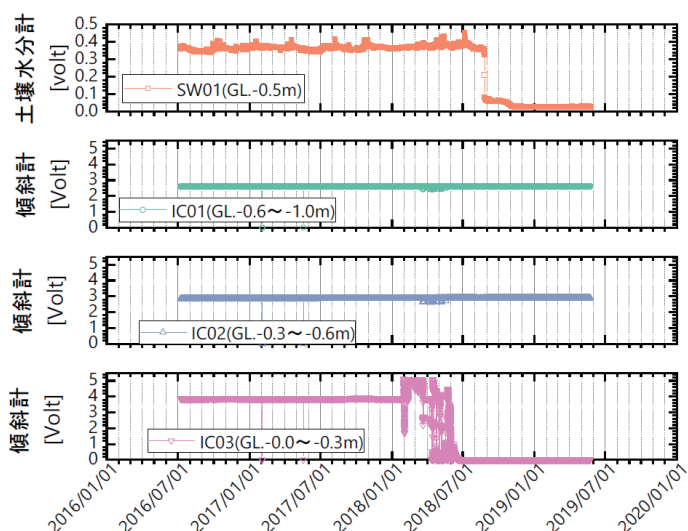


図 4.1 土壌水分および傾斜の変動

5. 伝統木造建築物の構造特性の解明【吉富 信太】

研究目的

伝統的な木造建築物の構造特性を、振動計測に基づくシステム同定および3次元立体解析モデルによる応答解析法により明らかにすることを目的とする。特に建物の部位別の構造特性の推定を行える手法を構築し、推定されたモデルを用いることで柔床も考慮にいたれたモデルを用いた制振改修の検討を行う。

研究成果の詳細

古い木造建物の耐震補強などを想定すると、特に床の柔らかいモデルでは建物の構面ごとや床ごとの剛性や、部位別の質量などを反映した構造モデルの構築が重要である。本研究では、柔床立体せん断モデルの起震機実験に基づく部位別の剛性・減衰・質量の推定法を提案した。京都市与謝野町にある旧加悦町役場庁舎を対象として、微動計を用いた立体的な振動計測データを用いておおむね実建物と振動特性の類似した構造が推定された。また、建物外周のモルタル外壁に質量・剛性が集中する建物の特徴と適合した結果が得られることが確認された。

また、伝統木造建物の外部に構築したRCフレームと建物をダンパーで連結する連結制振構法による制振改修の検討を行った。建物のモデル化のために微動計を用いた振動計測を行い、床剛性と制振効果の関係について検討を行った。



写真 5.1 旧加悦町役場庁舎

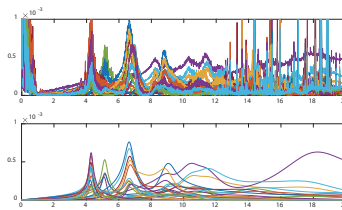


図 5.1 振動特性

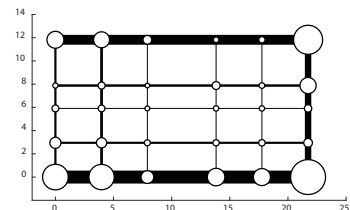


図 5.2 部位別剛性・質量推定



写真 5.2 長江家住宅

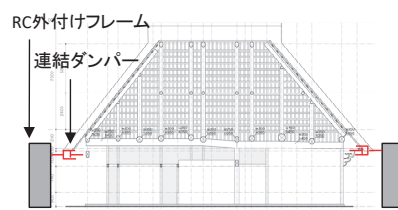
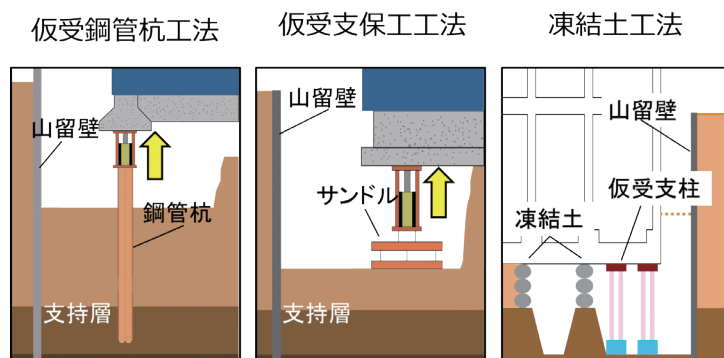


図 5.3 連結制振構法を用いた制振改修

6. 免震レトロフィットの耐震計画・施工計画の分析と評価【持田 泰秀】

研究目的

これまでの、国内の代表的な歴史的建物の仮受け鋼管杭を用いた基礎免震レトロフィットの施工事例について調査分析を行ってきた。本年度は、歴史的建物 5 件と庁舎建物 5 件の計 10 件について、施工時の工程の分析を行った。これらを、仮受け鋼管杭工法、仮受け支保工工法および凍結土工法の 3 つに分類し、各々の地盤条件、敷地条件および上屋建物条件などから、適正な免震レトロフィットの施工方法の採用を分析した。本年度は、これらの特殊施工の標準的な歩掛りを提案し、具体的な免震建物の施工時の工程の作成を目標とする。



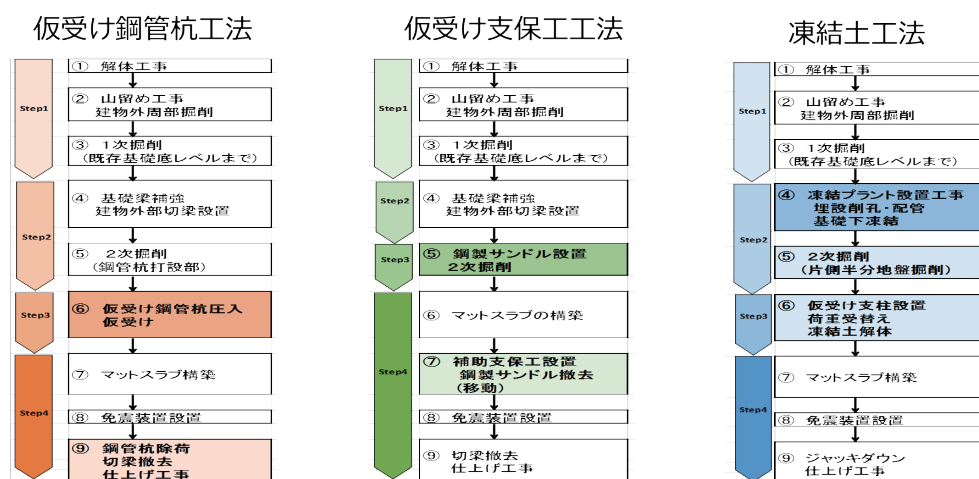
研究成果の詳細

2018年度から同様の取組みを進めてきたが、仮受け鋼管杭工法、仮受け支保工工法および凍結土工法の施工の工程の評価と実績に違いがみられた。施工時の組数の考え方、施工順序および工事項目の追加など評価の精度向上を行い、標準歩掛の精度を高めた。

地盤条件、敷地条件および上屋建物条件などからの適正な免震レトロフィットの施工方法の設定や、鋼管杭の本数・長さ、サンドルの大きさ・個所数などを建物重量や形状から算出し、標準的な建物において施工時の工程の作成を可能とさせた。

2020年度日本建築学会大会オーガナイズドセッション「建築施工と作業分析」にて、同様の専門分野の取組み研究者と一緒に、今回の取組みを発表する予定である。

現在、建設業を取り巻く施工現場での人手不足に対応するため、AIを活用した生産性向上の取組みを行う必要がある。今後は、本研究などで得られた施工の分析情報データのAI活用により、効果的に生産性向上を実現させる展開を図る。加えて、国内でも限られた歴史的建築物である木造の寺社仏閣の免震レトロフィットの耐震計画・施工計画の分析と評価に着手している。



7. 歴史的実構造物の耐久性評価調査【福山 智子】

研究目的

本研究の目的は、歴史的な鉄筋コンクリート（RC）構造物の耐久性向上と延命である。今年度は昨年度に引き続き、理想的な天然暴露試験場ともいえる軍艦島構造物群を調査・検討対象として取り上げた。

前述のとおり軍艦島は海水による鉄筋腐食に関する暴露試験場として適しているが、世界遺産の一部を構成する構造物群としてその維持管理を考えた場合、構造物の経年変化を把握しその対策についても考慮する必要がある。

本研究では構造物の定点観測写真を撮影し、軍艦島の各種構造物の経年変化から、構造物が受けている劣化外力の種類やその程度、劣化の進行の把握を試みる。

なお、軍艦島の RC 構造物調査の主体は日本コンクリート工学会と東京大学（代表：野口貴文教授）であるが、東京理科大学、芝浦工業大学、名城大学、琉球大学その他の建築材料の耐久性に関する研究室・研究機関が参画する共同プロジェクトであり、各機関は独自の調査を実施することができる。調査と写真撮影は長崎市の特別な許可により実施された。

研究成果の詳細

2011 年以降に撮影された写真と同アングルの写真の比較により、RC 構造物の劣化進行の把握と補修履歴の記録を行った。

写真 7.1 は 1957 年に建てられた 31 号棟の経年変化を示したものである。(a) は海側に面したベルトコンベア跡を示しており、2011 年 10 月に比べ 2019 年 10 月には、モルタル仕上げ部のひび割れの進展や剥離のほか、コンクリートやモルタルの表面が粗化している様子が確認できる。また壁面を錆汁が汚しており、壁内の鉄筋腐食が進行したと考えられる。これに対し、(b) の内陸側は 2011 年 10 月と 2019 年 10 月を比較しても建具が失われているほかは大きな変化は見られない。

写真 7.2 は、1958 年築の 70 号棟を撮影したものである。2011 年 8 月と 2019 年 10 月を比較すると、ラスモルタルと鉄骨で形成された屋上の構造物の変形が顕著である。また、壁面のモルタル仕上げの脱落なども観察される。

写真 7.3 は、70 号棟と 31 号棟の補修前後を示したものである。これら構造物付近の土砂が洗掘により失われており、構造物の耐力のほか護岸維持にも影響が大きかったため補修がなされた。

今後の展開

部材や仕上げの変形・脱落、鉄筋腐食の要因外力として、波浪・風のほか海からの塩害などが挙げられる。島内全構造物の定点観測を継続し、経年劣化の種類やその進行速度を把握・整理する。その上で構造物の立地条件などから劣化要因を解明し、構造物の維持管理に寄与することを目指す。



(a) 海側ベルトコンベア跡（左：2011.10 撮影、右：2019. 10 撮影）



(b) 内陸側（左：2011.10 撮影、右：2019.10 撮影）

写真 7.1 1957 年築 31 号棟



写真 7.2 1958 年築 70 号棟（左：2011.8 撮影、右：2019.10 撮影）



(a) 70 号棟洗掘跡 (左 : 2013.6 撮影、右 : 2019.10 撮影)



(b) 31 号棟洗掘跡 (左 : 2014.6 撮影、右 : 2019.10 撮影)

写真 7.3 補修前後の比較

