

歴史文化都市の防災技術研究部会

研究メンバー：大窪 健之、深川 良一、里深 好文、小林 泰三、藤本 将光、伊藤真一
鈴木祥之、持田 泰秀、吉富 信太、福山智子

「歴史・文化・意匠的価値」と「防災性能」を兼ね備えた歴史文化都市・地域の防災技術を確立することを目的に、昨年度までの文化遺産防災技術に関連する研究活動を継続的に発展させて以下の研究を行った。

(1) 歴史的文化財建造物の耐震補強・改修技術の開発

- (1-1) 伝統木造建築物の耐震設計・耐震補強設計法の開発
- (1-2) 伝統木造建築物の構造特性の解明
- (1-3) 歴史的建築物の耐震性耐久性向上での長寿命化の取組み
- (1-4) 歴史的実建造物の耐久性評価調査

(2) 歴史文化都市の防耐火システムと機器の開発

- (2-1) 地域防災情報ネットワークの開発
- (2-2) 高機能型市民消火栓のホース延長機構の開発

(3) 歴史文化地域の地盤環境を踏まえた防災技術の開発

- (3-1) 清水寺における地盤災害調査・観測・変状予測
- (3-2) 世界遺産・寺山炭窯跡石積み擁壁の再崩壊状況調査

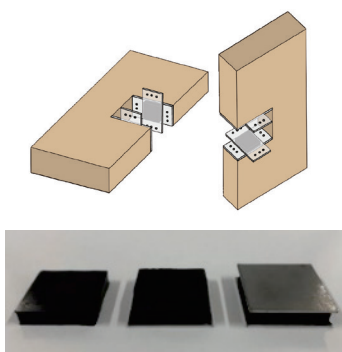
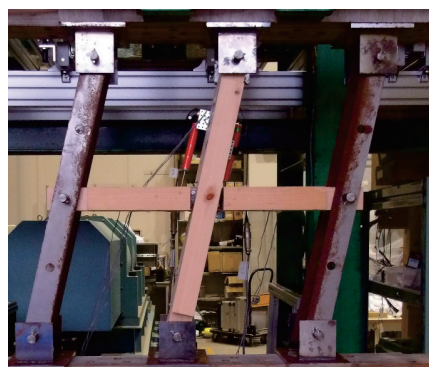
(1) 歴史的文化財建造物の耐震補強・改修技術の開発

(1-1) 伝統木造建築物の耐震設計・耐震補強設計法の開発

研究担当者：鈴木祥之、吉富信太、佐藤英佑

■ 伝統構法木造建築物の耐震補強のための耐力壁の開発

伝統構法木造建築物の耐震要素として活用できる、各種耐力壁の実験を行った。意匠面で利用しやすい面格子壁は、接合部のめり込み抵抗を利用するものであるが、格子の仕口に制振効果の高い高減衰ゴム要素を挿入した制振壁の実験を行った。また、伝統木造住宅の主要な耐力要素である土壁について、内部の貫の成を大きくすることで、耐力や靱性の向上にどのように影響するかについて、試験体の加力試験を行い確認した。



接合部に高減衰ゴム要素を組み込んだ
格子型制振壁試験体の加力試験



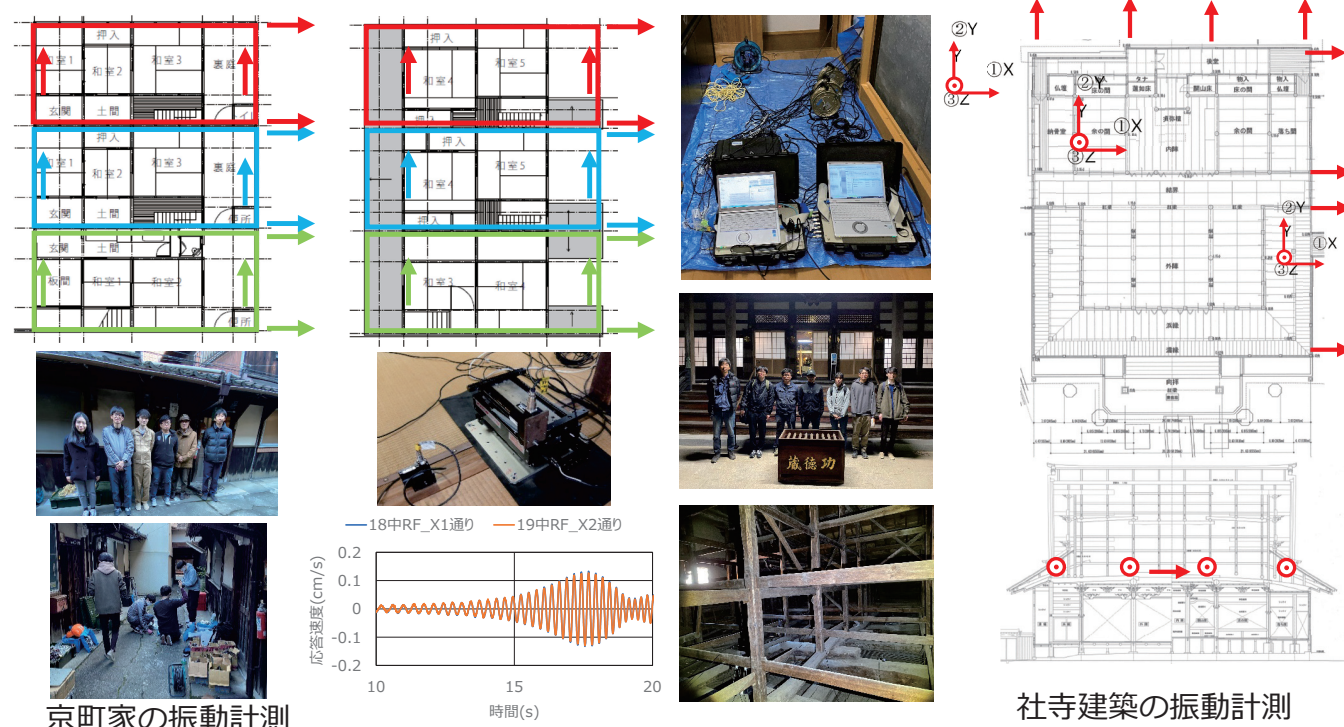
土壁試験体の加力試験

(1-2) 伝統木造建築物の構造特性の解明

研究担当者：吉富信太

伝統構法木造建物の振動特性の検討

京都に現存する連棟の町家建物と、兵庫県の寺の本堂の振動計測を対象として、起震機を用いた加振実験を行い、構造特性の推定を行った。



(1-3) 歴史的建築物の耐震性耐久性向上での長寿命化の取組み

研究担当者：持田泰秀

歴史的建築物の耐震性耐久性向上で長寿命化に関する技術的な取組みを行い、これまでの地震災害などでの建物被害を出来るだけ軽減することで、これまで以上に、将来に亘って、文化的空間を継続して社会に提供することを目的とする。

① 木材に性能や施工方法の異なるポリウレタ塗装による構造性能向上

加温硬化型ポリウレタ(ST)、常温硬化型ポリウレタ(LP)、手塗グレードポリウレタ(JFHM)の3種類と、プライマーはエポキシ系(EP)とウレタン系(PP2)の2種類による継手引張試験・圧縮試験を実施。構造性能の向上を確認した。

② コンクリート構造物のAIによるひび割れ調査法

既往の手作業での調査法と、AIによるひび割れ調査法を比較した。3次元データからAIがひび割れを評価することが最大の特徴である。欠け、ひび割れ、ヒートマップに分類し、AIによる方法がひび割れ発見の一次診断に有効であることを確認した。

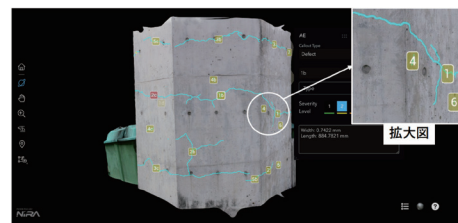


図5 D法による柱のひび割れ図

③ 令和5年奥能登地震での瓦被害に関する研究

棟部を葺き土にて瓦を固定し、平部は全数緊結線で留付けられる能登地域独自の工法が棟部の被害を誘発した。屋根標準設計・施工ガイドラインの準拠にて地震時の水平応答加速度1500gal程度までは、棟部瓦留め付けの構造安全性の確保が可能であることを確認した。



(1-4) 歴史的実建造物の耐久性評価調査

写真はすべて長崎市の特別な許可により撮影

軍艦島の各種建造物の経年変化に関する調査

研究担当者：福山智子

建造物の定点観測写真を撮影し、軍艦島の各種建造物の経年変化から、建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。

● 鉄筋腐食に影響する水の挙動の把握

1. コンクリート表面の変色や濡れ色とエフロレッセンスから、コンクリートの含水状態や水の移動について経時的な追跡を行った。
2. 台風時に島内を移動する高波について、コンクリート塊や木材などの集積から状態の推定を行った。

● 今後の展開

1. 島内全建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する。
2. 1と建造物の立地条件などから劣化要因を解明しその情報に基づき維持管理を行う。



(2) 歴史文化都市の防耐火システムと機器の開発

①：地域防災情報ネットワークの開発

特許取得済+実装中

研究担当者：大窪健之・金 度源+能美防災（株）

住宅用火災警報器の信号を無線で収集し、火災発生情報を地域全体に即時に地図で配信できるシステムを開発した。得られる信号を解析して延焼火災をリアルタイムに表示したり水害等を示すなど避難に活かすべく改善中

★災害発生場所を地域で即時共有する！

特徴

- ・既存設備(住警器)を援用
- ・火災発生情報を携帯電話等に地図付メールで即時共有
- ・高齢者の急病時にも利用可
- ・建物倒壊センサーを実装すれば道路閉塞も表示が可能？
- ・土砂や洪水も個別配信可能？

↓
兵庫県出石地区で仮想体験と評価アンケートを実施（2022年度）
+ 京都府加悦地区で勉強会を開催（2023年度）



延焼進行状況のリアルタイム表示例

(2) 歴史文化都市の防耐火システムと機器の開発

② : 高機能型市民消火栓のホース延長機構の開発 **特許取得済**

研究担当者：大窪健之・佐藤かりん・金 度源+（株）横井製作所

緊急時に市民が一人で使える「高機能型市民消火栓」を開発。ホース長が短い課題解決のために、ワンタッチでホース延長作業が可能なノズルを開発

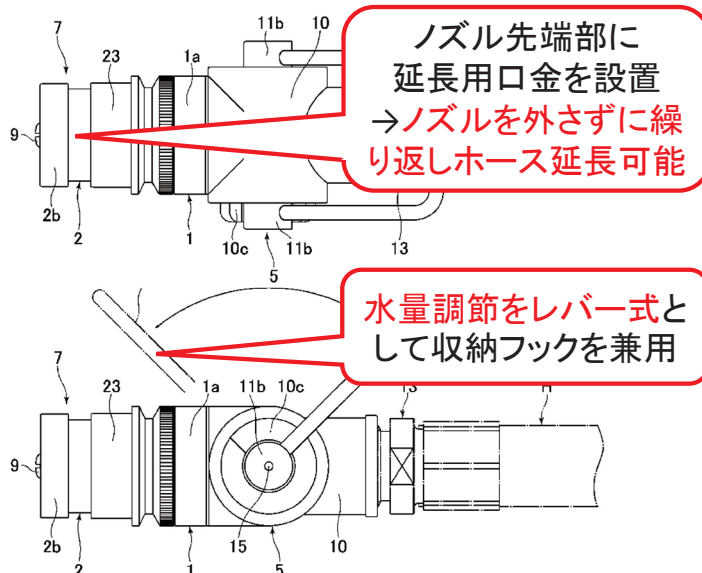
最寄りの消火栓から使っていないホースを取得すれば、任意に延長可能に



放水可能な範囲の素早い拡大が可能



レバーの改善により誤操作の排除と収納時の確実なOFFが可能



津和野重伝建地区(2017年11/29)等の訓練で試用 → 2022年度に消防認定を目指した試作実施
→2023年度は国宝松山城(愛媛)にて、日常利用の促進に向けたワークショップを開催中

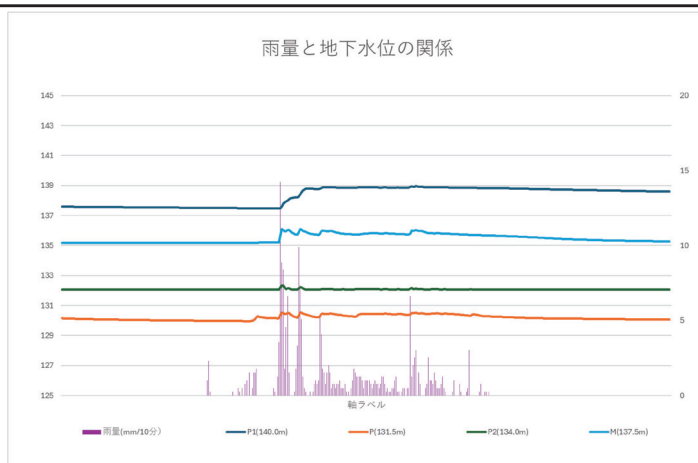
(3) 歴史文化地域の地盤環境を踏まえた防災技術の開発

(3-1) 清水寺における地盤災害調査・観測・変状予測

研究担当者：深川良一・里深好文・小林泰三・藤本将光

文化遺産建造物をはじめとする歴史都市を地盤被害、河川災害から守るために、斜面内の地下水流動を評価するモニタリングシステム、斜面安定性を評価手法の開発、河川氾濫解析を行った。

- 清水寺境内の重要建造物後背斜面において、雨量、**間隙水圧**、**傾斜**を計測する**現地観測モニタリングシステム**を設置し、連続観測を行った。
- これまでのテンシオメータによる間隙水圧の計測に加え、地下水孔を設置し、地下水位変動の把握を進めた。



降雨イベント時の地下水位の変動

- **斜面崩壊の危険性が高い箇所**において、**湧水の発生状況**を確認するカメラを設置し、雨量-湧水発生 の関係を把握する計測を行った。大雨時の画像取得に課題が認められ今後の計測方法の改善の検討が必要となった。

(3-2) 世界遺産・寺山炭窯跡石積み擁壁の再崩壊状況調査

研究担当者：深川良一・里深好文・小林泰三・藤本将光・伊藤真一
研究協力者：酒匂一成（鹿大教授）、藤井大佑（鹿児島市教育委員会）

鹿児島の世界遺産である寺山炭窯跡前面の石積み擁壁（写真1参照）は、2023年3月の復旧工事完了直後に再崩壊（写真2参照）した。その原因究明に向けた取り組みが行われている。その経過について紹介する。

- 再崩壊の経過：2023年3月17日復旧工事完了、3月18日4:35～4:40再崩壊、3月19日文化財課職員現地確認
- 深川現地視察：2023年3月22日、6月30日、9月12日の計3回にわたり現地調査を行った。9月12日に酒匂教授、藤井氏、関連する業者等の立会いの下、今後の方針を協議した。
- 現時点ではまだ明確な再崩壊シナリオは確定していないが、想定されるシナリオは以下のとおりである。
 - 崩壊前の石積み擁壁は、写真1に示すようにほぼ鉛直に積まれており、元々力学的には不安定な構造であった。
 - 石を積みなおす際、石と石の間に粘性の高いカマ土を挿入し、プレート（機械）で締め固めたが、その締め固めによって擁壁が前面にはらみだすなど不安定化した可能性がある。
 - 新規盛土中に写真3に示すような透水性シートを敷設し、天端および炭窯背面からの浸透水を排水しようとした。しかし、この透水シートと地盤材料との摩擦が相対的に低いため、透水シートより上の部分の滑りが誘発された可能性がある。
 - 結局、元々不安定な構造の擁壁が、新たに積み上げた部分の自重と締め固め荷重によって徐々に不安定化し、自立状態が限界を超えた結果、再崩壊に至った。
- 現在、以上のようなシナリオの検証作業を遂行しており、検証結果を踏まえて、具体的な再復旧工事が実施される予定である。



写真1 被災前の寺山炭窯跡：鹿児島県観光連盟提供



写真2 再崩壊後：鹿児島市教育委員会提供



写真3 新しい盛土中の透水性シート

