

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 氏名 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、藤本 将光、吉富 信太、
持田 泰秀

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3人がかり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、地域に残された市民の力だけで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。

研究成果の詳細

(1) 地域防災情報ネットワークの開発

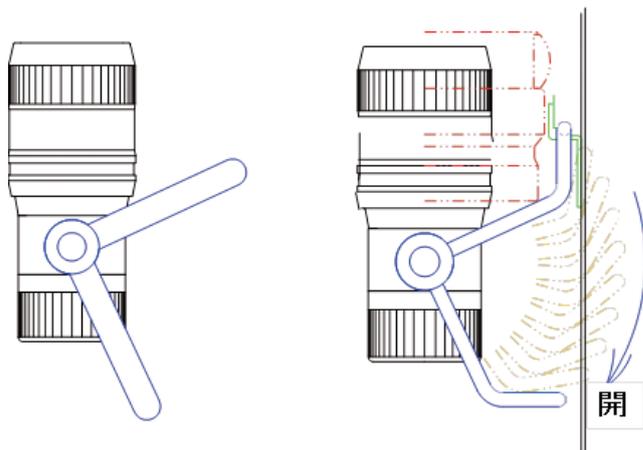
これまで、実装完了している火災と急病以外の新たな災害情報の配信に活かすために、行政の防災担当および文化財担当の双方に聞き取り調査等を行ってきた。この結果、火元の正確な場所把握、自宅の場所を明示したハザードマップ配信、避難完了信号の発信など、あらたな可能性に対して期待が寄せられており、今後の開発方針を明確化することができた。今年度は、青森県黒岩重伝建地区で実証運用中のシステムをモニタリングしながらデータ収集を継続している。

研究成果の一部は、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30m程度に制限されるため、これまで消火範囲が限定されてしまう問題があった。このため、付近の市民消火栓からホースを持参すれば、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、今年度はさらにコンパクト化を図った。これにより、万一ホース延長が足りない事態となった場合にも、柔軟に延長して素早く消火活動を継続することが可能となった。

さらに、この市民消火栓が導入されるまでの間、既設の公設消火栓を安全かつ簡易的に市民が使用できるようにするため、地下埋設型の公設消火栓に市民用消火ホースを直接接続するこ



従来型放水ノズル 改良型：放水 OFF 時にはハンドルが壁掛けフックに
図 型放水ノズルの改良

とが出来た「減圧バルブ付きスタンドパイプ」を開発した。試作した設備を使って、鳥根県津和野重伝建地区で防災訓練を実施し、その有用性について住民による評価を得た。

研究成果の一部は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。

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納采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。

(2) 高機能型市民消火栓の開発

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。

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、棚橋 秀光、佐藤 英佑】

研究目的

京都市、高山市、与謝野町、金沢市などの伝建地区等の伝統構法木造建築物を引き続き調査し、耐震改修法を開発する。また、耐震設計・耐震補強設計法を、実務者が実践的に使えるように講習会・セミナーを実施するとともに、マニュアルを作成して伝統構法木造建築物の耐震設計法の普及・促進を図る。

研究成果の詳細

金沢市の伝建地区等の金沢町家、高山市の町家や農家型住宅については耐震化マニュアルを



写真1 金沢市寺町台伝建地区・妙慶寺



写真2 高山市東山寺町

作成しているため、金沢市の卯辰山麓伝建地区および寺町台伝建地区（写真1）、高山市の東山寺町・城山地区（写真2）の寺院建築物を2017年10月16日（高山市）、10月30日（金沢市）に下見調査し、耐震補強法等の課題について検討した。また、5. 伝統木造建築物の構造特性の解明（研究担当者：吉富信太）の成果を参考にして、寺院建築物や三重塔の3次元立体モデルによる地震応答解析法の開発を行った。与謝野市の旧加悦町役場庁舎（写真3）については、与謝野町海の京都実践者会議で活用方法について与謝野市（観光交流課、建設課、社会教育課）、地域の住民と協議を進め、保存修復工事計画の策定を行うとともに、旧加悦町役場庁舎耐震改修検討委員会を設置し、2018年1月31日に検討委員会（第1回）を開催した。



写真3 耐震改修予定の与謝野市旧加悦町役場庁舎

今後の研究計画・展開

金沢市の辰山麓伝建地区・寺町台伝建地区および高山市の東山寺町・城山地区の寺院建築物の構造詳細調査を金沢市、高山市、並びに地域の実務者と共同で実施し、耐震補強法・耐震改修の技術開発を行う。また、与謝野市の旧加悦町役場庁舎については、保存修復工事計画に基づいて、耐震、火災、耐久性に関する調査を実施して、耐震補強案、改修案を提案する。

3. タイ・アユタヤおよび熊野古道における地盤災害調査・観測・変状予測

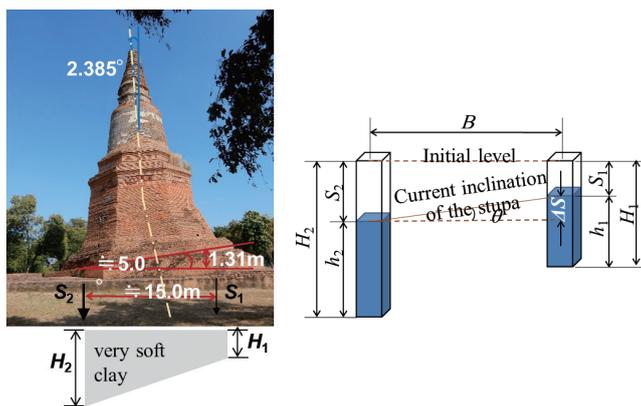
【深川 良一、小林 泰三、藤本 将光、石田 優子、大矢 綾香】

研究目的

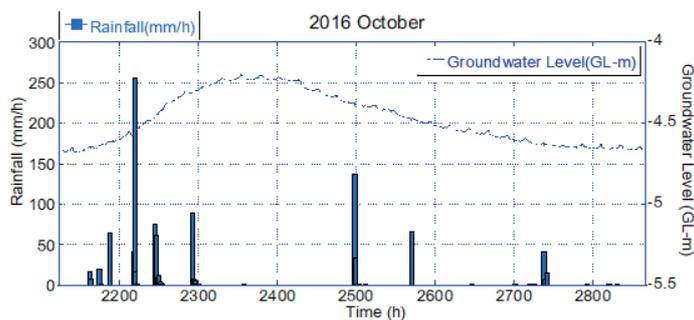
タイ・アユタヤについては、現地の地盤特性を把握し、それを反映させた地盤変形解析を実施する。さらに現地調査および変形解析結果を踏まえた防災対策を提案する。熊野古道については、現地の降雨特性、地下水変動特性を把握し、危険度評価モデルを提案する。また観光客に対して、災害リスク、防災対策を周知するためのサイトを構築し、人災の発生を防止する。

研究成果の詳細

タイ・アユタヤでは、仏塔の不同沈下量と地層厚の変化量から一次元圧密理論を用いて初期間隙比を推定する手法を提案し、地盤調査結果からワット・クラサイ仏塔の傾斜に最も影響を及ぼしたと推察された軟弱粘土層を対象に計算を行い、初期間隙比1.46~2.48（一般的な軟らかい粘土）の値を推定した。また、地下水位と雨量の観測結果から両者の相関が低く、河川の



変形メカニズム解明に向けた初期値推定



Wat Krasai 地下水位変動と降雨量



ストーリーマップによる防災情報の提供

水位変動や周囲の水田の水張等が地盤内で流動し、地下水位の変動に影響を及ぼしている可能性を明らかにした。観測期間中の最大時間雨量は 256mm/h であり、短時間高強度降雨や地盤内で流動する地下水が仏塔に与える影響について解析するための外力データを蓄積した。次年度に向けて、仏塔の傾斜観測の許可および協力を芸術庁第三事務所およびアユタヤ歴史公園事務所から取り付け、計測機器の設計を開始した。熊野古道では、風向風速が降雨に及ぼす影響について分析を進めた。また、地理学研究室と連携して、熊野古道の災害アーカイブや防災情報、観光情報を公開するためのサイトの構築を進めた。

今後の研究計画・展開

タイ・アユタヤは、洪水や地下水位変動が仏塔に与える影響を計測および解析により明らかにする。熊野古道では、科学的根拠に基づいた防災情報、観光情報のコンテンツの充実を図り、年度内の公開を目指す。

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、大矢 綾香】

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。今年度はさらに、原位置試験機等により斜面表層の地盤調査を行い、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。熊野古道に関しては、現地の地盤特性や降雨特性を把握し、それを反映させた地盤変形解析（圧密解析あるいは斜面安定解析）を実施する。また全体の地盤の変形状況を調査する。

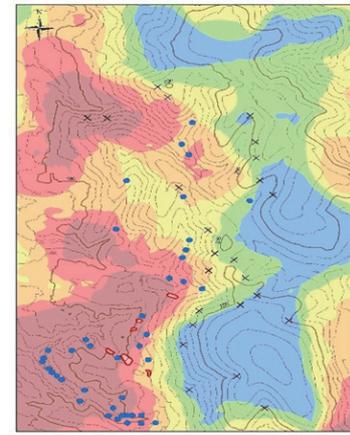
研究成果の詳細

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。間隙水圧値を用いて斜面安定解析を行い、斜面の安定度の定量化を試みた。

高精度・高密度標高データを用いた微地形図を作成し詳細な地形判読を行った。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を検討した。DEMを用いて平面曲率の標準偏差を計算することで、間接的に谷密度を算出する方法を考案し、京都府清水寺周辺の山地（地質：堆積岩）を対象とした調査では、現地踏査による湧水地との検証で良好な成果を得た（図-1）。

高精度DEMを用いた土石流数値解析によって詳細な氾濫予測を実施した。対象溪流の土石流氾濫では、清水寺本堂に被害が生じないことが確認された。また、下流域への洪水氾濫を止めるには高さ7mの規模の砂防堰堤の設置が必要であることが示された（図-2）。

また、斜面や狭隘地での試験が可能な原位置地盤調査ツール（図-3）を開発し、清水寺後背斜面で検証試験を行った。本調査ツールは、ハンドドリルによる削孔や鋼製パイプの打ち込みによって小口径ボアホールを作成し、試験管を挿入して孔壁に対してせん断試験を行うものである。斜面の安定解析に必要な土の強度定数（粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ ）をその場で計測することが可能となるため、危険度評価の精度向上が期待できる。清水寺後背斜



平面曲率の標準偏差
 0.5以下
 0.5~0.6以下
 0.6~0.7以下
 0.7~0.8以下
 0.8~0.9以下

図-1 清水寺周辺における平面曲率の標準偏差と湧水点、土砂災害地の関係

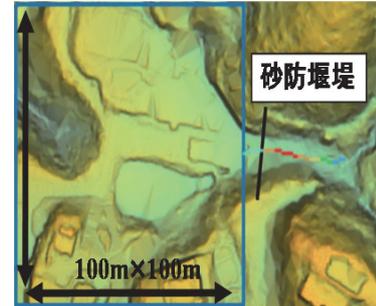


図-2 清水寺周辺における砂防堰堤（7 m）設置時の洪水時の最高水位



図-3 開発した原位置地盤調査ツール

面において既に抽出された危険個所を対象に、次年度は、多点でのデータ蓄積を図るとともに、他の観測データ（雨量、間隙水圧、変位量等）と連成した斜面監視システムの構築に取り組み組んでいきたいと考えている。

その他特記事項

清水寺の研究活動について、2017年3月21日付の日本経済新聞関西版関西サイエンスマガジンで掲載された。

5. 伝統木造建築物の構造特性の解明【吉富 信太】

研究目的

伝統的木造建築物の構造特性をシステム同定手法および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。建物の振動計測に基づいて構造特性を推定するヘルスマonitoring手法を伝統的木造建築物へ適用可能なかたちに拡張することである。

研究成果の詳細

従来の構造特性を推定するヘルスマonitoring手法が、ビル等の剛床建物を対象とした多層せん断モデルを用いて、層全体の特性推定を想定しているのに対し、古い木造建物の耐震補強などへの応用を考えると、建物の層方向だけでなく平面内の部位別の構造特性の推定が可能な手法が重要である。

本研究では、まず、京都にある歌舞練場の五條会館を対象に実際の伝統木造建物の立体的な振動挙動の把握を試みた。本建物は伝統木造建物の中でも3階建てで、かつ2階に舞台を有する特殊な建物であり、ねじれ振動や柔床による立体的挙動の影響が無視できないと予想される。各層各通りに合計26台の微動計を設置し、小型起振機を用いた起振機実験や微動計測を実施した結果、層ごと、あるいは構面ごとに振動が連成する複雑な振動特性が明らかになり、平面せん断モデルによる従来の推定法の課題が示された。こうした複雑な挙動を示す構造物に対しても適用可能な、剛床及び柔床多層立体せん断モデルの構面単位の剛性及び減衰係数を直接推定可能な手法を提案した。計測誤差や数値積分の誤差を想定したノイズを加えてもある程度の精度で推定が可能であることをシミュレーションで検討した。

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

世界遺産の国立西洋美術館本館のオルビジェのオリジナルデザインであるモデュロールの考え方を調査し、その部材構成と建物の耐震性との関わり合いを明らかにする。加えて、免震レトロフィットの仮受けの方法である仮受け鋼管杭、サンドルおよび凍結土など、仮受け方法による品質工期への効果について分析評価する。

研究成果の詳細

2017年度の研究の遂行については、2つの取組みに大きく分類される。

6-1. 耐震計画については、国立西洋美術館本館図面資料から、現在建物の耐震診断算定用の

躯体データの読み取りを行い、耐震診断プログラムにデータの入力を実施した。今後、その解析を進めて妥当な耐震診断を行い、耐震性能の評価を行う。

6-2. 施工計画については、国内の免震レトロフィット工事9案件の工事实績より、仮受け鋼管杭工法、仮受け支保工工法及び凍結土工法の3種類に分類した。分類毎に仮受け工程の近似評価を行い、これまで、明らかにされていなかった工程歩掛を以下に提案する。

$D_i = Q / (S_i \cdot B)$ 、 D_i = 工事別の作業日数 (評価値)、 S_i = 各工事歩掛の評価値

S1: 山留壁 = 12.63 m² / (日・組)、S2: 山留杭 = 0.67 本 / (日・組)、S3: 掘削土量 = 27.39 m³ / (日・組)、S4: 圧入時鋼管杭本数 = 1.12 本 / (日・組)、S5: 圧入時鋼管杭長さ = 10.97 m / (日・組)、S6: 撤去時鋼管杭本数 = 2.07 本 / (日・組)、S7: 撤去時鋼管杭長さ = 4.57 m / (日・組)、S8: 支保工本数 = 5.28 本 / (日・組)、S9: 支保工長さ = 7.56 m / (日・組)、S10: 凍結配管本数 = 0.47 本 / (日・組)、S11: 凍結配管長さ = 14.58 m / (日・組)、S12: 凍結土解体 = 3.9 m³ / (日・組)、S13: 凍結管本数 = 0.56 本 / (日・組)、S14: 凍結管長さ = 5.13 m / (日・組)

これより、免震レトロフィットの施工計画での早急な工程計画検討を可能とした。