

歴史文化都市の防災技術研究部会

(構成メンバー) 鈴木祥之・吉富信太・大窪健之・川合誠・金 度源・深川良一・
里深好文・豊田祐輔・藤本将光

(PD) 石田優子

(客員研究員) 田中哮義・棚橋秀光・佐藤英佑・大岡優 (都城高専)

(研究協力者) 須田達 (金沢工大)・岩本いづみ (大阪府大高専)・中治宏行 (鳥取環境大学)

(博士課程院生) 大矢綾香

「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目的に、昨年度までの文化遺産防災技術関連の研究活動を継続的に発展させて以下の研究を行った。

(1) 伝統構法木造建築物の構造力学特性の解明

- (1-1) 伝統構法木造建築物の仕口接合部の力学特性
- (1-2) 伝統的木造建築物の構造特性の解明

(2) 歴史的建造物の耐震補強・改修技術の開発

- (2-1) 伝建地区等における伝統木造建築物の改修技術の開発と改修の促進
- (2-2) 2016年熊本地震による木造建築物の被害調査と耐震改修

(3) 歴史文化都市の防火システムと機器の開発

- (3-1) 地域防災情報ネットワークの開発
- (3-2) 高機能型市民消火栓の開発
- (3-3) 延焼抑止用「ウォーターシールドシステム」の開発

(4) 歴史文化地域の地盤環境を踏まえた防災技術の開発

- (4-1) タイ王国アユタヤの文化遺跡の防災技術開発
- (4-2) 世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」における被災実態解明と防災対策の検討
- (4-3) 歴史文化地域の地盤災害に対するジオアセスメント技術の開発

(1) 伝統構法木造建築物の構造力学特性の解明

(1-1) 伝統構法木造建築物の仕口接合部の力学特性 通し貫仕口の回転めり込みの繰り返し特性の解明

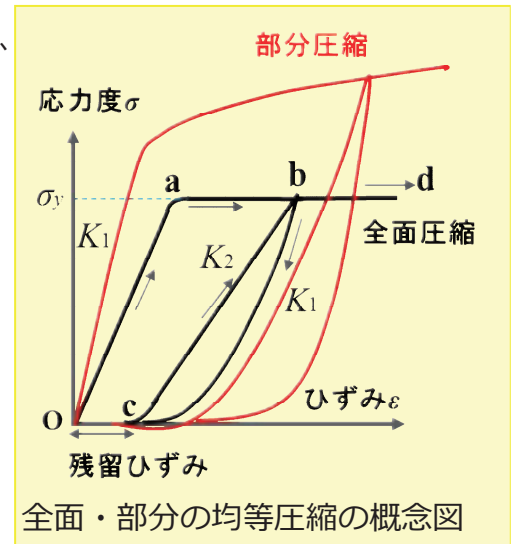
研究担当者：鈴木、棚橋、吉富、須田、岩本、大岡

伝統構法木造建築物では、柱-梁などの仕口接合部は耐震性能を担保する主要な構造要素である。その復元力特性など構造力学特性を明らかにして、伝統構法木造建築物の耐震設計法に生かす。

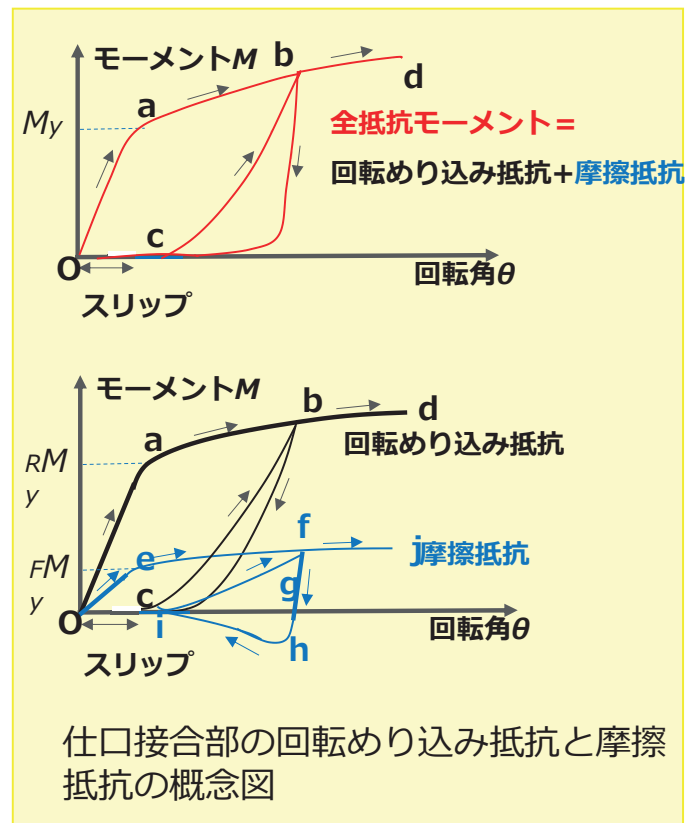
- ◆ 既往の研究では、復元力特性の包絡線の定式化を行ってきたが、繰り返しによる剛性・耐力の低下は未解明であった。そこで、まず基礎的な特性を明らかにするために、全面・部分の均等圧縮の繰り返し実験を行い、その特性を把握した。



仕口接合部の回転めり込み実験（セル実験室）



- ◆ ついで、回転めり込みの繰り返し特性を把握するために、摩擦の生じない回転めり込みの特性を把握するために、新たに実験装置を製作し、回転めり込み実験を行った。
- ◆ 十字型通し貫仕口の繰り返し载荷実験を行い、テフロンの有無による摩擦低減効果、楔による剛性・強度増大効果を実験的に求めた。（金沢工大須田研究室にて）



- ◆ 摩擦抵抗は直接求められないので、テフロンで摩擦を低減した復元力を全復元力から差し引くことにより、摩擦抵抗を求めた。これにより、全復元力を回転めり込み抵抗と摩擦抵抗に分離することができた。その概念図を右に示す。
- ◆ 楔を持つ仕口では、楔の剛性・強度増大効果はあるが、繰り返しにより楔が抜け出すと復元力も低下することが概ね、確認できた。



テフロンを挿入した実験 テフロンと楔を用いた実験

以上より、通し貫仕口接合部の復元力特性は、回転めり込み抵抗のみならず、摩擦抵抗が大きく寄与していることがわかり、繰り返しによる復元力特性の解明が進んだ。今後、伝統構法木造建築物の耐震性能評価など耐震設計法に役立つ。

(1-2) 伝統的木造建築物の構造特性の解明

研究担当者：吉富

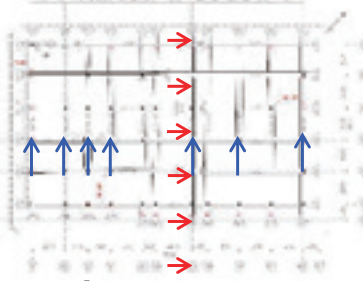
本研究課題では、伝統的木造建築物の詳細構造解析モデルの構築に加え、建物の振動計測調査による振動特性の分析に基づき、柔な屋根面を有する多層多構面モデルの構面単位での構造特性を推定する汎用的な手法を提案した。

耶馬溪木造古民家の振動特性分析

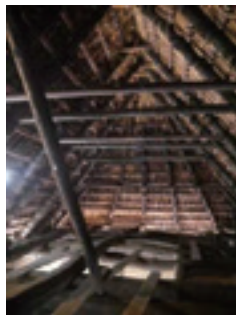


耶馬溪古民家

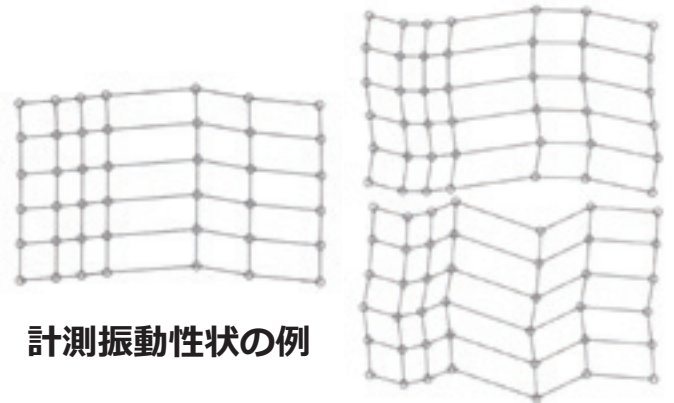
- 大分県耶馬溪にある茅葺古民家の小屋裏に多数の振動計を設置して振動計測を多点で同時にすることにより、建物全体の固有周期のみならず、ねじれや屋根面の変形などの特性について分析した。
- 木造古民家の床面のねじれや変形を伴う複雑な振動性状が確認された。



センサー配置



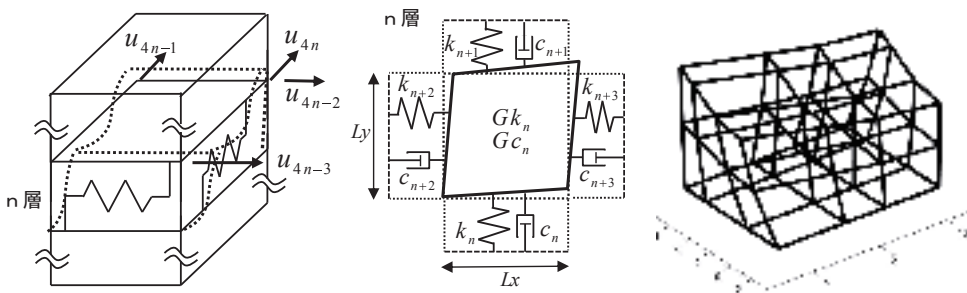
茅葺の小屋裏



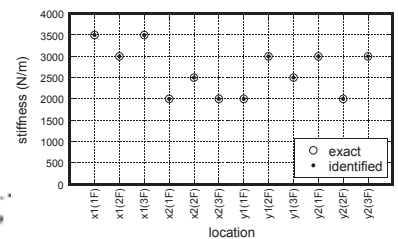
計測振動性状の例

多層多構面モデルの構面別構造特性の推定法

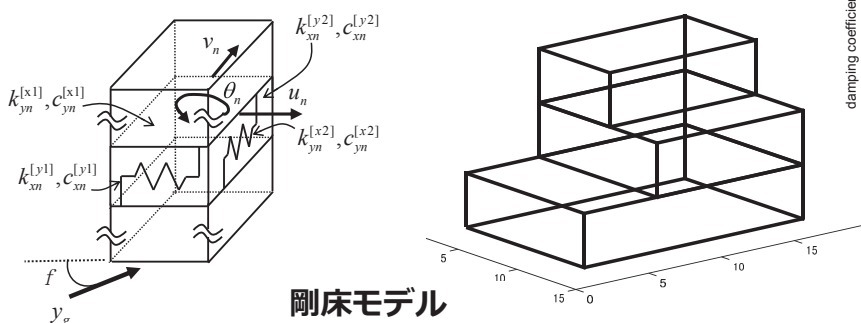
- 古い伝統的木造建物の耐震性能の把握のためには、実建物の振動計測に基づいて、建物全体だけでなく部位別の耐震性能を把握できることが望ましい。
- 多層多構面でモデル化される建物の各構面の振動を計測することにより、各構面別の剛性と減衰を推定する手法を提案した。提案手法により、柔床モデルでも剛床モデルでも精度よく推定できることが示された。



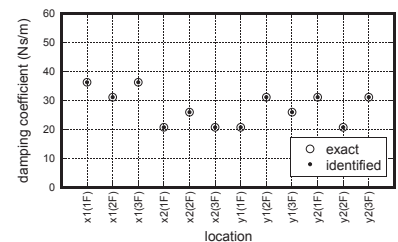
柔床モデル



構面剛性



剛床モデル



構面減衰

推定精度の例

(2) 歴史的建築物の耐震補強・改修技術の開発

(2-1) 伝建地区等における伝統構法木造建築物の改修技術の開発と改修の促進

研究担当者：鈴木、吉富、大窪、佐藤

高山市、与謝野町などの伝建地区などの伝統構法木造建築物などを引き続き調査し、耐震改修法を進展させるとともに、耐震改修法を実務者が実践的に使えるように講習会・セミナーを実施し、耐震改修の促進を図った。

高山市伝統構法木造建築物の耐震化マニュアルによる耐震改修

高山市伝統構法木造建築物の耐震化マニュアル（2014年3月に高山市に提案。耐震改修補助金制度が2014年4月から運用開始）をもとに耐震改修を進めるために、耐震化マニュアル活用検討委員会を設置し、地域の実務者とともに耐震改修を進めた。



農家型住宅を耐震補強・改装して一般的な住宅に改修した

与謝野町加悦伝建地区の防災計画と耐震改修の促進

防災計画の実施プランの作成と地区の防災力の向上

与謝野町加悦伝統的建造物群保存地区においては、防災計画の実施プランの作成を進めるとともに、地区の防災力の向上を図った。

実務者講習会の実施と耐震改修案の提案

伝統構法木造建築物の耐震改修法を実務者が実践的に使えるように実務者講習会を7月30日、31日、8月6日、7日の4回シリーズで開催した。また、地区内で改修予定の伝統木造住宅を調査し、耐震診断を行い、耐震補強など改修案を検討した。



ちりめん街道内で改修予定の伝統木造住宅を会場にして実施した実務者講習会

今後の計画：伝統構法木造建築物の耐震改修法を実務者が実践的に使えるように改良するとともに講習会・セミナーを実施し、耐震改修法の普及・促進を図る。

(2-2) 2016年熊本地震による木造建築物の被害調査と耐震改修

研究担当者：鈴木、佐藤、中治、向坊

2016年熊本地震による建築物被害調査

悉皆調査により被害の実態を把握し、構造詳細調査により被害原因を解明するとともに修復・耐震改修を提案するために被害調査を行った。

第1次調査：2016年5月2日－5日

第2次調査：2016年5月21日－23日

第3次調査：2016年7月16日－18日



益城町で被害の大きい地域の被害状況

被災した木造建築物の修復と耐震改修（民家）



築200年の民家 修復と耐震補強を予定。



築100年程の土蔵 修復予定



被災した木造建築物の修復と耐震改修（神社）



倒壊した拝殿・幣殿



本殿は、大きく傾斜。現在、倒壊防止対策を施している。



地盤が脆く、延べ石が暴れて、柱脚部が移動

一般的な解体修復は経費的に難しい

- 通常は解体して修復するが、経費的に高くなる
- 氏子達の自宅等も被災しており、神社の修復費は多大な負担となる

安い経費での修復・改修案を提案する

- 部分解体のみでの修復方法を考案し、提案する

被害の大きかった益城町、西原村、熊本市での民家5棟、神社3棟の修復・耐震改修案を検討し、提案している。また、2016年鳥取県中部地震による被害調査を実施し、耐震補強・耐震改修の講習会を実施する。

(3) 歴史文化都市の防耐火システムと機器の開発

(3-1) 地域防災情報ネットワークの開発

研究担当者：大窪、川合、金

戸別の住宅用火災警報器の信号を無線で収集し、戸別の火災発生情報を即時的に地域全体にメール配信できるシステムを開発し、木造歴史地区における初期消火を可能にし、災害時の共助連携体制を支援する。

火災発生情報を即時共有する

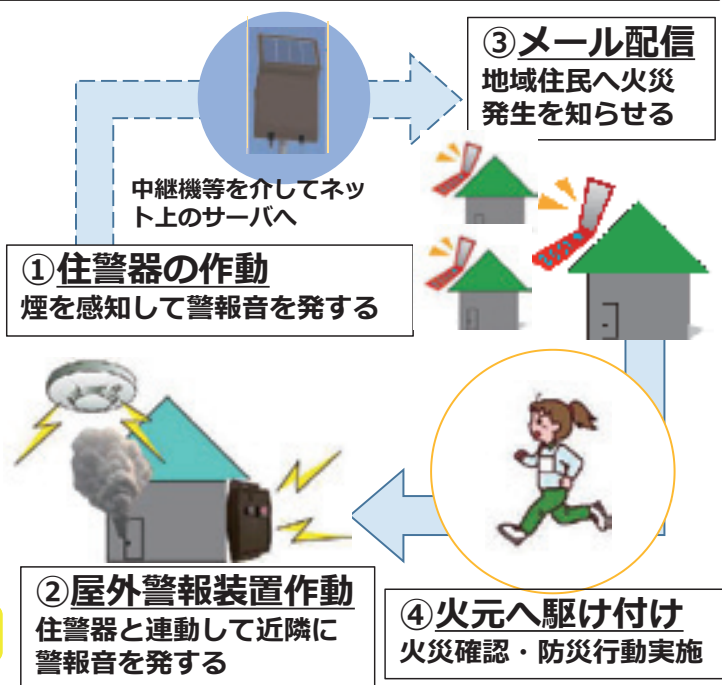
特徴

- ・ **既存設備（住警器）を活用**
- ・ **火災発生情報を携帯電話等に地図付でメール配信**
- ・ **地域全体で素早く火災を認知**

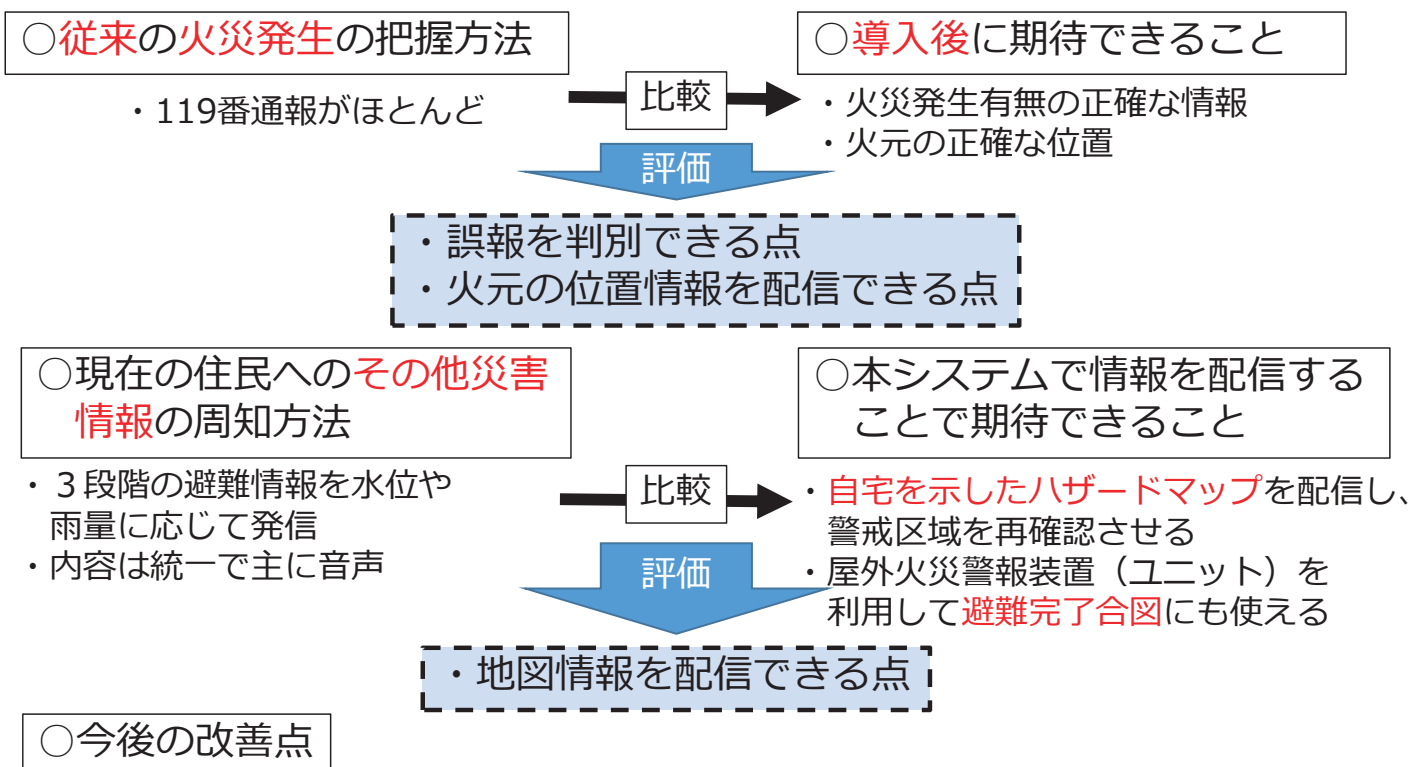
高齢者の安否確認にも活かせるように**福祉センサー機能**を実装して、歴史地区における防災福祉コミュニティのインフラの形成も目指す。

実用化完了+特許取得中
産学連携により実用化が完了。

青森県・黒石重伝建地区で設置工事



★与謝野町（加悦）防災行政へのヒアリング結果と比較



消防署職員・防災担当の行政職員の双方から

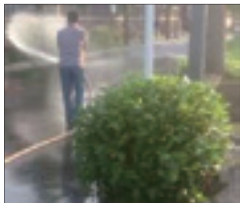
「メール配信だけでなく、**多様なチャンネルでの情報配信が必要**」との意見あり、対応予定。

(3-2) 高機能型市民消火栓の開発

研究担当者：大窪、金

屋外での市民個人による初期消火活動に役立てるため、日常から利用することで訓練が無くとも緊急時の利用も容易となる高機能型市民消火栓を開発する

従来の消火栓は非常時にしか利用しないため、日頃のメンテナンスがされず、操作方法を忘れてしまう



消火栓での日常散水

消火栓の日常利用を可能にすることで、維持管理や災害時に住民が誰でも操作が可能な設備を目指す

使いづらさを改善した高機能型消火栓を開発

★ **特許取得中 + 国宝松山城で設置工事**

収納部を回転させながら楽に水抜き + 収納が可能



水量操作が直感的に分かりやすいデザイン

+

ノズルとホースを一体化させ、さらにワンタッチで延長できる機能を追加



水量調節機能

最寄りの消火栓からホースを取得すれば、任意に延長可能にした

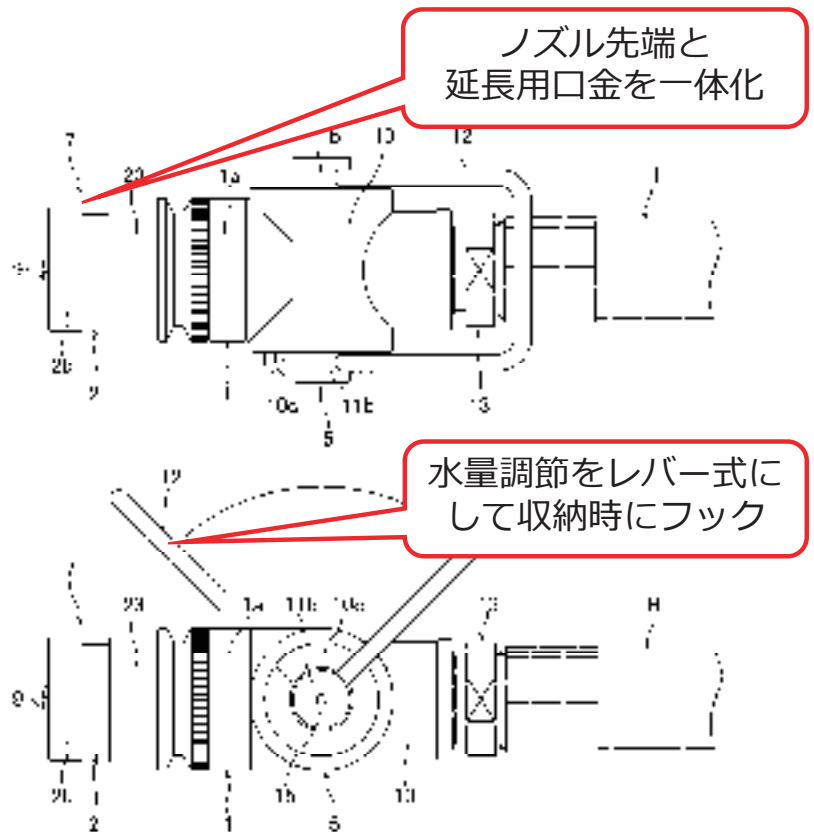


放水可能な範囲の素早い拡大が可能

水量調節をレバー式に、噴射角調整をダイヤル式に操作方法を振り分けた



誤操作の排除と収納時の確実なOFFが可能



(その他特記事項)

研修講師：「防災の日常化～市民用消火栓とコミュニティ活動」、平成27年度・東山区防災研修会（つながる防災コミュニティ事業）、2016年3月15日

(3-3) 延焼抑止用「ウォーターシールドシステム」の開発

研究担当者：大窪、金、田中



立命館大学共同研究開発

■延焼火災から歴史的木造文化遺産を守る■

Water Shield System WSS

延焼抑止街路壁面放水システム

道路より壁面へ放水し冷却



壁面より5m離れ高さ6m幅10mの範囲に放水

ノズル1基当たり
放水圧力：0.25MPa
放水量：460L/min
1m²当たり：約2L

放水パターン
熱気のコモる軒裏へ重点放水



延焼再現実験 (壁面設定温度850℃)

約2分程度で延焼



WSS放水実験 (延焼抑止効果を確認)

延焼再現実験と同条件で加熱

放水冷却効果により延焼に至らなかった。
壁面温度ほぼ260℃以下
加熱放水時間：7分
延焼防止に有効なシステムであると評価



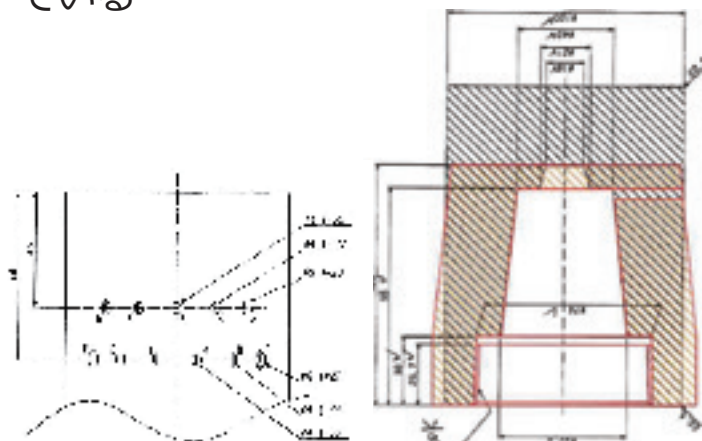
特許取得中+妙心寺で設置工事

多孔式ノズル設計のための理論化実験

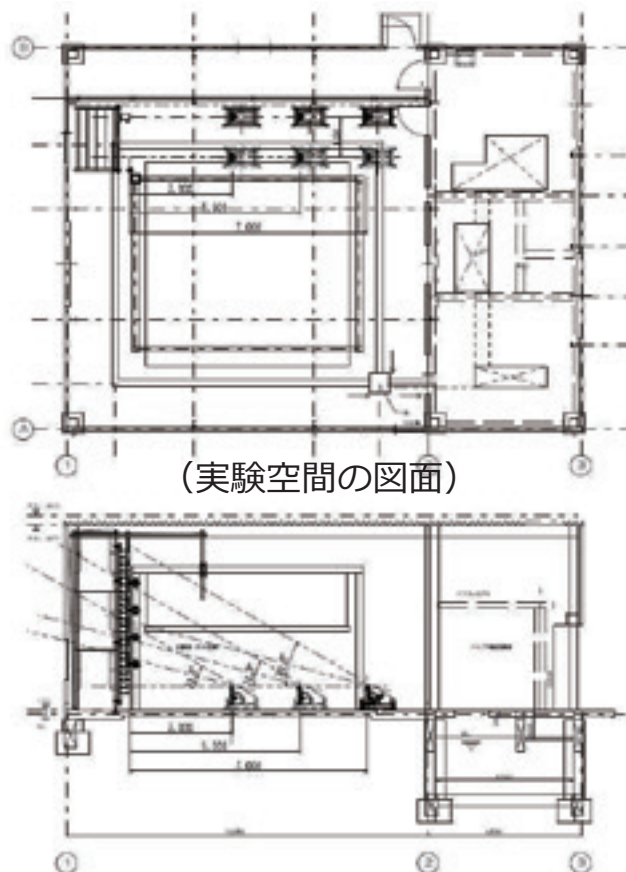
WSSノズルから発射される水滴挙動を『飛翔水滴の運動方程式』を用いる事によって理論化し、実験との比較から定式化を目指す



現地特性にあわせた多様な多孔式ノズルの設計を理論化することを目的としている



(実験用ノズルの図面)



(実験空間の図面)

(4) 歴史文化地域の地盤環境を踏まえた防災技術の開発

(4-1) タイ王国アユタヤの文化遺跡の防災技術開発

研究担当者：深川、里深、豊田、藤本、石田、大矢

文化遺産の地盤災害リスクを評価するために、調査計画立案、調査及び分析を行い、第三者への情報共有のための視覚的な表現方法について検討した。

◆ 仏塔の傾斜原因評価のための仏塔計測および地盤調査

軟弱地盤が仏塔の傾斜に与えた影響を評価するために、8方位から仏塔の計測を実施した。また仏塔の周囲4箇所でボーリング調査を実施した。室内土質試験については、国外に土を持ち出すことが困難であるため、実績のある現地の大学（カセサート大学）にて、現在試験を依頼している。計測データを用いて来年度に圧密沈下解析を実施予定である。

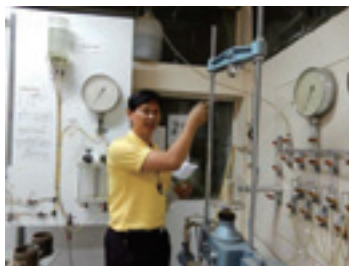
◆ 地下水位の変動の影響評価

降雨による地下水位の変動が仏塔に与える影響を評価するために、仏塔の南西地点で地下水位を、また研究協力機関であるアユタヤ歴史公園事務所にて雨量および大気圧のモニタリングを開始した。

雨季と乾季の変動およびスコール（短時間高強度降雨）による一日の変動等、今後1年間のモニタリング結果から、長期と短期の変動特性を分析し、地下水位の変動による仏塔下の地盤挙動について解析する。



現地ボーリング調査



室内土質試験器の説明



雨量データ回収



地下水位モニタリング

(4-2) 世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」における被災実態解明と防災対策の検討

研究担当者：深川、里深、豊田、藤本、石田

◆ 防災情報ニーズと観光防災マップ

2007年地すべり、2011年崩壊および土石流、2015年表層崩落等、伊勢路「横垣峠」では風化侵食が進行し、目に見えて古道の状態が悪化しつつある。

そこで、観光地での被災リスクの認識や防災情報ニーズを明らかにするために、アンケート調査を実施、また横垣峠の全線を踏査し、土砂災害の危険性のある箇所と有事の際の一時退避場所としての候補地を評価選定し「観光防災マップ（案）」を作成した。地元三重県御浜町と連携し、来年度の公開を目指している。



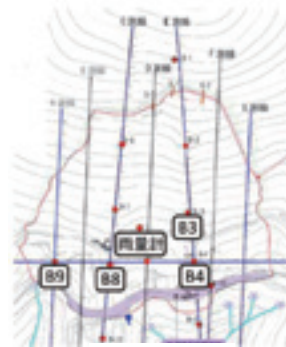
観光防災マップ（案）A

◆ 地下水位変動による安定性変化

地下水位の上昇は斜面崩壊の原因となるため、横垣峠では、2014年度より計測地点の追加等を行い、2017年1月現在、13箇所での雨量計測、4箇所での風向風速計測および地下水位計測を実施している。

地すべり地内での地下水位の変動特性を分析し、大きな亀裂のある箇所（B4）は他点と大きく挙動が異なることや、降雨により上昇した地下水位が下降する場合に或る地点を境として急激に地下水位が低下する傾向等がみられた。

今後、地下水位を大きく上昇させた降雨イベントの特性を明らかにする。



計測位置



地下水位の変動グラフ

(4) 歴史文化地域の地盤環境を踏まえた防災技術の開発

(4-3) 歴史文化地域の地盤災害に対する ジオアセスメント技術の開発

研究担当者：深川、里深、藤本、石田

文化遺産建造物をはじめとする歴史都市を地盤被害から守るために、斜面内の地下水流動を評価するモニタリングシステム、斜面安定性を評価する手法の開発を行った。また、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行い、防災対策を提案した。

清水寺における地盤災害調査・観測・変状予測



清水寺周辺の地質
大阪層群
(砂礫層と海成・淡水成粘土の互層)

- 清水寺境内内の重要建造物後背斜面において、雨量、間隙水圧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。**新たに変位量を計測**することで水分量の変化に伴う**地盤の変状**を捉えることを試みた。
- モニタリングデータをインターネット回線を通じて**遠隔監視**することで、土砂災害の発生の危険が高い場合における管理者を含む**警戒体制の在り方**を検証した。
- モニタリングデータおよび地盤調査の結果を利用して斜面安定解析を行い、危険性の科学的評価を行った。これまで蓄積した過去の崩壊時のデータを用いて**斜面崩壊発生時刻の予測手法**を検討した。



微地形判読結果と湧水点の位置図

- 高精度・高密度の標高データから微地形図（CS立体図）を作成し、詳細な地形判読を行った。地形判読結果と水文情報、樹木の変状等を含む現地踏査を組み合わせることで**斜面崩壊の潜在的危険性の高い個所を抽出する方法**を提案した。
- 3次元データを利用し、土石流数値シミュレーションシステム（HyperKANAKO）を用いた**詳細な氾濫解析を実施**した。特定の道路沿いの氾濫が予測され、避難警戒体制の構築に有用な情報が得られた。

以上を反映させ、防災対策を提案した。



踏査時の写真

(左：樹木の曲り変状
上：湧水による土壌の内部浸食)



土石流の氾濫解析

(左図：最大水深、右図：土砂の堆積厚)

