

歴史文化都市の防災技術研究部会

「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) 歴史的建造物の耐震設計・耐震改修技術の開発

- (1-1) 三重塔を伝統構法で建設する
- (1-2) 伝統的建造物群地区の耐震改修

(2) 伝統構法木造建築物の構造力学特性の解明

(3) 免震レトロフィットの耐震計画・施工計画の分析と評価

(4) 歴史文化都市の防火システムと機器の開発

- (4-1) 地域防災情報ネットワークの開発
- (4-2) 高機能型市民消火栓の延長機構の開発

(5) 歴史文化地域の地盤環境を踏まえた防災技術の開発

- (5-1) タイ王国アユタヤの文化遺跡の防災技術開発
- (5-2) 世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」横垣峠における地すべり地の地下水位変動、観光客に向けた防災情報サイトの構築
- (5-3) 清水寺における地盤災害調査・観測・変状予測

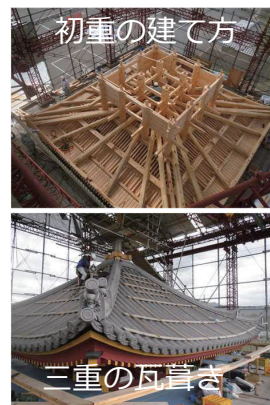
(1) 歴史的建造物の耐震設計・耐震改修技術の開発

研究担当者：鈴木祥之、大窪健之、吉富信太、佐藤英佑

三重塔を伝統構法で建設する

三重塔を細部に至るまで全て本格的な伝統的構法で建てる設計法の開発を行った。

多雪区域に建てる三重塔の耐震・耐風安全性をはじめ、各部の構造安全性を検討。2012年から設計に着手、2018年秋に完成予定。



2017年11月塔体の完成



伝統的建造物群地区の耐震改修

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、実務者が実践的に使えるように耐震改修の促進を図った。

- **伝統的構法木造建築物の耐震設計マニュアルの作成**
伝統的構法が、現在、確認申請が難しく危機的な状況にある。この状況を打開するために、実務者、行政などが使える耐震設計マニュアルを作成する。
- **与謝野市旧加悦町役場庁舎の耐震改修計画**
加悦伝建地区の旧加悦町役場庁舎の耐震性、耐久性を調査し、耐震改修計画を策定。2018年度から本格的な調査を行い、耐震改修工事を実施予定。



2018年度耐震改修予定の
与謝野市旧加悦町役場庁舎

(2) 伝統的木造建築物の構造特性の解明

研究担当者：吉富信太

伝統的木造の実建物の振動計測を実施し、建物の立体的な振動特性や構面単位での構造特性を推定する汎用的な手法開発を試みた。

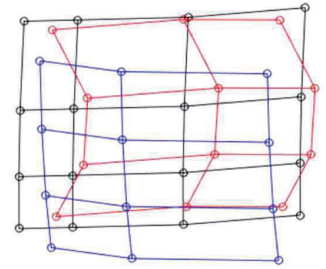
- 京都市の三階建て伝統木造建物の五條会館建（歌舞練場）に26台のセンサーを設置した振動計測を行い、複雑な立体振動挙動を明らかにした。



五條会館（京都市）

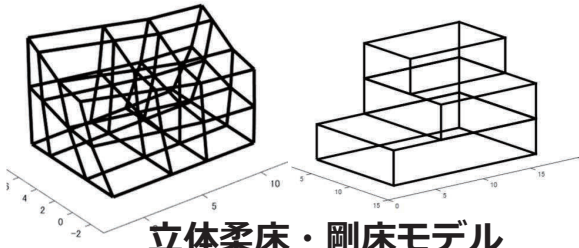


計測状況（起振機・微動計）

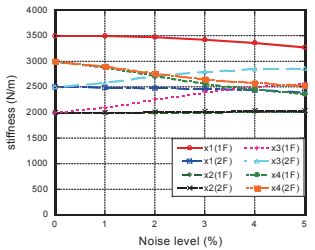
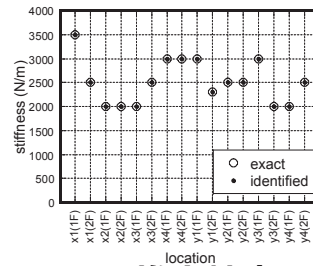


立体的な振動モード

- 振動計測により、各構面別の剛性と減衰を推定する手法を提案し、シミュレーションでノイズの影響について検討した。



立体柔床・剛床モデル



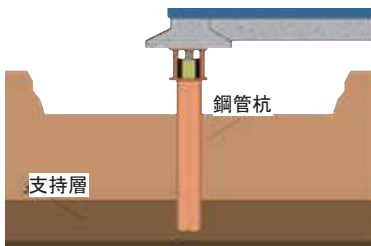
推定精度・ノイズの影響

(3) 免震レトロフィットの耐震計画・施工計画の分析と評価

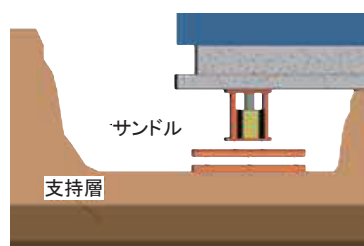
研究担当者：持田泰秀

耐震計画：国立西洋美術館本館図面資料から、躯体データを耐震診断プログラムにデータ入力を実施した。今後、妥当な耐震診断を行い、耐震性能の評価を行う。

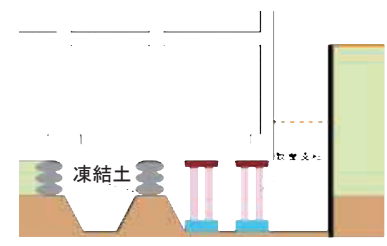
施工計画：国内の免震レトロフィット工事9案件の工事実績より、**仮受け鋼管杭工法**、**仮受け支保工工法**及び**凍結土工法**の3種類に分類した。分類毎に仮受け工程の近似評価を行い、これまで明らかにされていなかった工程歩掛の提案を行う。



基礎下に鋼管杭を支持層まで圧入し、建物を一時的に支持する**仮受け鋼管杭工法**



建物の荷重を直接基礎的にサンドル等を用いて支持する**仮受け支保工工法**



基礎下で、支持層まで地盤を凍結させて支持する**凍結土工法**

凍結土工法I案件工程表の事例

| I案件 | 2012年 | | | | | | | | | | | | 2013年 | | | | | | | | | | | | 2014年 | | | | | | | | | | | | 2015年 | | | | | | | | | | | | 2016年 | | | | | |
|-----------|-------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|-------|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|-------|--|--|--|--|--|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| 解体工事 | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | |
| 土工事 | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | |
| 凍結管設置工事 | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | |
| 凍結期間 | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | |
| 基礎下掘削 | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | |
| マットスラブ構築 | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | |
| 免震基礎下部梁補強 | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | |
| ジャッキダウン | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | | | | | | | | — | | | | | |

山留工事、仮受け鋼管杭工事、仮受け支保工工事の評価を行い、免震レトロフィットの施工計画の早急な工程計画検討を可能とした。

(4) 歴史文化都市の防耐火システムと機器の開発

(4-1) 地域防災情報ネットワークの開発

研究担当者：大窪健之・金度源

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

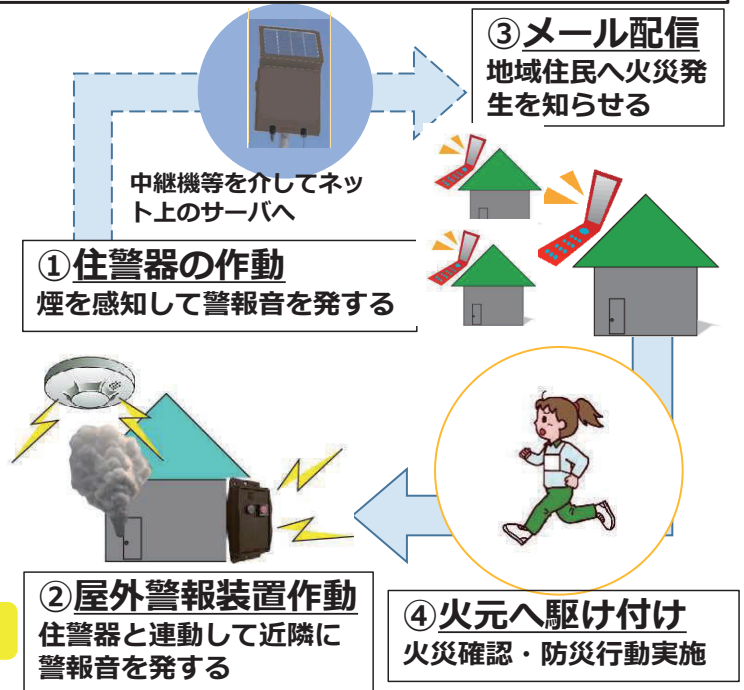
特徴

- ・ 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・黒石重伝建地区で実証中



(4-2) 高機能型市民消火栓の延長機構の開発

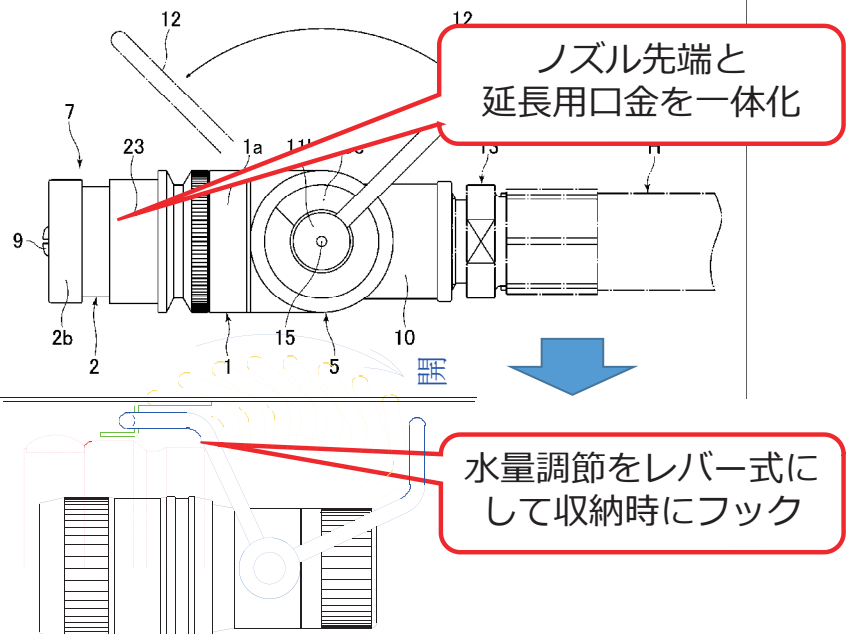
研究担当者：大窪健之・金度源

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。

最寄りの消火栓からホースを取得すれば、ノズル先に継ぎ足して、任意に延長可能にした。

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) 防災訓練の企画運営：島根県津和野重伝建地区、2017年11月29日

(5) 歴史文化地域の地盤環境を踏まえた防災技術の開発

研究担当者：深川良一・里深好文・中谷友樹・豊田祐輔・小林泰三・藤本将光・石田優子・大矢綾香

文化遺産の地盤災害リスクを評価するために、地盤調査、土質試験、地下水位計測、雨量計測を実施した。また分析に必要な情報を計測、収集した。

(5-1) タイ王国アユタヤの文化遺跡の防災技術開発

◆ 仏塔の傾斜原因評価のための分析

過年度の地盤調査より、仏塔傾斜に最も影響を与えたと推定される粘土層を特定し、一次元圧密理論に基づき初期間隙比を推定する手法を提案した。計算結果から、仏塔傾斜に当該粘土層以外の因子が影響を及ぼした可能性が示唆された。バンコク粘土は含水による土の性状変化に特徴があり、パラメーター決定のための基礎資料として、文献および周囲のボーリングデータ等を収集した。解析の妥当性検証を含め、仏塔傾斜のモニタリングを計画し、計測許可と協力を芸術庁アユタヤ事務所に取付けた。



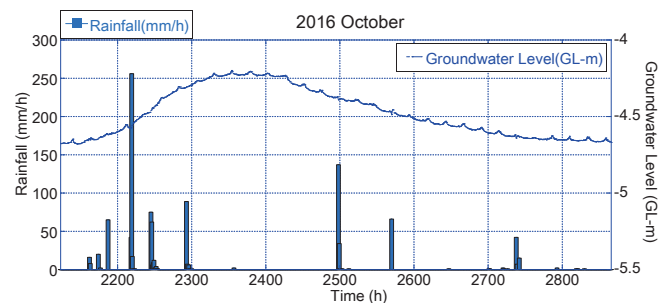
液塑性試験



仏塔傾斜計測

◆ 地下水位の変動の影響評価

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、アユタヤ歴史公園事務所で雨量および大気圧をモニタリングしている。計測期間の結果を分析したところ、最大時間雨量は250mm/hを超え、地下水位は年間を通じてGL-4.2~5.3mの間で変動しており、降雨に依存しないことが明らかになった。

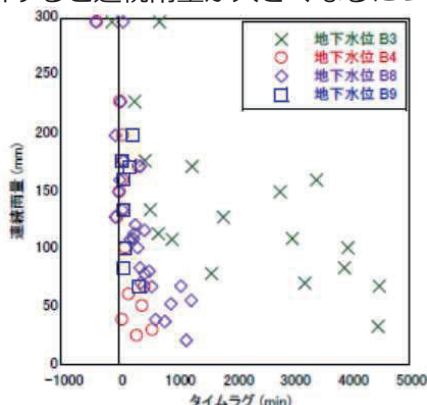


降雨および地下水位計測データ

(5-2) 世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」横垣峠における地すべり地の地下水位変動、観光客に向けた防災情報サイトの構築

◆ 地すべり地の地下水位変動

横垣峠では、2007年に地すべりが発生し、2017年現在も対策工事が断続的に続いている。土壤雨量指数の変動特性は、浅い地下水の挙動と相関が良いことが知られているが、地すべりのような深いすべり面にかかる地下水位の挙動とは一般的に調和的でないと言われる。しかし、本研究で参詣道に近い地すべり地内の4点の観測孔で地下水位の挙動を計測・分析したところ、地下水位の変動特性と土壤雨量指数の変動特性には、ピークの発現時刻にタイムラグが生じるものの、近傍に亀裂が認められる1孔を除き、挙動は概ね整合することが明らかになった。またタイムラグを降雨別に分析すると連続雨量が大きくなるにつれ、タイムラグが



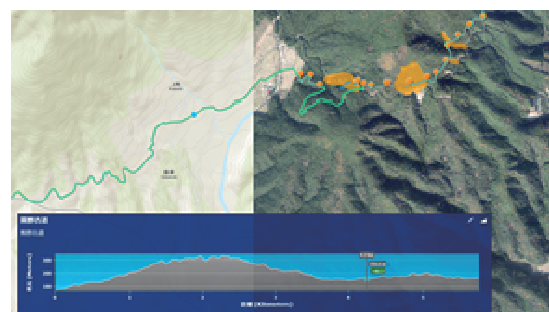
土壤雨量指数と地下水位のピーク発現時刻差

小さくなる傾向がみられ、100mmを超えると、土壤雨量指数と地下水位のピークの発現は同時刻に近づいた。さらに大きな降雨では、地下水位のピーク発現が先に現れる現象も見られた。

◆ 観光客に向けた防災情報サイトの構築

文化遺産を後世に継承するにあたり、被災履歴を適切に伝えることは重要である。また、その情報を観光客に伝え、リスクを認識してもらうとともに災害時の行動についても役立つことで、安全・安心に観光してもらうことが可能になる。さらに、文化的・歴史的背景や付近の観光情報も提供することで、文化遺産サイトは、歴史文化とともに文化遺産の防災を学び観光産業振興への資源となる可能性を秘めている。

2017年度には、文学部地理学教室の中谷友樹教授、今村聡氏の協力を得て、横垣峠の土砂災害危険度評価、一時退避場所、避難ルート、消失前の古道ルート、道標位置、観光としての見どころ等を提供するサイトを構築し、コンテンツの充実を図った。



横垣峠の観光防災情報サイト（試作版）

(5) 歴史文化地域の地盤環境を踏まえた防災技術の開発

研究担当者：深川良一・里深好文・小林泰三・藤本将光・石田優子・大矢綾香

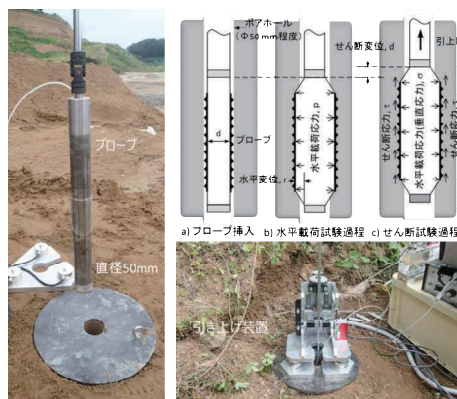
文化遺産建造物をはじめとする歴史都市を地盤被害、河川災害から守るために、斜面内の地下水流動を評価するモニタリングシステム、斜面安定性を評価手法の開発、河川氾濫解析を行った。

また、現地の地形、地盤特性を把握し、それらを反映させた斜面崩壊、洪水氾濫解析を行い、防災対策を提案する。

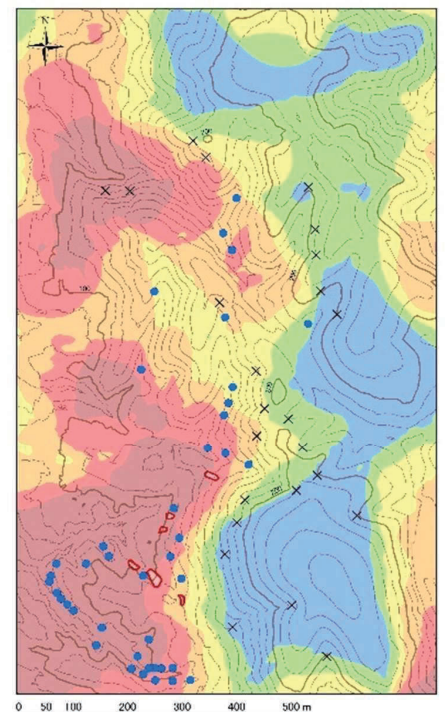
(5-3) 清水寺における地盤災害調査・観測・変状予測

- 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、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。**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**を捉えた結果、対象斜面では顕著な変状が認められなかった。
- 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から斜面安定解析を行い、危険性の**定量的評価**を行った。
- 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。地形の**平面曲率の標準偏差**が危険性判定の指標となることが示され、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抽出する方法**を提案した。
- 斜面や狭隘地での試験が可能な**原位置地盤調査ツール**を開発した。予め手で削孔した小口径ボアホールに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となる**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。

- 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。清水寺本堂への直接的な被害が発生せず、また、7m程度の高さの堰堤で洪水氾濫を防ぐことができることが示された。



開発した原位置地盤調査ツール



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
0.9~

地形の平面曲率の標準偏差と湧水、土砂災害地の関係