

国際科学技術共同研究推進事業  
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「開発途上国のニーズを踏まえた防災に関する研究」

研究課題名「ブータンにおける組積造建築の地震リスク評価と  
減災技術の開発プロジェクト」

採択年度：平成28年度/研究期間：5年/相手国名：ブータン王国

## 平成30年度実施報告書

国際共同研究期間<sup>\*1</sup>

平成29年 4月28日から令和4年 4月27日まで

JST側研究期間<sup>\*2</sup>

平成28年 6月 1日から令和4年 3月31日まで  
(正式契約移行日 平成29年 4月 1日)

\*1 R/Dに基づいた協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

\*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた年度末

研究代表者：青木 孝義

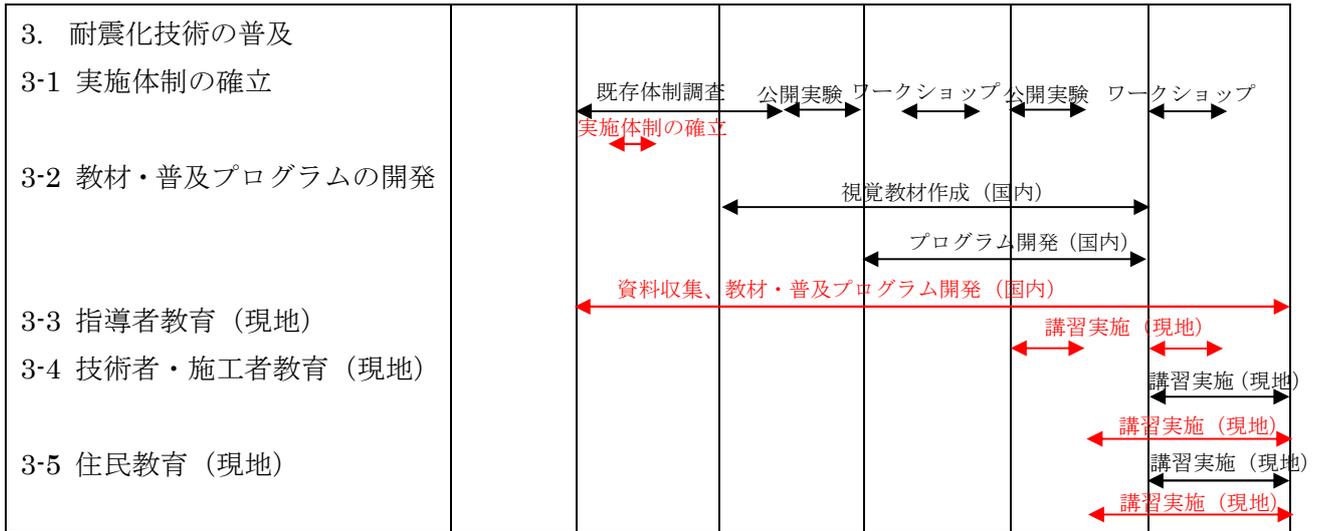
名古屋市立大学・教授

# I. 国際共同研究の内容 (公開)

## 1. 当初の研究計画に対する進捗状況

### (1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2016年度 (10ヶ月)	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 (12ヶ月)
1. 地震リスク評価						
1-1 地震観測強化		システム改良・機材更新			運用継続	
1-2 震度観測強化		開発・試験			整備運用	
1-3 地震増幅度マップの作成		情報収集			調査	
1-4 ハザードマップの作成		情報収集			作成・改良	
1-5 構造物の脆弱性評価					脆弱性評価	
1-6 地震リスク評価					地震リスク評価	
2. 耐震化技術の開発						
2-1 常時微動計測		伝統建築形式分類 (国内) 振動特性の把握と系統的分析 (国内)				
2-2 材料実験 (現地)		材料特性の把握 材料改良方法の開発				
2-3 実大試験体静的・動的実験 (現地)		材料試験方法の確立				
2-4 構造解析		解析法の開発・検証				
2-5 耐震診断法 (国内)		耐震診断法の確立				
2-6 耐震補強キットの開発		施工法・補強法の開発と提示				
2-7 耐震化指針 (国内)		耐震化指針の提示				
2-8 建築構造基準の提案		耐震化指針の提示 建築構造基準の提案				



(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)  
なし。

## 2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

### (1) プロジェクト全体

- ・ 成果目標の達成状況とインパクト等

H28 年度に策定した H29 年度以降の地震リスク評価、耐震化技術の開発・普及に関する実施計画に基づき、H30 年度は、研究題目 1 「地震リスク評価」(研究グループ A 地震ハザード評価、研究グループ B 地震リスク評価)、研究題目 2 「耐震化技術の開発」(研究グループ C 耐震化技術の開発)、研究課題 3 「耐震化技術の普及」(研究グループ D 耐震化技術の普及) の各研究課題、研究グループの活動を実施した。成果目標の達成状況は、図 1-1 に示すとおりである。

### 成果目標シート

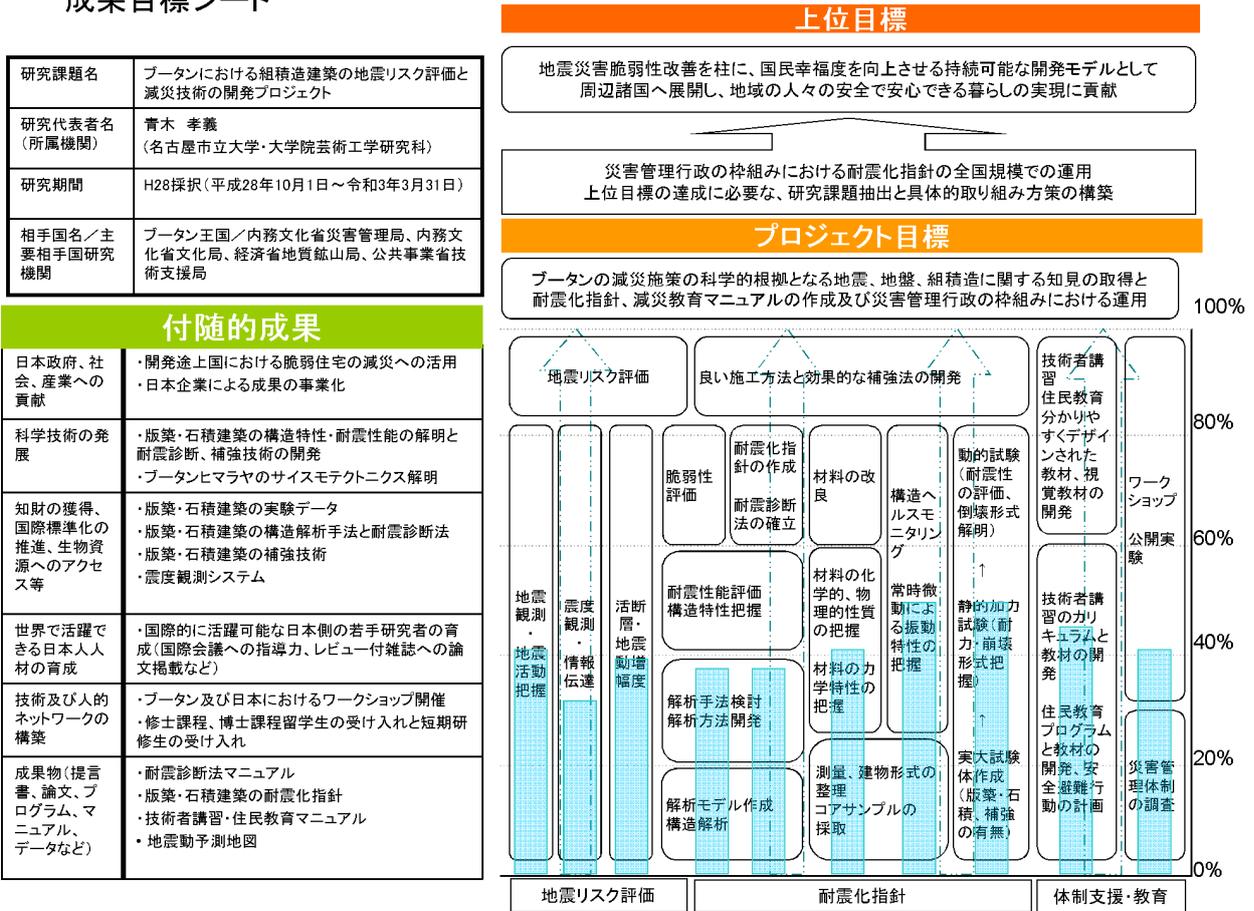


図 1-1: 成果目標の達成状況

日本側は、日本大学で採用した PD 研究員が、プロジェクト 2 年目に日本大学理工学部の助手になったため、新たに韓国人 PD 研究員を採用し、研究運営体制の強化を行った。一方ブータン側は、人事異動によりプロジェクト開始から 2 年間で 6 名がいなくなったため、内務文化省災害管理局 (DDM) を中心とした研究運営体制の再構築を行い、経済省地質鉱山局 (DGM) では 3 名の若手スタッフを採用し、内務文化省文化局 (DOC) では 1 名の若手スタッフを採用し、研究運営体制の強化を行った。名古屋市立大学と香川大学においては、大学院生、学部生向けのプロジェクト説明会を実施し、学生にプロジェクトへ積極的に参画してもらうことで、プロジェクトを通じた人材育成を計画した。説明会の結果、本研究プロジェクトに興味を持った学生が、それぞれの教員の研究室の学生となり、名古屋

市立大学の学生は H28 年度名古屋市立大学芸術工学部建築都市デザイン学科論文賞「ブータン王国版築造建築物の耐震性能向上に関する研究」に引き続き、H29 年度は名古屋市立大学芸術工学部産業イノベーション学科作品賞「ブータンの版築造における施工工程のマニュアル」を受賞している。また、荒巻氏は、「セメントの添加による版築の強度向上に関する検討」でセメント技術大会優秀講演者賞を受賞している。

2019 年 11 月に、内務文化省防災局（DDM）、文化局（DOC）、公共事業賞技術支援局（DES）のスタッフ各 1 名計 3 名を日本に出張させ、名古屋市港防災センターにて防災体験ツアーに参加してもらうことで、防災教育のあり方に関する検収を実施した。また、歴史的建造物の保存活用に関する研修を実施するとともに、研究打合せを行った。2019 年 2 月に、経済省地質鉱山局（DGM）のスタッフ 1 名を日本に出張させ、活断層マッピングの実習を行っている。また、SATREPS 枠の国費留学生として、DOC から 1 名を外国人研究生として受け入れ、これまでの研究成果をまとめた国際雑誌論文の執筆指導を行い、本プロジェクトを通じた博士学位の取得準備を行った。

## (2) 研究題目 1：「地震リスク評価」

研究グループ A：地震ハザード予測（リーダー：井上公）

### ①研究題目 1 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

平成 28 年度までに、ブータン国内に 6 か所からなる高感度地震観測網、および 20 か所からなる震度観測網をほぼ完成させており、ティンプーの DGM のオフィスにてリアルタイムでデータを受信できるシステムの運用を開始している。後述のようにデータのリアルタイムでの受信状況は必ずしも良好とはいえず、可能な限り、観測点に出向くなどしてデータを回収しハザード評価に必要なデータの蓄積を行っている。

### 高感度地震観測網

高感度観測点のうちリアルタイムでのテレメータ観測点は Thimphu、Bumthang、Trashigang、Samtse、Gelephu、S/Jongkhar の 6 か所である。本課題ではこれらの 6 点の観測機器（デジタル他）の更新を予定しており、2018 年度に可能な限りデジタルの更新を行ったが、接続すべき広帯域地震計および強震計の設置が完了していない点が残されており、2019 年度に引き続き作業を継続する。図 2-1 に 2019 年 3 月時点での観測点の分布を示す。ここには後述のオフライン観測点も記載している。

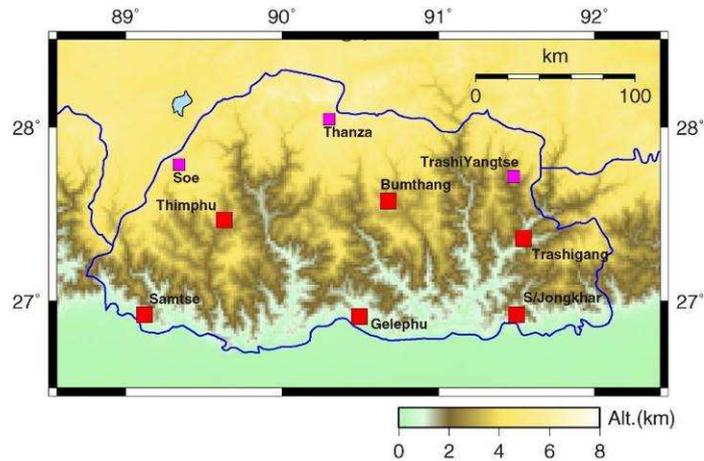


図 2-1 : 2019 年 3 月現在の地震観測点の分布。■の 6 点がオンライン点、■は、SATREPS 計画により設置するオフライン点を示す。後者は 2019 年 3 月末現在、2 点が稼働している。

また、これら 6 点のオンライン点のみではブータン全土の均質な地震活動の把握には不十分であるため、これらを補完するためのオフライン観測点の運用も行っている。SATREPS 計画では新規に北部国境に近い 3 点のオフライン観測点の予定を計画しており、2017 年度中にそのうちの 2 点の設置を行っており、2017 年 10 月に北西部の Jangothang、2018 年 3 月に北部の Thanza に機器を設置し、観測を開始した。前者は DGM が 2018 年 7 月に初回のデータ回収を行い、後者も含めて 2019 年 2 月末から 3 月初頭に我々自身が現場での保守作業を行った。この際、Jangothang 観測点については、保守作業を容易にするためにアクセスが容易な近傍の谷筋に観測点を移設した。また、両オフライン点にセルラー通信網の観測設備を増設し、通信状況の良好な際にはデータがリアルタイムで伝送されるように設定を行った。図 2-2 に両オフライン観測点の保守作業時の状況を示す。なお、Trashiyangtse 観測点については、2019 年度の早い時期に設置予定である。



図 2-2 : 2018 年 2 月末から 3 月初頭にかけてのオフライン点の保守作業。Jangothang から Soe への移設 (左) および Thanza での保守作業 (右)。

また、昨年度に引き続き、ネットワークの初期のデータを用いた地震活動の解析を継続した。図 2-3 には、2016 年 10 月から 2018 年 6 月までのデータ取得状況を示す。6 点のオンライン点すべてが稼働を開始したのは 2017 年夏であるが、その後も通信回線の品質が悪いためオンライン点の

データ取得状況は不安定なままであり、均質な地震活動のカタログを作成できる状況にはない。

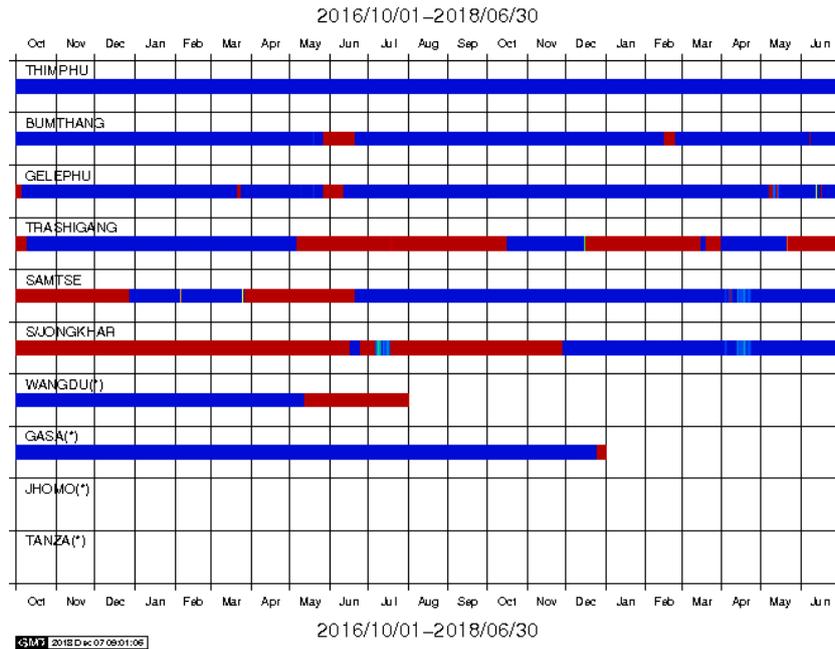


図 2-3 : 2016 年 10 月から 2018 年 6 月までのデータ取得状況。上から 6 点がオンライン観測点の状況。下の 2 点は撤収済のオフライン点。赤い線はデータを取得できていない期間を示す。

ここでは、2016 年 10 月からの 2018 年 6 月末までの preliminary な震央分布を図 2-4 (左) に示す。これは昨年の報告書の図 2-3 の解析期間を 9 ヶ月間延長したものである。図 2-4 (右) に示す 1990 年以降の ISC カタログによる震央分布と比較すると、1 年半強の観測データであるにもかかわらず、南西部の帯状の震央分布等、両者には共通の特徴を見ることができることから、観測網が安定稼働すれば比較的短期間に全土の地震活動の把握も可能であるかもしれない。

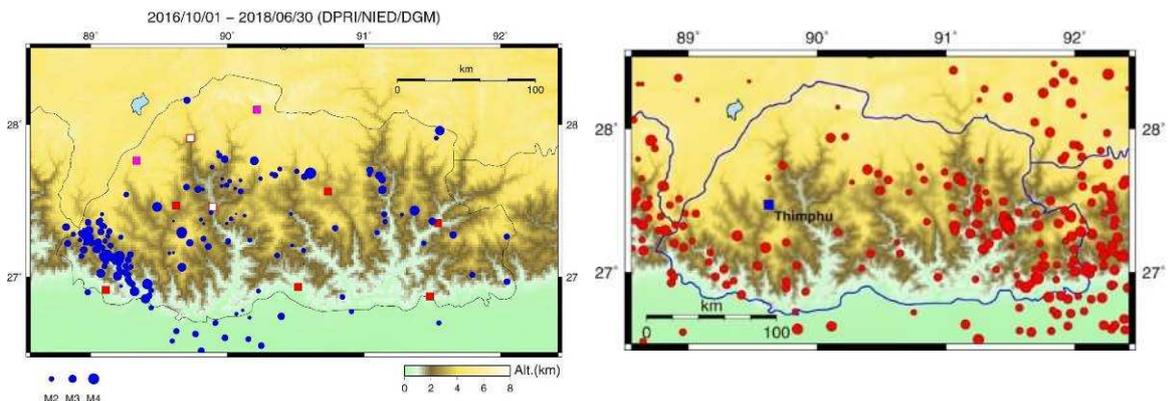


図 2-4 : 新設した観測網による 2016 年 10 月から 2018 年 6 月までの震央分布 (左) と ISC カタログによる 1990 年からの震央分布 (右)。ブータン国内の観測網による震央分布は短期間のデータでありながら ISC の長期間のカタログと共通の特徴を示している。

前述のように、オンライン点の通信回線の状況はひじょうに不安定であり、この状況を打開するために、DGM はデータ取得回線を現状の Bhutan Telecom 社の回線から政府直轄の回線に移行する

計画を持っているが実現時期は未定であり、当面の間、現状が継続することを憂慮している。

### 震度観測強化

本副課題では、地震ハザード評価の一環として、有感地震の震度情報および波形データから得られる減衰曲線、被害地震が発生した場合の即時災害対応、ならびに建物被害の原因の分析に資するためにブータン全土の震度観測網を構築する。そのために過去の SATREPS フィリピン課題で開発された震度観測システムを改良して導入する。H30 年度はブータン全国 20 県 (Dzongkhak) の県庁舎 (Dzong) に一昨年度までに設置されたリアルタイム震度計の運用を引き続き行った。DGM のオペレーションルームに設置された大型ディスプレイに表示されているリアルタイム震度マップ (図 2-5) を、インターネット経由のリモートデスクトッププログラム (TeamViewer) を用いて防災局 (DDM) のオペレーションルームにも表示するようにした。フィリピン火山地震研究所 (PHIVOLCS) が製作した震度サーバーシステム上の観測点管理およびデータマネジメントプログラムのいくつかを追加および更新した。

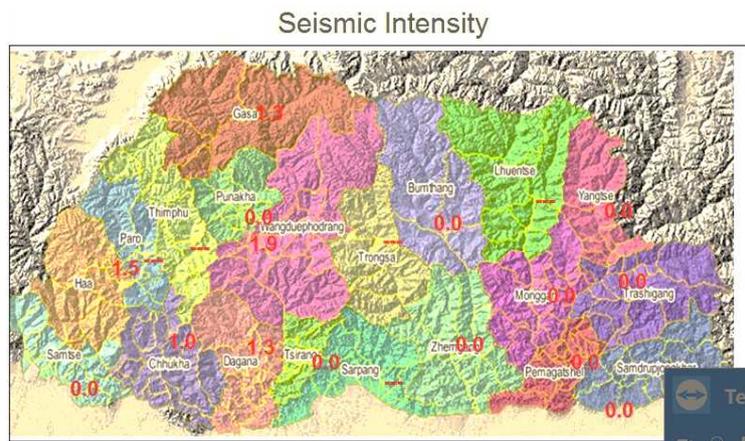


図 2-5 全国 20 県庁リアルタイム震度マップ

H31 年度および 32 年度に計画している 205 か所の市町村 (Gewog) 庁舎への簡易震度計の整備に向けて、Raspberry Pi 版のプログラムの改良と動作試験を行った。Gewog 向け震度計は数が多く、かつ電子機器に関する知識が全くない Gewog 職員に運用をゆだねることになるため、機器のハードウェア構成とユーザーインターフェースを県 (Dzongkhak) 庁舎に設置したものよりもシンプルにする必要があるため、電源を含めたパッケージを新たに設計した (図 2-6)。



図 2-6 簡易震度計用の CPU・ディスプレイ・センサー一体型ケース

H31 年度後半に整備する予定の 100 か所分の機材（CPU、タッチスクリーンディスプレイ、SD カード）を調達した。サーバー用計算機関係の機材は、年度末にメーカーによる欠品が発生したため H31 年度調達に繰り越した。

### 活断層マップ

ブータンでは南部断層地帯の詳細な断層の活動履歴の研究は実施されているが、国全体の地震ハザード評価に必要な活断層マップがない。活断層マッピングの基本手法は地形判読であり、元となるデータはデジタル地形図であるが、残念ながらブータンにはデジタル地形データ（メッシュデータ）が存在しない。最近の JICA 技術協力で NLC（国家土地委員会、日本の国土地理院に相当）がブータン国の南半分の 2.5 万分の 1 スケールの地形図を作成した。しかし、成果物はコンター（ベクトル）データで DEM（メッシュデータ）は作成されていない。コンターから DEM を作成することは可能であるが解像度が失われるため、我々は NLC が所有する古い航空写真を判読して活断層図と DEM を作成する計画を立案した。

H30 年度はまず 5 月に NLC が所有する古い航空写真のデジタルデータを入手し活断層の判読作業を開始できる環境を整えた。次に NLC 所有の空中写真の写真標定図を作成し（図 2-7 左）、空中写真、USGS による CORONA 衛星画像、および ALOS 30 のアナグリフ（図 2-7 右）をあわせて用いてブータン全域の画像判読を行って活断層の予察図を作成した（図 2-8）。

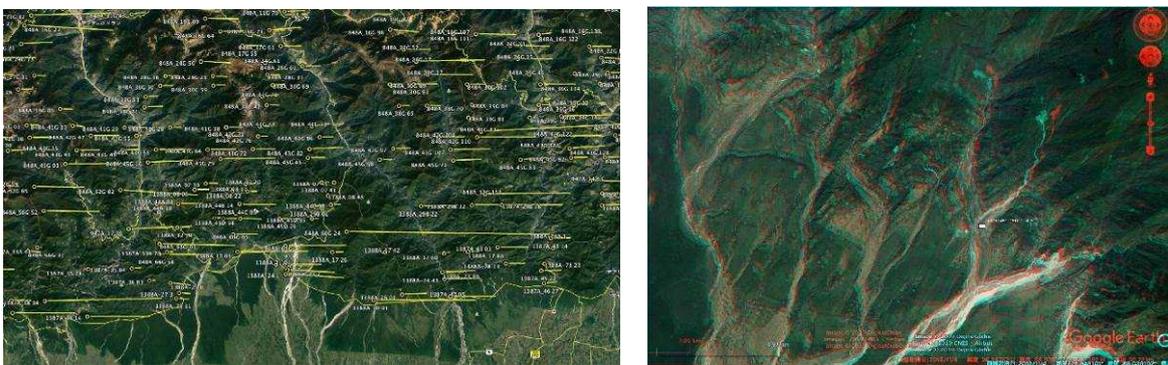


図 2-7 作成した空中写真の評定図（左）とブータン南東部国境付近のアナグリフ（右）

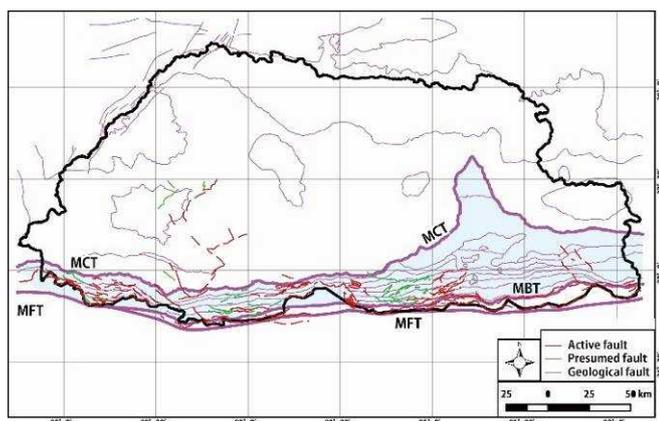


図 2-8 ブータン南部の活断層トレースと地質構造

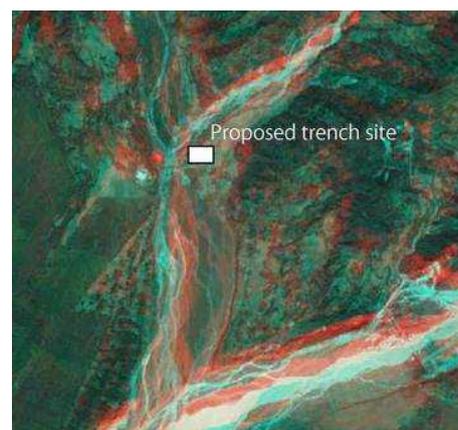


図 2-9 サムツェ付近のトレンチ掘削候補地

得られた情報をもとに、R1 年度に予定しているブータン南東部山麓、サムツェ付近におけるトレンチ掘削場所の選定を行った（図 2-9）。

2019 年 2 月 10 日から 22 日まで、DGM スタッフのカルマ・ナムガイ氏を広島大学に招聘し、空中写真判読をはじめとする活断層マッピング手法の研修、および四国の中央構造線における野外実習を行った（図 2-10）。



図 2-10 広島大学（左）および中央構造線（右）における活断層調査実習

## 地震増幅度評価

地震ハザード評価は、地震観測で得られる現在の地震活動と過去の地震の痕跡である活断層の調査・分析によって得られる地震発生予測に加えて、地域ごとの地震動の増幅度の違いの情報を用いて行われる。地震動増幅度の評価の標準的手法のひとつが微動探査であり、本課題では R1 年度と R2 年度に 2 か所のパイロット地域において探査を実施する。

H29 年度には建築研究所の林田研究員が JICA つくばセンターにおいて実習を行い、H30 年度はブータンにおける調査のために、微動探査機器の調達とティンパーにおける観測・解析の技術指導を行った。機材は 5 セットの広帯域地震計を防災科学技術研究所が提供し、4 セットのデータ収録装置を京大防災研が本課題の予算で調達・製作・輸送した。H30 年 11 月にティンパー市内の 4 か所で観測とデータの解析の技術指導を実施した（図 2-11）。



図 2-11：ティンパー市内での微動観測研修。観測点（左）、使用機材（中）、観測風景（右）

得られたデータを解析し、各観測点下の地下構造に関する暫定的な結果を得ることができた。

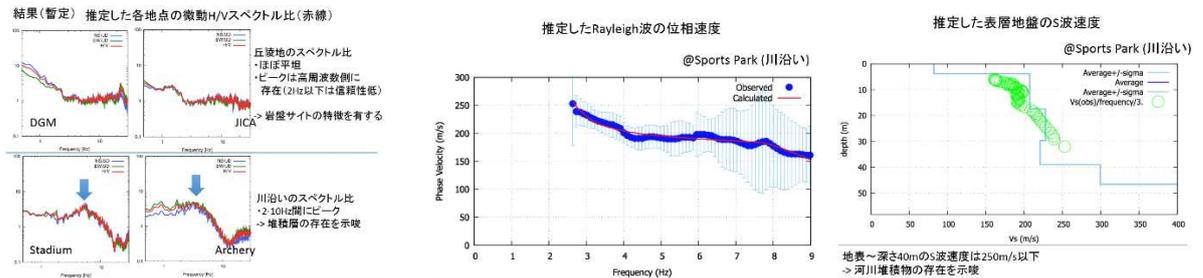


図 2-12：ティンパー市内の微動観測データの解析結果

各観測点の H/V スペクトル比（左）、運動場での位相速度（中）、同 S 波速度構造（右）

地震動の大きさは山地の地形にも影響されることが数値実験と過去の地震被害から知られている。本課題ではネパール・ゴルカ地震の被害分布と地形の尾根・谷との相関を分析し、地形を類型化することによってブータンをはじめとする山岳地域における地形による増幅効果を評価する手法を確立する。H30 年度はゴルカ地震の建物被害データベースを保有する NSET (National Society for Earthquake Technology) との研究協力協定の締結と、ドラカ県チャリコットの地形の予備解析 (図 2-13)、および NSET が詳細な被害データを保有しているゴルカ市、ジリ市、マンタリ市、ベシシャール市、チョータラ市の衛星 DSM データ (AW3D 5メートル DSM) の購入を行った。

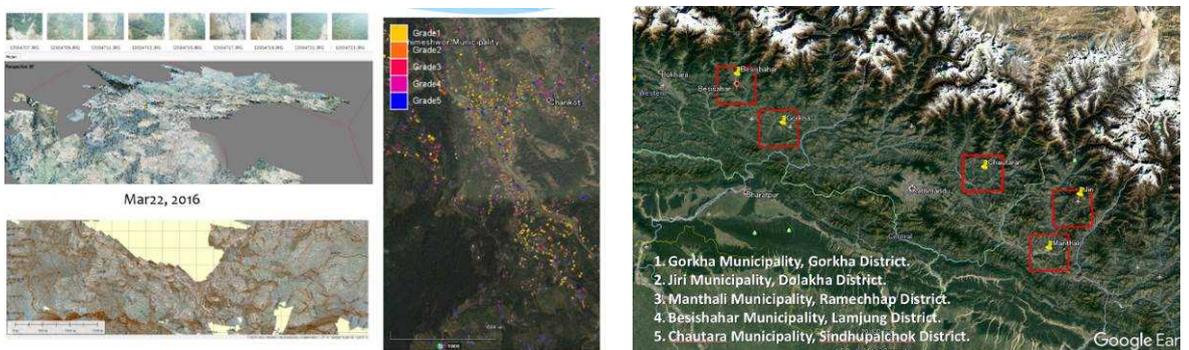


図 2-13：ネパールドラカ県チャリコットの地形と地震被害（左）、衛星地形データ(AW3D 5m DEM)を入手したネパールのゴルカ市、ジリ市、マンタリ市、ベシシャール市、チョータラ市の範囲（右）

## ハザードマップ

ブータンの現存する地震ハザードマップは、ノルウェーの支援によって DGM が作成した、インド北部とブータンの広域マップのみである。本プロジェクトでは、ブータンに範囲を絞ったハザードマップの改訂版の作成と、2 か所のパイロット地域における小さな地域のハザード評価を行う。

現時点ではそれらに必要なデータセット（地震活動、活断層、増幅度）のデータが得られていないため、H30 年度の本項目の活動は GEM の OpenQuake を用いた強震動計算の準備にとどまった。

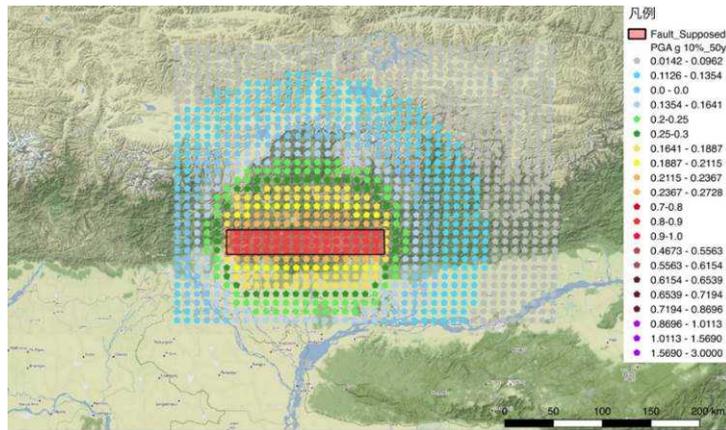


図 2-14： GEM OpenQuake によるブータン南縁の M8 地震を想定した強地震動計算

## ②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

地震観測、震度観測、活断層調査、いずれも現地での活動を通じて OJT を実施している。

日本国内研修としては、2019 年 2 月に DGM スタッフの Karma Namgay を広島に招聘し、空中写真による活断層の判読の実習を行った。前年度に DGM スタッフの Phuntsho Pelgay が参加した Global Earthquake Observation 研修には本年度は参加できなかった。

## ③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

NLC による広範囲の空中写真を入手できたことにより、活断層マッピングに進展がみられた。担当する DGM スタッフの Karma Namgay も意識および能力が高く、このサブテーマは大きな成果が期待できる。

## ④研究題目 1 の研究のねらい（参考）

ブータン全土の地震ハザード評価を、過去の地震データ、本課題により得られる地震活動データ、震度データ、活断層分布、地形地質分布から評価するとともに、将来ブータン地質鉱山局が、観測網の維持とハザード評価モデルの改良を継続していくために必要な技術移転を行う。

## ⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

6 か所のオンライン観測点からなる弱震観測網を強化するとともに、北部縁辺に 3 か所のオフライン観測点を設け、データを取得する。また RIMES 計画が同時期に設置した 8 か所の観測データを合わせて解析し、ブータン全土の地震活動を明らかにする。20 か所の震度観測点を運用すると

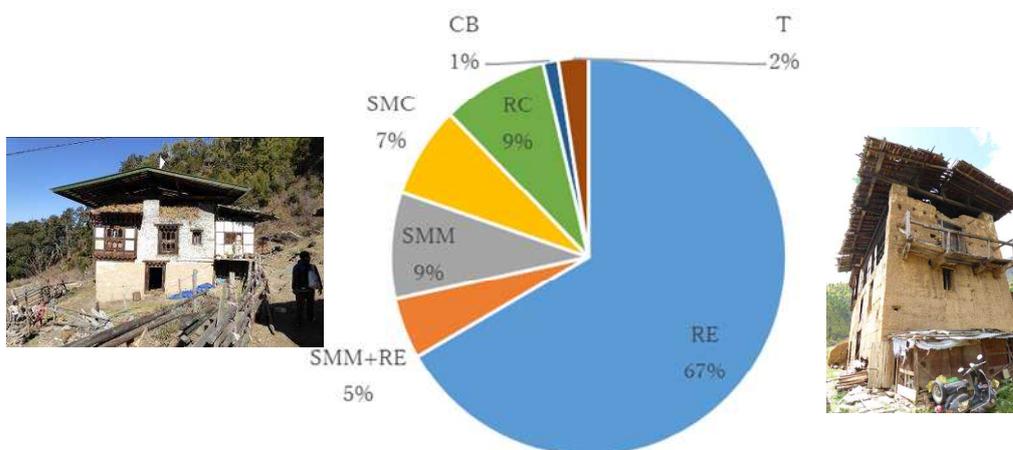
もに、あらたに205か所の村に簡易震度計を導入して即時に高密度の震度情報を提供するシステムを導入する。有感地震の震度データをアーカイブ・解析する。ブータン全土の航空写真を分析して、活断層マップを作成する。デジタル地形データを用いて山岳地における地震動の増幅度を評価する。微動観測機材を導入し、パイロット地域での観測により地盤による地震動増幅を評価する。これらの情報を統合して、ブータン全土の地震ハザードモデルの構築と、更新のための技術移転を実施する。

研究グループB：地震リスク評価（リーダー：高橋典之）

①研究題目1の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

研究グループAおよび研究グループCの研究成果に基づき、構造物の脆弱性評価および地震リスク評価を行うことを目的としており、R2年度から実施する研究テーマである。本年度は昨年度から引き続き、R2年度から実施予定の研究が支障なく進められるように、構造物のリスク評価に用いる基本的な構造特性の把握につとめるべく、後述の研究題目2「耐震化技術の開発」と連携し、版築造および石造の常時微動計測に伴う建物固有周期の概算、補強プランによる固有周期の変化について検討を行った。典型的なプランを有する建物の固有周期の特性を踏まえ、建物高さとの固有周期の関係に対し、今後実験で得られる構造体の強度・靱性の情報を加えて、建物群（構造種別と階数のみが情報として得られている状態）の地震応答解析に基づくリスク評価へと展開する。

なお、リスク評価対象とする地域の選定においては、研究グループAのハザード評価に適した地形を有していること、研究グループCの耐震性能評価対象構造物として典型的な建物が大半を占めることの、両条件を満たす箇所を選択することが重要である。本年度は、対象建物群の選定に適したパイロットサイトの特定を進めるべく、研究グループAのリスク評価対象地域としても適した地形を有し、研究グループCの耐震性能評価に対しても版築造を対象とした建物群が大半を占める地域として適したエリアである候補地を選定した。それぞれの条件に対する適否評価に時間を要しているが、まず手始めの一例として、版築造を中心とした集落のリスク評価パイロットサイトの選定にあたり、Essuna（東西約2km×南北約1kmのエリア）の悉皆調査を実施した（図3-1、図3-2）。



RE：版築，SMM+RE：マッドモルタル石造＋一部版築，SMM：マッドモルタル石造  
SMC：セメントモルタル石造，RC：RC造，CB：コンクリートブロック造，T：木造

図3-1：Essunaの悉皆調査結果（構造種別、全数81）

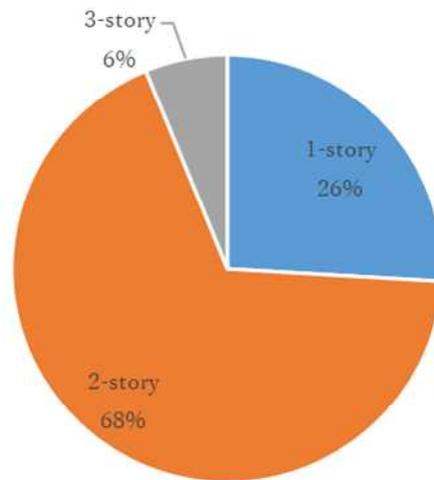


図 3-2 : Essuna の悉皆調査 (階数分布)

#### ②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

上述の通り、当初計画では R2 年度から実施する研究テーマであるため、当該年度における具体的なカウンターパートへの技術移転を詳述する状況ではない。ただし後述の研究題目 2「耐震化技術の開発」と連携し、脆弱性評価およびリスク評価に基づく耐震目標値の妥当性検証を将来にわたり内務文化省文化局 (DOC) および公共事業省技術支援局 (DES) が継続できるように、常時微動計測による構造特性評価技術を現地技術者に教育している (図 3-3、図 3-4)。



図 3-3 : 現地持参した計測機器 (英語マニュアル付)



図 3-4 : 現地技術者に計測手順を教育

#### ③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

今年度について特に想定外の展開は無かった。

#### ④研究題目 1 の研究のねらい (参考)

研究グループ C で開発する耐震性能評価法において目標となる耐震性能を定める際の合理的な判断基準を、研究グループ A のハザード評価結果に基づいて、脆弱性評価およびリスク評価に展開し、適用技術の社会効果検討に寄与する技術を提示することができるようにする。

⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

研究グループ C で実施する版築造、石造（マッドモルタル目地，セメントモルタル目地）の構造特性調査、実験結果を通して、構造物の簡易解析モデル（振動系モデル）の基本データ集約を進める。研究グループ A の成果として得られるハザード曲線に基づき、構造物の地震応答パラメトリック解析による脆弱性評価を実施し、脆弱性評価に対して施工コスト情報を適用することでリスク評価へと展開する。

(3) 研究題目 2 : 「耐震化技術の開発」

研究グループ C : 耐震化技術の開発（リーダー：宮本慎宏）

①研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

「2-1 常時微動計測」では、H30 年度に定めた石造建築の典型例・プロトタイプを対象として、常時微動計測および長期のモニタリング計測を開始した（図 4-1）。

「2-2 材料実験」では、版築の耐震性向上を図ることを目的に、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$  の円柱供試体レベルで、突き固め層数や突き固め回数、消石灰やセメントの添加が版築の材料特性（圧縮強度、引張強度、静弾性係数）に及ぼす影響を検討した。

「2-3 実大試験体静的・動的実験」では、版築造 2 棟、石造（マッドモルタル）1 棟の実大民家試験体を作製し、無補強の状態で弾性範囲内の静的載荷実験を行った（図 4-2）。さらに、載荷後の試験体にワイヤーメッシュとセメントモルタルによる耐震補強を施し（図 4-3、図 4-4）、最大荷重に達するまで再度載荷を行った。その結果、補強後の最大荷重をインドの耐震基準値（IS 1893）と比較すると、版築造民家の長辺方向で約 2.3 倍、短辺方向で約 1.8 倍、石造民家の短辺方向で約 1.4 倍有していることが確認できた（図 4-5）。

「2-6 耐震補強キットの開発」では、H31 年度に実施する新築実大民家の試験体設計に向けた準備として、新築の版築壁や石造壁を想定した引き倒し実験を行った。版築壁の引き倒し実験では、水平方向と鉛直方向のブロック間の接合強度を高めるための鉄筋コンクリート造の柱・バンド・楔を用いた補強（図 4-6）の効果を検証した。その結果、引き倒し荷重が約 3.2 倍上昇し、補強の効果を確認できた。また、新築石造壁の引き倒し実験では、壁の一体性を高めるためのメッシュボックスや鉄筋コンクリート造の柱・バンドを用いた補強（図 4-7、図 4-8）の効果を検証した。その結果、セメントモルタルの場合は崩壊に至らず、マッドモルタルの場合は引き倒し荷重が約 6.8 倍上昇し、補強の効果を確認できた。



図 4-1：長期モニタリング対象石造建物



図 4-2：実大民家の静的載荷実験

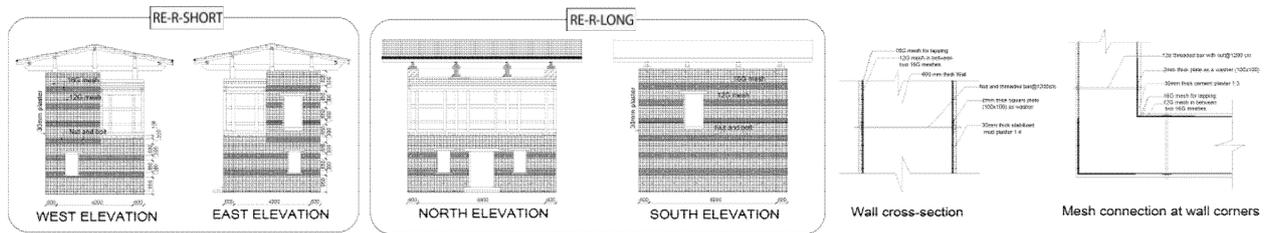


図 4-3：版築造民家の補強方法

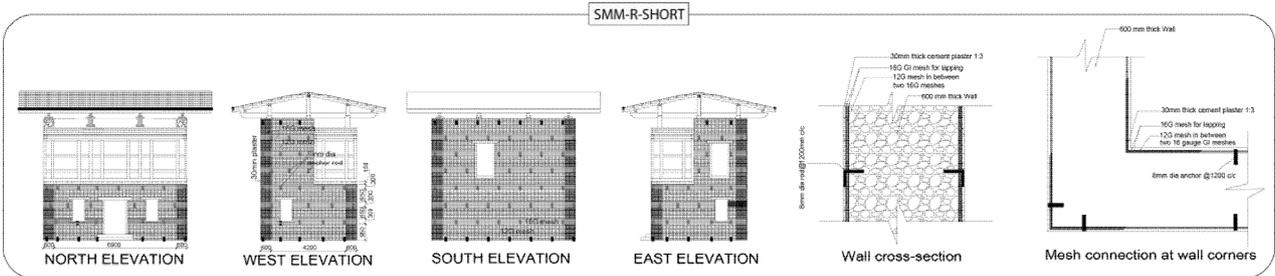
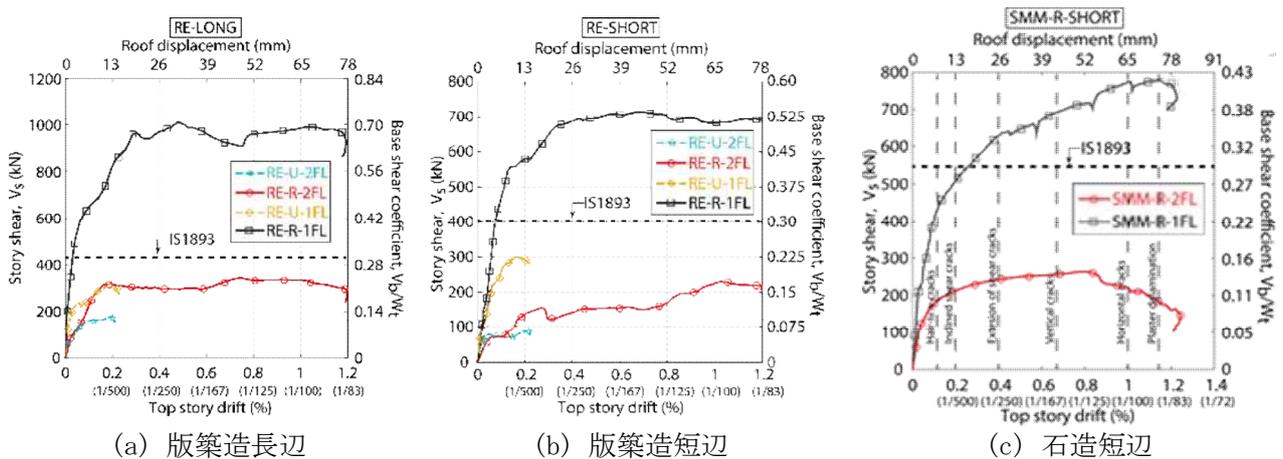


図 4-4：石造民家の補強方法



(a) 版築造長辺

(b) 版築造短辺

(c) 石造短辺

図 4-5：実大民家の静的載荷実験結果

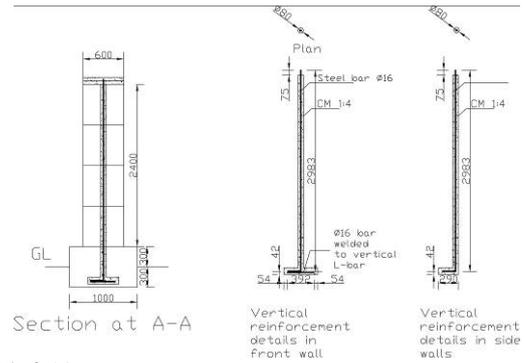
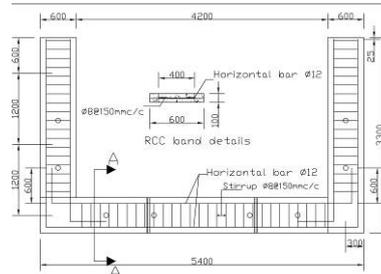


図 4-6：新築版築壁の補強方法

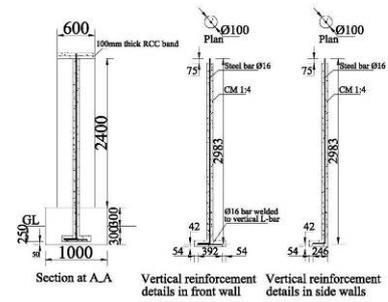
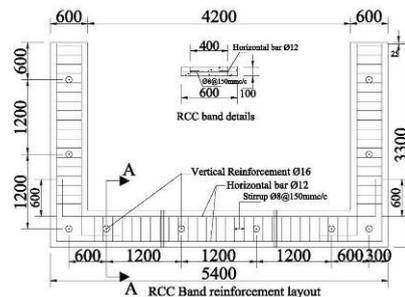


図 4-7：新築石造壁（セメントモルタル）の補強方法

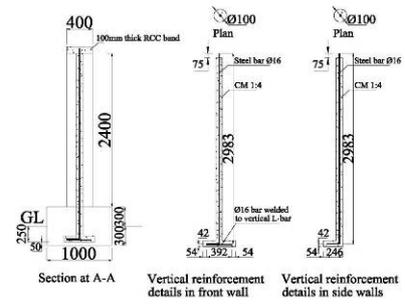
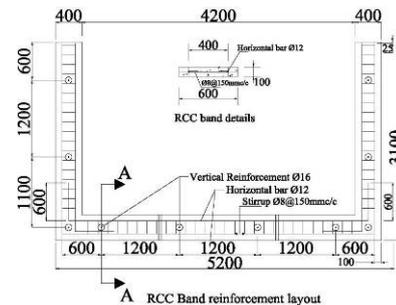


図 4-8：新築石造壁（マッドモルタル）の補強方法

②研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

カウンターパートである内務文化省文化局（DOC）や公共事業省技術支援局（DES）に所属する技術者を日本に招聘し、日本の歴史的建造物に対する耐震補強技術を視察した。また、内務文化省文化局（DOC）や公共事業省技術支援局（DES）に所属する現地技術者に対して、常時微動計測や載荷実験による構造特性評価技術を教育した。

③研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

実大実験の実施場所の変更や予算の都合により、試験体数が H30 年度と H31 年度の 2 年間で当初の計 8 体から計 6 体に変更となった。残り 2 試験体の予算はカウンターパートと継続して協議中である。

④研究題目 2 の研究のねらい（参考）

簡便で使いやすい実務的な耐震性能評価法の確立とパッケージ化を行うことで、指針の耐震性能

基準を満たした建築の普及を目指す。また、本研究課題を通して日本側で開発する耐震補強用部材を電力の安いブータンで生産し、開発途上国における土や石を建築材料とする脆弱住宅の補強キットとして提供する。

#### ⑤研究題目2の研究実施方法（参考）

常時微動測定に基づき版築・石積建築の固有周期の推定式を提案することで振動特性係数を算出する。この値は、最終的には版築・石積建築の必要保有水平耐力の算出に掛かってくるものであり、算出結果をもって耐震性能を評価する。材料実験に基づき材料の特性と材料改良の効果を、各種補強方法の施工実験を実施して施工性を確認し、実大試験体の静的・動的実験により補強効果を検証し、構造解析を実施することで解析法と耐震診断法を確立し、耐震化指針を作成する。耐震化指針は従来とは異なる視覚的で分かりやすい教材を作成する。また、公共事業省が実施している市街地と地方の建築許可の要件に本ガイドラインを加え、公共事業省に建築構造基準の提案を行う。

#### (4) 研究題目3：「耐震化技術の普及」

研究グループD：耐震化技術の普及（リーダー：青木孝義）

##### ①研究題目3の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

版築造、石積造の施工マニュアル作成のため、現地で2回のヒアリングを行い、ドラフト版を完成させた（図5-1、図5-2）。また、版築造の維持管理マニュアルのドラフト版を完成させた（図5-3）。一方、VRによる減災教育教材のドラフト版を完成させ、災害管理局（DDM）でデモンストレーションを行って改良点を議論した（図5-4）。DDM、DOC、DESから各1名を日本に招聘し、名古屋市港防災センターで防災体験ツアーに参加してもらうことで、ブータンにおける防災教育のあり方について考えてもらった（図5-5）。

##### ②研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

版築造の施工マニュアル、石積造の施工マニュアル、VRによる減災教育教材作成に伴う現地調査やヒアリングを通して、マニュアルや教材作成のノウハウを理解してもらうことができた。R元年度は、特にVR技術のカウンターパートへの技術移転を考えている。

##### ③研究題目3の当初計画では想定されていなかった新たな展開

農村部においては、字が読めない、書けない人が居ることが分かり、施工マニュアルに工夫が必要なことが分かったため、ピクトグラムで理解できるように対策を講じた（図5-1～図5-3）。

##### ④研究題目3の研究のねらい（参考）

耐震化技術の普及（社会実装）のための実施体制を確立し、研究題目1、2の成果である地震ハザード予測、地震リスク評価、耐震化技術の開発に基づき施工マニュアル、VRによる減災教育教材を開発して、指導者教育、技術者・施工者教育、住民教育をすることで、ブータンにおける地震時の減災に貢献する。

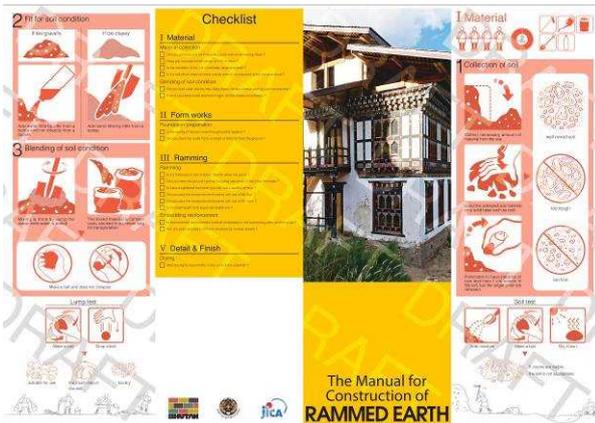


図 5-1：版築造施工マニュアル（ドラフト）

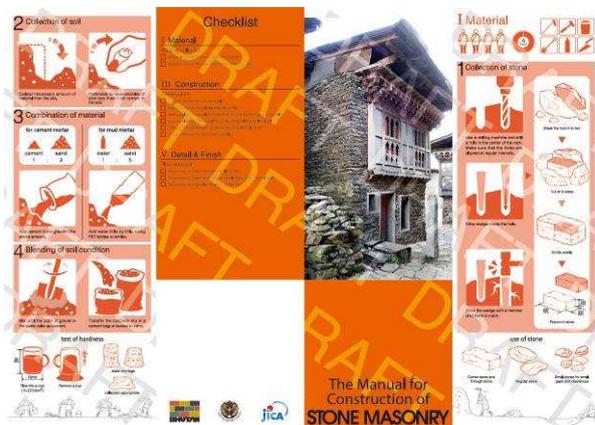
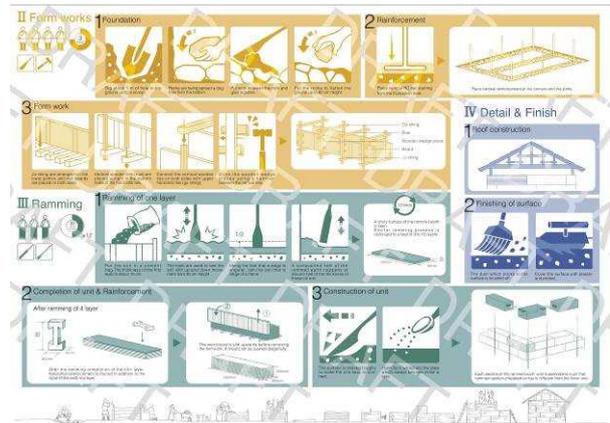
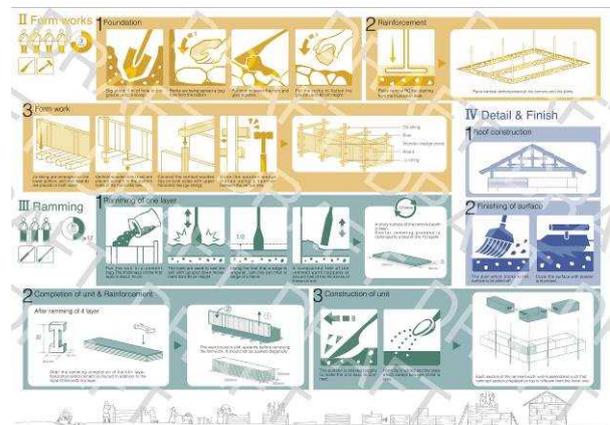


図 5-2：石積造施工マニュアル（ドラフト）



	CAUSES OF DAMAGES	EFFECTS	INTERVENTIONS
NATURAL FACTORS	<b>WATER INTRUSION</b> •Infiltration from the soil •Infiltration in formwork holes •Running water on the surface •Water ponding at the top of wall •Degradation of water on the ground •Capillary rising damp	•Erosion •Delamination •Fouling of timber beams •Cracks •Efflorescence •Bulging and mildew	•Creation of drainage channels •Increase ground slope •Rearside restoration and application of plaster •Crack repair •Installation of dripstones and gutters
	<b>EARTHQUAKES</b> •Natural ground shaking •In-plane movement (shear stress) •Out-of-plane movement (bending stress) •Roof weight •Pushing horizontal forces of floors	•Vertical cracks •Corner cracks •Bulging and sagging •Corner collapse	•Crack repair •Reinforcement of corners and wooden planks •Roof reconstruction
	<b>NATURAL ENVIRONMENT</b> •Presence of vegetation nearby •Proximity to rivers •Wildfire spreading •Wind loads	•Vegetation/corncobs attacks •Infiltrations •Flying debris •Cracks	•Removal of vegetation •Use of biocides •Installation of drainage system
HUMAN FACTORS	<b>TECHNOLOGICAL INACCURACY</b> •Lack of bonding measure between 1 stage walls and new-old walls •Lack of supporting spacers for design and doors in the wall •Inappropriate height variation of lintel in the wall •Uncovered earth mix and shrinkage •Weak compaction in the formwork	•Vertical and corner cracks •Corner collapse •Wall delamination •Opening displacement •Block collapse •Delamination	•Structural consolidation •Cracks repair •Wall reconstruction •Restoration of window frames and sills •Restoration of connection between 1 stage walls •Steel replacement •Restoration of corner bonding measures
	<b>RESILIENCE AND LOW MAINTENANCE</b> •Roof damages and leaks •Absence of final sealings •Uncovered joints and Choubuho holes •Absence of drainage system •Lack of adequate slope of terrain	•Infiltrations •Erosion •Water ponding on the top wall •Cracks •Degradation	•Roof body repair •Crack injections in the holes •Use of mortar •Change spacers •Creation of slope for the downflow of rain

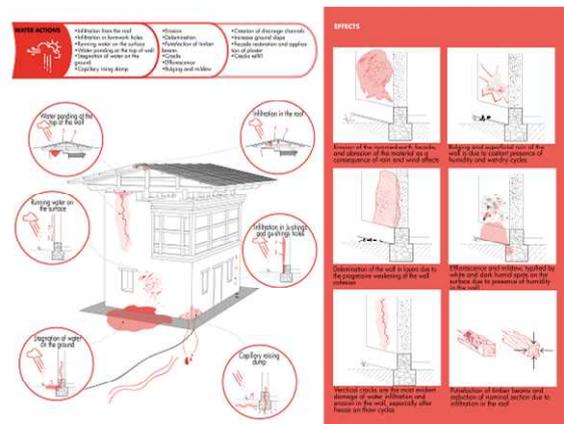


図 5-3：版築造維持管理マニュアル（ドラフト）



図 5-4 : VR による減災教育教材 (ドラフト)



図 5-5 : 防災体験ツアー (名古屋市港防災センター)

## II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

地震ハザード評価では、まずブータン全土の地震観測網と震度観測網の強化を行う。新たに得られる地震データと既往の情報を用いて、確率的地震発生予測と地震波増幅度評価を実施することにより、耐震化指針が目指す耐震性能の決定に必要なハザードマップの作成と想定入力地震動の評価を行う。また複数のパイロット地域において常時微動観測と微地形調査を実施し、より詳細な入力地震動評価を行う。この結果に基づき用途地域を指定して都市計画を進めることで、地震被害を軽減できる。さらに、地震記録や地震動予測に基づく地震ハザード予測に基づき地震地域係数を算出し、常時微動測定に基づき版築・石積建築の固有周期の推定式を提案することで振動特性係数を算出する。これらの値は、最終的には版築・石積建築の必要保有水平耐力の算出に掛かってくるものであり、算出結果をもって耐震性能を評価する。材料実験に基づき材料の特性と材料改良の効果を、各種補強方法の施工実験を実施して施工性を確認し、実大試験体の静的・動的実験により補強効果を検証し、構造解析を実施することで解析法と耐震診断法を確立し、建物の脆弱性評価を用いてパイロット地域の地震リスク評価を実施するとともに、耐震化指針を作成する。耐震化指針は従来とは異なる視覚的で分かりやすい教材を作成する。また、耐震化試験体の施工・実験の映像など視覚教材を多用した教育プログラムを実施し、受講者等からのフィードバックを反映させて、研究期間終了後にも継続的に実施できるプログラムに改良する。政府機関の技術者だけでなく民間の設計事務所などに対する地震災害管理体制支援・教育を通して、本研究課題期間にブータンの主要県における耐震化指針の普及と運用、住民の意識向上の強化を図り、将来の地震による建物被害・人的被害の1/4軽減を本研究課題の目標とする。また、公共事業省が実施している市街地と地方の建築許可の要件に本ガイドラインを加え、公共事業省に建築構造基準の提案を行う。

研究期間終了から5年後を目安にブータンや日本の技術者が伝統建築評価・診断を自立して行えることを目標に据え、本研究を通じて必要な人材育成を行うとともに、ブータン王国が設立した伝統建築研究所（RITS：Research Institute of Traditional Structure）への技術支援など、研究体制強化の支援を行う。また、簡便で使いやすい実務的な耐震性能評価法の確立とパッケージ化を行うことで、研究期間終了から10年程度で、指針の耐震性能基準を満たした建築施工や耐震診断ができる業者が官民に広く認知される制度作りを目指す。こうした技術の蓄積と支援を背景に、ブータンにおいて地震災害に対する住民の安全確保を開発計画の中に具体的に反映させる。さらに、脆弱な組積造建築が多い東南アジア、南西アジア、中近東、中南米などの国々に向け災害脆弱性克服を柱とした1開発モデルを提供することを目指す。合わせて、本研究課題を通して日本側で開発する耐震補強用部材を電力の安いブータンで生産し、開発途上国における土や石を建築材料とする脆弱住宅の補強キットとして提供する。

### Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

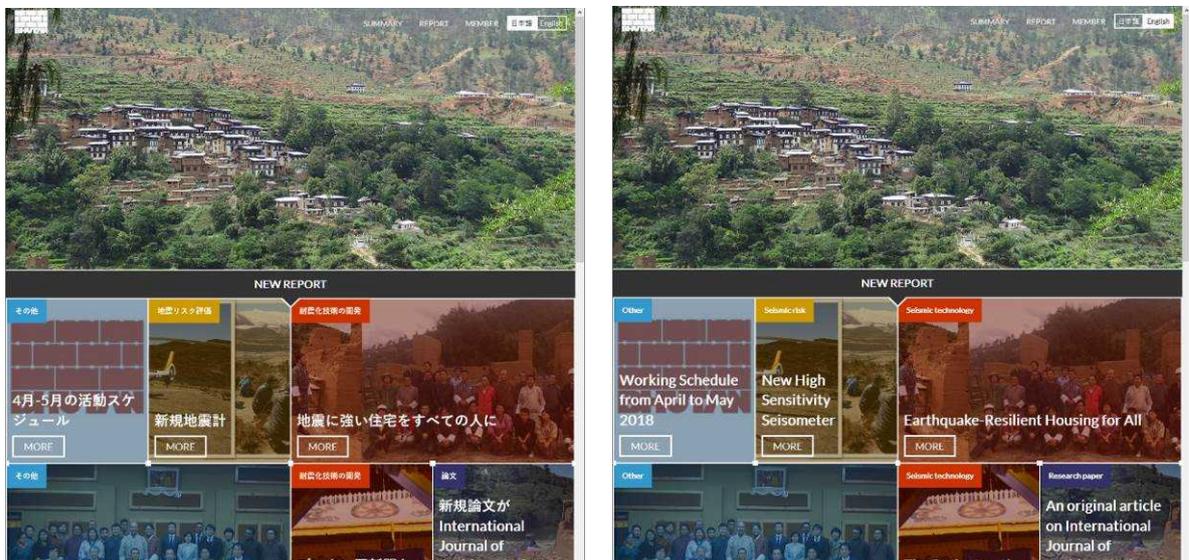
#### (1) プロジェクト全体

- ・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。

国内およびブータンの関係する機関が多く、その調整に時間がかかるため、より効率的な連絡方法、調整方法の必要性を感じている。また、ブータン側の研究者の人事異動により能力強化の効果が損なわれている。DDM では、相手国研究代表者が定年退職し、次の Karma Tsering 局長が異動になり、副責任者だった Yeshey Lotey も異動になった。DGM では、副責任者であり、地震ハザード評価担当の Jamyang Chopel が他部署に異動となった。DOC ではワーキングメンバーの Jigme が退職した。プロジェクト開始から2年間で6名がいなくなっている。今後予測される同様の人事異動に対応するために、技術移転は必ず複数に対して行うこと、および複数に対しての実施が経済効率の悪い本邦研修を減らすことを検討する。ブータンの機関内での情報共有が上手く行われていないため、情報共有を徹底させる必要性を感じている。

- ・各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に行った工夫。

研究プロジェクトのインパクト、持続性を高めるため、H28 年度に作成したホームページの情報更新に務めた（図 6-1）。ホームページの URL は、<http://www.satreps-bhutan.jp/>である。



(a) ホームページ（日本語）

(b) ホームページ（英語）

図 6-1：ホームページ

- ・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国（研究機関・研究者）が取り組む必要のある事項。

相手機関で専門性は異なるが、例えば経済省地質鉱山局（GDM）のスタッフは地質学には詳しい

が地震観測に不可欠な情報通信の知識・経験がないため、IT 担当者の採用もしくは経済省の IT 部門による支援の強化が不可欠であると考え。内務文化省文化局（DOC）のスタッフは版築造とマッドモルタルを使用した石積の構造には詳しいが、公共事業省技術支援局（DES）のスタッフはセメントモルタルを使用した石積の構造には詳しいが、両局とも既存組積造の耐震補強や新築組積造の耐震化に対するアイデアの提案に消極的で、材料実験や試験機器の取り扱いの知識・経験が乏しい。そのため、目的意識を高め、自発的なアイデアの提案を促すとともに、実験担当者の採用や機器メンテナンス担当者の採用が不可欠であると考え。

- ・ 諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果。

実験用用地の変更に伴い、試験体数が H30 年度と H31 年度の 2 年間で計 8 体から計 6 体に変更となり、ブータン側と協議をして試験体の仕様を決定した。R2 年度に、さらに 2~3 試験体の実験ができるよう、ブータン側で予算措置に努めている。

## (2) 研究題目 1 : 「地震リスク評価」

研究グループ A : 地震ハザード予測（リーダー：井上公）

- ・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

地震観測網の稼働率が、テレメータ回線のトラブルによって依然として低い。直接的原因は Bhutan Telecom 社（BT）の障害対応の悪さであるが、DGM スタッフに ICT の知識が乏しいことが BT との技術的コミュニケーションを阻害している。DGM は我々の指摘を受けて上部組織である経済省（MoEA）と交渉し、同省 IT 部門付きの技師 1 名の地震観測業務への業務割り当ての約束を取り付けた。実際の支援業務開始には現時点では至っていないが、支援を得られることができれば今後の BT の専用回線から携帯回線と政府専用回線への移行作業とその後の維持管理、および多点震度観測網の整備・運用がスムーズに進むことが期待される。DGM の地震課には本年度技師 1 名の採用があった。年度内は研修期間のため戦力にはならなかったが、R1 年度は地震観測のマンパワー不足の一部解消が期待される。

- ・ 類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

地震観測網の運用技術を学ぶために、ネパール、インド（アッサム）などの隣接国の地震観測機関を訪問して、運用のノウハウや SOP を学ぶとともに、将来のデータ共有のための交流を行うことが望まれる。

研究グループ B : 地震リスク評価（リーダー：高橋典之）

- ・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

当研究を進めるためには、研究グループ A および研究グループ C の進捗が欠かせないものである。その意味で、研究グループ A および研究グループ C の問題点克服がそのまま研究グループ B の推進

に直結する。今年度は、研究グループ A のハザード評価に適した地域と、研究グループ C の耐震性能評価に適した建物群エリアとの、両条件を満たす地域の選択に苦勞をした。候補地の選択までは進むものの、実際の視察の結果、どちらかの条件を満たせないことが判明するなどの問題があった。現地の集落候補情報の確度が低いと、このような徒勞に終わる結果となることがあるため、現地の集落候補情報の確度を高めるよう、現地担当者（ブータン技術者）の理解度を深める努力が必要と考えられる。

- ・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

上述したように、当研究と類似のプロジェクトにおいても、まずはハザードの解明（研究グループ A）、対象構造物の基本的な構造特性の把握と施工コスト情報の集約（研究グループ C）が前段にあって、これをもって脆弱性評価ならびにリスク評価へと展開できることから、まずはその基本情報を入手できるように、先方との調査協力実施体制（特に、現地情報の確度を高めるため、現地担当者（ブータン技術者）が理解度を深めた状態で参画できる体制になっているか）を確認することが重要である。

### (3) 研究題目 2 : 「耐震化技術の開発」

研究グループ C : 耐震化技術の開発（リーダー：宮本慎宏）

- ・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

実大実験を行うための用地確保に向けた交渉が滞り、プロジェクトの進行に影響が出てしまった。結果的に実大実験の試験体数に変更となり、全体スケジュールの変更を余儀なくされた。今後はカウンターパートとの密な連絡体制を築く必要がある。

- ・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

ブータン王国では都市部と地方で手に入る建設材料が異なるため、補強工法を考える際は、地方でも簡単に手に入る建設材料を用い、かつ低コストの工法を開発する必要がある。

### (4) 研究題目 3 : 「耐震化技術の普及」

研究グループ D : 耐震化技術の普及（リーダー：青木孝義）

- ・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用。

現地での資料収集とヒアリングに基づき、施工マニュアルと VR による減災教育教材のドラフトが出来上がってきたので、今後は DDM と教育方法について打合せを行う予定である。

- ・類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等。

開発途上国における Non engineered 向けの建設マニュアルなどを参考にしつつ、他プロジェクトや外国人研究者との協働できる体制作りが重要である。

#### IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

##### (1) 成果展開事例

SATREPS 課題で運用の支援と高度化を実施している、京大・防災科研・世銀によるブータン初の地震・震度観測網は、すでに国民への地震情報の提供に一部活用されているため、社会実装に貢献していると言える。

##### (2) 社会実装に向けた取り組み

地震情報を国・自治体・住民に適時に正確に発信するためには、さらなる改良と高度化が必要である。また情報を受け手が正しく解釈するための、地震や震度の基礎知識に関する教育マテリアルの作成と配布があげられる。地震グループは情報発信の方法の検討を R1 年度に、耐震技術の普及グループは施工マニュアル、維持管理マニュアル、VR 教材の発信方法の検討を R1 年度に実施する。

#### V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

ブータン国初の地震観測網と震度観測網の運用・高度化は日本のプレゼンスの向上に貢献している。

2018 年 10 月 1 日～11 月 9 日まで、文部科学省「情報ひろば」にて、「～暮らしを守る～歴史的建造物の保存再生技術とモニタリング」で SATREPS プロジェクトの内容をパネルで発信し、2018 年 10 月 25 日には、毎日新聞で「大学倶楽部・名古屋市立大学 歴史的建造物の保存再生技術とモニタリング展 文部科学省で 11 月 9 日まで」で取り上げられた。2018 年 12 月 28 日には、ブータン国営放送 BBS テレビの全国放送ニュースで、版築造の実大実験の様子が放送されるとともに、2019 年 1 月 1 日には、実大実験の様子がブータン国新聞 Kuense1 紙の全国紙 3 面に掲載された。2019 年 2 月 28 日には、日本の防災に対する取り組みの例として Euronews の Global Japan の 5 分番組で本プロジェクトが取り上げられ、欧州で放送、Web で公開中である。2019 年 3 月 22 日には、ブータン国営放送 BBS テレビの全国放送ニュースで、振動台の様子が放送されるとともに、2019 年 3 月 23 日には、ブータン国新聞 Kuense1 紙の全国紙 18 面に掲載された。

#### VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

#### VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

#### VIII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2016	小西孝明、宮本慎宏、青木孝義、江原夏季、ペマ、ブンツォ・ワングモ、 ブータン王国における伝統的民家の耐震補強工法に関する実験的研究、 構造工学論文集、2017.3、Vol.63B、359-367		国内誌	発表済	
2017	Phuntsho Wangmo, Kshitij C. Shrestha, Mitsuhiro Miyamoto, and Takayoshi Aoki, Assessment of out-of-plane behavior of rammed earth walls by pull-down tests, International Journal of Architectural Heritage, 2018, 13 Feb 2018 published online	10.1080/15 583058.201 8.1433903	国際誌	発表済	
2018	K.C. Shrestha, T. Aoki, T. Konishi, M. Miyamoto, J. Zhang, N. Takahashi, P. Wangmo, T. Aramaki, N. Yuasa, Full-scale pull-down tests on a two-storied rammed earth building with possible strengthening interventions, R. Aguilar et al. (Eds.): Structural Analysis of Historical Constructions, RILEM Bookseries 18, pp.1557-1565	10.1007/97 8-3-319- 99441- 3.167	国際誌	発表済	

論文数 3 件  
うち国内誌 1 件  
うち国際誌 2 件  
公開すべきでない論文 0 件

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数 0 件  
うち国内誌 0 件  
うち国際誌 0 件  
公開すべきでない論文 0 件

③ その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年	出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件  
公開すべきでない著作物 0 件

④ その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件  
公開すべきでない著作物 0 件

⑤ 研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
2017	供与機材3Dレーザーキャナ実機訓練 2017/9/26-9/28 目的:3Dレーザーキャナーの使い方を習得 対象:DOCエンジニア7名 講師:シュレスタ特任助教(名古屋市大)		現地研修
2017	供与機材 振動台・ジャッキシステム研修 2018/1/26-2/1 目的:供与機材取扱いや維持管理方法の実機訓練を供与側の実務者へ対 して行い、供与後も適切な機材運用と維持ができるよう持続発展性を担保す るため。 対象:DOC2名 講師:供与機材メーカー		本邦研修
2017	Microtremor Survey Training 2018/2/26 目的:微動測定の方法論理解と実技習得 対象:DGM3名 講師:大見士朗准教授(京大)・林田拓己主任研究員(建築 研究所)	Microtremor Survey Basics Data Processing	本邦研修
2017	Active fault and earthquake disaster mitigation 2018/3/9 目的:To understand the mechanism of active fault likely to cause earthquakes. 対象:DGM, DOC, DDM, DES他 20名 講師:中田高 名誉教授(広島大)		現地セミナー
2018	Drones for Disaster Management 2018/5/7 目的:ブータン防災関係者がドローン防災可能性を理解するため 対象:DGM, DDM, DES 32名 講師:井上公主任研究員(防災科研)		現地セミナー
2018	ICT lecture -UNIX and TCP/IP Network Introductions 2018/9/12-9/13 目的:DGMが地震観測網を運営維持するためのICT関連基礎知識を理解す るため 対象:DGM 7名 講師:大見士朗准教授(京大)	1 Introduction to TCP/IP Network -Configure and Manage Network, and Application - 2 UNIX 101 -Basic Introduction to UNIX OS-	現地研修
2018	微動アレイ探査実習 2018/11/27-11/30 目的:微動測定の実技 対象:DGM6名 講師:大見士朗准教授(京大)・林田拓己主任研究員(建築 研究所)	Microtremor Survey Basics	現地研修
2018	活断層マッピング研修 2019/2/9-2/23 目的:DGMが活断層マップを作るよう能力強化研修 対象:DGM1名 講師:中田高 名誉教授(広島大)		本邦研修

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2017	国際学会	Shiro OHMI <sup>(1)</sup> , Hiroshi INOUE <sup>(2)</sup> , Jamyang CHOPHEL <sup>(3)</sup> , Phuntso PELGAY <sup>(3)</sup> , and Dowchu DRUKPA <sup>(3)</sup> . (1) Kyoto Uni., (2) National Institute for Earth Science and Disaster Resilience, (3) The Department of Geology and Mines. <b>Design and Implementation of the National Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan.</b> The Joint Scientific Assembly of the International Association of Geodesy (IAG) and the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) 2017, Kyoto, Japan. 1-2 Aug. 2017.	ポスター発表
2017	国際学会	Shiro OHMI <sup>(1)</sup> , Hiroshi INOUE <sup>(2)</sup> , Jamyang CHOPHEL <sup>(3)</sup> , Phuntso PELGAY <sup>(3)</sup> , Nityam NEPAL <sup>(3)</sup> and Dowchu DRUKPA <sup>(3)</sup> . (1) Kyoto Uni., (2) National Institute for Earth Science and Disaster Resilience, (3) The Department of Geology and Mines. <b>Design and Implementation of the National Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan.</b> The American Geophysics Union (AGU), Fall Meeting 2017, New Orleans, USA. 11 Dec. 2017.	ポスター発表
2018	国際学会	Shiro OHMI <sup>(1)</sup> , Hiroshi INOUE <sup>(2)</sup> , Jamyang CHOPHEL <sup>(3)</sup> , Phuntso PELGAY <sup>(3)</sup> , Nityam NEPAL <sup>(3)</sup> , and Dowchu DRUKPA <sup>(3)</sup> , (1) Kyoto Univ., (2) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience., (3) Department of Geology and Mines, Ministry of Economic Affairs, <b>Design, Implementation, and Preliminary Outcome of the National Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan,</b> European Geoscience Union General Assembly 2018, Wien, Austria, 8-13 April 2018	ポスター発表
2018	国際学会	K. Shrestha <sup>(1)</sup> , T. Aoki <sup>(1)</sup> , T. Konishi <sup>(2)</sup> , M. Miyamoto <sup>(2)</sup> , J. Zhang <sup>(1)</sup> , N. Takahashi <sup>(3)</sup> , N. Yuasa <sup>(4)</sup> , T. Aramaki <sup>(4)</sup> and P. Wangmo <sup>(5)</sup> . (1)Nagoya City Univ., (2)Kagawa Univ., (3) Tohoku Univ., (4) Nihon Univ., (5) The Department of Culture, Ministry of Home and Cultural Affairs <b>Full-scale pull-down tests on a two-storied rammed earth building with possible strengthening interventions.</b> 11th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, Cusco, Peru. 11-13 Sep. 2018	口頭発表
2018	国際学会	Shiro Ohm <sup>(1)</sup> , Hiroshi Inoue <sup>(2)</sup> , Jamyang Chopel <sup>(3)</sup> , Phuntsho Pelgay <sup>(3)</sup> and Dowchu Drukpa <sup>(3)</sup> , (1)Kyoto University, Kyoto, Japan, (2)NIED, Tsukuba, Japan, (3)Department of Geology and Mines, Ministry of Economic Affairs, Thimphu, Bhutan <b>Preliminary Seismicity Observed by the Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan</b> American Geophysics Union Fall Meeting 2018, D.C., USA, 10-14 Dec. 2018	口頭発表

招待講演 0 件  
口頭発表 2 件  
ポスター発表 3 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2016	国内学会	江原夏季(名古屋市立大学)、Sewla Lhakhangの常時微動測定と固有値解析、 日本地震工学会、高知工科大学、2016年9月26日	ポスター発表
2016	国内学会	小西孝明(香川大学)、ブータン王国における伝統的民家の耐震性能に関する実験的研究、 日本地震工学会、高知工科大学、2016年9月26日	ポスター発表
2017	国内学会	江原夏季(名古屋大学)、ブータン王国における民家等の伝統的建造物保存修復に関する研究 その7 木材による版築ブロックの水平方向補強方法の一提案、日本建築学会、広島工業大学、2017年8月31 日	口頭発表
2017	国内学会	荒巻卓見・湯浅昇(日本大学)、固化材の添加が版築の圧縮強度に及ぼす影響、日本大学生産工学部第50 回学術講演会、pp. 423-426、日本大学生産工学部、2017年12月2日	口頭発表
2017	国内学会	大橋さゆり(名古屋市立大学) et al、ブータンにおける減災教育用VRコンテンツ、 映像表現・芸術科学フォーラム 2018 (Expressive Japan 2018)、東京工科大学、2018年3月16日	ポスター発表
2018	国内学会	湯浅昇・荒巻卓見(日本大学)、青木孝義・プンツォワンゲモ(名古屋市立大学)、セメントの添加による版 築の強度向上に関する検討、第72回セメント技術大会、東京ホテルメトロポリタン、2018年5月9日	口頭発表
2018	国内学会	青木孝義(名古屋市立大学)、ブータンにおける組積造建築の耐震化技術に関する研究 その1 プロ ジェクトの概要と伝統的版築造住宅のモニタリング、日本建築学会、東北大学、2018年9月6日	口頭発表
2018	国内学会	湯浅昇(日本大学)、ブータンにおける組積造建築の耐震化技術に関する研究 その2 版築の材料強 度の検討、日本建築学会、東北大学、2018年9月6日	口頭発表
2018	国内学会	Phuntsho Wangmo(名古屋市立大学)、Study on earthquake resistance technology of composite masonry buildings in Bhutan Part 3 : Element tests on reduce scaled rammed earth walls、日本建築 学会、東北大学、2018年9月6日	口頭発表
2018	国内学会	小西孝明(香川大学)、ブータンにおける組積造建築の耐震化技術に関する研究 その4 引き出し実験 の概要と材料実験結果、日本建築学会、東北大学、2018年9月6日	口頭発表
2018	国内学会	Kshitij C. Shrestha(名古屋市立大学)、STUDY ON EARTHQUAKE RESISTANCE TECHNOLOGY OF COMPOSITE MASONRY BUILDINGS IN BHUTAN Part 5 Pull down tests on real scale rammed earth house: Test results and discussions、日本建築学会、東北大学、2018年9月6日	口頭発表
2018	国内学会	宮本慎宏(香川大学)、ブータンにおける組積造建築の耐震化技術に関する研究 その6 伝統的版築 造建造物の常時微動計測、日本建築学会、東北大学、2018年9月6日	口頭発表
2018	国内学会	張景耀(名古屋市立大学)、不連続変形法による組積造建造物の静的解析、日本建築学会、東北大 学、2018年9月6日	口頭発表

2018	国内学会	申相澈・湯浅昇(日本大学)、青木孝義(名古屋市立大学)、加水量および乾燥温度が版築の圧縮強度に及ぼす影響、日本大学生産工学部第51回学術講演会、pp. 361-364、日本大学生産工学部、2018年12月1日	口頭発表
2018	国内学会	大橋さゆり(名古屋市立大学)、A Mobile VR Museum of SATREPS BHUTAN Project ~ ブータン国民に向けたSATREPS(ブータン)プロジェクトの広報用VRコンテンツ ~、映像表現・芸術科学フォーラム2019 (Expressive Japan 2019)、早稲田大学、2019年3月12日	ポスター発表

招待講演	0 件
口頭発表	11 件
ポスター発表	4 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

② 外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2016	2017/3/24	名古屋市立大学芸術工学部建築都市デザイン学科論文賞	ブータン王国版築造建築物の耐震性能向上に関する研究	江原夏季	名古屋市立大学芸術工学部	1.当課題研究の成果である	卒業研究
2017	2018/3/26	名古屋市立大学芸術工学部産業イノベーション学科作品賞	ブータンの版築造における施工工程のマニュアル	奥野雄喜	名古屋市立大学芸術工学部	1.当課題研究の成果である	卒業制作
2018	2018/8/1	セメント技術大会優秀講演者賞	セメントの添加による版築の強度向上に関する検討	荒巻卓見	セメント協会	1.当課題研究の成果である	

3 件

② マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2016	2016/11/13	ブータン国新聞Kuensel紙	Studying seismic risks to masonry buildings		1.当課題研究の成果である	JICAブータン事務所長とブータン政府と議事録署名式、プロジェクト概要が記事になる
2017	2017/9/21	ブータン国営放送BBSテレビ	Japanese experts conduct successful pull-down test of rammed earth structures	ニュース全国放送	1.当課題研究の成果である	研究代表者とカウンターパートがインタビューに答えプロジェクト意義について発信
2017	2017/12/26	ブータン国営放送BBSテレビ	Ground breaking ceremony held for construction of examination facility	トップニュース、研究代表者とCPがニュースに生出演	1.当課題研究の成果である	ブータン皇太后陛下が臨席
2017	2017/12/27	ブータン国新聞Kuensel紙	Examination facility to study Bhutanese traditional structures	トップ記事	1.当課題研究の成果である	ブータン皇太后陛下が臨席
2018	2018/10/25	毎日新聞	大学倶楽部・名古屋市立大学 歴史的建造物の保存再生技術とモニタリング展、文部科学省で11月9日まで	デジタル毎日	3.一部当課題研究の成果が含まれる	SATREPSプロジェクトの内容をパネルで発信
2018	2018/12/28	ブータン国営放送BBSテレビ		ニュース全国放送	1.当課題研究の成果である	ブータン初の実大建物実験
2018	2019/1/1	ブータン国新聞Kuensel紙	Towards making Bhutanese houses earthquake resilient	全国紙3面	1.当課題研究の成果である	ブータン初の実大建物実験
2018	2019/2/28	Euronews	From Japan to Bhutan: improving resilience against earthquakes	Global Japan5分番組 欧州で放送、Web公開	1.当課題研究の成果である	日本の防災取り組み例として特集
2018	2019/3/22	ブータン国営放送BBSテレビ	'Shaking table' to test earthquake resilience in buildings	ニュース全国放送	1.当課題研究の成果である	ブータン初の振動台
2018	2019/3/23	ブータン国新聞Kuensel紙	Shaking table to test traditional structures	全国紙18面	1.当課題研究の成果である	ブータン初の振動台

10 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2016	2016/6/30	第1回勉強会	JICA本部 (日本)	10(0)	非公開	JICAとの情報共有
2016	2016/8/18	第2回勉強会	JICA本部 (日本)	10(0)	非公開	詳細計画策定調査に向けた打合せ
2016	2016/9/2	対処方針会議	JICA本部 (日本)	10(0)	非公開	詳細計画策定調査の対処方針に関する打合せ
2016	2016/9/20	JICA詳細計画策定調査全体会議	ティンブー市 (ブータン)	20(9)	非公開	ブータン側との詳細計画 全体会議
2016	2016/11/17	耐震化技術の開発・普及グループ第1回勉強会	名古屋市立大 (日本)	15(0)	非公開	詳細計画策定調査の結果を共有するとともに、大学院および学部学生に対する説明会開催
2016	2016/12/19	ネパール復興支援の経験共有	JICA本部 (日本)	8(0)	非公開	ネパール復興支援の経験共有と今後の研究推進に関する打合せ
2016	2017/1/7	耐震化技術の開発・普及グループ第2回勉強会	東工大蔵前会館 (日本)	8(0)	非公開	R/D、MOU締結を受けたH29年度の研究計画に関する打合せ
2016	2017/2/14	耐震化技術の開発・普及グループ第3回勉強会	日本大学 (日本)	7(0)	非公開	H29年度の研究実施に関する打合せ
2016	2017/3/28	次年度活動計画会議	JICA本部 (日本)	10(0)	非公開	次年度活動計画に関する打合せ
2017	2017/5/15	Commencement Meeting	ティンブー市 (ブータン)	20(12)	非公開	2017年度活動計画承認、プロジェクト運営上の課題と対策を協議。JICA運営指導調査団が出席。
2017	2017/6/12	Working Group Meeting	ティンブー市 (ブータン)	5(4)	非公開	ブータン側作業部会、活動レビューと次活動計画、課題と対策を共有
2017	2017/7/14	Working Group Meeting	ティンブー市 (ブータン)	7(6)	非公開	活動レビューと次活動計画、課題と対策を共有
2017	2017/9/1	Working Group Meeting	ティンブー市 (ブータン)	9(6)	非公開	活動レビューと次活動計画、課題と対策を共有
2017	2017/11/30	Training Report and Working Group Meeting	ティンブー市 (ブータン)	8(6)	非公開	帰国研修員報告会 兼 活動レビューと次活動計画

2017	2018/1/29	耐震化技術開発グループ会議	日本大学 (日本)	10(2)	非公開	DOC2名を日本へ招へいし供与機材の利用 法、活動レビューと次年度計画策定
2017	2018/2/12	Project Management Unit and Working Group Meeting	ティンブー市 (ブータン)	5(4)	非公開	プロジェクトマネージャー会議、JCCの事前協 議
2017	2018/2/23	地震評価グループ会議	JICA筑波 (日本)	5(2)	非公開	DGM2名を日本へ招へいし供与機材の利用 法、活動レビューと次年度計画策定
2017	2018/3/9	Active Fault and Earthquake Disaster Mitigation in Bhutan	ティンブー市 (ブータン)	20(15)	非公開	DGMでブータンの人々が活断層を正しく恐れる ためのセミナーを開催
2018	2018/5/7	Drones for Disaster Management	ティンブー市 (ブータン)	32(30)	非公開	DGM他防災関係者向けドローンの特徴、利用 実例、実機サンプルを紹介
2018	2018/5/10	地震評価グループ会議	ティンブー市 (ブータン)	9(6)	非公開	専門家2名とDGMの活動内容打合せ
2018	2018/7/21	SATREPS全体会議	JST東京本部別 館 (日本)	10(0)	非公開	活動レビューと次活動計画、課題と対策を共有
2018	2018/8/8	耐震化技術開発グループ会議	ティンブー市 (ブータン)	10(6)	非公開	専門家3名とDOC/DESの活動内容打合せ
2018	2018/8/8	人材育成タスク会議	ティンブー市 (ブータン)	10(6)	非公開	専門家3名とDDM/DGM/DOC/DESによる研修 計画策定
2018	2018/9/10	Working Group Meeting	ティンブー市 (ブータン)	8	非公開	ブータン側作業部会、JCCの準備
2018	2018/10/1- 2018/11/9	文部科学省「情報ひろば」企画展示 『～暮らしを守る～ 歴史的建造物の 保存再生技術とモニタリング』	東京都 (日本)		公開	企画展示テーマのパネルと「地震直後における 即時建造物健全性診断システム」の実物展 示、映像による研究内容紹介、講演
2018	2018/11/6	耐震化技術開発・普及グループ会議	名古屋市立大学 (日本)	40(3)	非公開	DDM、DOC、DESから各1名を日本へ招聘し、 災害管理、防災教育とセミナー開催
2018	2018/11/8	耐震化技術開発・普及グループ会議	日本大学生産工 学部 (日本)	10(3)	非公開	日本へ招聘したDDM、DOC、DESからの各1名 に対し、課題に対する日本での取り組みを紹介 し議論した。
2018	2018/9/12- 13	地震評価グループ ICT lectures	ティンブー市 (ブータン)	9(7)	非公開	専門家によるDGM向け勉強会
2018	2019/3/5	研究グループ会議	ティンブー市 (ブータン)	4(0)	非公開	地震評価グループ、耐震化グループ、普及グ ループリーダー会議

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2017	2018/3/8	2017年度成果報告、2018年度計画承認、現状課題と対策の協議	27	協議議事録についてJICAブータン事務所長、DDMプロジェクトダイレクタが署名合意、研究代表者が証人として署名。JICA本部、DDM、名市大が議事録原本を保存。
2018	2018/10/3	プロジェクトの進捗状況、次期計画、供与機材の譲渡式	30	活動進捗と計画発表、供与機材の譲渡書に署名

2件

# 成果目標シート

研究課題名	ブータンにおける組積造建築の地震リスク評価と減災技術の開発プロジェクト
研究代表者名 (所属機関)	青木 孝義 (名古屋市立大学・大学院芸術工学研究科)
研究期間	H28採択(平成28年10月1日～令和3年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	ブータン王国／内務文化省災害管理局、内務文化省文化局、経済省地質鉱山局、公共事業省技術支援局

## 付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発途上国における脆弱住宅の減災への活用</li> <li>日本企業による成果の事業化</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>版築・石積建築の構造特性・耐震性能の解明と耐震診断、補強技術の開発</li> <li>ブータンヒマラヤのサイスマテクトニクス解明</li> </ul>
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> <li>版築・石積建築の実験データ</li> <li>版築・石積建築の構造解析手法と耐震診断法</li> <li>版築・石積建築の補強技術</li> <li>震度観測システム</li> </ul>
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際会議への指導力、レビュー付雑誌への論文掲載など)</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>ブータン及び日本におけるワークショップ開催</li> <li>修士課程、博士課程留学生の受け入れと短期研修生の受け入れ</li> </ul>
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震診断法マニュアル</li> <li>版築・石積建築の耐震化指針</li> <li>技術者講習・住民教育マニュアル</li> <li>地震動予測地図</li> </ul>

## 上位目標

地震災害脆弱性改善を柱に、国民幸福度を向上させる持続可能な開発モデルとして周辺諸国へ展開し、地域の人々の安全で安心できる暮らしの実現に貢献

災害管理行政の枠組みにおける耐震化指針の全国規模での運用  
上位目標の達成に必要な、研究課題抽出と具体的取り組み方策の構築

## プロジェクト目標

ブータンの減災施策の科学的根拠となる地震、地盤、組積造に関する知見の取得と耐震化指針、減災教育マニュアルの作成及び災害管理行政の枠組みにおける運用

