

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」

採択年度：平成28年（2016年）度/研究期間：6年/

相手国名：ブータン

令和3（2021）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2017年4月27日から2023年4月26日まで

JST 側研究期間^{*2}

2016年6月1日から2023年3月31日まで

（正式契約移行日2017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	2022年度 (12ヶ月)
1 地震リスク評価							
1-1 地震観測強化		機材更新・改良			運用継続		
1-2 震度観測強化		開発・改良			設置・改良・運用		
1-3 活断層調査		情報収集			調査		
1-4 地震増幅度推定		情報収集			調査		
1-5 地震ハザード評価		情報収集			調査・作成・改良		
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）		構造ヘルスモニタリング（現地）*		
2-2 材料実験（現地）	材料特性の把握	材料改良方法の開発	実版築の実態把握				
	材料試験方法の確立		実版築への適用*				
2-3 実大試験体静的・動的実験（現地）	計画	試験体施工・実大実験*		計画	試験体施工・動的実験*		
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				耐震化キットの開発*			
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						建築構造基準の提案*	

3 耐震化技術の普及							
3-1 実施体制の確立		実施体制の確立 ←→				実施体制の確立* ←→	←→
3-2 教材・普及プログラムの開発			資料収集、教材・普及プログラム開発（国内・現地）*				←→
3-3 指導者教育（現地）					講習実施（現地）* ←→	講習実施（現地）* ←→	←→
3-4 技術者・施工者教育（現地）						講習実施（現地）* ←→	←→
3-5 住民教育（現地）						講習実施（現地）* ←→	←→

*：新型コロナウイルスによる渡航制限で遅れることになった。

：研究題目・活動：1 地震リスク評価の見直し・適正化

（1-3 地震増幅度マップの作成→活断層調査、1-4 ハザードマップの作成→地震増幅度推定、
1-5 構造物の脆弱性評価→地震ハザード評価）

(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

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、R3 年度は新型コロナウイルスのパンデミックによる移動制限の影響下、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。

日本側は、R2 年 3 月に新たに名古屋市立大学でブータン王国内務文化省文化局（DOC）での 8 年間にわたる勤務経験のある日本人建築家を特任助教として採用し、新研究運営体制となった。一方、ブータン側は、R3 年 12 月に内務文化省災害管理局（DDM）の局長に人事異動があり、後任人事が決まっていない状況である。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っている。R3 年 3 月に修了した香川大学の大学院生は、2021 年度日本建築学会大会（東海）学術講演会に論文を投稿して発表し、若手優秀発表賞を受賞している。また、名古屋市立大学の大学院生がインターンシップを活用し、DDM の遠隔指導により減災教育用 VR（新規バージョン）の開発を進めている。

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

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)	吉木 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	・開発途上国における脆弱住宅の減災への活用 ・日本企業による成果の事業化
科学技術の発展	・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 ・ブータンヒマラヤのサイスマテクトニクス解明
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	・版築・石積建築の実験データ ・版築・石積建築の構造解析手法と耐震診断法 ・版築・石積建築の補強技術 ・震度観測システム
世界で活躍できる日本人材の育成	・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)
技術及び人的ネットワークの構築	・ブータン及び日本におけるワークショップ開催 ・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
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・耐震診断法マニュアル ・版築・石積建築の耐震化指針 ・技術者講習・住民教育マニュアル ・地震動予測地図

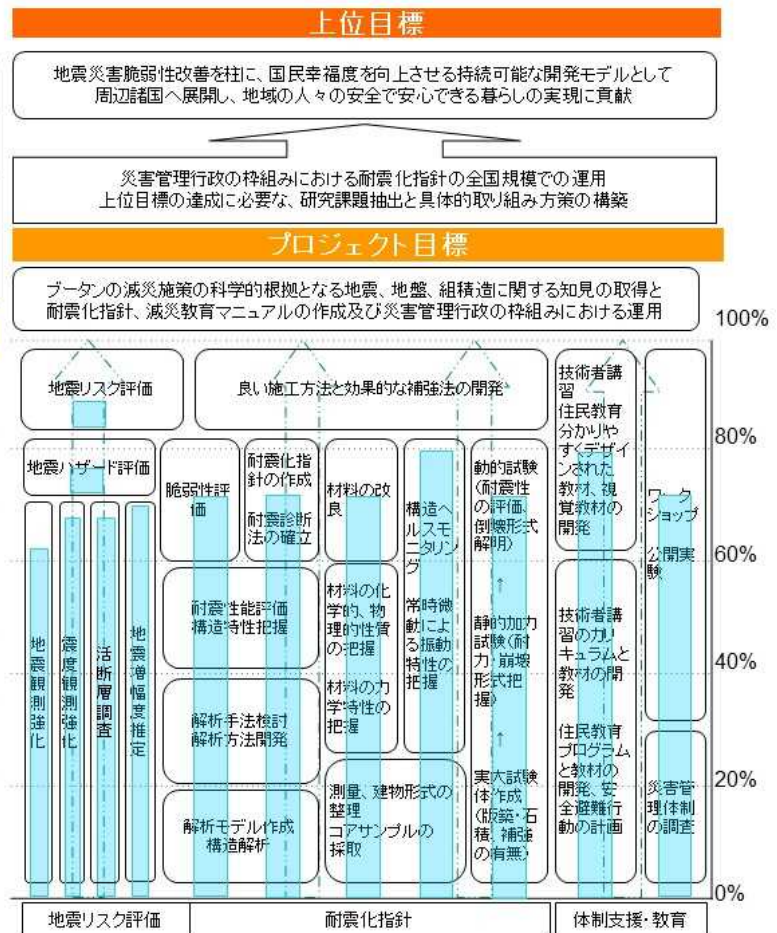


図 1-1：成果目標の達成状況

SATREPS 枠の国費留学生として DOC から受け入れ、R3 年 3 月に博士学位を取得して帰国した Wangmo さんが、第 17 回世界地震工学会議 (17WCEE) で論文を発表し、17WCEE Early Career & Student Award を受賞している。また、経済省地質鉱山局 (DGM) のカウンターパート 1 名が、2020 年 10 月から JICA 課題別研修「地震学・耐震工学・津波防災」に参加し、建築研究所で 1 年間研修し必要単位を取得し修士論文の審査後、政策研究大学院大学から修士号 (防災政策) が授与された。公共事業省技術支援局 (DES) のカウンターパート 1 名が、2020 年 10 月から JICA 課題別研修「地震学・耐震工学・津波防災」に参加し、建築研究所と香川大学・名古屋市立大学で 1 年間研修し必要単位を取得し修士論文の審査後、政策研究大学院大学から修士号 (防災政策) が授与された。現在、DOC のカウンターパート 1 名が、2021 年 9 月から JICA 課題別研修「地震学・耐震工学・津波防災」に参加し、筑波の建築研究所と香川大学で 1 年間研修し必要単位を取得し修士論文の審査後、政策研究大学院大学から修士号 (防災政策) が授与される予定 (2022 年 9 月見込み) である。このように、学位授与や国内学会や国際会議での発表で受賞するなど、若手の人材育成が順調に進んでいる。さらに、トリノ工科大学の研究者とブータンで行った調査研究を、修士論文としてまとめるために名古屋市立大学に短期留学していた学生の修士論文が、世界で最も権威のある RIBA (英国王立建築家協会) の建築部門における名誉ある建築賞 (President's Medals) を受賞している。

【令和 3 年度実施報告書】【220531】

(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

(1-1) 地震観測強化

図 2-1-1 に、本計画にて統合運用を目指している地震観測網の全容を示す。これらは、DGM/DPRI (京大) /NIED (防災科研) (SATREPS) によるオンライン観測点が 6 点、SATREPS によるオフライン点が 3 点、さらには RIMES によるオンライン点が 8 点からなる。

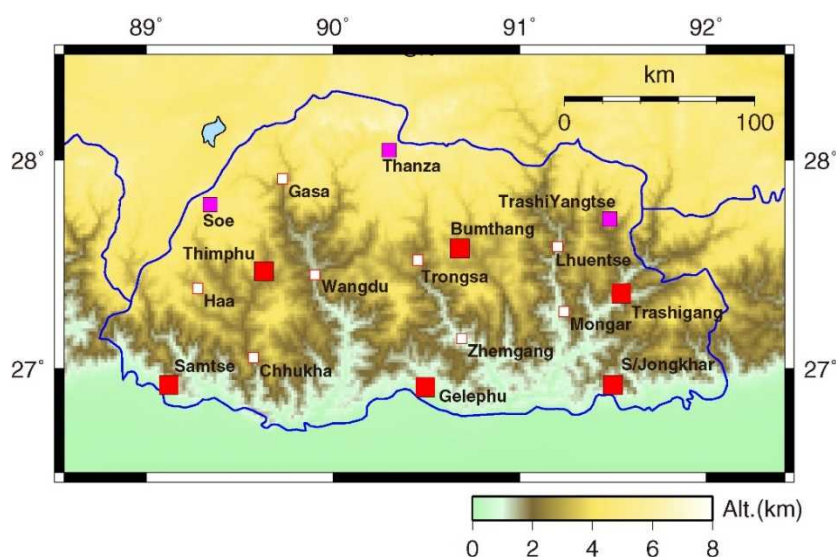


図 2-1-1 : 運用中のオンラインおよびオフラインの地震観測点の配置。■は DGM/DPRI/NIED (SATREPS) によるオンライン点、■は SATREPS によるオフライン点、□は RIMES による観測点。

図 2-1-2 には、これらのオンライン観測網のネットワーク構成図を示す。この中で、DGM/DPRI (京大) /NIED (防災科研) は、同図最上部の 6 点の地震観測点を構築した。これらの 6 点からなる地震観測網は、そのデータ収集用サーバー (同図中の赤丸 1 のサーバー、以後サーバー#1) が 2020 年 5 月に外部からの不正な侵入を受け、実質的に稼働を停止している。図 2-1-2 に示すように、この 6 点のうちの左側 4 点 (Gelephu、Bumthang、Samtse、S/Jongkhar) の主たるデータ伝送回線はサーバー#1 に接続されているため、サーバー#1 がダウンした時点でデータ収集も停止した。観測点現地には、最大約 1 年のデータを保存できるようになっており、COVID19 禍が下火になった際には、現地にて最新の 1 年分のデータが回収できることが期待される。なお、これら 4 点には、バックアップ用回線として、図 2-1-3 のようなモバイル回線も装備しており、緊急避難的に別経路でもデータ伝送を可能にしていたが、こちらもある時期から伝送が停止したままになっている。また、右側 2 点 (Thimphu、Trashigang) は、R 元年度に GWAN というブータン政府管掌の広域ネットワークに接続を変更し、サーバー#1 のトラブルには直接的には影響されないはずであったが、こちらもある時期からデータ伝送が停止している。これら 6 点について、どのような状況でデータ伝送が停止していったかについては DGM 側には記録がない。そのため、2020 年秋以降、これら 6 点のデータ収集はすべて停止したま

まになっている。

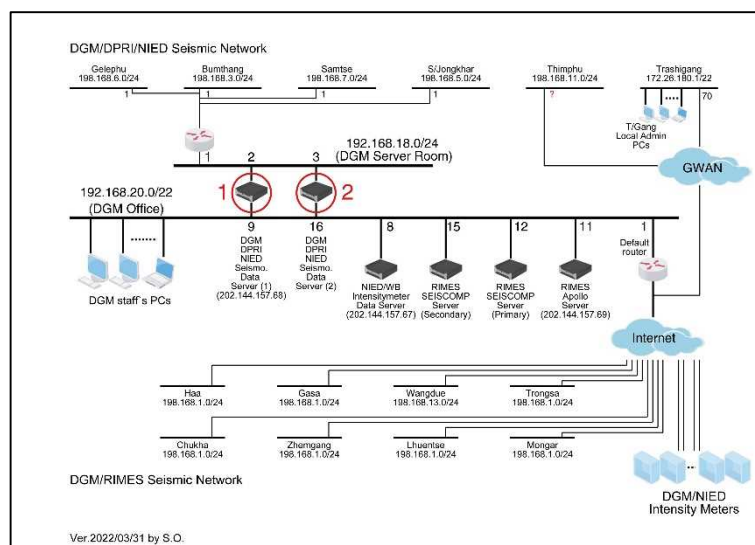


図 2-1-2 : DGM のオンライン地震観測網のネットワーク構成。最上部の 6 点が DGM/DPRI/NIED が SATREPS で構築した点。図中、赤丸で囲んだ 2 台のサーバーが本文中で言及しているサーバーである。

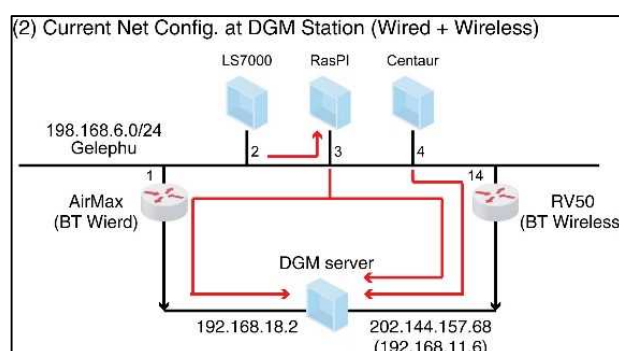


図 2-1-3 : DGM 構築の観測点の詳細図。DGM/DPRI/NIED が構築した 6 観測点のうち、図 2-1-2 最上部左 4 点は、有線接続だけでなくモバイル回線による接続も備えてあり、一般の Internet 回線からもデータ収集が可能である。なお、図 2-1-2 最上部右 2 点は政府管掌の GWAN 接続を有している。

その後、サーバー#1 の再構築（クリーンインストール）と再稼働を DGM に依頼していたが、COVID-19 による長期のロックダウンや技術的な困難等のために作業は進捗しなかった。そのため、2021 年秋に、サーバー#1 を本邦へ返送してもらい、現在、日本国内で修復作業を実施している。2022 年 3 月末時点では、日本からブータン向けの外国貨物の発送が困難な状況が続いており、R3 年度中に修復済の機器を返送することはできなかった。

COVID-19 により、オンライン地震観測網の運用に関する現地指導が困難になり、データ解析技術の移転が進捗していない状況を打破する必要に迫られた。これを実現するために、データ解析ソフト SeisComp の有償版へのアップグレードによるデータ解析の効率化を図ることとし、その遠隔指導を実施することを計画して、R3 年度に当該ソフトウェアの調達を行った。このソフトウェアは図 2-1-

2 の赤丸 2 のサーバー（以後、サーバー#2）上にインストールして利用する予定である。サーバー#2 は、H30 年度に調達し、本邦で OS をインストールの上、DGM に移転したものであるが、その後、当該 OS の保守・アップデートが突如打ち切られるという事態に遭遇し、サーバー#1 が外部からの不正侵入を受けた件に鑑み、最新の OS で再構築する必要に迫られた。そのため、DGM のスタッフを遠隔で指導し、サーバーの再構築を進めているところである。この再構築が終了した後、R4 年度にデータ解析ソフト SeisComp の遠隔トレーニングを実施する予定である。

また、SATREPS では、図 2-1-1 に示すような、Soe、Tanza、Trashiyangtse の 3 点でのオフライン観測も実施している。この中で、Trashiyangtse については、2019 年 7 月に機器が水没のために使用不能となった。Tanza については、最後のデータ回収が 2020 年秋に実施され、機器等のチェックのためにデータロガー等が 2021 年秋に本邦に返送されてきた。Tanza で使用中の機材は本邦でチェックの結果、問題はないことが判明したので、R4 年度に DGM へ返送の予定である。また、その際に、Trashiyangtse でも見られた、水没等の危険のある地域への設置にもある程度は耐えられるような観測形態を R4 年度には DGM に提示できるようにすべく検討中である。また、そもそも水没の危険があるような場所は観測点として選定しないような技術指導が不十分であったことは反省点である。Soe については、2019 年春に設置の後、DGM は保守を行うことができておらず課題となっている。また、今回の Tanza や Trashiyangtse のように、機器等の不具合があると、最大 1 年ほどの欠測期間が生じることもあるため、R3 年度に新たに 1 台のデータロガーを調達した。これらを含め、SATREPS 終了後の DGM のオフライン観測に支障がないように備えることを検討している。

(1-2) 震度観測強化

R2 年度末までに 205 か所の震度計整備計画のうち 78 か所の設置が終わっていた。R3 年度は更に 69 か所の設置を行い合計 147 か所、県庁の 20 か所とあわせて合計 167 か所の震度計が整備された（図 2-2-1）。図 2-2-2 に 2021 年 11 月 25 日のミャンマーの地震 (M6.2) で記録された震度分布を示す。表示は算用数字で小数点 1 桁まで表示されているが、公表用の震度マップでは I から XII までのローマ数字で示される。

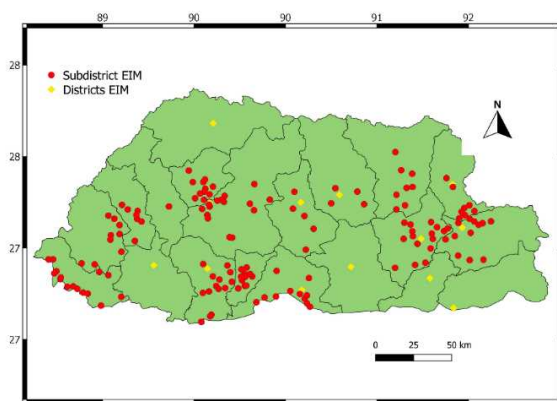
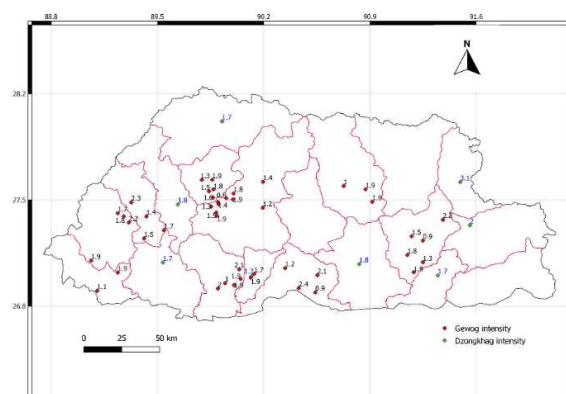


図 2-2-1：整備済み震度観測点 167 か所



震度計整備は、まず DGM スタッフの Phuntsho Pelgay が Gewog オフィススタッフに震度計および震度階の説明を行い、並行して技師の Lungteng、Sonam が設置作業を行う。整備の風景を図 2-2-3 に示す。



図 2-2-3：震度計設置作業。Gewog 職員への説明（左）、Gewog オフィス壁への震度計取付け（右）

震度計は日本から部品を輸送し、筐体と電源資材は DGM が現地で調達し、組み立てたものである。図 2-2-4 に DGM がデザインした筐体およびその内部を示す。蓋の内側に Raspberry Pi と 7 インチタッチスクリーン、底（壁側）に MEMS 加速度センサー基板 ADXL-355-PMDZ が張り付けてある。内部右側の白い箱は雷サージ対策のためのイーサネットアレスタである。電源は電気技師でもある DGM 職員が壁のコンセントから直接結線して、筐体横には電源スイッチが取り付けられている。R3 年度は DGM スタッフが独自に震度表示プログラムのソースコードを改造して、ボタン文字による表示（画面では No Earthquake）および誤動作防止のためのハイパスフィルターの導入を行った。



図 2-2-4：Gewog 用震度計

震度観測網は電源やインターネットのトラブルで稼働率は高くない。これはもともと想定内であり、それゆえ安価な震度計を数多く設置するという考えである。現在の稼働状況を図 2-2-5 に示す。

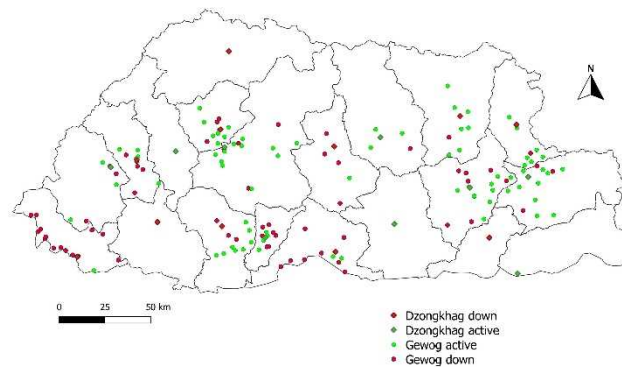


図 2-2-5：震度計の稼働率（緑が稼働中）

その中でも一番大きな問題は、南部地域の落雷による欠測である。ブータンは電灯線・電話線の避雷対策が不十分なうえに南部地域は落雷が多く、事務所や家庭は雷が鳴り出すと電気器具の電源を落とす習慣があるため震度計も同様に電源スイッチを落とすように指示がなされている。しかし夜間や休日は電源遮断ができないため、被雷するケースが発生する。R4 年度は保守部品の一部として電子部品のアレスタとバリスタを供与して避雷対策を強化する予定である。

205 か所の Gewog 震度計は 40 台程度の予備機材を準備してあるため、雷で CPU やセンサーが損傷するなどしても向こう 5 年程度は心配ないが、いずれそれらの予備は使い尽くすことになる。価格は日本の震度計が 1 台 200 万円、フィリピン SATREPS で開発してブータンの 20 県庁に導入した震度計がその 10 分の 1 の 20 万円、ブータン SATREPS で 205 か所の Gewog 用に開発した震度計がさらにその 10 分の 1 の 2 万円（主要部品のみ）と安価であるが（図 2-2-6）、DGM の年間予算と、205 か所という数の多さから、長期の持続性に困難が発生する恐れがある。そこで R3 年度は追加予算で更に安価な簡易震度計の開発に着手した。これは加速度センサーと Wifi を内蔵した M5 スタックというマイコンを使うもので、現在の Raspberry Pi と高精度 MEMS 加速度センサーと 7 インチディスプレイからなる震度計と比較すると、感度が劣り震度 2 以上しか検知できず、大きさが消しゴムほどしかないため表示が限られるという欠点があるが、価格は 1 台 4 千円であり、DGM が自力で調達・設置しやすいものとなる。R3 年度は時間的制約から概念設計のみで製作にはいたらなかったため R4 年度に製作と試験運用を行う予定である。R4 年度はそのほかこれまでに蓄積された震度データの整理・解析、震度計プログラムの改修、震度サーバープログラムの更新、ブータン仕様の震度階級パンフの製作を計画している。

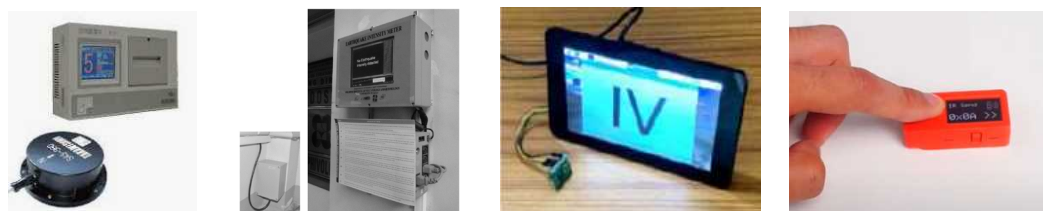


図 2-2-6：気象庁震度計 フィリピン震度計 ブータン震度計 ブータン簡易震度計（開発中）

(1-3) 活断層調査

ブータン全域活断層図作成のための空中写真の収集とそのデジタル化作業を進めている。これまで DGM が保存していた空中写真に加え、NLC が所有する空中写真のデジタル化のために、A3 フラットベッドスキャナーによる作業を継続していたが、コロナ禍のなか DGM 職員による作業が停滞しており、作業の完了は R4 年度初頭にずれ込んでいる。デジタル化された一部データについては、広島大学において印刷し DMG に送付する予定であるが、NLC の全空中写真のスキャン作業が終了した後に一括して作業を行う予定であったために、この作業も R4 年度に実施されることとなった。

R3 年度はヒマラヤ前縁帯の活断層の特徴と活動履歴に基づいて断層モデルを作り、ティンプーを含めた地域の地震ハザードシナリオマップを作成する予定であったが、新型コロナウイルスによる渡航制限のため活動できなかった。このため、これまで短時間に実施した予察的野外調査と ALOS30DSM アナグリフ画像と空中写真判読に基づいて、ティンプー周辺のハザードマップの基データとなる微地形分類図を作成した。

ティンプー盆地は、ウォン川（Wong Chhu）の支流であるティンプー川（Thimphu Chhu）の中流に位置する山間盆地で（図 2-3-1）、標高 2,300-2,600m に位置する。ティンプー川は、チベットとの国境の 6,000m 峰を削る氷河から発源し、チベット高原の南縁部の小起伏面を深く浸食して V 字谷を形成した後に中流部の盆地に流下する。ティンプーの西の山地は、標高 4,000m 程度である。その頂部はチベット高原から連なる定高性のある小起伏面を呈し、最終氷期とみられる馬蹄形の氷食地形も数多く認められる。山地の東端（Thujidra Top）には東に向かって開く南北約 3km、比高 700m を超える大規模崩壊地が発達しており、Phanjong Monastery はその中に位置する。東に流下する川（Chuba Chhu）はこの崩壊地を源流としており、ティンプーの中心市街地がある土石流扇状地を発達させる。また、ティンプー盆地の南にも標高約 4,700m に達する小起伏面が残存し、Relang Tsho などの氷河の圏谷に残された湖が特徴的である。ティンプー周辺の地質は、層厚最大 5km の約 5 億年前の変成堆積岩（metasediment: Gansser, 1983）からなり、風化が強く進んでいる。これが差別的に浸食された結果、山間盆地の原型が形成されたと考えられる。



図 2-3-1：南からみたティンブー盆地（井上公撮影）中心市街地は西方の山地の斜面崩壊地から流下した土石流扇状地上に広がる。その上流の Dzong のある小盆地には湖成層が分布する。

ティンブー盆地の微地形

ティンブー盆地の地形災害環境を把握するために、ALOS 30 DSM から作成したアナグリフ画像や 2004 年撮影約 5000 分の 1 の大縮尺空中写真判読と短期間の野外調査の結果にもとづいて、山地斜面、土石流扇状地、扇状地、湖成段丘、河岸段丘、氾濫原、現河道に区分される微地形分類図を作成した（図 2-3-2）。

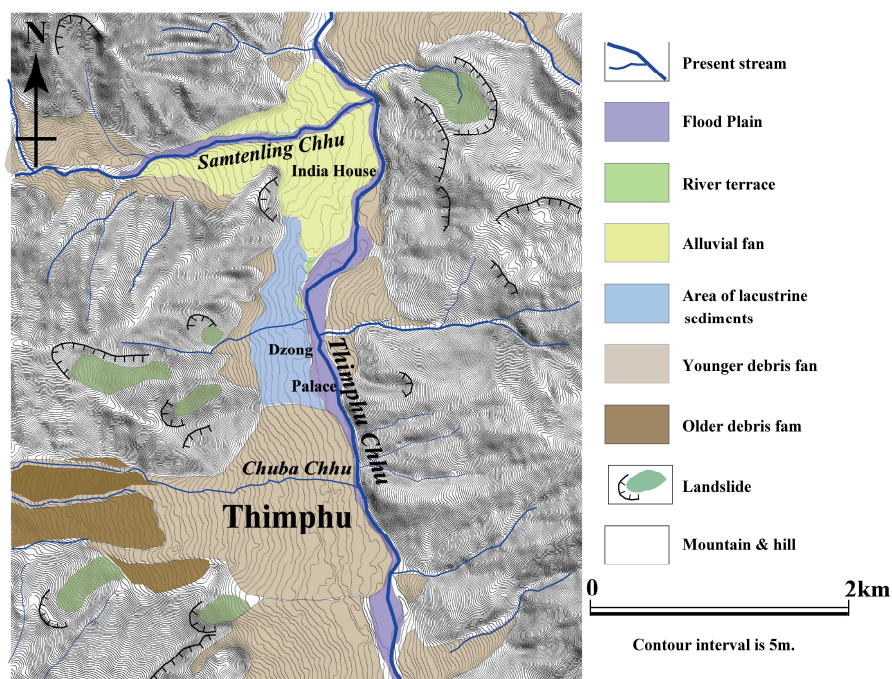


図 2-3-2：ティンブー盆地の微地形分類図

ティンブー盆地を取り囲む山地も氷河作用や周氷河作用を受けた形跡が認められ、緩斜面が卓越する。このような斜面を開析して急傾斜の深い谷が形成されており、流下部に土石流扇状地を発達させる。ティンブー市街地を構成する土石流は、上流部の古い土石流とそれを開析した谷を通して流下した下流部の新しい土石流の2つに分けられる。このほか、ティンブー川左岸（東岸）の斜面を流下する谷に沿っても傾斜の大きい土石流が発達している。一方、ティンブー北部の India House 周辺では、氷河地域に源流を持つサムテリン川（Samtenling Chhu）とティンブー川との合流点に近い場所に扇状地が発達している。また、ティンブー川に沿っては、小規模ではあるが、河岸段丘が発達する。さらに、市街地の北のゾン（Dzong＝郡役所）の周辺の水田の広がる緩傾斜面（図 2-3-3）は、砂やシルトからなる湖成層（図 2-3-4）が広く認められ、土石流などによる下流部の堰き止めによって生じた湖成堆積物と考えられる。その湖の旧汀線高度は約 2350m であり、周辺の現河床（2320m）より 30m 程度高位にある。ティンブー川のファーマーズ・マーケットの対岸の小さな谷の出口の露頭では、河床（2315m）より 30m 以上高い 2350m 付近にティンブー川の堆積物と思われる円礫層が土石流堆積物に覆われる様子が認められる（図 2-3-4）。このため、支谷からの土石流堆積物が一時的にティンブー川を堰き止めた可能性が指摘される。現河路に沿って、旧流路を伴う氾濫原が王宮周辺や市街地の東縁で認められ、限られた範囲での河道の移動が起こったことがわかる。

微地形からみたティンブー盆地の地震ハザード

ティンブー周辺の自然災害については、洪水の危険性についての評価に関するレポートがある（Merzet al., 2007）が、地震ハザードに関連する報告はない。王宮は現河道に近い氾濫原の中の旧流路に位置しており、地下浅部が軟弱層で構成されている可能性がある。地震動の増幅が地下浅部の軟弱層の分布と関連する例は少なからず報告されている。上述した通り、ティンブーの中心市街地は、西部の大規模斜面崩壊地から発源する土石流扇状地上にあり、この崩壊地が地震動に起因する可能性は否定できない。ティンブー市街地では、至る所に土石流によってもたらされた巨礫が認められ（図 2-3-5）、掘削工事の露頭では複数のユニットからなる比較的厚い未固結の堆積物が分布している可能性もあり、地震動増幅に繋がる可能性も否定できない。また、湖成層が広がる Dzong 周辺の盆地では、地震動の増幅と液状化の発生も懸念される。



図 2-3-3 : Dzong 周辺に広がる緩斜面。湖成層が広く堆積し、水田として利用されている。



図 2-3-4 : Dzong の北の道路脇の湖成層



図 2-3-5 : ティンブー市街地の地形を
構成する新期土石流の露頭

(1-4) 地震増幅度推定

H30 年度に Thimphu 市の中心地 5 地点、R2 年度に Thimphu 市の北側 25 地点において実施した微動探査記録を解析し、波形記録のスペクトル特性が良好であった 22 地点の表層地盤の S 波速度構造および地表から深さ 30m までの平均 S 波速度 (V_{s30}) を推定した (図 2-4-1、図 2-4-2)。また、2021 年 12 月から 2022 年 1 月にかけて、パイロットサイトである Essuna の 63 地点において微動探査を行なった (図 2-4-3)。日本側研究者のブータンへの渡航が難しい状況であったため、探査の打ち合わせや当日の機材チェックはビデオ会議にて実施し、取得したデータおよびフィールドノートをオンライン上で共有しながら進めた。

空間自己相関 (SPAC) 法の適用を念頭に置き、Thimphu での解析結果に鑑みて 4 台の地震計による半径 5~15m の円形アレイ (中心 1 点、円周上 3 点) を展開し、各アレイ 15 分程度の測定を行った (図 2-4-4)。Essuna も Thimphu と同様、測定された微動は 10-30Hz 程度の周波数帯域でパワーを持っており、周囲を走行する車両や人の動きを反映した微動場で構成されていると考えられる。高いコヒーレンスが得られた 30 地点において SPAC 係数の形状に基づいて V_{s30} を簡易的に推定したところ、当該地域の V_{s30} は 298~711m/s であり、概して硬質な地盤条件から成ることを確認した (図 2-4-3)。僅かな距離で V_{s30} がばらつく要因は、地表の土地利用および表層の堆積環境の違いを反映したものと考えられる。測定機材の接続不良あるいは設定不備により、一部のセンサーで微動が記録されていない事例が多々確認されたため、データの品質に関して十分な検討が出来たとは言えない状況である。引き続き波形データを精査し、解析結果を検証しながら増幅度推定精度の向上を図るとともに、S 波速度構造および卓越周波数も併せて把握する予定である。今後は Ura での微動探査を進めるとともに、可能であれば現地においてデータ欠測が生じる原因を特定することで、測定された微動の品質に関する検証も行う。

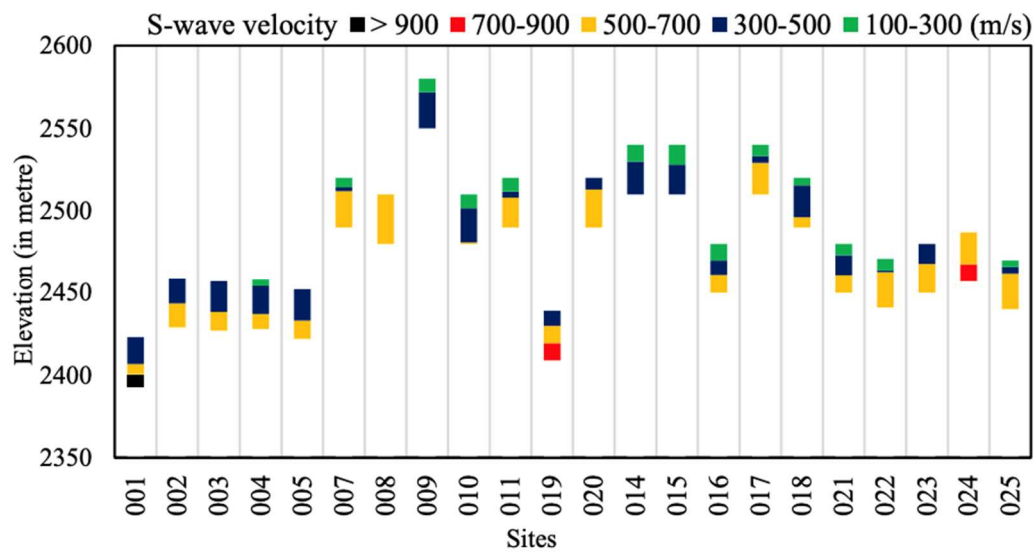


図 2-4-1 : Thimphu 市北部 (図 2-4-2 の左側の区間) の微動探査より推定した浅部 S 波速度構造。

Sites 001～005 は Dodeyna 地区、Sites 007-0011, 019, 020 は Boegana 地区、

Sites 014-018 は Chadagang 地区、Sites 021-025 は Kabesa 地区での結果を示す。

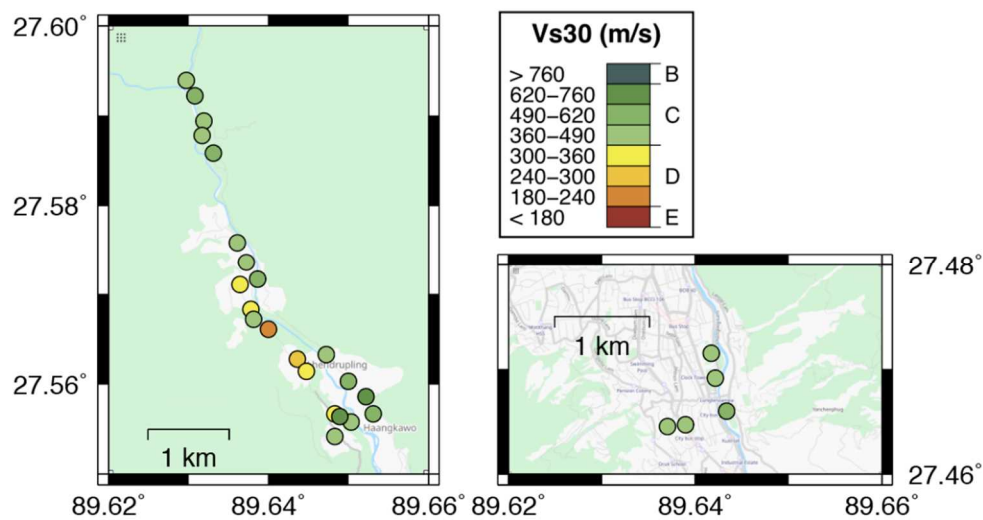


図 2-4-2 : Thimphu 市の微動探査より推定した地表から深さ 30m までの平均 S 波速度構造 (Vs30)

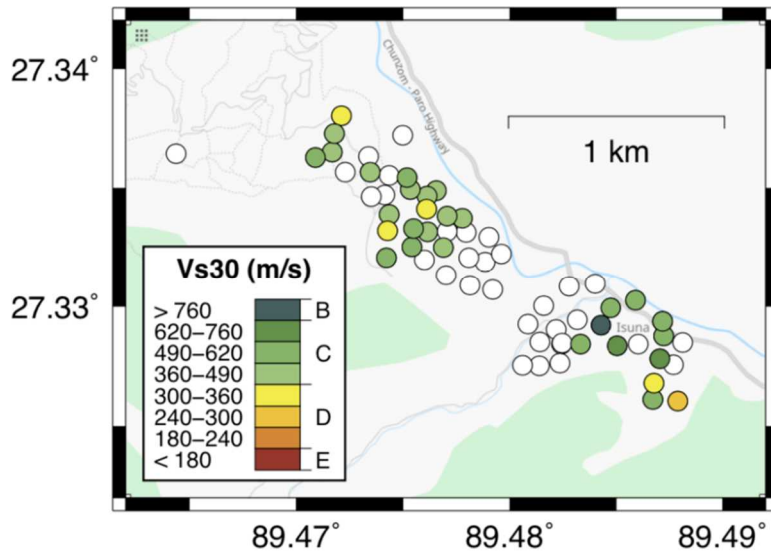


図 2-4-3 : Essuna の微動記録より推定した Vs30 値の分布。白丸の地点では良好な解析結果が得られていない。



図 2-4-4 : Essuna での微動探査の様子

(1-5) 地震ハザード評価

本研究項目の地震ハザード評価では、ブータン全域のシナリオ地震動を 1km メッシュでシミュレーションをし、さらにティンプーとパイロットサイト周辺について 0.5km メッシュおよび微動観測による地震動増幅の結果を用いてシミュレーションを行った。ここまでの成果は 2022 年 JpGU に発表予定である。以下に研究した項目を示す。

- # 1) 地震活動分布 ANSS(1915-2022)データと ISC(1915-2020)データを比較
- # 2) ブータン南西部のメインヒマラヤスラスト衝上断層(MHT)の再モデル化
- # 3) 幅 20~60km、傾斜度が 30 度から 7 度に変化した MHT 断層モデル作成
- # 4) 地震シナリオ：規模 Mw=7.8、震源深さ H=10km に設定

- # 5) 強震動減衰式 AbrahamsonEtAl2014、BoreAtkinson2008、Lin2008、司・翠川式の比較評価
- # 6) $V_s=800\text{m/s}$ の工学地盤を利用して評価
- # 7) 地形勾配を考慮した USGS の V_{s30} データを利用して評価
- # 8) ティンブーの地震動最大加速度評価
- # 9) パイロットサイト Essuna と Ura の最大加速度評価

以上のうちの、R3 年度に実施した内容 # 1)、# 5)、# 7)、# 8)、# 9) を説明する。

1) 地震活動分布データの比較

地震記録の数は確率論的地震ハザード評価の基本となるデータだが、実際のブータン及び周辺地域の近年までの地震記録は少ない。図 2-5-1 に示した地震活動分布図では、 $M \geq 4$ 以上の震央が ANSS(1915-2022) (Stevens et al., 2020) と ISC(1915-2020) 二つのデータベースの差が大きい。マグニチュード M_b 、 M_s 、 M_w の不統一性と遠地での記録が不十分なことが確率的地震ハザード評価に大きく影響することが考えられる。

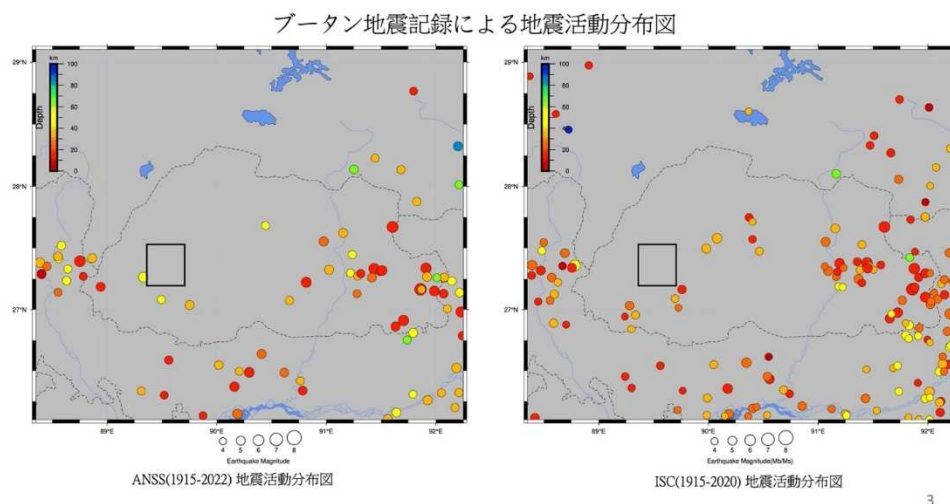


図 2-5-1：地震ハザード評価に使われる ANSS (1915-2022) と ISC (1915-2020) の震源分布の比較

一方、ブータンの耐震基準の検討のためには、最悪のシナリオ地震に対するハザード評価を必要とする。R3 年度は活断層の十分なデータが得られていないため、強震動減衰式の比較、 V_{s30} データ、微動観測データセットを加え、下記の内容などを検討し、OpenQuake エンジン (GEM, 2022) を用いて、ブータン全土のシナリオ地震動のシミュレートをした。

5) 強震動減衰式の計算比較評価

断層の破壊場所からサイトまでの地震動減衰式が重要な要素のひとつである。強度減衰式はプレート境界型（/海溝型）地震で得られた式と内陸型地震で得られた式に大きく分類できる。ブータン南西部のメインヒマラヤ スラスト衝上断層 (MHT) はプレート境界型地震と考えられるが、内陸型地震でもあるため、プレート境界型の減衰式の代表的式 AbrahamsonEtAl2014 (赤線)、BoreAtkinson2008 (緑線)、内陸型地震の代表的な式 Lin2008 (青線) に、日本でよく使われている司・翠川式 (黒線)

の計算を加えて比較評価（図 2-5-2）した。その結果、距離 300km までの範囲で最大値を与える AbrahamsonEtAl2014（赤線）を使用することとした。

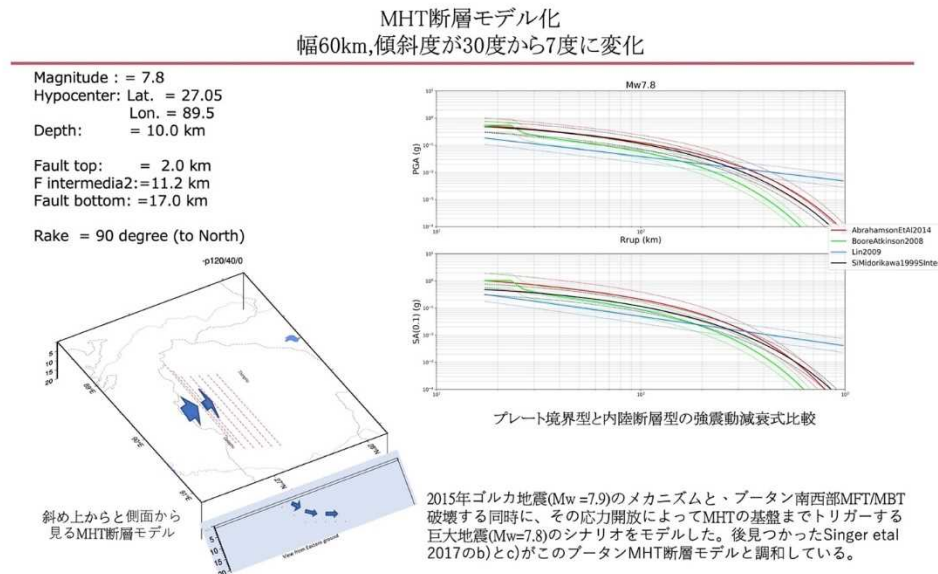


図 2-5-2：低角度逆断層 MHT のモデル化（左）、プレート境界型と内陸断層型の強震動減衰式比較（右）。

7) 地形勾配を考慮した USGS の Vs30 データを利用して評価

ヒマラヤ スラスト(MHT)衝上断層のモデル、強震動減衰式(AbrahamsonEtAl2014)、地形勾配を考慮した USGS の Vs30 地表地盤モデルを利用して、1 km メッシュに分割したブータンと周辺地域の地震動最大加速度を計算した（図 2-5-3 左）。背景地図の色（右上スケール）は標高(0~7000m)を表している。最大加速度 0.01~1G は水色、黄色、オレンジ色、赤のカラースケールを重畳して表されている。断層面からの距離に応じた幾何減衰の境界線がギザギザ状になっているのは Vs30 による効果である。

さらに 0.5km メッシュに分割したティンブー周辺の最大加速度詳細図を図 2-5-3 右に示す。最大加速度値は丸い点の色で示されている。R 1 年度に計算した一律の工学地盤 (Vs=800m/s) を用いた結果に比べて、Vs30 の利用によって詳細に評価されている。

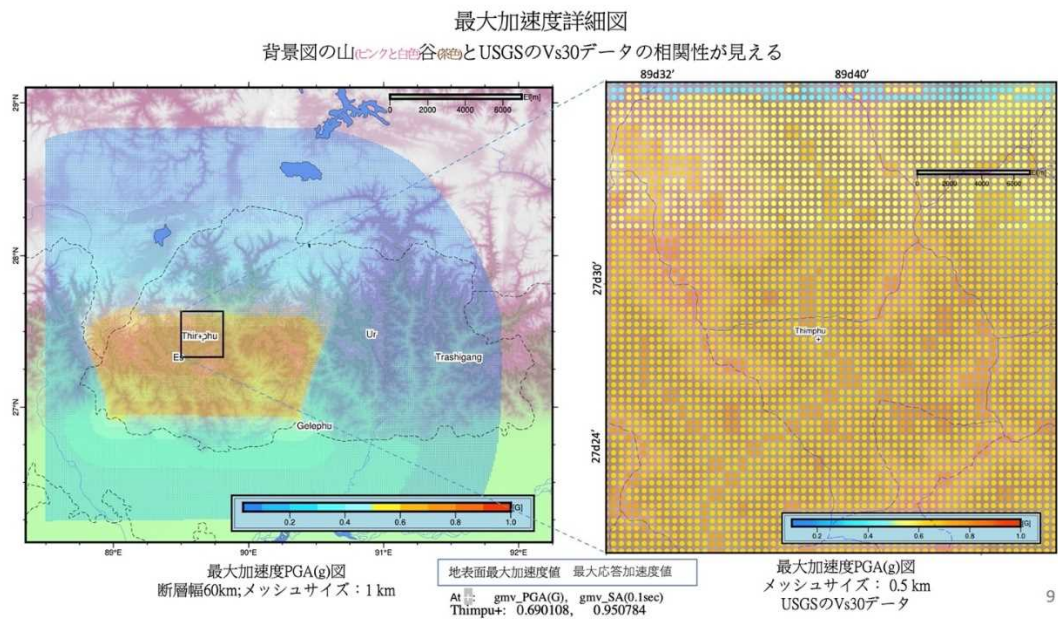


図 2-5-3 : ブータンと周辺地域 (左) およびティンブー周辺 (右) の推定最大加速度分布

8) ティンブーの地震動最大加速度評価

ティンブー周辺地域を対象として、地形勾配のみからなる USGS の Vs30 による評価に加え、我々のグループによる微動観測に基づく Vs30 のデータを利用して、最大加速度詳細図を計算した (図 2-5-4 右)。背景地形図の上に最大加速度値が 0.5 km メッシュの丸点で表わされている。ティンブー中心地 (Thimphu +) での最大加速度値は 0.69G となっている。一方、微動観測点は 0.5km メッシュよりも詳細に配置されており、観測点番号 25 では最大加速度が 0.74G に、観測点番号 27 では 0.7G になっている (表 2-5-1)。

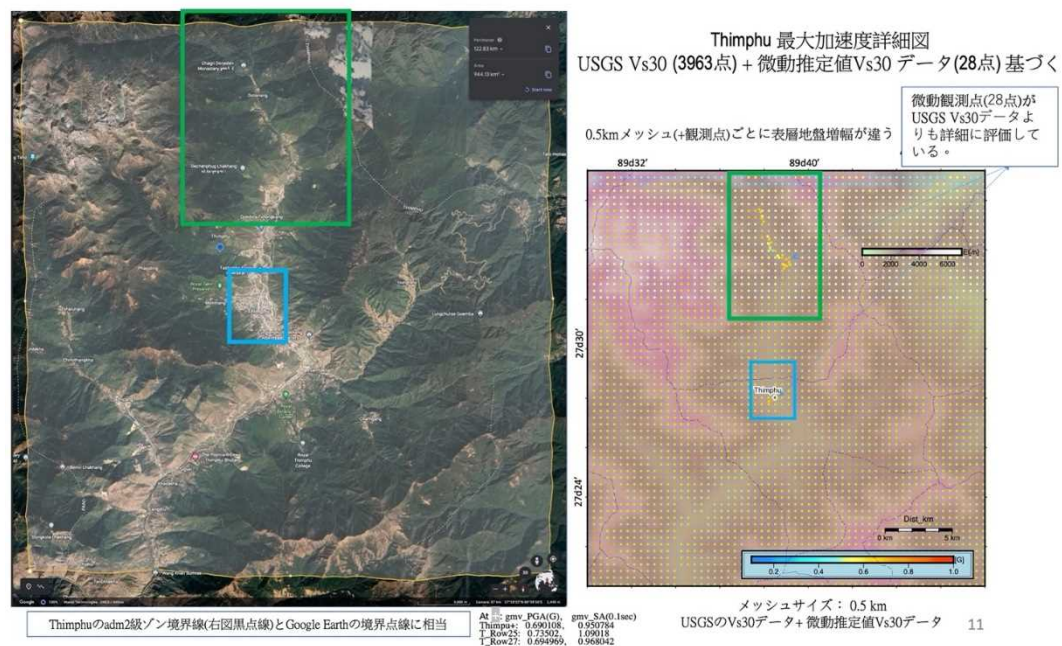
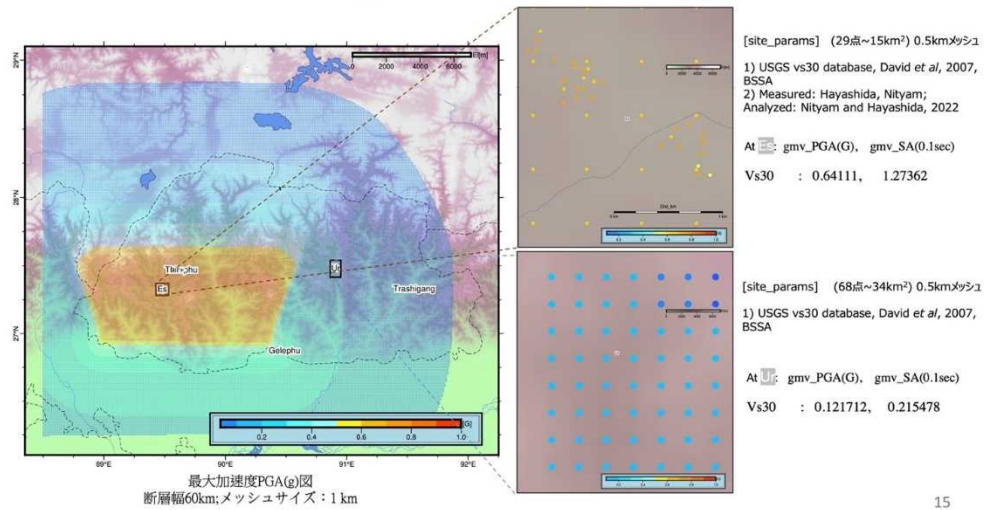


図 2-5-4 : ティンブー周辺の最大加速度 (USGS の Vs30 および 微動観測の Vs30 による)

9) パイロットサイト Essuna と Ura の最大加速度評価

本プロジェクトの2か所のパイロットサイトである Essuna (版築造地域) および Ura (石積造地域) の推定最大加速度詳細図を作成した (図 2-5-5)。Essuna は、断層からの距離がティンブーより近い分だけ加速度が大きくなるはずであるが、山地であるため $V_s=800/s$ の均一表層地盤で計算すると 0.7G で、USGS の Vs30 で計算すると 0.64G となっている。微動観測点は 0.5km メッシュより細かく配置され、最大加速度は 0.74G になっている (表 2-5-1)。Ura はヒマラヤ スラスト (MHT) 衝上断層モデルの東側に位置し、断層から距離が離れるため、 $V_s=800/s$ の均一表層地盤で計算した地表の最大加速度が 0.11G、USGS の Vs30 で計算すると 0.12G と小さな値となる (表 2-5-1)。微動観測は R4 年度に実施予定のため微動観測点は示されていない。

Ura Pilot Site (下)とEssuna (上) 最大加速度詳細図



15

図 2-5-5 : Essuna パイロットサイト(右上) と Ura パイロットサイト (右下) の推定最大加速度。Essuna は 0.5km メッシュに加えて微動観測による VS30 を用いた値が合わせて示されている。

表 2-5-1 : ティンプー、Essuna、及び Ura パイロットサイトの最大加速度 PGA 値とスペクトル SA 値

場所	lon	lat	gmv_PGA	gmv_SA(0.1)
Essuna	89.4815	27.331	0.6411	1.2736
Essuna 入り口	89.4866	27.331	0.6413	1.2741
Essuna 最大値	89.48716	27.32937	0.7455	1.1260
Ura Pilot Site	90.9065	27.4823	0.1217	0.2155
Thimpu +	89.6419	27.4671	0.6901	0.9508
Thimpu 微動 R 25	89.64174	27.47153	0.7350	1.0902
Thimpu 微動 R 27	89.64217	27.46915	0.6950	0.9680

以上、ここまでの地震ハザード評価をまとめる。ブータン南西における M7.8 のヒマラヤ衝上断層セグメントによる地震動シナリオでは、MFT からティンプーまでの広範囲で強い地震動に見舞われる。ティンプー、Essuna、及び Ura での最大加速度 PGA 値とスペクトル SA 値を表 2-5-1 に示す。

- 1) Thimphu 中心部では PGA=0.69~0.74G、0.1 秒スペクトル SA 値は 0.95~1.1G である。
- 2) Essuna 入り口の最大加速度は PGA=0.64G、0.1 秒スペクトル SA 値は 1.27G である。Essuna 地域の PGA の最大値は 0.74G である。
- 3) Ura 中心地では PGA=0.12G であり、0.1 秒のスペクトル SA 値は 0.22G である。
- 4) 我々の微動観測(58 点)により、USGS の Vs30 のみを用いた場合よりも詳細な評価ができた。
- 5) Thimphu、Essuna においては、PGA>0.6G、MMI 震度 VIII~IX クラスの強い地震動に見舞われ、甚大な建物被害が発生する可能性がある。

R3 年度も渡航が現実的でなかったため、DGM、DOC、DES、DDM 向けの OpenQuake の遠隔講座を 1 回実施した。ブータンの条件を満たす有志者に向けて、GEM の専門コースを勧めた。

②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

地震増幅度推定のための微動探査は、2020 年 10 月～2021 年 9 月の間、JICA 課題別研修「地震学・耐震工学・津波防災」に参加した DGM 職員の個人研究の課題と位置付けた。研修を通じて、日本国内で対面での微動測定およびデータ解析の指導を行うことで、技術移転を行うことができた。なお、本成果は政策研究大学院大学の修士論文として認められ、該当職員は同大学院より 2021 年 9 月に修士号を取得した。

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

地震観測網（震源観測網）に関しては、テレメータ回線とサーバーの障害のためデータ収集が止まっており、R4 年度に対応する予定である。震度観測網の整備は DGM が予定より遅れているものの自力で整備を進めているため、大きな問題は生じていないが、渡航ができなかったため震度データの利活用の指導が遅れている。地震動増幅度評価は建築研究所の JICA 集団コースに DGM スタッフを招聘してマンツーマンの指導ができたため、順調に成果が出ている。活断層マッピングは現地調査ができなかったため、空中写真の読み取りを遠隔指導するとともに、以前実施したティンブー周辺のハザード評価のための微地形分類図を作成した。地震ハザードマップは、欧州の研究者がブータンの地震ハザード・リスクの論文を出版した(Stevens et al. 2020)。国全体の確率論的地震ハザード評価に関しては彼らを超えるモデルは作れないと判断し、決定論的ハザード評価（シナリオ地震強地震動）を行うこととした。また地震ハザード評価システムである GEM の OpenQuake の利用技術の移転は困難と判断した。

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

(1-6) 地震リスク評価

研究グループ A 及び研究グループ C の研究成果に基づき、構造物の地震リスク評価を行うことを目的に、R3 年度は特に現地技術者が将来に渡り運用可能な方式についての検討を行った。

研究グループ A のハザード評価において緯度・経度・PGA が与条件として与えられた場合に、当該地域の構造種別構成に応じた fragility 曲線と、エクスポージャー（社会経済的重要度）係数を適用することでリスクマップを生成する Microsoft Excel のシートのプロトタイプを検討した（図 3-1）。

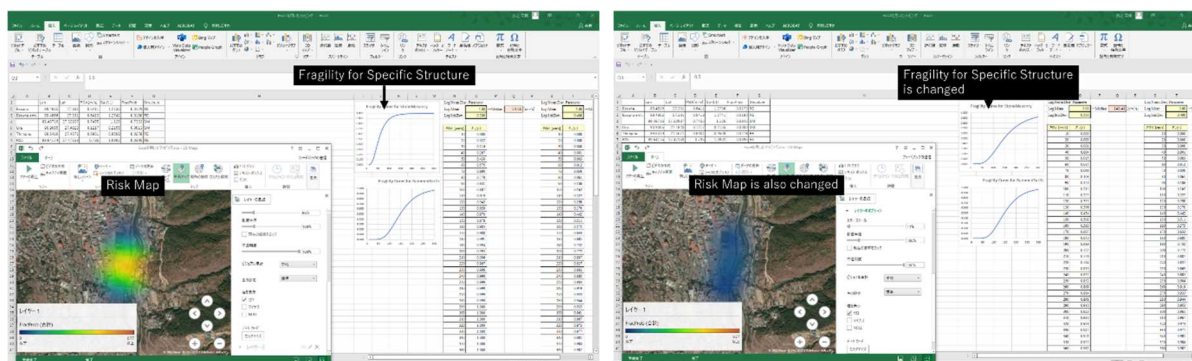


図 3-1 : Microsoft Excel の機能を用いたリスクマップ作成シート例

②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

新型コロナウイルスによるパンデミックの影響が長引きカウンターパートへの技術移転はこれからの状況であるが、受け入れ側の技術レベルと運用継続性の実情を聞き取りしながら（内務文化省文化局（DOC）の技術者との人的連携を進めながら）、リスクマップ作成デバイス（Microsoft Excel を使用する方法）の選定を進めた。

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

新型コロナウイルスのパンデミックによる移動制限のみならず、緊急事態宣言・まん延防止措置発令下における研究施設利用制限など、現地調査及び国内研究活動に大きな制約が課されている状態であった。

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及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、文献調査を通して、構造種別ごとのフラジリティ曲線策定を進める。一方、研究グループ A の成果として得られるハザード評価に基づき、構造物のフラジリティと、社会経済情報をエクスポージャーとして見込むことで、リスク評価につなげる。現地技術者が将来に渡り運用することが可能な条件を勘案し、Microsoft Excel を用いたリスクマップ作成方法のプロトタイプを作成した。

(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

コロナ禍でブータンに渡航できなかったため、版築造建築・石積造建築の典型例・プロトタイプを対象として、CPに現地での常時微動計測および長期のモニタリング計測を継続して実施してもらった。これまでの計測データに基づき、建物の振動特性を把握するとともに、CPに対して分析方法の技術移転を行った。

(2-2) 材料実験（現地）

コロナ禍でブータンに渡航できなかったため、現場でコアを採取し、採取したコアを現場で成形して強度試験ならびに静弾性係数の測定が可能なシステムを開発し、国内で検証を行った。また、微破壊で版築内部の含水率分布を測定するシステムを構築し、国内で検証実験を実施した。

(2-3) 実大試験体静的・動的実験（現地）、(2-6) 耐震補強キットの開発

コロナ禍でブータンに渡航できなかったため、オンラインにより実大民家の静的載荷実験を実施した。実大民家試験体は H30 年度と同形式とし、ブータン王国における典型的な石積造（新築マッドモルタル補強試験体）を 1 棟実施した。なお、予定していたもう 1 棟の試験体（新築版築造実大試験体）および要素試験体の振動台実験は、ブータンにおけるロックダウンの影響により R4 年度に延期となった。

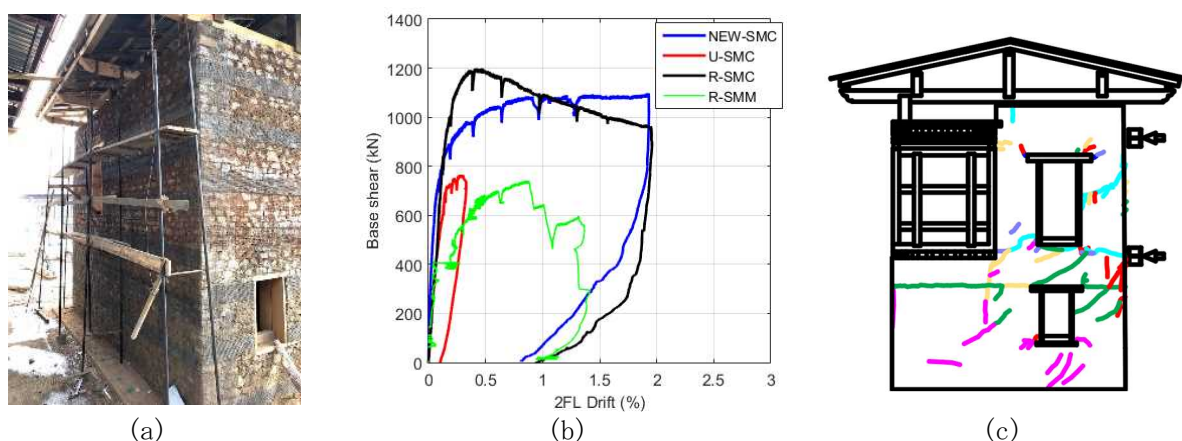


図 4-1：実大実験結果、(a) 試験体外観、(b) 荷重変形関係の比較、(c) ひび割れ発生状況

(2-4) 構造解析

有限要素法の汎用プログラムがブータンにないことから、DDA 法による組積造の解析プログラムを開発し、その検証を行った。

(2-5) 耐震診断法（国内）

日本およびインドの組積造建築物の耐震診断法を参考に、新築石積壁（セメントモルタル）の面内方向および面外方向について耐震診断法を提案し、静的載荷実験に用いた実大民家試験体に適用し、診断法を試行した。その結果、実大試験体の石積壁は、面内方向、面外方向ともに必要耐震性能を満足する結果となった。

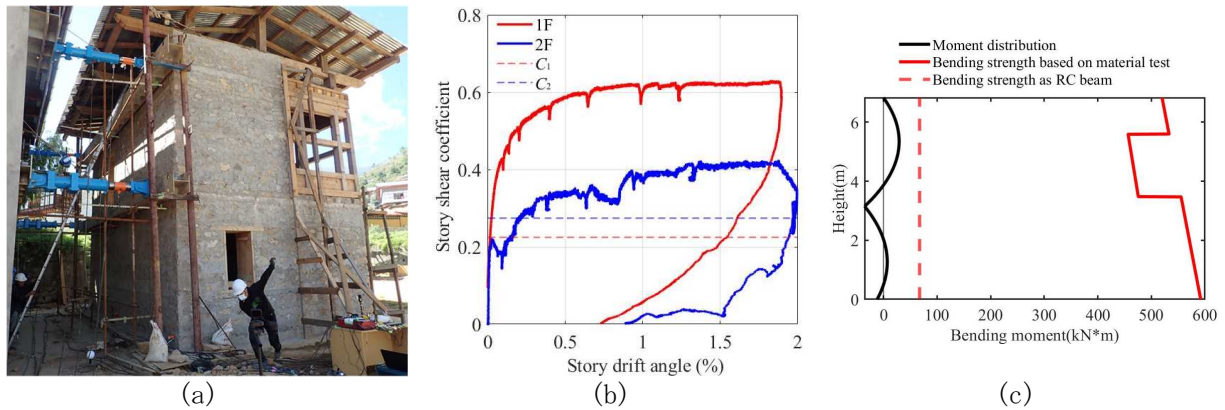


図 4-2：耐震診断結果、(a)試験体外観、(b)面内方向の結果、(c)面外方向の結果

(2-7) 耐震化指針（国内）

各実験や構造解析の成果に基づき、提案手法の詳細を CP とともに検討し決定した。なお、提案手法の決定にあたっては、CP とともに、(1) これまでブータンで一般的に建てられてきた形式の民家を建てるのに支障を生ずるケース、およびそれを解決する代替案、(2) 地方のさまざまな条件を考慮した提案手法の妥当性、(3) 提案手法の導入による社会的インパクト、の 3 点について検討した。また、ガイドラインの構成を CP とともに、一般規定、代替規定、性能規定（構造計算法）、および簡易手法について検討した。

(2-8) 建築構造基準の提案

ブータンの建築および都市計画等に関する法的・制度的枠組みの調査（現行法規・制度とあわせてこれまでの変遷も調査。地方行政法含む）を行い、本事業で提案するガイドラインの法制度への組み入れについて、最も現実的な道筋を CP とともに検討した。

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）に所属する現地技術者に対して、常時微動計測や載荷実験、振動台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

コロナ禍で日本側がブータンに渡航できなかったため、オンラインにより様々な実験を実施予定であった。しかし、R3 年度はブータンのロックダウンの影響により、CP が外出できなかったため、当初計画していた実大民家の静的載荷実験の一部と要素試験体の振動台実験が R4 年度に延期となった。R4 年度、即座に実験を再開できるように、メールや Zoom 会議による打ち合わせを行いながら、静的載荷実験に用いる実大民家試験体や振動台実験に用いる模型試験体の施工は完了している。

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：向井純子）

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

(3-1) 実施体制の確立

CP とともに、指導者・技術者・施工者・住民教育の目的や参加対象を決定し、実施に向けたアクションプランを作成した。

(3-2) 教材・普及プログラムの開発

R2 年度に引き続き、減災教育 VR（新規バージョン；SVR-2（仮））の開発を進めた（図 5-1、図 5-2）。この SVR-2 の開発には、名古屋市立大学の大学院生がインターンシップ制度を活用し DDM の遠隔指導の下、携わった。SVR-2 は DOC の実大実験場を舞台とした VR 体験として構想されており、本 SATREPS プロジェクトによる研究成果と絡めた減災教育体験の構築を目指している。

SVR-2 の開発は現在も継続中であるが、今般の渡航不可の状況を踏まえ、同 VR メタバース版の制作も開始した。メタバース版では、インターネットに接続された VR ヘッドセットを介して、世界中の異なる場所から同時に SVR-2 を体験することが可能となる。



図 5-1 : VR による減災教育教材（新規バージョン）



図 5-2 : VR による減災教育教材（新規バージョン）

（3-3）指導者教育（TOT）

指導の中心メンバーとなる DoC と DES の CP に対して、複数のテーマについて ToT をオンラインで実施した。上記に加え、頻繁にオンラインでつなぎ、実験等の成果をガイドラインにまとめるにあたって、インパクトや実効性などの観点から検討すべき課題とその対応策を話し合い、社会実装に向けての理解を深めた。

（3-4）技術者・施工者教育（現地）

県の技術者に対する研修を、オンラインで現地会場と繋いで実施した。施工者および県技術者を対象にした版築民家のレトロフィットのハンドオン研修を CP が実施した。新築や石積民家のハンドオン研修も引き続き実施予定だったが、ロックダウンのため中止した。研修で利用予定だった民家

の修理工事・新築工事はロックダウン中にも進捗したため、今後は実際の民家でなく、モックアップを建設してハンドオン研修を実施することとした。モックアップの作業工程を写真や動画におさめ、研修用 Web サイトを作成する計画である。

(3-5)住民教育（現地）

リスクマップおよびガイドラインの完成後、パイロットサイトで実施予定である。

②研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

ガイドラインや研修コンテンツの作成を通じて、研究成果の内容と意義をより深く理解し、また、研究成果を社会実装につなげるために必要な多角的な視点や課題解決力を身に付けてもらうことを企図して、ひとつひとつ段階を踏みながら作成プロセスを進めている。当初からのエンジニアだけでなく、CP 機関所属のアーキテクトにも参加を要請し、CP 機関全体の能力向上を図っている。

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

施工者等に対するハンドオン研修は、実際の版築・石積民家のレトロフィット工事や新築工事を利用して実施する計画であったが（版築のレトロフィットは、実際の民家で実施済み）、度重なるロックダウンで中止となった。ロックダウンが解除されても、既に工事は進捗してしまっているため、工事の適期にあわせて研修を実施することは不可能である。このため、次のように進めることとした。

- ・ まず、耐震化工法の要所をすべて含んだモックアップを建設し、その過程を写真や動画で記録し、解説やイラストを付して Web サイトを作成する。
- ・ この Web サイトを活用して、オンラインや状況が許せば対面での研修を実施する。
- ・ Web サイトは、本事業終了後の継続的な研修実施に役立ててもらい、また、一般の閲覧を可能にして、ガイドラインの解説の用にも供することとする。

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、R4 年度中にブータン全土の地震観測網と震度観測網の強化を完成する。新たに得られた地震データと既往の情報をを用いて、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 2 か所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、R4 年度前半まで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、R4 年度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 R4 年度に行う。

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）

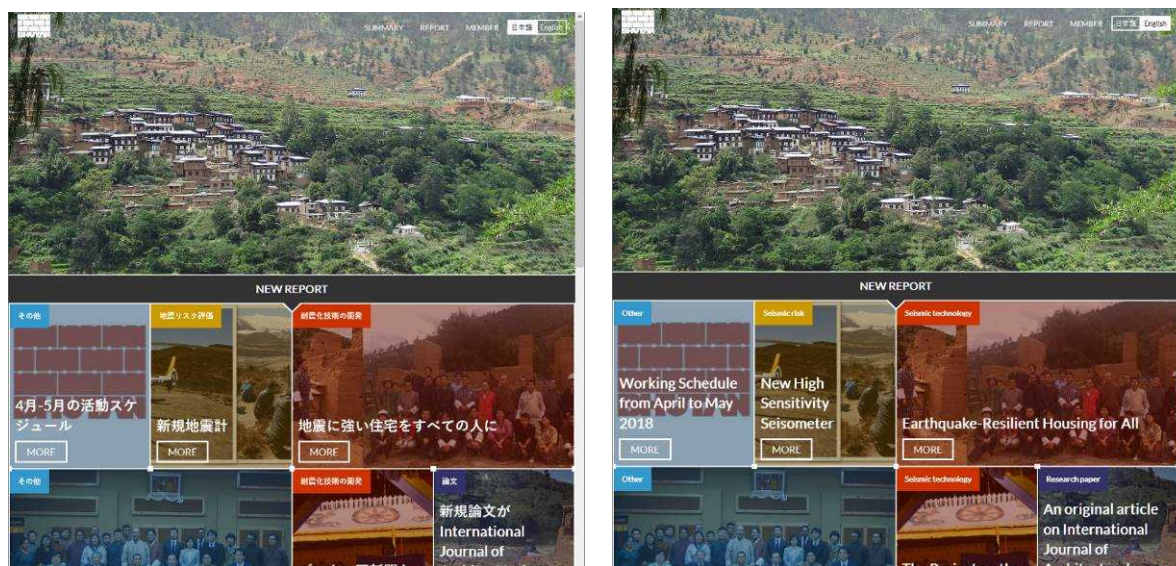
(1) プロジェクト全体

- ・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。

国内及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。現在も、DDM の局長が空席のままである。DGM では、副責任者であり、地震ハザードマップ作成担当の 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、及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努めた（図 6-1）。ホームページの URL は、<http://www.satrebs-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く、一方、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ィ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、自発的なアイディ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。ブータン側は毎年、RGoB 予算により、実験及び機器メンテナンスを担当する人員の確保を行っているが、継続的に予算確保できるような支援を行う。

- ・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。日本側予算に加え、予算措置が認められたブータン側 RGoB 予算により、さらに 2 試験体の実大実験ができるようになった。新型コロナウイルス感染症の影響で日本側研究者が渡航できなかったため、また、ブータンで度重なるロックダウンがあったため、実験や社会実装に向けての取り組みに遅れが出た。リモートでカバーしきれない部分があったため、a) まず、耐震化工法の要所をすべて含んだモックアップを建設し、その過程を写真や動画で記録し、解説やイラストを付して Web サイトを作成し、b) この Web サイトを活用して、オンラインや状況が許せば対面での研修を実施し、c) Web サイトを本事業終了後の継続的な研修実施に役立ててもらい、また、一般の閲覧を可能にして、ガイドラインの解説の用にも供することとした。

(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、担当：1-1～1-5）

- ・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。

微小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。2019 年度に Bhutan Telecom 社（BT）の回線から一部を GWAN（Governmental Wide Area Network）に移行したが、稼働率の向上にはつながっていない。これは、GWAN そのものの性能も面もあるが、DGM スタッフに ICT の知識が乏しいことが関係者との技術的コミュニケーションを阻害している面が大きいと考えられる。SATREPS 予算で現地調達したサーバー計算機に海賊版の WindowsOS がインストールされていたり、DGM の職員がウイルス汚染されている PC を組織のネットワークに接続しているなど、コンピュータリテラシーが大変低い状況にあるのが現状である。DGM は H30 年度以降、経済省 ICT 部門との技術協力を実施しているが、まだ不十分で、DGM と経済省 ICT 部門による地震観測網の運用ノウハウの共有と DGM 自身の ICT 技術のスキルの底上げが必要である。非常な困難が予想されるが、底上げを図るために、本来のカウンターパートではないが、経済省の ICT 部門の担当者に地震観測網保守のために必要な ICT 技術を基礎から数回にわたってレクチャーをする。

- ・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（作業標準書）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、担当：1-6）

- ・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 及び研究グループ 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 及び研究グループ 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。R3 年度は、研究グループ A のハザード評価結果をリスク評価に展開する際の技術運用容易性について検討した。現地担当者（ブータン技術者）が将来的にリスク評価を容易にできることを目的として、現地担当者が使いやすい I/O デバイスとして、Microsoft Excel を用いたリスクマップ作成手法を検討した。また、研究グループ C の成果を脆弱性曲線として Excel 上で計算するプロトタイプを作成した。

- ・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。

上述したような、現地担当者が使いやすいデバイスの選定とそれに見合う観測データ形式の生成が重要なプロジェクトにおいて、移転技術の合意形成に慎重な判断が必要になる場合がある。当初、高度な技術提供を相手方が希望していても、実際に手を動かす段階で、それを（技術的・経済的に）将来に渡り運用し続けられない可能性がある場合は、適用可能性を踏まえた技術提供形式への変更を柔軟に対応できるようにする必要がある。

(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。実大実験の試験体数が増え、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。日本側予算とブータン側 RGoB 予算により、最終的には、当初計画通りの試験体数の実験が可能となる見通しである。

- ・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。

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：向井純子）

- ・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。

渡航ができない状況にあって打合せや研修はオンラインで実施したが、意思疎通レベルの低下は否めない。それをカバーするため、SNS も活用して、CP と頻繁にコミュニケーションを図っている。ロックダウン中、そしてロックダウン明けの繁忙により、CP 間でもコミュニケーションが滞りがちのように見受けられるため、定期的にオンライン会議をするようにしている。

- ・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。

提案する耐震化手法が地域社会や文化に与える影響を CP とともに検討した。また、地方におけるインフラ整備や行政執行能力の現状、流通、関連法整備状況など、実際の社会状況に鑑みて、実効性のあるガイドラインの内容や構成を CP とともに検討している。研究成果を社会実装につなげるために必要な多角的な視点と課題解決力を CP 機関に育むため、ガイドラインや研修コンテンツの作成プロセスを活用している。当初からのプロジェクト参加者であるエンジニアだけでなく、CP 機関所属のアーキテクトにも参加してもらっている。

- ・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 R4 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 R4 年度に実施する。検討したのち、社会実装の道筋を提言する。

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。

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・ワンゲモ、 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	10.1080/15583058.2018.1433903	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	10.1007/978-3-319-99441-3_167	国際誌	発表済	
2019	K.C. Shrestha, T. Aoki, M. Miyamoto, P. Wangmo, Pema, In-plane shear resistance between the rammed earth blocks with simple interventions: experimentation and finite element study, Buildings, 2020, Vol.10, Issue 3, 13 Mar 2020 published online	10.3390/buildings10030057	国際誌	発表済	
2020	K.C. Shrestha, T. Aoki, M. Miyamoto, P. Wangmo, Pema, J.Y. Zhang, N. Takahashi, Strengthening of rammed earth structures with simple interventions, Journal of Building Engineering, Vol.29, pp.1-10, 2020.05	https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101179	国際誌	発表済	
2020	Pennacchio Roberto, F. De Filippi, M. Bosetti, T. Aoki, P. Wangmo, Influence of Traditional Building Practices in Seismic Vulnerability of Bhutanese Vernacular Rammed Earth Architecture, International Journal of Architectural Heritage, pp.1-20, 2020.07	https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1785044	国際誌	発表済	
2020	P. Wangmo, K. C. Shrestha, T. Aoki, M. Miyamoto, Pema, Strengthening strategies for existing rammed earth walls subjected to out-of-plane loading, CivilEng, Vol.1, Issue 3, pp.229-242, 2020.10	https://doi.org/10.3390/civileng1030014	国際誌	発表済	
2020	P. Wangmo, K. C. Shrestha, T. Aoki, Exploratory study of rammed earth walls under static element test, Construction and Building Materials, Vol.266, Part A, pp.1-23, 2021.01	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121035	国際誌	発表済	

論文数 8 件
うち国内誌 1 件
うち国際誌 7 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レーザースキャナ実機訓練 2017/9/26-9/28 目的: 3Dレーザース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(名古屋大)		現地研修
2017	供与機材 振動台・ジャックシステム研修 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	微動アレイ探索実習 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 ⁽¹⁾ , Hiroshi INOUE ⁽²⁾ , Jamyang CHOPHEL ⁽³⁾ , Phuntso PELGAY ⁽³⁾ and Dowchu DRUKPA ⁽³⁾ . (1) Kyoto Univ., (2) National Institute for Earth Science and Disaster Resilience, (3) The Department of Geology and Mines. Design and Implementation of the National Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan. 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 ⁽¹⁾ , Hiroshi INOUE ⁽²⁾ , Jamyang CHOPHEL ⁽³⁾ , Phuntso PELGAY ⁽³⁾ , Nityam NEPAL ⁽³⁾ and Dowchu DRUKPA ⁽³⁾ . (1) Kyoto Univ., (2) National Institute for Earth Science and Disaster Resilience, (3) The Department of Geology and Mines. Design and Implementation of the National Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan. 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 ⁽¹⁾ , Hiroshi INOUE ⁽²⁾ , Jamyang CHOPHEL ⁽³⁾ , Phuntso PELGAY ⁽³⁾ , Nityam NEPAL ⁽³⁾ and Dowchu DRUKPA ⁽³⁾ . (1) Kyoto Univ., (2) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, (3) Department of Geology and Mines, Ministry of Economic Affairs. Design, Implementation, and Preliminary Outcome of the National Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan. 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 ⁽¹⁾ , T. Aoki ⁽¹⁾ , T. Konishi ⁽²⁾ , M. Miyamoto ⁽²⁾ , J. Zhang ⁽¹⁾ , N. Takahashi ⁽³⁾ , N. Yuasa ⁽⁴⁾ , T. Aramaki ⁽⁴⁾ and P. Wangmo ⁽⁵⁾ . (1) Nagoya City Univ., (2) Kagawa Univ., (3) Tohoku Univ., (4) Nihon Univ., (5) The Department of Culture, Ministry of Home and Cultural Affairs Full-scale pull-down tests on a two-storied rammed earth building with possible strengthening interventions. 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 ⁽¹⁾ , Hiroshi Inoue ⁽²⁾ , Jamyang Chopel ⁽³⁾ , Phuntso Pelgay ⁽³⁾ and Dowchu Drukpa ⁽³⁾ . (1) Kyoto University, Kyoto, Japan, (2) NIED, Tsukuba, Japan, (3) Department of Geology and Mines, Ministry of Economic Affairs, Thimphu, Bhutan Preliminary Seismicity Observed by the Seismic Monitoring Network in the Kingdom of Bhutan American Geophysics Union Fall Meeting 2018, D.C., USA, 10-14 Dec. 2018	口頭発表
2019	国内学会	PEMA ⁽¹⁾ , Kunzang TENZIN ⁽¹⁾ , Kshitij C. SHRESTHA ⁽²⁾ and Takayoshi AOKI ⁽²⁾ . (1) The Department of Culture, Ministry of Home and Cultural Affairs, (2) Nagoya City Univ. Construction management of Test facility in Bhutan Construction Seminar 2019, Thimphu, Bhutan, 29-30 Aug. 2019	口頭発表
2019	国際学会	Dowchu Drukpa ⁽¹⁾ , Karma Namgay ⁽¹⁾ , Yasuhiro Kumahara ⁽²⁾ and Takashi Nakata ⁽²⁾ . (1) The Department of Geology and Mines, Ministry of Economic Affairs, (2) Hiroshima University Active fault survey in southwest Bhutan International Symposium on Active Faulting, Hokudan 2020, Awaji, Japan 13-17 Jan. 2020	ポスター発表
2020	国際学会	P. Wangmo ⁽¹⁾ , K.C. Shrestha ⁽²⁾ , T. Aoki ⁽²⁾ , M. Miyamoto ⁽³⁾ , N. Takahashi ⁽⁴⁾ , J.Y. Zhang ⁽⁵⁾ , N. Yuasa ⁽⁶⁾ , S. Shin ⁽⁶⁾ , Pema ⁽¹⁾ , F. De Filippi ⁽⁷⁾ and R. Pennacchio ⁽⁷⁾ . (1) The Department of Culture, Ministry of Home and Cultural Affairs, (2) Nagoya City Univ., (3) Kagawa Univ., (4) Tohoku Univ., (5) Kyoto Univ., (6) Nihon Univ., (7) Politecnico di Torino Mesh-wrap Retrofitting for Rammed Earth Buildings – Test Results of Full-Scale Static Tests 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan 13-18 Sep. 2020	口頭発表
2020	国際学会	Pema ⁽¹⁾ , K.C. Shrestha ⁽²⁾ , T. Aoki ⁽²⁾ , K. Tenzin ⁽¹⁾ , N. Takahashi ⁽³⁾ , M. Miyamoto ⁽⁴⁾ , J.Y. Zhang ⁽⁵⁾ . (1) The Department of Culture, Ministry of Home and Cultural Affairs, (2) Nagoya City Univ., (3) Tohoku Univ., (4) Kagawa Univ., (5) Kyoto Univ. Test Facility to Study Traditional Composite Masonry Structures in Bhutan – An Outcome of SATREPS 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Sendai, Japan 13-18 Sep. 2020	口頭発表
2020	国際学会	K.C. Shrestha ⁽¹⁾ , T. Aoki ⁽¹⁾ , M. Miyamoto ⁽²⁾ , N. Takahashi ⁽³⁾ , J.Y. Zhang ⁽⁴⁾ , P. Wangmo ⁽⁵⁾ , N. Yuasa ⁽⁶⁾ , S. Shin ⁽⁶⁾ , Pema ⁽⁵⁾ and K. Tenzin ⁽⁵⁾ . (1) Nagoya City Univ., (2) Kagawa Univ., (3) Tohoku Univ., (4) Kyoto Univ., (5) The Department of Culture, Ministry of Home and Cultural Affairs, (6) Nihon Univ. Static Test on Full Scale Rammed Earth Building with Mesh-wrap Retrofitting Strategy 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC2020, Balcerona, Spain Sep. 2020	口頭発表
2021	国内学会	湯浅昇 ⁽¹⁾ , 實野有希子 ⁽¹⁾ , 青木孝義 ⁽²⁾ , Wangmo Phuntsho ⁽³⁾ . (1) 日本大学, (2) 名古屋市立大学, (3) The Department of Culture, Ministry of Home and Cultural Affairs 電極を用いた版築の含水率分布の測定 日本非破壊検査協会令和3年秋季大会講演概要集, 北海道, 日本, pp.119-122 10-11 Nov. 2021	口頭発表

招待講演	0 件
口頭発表	7 件
ポスター発表	4 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(名古屋市立大学)、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・ブンツォワンモ(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 引き倒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 伝統的版築造建築物の常時微動計測、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築物の静的解析、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	申相激・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 M 2019 (Expressive Japan 2019)、早稲田大学、2019年3月12日	ポスター発表
2019	国内学会	申相激(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7 版築の圧縮強度に及ぼす加水量および乾燥温度の影響、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	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8 石積み裏込モルタルの品質確保に関する検討、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	国内学会	金井新(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9 既存および新築版築壁の引き倒し実験による耐震補強効果の検証、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	国内学会	村井颯希(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10 既存石造壁の要素試験と引き倒し試験による耐震補強効果の検証、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	国内学会	青木秀敬(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11 新築石積造の引き倒し実験による補強効果の検証、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	国内学会	青木孝義(名古屋市立大学)、Study on Earthquake Resistance Technology of Composite Masonry Buildings in Bhutan Part 12: Full scale tests on composite masonry buildings: Test set-up, Instrumentation, Specimen details、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	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 12: Full scale tests on composite masonry buildings: Test set-up, Instrumentation, Specimen details、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	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 14: Full scale tests on composite masonry buildings: Mesh wrapped stone masonry with mud mortar construction、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	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15 伝統的石造建築物の常時微動計測、日本建築学会、金沢工業大学、2019年9月3日	口頭発表
2019	国内学会	森旬子・奥野雄貴(名古屋市立大学)、「ブータンにおける組積造建築の地震リスクと評価の現在技術の開発」施工マニュアルデザイン、芸術科学会2019 NICOGRAPH2019、名古屋市立大学北千種キャンパス、2019年11月2日~4日	ポスター発表
2019	国際学会	Sayuri Ohashi, Akari Kamiya, Soji Mochizuki, Ken Sonobe, Ryu Nakagawa and Takayoshi Aoki, SVR-1 (Beta Version): An Educational VR Experience for Earthquake Disaster Mitigation in Bhutan, International Conference of Asia Digital Art and Design (ADADA2019), Malaysia, 26-28 Nov. 2019	ポスター発表
2019	国内学会	申相激・湯浅昇(日本大学)、青木孝義(名古屋市立大学)、ブータンの版築造を再現したブロックの材料特性に関する研究、日本大学生産工学部第52回学術講演会、pp.351-354、日本大学生産工学部、2019年12月7日	口頭発表
2020	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 16: Full scale tests on composite masonry buildings: Strengthening techniques on rammed earth buildings、日本建築学会、関東、2020年9月	口頭発表
2020	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 17: Full scale tests on composite masonry buildings: Mesh-wrapped stone masonry with cement mortar construction、日本建築学会、関東、2020年9月	口頭発表
2020	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18 実大試験体の常時微動測定結果、日本建築学会、関東、2020年9月	口頭発表
2020	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19 縮小試験体の振動台実験結果、日本建築学会、関東、2020年9月	口頭発表
2020	国内学会	金井新(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20 ブータン王国西部の伝統建築集落の悉皆調査、日本建築学会、関東、2020年9月	口頭発表

2020	国内学会	村井颯希(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21 ブータン王国中部の伝統建築集落の悉皆調査、日本建築学会、関東、2020年9月	口頭発表
2021	国内学会	折戸俊介(大林組)、不連続変形法による無補強煉瓦造壁体の面内せん断解析、日本建築学会、東海、2021年9月	口頭発表
2021	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22 伝統的版築造民家の耐震診断法、日本建築学会、東海、2021年9月	口頭発表
2021	国内学会	村井颯希(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23 伝統的版築造民家の耐震補強工法、日本建築学会、東海、2021年9月	口頭発表

招待講演	0 件
口頭発表	30 件
ポスター発表	6 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	
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	
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	
2018	2018/10/26	国際共著論文プラス1運動表彰	Assessment of out-of-plane behavior of rammed earth walls by pull-down tests	青木孝義	名古屋市立大学	1.当課題研究の成果である	
2019	2019/10/25	2019年度日本建築学会大会(北陸) 学術講演会 構造委員会 壁式構造運営委員会 若手優秀発表賞	ブータンにおける組積造建築物の耐震化技術に関する研究 その10 既存石造壁の要素試験と引き出し試験による耐震補強効果の検証	村井颯希	日本建築学会	1.当課題研究の成果である	
2020	2020/10/28	国際共著論文プラス1運動表彰	Full-scale pull-down tests on a two-storied rammed earth building with possible strengthening interventions	青木孝義	名古屋市立大学	1.当課題研究の成果である	
2021	2021/10/2	17WCEE Early Career & Student Award	Mesh-wrap Retrofitting for Rammed Earth Buildings - Test Results of Full-Scale Static Tests	Phuntsho Wangmo	17th World Conference on Earthquake Engineering	1.当課題研究の成果である	
2021	2021/10/22	2021年度日本建築学会大会(東海) 学術講演会 構造委員会 壁式構造運営委員会 若手優秀発表賞	ブータンにおける組積造建築物の耐震化技術に関する研究 その23 伝統的版築造民家の耐震補強工法	村井颯希	日本建築学会	1.当課題研究の成果である	
2021	2021/10/28	国際共著論文プラス1運動表彰	Influence of Traditional Building Practices in Seismic Vulnerability of Bhutanese Vernacular Rammed Earth Architecture	青木孝義	名古屋市立大学	1.当課題研究の成果である	
2021	2021/12/15	RIBA (Royal Institute of British Architects) President's Medals	THE SECULAR HOUSE Bhutan: a manual for resilient stone houses	Manuela Reitsma	Royal Institute of British Architects	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

10 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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
2018	2019/2/28	Euronews	From Japan to Bhutan: improving resilience against earthquakes	Global Japan5分番組欧州で放送、Web公開中	1.当課題研究の成果である	
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	
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	
2019	2019/12/19	ブータン国営放送BBSテレビ	Shaking table test of traditional structures	ニュース全国放送	1.当課題研究の成果である	
2019	2019/12/20	ブータン国新聞Kuensel紙	Knowing the strengthen of traditional homes	全国紙5面	1.当課題研究の成果である	
2019	2020/2/6	ブータン国営放送BBSテレビ	Understanding earthquakes-Royal Tutorial Project	教育テレビ 全国放送 2 回放送	1.当課題研究の成果である	
2021	2021/11/6	ブータン国営放送BBSテレビ	Carpenters and masons trained in building earthquake resilient structure	ニュース全国放送	1.当課題研究の成果である	http://www.bbs.bt/new/s/?p=160299&fbclid=IwAR3Gmb9LfOL65ziHKGU-mGXyToz8mFEMqZEgBb6HE6udGVInX9HvqJYw0Xo
2021	2021/12/29	ブータン国営放送BBSテレビ	Full-scale test of Bhutanese structure to earthquake	ニュース全国放送	1.当課題研究の成果である	http://www.bbs.bt/new/s/?p=163896

15 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	企画展示テーマのバネルと「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
2019	2019/4/4	Working Group Meeting	ティンブー市 (ブータン)	8(7)	非公開	ブータン側作業部会
2019	2019/4/9	SATREPS全体会議	JST東京本部別館 (日本)	12(0)	非公開	活動レビューと次活動計画、課題と対策を共有
2019	2019/4/30	Project Management Unit and Working Group Meeting	ティンブー市 (ブータン)	8(7)	非公開	プロジェクトマネージャー会議、JCCの事前協議
2019	2019/5/8	NSETでプロジェクトの成果発表と意見交換会議	カトマンズ (ネパール)	11(0)	非公開	プロジェクトの成果発表を行うとともに、NSETの取組を紹介してもらい、意見交換会議を実施した。
2019	2019/7/16	地震災害評価パイロットサイトタスク会議	ティンブー市 (ブータン)	11(9)	非公開	専門家2名との作業部会
2019	2019/8/28	地震評価グループ会議	ティンブー市 (ブータン)	6(4)	非公開	専門家とネットワーク移行作業に伴う障害について対処方針会議
2019	2019/12/6	NCUアジア拠点校シンポジウム 2019	名古屋市立大学 (日本)	50(0)	公開	アジアにおける社会衛生環境・生物多様性保全のSDGsと都市問題で、プロジェクトの研究成果を発表
2019	2019/12/20	セミナー『Building Seismic Resilience in Bhutan using Science and Technology』	ティンブー市 (ブータン)	45(30)	公開	プロジェクトの成果発表と意見交換セミナー、防災に携わる現地大学、省庁、他のドナー国際機関が参加
2019	2020/1/20	研究グループ会議	東北大学東京分室 (日本)	5(0)	非公開	地震評価グループ、耐震化グループ、普及グループ会議
2020	2020/7/27	SATREPS全体会議	Zoom (日本)	12(0)	非公開	活動レビューと次活動計画、課題と対策を共有
2020	2020/7/30	研究グループ会議	Zoom (日本)	10(3)	非公開	DOCとRGoB予算による研究活動打合せを含む耐震化グループ、普及グループ会議
2021	2021/1/14	研究グループ会議	Zoom (日本)	3(1)	非公開	VR開発の進捗共有、および計画
2020	2021/2/28	研究グループ会議	名古屋市立大学 (日本)	4(0)	非公開	耐震化グループ、普及グループ会議

2021	2021/7/6	OpenQuake Lecture	Zoom (Bhutan)	6(11)	非公開	ソフトOpenQuakeの講習会
2021	2021/10/12	Training of Trainers(12-14 Oct)	Zoom (Bhutan)	3(12)	非公開	既存建物の耐震診断講習会
2021	2021/11/3	Hands on Training rammed earth retrofitting (3, 4 Nov)	Zoom (Bhutan)	2(24)	非公開	版築造既存建物の耐震化施工実地研修
2021	2021/11/18	SATREPS国内ミーティング	Zoom (日本)	5(0)	非公開	各研究グループの進捗共有、および計画
2021	2021/11/30	研究グループ会議	Google meet (Bhutan)	2(1)	非公開	VR開発の進捗共有、および計画
2021	2021/12/2	研究グループ会議	Zoom (日本)	6(4)	非公開	VR開発の進捗共有

48 件

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
2019	2019/5/10	新メンバー紹介、進捗状況、次期計画を承認、現状課題と対策の協議	24	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。
2019	2019/12/20	進捗状況、次期計画を承認、現状課題と対策の協議、供与機材の譲渡式	24	活動進捗と計画発表、供与機材の譲渡書に署名

4 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	・開発途上国における脆弱住宅の減災への活用 ・日本企業による成果の事業化
科学技術の発展	・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 ・ブータンヒマラヤのサイスモテクトニクス解明
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	・版築・石積建築の実験データ ・版築・石積建築の構造解析手法と耐震診断法 ・版築・石積建築の補強技術 ・震度観測システム
世界で活躍できる日本人人材の育成	・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)
技術及び人的ネットワークの構築	・ブータン及び日本におけるワークショップ開催 ・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
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・耐震診断法マニュアル ・版築・石積建築の耐震化指針 ・技術者講習・住民教育マニュアル ・地震動予測地図

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

