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(2016年)度/研究期間:5年/

相手国名:ブータン王国

令和2(2020)年度実施報告書

国際共同研究期間*1

2017年 4月28日から2023年 4月30日まで IST 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

(1)研究の主なスクシュール		1	ī	T	Γ	Γ	
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		
			•	4	4	-	
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	4	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	伝統發	≢築形式分類 ◀───► ◀	(国内) 振	動特性の把握の構造へが	と系統的分析(
2-2 材料実験(現地)		材料特性	•	料改良方法の		の実態把握	
		材料試験力	が法の確立 ▶	4	実版	築への適用*	
2-3 実大試験体静的·動 的実験(現地)	•	計画	試験位	計画	検* 試験体施工・	動的実験*	
2-4 構造解析				1	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		<u>+</u>		耐震化キッ	トの開発*	-	
2-7 耐震化指針(国内)				←→	耐力	夏 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	<u>¼.</u>				
3-2 教材・普及プログラ		資料収集、教	枚材・普及プロ	グラム開発(国内・現地)	*
ムの開発					•	-
3-3 指導者教育(現地)			講	習実施 (現地) ◀——▶	* 講習9	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(見地)*

*:新型コロナウィ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、R2 年度は新型コロナウィ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。

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 滅災技術の開発プロジェクト	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
研究代表者名 (所属機関)	春木 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)	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
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	プロジェクト目標 ブータンの滅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、滅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
	付随的成果	耐震化指針、源炎教育マニュアルの作成及び炎書官理行政の枠組みにおける連用
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炎への活用 ・日本企業による成果の事業化	地震リスク評価 良い施工方法と効果的な補金法の開発 技術者講 住民教育
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 耐震診性、補強技術の開発 ・ブーダンセマラヤのサイスモテクトニクス解明	地震パザード評価 耐震化指針の作成 材料の改 (研震性 教材、規 ワーク
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	価 耐震診断 良 構造へ ルスモ
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)	地
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、ブ 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	測量、建物形式の 開発、安 体作成 整理 解析モデル作成 構造解析 採取 (素) (本) (本) (本) (本) (本) (本) (本) (本) (本) (本
100-		地震リスク評価 耐震化指針 体制支援・教育

上位日標

図 1-1:成果目標の達成状況

日本側は、名古屋市立大学で採用したブータンの隣国であり組積造の専門家である学位を有するネパール人特任助教がトリブバン大学准教授として帰国し、日本大学で採用した材料の専門家である学位を有する韓国人 PD 研究員が病気療養のため帰国し、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、DOC の課長が局長になり、課長が新しくなるなど人事異動があったため、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、プロジェクトを通し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、名古屋市立大学の大学院生と香川大学の大学院生は、2020年度日本建築学会大会(関東)学術講演会に論文を投稿している。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。

SATREPS 枠の国費留学生として DOC から受け入れた博士後期課程学生が、本プロジェクトを通して博士学位を取得し、修了式で博士後期課程代表として学長から学位を授与された。また、DOC のカウンターパート 1 名が、2019 年 9 月から JICA 課題別研修「地震学・耐震工学・津波防災」に参加開始、

筑波の建築研究所と名古屋市立大学で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、公共事業省技術支援局(DES)のカウンタ ーパート1名、経済省地質鉱山局(DGM)のカウンターパート1名、計2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」に参加開始、筑波の建築研究所等で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(2021年9月見込み)である。今年このJICA課題別研修はコロナの影響を受け、リモート講義で開始され、カウンターパート2名が本邦に渡航し、国際地震工学センター(IISEE)での受講ができるようになったのは12月に入ってからであった。

(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ブータン国内の6か所からなる高感度地震観測点と20の県庁(Dzongkhag)の震度観測点の補強、205の村庁舎(Gewogs)の簡易震度計の新設を行いティンプーのDGMで受信し、地震情報の発信を行う。得られたデータをアーカイブし、活断層や地震動増幅度の情報を合わせて全国及びパイロット地域における地震ハザードを評価する。R2年度は新型コロナ感染症の影響で渡航できなかったため、以下に記すように一部の活動による進捗のみであった。

(1-1) 地震観測強化

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(デジタイザ他)の更新を予定しており、2019 年度までに設置が未完了の広帯域地震計及び強震計の設置作業を実施した。しかし、2019 年度末の段階では一部の強震計の設置が未完了であり、2020 年度には全く作業を実施することができなかったため、現状に変化はない。図 2-1-1 に 2021 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。これらを総称して、以下、SATREPS 観測網と呼ぶ。

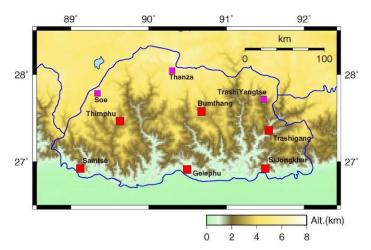


図 2-1-1:2021 年 3 月現在の地震観測点の分布。中部地域以南の大きな四角形■の 6 点がオンライン点、北縁付近の小さな 3 点の四角形■が、SATREPS 計画により設置したオフライン点を示す。後者は 2019 年 6 月末現在、3 点が稼動していたが、その後、機器の水没による故障により 2 点が休止中である。さらに一点は稼働状況が不明である。

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に 2017 年度からオフライン観測点の運用も行っている。これらは、北部国境に近い 3 点のオフライン観測点である。このうち、北東端の Trashi Yangtse 観測点については 2019年7月の回収時に機器が水没のため故障していることが判明し 2020年3月以降休止中であり、再開の予定は立っていない。Tanza については、2020年夏に DGM が、同じ MoEA の気象水文局 (HydroMet)に依頼してデータ回収を行ったがこちらも機器の浸水が判明しており、データは回収したものの内容の確認はできていない。Jangodang については DGM が保守予算を計上できていないため放置の状態が続いている。

水没により回収した供与済の機器のうちの1台は、メーカより修理不能証明が発行されており、 JICA 予算での機器の追加購入も困難であることから機材の数量が不足する事態となっている。DGM 側によるオフライン観測の維持管理の将来的な継続の可能性を含め、今後、関係者で協議を行い、 オフライン観測継続の意思が確認できた場合には、SATREPS 以外の別途予算を投入して機器の調達 を行い、SATREPS 期間中はその一部として運用することを検討する。SATREPS 終了後の扱いについて は、再度、DGM 側と協議を行うこととする。

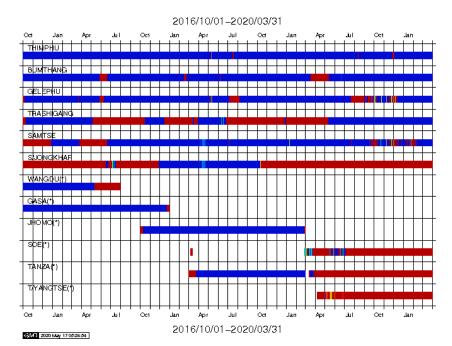


図 2-1-2:2016年10月から2020年3月までのデータ取得状況。上から6点がオンライン観測点の状況。その下の2点は撤収済、最下段の3点が稼働中または休止中のオフライン点。赤い線はデータを取得できていない期間を示す。

図 2-1-2 には、2016 年 10 月から 2020 年 3 月までのデータ取得状況を示す。その後、2020 年 5 月にオンラインデータのサーバーが外部から不法に侵入されたことが判明し、利用できない状況に陥った。COVID-19 のため、渡航しての復旧作業も実施できない状況であるため、2020 年 3 月以降のデータ取得状況は不明である。昨年度報告にも記載のとおり、通信回線の品質が劣悪であるために観測網の稼働率低く、現状では均質な地震活動のカタログを作成できる状況にはない。2019 年度の段階で、DGM は、データ伝送用の TCP/IP ネットワークを、政府直轄の GWAN (Governmental Wide Area Network)に移行する計画を立案したが、これも昨年度報告の通り、残念ながら稼働率の向上に寄与していない(図 2-1-3)。

なお、観測網運用のための基本的なインフラである TCP/IP ネットワークが DGM の計画通りに GWAN に移行された後は、その管理・運用は GWAN の管理者である DITT の管理下に入り、本 SATREPS プロジェクトの責任範囲外となりその管理の委細に立ち入ることはできなくなる。また、実際の運用にかかわる DGM/ICT の担当者の ICT 関連のスキルの底上げは必須であるが、これも本 SATREPS の所掌範囲外であり、また、日本側担当者の専門領域でないこともあり、本プロジェクトの資金で必要な Capacity Building を行うことは適切でないとの意見を JICA 担当者からいただいている。

このように、現状では SATREPS プロジェクト期間中及びその終了後についても、SATREPS 観測網 から得られるデータを用いての均質な地震活動データベースの作成が実施されるかは危惧されるところである。地震の震源決定を行うには、最低 4 点、理想的には最低 6 点の観測点が同時に稼働していることが望ましいが、SATREPS 観測網はオンライン点が 6 点のみであり、これが同時にすべて稼働することが困難であることが SATREPS 観測網が成果を出せない原因である。

そこで、本来は自ら運用する観測網で取得したデータを使用して必要な成果を得るスキルを得る

ことが第一義的に重要であるところであるが、方針を転換して、利用可能な他機関の観測網のデータを統合し、必要であれば SATREPS 観測網のデータをその機関の観測網の一部として運用してブータン国として成果を得ることも検討を開始したい。これは日本国内でも実施例はあり、大学等が運用する観測網のデータを気象庁にリアルタイムで分岐し、震源決定やカタログ作成等の作業は気象庁が行い、その成果を大学等が利用するというものである。

「研究グループA」のメンバーは SATREPS 開始以前の 2013 年頃よりブータンの地震観測網の構築計画に関わってきたが、その過程で、バンコクに本部のある国際組織 RIMES (The Regional Integrated Multi-Hazard Early Warning System for Africa and Asia) より、ブータン国内に 8 観測点から成る地震観測網の構築の申し出があり、2014 年 10 月にはその観測網の観測点配置等の具体的な計画についての会合が RIMES、DGM に加え、日本側からもメンバーが参加して Thimphu にて開催された。RIMES の観測網はその潤沢な予算によって最新の機器を調達して順調に構築が進展し、現在は 8 点から成る観測網が完成している。観測点配置は SATREPS 観測網と相補的になっている。なお、データ通信状況が劣悪であることは SATREPS 観測網と同様であり、データの均質性には問題が残されている。現在、SATREPS 観測網のデータを、RIMES 観測網のデータとマージする試みを開始しているが、両観測網は運用ポリシーが異なることもあり、基本的には別途運用されている。

そのため、今後の SATREPS の残期間で、SATREPS 観測網を RIMES 観測網に統合する作業を進めることを検討する。図 2-1-4 に両観測網を統合した後の観測点の配置を示す。これらを完全に一体として運用することで、合計 14 点のオンライン観測点が稼働することになり、6 点以上の観測点が同時に稼働する可能性が増し、記載される地震数が増えることが期待される。

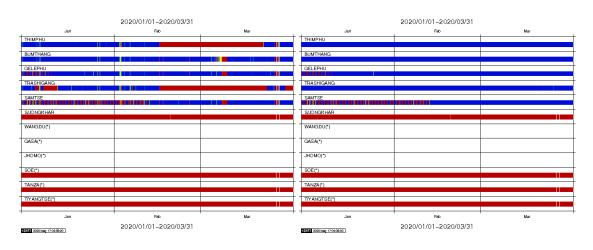


図 2-1-3:2020 年1月から3月末までの稼働状況。左図はリアルタイムでのデータ取得状況、右図は後日補完を行った後の収録状況を示す。上段6点のオンライン点のうち、ThimpuとTrashigangはGWANに転換した点であるが、稼働率の改善はみられていない。

(1-2) 震度観測強化

本サブテーマでは、地震ハザード評価の一環として、有感地震の震度情報及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した。図 2-2-1 は 20 県庁舎に設置された改良型フィリピン SATREPS 式 IT 震度計による震度分布の例である。

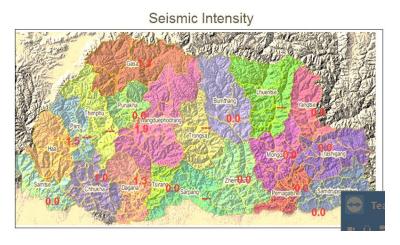


図 2-2-1:全国 2 0 県庁リアルタイム震度マップの例

本課題ではフィリピン SATREPS 式 IT 震度計を、性能をそのままに更に小型低価格化したブータン SATREPS 式震度計 (図 2-2-2) を開発し、全国 205 か所の村庁舎 (Gewog) に設置する。日本で主要 部品を調達・輸送し、組み立てはブータン DGM スタッフが行うこととした。

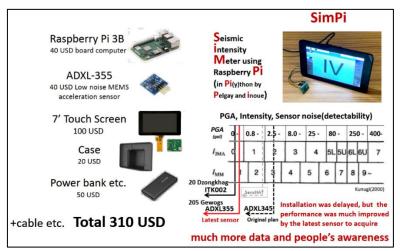


図 2-2-2: 簡易震度計の構成と震度検出限界

R1 年度は南部の 36 か所に Gewog 震度計を設置した。R2 年度は新型コロナ感染症の影響で計画が遅れ、15 か所にとどまった。震度計の部品とサーバー機材の調達と輸送はR2 年度で完了した。なおR3 年度は 2021 年 5 月 28 日時点で 27 か所の設置を完了し、合計 78 か所となっている (図 2-2-3)。

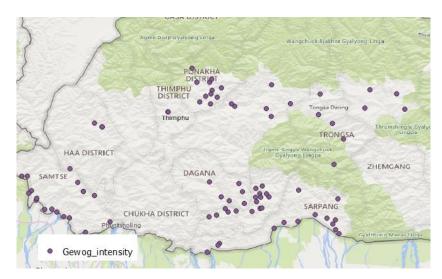


図 2-2-3: Gewog 震度計(2021/5/28 現在 78 か所)

この震度計ネットワークにより観測された 2021 年の二つの地震の計測震度分布を図 2-2-4 に示す。カラーのコンターは空間補間とフィッティングを行ったものである。

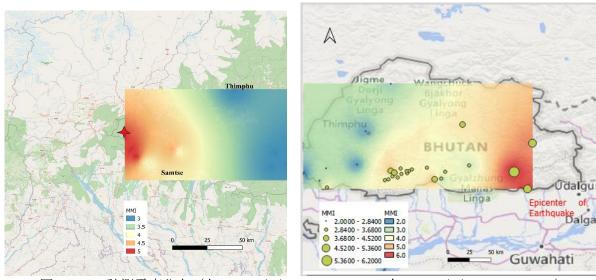


図 2-2-4:計測震度分布 (左:2021/4/5 Samtse M5.2、右:2021/4/28 Assam M6.0)

震度計のプログラムの一部が未完成だったため、観測データには高周波ノイズが原因と思われる誤動作が見受けられた。そのため元波形に低域通過フィルターがかかるようにプログラムを改造し、インターネット経由で更新予定である。南部地区の多くは夏季に電力とインターネットの両方を停止して、営業時間外の落雷を回避しているため、リアルタイムデータが得られない。これに対しての対策を現在検討中であるが、230か所の Gewog 震度観測網構築計画は、既存の電力・通信インフラに依存することによって単価を下げ、数量・密度を大きくしているため、UPSや独自のネット接続装置を付加することは困難である。

(1-3) 活断層調査

ブータンにおける巨大地震の危険度を明らかにすることを目的として、主要活断層の活動履歴を復元するためのトレンチ掘削調査の候補地を選定した。2019 年度において、ブータン西部でトレンチ掘削調査を実施したことから、2020 年度では、ブータン中部及び東部を対象にトレンチ掘削調査の候補地を検討した。ブータンの空中写真や CORONA 偵察衛星画像を用いたステレオ実体視を行い、1) 断層変位地形の認定、2) 断層トレースの正確な位置の把握、3) 断層露頭が想定される箇所の抽出、4) トレンチ候補地の選定を行った。検討の結果、6箇所の地点でトレンチ掘削調査もしくは断層露頭調査の候補地点(Site01~Site06)を選定した。以下に候補地の変動地形学的な特徴を示す。

Site01 (Samrang) は、Himalayan Frontal Thrust (HFT) の断層変位地形が認められる(図 2-3-1、図 2-3-2)。ここでは河川に直交する南向きの比高数十 m の断層崖だけでなく、その前面に数 m の低断層崖も認められる。この低断層崖は、極新期の活動を示す痕跡と見なせるのでトレンチ掘削調査の候補地点となりうる。

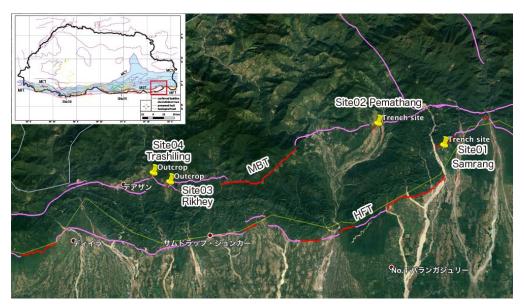


図 2-3-1: ブータン南東部の断層トレース

SiteO2 (Pemathang) は Main Boundary Thrust (MBT) の南落ちの断層崖である (図 2-3-2)。断層は高位段丘面を変位させており、その断層崖の先端がトレンチ掘削調査の候補地となりうる。

Site03 (Rikhey) \sim Site04 (Trashiling) にかけては、断層に対して直交する河川が多いこと、道路近くに MBT が通ることから、MBT の断層露頭を比較的容易に観察できる地点である(図 2-3-2)。 そのため MBT の変位様式や活動時期を特定できる新期の地層の変形が認められる可能性がある。また、Site03 (Rikhey) では段丘面上に南落ちの断層崖が認められる。

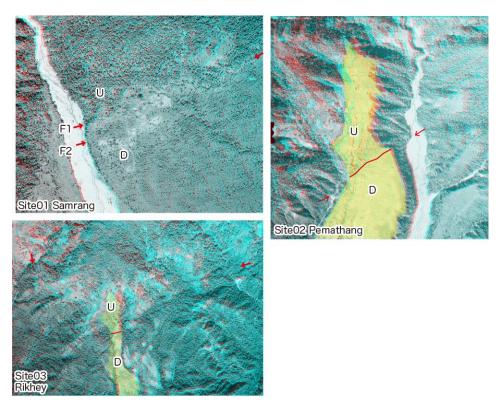


図 2-3-2: Site01~Site03 の断層変位地形のアナグリフ画像

Site05 (Panbang Town) は、明瞭なMBTの断層変位地形が認められ、断層露頭が期待できる地点である (図 2-3-3)。

Site06 (Rajrukh) は、川沿いの低位段丘上の断層トレースが認められる。この断層トレースは HFT から派生した右横ずれ断層とみられる。Google earth 画像で確認したところ、農地が広がっていること、離水時期も比較的新しいと考えられることから、トレンチ掘削調査の候補地となりうる(図 2-3-3)。

今後、現地の交通事情などを精査し、具体的な調査計画を検討する予定である。

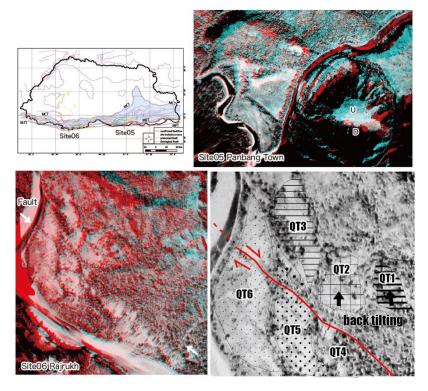


図 2-3-3: Site05、06 の断層変位地形のアナグリフ画像と Site06 の予察的な地形分類図

(1-4) 地震増幅度推定

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る。本課題ではR2年度までに2か所のパイロット地域において探査を行う予定であったが、新型コロナウィルス感染症の流行に伴い計画を延期しており、今後の見通しも立っていない状況である。

一方、Thimphu 市内であれば DGM 職員のみでも探査を行うことが可能であるため、地震動増幅度マップの作成の検討を行うために、R2 年度は Thimphu 市を対象とした微動探査を計画した。DGM 担当者とオンライン上で意見交換を行いながら測定地点候補を決定するとともに、予備測定した記録を用いて、効率的な測定を行うため諸条件(適切なセンサー同士の間隔や測定時間)について議論を重ねた。最終的に、Thimphu 市北部の 25 地点での微動測定を実施した(図 2-4-1)。



図 2-4-1:微動探査を実施した地点(青印)

図 2-4-1 に示す各地点において、空間自己相関 (SPAC) 法の適用を念頭に置き、4 台の地震計による半径 5m ならびに半径 10m の円形アレイ (中心 1 点、円周上 3 点)を展開し、約 30 分間の測定を実施した (図 2-4-2、図 2-4-3)。なお、半径 10m のアレイ測定を行うための用地が確保できない地点では、2 点のセンサーを 10m 離して同時測定する探査手法 (2 点 SPAC 法)を代用した。測定中に生じた疑問や問題点についてはその場でオンラインチャット等を通じて日本側担当者と議論し、滞りなく探査を行うことができた。H30 年度に実施した予備探査の結果と同様、測定された微動は 8Hz以上の周波数帯域でパワーを持ち、周囲を走行する車両や人の動きを反映したものと考えられる。表面波が抽出可能な周波数帯域も 10-30Hz 程度であると考えられる。TSP-1 地点の微動記録を用いた解析した結果 (図 2-4-4)では、Thimphu 川沿いであっても比較的地盤が硬質であることを示唆している。王宮や政府機関が立地する地域では川周辺に堆積物が存在する可能性が指摘されているため、堆積層の有無、層厚などにも着目して探査及び解析を進める予定である。ブータンへの渡航が難しい状況が続く間は、今後もリモートによる指導を継続する。



図 2-4-2:DGM 職員による微動探査の様子

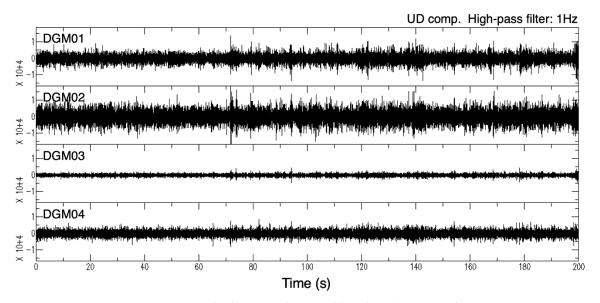


図 2-4-3: TSP-1 地点(図 2-4-1 右端の地点)で観測された微動波形の例

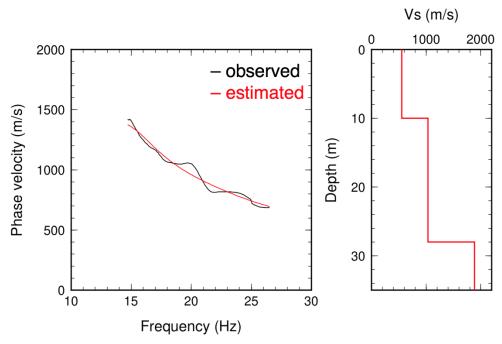


図 2-4-4: TSP-1 地点での解析事例 (左: Rayleigh 波位相速度、右: S 波速度構造)

2020年9月より、DGM 職員1名がJICA 課題別研修「地震学・耐震工学・津波防災」に参加し(2020年11月来日)、建築研究所で研修を受けている。来日中に実施する個人研究課題(政策研究大学院大学の修士論文テーマ)として微動探査を選択しており、野外測定及びデータ解析に必要な技術指導を実施しているところである。R2年度は、Thimphu市内の予備探査記録や日本国内で予め取得したテスト記録を用いた技術指導を行なった。データ解析はリモートサーバー上で行なっており、作業の進捗状況や不具合等を随時確認・共有することができるため、対面指導が不可能な状況が生じても効率的に解析指導を行う環境が整っている。上述のThimphu市内での微動探査記録を解析し、得られたS波速度構造の空間分布及び地盤増幅特性の結果を修士論文として取りまとめる予定である。

(1-5) 地震ハザード評価

R1 年度に作成した 2015 年ネパール・ゴルカ地震と同様の M7.8 の低角逆断層モデル(図 2-5-1) にもとづく強震動モデル(図 2-5-2)を 2020 年 1 月の淡路島で開催された活断層国際シンポジウムで発表し (Drukpa, Nakata & Kumahara, 2020)、2020 年活断層学会秋季大会でチベット高原の活断層詳細マッピング (Nakata, 2020)、ネパール中部 Hetauda Dun における断層地形の特徴 (Kumahara, 2020)と合わせて議論し、最新の情報を収集した。

- ▶ 2015Gorkha地震が地表に出なかった
- > MFTとMBT断層は低角度、北すぺり
- ▶ 長さ130kmの断層が割れてThimphuに達するワーストケース
- ▶ ブータン南西部に変動地殻からHFTとMBT (黄色線)を確認
- > 深さ2~17kmに北傾斜の断層モデル(赤線□)

Magnitude : = 7.8

Hypocenter: Lat. = 27.05

Depth: = 15.0 km

Fault top: = - 2.0km Fault bottom: = -16.6km Rake = 90 degree (to North)

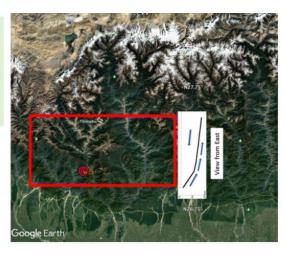


図 2-5-1: ブータン南西部に想定する M7.8 地震の震源断層モデル

シナリオ地震動計算結果 299 29 震源パラメタ Rupture mesh spacing = 10.0 km Region grid spacing = 1.0 km Attenuation: Maxi, distance = 150 km 28 距離減衰式GSIM = ChiouYoungs2008 28° サイトパラメタ H surface vs30 = 800 m/sec H depth = 80.0m (1.0 km/sec) H depth = 5.0km (2.5 km/sec)27° 27 断層がThimphuの直下(深さ16km)にあるため、 1G超の強震動が発生 高精度をめざして今後努力

図 2-5-2: 想定 M7.8 地震による強震動モデル

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 0JT を実施している。2020 年 10 月から DGM の Nityam Nepal 氏が JICA 集団研修コース「地震学・耐震工学・津波防災」に参加中である。個人研修として微動観測による地震動増幅特性の解析手法を林田研究員の指導で学んでいる。

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

新型コロナ感染症の影響で渡航ができていないため、現地での活動ができなかった。震度データの収集や震度計の設置等は DGM が自力で進めているが、遠隔コミュニケーションの難しさもあり、研究ははかどっていない。

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。

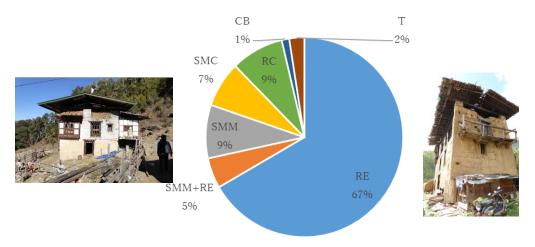
研究グループ B: 地震リスク評価 (リーダー: 高橋典之)

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

(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、構造物の脆弱性評価及び地震リスク評価を行うことを目的に、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努めるべく、後述の研究題目 2「耐震化技術の開発」と連携し、版築造及び石造の常時微動計測に伴う建物固有周期の概算法の策定、及び、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。

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。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として選択した Essuna (東西約 2 km×南北約 1 kmのエリア)(図 3-1、図 3-2)。また、石積造を中心とした集落のリスク評価パイロットサイトとして選定した Ura のリスク評価にむけて、リスク計算スキームの開発を進めた。



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)

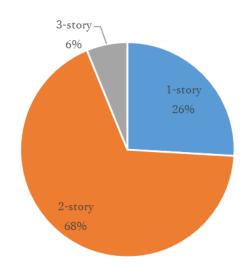


図 3-2: Essuna の悉皆調査 (階数分布、全数 81)

②研究題目1のカウンターパートへの技術移転の状況

新型コロナウィルスによるパンデミックの影響度、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、後述の研究題目 2「耐震化技術の開発」と連携し、内務文化省文化局 (DOC) 及び公 共事業省技術支援局 (DES) に対して、これまで常時微動計測による構造特性評価技術を現地技術者 に教育した経験を梃に (図 3-3、図 3-4)、人的連携を維持している。





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

新型コロナウィルスのパンデミックによる移動制限のみならず、緊急事態宣言発令下における施 設利用制限があるなど、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になった。

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・モデル化を進める。研究グループ A の成果として得られるハザード評価に基づき、構造物の地震応答パラメトリック解析に社会経済情報を影響度として見込むことで脆弱性評価を実施する。具体的には、ハザード評価で作成された. shp 形式ファイルに、上述の評価結果を加味したデータを Matlab Mapping Toolbox を用いてリスクマップを. kml 形式で生成することで、現地で継続的に運用可能となるよう配慮した。

(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

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、常時微動計測及び長期のモニタリング計測を継続して実施した。これまでの計測データに基づき、建物の高さと固有周期の関係を整理した。

(2-2) 材料実験 (現地)

コロナ禍でブータンに渡航できず、版築の耐震性向上を図ることを目的にした、版築の強度、含水率の実態調査が全くできなかった。しかしながら、国内で作製した模擬版築ブロックを用いて、無電源下でも、現場で、コアを採取し試験体を作製し強度試験ならびに静弾性係数の測定が可能なシステム、微破壊で版築内部含水率分布を測定数するシステムとして構築・検証した。

(2-3) 実大試験体静的・動的実験(現地)

H31 年度に続いて実大民家の静的載荷実験や要素試験体の振動台実験を行う予定であったが、新型コロナウィルスのパンデミックによる移動制限の影響により延期となった。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棟予定していた。振動台実験に用いる要素試験体は、版築壁(新築補強試験体)や石積造壁(無補強セメントモルタル試験体、新築マッドモルタル補強試験体、新築セメントモルタル補強試験体)を予定していた。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おり、移動制限が解除され次第、即座に実験を再開する。

(2-4) 構造解析

図 4-1 に示す石積造の実大実験を対象に構造解析を実施し、実験結果の再現性を検討した。構造解析に用いた材料定数は、既往の文献や別途実施した材料実験結果に基づいて設定した。図 4-2 に解析結果と無補強セメントモルタル石積造、補強セメントモルタル石積造、補強マッドモルタル石積み造の実験結果の荷重-変位曲線の比較を示す。解析結果と実験結果の荷重-変位曲線はすべてのモデルとも概ね一致し、構造解析で石積造の荷重-変位関係を再現できた。



図 4-1: 石積造実大試験体(a)、(b)の有限要素解析モデル(c)

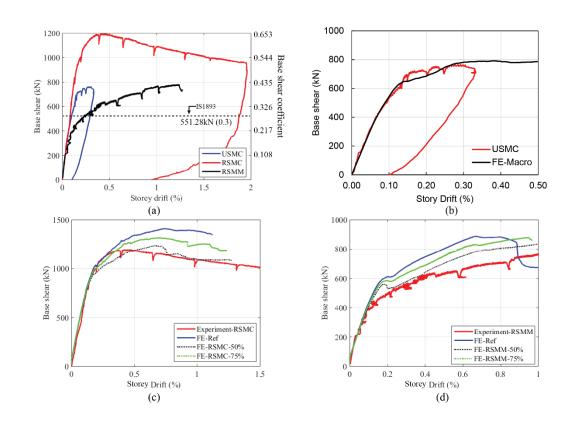


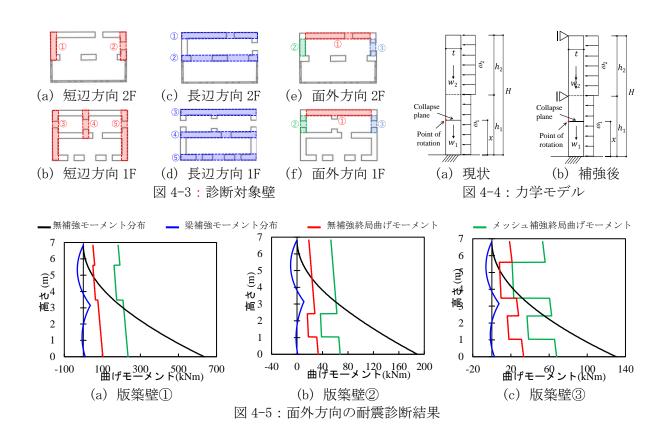
図 4-2: 石積造実大試験体の解析結果。(a) 実験結果と構造解析結果の比較、(b) 無補強セメントモルタル石積造、(c) 補強セメントモルタル石積造、(d) 補強マッドモルタル石積造

(2-5) 耐震診断法(国内)

日本及びインドの組積造建築物の耐震診断法を参考に、版築壁の面内方向及び面外方向について耐震診断法を提案した。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。面内方向の耐震診断では、面内方向の版築壁に生じるせん断応力度と版築のせん断強度を比較した。地震層せん断力は、インドの耐震診断法における設計用水平震度に日本の耐震診断法における地震層せん断係数の高さ方向分布を表す係数を乗じて設定した。図 4-3(a)~(d)に示す版築壁に対する診断の結果、面内方向の各版築壁に生じるせん断応力度は、短辺方向、長辺方向ともに版築のせん断強度を下回った。面外方向の耐震診断では、地震時に版築壁に生じる曲げモーメント分布を求め、版築壁の終局曲げモーメントと比較した。地震時の版築壁の曲げモーメント分布は、地盤面を固定端とし、片持ち梁に地震力が等分布荷重として作用している静定構造物として考えた(図 4-4(a))。図 4-3(e)と(f)に示す版築壁に対する診断の結果、診断対象の版築壁①~③いずれも生じる曲げモーメントが終局曲げモーメントを大きく超えており、耐震性能が不足していた(図 4-5)。

耐震診断の結果、面外方向の耐震性能が不足していたため、耐震補強工法としてこれまで検討してきたメッシュ補強と床梁接合部補強を実大民家試験体に適用し、補強後の面外方向における版築造民家の耐震性能評価を行った。床梁接合部を補強した場合、壁体の支持条件は地盤が固定端、2階床と2階天井をローラーとし、地震力が等分布荷重として作用している不静定構造物として考えた(図 4-4(b))。図 4-3(e)と(f)に示す版築壁に対する診断の結果、診断対象の版築壁①~③いずれも

生じる曲げモーメント分布が終局曲げモーメント以下となり、安全性が確認された(図4-5)。



(2-6) 耐震補強キットの開発

H31 年度に続いて、耐震補強キットの補強効果確認のための実大民家の静的載荷実験や要素試験体の振動台実験を行う予定であったが、新型コロナウィルスのパンデミックによる移動制限の影響により延期となった。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おり、移動制限が解除され次第、耐震補強キットの補強効果確認のための実験を再開する。

(2-7) 耐震化指針(国内)

これまでに収集した耐震補強工法の有効性に関する実験データや映像データなどを基に、ブータン王国の技術者にとって感覚的に分かりやすく、試験体の施工・実験の映像など視覚教材を多用した耐震化指針案を作成する予定であったが、新型コロナウィルスによる渡航制限のため、現地で実験ができず、データが揃わなかった。

(2-8) 建築構造基準の提案

上記(2-1)~(2-7)の結果に基づき、2021年度から実施する予定である。

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

新型コロナウィルスのパンデミックによる移動制限の影響により、当初計画していた実大民家の静的載荷実験や要素試験体の振動台実験が次年度に延期となった。移動制限が解除され次第、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を完了させた。

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

(3-1) 実施体制の確立

DOC、DES のメンバーとともに、技術者・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の整理を行った。

(3-2) 教材・普及プログラムの開発

現地でのヒアリング結果を受けて作成した版築造、石積造の施工マニュアルについて、カウンターパートの DOC、DES が内容の確認を行った(図 5-1、図 5-2)。DOC、DES からのコメント、及び、(3-4) における施工者研修で得られるフィードバックを反映して最終決定し、その後ゾンカ語への翻訳を進める。

また、施工マニュアルの電子ブック化の作業を開始した。

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 (図 5-3、図 5-4)。

(3-3) 指導者教育 (TOT)

DDM、DOC、DES と日本側研究チームとの協議で、以下のことを決定した。

- TOT は、県(Dzongkhag)の技術者に対して、耐震化の概要と耐震補強の正しい施工方法を教育することを目的とする。
- ・日本側研究チームの助言を受けながら、DOC、DESのメンバーが中心となって実施する。
- ・研修はオンラインで実施予定。

これに先立ち、DOC、DES メンバーと日本側研究チームで、TOT の研修プログラムを作成中である。 また、DOC、DES からの要望により、両機関の技術者に対して解析法・耐震診断法のオンライン講習を実施することとなった。7月中に第一回目の講習を実施する。

(3-4) 技術者・施工者教育(現地)

R3 年内に、既存建物に対する耐震補強の施工研修を行うことを決定した。参加候補者は、DOC と DES が県の協力を得るなどして、地方の大工棟梁などを対象に選定する。耐震補強を実施する既存版築建物が選定され、DOC が所有者との交渉を進めている。

この研修では、(3-3) の TOT に参加した県技術者が、SATREPS チームとともに、指導的役割を果たすことが期待される。

また、研修参加者からのフィードバックは、耐震補強方法の適切な普及に欠かせない。特にコロナ禍で渡航しての調査が難しい中、地方における鉄筋コンクリート施工品質の実態や民間建築に対する建築指導の現状を把握するための機会として活用する計画である。

(3-5)住民教育(現地)

(3-4) 技術者・施工者教育の理解度などを参考に、具体的な計画を進める予定である。

②研究題目3のカウンターパートへの技術移転の状況

版築造の施工マニュアル、石積造の施工マニュアルの最終確認や、VR による減災教育教材作成の 遠隔指導を通して、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。

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

新型コロナウィルスのパンデミックによる移動制限の影響により、当初計画していたカウンターパートである内務文化省防災局 (DDM)、文化局 (DOC)、公共事業省技術支援局 (DES) に所属する現地技術者を日本へ招聘して防災教育の研修を行う予定であったが、次年度に延期となった。そのため、R2 年度はメールや Zoom 会議により、版築造と石積造の施工マニュアルをゾンカ語に翻訳し、マニュアルの完成とマニュアルを用いたトレーニング方法に関する打ち合わせを行った。

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。

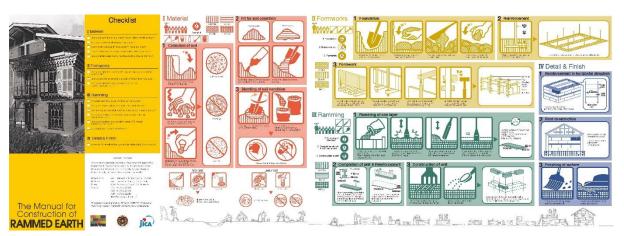


図 5-1: 版築造施工マニュアル

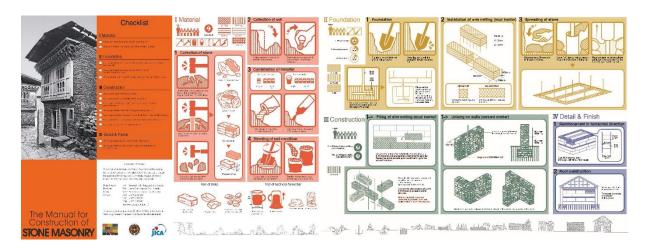


図 5-2: 石積造施工マニュアル

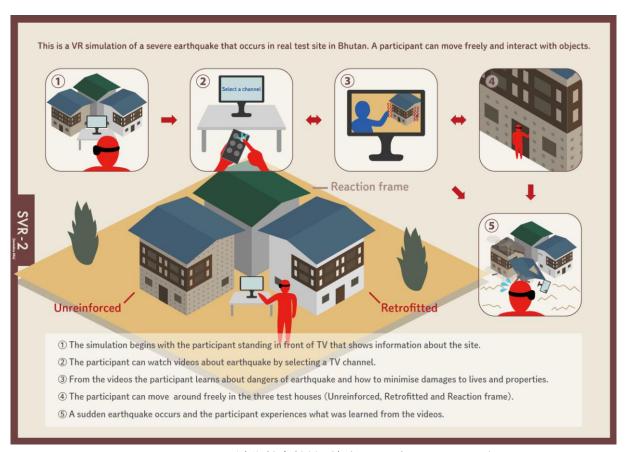


図 5-3: VR による減災教育教材 (新規バージョンチャート)

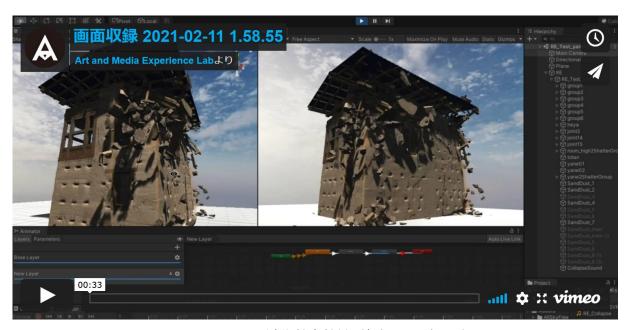


図 5-4: VR による減災教育教材 (新規バージョン)

Ⅱ. 今後のプロジェクトの進め方、及び成果達成の見通し(公開)

地震ハザード評価では、R3 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。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、 $http://www.\ satreps-bhutan.\ jp/$ 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る。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る。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。

(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。今年度は、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データ受け渡し形式 (. shp ファイル→. kml ファイル) の合意形成を進めるとともに、研究グループ C で実施した縮小模型による振動台実験結果を実大建物の振動特性に換算する(版築造やマッドモルタルなど強度調整の難しい材料を対象とした)特殊な相似則の精査を進めるのに尽力した。なお、. kml ファイルでのリスク評価結果の配布を想定しているのは、Google Earth などの特別なソフトウェアを用いないオープンサービスを用いて現地担当者(ブータン技術者)がリスク評価の現地展開を容易にできると考えたからであり、現地担当者が使いやすい(将来ガラパゴス技術にならない)I/O デバイスの選定に注意を払う必要がある。

・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。

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(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を確認することが重要である。また、現地担当者が使いやすい(将来ガラパゴス技術にならない)デバイスの選定に注意を払う必要がある。

(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。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: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。

渡航ができない状況にあって、コミュニケーションが滞りがちであった。オンラインの会議や 講習を定期的に実施するほか、SNS も活用して、積極的に意思疎通を図っていく。

【令和2年度実施報告書】【210531】

・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同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 R3 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 R3 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。

VI. 成果発表等【研究開始~現在の全期間】(公開)

別添参照

WI. 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】(<mark>公開</mark>)

①原著論文(相手国側研究チーム	との共著)
-----------------	-------

- 小小石口					
年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年.巻数,号数,はじめーおわりのページ	DOI⊐—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	10.1080/155830 58.2018.1433903	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/building s10030057	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		https://doi.org /10.1080/1558 3058.2020.1785 044	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/civile ng1030014	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.con buildmat.2020.1 21035	国際誌	発表済	
		論文数	8	件	

8 1 件 うち国内誌 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,はじめーおわりのページ	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

うち国内誌

0 0 件 0 件 うち国際誌

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,はじめーおわりのページ	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

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

3 WI 19-	コー人や用光されにマーユアル寺		T
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)	Introduction to TCP/IP Network Configure and Manage Network, and Application – 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れ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)

丰度	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 /ロ頭発表 /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 Uni., (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 Uni., (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), Nytiam 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, Ministory 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 Chophel ⁽³⁾ , Phuntsho 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, Ministory 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)Hiroshia 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, Ministory 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, Ministory 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, Ministory 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
		招待講演 ロ頭発表 ポスター発表	

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)

②子云光:	以子云光衣(工記()以外)(国际云巌光衣及()主安は国内子云光衣/					
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 /ロ頭発表 /ポスター発表の別			
2016		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			

ポスター発表

	ı		
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 木村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	<u> 荒巻卓見・</u> 湯浅昇(日本大学)、 固化村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・ <u>荒巻卓見(日本大学)</u> 、青木孝義・プンツォワングモ(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	<u>申相激</u> ・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阪築の圧縮強度に 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
2019	国内学会	申相澈(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 に及ぼす加水率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	Kshitiji 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 building、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
		招待講演	0

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

<u>var</u>	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	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

9712	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	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

Ⅵ. 成果発表等 (4)受賞等【研究開始~現在の全期間】(<mark>公開</mark>)

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	2010/3/20		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	
2019		2019年度日本建築学会大会	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	村井颯希	日本建築学会	1.当課題研究の成果である	

4 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	

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

(h)-)	72377 627	・一・シンボジウム・アウトリーチ等 	18 57	♦ +0 *	AL BB /	
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		JICA詳細計画策定調査全体会議	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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		Working Group Meeting	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (ブータン)	8	非公開	ブータン側作業部会、JCCの準備
	2018/10/1-	文部科学省「情報ひろば」企画展示『~	東京都			企画展示テーマのパネルと「地震直後における即時建造
2018	2018/11/9	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』	(日本)		公開	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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	ティンプー市 (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	in Bhutan using Science and	ティンプー市 (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	Tachaslaw』 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
2020	2021/2/28	 研究グループ会議	名古屋市立大学	4(0)	非公開	ルーノ、音及グルーノ芸蔵 耐震化グループ、普及グループ会議
	/#		(日本)	· ·		

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	5.機材の鎌世式		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		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

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	青木 孝義
(所属機関)	(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5年3月31日)
相手国名/主	ブータン王国/内務文化省災害管理局、内務文
要相手国研究	化省文化局、経済省地質鉱山局、公共事業省技
機関	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	・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

ニュアル、

データなど)

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

100%

