

令和 3 年 6 月 25 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(B)（海外学術調査）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04632

研究課題名（和文）ブータン王国の農業用水需給バランス評価と棚田地形を活かした小規模貯水施設の開発

研究課題名（英文）Estimation on supply-demand balance of agricultural water in the Kingdom of Bhutan and development of small-scale water reservoir facilities utilizing terraced topography

研究代表者

長束 勇（NATSUKA, Isamu）

島根大学・生物資源科学部・名誉教授

研究者番号：90379694

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、開発途上国で容易に応用可能で経済性に優れ、耐震を含めた安定性を有する小規模ため池の工法開発を実施した。根幹となるため池築造技術に関する研究としては、ベントナイトを利用する研究を進めた。ベントナイトの膨潤特性の管理や強度特性など、安定した貯水施設の利用に関する課題解決のため、ベントナイトの種類、ベントナイト混合土を室内試験にて一定の条件で確認するための母材、ベントナイト添加率と物理的・力学的特性の評価を行った。本実験で確認した条件下でのベントナイト混合土に対して、透水性の評価までを行い、十分に実用に耐える配合条件を確保できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で築造した貯水池については、現地カウンターパートによる漏水や貯水位の異常などの継続的な監視を続け、貯水開始後1年を経過しても異常は確認できなかった。ベントナイトを利用した貯水施設の築造技術について、実用的な配合条件を確認できたことが、本研究の大きな学術的意義である。また、DOA主導で当研究グループの助言のもと、新たなため池の築造を行い、現地技術者への技術の普及の可能性を確認することができた。よって、本研究課題の主目的となる発展途上国における小規模ため池の築造技術の開発と社会実装を実現できたことが、本研究で得られた有益な社会的意義である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a construction method for small-scale reservoirs that can be easily applied in developing countries, is economical, and has stability including earthquake resistance. As a fundamental research on reservoir construction technology, we have conducted research on the use of bentonite. In order to solve problems related to the use of stable water reservoir facilities, such as the management of swelling characteristics and strength properties of bentonite, we evaluated the types of bentonite, the base material used to mix bentonite with soil under certain conditions in laboratory tests, the rate of bentonite addition, and the physical and mechanical properties of the soil. The permeability of the bentonite mixture under the conditions confirmed in this experiment was evaluated, and it was confirmed that the mixing conditions were sufficient for practical use.

研究分野：施設機能工学

キーワード：ブータン王国 小規模貯水施設 農業用水需給バランス 棚田地形 用水計画

## 1. 研究開始当初の背景

南アジアに位置するブータン王国(以下 B 王国)は、近年に国民総幸福量(GNH: Gross National Happiness)という言葉の広がりとともに、親日国として認識が深まった国である。しかし、国民一人あたりの GDP は我が国の 10 分の 1 以下と、経済的には発展途上にある。B 王国で農業は重要な基幹産業であり、労働人口の約 9 割が自給的な農業もしくは放牧業に従事している。農業生産は GDP の約 30~40%を占め比較的安定しているものの、生産性の向上に問題を抱えている。その要因として、我が国との共通項でもある、水資源管理と農業用水確保の問題が挙げられる。ヒマラヤ山脈東端の標高 7,000m 級高山から、南部には標高 100m の亜熱帯気候を含むこの国は、全体的に急峻な地形となっており、効果的な水資源の管理なしには、農業用水資源の安定供給は困難とされる。しかし、現況では降水や渓流水を効果的に貯水できる施設がほとんどなく、既存の貯水施設も構造的な問題を有するなどといった、貯水に関する問題点を持っている。また、2015 年のネパール地震に代表されるように、B 王国も安全な施設構築のために、耐震設計思想を導入する必要がある。

B 王国内にも発電用の大規模なダムが整備されつつある。しかし、その築造に必要な技術の多くは海外からの支援や技術協力によるものであり、本質的に貯水施設の建設技術と異なる。すなわち、B 王国単独では貯水施設の設計・施工から維持管理できる体制は整っていない。たとえば我々が 2014 年 3 月~4 月および 2015 年 1 月に行った予備調査で、B 王国独自で設計・施工をした小規模なため池を視察したところ、どれも漏水が起きていることが確認された。通常、ダム構造物は基礎地盤とダム躯体の境界部分が適切に処置されていれば、境界部分からの漏水は発生しない。また、ダム躯体そのものについても、施工管理が良好であれば、漏水の原因とはならない。したがって、この事例において遮水性の不良と考えられる部分は、基礎地盤、取付周辺地盤、躯体・地盤の境界、の三箇所と推定され、とくに、通常のダム技術では当然のことである境界部分での遮水対策がなされていないことが原因である。

このような背景から、貯水施設の設計・施工・管理に関する基本的な技術支援が必要と考えられる。一方、当地には棚田における石垣構築技術や家屋建築に粘性土を突き固める版築技術などの伝統的技術が保有されており、それらの技術を活かした耐震性に優れた安全な貯水施設の開発を行って、全体としてこの国にふさわしい貯水システムの構築を図ることが有効と考える。

## 2. 研究の目的

研究の目的は、以下の通りである。

- (1) 現状の貯水施設の状況把握：農業生産性向上に必要な水資源確保を考えるためには、まず急峻な地形に多くの棚田水田が構築されるという B 王国特有の農地現場における現状の農業用水の利用状況を把握することが必要である。本研究では、棚田稲作が営まれるパロ、プナカ周辺に調査対象地域を特定し、既存の貯水施設の現況評価および設計図書や水利用データの収集を図る。これにより、現在の貯水システムが抱える課題と地域における水の需給バランスを分析する。
- (2) 既存の貯水施設の機能評価：とくに周辺地盤からの漏水等のため池の機能低下に注目するが、築堤材料がコンクリートである場合は、前提となるコンクリート躯体の健全性を確認するための局部破壊・非破壊試験を実施し、将来懸念されるコンクリート材料劣化の原因を特定することが可能な基礎データの収集を行う。並行して、設計図書等資料の入手・分析により、生じている問題の原因特定(築堤時の基礎処理、あるいは施工管理方法)の判断を行う。
- (3) 適切な集水域の設定と的確な貯水量の計画・設計およびこれに係る研究：上記(1)および(2)の調査結果に基づく適切な集水域の設定、的確な貯水量の計画、新規の貯水施設設計の検討を行うとともに、これに係る詳細な気候的・地理的特徴の把握と、貯水施設に要求される機能・性能の設定を行う。
- (4) 伝統技法活用の可能性検討：B 王国では棚田に石垣を利用し、家屋建築には粘性土を突き固める版築技術を有している。このような伝統的工法を、棚田地形を利用した小規模な貯水施設構築の技術に利用する可能性について、地震時の安定性を含めて検討を行う。

## 3. 研究の方法

本研究では、棚田地形を利用した小規模貯水池の建設に向けた調査・実験を行う。主となる項目は、貯水池の建設基盤事項の評価に関する調査と、貯水池の建設に使用する材料の特性評価・現地伝統技術の活用に関する実験である。前者については、設定したモデル地区(棚田稲作地帯)の農業用水資源の現況調査を踏まえ、用水計画を検討する。また、棚田から採取したサンプルの土質試験および原位置試験により、棚田地形地盤の貯水池基盤としての適合性を評価する。後者については、得られたデータをベースに、貯水池の構造形式および工法について、現地の材料・工法の有効活用のみでなく耐震性能を含めた検討を行う。室内試験と実証試験は日本と B 王国の両方で進め、現地で最適な小規模貯水施設の施工法を提案する。

## 4. 研究成果

初年度となる 2017 年度は、研究代表者と分担者が集まる機会を 3 度（7/1 東京，2/15 島根，3/2 岡山）設け、研究の全体像の把握と各々の分担内容、現地調査の事前打合せ、研究実施状況の確認について、綿密に打合せを行った。また、9/21～26 まで B 王国にて、現地打合せおよび調査を行った。現地では、B 王国農林省農業局（DOA）の担当技術者および Chief Engineer との会談を調査事前、事後の二度にわたって行った。2018 年 3 月 13 日～19 日には、急峻な棚田地形を有し、水資源の不足が課題となっているタイ王国北部（Chiang Mai）の現地調査を行った。現地カウンターパートはタイ王国農業・協働省農業局（DOA）である。B 王国と同様に、急傾斜地の農業地帯では安定した水資源の確保が喫緊の課題であり、タイ王国 DOA 所管の研究センターであっても、水源確保が課題となっていること、センター内に小規模貯水施設を設置する試みの現況と今後の計画を聞き取り、B 王国と同様の急傾斜地における水源確保が課題であることを確認した。

これら二度の現地調査ならびに国内での研究打合せを踏まえ、日本国内で実施する実験・解析の課題の抽出を終えるとともに、さらに現地調査が必要となる項目を確認した。とくに B 王国の小規模貯水池を建造する際に応用可能と考えられていた伝統技術のひとつである版築工法は、単独では十分な機能および安全性を発揮しないことから、当初予定どおり、開発途上国で容易に応用可能で経済性に優れ、耐震を含めた安定性を有する工法開発を同時に進めることを確認した。

2 年目となる 2018 年度は、初年度の成果を踏まえ、日本国内で実施する実験・解析の課題について取り組むこととした。一方、B 王国側のカウンターパートである農林省農業局（DOA）との共同研究の推進（とくに Visa 取得、計測機器や資材の B 王国内への搬入）に、日本の大学との関係の明文化が求められたことに加え、B 王国の国政選挙から政権交代（2018 年 12 月）があり、現地調査等の進行を止めざるを得なかった。その中で、研究分担者である佐藤周之氏が 2018 年 6 月に単独で渡航し、DOA のチーフエンジニアと面談をし、現地実証実験のフィールドの確認と今後の工程を確認した。

本研究課題のゴールは、開発途上国で容易に応用可能で経済性に優れ、耐震を含めた安定性を有する小規模ため池の工法開発である。根幹となるため池築造技術に関する研究としては、ベントナイトを利用する研究を進めた。ベントナイト混合土によるため池堤体内の遮水層構築は、理論的には可能である。しかし、ベントナイトの膨潤特性の管理や強度特性など、安定した貯水施設の利用には課題が残っていたことから、ベントナイトの種類、ベントナイト混合土を室内試験にて一定の条件で確認するための母材、ベントナイト添加率と物理的・力学的特性の評価を行った。本実験で確認した条件下でのベントナイト混合土に対して、透水性の評価までを行い、十分に実用に耐える配合条件を確保できることを確認した。

2019 年度と 2020 年度は、耐震性および浸透特性の解析を国内で進めながら、B 王国内における現地実証試験の具体化を進めた。具体的には、現地で確保できるベントナイトならびに母材を用いたベントナイト混合土の特性評価、ならびにため池堤体の建造技術への応用である。現地実証試験に必要な資機材の国外からの搬入に必要な公式な関係構築（高知大学と B 王国 DOA との協定締結）が、B 王国側の諸事情（政権交代に伴う外交ポリシーの変化）により遅れが生じたが、最終的には 2019 年 8 月に承認された。これを受け、2020 年 2 月～3 月に、タンパ など軽作業を利用したベントナイト混合土の諸特性を現地にて検証しながら、実証用ため池の築造を行うことができた。2020 年 4 月初より湛水を開始し、現地カウンターパートによる漏水や貯水水位の異常などの継続的な監視を続け、そのために本研究課題の事業期間を 1 年間延長した。貯水開始後 1 年を経過しても異常は確認できなかった。また、DOA 主導で当研究グループの助言のもと、新たなため池の築造を行い、現地技術者への技術の普及の可能性を確認することができた。本来であれば、事業期間の延長中に現地での調査を予定していたが、コロナウイルスの感染拡大による B 王国の国境閉鎖などが続いているため、実現できなかった。しかし、本研究課題の主目的となる発展途上国における小規模ため池の築造技術の開発と社会実装は、概ね実現することができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 石井将幸, 長束勇, 佐藤周之, 佐藤嘉展, 長谷川雄基, 上野和広	4. 巻 86(10)
2. 論文標題 開発途上国で持続可能な小規模水源施設を実現するために	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 水土の知	6. 最初と最後の頁 21-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 UENO Kazuhiro, NATSUKA Isamu, SATO Shushi, ONJO Norio	4. 巻 17(60)
2. 論文標題 CONSTRUCTION OF EARTH FILL STRUCTURE FOR SMALL FARM POND BY USING BHUTANESE TRADITIONAL WALL MAKING METHOD	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of GEOMATE	6. 最初と最後の頁 156-161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21660/2019.60.8329	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 長束勇	4. 巻 28(1)
2. 論文標題 ダムと私	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ダム工学	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 長束勇	4. 巻 2018
2. 論文標題 ブータン王国における貯水施設の補修改修に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業農村工学会農業用ダム研究会報告書	6. 最初と最後の頁 113-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 上野和広, 長束勇, 佐藤周之, 園城典雄
2. 発表標題 ブータン王国の伝統的技術を用いて築造した貯水池の追跡調査
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 UENO Kazuhiro, NATSUKA Isamu, SATO Shushi, ONJO Norio, Karma Tshethar and Kelzang Tenzin
2. 発表標題 Construction of Earth Fill Structure for Small Farm Pond by using Bhutanese Traditional Wall Making Method
3. 学会等名 8th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 20-22, 2018, ISBN: 978-4-909106001 C3051 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小林 範之  (KOBAYASHI Noriyuki)  (00314972)	愛媛大学・農学研究科・教授    (16301)	
研究分担者	石井 将幸  (ISHII Masayuki)  (50293965)	島根大学・学術研究院環境システム科学系・准教授    (15201)	
研究分担者	上野 和広  (UENO Kazuhiro)  (60560167)	島根大学・学術研究院環境システム科学系・助教    (15201)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	長谷川 雄基  (HASEGAWA Yuki)  (70797092)	香川高等専門学校・建設環境工学科・助教    (56203)	
研究分担者	佐藤 周之  (SATO Shushi)  (90403873)	高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・准教授    (16401)	
研究分担者	佐藤 嘉展  (SATO Yoshionbu)  (90414036)	愛媛大学・農学研究科・准教授    (16301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関