

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

Follow-up of small earth dam constructed by using Bhutanese traditional wall making method

○上野和広*, 長束 勇**, 佐藤周之***, 園城典雄****

UENO Kazuhiro*, NATSUKA Isamu**, SATO Shushi***, ONJO Norio****

1. はじめに

ブータン王国は、ヒマラヤ山脈東端の標高7,000m級高山や、南部の標高100mの亜熱帯気候を含むことから全体的に急峻な地形であり、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である。しかしながら、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。ブータン王国の重要な基幹産業である農業の生産性の向上に向け、2015年に現地の伝統的技術を活用した貯水池の築造が行われた。本稿では、この貯水池の追跡調査を行った結果について報告する。

2. 貯水池の概要

追跡調査は、2015年10月～12月に Gebekha村で築造された貯水池で実施した。この貯水池は、共著者らの現地指導の下、日本のNGOの支援で建設が開始された。ただし、現地指導時は秋の収穫期であったため、指導終了後に一旦作業を中断し、収穫後に村人達のみで施工を再開した。貯水池の堤体の計画断面はFig.1(a)に示す傾斜コア型(堤高1.8m)である。しかしながら、現地指導の終了後、村人の独自判断でFig.1(b)の垂直コア型に変更された。これは、村人達が作業量の増大と貯水量の減少を危惧したためと推察される。また、実際に築造された堤体では、コア層の貯水池側に計画されていたランダム層がなくなり、コアが暴露された状態で貯水が行われた。貯水池

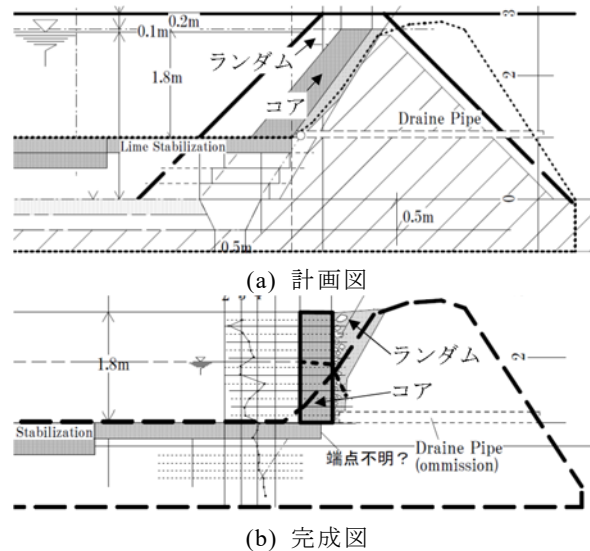


Fig.1 堤体の断面図
Cross section of small earth dam

の築造過程を以下に示す。

(1) 貯水池基盤部分の安定対策

既存池底を清掃した後、貯水池基盤全体を25～50cm掘削し、掘削土から雑物(有機物など)を除去した。当初は機械掘削により150cm掘削する予定だったが、機械の手配ができなかったため、人力で掘削可能な深さに変更された。掘削土の再転圧により基盤の造成を図ったが、十分な強度が得られなかったため、セメントによる安定処理を実施した。

(2) コア材の盛り立て

コア材には、貯水池近隣の旧水田や畑作跡地の土を使用した。含水比調整を行った後、ブータン王国の伝統的技術(版築技術)を用いてコアの築造を行った。版築技術は、型枠内で粘性土を人力で突き固め、壁体を構築する技術(Fig. 2)であり、ブータン王国では家

*島根大学, Shimane University, **島根大学名誉教授, Emeritus Professor in Shimane University, ***高知大学, Kochi University, ****海外農業開発コンサルタント協会, Agricultural Development Consultants Association, キーワード: ブータン王国, 版築工法, 簡易動的コーン貫入試験



Fig.2 版築工法
Wall making method

屋の建築に用いられる。コアの盛り立ての仕上がり厚さは、1層あたり約8cmである。3層(約25cm)の盛り立てが完了する毎に現場透水試験を実施し、透水係数が 1×10^{-5} cm/sec以下であることを確認した後、順次上層の施工を行った。現場密度試験による締固め度の管理は行っていない。

3. 追跡調査結果

2017年9月に先述した貯水池の追跡調査を行った。Fig.3に追跡調査時の貯水池の状況を示す。貯水深さは約90cmであった。暴露状態のコアは部分的に表面から崩壊が始まっていた。版築工法で構築した堤体の安定性を推定するため、崩壊が生じていない堤体部を対象に簡易動的コーン貫入試験を実施(3か所)した。得られた打撃回数 N_d を以下の式で N 値に変換した。

$$N_d > 4: N = 1.7 + 0.34 N_d$$

$$N_d \leq 4: N = 0.75 N_d$$

深度毎の N 値の平均値をFig.4に示す。 N 値は2~5の範囲の値を示し、深度の増加に伴って徐々に増加した。全体的に、 N 値は現在の転圧工法によって構築された盛土で得られるものと比較して小さい。今回の調査では、時間的な制約から堤体土の締固め度や強度を確認することができなかった。そのため、堤体の安定性を詳細に評価できていない。しかしながら、Fig.4の N 値からは、版築工法による人力転圧では、十分な締固めエネルギーを得ることが難しいと推察される。したがって、ブータン王国の伝統的な版築工法を用いて堤



Fig.3 追跡調査時の貯水池の状況
Condition of small earth dam at follow-up

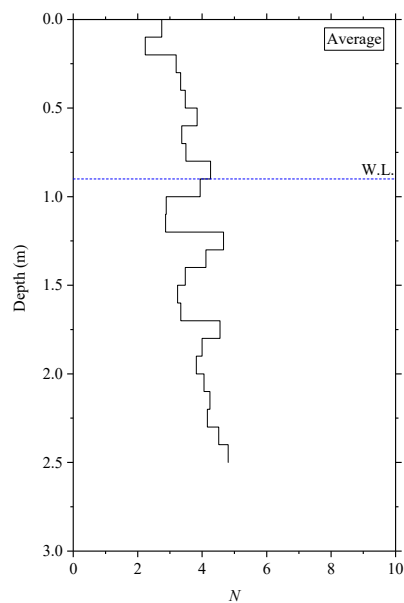


Fig.4 深度毎の N 値
Relationship between N value and depth

体を築造する場合、建設する堤体の条件や基礎に応じて転圧技術などの改善を考慮する必要があると考えられる。

4. まとめ

追跡調査の結果、ブータン王国の伝統的技術を用いて貯水池の堤体を築造するには、築堤技術の改善が必要であることが示唆された。今後、現地で適用可能な築堤技術の改善手法について検討を行う予定である。

謝辞：本研究は科学研究費助成事業(基盤研究(B))(17H04632)の助成を受けたものである。記して謝意を表します。