

古代スリランカの水利施設に関する基礎的研究 ～マハ・エラガムワ貯水池の樋門構造～

鈴木 慎也¹

¹正会員 東京工業高等専門学校 一般教育科 (〒193-0997 東京都八王子市櫛田町 1220-2)

E-mail:s_suzuki@tokyo-ct.ac.jp

古代の貯水池に敷設されたソロウワと呼ばれる利水放流施設は、高度に発展した貯水灌漑システムの根幹を成す水利施設である。しかしながら、その重要性に比して、水利遺構を対象とした発掘調査は少なく、平面図等の基礎資料が不足していることから、体系的な研究が困難な状況にある。

本研究では、アヌラダプラ県南部のマハ・エラガムワ貯水池のソロウワを対象とした三次元計測調査を実施し、これまで不明瞭であった暗渠部の石組みの詳細を明らかにした。暗渠部の両側面は流水方向に長大な石材によって築造されているのに対し、天井部分は側壁に用いられている石材と比べ、小さなものが使用されており、複数の接合部分に大きな隙間が存在することが確認された。つまり、暗渠内部を流れる水が、天井部まで達することを想定した造りではなかったこと、そして、貯水池側にあったと考えられるピソーコトゥワが何らかの水量調節機能を有していたことを示唆するものであると言える。

Key Words: SfM-MVS, Photogrammetry, Sorouwa, Bisokotuwa, Irrigation system, Sri Lanka

1. はじめに

スリランカは熱帯性モンスーン気候に属し、島の北半分を占める乾燥地域では、年間降水量の約7割が雨季に集中している。そのため、天水だけでは乾季の耕作が困難であったことから、古代から多くの貯水池や水路が築造されてきた。これらを基盤とした貯水灌漑システムは、上流からの排水を下流で用水として反復利用することを可能とした画期的なものであり、北部乾燥地域はこれによって、千年以上にわたって一大穀倉地帯として繁栄を極めた。この貯水灌漑システムの根幹を成したのが、ソロウワと呼ばれる利水放流施設である。取水暗渠部、排水暗渠部、ピソーコトゥワと呼ばれる立坑部で構成されるソロウワは、巨大な貯水池を決壊の恐れなく築造することを可能とした大変重要なものである(図-1)。

しかしながら、仏教考古学が中心のスリランカでは、ソロウワなどの水利遺構を対象とした考古学調査がほとんど行われておらず、平面図等の基礎資料が著しく不足していることから、編年構築などの体系的な研究が困難な状況に置かれている。劣化が進んでいる遺構も多く、中には盗掘や貯水池の修繕工事によって半壊、全壊してしまったものも少なくない。このような中で、水利遺構の考古学的な基礎資料の収集と編年構築、および遺構の

保護策の提案は、喫緊の課題と言える。

そこで筆者は、ソロウワの編年構築と築造技術の歴史的変遷の解明を目的とした、水利遺構の三次元計測調査に取り組んでいる。2019年に実施したコラサガラ貯水池の調査では、築造年代の異なるカティヤワ貯水池(特徴:底部に柱穴)とミネリヤ貯水池(特徴:底部に張り出し)の特徴を併せ持ったピソーコトゥワが新たに確認され、築造技術が長期間に渡り継承されていたことが改めて確認された¹⁾。

本稿では、2022年にアヌラダプラ県南部のマハ・エラガムワ貯水池で実施した三次元計測調査の成果について報告する。

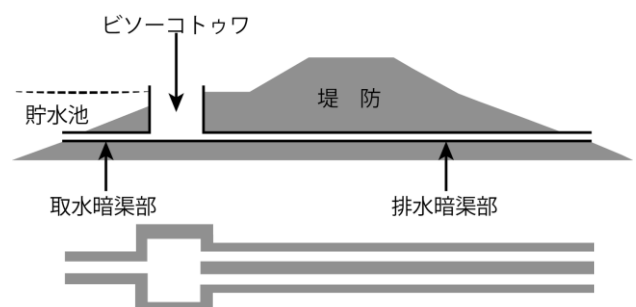


図-1 ソロウワの構造

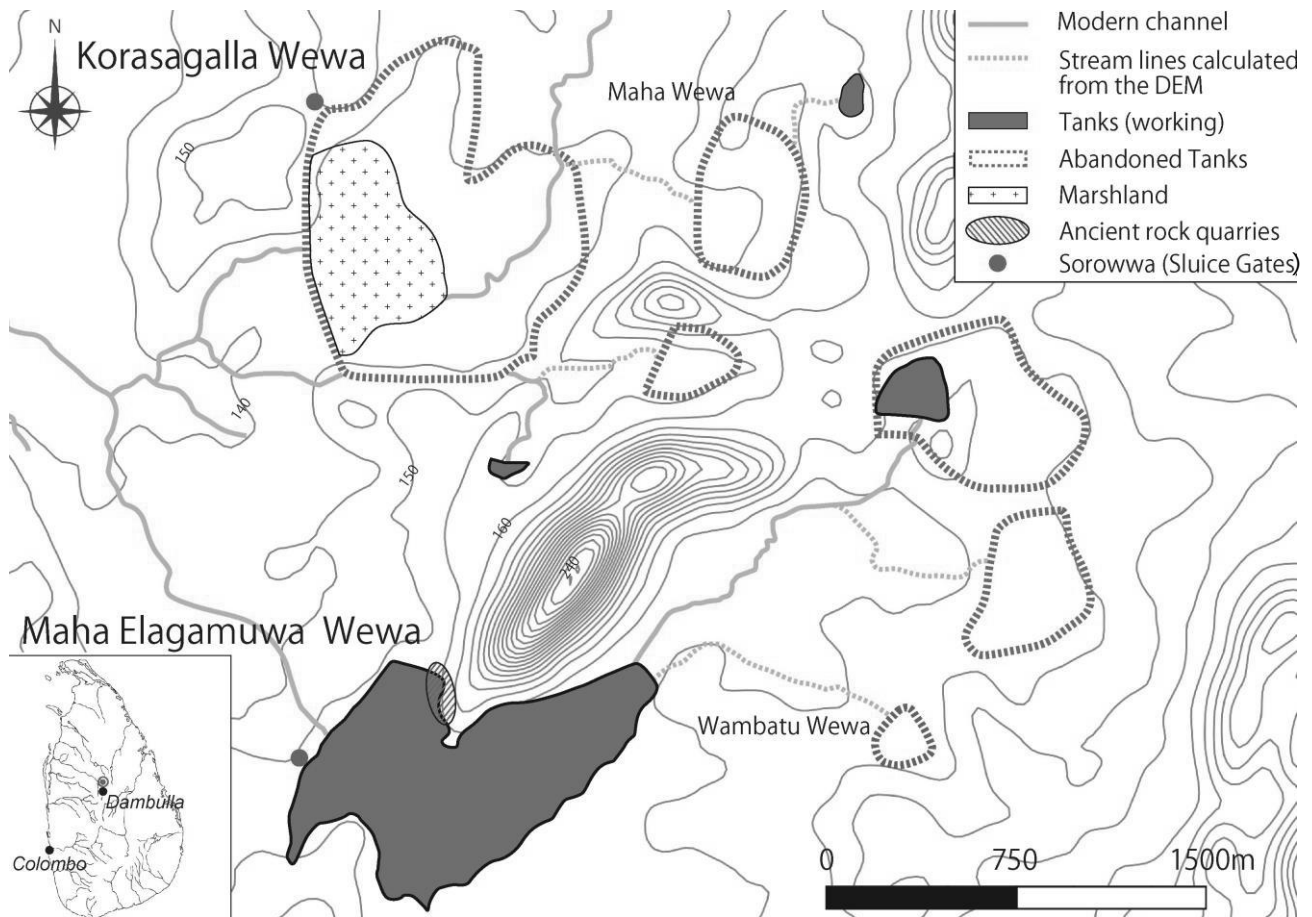


図2 マハ・エラガムワ貯水池とその周辺

2. マハ・エラガムワ貯水池の概要

(1) 周辺環境

マハ・エラガムワ貯水池が位置するカラー川流域は、スリランカで三番目に広い流域面積（約 2,870 km²）を誇る。流域の約 8 割が乾燥地帯に属しており、年間平均降水量は 1192mm（1980 - 2013 年の平均）と、島内でも特に降雨量が少ない地域である。そのため、流域内には中規模、大規模貯水池だけではなく、約 600 の小規模貯水池（放棄された貯水池も含む）が存在しており、現在も灌漑用水の供給だけではなく、様々な恩恵をもたらしている²⁾。マハ・エラガムワ貯水池は、このカラー川流域の中流域に位置するカラー貯水池の集水域に含まれている。この集水域内には 2019 年に調査したコラサガラ貯水池も含まれており、マハ・エラガムワ貯水池やコラサガラ貯水池などの中規模貯水池が下流に位置する大型のカラー貯水池に水を供給する、という典型的な貯水灌漑システムを確認することができる（図-2）。

(2) マハ・エラガムワ貯水池の現況

マハ・エラガムワ貯水池の堤体は、片麻岩、珪岩等を母岩とする南北方向に点在している、4~5m 高の自然岩丘を利用しながら築造されていることが、現在の洪水吐

周辺の地形観察から理解できる。マハ・エラガムワ貯水池のソロウワは、この点在する自然岩丘の間を通すようにして敷設されたものと推察される。今回調査したソロウワは、19 世紀以降に行われた大規模改修の際に、取水暗渠部とビソーコトゥワが完全には破壊されており、貯水池側の堤体斜面には、その部材と思われる石材が散乱している。そのため、遺構として現存しているのは、ソロウワの排水暗渠部及び排水口のみとなっている。

3. 調査方法

ソロウワの三次元計測調査には、SfM/MVS（Structure from Motion/Multi-View Stereo）技術を用いた。SfM は複数視点からの画像を元に、画像の撮影位置と撮影物の三次元的な関係と形状を復元する方法であり、MVS は得られたカメラ位置などのパラメーターから高密度の点群を生成する方法である。三次元モデルの作成には Agisoft 社 Metashape（Standard）を、展開図の作成にはオープンソースの CloudCompare をそれぞれ用いた。また、今回の調査では、LiDAR 機能搭載のスマートフォン「iPhone 13 Pro Max」と三次元モデル作成アプリ Metascan Ver.2.6.2 を用いた堤体の三次元計測も併せて実施した。

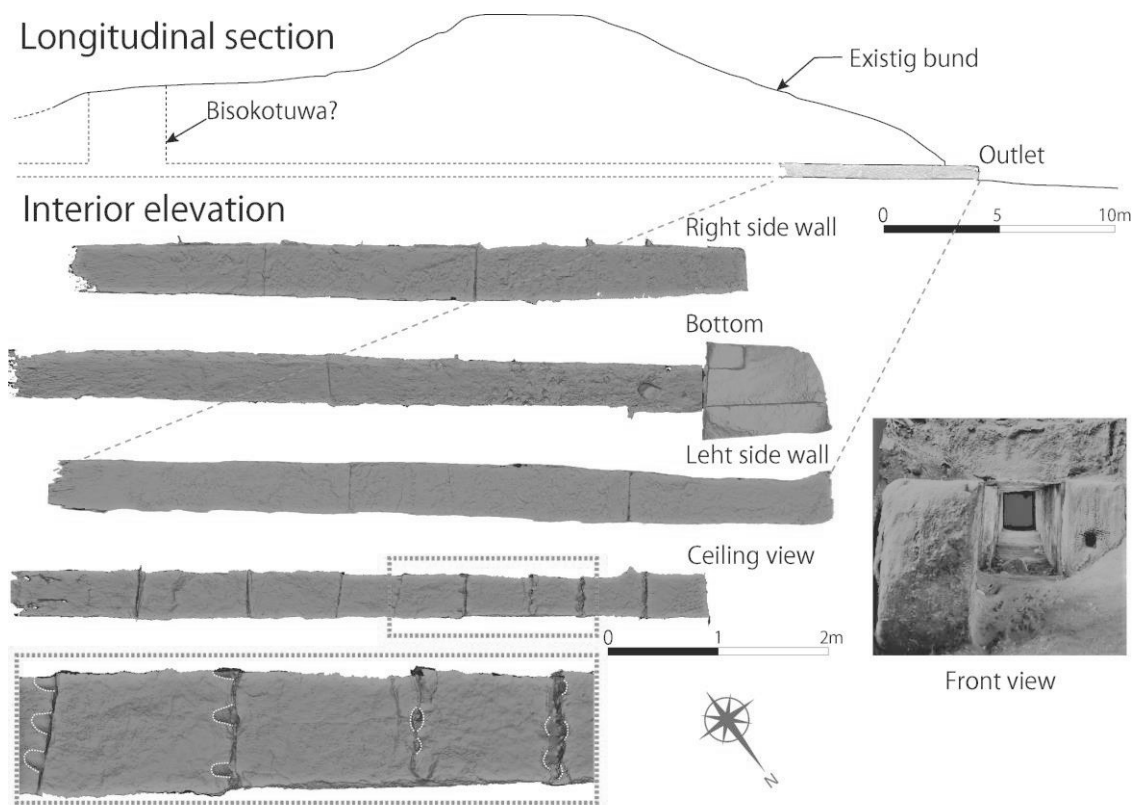


図3 堤体とソロウワの断面図および排水暗渠部の展開図

4. 調査結果と考察

(1) ソロウワと堤体の形状

三次元計測の結果、排水口の底部は現在の堤体頂部から約8m下に位置していることが確認された。現在の堤体がソロウワ築造時からどの程度かさ上げされているか定かではないが、先述した多くの石材が散乱している箇所、ビソーコトゥワが築造されていたと仮定すると、ソロウワの全長は40mを超えるものとなる(図-3,4)。

このような長大なソロウワは、ヌワラ貯水池(前1世紀頃)やパバットクラム貯水池(前2~前1世紀頃)のように築造年代の古い貯水池に見られる特徴³⁾とされており、この説に基づくと、マハ・エラガムワ貯水池のソロウワは、アヌラーダプラ時代(前4~11世紀)の比較的早い時期に築造されたものと推察される。

(2) 暗渠部の石組みの特徴

三次元計測調査の結果、暗渠底部の石組みは、その表面が堆積物で覆われていたことから、不明瞭であったが、右壁と左壁は縦約4cm、横2~2.5mの大型の石材によって隙間なく築造された様子が見えてくる。このように、流水方向に長い大型の石材が用いられているという点は、他の貯水池のソロウワの暗渠部においても確認されている特徴である³⁾。また、今回の調査によって、これまで不明瞭であった、暗渠天井部の石組みの詳細な

確認された。側壁が大型の石材によって、すき間なく築造されているのに対し、天井部は60~100cmほどの大きさの石材が用いられており、接合部には数cmのすき間が確認された。特に、図-3の破線で囲まれた拡大部分のように、矢穴(石を切り取る時に掘られた穴)が隣り合うように配置されたことで、大きな隙間が生じている箇所が複数確認された。築造当初は、これらの隙間が古代セメントによって充填されていた可能性もあるが、現状から判断する限りでは、暗渠部に導水された際に、水漏れの恐れがある天井付近まで水が達することを想定した造りではなかったと考えられる。このことは、ビソーコトゥワ内部に、暗渠部に流れ込む水量を調整するための調整弁が、敷設されていたとする説⁴⁵⁾を裏付けるものである。

(3) 石材に残された矢穴の特徴

排水口から約2m~4m付近の暗渠天井部において、14個の楕円形矢穴が確認された(図-3)。これと同様の矢穴が、ビソーコトゥワの部材と考えられる石材においても確認された(図-4,5)。これらの矢穴について、作成した三次元モデルから寸法を計測したところ、直径4~6cm、深さ6~7cmであった。これはアヌラーダプラの採石場に残された矢穴の形状と寸法(直径4cm~6cm、深さ7cm~11cm)と非常に酷似するものである(写真-1)⁹⁾。

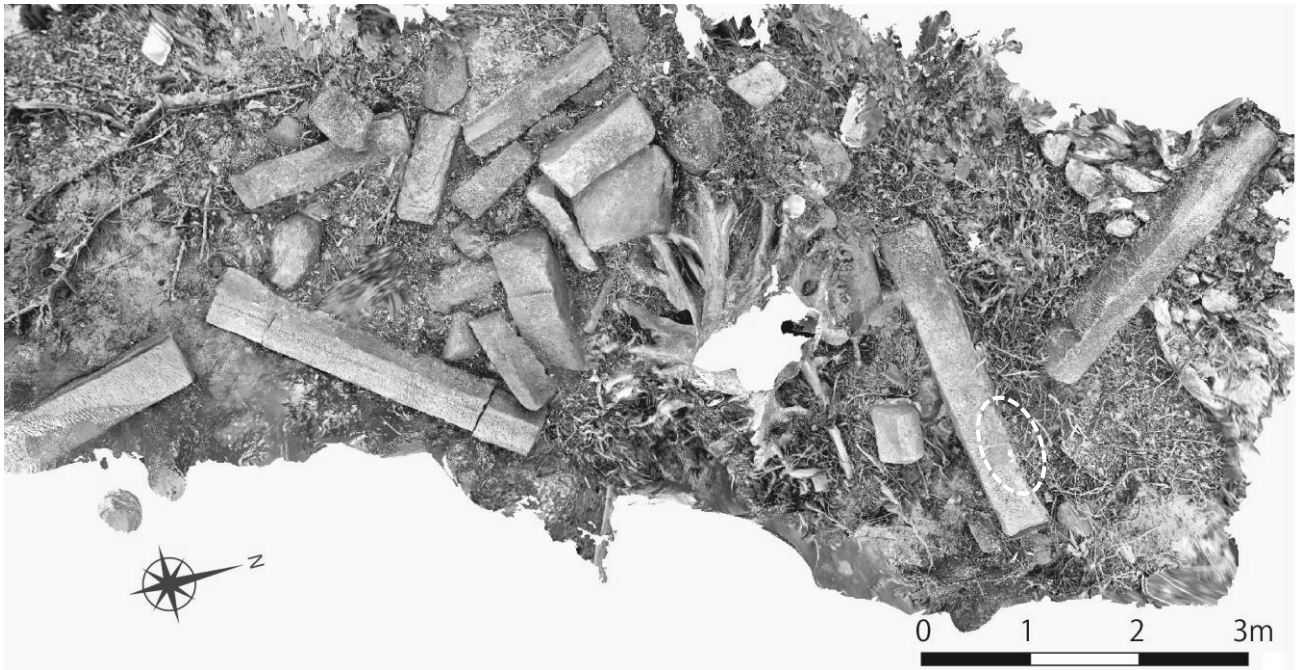


図4 貯水池側の石材散乱箇所の三次元モデル

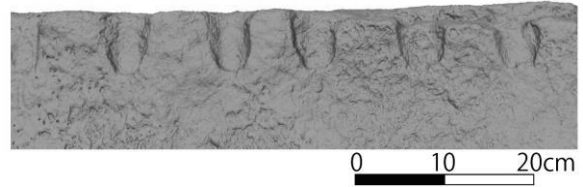
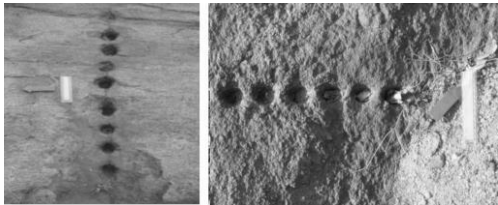


図5 石材散乱箇所の矢穴の三次元モデル

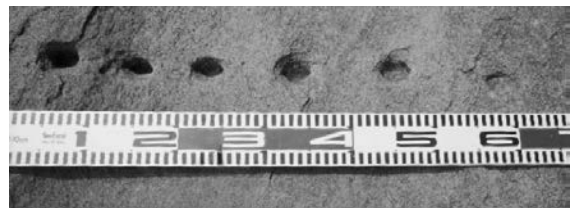


写真-1 アヌラーダプラ周辺の採石場で確認された矢穴
(Mendis 2016:Fig.25,26,32 をもとに作成)

写真-2 採石場中央部の矢穴



図6 採石場の三次元モデル

今回の調査では、暗渠部に使用されている石材が他の建造物から転用されたことを示す痕跡は確認されなかった。このことから、矢穴から推定されるソロウワの築造年代は、アヌラーダプラ時代（前4世～11世紀）であると考えられる。

また、今回の調査で新たに発見されたマハ・エラガムワ貯水池北側の古代の採石場でも、同様の楕円形矢穴が確認された（写真-2,図-6）。古代の採石場までは、直線距離で700m、堤体沿いにアプローチした場合でも1km未満と近距離にあることから、ソロウワの築造時に使用された石材は、この採石場から切り出されたものである可能性が高い。

管見の限り、古代スリランカの矢穴の形状に関する体系的な論考は見当たらないが、今後、この分野の研究が進むことで、石材に残された矢穴の形状や寸法から、ソロウワの築造年代の推定が可能となることが期待される。

5. 今後の展望

今回の調査によって、マハ・エラガムワ貯水池のソロウワは、その形状及び石材に残された矢穴から、アヌラーダプラ時代（前4世～11世紀）の比較的早い時期に築造された可能性が高いことが明らかとなった。また、三次元計測により暗渠部の石組みの詳細が確認されたことで、これまで不明瞭であったソロウワの築造工法の一部を明らかにすることができた。

ソロウワ研究の礎を築いたとされる Parker の論考は、基礎資料が乏しい現代においても色あせるものではない。しかしながら、それらの基礎資料は、イギリス統治時代の古代貯水池の修復・改修の過程で行われた、ソロウワの破壊を前提とした調査によるものである。これまでに貯水池の修復・改修や盗掘等によって、多くのソロウワが失われている現状において、遺構にダメージを与えかねない発掘を伴う調査の実施は、困難な状況にある。そのような中で、遺構を維持・保存しながら、最大限の情報を引き出すためには、三次元計測による調査が大変有効であると言える。

今後は、ポロンナルワ時代（11～13世紀）に築造された、大型貯水池パラークラマ・サムドゥラ周辺で確認されているソロウワを中心に、三次元計測調査を実施し、基礎資料の更なる拡充を図るとともに、それらに基づく編年構築を試みたい。

謝辞：調査許可の申請にあたり、アヌラ・マナトゥンガ氏（スリランカ考古局長）から格別の配慮を、現地調査の際には、岡村隆氏（NPO 法人南アジア遺跡探検調査会理事長）のサポートを賜った。ここに記して感謝申し上げます。

REFERENCES

- 1) 鈴木慎也「古代スリランカの貯水施設に関する基礎

的研究—コラサーガラ貯水池の樋門構造について—, 『土木史研究講演集（土木学会）40』, pp.165-170, 2020.

- 2) Withanage, N. S., N. D. K. Dayawansa, Ranjith Premalal, De Silva, and R. M. C. W. M. Rathnayake. n.d. "Morphometric Analysis of Kala Oya River Basin, Sri Lanka Using Geographical Information Systems." Accessed April 13, 2023.
- 3) Parker, H.: Ancient Ceylon, New Delhi, Asian Educational Services, pp.347-412, 1909.
- 4) Gunawardana, R.A.L.H.: Hydraulic engineering in ancient Sri Lanka: the cistern sluices, In Indrapala, Prematilleke and van Lohuizen-de Leeuw (Eds.), Sen-erat Pa-ranav-itana commemoration volume. Studies in South Asian Culture. Vol. VII, Leiden: E.J.Beill, pp.61-74, 1978.
- 5) Bohingamuwa, B.H.M.W.: Sluice Technology in Ancient Sri Lankan reservoirs: The Bisokotuwa Sluice. Sirimimalakdusinghe felication volume, pp.173-189, 2010.
- 6) Mendis, D.T.; Abeywardana, N.; Withanachchi, C.R. An Archaeological Study to Identify the Ancient Settlement Pattern of Anuradhapura with Special Reference to the "Deegapasana" Rock Outcrop in Sri Lanka; Nihal Printers: Kurunegala, Sri Lanka, 2016; (original publication in Sinhala).

(Received April 10, 2023)