

# 龍角寺岩屋古墳の建設における 現在と古代の比較検証

飯島巧介\*・國井洋一\*\*†

(令和4年8月18日受付/令和5年1月20日受理)

**要約：**本研究では、千葉県に所在する龍角寺岩屋古墳の建設において、現在の技術および古代の技術を用いた際における両者の工程表や積算についてそれぞれ検討および比較を行い、文献調査をもとに現在の建設現場に活かせる技術を推察することを目的とした。現況の龍角寺岩屋古墳に対して地上レーザスキャナによる3次元測量を実施し、形状および大きさを把握した上で、各時代の工事条件を適用することにより比較を行った。その結果、古代における施工は、現在と比較すると約3倍の時間と約46倍の人員を必要とすることが明らかとなった。また、千年以上経過した現在でも一部を除いて原型を留めていることが確認されたことから、適切かつ優れた締固め技術が使用されたと推測される。本対象地で締固めに使用された技術と道具の特定が可能であれば、現在の建設現場、とりわけ僻地や狭隘地等での活用が期待できる。

**キーワード：**龍角寺岩屋古墳, 地上レーザスキャナ, 建設, 工程, 古代と現在

## 1. はじめに

世界における歴史的に重要な人物の墳墓では、エジプトのピラミッドやマヤ文明の神殿ピラミッド、メソポタミアの古代諸都市にみられるピラミッド型の巨大祭壇ジグラット等の古代文明の確立期に巨大な建造物がつくられてきた。日本では3世紀から7世紀にかけて、当時の豪族や有力者により高く土盛りされた墳墓が造営された。そのなかでも古墳時代前期から後期(西暦250~650年頃)にかけてつくられた巨大古墳は、当時の権力と優れた土木技術を示している<sup>1)</sup>。本研究の対象とした千葉県の龍角寺岩屋古墳(以下、岩屋古墳)は、古墳群内でも突出した規模を誇っており、被葬者は周辺の豪族よりも優位な立場にある重要人物であったと推察される。また、当時では最新の墓制である方墳と切石積の横穴をもち、それらは現在においても一部を除き原形を留めていることから優れた技術が用いられたと考えられる。

一方で岩屋古墳は、古墳時代終末期の方墳としては全国一位の規模を誇っている。この大規模な古墳においても、建設された際は人力による工法が用いられていた。そのような建設技術を明らかとすることにより、現在も人力に依存している国や地域への情報として寄与できることが予測され、岩屋古墳の建設技術が現在にも活かせると考えられる。

しかし、日本を含めた先進国ではインフラ整備や建設資材が充実しており、通常時に人力での作業が大半を占める建設現場があるとは考えにくい。その一方で、開発途上国

の農村部ではインフラ整備のための資金が不足しており、必要となる施工機械や資材を調達することが容易ではない。また、補修のための資金、資材や機械の修理部品調達が困難であるために、維持管理ができないという問題を抱える地域も世界には存在している<sup>2)</sup>。そのため建設機械や資材がないことを想定した建設現場についての研究は現在においても必要であると言える。既往研究としては、対象の古墳として仁徳天皇陵に着目し、建設計画を現在と古代とで比較検討された事例がある<sup>3)</sup>。また、他の事例では巨大化した日本の前方後円墳に着目し、その面積・体積や作業工程等から、古墳の築造に要する経費が推定されている<sup>4)</sup>。これらの事例は、古墳に対する現況を実測図や定量データ等によるそれぞれの観点において把握し、その建設が推定されている。一方で、現況の把握手法としては対象地をリアルタイムに測量することができれば、より信頼性の高い情報を取得することができる。

そこで本研究では、まず岩屋古墳に対してレーザ測量を実施し、現況における3次元形状の把握を行った。それにより得られた3次元データを用い、岩屋古墳の建設を推察した。具体的には、現在の技術および古代の技術を用いた際における両者の工程表や積算についてそれぞれ検討および比較を行い、各時代の施工に対する有用性の把握を目的とした。

## 2. 岩屋古墳について

岩屋古墳は、千葉県印旛沼北部地域に展開する標高約30mの台地に位置し、前方後円墳22基、円墳98基、方墳

\* 東京農業大学地域環境科学部造園科学科 (2022年3月卒業: 現・大日本土木株式会社海外支店)

\*\* 東京農業大学地域環境科学部造園科学科

† Corresponding author (E-mail: y3kunii@nodai.ac.jp)



写真 1 岩屋古墳 (2020/10/23)

2基からなる総数118基に達する龍角寺古墳群に属する方墳である。また、栄町教育委員会が2008年に行った調査より墳丘部分の一边が78m、高さが13.2m、三段築成をとっていること、墳丘の東、西、北側に周堤帯と呼ぶ土手がめぐっていることが確認されている。すなわち、古墳の構築には地山の上に土手状に盛土を配し、その内側を土で埋める処理が繰り返されたと考えられる。そのため、工法としては西日本的工法<sup>5)</sup>が用いられたと推察される。また、埋葬施設は墳丘南側には東西に2室の横穴式石室が開口している。なお、東側石室は関東大震災の翌年である1924年に大きく崩れている<sup>6)</sup>。現在では、初夏から秋季にかけては草が繁茂しているため、全体の形態を把握することが困難である。一方で、秋季に草刈りが行われると全体形状や東側石室を確認することができる。写真1に岩屋古墳の全景を示す。

### 3. レーザ測量による現地調査

#### (1) 現地調査

レーザ測量は、レーザスキャナから測定する対象物にレーザを照射することで点群データを得るものである。地上レーザスキャナ (Terrestrial Laser Scanner, 以下 TLS) で得られる点群データ量は、1秒間に数千～数十万点であるため、ほぼ完全な形での測定を高速に行うことができる<sup>7)</sup>。

現存する文献の数が乏しい古墳時代に築造された墳墓や石室は、精密な設計図が存在する現代の建物とは異なり、建築情報が非常に少ない。これに対し、レーザ測量技術を利用し、歴史的建造物の内部・外部構造を把握する手法がある。この手法は、レーザ測量にて取得した3次元点群データを分析することによって、必要な建築情報を取得する<sup>8)</sup>というものであり、この手法は、建設時の情報の乏しい本対象地においても有用であると考えられる。また、本研究で使用した TLS は写真2の RIEGL 社製の「VZ-400i」である。

調査は、2021年6月16日に行った。この時期は初夏であることから草本により主対象が遮蔽された。そのため可能な限り多くの器械点で測定することとし、計28点にて対応した。図1にレーザ測量を行った器械点を示す。



写真 2 VZ-400i (2021/6/16)

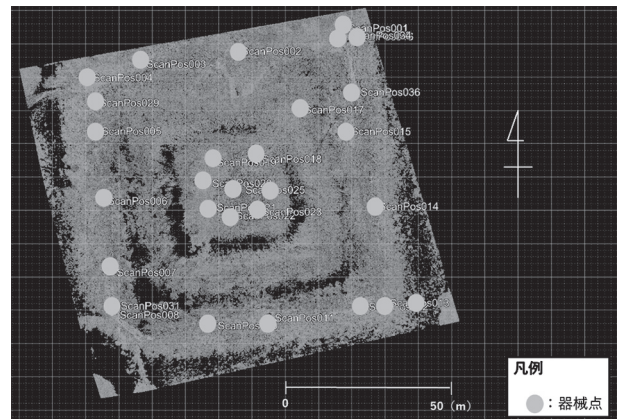


図 1 レーザ測量の器械点

#### (2) 測量データの処理

レーザ測量のデータ処理には専用ソフトウェア RiSCAN PRO 64 bit ver.2.9.0 (以下、RiSCAN PRO) を使い、各器械点における3次元データの結合、ノイズ処理による軽量化、反射率による分類、対象物の抽出を行った。また、岩屋古墳の土量は、RiSCAN PRO の機能により測定し、平均断面法を用いて算出した。具体的には、岩屋古墳が上・中・下段の3段に分かれており、墳丘は上段および中段が盛り土、下段が切土となっているため、土量は墳丘の点群データをそれぞれの位置情報から各段に分け、メジャー機能で測定し、平均断面法の公式である式(1)を用いて算出した。

$$V = \frac{(A_1 + A_2)}{2} L \quad (1)$$

ここに、

$V$ : 体積  $L$ : 断面間の距離  $A_1, A_2$ : 断面積

### 4. 岩屋古墳の工事推定

#### (1) 工事の概要

本研究では、同一の条件下で現在の技術と古代の技術をそれぞれ用いて、岩屋古墳の建設工事を2021年に実施した



と推定した。また、推定を行うにあたり、文献調査<sup>9)</sup>、現地調査から得た情報を適用し、土量変化率は $L=1.2$ 、 $C=0.9$ として条件の設定を行った。それによる土量算出結果を表1に示す。

本工事は、大きく上中下段の墳丘工事と周堤工事とに分けられる(図2)。建設対象地は $120 \times 120$  m、土は南側の谷の採取地から掘削・搬入するものとした。また、石室に使用された片岩は、筑波山周辺で採取できることから<sup>6)</sup>、当時行われていた香取海陸を経由した水上輸送を用いるものとした。一方で、軟岩の採取地に関しては明記がなかったため、岩屋古墳の西、約11 kmに位置する木下貝層から陸上輸送にて搬入するものとした。なお、排水経路の掘削は建設地整地時に行うものとする。

## (2) 工事における諸条件および各数量

本研究では推定した工事に対し、以下に示す諸条件を設定し、表2に示すとおり各工事数量の算出を行った。

- ・建設地：台地
- ・面積： $14,400 \text{ m}^2$
- ・土量変化率： $L=1.2$   $C=0.9$
- ・稼働率：0.6
- ・稼働日あたり機械運転率：7時間
- ・盛り土地盤は良好で圧密沈下は見込まない。
- ・客土運搬途中待ち時間は考慮しない。
- ・石の切り出し時間は考慮しない。
- ・事前調査・基本測量は工程表に含まない。
- ・排水経路の掘削は、建設地整地工事に組み込むものとする。
- ・現在の石材は、片岩 63 km、軟岩 13.5 km を陸路で運搬するものとする。
- ・古代の石材は、片岩(桜川-香取海 3.5 km、香取海 54 km、香取海-岩屋古墳 3.5 km) を陸路と水路を合わせて運搬

表1 土量算出結果

| 単位： $\text{m}^3$ |         |          |         |
|------------------|---------|----------|---------|
|                  | 下段      | 中段       | 上段      |
| 地山土量             | 6062.27 | 15064.17 | 3992.23 |
| ほぐし土量            | 7274.72 | 16269.30 | 4311.60 |
| 締固め土量            | 5456.04 | 13557.75 | 3593.00 |

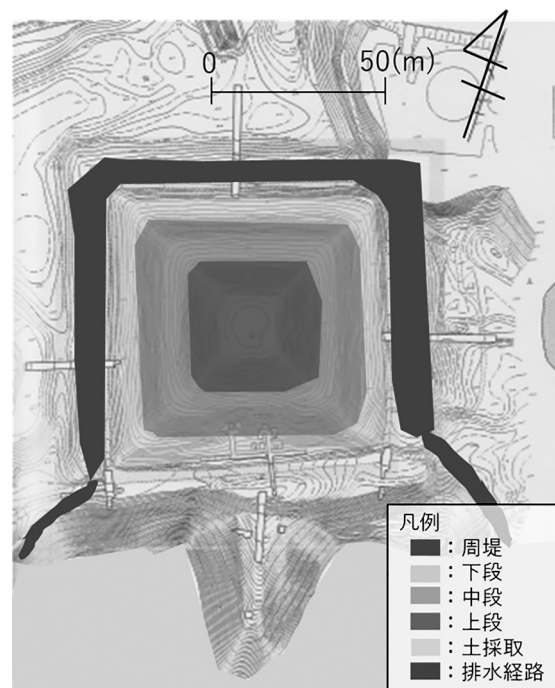


図2 工事概略図

表2 工事数量一覧

| 項目   | 工種       | 仕様                        | 単位           | 数量       | 摘要                                    |
|------|----------|---------------------------|--------------|----------|---------------------------------------|
| 墳丘工事 | 客土掘削地整備工 | 粘性土                       | $\text{m}^3$ | 21,173.8 |                                       |
|      | 建設地整備工   | "                         | $\text{m}^2$ | 14,400.0 |                                       |
|      | 客土掘削・運搬工 | "                         | $\text{m}^3$ | 21,173.8 |                                       |
|      | 盛り土工     | "                         | $\text{m}^3$ | 35,573.8 |                                       |
|      | 整地工      | "                         | $\text{m}^2$ | 4,912.0  |                                       |
| 周堤工事 | 周溝掘削工    | "                         | $\text{m}^3$ | 1,704.8  |                                       |
|      | 整地工      | "                         | $\text{m}^2$ | 2,196.0  |                                       |
| 石室工事 | 西片岩運搬工   | 筑波山片岩 2.8g/ $\text{cm}^3$ | 枚            | 11       | 最大(1.5×0.25×1.5)・最小(0.5×0.25×0.4) (m) |
|      | 東片岩運搬工   | "                         | 枚            | 20       |                                       |
|      | 西軟岩運搬工   | 貝化石軟岩2.4g/ $\text{cm}^3$  | 枚            | 120      | (1.0×0.25×0.5) (m)                    |
|      | 東軟岩運搬工   | "                         | 枚            | 220      |                                       |
|      | 東側石室組立工  |                           | $\text{m}^2$ | 54       |                                       |
|      | 西側石室組立工  |                           | $\text{m}^2$ | 73.77    |                                       |

表 3 国土交通省公共工事設計労務単価表

|       |        |        |        |        |        |         |         | 単位：円   |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| 特殊作業員 | 普通作業員  | 軽作業員   | 造園工    | 法面工    | 石工     | 運転手(特殊) | 運転手(一般) |        |
| 千葉県   | 24,200 | 20,500 | 14,900 | 21,600 | 25,700 | 27,500  | 24,400  | 21,600 |

するものとする。また、軟岩 13.5 km は陸路で運搬するものとする。

- 壁面に使用されている軟岩は、すべて平均的な大きさ (1.0 m × 0.5 m × 0.25 m) として推定する。

また、建設地は、周堤から 5 m 離れた 120 m × 120 m の範囲とする。尚、現在は開発により周堤の一部が欠損しているため、周堤の形状について推察を行った。また、土量変化率を求めるにあたり、客土掘削地については立ち入って土質の調査を行うことができなかったため、建設地で確認した粘性土の値で行った。

工期は、実際に作業する日数稼働率を適用することで式(2)により算出した。建設物価調査会(2017)は、稼働可能な暦日数に対する割合を稼働率(又は稼働日数率)と呼んでいる。

$$\text{稼働率(稼働日数率)} = \frac{\text{稼働日数}}{\text{全工期(暦日数)}} \quad (2)$$

上式における稼働日数は、降雨休止日数と休日休止日数を暦日数から差し引き、休日でかつ雨天という重複日数を加えたものである。また、稼働率は工事種別と土質等によって異なるが、本研究では、建設物価調査会(2017)が一例として挙げている土工事 18 日/30 日 = 0.6 を適用した。

また、労務単価は、令和 3 年 3 月から国土交通省が示している、表 3 に示す公共事業設計労務単価における千葉県の値を参考とした。

### (3) 工事のフローチャート

以上の検討および推定事項を明瞭に把握可能とするために、図 3 に示す作業工程のフローチャートを作成した。これにより、本研究で最終的に作成されたバーチャート工程表において、各作業間の関連を把握することが可能となる。

## 5. バーチャート工程表の作成

### (1) 現在の技術を用いた際の工程表

#### a) 条件設定

工事概要と文献から得た情報をもとに、式(3)、(4)を用いて現在の技術を用いた際の工程表の作成を行った。

$$\text{所要日数} = \frac{\text{数量}}{\text{1 日当たりの作業量}} \quad (3)$$

$$\text{所要人数} = 1 \text{ 作業当たりの所要人数} \times \text{所要日数} \quad (4)$$

条件の設定として、まず歩掛は主に文献<sup>9,10)</sup>を参考に設定した。また、現在の使用機材は、文献<sup>9)</sup>を参考に設定した。さらに、バックホウは、1 台につき補助として作業員 3 人、ラフテレーンクレーンは、1 台につき 4 人、その他、

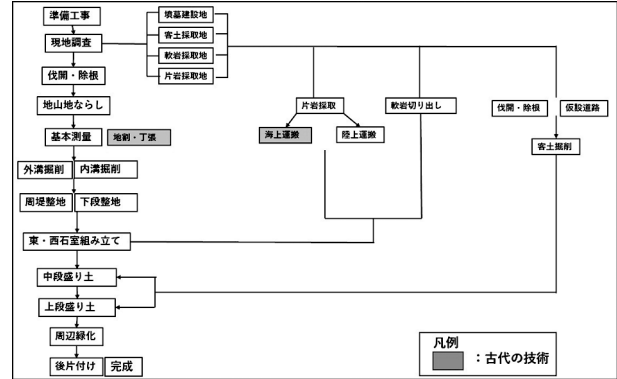


図 3 工事のフローチャート

機材は 1 台につき 2 人を割り当てるものとする。また、石材運搬は、片岩を筑波山から岩屋古墳まで (63 km) 陸路で実施されるものとする。加えて、軟岩は木下貝層から岩屋古墳まで (13.5 km) を陸路での運搬とする。

以下、各機材に対する推定作業量について述べる

#### b) 肩掛け式草刈り機(除草)

1 台 1 日当たりの作業量を 350 m<sup>2</sup> とする<sup>9)</sup>。

#### c) チェーンソー(伐開)

1 人 1 日当たりの作業量 250 m<sup>2</sup> とする<sup>9)</sup>。

#### d) バックホウ・ブルドーザ(除根・整地)

バックホウ、ブルドーザの組み合わせ作業で 1 日当たりの作業量 2500 m<sup>2</sup> とする<sup>9)</sup>。

#### e) バックホウ山積み 1.0 m<sup>3</sup>・ダンプトラック 10 t (掘削・搬入)

バックホウ 1 時間当たりの作業能力<sup>9)</sup>

$$Q = \frac{3600 \times q_0 \times K \times f \times E}{Cm} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (5)$$

ここに、

$Q$ : 運転 1 時間当たりの掘削・積み込み量 (m<sup>3</sup>/h)

$q_0$ : 1 サイクル当たりの掘削・積み込み量 (m<sup>3</sup>/ルーズ) … 1.0 m<sup>3</sup>

$K$ : バケット係数 … 0.7 とする

$F$ : 土量換算係数 … 0.83 とする

砂質土の場合  $f = 1/L = 1/1.2 \div 0.83$

$E$ : 作業効率 … 0.8 とする

$Cm$ : サイクルタイム (sec) … 30 sec とする

以上より算出すると、

$$Q = 55.77 \div 55.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

故に、1 日当たりの施工量は 55.8 m<sup>3</sup>/h × 7 h/日 ÷ 390 m<sup>3</sup>/日

## f) ダンプトラック 10t による運搬量

$$Q = \frac{60 \times q \times f \times E}{Cm} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

ここに、

$Q$ : 運転 1 時間当たりの運搬量 (m<sup>3</sup>/h)

$q$ : 1 台当たりの積載量 (m<sup>3</sup>/ルーズ) …6.05 m<sup>3</sup>

## g) 積載土量

$$V = \frac{T \times L}{\gamma t} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

ここに、

$V$ : ほぐした状態の土のダンプトラック積載量 (m<sup>3</sup>)

$\gamma t$ : 地山における土の単位体積重量 (湿潤状態) (tf/m<sup>3</sup>)

砂質土の場合  $\gamma t = 1.8 \sim 2.0$

$T$ : ダンプトラックの最大積載量

$L$ : 土量変化率

$V = (10 \times 1.2) / 1.9 \div 6.32 \text{ m}^3 > \text{荷台平積み容量 } 6.05 \text{ m}^3$  により、 $q = 6.05 \text{ m}^3$  とする

$f$ : 土量換算係数…0.83 とする

砂質土の場合  $f = 1/L = 1/1.2 \div 0.83$

$E$ : 作業効率…0.9 とする

## h) サイクルタイム

$$Cm = \frac{Cms \times n}{60 \times Es} + (T_1 + T_2 + T_3)$$

ここに、

$Cm$ : サイクルタイム (min)

$Cms$ : 積込機械のサイクルタイム…30 sec

$n$ : 積込機械の積込回数

$$n = \frac{C}{q_0 \times K}$$

$n = 6.05 / (60 \times 0.7) = 8.6 \div 9$  回

$Es$ : 積込機械の作業効率…0.9 とする

$T_1, T_2$ : ダンプトラック運搬の行き、帰り所要時間 (min)

$T_1, T_2 = (0.12 \text{ km} \times 60) / 20 \text{ km} \div 0.4 \text{ min}$

$T_3$ : ダンプトラックの待ち時間等 (min)

$T_3 = 10 \text{ min}$  とする

$$(6) \quad Cm = (30 \times 9) / (60 \times 0.8) + (0.4 + 0.4 + 10) \div 5.6 + 10.8 = 16.4 \text{ min}$$

$Q = (60 \times 6.05 \times 0.83 \times 0.9) / 16.4 \div 16.5 \text{ m}^3/\text{h}$  となる

## i) ダンプトラック 10t の台数算定

バックホウ 1 台当たりの作業量:  $55.8 \text{ m}^3/\text{h}$

ダンプトラック 1 台当たりの作業量:  $16.5 \text{ m}^3/\text{h}$

故に、バックホウ 1 台に対してのダンプトラック必要台数は、 $55.8 \text{ m}^3/\text{h} \div 16.5 \text{ m}^3/\text{h} \div 3.4$  台

## j) バックホウの作業員

バックホウ山積み  $1.0 \text{ m}^3$  (法面整形)

文献<sup>12)</sup> より  $40 \text{ m}^2/\text{h}$ ,  $80 \text{ m}^2/\text{日}$  の整形ができるものとする。

また、作業員は土羽打補助として 3 人、ランマ運転を 2 人張りつける。

## k) ブルドーザ 21t による敷き均し作業量

$$Q_1 = 10E(18D + 13) \quad (10)$$

ここに、

$Q_1$ : 運転 1 時間当たりの敷き均し土量 (m<sup>3</sup>/h)

$D$ : 締固め後の仕上がり厚さ (m)

ただし、 $0.15 \leq D \leq 0.35 \cdots 0.3$  (m) とする

$E$ : 作業効率…0.8 とする

$Q_1 = 10 \times 0.8(18 \times 0.3 + 13) = 147.2 \text{ m}^3/\text{h}$  となる

## l) タイヤローラ 8t による締固め作業量

$$Q = \frac{V + W + D + E}{N} \quad (11)$$

ここに、

$Q$ : 運転 1 時間当たりの締固め土量 (m<sup>3</sup>/h)

$V$ : 締固め速度 (m/h) …3,500 m/h とする

$W$ : 一回の有効締固め幅 (m) …1.8 m とする

$D$ : 仕上がり厚さ (m) …0.3 とする

$N$ : 締固め回数…5 回とする

$E$ : 作業効率…0.4 とする

$Q = (3500 \times 1.8 \times 0.3 \times 0.4) / 5 = 151 \text{ (m}^3/\text{h)}$  となる

岩屋古墳建設 現在の工法による工程表

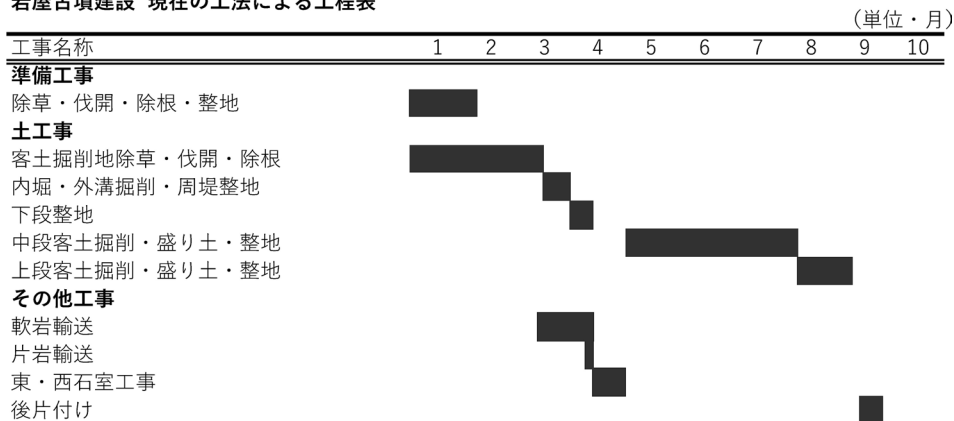


図 4 現在の技術を用いた際のバーチャート工程表

表 4 現在の技術を用いた際の作業詳細表

| 整地・除草・伐開・除根（単位：㎡） |       |           |                                      |          |     |      |          |  |
|-------------------|-------|-----------|--------------------------------------|----------|-----|------|----------|--|
| 掘削・運搬・盛り土（単位：㎡）   |       |           |                                      |          |     |      |          |  |
| 準備工事              | 作業名   | （単位：㎡）    | 使用機材                                 | 作業量/日    | 人/日 | 作業日数 | 人数（単位：人） |  |
| 建設地               | 除草    | 14,400.00 | 肩掛け式草刈り機                             | 2,100㎡/日 | 6   | 7    | 42       |  |
|                   | 伐開    | 14,400.00 | チェーンソー                               | 1,500㎡/日 | 6   | 10   | 60       |  |
|                   | 除根・整地 | 14,400.00 | バックホウ（山積み1.0㎡）・ブルドーザ21t級             | 2,500㎡/日 | 7   | 8    | 56       |  |
| 土工事               |       |           |                                      |          |     |      |          |  |
| 外溝                | 掘削    | 798.50    | バックホウ（山積み1.0㎡）2台・ダンプトラック10t級7台       | 780㎡/日   | 15  | 2    | 30       |  |
| 内溝                | 掘削    | 631.20    | バックホウ（山積み1.0㎡）2台・ダンプトラック10t級7台       | 780㎡/日   | 15  | 1    | 15       |  |
| 周堤                | 整地    | 2,196.00  | バックホウ（山積み1.0㎡）1台・ランマ2台               | 280㎡/日   | 6   | 8    | 48       |  |
| 客土掘削地             | 除草    | 21173.77  | 肩掛け式草刈り機                             | 2,100㎡/日 | 6   | 11   | 66       |  |
|                   | 伐開    | 21173.77  | チェーンソー                               | 1,500㎡/日 | 6   | 15   | 90       |  |
|                   | 除根    | 21173.77  | バックホウ（山積み1.0㎡）・ブルドーザ21t級             | 2,500㎡/日 | 7   | 9    | 63       |  |
| 下段法面              | 整地    | 1,359.80  | バックホウ（山積み1.0㎡）1台・ランマ2台               | 280㎡/日   | 6   | 5    | 30       |  |
| 中段                | 掘削・搬入 | 16,269.30 | バックホウ（山積み1.0㎡）2台・ダンプトラック10t級7台       | 780㎡/日   | 15  | 21   | 315      |  |
| 盛り土               | 盛り土   | 16,269.30 | ブルドーザー21 t 1台・タイヤローラ質量8 t 1台・スプレッダ1台 | 525㎡/日   | 9   | 31   | 279      |  |
| 中段法面              | 整地    | 2,466.30  | バックホウ（山積み1.0㎡）1台・ランマ2台               | 280㎡/日   | 6   | 9    | 54       |  |
| 上段                | 掘削・搬入 | 4,311.60  | バックホウ（山積み1.0㎡）2台・ダンプトラック10t級7台       | 780㎡/日   | 15  | 6    | 90       |  |
| 盛り土               | 盛り土   | 4,311.60  | ブルドーザー21 t 1台・タイヤローラ質量8 t 1台・スプレッダ1台 | 525㎡/日   | 9   | 9    | 81       |  |
| 上段法面              | 整地    | 1,086.70  | バックホウ（山積み1.0㎡）1台・ランマ2台               | 280㎡/日   | 6   | 4    | 24       |  |
| 石室工事              |       | （単位：km）   |                                      |          |     |      |          |  |
| 筑波山-岩屋古墳          | 西片岩搬送 | 63        | ラフテレーンクレーン1台・ダンプトラック10t級1台           | 14枚/日    | 6   | 2    | 12       |  |
|                   | 東片岩搬送 |           | ラフテレーンクレーン1台・ダンプトラック10t級3台           | 14枚/日    | 8   | 4    | 32       |  |
| 木下貝層-岩屋古墳         | 西軟岩搬送 | 13.5      | ラフテレーンクレーン2台・ダンプトラック10t級2台           | 28枚/日    | 12  | 11   | 132      |  |
|                   | 東軟岩搬送 |           | ラフテレーンクレーン2台・ダンプトラック10t級2台           | 28枚/日    | 12  | 16   | 192      |  |
|                   |       | （単位：㎡）    |                                      |          |     |      |          |  |
| 西石室               | 組み立て  | 54.00     | バックホウ（クレーン機能付）1台                     | 11㎡/日    | 5   | 5    | 25       |  |
| 東石室               | 組み立て  | 73.77     | バックホウ（クレーン機能付）1台                     | 11㎡/日    | 5   | 7    | 35       |  |
| 就労人数              |       |           |                                      |          |     |      |          |  |

1771

岩屋古墳建設 古代の工法による工程表

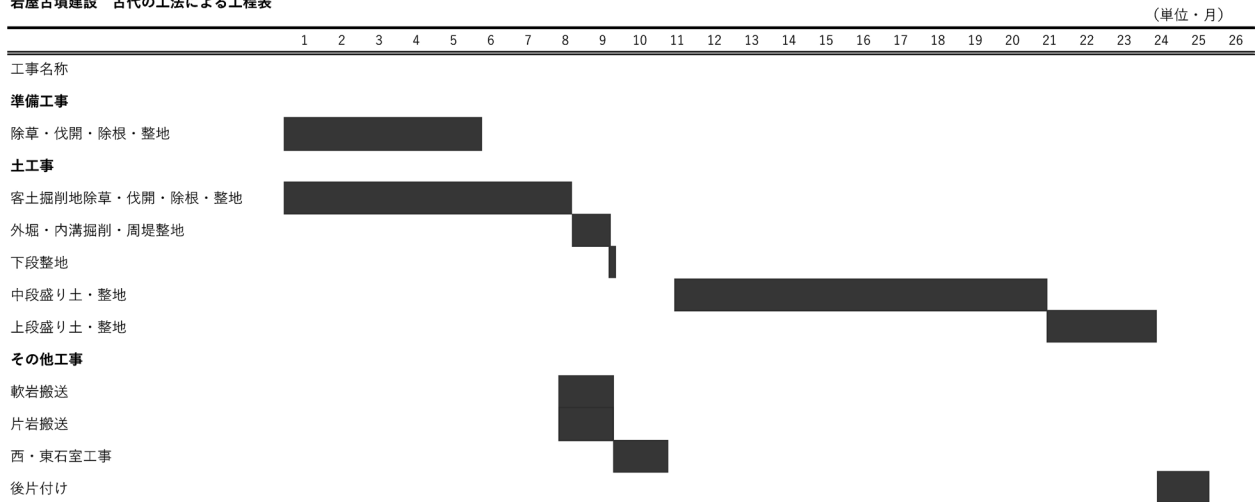


図 5 古代の技術を用いた際のバーチャート工程表

表 5 古代の技術を用いた際の作業詳細表

| 整地・除草（単位：㎡）・伐開・除根（単位：本）掘削・運搬・盛り土（単位：㎡） |        |           |          |       |      |     |          |
|--|--------|-----------|----------|-------|------|-----|----------|
| 準備工事                                   | 作業名    | 単位        | 歩掛       | 人/○・日 | 作業日数 | 人/日 | 人数（単位：人） |
| 建設地                                    | 除草     | 14,400.00 | 147㎡/人日  | 4     | 25   |     | 100      |
|  | 伐開・除根  | 8,640.00  | 0.5本/人日  | 87    | 200  |     | 17,400   |
|  | 整地     | 14,400.00 | 50㎡/人日   | 6     | 250  |     | 1,500    |
| 土工事                                    |        |           |          |       |      |     |          |
| 外溝                                     | 掘削     | 798.50    | 2.5㎡/人日  | 6     | 60   |     | 360      |
|  | 運搬     | 947.40    | 4.8㎡/人日  | 4     | 50   |     | 200      |
| 内溝                                     | 掘削     | 631.20    | 2.5㎡/人日  | 5     | 60   |     | 300      |
|  | 運搬     | 757.38    | 4.8㎡/人日  | 4     | 50   |     | 200      |
| 周堤                                     | 整地     | 2,196.00  | 50㎡/人日   | 5     | 10   |     | 50       |
| 客土掘削地                                  | 除草     | 21,173.77 | 147㎡/人日  | 9     | 25   |     | 150      |
|  | 伐開・除根  | 12,704.00 | 0.5本/人日  | 128   | 200  |     | 25,400   |
| 下段法面                                   | 整地     | 1,359.80  | 50㎡/人日   | 3     | 10   |     | 30       |
| 中段                                     | 掘削     | 16,269.30 | 2.5㎡/人日  | 55    | 100  |     | 5,500    |
| 盛り土                                    | 搬入・盛り土 | 15,064.17 | 1.25㎡/日  | 121   | 100  |     | 20,200   |
| 中段法面                                   | 整地     | 2,466.30  | 50㎡/人日   | 5     | 10   |     | 50       |
| 上段                                     | 掘削     | 4,311.60  | 2.5㎡/人日  | 20    | 100  |     | 1,200    |
| 盛り土                                    | 搬入・盛り土 | 3,992.23  | 1.25㎡/日  | 40    | 100  |     | 4,000    |
| 下段法面                                   | 整地     | 1,086.70  | 50㎡/人日   | 3     | 10   |     | 30       |
| 石室工事                                   |        | （単位：枚）    |          |       |      |     |          |
| 筑波山-桜川                                 | 片岩運搬   | 31        | 別途記入     |       |      |     | 652      |
| 水上運搬                                   |        | 31        | 39.2km/日 | 2     | 340  |     | 680      |
| 香取海-岩屋古墳                               |        | 31        | 別途記入     |       |      |     | 652      |
| 木下貝層-岩屋古墳                              | 軟岩運搬   | 340       | —        | 24    | 108  |     | 2,520    |
| 西石室                                    | 組み立て   | —         |          | 12    | 5    |     | 60       |
| 東石室                                    | 組み立て   | —         |          | 21    | 5    |     | 105      |
| 就労人数                                   |        |           |          |       |      |     | 81,339   |



## c) 人力伐開・除根

歩掛（普通作業員）1人当たり2人工/本，1日当たりの作業量0.5本/人・日と推測した。

## d) 整地

文献<sup>10)</sup>より，基面整正を参考にし，歩掛（普通作業員）0.02人工 $\text{m}^2/\text{日}$ ，1日当たりの作業量 $50\text{m}^2/\text{人日}$ と設定した。

## e) 人力掘削

文献<sup>10)</sup>より，歩掛（普通作業員）0.39人工/ $\text{m}^2$ 日，1日当たりの作業量 $2.5\text{m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ と設定した。

## f) 人肩運搬

文献<sup>10)</sup>より，運搬距離20m以下の場合は歩掛（普通作業員），1日当たりの作業量 $4.8\text{m}^3/\text{人日}$ ，運搬距離200m以下の場合は1日当たりの作業量 $1.4\text{m}^3/\text{人日}$ と設定した。

## g) 盛り土

文献<sup>10)</sup>より，歩掛（普通作業員）0.8人工/日，1日当たりの作業量 $1.25\text{m}^3/\text{人日}$ と設定した。

## h) 片岩搬送

文献<sup>12)</sup>より，準構造船の速さ2～3ノット（5.6km/h）のため39.2km/日となる。また，桜川から岩屋古墳付近まで，約53kmと推測される。なお，筑波山から桜川，香取海から岩屋古墳までの距離は，共に3.5kmとし，陸路での運搬とするものとする。加えて，陸路の運搬時間は以下の方法で算出した。

歩掛は文献<sup>13)</sup>より2.7人/ $1\text{m}^3$ （500m以下の運搬）であるため500m，7区間を設け，区間ごとに交代して運搬するものとした。歩掛2.7人/ $1\text{m}^3$ を各石材の質量で割り，質量当たりの歩掛を算出する。また，複数人行うものとし，1人当たりの歩掛を算出した。そして1サイクルに必要な時間，各石材の所要時間を算出した。

## i) 軟岩搬送

軟岩も片岩の陸上運搬と同様の方法を用いた。また，木下貝層から岩屋古墳までの距離は13.5kmとした。

## j) 石室組み立て

床材を敷く際の歩掛は，文献<sup>13)</sup>より2.7人/ $1\text{m}^3$ （500m以下の運搬）とした。石室壁面組み立ては，すべて同じ石材の大きさとし0.5h/枚，5人の作業員を付けると仮定し行った。

## k) バーチャートおよび作業詳細表

以上の各算出により得られた作業量より，図5に示すバーチャートを作成した。本研究で作成したバーチャートでは，前節と同様の欠点があるため，作業詳細をまとめた表5を示す。また，各工事面積を求める際，墳丘部をRiSCAN PROのメジャー機能を使用し，建設地，周堤，土量採取地は，平面図を三角スケールにて実測し算出した。なお，土量採取地は $1\text{m}^3$ の掘削と仮定し，面積を算出した。

また，岩屋古墳建設当時の使用した道具が不明であるため，他の古墳建設に使用されたとされる道具を参考<sup>14)</sup>に，推察し設定した。なお，石室に使用されている筑波山系片岩の輸送は当時使用されていた準構造船を使用したものとする。

## 6. 工事費用の積算

## (1) 現在の技術を用いた際の積算の検討

現在の技術の積算＝数量×労務単価（機械単価）とする。また，労務費は国土交通省公共事業設計労務単価表<sup>15)</sup>の千葉県の値を参考に設定した。加えて，機械単価は，文献<sup>16)</sup>を参考にし，機械損料，労務費，油脂燃料費の合算により算出した。また，油脂・燃料費は，次式をもって算出した。工程毎に算出した値を表6に示す。

$$Q = q \times p \times y1 \times y2 \quad (13)$$

ここに，

$Q$ ：運転1時間当たり燃料消費量（ $\ell$ ）

$q$ ：燃料消費率

ディーゼルエンジン…軽油  $0.21 \ell / \text{PS} \cdot \text{h} \sim 0.261 / \text{PS} \cdot \text{h}$

$p$ ：定格出力エンジン

$y1$ ：平均出力 / 定格出力

平易な作業状態…20～40%

中等の作業状態…40～50%

過酷の作業状態…50～80%

$$y2 : \text{実運転時間率} = \frac{\text{実運転時間}}{\text{実運転時間} + \text{関連作業時間}}$$

油脂費：機種，器械の整備の良否，油の交換間隔等によってこととなるが，燃料費に対する油脂費の割合はおおむね15～25%程度である。

## (2) 古代の技術を用いた際の積算の検討

古代の技術の積算＝（数量×労務単価）＋道具費とする。また，労務費は，現在と同様に国土交通省公共事業設計労務単価表<sup>15)</sup>の千葉県の値を参考に設定した。加えて，道具単価は，文献に記載がなかったため，現在の道具に置き換

表6 現在の技術を用いた際の費用

| 工事名  | 単位（円）      |
|------|------------|
| 準備工事 | 4,323,105  |
| 土工事  | 44,472,451 |
| 石室工事 | 11,852,220 |
| 合計   | 60,647,776 |

表7 古代の技術を用いた際の費用

| 工事名  | 単位（円）         |
|------|---------------|
| 準備工事 | 389,500,000   |
| 土工事  | 1,039,054,500 |
| 石室工事 | 112,295,067   |
| 道具費  | 87,929,000    |
| 合計   | 1,628,778,567 |



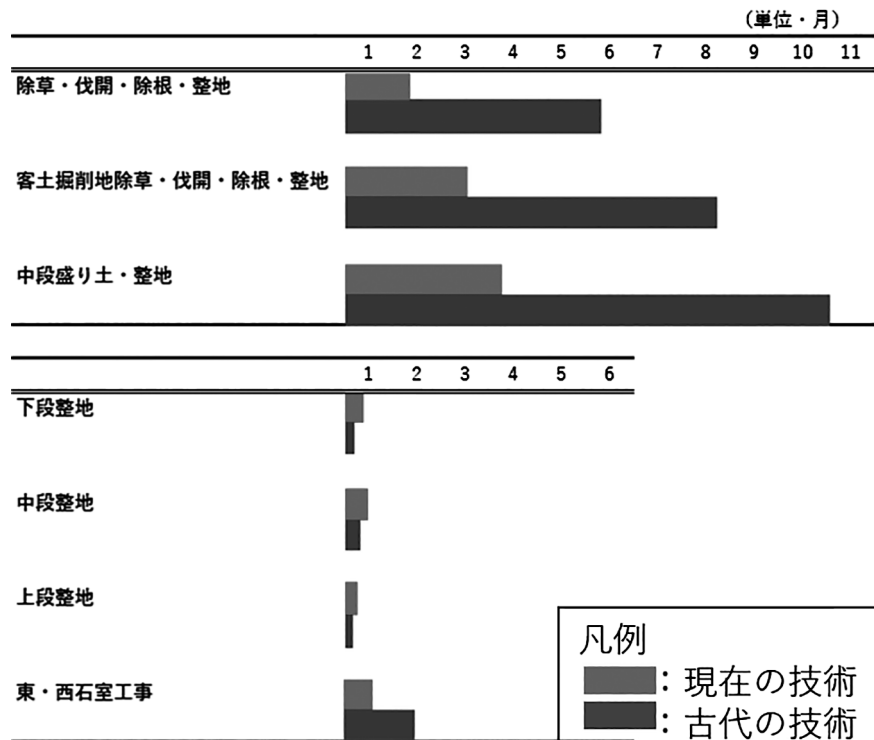


図 6 現在と古代との技術における所要時間の比較

え、web サイトにて検索し設定した。工程毎に算出した値を表 7 に示す。

## 7. 考 察

### (1) 現在と古代の技術を用いた際の工程表の比較

古代は、現在に比べ約 2.8 倍の時間と約 46 倍の人員を要している。図 6 に示す通り、特に樹木の伐採や除根、土の掘削や搬入といった重機を要する作業において大きな差が見受けられた。その一方で、法面の整地や石室の組み立てのような細かな作業を要するものでは、大きな差は見受けられなかった。

### (2) 現在と古代の技術を用いた際の積算の比較

積算の検討により、労務費および機械費、道具費は、現在の技術において約 6 千万円、古代の技術では約 16 億 3 千万円を要すると推察された。また、古代は現在の技術に比べ、工事全体に占める労務費の割合が高いことが明らかになった。そして整地では、工程表と同様に現在と比較して費用に差が生じなかった。その一方で、石室組み立てでは、工期には差が生じなかったが、積算においては古代が現在の技術に比べ、より費用を要する結果となった。以上より、現在と古代との積算の比較においては重機の有無が大きく影響しており、現在の技術の促進を費用面から何うことのできる結果となった。

## 8. ま と め

本研究では、TLS を用いて墳丘部の計測を実施し、点群による外部形態情報を取得した。そのなかで、千年以上経過した現在でも石室周辺の一部を除いて原型を留めている

ことが確認された。このことから適切な含水比が保たれたうえで、優れた締固め技術が使用されたと推測される。加えて、本対象地で締固めに使用された技術と道具の特定が可能であれば、現在の建設現場、とりわけ僻地や狭隘地等での活用が期待できる。さらに、石室に使用された巨石を移動させる際、悪路の中で修羅やこるを用いていたと推察されることから、道の簡易的な舗装や補修の技術も有していたものと考えられる。この技術特定し、応用することで災害時の一時的な道路補修等に有用であると予想される。

また、工程表の比較から重機を使用しない場合でも適切な施工管理の実現が可能になれば、本対象地のような巨大な土木構造物においても重機を使用した場合の約 2.8 倍の時間を要するに留まるといえる。このことから最適な施工管理は、インフラ整備が急速に進んでいる発展途上国において、重機不足の問題解決につながるものと考ええる。一方、積算の比較から古代の技術は工事に占める労務費割合が高いことから、労務費が廉価な地域の施工において有用であるといえる。加えて、法面の整地では工期と費用に差が生じなかったため、人材の確保が可能な現場においては古代の技術、もしくは機材を用いない施工も有効であるといえる。

### 参考文献

- 1) 大林組プロジェクトチーム (2002) 巨大建築物を復元するよみがえる古代 大建設時代。総説/環境省編。東京書籍株式会社。p.90.
- 2) 福林良典, 木村 亮 (2007) 開発途上国農村部における貧困削減に向けた未舗装道路改修方法。土木学会論文集 C, 63 (7), pp.783-796.
- 3) 大林組プロジェクトチーム (1985) 現代技術と古代技術の

- 比較による仁徳天皇陵の建設, 季刊大林 No. 20「王陵」, pp.2-21.
- 4) 北條芳隆 (2019) 前方後円墳はなぜ巨大化したのか, 考古学講義, ちくま新書, pp.315-346.
- 5) 青木 敬 (2017) 土木技術の古代史, 歴史文化ライブラリー 453, 吉川弘文館, pp.10-50.
- 6) 栄町 (2017) 岩屋古墳 栄町埋蔵文化財発掘調査報告書 7, p.8, pp.49-53.
- 7) 國井洋一 (2020) 空間情報技術による造園景觀の視覚化, 都市緑化技術, pp.6-9.
- 8) 王セイ, 長谷川恭子, 田中弘美, 岡本篤志, 田中 覚 (2014) 歴史的建造物のレーザ計測点群データに基づく平面・断面図の自動生成と融合可視化, 情報処理学会関西支部 支部大会, 4p
- 9) 一般財団法人建設物価調査会 (2017) 土木工事の実行予算と施工計画.
- 10) 国土交通省 (2021) : 平成 24 年 10 月以降適用施工パッケージ  
ジ型積算基準, <https://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekkei/pdf/240508sekoupackage2.pdf> (閲覧日 2021 年 9 月 25 日)
- 11) エージェントソフト (2021) 平成 30 年度作業日当たり標準作業量, [https://www.agencysoft.co.jp/wp-content/uploads/2018/08/180823\\_hiatari\\_bugakari.pdf](https://www.agencysoft.co.jp/wp-content/uploads/2018/08/180823_hiatari_bugakari.pdf) (閲覧日 2021 年 10 月 11 日)
- 12) 岩本才次 (2006) 昔の日本の船事情, 日本航海学会誌 164, pp.24-46.
- 13) 仲野雄介, 長井熊吉 (1941) 土木工事の歩掛と仕様書, p.8, p.66, p.76.
- 14) 大地への刻印 (2005) <https://suido-ishizue.jp/sitemap.html> (閲覧日 2021 年 10 月 5 日)
- 15) 国土交通省 (2021) 公共事業設計労務単価 <https://www.mlit.go.jp/common/001387434.pdf> (閲覧日 2021 年 12 月 25 日)
- 16) 工事歩掛研究所 (1983) 改訂版標準歩掛要覧: 財団法人経済調査会, pp.1558-1600.

# A Comparative Verification of Ancient and Present Construction of the Ryukakuji Iwaya Tumulus

By

Kosuke IJIMA\* and Yoichi KUNII\*\*†

(Received August 18, 2022/Accepted January 20, 2023)

**Summary** : The purpose of this study was to examine and compare the process schedules and cost estimates for the construction of the Ryukakuji Iwaya tumulus in Chiba Prefecture using current and ancient technology, respectively, and to infer the technology that can be applied to the current construction site based on a literature survey. A three-dimensional survey using a ground laser scanner was conducted on the existing Ryukakuji Iwaya tumulus to determine its shape and size, and a comparison was made by applying the construction conditions of each period. As a result, it was found that construction in ancient times required about three times as much time and 46 times as many workers as in the present day. The fact that the site has remained intact after more than 1,000 years, with a few exceptions, suggests that appropriate and good compaction techniques were used. By identifying the compaction techniques and tools used at the subject site, it is hoped that they will be utilized at present-day construction sites, especially in remote and narrow areas.

**Key words** : Ryukakuji Iwaya tumulus, Terrestrial laser scanner, Construction, Manufacturing process, Ancient and present

---

\* Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture (Graduated in March, 2022)

\*\* Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

† Corresponding author (E-mail : y3kunii@nodai.ac.jp)