

現代技術と古代技術の比較による 仁徳天皇陵の建設

建設

アジアの東端に位置する日本に、世界でも最大級の規模を有する墳墓が、なぜ、そしていかにして造営されたのか。この謎は、ハイテクノロジー時代を生きるわれわれ現代人にも、限らないロマンを抱かせる。とりわけ、わが国特有の前方後円墳の代表である仁徳天皇陵は、エジプトのフワのピラミッドや秦の始皇帝陵と並ぶ規模をもち、まさに王陵というにふさわしい。その風格と土木的スケールには、千五百年の歳月を経た今日もなお、尽きることのない建設的テーマが秘められている。そこで今回、大林組プロジェクトチームは、往時の土木技術との比較検討を行いつつ、現代技術による仁徳天皇陵の建設計画に挑戦した。

大林組プロジェクトチーム

一、仁徳天皇陵とその時代

巨大古墳時代と仁徳天皇陵

三世以後半から八世紀初頭にかけて、日本各地に造営された古墳の数は二十万基以上にのぼる。古墳の形態と規模は、時代とともに大きな変遷を遂げたが、応神、仁徳天皇が活躍したとされる四〜五世紀にかけて造営された前方後円墳をもって、その頂点を迎えた。

古墳の歴史からみても、この時代は特筆されるべきことが多く、まず、それまでは奈良盆地が中心であった古墳が、大阪平野において造営されるようになった。このことから、従来の王権の大阪平野への進出、あるいは新しい河内政権の成立が推測されている。

また、初期の古墳は、丘陵などの自然地形を利用して造営されることが多かったが、この頃から平地に人工的な盛土を施し、しかも規模の大きな墳墓が建設されるようになった。これは、土木技術の発達と技術者集団の充実を物語っており、同時にこの時代が、灌漑水路や河川改修などの建設もふくめた「大土木時代」であることが伝えている。

さらに、古墳の副葬品に、従来ない馬具や馬形埴輪がみられるようになった。このことから、巨大古墳を築いた王権と、大陸の騎馬民族との密接な関係がクローズアップされている。

仁徳天皇陵が築かれた時代は、四百年を超える古墳時代の中でも、このように政治、文化のみならず、土木工学的にもきわめて興味深い時代ということができよう。

スケールについて

巨大古墳時代のシンボルである仁徳天皇陵は、現在、大阪府堺市の東部に三重の濠に囲まれた緑濃い姿を見せている。巨大墳墓として名高いエジプトのクフ王のピラミッドや、秦の始皇帝陵と比較すると、平面の大きさでは仁徳天皇陵が世界一といわれている。ただし、その正

確なスケールについては、計測の仕方などによって諸説がある。今回の建設にあたっては、梅原末治博士による「応神・仁徳・履中三天皇陵の規模と營造」（宮内庁書陵部紀要五号、昭和三十年発行）を参考とした。これは、宮内庁書陵部に保管されていた実測図を基に計測が行われたもので、仁徳天皇陵の墳丘（内濠の中央にある墳墓本体）は、前後の主軸の長さが四七五尺、最頂部である後円丘の高さ約三〇尺という壮大なスケールが判明した。

また、京都大学の高橋逸夫教授が試算した仁徳天皇陵の墳丘の総容量は、一、四〇五、八六六立方尺にも及ぶ。一四〇万立方尺といえば、現在の十トンダンプトラック（容量六立方尺）にして二十五万台分に相当する。この規模の土構造物は、現代では中規模のアーサダム程度であるが、千五百年前の生産力を考え合わせると、驚異的な巨大建造物であるといえる。仮に、当時の生産力を現代に換算してみると、これは、現在計画中の関西新空港の埋立て工事を上回る一大土木工事であろう。

二、土木工学からみた仁徳天皇陵

古代地図にみる位置

仁徳天皇陵は現在、海岸線からかなり内陸に入ったゆるやかな傾斜をもつ台地上に位置している。いわゆる前方部正面は南南西を向いており、その方向の意味についてはさまざまな説があるが、かつての大阪湾の海岸線と平行する形で設計されたものともいわれる。古代地図をみると、古墳時代の海岸線は、現在よりもずっと東側内陸側（西側）にあった。沖積層に残る遺跡や貝殻から地層の絶対年代を調査した結果によると、海岸線は陵の中心から西へ約一、六〇〇尺付近にあったものと思われ、現在の五尺の等高線より少し海側にあった。したがって、かつての仁徳天皇陵は海に近い小高い台地に造営されており、海を航行する船はもちろん、大阪湾を一望できる広大な視野の地にあったことがわかるのである。

以上のように、陵の立地を土木工学的視点から観察してきたが、それをさらに整理すると、次のようになる。（巨大古墳の建設を可能とした土木工学的条件）

- ・盛土高三〇尺、盛土荷重一平方尺当たり五〇〜六〇トに十分に耐えられるだけの支持力を有した地盤である。
- ・安定した高盛土を造成するための土質的要素を満たす土が入手でき、また濠の掘削法面の安定が保てる地盤である。
- ・膨大な量の葦石が採取できる河川が近くにある。
- ・そしてさらに、立地場所が自然傾斜台地であり、濠掘削中の自然排水が可能である（これについては、施工の項において解説を行った）。

三、仁徳天皇陵の建設計画

建設計画にあたって

『日本書紀』の「崇神紀」に、ヤマトトトヒモソヒメの箸墓の造営に関する記述がある。そこには、この古墳について、「昼は人がつくり、夜は神がつくった」と記されている。人力しか頼るものがない古代人にとって、古墳の建設はまさに神がかつた大事業だったであろう。技術者や人夫たちは、神の加護を頼ったであろうし、完成した姿を見た者たちは、とても人間の手だけによるものとは思えなかったはずだ。まして、一四〇万立方尺もの大墳丘と、それをめぐる広大な二重濠をもつ仁徳天皇陵の造営となれば、どれほど膨大なエネルギーが注がれたことであろうか。そこではおそらく、土木技術の原点ともいえる作業が、昼夜を分かたず営々と繰り返されたに違いない。

現代の土木技術者の目からこの世界最大の古墳をみると、そうした古代技術への遠い想いととも、もうひとつ、もしわれわれ現代人が建設するとしたら……という、現代的な視点からの興味がわく。古墳の研究は、考古学や歴史学の分野ではかなり進められているが、工学

土木工学からみた立地

仁徳天皇陵が現在の地に定められた経緯は、『日本書紀』の仁徳紀六十七年冬十月の条に、「河内の石津原に幸して陵地を定めたまふ」と記されており、十数日後には「始めて陵を築く」とある。しかし、その理由については何も記されていない。宗教上、政治上のさまざまな理由が推測されているが、もうひとつ、土木技術上の理由も考えられるべきであろう。なぜなら、一四〇万立方尺もの土量を支えるには、相当な地耐力をもつ地盤が必要だからである。そこで、国土庁土地局発行の土地分類図及び付近の土質調査データから現地の地盤を調べてみると、この陵は礫層を主体とした洪積段丘上に位置している。土質は、砂礫層と固結した粘性土との互層であり、現在の土木工学からみても十分な地耐力をもつ地盤であることから、当地を選定した理由の妥当性がうかがえるのである。

土取り場の想定

仁徳天皇陵の建設を考える時、まず問題となるのは「一四〇万立方尺もの土をどこから採取したか」である。なぜなら、この陵は平地に盛土して造営されたといわれるからである。第一に考えられるのは、墳丘をめぐる濠の部分からの掘削土であろう。濠は現在、三重濠となつていますが、本来は二重濠であった可能性が高い。明治期にこの陵を調査した英国人ウイリアム・ゴードランドが残した資料などには、二重濠と記されている。もともと外側の三重目の濠は、何らかの理由により後世に掘削されたと考えられている。

そこで、一四〇万立方尺の土を二重濠の掘削によって採取したと仮定して計算すると、濠の深さは一〇尺以上も必要となる。実際の濠の深さは調査されたことがないため不明だが、一〇尺以上となると掘削法面が不安定であるし、また大量の湧水を配慮しながらの水中掘削は当時の技術水準ではきわめて困難といえる。したがって、

的な研究、それも現代工学の立場からのものは、まだ少ない。日本の国家揺籃期に出現した「大土木時代」が残した大いなる遺産を、現代技術によって見直す機会があってもいいのではないだろうか。

計画の前提条件

- 今回のプロジェクトにあたり、建設のための前提条件を次のように設定した。
- ・建設時期は現在とし、仁徳天皇陵と全く同規模の墳墓を、現代工法と古代工法により再現する。
 - ・建設の範囲は、墳丘、及び二重濠までとし、三重目の濠及び陪塚は含まない。
 - ・工事は、現代工法、古代工法とも、すべて現代人が行うものとする。
 - ・現代工法は最新土木技術を駆使し、古代工法は古墳時代当時の土木技術に従う。
 - ・古墳建設場所は、現在の仁徳天皇陵の敷地とし、地表は雑草、灌木に覆われた洪積台地とする。
 - ・客土材は、陵の西側の土取り場より採取する。葦石は、石津川から採取し、古墳まで運搬する。
 - ・陵の敷地、及び土取り場を除き、周辺環境（道路、鉄道、市街地など）は現在の社会環境と同一とする。
 - ・陵の規模、仕様は、現代工法、古代工法とも同一とする。
 - ・工事関係者の労務条件、労務資金などは、現在の社会に従う。

主要工事設計数量

建設にあたり、現代工法、古代工法とも、主要工事の設計数量を次のように定めた。

a 敷地面積……………四七八、〇〇〇平方尺

敷地範囲は、現在の仁徳天皇陵敷地とした。

葦石採取場所の設定

仁徳天皇陵をはじめとした多くの古墳は、現在、緑濃い樹木に覆われた姿をしている。しかし、建設された当時は、その表面の大半を葦石で覆われた人工的な建造物であった（復元された神戸市の五色塚古墳などに往時の姿を見ることができる）。前述した梅原末治博士の報告によると、仁徳天皇陵の葦石はやや大型の川石を利用して

いたとされ、岩質についても後円丘の一例は和泉砂岩、また前方部のひとつは花崗岩と鑑定されている。そして、これらの石の産地を水源とする河川、つまり大津川、石津川、石川を葦石の採取場所と仮定している。これらの資料を前提とし、さらに陵からの距離などの検討を加えた結果、われわれは今回、南側の石津川（運搬距離五・八キロ）を、もつとも有力な採取場所と想定した。

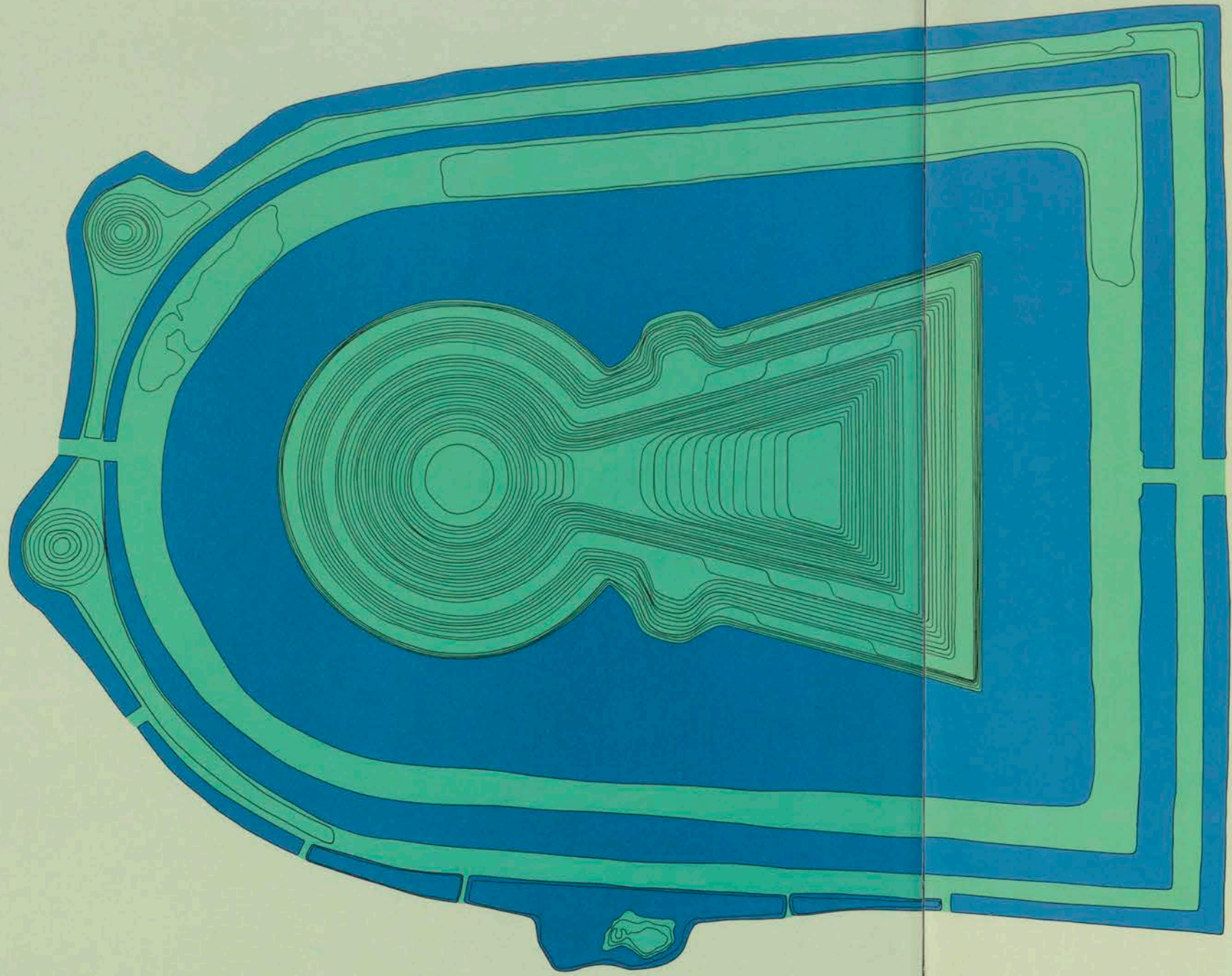
仁徳天皇陵の立地条件

仁徳天皇陵の立地条件

主要部の規模

墳丘面積	103,410 m ²
前後の主軸の長さ	475 m
前方端の幅	300 m
前方丘の高さ	約27 m
後円丘の径	245 m
後円丘の高さ	約30 m

仁徳天皇陵平面図(現況)



縦断面図

0 m 50 m 100 m



横断面図(後円部側)

横断面図(前方部側)

b 伐開除根の範囲……三二六八、六〇〇平方メートル
雑草、灌木その他の伐開除根は、二重濠外縁部の外側一〇メートルの範囲に行う。

c 陵の主要部の面積……外濠面積 四四、五八〇平方メートル
内濠面積 一三二、六九〇平方メートル
中堤面積 六五、八〇〇平方メートル
墳丘面積 一〇三、四一〇平方メートル

今回の計画は、前提条件の項で述べたとおり、墳丘及び二重濠までを対象とし、二重濠と陪塚は含まない。

d 墳丘の規模……前後の主軸の長さ 四七五メートル
前方端の幅 三〇〇メートル
前方丘の高さ 約二七メートル
後円丘の径 二四五メートル
後円丘の高さ 約三〇メートル
墳丘の土量 一、四〇五、八六六立方メートル

これらの数値は、主に前述した梅原末治博士の報告書(宮内庁書陵部紀要五号)によった。

e 濠の掘削土量……内濠掘削量 五九九、〇〇〇立方メートル
外濠掘削量 一三九、〇〇〇立方メートル

計 七三八、〇〇〇立方メートル

f 掘削する濠の深さは、内濠、外濠とも平均五メートルとする。客土量……七四二、〇〇〇立方メートル

土は締め固めると体積が小さくなる。その変化率を〇・九五とすると、(墳丘の土量約一、四〇六、〇〇〇立方メートル)×〇・九五、つまり一、四八〇、〇〇〇立方メートルが、盛土用の必要地山土量となる。そのうち七三三、〇〇〇立方メートルは濠の掘削により得られるので、残りが必要客土量となる。

g 運搬土量……一、九九八、〇〇〇立方メートル
前項とは反対に、土はほぐれると体積が膨張する。そ

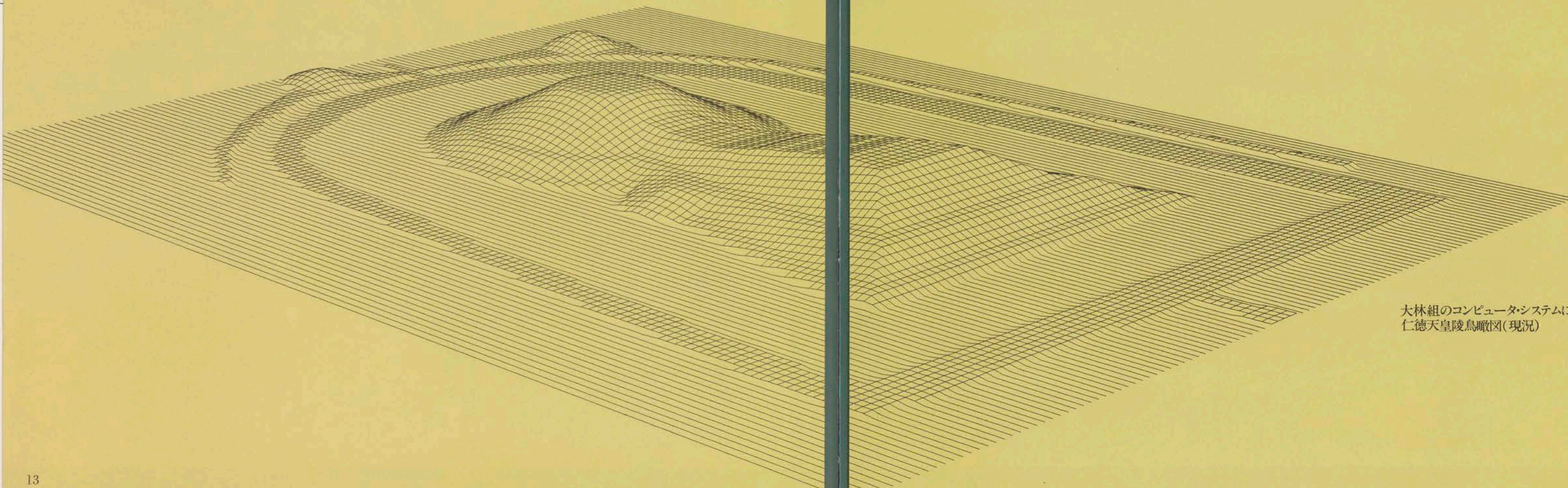
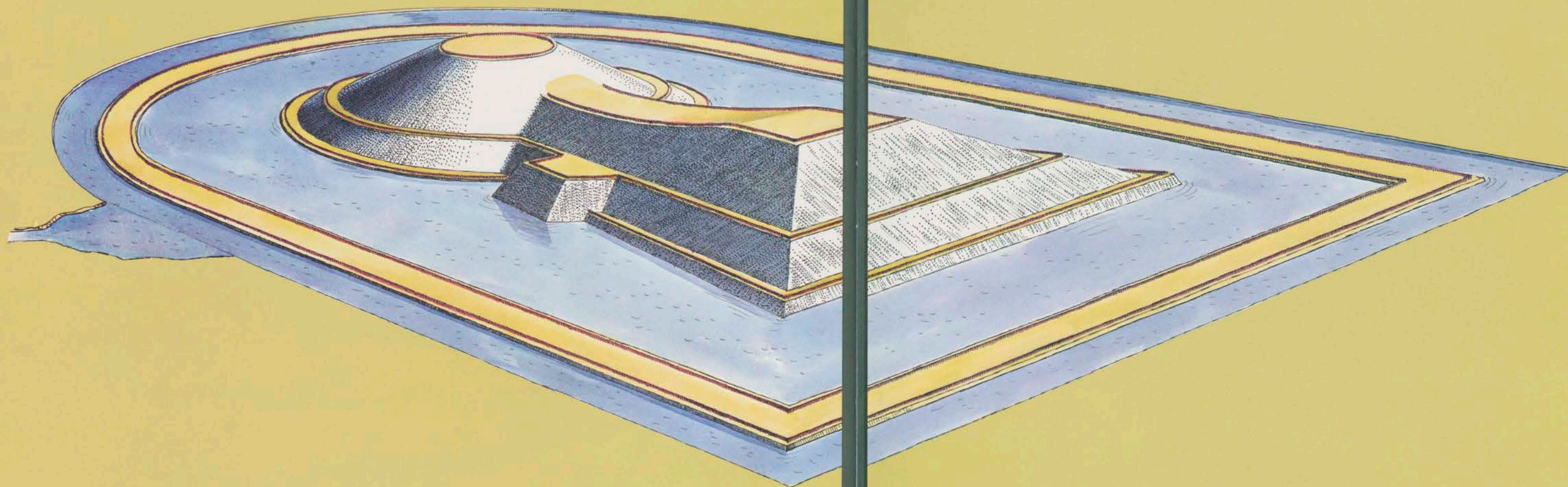
の変化率を一・二五とすると、(必要地山土量)×一・二五を運搬する必要がある。

h 葺石数量……五、三六五、〇〇〇個(一四、〇〇〇トン)

前方部、後円部の斜面のほぼ全面に、葺石を施工する。施工面積は七二、五〇〇平方メートル。葺石は、直径が平均二・五センチ程度の大きさの円礫とし、一平方メートルあたり平均七四個を密に設置する。

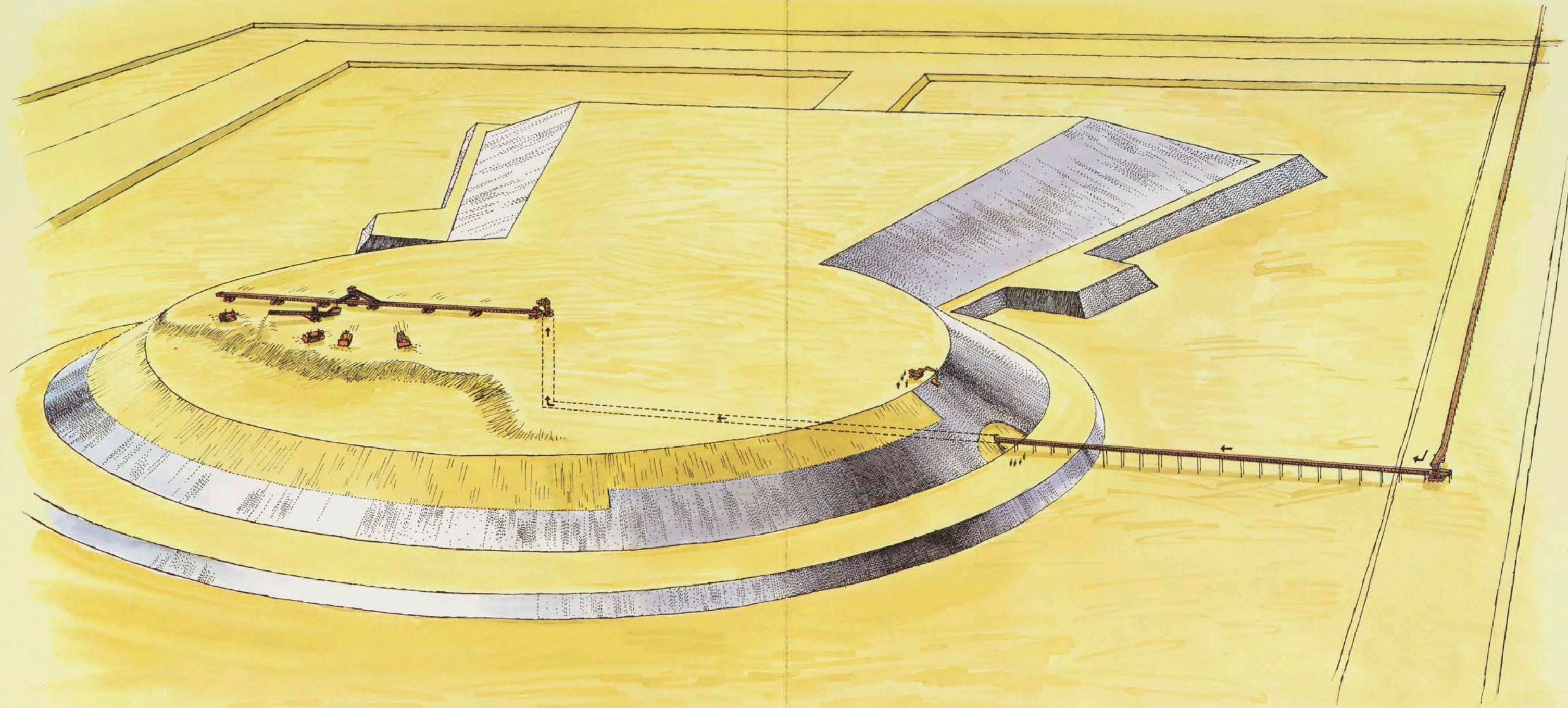
i 埴輪数量……約一五、〇〇〇個

後円頂部、前方部天端、小段(上下)、中堤(内堤、外堤)には、円筒埴輪を一列状に設置する。その総延長は七、五〇〇メートルであり、設置間隔は五〇センチとした。埴輪の形状、寸法(およそ口縁径四〇センチ、底径三〇センチ、高さ一〇センチ)は、宮内庁書陵部紀要及び五色塚古墳の例を参考とした。

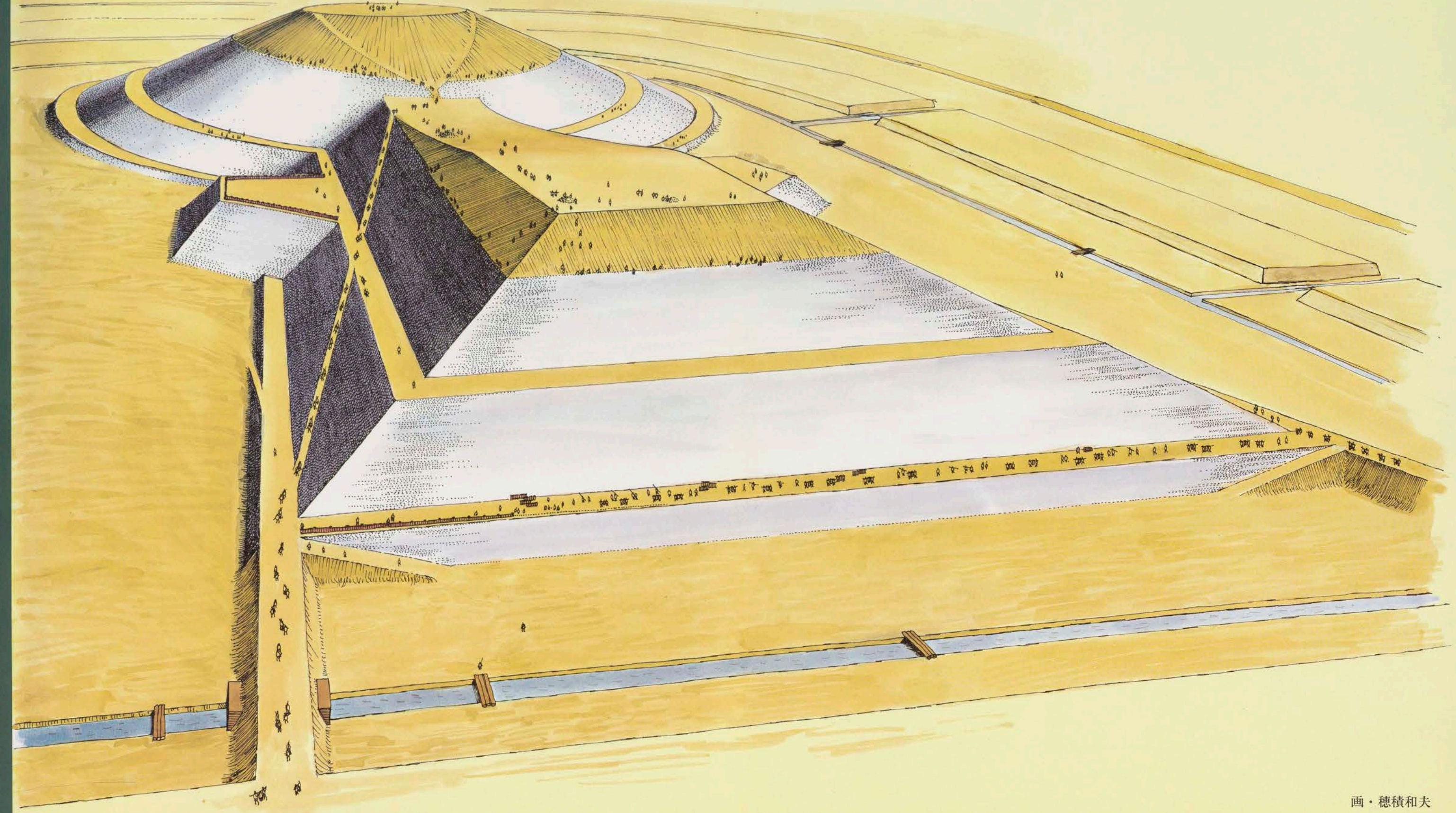


大林組のコンピュータシステムによる
仁徳天皇陵鳥瞰図(現況)

現代工法により建設中の仁徳天皇陵



古代工法により建設中の仁徳天皇陵



画・穂積和夫

仁徳天皇陵配置図



現代工法による建設

施工条件

- 現代工法による施工条件を、次のように定めた。
- イ、建設機械の選定においては、現在の周辺環境を考慮し、建設公害のない工法を採用する。
 - ロ、作業時間は一日八時間、ひと月二十五日間とする。
 - ハ、建設事務所を陵の敷地内に設置する。労務宿舎は設けない。
 - ニ、設計、品質、仕様は古代工法と同様とするが、施工管理基準は現代のものに従う。

施工計画の概要

現代工法による施工の特徴は、現代技術の粋である機械力とシステム化による、徹底した合理化を図る点である。今回の工事に最適な機械、工法を採用するとともに、一部、特殊機械の開発についても検討した。また、あらかじめ設定した工期内に支障なく全工事を完了するために、施工管理にはコンピュータを導入した。具体的な工法の選定にあたっては、

- ・工事現場の周辺環境への配慮を行う
- ・墳丘が錐体状であるため、高い位置となるほど同一土量に対する工事進捗度が急速化することを考慮する
- ・葦石の数量が膨大であるため、土工の進行とのバランスを確保する
- ・埴輪の製造と設置についても、土工の進行とのバランスを確保する
- などの条件を満たすものとした。

なお、全体の工期については、使用する機械の量や規模に応じて、いくつかの工期を検討したが、今回は、建設内容と工事規模から常識的にみて、三〇カ月（二年半）とした。

①現地調査

仁徳天皇陵敷地周辺を踏査し、現在の地形、地表面の傾斜、地表の状態、植物の繁茂状態などについて調査する。また、付近の土質データならびに現地のボーリング調査により、地下水位、土質（礫材か、粘土材か）、盛土材としての適性などの調査を行うものとする。さらに、すでに推定した敷地西側の土取り場や、葦石の採取場所である石津川、西除川の現地調査を行い、工事現場への運搬方法、ルートなどについて検討する。

古代工法による建設

施工条件

- 現代人が古代工法によって全作業を行うものとし、その施工条件を次のように定めた。
- イ、建設用の工具は、鉄製、及び木製のスキ、モッコ、コロを使用する。
 - ロ、労働者数はピーク時で一日二、〇〇〇人とし、牛馬は使用しない。
 - ハ、作業時間は、現代工法と同様、一日八時間、ひと月二十五日間とする。
 - ニ、建設事務所を陵の敷地内に設け、労務宿舎を客土工取り場内に建設する。

施工計画の概要

古代工法による施工は、できる限り古墳時代の技術に基づき、すべての作業を実施する試みである。世界最大の墳墓を造営するほどであるから、当時の技術水準はかなり高かったと想像されるが、その詳細についてはまだ不明の部分も少なくない。

例えば、工期ひとつをみても、仁徳天皇陵の建設に何年を要したかは、判明していない。『日本書紀』仁徳紀の記述から、二十年を要したとする解釈もあるが、はたしてどうであろうか。古代工法の場合、とくに土砂の掘削、運搬、盛土、さらに葦石工事などでは、労働者数によって工事の進行速度は大きく左右される。当時の王権が、古墳造営にどれほどの動員力を有していたのか、そうした要素も重要であるが、判断の参考となる資料が乏しい。そこで今回の計画では、『日本書紀』の記述や工事規模などから、一〇〜二〇年のオーダーで工期と作業員数について数ケースを検討し、もっとも妥当と思われる作業員数をピーク時で二、〇〇〇人と設定して、全体の工期を算定した。

①現地調査

現代工法と同様、土取り場の設定、敷地周辺の地形、地表面の傾斜、地表の状態、植物の繁茂状態などの調査を行う。また、試掘して、地下水位、土質などとともに、スキ、クワによる掘削の難易度、水切りの程度についても調査、検討を加えることとする。さらに、葦石については、とくにその運搬について、古代技術にふさわしい方法の検討を行う。

②伐開除根・地山均し

② 伐開除根・地山均し

『日本書紀』の「仁徳紀」六十七年の条には、仁徳天皇がここを陵地と定めた時、野より鹿が走り出てきた説話がある。こうした説話から、このあたりはかつては野原だったであろうと想像される。地形、地質からみても、灌木がまばらに生えた程度の草原と仮定した。これらの灌木、雑草を根ごと除去し、地山の自然傾斜に合わせて地表面の凹凸をならす必要があるが、現代ではレーキドーザ、ブルドーザなどで、容易に作業を進めることができる。

③ 基本測量

付近に位置する国土地理院設定の三角点、及び水準点より、トランシット、水準器などの測量機器で正確な位置付けを行う。次いで設計図に基づき、地山に外濠、内濠の掘削位置と勾配、及び墳丘の盛土勾配線を示す丁張を設ける。

④ 主排水路計画

掘削を行う際、地下水対策として、まず排水路を確保する必要がある。古人もおそらく、その点には留意したはずとの推測をもとに、現地調査において排水路の位置を確認した。その結果、陵の北西に三重濠が変形して溜池状となっている箇所が見つかった。現在も、そこは濠からの排水路へと続いているが、この池はかつて施工時に排水用として利用された可能性が高い。そこで、掘削にあたっては特別な排水路は設置せず、古人も利用したと思われるこの池を防災用調整池とし、そこから続く排水路を利用することとした。

⑤ 土工事

土工事は、二重濠の掘削と、一四〇万立方メートルの巨大な墳丘を造営するための一大作業である。現代工法と古代工法との相違が、もともと顕著に現れる部分といえよう。しかも、工事現場は居住地に隣接しており、騒音、振動、粉塵、排ガスなどの公害問題を十分に配慮する必要がある。こうした環境下では、従来工法のショベル・ダンプ工法は困難である。今回は、公害が少なく、掘削、積込、運搬・撤出しの一貫した連続作業が可能で、作業能率のきわめて高い工法として、BWE(ハケットホイールエキスカベータ)とベルト・コンベアなどを組み合わせた「連続土工システム」を採用した(図参照)。

⑥ 外濠掘削

現在の仁徳天皇陵の外濠は、幅が一〇〜二〇メートル、面積は四四、五八〇平方メートルある。その掘削工事は、連続土工システムにより行う。ただし、この付近は地下水位がかなり高いため、掘削土は盛土材としては含水比が高い。そこで、前述した調整池を利用して排水する。

⑦ 内濠掘削

仁徳天皇陵の内濠はきわめて広大であり、それがこの陵の大きな特徴でもある。濠幅は北側と南側で約七〇メートル、もともと広い前方部と後円部のくびれ部分では一一五〜一二〇メートル、面積は一三二、六九〇平方メートルに及ぶ。この掘削工事は、やはり連続土工システムで行うが、掘削土量は外濠の仮置き分と合わせて七三、八〇〇立方メートルとなる。この全量を直盛りすると、墳丘高は一気に約六メートルとなり、施工上(品質管理面)の問題が残る。そこで、内濠部を四分割し、その一方所(後円部外側)をまず掘削して直盛りする。土量は四分の一であるから、盛立て高も約二メートル程度である。

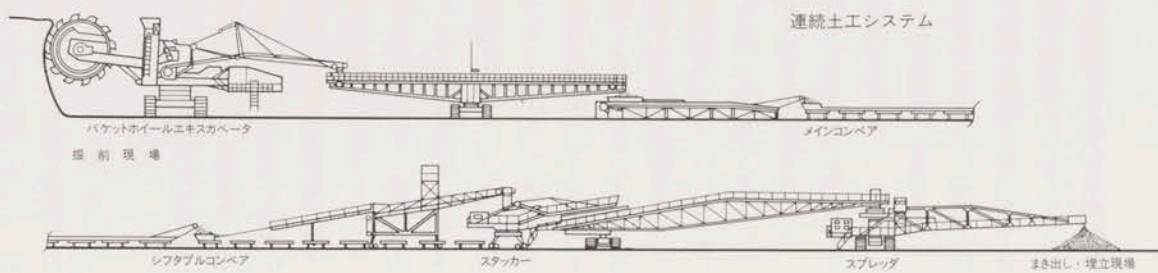
また、直盛りを行う際、同時に敷地西側より後円部中心まで仮設トンネルを通し、中にコンベアを設置。さらに後円部中心において垂直コンベアと接続し、以後の盛土材はこのルートによって後円部中心まで一気に運搬することとした。なお、内濠掘削時の排水は、外濠との間に水路を設けて行う。

⑧ 客土掘削

客土は、敷地西側に設定した土取り場において、連続土工システムにより掘削、運搬する。土取り場は、ほぼ台形状をした広範な地域であり、これを二区に分割し、効率良く掘削を行う。土取り場から墳丘部までは現況道路に沿ってベルトコンベアを敷設。さらにトンネル内コンベアと垂直コンベアにより、後円部中心まで運搬する。

⑨ 盛土

内濠掘削土を直盛りする際に設置した垂直コンベアは、盛土高が上がるに従い、順次、嵩上げていく。これによって運搬した盛土材は、盛立て中姿



現代工法による建設

古代工法による建設

灌木がまばらに生えた程度の草原であると想定すると、鉄製のノコギリ、カマ、オノなどの道具類で、十分に伐開除根を行うことができる。また、基本測量のための地山均しも、鉄製・木製のスキ、クワ、ツルハンシ状の掘削具によって行う。

これらの作業は、陵の敷地、及び客土土取り場を対象とする。

③ 基本測量

陵の建設にあたり、地表面に地割図を描く必要がある。

④ 地割

まず現地盤上に尋棒(ひと尋約一六〇センチを単位とした棒)で基準点(後円部中心、前方部中心など、地割図を描くための基準となる点)を設け、それを基に目盛りを付けた荒縄、水糸などを使用して図の中心となる基準線を引く。次に前方部隅角点、くびれ部折線、後円部外周線、前方部外縁線などを地山に写し、さらに内濠、外濠の地山の測線を描き、それぞれ荒縄、水糸により地山に刻みつける。続いて、内濠、外濠の周辺に沿って周溝をめぐらし、掘削位置、高さ、掘削勾配、及び墳墓の盛土勾配を示すための丁張を設ける。以上の作業には、記述した他に勾股弦の細引紐(直角、特定角を測るもの)、水舟(水準器)、木杭などを用いる。

⑤ 周溝

内濠、外濠部分をそれぞれ縁取るようにして周溝を掘り、その中の地下水位を基準高として各地点の高さを算出し、掘削、盛土の勾配を設定する。角度の算出には、古墳時代にすでにあったとされる漢の定規を利用する。また、水平を出す方法としては、他に水舟、勾股弦を利用する方法もある。

なお、基本測量に使用した道具類は、古墳時代に実際に使用されたか否かは別として、現代人が古代工法で測量を行うために必要な最低限の道具を設定したものである。

④ 主排水路計画

現代工法の場合と同様、特別な排水路は設置せず、陵の北西にある溜池を利用して排水を行う。西側へ向けて土地が低くなっている仁徳天皇陵にあつては、この池を利用すれば自然排水が比較的容易であり、また洪水調節、土砂沈澱などにも活用できることから、古代人の技術が偲ばれる池といえる。

⑤ 土工事

古代工法による土工事は、機械力がないに等しいため、もっぱら人力に頼るほかはない。使用する道具は、掘削具として鉄製のスキ、クワ、運搬用のモッコだけである。また、盛土の際の締め固めも、主として人力(足による踏み固め)によった。一、五〇〇年も前に、一四〇万立方メートルの膨大な土工事

が、このような工法によって行われ、しかもその構造物がいまも壊れずに残っていることは、驚異といえる。

⑥ 掘削

基本測量のための周溝の掘削を行ってから、外濠掘削に着手する。外濠掘削土はいったん仮置きし、水切りをしたのち、所定の場所へ盛土し、締め固める。なお、原始的なスキ、クワによる掘削は、現在のスコップなどと比較すると、きわめて効率が悪いと思われる。そこで、掘削の作業効率を現在の五〇パーセント(二人一日二立方メートル)に設定した。

続く内濠の掘削は、土砂の含水比を低下させるため、図のようにトレンチを先行掘削し、地下水位を下げてから順次、内濠本体部分を掘削していく。その際、外濠との間に水路を設け、排水を行う。また客土の掘削は、土取り場において、斜面を切り下げる方法で進めることとした。

⑦ 運搬

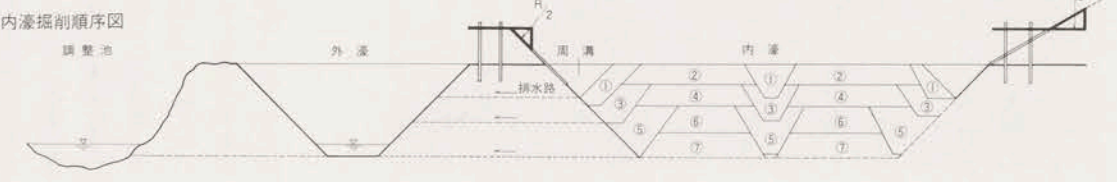
掘削土の運搬は、モッコを利用して、二人で一度に六〇センチを運ぶ。運搬距離は平均で、外濠から二五〇メートル、内濠から二〇〇メートル、そして客土土取り場からは一、三〇〇メートルである。その作業能率は、外濠〇・八五立方メートル/人日、内濠一・〇立方メートル/人日、そして客土土取り場〇・二立方メートル/人日と算定した。

内濠掘削土の運搬は、盛土が低いうちは墳墓の所定位置まで直接に揚げ、盛土高が三メートル以上となれば、数カ所に仮設道路を設置し、それを利用して盛土を進める。したがって、客土はこの仮設道路により、墳墓の盛土位置まで運搬する。

⑧ 盛土

墳墓上でモッコから荷卸した土砂は、木べら、竹べらなどで均一にならし、その上を足で踏み固める。この方法は、きわめて原始的ではあるが、きめ細かい作業が可能であり、締め固めは現代工法に劣らないほどの効果が期待できる。巨大古墳の多くが、現在もなお往時の姿を比較的よく留めている理由のひとつとして、人力による綿密な締め固めが想像できる。

⑨ 土工事に要する作業員数



図に示したように、後円部では自走式コンベアを回転させながら土砂を均一に撒き出し、盛土を進める。また前方部では、自走式コンベアを扇状に移動させながら盛土を行う。盛土が進むにつれ、周囲はすべて法面となるが、法面保護のための葦石面積が広いため、盛土と併行し葦石作業を進める必要がある。そこで、葦石の施工性から、盛土高は一層当たり二・五メートルで施工するが、実際には三〇センチずつブルドーザーでひき均して転圧を行うものとする。また、盛土中の排水については、法面保護のため周辺部より中心に向かい、緩い盛土勾配をもたせ、雨水を中心部に集中させ、垂直コンベア用立坑を利用して行う。

〈土工事に要する作業員数〉

機械力を駆使した現代工法の土工事に要する作業員数は、次のとおりである。古代工法の数値と比較すると、その違いがよくわかるであろう。

	(掘削)	(運搬)	(盛土)	(計)
外濠	一五〇人	二〇〇人	三五〇人	七〇〇人
内濠	七五〇人	三、二五〇人	二、五〇〇人	六、五〇〇人
客土	七五〇人	三、七五〇人	一、七五〇人	六、二五〇人

(いずれも延べ人数の概数)

⑥葦石工事

古墳の葦石は、法面保護のためであったろうと考えられている。古代の土構造物としてはかなりの急斜面で構成されており、また当初は樹木は植えられていなかったとすると、葦石の役割はきわめて重要であったはずだ。しかし、法面保護のための現代工法としては、植生、ブロック張工、法枠工など、工程的にも経済的にも、また品質的にも葦石より優れた方法がある。これらの方法を採らずに、葦石工事を行うことは、技術的に矛盾があるともいえるが、古代工法との比較上、ここでは同じ仕様の葦石をそのまま採用した。それだけに、これは現代技術にとってもひとつの課題であった。

〈葦石の施工〉

墳丘の盛土が二・五メートル立上るため、葦石もこれと併行施工とした。葦石の総数量が五、三六五、〇〇〇個にもなるため、これをいかに効率よく施工するかが大きなポイントとなる。そこで今回は葦石施工用に、油圧ショベルカーにアタッチメントを取り付けた、専用の「葦石機械」を開発することとした。アタッチメントは、幅一メートル、長さ七・五メートルのフレームに円盤を配置(長手方向に整列)し、これを法面に押し込んでいく装置である。二・五メートルの盛土高に対する斜面長は場所によって四・七メートルと変化する。また、二・五メートルの盛土高が取れない箇所もあることから、葦石機械はこうした不規則さ

にも対応できるものとした。人力によりひとつずつ積み上げる緻密さに、あえて機械力で挑戦するならば、このような工法が考えられる。

さらに、葦石背面には、盛土内部からの排水、及び葦石の噛み合わせをよくするための間詰め用として、切込砂利を約三〇センチ厚に敷設することとした。

〈葦石の採取と運搬〉

葦石の採取場所としては、すでに述べたとおり、幾つかの採取地が考えられるが、ここでは墳丘からの距離がより近い石津川において、全数量をまかなえるものと仮定した。使用する石は、平均十二・五センチの円盤である。採取方法としては、従来の機械を改良した可搬式砂利採取機を使用し、石の選別はトロンメル(選別機)で行う。また、石の運搬には十トン級ダンプトラック二台を使用する。

なお、葦石工事に要する延べ作業員数は、次のとおりであり、古代工法とは大きな違いがある。

- ・葦石の施工 三、二〇〇人
- ・葦石の採取と運搬 四、三〇〇人

⑦埴輪工事

古墳には、家、船、武器などの形をしたさまざまな埴輪が設置されている場合が多いが、ここでの埴輪とは、墳丘や中堤の上に垣根状に配置された円筒埴輪のことである。その意味については、まだ確定的な解釈はないが、

使用機械一覧表

機 械 名	仕 様	数 量	用 途
油圧ショベル	0.6m ³	1	法面整形、排水路掘削等
バケットホイール エキスカベータ	1000m ³ /Hr	1	掘削(内濠、外濠、客土)
トランスファウゴン	1000m ³ /Hr	1	掘削土砂運搬(内濠、外濠、客土)
シフトブルコンベア	W1050mm×L400m	1	//
メインコンベア-1	W1050mm×L570m	1	//
メインコンベア-2	W1050mm×L520m	1	//
メインコンベア-3	W1200mm×L250m	1	//
自走式コンベア	W1050mm× L100m&L250m	2	//
スプレッダ	1000m ³ /Hr	1	土砂撒出し
ブルドーザ	20t	2	整地
振動ローラ	7t	1	転圧
採石選別機	100t/Hr	1	採石選別
葦石機械	90m ³ /Hr	1	葦石設置
ダンプトラック	10t	2	葦石運搬
建柱機	4t	1	前穿
クレーン付トラック	4t	2	掘付

現代工法による建設

古代工法による建設

なお、以上の土工事に要する作業員数は、次のような膨大なものである。

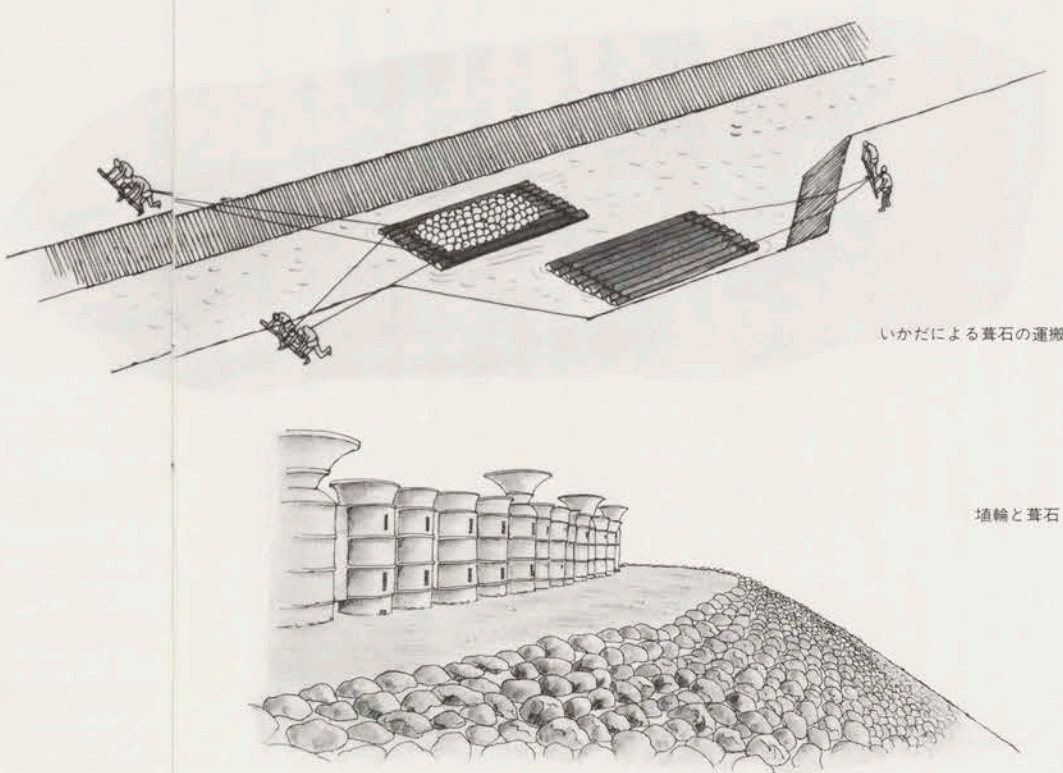
	(掘削)	(運搬)	(盛土)
外濠	七〇、〇〇〇人	一六〇、〇〇〇人	一三三、〇〇〇人
内濠	三〇〇、〇〇〇人	六〇〇、〇〇〇人	一〇〇、〇〇〇人
客土	三〇〇、〇〇〇人	三、七〇〇、〇〇〇人	二二〇、〇〇〇人

(いずれも延べ人数の概数)

⑥葦石工事

古代工法による葦石工事は、土工事と匹敵する大作業である。今回は陵の南を流れる石津川から石を採取することとしたが、約五・八メートル離れた陵まで、どうやって運搬したらよいのであろうか。古墳時代には、まだ牛馬の使用はなかったと推測されている。とすると、やはり人間がモッコなどに入れて歩いて運んだことになる。『日本書紀』の箸墓造営の説話には、たしかに人々が石を手渡して運搬したという記述がある。

しかし、当時の技術者の水準を考えると、もっと効率のよい方法が採れた



はずだ。そこでわれわれは、ひとつの可能性として、いままでとは別な運搬方法を考察した。

〈葦石の採取・運搬〉

石津川流域において採取した石は、モッコなどによって一カ所に集める。そこから陵までの運搬路としては、水路を掘削することとした。この水路にいかだを浮かべ、葦石を乗せて運搬すれば、かなり効率よく作業が進展する。古代人が、はたして実際にこうした方法を採用したかどうかは不明だが、古墳の濠を掘削する技術があれば、土木的な可能性としては十分にありうることである。水路の幅は四メートルとし、途中数カ所にいかだががすれ違うための交叉部を設けた。

ちなみに、いかだ一台を四人で曳くとして計算すると、水路掘削も含めて、運搬作業全体では延べ九〇、〇〇〇人の作業員を必要とする。これに対して、モッコで陸上運搬した場合は、延べ二二〇、〇〇〇人近くもかかり、工費が二・四倍にもなる。

〈葦石の施工〉

葦石設置時には、葦石の噛み合わせがよくなるように、裏込め材として切込砂利などを充填する。葦石の施工密度は、現代工法と同じ一平方メートルあたり七四個である。墳丘の上では、人間が一個ずつ運搬し、施工箇所を押し込むようにして設置する。この方法だと、一人一日当たり二四〇個(三・二四平方メートル)ずつ施工することになり、完了までに必要な作業員は延べ約四〇、〇〇〇人となる。

なお、古代工法による葦石工事に要する延べ作業員数は、次のとおりである。

- ・採取と選別 八〇、〇〇〇人
 - ・陵への運搬 九〇、〇〇〇人
 - ・設置 二五、〇〇〇人
- (いずれも概数)

⑦埴輪工事

古墳時代における埴輪の製造は、陵の周辺で登り窯状の窯によって行われていたといわれている。円筒埴輪などはかなりの重量があり、製造場所が遠いと運搬に無理が生ずるからであろう。現在、周辺は居住地域であり、窯の

おそらく宗教的な意味合いが強いといわれている。
 今回の建設では、図にも示したとおり、墳丘上では後円最頂部、前方最頂部、上段テラス、そして下段テラスの四列。中堤では二列に設置する。総数一五、〇〇〇基の内、錆付き円筒埴輪八〇パーセント、錆付き朝顔型埴輪二〇パーセントの比率である。これらを五〇センチ間隔で設置していくが、その施工にはあらかじめ間隔の埋込み穴を掘削しておき、埴輪吊り装置によって十基ずつ（後円部頂上では五基ずつ）設置していく方法を採用した。
 また、埴輪の製造は窯工場において機械ロクロ成型、割り形鋳込み成型で行い、トラックで現場まで運搬し、盛土と葺石の進行に合わせて、順次、下部より設置していく。

⑧施工管理
 本計画では、すでに述べたとおり、土砂採取・運搬・盛土を一貫した連続工法で行っている。これは現代工法による建設の最大特徴であり、画期的なシステムといえよう。その機能が十分に発揮され、かつ効率よく運搬されるためには、一連のシステムの運転制御、及び監視が重要となる。そこで、各システムから発生する情報・記録を集積し、これを統計的に処理し、品質管理を含めたシステム管理をコンピュータによって実施する。

六、仁徳天皇陵建設の工期と工費

仁徳天皇陵の建設に要する工期は、

・現代工法 一年六カ月

・古代工法 十五年八カ月

である。詳細は、工程表に示した。

その工期中に必要とされる作業員数は、

・現代工法 延べ二九、〇〇〇人
 （二日当たり、ピーク時で六〇人）

・古代工法 延べ六、八〇七、〇〇〇人
 （二日当たり、ピーク時で二、〇〇〇人）

・現代工法 延べ六、八〇七、〇〇〇人
 （二日当たり、ピーク時で二、〇〇〇人）

・古代工法 延べ六、八〇七、〇〇〇人
 （二日当たり、ピーク時で二、〇〇〇人）

となる。ただし、埴輪製造の作業員については、不確定要素が多いため、除外した。

また、総工費は、

・現代工法 二〇億円
 七九六億円

・古代工法 二〇億円
 七九六億円

現代工法による建設

古代工法による建設

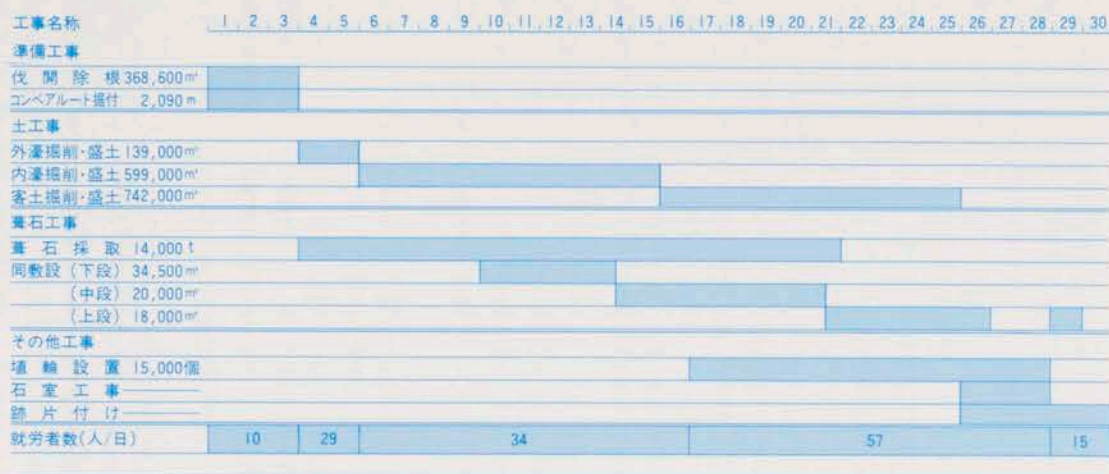
設置は不可能だが、すぐ近くで製造できるものと仮定した。
 設置箇所、及び埴輪の種類は、現代工法と同様である。墳丘上への設置は、二人で一基の埴輪を運び、あらかじめ掘削した溝に据え付け、土で埋め戻して固定する。

⑧施工管理
 古墳時代には、こうした大規模工事の際、どのような施工管理体制が採られたのであろうか。古墳造営の技術者としては土師部のような一族が知られているが、そうした技術者を指導者とした労務集団が構成されていたとも考えられる。なぜなら、技術教育面を除けば、施工管理の大半は、一日二、〇〇〇人という大労務集団を把握、統率し、いかに効率よく作業をさせようかに尽きるからである。そこで今回は、作業員十人に一人の世話役を配す労務グループを最小単位とし、それらがピラミッド型に管理される労務編成を行い、組織的に施工を進めることとした。

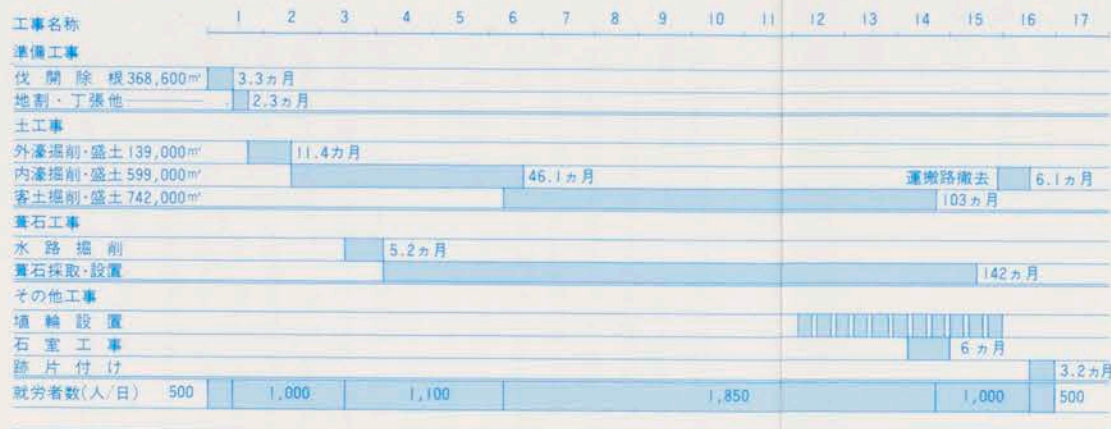
と見積もった（埴輪製造費に関しては、単純な比較が困難であるため、全体の工費からは除外したが、その費用は現代工法一六億円、古代工法六〇・五億円と試算。工費の詳細は、別表に示したとおりである。

なお、本文中には触れなかったが、現代工法、古代工法とも、後円部中心の地下に石室を構築することとし、そのための工期、作業員数、工費を含めてある。

現代工法工程表（単位：月）



古代工法工程表（単位：年）



作業を終えて

石と土という素材の違いはあるが、エジプトのクフ王のピラミッドと並ぶ巨大構造物が、わが国の歴史の曙期に出現したという事実がある。それほど有効な生産手段をもたなかったであろう古代、一四〇万立方メートルの土構造物を建設した当時の王権の強大さ、人々のエネルギー、そして指導にあたったであろう技術者たちの叡智に、

われわれはますます驚かされた。

作業を終えて、工期、作業員数、工費について比較すると、現代工法のほうが飛躍的に有利という結果が出た。これは、人力と機械力の比較であるから、当然の帰結であろう。しかし、詳細に検討すると、人力によるきめ細かい作業が可能である分、古代工法が有利と思われる点もある。本文中でも触れた葺石工事の品質などが、そのよい例であろう。

工事費見積

名称	数量	金額	
		古代工法	現代工法
用地伐開除根	368,000㎡	397	22
基本測量	368,000㎡	283	19
外濠掘削	139,000㎡	2,768	65
内濠掘削	599,000㎡	10,782	522
排水工事	-	3,654	15
客土	742,000㎡	45,437	556
葺石	5,365,000個	1,897	248
埴輪	15,000個	69	46
石室	1式	40	3
跡片付け	-	1,904	45
宿舍等仮設費	1式	517	55
現場経費	-	1,536	156
一般管理費	-	10,393	262
(計)		(79,677)	(2,014)

(単位：百万円)

仁徳天皇陵施工順序フローチャート

