

## 古墳築造における地山の平準化手法 ～『九章算術—海島算経』の応用～

メモ)鉄本 (2024.09.10)

古墳築造技術は、現代人が考える以上の技術や工具を用いていたことが、遺跡からの出土物や文献などから推定できる。弥生時代の遺跡である下老子笹川遺跡(富山県高岡市)からは、古代の水準器「水盛り」が出土しており、また、1～2世紀の中国・後漢時代には『九章算術(きゅうしょうさんじゅつ)』という数学的知識が広く知られており、さらに、3世紀には劉徽(りゅうき)が幾何学の定理『海島算経(かいとうさんけい)』を著している。『九章算術』が日本に渡来したのは平安時代であるが、古墳時代にこの技術を持った渡来人によって算術知識がもたらされた可能性は考えられる。

文献や史料として見ることのできる水準器類(水測り、水盛り)を挙げておく。

### ① 下老子笹川遺跡出土の「水盛り」



No958 ケヤキ材 (弥生時代の焼失住居から出土)

L:142.5cm × W:15.0cm × D:9.0cm

現存長は142.5cmで、長い角材を断面逆台形に削りこみ、平らな底部内面からやや外湾して長辺内面が立ち上がる。長辺上面から外面はほぼ垂直となる。

出土状況から住居構造部材への転用の可能性がある。

No959 ヤナギ科

L:28.5cm × W:12.5cm × D:7.2cm

別の周溝から No958 と同様のものが出土しているが、刻みの位置が左右で違っている。

出典:『富山県文化振興財団埋蔵文化財発掘調査報告第31集』  
下老子笹川遺跡発掘調査報告 第二分冊 2006

### ② 春日権現験記 第1軸より「水測り」



出典:「春日権現験記第1軸」

竹林殿の普請風景

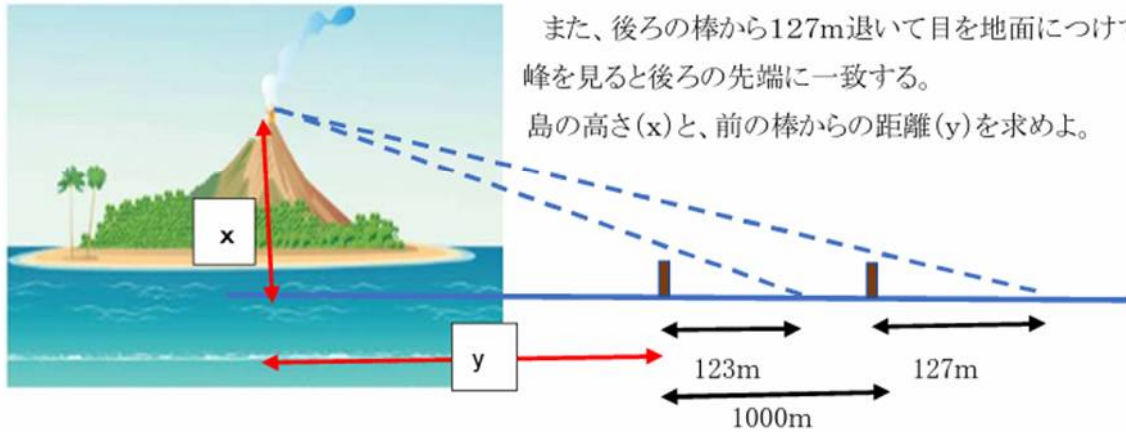
1309年頃の制作

国立国会図書館デジタルコレクション

③ 『海島算経』による測量

3世紀中国の劉徽は、割円術、十進法の小数、円周率(小数点4桁まで正確に求めている。アルキメデスは2桁まで)、プラスとマイナスの数の利用などの功績を残している。彼は、『九章算術』の注釈を残すと共に、『海島算経』を著し、陸地から遠く離れた海中の島の高さと陸地からの距離を求める方法を、以下のような計算式で求めることができるとしている。ここでは、これを古墳築造時の水準測量への応用可能性を考える。

問題例： 海中に島がある。高さ3mの2本の棒を前後1000m隔て、2本の棒と島が一直線になるように立てる。ここで前の棒から123m退いて目を地面につけて島の峰を見ると前の棒の先端に一致する。



$$\begin{aligned}
 X &= (\text{棒の高さ} \times \text{棒の隔たり}) \div \text{2つの棒から退いた距離の差} + \text{棒の高さ} \\
 &= (3\text{m} \times 1000\text{m}) \div (127\text{m} - 123\text{m}) + 3\text{m} \\
 &= 753\text{m} \\
 Y &= (\text{前方の棒から退いた距離} \times \text{棒の隔たり}) \div \text{2つの棒から退いた距離の差} \\
 &= (123\text{m} \times 1000\text{m}) \div (127\text{m} - 123\text{m}) \\
 &= 30750\text{m}
 \end{aligned}$$

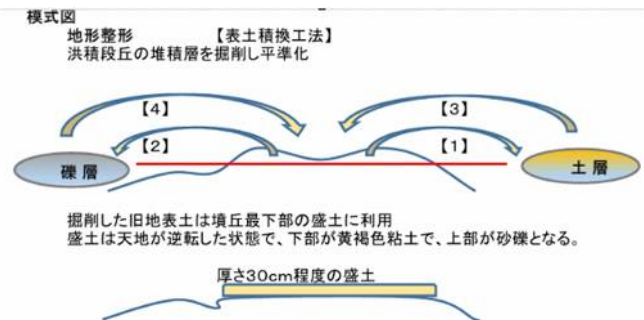
このような計算式によって、2地点の高低差を求め、平準化のための数値を得ることができる。

④ 古墳の築造方法

百舌鳥大塚古墳や五色塚古墳の築造例を参考にすると、古墳の基礎部分築造は一般的に次のような工程を踏む。

- ・小工程1 【地形整形】・・・洪積段丘の堆積層(地山)を削平し平準化 ↓
- ・小工程2 【盛土成形】・・・掘削した元の地表土を墳丘最下部に薄く盛土 ↓
- ・小工程3 【土盛拡張】・・・一定量の土の塊(土嚢)を台形状に積み上げ

右図は、百舌鳥大塚古墳の築造方法を基にした小工程1～2の模式図。



⑤ 『海島算経』の古墳築造への応用（試案）

ここでは前項で述べた小工程1について、『海島算経』の応用を検討する。現代技術による測量に比べると『海島算経』は理論的に正しいものの実際の作業においては手作業や目測による部分が多く誤差が生じることは留意しておく必要がある。以下は、あくまで机上で描いたものである。

Step1: 「水盛り」(水準器)で、平準化された地面を一定距離確保する。

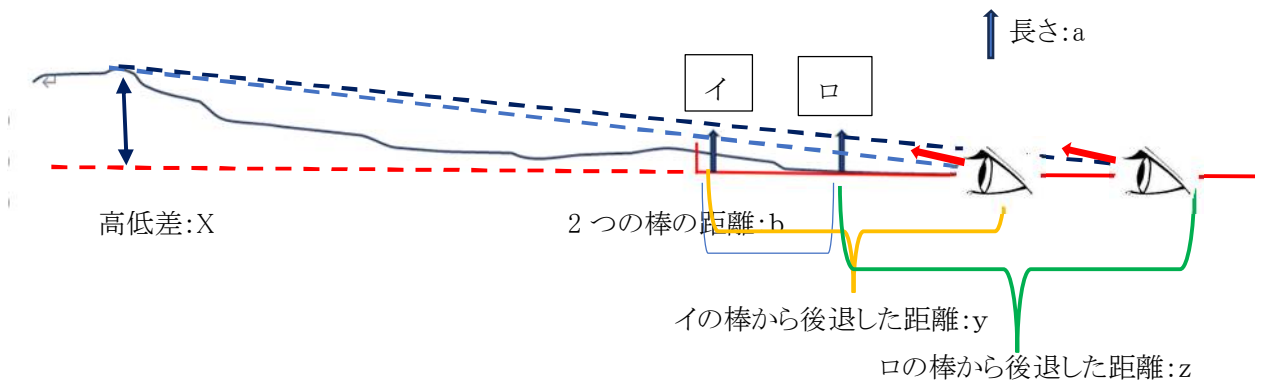


Step2: 同じ長さの棒を2本用意し、棒を一定の距離だけ離して垂直に立てる。



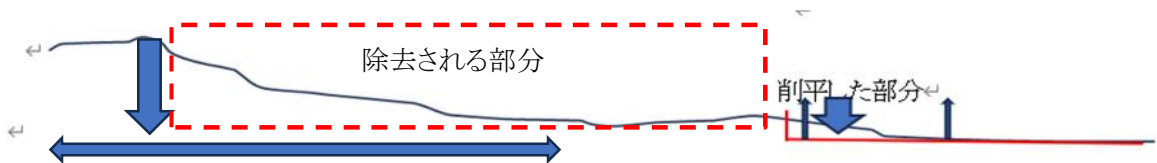
Step3: 棒の頂点と計測すべき地面の頂点が一致するところまで後退する。

(作図上、上記の図のサイズを縮小している。)



$$\text{高低差を求める計算式: } X = (a \times b) \div (y - z) + a$$

Step4: ①斜面の頂点部分から X だけ掘り下げる。 ②掘り下げた部分を基準に左右に掘削する。  
③掘削作業と水準器による均しの確認作業を繰り返す



【参考】仁徳天皇陵古墳付近の古代地形の復元

百舌鳥中町遺跡調査資料、百舌鳥夕雲町遺跡調査資料、泉北郡大仙耕地整理組合図の地質・地図データを参考に開析谷(青の部分)をトレースして作成した。開析谷は、近世の洪水によって大量の砂礫が堆積し、有機物を含む粘土層が徐々に堆積し現在に至っている。仁徳天皇陵古墳の東南方向にある湘賀池(別称 生姜池)は、狭山池からの農業利水ネットワークに属していたが、昭和40年代に埋め立てられた。開析谷の最大幅は約35m、流水は平常時において、幅2~5mの幅であった。

<各地点の標高>

A 地点:19.7m    B 地点:19.4m

C 地点:17.8m    D 地点:12.0m

E 地点:16.0m    F 地点: 8.6m

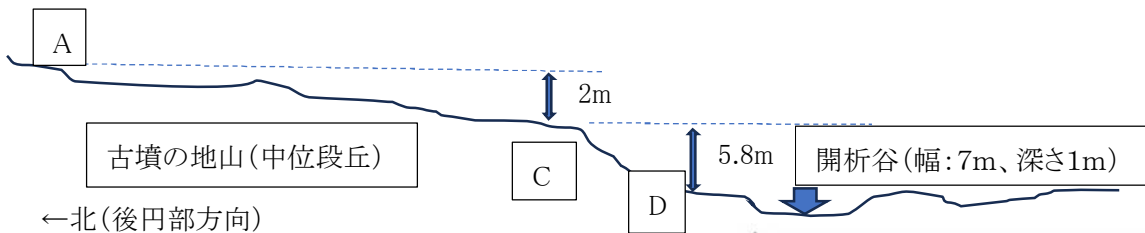
中位段丘は東方向に高く傾斜し、標高は、20~23mである。

低位段丘は西方向に低く傾斜し、標高は、16~6mである。

<南北方向の傾斜>

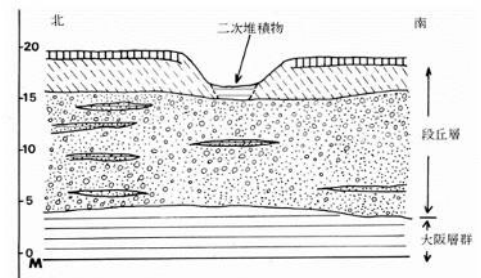
仁徳天皇陵古墳の主軸(南北)方向の傾斜:

A-C 地点は約 2m/600m(0.27%)の高低差    C-D 地点は約 5.8m/500m(1.16%)



地層断面模式図

(右図:百舌鳥夕雲町遺跡調査資料)

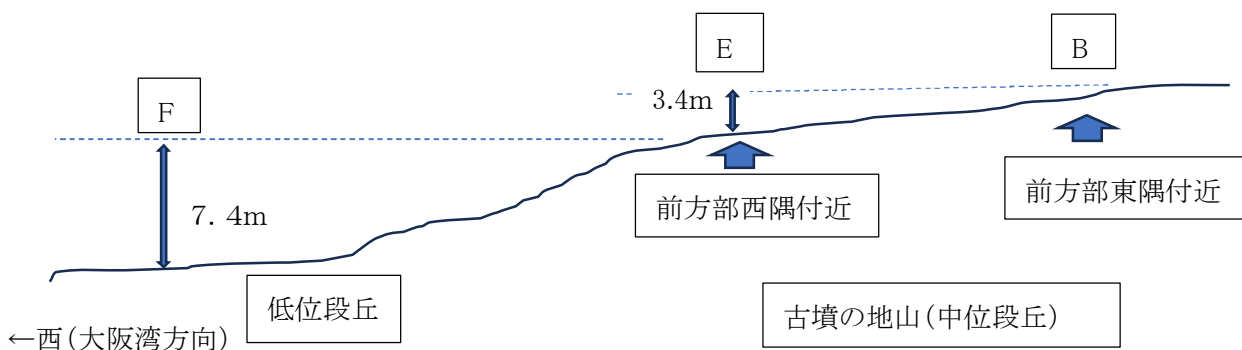


<東西方向の傾斜>

仁徳天皇陵古墳の前方部(東西)方向の傾斜:

B-C 地点は約 1.6m/350m (0.46%)

C-E 地点は約 1.8m/350m(0.51%)    E-F 地点は約 7.4m/400m (1.85%)



【参考】狭山池とその灌漑ネットワークについて

基本データ： 南北の長さ 最大 960メートル 東西の長さ 最大 560メートル  
 外周 約 3.8キロメートル 北堤の長さ 490メートル  
 水面積 約 3.6ヘクタール

Cf. 仁徳天皇陵古墳の第3堤を含む面積は、約4.6ヘクタール

「記紀」に出現の「狭山池」 ・「紀」崇神天皇 62年：「～今河内狭山植田水少～」

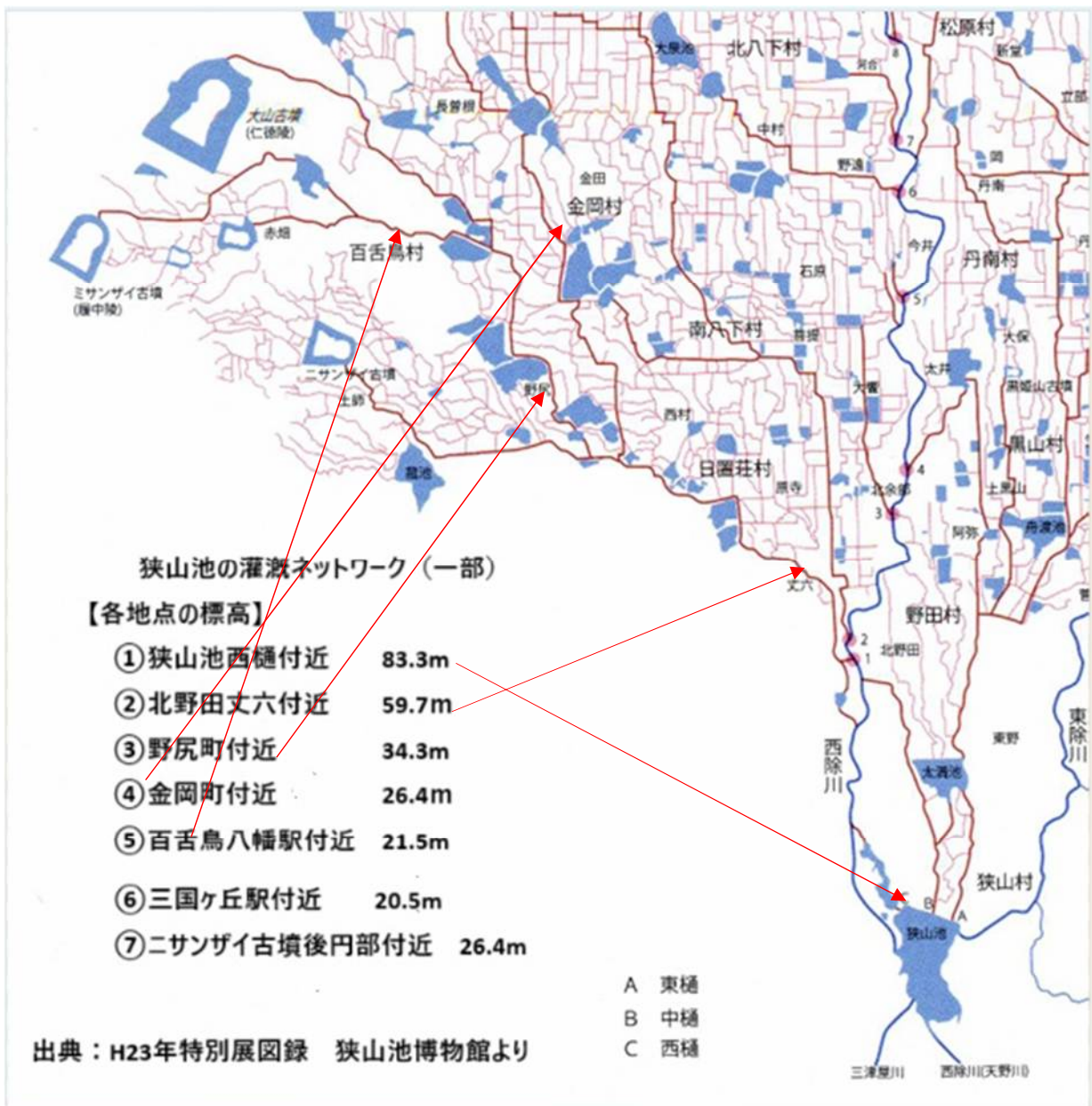
・「記」垂仁天皇段：「～作血沼池 又作狭山池～」

616年頃(推古天皇の代) 狭山池の誕生 (コウヤマキ材の樋管の年輪測定結果)

731年 行基による改修

762年 太平宝字の改修(堤の幅、高さが2倍に)

1202年 重源による改修(石棺を転用し石の樋を設置)



【濠に水を張り水準器とする手法の可能性】

<前提と各基礎データ>

ここでは、単純に水量のみの計算に限定しており、地形の高低差による揚水の実現性は考えない。

また、漏水又は滲水による水量のロスも考えない。

- ① [前提]水準器とする濠の設定 長さ:2750m(第3堤の全周) 幅:1m 深さ:4m とする。  
深さは、段丘が東西方向に傾斜しており、落差が約 3.4m あるため深さを4mとする必要がある。  
この前提に立てば、**必要水量は11,000m<sup>3</sup>**となる。この水量は、小学校のプール(540m<sup>3</sup>)約20個分である。
- ② 堺市の年間平均降雨量 1232.9mm (1991~2020年の統計 気象庁資料)
- ③ 大和川の平均流量 12.0m<sup>3</sup>/S (柏原地点 S31~H13 国土交通省 大和川河川事務所資料)
- ④ 石津川の平均低水流量 0.73m<sup>3</sup>/S (大阪府河川整備審議会資料)
- ⑤ 狭山池の総貯水量 280万m<sup>3</sup> (大阪府 HP)
- ⑥ 堺市の地下帯水層の深度 ・大仙西町3丁付近 深度:33m 厚さ:13m  
・上野芝向ヶ丘町付近 深度:53.5m 厚さ:12.5m  
堺市水道事業所の南瓦町7号井では、深度 120mから 3000 m<sup>3</sup>/日を揚水している。  
(出典:『鉦山地質』VOL12 No56 平林万衛)  
堺市内の地下水の帯水層は地表から30m以上の深さにあり、中位段丘が広がる地区では水の確保が困難であり、百舌鳥夕雲・赤畑・上野芝地区では、大正・昭和期に揚水風車が約130基設置され運用されていた。
- ⑦ 芦ヶ池の地下水導水量 2,500m<sup>3</sup>/日  
仁徳天皇陵古墳の第3濠は、平均水深50cm、水量は29,000m<sup>3</sup> (堺市 内川水系資料)  
⇒ 第3濠を満水にするには、約12日を要する。

<①で設定した濠を満水にする試算例>

A. 雨水のみで濠を満水にする必要時間

濠の表面積は、2730m×1m=2730m<sup>2</sup> 降水量の体積は、2730m<sup>2</sup>×1.2329m/年=3365.817m<sup>3</sup>  
11,000m<sup>3</sup> ÷ 3365.817m<sup>3</sup>/年 = 3.2681515 **約3年3ヶ月**

B. 石津川からの揚水によって濠を満水にする必要時間

11,000m<sup>3</sup> ÷ 0.73m<sup>3</sup>/S×3600 = 4.1856 **約4時間**

(注) 石津川と百済川の合流地点の標高は7m、仁徳天皇陵古墳前方部の標高は17.8mであるので10以上の高低差がある。古代の地形は異なるであろうが、この落差では濠への揚水は困難。

古墳時代、川は大きく蛇行しており、幅は15m、深さ2.7mと推定されている。(下田遺跡調査資料)

C. 大和川の水によって濠を満水にする必要時間

11,000m<sup>3</sup> ÷ 12.0m<sup>3</sup>/S×60 = 15.278 **約15分**

D. 芦ヶ池からの導水によって濠を満水にする必要時間

11,000m<sup>3</sup> ÷ 2,500m<sup>3</sup>/日 = 4.4 **約4日と10時間**

(注) 芦ヶ池の標高は21m、収塚古墳付近の標高が19.4mであり緩やかな水流は可能と考えられる。

【仁徳天皇陵古墳の三重の濠を満水状態にするために必要な時間の試算】

3つの濠の容積データは明らかになっていないので、堺市の HP で紹介されているデータ、及び、宮内庁書陵部紀要第69号に記載されている資料「第1濠内三次元地形測量報告」を基に容積を以下のように計算する。

A.堺市の公開データ(下表は、仁徳天皇陵古墳百科より抜粋)

周濠と堤の幅				
1重濠	前方部側70メートル	後円部側71メートル	最大120メートル	面積131,690平方メートル
第1堤	前方部側35メートル	後円部側25メートル		面積 65,800平方メートル
2重濠	前方部側25メートル	後円部側10メートル		面積 44,580平方メートル
第2堤	前方部側18メートル	後円部側20メートル		
3重濠	前方部側15メートル	後円部側18メートル		

B.第3濠は、平均水深50cm、水量は29,000m<sup>3</sup> (大阪府堺市 内川水系資料のデータより)

⇒ 面積は 58,000 m<sup>2</sup>

C.書陵部紀要第69号の報告データ(平成29年度)

宮内庁では GPS データとソナーを使って以下のようなデータを得ている。

<第1濠>

① 前方部東南隅の水深: 3.73m

← 水面高 16.6m(GPS による水準計測)と濠底部高 12.87m(ソナー計測)から算出

ソナーデータによって作成された標高段彩図では、前方部東南隅が濃紺を示し最深となっている。

② 後円部北東の水深: 2.82m (水面高 16.6m 濠底部高 13.78m)

③ ソナー計測の結果では、濠底は均されている様子がみられている。

\* 以上のように、書陵部は3種類の計測方法を用い、第1濠の容量を34万m<sup>3</sup>としている。

(平均断面法=341,347.29 m<sup>3</sup> スライス法=337,582.69 m<sup>3</sup> 柱状法=340,208.70 m<sup>3</sup>)

【参考】当該資料では、墳丘面積=108,089.27 m<sup>2</sup> 第1濠面積=135,016.23 m<sup>2</sup> と報告している。

<第2濠>

① 第1濠と第2濠は、第1濠西側中央部の最も幅が狭くなっている部分で通水していることが判明。

このため、第1濠と第2濠の水面高が常に同じになっている。

② 第2濠の水深データは現在のところ存在しないので、第1濠と第2濠が底部で通水していることから、第1濠と同じ程度の水深と見做し 3mと仮定する。

③ 以上から、第2濠の容量は、133,740 m<sup>3</sup> (3m×44,580 m<sup>2</sup>)と仮定する。

D.仁徳天皇陵古墳の総水量

$$340,000\text{m}^3 + 133,740\text{m}^3 + 29,000\text{m}^3 = \underline{502,740\text{m}^3}$$

E. それぞれのケースによる満水所要時間

① 雨水のみの場合  $502,740\text{m}^3 \div 3365.817\text{m}^3/\text{年} = 149.3664$

**約150年**

② 芦ヶ池からの導水の場合  $502,740\text{m}^3 \div 2,500\text{m}^3/\text{日} = 201.096$

**約200日**

以上