

仁徳天皇 百舌鳥耳原中陵第1濠内三次元地形測量調査報告

はじめに

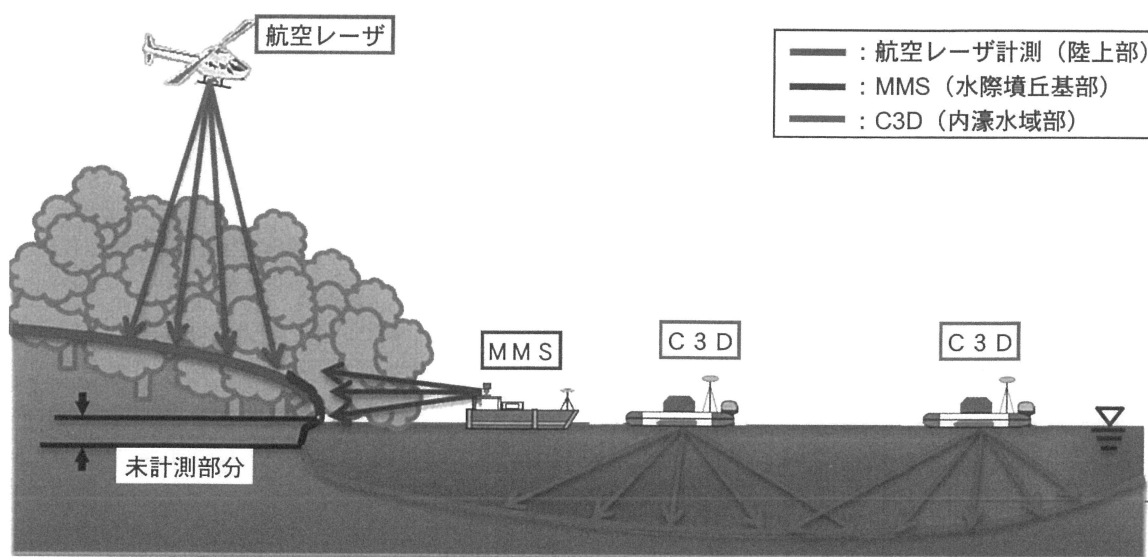
仁徳天皇百舌鳥耳原中陵は、大阪府堺市に所在する。現状において三重の周濠を有し、墳丘の長さではわが国最長を誇る前方後円形の古代高塚式陵墓である。書陵部では昭和40年代から陵墓、特に古代高塚式陵墓の保全のための営繕工事を年次計画のもと開始し、平成に入ってから、水濠のある古代高塚式陵墓の墳丘保全を目的とした護岸工事について、事前調査の実施と工法の検討、さらにはその結果を受けて保全工事を施工してきたところである。濠水のある陵墓では、波浪による墳丘の浸食と崩落を防ぐという観点から護岸工事は必要不可欠なものであり、施工にあたっては復元工事はしないこと、可逆的でありかつ景観に配慮した工法の採用することなどを基本方針として実施してきたところである。

このように墳丘の浸食防止という点では本陵も例外ではなく、これまでも墳丘等の保護措置は講じてきたものの、今後、抜本的な保全工事が必要であることはいうまでもない。これまでに施工した陵墓では、事前調査や工事の実施にあたっては濠水をほぼすべて出水し、仮設工事等を実施した。しかしながら本陵においてはこれまですべての濠水を出水したことはなく、水深や貯水量については明確な数字を示すことができない状況にある。よって、将来における本陵の保全工事計画の策定に向けて、平成28年度には第1濠の水深と水量を明らかにするために測量調査を実施した。以下、方法とその成果や測量によって得られた墳丘長さや水量等のデータを報告していく。

なお、今回の測量作業は、アジア航測株式会社が現地作業とデータ解析・図化を担当した。そして本稿の各図やデータ解析の検討にも、助言・協力を得たことを明記し、感謝申し上げる。

1 調査に至る経緯とこれまでの知見

今回の測量にあたっては当然水を落とすことなく、現状のままでデータを取得する必要がある。そのためどのような方法が最も適しているかを検討した結果、近年考古学の調査研究において急速に技術が進歩したレーザ測量技術を利用することとした。すでにこの方法による百舌鳥・古市古墳群における古墳の測量図が、大阪府下の自治体によって出版されている⁽¹⁾。しかしながらこの方法では濠水の中へはレーザ光は届かず、水面で反射してしまうため濠内のデータは取得できない。さらに、墳丘裾部分は波浪の浸食によって抉れたようにオーバーハングしている部分が多く、裾周りの正確なデータも取得できない。そこで今回の測



第39図 百舌鳥耳原中陵 三次元地形データ取得イメージ図

量にあたっては、地上部分は自治体が作成したデータを利用し、濠内は音響測深器によって濠底の形状データを取得し、裾周りは移動体計測システムにより、側面からレーザ光を照射しその反射から得られるデータによって作図することとした（第39図）。すなわち、3種類の計測データを1つに統合することによって、墳丘部から濠内までを1枚の地形図に示すことができることになる。

この図を作成することによって、濠水のない本陵の姿を目にすることが可能になることと、あくまでも現状ではあるが、濠底において墳丘長を計測することができる。現在、本陵の墳丘長は当然、ある時点での濠水から上に出ている部分の長さを計測したものであって、おそらくは昭和初期に作成された陵墓地形図が根拠となっている。今回の計測値はあくまでも現状での計測であって、築造時の墳丘長を示すものではないが、図面上での正確な数値を計測できる。また、濠水の量についても、もちろん天候によって多少の増減はあるものだが、測量時の水量を計算上で数値化できることとなった。このことにより、どれだけの水を排水すればどれだけの水位が下がるのかをシミュレーションできるようになり、保全工事の工法等を検討していく際の基礎資料となることが期待される。

次に、これまで本陵の第1濠の水深についての知見を紹介しておきたい。参考となる記録としては、大正14年に現在の宮内庁書陵部古市陵墓監区事務所に相当する戦場に勤務した松葉好太郎氏が著わした『陵墓誌』がある⁽²⁾。この書物によると「御湟満水点 第一湟 二十尺 御湟水は天水を受け、五六月の交に至り、満水するを普通とするも、冬季雨量少く、三四月に至るも、尚充滿せざる時は、狭山池の余水を以て之を満す」との記述において「20尺」とあり、すなわち約6mという数値が示されている。本陵の第1濠の深さに関する記録としては管見においては唯一のものであるが、どのように測定したかについては明らかでなく、その真偽を確かめることはなかった。これまでは現地を管理する職員により、おおよそ4m程度というのが最大公約数的に語り伝えられてきたところである。

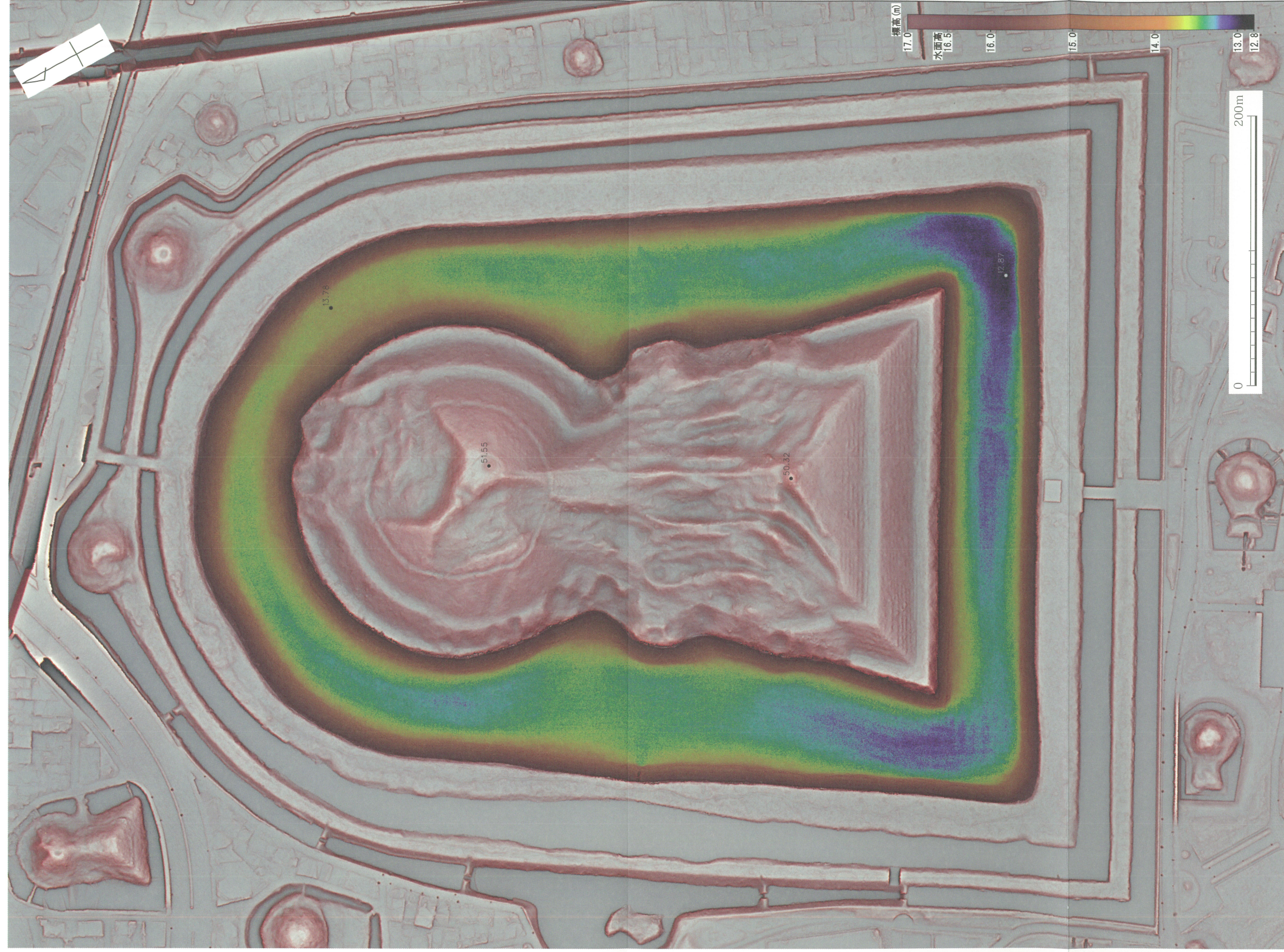
2 測量方法について

先述したように今回の測量は、最終的に水のない本陵の図を、航空レーザ測量と音響測深器による濠内測量、さらに移動体計測システムによる墳丘裾部測量の3つのデータを統合して作成することを目的とした。本項では、音響測深器による濠内測量と移動体計測システムについて、その装置と方法をまとめておきたい。

まず、濠内のデータ取得に使用した機材であるが、音響測深器（＝ソナーヘッド）と、船位測定のためのGPS装置、船の揺れを補正するための方位センサと動揺センサ、さらには水中における音波の伝播速度を補正する水中音速度計をボートに機装する（図版26-1）。これらを取り付けたボートを濠に浮かべ、おおよそ3ノット（時速約5.5km）で航行する。使用したソナーは最も水深の浅いところを計測するのに適したものであり（周波数200kHz）、水深3mのところではおおよそ幅14mの範囲に音波を発信してその反響によって地形のデータを得ることができる。常に船の位置はGPS装置によって記録されており、波による揺れについても補正しながら、船上に設置したパソコンに情報を集積していく。このようにして濠の中をくまなく航行することによって得られた情報を処理し、濠底の地形図を描くことができる。しかしながら第39図に示したように、墳丘から伸びた樹木の枝が障害となったことと、墳丘際の水深が浅すぎることからボートを墳丘ぎりぎりまでは寄せることができず、結果的に水平距離で最大約5.16m、水深にして0.82mの未計測部分が生じた。これは今回の測量上やむを得ないものであり、図面上で補正することとした。

また、濠内測量は測深データを、測量時の水面高（T.P）からの絶対高に換算して表示するものであるから、測量当日の水面高を水準測量によって計測した。計測日1日目は、計測作業開始前計測値16.605m、同計測終了後測定値16.601m、計測日2日目は、計測作業開始前計測値16.651m、同計測終了後測定値16.630mとなった。水位は冒頭でも述べたように、その日の天候によっても多少は上下するものであり、今回の計測にあたっての水面高は16.6mとしておく。

続いて墳丘裾周りと反対側の第1堤内法裾部分の計測であるが、この部分の測量は移動体計測システムに



よって実施した。これは地上で実施する場合には車両に積み込むものと同様の装置を、今回はボートに艀装して実施したものである。装置としてはレーザ光を照射しその反射を受ける装置と、位置データを記録するGPSアンテナ、さらに全天周カメラであり、データを集積する船上収録装置（パソコン）を積み込んだ。このボートを墳丘裾部の計測と、堤側の計測のために濠内を2周することによってもれなくデータを収集した。

なお、位置情報を計測するために用いたGPSの精度検証は、今回の測量に併せて設置した3級基準点において、その誤差を約10分間観測することによって、精度に問題が無いことを確認した。

以上の方法によって得られたデータと、既存の墳丘部分の測量データを統合して、本陵の墳丘部と第1濠内すべての三次元地形データを取得した。また、墳丘部のデータとの統合にあたっては、各データ精度を検証した上で実施している。

3 測量結果

(1) 水深と濠底形状

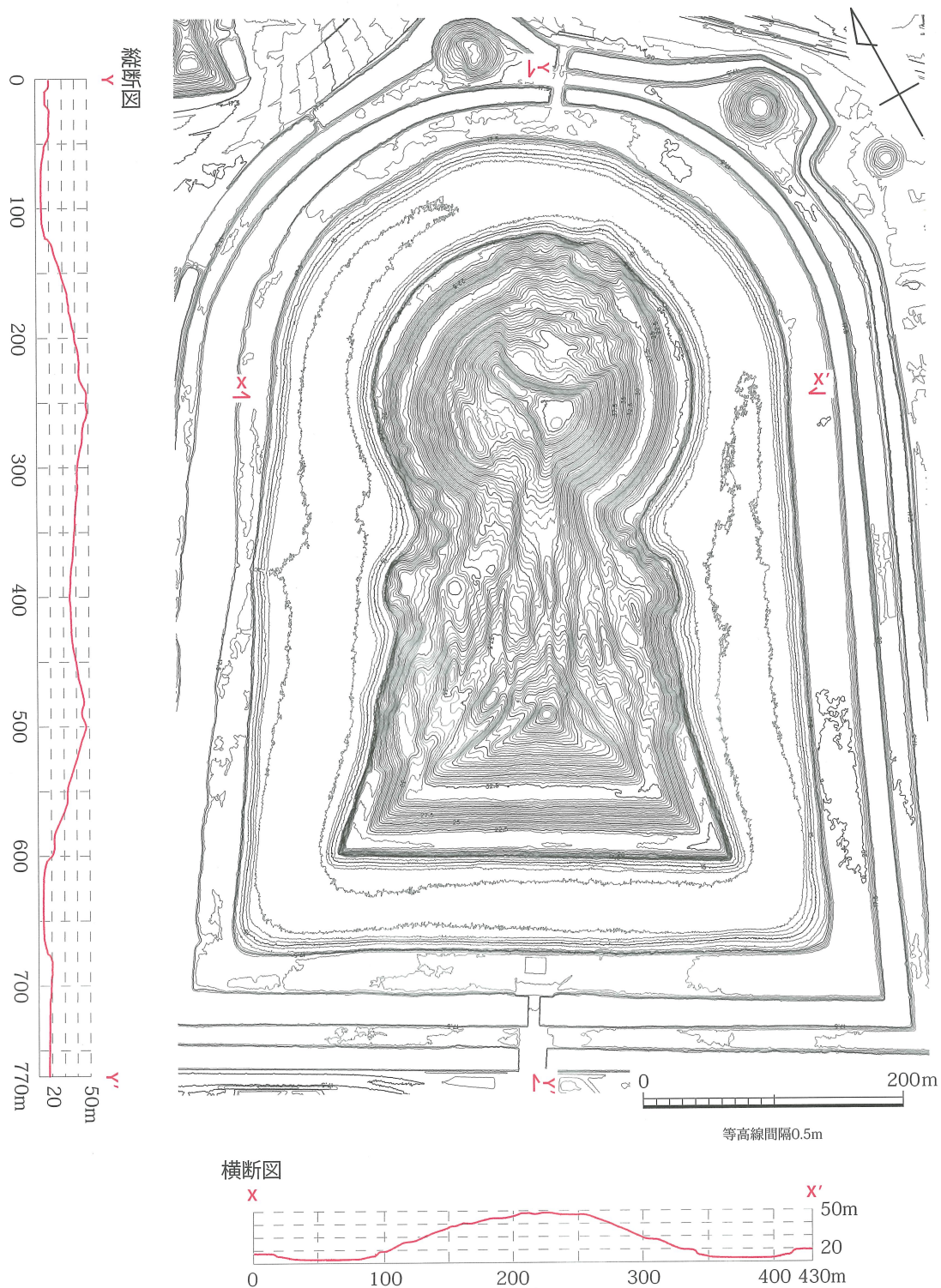
今回測量データによって「赤色立体地図」「標高段彩図」「等高線図」等が作成できるが、まずは測量結果から得られた情報をまとめておきたい。第40図には、赤色立体地図と標高段彩図を統合したものであるが、この図から濠底はほぼ平らであることが判明した。測量前には本陵は墳丘が大きく崩落していることから、崩落した土砂が濠内に流入しており、その土砂により濠底には凹凸が認められるのではないかとの予想を持っていた。しかしながら測量の結果、濠内の墳丘部分は地上部分の形とほとんど相似形を呈しており、大きな土砂の流れ込みを示す痕跡は認められなかった。このことは本陵の崩落はかなり早い段階で生じており、今日までの長い期間にあって、その堆積土は濠水により平らに均されたものと考えられる。このように現在の濠底はほぼ平らであり、現状では濠内に築造当初に遡るような遺構（例えば渡土堤や島状遺構）は、認められない。

もう1点判明した事実としては、第1堤西側中央は最もその幅が狭い所であるが、この下には水路があり第1濠と第2濠が通水していることが確認された。このことはこれまでも陵墓管理の経験上、第1濠と第2濠の水面高が常に同じであることから通水しているものと考えられていたものの、今回その位置と形状が明らかになった。この部分は江戸時代の絵図では堤が途切れたように描かれており、明治時代の堤の修築工事によって管路が設けられ（おそらく切石で構築されたものと思われ、現在もその際に使用されたと思われる石材が堤上に存在している。）、江戸時代に途切れていた部分が埋め立てられて現状になったものと考えられる。

次に、水深であるが標高段彩図でも明らかなように、前方部の東南隅あたりが最も濃い色を呈しており、絶対高としては12.87mを測る。すなわち水位としては測量時の水面高が16.6mであったので、その差が水深となるが、3.73mという数値が得られる。一方、濠底として最も浅い所は後円部の北東あたりであり、どこが最も浅いかとなると1点には決めがたい所があるが、図に示した位置では絶対高13.78mとなり、水深としては2.82mという数字を得ることができる。すなわち、図からも明らかであるが、後円部の方が前方部より90cmほど浅い状況が読み取れる。

(2) 墳丘長と後円部径

今回の測量によって、本陵の濠内の状況が明らかになった。すなわち現在の濠底面まで現在の墳丘裾が濠水内に伸びていく状況が確かめられた。よってこれまで本陵の全長は水面上にある部分を計測していたが、今回は濠底での墳丘長を計測することが可能となった。この状況を第41図から読み取っていききたい。この図は本陵の第1濠内の水をすべて排水した後の地形を、等高線50cm間隔で表現している。すなわち絶対高14.0mの等高線は、水面上に出ている墳丘裾とほぼ相似形になるように1周していることがわかる。一方その50cm低い、標高13.5mの等高線は、後円部の西北あたりで墳丘裾に沿って1周していない。このことは絶対高13.5mと14.0mの間に、墳丘裾と濠底の傾斜変換点があることを示している。この状況を第

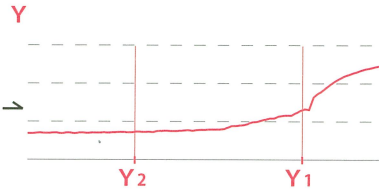
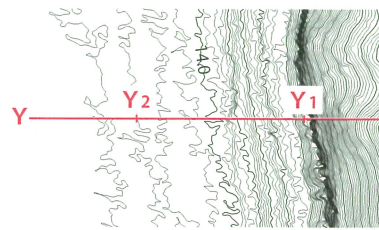


第41図 百舌鳥耳原中陵 三次元地形測量図 (1/5000)

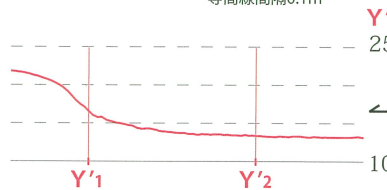
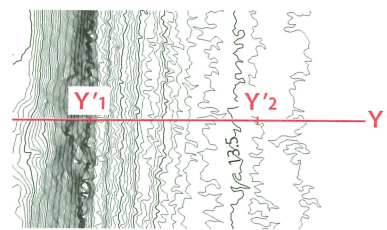
42図の、墳丘主軸線を拡大した図で見ていきたい。墳丘主軸線は、前方部長の midpoint と直行する線を現状の状態の主軸として定めたものであるが、この主軸における墳丘と濠底の傾斜変換点を決めることによって全長を計測することができる。すなわち図の中にある Y_2 と Y'_2 の距離が、濠底で計測した本陵の全長である。後円部における Y_2 点は絶対高 13.7 m 付近までは等高線の間隔が狭く傾斜のあることを示すが、それよりも 10 cm 低い等高線では間隔が開き、墳丘に沿った線ではなくなる。一方の前方部では絶対高 14.0 m までは等高線の間隔もほぼ同じであり、同じ傾斜角を保っていることがわかる。そして 13.5 m までの等高線は、

墳丘部縦断拡大図(Y線)

後円部側



前方部側



等高線間隔0.1m

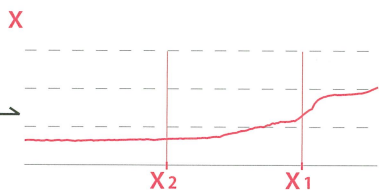
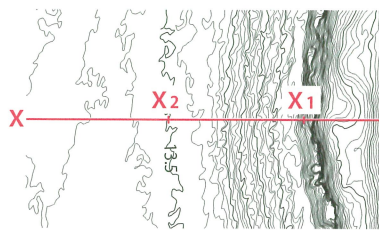
25m

← 測量時水位16.6m

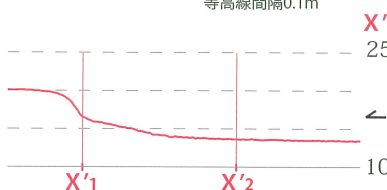
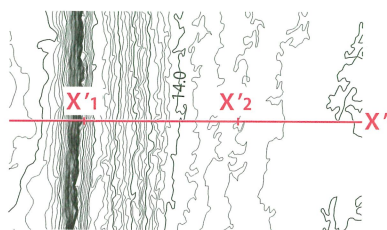
10

後円部横断拡大図(X線)

西側



東側



等高線間隔0.1m

25m

← 測量時水位16.6m

10

第42図 百舌鳥耳原中陵 墳丘長・後円部径計測図 (1/2000)

少し間隔が開くもののほぼ墳丘に沿った線を示している。その10cm下の等高線(13.4m)は、かなり乱れた等高線となっている。このことは前方部の方が濠底が深いこともあり、絶対高13.5m付近に墳丘裾と濠底の傾斜変換点があることが図から読み取れる。よって、この Y_2 と Y'_2 の距離を計測した結果、525.01mとなった。

もう一つの計測値として、水面高16.6mより上の部分での数値を示しておきたい。これは現状における陸地部分の墳丘長ということになるが、図に示した Y_1 と Y'_1 の距離は、481.13mという数値となった。この数値は、これまでの本陵の墳丘長として提示してきた486.0mとは5m近い差となっている。

次に同じ視点で後円部の直径を計測してみたい。後円部の直径は、主軸に直交し、現状で最も後円部径が長くなるように設定した線上で計測した。そのため現状の最高地点は、この線上には存在していない。

それではまず、測量時の水面高16.6mより上にある部分を計測してみると、西側の X_1 から東側の X'_1 まで長さを計測すると248.44mという数字が得られる。これは、水面上に見えている部分(陸地)の後円部径ということになる。続いて、現在の濠底での数値を計測してみよう。まず、西側であるが13.5mの等高線はなんとか地上部分の後円部に沿って巡っている。しかしその10cm下にある13.4m等高線は後円部に相似した形に弧を描かない。よって、墳丘と濠底の傾斜変換点は13.5m地点(X_2)にあるとしておきたい。同様に東側を見ると13.7mの等高線は墳丘に沿った弧を描くが、13.6mは後円部に沿った線となっていない。すなわち傾斜変換点は13.7m地点(X'_2)地点とし、西側よりも20cm高いところに設定する。このことは東側の底面が西側に比べて高く、現在も西側にある樋の谷から排水しているように、本来の地形である東側が高く西側が低いという原地形に準じていることがわかる。この X_2 と X'_2 間を計測した結果は、286.33mという数値となり、これが現在の濠底で計測した後円部径となる。

以上、今回の計測データから得られた水面より上の部分の墳丘長と後円部径、さらに現状の濠底での墳丘長と後円部径を示した。墳丘長は 481.13 m と 525.01 m、後円部径は 248.44 m と 286.33 m となり、どちらも後者が 9～15% 程度増加した数値となっている。濠水のある前方後円墳の全長を計測する場合、どこで計測するかについては必ずしも定義があるわけではないが、本陵においては現在水面上に見えている部分の墳丘長 481.13 m、そして現在の濠底面での計測値は 525.01 m となる。しかしかつての濠底は現在よりも深かったことが確実であり、現在の濠底での計測値が何かしらの意味を持つとはいえない。すなわちこの数値が築造時の墳丘長を示すものではないことを理解した上で、今後利用していく必要がある。築造時の墳丘長を知るためには、堆積土を除去し、真の濠底面（地山面）において計測する必要があるが、現在の技術力ではまだ信頼のおける精度で計測することは難しいようである。今後、堆積土を通過し、固い面（地山面）で反射するレーザ測量技術等の進化に期待したい。

（３）水量とその他計測値

今回作成した 3 次元データや、このデータにより自由に横断面図を作成できるという特性から、濠水の容量計算を行うことが可能となった。容量計算の方法としては、平均断面法（主に線状の容量を求める方法）、スライス法（面的な広がりを持つ地形の容量を算出する方法）、柱状法（面的な広がりを持つ地形の容量を算出する方法）の 3 種類がある。いずれも一長一短があるため、この 3 種類の計測方法で容量を求めた。なお、計算上、水位を 0.5 m ごとの数値によって計算したため、満水の水面高は 16.5 m として計測している。

計測の結果は、平均断面法 = 341,347.29m³、スライス法 = 337,852.69m³、柱状法 = 340,208.70m³ という数値を得た。おおよそ 34 万 m³ ということになるが、平均的な 25 m プールの容量（長さ 25 m × 幅 13 m × 深さ 1.5 m = 487.5m³）の何杯分であるかを計算してみると、おおよそ 700 杯分ということになる。

この計測結果により何 m³ の水を排水したら何 cm 水位が下がり、どこまで墳丘裾が見えてくるか、あるいはその水を排出するためには、1 時間あたりどれだけの水を出せばよいか等をあらかじめ計算できることになる。さらには、その水を陵域外へ排水していく際の水路が受容できる容量は大丈夫か、あふれ出すようなことはないかという質問に対しても、根拠を持って応答できることができるデータを得たといえよう。

また、今回の計測によって墳丘部分と第 1 濠の面積も、計算上ではあるが数値が得られたので示しておく。前者 = 108,089.27 m²、後者 = 135,016.23 m² であり、第 1 濠の面積の方が広いことが明らかとなった。

まとめ

以上、本陵において実施した、第 1 濠内三次元地形測量調査について報告した。当初の目的であった濠底と水面下の墳丘形状の確認、そして水深と水量の把握については、十分な調査成果を得られたものと考ええる。これらのデータは、今後本陵の保全整備計画の策定と実施にあたって有効なものとなりうる。しかしながらこの調査ですべての準備が完了したともいえない。例えば施工時に濠水を排水した後、今度は必要な量の水を確保する必要がある。そのためには水がどのように流入してきているかを確認する必要がある、そのためには水流の調査が不可欠となる。さらには、墳丘に比べて考古学的な情報が不足している、第 1 堤における考古学的な調査も必要であろう。これらの基礎データの収集を図った後に、墳丘及び第 1 堤内法裾の護岸工事計画作成していくこととしたい。そのためには今しばらくの時間を必要とするが、今後とも調査を重ね本陵の適切な保全と維持管理に努めて参りたい。

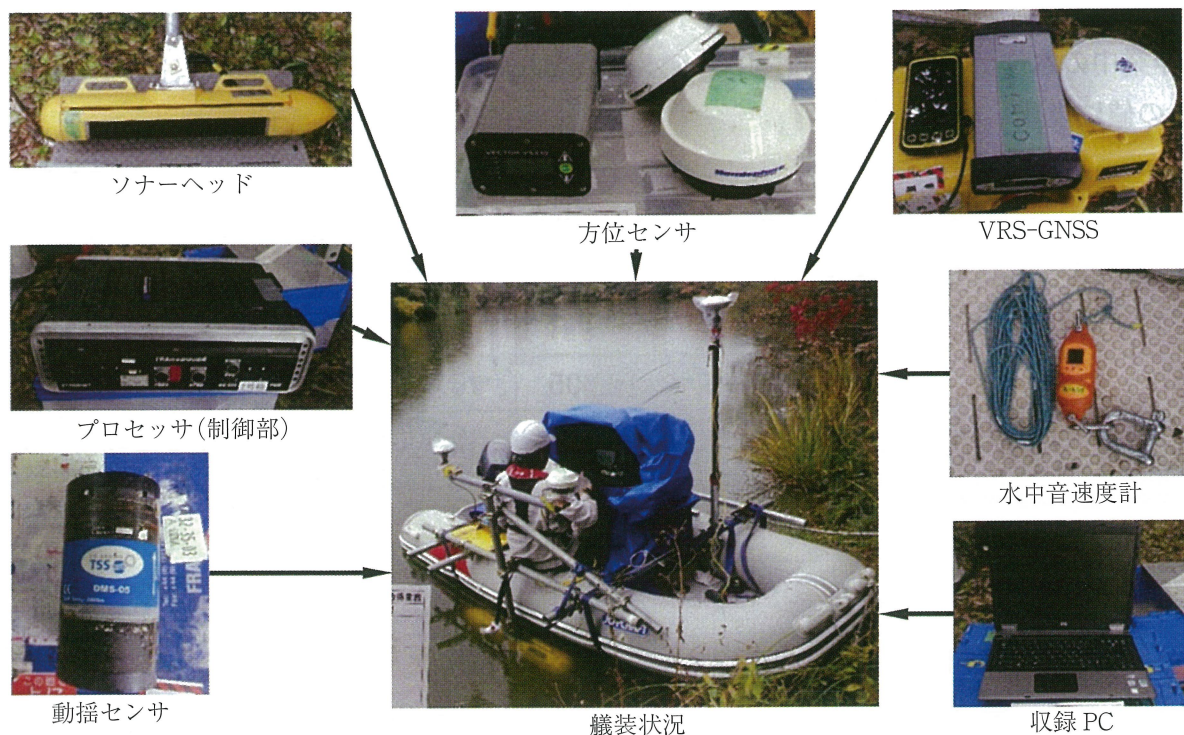
（徳田誠志）

註

（１）堺市『百舌鳥古墳群測量図集成』、堺市文化観光局世界文化遺産推進室、2015 年。

羽曳野市・藤井寺市『古市古墳群測量図集成』、古市古墳群世界文化遺産登録推進連絡会議、2015 年。

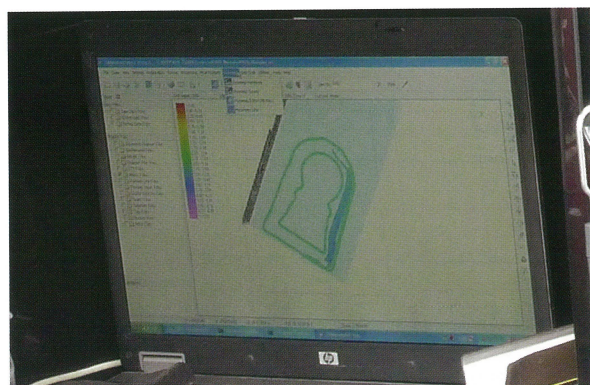
（２）松葉好太郎『陵墓誌 古市部見廻区域内』、私家版、1925 年。



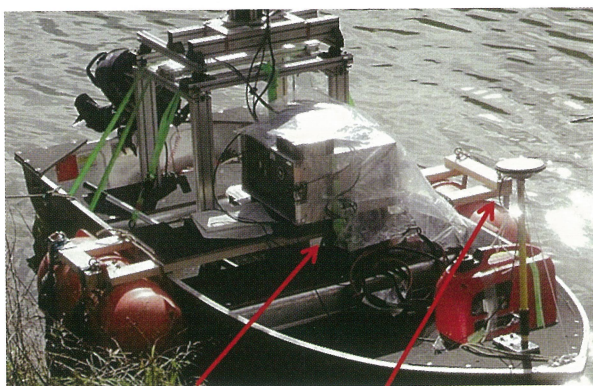
1 音響測深器による濠内測量作業用機装状況



2-1



2-2



2-3



2-4

2 濠内測量作業状況 (1. 測量状況 2. 進行状況 3. 移動体計測システム 4. 基準点精度確認状況)