

古墳造りの技術

荒井 仁

1. はじめに

古墳は、円墳や方墳、前方後円墳などその平面形を基準に分類されているが、これらの墳丘は主として土を盛って築かれており、石を積み上げて築かれているものもある。そして、墳丘を造る位置の地形や地盤を造成（例えば切土・盛土など）することも行われた。墳丘の内部には遺体を埋葬する施設が設けられた。時期により形式は異なるが、竪穴式石室や横穴式石室などである。

この墳丘や石室は、古代の人工的土構造物、石造構造物として定義づけられ、古代の土木技術者の成果、土木技術の歴史的遺産として、今も私たちの身近に存在している。そして、近年土木工学や土質工学の分野から、墳丘の盛土や築造基盤、石室の構造などについての工学的調査研究が進められつつある。

2. 古墳と土木工学、土質工学のかかわり

土木工学とは道路や橋、河川、鉄道などの施設に関する理論と土木工事などの実際を研究する学問であり、測量学や土質力学、構造力学などを基礎にこれらを活用して生産力や性質を向上させる応用的科学技術である。隣接する科学に地震学、地質学、気象学、農業工学などがある。古墳は人工的土構造物、石造構造物として土木工事の所産であり、古墳を造るための研究が当時の技術者によって進められたことが推測される。したがって測量から造成、盛土、石室の構築など古墳の造り方全般にわたって土木工学的研究を進めることにより古墳の築造に伴う土木技術が明らかとなるはずであるが、古墳の築造に伴う土木技術の解明はその記録が残されていないことから困難である。しかし、最近古墳調査に工学的調査を取り入れ、土木工学的研究を進展させる方向にある。

土質工学とは土質力学（土を工学的材料と考え、土に関する工学的問題について土の諸性質を基本に力学および水理学の法則と原理を応用する学問）をもととして、土と基礎に関する設計と施工を研究する学問である。古墳に関すれば、墳丘の盛土の材料的種類や強度、耐久性、施工法、墳丘下部の地山、地盤の性質などが対象となる。この土質工学的調査研究は、土木工学的な古墳研究の基礎を受け持つものである。この工学的立場から、古墳を対象として現在まで行われた土木工学、土質工学的調査研究の実例から古墳造りの技術について述べる。

3. 古墳造りの技術

3. 1 森將軍塚古墳の墳丘

(1) 概要

森將軍塚古墳は長野県更埴市森に所在する。平地からの比高差約130mの標高490mの尾根上に築かれた全長約100m、後円部径約45m、同高さ約10m、前方部幅約30m、同高さ約4mの前方後円墳である。築造時期は4世紀後半と考えられている。墳丘の平面形は狭い尾根の影響を受け、その地形に合わせて「く」の字に折れ曲がった前方後円形となっている。昭和56年から平成3年度にかけての古墳復原などの保存整備事業にともない古墳の全面発掘調査や墳丘の部分解体調査、盛土の土質工学的調査が行われた。そして発掘調査関係者による綿密な考古学的調査やその解析が進められ、古墳の構造や造り方という土木工学的技術が解明された。その解明結果に基づいて報告する。

(2) 墳丘の構造と築造工程¹⁾

墳丘外形は図-1のように、後円部は二段築成、前方部は段築がないこと、墳丘裾に1~2mほどの高さで裾石垣が造られておりその裾石垣の上部斜面には葺石が積まれていること、後円部墳頂は段築の上部テラス上に墳頂部石垣が造られていることなどの特徴がある。

墳丘構造の大きな特徴は、外面に表れない内部の中段石垣、上段石垣と、これに直交する縦方向の石積みの存在である(図-2)。これらの石垣・石積みは、計画した墳丘築造の施工に必要なものとして設けられ、裾石垣は斜面地形に入らない範囲で墳丘規模を確保するため墳丘裾に石垣を設けたものであり、さらに墳丘裾地盤の高さ変化に応じて、その石垣高さの調整を行い中段石垣からの斜面形状を整えるよう図っていると考えられている。すなわち屈曲したやせ尾根上という立地から、計画した平面形を造り出すため墳丘裾と墳頂の間に水平方向の中段石垣や、上段石垣などを設ける。そして平面形が不整形であることに対して、墳丘斜面の勾配を整えるために斜面仕上り位置の基準的役割として、縦方向の石垣・石積みを設けたと考えられている。そして、盛土は石垣で構成されるブロックごとにその石垣高を目安に行われ、石垣は盛土施工時の型枠的補強役割も果たしたと考えられている。

この解析結果はこの墳丘の築造において、綿密な設計が技術者によって作られ、これに基づき入手可能な材料により施工計画を作成するという、極めて計画的な技術性の高い工事であることを明らかとしたものであり、現代の土木工事での設計をもとに現地に設ける縄張り、丁張り、段階施工のための工法計画などと同様と言えよう。

墳丘構造の調査により、墳丘内部の石垣などが施工にあたっての計画形状の築造のため必要な構造物であることが判明したことから、墳丘築造工程(工事の順序)も明らかとなった。後円部墳丘は図-3のように行われ、前方部墳丘は図-4のように行われたのである。そして前方部第1段階は後円部第1段階と、前方部第2段階は後円部第2段階と、前方部第3段階は後円部第3および第5段階とともに施工され、前方部は後円部と一体に完成したと考えられている。

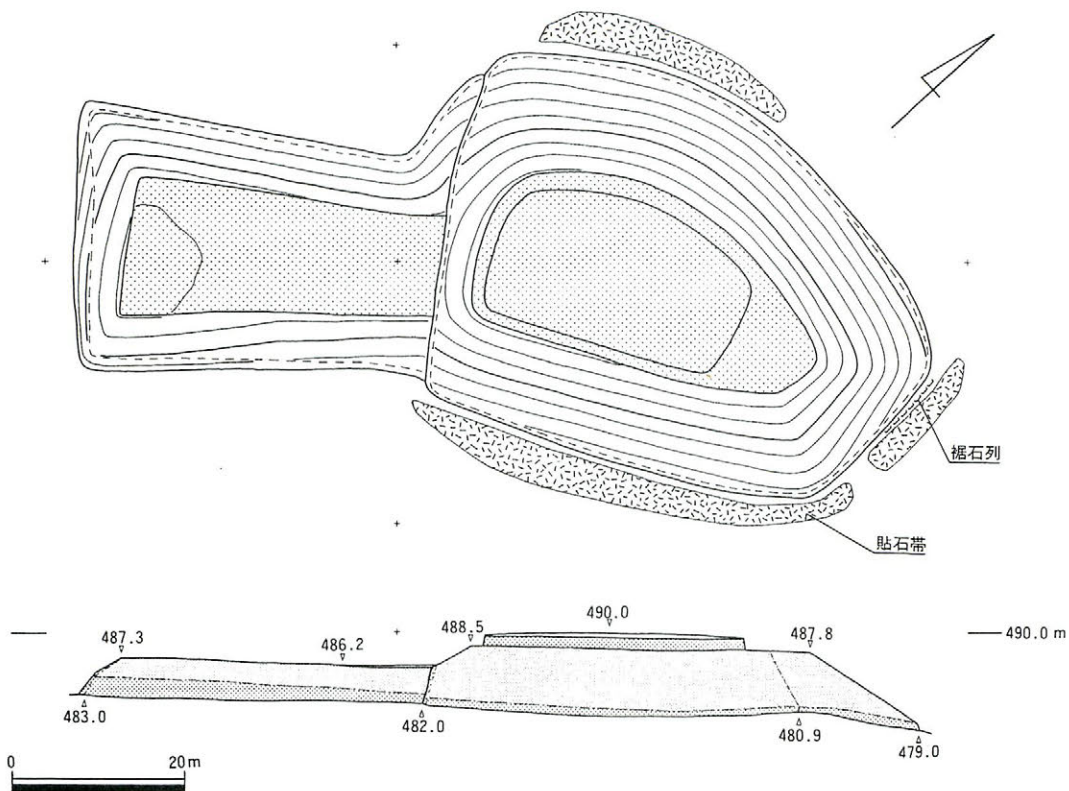


図1 森將軍塚古墳復原整備図
Fig.1 Drawing of restoration plan of MORI-SYÖGUNZUKA tumulus

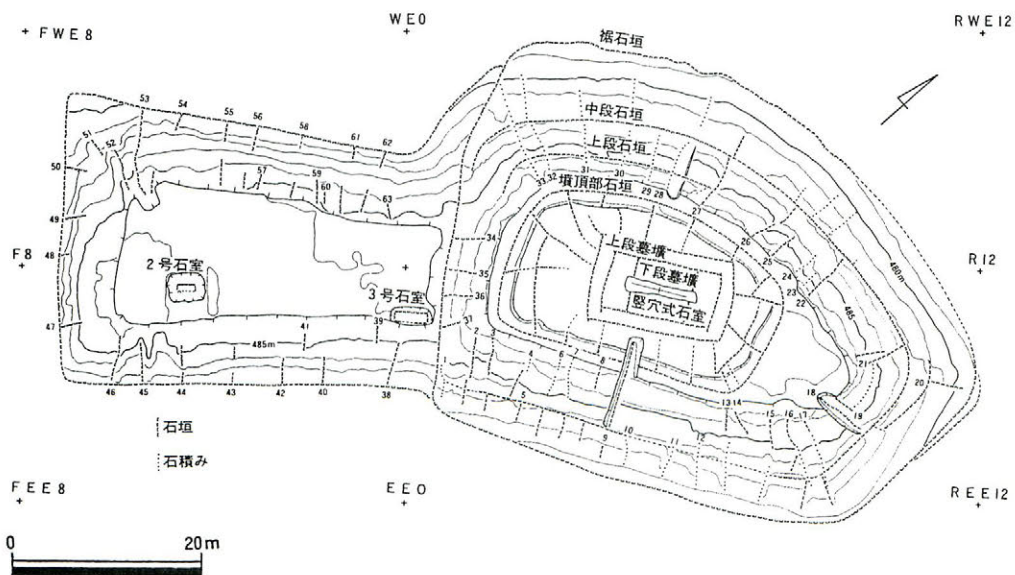


図2 森將軍塚古墳墳丘解体全体図
Fig.2 General view of dismantled MORI-SYÖGUNZUKA tumulus hill

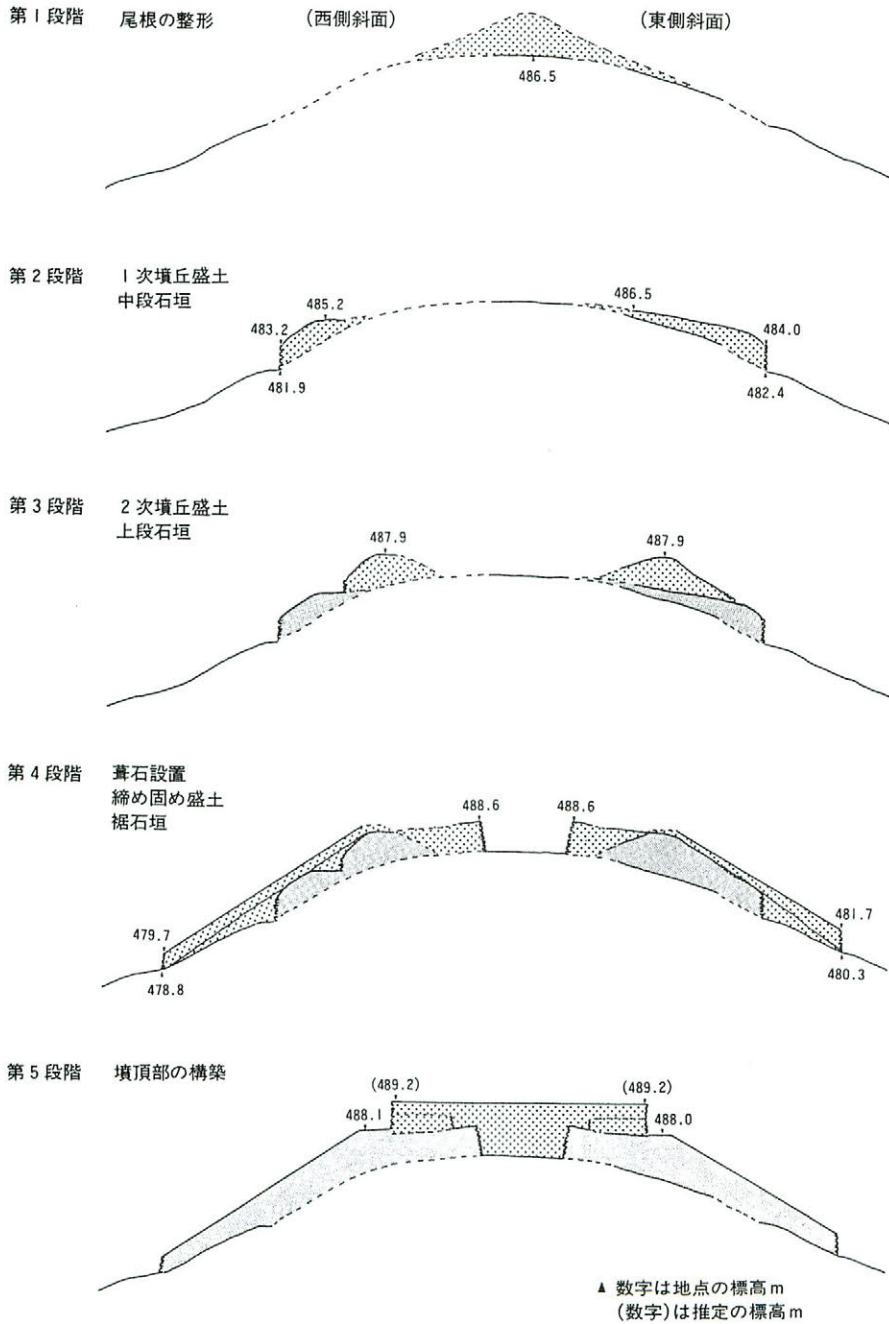


図3 森將軍塚古墳後円部墳丘築造工程
Fig.3 Construction process of rear circular hill part of MORI-SYŌGUNZUKA tumulus

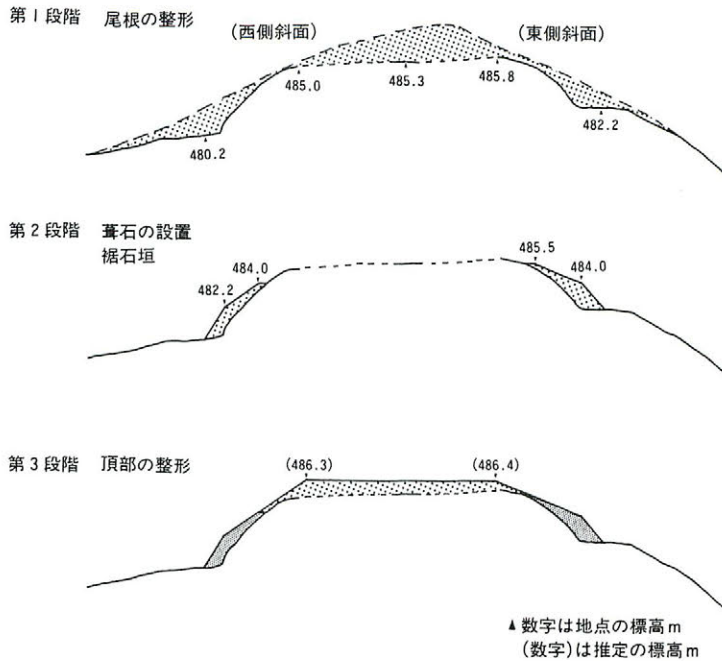


図4 森將軍塚古墳前方部墳丘築造工程
Fig.4 Construction process of front hill part of MORI-SYÖGUNZUKA tumulus

(3) 墳丘盛土の特性²⁾

森將軍塚古墳の墳丘盛土の特徴は、主に泥岩礫と粘性土を交互に層状に盛り、締固めていることである。この礫層と粘性土の互層は墳丘全体の盛土を構成している。現在、不透水性の粘性土を主体に盛土した土構造物では、盛土安定のため浸透水の排水や盛土の圧密を図って、水平層状に透水性の砂などの粗粒土を入れる。森將軍塚古墳の墳丘盛土もその構成から同様の効果を目指したものと考えられる。盛土の締固めについては、後円部前面(南西側)の盛土層から不攪乱の土を採取して強度や密度を調べた。これは築造後約1,600年経過している盛土の状態を知ることにより、当時の締固めの状態の推定を行うものである。採取した土は直径約6cm、高さ約12cmの円柱状に整形し供試体とし、一軸圧縮試験を行った。この試験後、含水比を変えないでもとの密度に近くなるよう締固めた供試体で、同じ一軸圧縮試験を行った。そ

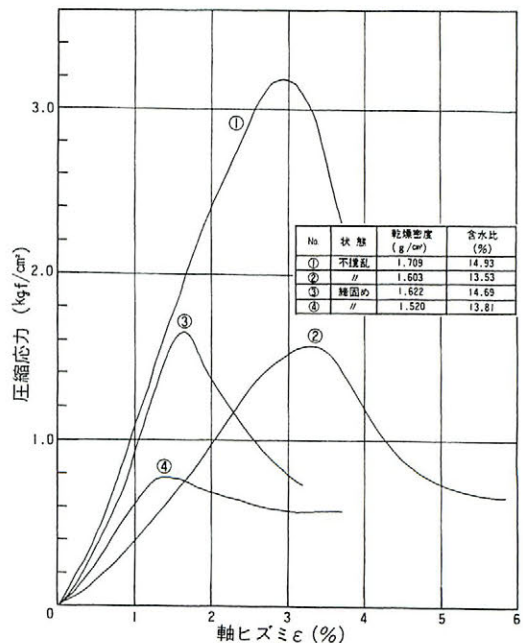


図5 森將軍塚古墳盛土の一軸圧縮試験結果
Fig.5 Results of uniaxial compression test of banking of MORI-SYÖGUNZUKA tumulus

の結果が図－5である。図中の①は不攪乱試料供試体、③は①の締固め供試体②は別の不攪乱試料供試体、④は②の締固め供試体である。①は $3.29\text{kgf}/\text{m}^2$ もの強度を示すのに対し、②は $1.55\text{kgf}/\text{m}^2$ で少し強度が小さい。これは、試料整形時の損傷によるものではないかと考えられる。①の強度は、土を単に締固めただけのものとしては大きすぎる値であり、盛土直後の強度が $1.63\text{kgf}/\text{m}^2$ である③の締固め供試体のものに等しかったと仮定すると、盛土後の約1,600年という長い時間経過の効果により2倍程度、増大したことになる。この③の供試体は、粘性土のN値では10前後と推定され、十分に締固められた硬い盛土と判断される。経年の効果を考慮すれば、③の強度がおよそ築造直後のものと考えられ、施工にあたって締固めが十分に行われたことを示している。

3. 2 峯ヶ塚古墳の墳丘³⁾

(1) 概要

峯ヶ塚古墳は大阪府羽曳野市軽里に所在し、羽曳野市・藤井寺市にかけて広がる大古墳群、古市古墳群の南西部に位置する。5世紀末から6世紀初に築造された前方後円墳である。墳丘は2段築成で、その規模は、全長96m、後円部直径56m、同高さ12.3m、前方部幅74.4m、同高さ12.1mである。二重濠をそなえている。古墳の保存整備のため、昭和62年度に第1次調査が実施され、平成4年度まで第5次にわたる調査が進められてきた。平成3年度の第4次調査では、後円部の発掘調査とともに、保存整備のための基礎資料を得る目的で墳丘封土や墳丘築造についての土木工学的な墳丘保存調査を行った。

墳丘の土木工学的調査の主な内容は、墳丘土質調査・墳丘構造調査・墳丘築造の施工規模の検討などである。墳丘土質調査はボーリングによる原位置試験(標準貫入試験、密度検層など)、封土の土質試験(土の比重、粒度、含水量、締固め試験、透水試験など)を行った。墳丘構造調査は、基礎地盤調査(墳丘基礎地盤の性状、地耐力についての検討)、墳丘断面構造調査(ボーリングによる地質断面と墳丘崩壊部の土質観察や地形現況などから墳丘の断面構造を調査)を行った。

*ボーリングは土層構成や土質状況を把握することを目的にボーリング機械により、孔径66mmで掘削する。標準貫入試験は盛土や地盤の締まり度を把握するため、重量63.5kgの試錘(重し)を75cmの高さからボーリング孔内に落下させ、30cm沈下するまでの回数(N値)を測定するものである。

(2) 墳丘築造の土木工学的特徴

ボーリング調査は図－6の箇所で行い、No.2とNo.3の土層構成、標準貫入試験結果が図－7、8である。調査の結果、峯ヶ塚古墳の墳丘築造の代表的特徴が次のように明らかとなった。①墳丘は、ほぼすべてが近傍の段丘層の土を用い、砂質土を主体に粘性土を介在させた盛土によって造られている(最大盛土高約9m)。②その盛土は数cm～10数cmの厚さで薄く層状に締固められており、その強度は他の古墳などと比較しても極めて高い。なかでも後円部上段の盛土が、とりわけ丁寧に施工されている。③墳丘の盛土はその締まり度や施工状況から、下段部と前方部上段、後円部上段の3区域で異

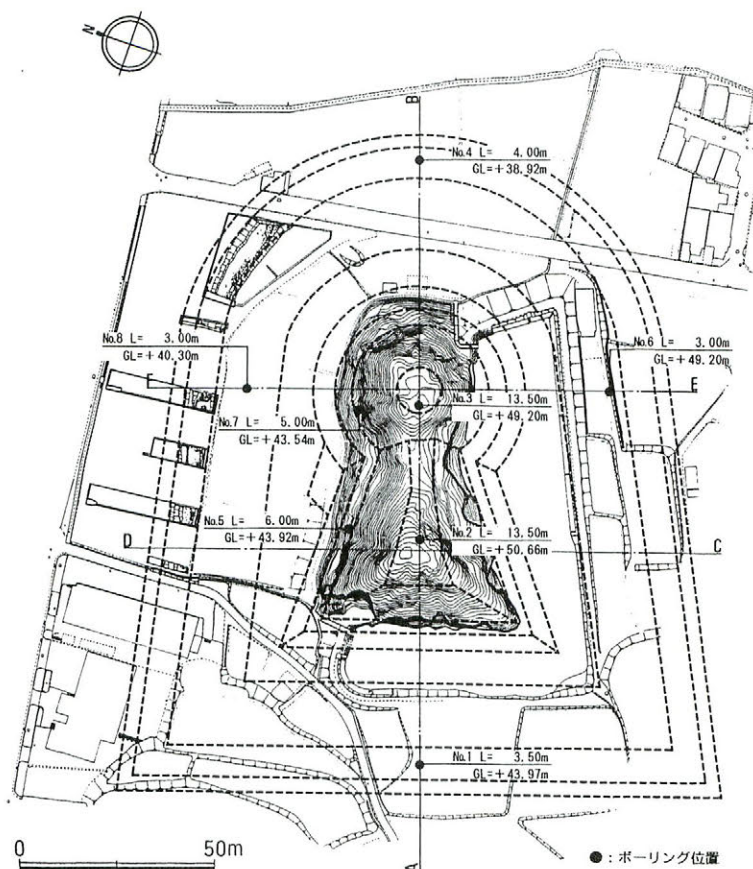


図6 峯ヶ塚古墳ボーリング位置図・復原平面図
 Fig.6 Drawing of boring positions and restoration plan of MORI-SYŌGUNZUKA tumulus

なっている。この順位で締めり度が高くなっており、これは、材料や施工を意図的に変えているものと判断される。④粗粒土と細粒土を薄く層状にして盛土している。これは強固な盛土構造物にすること、浸透水をすみやかに外部に排水すること、均質な施工を行うなど管理のための目的と考えられる。

次にボーリング調査のN値測定から、その数値の折れ線の変化をみると後円部のNo.3ではピークが4回、前方部のNo.2ではピークが3回ある。ほぼ同一の材料を用い締め固めた盛土構造物の場合、このような大きくかつ規則的な変化は通常考えられないことであり、築造工事が定期的に休止され、その間に自然条件により硬化が促進されたものと推測される。ボーリング調査から推定した図-9の墳丘土質断面図で、墳丘推定復原断面位置と比較すると、No.3ボーリングの第1ピークまでは前方部地形基盤とのすり合わせ造成盛土として考えられ、No.2の第1ピーク、No.3の第2ピークは各々の位置の墳丘1段目のテラス高と43.8m、42.8mで標高がほぼ一致する。そして、次のピークではNo.2で45.8m、No.3で45.4mで前方部と後円部のピークの位置が極めて近い標高となる。また、後円部No.3のこ

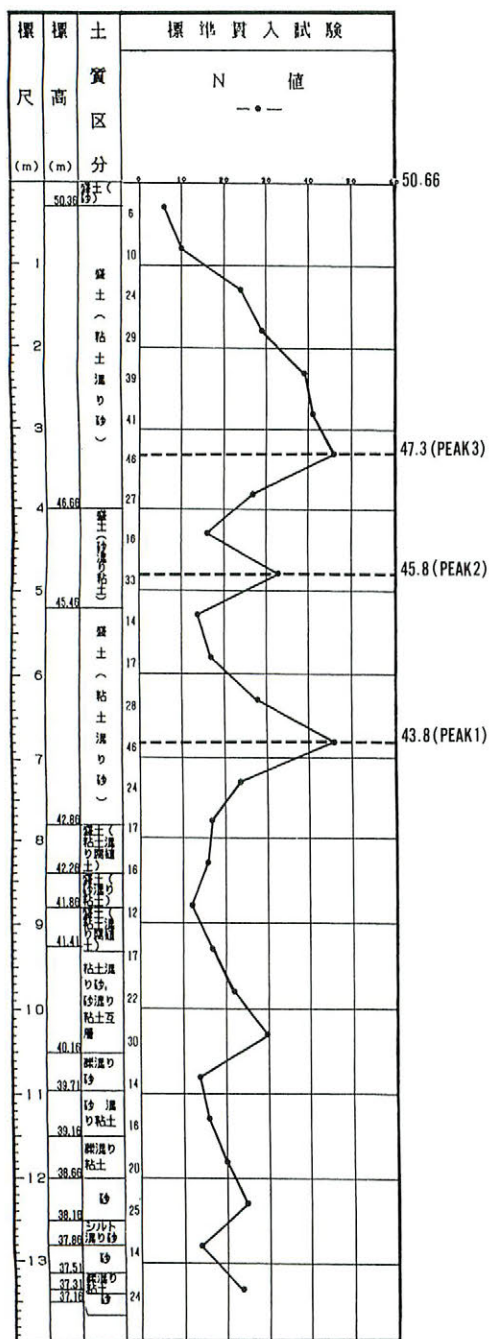


図7 峯ヶ塚古墳前方部 No.2 ボーリング柱状図
Fig.7 Drawing of No.2 boring column of front part of MINEGAZUKA tumulus

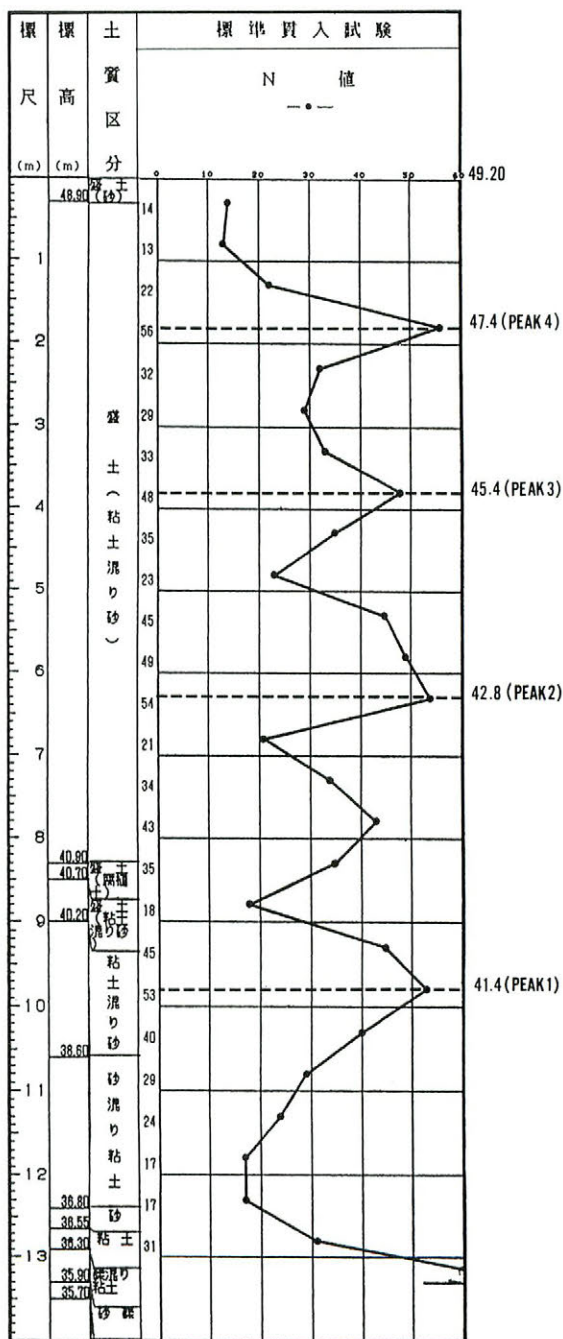


図8 峯ヶ塚古墳後円部 No.3 ボーリング柱状図
Fig.8 Drawing of No.3 boring column of rear circular part of MINEGAZUKA tumulus

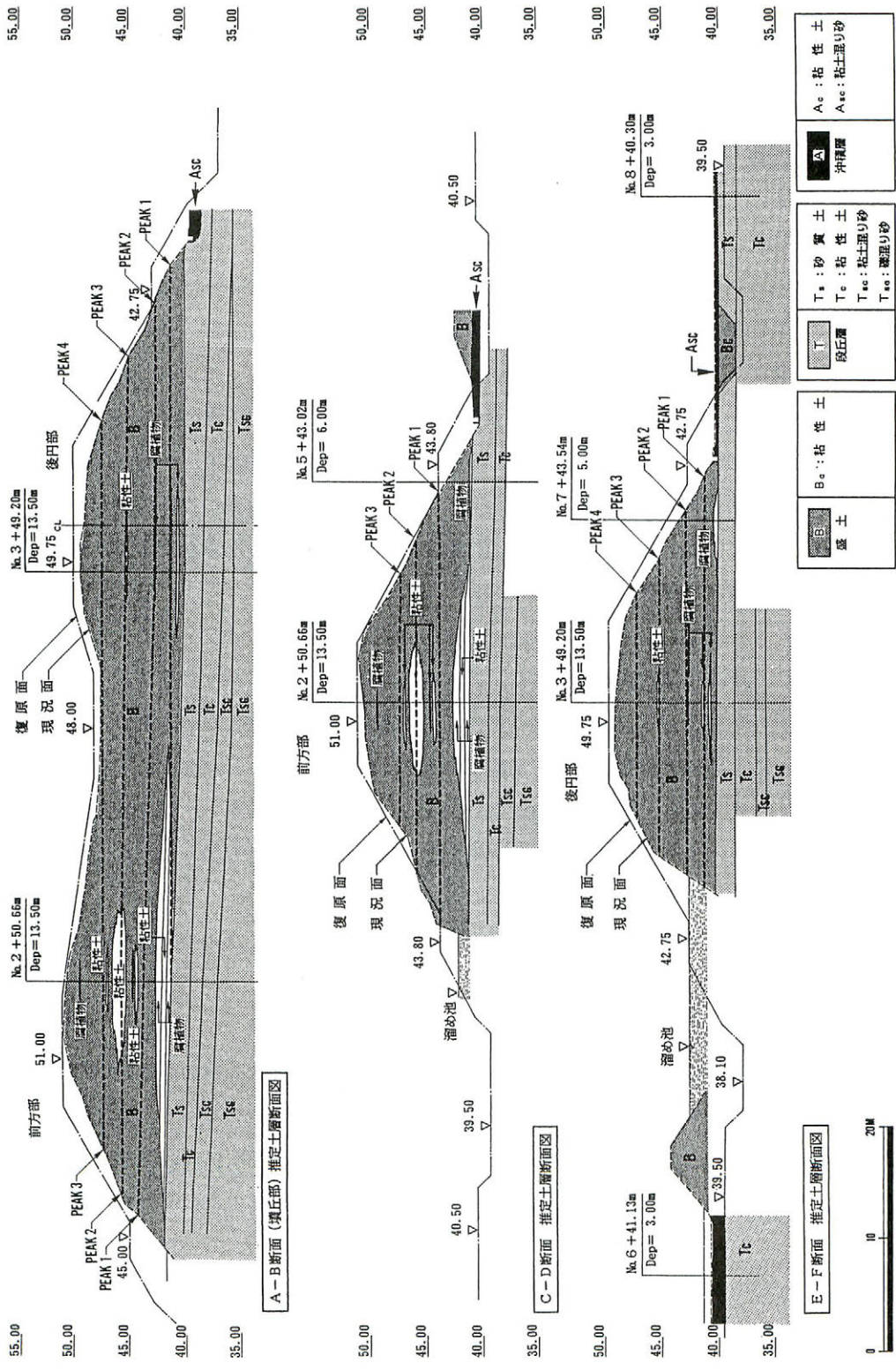


図9 峯々塚古墳現況推定土質断面図
Fig.9 Cross section of estimated ground of MINEGAZUKA tumulus in present condition

の標高は後円部石室の礫層下部基盤の高さと関係している可能性もある。そして、最後のピークはNo.2で47.3m, No.3で47.4mではほぼ合致する。このことから後円部では5段階、前方部では4段階にわたる盛土の工事工程が想定できる。各段階での位置や埋葬施設などとの関係から要求された盛土の性能条件や工事日程に対応して、盛土の材料、締固めなどを変える詳細な計画を立て築造を行ったと考えられる。そして前方部と後円部は一体に施工されたものであり、墳丘盛土の工事で少なくとも5年を要したと判断される。

(3) 墳丘盛土の特性

建築物の建てられる強度の尺度として、地盤の許容支持力（地耐力）がある。この許容支持力とN値との関係では、おおよその算出として許容支持力 (t/m^2) = Nである。峯ヶ塚古墳の墳丘本体における砂質土部分のN値は、17～54、平均で33.5という極めて高い値である。したがって許容支持力は、約30t/m²程度といえる。これは高さ110m, 30階建ての高層ビルが建設可能な強度である。そして粘性土のN値は、11～18平均14.9である。前述の森將軍塚古墳の粘性土の締固め盛土が時間効果を受けた調査時でN値20前後、築造時ではN値10前後と比較しても、さらに一般の粘性土のN値からみると2～3倍以上の値でもあることから、秀れた締固め技術をもっていたことが明らかである。

3. 3 横穴式石室石積みの技術

(1) 概説

古墳の埋葬施設の一形式に横穴式石室がある。その形態や規模などに多様な種類があり、地域性や古墳築造の時期判断の基準ともなっている。この横穴式石室は、床面につながる基盤から石を積み上げ壁体を構成し、その上部に天井石を架け、埋葬空間を造り出している。したがって、石室の構造の主体となるのは壁石積みである。壁石積みの要素としては、石の材種、大きさ、加工の有無、積み方の形式、裏込め（石積みの裏側でそこに生ずる空隙を埋め、積み石の安定を図り、さらに裏側の排水を促進させる部分の呼称）の材料、工法などが挙げられる。

この壁石積みについて、解体修理を行った代表的事例から明らかとなったその構造などについて報告する。

(2) 散田金谷古墳の石室⁴⁾

散田金谷古墳は石川県羽咋郡志雄町に所在する6世紀後半に築造された直径約20m, 高さ約4.2mの円墳である。横穴式石室は全長9.3m, 奥壁幅2.75m, 同高さ2.75mの規模である。修理前は、石室上部の盛土流失や天井石6石のうち3石が失われていたことが原因で、壁石積みの上部が内傾し壁体崩壊の危険性が高くなった。したがって、昭和59年から63年にかけて壁体上部の変形部の解体とその修理復原などを行った。

壁石積みは、図-10のように花崗岩の自然石積みである。腰石は縦に設置し、その上部は全て小口積みとしている。壁体は6段の石積み構成で、野面石のため壁表面から10cm前後奥側の位置で石材相互をかみ合わせて荷重を伝達している。裏込めは、礫や砂利などの粗粒材を用いておらず、墳丘盛土

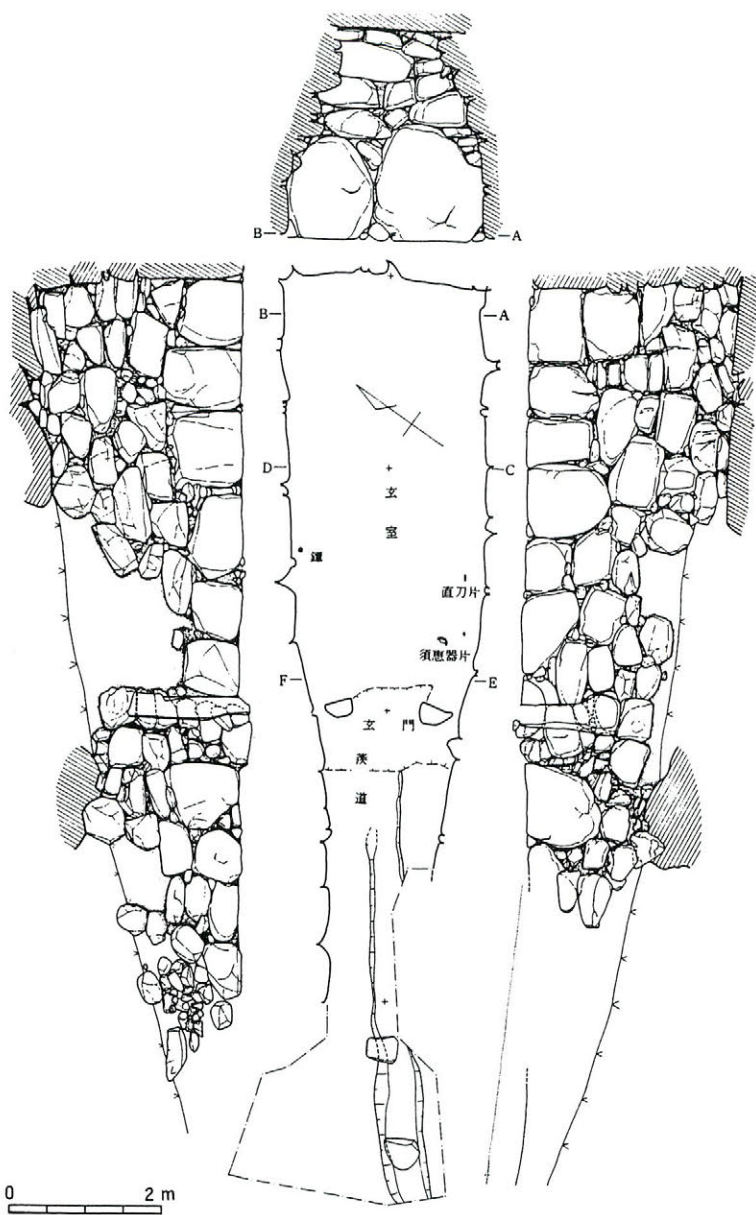


图10 散田金谷古墳石室实测图
 Fig.10 Measured drawing of stone burial chamber of SANDENKANAYA tumulus

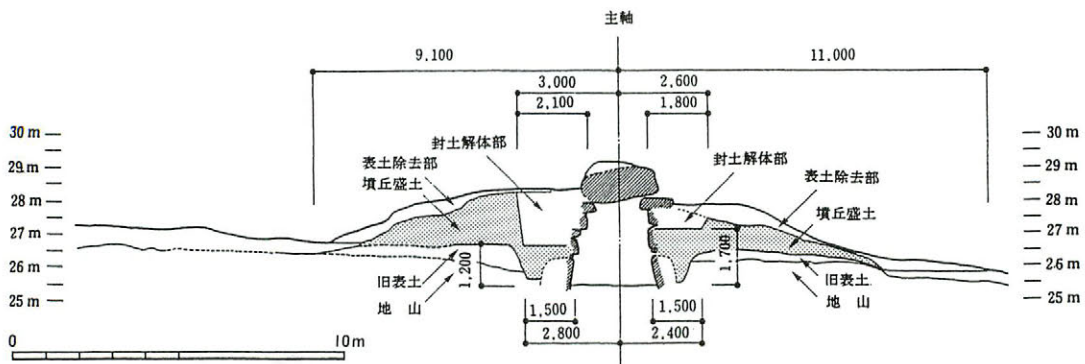


図11 散田金谷古墳解体断面図
Fig.11 Cross section of dismantled SANDENKANAYA tumulus

と同材の粘土を締固めて用いている。この盛土のN値は平均8であり、締った状態にあった（図-11）。

このように散田金谷古墳の石室は、多くの横穴式石室と同じように、裏込めや石積みの際に土を用いる構造を採用している。

(3) 観音山古墳の石室⁵⁾

観音山古墳は、群馬県高崎市に所在する6世紀末から7世紀初めに築造された墳丘全長97.2m、後円部直径61m、同高さ9.4m、前方部幅63.9m、同高さ9.1mの二重堀をもつ二段築成の前方後円墳である。横穴式石室は全長12.6m、奥壁幅3.9m、同高さ2.3mの規模である。昭和42年の調査時、玄室の右壁石積みの崩壊とこれに伴う天井石の落下が確認された。そして、昭和51年から56年にかけて石室の保存修理と墳丘の復原整備が行われた。

壁石積みの特徴は、玄室では角閃石安山岩を方形に加工した切石を用い、羨道では長円形の河原石と角閃石安山岩の表面だけ切り落とした石材の両方を用いていることである。玄室の壁石積みはいわゆる布積み、互目積みなどと呼ばれている切石の面を接して組んでいく積み方である（図-12）。この積み方は現在、擁壁などに使われるコンクリートブロックの積み方と同じである。この切石の加工は、タガネとハマグリ刃状工具で行われたことが石材に明瞭に残る加工痕から明らかであった。

この壁石積みの裏込めは、玉石や砂利を用いているという特徴がある。その幅は1.5～2.0mである。壁石の積みに合わせて、裏込めや裏込めの外側の被覆盛土が同時に行われ、全体として構築面が高くなっていたのである（図-13）。この観音山古墳の石積み構造は、前述したように現在の土木工法で基本的考え方となっている石積みと裏込め、その背面盛土の要求される性能を満たすものであり、現代と変わらぬ土木工学的技術が当時から行われていたことが明らかとなった。また、N値が8～12と通常の2倍以上の値であることや、玄室天井石3石は重量が各々約22t、約16t、約12tもありこの石材を運搬し、石室上に架けたことから、当時の築造計画や施工技術が高い水準にあったと考えられる。

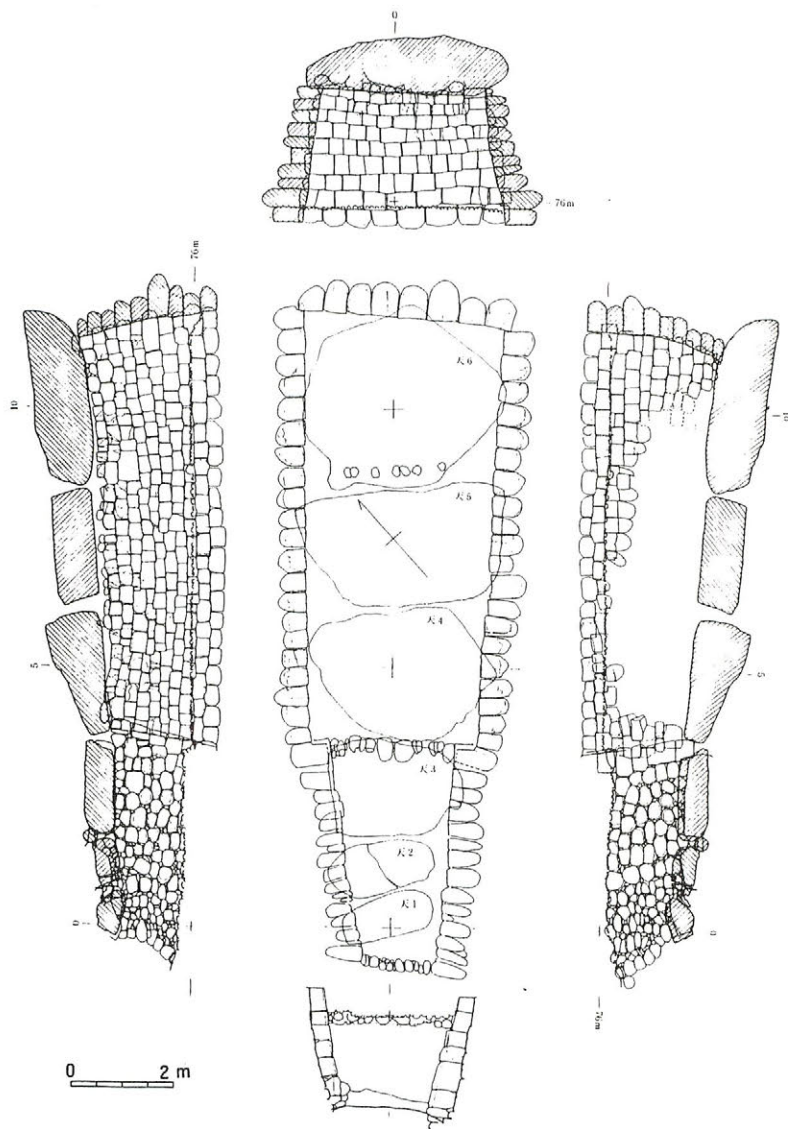


图12 观音山古墳石室実測図
 Fig.12 Measured drawing of stone burial chamber of KANNONYAMA tumulus

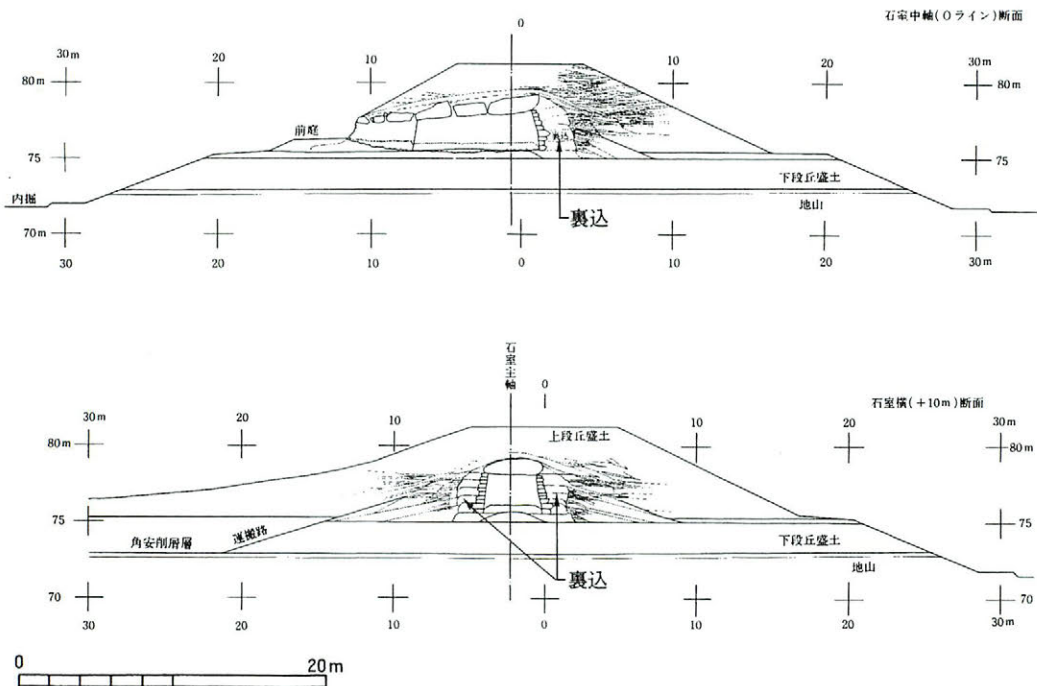


図13 観音山古墳後円部構造断面図
 Fig.13 Structural cross section of rear circular part of KANNONYAMA tumulus

4. まとめ

森將軍塚古墳や峯ヶ塚古墳は考古学および工学的調査の結果から、古墳築造の工事量を算出し当時の工事体制や施工性などを踏まえ古代工法での所要人数、工事日数を試算した。森將軍塚古墳では1日最大200人作業として日数445日、延べ人数約55,000人となる。峯ヶ塚古墳では1日最大500人作業として日数1,070日、延べ人数約276,000人となる。両古墳は墳丘全長約100mと似た規模であるが、峯ヶ塚古墳は森將軍塚古墳の5倍の人数を要している。これは墳丘の盛土量が、森將軍塚古墳では尾根地地形を利用したことから14,400m³、峯ヶ塚古墳は段丘平坦部に築造したことから55,000m³であり、盛土量に約1:4の違いがあること、そして設置された埴輪に森將軍塚古墳200個体と峯ヶ塚古墳1,800個体の違いがあることから、工事に所要人数の差が生じたと考えられる。また、現代の土木工事に算出しているの比較検討も可能である。基礎データを得ることにより、このような土木工学的解析が行えるのである。

近年、土木工学や土質工学の技術者が構造物としての古墳に目を向けるようになった。これはその保存修復に伴い、工学的な調査や設計検討の要求があることによる。今後さらに考古学専門家と協力して、調査例を増やしデータの集積と技術解明をすすめること、そして古代土木技術を生かして古墳の保存技術に応用していくことが必要である。

参 考 文 献

- 1) 長野県更埴市教育委員会：史跡森將軍塚古墳保存整備事業発掘調査報告書，保存整備報告書，1992.
- 2) 西田一彦：史跡森將軍塚古墳墳丘下地調査土の研究報告，1985.
- 3) 羽曳野市教育委員会：河内古市古墳群峯ヶ塚古墳概報，1993.
- 4) 石川県志雄町教育委員会：史跡散田金谷古墳保存修理事業報告書，1989.
- 5) 群馬県教育委員会：史跡観音山古墳保存修理事業報告書，1981.



写真1 森將軍塚古墳後円部中段石垣
Photo.1 Stone wall of intermediate terrace of rear circular part of MORI-SYOGUNZUKA tumulus



写真2 塚々塚古墳後円部上段墳丘層状盛土
Photo.2 Tomb hill layer-shaped banking of upper terrace of rear circular part of MINEGAZUKA tumulus

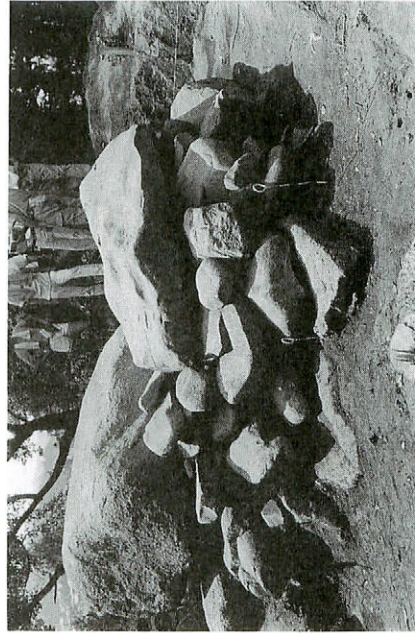


写真3 散田金谷古墳石室右側壁石積背面
Photo.3 Back of stone pile of right wall of stone burial chamber of SANDENKANAYA tumulus



写真4 観音山古墳石室右側壁崩壊部裏込状況
Photo.4 State of backfilling of destroyed part of right wall of stone burial chamber of KANNONYAMA tumulus

Technology for Building Ancient Tombs

Hitoshi ARAI

ARAI AND ASSOCIATES INC.

4-23-8 Ebisu, Shibuya-ku, Tokyo 150, Japan

The present report deals with the technology for building ancient tombs in ancient times on the basis of the examples of study on ancient tombs which has been done from the standpoints of civil engineering and geotechnical investigations.

Ancient tombs are classified based on their plans: tomb hills are usually formed by banking or occasionally by accumulating stones. The preparation of topography or ground for forming a tomb hill (e.g., banking) was also carried out. A tomb hill and a stone burial chamber (burial facility), which was installed inside the hill, can be defined as artificial structures of earth and stone in ancient times, and they are still familiar to us as the results of ancient civil engineers or the historical monuments of civil engineering.

It is estimated from the studies which have been conducted so far that the structural design of ancient tombs was carried out by ancient engineers; however, much is left to be unearthed because of the absence of the concerned records. Recently, the technical investigation on the ancient tombs has been introduced from the viewpoints of civil engineering and geology; engineering studies are being conducted to elucidate the banking and building base of a tomb hill, the structure of a stone burial chamber, and so on. The analysis from civil engineering of the results of these technical studies clearly indicates the high technical standards of the design and construction work in ancient times. The technical investigation and design of ancient tombs are also required from an archaeological standpoint associated with the maintenance and restoration of the tombs.

My personal view is that the complete cooperation between archaeologists and engineers is indispensable not only for the accumulation of data and the technical elucidation through increased examples of survey but also for the utilization of studied ancient civil engineering for the maintenance of ancient tombs.