

今城塚古墳の形態、構造と 周辺環境の歴史的変遷

西田 一彦¹・中山 義久¹・宮崎 康雄²・岡崎 宣治³・辻本 裕也⁴

¹正会員 協同組合関西地盤環境研究センター(〒566-0042 大阪府摂津市東別府 1-3-3)

E-mail:(nishida@ks-dositu.or.jp)

E-mail:(nakayama@ks-dositu.or.jp)

²非会員 高槻市教育委員会文化財課(〒569-0067 大阪府高槻市桃園 2-1)

E-mail:(miyazaki-y@city.takatsuki.osaka.jp)

³非会員 株式会社 関西地質調査事務所(〒599-8273 大阪府堺市中区深井清水 3761)

E-mail:(okazaki@k-kgs.com)

⁴非会員 パリノ・サーヴェイ株式会社(〒564-0044 大阪府吹田市南金田 2 丁目 3 番 26 号)

E-mail:(tujimoto-y@palyno.co.jp)

今城塚古墳は大阪府高槻市の芥川西岸に位置する 6 世紀前半の前方後円墳である。古墳の発掘調査は平成 9 年から 10 期、10 年にわたり行われ、2 つの特徴が明らかになった。1 つは墳丘形状が著しく乱されていること、もう 1 つは墳丘の内部構造において、うろこと呼ばれる縞状の土層構造が見られることである。

本論文は既存の考古学的調査に加え、新たに地盤工学的な見地を取り入れた調査を行い、その成果を報告するものである。主なものとして、墳丘はうろこと呼ばれる有機質の土層のブロック状で用いた盛土内部と良質の砂質土を締固めて用いた外周部に分けられる。内部のうろこは地表面の有機質の部分をブロック状に切出し、上下を反対にして積み上げたもので、短期間に安定な盛土に造成することをねらった施工方法であること。この地域では地下水が豊富で地山と盛土境に水位があり、長年の地下水の浸透を受けて盛土の劣化が進んでいた。地震ではこの盛土と地山境界部が弱点となり墳丘盛土の大規模な水平すべりを発生させ、墳丘は外周の濠中に流動崩壊した。

Key Words: *burial mound, morphology, geological survey, Organic soil, soil structure, deterioration*

1. まえがき

今城塚古墳は、大阪府高槻市の芥川西岸に位置する 6 世紀前半の前方後円墳で、淀川流域では最大の古墳である。歴史地理的研究や、その規模や形状から継体天皇陵と推定された。今城という名は戦国時代、城砦として利用されたという伝承によるものとされているが詳細は不明であった。

この古墳については、平成 9 年から 10 期、10 年にわたり、考古学的見地からの調査研究が行われ、その特徴が明らかにされている。その特徴の 1 つは墳丘形状が著しく乱されていることである。これについては既述のように城砦に利用されたことによるという説もあるが、伏見地震による崩壊が有力な説

となっている。また、もう 1 つは墳丘の内部構造において、うろこと呼ばれる縞状の土層構造が見られることである。しかし、これらの事実についての解明とくに地盤工学的、土壌学的な視点からの解明は行われおらず、不明な点が多い。^{1), 2)}

そこで、平成 19 年から主として地盤工学的視点から種々の角度から調査研究に取組み、濠の堆積物についても物性や植物化石の分析を行って、古墳の築造法、変形のメカニズム、築造後の周辺環境の変遷などの視点から事象の解明を行った。またこのような土構造物が我が国の自然環境の中で長期間どのような応答を示し、それが安定上どのような相互作用を持つかの実物実験体として、有用な情報を与えるものであり、それらの視点からも検討を加えた。

そして、このような対象物の研究には考古学、自然科学、それに工学的視点の総合的なアプローチが必要であり、いずれか単一のみでは不十分である。

2. 調査・研究の方法

調査研究対象の古墳は図-1 に示したように、淀川流域では最大級の前方後円墳で、墳丘は丘陵地形の洪積台地を利用して東西方向に長軸を持ち、二重の濠を巡らせている。その規模は現状では全長 350m、全幅 340m、墳丘長 185~190m をほこり後円部直径約 100m、築造当初の高さ（推定）16m と推定されている。最近の調査でもこの値は妥当なものであることが明らかにされている。この図-1 より古墳の平面ならびに断面形態に著しい乱れがあり、墳丘が放射状に濠に向かって滑り出していることが明らかである。そして、変形には特定の方向に支配されているとは言い難い。

また、この古墳については調査開始時点ですでに数本のボーリング調査が行われ土質試験が一部行われていた。また、考古学的視点からの調査は 10 期にわたり行われたが、トレンチによる構造や初期の形

態については不明な点が多く存在した。^{3), 4)}

そこで、この度、図-1 に示したとおり、新たに 1 次調査として墳丘の頂上 2 ヶ所（前方と後円墳）にそれぞれ 2 本のボーリングを行い同一場所で 1 本はオールコアで他の 1 本は N 値の調査を行う方法によった。オールコアで採取されたサンプルについては詳細な土層観察や土質力学的試験はもちろん、物理化学的性質についても詳細な試験を行った。

また、古墳建設による周辺環境への影響の分析を行った。濠の内部において 2 次調査として 4 本の簡易ボーリングを行い、堆積物のサンプルを採取し、これについても詳細な観察、試験を行って堆積環境や墳丘の植生、地震の影響などについて分析を行った、それらの手順を図-2 のフローチャートに示した。

3. 墳丘の構造と土層の特性

(1) 墳丘の構造と土層の性状

前方部で行ったボーリング No. 1 のコアの特徴は、図-3 に示したように地表から 0.3m までは最近、形成された黒色の表土層で現在の木の根を多く含ん

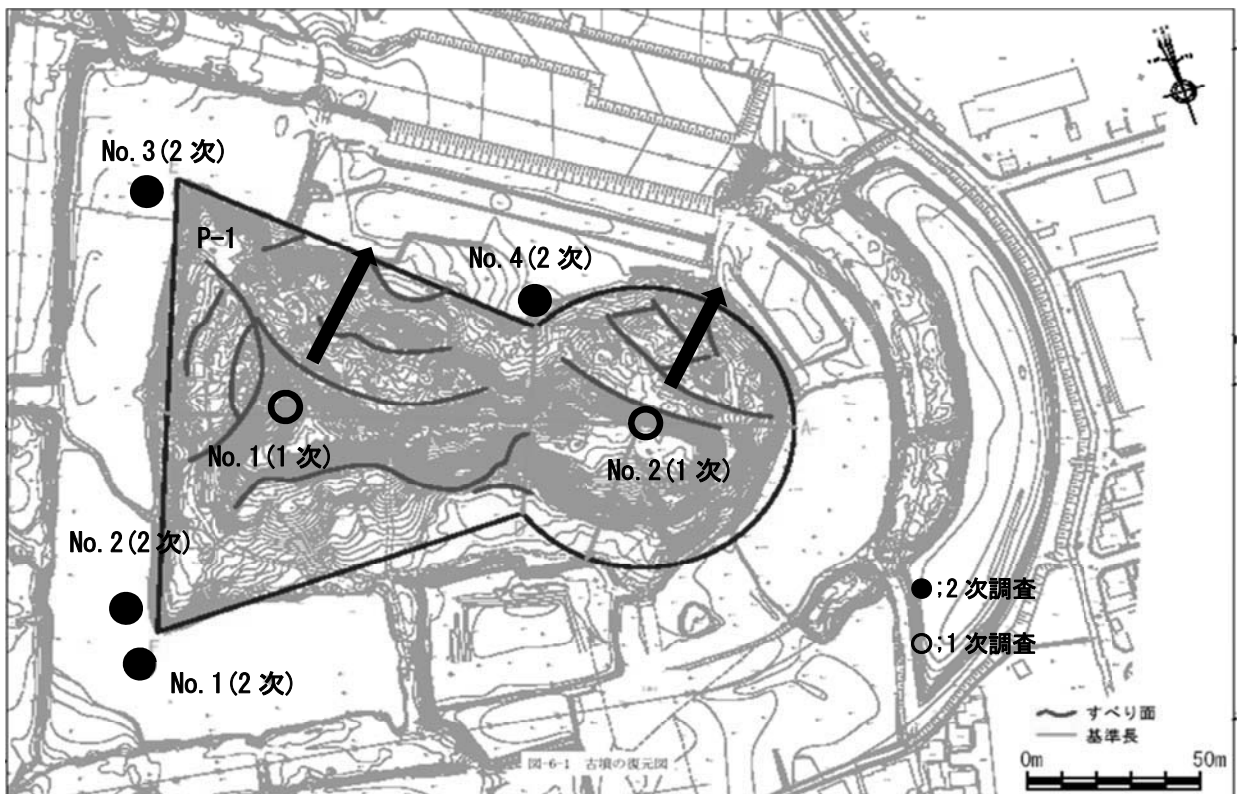


図-1 今城塚古墳の全体と調査位置・すべり状況

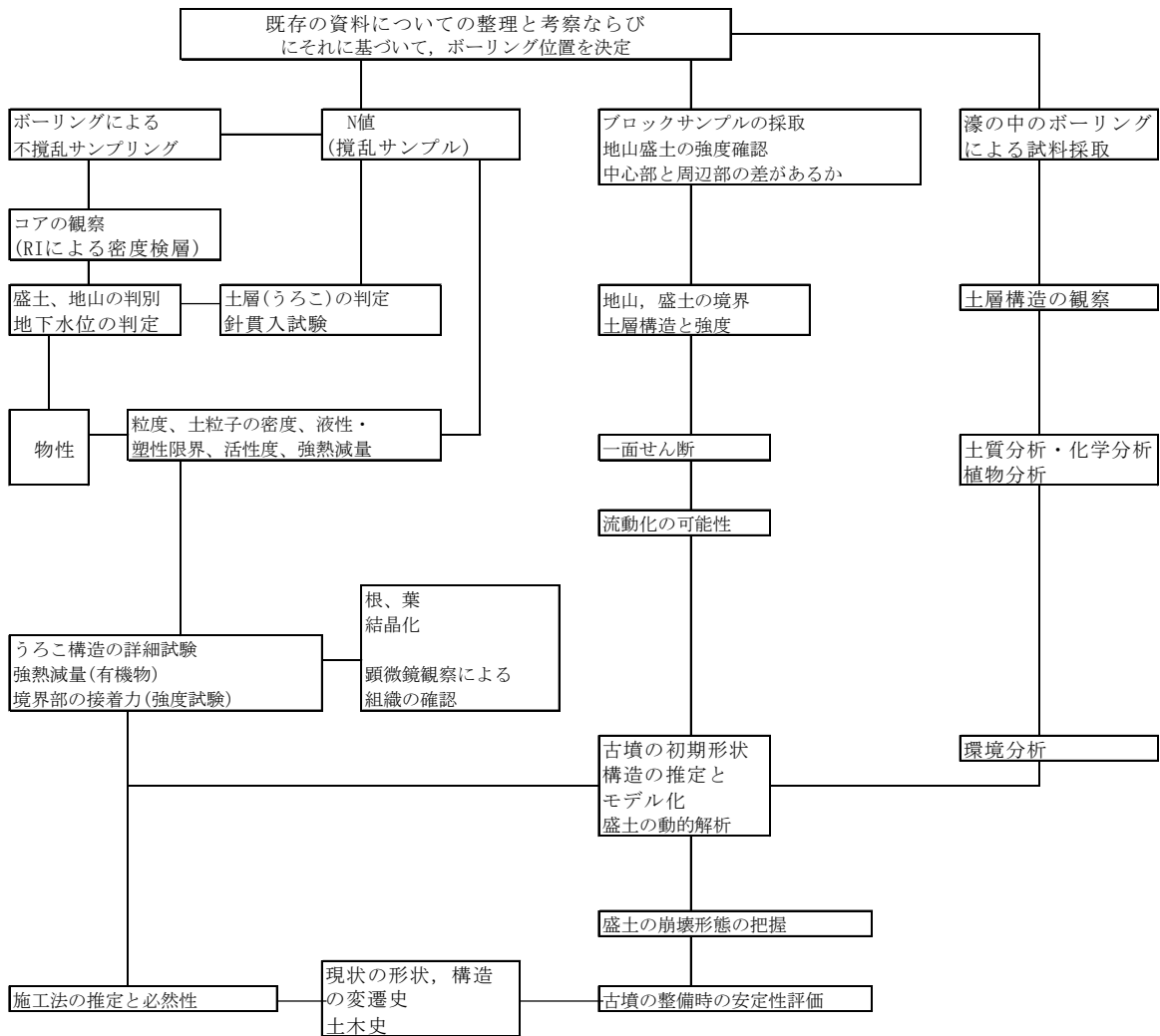


図-2 今城塚古墳の調査・検討の流れ

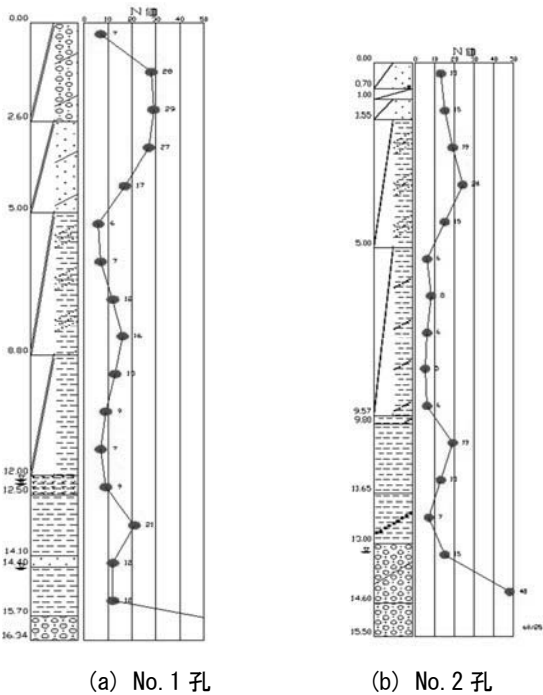


図-3 No. 1 ボーリング孔とNo. 2 ボーリング孔の柱状図およびN値関係図

でいる。0.2m から 1.2m までが砂礫層でよく乾燥しており、未固結である。1.2m から 2.6m は有機物を含むがほとんど黄色砂礫層である。地表から 2.6m から 4.0m では黄色粘土分を含み、有機物の分解度が高く、植物片はほとんど含まない。また、含水比は低くよく締まっている。6m から 8m までは未分解の有機物を多く含むいわゆる“うろこ”からなっている。構造ははっきりせず境界面が傾斜していて乱れが感じられる。そして、含水比は少し高くなる。8m から 9m までは比較的整然としたうろこで含水比が高く、未分解の木の根が多く含まれる。そして、1 つの層では、有機物の多い黒色部が下に、有機物の少ない灰色の部分が上になっていて通常の表土と比べ、上下が逆になっている。また、黒色部の強度は灰色部のそれより小さい。9.5m から 10m までの複雑な構造を持つ“うろこ”で褐色の木の根を多く含み、境界部では傾斜していて攪乱を受けた可能性を示唆する。10.5m から 12.1m までは規則正しい厚さ 10cm 単位のうろこ構造を示す。有機物の分解度は低く強度も

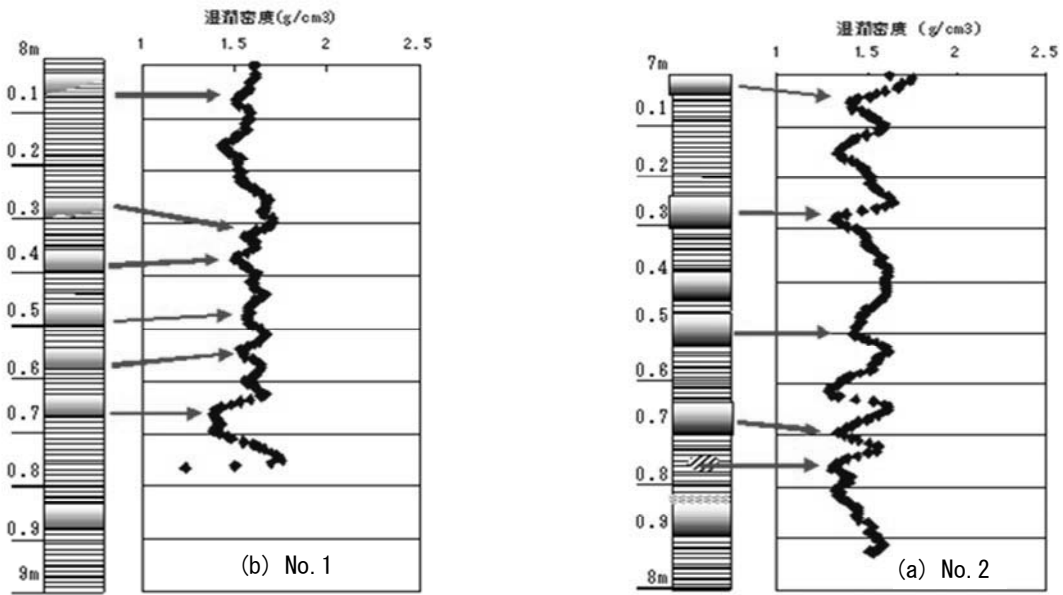


図-4 (a), (b) RI 測定による”うろこ”の湿潤密度分布

小さい。12.1m 以下は地山の段丘礫層の境界部は元地表面で有機物層が正常な形で表れている。地山境界部から16m までは粘土層と砂礫層の互層の段丘堆積物で有機物も見られるが分解度が高く強度も大きい。

また、ボーリング No. 2 のコアについては図-3 に示したとおりである。厚さやレベルは No. 1 と異なるがだいたい No. 1 と同様な構造を示している。⁴⁾ まず No. 1, No. 2 の 2 ケ所で行ったボーリングの結果と N 値の関係を示したのが図-3(a), (b) である。これによると No. 1, No. 2 とともに盛土層の上部は砂質土で N 値が大きく下部で小さな値を示している。そして、とくに地盤と盛土境界で極端に小さい値を示すことが明らかである。これは、既述のように古墳の盛土上部と下部の材質が基本的に異なることを示している。

一方、ボーリングコアの一部（うろこ部）を拡大して図示したのが図-4(a), (b) である。そして、RI



写真-1 有機質土層と砂質土層の接触面

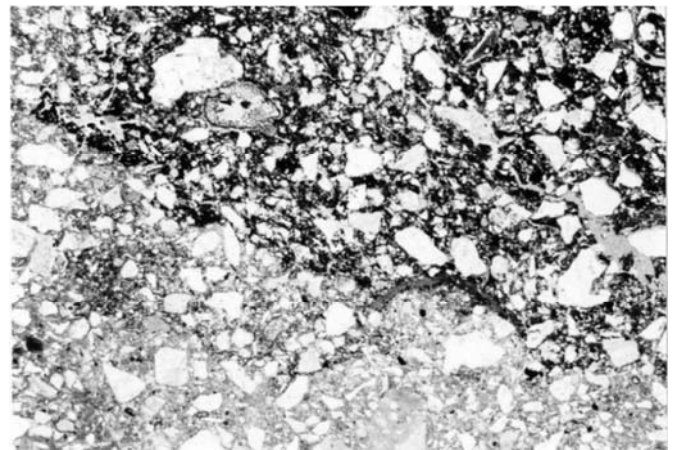


写真-2 接合部の顕微鏡写真

によって測定された密度を比較して示すと No. 1, No. 2 とともに有機物の多い黒色部は密度が小さく、少ない部分では密度が大きくなっている。そして、密度の小さい部分がブロックとブロックの境界となる。

一方、写真-1 は植物の破片が識別できる程度の有機質の部分と非有機質との接触部のコアを示している。境界は複雑に入り組んでいるがよく密着していて、曲げて破壊させると黒色部から割れることから黒色部既述のように強度は小さいことが明らかである。そして、分割面は生々しい植物の茎が識別される。

コアの有機物層と非有機物層のちょうど境界部の顕微鏡写真を示したのが写真-2 である。

これによると黒色部は軟弱で積み上げたとき塑性

変形したあとが見られる。そして、縦長の土粒子は接触面と平行になっていることから伺える。これは接触時にある程度の圧力がかかり、塑性流動変形したことを示すものと考えられる。

写真-3 はブロック状に採取した土層構造を示したものであるが、厚さ数センチの土層が整然と重なっている。その土層1つ1つについて針貫入試験と強熱減量試験を行った結果は図-5 のとおりである。明らかに土層がサイクリックに変化していることがわかる。

一方、墳丘の外部P1の前方部北西角のトレンチで見られた表土層構造は写真-4 のとおりである。有機物層と非有機物層の区別が明確でなく明らかに混合して締固めていることが明らかである。そして、強度・密度とも、うろこに比べ大きい値を示す。⁵⁾

(2) 土層の構造と構築方法

図-6 は強熱減量と土粒子密度の関係を示している。No. 1、No. 2とも地山部では土粒子の密度が大きくIg-lossが小さい。そして盛土上部のものに近い。一方、盛土下部のものは土粒子の密度が小さく、Ig-lossが大きくなっている。

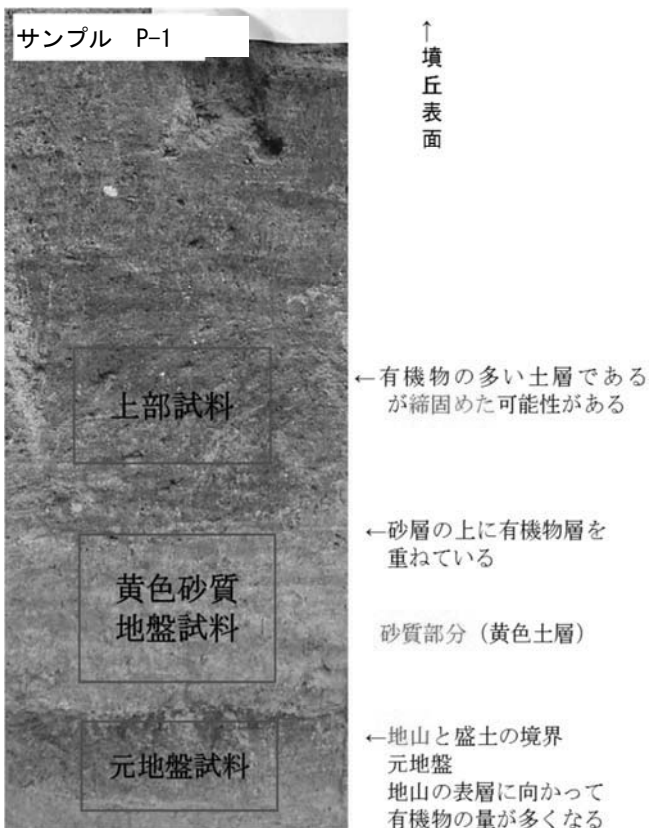


写真-4 トレンチ表土付近の土層の様子



写真-3 うろこの断面

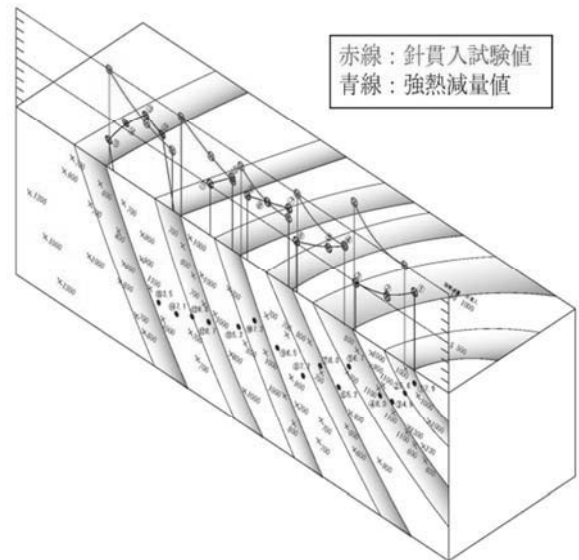


図-5 針貫入抵抗と強熱減量の分布

図-7 は強熱減量と含水比の関係を示したものであるが、No. 1、No. 2とも地山部は中間の値を示している。そして、盛土下部はNo. 1、No. 2とも強熱減量が大きく含水比が高い。これから盛土の上部と下部で、もともと質的に差があり、下部は地山の表土部を、上部は地山深部の土を用いたことを暗示する。このような、土層の特徴から本古墳の築造法について考える。

図-8 に示したように、本古墳の敷地となった場所は段丘層堆積物の比較的安定した場所で、表層部は植物が生い茂り軟弱な土層が広がっていた。ここで長軸 200m もの大型古墳を短期間に築造するためには、その場所の材料の利用が必要である。⁶⁾ 表層部の粘土質で水分が多く有機質で攪乱すると盛土材として締固めにくくなるので、ブロック状に切り出し、含水比の高い有機物の多い表層部を下にして積み上げたものと考えられる。

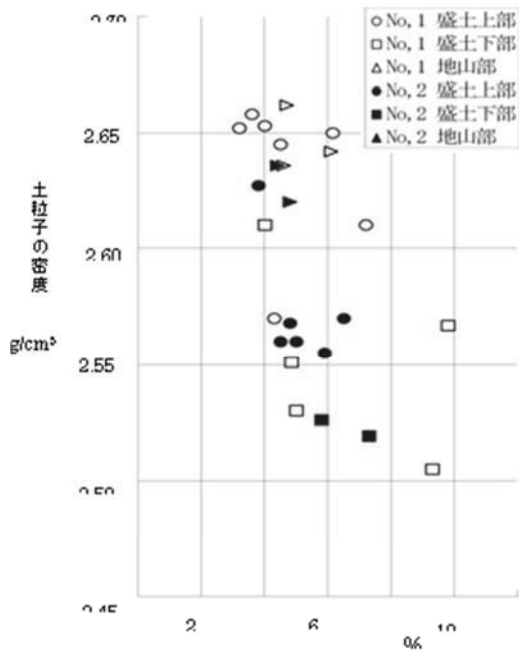


図-6 強熱減量値と土粒子密度の関係

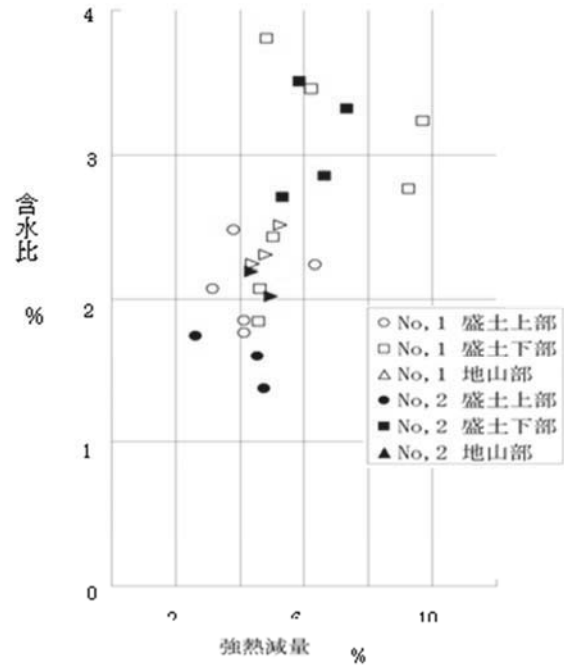


図-7 強熱減量値と含水比の関係

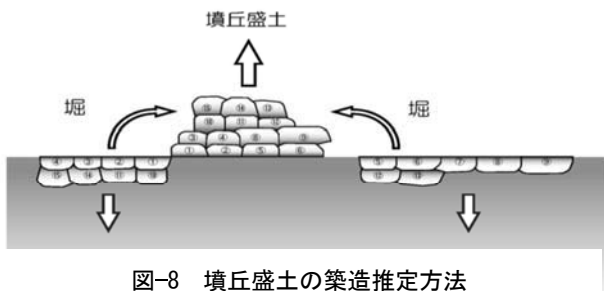


図-8 墳丘盛土の築造推定方法

この工法は最近他の古墳でも発見されている。⁷⁾そして、ブロックで切り出した場所は濠となり、水を湛えているが掘削が深部に及ぶと土は砂質土になり、ときほぐしても十分に締固めができるので墳丘の外部に用いたと考えられる。

施工の様子は図-8 に示したように盛土と地山境で強熱減量が高いのはもとの地山表面の有機物とブロックの有機物同士が重なるためであり、従って、この境界が最も弱い部分となる。

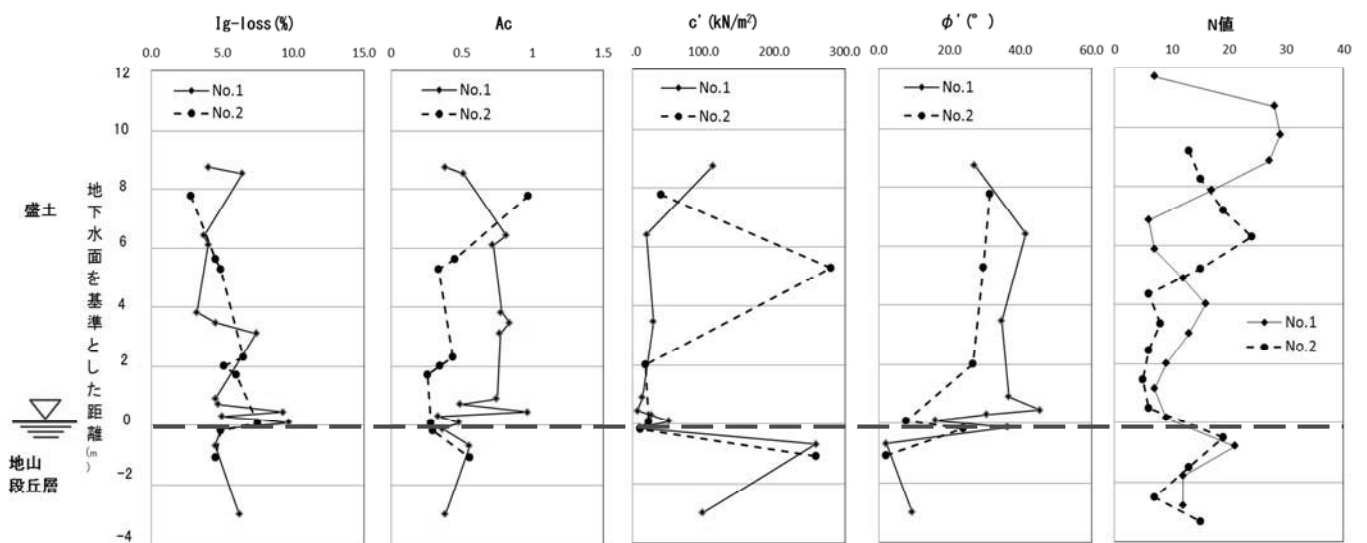


図-9 深度方向の土性の特徴

(3) 盛土の土質特性

また一方、盛土の土質力学的特性について、図-9を用いて少し詳細に考察する。

まず既述のとおり、N 値は盛土表層部で大きく、下部の有機物層で極端に小さくなり、とくに地山盛土境界の値は最小になり、地山に入るとまた大きくなる。強熱減量値 Ig-loss は有機物量の多い下部層で大きく、上部層で小さくなるが、含水比は下部層で大きい。そして、下部層の含水比は液性限界に近くなり、とくに地山近くは Ic が 0 近くになる。

また、活性度 Ac は下部層、とくに地山レベルの濠の地下水面に近い部分で 0.5 などの小さな値を示している。最近の研究によると、地盤が長年地下水にさらされると活性度 Ac が低下することが明らかになってきている。⁸⁾

そこで、今城塚古墳とそれ以外の我が国の古墳の盛土の規模と強度 (N 値) との関係で示したのが図-10 である。これによると一般に規模の大きい、長軸の大きいものほど N 値は大きくなっている。これは大きいものほど強度と耐久性を上げるため、材料を厳選し、締固めを十分持っていることを示すためである。ただ、今城塚古墳では古墳の外側の土は規模に応じた N 値を示しているが、内部のうろこ部分は規模の割に N 値が小さくなっている。これは設計者の予測に反するものであると考える。設計者は地下水の影響を予測出来なかったと考える。

一方、図-11 は我が国の古墳の盛土の乾燥密度と含水比との関係を示したものである。これによっても、今城塚古墳は外部の良質材で密度の高い部分と内部の有機物質の密度の小さい部分の 2 層構造にな

っていることが明らかであり、この古墳の重要な特徴の 1 つである。

4. 濠内の堆積物の特性

(1) 堆積物の特徴

濠の内部で行った 2 次調査のボーリングの試料による土層柱状図は図-12 のとおりである。

No. 1 ~ No. 4 は少しづつ特徴が異なるが垂直方向の変化を No. 3 で代表させて説明する。

まず、最下部には基礎地盤の段丘層、その上に古墳築造直後の泥質堆積物、その上に砂質土層と有機物層が載っているが標高 23m の上部は砂礫層が堆積している。この層は著しく乱れており、偽礫を含んでいて、上下の土層と異質であることから、これは伏見地震による墳丘の崩壊した土の一部で、濠内に流入した土砂の可能性が考えられる。現地の観察によっても明らかに墳丘の土が濠の内部に堆積しているので、可能性が高い。最上部は最近堆積した植物遺体でルーズな堆積物である。No. 3 と No. 4 のレベルの差は東西方向に地盤が傾斜していることによるものである。

標高 21.78m ~ 22.80m までの試料の植物分析によって、環境変化を示すと表-1 のとおりである。これにより、内濠は、古墳築造以来、慶長伏見地震までに 1m 近く堆積物が堆積するが、この期間を通じ干上がることなく、水生植物が生育する水域が継続することが確認される。また No. 3 のコアについてさらに詳細な検討を行うために土質試験と化学分析を

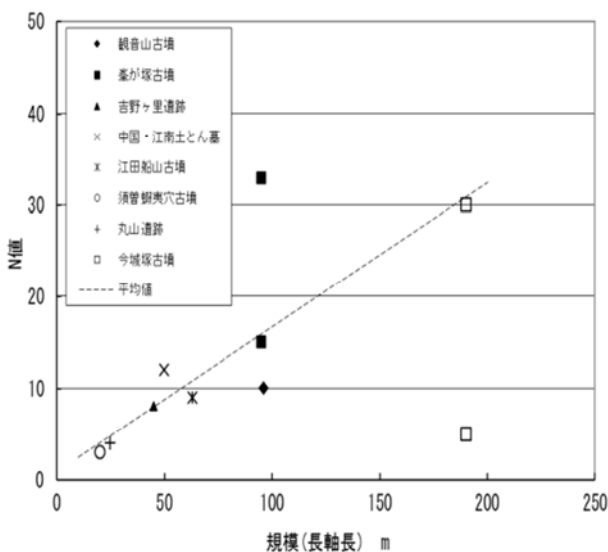


図-10 古墳の規模と N 値

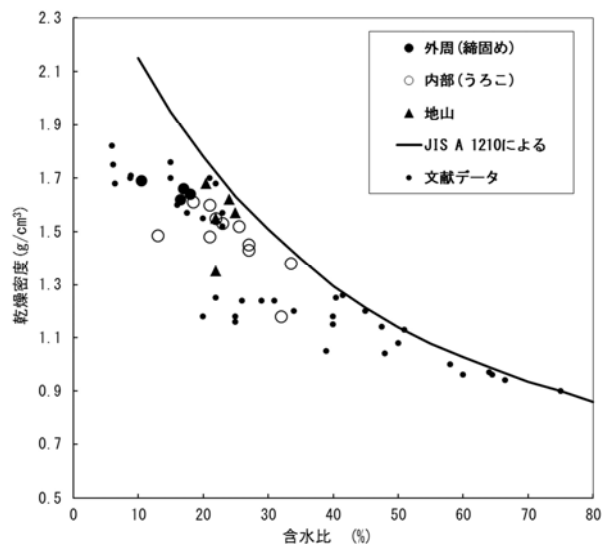


図-11 含水比と乾燥密度の関係

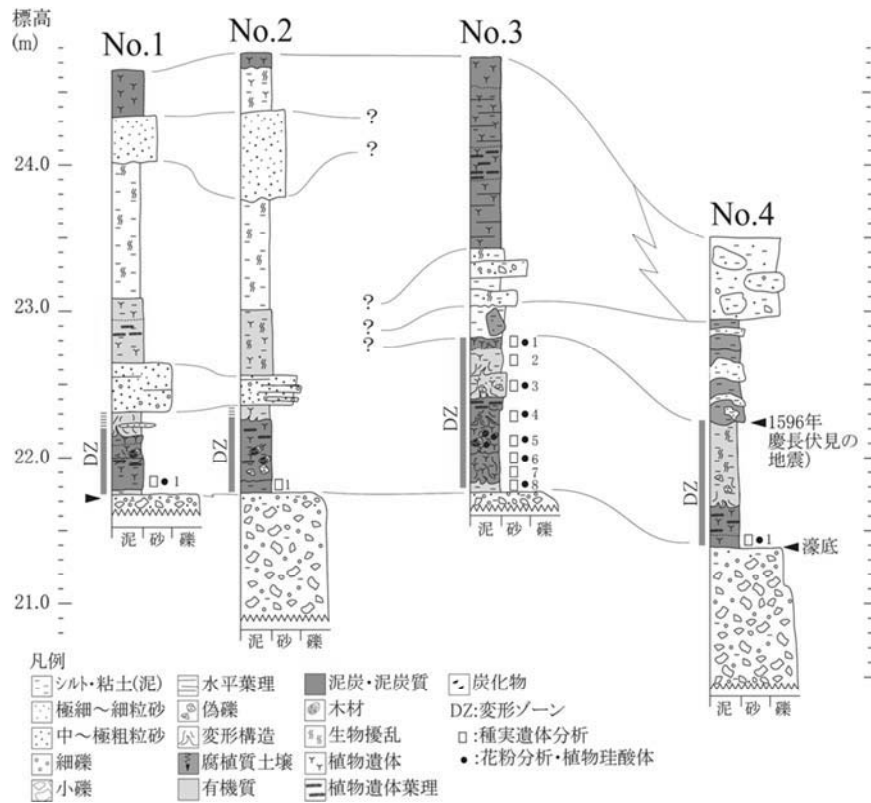


図-12 濠内のボーリング柱状図

行ったのが図-13である。これによると、初期の堆積物（標高 21.00m～22.8m）の下部層は有機質で強熱減量が高く、かつ含水比は大きい、自然含水比は液性限界以下である。有機質土でありながら針貫入抵抗は大きく安定している。これは有機質土でも長期間圧縮され、分解が進んでいるものと考えられる。

また、その上の攪乱層は伏見地震による墳丘盛土の外周部崩壊土と考えられ、含水比も Ig-loss も低いので、針貫入抵抗も大きく無機質で自然の濠の堆積物とは考えられない。⁹⁾

また標高 23m 以上の厚い植物遺体の累積層は多くの未分解な有機物を含み $W_n > W_l$ の状態であり Ig-loss は高くなっている。そして、ほとんど圧密されていない新しい堆積物であるので、針貫入抵抗は低く 0 に近い。

つぎに土の基本的性質、とくに劣化度で表す活性度 Ac について見ると最下部の初期堆積土はやや大きい値を示し、その上の墳丘盛土層の土塊においては、Ac は小さい値を示し、最上部の新しい有機物層でまた Ac 値は大きくなる。この原因はももとの土性の差によるところが多いが、中間層の墳丘土は外周部の土でももともと Ac は小さい土であり、墳丘土表層が雨水によって劣化していることを示すため

で、最下部の値が大きい濠の底では水の流動はそれ自体大きくないことを示すものである。つぎに最上部と有機物層について、水銀の分布を調べた。その結果、表層より約 20cm の深さでピークを示す曲線を描いている。このことは狭山池内の堆積物について著者の一人が指摘したことであるが、昭和 35 年～45 年間の有機水銀の農薬によるもので、使用中止した後小さな値となっている。¹⁰⁾ さらに水銀農薬が使用された時期、伏見地震が発生した時期をタイムマークとした濠内の堆積物の堆積速度を示したのが図-13 の右図である。これによると、堆積速度は圧密の影響と考えても古墳築造の初期に遅く最近になるほど速くなる傾向が伺える。そして、時代が新しくなるほど植物の生育しやすい環境へと移行し、環境の歴史上、自然史上の事象をよく記録している。

5. 考察

以上述べた事実を総合して、この古墳築造時の自然環境とその後の歴史的変遷の経過を考察する。この古墳はその当時としては大規模なもので、用地を段丘層上に選び、盛土材としてはその場所の土層をうまく生かしてブロック状に積上げた部分と掘削

表-1 濠内の堆積物の堆積時期による特徴

時期区分	標高	層相	内濠および周辺的环境変化
IV期	22.80～ 22.76m	未分解～弱分解泥炭	<p>濠内はヒツジグサなどが生育する水域が継続するものの、静穏化し、泥炭が蓄積するようになる。水質が汚濁化していく。</p> <p>一方、周辺の森林植生は急激に変化し、カシ類・ナラ類などの広葉樹が急激に減少し、マン属の卓越する二次林へ変化する。人為的植生攪乱に起因すると判断される。</p>
	22.75～ 22.67m	泥炭質泥	
III期	22.67～ 22.41m	未分解植物遺体および墳丘堆積物に由来すると判断される歪角状をなす砂質泥の偽礫が混じる有機質砂質泥	<p>濠内への土砂供給量が増加し、同時に内濠内の水質が清浄化し、ヒツジグサなどが生育するようになる。</p> <p>墳丘および堤に成立した林分は本時期に衰退し、草地や裸地が広がり、表土の流出が起こりやすくなる。</p> <p>以上の変化は、墳丘を利用した16世紀前半の山城築城と関連した変化の可能性がある。</p>
II期	22.41～ 22.22m	炭化物が混じる未分解植物遺体の葉理を挟在する有機質泥	<p>濠内の堆積環境は安定化する。ヒメビシなどの浮葉植物やミクリ属などの抽水植物が水深に応じて生育しており、これらの植物遺体の集積により、泥炭が形成されるようになる。また、水質は富栄養化の傾向にある。</p> <p>墳丘や内堤などには林分が成立する。これにより、濠内への土砂流入が減少したものと推定される。</p>
	22.22～ 22.02m	泥・木材遺体混じりの弱～未分解泥炭	
	22.02～ 21.83m	弱分解泥炭質泥	
I期	21.83～ 21.78m	有機質泥	<p>内堀内および墳丘や堤側からの流れ込み堆積物が流入するヒメビシなどの浮葉植物が生育する水域が広がり、墳丘や内堤の岸辺には抽水植物が生育していた古墳構築直後の墳丘や内堤には林分は存在しなかったが、放置されるようになり、内濠近辺の墳丘や内堤およびその後背地に二次林的性格を有した林分が形成される。</p>

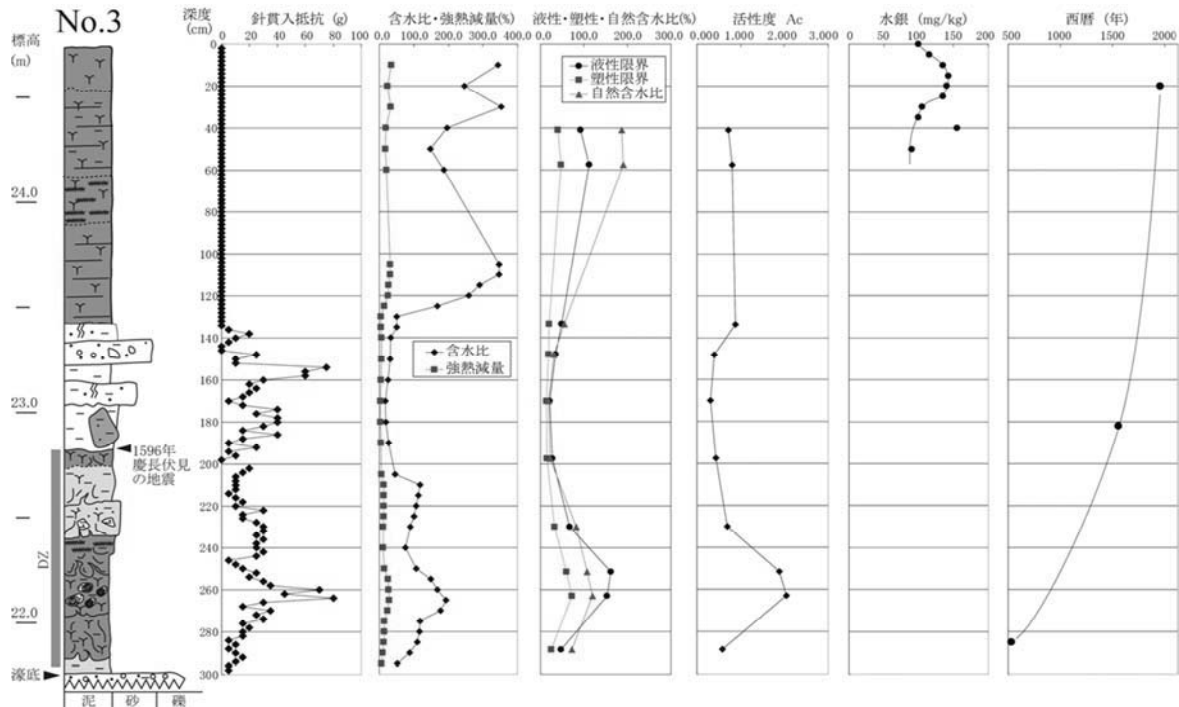


図-13 No. 3 ボーリング 柱状図と物理および化学的試験結果

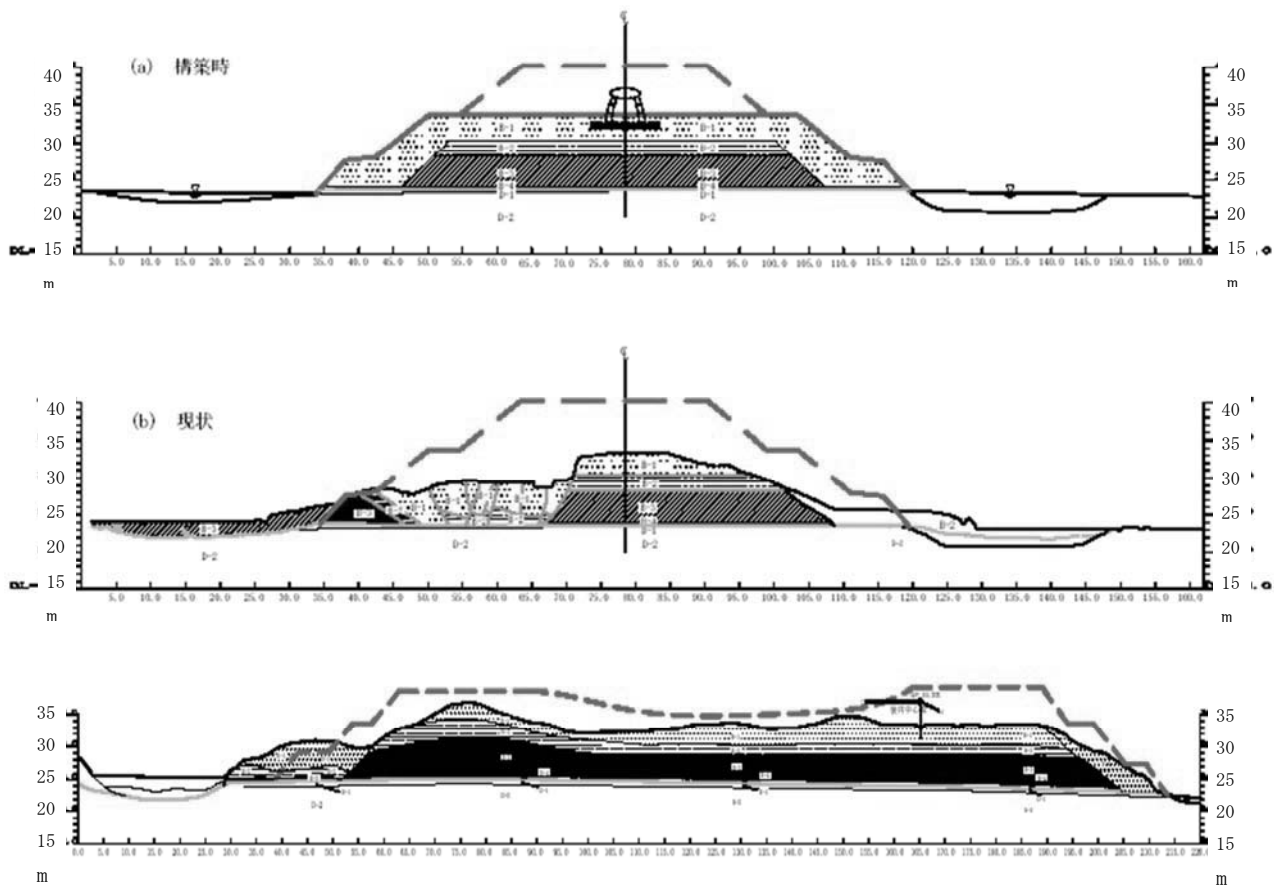


図-14 墳丘の変形

土を締め付けた層に分けて築造したことは、その場所の用土を生かした賢明な方法であった。しかし、地下水が豊富で、濠の給水には好都合ではあるが、地山、盛土の境に水位があり、常時盛土内に浸透する。その結果、うろこ状の下部盛土層の経時的劣化を引き起こすこととなり不安定化が進んだところへ1596年の伏見地震が発生した結果、地山と盛土境で大きく崩壊し、墳丘盛土層は濠内に大きく流動して移動した。

これらの結果を断面図の形で初期状態と現在の形状で示したのが、図-14である。

また、地下水が豊富なことは水田が発達することのみならず古墳周辺部の植物の生育条件に好条件を与え、時代とともに出現植物種が増加とともに量的にも豊富になってきた。そして、最大のイベントは農地の近代化において農薬の汚染が発生し、それが吸着能の高い有機物に吸着保存されている。

このようなことは、我が国の風土の大型土構造物の長期安定性、耐久性に及ぼす影響評価に重要な示唆を与えるものである。

また、土構造物の材料・構造はそれが置かれる自

然条件においては、ある場合は安定化方向に、ある場合はこの事例のような地下水が安定性に大きく支配すること、そして我が国のように地震の多い国では、地盤の劣化による崩壊のメカニズムや耐久性に関する重要な情報を与えるものである。

その意味で本古墳を考古学、科学、地盤工学の視点から総合的に分析することで、今後の遺構の不安定化の評価のあり方を表すとともに、現代における大型土構造物の設計、施工にも重要な示唆を与えるものとする。

結論

1. 墳丘はうろこと呼ばれる有機質の土層をブロック状で用いた盛土内部と良質の砂質土を締め付けて用いた外周部に分けられる。
2. 内部のうろこは地表面の有機質の部分をブロック状に切出し、上下を反対にして積み上げたもので、短期間に安定な盛土に造成することをねらった施工方法であり、他地域でも発見されている。

3. この地域では地下水が豊富で地山と盛土境に水位があり、長年の地下水の浸透を受けて盛土の劣化が進んでいた。
4. 地震ではこの盛土と地山境界部が弱点となり墳丘盛土の大規模な水平すべりを発生させ、墳丘は外周の濠中に流動崩壊した。
5. これらの事象は濠内の堆積物にも記録されており、墳丘が築造された後の周辺の環境や人的環境の変化を忠実に記録している。
6. このような大型の遺構の考古学、現代科学、地盤工学的な視点からの解明は新しい試みであり、得られた成果は今後の大型土構造物の設計・施工法に重要な示唆を与えるものである。

参考文献

- 1) 高槻市教育委員会; 継体天皇とその時代, 史跡今城塚古墳シンポジウム資料集, 2005.
- 2) 高槻市教育委員会; 史跡・今城塚古墳-平成十七年度 第9次規模確認調査, 2007.
- 3) 藤原靖, 城まゆみ, 宮崎康雄; 今城塚古墳の鱗状盛土の土質材料と作成方法について, 地盤工学会, 歴史的地盤構造物の構築技術および保存技術に関するシンポジウム, pp. 43~48, 2008.
- 4) 西田一彦, 井上啓司, 岡崎宣治, 宮崎康雄, 中山義久; 今城塚古墳の地盤考古学的考察; 地盤工学会, 歴史的地盤構造物の構築技術および保存技術に関するシンポジウム, pp. 53~60, 2008.
- 5) 月館光三, 及川洋; 高有機質土の土構造と工学的性質, 多賀出版, 本邦各種粘性土の土構造と工学的性質, pp. 125~189, 1985.
- 6) 梶国男; 古代の土木設計, 六興出版, 1983.
- 7) 堺市教育委員会; グワンショウ古墳の盛土について, 百舌鳥古墳群の調査2, pp. 76~91, 2009.
- 8) 中山義久, 西田一彦, 松川尚史, 松本修司, 木村浩, 久保下隆文; 地盤の劣化現象と土の物理・化学的性質, 日本材料学会, 第10回地盤改良シンポジウム, pp. 285~290, 2012.
- 9) 西形達明, 西田一彦, 宮崎康雄, 中山義久, 澤孝平, 増田修二; 今城塚古墳の破壊形態の動的解析による検討, 地盤工学会, 歴史的地盤構造物の構築技術および保存技術に関するシンポジウム, 2008.
- 10) 西田一彦; 狭山池の地盤特性と地盤考古学的考察, 大阪狭山市, 狭山池-論考編, pp. 245~278, 1999.

(2014. 4. 7受付)