

吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓など盛土遺跡の 地盤工学的特性と構築技術

鬼塚克忠¹・佐藤磨美²

¹正会員 工博 佐賀大学教授 理工学部都市工学科 (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1番地)

E-mail: onitukak@cc.saga.u-ac.jp

²正会員 工修 日本建設技術株式会社 (〒847-1201 佐賀県東松浦郡北波多村徳須恵 1417-1)

E-mail: sato@nkg-net.co.jp

本研究は、これまで考古学的観点から対象とされてきた盛土遺跡を地盤工学的観点から調査・研究しようとするものである。著者らは紀元前1世紀前半に構築された吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓(佐賀県神埼郡)について地盤工学的特性を明らかにし、構築年代は異なるが、版築工法あるいは版築様(状)工法で構築された3つの盛土遺跡の地盤工学的特性と比較する。また、吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓を想定した締固めに関する模擬試験を行い、続いて墳丘墓の模型を作製した。その結果および考察から実際の墳丘墓の締め固め方法や構築日数などの構築技術について考察する。

Key Words : Yoshinogari north burial mound, fill remains, geotechnical properties, construction technique, aging effect, model test

1. はじめに

近年、遺跡の発掘への社会的な関心が大きく広がっている。これまで遺跡の調査・研究といえば、考古学的なものがほとんどであった。しかし、様々な観点からの調査・研究が行われ始め、土木工学や地盤工学の分野でも、保存を目的とした調査・研究が着手されている^{1),2)}。

著者らは、1993年より佐賀県神埼郡(かんだきぐん)の吉野ヶ里(よしのがり)遺跡・北墳丘墓(きたふんきゅうぼ)を地盤工学的観点から調査・研究している^{3),4),5)}。この調査結果をもとに、本研究では吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓を中心に地盤工学的特性について述べ、版築(はんちく)あるいは版築様工法で構築された他の3つの盛土遺跡との比較を行った。また、吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓構築における締固め方法を考慮し、2通りの締固めによる模型作製を行った。これらの結果から、当時の構築技術について考察し、吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓の構築にかかった日数の推定を行った。

2. 盛土遺跡の概要

(1) 盛土遺跡と版築

以下に述べる4つの盛土遺跡は、版築あるいは版築らしき工法で構築されている。「版築」は最近の広辞苑によると、「土壁や土壇の築造法で、板で枠を作り、土をその中に盛り、一層ずつ杵(きね)でつき固めるもの。古く中国の竜山文化に始まり現在まで存続。」とある。

“版築”の考古学における概ねの定義として次のようにまとめられる。「2~3種類の性質の異なる土を交互に薄く層状に敷きつめて締め固める工法で、古墳や寺院構築の際の基壇に用いられたと考えられる。締め固められた1層当たりの厚さは10cm程度で、この工法によって完成した土構造物はかなりの強度を保ち続けている。」⁶⁾

また、地盤工学の分野において、山内⁷⁾は「版築の版は牆(しょう, 垣の意)、築は杵(きね, タンパーの意)であり、側方を丸太などで、一定の間隔をおいて拘束し、中にいくらかの水を加えながら黄土を入れ、杵で突き固める盛土技術が版築であ

る。」としている。

上記のように、版築は板で囲い、その中に土を盛って締め固めて構造物を作る工法である。しかし本論文では、板の代わりに盛った土で拘束する工法も含め、これらの工法によって構築された盛土について著者らは“版築盛土遺跡”あるいは単に“盛土遺跡”と呼んでいる。

本研究で調査の対象とする盛土遺跡について構築時期の古いものから並べると、次のようになる。

- ① 吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓（紀元前1世紀前半，佐賀県神埼郡）
- ② 峯ヶ塚（みねがづか）古墳（5世紀末，大阪府羽曳野市）
- ③ 戦場（せんば）古墳群・33号古墳（6世紀中頃，佐賀県神埼郡）
- ④ 水城（みずき）（西暦664年，福岡県太宰府市）

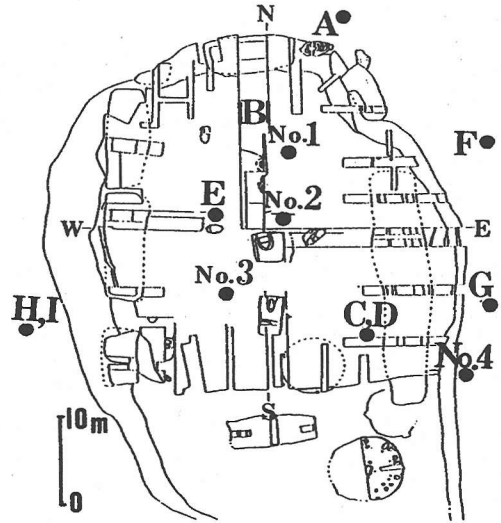


図-1 吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓の見取り図

(2) 吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓の概要^{8), 9), 10)}

吉野ヶ里遺跡は、佐賀県神埼郡神埼町（かんだまち）と三田川町（みたがわまち）の標高20mの丘陵を中心に、南北約2km、東西約500mにわたって膨大な遺跡群を形成している。神埼工業団地造成のために1986年から始まった本格的な文化財調査によりその存在が明らかにされた、旧石器時代から中・近世にわたる遺跡である。吉野ヶ里遺跡のもつ重要性から、1990年5月には異例の早さで史跡指定、翌年5月に特別史跡に昇格した。さらに特別史跡約22haを中心に約117haを国立公園（54ha）と県営公園（63ha）として整備されることが1992年に決定した。2001年4月開園し、現在に至っている。

吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓（以下、墳丘墓とする）は、図-1に示すように南北約46m、東西約27m、平面長方形に近い形である。紀元前1世紀前半に構築され、当時は4～5mの高さであったと考えられているが、中世の築城や戦後の開墾により現在は高さ約2.5mとなった。

墳丘墓の中心部から南側にかけては写真-1に示すように異なる土からなる層を呈している。1層の厚さは10～30cmである。そこで考古学の分野において“版築様（状）の工法”を用いて構築されたといわれる⁸⁾。この弥生時代の吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓における版築様（状）の工法は、我が国における最古のものである。

墳丘墓の構築は佐賀県教育委員会⁸⁾によると次のようになる。「墳丘墓の構築には、黒色土系の土を

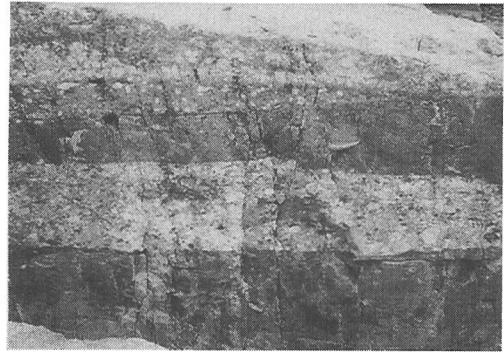


写真-1 版築様の工法による墳丘墓断面

0.5～1.2m 盛った後、その上に数個の小さなマウンド（盛土）を築き、さらにその上に小マウンド群を築くといった工程の繰り返しによって墳丘を高めていった様子がうかがえる。現存している墳丘墓の盛土には小マウンドは6個確認されている。これらの小マウンドは版築状の技法が使われている点では共通しているが、その版築状の工程における土質や層の厚さについては、おのおの異なる状況を示している。また、このような特異な工程による積み重ねについては、数個の小マウンドらしい土層が確認されるものの、それらの小マウンド群が個々に埋葬主体を有するものであり、そのような埋葬行為を数度繰り返したのち、整地を行い、さらにその上で再び小マウンドを伴う埋葬行為がされるといった重層構造がとられているのか、墳丘を構築する際の手法として、そのような積み重ねがなされていたものなのかは現時点では判断しがたい。」

また、甕棺（かめかん）埋設時には、次のような

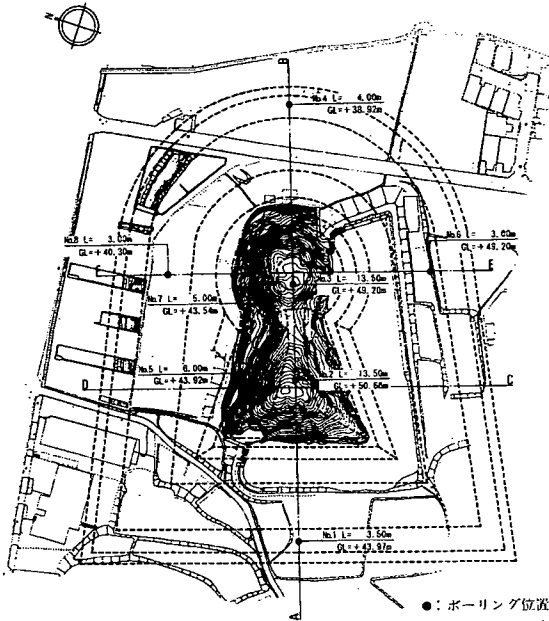


図-2 峯ヶ塚古墳の見取り図¹¹⁾

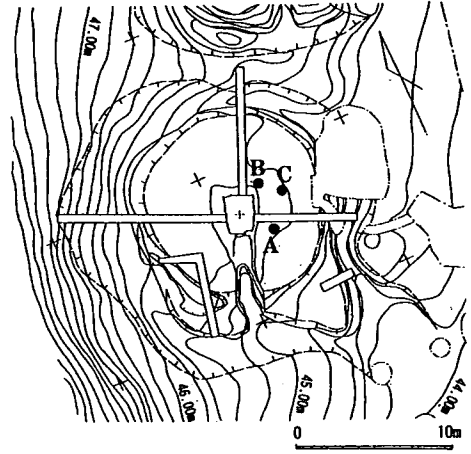


図-3 戦場古墳群・33号古墳の見取り図

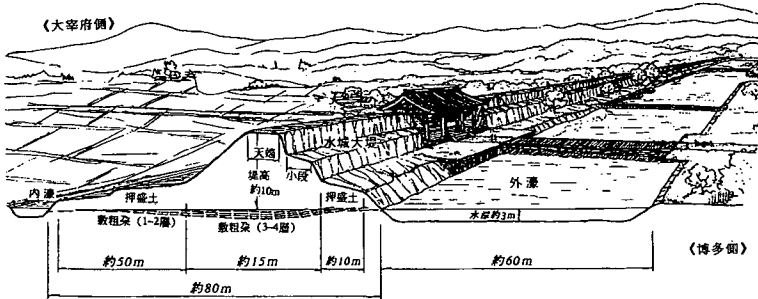


図-4 水城の当時の様子とその断面¹³⁾

作業が行われる。構築した墳丘に、ある程度の深さまで孔を掘る。そこから斜めに孔を掘り、壟棺を設置する。この斜めに掘った孔は2次墓壇と呼ばれ、これを埋めるための土は締め固められていない。その後、縦に掘られた最初の孔は、丁寧な締め固めにより最初の墳丘の高さまで締め固められている。この丁寧な締め固めのため特に壟棺埋戻し土は極めて硬く、考古学調査の際には削るのに苦労したと言われる。

この北墳丘墓について、著者らは1993年2月より、ボーリング調査および各種土質試験を行っている^{3), 4), 5)}。

以前、「南墳丘墓」と呼ばれていた盛土遺構は、この北墳丘墓から直線距離で約850m南に位置し、南北約48m、東西約45m、高さ約2.8mである。北墳丘墓とほぼ同じ大きさである。その後の調査で、この遺構から壟棺などが出土しなかったため、墳丘墓ではなく、祭祀場として利用された跡と判断され

た。この遺構の考古学調査における断面は、北墳丘墓と同じく版築様の締め固め状況を呈している。

(3) 峯ヶ塚古墳の概要^{11), 12)}

“峯ヶ塚古墳”は、大阪府羽曳野市の古市古墳群に属する前方後円墳で、5世紀末に作られている。図-2に示すように、墳丘長96m、後円部直径56m、後円部高8m、前方部幅74m、内濠幅11m、外濠幅18m、墓域長168m、墓域幅148mの規模をもつ。被葬者については未確認であるが、考古学的にも早くから重要性が認められ、羽曳野市教育委員会は、保存整備を行った。その基礎資料とするため、古墳においてボーリング調査および各種室内土質試験が西田ら¹²⁾によって行われた。古墳は砂質土と粘性土が3~7cm程度の互層状に締め固められている。

(4) 戦場古墳群・33号古墳の概要³⁾

戦場古墳群は、吉野ヶ里遺跡から真北 3.5km、標高 40~120m の丘陵面にあり、20 基の古墳について 1992 年より発掘調査が行われた。古墳群は 5 世紀後半から 7 世紀を中心に構築されており、その内最古のものは 4 世紀に作られている。

図-3 に示す戦場古墳群・33 号古墳 (以下、33 号古墳とする) は、古墳時代後期の 6 世紀中頃に構築された。全長が 4.0m の単室両袖横穴式石室という形態の石室を有する長袖 15m、単袖 14m の馬蹄形墳である。構築時の推定高さは 3.0m であったが、畑などに開墾され、調査時の高さは 0.8m となっていた。標高は約 46m に位置し、家父長を埋葬した一般的な古墳である。こちらも墳丘墓同様、版築様の工法によって構築されている。

33 号古墳は、次のような作業により構築されている。

- ①丘陵を切り開き、整地する。
- ②整地した後に石室部の石を置き、それと同じ高さまで周囲を土で締め固める。33 号古墳では黒色土とまさ土を層状に締め固めているが、このとき、まさ土層の境界が石と同じ高さになるようにしている。以上の工程を石室のふたの部分まで繰り返す。ここまでが 1 次墳丘と呼ばれる。また、石材と石材の間には外側から粘土でめばりをし、雨水などの浸透を防いでいる。
- ③ 1 次墳丘形成後、その上からさらに黒色土・まさ土などで層状に締め固めを行っている。これが 2 次墳丘と呼ばれている。

33 号古墳についても乱さない試料を採取し、各種土質試験を行った³⁾。

(5) 水城の概要¹³⁾

“水城大堤”は 664 (天智 3) 年に築造されたこ

とが日本書紀に記されている福岡県大宰府市に現存する特別史跡である。これは高さ約 10~14m、全長が約 1.2m にもおよぶ大規模な土構造物で、図-4 に当時の様子と断面形状のイラスト¹³⁾を示す。水城大堤は、防衛のための施設であり、わずか 1 年で施工されていることがわかっている。この水城について 1994 年 7 月より、築堤とその基礎地盤を含むボーリング調査および各種土質試験が林ら¹³⁾によって行われた。本堤や木樋付近において版築工法による施工がなされたと推定されている。

3. 盛土遺跡の地盤工学的性質

(1) 吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓の地盤工学的特性

a) 試料採取

吉野ヶ里丘陵は基本的に火山灰土 (阿蘇-4 火砕流堆積物) から構成され、十数 m の高さである。構築土の母材としては、レス、火山灰土 (火砕流堆積風化土)、砂質土の 3 種類となっている。レスはごく細粒の石英砂とイライトを主とし、砂質土は台地構成物ではなく、火砕流の移動中に旧表土から取り込まれたものである。

ボーリングによる乱さない試料の採取を図-1 に示す 4 地点 (No. 1~No. 4) で行い、別に釘うち法 (断面 14×29cm) で 5 箇所 (A・C・D・E・No. 4) より乱さない試料および乱した試料を採取した。No. 1~No. 3 は墳丘墓内の土であり、No. 4 は考古学調査のために削った残土を 5 年間捨土していたものである。また、A は原地盤の赤土であり、C (黄黒色)、D (黒色土)、E (黒色土) は墳丘墓内の土であり、C・D は同一地点で C の 30~40cm 下部が D である。B も墳丘墓内の土であるが、乱した状態での試料を採取した。

表-1 墳丘墓の各地点の試料の性質

試料	ρ_s (g/cm^3)	w_L (%)	w_P (%)	I_P	w_n (%)	ρ_t (g/cm^3)	ρ_d (g/cm^3)	L_i (%)	粒度組成(%)				工学的分類
									礫	砂	シルト	粘土	
A	2.681	67.6	44.1	23.5	52.0	1.53	1.01	12.8	0.6	21.1	57.8	20.5	MH
B	2.644	52.4	32.1	20.3	—	—	—	11.7	0.2	16.6	65.7	17.5	MH
C	2.636	63.6	39.1	24.5	48.8	1.57	1.05	12.6	0.8	18.1	44.6	36.5	MH
D	2.606	56.8	43.4	13.4	39.8	1.64	1.18	12.1	0.1	17.5	61.4	21.0	MH
E	2.605	54.0	31.6	22.4	39.7	1.75	1.25	13.2	0.1	14.2	65.2	20.5	MH
No.4	2.663	51.6	27.0	24.6	35.6	1.56	1.15	13.5	1.0	42.3	37.7	19.0	MH
F	2.613	66.6	39.2	27.4	47.9	1.5	1.02	12.7	1.4	21.8	44.9	31.9	MH
G	2.623	62.3	38.7	23.6	54.7	1.55	1.00	12.5	0.9	14.8	39.4	44.9	MH
H	2.690	53.6	27.1	26.5	40.9	1.61	1.15	10.7	1.1	23.9	42	33.0	MH
I	2.644	65.2	39.8	25.5	49.3	1.52	1.02	12.5	1.1	18.7	41.7	38.5	MH
S	2.620	61.6	37.1	24.5	—	—	—	12.6	1.0	31	35.5	32.5	MH

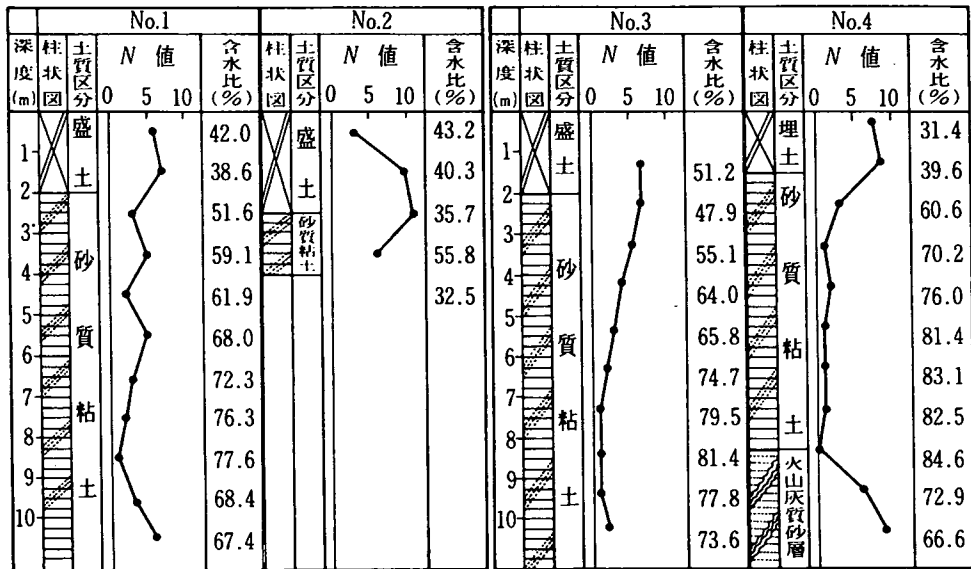


図-5 墳丘墓および下層の柱状図とN値

表-2 No.3地点の深さ方向における墳丘墓試料の性質

深さ (m)	土質区分	ρ_s (g/cm ³)	w_L (%)	w_p (%)	I_p	L_i (%)	粒度組成(%)			
							礫	砂	シルト	粘土
0.50 ~ 0.75	盛土	2.637	58.4	35.9	22.5	14.2	0.0	32.5	38.5	29.0
1.50 ~ 1.75	盛土	2.641	66.8	30.7	36.1	14.4	0.0	52.5	39.5	8.0
2.50 ~ 2.75	砂質粘土	2.590	61.4	37.3	24.1	12.9	0.5	40.0	34.5	25.0
3.50 ~ 3.75		2.630	64.6	32.6	32.0	13.1	0.0	28.0	37.0	35.0
4.50 ~ 4.75		2.590	65.7	32.6	33.1	12.6	1.0	26.5	31.5	41.0
5.50 ~ 5.75		2.676	65.6	33.4	32.2	12.8	2.0	25.0	34.0	39.0
6.50 ~ 6.75		2.651	54.4	23.6	30.8	12.7	0.0	48.5	8.5	43.0
7.50 ~ 7.75		2.637	57.4	29.7	27.7	11.1	0.0	53.5	6.5	40.0
8.50 ~ 8.75	火山灰質砂層	2.672	58.9	32.5	26.4	10.9	0.0	45.5	6.5	48.0
9.50 ~ 9.75	火山灰質砂層	2.670	48.7	33.4	15.3	9.7	0.5	37.5	23.0	39.0
10.15 ~ 10.45	火山灰質砂層	2.566	NP	NP	—	7.0	4.5	77.5	1.0	17.0

その後、墳丘墓の東側の窪地（祭祀土壙）の遺跡調査が行われた結果、この上部の土が墳丘墓の構築土であると考えられるに至っている。この窪地に隣接する自然地盤Fと、窪地にその周辺から流入、堆積したと思われる堆積土Gについても乱さない土と乱した土を採取した。また、この墳丘墓構築と同時期に墳丘墓の外に埋設された甕棺の埋戻し土であるHと、その甕棺を設置した後、土を入れただけの2次墓壙と呼ばれるIについてもリングカッターを用いて試料を採取した。

b) 物理的性質

表-1に、採取した試料の物理的性質を示す。これから分かるように、れきをほとんど含まず、MHに属する。なお、表中の試料Sは、調査のために削った捨土を放置しておいたもの（No.4地点表土）で、本研究における各種模型・模擬試験の試料とし

て用いるものである。B~Eは墳丘墓構築土であり、その性質はどれも若干の違いがある。このことから、墳丘墓は多少なりとも異なった土を用いて構築していると言える。なお、表中の w_n は採取試料の自然含水比を表している。

c) 原位置試験

図-1に示した4地点（No.1~No.4）において標準貫入試験と、その掘削孔における鉛直数mおきの現場透水試験、さらにはボーリングによる乱さない試料の採取を行っている。この地点における柱状図とN値について示したものが図-5である。

No.1~No.3は墳丘墓内の土で、最大N値はNo.1で7、No.2で11、No.3で7となっている。墳丘墓構築土（特に甕棺埋設後の埋戻し土）は極めて硬いと事前に聞いていたが、れきを含んでいないためか、思いの外N値は小さかった。

表-3 墳丘墓土の締固め密度

試料	w ₀ (%)	ρ _t (g/cm ³)	ρ _d (g/cm ³)	w _{opt} (%)	ρ _{dmax} (g/cm ³)	ρ _d /ρ _{dmax} (%)
A	52.0	1.53	1.01	40.6	1.20	84.2
B	—	—	—	29.3	1.37	—
C	48.8	1.57	1.05	40.0	1.23	85.4
D	39.8	1.64	1.18	32.8	1.35	87.4
E	39.7	1.75	1.25	34.9	1.33	94.0
No.4	35.6	1.56	1.15	32.3	1.33	86.5
F	47.9	1.50	1.02	40.3	1.20	85.0
G	54.7	1.55	1.00	46.4	1.12	89.3
H	40.9	1.61	1.15	—	—	—
I	49.3	1.52	1.02	—	—	—
S	—	—	—	37.0	1.27	—

表-4 墳丘墓土の圧密試験結果(非水浸)

供試体		w ₀ (%)	e ₀	S ₀ (%)	C _c	P _c (kN/m ²)
A	乱さない	50.8	1.581	86.1	0.43	255
	締固め	51.1	1.580	86.7	0.56	108
C	乱さない	48.1	1.468	86.3	0.33	147
	締固め	47.7	1.479	84.9	0.63	226
D	乱さない	38.8	1.085	93.3	0.35	265
	締固め	38.3	1.091	91.5	0.33	186
E	乱さない	41.4	1.096	98.5	0.18	255
	締固め	38.8	1.039	97.3	0.24	147
No.4	乱さない	36.2	1.116	86.5	0.22	235
	締固め	37.5	1.121	89.1	0.42	275
F	乱さない	52.1	1.726	78.9	0.61	294
	締固め	51.8	1.727	78.3	0.66	69
	緩詰め	52.0	2.915	46.6	—	—
G	乱さない	59.5	1.682	92.9	0.44	255
	締固め	55.9	1.650	88.9	0.65	226
	緩詰め	58.7	2.624	58.7	—	—

No. 4 は前記のとおり捨土を放置しておいた場所であるが、この原位置調査までの5年の間に墳丘墓内の最大N値とほぼ同値の9となっている。墳丘墓の下の地盤は砂質粘土であり、墳丘墓内に比べてN値も小さい。表-2は、No. 3 地点における地盤の物理的性質を深さ方向で表したものである。

d) 締固め密度

各試料の採取時の含水比と乾燥密度および締固め試験(JIS A 1201のA-b法)において突固め回数25回の最大乾燥密度に対する締固め度を示したのが表-3である。

試料A, Fは、原地盤の土であり、締固め度も85%程度で、墳丘墓内の試料B~Eと比較すると小さい値を示している。特に、E地点においては、締固め度94.0%と現代の締固め機械を用いたような大きな値を示している。

また、墳丘墓外に墳丘墓構築と同時期に埋設された甕棺の埋戻し土であるHについては、乱した試料が採取できなかったため、締固め度はわからないが、

表-5 墳丘墓土の圧密試験結果(水浸)

供試体		w ₀ (%)	e ₀	S ₀ (%)	C _c	P _c (kN/m ²)
A	乱さない	48.6	1.492	87.4	0.33	216
	締固め	45.4	1.439	84.5	0.34	137
C	乱さない	45.6	1.388	86.7	0.25	118
	締固め	48.2	1.433	88.6	0.40	147
D	乱さない	40.0	1.167	89.3	0.30	157
	締固め	40.0	1.182	88.3	0.34	69
E	乱さない	42.6	1.160	95.7	0.25	245
	締固め	42.7	1.115	99.8	0.31	108
No.4	乱さない	31.8	1.001	84.5	0.29	255
	締固め	34.4	1.040	88	0.28	147

乾燥密度は1.15g/cm³で墳丘墓内外に限らず、丁寧な締固めが行われていることが確認される。試料採取時の含水比は、突固め回数25回の締固め試験における最適含水比よりも湿潤側であった。

e) 圧縮特性

試料A, C~G, No. 4における圧密試験(各荷重段階での圧密時間は30分)の結果が、表-4および表-5である。表-4は非水浸条件、表-5は水浸条件での圧密試験結果である。ここで、供試体の“乱さない”とは乱さない試料から削りだした供試体のことで、“締固め”とは乱さない試料と同含水比、乾燥密度に静的に締め固めた供試体、また、“緩詰め”とは乱さない供試体と同含水比で圧密試験機の中に緩く試料を詰めただけのものである。なお、表中のw₀, e₀, S₀は供試体作製時の値を示している。

締め固めて約2000年経過した乱さない土のほうが締固め直後のものに比べて時間効果により、圧密降伏応力は大きくなる傾向を示すが、圧縮指数についてははっきりしない。特に試料Eのように締固め度の大きいものほど、圧密降伏応力における時間効果ははっきりと現れている。

f) セン断特性

圧密試験と同様、乱さない供試体および締め固めた供試体について定圧排水一面せん断試験を行った。改良型一面せん断試験機を使用し、垂直荷重は19.6, 39.2, 78.5, 157.0 kN/m²の4種類で、せん断速度は0.25mm/minである。

乱さない試料における乾燥密度と強度定数の関係を非水浸・水浸下のもとに示したのが図-6である。時間効果を有する乱さない供試体のせん断強度は、一般に締固め供試体よりも大きくなる。乱さない供試体は、水浸させると強度は若干小さくなる。締め固めた供試体は水浸により粘着力はほとんどゼロに

なる。

(2) 4つの盛土遺跡の地盤工学的特性の比較

“2. 盛土遺跡の概要”で記した盛土遺跡について、地盤工学的特性の比較を行う。そのうち、“峯ヶ塚古墳”については西田ら¹²⁾、“水城”については林ら¹³⁾による研究成果を用いる。

表-6は、これらの盛土遺跡の構築時期、物理性状、 N 値、強度定数について比較したものである。これによると、墳丘墓と峯ヶ塚古墳、水城については、最大の締固め度が90%を越えており、この締固め技術の高さは驚くべきものである。33号古墳については最大の締固め密度が82%と低く、例外である。他の盛土遺跡はそれぞれ当時の重要な構造物であるのに対し、33号古墳は家父長を葬った一般的な墳墓であり、締固めもそれほど丁寧に行われていないからだと考えられる。

峯ヶ塚古墳は N 値が11~54であり、他の盛土遺跡よりもはるかに大きい N 値を有している。c、 ϕ も大きな値を示している。これは峯ヶ塚古墳構築土

が、例えば墳丘墓に比べ2倍以上の砂分を含み、含水比は半分以下である。構築土自体が締め固まり安く、さらには高度な締固めの結果、 N 値や強度定数が大きな値を有するものと思われる。このことは水城大堤についても言える。なお、33号古墳は標準貫入試験を行っていない。

構築時期が後年代になるほど締固め度と N 値が大きくなるのは、大型の盛土構築に伴う盛土の安定化の必要性和締固め技術の発展によるものと推察する。

それぞれの盛土遺跡の構築土について定圧排水条件による一面せん断試験が行われている。その結果を表-6に示している。それぞれの地盤の性状が異なるため、一概に比較はできないが、こちらも峯ヶ塚古墳のせん断強度が大きく、ついで水城、墳丘墓、33号古墳となっている。

墳丘墓、峯ヶ塚古墳、33号古墳、水城と、構築時期や当時の構造物としての重要性、地域、構築土の種類など異なる要素が多いため、同種のものとして比較するのは難しい。しかし、構築当時の構造物としての重要性の違いは、その構築技術の精密さに影響している。また、重要な構造物については前述のとおり、後年代になるほど、その構築技術は高いものになる。

なお、古墳盛土の地盤工学特性の比較については、西田・西形¹⁴⁾によっても行われている。

(3) 版築状盛土の透水性と保水性

図-1のNo.2は、墳丘墓においてボーリング調査を行い、試料を採取した箇所であるが、この付近の土層断面図をスケッチしたのが図-7である。締固め後の層厚が、薄いところではほぼ10cm程度であることが確認できる。

シンウォールサンプラーで採取した試料を深さごとに、土粒子の密度と粒度組成について試験を行い、その有効径より Hazen の式¹⁵⁾を用いて間接的に透水係数を算出した。その性質について表-7に示す。この表より、粒度組成は各層異なっており、墳丘墓

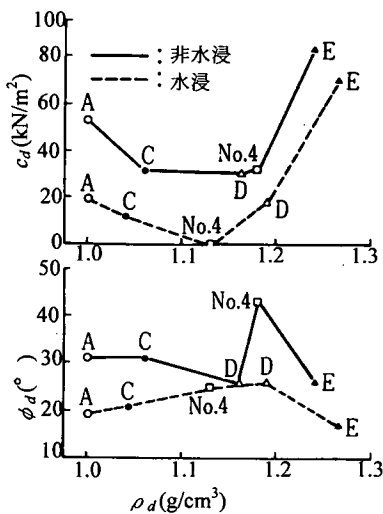


図-6 墳丘墓土の乾燥密度と強度定数

表-6 各種盛土遺跡の構築時期・物理的性状・ N 値・強度定数の比較

盛土遺跡の名称	構築時期	w_n (%)	ρ_d (g/cm ³)	締固め度 (%)	測定 N 値	構築土	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦力 ϕ (°)
吉野ヶ里・墳丘墓	紀元前1世紀後半	39.7~48.8	1.05~1.25	85.4~94.0	7~11	砂質土~砂質粘土	30.2~82.0	25.7~31.0
峯ヶ塚古墳	5世紀末	15.0~22.8	1.51~1.75	98.0~102.0	11~54	砂質土 粘性土	173	59.6
戦場・33号古墳	6世紀中頃	24.6~39.0	1.09~1.20	74.7~82.2	—	まさ土 黒色土	10.9~44.1	18.6~22.6
水城大堤	天智3年(664年)	17.2~23.1	1.45~1.72	77.1~92.7	1~17	砂質土 粘性土	2.84~140	6.1~54.3

における層状の締固めには多少なりとも性質の異なる土が用いられていることがわかる。しかし、どの地点においても透水性はほぼ 10^{-5} のオーダーでかなり低く、墳丘墓内への雨水浸透の影響はあまり考えられない。

図-3の33号古墳のB地点付近における土層断面図を簡単に表したのが、図-8である。まさ土と黒色土が、ほぼ10cmずつ層状に締め固められているのが確認できる。それぞれの層より試料を分けて採取した2種類の土の性質を表-8に示す。この結果を墳丘墓と比較すると、33号古墳構築土の透水性はよく、雨水の浸透が生じると考えられる。しかし、まさ土層と黒色土層が透水係数が異なることから、粗粒分を多く含むまさ土層では雨水は通水するが、細粒分を多く含む黒色土層は水を通しにくく、これを何重にも重ねることで石室への雨水の浸透が妨げると考えられる¹⁶⁾。

まさ土は充分な締固めにより強度が大きくなるが、雨水の浸透などで含水比が高くなると古墳全体の強度低下が考えられる。さらに毛管現象を利用した含水比の調整方法として、毛管力の大きな黒色土層との積み重ねにより、保水性のないまさ土層の含水比もある程度一定に保たれ、古墳の強度低下も防止できると考えられる。

このように2種類の性質の異なる土をうまく組み

合わせて締め固めることで、雨水の浸透防止や強度維持への考慮が意図的になされていたのではないかと推測される。

そこで、墳丘墓の考古学調査で削られた捨土Sと、まさ土、市販の腐葉土を試料Sの乾燥質量に対し20%混合して作った黒色土を用いた。この黒色土は表-8の33号墳の黒色土を想定するもので、試料Sに腐植土を20%混ぜることによってほぼ似た感じのものができた。墳丘墓や33号古墳内部の透水性、保水性に関する以下の模擬試験を行った。試料Sとまさ土の性質については表-9に示す。

$\phi 7.5 \times 130\text{cm}$ の塩化ビニルのパイプを用意し、異なる試験条件で締め固める。試験条件については表-10に示している。ここでCase2、Case3は墳丘墓内部における透水性を、Case4は33号古墳における性質の異なる試料を用いた層状締固めによる透水性を、それぞれ想定した模擬試験である。また、Case1は透水性の良いまさ土を用いて、ほかの試料との相違を観察するためのものである。

パイプには、1層が10cm、計10層になるように締め固めを行っている。締め固めた後、1000mlの水を上から通水させ、恒温室(20±3℃)で1ヶ月間放置する。塩ビ管の底部は布をまいて排水可能にしている。

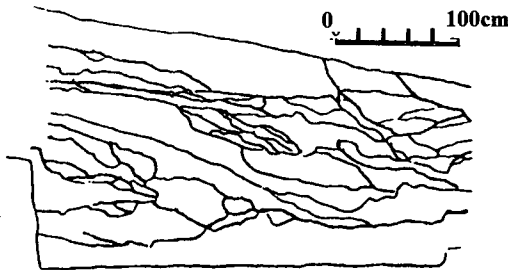


図-7 墳丘墓のNo.2地点付近における土層断面図

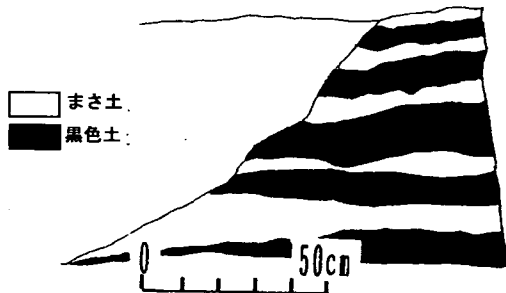


図-8 33号古墳の試料B採取付近における土層断面図

表-7 墳丘墓No.2地点の深さ方向における試料の性質

深さ (m)	ρ_s (g/cm^3)	粒度組成 (%)				透水係数 ($\times 10^{-5}\text{cm}/\text{s}$)
		礫	砂	シルト	粘土	
0.15~0.45	2.647	0.7	42.5	25.9	30.9	3.00
0.50~0.65	2.661	2.2	34.9	27.9	35.0	3.00
0.65~0.80	2.621	1.0	30.4	32.6	36.0	2.09
0.80~1.00	2.615	0.5	19.0	60.5	20.0	2.09
1.15~1.45	2.607	0.4	42.1	26.3	31.2	0.33
1.50~1.65	2.616	3.6	45.8	28.7	21.9	5.34
1.65~1.80	2.612	2.7	21.6	57.8	17.9	8.34
1.80~2.00	2.65	0.0	24.2	61.0	13.8	33.0
2.15~2.45	2.636	0.7	8.9	54.2	36.2	0.2

表-8 33号古墳土の性質

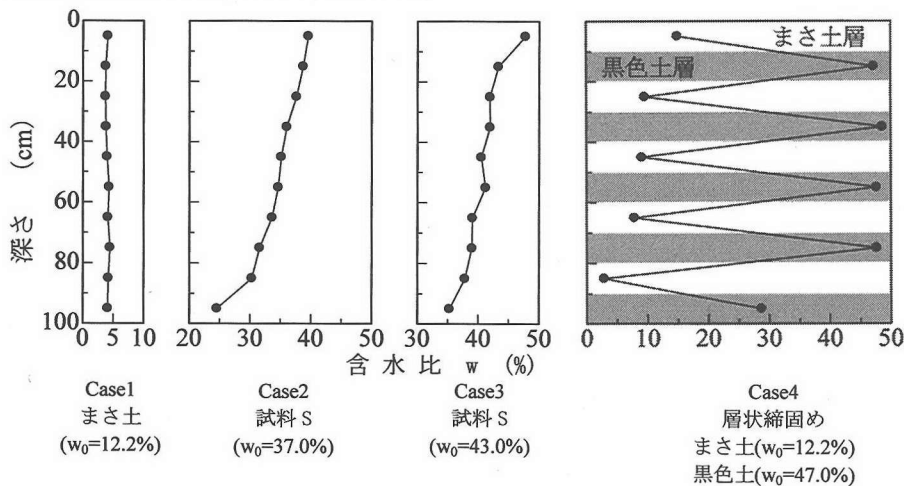
項目	まさ土	黒色土
土粒子の密度(g/cm^3)	2.624	2.452
自然含水比(%)	28.5	56.3
塑性指数	17.9	28.3
粒度組成	礫(%)	13.6
	砂(%)	53.5
	シルト(%)	16.7
	粘土(%)	16.2
Hazenの式による 透水係数 ($\times 10^{-2}\text{cm}/\text{s}$)	1.2	0.24

表—9 模擬浸透試験に用いた試料の性質

項目	試料 S	まさ土	
土粒子の密度(g/cm ³)	2.620	2.655	
塑性指数	24.5	NP	
粒度組成	礫(%)	1.0	5.4
	砂(%)	31.0	3.1
	シルト(%)	35.5	72.1
	粘土(%)	32.5	19.4
透水係数(cm/s)	2.06 × 10 ⁻³	1.14 × 10 ⁻²	
最適含水比(%)	37.0	12.2	
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.27	1.83	

表—10 模擬浸透試験条件

試料体	Case1	Case2	Case3	Case4	
	単一試料	単一試料	単一試料	層状締固め	
用いた試料	まさ土	試料 S	試料 S	まさ土	黒色土
含水比(%)	12.2 最適	37.0 最適	43.0 湿潤	12.2 最適	47.0 最適
乾燥密度(g/cm ³)	1.83	1.16	1.16	1.83	1.09
締固め度(%)	最大乾燥密度		吉野ヶ里墳丘墓の平均値	最大乾燥密度	
	100.0	91.3	91.3	100.0	100.0



図—9 通水1ヶ月後の含水比の変化

これらの放置の後、塩ビ管を10cmずつに切り、締固めた各層において含水比を測定している。

通水1ヶ月後の試験結果を図-9に示す。まさ土を用いたCase1以外のすべてで、1ヶ月の間、加えた水量の半分以下しか浸透しなかった。

墳丘墓を想定したCase2, Case3は、通水後1ヶ月の間、上部のみに水が浸透し、深さ0~20cm程度では含水比が締固め時より高い値を示しているが、内部はほぼ締固めたときの含水比を保持している。33号古墳を想定したCase4の層状締固めにおいては、通水後1ヶ月の間、まさ土と黒色土がそれぞれ締固めた時の含水比を保っている。

まさ土を用いたCase1では、通水後乾燥により上部から含水比は低下していき、1ヶ月になるとすべての層において低下し、含水比はほぼ一定になっているのが観察された。なお、Case2~Case4については80~100cmの層で著しい含水比の低下が見られるが、これは底部からも乾燥していったためだと考えられる。

Case1のまさ土を用いた模擬浸透試験において、まさ土のような粗粒土は粒子表面の吸着保水の能力が弱く、通水した水は流れてしまい、内部の含水比

も低下する。Case2, Case3の試料Sはまさ土に比べて細粒であり、保水性は良くなると考えられる。Case4においては、まさ土の保水性は悪いが、試料Sに腐葉土を混ぜた保水性の良い黒色土によって、含水比がある程度一定に保たれると考えられる。

以上の結果より、墳丘墓内部の含水状態は構築時に近い含水比を示すと推察され、33号古墳では黒色土層の毛管力を利用した、まさ土層の含水比を一定に保つための含水比の調整が行われていると考えられる。

4. 吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓の構築技術

(1) 締固め方法に関する模擬試験

当時の締固め方法として、“足踏みによる締固め”と“角材による突固め”を想定した。これらの方法で墳丘墓構築土と同様の締固め密度に締固めることが可能なのか、どのような問題点があるのかを調べるために以下に述べる模擬締固め試験を行った。

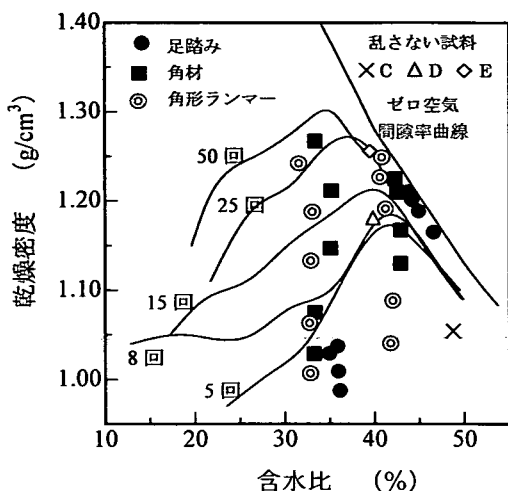


図-10 各種締固めによる締固め曲線

初めに、墳丘墓試料 S の JIS A 1210 に準じて 1 層あたりの突固め回数を 5~50 回に変えて得られる締固め曲線を図-10 に実線で示している。突固め回数 25 回の最適含水比は 37.0%である(表-3, 試料 S 参照)。試料 S を以下の模擬試験に用いた。試料 S の最適含水比 37.0%および同図に示す墳丘墓構築土 (C, D, E) の試料採取時の含水比の平均値 43.0%の含水比になるように調整した。しかし、実際の締固め後の含水比は、最適含水比に調整したものが数%低い値となった。この試料を鉄製の立方体モールド(断面 30×30cm, 高さ 30cm)に 1 層の厚さが約 10cm の 3 層になるように各種締固めを行った。

以下、前者の含水比を“最適含水比”，後者を“湿潤含水比”と呼ぶことにする。

a) 足踏みによる締固め、角材および角形ランマーによる突固め

“足踏みによる締固め”は、体重 65kg で足踏みをするように裸足を動かして締固めを行う。締固め回数は、1 層あたり 200, 400, 600, 800, 1000 回である。

“角材による突固め”では、断面 6×6cm, 長さ 100cm の角材(質量 1742g)を用い、約 70cm の高さから片手で少し力を加えるようにして突き固める。円形断面の丸棒・丸太でもよかったが、木製の道具として上記の角材を使用した。突固め回数は 1 層あたり 50, 100, 200, 400, 600 回としている。“角形ランマーによる突固め”は JIS A 1210 の A-a の試験法に準じ、2.5kg のランマー、30cm の落下高さであるが、ただランマーの断面が角形である。突固

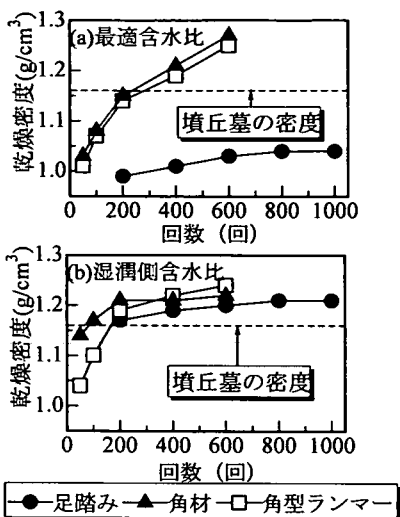


図-11 締固め曲線と各種締固め結果

め回数は角材による突固めと同じである。

b) 各種締固めによって得られる締固め密度

各種締固めによって得られる締固め曲線を示したのが前掲の図-10 である。足踏み、角材、角形ランマーのデータは、上記 a) に記した締固め回数および突固め回数に応じた乾燥密度であり、後掲の図-11 に詳しく示すように、これらの回数とともに乾燥密度は増加している。

足踏みによる締固めでは、図-10 に示すように踏み固める回数を変えても乾燥密度の大きな変化はみられない。含水比 35%前後では足踏みによる締固め密度は、ランマー 2.5kg による 1 層 5 回の突固めのものより小さい。これは足踏みによる締固めの最適含水比が JIS A 1210 の A-a 法で得られる最適含水比より大きいためである。湿潤側では足踏みによる締固め密度は大きくなる。

角材および角形ランマーによる突固めでは、図-10, 11 から分かるように突固め回数の増加とともに乾燥密度が大きく増加している。また、図-11 のこれらの角材および角形ランマーの突固めにおいて、突固め回数と乾燥密度の関係は、最適・湿潤側含水比のどちらでもほぼ一致している。これら二つの突固め方法による締固めエネルギーは、かなり近いものと考えられる。

図-11 に示すように、墳丘墓内の乾燥密度の平均値が 1.16g/cm³ であり、この密度に締め固めるには、最適含水比では角材およびランマーで 1 層あたり 200 回ほど突き固めなければならない。足踏みによる締固めでは、1000 回踏み固めてもその乾燥密度にはならない。湿潤側では、足踏み・角形ランマー

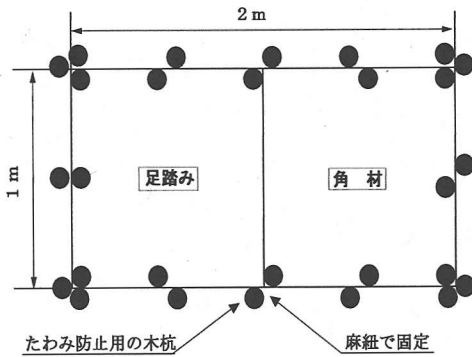


図-12 墳丘墓の模型平面図

表-11 墳丘墓の模型作製条件と土量

乾燥密度 (g/cm ³)	1.16	
湿潤密度 (g/cm ³)	1.66	
含水比 (%)	43	
断面積 (m ²)	2	
土量体積 (m ³)	1層	0.2
	5層	1.0
土量質量 (kg)	1層	332
	5層	1660

一で、200回、角材では100回程度の締固め・突固めで、墳丘構築土の密度が得られる。

(2) 墳丘墓の模型作製

墳丘墓の模型を作製することで構築時の人数および日数を概算する。また、実際に“足踏みによる締固め”や“角材による突固め”を行うことにより、構築時の締固め状態および構築技術について考察する。

- ① 整地を行い、図-12に示すような木枠を作る。まず、木杭を四方に打ち(大きい長方形の角の4本)、間に溝を掘る。次に、掘った溝に板を置き、土で埋める。たわみ防止用の杭を板の内と外から打ち込み、麻紐で固定する。木枠内部の地盤は適当に土を入れ、平らになるよう締め固める。
- ② 締固めに用いる試料の含水比調整を行う。今回用いた試料は墳丘墓の調査の際に削った捨土である試料Sである。この性質は表-1に示している。なお、含水比は墳丘墓の試料採取時の平均含水比 $w_n = 43\%$ (全試料の湿潤側含水比) に調整した。
- ③ 含水比を調整した試料を木枠内に締め固める。この時、“足踏みによる締固め”と“角材による突固め”により、それぞれ断面積 $1\text{m} \times 1\text{m}$ に締め固める。乾燥密度も墳丘墓の試料採取時の平均乾燥密度である $\rho_d = 1.16(\text{g}/\text{cm}^3)$ としている。1層の厚さは10cm程度で、5層(50cm)まで締固めを行

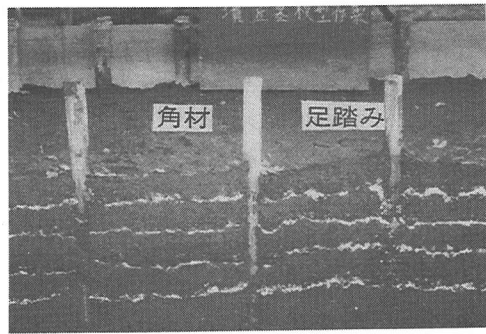


写真-2 足踏みによる締固めと角材による突固め後の模型断面

った。また、各層の境界には白色粘土のカオリンを敷いている。

(3) 模型の作製結果および考察

a) 足踏みによる締固めと角材による突固め

今回用いた試料の条件や土量について、表-11に示す。

“足踏みによる締固め”と“角材による突固め”の締固め後の表面の相違を見ると、足踏みで締め固めたものは側方を除くと表面は滑らかになっている。角材で突き固めたものでは表面は練り返しが起こり、突く際に角材に土が付着し、でこぼこになっている。

構築終了後、木枠をはずし、その締固め後の土層断面について観察したものが写真-2である。角材では側方までほぼ水平に締め固まっているが、足踏みでは側方は締固めが困難で水平な層になりにくい。

b) 締固め時の含水比

今回の試験では、含水比調整のために試料を空気乾燥させ(含水比が15%程度)、その後、墳丘墓の図-10、11から分かるように突固め回数の増加とともに平均含水比である43%になるよう水混ぜを行っている。この水混ぜは締固めよりも、時間や労働力を要した。また、水混ぜによって土が団子状になり、締め固めにくくなった。しかし現地から運搬後シートをかぶせて保管していた土は含水比が43%よりも高かったが、団子状の塊はほとんど見られなかった。

今回、墳丘墓構築土の自然含水比で、足踏みおよび角材による締固めにより模型を作製しているが、この含水比は表-3に示す最適含水比よりも湿潤側である。締固めエネルギーの小さい足踏みによる踏固めによる締固めの最適含水比は当然もっと大きくなる。締固めを行った含水比は43%と高いものであり、足踏みによる踏固めでは締固めが行いやすく、

この場合の最適含水比に近いと考えられる。角材による突固めでは繰り返されて、締め固めにくく、この場合の最適含水比は踏固めのものよりも低いと考えられる。また、角材を突くときよりも抜くときの方が力を必要とし、締め固めの効率が悪い。

墳丘墓の内部の含水比は、3(3)に記したように構築時の含水比とあまり変わらず、また当時の土取り場の自然含水比にほぼ等しいのではなからうか。この自然含水比で墳丘墓を構築したとすると、上記のように角材では突き固めにくく、足踏みと角材・丸太のような棒による突固めを併用したのであろう。

もし乾燥させて、最適含水比の乾燥側の土を用いたとすると、角材・丸太などの棒を使用して、必要に応じて水をまきながら突固めを行ったのであろう。水混ぜによる含水比の調整後、締め固めるより、乾燥側の土を10cm程度締め固めた後、水を撒いて締め固めた方が容易に高密度締め固めを行うことができる。

c) 締め固めに用いた道具

吉野ヶ里墳丘墓においては締め固めに用いた道具類は見つかっていない。墳丘墓の祖先といわれる中国江南の土とん墓について、著者の一人は数年前から現地調査を実施している^{17),18)}が、調査地点では締め固めや版築に用いた道具類は発見されていない。ただ、中国浙江省紹興(旧名:会稽)近くの越王の墓の構築に用いられた杵¹⁹⁾が見つかっている。長さ1.8m、両端の突固め部分の直径8cm、握り部分の直径4cmである。吉野ヶ里墳丘墓でもこのような木製の道具が用いられた可能性は大きいと考える。

d) 丁寧な締め固めによる構築

木枠内に含水比を調整した土を均一に敷きつめたつもりでも、場所によって緩いところと、かなり詰まっているところとがある。実際に足踏みによる締め固めや角材による突固めを行ってみるとこのことがわかる。同じ締め固めエネルギーで締め固めを行わないと、今回の模型のように小さいサイズのものでも同じ密度(層厚)にするのは難しい。墳丘墓のように大きなサイズのものには均一な締め固めはいつそう困難であり、このことから墳丘墓が丁寧な締め固めによって構築されたことが推測される。

(4) 構築にかかる日数

以上のような模型の作製結果および作製過程における考察より、実際の墳丘墓における構築期間について推定した。

a) 掘削日数

墳丘墓構築に必要な土を1人で地山掘削するとして、これにかかる日数を推定する。

墳丘墓は断面46m×27mであり、推定より構築時の高さを5mとすると、体積はおおよそ6,210³となる。これは締め固め後の土量であるため、土量変化率C=0.90とすると、地山の土量は6,900³となる。土の掘削にかかる日数は、「1人で1³掘削するのに1日かかる」⁸⁾として、6,900日/人となる。

b) 運搬日数

掘削した墳丘墓構築土を1人で運搬するとして、かかる日数を推定する。

運搬土量(ほぐした土量)は土量変化率をL=1.30とすると8,970³となる。運搬距離については、墳丘墓構築土を集落付近より運んできたことと仮定して500m運搬するとしている。また、運搬量としては、1日1人当たり220kg(ほぐした土で約0.20³)としている。これは、現代において積算資料などから500mの距離を1人が1日で運ぶ量が約0.50³となっており、これに、現代と墳丘墓構築当時の運搬道具の相異や構築場所が丘陵地であるため、現代の運搬土量の約40%程度としたものである。これより、運搬にかかる日数は44,850日/人となる。

c) 締め固め日数

運搬してきた墳丘墓構築土を1人で締め固めるとして、かかる日数を推定する。

墳丘墓模型作製結果より、足踏み・角材による締め固めでは1³締め固めるのに約4時間かかる。土の撒き出しや敷き均しなどを考慮し、1日の実働時間を8時間として1人で1日当たり1.5³ずつ構築するとしたら、4,140日/人がかかる。

d) 墳丘墓の施工日数

以上の結果より、墳丘墓の構築にかかった日数を推定する。

墳丘墓構築について(1人による構築日数)

掘削日数	6,900日
運搬日数	44,850日
締め固め日数	4,140日
合計日数	55,890日

ここで気候やその他の仕事(稲作や狩猟)などの諸事情を考え、1年の稼働率を180日とする。また、参考文献⁹⁾によると吉野ヶ里の環濠集落で生活していたのは、最大で約1000人程度であり、そのうち1/5(家族構成、年齢構成などから5人に1人と推定)の200人程度がこの構築に携わったと仮定すると、構築日数はほぼ1.6年となる。そこで整地などの準備期間や仕上げ期間などを考慮して、2年程度は構築にかかったと考えられる。当時としては大がかりな工事であったことがうかがえる。

5. まとめ

- (1) 版築（様）の締固めが行われた盛土遺跡について地盤工学的特性の比較を行った。当時の盛土構造物の重要性の違いが、その施工の程度に影響する。重要な構造物（権力者の墓）になると、その施工は丁寧なものとなる。また、構築時期が後年代になるほど、その締固め密度は大きくなり、構築技術も高くなっている。
- (2) 吉野ヶ里墳丘墓の構築土は、雨水の浸透や乾燥による影響をあまり受けない比較的透水性の小さい土を用い、丁寧に層状に締固めている。土取り場の自然含水比で締固めを行い、この構築時の含水比がそれほど変わらず現在に至っていると推定する。戦場 33 号古墳においては、まさ土と黒色土の層状締固めが確認される。これはまさ土層の透水性が良く、雨水の浸透により強度が低下するため、黒色土を介在させ不透水層とし、またその毛管力を利用して含水比を一定に保つためだと考えられる。
- (3) 墳丘墓を想定した模型（ $1.0 \times 1.0 \times 0.5\text{m}$ ）を“足踏みによる締固め”と“角材による突固め”で作製した。湿潤側の含水比で墳丘墓と同密度になるように締め固めた。足踏み 200 回、角材突固め 100 回程度で構築土の密度が得られる。
- (4) 墳丘墓における締固め方法として、足踏みによる締固め”と“角材による突固め”は、湿潤側含水比ではどちらも作業効率は悪い。湿潤側の自然含水比で締め固めたと推定するが、足踏みと角材や丸太などの木製道具の併用が考えられる。もし天日乾燥した乾燥側の含水比で締め固めるのであれば、水をまきながら木製道具で突き固めたのではないかと考える。いずれにしても丁寧な締固めが行われていたと推察される。また、時代とともに、この締固め効率が良く、かつ締固め度の大きくなるような道具や技術が発達していったと考えられる。
- (5) 模型作製結果より、墳丘墓の構築にかかった期間について算定した。諸事情を考慮してその期間を考え、吉野ヶ里の集落で生活を行っていたとされる最大時の人口の 1/5（200 人）が構築に携わっていたと仮定すると、約 2 年の大仕事となる。墳丘墓などの大型構造物の構築は、国（吉野ヶ里）を挙げての一大工事であった。

謝辞：最後に、本研究において吉野ヶ里遺跡・北墳

丘墓および戦場古墳群・33 号古墳といった貴重な遺跡の調査を快く許可していただいた佐賀県教育庁文化課の七田忠昭氏、盛土遺跡の比較にあたって貴重なデータを提供いただいた関西大学の西田一彦教授、佐賀大学の林重徳教授、ご協力いただいた本学の根上武仁助手、陸江外国人研究員、日本建設技術㈱の原裕、吉武茂樹の各氏、卒業研究で担当していただいた宗行勝、島宏信、中村孝浩、伊藤和光の各氏に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 遺跡の土質工学的保存技術に関する研究委員会：遺跡の保存技術に関するシンポジウム発表論文集，土質工学会，1995。
- 2) 鬼塚克忠，林重徳：遺跡の調査と保存，地盤工学会九州支部，支部 50 年記念誌，九州・沖縄の地盤工学—あゆみと展望—，pp.101~108，1999。
- 3) 鬼塚克忠，原裕，島宏信，横尾磨美：吉野ヶ里遺跡・墳丘墓および戦場古墳群・33 号古墳の土質工学的特性と構築の技術，遺跡の保存技術に関するシンポジウム発表論文集，pp.113~120，土質工学会，1995。
- 4) 鬼塚克忠，原裕：吉野ヶ里遺跡・北墳丘墓の土質工学的特性，土と基礎，Vol.44，No.7，pp.19~22，地盤工学会，1996。
- 5) 横尾磨美：吉野ヶ里遺跡・墳丘墓など盛土遺跡の構築技術の解明，佐賀大学工学系研究科修士論文，1997。
- 6) 大塚初重，小林三郎：古墳辞典，東京堂出版，1957。
- 7) 山内豊聡：遺跡の技術と保存，土と基礎，Vol.40，No.1，pp.1~6，土質工学会，1992。
- 8) 佐賀県教育委員会：環濠集落吉野ヶ里遺跡概報，吉川弘文館，1990。
- 9) アサヒグラフ，5 月 19 日号，吉野ヶ里遺跡のすべて，朝日新聞社，1987。
- 10) 佐賀県教育委員会：佐賀県文化財調査報告書「吉野ヶ里 神埼工業団地に伴う発掘調査 概要報告書（本文編）（図版編）」，1992。
- 11) 羽曳野市教育委員会：河内古市古墳群峯ヶ塚古墳概報，吉川弘文館，1993。
- 12) 西田一彦，笠井敏光，荒井仁，中沢重一，宋永焜，中沢義久：峯ヶ塚古墳の盛土構造と土質工学的特徴について，遺跡の保存技術に関するシンポジウム発表論文集，pp.99~106，土質工学会，1995。
- 13) 林重徳，中田教也，本山智洋，石松好雄，栗原和彦，横田賢二郎：特別史跡“水城”の構築技術，遺跡の保存技術に関するシンポジウム発表論文集，pp.121~126，土質工学会，1995。
- 14) 西田一彦，西形達明：古墳盛土の地盤工学特性，古

- 代史研究, 第 22 号, 自由投稿論文, pp. 75-81, 2002.
- 15) 土質工学会, 土質工学ハンドブック, 1982 年版.
- 16) 渡辺邦夫: 古墳土構造物に見る不飽和浸透流制御, 土質工学会, 土と基礎, Vol. 40, No. 1, pp. 19~24, 1992.
- 17) 鬼塚克忠, 張 敏, 唐 曉武: 中国・江南の土とん墓 (どとんぼ) について, 土と基礎, Vol. 48, No. 8, pp. 20~22, 地盤工学会, 2000.
- 18) 鬼塚克忠, 陸 江, 唐 曉武, 甲斐大祐: 中国・江南における土とん墓の地盤工学特性, 土と基礎, Vol. 50, No. 9, pp. 10~12, 地盤工学会, 2002.
- 19) Onitsuka, K., Lu, J., Tang, X., Hara, Y. and Kai, D.: Geotechnical characteristics and construction methods of Yoshinogari Fun-kyu tomb in Japan and Tu-dun tombs in China, *Journal of JSCE*, No.736, III-63, 2003.

(2002. 7. 1 受付)

GEOTECHNICAL PROPERTIES OF FILL REMAINS SUCH AS YOSHINOARI NORTH BURIAL MOUND AND CONSTRUCTION TECHNIQUE

Katsutada ONITSUKA and Mami SATO

The investigation is focussing on the fill remains to make clear the geotechnical properties and its construction technique. The standard penetration test was performed at Yoshinogari north burial mound and a series of laboratory tests was conducted on undisturbed and compacted samples. Also, these results are compared with those of the other three fill remains. By carrying out the compaction tests and making the model assuming the construction of the Yoshinogari north burial mound, the construction technique and the prediction on the needed number of days for the construction were shown.