

土研 新技術ショーケース 2015 in 福岡

特別講演

平成27年10月2日

『温故知新』

特別史跡 “水城” に 1,350年前の先端土木技術を読む

林 重徳

佐賀大学 名誉教授

講演内容

I. “水城”の概要

II. 水城の“構造”に関する水文・水理学的考察

1. 水城の流域特性、
2. 流域の流出特性と流量、
3. “水城大堤”と御笠川、
4. 木樋の給水と“外濠”の湛水、
5. 欠堤部構造と“内濠”

III. 濠と堤体の築造における“土工”の検討

1. “土工”可能日数、
2. 堤体と濠の形状と構造、
3. 堤体の築堤材料と土取場、
4. 第1ケース(濠の掘削深 D=3.5m)の“土工”、
5. 上部堤体の“土工”、
6. “土工”に関する検討結果

IV. “築造技術”に関する考察

1. 築堤材料と堤体構成、
2. 敷粗朶、
3. 博多側の堤体形状と補強、
4. 「築堤材料」の使用位置、
5. 上部堤体の「傾斜版築層」、
6. 西門門柱の「基礎構造」、
7. その他の土木技術

V. “水城”築造における“土木技術”

2

当時の情勢、
位置と役割



7世紀の日本と朝鮮半島の情勢

3

○「宰（みこともち）」：勅命による政務官（官職名）

○「大宰（おおみこともち）」：

- ・吉備と筑紫にいた広域行政官（軍事的指揮権限を兼務）。
- ・7世紀後半に、「吉備大宰」を廃止、「筑紫大宰」に統合。
- ・西海道・九州の全域を、政治・経済・軍事の各面で統括。

◎「大宰」が執務した役所 → 大宰府

- ・約 500 ～ 600 名が勤務。
- ・「筑紫大宰府」は、都府楼の巨大礎石の並ぶ遺跡に所在。

（白村江の敗戦を機に防衛のために「那津宮家」から移された？）

～白村江の(海)戦～

竜朔二年(663年)七月 仁軌(唐将)、扶餘豊(百濟王)ノ衆ニ白江ノ口ニ遭イ、四戦シテ皆捷チ、其ノ舟四百艘ヲ焚キ、賊衆大潰シ、扶餘身ヲ脱シテ走ル。・・・倭人ト並ビ降ル。・・・ 【旧唐書】

4

天智三年この年、対馬・杵岐・筑紫国などに防人と烽を置く。また筑紫に大堤を築き水を貯え名づけて水城という。

(日本書紀)

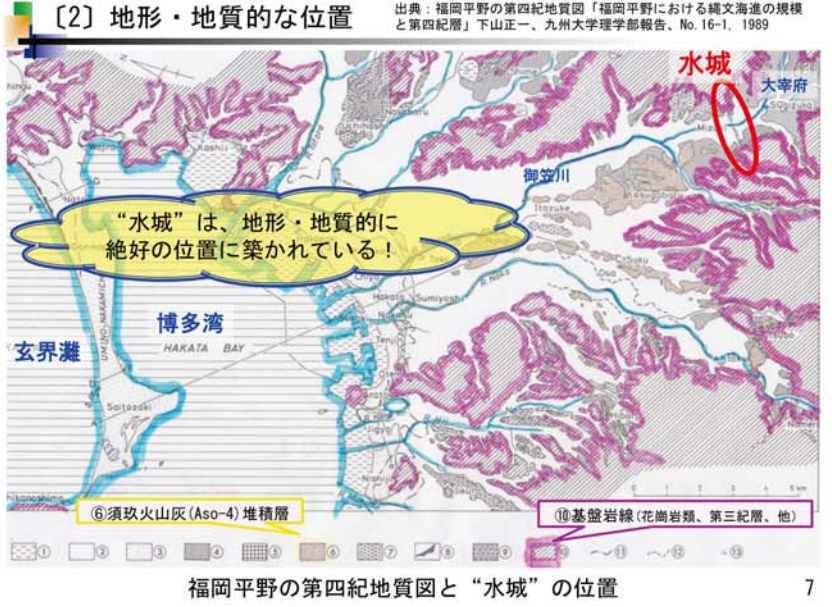
※ 天智三年 西暦六四四年
 防人 防衛のために北九州に派遣された兵士。
 烽 烽火のろしを中継して通信をおこなった。

天智四年秋八月。達率答本春初を遣し長門国に城を築かしむ。

達率憶礼福留、達率四比福夫を筑紫国に遣し、大野および椽に城を築かしむ。

(日本書紀)

※ 天智四年 西暦六六五年
 達率 百済の官人の位



[4] 水城〔堤体と外濠〕の規模

- 堤体の高さ：約10m、 ○堤体の敷幅：約40m ~ 80m
- 全長：約 1.2km、 ○堤体の体積：約 35万m³
- 外濠の幅：約 60m、 ○深さ：約 3m、 ○延長：約 1km
- 外濠の容積：約 18万m³ ~ 23万m³.

1,350年前の大規模
土工構造物

[5] 水城を築造する上での特徴と課題

特徴

- 河川構造物
- 沖積地盤での濠掘削と堤体盛土工
- 緊急・短期間(1年間)での築造
- 防衛施設

課題

- ① 御笠川洪水流の流過
- ② 軟弱地盤上の急速施工、大規模土工
- ③ 急勾配を持った高盛土
- ④ 外力(降雨や地震)対策
- ⑤ 耐久性の確保

古代技術者は、如何にして克服したのか？

[2] 分流域の面積と特性

出典：土岐篤史：佐賀大学建設工学科平成10年度卒業論文「水城欠堤部の復元に関する水文学的検討」, H11. 2

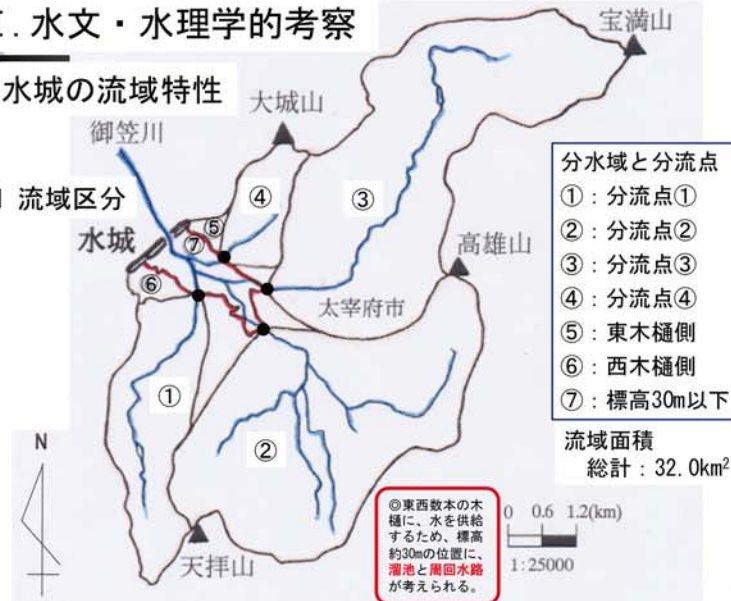
分流域	流域 分流域 ①	流域 分流域 ②	流域 分流域 ③	流域 分流域 ④	東木樋側	西木樋側	標高 30m以下	合計 (km ²)
原野 (km ²)	0.78	6.14	2.19	0.48	0.22	0.43	0.90	11.14
山林地 (km ²)	3.42	5.77	10.53	1.14	0	0	0	20.86
計 (km ²)	4.20	11.91	12.72	1.62	0.22	0.43	1.81	32.00
標高差 (m)	296	243	832	354	13	13	7	—
水平距離 (km)	5.97	7.30	10.27	3.08	1.48	1.57	2.48	—
流路距離 (km)	5.98	7.30	10.30	3.10	1.48	1.57	2.48	—
流出係数	0.681	0.648	0.683	0.670	0.600	0.600	0.600	—

※流出係数は、畑・原野:0.6、山林地:0.7とし、各地域の面積で加重平均した値。

II. 水文・水理学的考察

1. 水城の流域特性

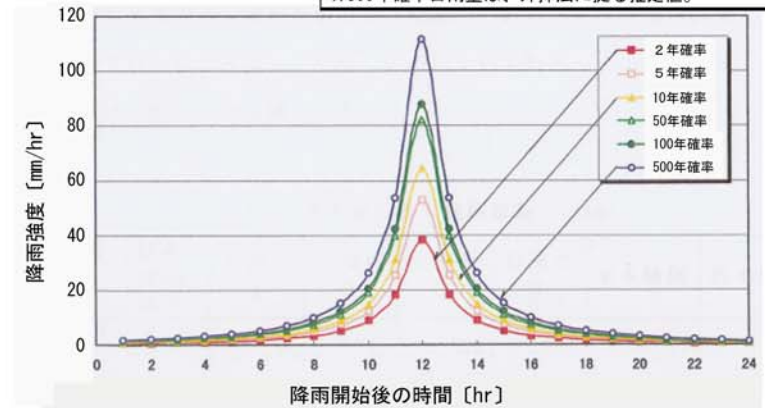
[1] 流域区分



[4] 流域(太宰府市)の降雨特性

確率N年	2	5	10	50	100	500
日雨量: R _N ²⁴ (mm)	130	180	220	280	300	380

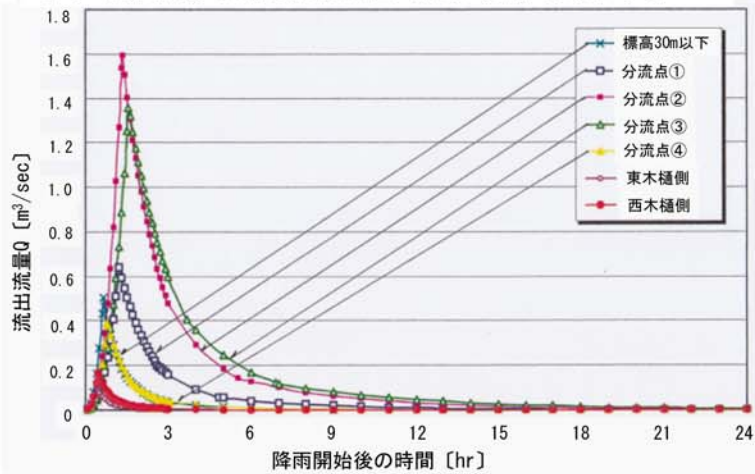
★1943年～1967年の降雨記録(気象庁)等を基に作成。
 ☆500年確率日雨量は、外挿法に拠る推定値。



太宰府市における確率N年降雨の連続降雨曲線(ハイエトグラフ)

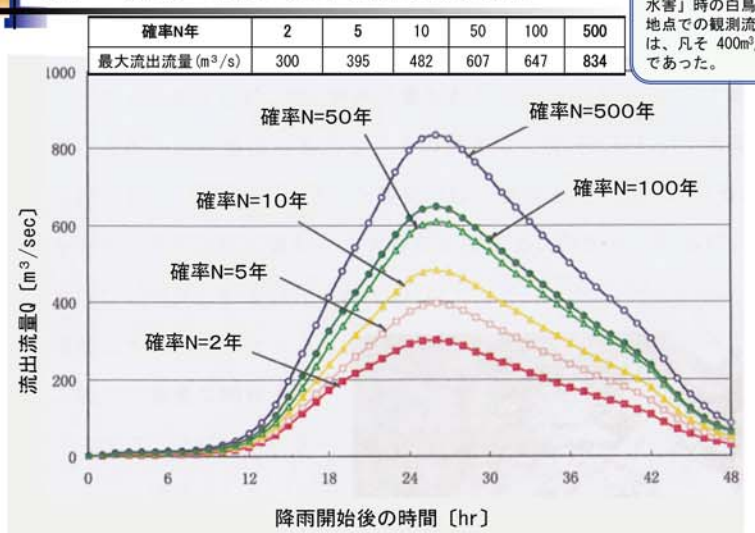
2. 流域の流出特性と流量

〔1〕 各分流域の降雨流出特性 (中安の総合単位図法による)



有効雨量 $R_0 = 1.0$ における各分流域の流出単位図

〔3〕 “水城” 地点における流出流量特性



確率N年降雨による“水城”地点における時間～流出流量曲線

3. “水城大堤” と御笠川

〔1〕 1973年検出された「石敷遺構」

出典：「九州縦貫自動車道関係埋蔵文化財調査報告書-XXVI- 水城跡の調査」、福岡市教育委員会、1978.

想定される構造物として、

- (A) 木樋群の基礎
- (B) 開水路の越流洗堰
- (C) 水門施設の基礎



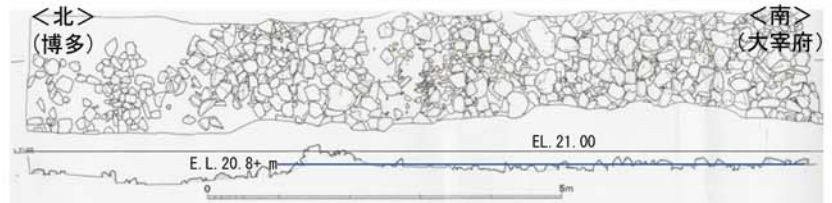
〔2〕 「石敷遺構」の平面ならびに断面図

● 縦断面の測量結果等から、検出された「石敷遺構」は“洗堰”の一部であろうと報告されている。

出典：「九州縦貫自動車道関係埋蔵文化財調査報告書-XXVI- 水城跡の調査」、福岡市教育委員会、1978.



「石敷遺構」の高まり部の写真(南(北?)より)

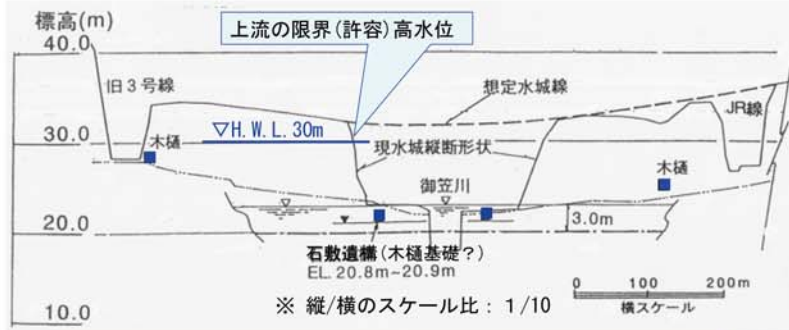


「石敷遺構」の平面図ならびに断面図

[3] 御笠川の流量と堤体構造の検証

◎御笠川の限界(許容)高水位 : H. W. L. 30mを仮定する。
 [大宰府政庁前市街地の地盤高 : EL. 30.0m~30.5m]

(A) 「木樋〔管水路〕」想定



博多側から見た“水城堤”の縦断形状と木樋の位置

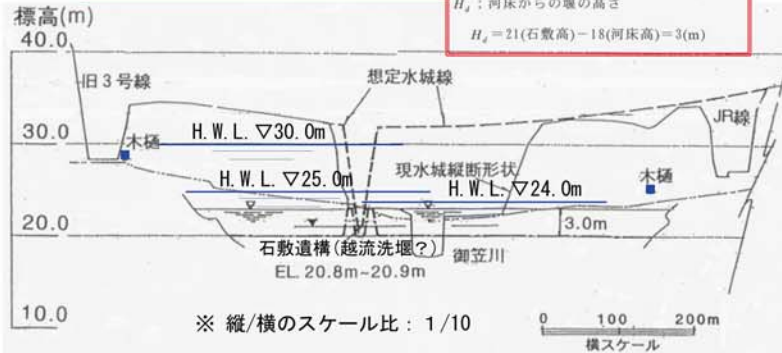
17

(B) 開水路想定

◎ 四角堰越流量計算式

$$Q = C \cdot B \cdot H^2$$

C : 流量係数
 $C = 1.785 + \frac{0.0295}{H} + 0.237 \frac{H}{H_d} \approx 2.5$
 B : 越流幅(m)
 H : 越流水深(m)
 $H = 30(\text{上流水位標高}) - 21(\text{石敷高}) = 9(\text{m})$
 H_d : 河床からの堰の高さ
 $H_d = 21(\text{石敷高}) - 18(\text{河床高}) = 3(\text{m})$



博多側から見た“水城堤”の縦断形状の想定図

18

[4] “開水路”と“木樋”の流下能力比較〔検証〕

確率N年	最大流量 Qmax (m³/sec)	開水路想定	木樋想定(管路)
		必要越流堰幅 B (m)	必要木樋数 n (本)
2	300	4.5	44
5	395	5.9	58
10	482	7.2	71
50	607	9.0	89
100	647	9.6	95
500	834	12.3	122

※ 但し、洪水時の上流の限界高水位 : H. W. L. 30 m として、計算する。

◆ 洪水流量の木樋による流下は事実上不可能である。

◎ 御笠川は開水路流下で、水城には欠堤部があった。

◎ 木樋は“外濠”への供給水路である。

19

[5] 御笠川の上流高水位(H. W. L.)と越流堰幅の関係

確率N年	最大流量 Qmax (m³/sec)	必要な開水路・越流堰幅: B (m)				
		H.W.L 30m	H.W.L 27m	H.W.L 25m	H.W.L 24m	H.W.L 23m
2	300	4.5	9.0	17.8	28.4	54.2
5	395	5.9	11.9	23.4	37.4	71.3
10	482	7.2	14.5	24.3	45.6	87.0
50	607	9.0	18.3	36.0	57.5	109.6
100	647	9.6	19.4	38.4	61.3	116.8
500	834	12.3	25.0	49.4	79.0	150.6

● 500年確率の洪水流を流下させるために必要な御笠川の開水路・越流堰幅は、

★ 大宰府側の高水位(H. W. L.) 25mで、 B ≧ 50m、
 “ ” 24mで、 B ≧ 80m、
 “ ” 23mで、 B ≧ 150m、となる。

20

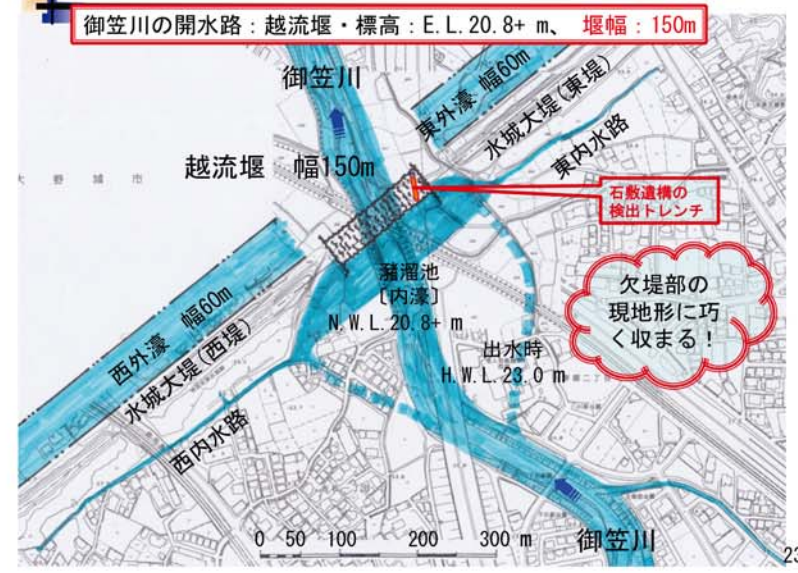
〔6〕 文献・記録における“水城の欠堤部”

- 〔筑前続風土記拾遺〕 青柳種信
 - ◆・・・「東の山際より中間堤の絶えたる所まで百七十間、堤の断たる所百間、西方三百五十間・・・」
 - 百間 ÷ 180 m
- 〔大宰管内志〕〔水城址図標〕 伊藤常足
 - ◆〔筑陽記十卷〕「御笠郡水城村伝伝 堤ノ土手中間一町許崩云云 東方所残長百六十間余、西方二百四十間余・・・」
 - 一町 ÷ 109 m
- 〔靖方遡源〕 卷之上 山田安栄 明治24年
 - ◆「東西長の五百間許あり。その間絶えたる処六十間許なり。東方の堤百五十間、西の堤三百二十三間。・・・」
 - 六十間 ÷ 109 m

●水理解析の結果〔前(5)節〕

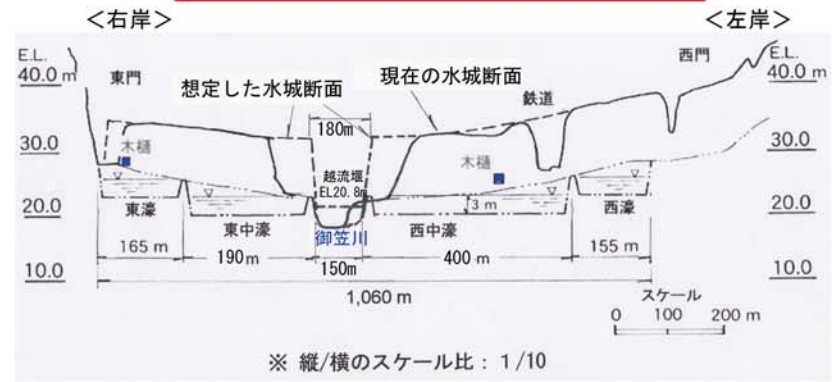
◎御笠川の開水路・越流堰(標高E. L. 20. 8+ m)
 想定 2 : 堰幅150m、500年確率洪水時のH. W. L. 23. 0m

〔水城大堤の欠堤部と御笠川: 想定 2〕



〔水城大堤の欠堤部と御笠川〕

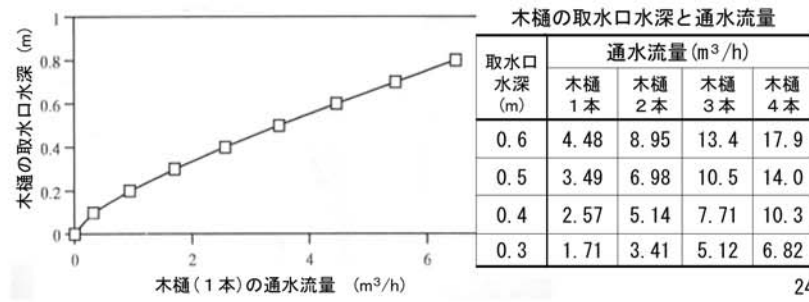
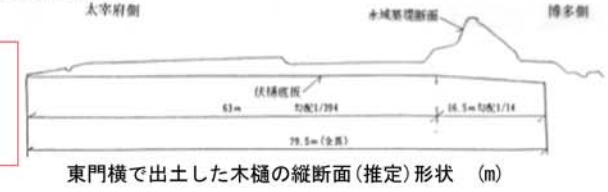
大堤の欠堤(堤頂)長: 約 180m
 御笠川の開水路:
 越流堰・標高: E. L. 20. 8+ m、堰幅: 150m



4. 木樋の給水と外濠の湛水

〔1〕 木樋の給水能力

◎大水城の場合 木樋内の水は、開水路として流下する。



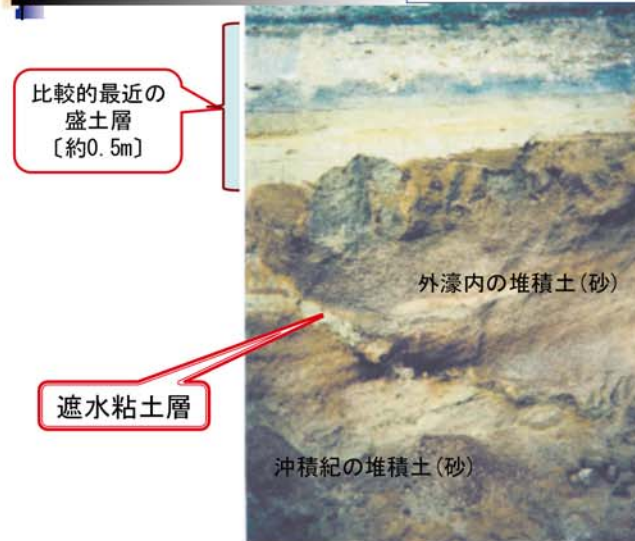
[2] 取水口の構造



25

[2] 外濠の遮水粘土層

●外濠跡から検出された遮水粘土層と堆積砂層(平成7年度第26次T調査)



27

[2] 外濠の湛水構造

出典：石田謙一：佐賀大学土木工学科平成7年度卒業論文「水城の濠構造と敷粗梁に関する地盤工学的検討」



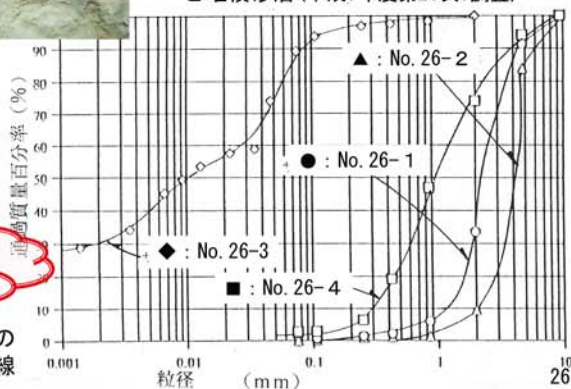
●外濠跡から検出された遮水粘土層と堆積砂層(平成7年度第26次T調査)

濠の遮水粘土層と試料採取位置

◎遮水粘土は、須玖火山灰(Aso-4)層の由来である。

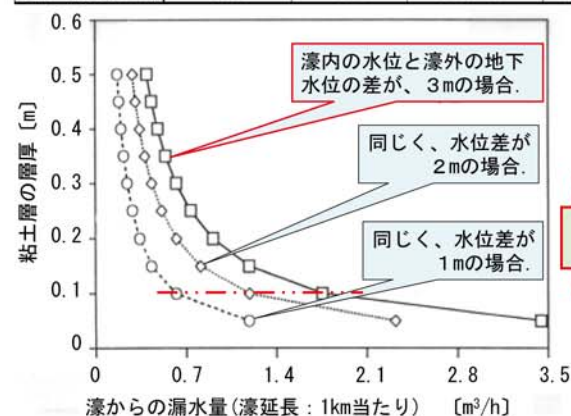
当該地の堆積土(沖積層)は、極めて液状化し易い砂である。

遮水土層周辺の試料の粒度曲線



[3] 外濠の漏水量と湛水能力

サンプルNo.	●:No. 26-1	▲:No. 26-2	◆:No. 26-3	■:No. 26-4	砂の透水係数は、Harzenの式による。
透水係数(cm/s)	4.41	1.21	1.04×10^{-7}	1.02×10^{-1}	



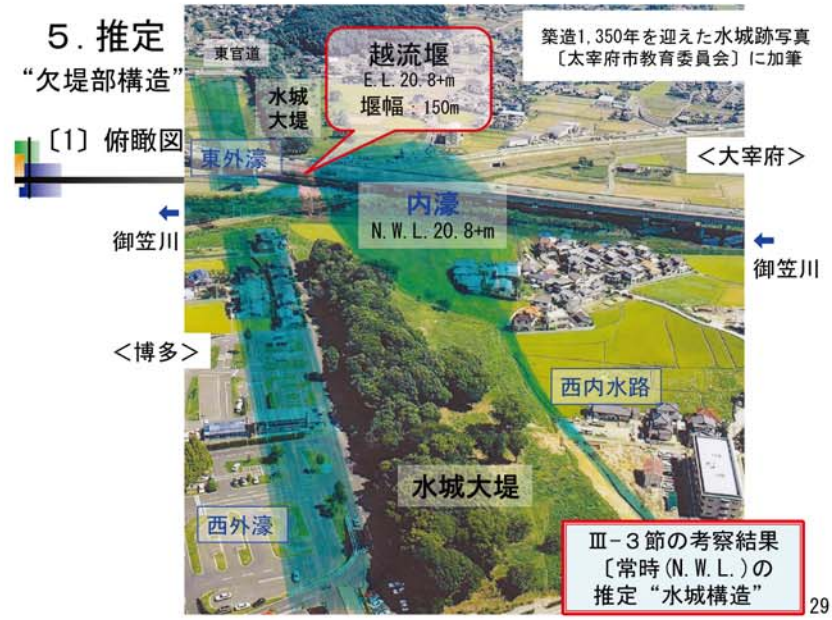
濠内外の水位差が3mであっても、遮水粘土の層厚が約10cm以上あれば、取水口の水深が約30cm以上で、木樋2本からの給水量(3.4m³/h)により、延長約1,000m、幅60mの外濠の水位を維持することは、十分に可能である。

遮水粘土層の層厚、濠水位(差)と漏水量の関係

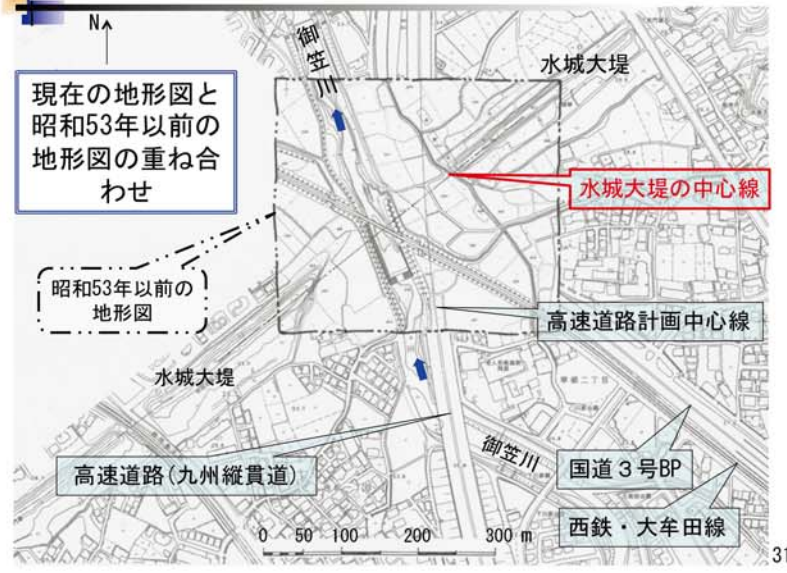
28

5. 推定 “欠堤部構造”

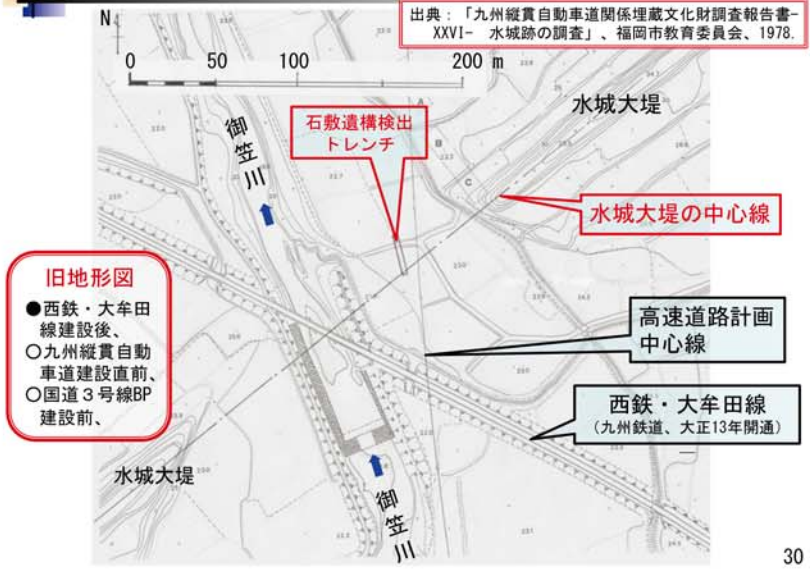
[1] 俯瞰図



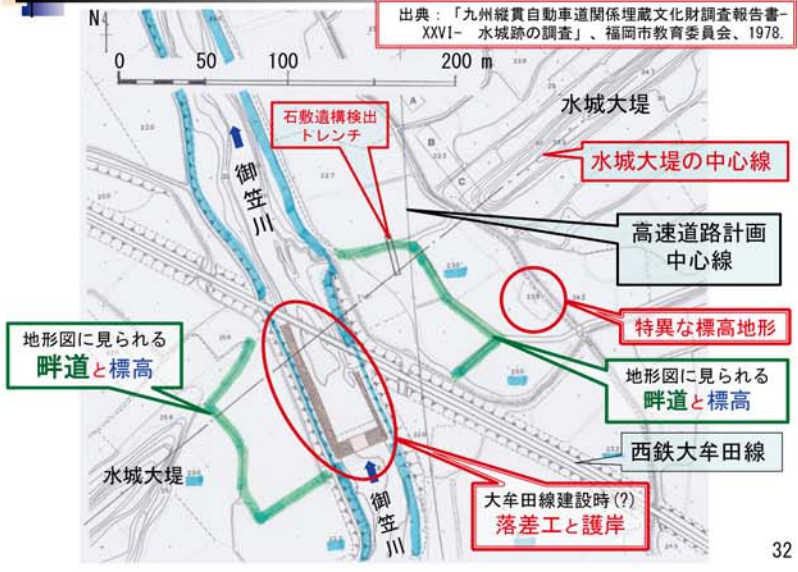
[2-2] 調査記録における“欠堤部”の地形



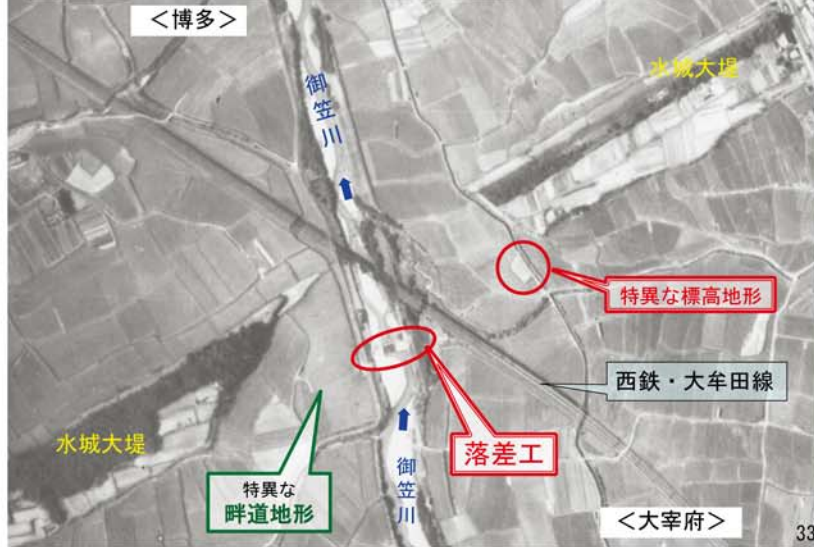
[2] 調査記録(昭和53年)における“欠堤部”の地形



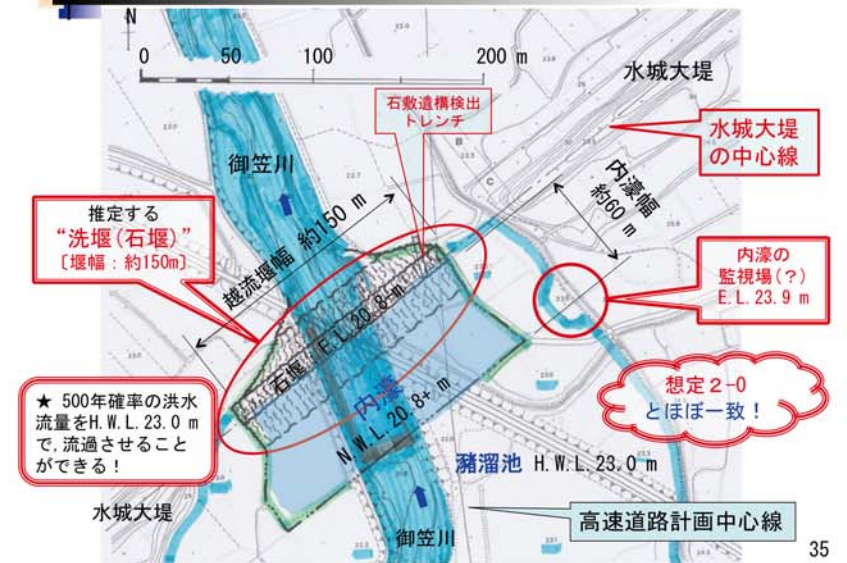
[3] 昭和53年以前における“欠堤部地形”の解説



<USA-M34 1-2 “航空写真”>



[4] “水城の欠堤部”の“推定構造”

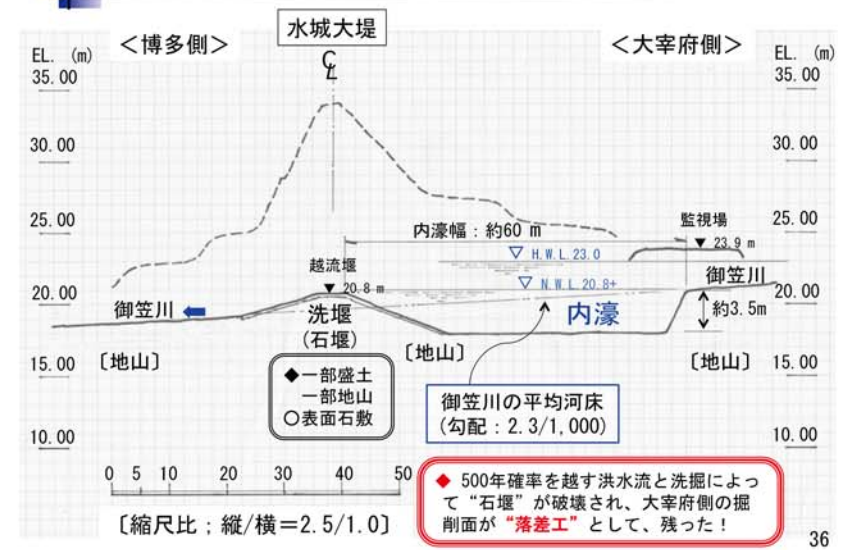


<昭和30年代(?)の“航空写真”>

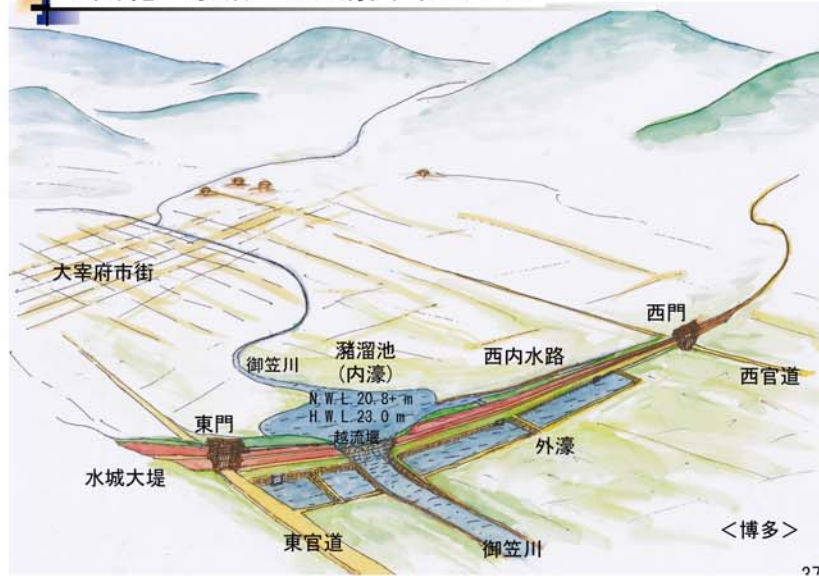
出典：鏡山猛著「大宰府都城の研究」昭和43年(1968)



<水城の“洗堰(石堰)と内濠”の推定断面図>



<欠堤“水城”の風景イラスト>



27

<“石造り洗堰”の風景>

筑後川（うきは）に見られる“石造り洗堰”



39

<越流“石堰”の風景>

朝倉・山田堰：寛政2年(1,790)築造、筑後川を堰き止める“石堰”（面積：25,370m²）



38

Ⅲ. “土工”の検討

1. “土工作業”可能日数

出典：片岡真人：佐賀大学都市工学科平成8年度卒業論文『特別史跡「水城」における土工量算定と濠の集水能力に関する検討』、H9.2.

年間平均	降水量(mm)	降雨日数(日)	土工作業	
			日降雨による土工作業基準	月毎の不可能日数
月平均				
1月	45.1	8.4	①：日降水量10mm以下の日： その日作業可能	1.4
2月	65.0	8.7		2.3
3月	133.6	13.9		5.1
4月	129.0	10.9	②：日降水量10mm以上～50mm 未満の日： その日作業不可能	4.8
5月	158.9	10.0		5.2
6月	345.4	13.3	③：日降水量50mm以上～100mm 未満の日： その日+1日作業不可能	9.9
7月	391.4	13.8		11.7
8月	256.2	10.1		8.5
9月	182.8	10.2	④：日降水量100mm以上の日： その日+2日作業不可能	6.1
10月	89.9	6.8		3.4
11月	64.3	8.9		2.3
12月	43.4	8.9		1.2
備考	降雨日数は、1mm以上の降雨が観測された日数		土工作業不可能日数：累計	61.9
1年間に施工(土工)が可能日数			365 - 61.9 ≒ 303 日	

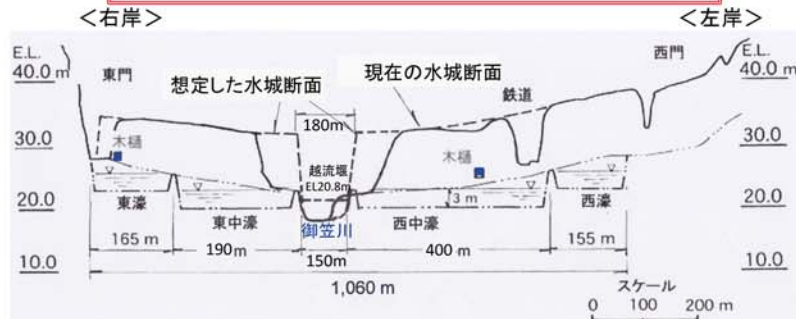
※ 気象庁太宰府気象観測所の過去10年(1979～1988年)間の観測データに拠る。

40

2. 堤体と濠の形状と構造 [1] 堤体の縦断形状

水城堤の御笠川部分は欠堤として、堤体体積等を検討する。
 [即ち、第Ⅱ章の結果より、「石敷遺構は越流洗堰跡」と考える。]

- 欠堤部の頂部長さ：180m、河床部の幅：150mを想定する。
- 従って、右岸堤長さ：330m、左岸堤長さ：700mとする。
- 因みに、現状の水城は、右岸側：320m、左岸側：700m、欠堤長さ：180mである。[全長：約1,200m]



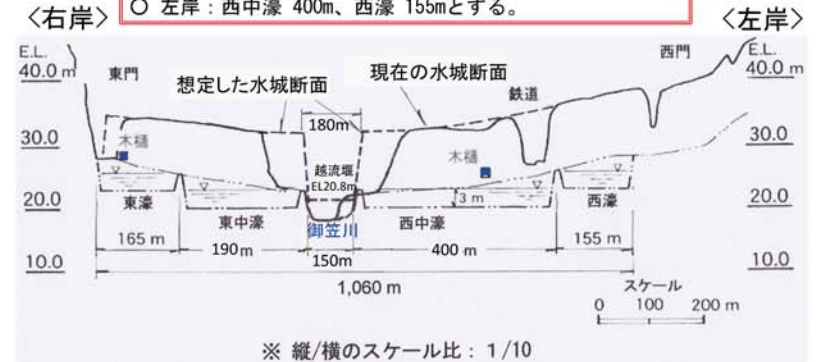
※ 縦/横のスケール比：1/10

41

[3] 外濠の縦断形状と構造

第Ⅱ章の結果より、“外濠”は、御笠川(河床幅150m)を挟んで、兩岸2段構造を想定して、掘削土量等を検討する。

- 外濠は、幅：60m、掘削深さ：3.5mを確保するものとし、
- 右岸：東濠 165m、東中濠 190m、
- 左岸：西中濠 400m、西濠 155mとする。

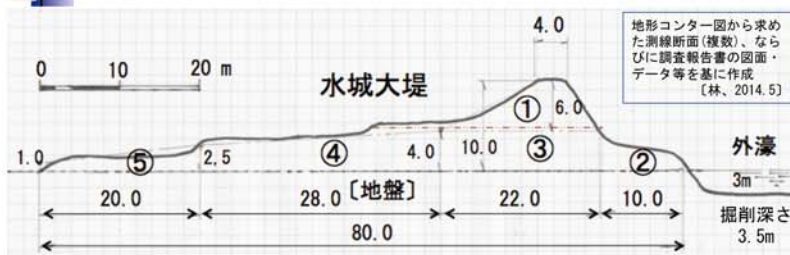


※ 縦/横のスケール比：1/10

博多側から見た“濠構造”の想定図

43

[2] 堤体の「復元標準断面」形状と堤体体積



“水城堤体”の土工量算定に用いた『復元標準横断面』

土工量算定に用いた横断面積と堤体体積

堤体区分	上部堤体 (上成土塁?) ①	下部堤体 [下成土塁?]					合計
		②	③	④	⑤	計	
横断面積 (m ²)	78	25	88	91	35	239	317
平均堤長 (m)	1.030	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	(1.040)
体積 (m ³)	80,340	26,000	91,520	94,640	36,400	248,560	328,900

42

3. 堤体の築堤材料と土取場 [1] 九歴 H26年断面調査結果

H26断面掘削調査写真 [福岡県文化財保護課提供]



44

[2] 周辺地質とまさ土の土取場



「福岡平野の第四紀地質図」(1989:下山正一氏)に加筆

< “土工” に用いた器具等 >

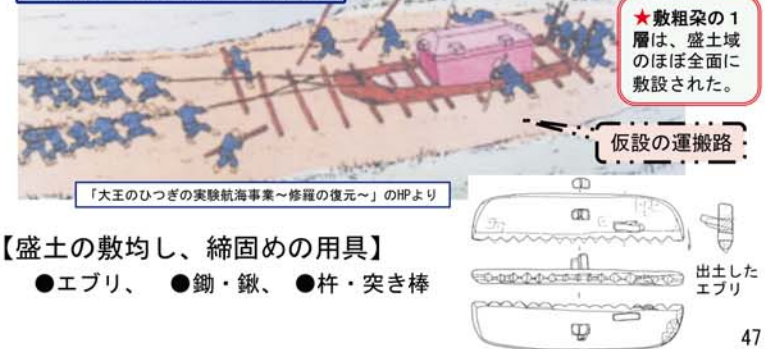
【粗朶等の伐採と掘削の用具】

- 鉄製鎌、鋸、斧・手斧 ● 鉄製鍬・鋤

【土・石の運搬の用具】

- 竹箆 ● モッコ ● ソリ・小型の修羅

< 運搬路、修羅と敷き丸太の例 >



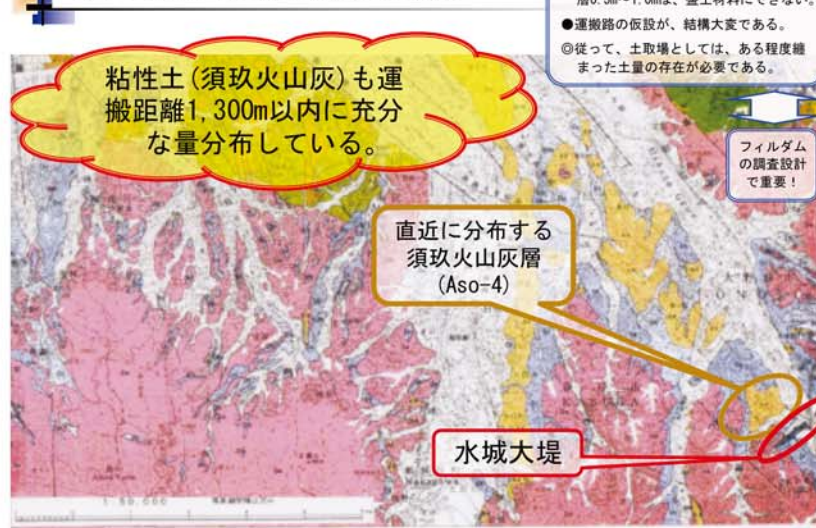
◎ 敷粗朶の1層目は、湿地帯における施工性「トラフィビリティー」を確保し、ソリ等の使用時には、敷丸太と同じ役割を果たした。

★敷粗朶の1層目は、盛土域のほぼ全面に敷設された。

【盛土の敷均し、締固めの用具】

- エブリ、● 鋤・鍬、● 杵・突き棒

[2] 地質分布と粘性土の土取場



「福岡平野の第四紀地質図」(2005:松岡・下山ら)に加筆

4. 第1ケース [濠の掘削深:D=3.5m] の“土工”

- (A) 盛土材は、外濠掘削土を優先し、粘土と上部堤体材を土取場より求める。
- (B) 外濠(掘削深: 3.5m)の掘削土量: $V_{OM} = 60 \times 3.5 \times 910 \div 1000 = 191,100 \text{ m}^3$
内濠: $V_{IM} = 60 \times 3.5 \times 150 = 31,500 \text{ m}^3$ 計: $V_M = 191,100 + 31,500 = 222,600 \text{ m}^3$
- (C) 堤体体積 (V_E) に対して、必要地山土量 (V_{EE}) を求める土量変化率 (C) を 0.95 とする。即ち、 $V_{EE} = V_E \div C = 328,900 \div 0.95 \div 1000 = 346,200 \text{ m}^3$
- (D) 故に必要な土取量: $V_N = V_{EE} - V_M = 346,200 - 222,600 = 123,600 \text{ m}^3$
- (E) 掘削土量 ($V_{M,N}$) に対して、運搬土量 (V_{ET}) を求める土量変化率 (L) は、大山陵等を参考に、 $L = 1.30$ とする。従って、 $V_{ET} = L \times V_{M,N} \text{ m}^3$ である。



【1】第1ケースの“土工”における全土量

[2] “土工”の作業能率

参考資料：(株)大林組、『王陵 現代技術と古代技術の比較による「仁徳天皇陵の建設」』、季刊大林 No. 20、1985

●大山陵古墳建設における、作業時間：8時間、運搬距離：外濠250m、内濠200m、土取場1,300m、土量変化率：L=1.30、C=0.95としている。

1) 【掘削の作業能率】

大山陵 の実績	区分	土量(m ³)	人員(人)	作業能率 (m ³ /人日)	水城の濠と土取場の 想定掘削作業能率
	外濠	1,339,000	70,000	1.9857	地質的に大きな差はないので、 1.991 (m³/人日)
	内濠	5,990,000	300,000	1.9967	
	平均	—	—	1.9912	
	土取	742,000	300,000	2.473	2.473 (m³/人日)

2) 【運搬の作業能率】

大山陵 の実績	区分	土量(m ³)	人員(人)	作業能率 (m ³ /人日)	水城の濠の掘削土の 想定運搬作業能率
	外濠	187,650	160,000	1.1728	濠からの平均運搬距離 約110m [大山陵の2倍] 2.521 (m³/人日)
	内濠	808,650	600,000	1.3478	
	平均	平均運搬距離：225m		1.2603	
	土取	1,001,700	3,700,000	0.2707	(大山陵運搬距離：1,300m)
水城の土取場からの運搬距離：約1,300m					0.2707 (m³/人日)

49

3) 【盛土の作業能率】

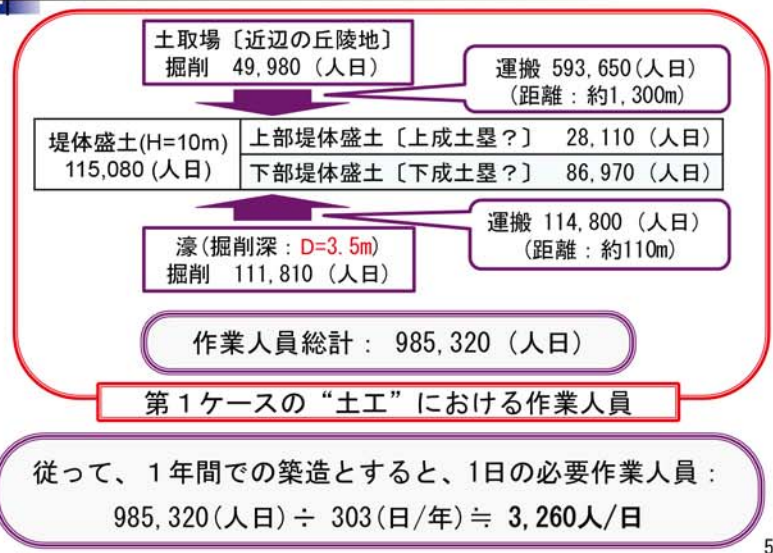
大山陵 の実績	区分	土量(m ³)	人員(人)	作業能率 (m ³ /人日)	水城堤体盛土の 想定作業能率
	外濠	32,050	23,000	5.7413	盛土高や勾配を考慮し [大山の1/2を仮定] 2.858 (m³/人日)
	内濠	569,050	100,000	5.6905	
	平均	—	—	5.7159	

[3] 第1ケースの土工作业人員算定

		区分	掘削	運搬	堤体盛土	計
土取場 から	土工量(m ³)		123,600	160,700	80,340	—
	想定作業能率(m ³ /人日)		2.473	0.2707	2.858	—
	作業人員(人日)		49,980	593,650	28,110	671,740
濠 から	土工量		222,600	289,400	248,560	—
	想定作業能率(m ³ /人日)		1.991	2.521	2.858	—
	作業人員(人日)		111,810	114,800	86,970	313,580
計	作業人員(人日)		161,790	708,450	115,080	985,320

50

[4] 第1ケースの“土工”に関わる作業人員



51

<上部堤体と下部堤体の境(?)>



52

5. 上部堤体の“土工”と作業人員

- (A) 上部堤体の築造材料には、粘性土を使用していないので、近辺の土取場(運搬距離:1,300m)から主にまさ土を採取したものとする。
- (B) 堤体体積 (V_E) に対して、必要地山土量 (V_{EE}) を求める土量変化率(C)を0.95とする。即ち、 $V_{EE} = V_E \div C = 80,340 \div 0.95 \approx 84,570 \text{ m}^3$
- (C) 掘削土量 (V_{EE}) に対して、運搬土量 (V_{ET}) を求める土量変化率(L)は、大山陵等を参考に、 $L = 1.30$ とする。従って、 $V_{ET} = L \times V_{EE} \text{ m}^3$ である。

上部堤体 (H=6m) 80,340 m ³	区分	土量 (m ³)	作業能率(m ³ /人日)	作業人員(人日)
	掘削(V_{EE})	84,570	2.473	34,200
	運搬(V_{ET}) (距離1,300m)	109,940	0.2707	406,140
	盛土(V_E)	80,340	2.858	28,110
	計	—	—	468,450

1年間で上部堤体を築造するのに要する作業人員
 $468,450(\text{人日}) \div 303(\text{日/年}) \approx 1,550 \text{ 人/日}$

53

“土工”に関する検討結果

- ★ 運搬路の仮設等を考えると、纏まった土量が存在する「土取場」が必要で、須玖火山灰層等の分布図から、運搬距離を約1,300mとした。
- ★ “内濠” (幅60m×長さ150m)、“外濠” (幅60m×延長910m)で、掘削深:3.5mとした第1のケースでは、“内濠と外濠”ならびに“大堤”が1年間で築造されたとすると、“土工”に必要な作業人員は約**3,260人/日**となる。
- ★ 近辺の土取場(運搬距離:1,300m)から採取した土質材料で築造された上部堤体 [80,340 m³] の土工 [掘削～運搬～盛土] に必要な作業人員は、年間約 **1,550人/日** である。
- ◎ 緊急性の高い“内濠と外濠”および“下部堤体”までを1年間で築造したと仮定すると、その作業人員は、約 **1,710人/日** で可能である。
- ◆ 下部堤体と上部堤体の境に検出されている連続した“茶褐色土”は須玖火山灰質粘土層で、下部堤体への雨水浸透と侵食を防止するために設けられたものであり、上部堤体は時期を数年遅らせて築造された可能性が考えられる。

55

6. “土工”に関する検討の前提と結果

“土工”検討の前提等

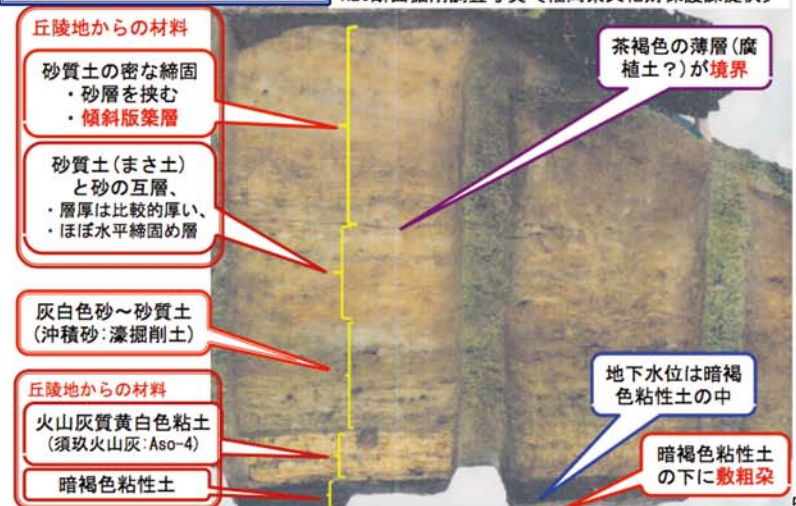
- ★ 実際の工事では「土工」に先立ち、現地調査、現地の伐採・抜根、整地ならびに測地測量等々が必要であるが、それらの作業の人員は加味していない。
- ★ 考古学的調査によって、これまで(平成26年8月まで)に明らかになった情報 [堤体形状と濠の規模など] を可能な限り考慮した。
- ★ 文献・記録等ならびに「水理学的解析の結果」より、御笠川の欠堤部は、越流堰幅:150mの開水路を想定した。
- 今回の“土工”に関する検討では、越流幅150mの“内濠”と“大堤”の下流 [博多側] に“外濠”を持つ構造とした。
- “内濠”は幅60m×長さ(越流幅)150mとし、“外濠”は御笠川の両岸に各2段、計4つの掘り込み濠を想定した。
- 堤体の盛土材料は、濠掘削に拠る現地発生土 [沖積土:砂～砂質土] を優先して使用し、粘性土(必須材料)と不足分を近辺の丘陵地から採取するものとした。 [現代の河川堤防築堤工事でも、現地発生土が優先使用される。]
- 即ち、地下水位下になる盛土の最下部には粘性土、上部堤体 [上成土壘?] には、砂質土～砂質粘性土を用いた。

54

IV. “築造技術”に関する考察

[A] これまでの調査結果

H26断面掘削調査写真 [福岡県文化財保護課提供]



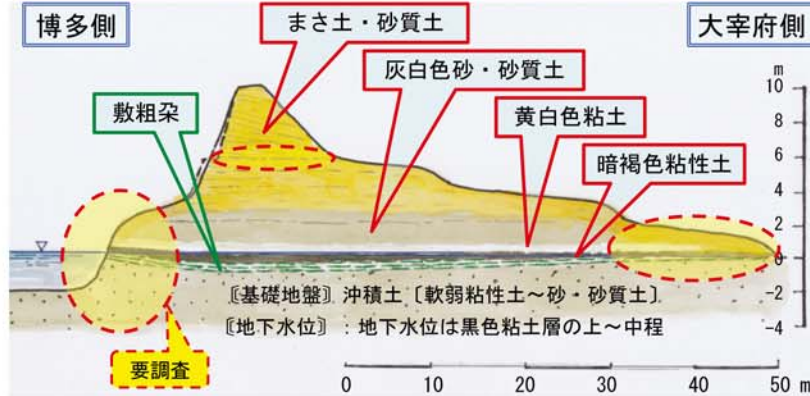
56

1. 築堤材料と堤体構成

〔A〕これまでの調査結果

〔B〕第三章の検討結果等

- ◎ 上部堤体：近傍丘陵からの土取り材料(まさ土・砂質土)
- ◎ 下部堤体：築堤材料〔濠掘削土(灰白色砂～砂質土) + 土取り材料(須玖火山灰)]
- 最下層(基礎地盤との境界)：敷粗朶



<断面開削調査記録>



大正二年・国鉄線路敷設のため、全面開削された際のスケッチ

59

2. 「敷粗朶」

〔A〕これまでの調査結果

- ◎ 大正2年；国鉄線工事の際に発見。
 - ⇒ 黑板勝美東大文科大教授、中山平次郎九大医科大学教授が所見。
- 平成5年度；国道3号線沿い低盛土部の開削トレンチ調査では1・2層、並びに平成6年度；本堤中央部と大宰府側低盛土部のボーリング調査では2～4層を確認。
- 平成13年度；御笠川横の低盛土部開削トレンチ調査では、11層の敷粗朶が出土。
- 平成26年度；盛土断面剥ぎ取り調査で再確認。
- ☆ いずれも10cm～15cmの締め固め土を挟んで複層を確認。
- ☆ 敷粗朶の上位には、粘土層(暗褐色～灰白色)が敷設されている。
- ☆ 地下水位は、これらの粘土層中か、それより上にある。

58

〔福岡県学術研究旅行報告書〕黑板勝美

史学雑誌 二五―三 大正二年

幅頂点直下より北方十二間、南方二十八間四尺、合せて四十間四尺に及び上部は多く砂土の層なるも下部は凡五六寸の層を成せる粘土を積み上げその間ごとに雑木を挿めり而して緩平の際之を積するにその樹枝は圧迫せられて扁平となれるもの多きに樹葉はなほ緑色を呈し恰も生木を見るが如く殆んど千二百四十年を経過せるものとは想像能はざるの感あり勝美の採集せる樹葉の種類は大楠(学名 Machilus Thunbergii) 青楓(学名 Machilus longifolia) 藪肉桂(学名 Cinnamomum pedunculatum) 裏白楓(学名 Quercus Steudneri) 栲(学名 Quercus gilva) 小羊歯(学名 Gleichenia tripartita) 等の六種あり現今猶ほその付近に於て繁茂せるものにかかる勝美東京の後之を本学理科大学教授理学博士坂村任三氏に質す此の中に多く嫩葉あることより推して此水城の底部に於ては春葉は春葉に切取られたりしものならんといふ亦以てその発明定めては切取られたるを得べし又同理科大学教授理学博士藤原ががらびに於ては千二百余年の樹葉にして生葉と同色を呈せしものありは有るの实例に属し植物学上よりも大に研究するに値ありしと認められしものと共に同地に出張して研究調査を重ねらるるに至れ

★6種類の樹種が特定され、★240年を越す耐久性が確認された。水城の敷粗朶は特異な樹種が特定され、★240年を越す耐久性が確認された。

60

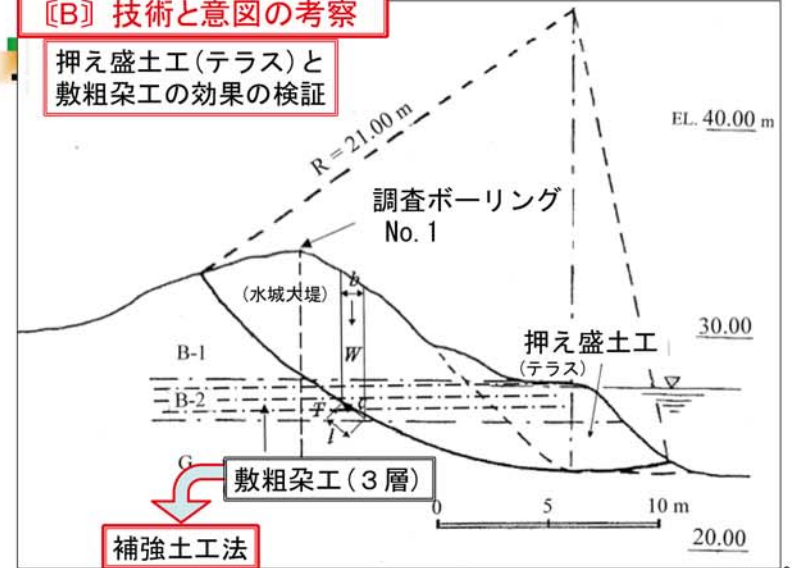
◎ 締固め層ならびに 最下部の
“粘土(暗褐色/黄灰白色)層”
と“敷粗朶” [H5年度T調査]



敷粗朶は、
★粘土層でカバーされ、
★地下水位以下に保持され、
◎酸欠状態に維持されたことで、
耐久性が確保された。

〔B〕 技術と意図の考察

押え盛土工(テラス)と
敷粗朶工の効果の検証



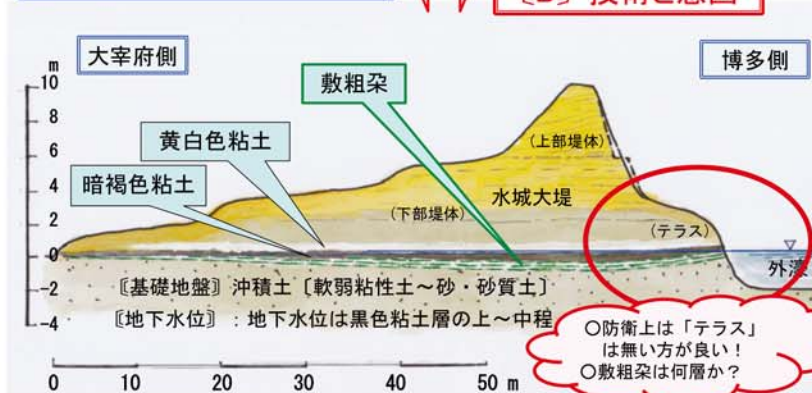
補強土工法

3. 博多側の堤体形状(テラス)と補強

〔A〕 これまでの調査結果

検証と考察

〔B〕 技術と意図



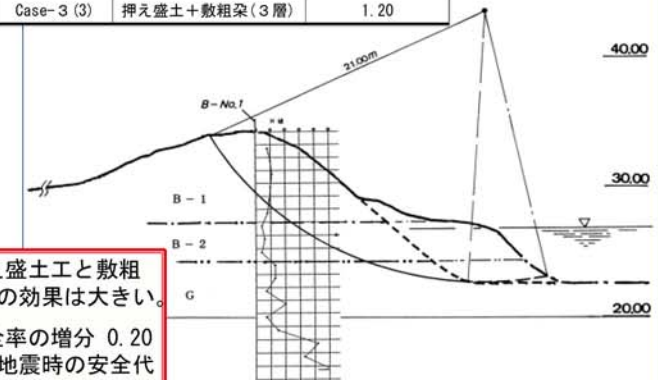
○防衛上は「テラス」
は無い方が良い!
○敷粗朶は何層か?

“大堤”の基礎地盤と横断形状ならびに敷粗朶等

安定解析のケースと結果の一覧

解析ケース	対策工	解析結果(安全率)
Case-1	対策工(押え盛土)なし	1.00
Case-2	押え盛土あり	1.11
Case-3 (1)	押え盛土+敷粗朶(1層)	1.14
Case-3 (2)	押え盛土+敷粗朶(2層)	1.17
Case-3 (3)	押え盛土+敷粗朶(3層)	1.20

☆ 押え盛土工と敷粗朶工の効果は大きい。
☆ 安全率の増分 0.20 は、地震時の安全代になる。



安定計算の結果