

水城築堤から探る当時(1300年前)の土木技術

佐賀大学 理工学部 学生員○中田敦也
 佐賀大学 低平地防災センター 正員 林 重徳
 佐賀大学 理工学部 学生員 本山智洋
 九州歴史資料館 調査課 栗原和彦 横田賢次郎

1 まえがき

福岡県太宰府市と大野城市の県境に位置する特別史跡「水城築堤」は、日本書紀にも示されている様に、今を去ること約1300年前に築造された日本でも有数の大型土構造物である。日本書紀によると、それは百済の白村江(はくすきのえ)での敗戦により逃げ帰ってきた百済の遺臣や帰還兵によって、急遽1年という短期間で築き上げられたとされている。本研究は、この“貴重な”土構造物を、地盤工学的視点から調査・実験・解析を行い、当時の土木技術(特に築堤技術)を探ることを目的とする。

2 調査結果の報告

2.1 開削トレンチ調査

国道3号線沿いの低盛土部で、平成5年度に実施された開削トレンチの断面を図-1に示す。この調査において、2層の“敷粗朶”が確認された。これらの出土状況からみると、明らかに当初から本堤盛土の高さと位置を意識して施工した様子がうかがえる。

2.2 測量及びボーリング調査

平成6年度に実施した測量調査による本堤の断面形状と、本堤中央部(B-No.1; 標高34.14m)及び太宰府側の低盛土部(B-No.2; 標高28.11m)で実施したサウンディング試験の結果を図-2及び図-3に示す。測量調査の結果、本堤博多側の法面の勾配は1:1.1~1.2の急勾配と約8mの幅の小段を持ち、太宰府側では1:1.2~2.5程度の法面と1:12~15の緩斜面を呈することが確認された。また、ボーリング調査の結果、B-No.1においては、深度7.0~10.0mに木枝・葉片を挟在する層が3,4層であり、旧地盤面は深度10.0mであった。B-No.2では、深度5.35~6.60mに木枝と葉片を挟在する層が2層であり、この地点の旧地盤面は深度6.60mの位置であった。この“敷粗朶”は、通常主にトラフィカビリティーを確保する目的で軟弱地盤面上に敷設されるものであるが、この築堤工事法においては“敷粗朶”の域を超えた補強材として使用されたと考えられる。さらに、前述したトレンチ断面の成層状態やサウンディング試験の結果から、入念な施工(敷ならしと締め固め)が成されていることがうかがえる。

表-1 安定計算に用いた堤体と基礎地盤の諸定数

層区分	単位体積重量 γ (tf/m ³)	強度定数	
		粘着力 c (tf/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
B-1	1.901	3.4	10°
B-2	1.606	1.0	5°
G	1.606	1.5	5°

・EL.25.2, EL.26.2, EL.26.8の3層に「敷粗朶」を配置。
 ・敷粗朶は直径10~20mmの枝木が平均10cmの間隔で配置され、1層当たりの引張り強度を2.0 tf/mと仮定。

3 築堤技術の考察

3.1 “押え盛土工”と“補強土工”の検討

断面形状及び“敷粗朶”の挟在状況から、これら2つの工法の有効性と必要性を認識されていたものと考えられる。そこで、築堤工法としてのこれら2つの工法の効果を現在の土質力学的視点から検討するために、

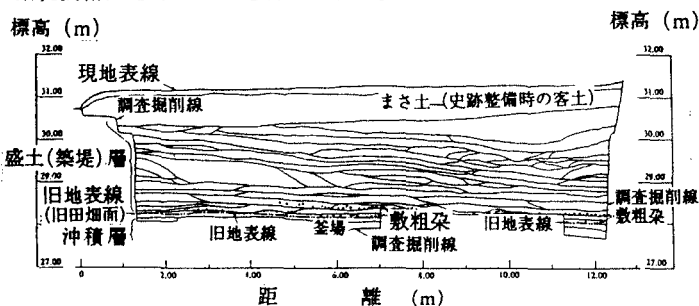


図-1 開削トレンチ断面のスケッチ

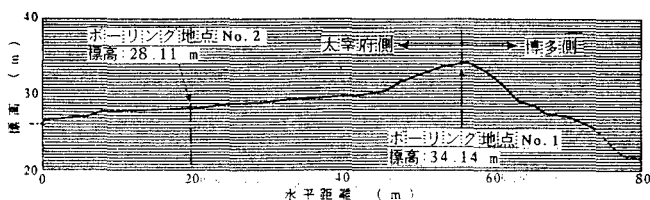


図-2 本堤の断面形状

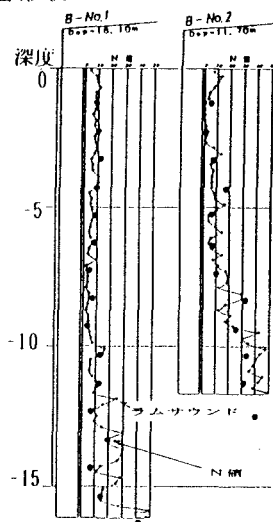


図-3 ラムサウンディング試験とSPT試験の結果

1つの想定される円弧すべりについて、分割簡便法による安定計算を行った。安定計算に用いた堤体と基礎地盤の諸定数を表-1に、検討した断面形状とすべり円弧を図-4に示す。計算に用いた強度定数は、「時間効果」による強度の増加を考慮して、不攪乱試料にて行った直接せん断試験の結果の約55%の値を仮定した。結果は表-2の通りであり、これら2つの効果が認められる。

表-2 安定計算結果の一覧

ケース	対 策 工	安 全 率
Case-1	押え盛土等の対策工法無し	1.00
Case-2	押え盛土有り	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

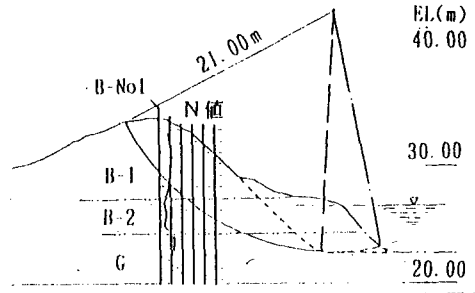


図-4 検討した断面形状と想定すべり円弧

3.2 “抑止杭工”と“カウンターウェイト工”の検討

昭和48年度に実施された「水城欠堤部-石敷遺構の調査」報告書に記録されている石敷遺構東壁土層断面及び木杭や岩石の出土状況からも、“押え盛土工”の概念とその有効性を認識していたと解釈される。即ち、出土状況が『…使用された石は、一辺110×60cm～50×50cm程度の自然石で…、乱雑に投げ込まれたかのように積まれており、…石敷の間に木杭が乱雑に打ち込まれ、…』と記録されていることから、築堤途中にすべり破壊が発生し、慌てて抑止杭とカウンターウェイトとしての石を投入した様子がうかがえる。そこで、これら2つの有効性と必要性を検討するため、破壊したと思われる土層面にすべり円弧を想定して安定解析を行った。杭の評価として杭を擁壁としてとらえ、Bromsの方法³⁾により鉛直杭の水平抵抗を算出する方法を適用した。木杭と石の諸定数を表-3に、検討した断面形状とすべり円弧を図-5に示す。計算に用いた強度定数は、これら2つの工法を用いていない場合に、破壊したと想定される盛土の安全率が1.00になるように逆算して算定した値である。結果は表-4の通りであり、これら2つの工法の効果が認められる。

表-3 木杭と石の諸定数

木	横方向地盤反力係数 k_h	16.77 (tf/m ²)
	弾性係数 E	7.5(10 ⁴ tf/m ²)
	長さ l	1.68 (m)
	根入れ長さ D_r	1.26 (m)
杭	幅 B	0.21 (m)
	平均間隔 D	0.98 (m)
石	単位体積重量 γ	2.5 (tf/m ³)

表-4 安定計算結果の一覧

ケース	対 策 工	安全率
Case-4	対策工無し	1.00
Case-5	抑止杭工有り	1.04
Case-6	抑止杭工との併用	1.06

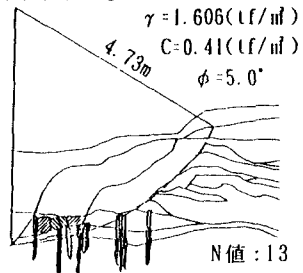


図-5 検討した本堤欠堤部の断面形状と想定すべり円弧

4 まとめ

以上の検討結果と考察から、本堤における築堤技術として、以下のようなことが結論として考えられる。

- 1) 盛土の施工に関しては、本堤部においては“版築工法”が、低盛土部においては“敷ならし”が行われていると推定される。
- 2) 沖積地盤上に大規模で急勾配の築堤を短期間(約1年間)で確実に施工するために、“押え盛土工”及び“補強土工”の有効性と必要性を認識した技術者が、施工の指揮を執ったことがうかがえる。
- 3) 工事途中ですべり崩壊が生じた箇所では、“抑止杭工”と石材投入による“カウンターウェイト工”を施工することで、安全性を確保している。

本堤における「時間効果」についての考察は、別報⁴⁾において報告されているので、併せて参照して頂きたい。また今後の研究としては、固化材使用の有無を含めた、実際の施工方法の検討が課題である。

参考文献

- 1) 林重徳、橋口達也、石松好雄、栗原和彦、横田賢次郎:地盤工学から見た大宰府・水城築堤(その1) 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第VI部門、VI-247,1994
- 2) 林重徳、中田敦也、本山智洋、石松好雄、栗原和彦、横田賢次郎:地盤工学から見た“水城”の築堤技術、土木学会創立80周年記念シンポジウム、1995
- 3) 土質工学会編:土質工学ハンドブック、第16章、569～571pp.
- 4) 本山智洋、林重徳、中田敦也、栗原和彦:水城築堤の土質特性に及ぼす年代効果(投稿中)