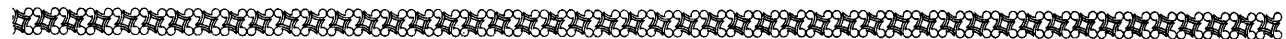


古代にみる地盤技術と現代への展開

Geotechnical Aspects of Archaeological Sites and their Evolutions to Modern Challenges

林 重 徳 (はやし しげのり)

佐賀大学教授 低平地研究センター



1. はじめに

我が国の歴史的な時代区分としての“古代”は、一般に大和朝廷時代から奈良・平安時代を指す。しかし、本報文では“近代”および“現代”に相対する言葉として使用する。そして、地盤技術史から見た“近代”を、機械力を用いた工事・工法において、鉄やコンクリート、ならびにジオシンセティックスに代表される人工材料を多量に使用し、手に入れた機械力とエネルギー等を駆使して、巨大プロジェクトを次々と実現してきた時代として使用する。一方、“現代”は、巨大な機械力とスピード、そして便利過ぎる材料やコンピュータなどのツールを手にした人類の活動が、資源やエネルギーの大量使用による環境への負荷に留まらず、地域環境の改変により地球環境と人類の存亡にも重大な影響を及ぼすことを認識し始めた時代である。

古代の遺跡・遺構には、様々な工夫・技術が施されている。しかし、それらの工夫・技術の目的や計画施工した古代人の意図を記録したものは皆無である。したがって、事実にも忠実な考古学調査の記録ならびに現在の地盤工学的調査・知識を駆使して、工夫・技術の目的とその効果を読み解き、古代人の意図を洞察しなければならない。

本報文では、地盤遺構に見られる様々な工夫・技術の中から、その効果が明らかで古代人の意図と認識を推察できる幾つかの“古代”の技術について論述し、次にこ

れらの古代技術を“現代”に展開する試みを紹介する。

2. 地盤遺構に古代の地盤技術を読む

2.1 盛土の長期安定化技術

盛土の長期安定性は、斜面勾配に応じた盛土強度、および降雨によって発生する堤体内の浸透流と侵食などに大きく影響される。盛土の長期安定性を確保するために、古代人が用いている地盤技術を、水城堤¹⁾ならびに鹿毛馬神籠石²⁾の版築盛土から読み解く。

水城堤は、大和朝廷の西方統治の中核であった大宰府政庁を防衛するために、天智3年(西暦664年)に築造された延長約1.2 km、高さ10~14 mの土構造物で、福岡県筑紫野市に現存する国指定特別史跡である(図-1)。敵の長攻が想定された博多側、ならびに守備する大宰府側の2箇所ので堤体トレンチ調査で記録された版築盛土の横断面図を、図-2に示す。博多側法面を急勾配にして防衛施設の機能を確保しつつ、受盤構造となるように版築の施工面を緩やかに傾斜させ、かつ大宰府側では約1 m 間隔で厚さ15 cm 程度の砂質土層を配置し、法面勾配の緩い大宰府側に堤体内の浸透水を排水させる工夫がなされている。また、博多側の方が大宰府側に比べて版築盛土の1層の層厚が薄く、入念な締固めを行っており、強度も格段に大きい。

次に、ほぼ同時代(7世紀中末期)の築造といわれる国指定史跡・鹿毛馬神籠石遺跡(現飯塚市)における、地山へ腹付けされた盛土部の版築断面図を図-3に示す。

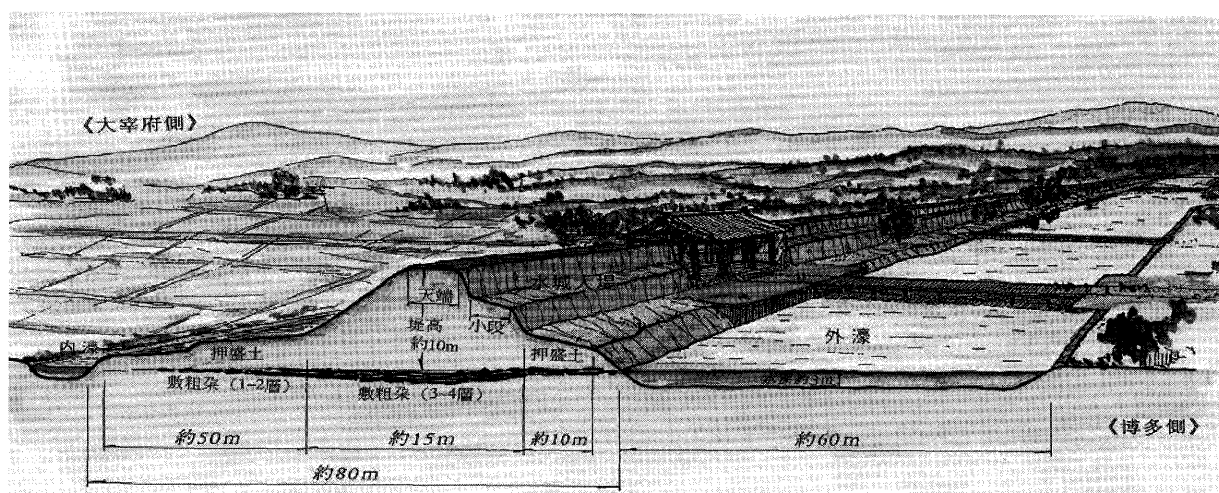


図-1 “水城”の断面構造等のイラストレーション

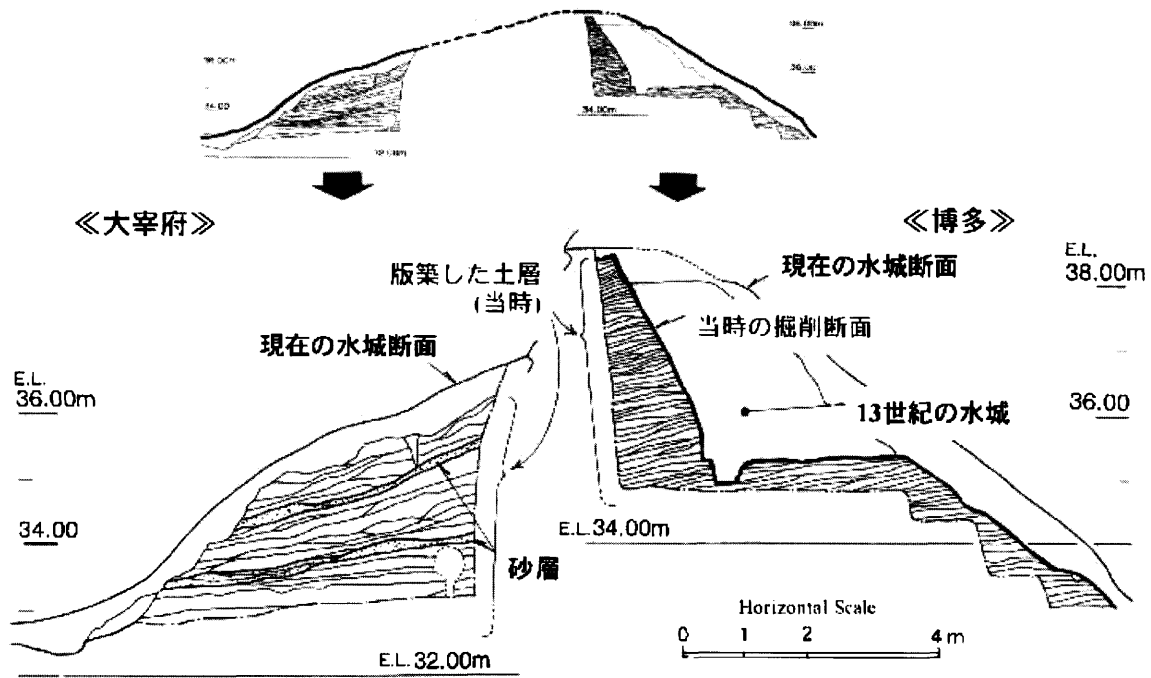


図-2 水城堤の傾斜版築断面

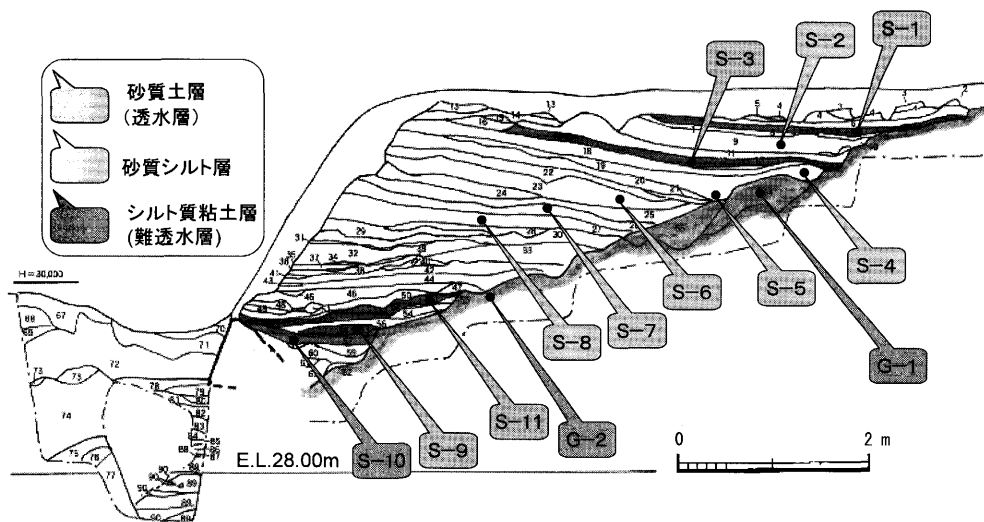


図-3 鹿毛馬神籠石の山腹付け盛土部の版築断面

この断面においても、版築の層構造・形状と土質試験結果より、盛土斜面の力学的安定を図りつつ、透水層と難透水層を幾重にも配置し、盛土内の間隙水を横断方向で集水しかつ地形を利用して縦断方向に流下させる三次元的な排水構造の版築施工がなされていることを確認した。

このように、7世紀中末期の盛土施工においてすでに、単なる版築に留まらず、土質とその力学・水理特性および盛土堤体内の水の動き等を認識し、さらには斜面の長期的安定性への影響要因とその対策などを考えた地盤技術を駆使していたことが確認された。その地盤技術の高さは、天然材料のみを用いた版築盛土において、土質と土層構造形状ならびに締めめ密度等を変化させることによって、千数百年に及ぶそれらの長期安定性が確保されていた事実が証明している。

2.2 軟弱地盤上の盛土基礎の補強技術

軟弱地盤上に盛土をする場合、当然、沈下変形や破壊

について何らかの工夫・対策が必要である。水城堤の基礎には、地盤状況と盛土高さ等に応じて、1層から11層まで多層の敷粗朶が、施工されている¹⁾。また、沼地跡等の軟弱地盤箇所では枕木や胴木状の敷設も確認されている。これらが、軟弱地盤上の高い盛土の安定化のための補強を意図した“補強土技術”であることは明白である。しかも、地下水位下となる位置に敷設し、かつ鉄分の多いまさ土を盛土材料とすることによって浸透水を酸欠状態としたため、敷粗朶の腐植が抑制されていた。大正2年の国鉄線路敷設のために開削された時（口絵写真-1）には、枝葉から6種の樹種を特定できる程の緑色を呈し、高い耐久性が確認された。天然材料を用いた補強土で、千年を越す耐久性が確保されていた事実は、驚くべき知恵であり地盤技術である。

図-4は、17世紀後半に立花藩の藩営で行われた干拓事業で構築された黒崎堤防の基礎を開削した写真であ



図-4 黒崎堤の基礎から出土した松の枝葉と松丸太ならびに木杭

る。松の枝葉を敷設した上に松丸太を敷き並べ、盛土法先の基礎部には木杭の列が確認された。非常に軟弱な有明粘土地盤上に、約5mの高い堤防盛土を可能にした地盤技術である。軟弱な粘土地盤においては、木材の横抵抗を最大限に利用している点が重要である。

2.3 地震対策の工夫

地震が多発する我が国で地震対策は必須であり、古代の重要な地盤構造物の構築において、免震・減振など様々な耐震の工夫がなされていたのは必然である。水城堤西門柱の基礎構造ならびに諫早眼鏡橋の中央橋脚の基礎構造は、いずれも地震対策としての古代の免震・減振技術と考えられるものである。

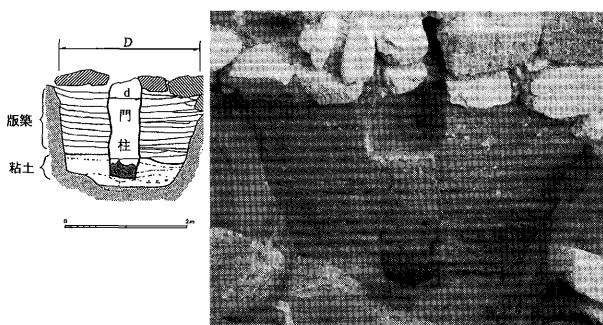


図-5 水城西門柱の基礎構造

水城堤の西門柱基礎の発掘写真を、図-5に示す¹⁾。掘建柱の直径と柱穴径の比等が他の事例と明らかに異なること、穴底部硬質粘土の存在と柱根がその中に浮いた状態で発掘されたこと、ならびに粘土層上部の入念な版築施工と錘石などから、免震・減振の工夫と推察された。積層ゴム等を用いた最新の免震技術と比較した数値解析の結果では、半分以上の免震・減振効果が認められた。また、先述した水城堤の敷粗朶は、地震対策としての有効性をも認識した上で、用いられていた可能性もある。事実、水城築堤のわずか15年後に近傍の水縄断層を震源として発生した「筑紫の大地震（西暦679年）」によっても、堤体に大きな被害は無かったようである。

昭和32年の諫早水害後、本明川下流の架橋場所から

移設された諫早眼鏡橋の基礎構造を、図-6に示す。この石橋の築造は天保10年（1839）であるが、アーチの石組や欄干構造には中国・安済橋（7世紀）の影響が見られると指摘されている。中央橋脚の基礎は、硬い砂礫層を長方形に掘り下げて渦土を投入した後、松杭と枕木を設置し、その上に基礎敷石と基礎石が施工されていた。松杭によって沈下を抑制しつつ、軟弱な粘性土によって横揺れを吸収する、免震・柔構造基礎である³⁾とされている。

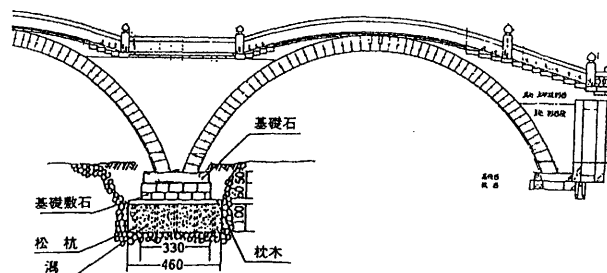


図-6 諫早眼鏡橋（国重要文化財）の基礎構造

2.4 保温・保湿の技術

明日香・高松塚古墳に見られるように、王族や土地豪族を埋葬した墳墓は権力の象徴であり、その築造には当時最高の技術が駆使されている。古墳の石室には、貴重な様々な埋蔵物とともに繊細で色鮮やかな装飾壁画が描かれている。そして、これらの宝物と壁画を保護・保存するためには、温度や湿度等の石室環境を最適な状態に維持することが必要であり、発掘当初は鮮やかな壁画が確認されたことから、古代の地盤技術が十分にその役割を果たしてきたことは明らかである。

国指定特別史跡「王塚古墳」（福岡県桂川町）は、古墳時代（6世紀中期）の前方後円墳である⁴⁾。昭和9年の発掘当時、その石室壁面には、赤、黄、緑、白、黒の5色を使って描かれた豪華絢爛な彩色壁画（口絵写真-2）が発見された。後円部の石室は約2.4mの土被りの墳丘盛土の中に在り、石室の環境を維持し千数百年を越えて、装飾壁画を守ってきた地盤技術が“盛土（封土）”に込められていると考える。

鉦害対策・保存整備工事に先立ち実施された、石室の内外気象観測、封土の構成・土質・透水性と地下水状況調査および微類微生物調査等の結果、墳丘表面の温度が0～45℃に、また外気温度が0～33℃の間で変化しても、石室の温度はほぼ16～19℃の範囲に保たれ、相対湿度も年間を通して95%以上を保ちほとんど変化しないことが明らかになった。墳丘のトレンチ調査・土質試験の結果、石室の封土は、日本統一分類法でCHに属する黒灰色粘土と、ML～CLに分類される黄褐色のシルト質粘土を用いた、ドーム状積層構造であることが明らかになった（口絵写真-3）。また、透水係数は、前者が 1.2×10^{-4} cm/secで、後者は 4.6×10^{-4} cm/secであった。このように透水性・保水性が微妙に異なる2種類の粘性土による土被り約2.4mのドーム状積層構造で石室を

総 説

封じた地盤技術が、石室内の千数百年に及ぶ環境維持に大きな役割を果たしてきた。

しかし、保存整備工事として、この粘性土によるドーム状積層構造に換って、モルタルとアスファルト防水層で、鉄筋コンクリートの観察室と石室を覆った結果、皮肉なことに、石室内に黴が蔓延し、装飾壁画の状態は一層悪化した。その後、アスファルト遮水に替えて粘性土で再覆土した結果、石室環境は従前に回復した。遮水と保水の機能を併せ持つ土質材料ならではの効果である。

王塚古墳とはほぼ類似した保存整備工事が実施されたと伝えられる「高松塚古墳」においても、国宝の壁画が同様の経過を辿っており、人工材料の持つ脆弱さと近代技術の底の浅さを感じざるを得ない。

3. 現代への展開

3.1 Raft & Pile 工法の開発

軟弱地盤における盛土の基礎工法として、Raft & Pile 工法の開発を進めている。我が国の山間域で大量に分布する間伐材を用いて、盛土基礎に敷粗朶と木材筏を敷設し、側方への流動抑制と縁切りのために列木杭を打設する工法で、上述した「水城堤」や「黒崎堤」にヒントを得たものである。敷粗朶・筏と列杭を施工した後、盛土荷重によって、それらを現地下水水位以下に沈下させ耐久性を確保する。小型土槽実験ならびに数値解析により、筏と列杭の効果が明らかにされている⁵⁾。皮剥ぎや端部処理等の間伐材の加工がほとんど不要であり、かつ枝葉までも利用するため、廃棄物が発生しない。間伐材の大量使用により、山間域の再生・整備を促進することが可能となる。

3.2 処分場のカバーシステム等への応用^{6),7)}

古墳石室の封土に見られるドーム状積層構造の概念を、廃棄物最終処分場や低レベル放射性廃棄物処分場のカバーシステムへ応用する提案と研究は既に進められている。環境の負荷軽減、資源の有効利用、そして処分場として何よりも優先すべき耐久性と確実性を考えた場合、天然材である土質材料と地盤技術の果たすべき役割は大きい。

4. おわりに

1984年には「地球白書」を創刊し、地球環境問題の第一人者であるレスター・ブラウンは、地球規模で見られる様々な現象と膨大なデータから“ブループラネット

の破滅への予兆”を指摘し、環境を経済に従属させた従来型の生産と消費を拡大し続ける道「プランA」から、経済を生態系（環境）に調和させる道「プランB」への転換を、経済、すなわち人類活動のすべての分野で直ちに取り組むべきであり、地球の破滅を回避するために残された時間は少ない⁸⁾、と非常な危機感をもって警告している。

すなわち、“現代”は、「偉大な自然の資源を、人間の便益と経済発展のために仕向ける術（Civil Engineering の定義）」として発展し、経済活動の基盤を支えてきた土木建設の分野においても、「プランB」の実践が強く求められる時代である。“近代”土木技術の中核的な素材である“鉄およびセメント”は、換算すると膨大な量の炭酸ガスを排出して製造され、また“ジオシンセティックス”はいうまでもなく人類の貴重な資源であり枯渇寸前の“石油”からの製品である。しかも、これらの材料が数百年を越える耐久性を持っている確証はない。

建設、特に地盤の分野における「プランB」とは、何であろうか？ その一つの答えのヒントを上述した古代の地盤技術から読み取ることができると考える。

参 考 文 献

- 1) 林 重徳：現代の土木技術者から見た水城の築堤技術，第13回アジア文明国際シンポジウム「大宰府学事始め (1) 水城と大野城—大宰府成立の謎に迫る」，pp. 8～11, 1998.
- 2) かね田町教育委員会：国指定史跡「鹿毛馬神籠石」災害復旧事業報告書，pp. 11～13, 2006.
- 3) 太田静六：眼鏡橋—日本と西洋の古橋，理工図書，pp. 43～46, 1980.
- 4) 桂川町教育委員会：国指定特別史跡 王塚古墳—発掘調査及び保存整備報告，桂川町文化財調査報告書，第13集，pp. 34～88, pp. 224～237, 同図版11, 1994.
- 5) S. Hayashi, P. Pongchompu, Y. J. Du, D. Suetsugu and S. L. Shen: Experimental Study on Performance of Timber Raft & Pile Foundation of Embankment on Soft Ground, Proc., ISLT 2006, pp. 1～6, 2006.
- 6) 渡辺邦夫：古墳土構造に見る不飽和浸透流制御，土と基礎，Vol. 40, No. 1, pp. 19～24, 1992.
- 7) Y. J. Du, S. Y. Liu and S. Hayashi: An Assessment of Ariake Clay for Its Potential Use as a Landfill Barrier, Proc., 5th ICEG, Cardiff, Vol. 1, pp. 430～437, 2006.
- 8) レスター・ブラウン著，北城格太郎監訳：プランBエコ・エコノミーを目指して，第I部ブループラネットの破滅への予兆とその回避，ワールドウォッチジャパン，pp. 4～28, 2004.

(原稿受理 2006.7.7)