

地中海古代都市の研究 (131)  
エウパリノスの水道トンネル

正会員 ○吉武隆一\*

9. 建築歴史・意匠-4. 西洋建築史 建築歴史・意匠  
サモス エウパリノス 地下水道

## 1. はじめに

サモス島にあるエウパリノスの水道トンネル（紀元前550-530年ごろ）は、世界で最も古い水道トンネルの一つである。古代水道はサモス島の南東にあるピサゴリオンから約2kmの位置にある（図1）。夏場には一日千人を超える観光客が訪れる名所であるにもかかわらず、安全上の理由により、南側の入口から約200mの位置までしか入ることができない。トンネル全体を公開するためには、改めて調査を行い、トンネルを含めた水道全体の基礎調査が必要であるが、30年前のドイツ隊による発掘以降、詳しい調査がされてこなかった。そこでこのほど、考古学中央審議会の許可のもと、測量、建築、土木工学、地震工学および修復の専門家が合同で調査を行うことになった。筆者は測量班の担当者の一員として本プロジェクトに参加し、2009年5月に現地で調査を行った。本稿では、これまで日本ではほとんど紹介されていない水道トンネルと、その工事に従事したエウパリノスについて、報告したい。

## 2. ヘロドトスの「歴史」

建築家エウパリノスは、ヘロドトスの「歴史」に登場する、実在した建築家である。僭主政治で知られたポリュクラテスがサモスを治めていたころ、すなわち紀元前550-522年の間に、三つの大型公共事業が行われた。第一に水道のトンネル、第二に港湾、第三にヘラ神殿の建設である。水道トンネルに従事したのは、エウパリノスという建築家であった。

「…（水道の地下トンネルは）高さ百五十オルギュイアもある高い山に穿ったトンネルで、これは山の附根から起り、両端に入口がある。トンネルの長さは七スタディオ、高さと幅はそれぞれ八フィートある。このトンネルの全長にわたってさらに、深さ二十ペキウス幅三フィートの水路が開鑿されており、この水路を伝って水が巨大な水源から水管を通して町へ導かれている。このトンネルを完成した技師は、ナウストロボスの子エウパリノスというメガラ人であった。（ヘロドトス著、松平千秋訳、「歴史」岩波書店）」

古代の尺を換算し、我々の調査結果と比較すると以下のようになる。

| 各部名称      | 換算値 (m) | 実測値 (m) |
|-----------|---------|---------|
| カストロ山の高さ  | 274.5   | 253     |
| トンネル長さ    | 1295    | 1036    |
| トンネルの高さと幅 | 2.4     | 約 1.8   |
| 水路の深さ     | 9.26    | 約 4-8   |
| 水路の幅      | 0.9     | 約 0.6   |

ヘロドトスは小アジアのハリカルナッソス（現在のボドルム）に紀元前484年頃生まれたと考えられている<sup>3)</sup>。その後、祖国の圧政を逃れ、しばらくサモスに滞在した。上に示したトンネルの寸法は、正しくはないが全く違っているわけではなく、ヘロドトスは実際にサモスに足を運び、自らトンネルを目にしたか少なくとも地元人から寸法を聞き取ったと考えられる。ヘロドトスはこの三大事業を述べる直前に、22節にもわたって僭主ポリュクラテスについて述べていることから、エウパリノスがトンネル工事をしたのはポリュクラテスの時代、およそ紀元前550-530年と考えられる。

## 3. エウパリノスの水道トンネル（図2）

水道工事に従事した建築家エウパリノスに課せられた問題は、どのようにして島の奥にある水源からサモスの町まで水を運ぶかであった。水源とサモスの町は、標高253mのアンペロス山（ヘロドトスの言うカストロ山）で挟まれている（図1）。アギアデスの泉（標高52.8m）はアンペロス山の背後、サモスの町から北西の位置にあり、現在も一日に400トンの湧水量がある。岩盤の割れ目から噴き出るように細工されている。現在は、泉の上に聖ヤニス教会堂が建っているが、床下には15本の支柱のある水槽が残っている。湧き出た地下水はこの水槽に一度蓄えられ、それから水路に流れるしくみになっていた。

アギアデスの泉からトンネルの入り口までは、地上の水路でつないでいる。当時は高い圧力に耐えうる水道管はなかったので、地形に沿って水道を造るしかなかった。そのため泉からトンネル入り口までは、直線で370mし

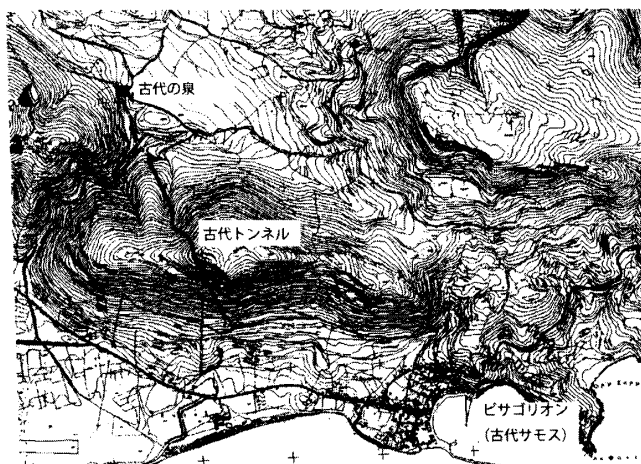


図1 古代都市サモスの地形図



図2 トンネル内観 (南口から約200m 付近)

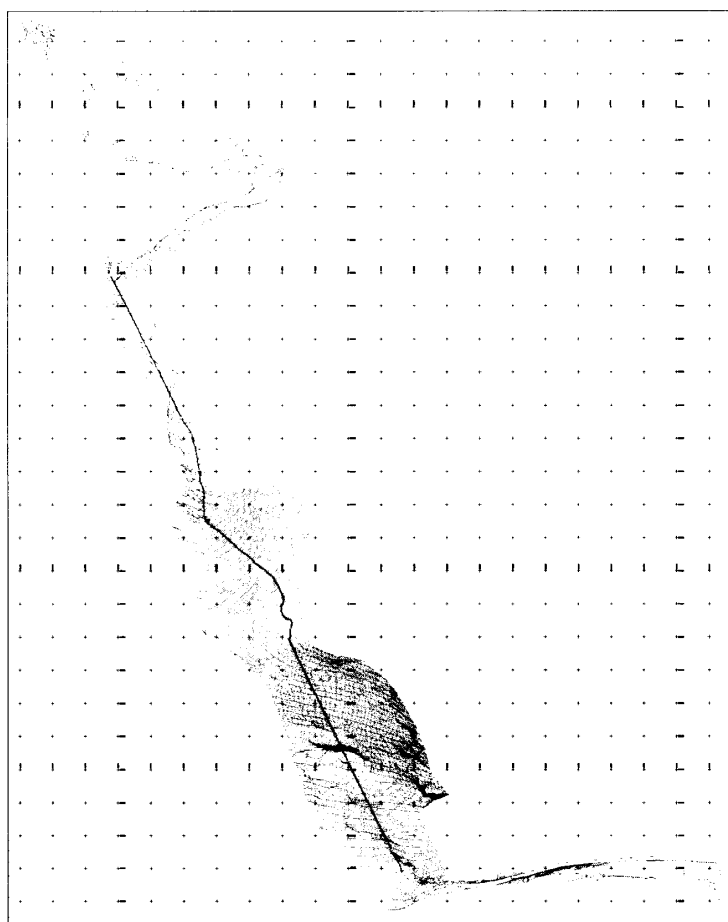


図3 エウパリオスの水道の全体平面図

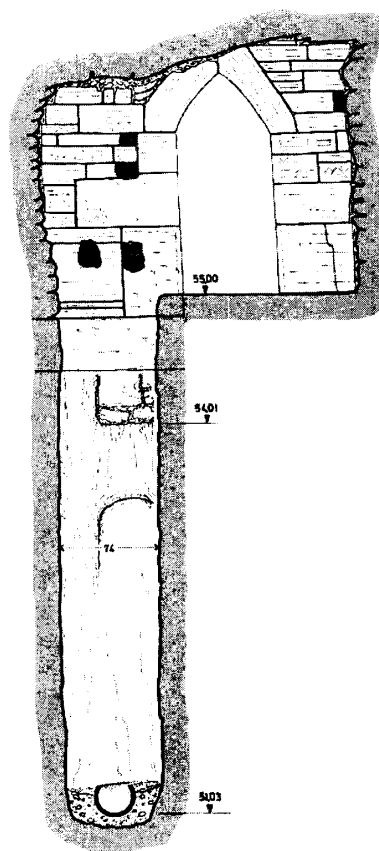


図4 トンネルの断面図 (アテネ・ドイツ考古学協会作成)

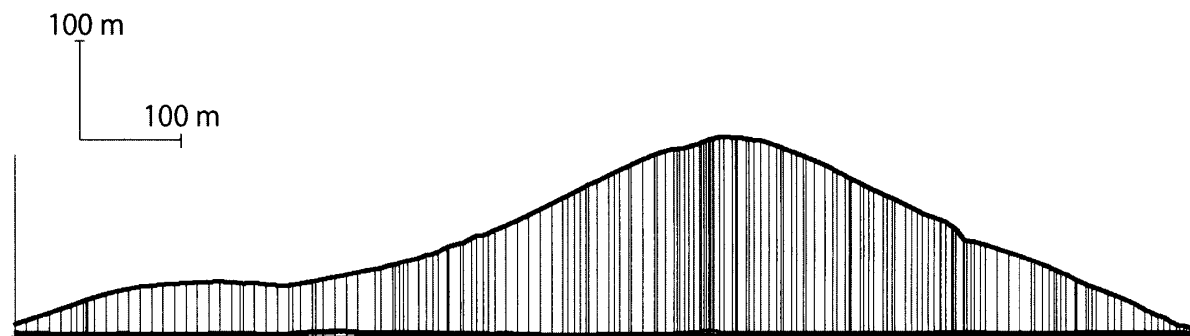


図5 トンネルの断面図 (横軸: トンネル北口から南口までを結ぶ直線、グリッドは延べて10m 間隔 縦軸: 鉛直軸)

かないが、水路の全長は 890m になっている。この部分の水路は、導管の上から石のスラブと土を載せて作られた簡素なものであった。そのため、現在はほとんど残っていない。

トンネルは全長 1036m に達する。そのうち北口から約 150 m は、高さ約 1.8 m、幅約 60cm の狭い通路となっている。上部は三角アーチの石版で、一辺の長さは約 58cm である (図 4)。これは、上部の岩盤が崩れ落ちる可能性があったためと考えられる。この部分は通路と水路は別々になっていて、正確な場所を確認することができない。さらに南へ下ると、900 m 近いトンネルである。トンネルは人が歩く幅約 1m の歩道があって、その脇に水路の溝がある。この溝は深さが平均で約 4-8 m あり、現在は安全のためフェンスがかけられている。溝の底にテラコッタの水道管が置かれていて、水を流す仕組みになっている。水路のための溝は、ところどころでふさがっていて、水道管は地下を流れている。つまり、トンネルを掘ったり管理するための通路をまず作り、水路の勾配を一定にするために縦溝を掘って水道管を敷設したのである (図 4)。

トンネルは工期の短縮のため南北両方から掘り始めた。南口から約 450 m 付近でこの二つのトンネルは見事出会った。奇妙なことに、トンネルは途中までほぼまっすぐだが、トンネルが合流する付近では複雑に曲がっている。いったいどのような方法で結合させたのだろうか。(図 6)

#### 4. トンネルの実測

筆者は 2009 年 4 月 22 日から 5 月 5 日まで、エウパリオスの水道を実測調査の参加した。実測の手順と方法は以下の通りである。

まず、測定の基準となる新しい基準点を作ることから始めた。水道に近い 3 つの三角点から GPS を用いて、新しい 6 つの基準点を作った。GPS 測量には Trimble 社の二周波 GPS アンテナを使用した。基準点測量の際には、精度を上げるため、各点につき約一時間の時間をかけて計測した。新しい基準点は、固い岩盤の上かアスファルト道路の上に杭を打ち込んで設置した。杭を打ち込むのに適当な場所がない場合は、土を掘り起こしてモルタルを流し込み、堅くなった時点で杭を打ち込んだ (基準点 T4)。トンネルの出入口に作った基準点の測量精度は、水平誤差が 7 mm、鉛直誤差が 13 mm であった。

このようにして作成した新たな基準点をもとに、ライカ製のトータルステーション (Leica Geosystems TS09、

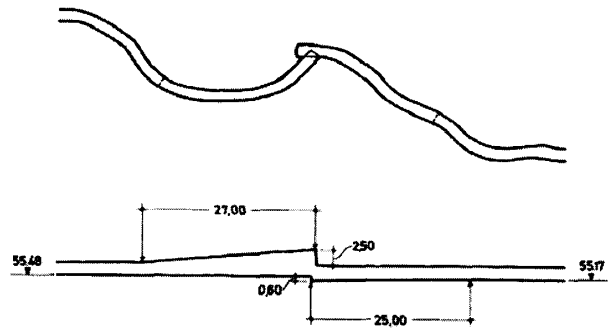


図 6 トンネル中央付近の接合部 (アテネ・ドイツ考古学研究所作成)

いわゆるノンプリズム型) を用いて詳細な実測を行った。トンネルの実測に当たっては、まず 10 m おきに位置を示す金属製の番号札を設置した。札は、INOX316 製で、大きさ 8 × 5 cm、厚さ 1 mm である。開始点の 0 m の番号札は、以前エウパリオスの水道を調査した際に、ヘルマンらが設置した番号札の 0 m と同じ位置に設置した。トンネル部分の主要なトラバースは 68 点、全体の長さは 1km を超えた。トンネルの内部と外部から測定したときの閉合誤差は約 10cm、直線距離の誤差は約 4cm、角度誤差は 28 秒であった。

また通常の測量に加えて、レーザースキャナ (ILRIS-3D オプテック社) を用いたトンネル内部の形状を計測した。計測データの処理手順は以下の通りである。

- (1) トータルステーションで、トンネル内に基準点を作成した。トンネル全体で作成した基準点は、42 点である。
- (2) 次に、レーザースキャナをトンネル内に持ち込み、スキャニングした。トンネルの実際の形状は一直線ではなく、遠くまで見通すことができないため、合計 30 回計測機器を移動しながら計測した。
- (3) パソコンに読み込んだ計測データは三次元の座標を持つ点の集合、すなわち点群データである。これを、トータルステーションで計測した基準点と関連づけて、地理座標に落とした。この作業には、3D レーザ計測で汎用性のあるソフト Polyworks を用いた。
- (4) 三次元モデルを完成させるためには、データが非常に重いため、40 の部位に分割してそれぞれのモデルを完成させ、後にこれらを合成させた。この作業には、ライカ社の 3D 点群処理ソフト Cyclone を用いた。
- (5) 三次元モデルを CAD で作業可能な DXF データとしてはき出し、これに TIN 要素を貼り付けた。
- (6) このようにして最終的に出来上がったモデルは、

形状、色、テクスチャなどを備えた多情報の3次元モデルで、これをもとに平面図、断面図など必要図面を作成した。また、ヴァーチャル・リアリティのビデオを作成した。

この測量結果に基づいて、トンネルを含む1/2000の地形図(図3)、トンネルの1/1000の平面図、断面図(図5)、アクソメ図などを作成した。また1/10で1mおきにトンネルの断面図も作成した。これらは、地震工学の耐震調査や修復のための基礎資料として使用された。

## 5. エウパリノスとその技術

ヘロドトスは、エウパリノスについてわずかな情報しか与えてくれていない。我々が唯一知りうる事柄は、彼の名前と、彼の父がナウストロフォスというメガラの建築家であったということだけである。しかし、以下に挙げる理由から、エウパリノスはエウパリノスはサモスで育ったと思われる。(1) エウパリノスが従事した建設工事は、サモスの水道トンネル以外には知られていないこと。(2) トンネルの工事は、少なくとも紀元前550年には始まり、ポリキュラトスの僭主政治のころまでには完了していたこと。(3) トンネルの工事には、あらかじめその土地の地理に精通している必要があること。少なくとも、エウパリノスは山の裏側から水を運ぶ方法について自らアイデアを持っていたに違いない。

アギアデスの泉、アンペロス山およびサモスの町、それぞれの高度差を考慮すると、水を引くためには山の中を貫通するか、山の西側に沿って廻ってくるかしかない。もし、山の西側から廻せば、建設は容易になるが、その分水道は長くなるし、サモスの都市に到達したときにその分だけ高度が低くなる。また山の麓に建設すれば、土砂崩れや敵軍による破壊の危険がある。トンネルを造って山中を突き抜けば、これらの問題は一度に解決できるわけである。

トンネルは非常に厳密な計算の元に建設されたわけではないものの、地形の状況に合わせて、的確に設計されている。おそらく、エウパリノスは木製のポールなどを用いて、山の上面にあらかじめ杭を打ち、トンネルのラインを決めたであろう。古代の実測技術については諸説あるが、物的な証拠があるわけではない。実際のトンネルは一直線ではない。トンネルを掘り進んだ時には、どのようにして掘削の方向を決めたのだろうか。トンネルの壁面にはところどころにランプを置いたと思われる窪みがある。掘削途中では、地上の新鮮な空気はトンネル

の先まで届きにくく、工事は難航を極めたに違いない。

## 6. まとめ

今回の調査で新たに判明したことをまとめると以下のようになる。

(1) トンネルの正確な実測を行ったことで、ヘロドトスの述べるトンネル寸法と比較することができた。その結果、トンネル長さや高さなどの寸法はおおよそ当たっているが、山の高さや水路の深さなどはかなり不正確であることが分かった。

(2) 10m間隔でトンネルのレベルを計った結果、人が通る床部分はアップダウンがあるが、水路は北口から南口まで一定して傾いていることが分かり、施工技術の高さが明らかになった。またトンネル全体の勾配は、ドイツ隊の報告した0.45%よりもやや大きく、0.64%であることも分かった。

(3) 山表面とトンネルを合わせた断面図を作成したことで、トンネルの地下形状と地形の関係が明らかになった。特に、レーザースキャナを用いた3次元計測によって、普段は入ることのできないトンネルの姿をヴァーチャルに再現することができた。

エウパリノスは、トンネルを掘る技術をどこから学んだのだろうか。エルサレムの地下トンネルはサモスのトンネルよりも古いですが、地理的に遠いのでエウパリノスがその技術を直接知っていたとは考えにくい。サモスは数学者ピタゴラスを輩出した学問レベルの高い町であったことから、おそらくエウパリノスもこうした小アジアの数学的知識を身につけていたのであろう。それにしても、初めての工事で見事トンネルを貫通させたエウパリノスの技量は驚くべきものである。

## 謝辞

本調査は、エグナティア・オドス社の支援を得た。また、結果の公表の使用にあたっては、測量班の責任者であるテッサロニキ大学測量学科のコスタス・トクマキディス教授から許可を頂いた。記して謝意を表する。

## 図版出典

図4 : H. J. Kienast, *The Aqueduct of Eupalinos on Samos*, Athens, 2005, p. 30, Fig. 21.

図6 : H. J. Kienast, *The Aqueduct of Eupalinos on Samos*, Athens, 2005, p. 57, Fig. 45.

## 参考文献

1. Deutsches Archäologisches Institut Athen, *Samos*; vol. XIX, H. J. Kienast, *Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos*, Rudolph Habelt Verlag, Bonn 1995.
2. H. J. Kienast, *The Aqueduct of Eupalinos on Samos*, Athens, 2005.
3. K. Tokmakidis, *Surveying the Eupalinian Aqueduct in Samos Island*, 22nd CIPA Symposium, CD-ROM 2009.
4. H. ディールズ著、平田寛訳、「古代技術」鹿島研究所出版会