

## 地中海古代都市の研究 (72)

## パルテノン神殿の施工シミュレーション (その1)

正会員 伊藤重剛\* 吉武健次\*\*

準会員 ○北島幸一郎\*\*\*

## 1. 研究の目的と方法

古代ギリシアの神殿が、実際にどのような手順で施工されたかについては、現在までほとんど解明されていない。それは、施工方法に関する古代の情報の乏しさが、その主な理由である。したがって、解明の方法としては、その乏しい資料による情報と、現在の施工方法から常識から、いくつかの仮定を設定し、全体の施工過程モデルを考えてみて、より現実性のあるモデルをより真に近いとする方法しかない。本研究ではアテネのパルテノン神殿について、まず施工費用の面から、推定できるより現実的な作業工程の人工数を計算し、全建設期間の中で、どのようなスケジュールで作業が行なわれたか、おおまかな施工過程を提案する。さらに、クレーンによる設置能力と石材加工能力の面から、重要な問題である現場での部材の加工と設置について、人工数と延べ日数を試算した。

## 2. 施工に関する既知の情報

古代神殿の建設について、現在の段階で判明している重要な点のいくつかは、次のようなものである。

1) 周柱をまず作り、その後に内陣部を作った。これはイタリアのセゲスタの神殿に、周柱だけを作った状態で未完成のまま残った神殿があること、アテネのヘファイストスの神殿の発掘調査で判明していること<sup>1)</sup>、の2つが、その根拠となっている。

2) 全体の作業は、主に、石材の切出し、運搬、建設の三つの作業工程に分けられていた。これは、パルテノンやエレクテイオンなどを含む、古代神殿の建設に関する契約書の碑文から分かり、また建設作業はさらに細かく各部署や、各作業工程に分けて発注されていることから分かる。<sup>2)</sup>

3) 建築家や作業人夫の一日当たりの日当が、1ドラクマであった。<sup>3)</sup> これは、いくつかの作業契約の碑文に書かれており、その契約金額によって、その作業がどの程度の作業量つまり人工数が計算される。

4) 神像の作製を除く建設作業に必要な作業期間は、

現在のところ、紀元前447年に開始され338年のパンアテナイア祭までに完成されたというのが、定説とされている。<sup>4)</sup>

5) ギリシア時代におけるクレーンの存在自体は、それを示す言葉が残っているので確認されるが、具体的にどのような形状のものであったかは、確認されていない。<sup>5)</sup>

これらの情報と、常識的と考えられる仮定を設定しながら、以下検討を進める。

## 3. 人工数による作業工程の推定

建築家や職人たちの1日の労賃が1ドラクマであるから、その費用を計算すれば各建設過程での人工数は計算できる。表1は、エピダウロスのアスクレピオス神殿の工事契約書と実際の神殿の部材数や重量、表面積を比較し、部材数や重量や表面積などの単位あたりの工事価格を算出し、それと比較して、パルテノンの工費を、基壇、床舗装、柱廊、内陣(ケラ)に分け、切出し、運搬、現場での加工と設置、仕上げなどについて試算したものである。<sup>6)</sup> ただし、天井及び屋根については今回は省略している。試算の詳細な説明は省略するが、同様に部材数、重量、表面積、それに石材の違いによる難易度を割増して、試算したものである。たとえば、パルテノンの基壇の部材加工と設置に要した金額は12,180ドラクマと試算され、これはとりもなおさず、12,180人工という意味である。したがって、建設(現場での部材の加工と設置)については、合計で378,829人工ということになる。

現場作業の各工程に、同時に何人の人が従事したかは分からない。したがって、石の切出し、現場までの運搬、現場での加工や設置、さらにフルーティングや石材の表面仕上げ等、全ての工事を10年以内に納めるスケジュールモデルを作ることとした。つまり、それぞれの工程に例えば100人あるいは200人といった常識的に考えられる一定の人数が従事したいくつかの場合を想定し、それぞれ何年かかるかを計算し、全体の

\* 熊本大学助教授 工博 \*\*熊本大学大学院生 \*\*\* 同学部生



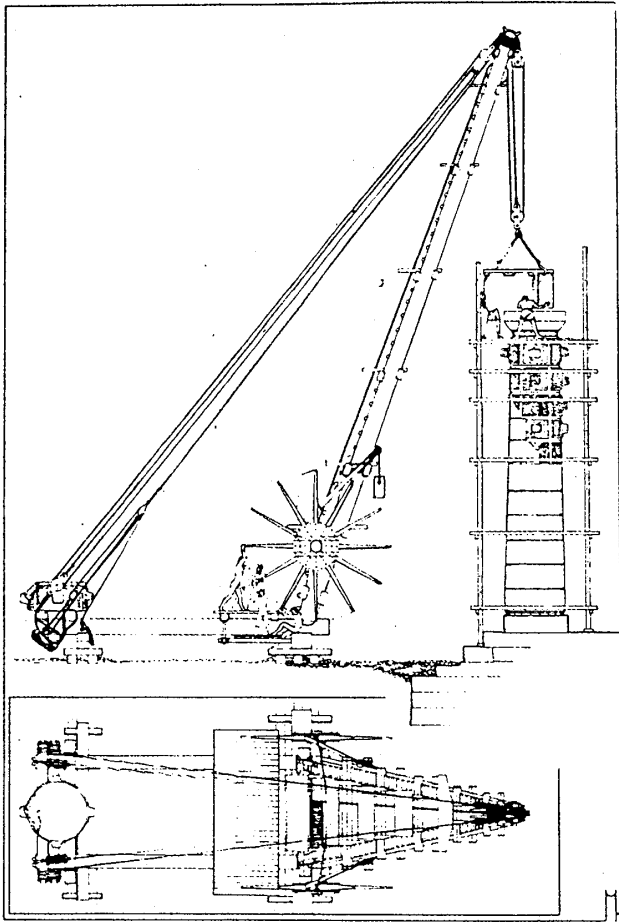


図2 コレースの提案するクレーン

で持ち上げられることになるので、重量は $1/3$ となり、巻き上げ長さは3倍となる。また巻上機の心棒の直径を30cm、巻き上げ用の棒の長さを心棒の中心から1.5mとすると、巻き上げ時の力は $1/10$ となり、最終的には石材の重量の $1/30$ の力で済むことになる。本報告では、このクレーンの復元案が正しいとの前提に立って、施工過程を検討する。(図3)

#### 4-2. クレーンによる周柱ドラムの設置の作業

クレーンは全ての建設作業で使用されたと思われるが、ここでは神殿建設の重要な過程である周柱の立ち上げを例に取り、検討を加えてみる。周柱の数は46本、ドラム数の合計は552個、ドラム1個の平均重量は5.878tである。柱の高さは10.38mだから、最大巻き上げ長さは、 $10.38 \times 3 = 31.14$  m、平均の巻き上げ長さは15.57 mと計算される。また、最終的な巻き上げ力は、 $5.878 \times 1/30 = 0.196$  t(196 kg)となる。男1人が持続できる巻き上げ力を30kgと仮定すると、

$196 \div 30 = 6.53$ 人となり、巻き上げに6~7人を要する。交代要員や設置場所の人員を考えると、巻き上げのために約20人が常時必要であったと思われる。

巻き上げ棒の回転半径は1.5 mと仮定したから、巻き上げ棒が1回転するためには、その先端を $3 \times 3.14 = 9.42$  m動かさねばならない。そこで巻上機を1回転に要する時間を休息时间を含め、5分と仮定する。また、1本のロープにかかる引張力は1.84 tとなるので、ロープの直径を10cmとすると、ロープ巻取りの最小直径は0.4 mであり、一卷きでの巻取り長さは1.25 mである。最大巻き上げ長さは31.14 mだから、そのとき回転数は $31.14 \div 1.25 = 24.9$ 回となり、時間にして125分という計算になる。平均巻き上げ長さは15.57 mだから、同じく63分となる。巻き上げによってロープが心棒に巻き付き、巻取りの半径が0.6mになったとすると、同様の計算方法で最大巻き上げ長さのとき83分、平均巻き上げ長さのとき42分の計算となる。

以上は、単なる巻き上げのために時間であり、これに支柱を回転させて、ドラムを水平移動し、さらに下のドラムの中心のダボと中心を重ねるように、正確に設置するという難しい仕事のために、おそらく同様の時間がかかったと仮定すれば、ドラムの設置にかかる時間は1個あたり平均2時間ぐらいと推定してよいだろう。古代の労働時間についてはよく分からないが、現在のギリシアでの早朝から昼過ぎまでという労働時間と同じと考えれば、円柱ドラムの平均設置速度は1日当たり約3個程度だったと推定できる。

ドラム数は全部で552個だから、クレーンを1台用いた場合、周柱の設置だけに延べ184日つまり6か月の期間を要したこととなる。1台のクレーンに15~20人が張りついたと仮定したから、人工数としては2700~3700人工という計算ができる。基壇の大きさは30.88 m  $\times$  69.00 mであり、作業スペースの広さ、全体の作業効率、さらに部材の搬入や作業の円滑な進行から判断して、おそらくクレーンは2台程度は使用されたものと思われる。

#### 5. 部材加工の作業効率

作業人工数から現場での建設に常時200人が働いたと推定した。その内訳を、前項の推定からクレーン要員を40人(1台に20人ずつで2台で40人)、また現場

での加工済みの石材の運搬に、1組6人で5組の合計30人、そして石切場から運ばれた粗削りの石材を表面加工する仕事に、残りの130人を当てるとする。クレーンによる周柱ドラムの設置能力は1日3個と推定したので、2台で6個となり、石材の表面加工の作業能率もこれに合わせたと仮定しよう。130人で1日当たり6個の加工能率ということは、1個の加工に21.7人工必要である。部材の大きさから1個につき平均して2人が張り付いて作業したとすると、同時に65個が加工でき、必要な期間は $21.7 \div 2 = 10.9$ 日つまり11日である。またドラム1個の平均表面積は、 $4.92 \text{ m}^2$ だから、1人1日当たりの加工面積は、 $4.92 \div 21.7 = 0.22 \text{ m}^2$ となる。(その2)で述べるが、加工場の面積は約7000  $\text{m}^2$ ほどあり、単純に割り付けて1個当たり107  $\text{m}^2$ となり、運搬用の通路を見込んでも充分である。

ところで、瓦を除く全石材数は7,240個、その表面積の合計は41,625  $\text{m}^2$ である。したがって、これらの加工に要する人工数は、189,204人工となり、前述のように130人がこれに当たったとすると、1455日と計算される。ただし、ケラ壁の部材は軽量で、その分だけ設置の能率がよく巻き上げは小人数ですみ、形状が小さくなった分だけ加工すべき表面積は増えることになり、その分巻き上げ要員を加工に回した方が効率的であったろう。

#### 6. 建設(部材加工と立ち上げ)に必要な延べ日数

前項での試算から、現場での部材加工には担当の人数が130人と固定される限り、 $41625 \div 0.22 \div 130 = 1455$ 日(48.5か月)が要される。

設置に関しては、平均5.878tの周柱ドラムを例にとり試算したが、基壇と床舗装の部材数は、1167個で平均重量は1.82t、クレーンを使用するその他の部材数は周柱ドラムを除くと $7240 - 1167 - 522 = 5551$ 個で、平均重量は2.11tであるので、作業能率はもっと高かったに違いない。したがって、クレーンを必要としない部材の設置を、周柱ドラムの3倍、つまり1日で18個、クレーンを必要とする部材の設置を2倍、つまり1日で12個設置できるとする。すると、基壇と床舗装部材で $1167 \div 18 = 64$ 日が必要で、クレーンを用いて設置する作業が $5551 \div 12 = 463$ 日、これに周柱ドラムの設置期間184日を足して、立ち上げだけに合計で延べ711

日(23.7か月)、つまり約2年がかかる計算となる。

#### 7. まとめ

以上は、非常に単純な仮定の積み重ねで試算した結果である。1年の内には祭日による作業の休みや、暑さや寒さによる作業の休み、あるいはクレーンなどの破損による工事中断などが、あったものと思われ、個別の作業はこの試算による延べ日数よりも時間がかかったと思われる。しかし、石材の切出し、現場までの運搬、現場での加工、そして立ち上げの作業は同時平行で行なうことができるので、工事期間は当然延べ日数より少なくなる。

古代建築の実際の建設スケジュールについては、仮定の仕方ではいかようにも試算できることであるが、本研究は試算とスケジュールモデルのひとつとして、少なくともある程度の見当をつけることができたものと思われ、さらに将来の研究に続けたい。

注)

- 1) Dinsmoor, W. B. "Observations on the Hephaisteion" *Hesperia*, Supple. 5 (1941), fig.11 参照。
- 2) エレウシスのテルシリオンのプロストオン工事契約書、エピダウロスのアクレピオス神殿の工事契約書、エレクトイオンの工事再開に当たっての調査記録などいくつかの碑文が残っており、作業内容と日当や請負金額が記録されている。ただし、納期についてはどれにも書かれていない。
- 3) 注2 の上記碑文による。
- 4) Dinsmoor, W. B. "The Architecture of Ancient Greece" 3rd ed., New York, 1975, p.159.
- 5) Coulton, J. J. "Greek Architects at Work" London, 1900. pp.144-145.  
伊藤重剛他、「地中海古代都市の研究(58)―パルテノン神殿の構成部材について」, 日本建築学会九州支部研究報告 33号, 1992年 3月, pp.329-332.
- 6) これに関しては、伊藤重剛他、「パルテノン神殿の建設過程に関する研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)1993年 9月, pp.1181-2、伊藤重剛他、「パルテノン神殿の施工費用に関する研究」, 同上 pp.1183-4. 及び宮地弘治、「パルテノン神殿の構成部材について」平成3年度熊本大学建築学科卒業論文、また杉山元久「パルテノン神殿の施工費用に関する研究」平成4年度熊本大学建築学科修士論文を参照。
- 7) Coulton, *ibid.* plate 11.
- 8) Mylonas, G. E. et al. "The Acropolis at Athens: Conservation, Restoration and Research 1975-1983" Committee for the Preservation of the Acropolis Monuments, p.102, fig.14b.