

## 特別講演 I

# 地中海古代建築と構造

熊本大学助教授 伊藤 重剛

### 1. はじめに——建築と文明

ピラミッドに代表される古代エジプト建築、あるいはパルテノンのような古代ギリシア・ローマ建築は、古来人々に多くの感動を与えてきた。そして、われわれに常に文明とは何かということを考えさせる。一辺230m高さ142mのギザの第一ピラミッドは、機能的に言えばたった一人の人間のための墓に過ぎないものである。しかし、そのような単純な目的のためになぜこのような巨大な構築物が必要であったのか、われわれは思いをめぐらさざるを得ない。また、アテネのパルテノン(写真1)は、およそ2万トンものペントリコン大理石を用いて15年もかけて建設されたもので、ペルシアに対する勝利を記念したものである。これらの建築を目の当たりにするとき、人間の創造的行為の偉大さに感動するし、同時に建築技術の素晴らしさに目を見張るのである。こうした巨大で格式高い建築の存在は、人間が生きているということは、必ずしも実用のみの必要性によって生きているわけではなく、何かそれ以上のものの価値をわれわれに示唆している。何かを作るという行為は、われわれの存在の証であり、ならば如何に価値あるものを作り、後世に遺産として残せるかが、文明を持ちえるか否かの違いであろう。

古代建築の石やレンガの構造は、現代の構造力学のような理論に基づいているものではなく、少しずつ経験によって得られたものである。施工技術も経験によって得られた以外の何ものでもない。また、古代の建築は構造的効率よりもむしろ、格式の高さを重んじた。古代人にとって重要なのは効率の問題よりも美学の問題であった。ともあれ、構造力学に拠ると拠らざると、あるいは美学に拠ると拠らざると建設のための技術者は必要とされたし、現代と同様、彼らは自分たちの仕事に夢を託し、命をかけたのである。古代の技術者も新しい技術、難しい技術に挑戦し、常に新しい表現を求めていた。



写真1 アテネのアクロポリスに建つパルテノン(紀元前5世紀)、円柱ドラムの接合には木製太納が使われ、壁石の接合には鉄製の錠が用いられた。

## 2. 古代建築の構造的挑戦

### 1) 重量に対する挑戦——オベリスクの建造

石の比重は約 2.7 で、木材やレンガなどと比べ非常に重い材料で、その分、切出し、輸送、加工、施工の手間は膨大なものである。石を建築材料として用い、その特性を最大に發揮して建築としての表現を最大に引き出した最初で最高の建築者はエジプト人であろう。彼らの石の扱いは全く誤魔化しのない正攻法であり、壁でも柱でも全て無垢の石をそのまま積み上げる方法で、石というモノそのものに建築を語らせる。エジプトの建築は、近代建築でよく言われる「空間」という曖昧な言葉で表現されるものでもなく、まして薄切りにした化粧材としての石でもなく、正真正銘の石の塊そのまま、圧倒的な石の存在感を表現している。エジプト建築の中でも、その石の使い方を最も端的に示しているのがオベリスクである。

オベリスクは古代エジプトにおいてファラオの即位30年などを記念して建てられたもので、アスワン産の御影石（花崗岩）の単石で作られた細長い石柱で、神殿のパイロン（門）などの前に2本を対にして配置されたものである。通常の場合、細長い四角柱で先細りとなっており、先端はピラミッド形になっている。オベリスクはファラオが建てるものであったので、少しでも大きく高いオベリスクを建てたいと思うのは権力者の常で、現代でもより高い高層ビルを建てようとするのと同じである。オベリスクにおける重要な点は単石でなければならない点で、記念碑としてある程度大きなものでなければならず、当然重量は大きいものになり、建設は困難になる。しかし、その点がエジプトの建築技術者としては、切り出し、輸送、加工、施工など技術的な全ての局面において、その腕の見せ所であった。ともあれ、重量の点からオベリスクを見てみると、カルナックにあるハトシェプストのオベリスクは、29.7mで350トン、ローマに運ばれたトトメス3世のオベリスクは32mで450トンである。アスワンには切り出す途中で放棄された未完のオベリスク（写真2）があるが、これは底部が約4m角で高さが36m、約1150トンの重量がある。これらのデータから、古代エジプトで施工可能な重量は、輸送の可能性も含めて数百トンが主で、1000トンがその限界であったようだ。エジプト人がこれらのオベリスクを建てた方法は、現場に土を盛り、そこまで横倒しの状態でオベリスクを運び、底部近くの土を徐々に除去して土の斜面に従わせて次第に斜めにしながら、最終的に台座の上の定位置に建てるというものであった。一旦建ててしまうと訂正は利かないため、当然ながら、上下左右から綱を掛け、少しずつ調整しながらの作業で、非常に骨の折れる大仕事であったに違いない。ちなみに、建築の1部材として巨大なものは、レバノンのパールベックのジュピター神殿に用いられた、高さ10mの神殿のポディウム（基壇）の部材で、これもおよそ1000トンである。エジプトのオベリスクにしる、パールベックの基壇にしる、小部材を積み上げて作ることも当然可能であるが、敢てこれをしなかったことが重要で、大きな重い材料を単石で用いることに彼らが意味を見出していたことは間違いなく、またそこに技術者の夢もあったのである。

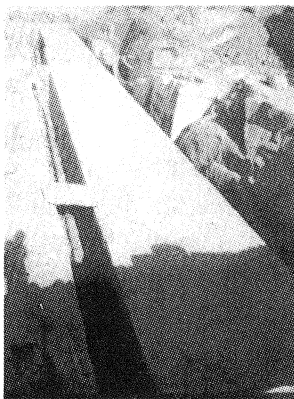


写真2 アスワンの未完のオベリスク

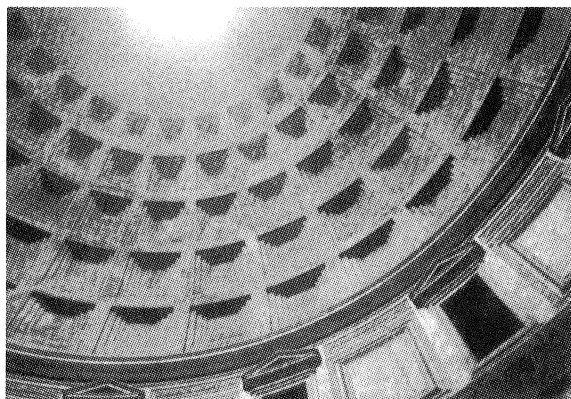


写真3 ローマのパンテオンのドーム（見上げ）

## 2) 空間に対する挑戦——パンテオンのドーム (写真3)

地中海古代の比較的古い時代にエジプト人やギリシア人が石というモノを使って、建築におけるモノのパワーを見せつけたのに対して、古代の最後にレンガとコンクリートを使って「空間」のパワーを表現したのがローマ人であった。石の建築で広い空間を作る場合、通常は梁をかけねばならないが、石の梁は精々頑張っても7~8m程度である。例えば、有名なアテネのパルテノン巨大神殿の部類に入るが、外側円柱のスパンは4m強に過ぎない。壁に囲まれた内陣部は15mほどのスパンであるが、天井を支える梁は石ではなく木造である。このように、梁を掛けることによって巨大な空間を作るには無理があった。

ローマ人は初期の時代からアーチ構造を知っていた。アーチは石やレンガの建築で、開口部の上部を円形にして荷重を左右に振り分け、楣を使わずに開口部を設ける方法である。これを3次元的に発展させるとヴォールトやドームになる。ローマ人は石造建築も作ったが、彼らの建築における創造性はコンクリートの発明とその最大限に有効活用したことにある。ローマのコンクリートは砂と石灰に骨材と水を混ぜたもので、壁体の表面にレンガを積み、これを型枠として内部にコンクリートを流し込むものである。

紀元2世紀、この方法でローマ人は古代で最大、空前絶後のドーム、パンテオンをローマに完成した。このドームは直径も高さも42.5mで、厚さ6mの円筒状の壁の上ののっており、中央には直径約10mの天窗が開けられている。ローマ時代にはそれまでも小規模なドームは数知れず作られてはいたものの、パンテオンの巨大ドームは突然出現した感がある。ローマ帝国が最高に繁栄していた時代であり、皇帝ハドリアヌスが自ら設計したともいわれるもので、技術がひとつに凝縮し一足飛びに飛躍して作られたのだろう。ローマ人はこのドームを足場なしで建設したとする研究者もいる。確かに、リングを重ねた構造としてドームを考えれば、重力でリングは縮まり、ドームが決して落ちることはないと考えることが出来るが、実際に足場無しで作られたかどうかは分からない。

## 3. ギリシア古代建築の構造とパルテノン円柱実験

さて、筆者は地中海の古代建築を専門とする建築史研究者であり、ここ10年ほどギリシアでの現地調査を行っている。現場で調査を行っている、さらに尽きない興味が湧いてくるのであるが、構造の問題もそのひとつである。ギリシア建築は切石を空積みしたもので、石材は水平方向では鋸、垂直方向は太柄で接合される(図5)。通常の場合、材料は鉄で、石との隙間に鉛を流して固定する。鉛はむしろ鉄より多く使われており、隙間を埋めるというより鉄の周囲を包んでいるという状況である。ギリシア建築の円柱は、初期には一本石で作られていたのだが、後になるとドラムを造り、これらを重ねて円柱にした。これは主に工事の利便性のためであったろう。しかしドラムによる柱は、地震による横荷重を受けたとき、ドラム同士がずれるであろうし、現存の神殿では実際にずれているものも観察される。例えば、アテネの古代アゴラ(広場)にあるヘファイストス神殿は、紀元前5世紀に建設されたものであるが、円柱ドラムの随所にこうしたズレが観察される。しかしながら、円柱ドラムはずれながらも全体として形状をとどめ、崩壊から免れているのである。これは現代でいう免振構造と考えてもいいだろう。

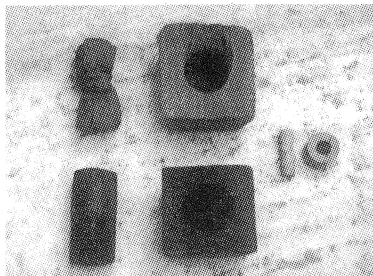


写真4 左はパルテノンの太柄、右は実験用の太柄

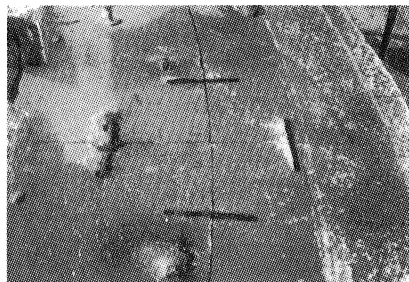


写真5 デルフィの円形建物に残る鋸

このような興味から、先年、アテネのアクロポリスに建つパルテノンの円柱について、構造の研究者と実験を行った。(後注)学会誌にも発表されているが、ここで改めて簡単に報告したい。パルテノン神殿は、アテネのアクロポリスの丘に、紀元前5世紀に建設された大理石造の神殿である(写真1)。正面幅30.88m側面長さは69.50mの巨大神殿で、作りは精巧を極め、古代ギリシア建築の頂点をなすものである。周囲を囲む円柱は直径1.8m、高さ10.4mで、高さ約80cmのドラムを11段積んで作られている。実験はペンテリ産の大理石による三分の一模型を用いて、円柱の施工実験と、中に施されている木製太柄(写真4)の構造的効果を検証するために行われた。

パルテノンに限らず、ギリシアの円柱ドラムの接触部分は、外縁部と中心部に限られており、中間部には隙間が設けられている。これら円柱の構造特性とくに地震力を想定した水平荷重下における円柱の構造特性を調べることは、建物の修復・保存方法を検討する際に、重要であるのみならず、当時の石造構造の設計思想を探る上でも興味深いところである。実験では、柱の構造特性に大きな影響を与えると考えられるドラムの接合部の仕上げの違い、つまり全面接触か外周部と中心部による接触かによる特性の比較を行い、ドラム接合部のせん断力および変形状について検討した。水平加力実験は、実験用ドラムを3段に重ね、上下をコンクリート製ドラムで押えて柱軸力に相当する軸力を加え、3段に重ねた大理石ドラムの中段ドラムにオイルジャッキで水平力を加えた。

実験結果を簡単に要約すると以下のとおりである。

- 1) 実物のドラムに採用されている上下面の接触方法、つまり外周部と中心部のみで接触する方法は、接合面全面で接触する場合に比べて、密着度の高い接合部を得ることが出来る。
- 2) 外周部と中心部をみの接合方法で接合するほうが、全面接触による接合より、滑らかな変形を起し急激な滑りを起こさない。
- 3) 木製の太柄は、急激な滑りに対するショックアブソーバの役割をするとともに接合部の耐力上昇へ寄与する。

切石を接合する場合、水平面であれ垂直面であれ、外周部だけを接触させる方法はギリシアでは初期から行われた方法である。筆者の現場経験から言えば、接合を外周部だけに限るのは、水平垂直の目地を隙間なく合わせるという、むしろ施工性の問題ではなかったかと思われる。ギリシアでは、地震は少なくない。壁や円柱に太柄や錠を使うことはギリシア建築の初期から使われているので、耐震補強および、不同沈下等による接合のずれに対する補強法として、経験的に学んだに違いない。パルテノン円柱では例外的に木製太柄が使われているが、通常は鉄の太柄を鉛で固めるという方法である。鉛は比較的柔らかい金属なので、まず鉛で力を吸収し、さらに大きな力に対しては鉄で負担するという役割分担をして、木製太柄と同様にショックアブソーバの役割を果たしたのかも知れない。

#### 4. 最後に

現場で実際に調査してみると、太柄と錠で緊結された古代の石造建築が多少の地震などで倒壊したとはとても思えない。中世に鉄を取るために人為的に破壊されたものだろう。種々の原因で、古代建築はそのほとんどが既に破壊されて存在しないが、ピラミッドやパンテオンのように千年以上の時間の試練を受けながら、まだ十分健在な建築もある。おそらく1万年以上の寿命を保つかも知れない。現代の建築でも、せめて千年の建築は出来ないであろうか。21世紀の建築も20世紀と同様、基本的にはコンクリートと鉄によって作られることになるだろうが、千年後、2千年後まで寿命のある建築が作れるだろうか。21世紀の課題である。

注) 三井宜之、伊藤重剛(以上熊本大学)、須田清隆(關ハザマ)他、「パルテノン神殿の柱ドラムの接合部に関する実験的研究」、構造工学論文集 vol.39B、1993年、3月p.233-243。