

ギリシャの古代構造物における免震構造

Seismic Technology of Ancient Structures in Greece

池田 尚治* 伊関 治郎***
下田 郁夫**

まえがき

いわゆる免震構造がアイディアとして出されたのは1906年のサンフランシスコ地震の災禍を動機に、地震動から建築物を守る方法として英國の医者が考案した滑石による滑り免震構造の特許が文献の記録上で最も古い。

しかし、免震構造の実用化には多くの課題があり、発展をみなかった。本格的な実用化に至ったのは1970年代にフランスで積層ゴム支承が開発されてからで、地震工学ならびにコンピューターと解析技術の発展により、ここ20年間で急速に今日の普及をみたわけである。

前述のとおり免震技術はせいぜい100年の歴史、実用化して20年の歴史しかないことになるが、本当にそうであるのか、実はそうでもないようである。

筆者の一人が数年前に初めてギリシャを訪問し、数千年前の古代建造物を目の当たりにしたときの感動は今も深く記憶にある。そして、風化に耐え今なおその姿を当時のままに保っていることと同時に、地震国であるこの地にあって震災から逃れていることに驚かざるをえない。一見石材を単に積み上げただけの構造のようだが、そのような考えは、コリントの石柱の一部である鼓洞（ドラム）の接合断面にホゾが彫られ、その中に鉛材料と思われるホゾの一部を発見してから覆された。そのとき、現代のいわゆる免震構造に通じる英知がこれら古代建築物に導入されていたのではないかとの思いがよぎった。

ここではギリシャの古代建築物に免震構造の存在を確かめようと意図から、現地調査を行った結果を報告する。

1. 古代ギリシャの地震

ギリシャ地方の地震活動は、ユーラシアプレートとアフリカプレートとの干渉によるものとされている。イベリア半島西方のアゾレス諸島から東に走る地震帯はイタリア、アドリア海を経てギリシャに至るが、クレタ島の南部のイオニア海溝に止まらず、ギリシャ内陸全面で活発な地震活動がみられる。アテネを中心とした200km以内の地域における西暦1000年以前の、マグニチュードM7（推定値）以上の地震の震源分布を図-1に黒丸（●）で示す。

また、上記地域内の1949年～1999年におけるベロボネソス半島近隣のM7以上の地震記録を図-1に白丸（○）で示す。

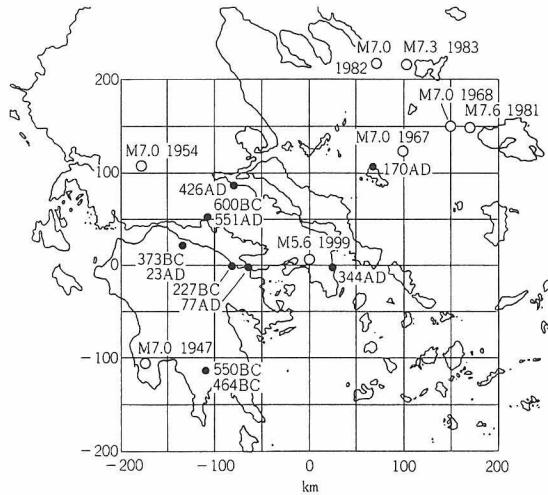


図-1 ギリシャの過去の震源

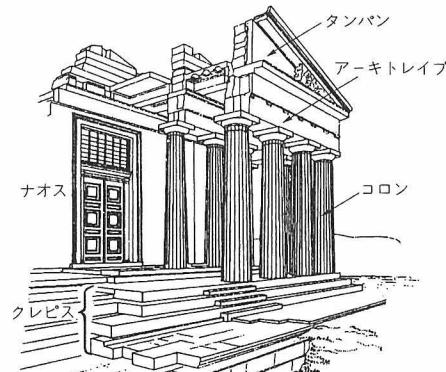


図-2 神殿建築の基本的構造

2. 石造構造物の接合方法

アテネのパルテノン神殿に代表される古代ギリシャの建築は空積みの石積み構造であって、モルタルあるいは接着剤のような材料は使用されていない。石材相互の接合部には木材、鉄、鉛などを用いたクランプ（カスガイ）やホゾ（ダボ）が使用されている^[12]。これらの石積み構造は、石材の自重による摩擦力と接合材の効果によって、2500年以上の長期にわたって石積み構造の安全性、特に耐震性が維持されてきたことは驚くべきことである。

神殿建築の基本的構造は図-2のように基壇（クレピス）と基壇の周囲に立つ円柱（コロン）、そしてその上に載る

キーワード：調査、材料、石造構造物、ほぞ、クランプ、鉛

*横浜国立大学 工学部 建設学科 教授
**オイレス工業㈱ 免制震カンパニー 取締役
*** タクミ相談役

梁（アーキトレーブ）とからなり、神殿の置かれている主室（ナオス）を取り囲んでいる^{3)~6)}。

基壇および梁は大理石の角材を組み合わせて構成され、クランプあるいはダボで結合されている。

微妙な膨らみ（エンタシス）と表面に縦方向の溝（フルーティング）を持つ円柱は、パルテノン神殿においては直径約1.9mの大理石の鼓腹（ドラム）を12個積み重ねた構造であって全高約10.4mである。各々のドラムはダボによって結合されている。

クランプは鉄製のカスガイで、主に石材の水平方向の結合に使用されている。遺跡調査では、鉄のクランプが腐食により消失し、鉛だけが残存している例がしばしば発見されている。

ダボ穴などへの鉛の充填方法は文献1)に詳細に記述されているように、石積みの最終工程で溶けた鉛を石材に設けた溝から流し込んだと思われる事例が多いようである。ダボの材料は木材あるいは鉛で被覆された鉄材で、上下方向の石材の結合に使用されている。

もう一つの重要な接合要素は、円柱のドラム相互の面接触状態である。パルテノン神殿の直径1.9mのドラムは、断面の外周部の幅30cm程度の部分と、中心部の直径30cm程度の部分が研磨されていて接触し、残りのドーナツ形の中間部分は隙間を設けるよう削り取られ接触しないようになっている。

この加工により接触面の密着度をよくし、安定した摩擦力と、ドラム相互の回転抵抗の増加が図られていると思われる。

さらに、木材のダボあるいは鉛は地震時の水平力によって摩擦が切れたときに変位制限装置として働き、また塑性変形することによってエネルギー吸収に寄与するであろうと思われる。

そして、そのとき木材も鉛もその適度な柔軟性によって周囲の石材に割れなどの大きな損傷を与えないといった機能をも持っている。

3. 現地調査

古代ギリシャの石造構造物ならびにそれらの耐震性に関する研究は既に多く行われている^{7)~12)}。しかし、これらは主としてアクロポリスのパルテノン神殿の接合部に関する研究である。筆者らとしては前述の鉛入りホゾとの出会い以来、パルテノン神殿のみならずもっと歴史をさかのぼって石造構造物の接合部における鉛の使用、ひいては現代に通じる免震技術の存在を確かめたいとの目的で調査団を結

表-1 調査団参加メンバー

氏名	会社名・所属先	役職
池田 尚治(副長)	横浜国立大学 工学部 建設学科	教授
伊 閑 治郎	オイレス工業(株) 免制震カンパニー	相談役
下 田 郁夫	オイレス工業(株) 免制震カンパニー	取締役
本 間 洋一	横浜ゴム(株) 平塚製造所 工業資材技術部	部長
御園生 静栄	八千代エンジニアリング(株) 耐震保全部	設計課長
須 田 清隆	(株)ジオスケーフ	取締役部長
井 上 清孝	ニッタ(株) 奈良工場	技術課長
葛 蘭 直美	(株)ノナガセ 営業本部	副本部長



写真-1 パルテノン神殿

成し、ギリシャ各地の現地調査を行うこととした。調査団の構成は筆者らの3名のほか、表-1に示す計8名からなる。平成12年8月27日から9月4日の9日間にわたり調査を行った。調査の道程はアテネを始点に、まずデルフィーへ、そしてアンテリオーリオをフェリーで渡り、アテネの西側に位置するペロポネソス半島を反時計周りに踏破する道程である。以下に調査道程に従い報告する。

3-1 アテネ（文化庁アクロポリス研究所、アクロポリス） 1) 文化庁アクロポリス研究所

アテナの女神に敬意を表し、アクロポリスのパルテノン神殿（写真-1）から調査を開始した。現地調査に先立ち、アテネ市内の文化庁のアクロポリス研究所を訪問する。研究所では文化庁のマンティス氏の説明によると、パルテノン神殿の現在の修復は、第二次世界大戦後に行なった修復がホゾに直接鉄を用いたため鉄の錆による膨張力により大理石にクラックが発生したことに対する処置が主であるとのことであった。この対策として現在ドイツと日本から取り寄せた高価な材料（チタン合金）を用いて取替え工事を行っている。

再現修復においてはヨーロッパのガリ（絵書き屋）が2世紀に書かれた旅行者の本から想像し、バラバラの部分の組み合わせたスケッチを作った。今もこの資料に基づき修復が行われているという。当時は大理石に色彩が施されていたようだ。色は青と赤が用いられ植物性と鉱物であった。

2) パルテノン神殿

パルテノン神殿の修復現場では文化庁のイオアニディス女史に案内いただいた。女史によると、1978年に行なわれた第一期の修復工事ではバラノス（人物名）が間違えてというよりは適当に大理石を組み立ててしまったうえに鉄のホゾの周りに鉛を用いないで直接鉄で大理石を結合したため、前述のように大理石にクラックが発生する事態となった。現在、すべて解体し組立て直す作業を行っており、そのときの鉄の接合材（カスガイ等）も撤去している。

現在鉄製カスガイに代わり用いているチタニウム製ダブルT字形カスガイのサンプルを写真-2に示す。

西側の大門（プロピュライア）に登り修復途中の梁接合部のチタン製カスガイを挿入するホゾ加工状況を見ることができた（写真-3）。

手すりのない高所からのアテネ市内360度の眺望は足の

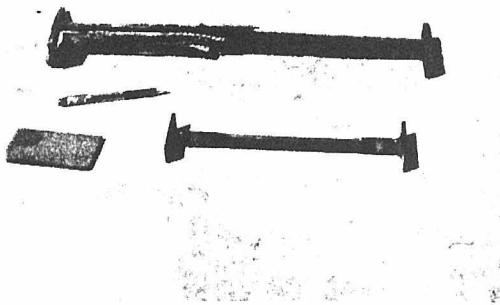


写真-2 新旧のT型カスガイ (旧のものは鉛の被覆あり)

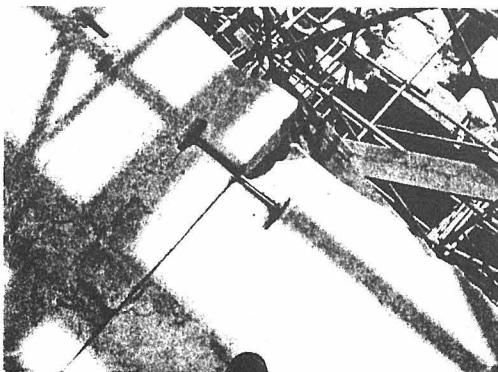


写真-3 チタン製T型カスガイによる最新の補修

震えを感じながらもなかなかのものであった。また、ここには鉛の平板が多数見られたが、これはワイヤで大理石を吊り上げる際角を損傷しないための当て板に用いるとのこと、鉛がここでも活躍していた。

修復作業事務所のわきには組立てを待つ建築当時の柱の一部などが整然と保管されている。ここで遺跡のダボ穴に残る鉛を発見することができた。鉛は梁と梁との接合部および柱を形成する鼓洞（ドラム）の接合部に露出している。その外見は構造物が破壊したときせん断されたかのような断面（写真-4）を示しており、鋭角な凹凸がはっきりと見てとれる。遺跡の風貌からしてこの鉛は建設当時からここにあることは疑いの余地はない。すなわち二千年前には構造物の接合材として用いられていたということと、そのとき鋳込まれた鉛が今なお鉛の姿で存在していることである。

パルテノン神殿の方に足を進める。神業としか思えないような巨大な石造建築に目を奪われる。同時になぜこうもぼろぼろに破壊されているのだろうかとの疑問が浮かぶ。パルテノンはBC435年から建設が始まったがペロポネソス戦争により完成の日を見なかった。1640年に近くの火薬庫に落雷し爆風により破壊された。その後修復したようだが、1680年のモロジーニの戦いにより再度破壊（1687年）され、1803年に柱の部分・柱上・壁部分が英國に持ち去られた。1975年バラノス氏が修復に鉄を直接用い適当に組み立ててしまった、以後クラックが発生し、現在の鉄を取り、チタンを用い初めからやり直す仕事となった。チタンの使

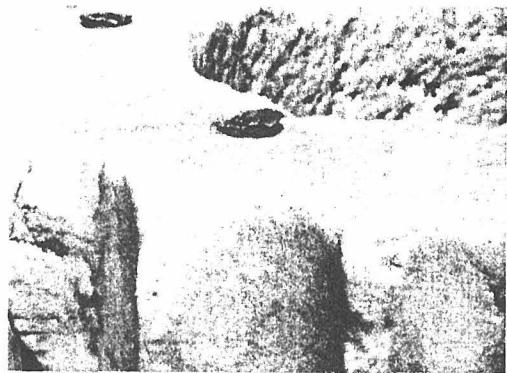


写真-4 ドーナツ状の鼓洞に鉛のホゾを有する

用の際には大理石とのギャップの充填材にはモルタルやシリカ系のものを用いており、樹脂類は一切使用しないとのことであるが、充填材にはやはり鉛を流し込んだ方がよいのではないかとの疑問を持った。前述の歴史を鑑みると、先の鼓洞に露出していた鉛（写真-4）は少なくとも300年以上屋外に暴露されていたと考えられることから、優れた耐候性に改めて感心した。

1999年9月にあったM5.6の地震では（震源の加速度は800Gal）、梁と梁の間で5mmほどの移動が観測されたそうである。この時パルテノン神殿の直下での加速度は500Galであった。

パルテノン神殿の内部の修復現場を文化庁のトガニディス氏に案内いただいた。現場にはこれから組み上げようとする新製の柱の部分（ドラム、写真-5）が古代のものを忠実に再現し置いてあった。直径1500mmもあるドラムの断面は外周部が幅200～300mmと中心直径300mmほどの部分が研磨されており、ドーナツ部分が面落としされ接触しないようにされている。この構造は上からの荷重に対して均等に支持でき、また地震時の動きに対して回転を防止するのに有効だそうだ。中心で接触するよりは外周接触の方が回転抵抗が大きいことによると理解できる。ドラムは組み上げた後、イオニア式の特徴である20面の縦襞の加工が施される。20面の割出しについては五角形をコンパスで描いた後、それぞれ2分割を2回繰り返して得られる。90度から2分割して得られる16面では大きすぎ、32面では細かすぎるとの美的感覚から20面が採用されたかどうかは

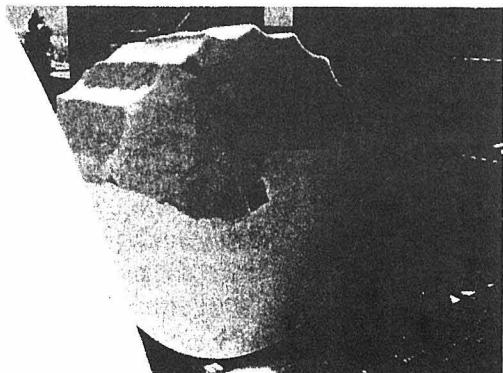


写真-5 補修済みの鼓洞

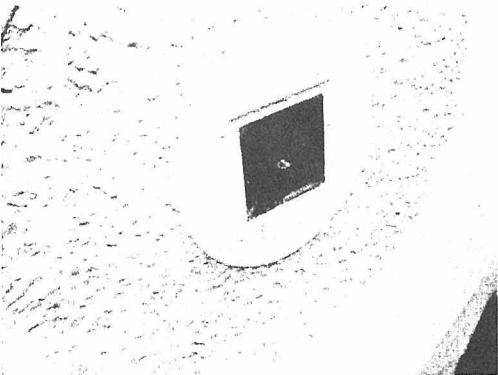


写真-6 鼓胴の中心のホゾ穴と面加工状態

わからない。

中心の四角形のダボ穴金具は一辺が約50mmで、中心にはやはりチタン製のダボが挿入される（写真-6）。ダボとダボ穴のクリアランスは1.2mm設けてあるとのこと。このギャップにはモルタル等を注入しないようである。

なお、ドラムの面仕上げにおいて当時どのように水平を出したかは今なお不明である。我々に最も関心のある今を溯ること2500年前の鉛を入手し分析したいと提供を申し出たが、大量に石材と一緒に倉庫に収納しており、取り出すのに手間がかかるとの理由で提供を断られた。

3-2 デルフィー（トロス、アポロン神殿）

1) トロス

ペロポネソス半島への調査の出発である。今日1日でアテネよりバスで400kmのキャラバンを踏破しなければならない。しかもほとんどが山岳道路のことである。

途中アラフォバの町を通る。アラフォバは海拔1000mで冬期は非常に寒いところ。ジュータン、ワイン、白いチーズの名産地であり、冬はスキー客で賑わうらしい。また、10~11世紀にアラブ人が来てクルミやアーモンドの産地ともなっている。アラフォバはアラブ語でクルミの意味である。

トロスに到着。遺跡まではバスを降り徒步にて坂道を下る。非常に暑い。ペットボトルの水無しではとても体がもたない。山の斜面に位置し非常にこじんまりした場所にトロスの遺跡はある（写真-7、8）。

ここにもホゾを使用した実例が多数確認される。大理石に残るホゾ穴に鉛らしき物質を発見。ホゾの心棒であったと思われる鉄（既に存在しないが）の周りは5~10mmの鉛のかぶりが見られる。最初は外見が青銅の腐食した色に似ているため鉛かどうか（銅？）か半信半疑であった。まずポケットの硬貨でたたいてみると比較的堅い物質の音がした。密かに硬貨で表面を擦ってみたが最初は歯が立たない感じである。やはり青銅かと一瞬がっかりしたが、もう一度力をいれ擦ってみると今度は堅い表面の一皮（といってもコンマ何mmのオーダー）下からキラリと銀色（純鉛色）の、削り具合の感触からも鉛と確認できる姿が現れた（写真-9）。

2) アポロン神殿

デルフィーの遺跡は広大である。至るところホゾ穴の残

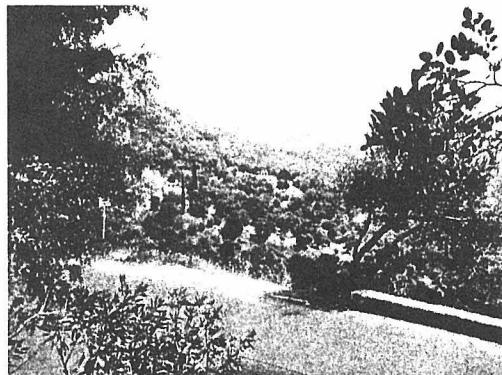


写真-7 トロスの遺跡のある地形



写真-8 トロスの遺跡

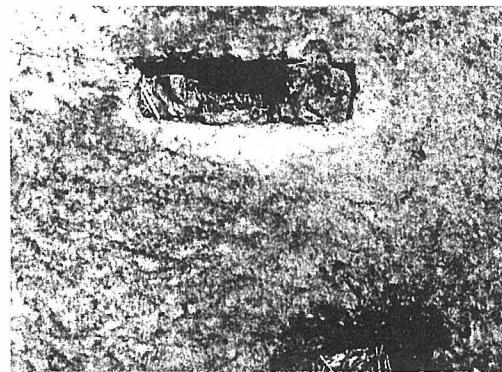


写真-9 ホゾ穴に残る鉛と中心のホゾ跡

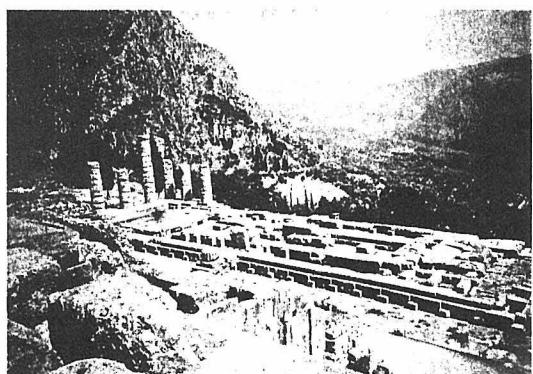


写真-10 デルフィーの遺跡と石材群

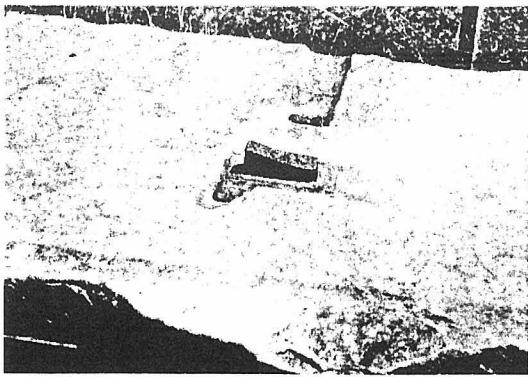


写真-11 ホゾと周辺の鉛の状況 (鉛を流し込んだ形跡)

る石造物が目につく (写真-10).

ホゾ穴には鉛と思われる (後に硬貨にて鉛と確認) 物質が残っている。それらの中にホゾの構造の姿をそのまま残しているものを発見した。鉛の流し込んだときの様子がうかがえる。長辺が約100mm、短辺が約40mmの鉛が充填されたホゾ穴の中に鉄もしくは青銅のホゾが現存していた。ホゾの寸法は厚さ約15mm、幅が約70mmであった (写真-11)。

このように完全な形で見られるとは思いもよらなかった。ひょっとすると2000年か3000年振りに見せた生の鉛か? アテネのパルテノン神殿に続き鉛の耐候性を証明する貴重な証拠を得た。それにしてもバスに戻る上りの坂道は暑いうえにきつかった。でも貴重な成果を得たので苦労の甲斐があった。

これだけ鉛がホゾ穴の中で目にすることができるということは、石造建築構造の実現すなわち石を組み上げて構造物とするには石と石の結合に鉄と石の緩衝材としての鉛を使用することが古代ギリシャ当時の常識であったのであろう。偶然に現代の免震構造の観点から評価されるだけでなく、おそらく地震によって起こるであろう石造物の相互作用による破壊を防ぐ目的がはっきりとしていたのではないかと推察する、紀元前(日本ではまだ石器時代)に自然災害に対する相当の英知が培われていたことに驚かざるをえない。

また、円形劇場 (写真-12) の音響効果技術にもびっくりさせられた。現代ではコンピューターシミュレーション



写真-12 デルフィーの円形劇場遺跡

や模型実験での検証が必要と思うし、各種の材料を駆使して試行錯誤で完成させているものを、何トン何十トンという大理石を使うわけであるから試行錯誤を繰り返すさずにおそらく一度で造り上げたのではないかと思う。

野積みされている石材を隈なく観察、その中に鉄の心棒と周辺の鉛がきれいに残っているものを多数発見した。その代表的なものの断面に紙を当てなぞり書きして寸法を測ったところ、ホゾの寸法が45mm×65mm(鉛の外寸に相当)、中心の鉄芯寸法が10mm×55mmであった。トロスで見掛けたものの寸法と少し異なる。トロスのホゾは青銅であるためなのかななどと考える。

デルフィの遺跡調査を終え次の視察地のアンテリオに向かう。途中に現在のデルフィの町(村)を通過。ここは海拔550m、山の傾斜地に肩を寄せ合うようにレストランやお土産屋さんが狭い道路の両側に立ち並ぶ。バスがすれ違うとなると大変である。右手の山側には階段道路がいくつもあり冬のスキー客用のホテルらしき建物が小奇麗に建っていた。このデルフィは富山県利賀村と姉妹都市の関係を持つとのことである。少しバスを走らすと、かなた右下に海を見ることができる。デルフィの遺跡場所は思ったより海に近いところにあった。近いからこそ海賊に襲われないように海上からは見えない場所に神殿を建設したと言われている。海に向かってさらにヘアピンカーブを下ると一面にオリーブ畑が広がる。300万本のオリーブの木があるらしい。オリーブ畑と聞くとロマンチックな感じがするが、木も土も乾燥しており、どこにでもある雑木林の感じであった。オリーブ畑を過ぎると海岸線に沿る途中一面赤茶けた山肌が見えてきた。ボーキサイトの採掘と積み出し港である。右手に海を見ながらひたすらバスは走る。

3) アンテリオ—リオ橋

アンテリオに到着、アンテリオ—リオの海峡に建設中の橋梁を視察する機会を得た。ビジターセンターを訪問、フランス国籍の女性が我々を迎えてくれた。工事はまだ始まったばかりで、海底上の基礎工事準備段階の様子である。基礎は石油掘削リグ構造と同様海底の定盤に固定せず着定させる構造がとられている。筆者らの感想では“橋梁技術者にとって目から鱗が落ちる感がある”。これによりかなりの建設コスト削減が行われているようだ。帰り際に全員のビジター訪問署名を残した。このプロジェクトへの日本人調査団の訪問は我々がはじめてとのことで、あえて日本語の感想と漢字署名をしてきた。案内の女史は誰が日本語を訳すのだ!と冗談交じりで戸惑っていたが、彼女が言うには現場の課長の奥さんが日本人なので訳してもらうとのことであった。

現場事務所を後に急ぎフェリーに向かう。フェリーはもう港に係留され車が入り始めていた。我々は比較的タイミングよく到着できた。乗用車3台、トラック2台が乗り切れず残された。ほんの15分ほど地中海クルーズ気分を味わった後に対岸のリオに付く。アンテリオのアンテとは対岸を意味する。今日の宿泊地オリンピアまで余すところ120kmの道のりをバスはひたすら走る。ほとんどの人はしばしの居眠りに入っている。暑さと遺跡めぐりのアップダウ

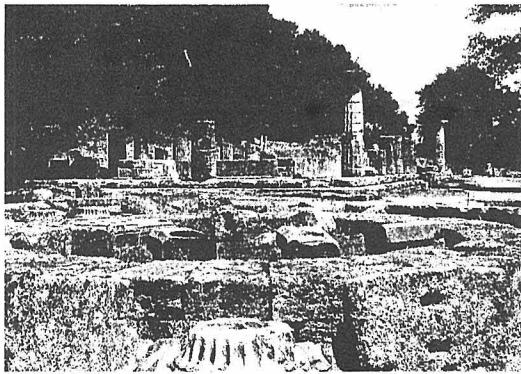


写真-13 オリンピアの遺跡

ンの徒歩が効いている。日の沈む時間にさしかかっている。リオの夕日はきれいなことで有名らしい。となると寝ないでサンセットを見とどけないわけにはいかない。太陽はオレンジ色から赤色に変化しその形状は大きくなり、ザキントス島に隠れはじめ、日没となった。

3-3 オリンピア（ゼウス神殿）

朝やや肌寒さを感じる。8時ホテルをチェックアウトし出発。オリンピックの開催年に発祥の地オリンピアを訪れる事になり感慨深い。オリンピアはBC5～6世紀に建設された古代オリンピック発祥の地の一つ（計4個所ある）。第一印象は、もちろん歴史的に古いのであるが、正に廃墟といったところ（写真-13）。

ローマ帝国に支配されたとき偶像崇拜の禁止により破壊され、その後地震による破壊、そして2本の川の氾濫により埋没した（バッセに向かう途中その川の一つであるアリフィオス川を横切ったが幅100～150mで水量は少なかつた。この川はペロポネソス半島では一番大きくギリシャでは6番目とのことである）。発掘の段差より見ると、およそ7mの土砂が遺跡を覆っている。この川の氾濫で埋沒したことにより、遺跡が盗難等から保護されたと言われている。ここにもホゾ構造が一般的に用いられていたようだ。ここでも期待どおりホゾには鉄の角形心棒とその周りに鉛の存在が確認された。

3-4 ヴァッセ（アポロン・エピクリオス神殿）

オリンピアを出発、バッセのアポロン神殿に向かう。オリンピアからアポロン神殿への道程40kmはほとんどが山中である。日本でいうとあたかも伊豆のスカイラインを走っているがごときである。山々は白い岩肌がむき出してまばらに低木が茂り斑模様を呈する。ギリシャのこのあたりの山々すべてがこのようである。

アポロン・エピクリオス神殿に到着。アポロン神殿は現在修復中で全体がサーカスのショーで見るテントで覆われており、風雨から保護すると同時に修復の作業性に考慮してある。見学者は少なく我々以外は十数名、地理的に通常の観光コースには含まれていないそうである。もちろん日本人は我々以外にいない。この神殿は近くのフィガリア村の人たちが（120人程度の人口）、エピクリオスが当時の疫病を退治したことに感謝するために建設したこと、アテネのパルテノン神殿（BC432年）を設計したエクティノ

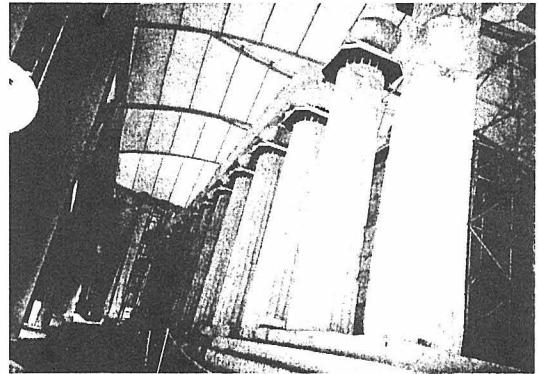


写真-14 補修のためテントに覆われたアポロン神殿

スが招聘され建設した。パルテノン神殿の10年後のBC421年のことである。エクティノスは当時大森林であったこの地を見て大いに感動し建設を引き受けたということである。しかし、地震と侵略により破壊され廃墟となり、フランスのブッセールが1765年に発見し発掘を開始した（写真-14）。

さて、肝心なホゾ構造と鉛使用の調査である。この遺跡は比較的古代の姿を残しており柱基礎のホゾ露出部の観察は困難かと思ったが、幸い（？）に1、2個所それらしき個所を発見した。柱底部のホゾ周辺に鉛と思しき物質の存在を確認することができた。

また、基礎石積みの水平結合部には鉄製のカスガイで固定されている部分があり、その周辺には鉛が充填されているのが確認できた。しかし、これは比較的近代（1765年発掘当時）に補修されたものと推察される。神殿長辺が南北で柱数は15本、短辺が東西で6本と当時の柱本数で構成されており、柱の形式には三様式（ドーリス式：外、イオニア式：中、コリント式：奥）が用いられている。神殿は通常東西に長辺の形状とするが、立地の地勢からここは南北とし、祭壇は北に位置する。またメトーピ等は神殿外部に配置されるのが普通であるが、ここでは神殿の内部に置かれていた。このラピタイ族とケンタウルスの闘いの大大理石彫刻は現在大英博物館にあり、発掘したブッセールが売ったと言われている。この神殿を見て最初に感じたのは石材が大理石でなく一見粒度の粗い砂岩のように見えたことである。ガイドに確認したところ大理石（ペンデリコン産）はメトーピ等の一部に用いられただけで、柱等はこの近くで採掘したライムストーンであるとのこと。ライムストーンには石英質の筋が多数走っている。テントの外には大理石の破片が多数整理され（といってもどこの部材かは我々には皆目わからないが）置かれていた。その中にもホゾの構造がよくわかるものがあった。

調査後、昼食をとるために近くのアンドリッチャ村（アポロン神殿より14km）に寄る。この村は標高1100mにあり、交通の要所となっており現在の人口は1200人だそうだ。途中山すそに日本の段々畑を思い浮かべる多数の段丘が構築してあるのが見られる。近代に構築した様子ではなく古き時代に工事されたと推察する。今は耕作されている様子はまったくない。かつてこの辺りが森林地帯の時代に治山のためか耕作のために構築されたと想像する。

村を横切る通り沿いの唯一のレストランに席をとる。といつてもレストラン向かいの道路沿いの空き地にテーブルを並べたところで、なかなか落ち着いた良い雰囲気である。道端に二抱えもある大きなプラタナスの木があり、幹の真ん中に鉄パイプが突き出て冷たい水がとうとうと流れている。不思議なことにパイプの後を覗いても給水パイプが見付からない。どういうふうに給水パイプが通っているのだろうか。昼食後のフルーツを注文したところそういうものはない！隣の八百屋で買って勝手に食べろとのこと。昼食前の冗談が本当になってしまった。なんと大らかなところか。

昼食後ナフブリオに向かって出発。今日の宿泊地までまだ約100kmの走行である。またまた伊豆スカイラインのごとの道程である。突然山肌が一面黒く焼け爛れた景色が目に飛び込んできた。なんとここはニュースで見た中部アルカディアの山火事現場である。5日前（我々の日本出発が27日だが25日に消火、旅程変更を強いられるか危うかった）によく7日間の炎上を消火したそうだ。山をいくつも越えても凄まじい爪痕が続く。民家のすぐ側まで焼け跡が見える。必死で消火したであろう状況がありありと想像できる。

3-5 ミケーネ（アガメムノン王宮、石室式墳墓）

1) アガメムノンの王宮

ナフブリオを出発、ミケーネに向かう。ナフブリオは古代の王の名前で、その息子のパラシディは大変な発明家であったらしい。天秤などがその一つである。オリーブ畑の続く街道を通り現在のミケーネの町を通過する。小じんまりとした町である。このミケーネや先のオリンピアの町は世界的に知られたところであるが、いずれも小さな村である。この辺りがあのミケーネ文明発祥の地とは想像し難い。村の中央辺りにミケーネの発掘当時シュリーマンが宿泊していたホテルが現存している。二階建ての日干し煉瓦造り様の建物である。ミケーネ王アガメムノンがトロイと10年におよび戦った。世にいう「トロイ戦争」はホメロスの叙事詩『イリアスとオデッセイア』に記されており、これを史実だと確信したシュリーマンが1872年からの発掘調査により実在を証明し、古典古代に先立ち開花していたミケーネ文化の存在を世界の人々の前によみがえらせた。その様子は彼の著書『栄光への道』に書かれている。

ギリシャの文明はアテネとクレタ島の中間に位置するキクラデス(BC1800~2000)が発祥地で、その後ここからミケーネに文明が移った。

現在の村を外れた辺りに急勾配の山がそびえ立つ。その手前に小高い丘状の地形がある。バスを降りその丘に続く道を歩き始めると、最初に城壁が目に映る。表面が風雨にさらされいかにもごつごつとした石が組み上げられており、歴史を感じる。

この城壁の石積みはケプロブス（人の名前）方式と言われ、エジプトのピラミッドと同じ構造であるらしく石を多角形に加工して組まれている。日本の城郭もそうではないか。日本の城郭構造の起源ここにありということか。さらに足を進めると右手に有名な「獅子の門」が威厳を持って



写真-15 ミケーネ遺跡と獅子の門

我々を迎えてくれた（写真-15）。

おそらく100トン以上はあろうかと思える一枚石を3個箱型に組み、そのマグサ石の上に獅子が対面するように彫られた三角形の巨石が載っている。この三角形状は上の荷重を左右に分散させる意味があるという。またも古代の英知に感心させられる。獅子の門をくぐると右手に円形に石積みされた王家の縦穴式墳墓がある。シュリーマンはここで黄金のマスクを発掘した（写真-16）。現在このマスクをはじめ数々の財宝はアテネの国立博物館に保存されている。シュリーマンはアガメムノンのデスマスクと信じたようだが別物との議論がある。

さらに丘の上に向かって登る。この一帯がアガメムノン王の王宮跡と伝えられている場所である。円柱は一本も見当たらない。柱があったような円形の石基礎が確認されたが、残念ながら余りにも廃墟化したこの遺跡にはホゾ穴等の鉛を使用した痕跡は発見できなかった。

ここから眼下にアルゴリスの平原が広がる。ミケーネには紀元前3000年から人が住んでいたが、その原因是この平野が肥沃だったこと、統治者が優れていたこと、そして景観が素晴らしいことにあると言われているとおりである（写真-17）。一見石の山としか思えないここには、井戸が今なお現存し水が存在しているのには驚かされた。

2) 石室式墳墓

王宮跡をくだり道をへだてた所に石室式墳墓がある。別名その内部形状から蜂の巣型墳墓とも言う。ここは「アトレスの宝庫」と呼ばれ、遺跡からはおびただしい黄金細

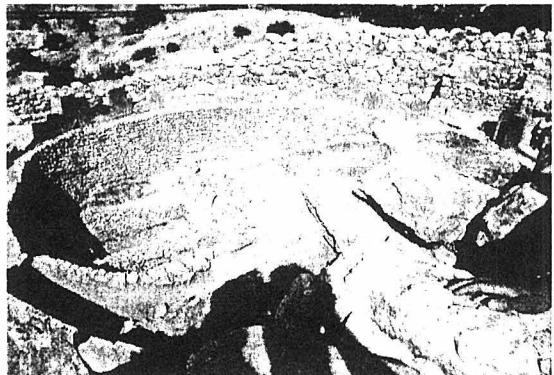


写真-16 シュリーマンの発掘した円形墳墓



写真-17 王宮跡から遠くアルゴリスの平原を望む

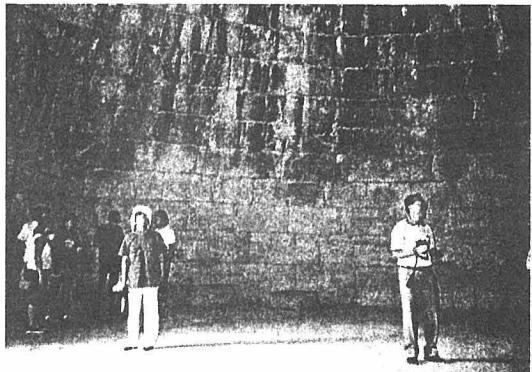


写真-19 蜂の巣型墳墓の内部

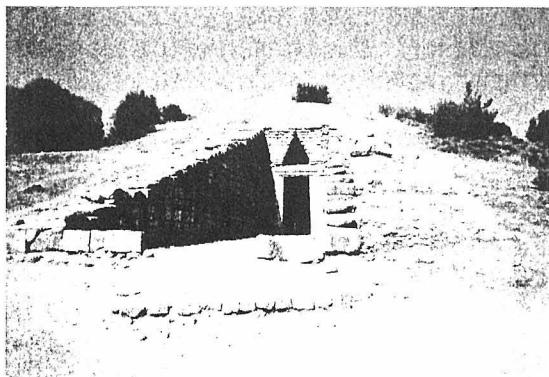


写真-18 石室式（蜂の巣型）墳墓とマグサ石

工が発掘された。外見は日本の円墳を思わせる地形である。内部は正に名の通り木からぶら下がった蜂の巣をくり貫いた形状である。底面の直径が14.5m、高さが13.5mの空間を形成している。入り口の上には一本の巨大なマグサ石が置かれ、上部の荷重を支え入り口の開口部を形成している(写真-18)。マグサ石の重量は120トンもあるという。

内部壁面の石積みに(写真-19)、もしかすると、との期待をもってカスガイの存在を探したところ、あったのだ！石積みの間に鉛を用いたカスガイを発見した。今から三千数百年前に構造物の部材として鉛が使用されていたのがここに確認されたのである。その使用の意図はわからないが、石と石の緩衝材(温度伸縮に対するものか地震動に対するものかわからないが)としての機能を期待したのではないかと推測する。そうであるとすれば既に免震構造部材として鉛が使用されていたということになる。その鉛が三千年を経た今も健在であり、機能し続けていることは驚きに値する。少なくともミケーネ時代に構造物の接合材料として鉛が使われていたとの確認ができたことは大きな成果である。

3-6 コリント（アポロン神殿、ポセイドン神殿、コリント運河と可動橋）

1) アポロン神殿

鉛発見に気を良くし、ミケーネを後に本調査団の最終調査地であるコリントに向かう。アテネから86km 西方のペロポンネソス半島にコリントは位置する。石灰岩の岩山アクロコリントが見えてきた。山上にはトルコに支配された



写真-20 コリントの広大な遺跡

ビザンチン時代やベネチア時代の要塞等の遺跡があり我々からは大変な歴史物と思うが、ここでは気にも留めないし邪魔な存在のようだ。その山の麓に古代コリント都市の遺跡がある。この遺跡は紀元前6～8世紀に富み栄えた古代都市で、アゴラを中心にアポロン神殿の円柱など様々な遺跡が残っている(写真-20)。

高台に建つ紀元前6世紀中ごろに出来たアポロン神殿には、38本あった石柱のうち7本が厳然と立っている(写真-21)。真っ先にそれら石柱の一部石の欠け落ちた部分に駆け寄り観察した。しかし、残念ながら鉛は現れていなかった。元々からないのではなく鉛は使用されていたが何かの目的で外部から穴を空け火であぶり溶かしたか、えぐり取った形跡が見られる。ここでもホゾに鉛が使用されていた可能性が高い。

辺りを見回すとこの遺跡はかなり広いのに驚かされる。それにしても巨大な建造物があったと思われる場所には基礎石があるだけで、その上にあったと思われる石造物の形跡がまったくない。その理由は、ローマ時代に被った震災の後、ローマ人が一夜のうちに完全に破壊し大理石材は持ち去り、他の建築物に再利用したとのことである。当時は人口13万人の町であったらしい。それを思うと“ギリシャ版栄枯盛衰”を感じる。鉛の現存を探した結果、かつては浴場であった所で柱の接合部を調査したところ、ホゾ穴の中にかすかに鉛が残留しているのを見付けた。さらに柱の外周部からホゾ穴に通じるように溝が掘られているのが確認された(写真-22)。他の遺跡においても観察されたが、



写真-21 アポロン神殿

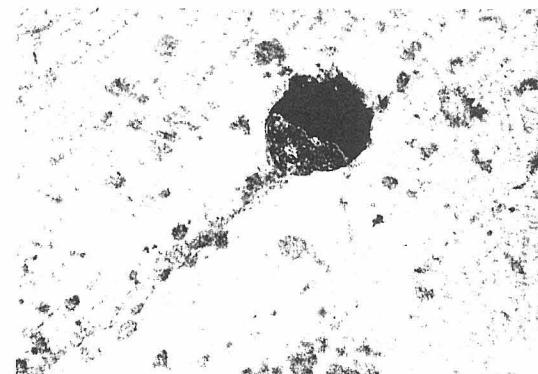


写真-22 柱のホゾに通じる溝（鉛の流し込み用？）

これは遊間を持ってホゾがホゾ穴に挿入された後、鉛を溶かして遊間に隙間なく流し込むための溝である。接合部には必ずそのような溝が掘られているかとなると、今までの調査ではそうではないようだ。筆者らの想像であるが、接合部が下面になる一段上の鼓胴には予めホゾを嵌め鉛を充填した状態で下の鼓胴にはめ込み位置を決めた後、下鼓胴のホゾ穴の溝から溶融した鉛を流し込んで固定したと考えることができる。その他各所で鉛が充填されていたと思われるホゾとカスガイの後は無数確認できたが、鉛の現物は発見できなかった。

2) ポセイドン神殿

アポロン神殿から程近い所にポセイドン神殿の遺跡がある。アポロン神殿遺跡群の広さに比べここはかつて4個所のオリンピック会場の一つであったとは思えないようなこじんまりした、また観光客がほとんど来ないためひっそりとした所である（写真-23）。

唯一オリンピック会場を偲ばせるスタジアムと石版に刻まれたスタートライン等の痕跡により、思いを馳せることができる。ポセイドン神殿といえば写真のとおり柱・梁部材は一切見当たらず基礎の遺構が残っているだけである。ポセイドン神殿はBC7世紀ごろ木造で建てられ、BC3世紀に石造で建て替えられた。しかし、BC146年にローマ人により破壊された。ここの遺跡からは世界最古のガラスモザイクが発見されている。当時のガラスへの色付けはまだ着色によるものであった。ガラスの接着剤としては松やにが用いられていた。あまりにもがらんとした遺跡の状態か



写真-23 ポセイドン神殿の遺跡



写真-24 ポセイドン神殿の基礎部に残る鉛ホゾ

ら鉛使用の痕跡を発見することはできないだろうと半ばあきらめつつ辺りを調べたところ、神殿の基礎遺構から数メートル離れた場所に独立した柱脚の基礎と思われる中心のホゾ穴に鉛らしき物質が露出していたのである（写真-24）。

硬貨で表面を擦ってみるとまさしく鉛と断定できる光沢が出た。柱基礎は長辺が1m、短辺が50cmほどで、中心の約10cm角のホゾ穴に鉛塊があり、さらにその中心にはホゾがあったと思われる窪みが残っている。おそらく石造で建設されたBC3世紀のものと推察する。ローマ人により破壊されたBC146年から土中か外気に露出されていた可能性が高い。今までに発見した鉛の表面状態と同様に、鉛の腐食はほとんど進行している形跡は見られない。表面のごく薄い酸化膜により完全に保護されているようである。調査行程の最後の地で石造構造物の接合部にまた鉛使用の発見ができたことで締めくくることができた。

3) コリント運河と可動橋

ペロボネソス半島のコリントからアテネへの陸路で唯一ギリシャ本土に接していた地峡に、長さ6343m、幅23mを有する北側のコリンティアコス湾と南側のサロニコス湾とに通じるコリント運河があり、それをまたぐ何本かの橋が架かっている。この地峡に運河を建設しようとの考えは既に紀元前7世紀からあり、かのローマ皇帝ネロはその実現を企てた最初の人物と言われている。実際に運河が開通したのはフランス人により19世紀末である。

写真-25は橋から運河を撮ったものである。圧倒されるような深い切通しの眺めに先人の偉業が偲ばれる。切通し

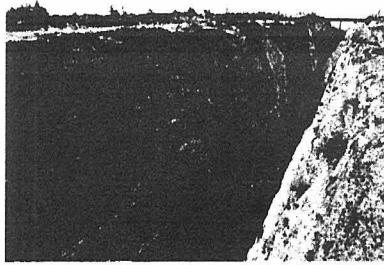


写真-25 断層がはっきりと観察されるコリント運河

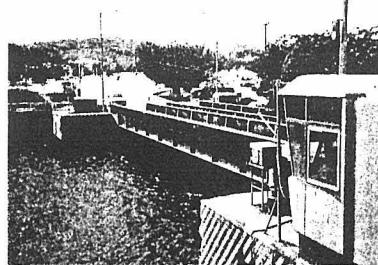


写真-26 可動橋（車両通行時）

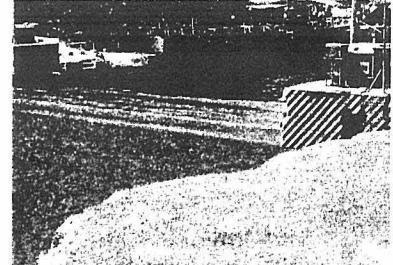


写真-27 海中に沈む可動橋

の側面をよく見ると断層が運河と直交するように現れているのがわかる。断層のずれは5mもあるうかと思われ、表土の状態から相当古い時代の断層と考えられる。

サロニコス湾に面した運河の出入り口に可動橋があった(写真-26)。

一見何の特徴のない長さ約20mの橋桁であるが、実は運河を船が通るときこの橋は海中に沈むのである。桁は4個所の電動ワインチにより上げ下げされ、水深約10mの位置に収まるのに2、3分を要した。桁の路面は水中での抵抗を減らすことと排水を考え、木板のすのこになっている。桁は海水にさらされているにもかかわらず赤錆が認められないのに感心した。写真-27は沈む寸前の状態である。余談であるが、桁が海中から上がってきたとき、大きな魚がたもて掬われたようにとり残されることがあるようだ。

あとがき

1994年に筆者の一人がギリシャを尋ねたときコリント遺跡を訪問し、そこで石造柱の一部である鼓洞の中心にホゾ構造が用いられ、その中に鉛らしき部材を見付けてから、現代の免震技術に通じるものがあるのではないかとの深い興味を抱いた。それ以来、古代ギリシャに免震構造のルーツを見いだそうと今回の有志による調査となった。アテネのパルテノン神殿からの調査開始であったが、最初はそんなに簡単に数千年前の鉛が見付かるだろうかとの心配があった。最初に遺跡の石材の中に鉛の接合構造を見たときは感激した。しかも、行く先々でごく普通に鉛接合構造が用いられているのを目の当たりにすると、また別の感動と先人の英知の素晴らしいに感心させられた。現代の免震技術の歴史はまだ20年足らずであるが、この種の技術がこの時代に実用化していたことを考えると(免震構造を意図していたかはわからないが)、今後さらに発展し一般化するのではないかと感じた。

また、鉛がこれほどまでに風化されにくい金属であったのかと改めて見直され、近年橋梁や建築物の免震構造に多く用いられている鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)の減衰性能に関する経年安定性を裏付ける一つの証明になるのではないかと思う。

なお本報告が、学術的検証がなされないままの、筆者ら

の見聞録的な報告になってしまったことをお断りしたい。古代ギリシャ時代に現代の免震技術に通じる英知があつたことを伝えることができれば、との動機をご理解いただけることをお願いし、本調査報告の締めくくりとする。

最後になりましたが、本調査に当たり熊本大学工学部建築学科の伊藤重剛助教授に最新情報の提供ならびに現地技術者への便宜を取り計らっていただきました。伊藤助教授はギリシャ各地で遺跡の発掘調査をされ、多くの論文が出されております。現在もギリシャ政府の要請でペロボネソス半島のメッシニーにて遺跡発掘調査をされており、その多忙の中でお世話いただきました。本調査の成果は伊藤助教授の文献とこれらのご尽力によるところが大あります。ここに深くお礼申し上げます。

また、調査に参加された各位には各分野での知見で調査に協力いただき、成果を報告する運びとなりましたことをここにお礼申し上げます。

参考文献

- 1) ロラン・マルタン、伊藤訳：図説世界建築史3、ギリシャ建築、本の友社(2000.4)
- 2) ロラン・マルタン：Manuel D' architecture Grecque I, Materiaux Et Techniques, Paris A. et J. Picard et Cie (1965)
- 3) 伊藤：地中海古代都市の研究(101)(102)(103)(104)、メネッセ墓廟の調査、日本建築学会九州支部研究報告、第39号(2000.3)
- 4) 中川、伊藤：地中海古代都市の研究(99)、アルフィ、アテナプロナイヤ神域の大大理石建築のダボに関する研究、日本建築学会九州支部研究報告、第38号(1999.3)
- 5) 中川、伊藤：アルフィ、アテナプロナイヤ神域の大大理石建築のクランプに関する研究、日本建築学会計画系論文集、第51号(1999.1)
- 6) 三井、伊藤ほか：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(1999.3)
- 7) 渡部、松川：ギリシャ、パルテノン神殿の耐震補強に関する研究(その1、予備的な調査及び解析)、日本建築学会学術講演梗概集(1985.10)
- 8) Theofanopoulos Nikolaos、渡部、花里：ギリシャ、パルテノン神殿の耐震補強に関する研究(その2、アクロポリスの丘における入力模擬地震動の作成)、日本建築学会学術講演梗概集(1988.10)
- 10) Jacque Combault : Seismic Evaluation of the Rion-Antirion Bridge, fib 99 Session 5, pp. 731-735
- 11) コスタス・ザンバス、ギリシャ文化省アクロポリス文化保護委員会：パルテノン神殿の地震被害と修復における耐震性の配慮、都市と文化財アテネと大阪、pp.102~115、大阪市立大学国際学術シンポジウム(1996)
- 12) (株)ジオスケープ：古代ギリシャ建築に見られる接合用金属に関する資料(2000.5)