

(74) 古代エジプト遺跡（ルクソール地区VW-22号地下王墓） におけるき裂分布と不安定現象

早稲田大学人間科学部

○ 吉村 作治

京都大学工学部

正会員 谷本 親伯

京都大学大学院

学生員 安藤 拓

早稲田大学 古代エジプト調査室

近藤 二郎

Fissure Distribution and Instability in WV22, Luxor, Egypt

by S.Yoshimura*, C.Tanimoto**, T.Ando**, and J.Kondo*

(*Waseda Egyptian Cultural Centre, ** Kyoto University)

Abstract: Through the archaeological investigation in the underground tomb for Amenhetep III in 18th Dynasty (1417-1397 B.C.) in Luxor, Egypt, the severe damage of the ancient paintings and the instability of the underground structure have been found recently. The authors are investigating the precise dimension of the underground structure, joint distribution and aperture, and the failure mechanism of the chambers from the rock mechanical point of view. There are two faults and three major joints running through the burial chamber vertically in E-W direction, and pre-existing joints (before construction) and stress induced joints (after construction) can be distinguished. The process of instable behaviors over 3,400 years has been clarified, and then it is pointed out that the tectonic movement associated with the Rift Valley must have been affecting the ancient architectures and rock structures.

1. 概 要

古代エジプトの遺跡を考古学的な見地と岩盤力学的な見地から考察し、修復保存に必要な処置を講ずることになった。これに関連して、地下王墓の空洞安定性を考察した。対象は、約3,400年前に建造された第18王朝アメンヘテプIII世の墓で、ナイル川西岸「王家の谷」に隣接する「西の谷」に位置する。学術的にはWV22王墓と称せられる。

WV22は、1799年8月、ナポレオン探検隊員により発見され、H.Carterの調査（1915年）を経て、1989年9月より早稲田大学隊の学術調査に至った。^[1] 考古学的発見には著しいものがあるが、内部の壁面や残柱はかなりの損傷を受けていて十分な修復・保存の対策が必要である。少年王のツタンカーメンの墓でもあれだけの財宝が埋葬されていたことから推察しても、内政的には古代エジプト最大の王とも言うべきアメンヘテプIII世の王墓の建造時の豪華さは想像を絶するものであり、現存する壁画の質は、同様のものの中では最高である。しかしながら、3,400年という歳月は、大地の変動を如実に反映し、地下王墓も構造的な不安定性を示している。岩盤空洞の長期安定性を論ずるには格好の対象となっている。

まず、地形図の作成から着手し、地質概査の後、WV22の地下空間の測量を行い、断層・き裂の分布を調査した。さらに、残柱や壁画の破損状況を調査した結果、壁画の破損状況と岩盤内のき裂とは明瞭な相関性を示し、現在でもき裂は進展しつつあるとみなされる。WV22での不安定現象を分析し、今後発生する破壊の進行を推定した。岩盤力学的に興味のある知見が得られたので、ここに報告する。現在進行中の調査であること、サイトからの岩石試料の採取は一切許されない条件であることを断っておきたい。

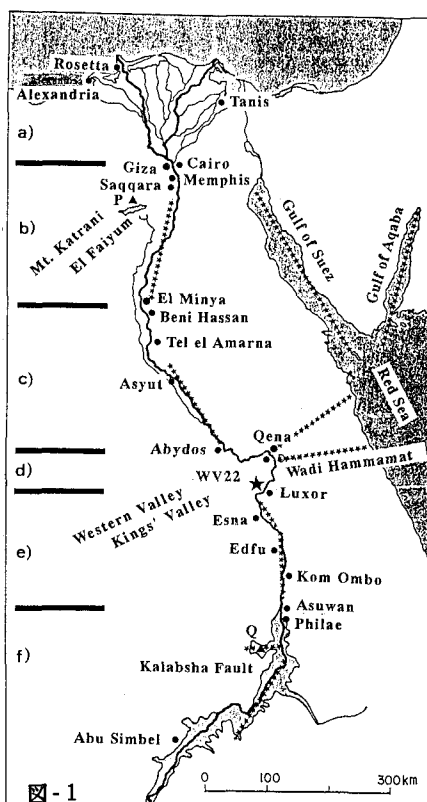


図-1

古代エジプト遺跡、ナイル河断層系
および最近の地震

(震災 P:1992, Q:1981)

2. 地質学的所見

5千万年前は、エジプトは海面下にあり、巨視的にはナイル河は変成岩、火成岩である閃緑岩、花崗岩、石英などの基岩の上に、砂岩が中間層として形成され、その上に石灰岩、頁岩、粘土などが堆積したものである。また、ナイル河が他と異なるのは、スーダンの首都ハルツーム近辺で青ナイルと合流した後、地中海に至るまで一切の支流がなく、アスワンハイダム（1964年完成）より下流900kmの標高差はわずか85mで、幅1kmの河の両側に数kmの緑地帯を形成するだけで、それ以外の土地は、地中海近傍のデルタを除き、ほとんど砂漠である。[2]

地質図（1981年度版Geology of Egypt）とLANDSAT写真からナイル河の流路について考察する。エジプト内では、次の5つの流域に区分できる。a) デルタ域（カイロより下流）、b) Cairo-El Minyaまでの流域、c) El Minya-Qena、d) Qena-Luxor、e) Luxor-Aswanである。e) ではヌビアから北北東方向に流れてきたナイルはほぼN-Sのトレンドを示す。年代の若い花崗岩と白亜紀の地層を下刻する。この流域では、ナイル西岸にN-S性の断層が卓越しており、この影響による構造規制の可能性が高い。d) はLuxor-Qenaの間の大蛇行である。Luxorの西には、王家の谷の東縁を造るN40E東落ち断層がある。大屈曲の西部にはN30-40W方向（このあたりのナイルの一般的走向）のワディがいくつも走っていて、ナイルにつながっている。Luxorの西にある断層の運動の時期が不明瞭であるが、N30-40Wへ流れていたナイルがこの断層によって流路を変えて蛇行した可能性がある。c) はN30W方向へ流れる部分で東西両岸にはこれと平行な断層がいくつも認められている。b) の部分はN30Wの断層と斜交して流れるが、流域の西にEl Faiyum低地がある。そしてa) はデルタ地帯である。ナイル河流域の最近の変化は、この地域に起こった最近（多分第四紀）の構造運動を反映していると考えられる。[3]

谷本は、1989年12月、初めてエジプト調査に参画するに当たり、ナイル河がアフリカ大陸の大地溝帯の影響を強く受けているのではないかと疑問を投げかけた。もし、これが妥当な考えであれば、巨視的には、ナイル兩岸の断層は、ほぼ東西に開口する傾向があり、古代遺跡の保存の上でも断層をはじめとする岩盤不連続面の調査が不可欠であることを強調した。図-1に示すナイルは、b) およびアスワンダム上流（ナセル湖）にてアカバ湾と、また、c) およびe) の一部にてスエズ湾とほぼ平行に走っている。さらに、中規模領域では、東西系および南北系の断層が卓越していることが認められる。

エジプトでの地震現象も、2800 B Cから4800年にわたる地震活動が記録されている。1992年10月12日に発生したカイロ地震（M 5.3~5.6）は、記憶に新しい。震源は、図-1に示すP点（Mt. Katrani）で、1981年11月ナセル湖西岸にも震源をQ点とするM4.8

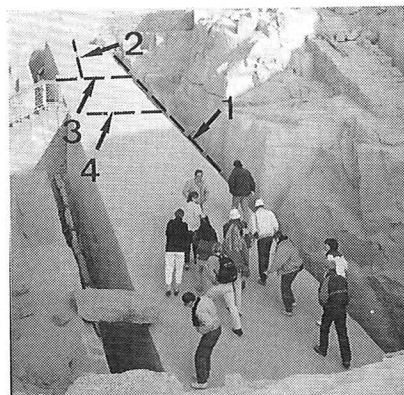


写真-1 アスワンの未完成オベリスク

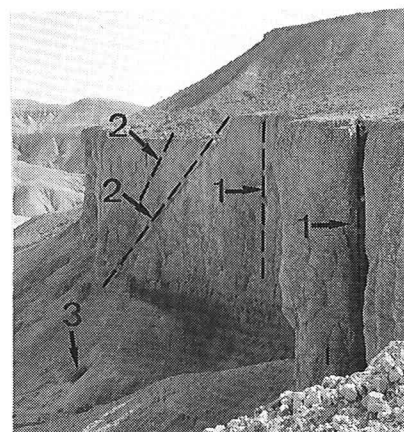


写真-2 西の谷段丘と不連続面系

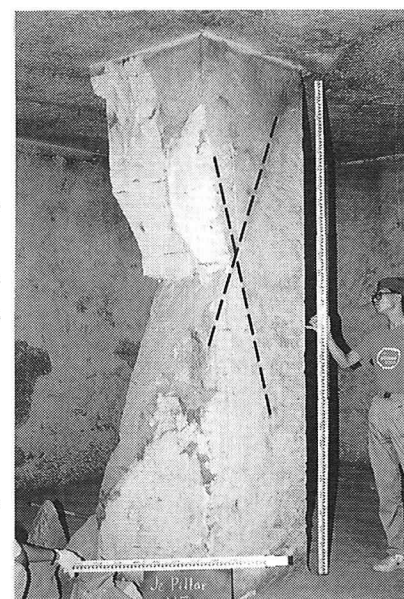


写真-3 Je室残柱上の共役滑り面

のカラブシャ地震が発生している。両者ともほぼN-E系の断層の活動と関係がありそうである。WV22は、地域d)のナイルがほぼ直角に流路を変える地点に近い。また、Qenaから紅海に至る重要ルートとしてワディ・ハンママートが利用された。ナイルの蛇行と一致する大断層である。

3. 古代エジプト岩盤構造物と断層・節理

ピラミッド、大スフィンクス、オベリスク、あるいは地下墓等古代エジプトに建造された岩盤構造物は、その巨大な寸法だけでなく、建造技術や仕上げの美しさについても感心させられる。特に、岩盤力学的見地から、岩盤特性や掘削・切り出し方法、運搬方法、構造物としての寿命等興味をそそられる。

断層や節理等の不連続面の存在は、構造物の安定性や長期寿命の見地からは好ましいものではないがGiza, Saqqara, Luxor,そしてAswan地域の古代遺跡とその地質的環境を観察してゆくと、断層や節理等の不連続面の存在により岩盤構造物の建造が可能であったことが分かる。すなわち、不連続面の分布と方向が最大の立地条件であった。まず、人類の歴史のなかで、最大の石造構造物であるギザ地区の大ピラミッド(2500 B C)は、膨大な量の石灰岩ブロックを切り出すための崖面(断層)が不可欠であった。その周辺部には幾条もの断層が確認され、南端部には開口幅1mのものがある。

一直線に伸展する節理を利用した例として、アスワンダムに北東部に残されている未完成(切欠き)のオベリスク(The Unfinished Obelisk of Aswan)が挙げられる。完成していれば、長さ41.75m、重さ1152トンとなり、最大のものとなっていたはずである。ちなみに、ルクソールのアメン神殿にあるハトシェプスト女王のものは高さ30m、重量315トン、トトメスI世のものは23m、128トン。ルクソール神殿からパリのコンコルド広場に移されたオベリスクは高さ22.83m、底辺2.44mである。^[4] アスワンの未完成オベリスクは依然として元の採掘場に、先端をN70Eの方向に向けて放置されている。(写真-1) 基底部4.4mなる辺長から見ても途方もなく巨大なものであることが瞭然である。岩質は、一般にアスワン産赤色花崗岩と呼ばれているが、分析してみるとラパキビ型眼球片麻岩(Rapakivi-Augengneiss)であった。

古代エジプトでは、石材の切り出しには、銅製のこぎり、のみ、木製くさび、石製ハンマーなどが使用された。石灰岩のように比較的軟らかい石はのみで容易に切り出せたとし、銅製のこぎりですり加工する事もできた。木製くさびを用いて石を切り出したとする説にはその有効性に疑問を持つ意見も多い。のみでくさび穴をあけた後に、玄武岩などを球形に加工して作ったハンマーで何度も強打することによって、岩石を割り、切り出したとする説もある。先述の未完成オベリスクの側面には明瞭なのみ跡が残されている。

この未完成オベリスクをよく観察するとかなり多数の割れ目を発見する。割れ目の状態から、切り出し作業は南面に相当する節理から始められたと考えられる。(写真-1、矢印1) 切り出しが進展するにつれ、矢印2のき裂が見つかり、4の割れ目が現われた段階で作業は中止されたものと思われる。節理間隔は30mを超えることがなかったのであろう。この周辺では、現在でも石材の切り出しが続行されている。

さて、本論文の主対象であるWV22においても、岩盤空洞の掘削作業が既存の節理状態を観察しながら進展していったことがうかがい知れる。

WV22は、ナイル河谷からその西岸にかけて何段かの段丘をなす崖面に掘削された。王家の谷(KV)・西の谷(WV)を形成している山は標高400mを越えるが、その頂部は平坦で西方へと傾動する地塊となっている。王家の谷の東縁にはN40Eの走向を持つ断層崖とそれに由来する崖錐扇状地が形成され、小規模な岩屑流堆積物が流れ山を造っている。^[3]

この地域の地質は、暁新世(約60Ma)から始新世中期(40Ma)に形成され、地下墓群は主として始新世に属する石灰岩中に建造されている。墓の内部では地層の状態が観察できる。石灰岩中にはチャートのノジュールが挟まれていて、それが引き伸ばされて層理面に平行なレンズ状の形態を呈している。層理面はN40-50Eで北へ緩く傾斜している。(傾き7° N) 墓の近辺には著しい破砕帯を伴う断層が認められるが、この小断層系はE-W系のものが卓越している。写真-2は、WV22周辺の段丘を示す。ほぼ鉛直な断層や節理群(矢

印1) が明瞭に認められ、これとは別に切り立った崖面にはせん断すべり面（矢印2）が現われている。矢印3はWV22の入り口を示し、海拔172m、この入り口より約85m奥に玄室が設けられ、その標高は145mであり、27m下方にある。上部の段丘の高さは約70mであるから、玄室での被りはほぼ100mとなる。ナイルの大屈曲、墓の分布と小断層の間には相関関係があると考えられるが、今後の精査が必要である。

前述のE-W系の断層は、地下王墓内にも現われる。WV22入口上部には、わずかに開口した節理と密着した節理が認められ、このような連続した既存の節理（E-W系）を利用して開口部を設け、掘削を進めていったと考えられる。

このように既存の節理を利用して地下掘削を行ったと判断した動機は、玄室と副室群を連絡する通路となる開口部に認められた割れ目にある。玄室の周辺には7つの副室があり、その開口部の上部には全て明瞭な節理がある。玄室や副室の残柱の一部が破壊したり、損傷が著しいため、調査当初は、長年にわたる載荷により生じた引張り裂との見方をとったが、その後のき裂分布と連続性に関する観察により開口幅が一様であることと相対的なずれが認められないことから空洞開削前から存在する節理であることが判明した。副室に認められる節理（Jc室）がその背後の副副室の壁面（Jee室）にも連続していることが示される。[5]

以上に示すように断層や節理群が岩盤を構造部材とする遺跡の成立と深い関わりがあったことが判明した。

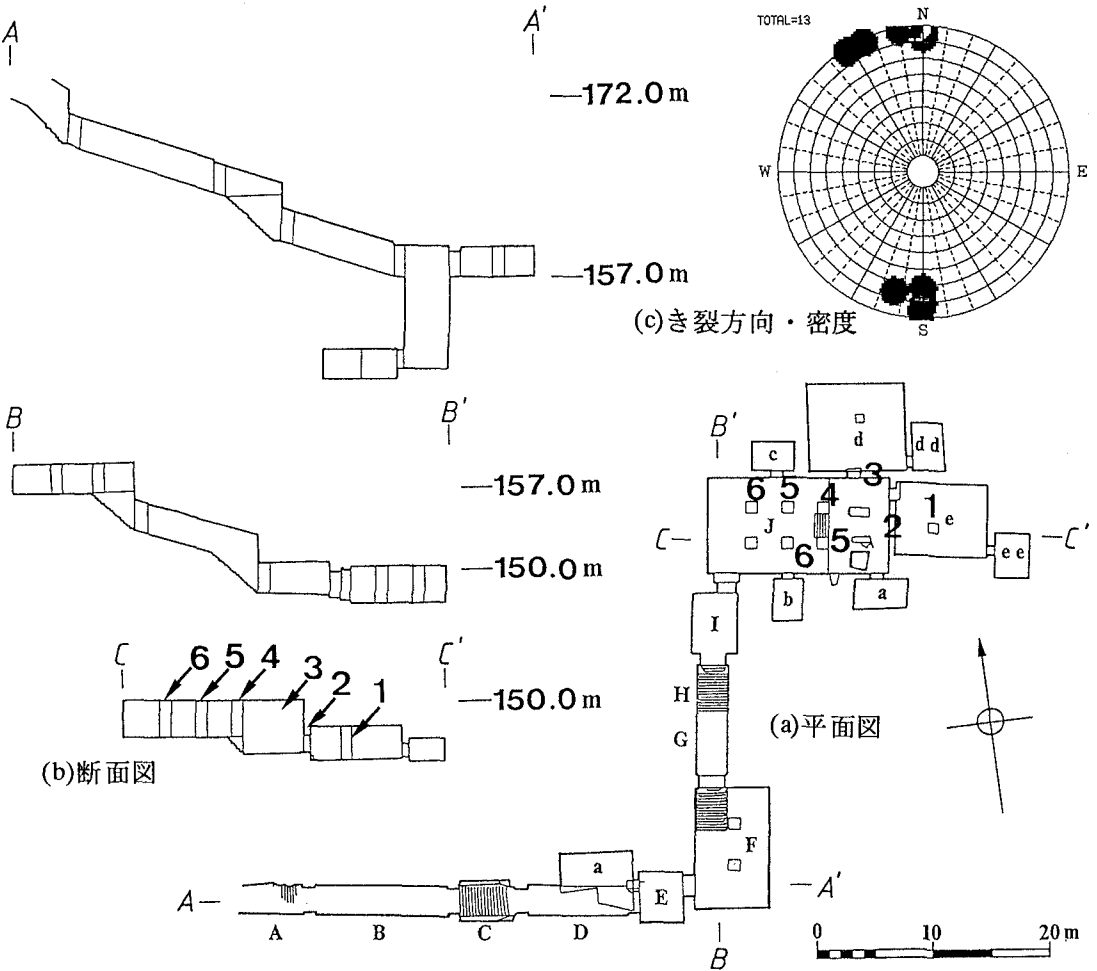


図-2 WV22地下空間配置図および既存のき裂方向・密度

4. WV22地下空間の形状・配置およびその不安定現象の進展

WV22の空洞の寸法は、1960年E. Thomasによって部分的に測られている。1989年日本隊（早大）は、正確な平面図と各点の標高を求めるため、王墓内部の考古学的クリアランスを行った上で測量を実施した。図-2に、平面図と代表的な断面図を示す。E室は、深さ7.5mの立坑で盗掘防止が目的であったと言われている。J室が玄室で、西側2/3部分に6本の残柱（高さ3.18m）が、東側1/3部分は落込み高さ4.55mで、石棺が設置されていたと考えられる。現在は、赤色花崗岩製の棺の蓋のみが残っている。さらに東側にJ室の副室e（Je室と称す）があり、残柱が1本ある。従来のトランシットや巻尺による測量に加えて、ワンタッチで3次元の測量が可能となるトータルステーション(JEC Field Station Flex - 10r)を用いて精査を行うと共に同様のシステムにより1992年9月に、王墓内に認められるき裂位置を測定した。

Je室の残柱は、写真-3に示すように圧縮試験供試体とまったく同様に、共役な滑り面を示している。まさに、3,400年の時間をかけた長期載荷試験である。残柱の高さは、2,957mm、幅は870mmで、滑り面角度は70°であった。一般の石灰岩供試体の破壊状態から見て、この残柱には製作時より圧縮力が作用し、元の高さの0.5～0.7%縮小しているものと考えられる。変形量では、15～21mmである。さらに、このJe室の北面壁および南面壁を詳細に観察すると、残柱の滑り角と一致する微細なき裂群が発見された。このことから空洞掘削前から存在するき裂と掘削後の応力変化から生じたき裂はかなり明瞭に区別できることが判明した。

各室の壁面・天井・床面を観察した結果、WV22の不安定現象は、Je室から始まったと考える。壁面に残されるのみ跡からも玄室（J室）の北部・東部の副室群を、当初の計画を変更して無理に拡大した形跡があり、隔壁の薄さも加わり、Je室に応力集中が発生している。J室とJd室の隔壁には約10°の角度（ほぼ平行）で交差する鉛直方向の既存のき裂が走り、掘削時には、1.5mm以下と考えられるき裂が最大幅2.5cmの開口部を示している。Je室の残柱の座屈がこの隔壁中の既存のき裂を開口させ、これに起因する新たなき裂の発生がJ室北面および東面の壁面に損傷を与えた。壁画は、滑らかに掘削された石灰岩の表面に厚さ約1cmのプラスター仕上げをした上に描かれている。石灰岩とプラスター仕上げの変形性の相異により、壁画の背面が剥離し、かなりの部分は落下してしまっている。残された壁画の表面には、多数のヘアクラックが認められ、その方向性と分布状況は、Je室からの不安定現象を如実に反映している。変形は、現在でも進行しつつあり、残されている壁画もいずれ剥落する状態である。J室上壇の6本の残柱の損傷も北東から西側にかけて座屈が著しく、図-2のc-c'断面上に示すように、1)Je室残柱、2)J室東壁、3)J室東寄り北壁、4)J室残柱北列最東部、5)同じく北列中央および南列最東部の順に不安定現象が進行したとみなされる。今後は、何らかの修復・保存の措置がなされない限り、2および3の隔壁が破壊し、6以下残りの残柱も座屈していくことになる。変形速度を知る変位計測が必要となっている。

5. 結言

WV22における残柱の破損状況は、岩盤の長期安定性を議論するうえで貴重な事例である。広域の地殻変動の影響を受けて段丘が東西に引張られ、不連続面は開口する傾向が認められる。ナイル河の水位も数百年の記録からは徐々に低下しつつあることが読みとれる。また、西部のオアシス群は構造線上に存在し、長期間存続している事実や変成帯での古い鉾山の存在を考えると、断層をはじめ岩盤内の不連続面の存在が古代エジプト文明に及ぼした影響はきわめて大きい。調査は継続中である。

参考文献

- [1] J. Kondo(1992): A Preliminary Report on the Re-clearance of the Tomb of Amenophis III (WV22), After Tutankhamun, pp.41-54, Kegan Paul Int'l.
- [2] 谷本 親伯(1990): 古代エジプト遺跡の劣化と風化、材料、39巻446号、談話室、pp.129-130.
- [3] 早大ピラミッド調査隊(1989): 第3次早稲田大学ピラミッド調査概報、pp.3-6.
- [4] 吉村 作治、近藤 二郎(1988): エジプト（ブルーガイド海外版）、pp.243, 実業之日本社.
- [5] C. Tanimoto, et. al. (1992): Rock mechanical observation and high-tech use of latest prospecting techniques in archaeological findings in Egypt, Proc. EUROCK'92, pp.456-461, Thomas Telford.