

鎌倉市百八やぐらの保存を目的とした亀裂計測

朽津 信明・李 心堅*・関 博充・森井 順之・遠藤 努**

1. はじめに

神奈川県鎌倉市周辺には、「やぐら」と呼ばれる石造文化財がある。これは主として凝灰岩質の山腹を切り抜いて造られた横穴で、十三世紀から十四世紀頃にかけて、墳墓あるいは供養堂として使われていたと考えられている。こうしたやぐらにおいては、主として塩類の析出に伴う壁面の崩落、いわゆる塩類風化という現象が顕著に認められる場合があることが、既に報告されている¹⁾。また、表面に植物が繁茂することによって劣化が認められるケースも見られ、これについても報告がなされている²⁾。一方、やぐら群の一部には、落石が発生し、亀裂による崩落の危険性が高いものも存在する。そこで本研究では、過去におけるそうしたやぐらの崩落原因を考察し、今後の崩落を予測あるいは防止することを目的として、やぐらに観察される亀裂の調査を行ったので、その結果について報告する。

2. 対象やぐらの状況

鎌倉市にあるやぐら群中最も優れたものを含む代表的なやぐらとして、百八やぐら群がある(図1)。百八やぐら群については既に報告されている^{1,2)}とおり、覚園寺の裏山にあり、標高110m付近の丘陵上に3段にわたりやぐらが築かれている。岩質はいずれも新第三系の均質な凝灰質砂岩で、やぐらごとの岩質はほとんど変わらない。百八やぐら群は百数十窟のやぐらからなるが、中には現状で大きな落石が認められるやぐらがある。

例えば鎌倉市史³⁾において「第17号穴」と番号がつけられたやぐらは、群中の南東側で最下段に位置している(図2)。このやぐらでは、奥壁に四個、左右壁中央に縦に各二個の大きな梵字が刻まれている。また左壁の梵字の両側、および右壁の梵字の左側には仏像のレリーフが彫られている(図3)。大きさは、間口約4.3m、奥行約3.8mを測る、群中でも最大規模のやぐらである(以下、便宜的に「大梵字やぐら」と呼ぶ)。現在大梵字やぐらの前には最大1m以上に及ぶ大小様々の落石が散在している(写真1)。これらは現在残されているやぐらの形状から、天井、右壁および右壁上方から崩落した岩塊と

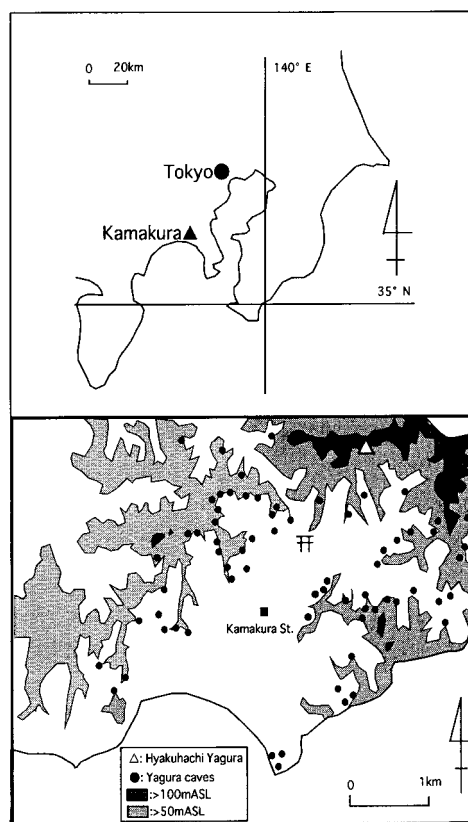


図1 百八やぐら群位置図(文献¹⁾に基づく)

* 龍門石窟研究院, ** パブリックコンサルタント株式会社

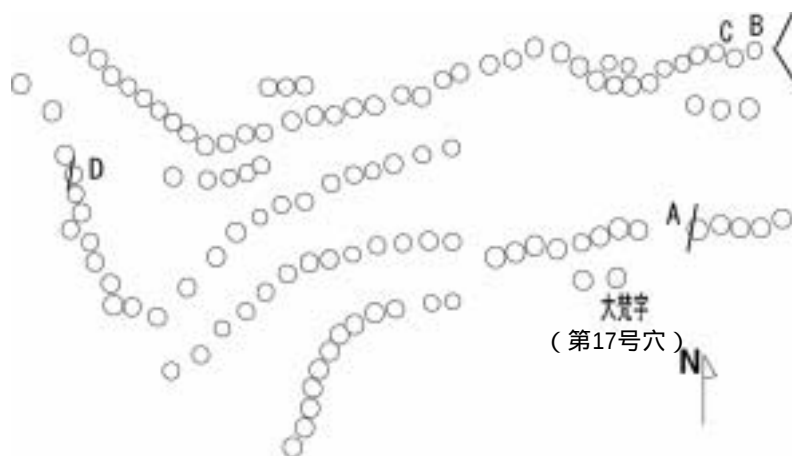


図2 百八やぐら群分布略図
(○印は確認できるやぐら, / は各やぐらに確認された亀裂の走向を示す)

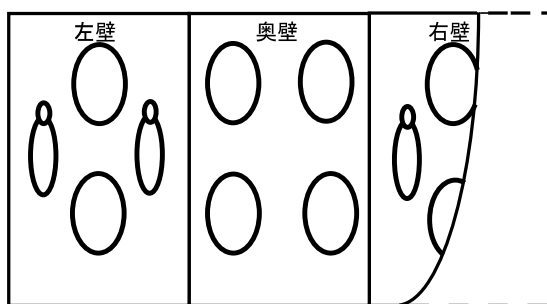


図3 大梵字やぐら模式図
(○は梵字, 〇は仏像を示す)



写真1 大梵字やぐら全景
(手前の岩塊は落石)

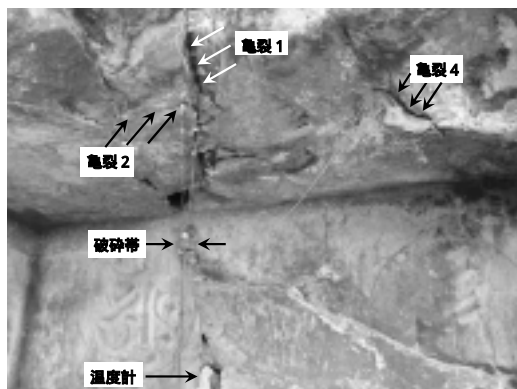


写真2 天井面にある亀裂1,2,4と温度計設置位置

推測される。やぐらの構成から考えて、本来右壁梵字の右側にも仏像のレリーフがあったはずであるが、現在は確認できず、右壁の崩落に伴い消失したと考えられる。また、残存する現在の天井部分には、今にも崩落しそうな岩石も見受けられ(写真2亀裂4),さらに、天井及び各壁面には、多数の亀裂が認められる(写真2~4)。本研究では、文化財保存の観点とともに、やぐらを見学する人々の安全に配慮するためにも、このやぐらに発生した落石の原因を明らかにし、今後に向けた保護対策を検討することを目的に亀裂計測を行った。

3．大梵字やぐらの現状観察

大梵字やぐらに認められる主要な亀裂の位置と走向を図4に示す。このやぐらには特に注意が必要と判断される亀裂として以下の5種類が観察される。南西に開口するやぐらのほぼ中央には、奥壁から天井に繋がる亀裂1があり、亀裂両脇の地層には変異（約5cm）が認められ、また破碎帯が確認される（写真2）。亀裂1の走向はN37Eで、傾斜は85度である。大梵字やぐらにある亀裂の中で破碎帯が認められるのは亀裂1だけである。一方、天井面に観察される亀裂2の走向はN35W、傾斜が90度である。やぐらの右側の外部分に観察される亀裂3の走向はN35W、傾斜は88度である（写真3）。亀裂2および亀裂3は亀裂1に対してほぼ垂直の向きであり、このやぐらの奥壁の走向と類似する。天井面の一部分が崩落しそうになっている岩石にある亀裂4の走向はN19E、傾斜は70度である。また、やぐらの外には樹木の根が入り込んだ亀裂5があり、その走向はN43E、傾斜は88度である（写真4）。大梵字やぐらで確認できる、地層の層理面の走向はN87W、傾斜は20度Nである。

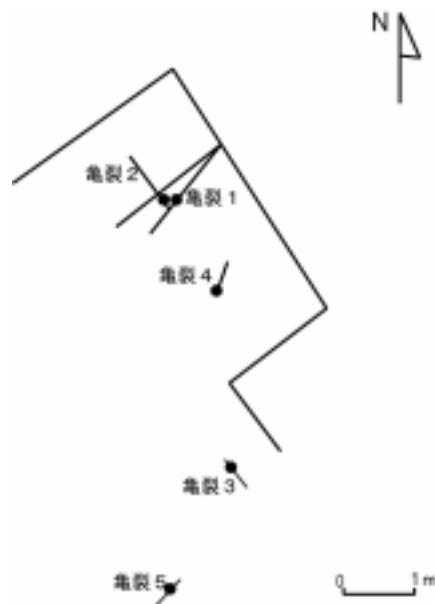


図4 大梵字やぐらにある亀裂及びその走向（●は変位計設置位置）



写真3 右壁面にある亀裂3



写真4 木の根が入り込んでいる亀裂5

4．百八やぐら群全域における現状観察

大梵字やぐらで観察される落石や亀裂が、百八やぐら群の他のやぐらにも認められるかどうかを調査した。その結果、大梵字やぐらの東側と西側、南西側の場所に亀裂や落石が見つかった。そのうち、東側と西側に大梵字やぐらと類似する走向の亀裂が認められたため、詳細を調査した（図2）。大梵字やぐらの東側にあるやぐらAには破碎帯を伴う亀裂が確認される（写真5）。この亀裂はやぐら奥壁の左下隅にあり、走向はN22Eである。また、群中北東端に位置するやぐらBのさらに東側山腹（図2）に、2つの亀裂が認められ、1つの走向はN29Eで、もう

一方はN31Wである。さらに、群中西端付近にあるやぐらDの左壁と天井面にも亀裂が認められ、その走向はN13Eである。

この他、亀裂の走向は確認できないが、やぐらBとその西隣のCとの間の部分には、小規模だが大梵字やぐらで見られるのと同様な落石が見られる。

百八やぐら群中、複数のやぐらにおいて地層の層理面の走向と傾斜を調査した。その結果、走向はN87WからN85E、全て北傾斜で、その角度は5度から20度である。いずれも大梵字やぐらの層理面とほぼ同じ傾向である。



写真5 やぐらA全景

5. 落石発生の原因について

やぐらAで認められる亀裂は大梵字やぐらにある亀裂1と走向が類似するだけでなく、破砕帯が確認される点でも共通する。つまり、やぐらAで見られる亀裂は、大梵字やぐらの亀裂1と一連の断層であると考えられる。三浦半島に見られる断層の分布図⁴⁾によれば、鎌倉市周辺には亀裂1と走向が類似する断層が存在し（図5）、百八やぐら群に見られる断層がこれらの断層と一連の活動によって発生した可能性は高い。そして、破砕帯は認められないが、やぐらDややぐらB東側に認められる、断層と類似した走向を示す亀裂は、断層の影響を受けて発生した可能性が考えられる。また、大梵字やぐらの亀裂2、3ややぐらB東側に見られる亀裂のように、断層とほぼ直交する走向の亀裂も百八やぐら群に観察される。これらの亀裂は断層の近くに分布するが、断層の影響によるものか、単独で発生したものかは不明である。

以上見てきたように、大梵字やぐらにある主要な亀裂には、亀裂1に見られる断層と平行す

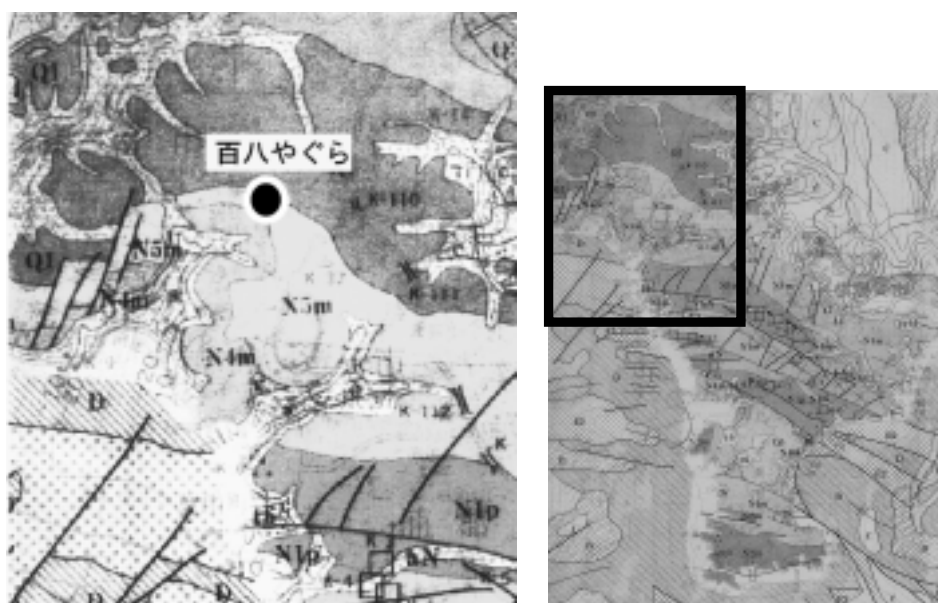


図1 三浦半島断層分布図（文献⁴⁾に加筆）左図は右図の枠で囲んだ内部の拡大

る亀裂と、断層にほぼ直交する亀裂（亀裂2，亀裂3）の2種類があり、さらに、これに加え地層の層理面がある。これら2種類の亀裂と層理面が交わり、岩体が方塊状に分けられたことで、過去の落石が発生したと考えられる。

一方、百八やぐら群内には他にも亀裂を持つやぐらがあるが、大梵字やぐら程大規模な落石や亀裂による被害があったやぐらは見られない。例外的に、やぐらBとやぐらCの間には大梵字やぐらと同様の原因によると見られる落石もあるが、その規模は大梵字やぐら程ではない。また、断層はやぐらAにも見られるが、落石は起きていない。これは、やぐらAではたまたま奥壁左下隅に断層があったのに対して、大梵字やぐらは中央部分にあったことが落石の被害を大きくしたと考えられる。

6．亀裂計測

既述の通り、百八やぐら群内で最も顕著な落石が認められるのは大梵字やぐらであり、従って今後の崩落の危険性を検討する必要がある。亀裂の危険性を予測するためには亀裂幅の変化を計測し続け、異常がないかを随時確認するのが有効であろう⁵⁾。今回亀裂の動態変化を観測するために使用した変位計はクリップ型変位変換器DTC-Aである。併せて、やぐら内の温度も測定した。変位計は、断層がある亀裂1，亀裂1に直交する亀裂2，3，崩落しそうな岩石にある亀裂4，木の根が入っている亀裂5の5カ所に、温度計は奥壁の破砕帯内部に設置した（写真2～4，図4）。

亀裂1，亀裂2，亀裂4，および温度は2004年2月13日から、亀裂3，亀裂5は同年5月21日から測定を開始した。

7．結 果

図6は、2月13日から12月14日までの亀裂幅の変化と温度の関係を示したグラフである（いずれの亀裂も、計測を始めた日をゼロにして、グラフを作成した）。まず、亀裂幅の日変化に着目すると、亀裂4の日変化は天井面にある亀裂1，2よりはるかに大きいことが分かる。この亀裂4の日変化は、やぐら内の温度の日変化と逆の関係を示しており、温度が下がると亀裂幅は広くなり、温度が上がると亀裂幅は狭くなる傾向にある。これは、温度上昇に伴う岩石の体積膨張によって亀裂幅が狭くなり、逆に温度低下により岩石の体積が収縮して、亀裂幅が広くなるのが原因だと推測される。先述の通り、亀裂4は天井面の一部

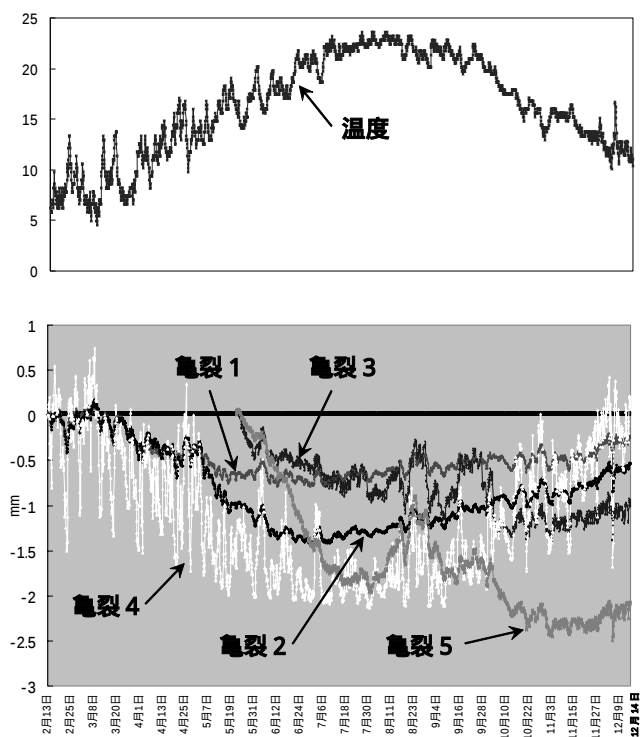


図6 亀裂幅の変化と温度の関係

分が崩落しそうになっている亀裂である（写真2）。崩落しそうな岩石の体積は、亀裂1，2の両側にある岩体よりもはるかに小さいことから、温度変化の影響を受けやすく、著しく体積が変化し、それが亀裂幅の大きな変化となって現れた可能性が考えられる。

一方、季節変化を見てみると、観測した全ての亀裂において、日変化と同様に温度が下がると亀裂幅は広くなり、温度が上がると亀裂幅は狭くなる傾向が認められる。実際に、全ての亀裂で2月から7月末頃まで、温度が上昇するに従い亀裂幅が狭くなっている。これも日変化と同様に、温度変化によって岩体の膨張収縮が引き起こされていることに起因すると見られる。また、今回計測を行っている5つの亀裂のうち、亀裂1，2，4については、8月に入り亀裂幅が広がり始め、12月現在、2月に観測された亀裂幅まで戻りつつある。過去の研究⁵⁾によれば、亀裂幅の変化では周期性が重要であり、日変化や季節変化の変化幅がたとえ大きくても、周期性をもって元の値に戻る変化を示す亀裂は、危険が少ないと考えられている。逆に変化幅が小さくても、一方向に変化し続けたり、不規則な変動を示したりする亀裂には注意が必要で、こうした亀裂が岩体の崩落を生む可能性があることが指摘されている。亀裂1，2，4については、今のところ不規則な変動は認められず、緊急に対策が必要な程危険な状態にあるとは考えにくい。一方、亀裂3，5については、8月末から9月初めにかけて狭くなった亀裂幅が一時広がり始めたように見えたが、10月初め頃から温度が下がり始めたにもかかわらず、亀裂幅が狭くなり、さらに12月になると変化が小さくなり、ほぼ横ばい傾向にある。つまり、10月以降は明らかに温度変化と相関が見られない。このことから、これらの亀裂は他の3つとは異なる、何らかの特殊な状況におかれている可能性がある。落石の危険性を考慮に入れながら、今後の変化に細心の注意を払う必要がある。

8. ま と め

鎌倉市百八やぐら群において、特に顕著な落石が認められた大梵字やぐらで、落石の原因と、今後の落石の危険性について検討した。その結果、三浦半島に観察される断層群と類似する傾向を持った断層がやぐら中央付近に認められ、それとほぼ平行、あるいは直交する亀裂の存在も認められた。これらと、岩体の層理面とで区切られた岩体が過去に崩落したものと考えられた。現在当該やぐら内に観察される亀裂幅の変化を計測したところ、温度変化に related 緩やかな周期性があり、大きな異常は認められない亀裂が観察された一方で、温度変化と相関が無く、亀裂幅が狭くなる方向に変化する亀裂も確認された。落石の危険性をふまえ、今後も計測を続け推移を見守る予定である。

参考文献

- 1) 朽津信明，高東亮，秋山純子，森井順之：鎌倉のやぐらに見る凝灰岩質砂岩の風化とそれに与える温度・湿度の影響，地形，24, 169-181 (2003)
- 2) 朽津信明，森井順之，範子龍，秋山純子：鎌倉市・百八やぐらの劣化と水環境，保存科学，43, 47-54 (2004)
- 3) 鎌倉市史編纂委員会：鎌倉市史 考古編，吉川弘文館，534 (1959)
- 4) 国土開発技術研究センター：関東地方土木地質図解説書 (1997)
- 5) 安田匡，朽津信明，川野辺渉，森井順之：磨崖仏における亀裂の動態観測，応用地質学会平成15年度研究発表会講演論文集，405-406 (2003)

キーワード：やぐら (Yagura tombs) ; 亀裂 (Cracks) ; 落石 (Fall of rocks) ; 断層 (Fault) ;
温度変化 (Temperature variation)

Investigation of Cracks for the Preservation of Hyakuhachi-Yagura Tombs, Kamakura City, Japan

Nobuaki KUCHITSU, LI Xin Jian^{*}, Hiromitsu SEKI,
Masayuki MORII and Tsutomu ENDO^{**}

Causes and future risk of falling rocks were investigated at one *yagura*, a cave tomb, belonging to Hyakuhachi-Yagura Tombs, Kamakura City, because not a few falling rocks are observed there. In that *yagura*, the back wall and the ceiling are cut by a distinct fault, the strike of which is similar to that of the faults in Miura Peninsula, the surrounding area. Cracks, which are almost parallel or perpendicular to the fault, are also observed in and around the *yagura*. These cracks and bedding plane of the rock isolated blocks and finally became one of the main causes of the falling of rocks. So an attempt was made to measure the width of cracks with sensors. The width basically show periodicity correlated with temperature variation. However, at some cracks, the width unilaterally decreased without correlating with temperature variation. Such cracks should be elucidated carefully, considering the risk of crashing.

^{*}Longmen Grottoes Academy, Henan Province, China, ^{**}Public Consultant Corporation