

1995年兵庫県南部地震時に発生した六甲花崗岩地域の 斜面崩壊の運動様式と機構

Movement Types and Mechanism of Slope Failures Occurred in the Rokko Granite Area During the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake

横山 俊治* 菊山 浩喜**
Shunji YOKOYAMA Hiroki KIKUYAMA

Abstract

In the Rokko granite area, many slope failures were caused by the destructive acceleration of earthquake motion of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake. The essential movement type of their initial failures was topple due to the force of inertia. Frequency of the collapses is high in the fresh fracture-poor granite and the larger granite boulders on the ridge, but low in the decomposed or fracture-rich granite. The orientation of collapsed direction, which have been controlled by orientation of the horizontal acceleration, tends to trend perpendicular to seismic faults.

キーワード: 1995年兵庫県南部地震*, 六甲花崗岩*, 斜面崩壊*, 節理, 地震

1. はじめに

1995年1月17日未明に起きた兵庫県南部地震によって、多数の斜面崩壊が発生した。空中写真判読によって摘出された崩壊箇所は700箇所を越えるが¹⁾、空中写真判読による摘出の難しい小規模な崩落や崩壊を入れると、発生箇所数はさらにその数倍以上になると思われる。斜面崩壊の大部分は後期白亜紀の六甲花崗岩で発生している。

花崗岩山地は豪雨災害多発地域でもある。六甲山地もその例外ではない。豪雨時に発生した無数の斜面崩壊と土石流によって流出した土砂で、六甲山地南麓の阪神地区は過去に何度も甚大な被害を被っている。昭和13年の阪神大洪水以降も、昭和36年、昭和42年の集中豪雨では大きな被害がでている。

典型的な豪雨時斜面崩壊は強風化花崗岩であるマサの表層崩壊である。表層崩壊の多くは集中地下水を生じやすい谷頭付近の凹斜面で発生している。マサは集中地下水によって著しく強度低下し、ついには破壊・流動化する。流動化したマサ土はしばしば谷部の堆積物を巻き込んで土石流化する。

今回の地震で発生した斜面崩壊についても、素因となった地形・地質条件を明らかにすることは、地震時崩壊危険箇所を予測する上で必要であろう。これまでの報

告によると、発生箇所の地形条件としては①急斜面^{1),2)} ②尾根部^{1),2)} ③遷急線付近¹⁾ ④凸型斜面^{3),4)} ⑤平行(直線)型斜面¹⁾ が挙げられている。他方、地質条件としては、岩石崩壊が多発したという報告^{1),4)}がある一方で、マサ(マサ土)の表層崩壊も主体であったという報告⁵⁾がある。

これらの報告は、地震時斜面崩壊と豪雨時斜面崩壊とで、発生箇所の地形・地質条件がかなり異なっているという印象を与える。両者で地形・地質条件が違えば、発生時の破壊様式やその後の運動様式に関しても差異を生じるものと予測される。

発生時の破壊様式や運動様式に関する記述を列挙すると、せん断破壊による表層崩壊⁶⁾、表層すべり^{3),6)}、引張り破壊による土砂崩落⁶⁾、表層滑落型⁷⁾、円弧すべり的なもの⁴⁾、ブロックの滑落⁶⁾、剝落¹⁾、トップリング^{4),8)}がある。しかし、発生箇所の地形・地質条件と発生時の破壊様式や運動様式との関連性が十分説明されていないため、豪雨時斜面崩壊との違いも明確になっているとは言い難い。この論文では、崩壊面や周囲の被害状況や、完全な崩壊に至らなかった斜面の破壊形態から、崩壊に至るプロセスを復元し、地震時斜面崩壊のタイプと運動様式を明らかにする。さらに、各タイプと崩壊発生頻度との関係から、発生箇所の地形・地質条件を抽出し、地震時斜面崩壊の機構を総合的に考察する。

なお、機構解明に当たっては、構造がシンプルで破壊前の形態の復元が容易な人工構造物の損傷も手がかりに考察する。

* 株式会社 オキコ コーポレーション

** 川崎地質株式会社 (現在、建設省土木研究所交流研究員)

現地調査地域は、灘区鶴甲から東灘区岡本にかけての山麓部、住吉川とその上流の五助橋川の溪流沿い、高座川（芦屋川の支流）の両側尾根部（ロックガーデン、荒地山－鷹尾山－城山）、芦有道路沿い、宝塚北西の武庫川右岸（生瀬－宝生ヶ丘－月見山）である。

2. 風化度による六甲花崗岩の岩盤区分

六甲花崗岩は表層岩盤の風化度によって岩石地域（岩盤タイプ：R1, R2）とマサ地域（岩盤タイプ：M1, M2, M3, M4）とに分けることができる。

岩石地域には、表面が風化しただけの新鮮な岩盤や、全体が弱風化した岩盤が分布している。しばしば露出した岩盤が急崖（以下、露頭崖と呼ぶ）を形成している。このタイプをR1とする。尾根上には風化部の侵食により残留した最大径数10 cmから数mの新鮮な巨礫（以下、花崗岩巨礫と呼ぶ）が点在している。一般に最大径が1 mを越えるものは角がとれて丸みを帯びている。最大径1~2 m以上の花崗岩巨礫が積み重なった岩峰を形成しているところもある。このタイプをR2とする。

他方、マサ地域は強風化花崗岩（マサ）が分布する地域である。詳細にみると、マサには均質なマサと未風化核岩（花崗岩巨礫の源）を含むマサがあり、さらに前者は風化度（粘土化の程度）によって、後者は未風化核岩の大きさによって、それぞれ2分できる。

均質なマサには、著しい化学的風化によって、長石類や黒雲母、角閃石など、石英を除くほとんどの鉱物種が完全に粘土化している強風化度の均質なマサ（このタイプをM1とする）と、ほとんどの鉱物種の粘土化が不完全で、岩盤の表面がざらざらし、しばしば明瞭な節理を残している弱風化度の均質なマサ（このタイプをM2とする）とがある。通常、強風化度のM1タイプのマサが分布する地域は植生に覆われている。それに対して、弱風化度のM2タイプのマサが分布するロックガーデンや、有馬街道沿いの白水峽や蓬萊峽では、侵食によって形成された高さ1~2 mの尖塔状の頂が群立した鋸歯状の地形が発達している。

未風化核岩を含むマサには、最大径数10 cmの角ばった未風化核岩を多数含むもの（このタイプをM3とする）と、最大径1 mから数mの角の取れた未風化核岩を含むもの（このタイプをM4とする）とがある。前者は断層の近傍に分布する傾向がある。

3. 地震時斜面崩壊の運動様式

花崗岩の風化度を考慮して、斜面崩壊の運動様式を分類すると、岩石地域ではタイプ1、タイプ2、タイプ3、マサ地域ではタイプ4、タイプ5、タイプ6の計6タイプが識別された。それらの模式的な運動プロセスを図-1

に示す。

3.1 タイプ1

このタイプは尾根上に分布する花崗岩巨礫（R2タイプ）の転倒・移動である。転倒後に尾根から崩落しているものも少なくない。

写真-1 aの転倒例では、花崗岩巨礫は単にその場に転倒するだけでなく、元在った場所（地面の凹部）から横跳びしている。横跳びは多くの花崗岩巨礫で観察されている。横跳びは崩落の原因になりやすい。

写真-2 bは花崗岩巨礫の移動例である。移動の方向は斜面の最大傾斜方向と斜交している。移動した跡の地面には擦痕など滑った跡はなく、移動方向側の花崗岩巨礫の先端は地面にめり込んだ状態で止まっている。この現象は、花崗岩巨礫の一方が持ち上がることによって、持ち上がった側とは反対の方向に移動したことを示す。

3.2 タイプ2

このタイプは露頭崖（R1タイプ）の崩壊で、発生時の運動様式は節理に囲まれた岩塊の転倒である。

破壊面の多くは複数の節理面の組合せからなり、著しく凹凸である（写真-1 c）。上部ほど開口した節理沿いの開口クラックや、さらに谷側へ傾動したままの岩塊が観察される。これらの現象から、発生時の破壊様式はせん断破壊ではなく、節理に沿った引張り破壊によって、岩盤から分離した岩塊が転倒し、斜面崩壊に発展したと推定される。露頭崖壁面からの岩塊の抜け落ちや、露頭崖正面に生えている樹木の高い位置についている岩塊衝突による傷（図-1の模式図参照）は、岩塊の横跳びを示唆する。

3.3 タイプ3

このタイプは岩盤表面の風化殻の剝離である（写真-1 d）。R1タイプの岩盤で観察される。

剝離は風化殻と内部の新鮮な岩盤との境界で発生している。いずれも小規模であるが、厚さ1~2 cmの風化殻が数10 cm²の規模で剝がれることも珍しくない。

3.4 タイプ4

このタイプはM4タイプのマサ中に存在する最大径1~2 m以上の未風化核岩の転倒である。

写真-1 eの例では、直立した巨大な未風化核岩が縦にふたつに割れ、片側が転倒している。転倒方向は斜面の最大傾斜方向と直交している。未風化核岩の基底部分はマサの中に埋まっているが、転倒した部分はマサをほとんど破壊することなく、そこから抜け出している。未風化核岩をふたつ割りにする破断面の一部は酸化した節理であるが、大部分は新生の破断面で全く風化していない。周辺のマサが侵食されて、剃きだしになった未風化核岩で転倒は発生しやすい。周囲をマサで囲まれ転倒を免れた未風化核岩にも、しばしば縦割れが観察されるが、周

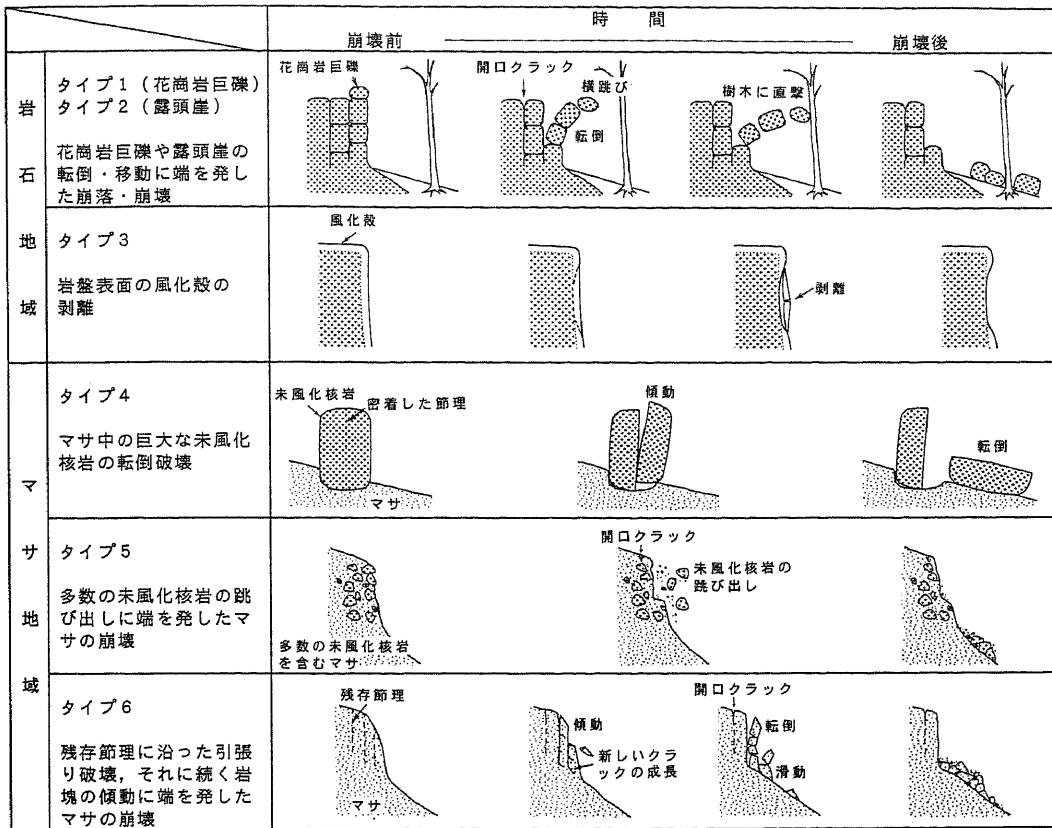


図-1 1995年兵庫県南部地震による六甲花崗岩の斜面崩壊の分類。

Fig. 1 Classification of slope failures of the Rokko granite caused by the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake.

围のマサは崩壊していない。後述するように、未風化核岩を含む新鮮な岩盤とマサとの破壊程度の差異は地震時崩壊の特徴である。

3.5 タイプ5

このタイプは最大径数10cmの角ばった未風化核岩を多数含むマサ(M3タイプ)で発生した崩壊で、未風化核岩の横跳びに端を発生している可能性が高い。

このタイプの典型は近くを五助橋断層が走る灘区鶴甲において観察された。未風化核岩の分布が不均質であるため、崩壊深は全体に浅く、破壊している斜面と破壊していない斜面が混在している。崩壊冠頭部には開口クラックを生じているが、それと連続するすべり面に相当する割れ目は存在しない。崩壊頂部付近で正面の樹木に未風化核岩が衝突している。地震時の崩壊物は未風化核岩起源の岩塊が主体をなす。このタイプは運動様式の解説に有効な情報に乏しいが、段丘堆積物の礫の跳び出しや空石積み擁壁の自然石の跳び出し(写真-2)と、同じ現象と解釈している。段丘礫や自然石が飛び出しても背面の土はほとんど崩れないのが特徴である。

3.6 タイプ6

このタイプは節理の残存する均質なマサ(M2タイプ)で発生した崩壊で、節理に沿う引張り破壊と傾動に端を発生している(写真-1f)。

詳細にみると、傾動した岩塊がそのまま転倒する場合と、節理に沿う引張り破壊で傾動した岩盤の基底部分が破壊・座屈して滑り落ちる場合とがある。M2タイプでは、発生時の破壊様式がせん断破壊であったか引張り破壊であったか判断ができないことも少なくないが、判断できるものにせん断破壊の例はなかった。

4. 崩壊発生頻度と風化度の関係

兵庫県南部地震による斜面崩壊の発生頻度は、神戸市灘区から東灘区、芦屋市、西宮市、宝塚市にかけての六甲山地東部で高いが、神戸市中央区以西の六甲山地西部では極めて低い¹⁾。花崗岩の風化度との関係を見ると、震源断層からの距離が同じであっても、崩壊発生頻度は岩石地域で高く、花崗岩巨礫の転倒・移動(タイプ1)と露頭崖の崩壊(タイプ2)が多発しているが、マサ地域では低い。

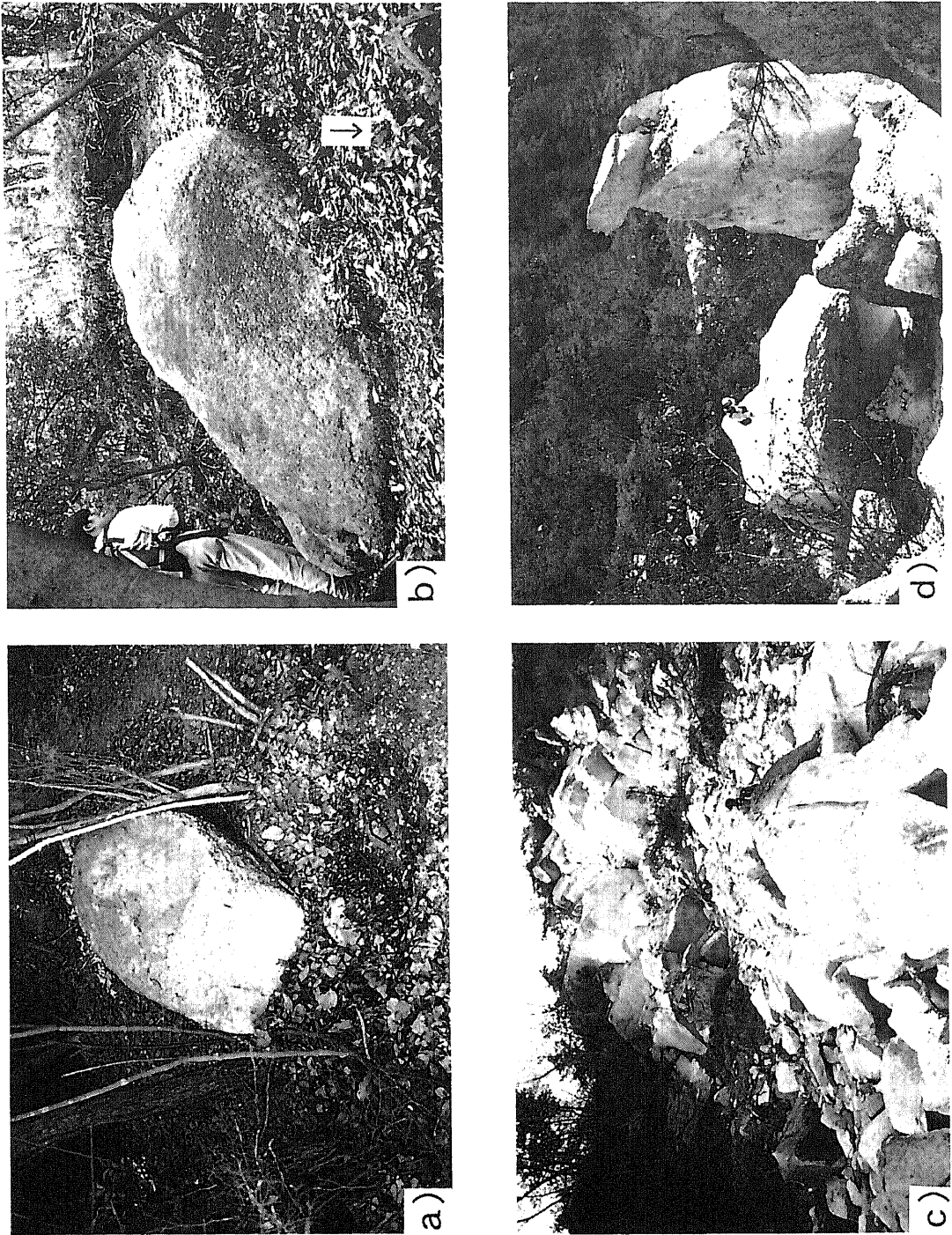


写真-1 1995年兵庫県南部地震による六甲花崗岩の斜面崩壊。a) 花崗岩巨礫の横跳びを伴う転倒(タイプ1)。凹地の場所から矢印の方向に横跳びしている。b) 花崗岩巨礫の移動(タイプ1)。花崗岩巨礫は斜面の最大傾斜方向(矢印の方向)とは斜交した方向に移動している。c) R1タイプの岩盤に発生したタイプ2の斜面崩壊。崩壊跡には複数の節理面からなる凹凸の著しい破断面が露出している。d) 岩盤表面の風化殻の剝離(タイプ3)。

Photo. 1 Slope failures of the Rokko granite caused by the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake. a) Toppling of granite boulder with a jump (type 1). The granite boulder jumps from a concave ground following an arrow. b) Migration of granite boulder (type 1). The orientation of migration is oblique to that of maximum inclination of the ground. c) The slope failure of type 2 occurred from the rock mass of R1 type. The collapsed scarp has a rugged surface controlled by joints. d) Exfoliation of the weathering crust of rock mass (type 3).

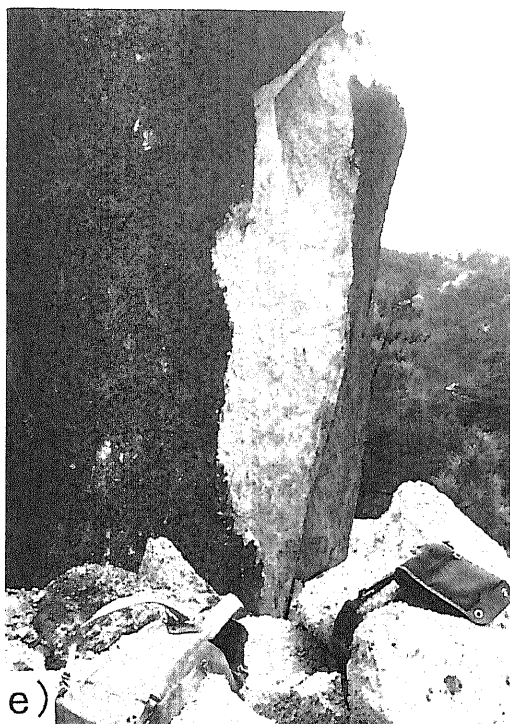


写真-1 (つづき) e) M4タイプのマサ中の巨大な未風化核岩の転倒(タイプ4)。地震動で縦割れした核岩の片側が転倒した。f) 節理の残存するマサ(M2タイプ)の崩壊(タイプ6)。崩壊を免れたが、節理に沿った引張り破壊(矢印の場所)や岩塊の傾動が起こっている。

Photo. 1 (continued) e) Toppling of large granite boulder in the decomposed granite of M4 type (type 4). The half of boulder splitted by earthquake motion has toppled. f) Slope failure of the decomposed granite of M2 type (type 6). This photo shows tension crack along the joint and tilting of the jointed rocks.



写真-2 空石積み擁壁の自然石の跳び出し(東灘区)

Photo. 2 Stones falling down with a jump from dry masonry (Higashinada-ku).

芦屋川の支流、高座川の両側尾根部(ロックガーデン、荒地山-鷹尾山-城山)の調査によると、最大径1m以上の花崗岩巨礫が転倒・移動していても、その近傍にある最大径50cm以下の花崗岩巨礫が動いていないことがよくある。転倒・移動した花崗岩巨礫の観察総数66個の内、最大径1m以上のものは52個で78.8%に達している。

タイプ2の崩壊では、崩壊発生頻度は節理間隔が広く新鮮な岩盤で高く、岩石は新鮮でも割れ目の発達で細かく割れている岩盤では低くなる傾向がある。それは崩壊岩塊の大きさからも明らかで、最大径が数10cm~1mのものが主体で、数mを越えるものがたびたび観察され、最大のものは最大径8mを越える。

他方、植生に覆われたマサ地域では、崩壊はほとんど観察されていない。ロックガーデンのようにマサが露出していても発生頻度が低い。尖塔状微地形を形成する弱風化度の均質なマサ(M2タイプ)は地震動によって容易に崩れるようにみえるが、残存する節理に沿う小規模な崩壊(タイプ6)がいくつか観察されるだけである。強風化度の均質なマサ(M1タイプ)は崩壊していない。

新鮮で割れ目の少ない岩盤や径の大きな花崗岩巨礫は崩壊しやすいが、マサや割れ目の多い岩盤は崩れにくいのが地震時斜面崩壊の特徴である。

5. 崩壊発生頻度と地形条件

地震時斜面崩壊の地形条件については、はじめに述べたように、多くの研究者が共通した認識をもっている。六甲山全域を空中写真判読した沖村は、兵庫県南部地震による崩壊が遷急線付近から多発していることを指摘している⁹⁾。崩壊の発生頻度が尾根上や遷急線付近で高いことはこれまでの地震でも指摘されている⁹⁾。落合ほかは地震時応答解析によるシミュレーションによって尾根付近の地震動の増幅を明らかにしている¹⁰⁾。ここでは、このことを支持するふたつの現象を示す。

一般に六甲山地で露頭率が高いのは、谷底付近の両側斜面で、その次が尾根肩付近である。露頭率だけを見ると、崩壊発生頻度は谷底近傍で高くなるはずであるが、現実とは違っている。六甲山地東部に位置する紅葉谷・五助谷・水晶谷周辺に分布する崩壊発生場所(空中写真判読による)と1万分の1の地形図判読から抽出した尾根肩の遷急線の位置との関係を見る(図-2)と、崩壊の多くは遷急線上で発生している。

いまひとつの現象は花崗岩巨礫の転倒・移動の発生頻度に関するものである。すでに述べたように、尾根上では、花崗岩巨礫の移動・転倒が多数観察され、最大径5mの重心が低く安定度の大きいものでも移動しているが、谷底に分布する花崗岩巨礫では、単に移動しているだけのものほとんどない。

上記の例は地形形状(遷急線をつくる凸型地形)による地震動増幅を示唆している。さらに、定性的だが、現

地観察によれば、谷底からの比高(尾根の高さ)も地震動増幅の原因になっている可能性がある。

6. 地震時斜面崩壊の機構

タイプ1の花崗岩巨礫の転倒・移動は墓石・灯籠の地震時破壊形態¹¹⁾と同じである。たとえば、墓石・灯籠の移動も、底面全体を使って滑動したものではなく、底面の一方が持ち上がり、持ち上がった側とは反対方向に移動するのが特徴である。また、墓石・灯籠の横跳びも広い地域で観察されている現象である。墓石・灯籠は、石材を積み重ねただけの構造物であるので、地盤の地震動加速度による慣性力によって瞬間的に破壊したのである¹¹⁾。転倒・移動・横跳びを崩壊発生時の運動様式とするタイプ2、タイプ4、タイプ5、タイプ6の斜面崩壊も慣性力が原因と考えられる。

同じ加速度では、慣性力は質量の大きなものほど大きくなる。径の大きな花崗岩巨礫や岩塊は慣性力が定置面強度や節理面強度を越えて破壊したが、径の小さなものは慣性力が小さいため破壊しなかったと考えられる。

多くの事例が示すように、新鮮な岩盤が崩れやすくてマサが崩れにくいことが地震時斜面崩壊の特徴である。マサは新鮮な岩盤に比べて空隙が多く、見かけの質量が小さいために、大きな慣性力が得られない。またマサは鉱物粒子間の摩擦や空隙の部分(空気・水)を振動するときに生じる抵抗で振動エネルギーが減衰するほか、塑性変形によっても崩壊が免れやすい。これがマサの崩れにくい原因であろう。

剝離は典型的な地震時破壊現象のひとつで、土壁の漆喰や、モルタル木造家屋のモルタル壁、建物の外装タイル、斜面の吹き付けコンクリート、斜面の張りブロックなどで発生している¹²⁾。振動エネルギーの減衰の度合いが材料ごとに異なるために、合い接する材料間で応答周期に違いを生じ、それが原因となって剝離は発生すると考えられる。岩盤表面の風化殻の剝離(タイプ3)も、風化殻と内部の新鮮な岩盤の振動エネルギーの減衰差が応答周期の違いに現れて発生したと考えられる。

7. 崩壊の方位分布

墓石・灯籠の転倒方向は、地盤の地震動加速度の方向に支配され、定方位性を示すことが明らかになっている¹¹⁾。墓石・灯籠の卓越転倒方位から推定される卓越水平加速度方位は震源断層(野島断層および六甲断層系)に直交する傾向が認められる⁴⁾。斜面崩壊の方向も卓越水平加速度の方向に規制される可能性がある。

構造的に墓石・灯籠に近い花崗岩巨礫の移動・転倒・横跳びの卓越方位(図-3 a)は、近傍の活断層に高角で、平地の墓石・灯籠の卓越転倒方位から推定した卓越

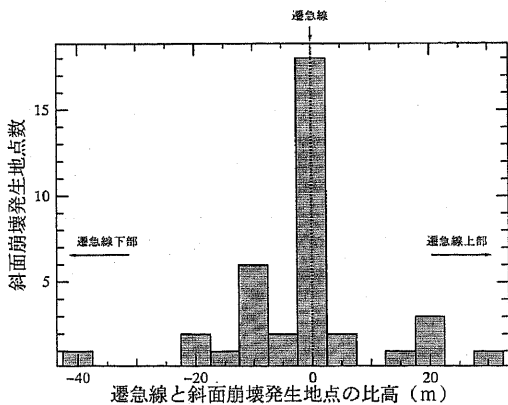


図-2 崩壊発生場所と尾根肩の遷急線との位置関係(紅葉谷・五助谷・水晶谷)。

Fig. 2 Altitude relation between slope failure and knick point near the ridge (Momijidani, Gosukedani, Suisyodani).

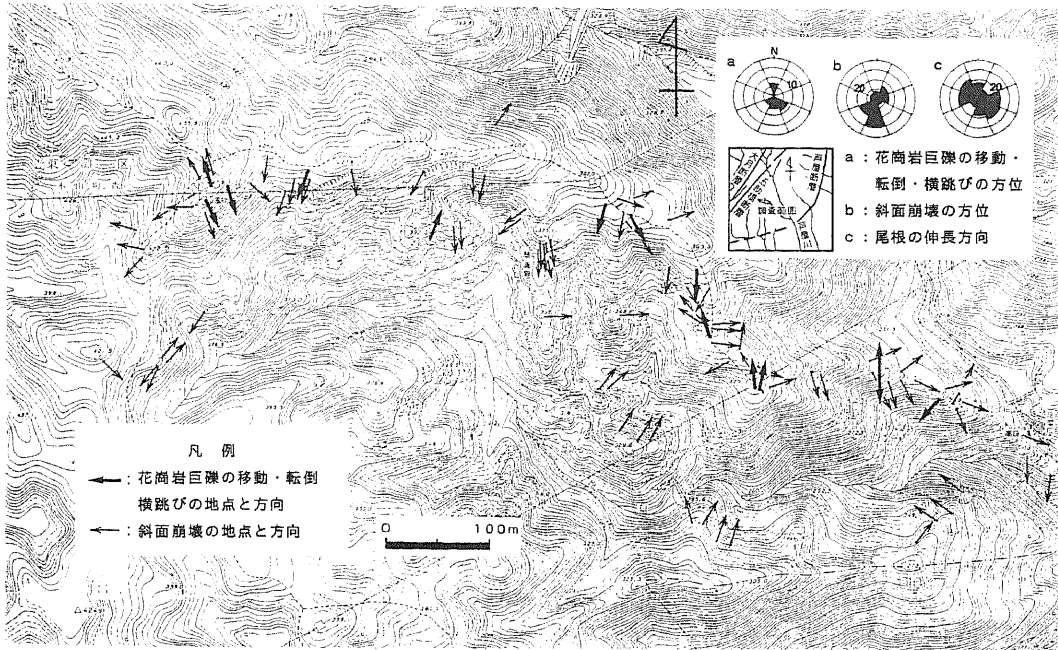


図-3 ロックガーデン地域における花崗岩巨礫の移動・転倒・横跳びの方位と斜面崩壊の方位。尾根の方向は長さ50mの尾根の平均的方向を1ポイントとして測定した。

Fig. 3 Orientation of migration, toppling and jump of granite boulders, and slope failures. Direction of the ridge is the average direction measured every fifty meters.

水平加速度方位と一致している。斜面崩壊(タイプ2, タイプ6) (図-3 b)も、破壊発生時の転倒方位は卓越水平加速度方位に支配されると考えられるが、最終的な崩壊方位は、地形の影響、すなわち尾根の伸長方向(図-3 c)に支配された露頭崖の向きの影響を受け、花崗岩巨礫の転倒・移動方位とは必ずしも一致しない。

8. まとめ

1995年兵庫県南部地震で発生した六甲花崗岩の斜面崩壊の運動様式は、岩石地域では①タイプ1:尾根上の花崗岩巨礫の転倒・移動, ②タイプ2:節理に囲まれた岩塊の移動・転倒に端を発した露頭崖の崩壊, ③タイプ3:岩盤表面の風化殻の剝離, マサ地域では④タイプ4:マサ中の最大径1~2m以上の未風化核岩の転倒, ⑤タイプ5:最大径数10cmの未風化核岩の跳び出しに端を発したマサの崩壊, ⑥タイプ6:節理に沿う引張り破壊や傾動に端を発したマサの崩壊の6タイプが識別される。

崩壊発生時の転倒・移動・横跳びは地震動加速度の慣性力による瞬間的な破壊によって生じている。地震時斜面崩壊では、新鮮で割れ目の少ない岩盤や径の大きな花崗岩巨礫が崩れやすく、岩石地域のタイプ1とタイプ2の発生頻度が飛び抜けて高くなっているが、マサや割れ目の多い岩盤は崩れにくい傾向がある。それは、慣性力は質量に比例するため、径の大きな花崗岩巨礫や岩塊は

ど、定置面強度や節理面強度を越える大きな慣性力が得られたためと考えられる。

崩壊発生場所と尾根肩の遷急線との位置関係や尾根上と谷底での花崗岩巨礫の転倒・移動頻度の比較によると、尾根の頂部付近は地震動増幅が起きやすい場所であることを示している。

花崗岩巨礫の移動・転倒の方位は卓越水平加速度方位に規制され、震源断層に直交する傾向がある。斜面崩壊発生時の転倒方位も卓越水平加速度方位に規制されるが、最終的な崩壊方位は斜面の向きの影響も受ける。

参考文献

- 1) 沖村 孝: 兵庫県南部地震にともなう斜面崩壊の特性, 兵庫県南部地震にともなう地すべり・斜面崩壊研究報告書, 地すべり学会, pp. 1-16, 1995.
- 2) 平野昌繁・石井孝行: 兵庫県南部地震による断層の活動と斜面崩壊, 地盤工学会関西支部平成7年度講話会資料「阪神・淡路大震災のそこが知りたい-斜面崩壊の分布とその特徴-」, pp. 17-22, 1995.
- 3) 水山高久・西田顕郎: 兵庫県南部地震による山腹崩壊(続報), 新砂防, Vol. 48, No. 1, pp. 38-40, 1995.
- 4) 低引洋隆: 阪神大震災による六甲山内での土砂流出について, 新砂防, Vol. 48, No. 1, pp. 46-49, 1995.
- 5) 落合博貴, 北原 曜・三森利昭: 平成7年兵庫県南部地震による山地崩壊, 新砂防, Vol. 48, No. 1, pp. 41-45, 1995.
- 6) 奥西一夫: 山腹斜面崩壊の地形立地条件, 地盤工学会関西支部平成7年度講話会資料「阪神・淡路大震災のそこが知りたい-斜面崩壊の分布とその特徴-」, pp. 29-36,

- 1995.
- 7) 建設省土木研究所砂防部: 平成7年兵庫県南部地震による山腹崩壊, 斜面崩壊 (速報), 新砂防, Vol. 47, No. 6, pp. 54-56, 1995.
 - 8) 谷 俊洋・中川 渉: 六甲山系で発生した斜面崩壊, 地盤工学会関西支部平成7年度講話会資料「阪神・淡路大震災のそこが知りたい-斜面崩壊の分布とその特徴-」, pp. 55-60, 1995.
 - 9) 奥園誠之・羽根田汎美・岩竹喜久磨: 地震による斜面崩壊の実態, 土と基礎, Vol. 28, No. 8, pp. 45-51, 1980.
 - 10) 落合博貴・北原 曜・三森利昭・阿部和時: 地震による山腹斜面崩壊と地震時応答解析, 兵庫県南部地震にともなう地すべり・斜面崩壊研究報告書, 地すべり学会, pp. 119-132, 1995.
 - 11) 菊山浩喜・横山俊治・中垣幸恵・柏木健司: 墓石・灯籠の転倒調査から推定される1995年兵庫県南部地震の地震動, 土と基礎, Vol. 44, No. 2, pp. 42-44, 1996.
 - 12) 横山俊治・菊山浩喜: 1995年兵庫県南部地震の地震動による地盤災害, シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環境」論文集, 日本地質学会環境地質研究委員会, pp. 229-232, 1995.

(原稿受理日 平成9年6月25日)