

巨大地震と花崗岩山地の地形

— 1995年1月の阪神大地震による六甲山地での例 —

池 田 碩 *

A STRONG EARTHQUAKE AND THE CHANGES IT CAUSED IN GRANITIC LANDSCAPE: The Case of Mt. Rokko due to the Great Hanshin Earthquake of 1995

Hiroshi IKEDA

1. はじめに

1995年1月17日午前5時46分、淡路島北端部の地下14kmを震源としてマグニチュード7.2という大地震が発生し、淡路島から六甲山地の南麓を結ぶ延長約40kmにわたって震度7（激震）の大被害を生じた。すなわち、六甲山地南麓の低地を中心に市街地化が進み、人口の集積していた神戸市や芦屋市、西宮市とその延長域で大きな被害をもたらし、犠牲者だけでも5600人・全壊家屋10万戸を超すというすさまじい状況となった。

筆者はかつて、1967年7月梅雨末期の集中豪雨時、多数の山腹崩壊や崖崩れによる被害を発生させた折、現地調査をおこない、その結果を建設省六甲砂防工事事務所発行の報告書にまとめた¹⁾。その折明治期の裸地や崩壊地の分布とそれ以降の風水害時の被害状況をも復原し、六甲山地を形成する花崗岩の地形特性との関係を検討した。

豪雨のような外的営力による山腹崩壊や侵食は、山地斜面変化の主要なプロセスとして重視されてきたが、今回の地震は内的営力が山地斜面変化プロセスにどのような役割を果たすかという視点から注目されるのみならず、その検証にとって得がたいチャンスといえる。

大地震の結果は、マクロ・メソスケールでとらえると、後述するごとく山地側が隆起し山麓から海岸一帯は低下したが、しかしミクロスケールで見ると山地内では跳ね石現象や岩峰・岩塔（Tor）の分解、岩塊表面部の剝離脱落などきわめて注目すべき種々の現象が発生した。これらの現象の出現には、強力なストレスが必要であり、今回の地震がこのほか山地全体にわたって岩石や地形に種々な影響を与えていることがわかってきた。

そこで本稿では、六甲山地を形成する岩石の性質や地形の特徴と今回の大地震が与えた山体の変状や山中での被害について、その実態を具体的に報告し、それに若干の考察や所見を加えておくことにした。

2. 地震による変状の特徴と花崗岩の岩質条件

六甲山地は、近畿内帯を代表する地塁山地である。このため山地の南北両側には地塁を押し上げてきた活断層が存在する^{2),3)}。そのうち南側の断層が今回活動した。地震後の水準点改測の結果、山地では最高峰の六甲山が12cm・摩耶山が8cm・甲山が8cm上昇し、南側低地では打出が5cm・青木が23cm・鳴尾が33cm低下（低下量には地盤の圧縮による沈下量も含まれる）しており、これまでの地塊運動の継続活動説を証明した⁴⁾。

六甲山地を構成する岩石は、一部に古生層の堆積岩地域を含むが、ほとんどが黒雲母花崗岩・花崗閃緑岩・黒雲母角閃石花崗閃緑岩（以下これらを総称して「花崗岩類」とする）である。

山地の主体をなす花崗岩地域の特徴は、まず山地の形成にかかわった断層とそれに付随する破碎帯が山麓を中心に分布、一部は山中にも見られる。さらに花崗岩体特有の節理を中心とした割れ目が発達している。

割れ目の間隔には、六甲山地の花崗岩の場合著しい地域差がある。筆者はかつて割れ目の間隔が平均して1m以上であるところを大割れ地域、1m~30cmのところを中割れ地域、30cm以下のところを小割れ地域に分け、東六甲山地全域の割れ目密度分布図を作成した（図-1）⁵⁾ことがある。それによれば、大割れ地域は東六甲山地の南側に集中して分布している。小割れ地域は一部最高峰六甲山（931m）の南側直下から分布するが、全体としては山地の北東側に広がる。中割れ地域は、両者の中間部から西方にかけて分布することがわかった。

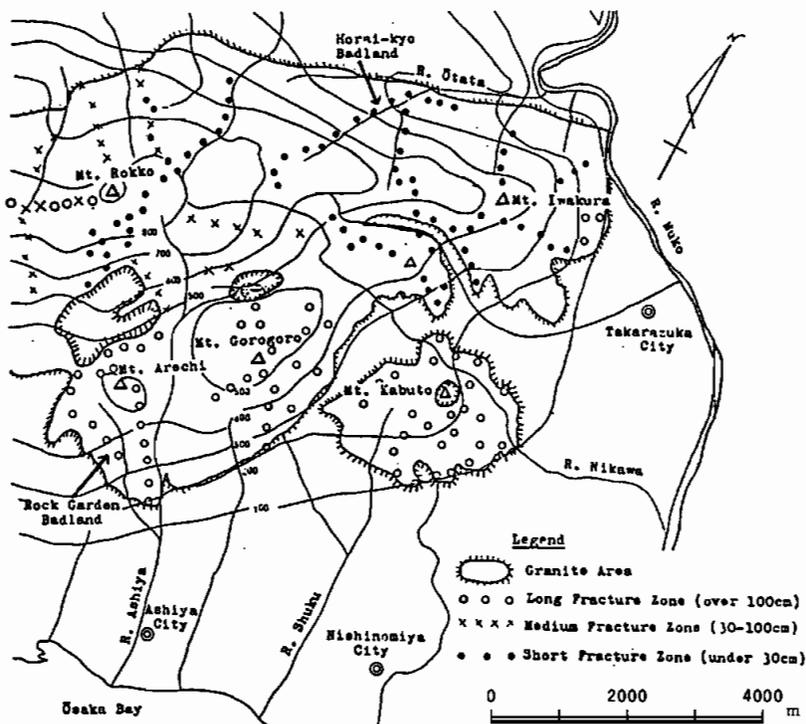


Fig 1. Eastern Mt. Rokko Granitic Fracture Density Distribution Map

図-1. 六甲山地東部における花崗岩の割れ目の密度分布図

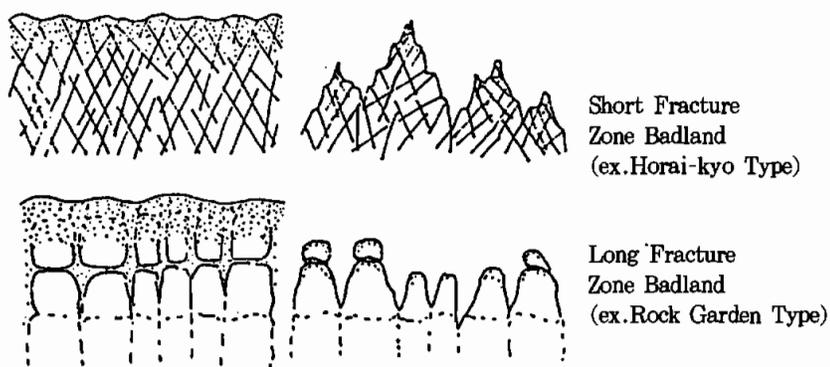


Fig 2. Distance Between Granitic Fractures and Differences in Badland Profiles
 図-2. 花崗岩の割れめの間隔とバッドランド地形の相異

この割れめの密度の分布の地域的差異が、地表の微起伏や斜面で生産される砂礫の大きさや量と移動様式にかわり、さらにはそれらの総体として地形や景観の差を生じているのである。その典型的な例として、小割れ地域には物理的風化でガサガサに剥がされた岩肌の斜面と尖峰が続く蓬来峡・白水峡一帯のバッドランドや岩倉山・樫ヶ峰などの山地が、大割れ地域には岩塔 (Tor) や巨大な岩塊群がゴロゴロと散在し奇景を示すロックガーデンのバッドランドや荒地山・雷山周辺があげられる (図-2)。これらに対し、中割れ地域では岩塔や岩塊がきわめて少なく、ガサガサの岩肌を見せる斜面もなく、のっぺりとした地形を示し、植生の密度も高い。

そこで、六甲山地における今震災時の状況を筆者自身での現地調査資料と建設省六甲砂防工事事務所にて調査し、1万分の1図上に記入、その後再整理された崩壊地分布図 (図-3)⁶⁾をもとに検討してみる。

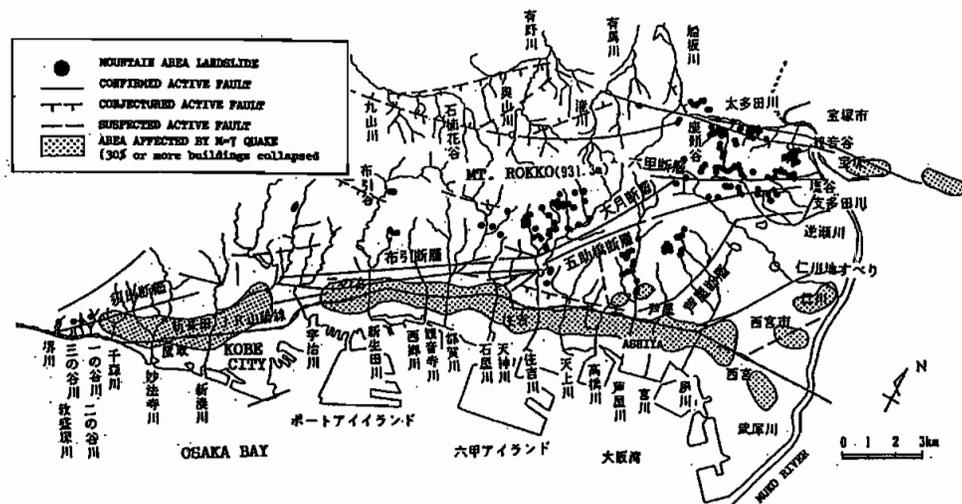


Fig. 3. Damage Caused by the Great Hanshin Earthquake of 1995
 図-3. 1995年1月の阪神大地震による被害状況⁶⁾

この図は主として空中写真の判読により作成された今震災による崩壊地の分布を示している。崩壊地は打越山や金鳥山などの古生層からなる山地の部分には見られない。崩壊地は六甲山地の花崗岩地域のうちでも断層およびそれに沿う急崖帯で標高が高く傾斜が急な、しかも裸岩地や植生の疎なところが多い東六甲山地一帯に集中して分布している。なかでも崩壊地は、①山地の東南側の芦屋川・夙川流域、②住吉川上流域から山地の北東側に集中している。これに筆者が作成した割れめの密度分布図を重ね合せてみると、前者は大割れ地域であり、後者は小割れ地域とほぼ一致している。このように、同じ花崗岩地域の現象や分布であってもより詳細に見れば、例えばパッドランド地形といえどその状態に差が現われるように、地震による崩壊発生地でもちがいを生じている。このような相異が六甲山地の微地形の特徴なのである。

すなわち、図-3上では同様のマークが記入されている崩壊地でも、岩質のちがいによって微地形の分布地域に明確な相異も生じているのである。

さらに現地調査からの特徴としては、小割れ地域の崩壊地の場合すでに存在していた崩壊地や岩屑斜面の拡大と岩屑の再流動が多くあまり目立たないのに対し、大割れ地域の方では同様な拡大地とともに新たな崩壊地の出現が目立つ。また通常時は安定しているように見える山地の尾根付近や小起伏の頂部では、地盤のゆるみや小さな崩壊が多発しており、岩塔状の岩体が分解したり、地表の一部がまるではぎ取られるかのような状態で剝離落下している。

これらのうち大規模な崩壊地や小規模な崩壊地でもそれらが集積していれば、空中写真で判読できる。しかしながら、現地調査でしかとらえられない数mオーダーの小さな変動は実際多数生じているにもかかわらず、判読できないために図上には記入されていない。このような地震による山体内部の岩体の破碎が予想外に甚大なことからして、地表下での潜在の変状も看過できないし、変動帯の山地の地形を考える上では極めて重要である。

さらに、崩壊地の分布は図上で見ると、震災の場合も豪雨災の場合もほぼ同様な地域に集中しているように見える。しかし現地でも調査してみると、かなり相異していることがわかった。豪雨の場合は、地表面から地下へとおよぶ外的営力によるもので、しかも山中では雨水が集中してくる斜面の中腹から下方での被害が多いが、地震では逆に地下から地表へ向けて働く内的営力によるストレスであり被害も斜面の中腹より上の方、さらには尾根筋や岩塔、山頂一帯に多いことがわかった。それらの実態や各種の例を次章で写真を中心に具体的に示す。

また図上には現われていない小規模な崩壊や前記したように、特に震災で生じた潜在する変状地を含めると両者での差はさらに大きくなる。山地や斜面変化を考える場合、これらのことにも注意すべきことを、今震災による地形や地盤の変状から学びとることができた。

3. 地震による変状の実態

今回の地震の巨大なエネルギーによる岩石や地形の変状・変化の状況を、できるだけ多くの例をあげて具体的に踏査結果を紹介する。岩石の風化色調の相異や周辺の状態との比較を通して微妙な変状をも把握可能なように、カラー写真を使用した。

そこで、本項では変状の実態を、A：花崗岩の割れかたのちがいと地震による新しいクラックの出現状況。B：地震の衝撃による地表の変化。C：地震の強力なエネルギーによる各種の破壊例。D：地震による岩峰の分解と巨大な岩塊の落下の経過。のごとく大きく4パートに分け、それぞれを1ページずつでまとめることにし、各ページ毎に4～5枚の写真を付けた。

以上の状況に関する説明は、写真ページのあとにまとめて整理した。なおそれらのうち重要なものにはスケッチを加え、若干の考察をつけておいた。

Page A : Different ways granite splits and the new cracks caused by seismicity.

①・③ : Short Practure Zone

②・④ : Long Practure Zone

写真Aページ：花崗岩の割れかたのちがいと地震による新しいクラックの出現状況



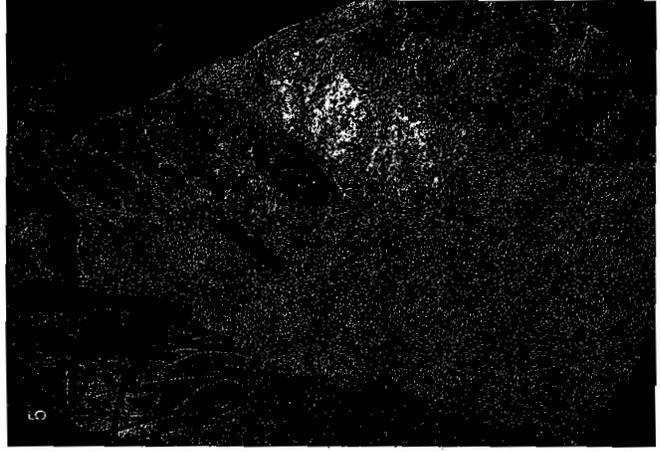
写真Bページ：地震の衝撃による地表の変化

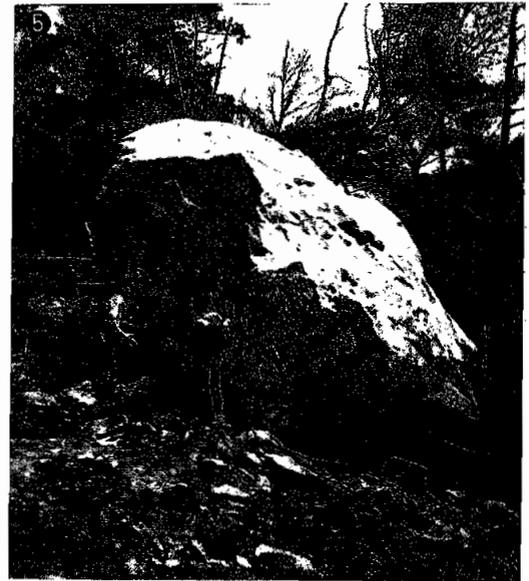
Page B : Changes in topography due to the earthquake shock.



Page C : Various types of collapse caused by strong earthquake energy release.

写真Cページ：地震の強力なエネルギーによる各種の破壊例





Page D : Collapse of a huge tor area rock that rolled 800 meters down slope from its 160m elevation site.



写真Dページ

地震による岩峰の分解と「平成ナマズ岩」と名づけられた巨大な岩塊の落下の経過

Photographs

Page A: Different ways granite splits and the new cracks caused by seismicity.

- ① Overall view of a Short Fracture (badlands) area with cracks less than 30cm wide.
- ② Overall view of a Long Fracture area with cracks around 100cm wide.
- ③ Newly developed cracks in a small-crack area
- ④ Newly developed cracks in a large-crack area

Page B: Changes in topography due to the earthquake shock.

- ① Ridge collapse
- ② Close-up view of photo #1 area showing the rockfall that developed.
- ③ Disintegration of the ridgetop top.
- ④ Large rock broken off at its base.
- ⑤ Top rock surface exfoliation

Page C: Various types of collapse caused by strong earthquake energy release.

- ① Rock-bounce phenomenon (ruler is 1 meter long) in which a large rock is thrust up into the air and landed 40cm away from its original location after turning 45° clockwise
- ② Midslope convex rock broken off
- ③ The refracture of a huge rock (fracture surface is 8m × 10m)
- ④ Top area rock surface violently torn off
- ⑤ The fresh rock seen at the break site shown in photo #4.

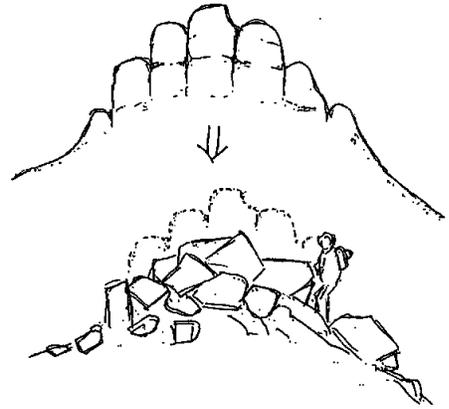
Page D: Collapse of a huge top area rock that rolled 800 meters downslope from its 160m elevation site.

- ① As seen from below
- ② As seen from above
- ③ Location of the actual collapse site (about 60m wide)
- ④ Trees knocked over by the rolling rock.
- ⑤ The place where the 6 × 8m rock finally came to a stop.

写真ページ説明

写真A ページ：花崗岩の割れかたのちがいと
地震による新しいクラックの出現状況

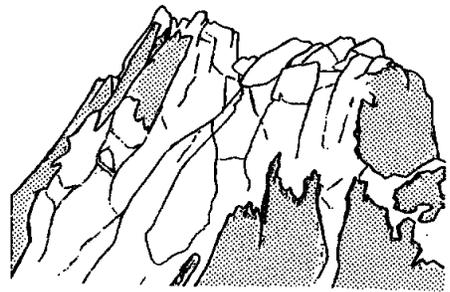
- ①小割れ地域の風景・>30cm、蓬莱峡の
バッドランド。
- ②大割れ地域の風景・<100cm、荒地山。
- ③小割れ地域に新しくできたクラック。
- ④大割れ地域に新しくできたクラック。



Sketch of photog. B-①
写真B-①のスケッチ

写真B ページ：地震の衝撃による地表の変化
の状況

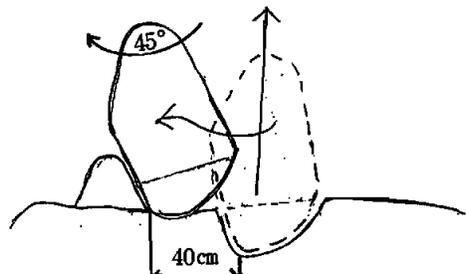
- ①山間部の尾根の破壊。
- ②は、①の近写。岩ナグレが生じている。
- ③尾根上の岩塔・(Tor) の分解。
岩塊は縦揺れで突き上げられ、横揺れで周囲
に落下、その途中で割れてバラバラに転
がっている。
- ④岩塊の根元が横揺れに堪えきれず折れるよ
うに破壊されている。
- ⑤岩塔状の巨大な岩塊の激しい剝離状況。
岩塊の表面をナイフで荒っぽく剥ぎ取った
ようにけずり落とされている。



Sketch of B-⑤. White area is the
location of exfoliation due to Earthquake
写真B-⑤のスケッチ. 白いところが地震に
よって剝離された部分

写真C ページ：地震の強力なエネルギーによる
各種の破壊例

- ①跳ね石・または飛び石現象 (メジャー1m)。
激しい地下からの突き上げにより岩塊は少
なくとも40cm以上跳ね上げられ、さらに横
揺れによって時計廻りに45° 南側へ回転し
て、40cm手前の岩盤の上に落下している。
- ②斜面中腹の突出部分の分解。
- ③巨大な岩塊の再分解 (高さ10m、幅8m)。
- ④岩塔 (トア) 表面の激しいはぎ落とし状の
剝離。
- ⑤は、④の円内から落下した部分。4段階の
風化色が見えるが、中央部で最も広い新解
なところはぎ落とされていることがわか
る (メジャー20cm)。



Sketch of photog. C-①
Large rock moved 40cm and
turned 45° clockwise
写真C-①のスケッチ

写真Dページ：地震による岩峰の分解と巨大な岩塊の落下の経過（高度差160m・距離800m）

- ①落下したコースを下方から見上げる。
- ②落下したコースを上方から見下ろす。
- ③岩峰の崩壊状況。
- ④森林がナギ倒された岩塊落下の跡。
- ⑤山麓で止まった巨大な岩塊（高さ6m・幅8m）。

現在地元では、この岩塊に「平成ナマズ岩」と名づけ、保存していく運動が進められている。

4. さいごに

今年1月17日六甲山地南麓を襲った阪神大震災に伴う六甲山地内での地盤の変状と地形変化について調査した。

地震発生後、広範な地域でしかも山地の状況を全体的に把握するために、建設省国土地理院や民間の航空測量会社によって空中写真がただちに撮影された。それらは実体視による判読を経て崩壊地の分布図として公表され、貴重な資料となった。

しかし、現地での調査が進むにつれ、地震の強力な内的エネルギーによる地下からの突き上げによって、地表面が破壊され地形が変化しているところと、地表変化にまでは至っていないが地割れが生じたり、跳び石現象を生じたり、岩石表面の剝離、岩塊の再分解や岩塔の破壊など微妙な変状や変化も著しいことがわかってきた。だが、後者の場合空中写真の判読ではとらえることができない。地震による山地が受けた影響の実態を知るためには空中写真では限界があり、そのデータだけで全体を判断することは危険であることがわかった。

今回の地震による変状は、堆積岩地域に少なく花崗岩地域に多発した。六甲山地は主として花崗岩から形成されているが、花崗岩は割れめの密度の差と風化の差が大きい。その差が花崗岩の分布地でもさらに地形や景観の地域の差を生じているが、今回の地震による変状にも具体的に写真で実態を示したように、このような岩質の特徴がより一層明瞭に現れた。

今回のような 10^2 ~ 10^3 年間隔で生じる大~巨大地震では、そのエネルギーの強さに応じた地形の破壊現象を生じるとともに、地表下の地盤や微地形にも変化を与えており、これらの集積が今後の山地の侵食や斜面の破壊には大きく影響してくるものと考えられる。

なお、豪雨のような外的エネルギーによる侵食や破壊は、雨水が集合してくる斜面の中腹から下方にかけて、さらには谷筋に多発する。これに対し地震による変状や変形の大きい地域は、斜面のうちでも中腹から上方にかけて発生、さらには尾根上や山頂域一帯に多発していることがわかった。まだ、地震発生から半年を経過した段階であり、本格的な調査は現在種々な専門分野で進められている。これまでに緊急報告的に発表されたもののうちで、筆者と似た見解を現地踏査にもとずいて記されているものとして低引洋隆の報告⁹⁾をあげておく。

今回の調査を通して、我が国のような造山運動の激しい地盤からなり、そのうえモンスーン気候下で時折強烈な豪雨に襲われる地域での地形変化には、やはり巨大な地震や集中豪雨など異常事態発生時のカストロフィックな変化が地形形成にとっていかに大きな役割を果たしているかを改めて考えさせてくれた。

注

- 1) 池田 碩(1971) : 1967年7月豪雨災における六甲花崗岩山地の崩壊、建設省近畿地方建設局六甲山系砂防調査報告、第7号。
- 2) 藤田和夫・笠間太郎(1983) : 神戸地域の地質. 1 : 50,000. 地質調査所。
- 3) 藤田和夫・前田和夫(1984) : 須磨地域の地質. 1 : 50,000. 地質調査所。
- 4) 建設省国土地理院(1995) : 地震発生後の水準点改測。
- 5) 池田 碩・他(1967) : 六甲山地における花崗岩の割れめ・風化と地形、阪神とその周辺の地形所収、地理学評論第40巻11号。
- 6) 建設省六甲砂防工事事務所(1995) : 崩壊地分布図(原図は1 : 10,000図上に作業)。
- 7) 池田 碩(1995) : 阪神大地震と地形災害、地理40巻4号。
- 8) 低引 洋隆(1995) : 阪神大震災による六甲山地内の土砂流出について、新砂防、第48巻1号。

Summary

On January 17, 1995, a large earthquake of $M=7.2$ occurred in west-central Japan near the city of Kobe when a fault on the south side of Mt. Rokko (elev. 931m) slipped. The resulting shock leveled some 100,000 buildings and took some 5,600 lives in the urbanized area of Kobe stretching from the piedmont at the base of the mountain to the seashore.

The topography of Mt. Rokko is mainly granitic, and the sudden release of seismic energy caused many kinds of collapse phenomena there. I have often surveyed the damage caused by mudflows and landslides due to heavy monsoon rains, but this was the first time for me to survey that caused by a great earthquake. The kinds of collapse I found were indeed quite different from those caused by heavy rainfalls. During heavy rainfalls, water tends to collect at midslope and move downslope from there where most collapses and slides occur, but in a large earthquake, the impacts of large energy release are just the opposite, starting at midslope and moving upslope with much of the damage likewise upward from midslope toward and including the ridge zone.

Furthermore, the energy-caused shock makes rocks bounce and splatter, as well as causing rock surfaces to just peel off. Also, some tor area rocks were broken into fragments, all this cause by this tremendous natural phenomenon.

Because of the granitic nature of the area studied, as time passes, the topography will change rather rapidly and eventually become unrecognizable from the present one. Thus, it is considered important to record conditions as they are now with well explained color photographs. It is important to also watch how conditions change in rainy Japan with present post-quake conditions as a base of comparison.

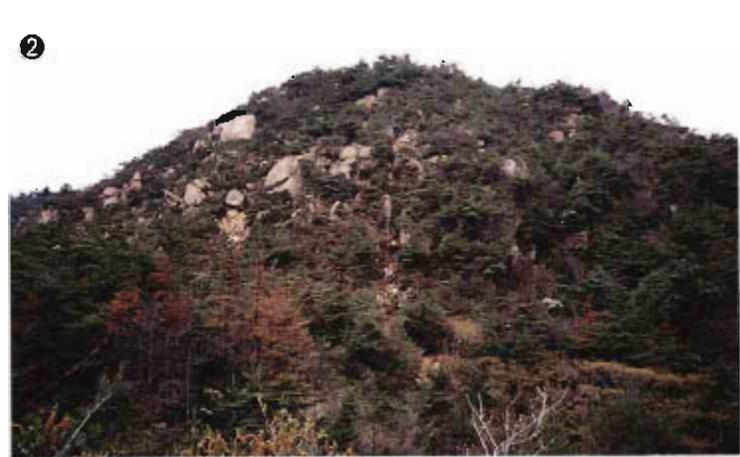
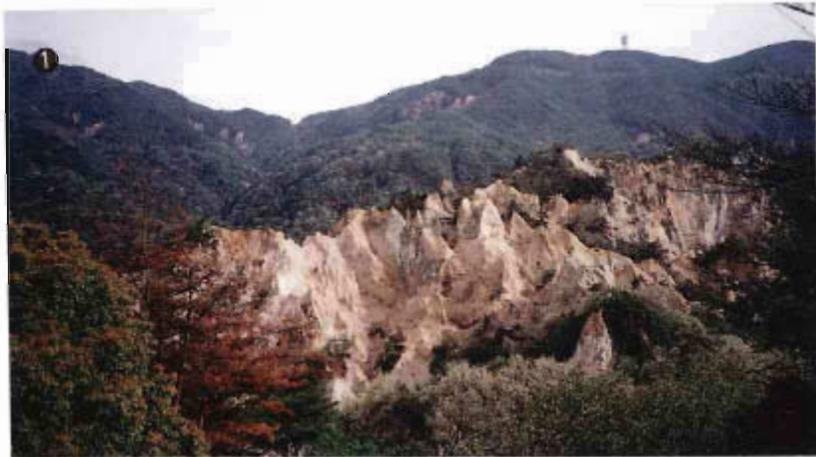
本報告の調査に当って、福武学術文化振興財団からの「阪神震災地域の特性と国際的援助活動に関する研究」の助成金を使用させてもらったことに対し感謝の意を表します。

Page A : Different ways granite splits and the new cracks caused by seismicity.

①・③ : Short Practure Zone

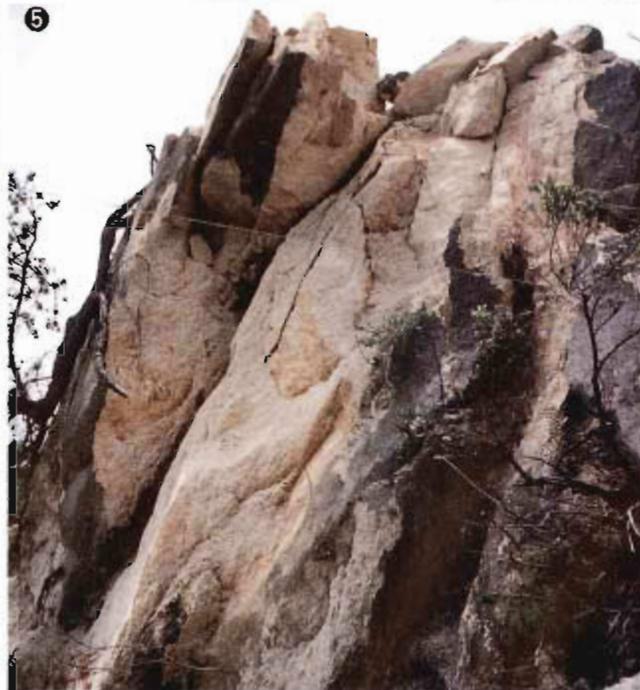
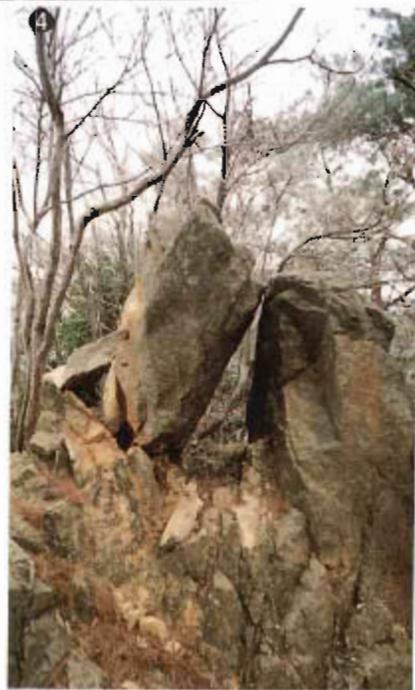
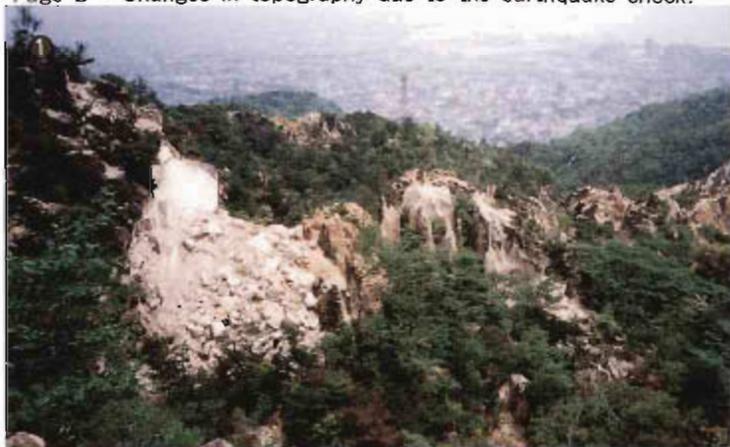
②・④ : Long Practure Zone

写真Aページ：花崗岩の割れかたのちがいと地震による新しいクラックの出現状況

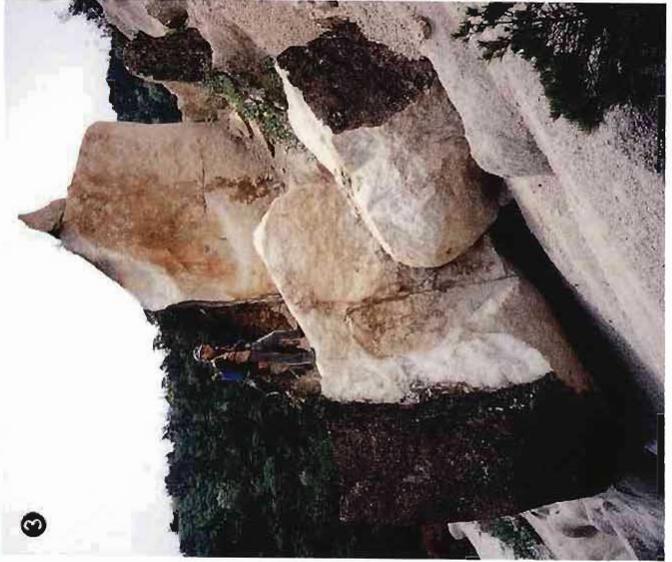
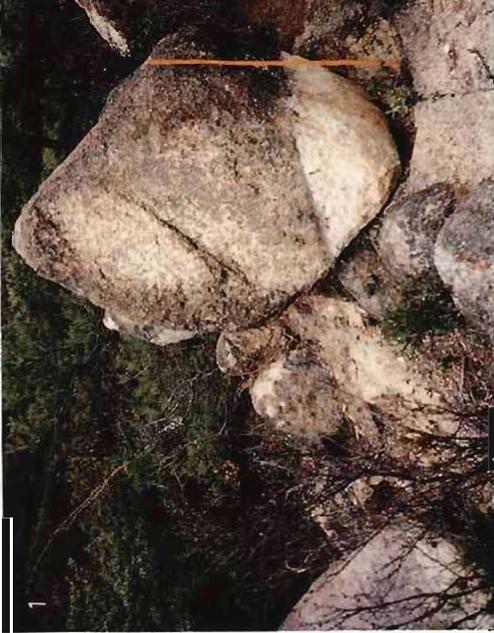


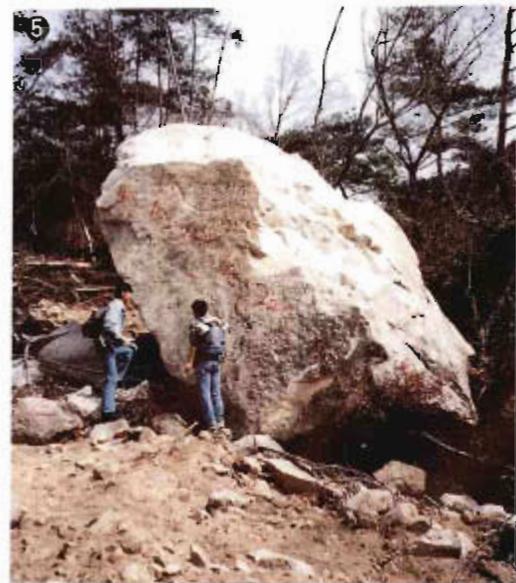
Page B : Changes in topography due to the earthquake shock.

写真Bページ：地震の衝撃による地表の変化



Page C : Various types of collapse caused by strong earthquake energy release. 写真Cページ：地震の強力なエネルギーによる各種の破壊例





Page D : Collapse of a huge tor area rock that rolled 800 meters down slope from its 160m elevation site.

写真Dページ

地震による岩峰の分解と「平成ナマズ岩」と名づけられた巨大な岩塊の落下の経過