瀬戸内地方の採石場における花崗岩質岩石の異方性

ANISOTROPY OF GRANITIC ROCK IN THE INLAND SEA IN WESTERN JAPAN

工藤 洋三*・橋本 堅一**・佐野 修***・中川 浩二****

By Yozo KUDO, Ken-ichi HASHIMOTO, Osam SANO and Koji NAKAGAWA

In situ orientation of the three planes of anisotropy in granite was at first investigated with the empirical aid of quarrymen at twenty-six quarries in the Inland Sea area in Western Japan. The azimuthal variation of the sound velocity was measured and the feature of the cracks was investigated on thin sections of the rock with an optical microscope. The defects were classified into open cracks, healed cracks and other defects for every rock. In the specimens from almost all of the quarries, the rift plane consists of open cracks within the quartz's grains and the strikes are nearly parallel to the horizontal plane. Thus the grain plane and the hardway plane is vertical. The grain plane consists of open cracks and/or healed ones within the quartz, while the hardway plane consists of a few cracks within the quartz but often consists of healed cracks within the feldspar grain.

Keywords: granitic rock, anisotropy, crack, microscopy

1. はじめに

花崗岩質岩石の1つの構造的特徴として、岩石内に選択的な配列方向を有する微小欠陥構造がある。この微小欠陥構造の選択的配向性は、原位置岩盤あるいは岩石供試体の力学的性質の異方性の原因となる。このため原位置試験や室内試験において、実験結果の解釈にこれらの微小欠陥構造の異方性を考慮する必要が生じてくる。しかし花崗岩質岩石の岩石組織は地域的に異なる特徴をもっており、花崗岩質岩石の一般的な特徴を解明しようとする場合、局所的な特徴だけでなく広域的な特徴を明らかにしておくことがその試験結果を解釈するうえにしばしば有用な情報となり得る。本研究は、瀬戸内地方の花崗岩質岩石の欠陥構造の原位置での方向性を明らかにするとともに、岩石内部の微小欠陥構造を分類し、微小欠陥構造の局所的な特徴と広域的な特徴について検討することを目的としている。

花崗岩質岩石の異方性に関する研究が数多く報告されているが、初期の研究は地質学的な立場からこの問題を

扱ったものが多い^{1)~3)}。たとえば Dale¹⁾ は、New England 地方の花崗岩質岩石を調査し、花崗岩質岩石の性質がほぼ直交異方性を示すと述べている。またこれらの直交異方性は割れやすい2つの面で特徴づけられており、それらはその順に rift plane, grain plane^(註2) とよばれ、さらに両者に直交する面は hardway plane^(註2) とよばれている。本研究においても以下この表記法に従う。また最近ではこの微小欠陥構造と地圧とを関連させた研究がみられる。たとえば Plumb ら (1984)⁴⁾ は、New England の3か所の採石場の花崗岩質岩石の地圧の測定と V_p の測定を行い、さらに室内における岩石供試体の V_p の測定、薄片の観察などを行って、クラックの選択的配向性と原位置地表面近傍での初期応力との関連について論じている。

著者らは、大島(伊予大島)産の花崗閃緑岩を用いて、岩石供試体の弾性波速度試験および圧裂強度試験を行

注1) 本研究では花崗岩質岩石の強度低下や力学的性質に異方性をもたらす造岩鉱物内の構造を総称して微小欠陥構造とよぶ。

注2) 花崗岩質岩石は採石の際に割れやすい面を有しておりそれらの面はほぼ直交している。採石場ではこれらの割れやすい面を、石目あるいは単に目とよんでいる。わが国の採石場では、割れやすい順に、目、二番、シワなどとよばれており、これに対応する英語圏での表現が rift plane, grain plane, hardway plane である。

* 正会員 工修 徳山工業高等専門学校助教
(〒745 徳山市久米字高城 3538)

** 正会員 徳山工業高等専門学校講師(同上)

*** 正会員 工博 山口大学助手 工学部

**** 正会員 工博 山口大学教授 工学部

い，こうした花崗岩の力学的特性とクラックなど微小欠陥構造との関連について明らかにした⁵⁾．大島産の花崗閃緑岩の場合は，rift plane, grain plane を特徴づけるものが主として開口したクラック^{注3)}であり，hardway plane を特徴づける構造は長石内の液粒面^{注3)}の選択的な配向であった．この岩石を用いた圧裂試験の結果は，採石場における経験則の洗練性を立証する結果となり，同時に hardway plane にも長石内に微小欠陥構造の選択的な配向性が認められることを明らかにした．また現在の石目の方向と斜交する石英粒内の液粒面の系についても言及しておいた．

これらの研究から，花崗岩質岩石の石目を特徴づけるものが，クラックや液粒面など微小欠陥構造の選択的な配向性によることは明らかである．こうした微小欠陥構造がどの時期にいかんして形成されたかという問題については，いくつかの推論はある^{6)~9)}が，現在のところ未解明の部分が多く残されている．しかしながら，これらの欠陥構造が選択的な配向性を有するという事実は注目に値する．すなわち，Plumb ら⁴⁾が述べているように微小欠陥構造の卓越する方向が局所的なものでなく，かなり広い範囲にわたって優先的な方向性を有するのであれば，これらの欠陥構造は地殻における過去の応力履歴を反映していると考えられるので，これらの欠陥構造の方向性を明らかにし，その成因について検討することは，岩盤内の初期応力の測定などとも関連して，岩盤力学的な立場からも重要なことである．現在，岩盤内構造物の設計資料を得るため，あるいは地震予知のための基礎的研究を主目的にして，測地学的方法¹⁰⁾，応力解放法¹¹⁾，水圧破砕法¹²⁾，活断層による方法¹³⁾，地震学的方法¹⁴⁾など，種々の地殻や岩盤内の応力測定法が提案され注目すべき結論が得られつつある．しかしながら一方で各測定方法は固有の欠点や改良すべき点を残しており，必ずしも各測定結果が一致しているとはいえない¹⁵⁾．こうした点を考慮すれば，各測定方法による相補的なデータの活用を考えるべきであろう．本研究では，まず調査地域として瀬戸内地方を設定した．この地方は，たとえば測地学的方法では一定の傾向が認められておらず，また活断層による方法では空白域を形成している地域であり調査の意義は大きいと考えられる．

2. 瀬戸内地方の花崗岩質岩石の異方性

本研究では花崗岩質岩石の異方性の地域特性を明らかにするため，黒髪島から小豆島にいたる瀬戸内地方中央

部にいくつかの調査地点を設定し，原位置における花崗岩質岩石の石目の方向に関する調査，岩石供試体による弾性波速度 (V_p) 試験および岩石薄片の観察を行う．そしてこの結果をもとに瀬戸内地方での花崗岩質岩石内の微小欠陥構造の選択的な配向性について検討する．

この地域は地質学的な分類からすれば西南日本内帯に属し，花崗岩質岩石は領家帯の花崗岩質岩石と中国帯の岩石に分類される．このうち中国帯の花崗岩質岩石のほとんどは広島花崗岩帯に属している．調査地点の選定にあたっては，風化作用などによる欠陥構造と区別するため新鮮な露頭が存在することを第一の要件とした．さらに洗練された土工職人の石目を識別する能力¹⁶⁾を参考にするため，こうした職人の存在も考慮した．このことは，石目に関する情報が本研究を進めるうえで有用となり得ると考えたからである．本研究では，こうした採石場の石材用の岩石のみを取り扱っている．このためたとえば山口県東部にみられるような片麻状花崗岩は，石材用の岩石として不適当であるという理由だけで省かれている．さらに同じ地域であっても採石場ごとに造岩鉱物の粒形や「割れやすさ」の程度が異なるため，できるだけ同じ地域に複数の測定点を設定した．

(1) 石目の走行と傾斜

石目の方向の測定は，採石場における土工職人の経験則を基本にしており，採石場に石目に沿う壁面が露出している場合には，原位置でその壁面の走行および傾斜角を測定した．またこうした壁面がない場合は，できるだけ直交関係になるような複数の壁面で，石目の方向を記入し，計算により三次元的な位置関係を明らかにした．走行角の記載にあたっては，偏角補正を行っている．

調査結果（付録参照）から，rift plane の走行，傾斜が明らかなもののみを選択してシュミット網に整理したのが図—1 である．図からまず明らかなことは，香川県青木島の一例（図中 C-2）を除けば瀬戸内地域における rift plane の方向がほぼ水平面に近いということである．調査地点が瀬戸内地域のほぼ全域を網羅しているこ

図—1 瀬戸内地方の rift plane のシュミット投影

注3) 造岩鉱物内のクラックは，大別すると開口したクラック (open crack) と癒着して液体包有物 (liquid inclusion) が面状に集合した「クラック」に分類される．ここでは前者をクラック，後者を液粒面 (liquid inclusion plane または bubble track) とよぶ．

図-2 大島、北木島における grain plane の走行

とから考えれば、このことは瀬戸内地方の一般的な特性であるということが推察できる。

grain plane が優先的な方向性を有するかどうかという問題は石目を構成する欠陥構造の成因の問題などと関連して特に重要である。岡村¹⁷⁾が黒髪島産の岩石について行った石目の方向に関する調査結果では、grain plane は優先的な方向性を有していない。これに対して、Plumb ら¹⁸⁾は New England の花崗岩について、広い範囲 (300 km 程度) を統計的に解析すれば、先在クラックの方向が優先的な方向性をもつことを指摘している。ここで grain plane の地域的特性を詳しくみるために、大島 (図-6 の B)、北木島 (図-6 の G) の調査結果について検討する。この地域の採石場においては grain plane の傾斜はほぼ鉛直に等しいので、走行のみを示したものが図-2 である。図中の○は、rift plane がほぼ水平であることを示す。大島については、地形とほとんど関係なく、いずれの採石場でも $N80^{\circ}E \sim EW$ (一部で $N65^{\circ}E$) の走行が卓越していることが認められる。また北木島でも、測定された 8 地点の調査地点のうち、6 地点までが $N50^{\circ}E$ 近傍の走行が卓越しており、2 地点のみ NS 系の走行が卓越している。このことは、今回調査した半径 2~3 km 程度の小地質区分内では、石目の

方向がきわめて類似した傾向をもつことを示している。

次に、瀬戸内地域における grain plane の大まかな傾向をみるために、grain plane の走行、傾斜が明らかな採石場についてシュミット網に整理した結果を図-3 に示す。図-1 に示すように rift plane はほぼ水平でありこれに直交する grain plane はほぼ鉛直面となる。そこで grain plane の傾斜が明らかでない調査地点については、図の外に矢印で走行を示してある。図より EW および NE-SW の走行が卓越しており、瀬戸内地方という比較的広い範囲で考えた場合も、石目が卓越した方向を有していることが認められる。

ここで、青木島産の花崗閃緑岩は図-1 および図-3 においてその傾向が例外となっている。この岩石は最も割れやすい面がほぼ垂直、次に割れやすい面がほぼ水平である。著者らはこれを慣用上 rift plane, grain plane と統一してよんでいるものであり、その順序は割れやすさ以外の意味を有していない。たまたま他の岩石とは逆に水平方向より垂直方向により割れやすい面が形成されたとすればこの例外はなくなる。

(2) 弾性波速度試験

これまでに述べてきた手法は、採石場における経験則に着目して、花崗岩質岩石内の欠陥構造に関する大まかな特性を記述することにあつた。しかしながら、この方法は経験則に依拠したものであり、微小欠陥構造について検討する前に、この方法の有効性を確認し、さらに rift plane, grain plane, hardway plane の各面の発達程度の検討を行う必要がある。このために測定が比較的容易で非破壊的に検討が可能な弾性波伝播速度 (V_p) を測定した。 V_p は、微小欠陥構造の中でも、開口したクラックの存在に対して敏感であり¹⁸⁾、これらのクラックによる影響を比較する際に有効である。用いた供試体の直径は約 43 mm である。測定にあたっては、石目に垂直な方向に抜き取られた試料の半径方向に測定径路を設定し、試料の直径と、これを弾性波が伝播するに要する時

図-3 瀬戸内地方の grain plane のシュミット投影

図一4 弾性波速度 (V_p) の異方性
(R, G, H は、波動の進行方向がそれぞれ rift plane, grain plane, hardway plane に垂直であることを示す)

間から V_p の値を決定した。測定はすべて気乾状態で行われている。

すべての地域に対して得られた V_p の測定結果の中から代表的なものを3組選んで図一4に示す。図中0°および90°は採石場で判定された石目の方向と一致している。これらの図からまず明らかなことは、大まかにみて rift plane に垂直に進行する波動、grain plane に垂直に進行する波動、hardway plane に垂直に進行する波動がこの順に最小、中間、最大の速度になるという点である。さらに弾性波速度曲線が0°および90°の面に対してほぼ対称性を有しているのも共通した特徴である。このことはこれらのすべての岩石がほぼ直交異方性を有すること、さらに採石場で判定された石目の方向がほぼ岩石内の欠陥構造の方向と一致していることを示すものであ

る。
ここでそれぞれの岩石の異方性の発達の程度を検討する。倉橋島花崗岩の場合は、grain plane に垂直に進行する波動が hardway plane よりむしろ rift plane に垂直に進行する波動の速度に近い。したがって、rift plane および grain plane のクラックが同程度によく発達していることを示唆している。これに対して、黒髪島花崗岩では、rift plane に垂直に進行する波動のみが大きく減少し、grain plane がむしろ hardway plane に近いような特性を示している。このことは、rift plane のクラックのみがよく発達していることに対応するものであろう。これに対して北木島産の花崗岩では、grain plane に垂直な方向の速度は rift plane と hardway plane に垂直な方向の速度の中間的な値となっており、

図一5 黒髪島花崗閃緑岩の弾性波速度の異方性

写真一1 粒内クラックと粒界クラック (北木島花崗岩)

(a) 石英内の液粒面 (北木島花崗岩)

(b) 長石内の液粒面 (倉橋島花崗岩)

写真—2 液粒面

grain plane が中程度に発達していることが推察される。

次に局所的な領域内での V_p の変動について調べるため、黒髪島の近接する3か所の採石場から得られた岩石供試体について、速度異方性が最も大きく現われる grain plane に平行な面の V_p を測定した結果を図—5に示す。これらの岩石で hardway plane に垂直に伝播する V_p の値はほぼ等しいものの、rift plane に垂直に伝播する V_p の値はかなり異なっている。すなわち異方性の発達の程度は近接した地域でもかなり異なっており、このことはクラックの発達程度に局所的な原因、たとえば応力場が影響を与えていることを示唆している。

(3) 花崗岩質岩石内の微小欠陥構造

これまで弾性波速度試験の結果などから岩石の内部構造について推定してきたが、これらの内部構造を直接観察することは、花崗岩質岩石の異方性を検討していくうえで重要である。岩石の内部構造を直接に観察する代表的な方法として光学顕微鏡による方法、走査型電子顕微鏡による方法¹⁹⁾、透過型電子顕微鏡による方法²⁰⁾などがあり、それらはまたいくつかの方法に分類される。本研究では、花崗岩質岩石を構成する造岩鉱物の粒径が比較的大きいこと、そのために観察に広い視野を必要とする

こと、さらに岩石組織との関連で議論する際に有効であるという理由から偏光顕微鏡による観察を行った。採石場で基本的な方向を記載した岩石について、観察面がそれぞれ石目の方向と平行になるように、かつ薄片の長辺、短辺方向が石目の方向と一致するように薄片を作製した。すなわち1つの岩石につき3個の薄片が作製される。薄片の厚さは約2/100 mmである。

ここでは薄片の観察によって微小欠陥構造の存在様式を岩石組織との関連で明らかにすることを主目的としている。花崗岩質岩石の異方性を特徴づける欠陥構造にはいくつか考えられるが、なかでも花崗岩質岩石の異方性に大きく寄与する欠陥構造と考えられるクラックと液粒面を取り上げた。さらに、クラックについては写真—1に示すような粒内クラックと粒界クラックに分類した。粒界クラックについても異方性が認められるという報告もある²¹⁾が、その程度は小さいと考えられるので、本研究では主に粒内クラックについて検討した。また石英粒内から長石内に伸張するクラックもしばしば認められるが、これらは石英内のクラックとして処理している。液粒面については、写真—2に示すように、石英内の液粒面と長石内の液粒面に分類した。

表—1 花崗岩質岩石の石目を特徴づける微小欠陥構造

記号	産地	岩石名	rift plane	grain plane	hardway plane
A	黒髪島	花崗閃緑岩	クラック (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	クラック (石英)
B	大島	花崗閃緑岩	クラック (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	液粒面 (長石)
C	青木島	花崗閃緑岩	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	クラック (石英)	クラック (石英)
D	庵治	花崗岩	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)
E	倉橋島	花崗岩	クラック (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	液粒面 (長石) + 液粒面 (石英)
F	赤坂	花崗岩	クラック (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	液粒面 (長石) + クラック (石英)
G	北木島	花崗閃緑岩	クラック (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)
H	万成	花崗岩	クラック (石英)	クラック (石英) + 液粒面 (石英)	特になし

図—6 石英内の微小欠陥構造の配向面の走行

最初に、各地域ごとに微小欠陥構造がどのような形で存在するかを調べるために、まず北木島および大島産の岩石内の欠陥構造について、それぞれ8か所および4か所の採石場の岩石の薄片を作製し検討した。その結果、それぞれの地域での各面内の欠陥構造は各薄片内ではほぼ同じ傾向を示すことが見出された。すなわち北木島では rift plane, grain plane および hardway plane の順に、石英内のクラック、石英内のクラックと液粒面の共存、石英内のクラックと液粒面さらにはカリ長石内のパーティングが選択的に配向している。さらに図—2(b)で、grain plane の方向が島の支配的な grain plane の方向から外れた2つの採石場の岩石について詳しく検討すると、いずれの岩石についても grain plane とは別の方向に微小欠陥構造の選択的配向面を有することが認められる。これらのうちの1つ(付録 G-8)は grain plane と斜交しており、他の1つ(付録 G-7)は grain plane にほぼ直交している。これを示したのが、図—2(b)の破線である。破線の方向は、北木島の支配的な grain plane の方向と一致する。すなわち島内のほぼ鉛直方向に選択的に配向する微小欠陥構造の方向はもともと同じ方向で、局所的な条件下で現在のようなクラックが形成されたと考えられる。また大島産の岩石では、rift plane および grain plane はほぼ同様であるが、hardway plane では長石内の液粒面の選択的配向性が支配的であることが認められた。また他の地域の岩石についても、裸眼での観察や V_p の計測によって rift plane の欠陥構造は石英内のクラックによることが認められた。以上のことから他地域の岩石の調査に際しては薄片観察は各地域それぞれ1か所の岩石に限ることとし、grain plane および hardway plane を特徴づける欠陥構造を主として検討した。

こうして各地域の石目の特徴づける微小欠陥構造について、微小欠陥構造の種類とそれが存在する造岩鉱物について分類したのが表—1である。弾性波速度試験の結果からも推測されたように、ほとんどの岩石で、rift plane は石英粒内の開口したクラックが支配的な役割を

果たしており、grain plane についても石英粒内のクラックあるいは石英粒内の液粒面により特徴づけられている。さらに hardway plane を支配する欠陥構造は、石英粒内のクラック、石英粒内の液粒面、長石粒内の液粒面およびパーティングと多様である。特に液粒面については、一般にクラックよりも古期の欠陥構造と考えられ、こうした欠陥構造の起源や応力の履歴を検討する際には重要であると考えられる。

3. 微小欠陥構造の方向性からみた岩盤の異方性に関する検討

これまで述べてきた rift plane や grain plane など石目に関する表現は、採石場における用語を踏襲したものであり、原位置応力などとの関連で議論する場合は、これまで示した測定結果をこうした立場から整理しておく必要がある。多くの測定結果が示すように、日本列島の地殻内の最大圧縮応力の方向は土木構造物の対象となるような範囲内では水平面内にあり、他の2つの主応力の1つが鉛直方向である²²⁾。このことはこれまで述べてきた石目に関する調査結果と調和的である。そのためこの応力場に対応させてこれまで述べてきた微小欠陥構造を、ほぼ水平に発達した欠陥構造とほぼ鉛直に発達した欠陥構造に分類して検討することにする。また石英粒内の液粒面については、一般にクラックが癒着した構造と考えられており、以下クラックとして扱う。これらを整理して地図上に示したのが図—6である。図中の○印は、ほぼ水平面内に石英粒内クラックが選択的に配向していることを示す。図は前に述べた石目に関する測定結果や薄片の観察結果から、同一地域で支配的な方向の見出される地域(北木島、大島、黒髪島)については、その平均の方向を、そうでない地域については逐一その方向を記入したものである。図より瀬戸内地方の花崗岩質岩石は例外なくほぼ水平面内に選択的に配向する欠陥構造を有し、表—1とも併せて考えるとこれらは石英粒内のクラックあるいは石英粒内の液粒面によるということがわかる。さらに鉛直方向に選択的に配向する欠陥構造のう

写真-3 水平面内のクラック（長辺）に斜交する液粒面

ち、石英内のクラックによって支配される面の走行は、若干地域的な差異は認められるもののEWとNE-SWの方向に卓越している。

次に、鉛直面内に選択的に配向する欠陥構造のうち、長石内の液粒面によって特徴づけられる面について述べる。表-1からも明らかなように大島産の花崗閃緑岩、倉橋島産および赤坂産の花崗岩には鉛直面内に長石粒内の液粒面の選択的な配向性が認められる。これらの液粒面は、カリ長石と斜長石の粒界では連続して分布するが、石英との粒界では停止し、石英粒内に伸張することはない。また液粒面の密度は、たとえば大島産の場合は1mm中に約100個というようなきわめて高い密度で存在している。さらに薄片面をこれらの液粒面と一致させた場合、写真-3に示すような、石英粒内に開口したクラックの系と斜交する他の直交する液粒面の系が認められる。これら液粒面の系は薄片面に垂直である。すなわち石英粒が結晶後に少なくとも2回の異なる応力履歴を受けたことが推察され、その際液粒面に垂直な軸を中心に回転していることがわかる。長石内の欠陥構造が液粒面であることを考えると、現在のrift planeおよびgrain planeより古い欠陥構造であることを示している。Tuttle⁶⁾は、液粒面の生成・発達過程を、1) 石英粒内での微小クラックの生成と流体による充填、2) 珪酸の選択的熔融と沈殿によるシート状構造の形成、3) 引続く熔融・沈殿による液粒面の発達による球状の液体包有物による液粒面の形成、という発達段階で示し、液体包有物の発達の程度を観察することによって生成年代に関

する相対的な評価が可能であることを示している。石英と長石という造岩鉱物の相違はあるが、長石内で観察される液粒面が石英粒内のもに対して包有物も微細でよく発達している。このことは長石粒内の液粒面が石英粒内のクラックなどに比べて古期のものであるということを示すものであると考えられる。これらの地域における長石粒内の液粒面の方向をhardway planeの方向を参照して示したのが図-7である。図よりこれら液粒面がほぼ南北の方向となっており、花崗岩質岩石内の微小欠陥構造の古期のものがこの方向に対応した応力場によって形成されたことを示唆している。

4. おわりに

本研究では瀬戸内地方における花崗岩質岩石の石目の方向を調査することによってこれらの岩石の力学的異方性の主軸を明らかにしてきた。本研究で採石場の岩石を取り上げたのは、採石場に新鮮な露頭が存在し、微小欠陥構造を研究する際に著しく好都合だという積極的な理由によるものである。こうしたテーマについては、わが国ではほとんど調査の事例がなく、したがってその手法も確立されていない。そのため研究手法として、まず小地質区分においてはこれらの微小欠陥構造の方向性について共通した特徴が認められることを述べて、調査地点を瀬戸内地方に拡大していくという手法をとった。調査地点については統計的に解析するに十分な数が望ましいが、そうした調査は現時点ではきわめて困難であるため、現在稼業中の採石場についてできるだけ多く測定点を設けるように努めた。すでに述べてきたように、瀬戸内地方という広い範囲で考えた場合も、いくつかの重要な点で共通した特徴が認められ、本研究で得られた結論が採石場の岩石に固有の性質であるとは考えがたい。事実本研究では瀬戸内地方の代表的な花崗岩体を網羅しており、これらの花崗岩体の広い範囲にわたる連続性と花崗岩質岩石内の微小欠陥構造の規則性を考慮すれば、ここでの結論が少なくとも調査地域内では一般性を有していると考えられる。

本研究により得られた結論を列挙すれば以下のとおりである。

(1) 花崗岩質岩石内の微小欠陥構造の方向は同一地域内ではかなり類似した傾向を示す。さらに力学的異方性の程度はこうした地域内でも局所的にかなり変動するが、岩石内の欠陥構造は同質のものであることが明らかになった。

(2) 調査したすべての地域で、石英内の開口したクラックおよび場所によっては液粒面によって特徴づけられる欠陥構造が、例外なくほぼ水平に発達していることが認められた。このことは、瀬戸内地方の一般的特徴と

図-7 長石内の液粒面の走行

考えられる。

(3) 瀬戸内地方の花崗岩質岩石にはほぼ直交する2つの微小欠陥構造が鉛直方向にも発達している。このうち石英内のクラックあるいは石英粒内の液粒面によって特徴づけられる面の走行についてはEWおよびNE-SWが卓越している。

(4) はば鉛直方向に配向した他の1つの欠陥構造は、必ずしも特定できないが、長石粒内の液粒面が発達しているものが多い。

以上、本研究で明らかにされた瀬戸内地域における花崗岩質岩石の微小欠陥構造の特性とその選択的配向性は、原位置における応力測定やこの地域における地殻応力場の解析に対して基礎的な資料を提供するものと考えている。しかしながら、瀬戸内地方の花崗岩質岩石内の欠陥構造のこうした特徴が日本列島全体に対して一般性をもて得ないことに留意する必要がある。たとえば、東北日本弧の花崗岩質岩石の主な採石場では、rift planeやgrain planeが水平面と一致しない²³⁾。すなわち水平面に沿う石英内のクラックの選択的な配向性は認められないか、認められたとしても瀬戸内地方の岩石に比べて密度が小さい。これらのより広域的な微小欠陥構造の特性については日本列島全体の地殻構造との関連で解釈すべき多くの問題を含んでいると考えられ、その解明については今後の課題としたい。

本研究を進めるにあたり、広島大学名誉教授 小島丈兒先生には顕微鏡の観察方法について懇切なご指導をいただいた。徳山高専技官 山本秀喜氏、卒研生の徳本耕嗣君(広島道路エンジニア)および内木博信君(西松建

設)には、コアボーリングや弾性波速度の測定で協力をお願いした。さらに、黒髪石材(株)をはじめとする瀬戸内沿岸の石材業者および石工職人の方々には調査活動に多大なご協力をいただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Dale, T.N. : The Commercial granite of New England, Bull. U.S. Geol. Surv. 738, pp.22~103, 1923.
- 2) Osborne, F.F. : Rift, grain and hardway in some Pre-Cambrian granites, Quebec, Econ. Geol., 30, pp.540~551, 1935.
- 3) Balk, R. : Structural behavior of igneous rock, Geol. Soc. Amer. Mem. 5, 1937.
- 4) Plumb, R., Engelder, T. and Yale, D. : Near surface in situ stress : 3 Correlation with microcrack fabric within the New Hampshire Granite, J. Geophys. Res., Vol.89, No.B11, pp.9350~9364, 1984.
- 5) 工藤洋三・橋本堅一・佐野 修・中川浩二 : 花崗岩の力学的異方性と岩石組織欠陥の分布, 土木学会論文集, 第370号, III-6, pp.189~198, 1986.
- 6) Tuttle, O.F. : Structural petrology of planes of fluid inclusions, J. Geol., 57, pp.331~356, 1949.
- 7) Todd, T., Simmons, G. and Baldrige, W.S. : Acoustic double refraction in low-porosity rocks, Bull. Seismol. Soc. Amer., 63, pp.2007~2020, 1973.
- 8) Nur, A. and Simmons, G. : The origin of small cracks in igneous rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 7, pp.307~314, 1970.
- 9) Richter, D. and Simmons, G. : Microcracks in crustal igneous rocks : microscopy. In : J.G. Heacock (Editors), The Earth's Crust. Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr., 20, pp.149~180, 1977.

付録 花崗岩質岩石採石場における石目の配向

No	記号	産地	所在地	rift plane	grain plane	備考(採石場名等)
1	A-1	黒髪島	山口県徳山市	N49°E11°W	N21°E85°S	黒髪石材(衣1級)
2	A-2	黒髪島		N88°W11°W	N35°E80°S	黒髪石材(衣2級)
3	A-3	黒髪島		N72°E11°W	N25°E82°S	黒髪石材(新切羽)
4	A-4	黒髪島		N65°W11°W	N80°W80°S	黒髪石材(二羽羽)
5	B-1	大島	愛媛県宮窪町	NS13°E	N85°W87°S	造成石材
6	B-2	大島		N65°E14°N	EW85°S	山西石材
7	B-3	大島		ほぼ水平	N87°E	小田石材
8	B-4	大島		N80°E12°N	N65°E83°N	黒瀬石材
9	B-5	大島		ほぼ水平	N85°E	双葉石材
10	C-1	青木島	香川県丸亀市	N10°E 2°S	N25°E88°W	金崎石材
11	C-2	青木島		N57°E88°N	N88°W 5°W	栗林石材
12	D-1	庵治	香川県庵治町	N50°W11°S	N55°E88°S	赤礼共同石材
13	D-2	庵治		ほぼ水平	N82°E	九仲石材
14	E-1	倉橋島	広島県倉橋町	ほぼ水平	N79°W	呉石材
15	F-1	福山	広島県福山市	N87°W10°N	N85°E83°N	伊垣石材
16	G-1	北木島	岡山県笠岡市	N 2°E10°E	N51°E85°N	馬越道也石材店
17	G-2	北木島		N66°E10°N	N53°E85°E	高橋石材
18	G-3	北木島		EW 11°S	N48°E89°E	櫛垣石材
19	G-4	北木島		N78°E 8°N	N27°E85°E	馬越武邊石材
20	G-5	北木島		ほぼ水平	N43°E	村上石材
21	G-6	北木島		N30°E 3°W	N51°E90°	河田石材
22	G-7	北木島		N35°E11°W	N22°W85°E	鶴田石材
23	G-8	北木島		ほぼ水平	N3°W	赤瀬石材
24	H-1	万成	岡山県岡山市	N39°E13°W	N81°W	光田石材(富山)
25	H-2	万成		N30°W11°E	N81°E	光田石材(竜王谷)
26	I-1	小豆島	香川県小豆郡	N77°W 8°N	EW	中塚石材

- 10) たとえば, 原田健久・葛西篤男: 最近 60 年間における日本の地殻の水平歪, 測地学会誌, 第 17 巻, 第 1, 2 号, pp. 4~7, 1971.
- 11) たとえば, Merrill, R. H. and Peterson, J. R. : Deformation of a borehole in rock, Rep. Invest. U. S. Bur. Mines, 5881, 32 p., 1961.
- 12) たとえば, Hubbert, M. K. and Willis, D. G. : Mechanics of hydraulic fracturing, Transactions AIME, Vol. 210, pp. 153~168, 1957.
- 13) たとえば, 岡田篤正・安藤雅孝: 日本の活断層と地震, 科学, Vol. 49, No. 3, pp. 158~169, 1979.
- 14) 市川政治: 日本付近の地震のメカニズムに関する統計的研究と二, 三の問題, 気象庁研究時報, 第 18 巻, 第 2 号, pp. 83~154, 1966.
- 15) 小出 仁ほか: 関東・東海地域における地殻応力測定と測定法の比較, 第 18 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 261~265, 1986.
- 16) 工藤洋三・橋本堅一・佐野 修・中川浩二: 石工の経験則と花崗岩の力学的性質, 土と基礎, Vol. 34, No. 8, pp. 47~51, 1986.
- 17) 岡村義彦: 山口県徳山市黒髪島花崗岩体の構造, 広島大学地学研究報告, 第 14 号, pp. 307~316, 1965.
- 18) 工藤洋三・橋本堅一・中川浩二: 花崗岩質岩石の力学的異方性と内部欠陥構造, 土質工学研究発表会, 1986.
- 19) たとえば, Sprunt, E. and Brace, W. F. : Direct observation of microcavities in crystalline rocks, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 11, pp. 139~150, 1974.
- 20) たとえば, Boland, J. N. and Hobbs, B. E. : Microfracturing processes in experimentally deformed peridotite, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 10, pp. 623~626, 1973.
- 21) Peng, S. S. and Johnson, A. M. : Crack growth and faulting in cylindrical specimens of Chelmsford granite, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 9, pp. 37~86, 1972.
- 22) 土木学会編: 土木技術者のための岩盤力学, pp. 43~46, 1975.
- 23) 工藤洋三・橋本堅一・佐野 修・中川浩二: 花崗岩採石場における石目の配向に関する調査, 第 16 回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, pp. 290~293, 1984.

(1986. 5. 30・受付)