

# 石工の経験則と花崗岩の力学的性質—花崗岩の行方と微小欠陥の配向—

Divergence from Orthotropy in Physical Properties of Granitic Rocks

く とう よう ぞう\* はし もと けん いち\*\*  
 工 藤 洋 三\* 橋 本 堅 一\*\*  
 さ の おおむ なか がわ こう じ\*\*\*\*  
 佐 野 修\*\*\* 中 川 浩 二\*\*\*\*

## 1. はじめに

科学技術が高度に発達した現代においても、技能や経験則が重要視される場合が多い。土木工事の施工現場などでも、科学的に裏付けられた技術に加えて特殊技能や経験則が重要な位置を占めることは、我々がしばしば耳にするところである。このような特殊技能や経験則をどのように評価するかは意見の分かれるところであるが、最近はこちらの経験則をデータベースや人工知能の基礎的資料として利用していこうとする積極的な動向もある。筆者らもこうした見地に立っているが、さらに一歩進んで、これらの経験則の本質を研究し科学技術の範ちゅうとしていく作業が必要であろうと考えている。

筆者らは先に本誌上で、花崗岩採石場における石目について石工職人の経験則を紹介した<sup>1)</sup>。その中で花崗岩が例外なく石目と呼ばれる割れやすい面を有すること、その割れやすい面はクラックなど微小欠陥構造の選択的な配向性から説明されること、さらにその配向面がほぼ直交性を有することから花崗岩の力学的性質の直交異方性が説明されることなどを述べた。さらにこうした議論を通して、石工職人の石目を見分ける能力が極めて洗練されていることを紹介した。その際石目とは別に「行方(ゆきがた)」と呼ばれる構造に関する経験則があることを紹介しておいた。この「行方」の問題は筆者らの花崗岩採石場の訪問開始以来の疑問点であった。事実、石目については、不十分な形で地学辞典などで見聞することができるが、「行方」に関する文献は皆無といってよい。筆者らは、多くの採石場訪問と岩石試験、薄片の観察などより、この「行方」について最近一応の結論を得るにいたった。そこで本稿では、この「行方」に関する経験則を紹介し、さらに筆者らの見解を述べる。

なお本稿で扱う岩石は本来花崗岩質岩石(酸性の深成岩)に属するものが多いが、広義には花崗岩と呼ばれているのでこの呼称に従うものとする。

## 2. 「行方」とは

少し長くなるが、本稿でとりあげる「行方」について、岡山県北木島で石材業を営んでいる馬越道也氏の著書「北木島の石材史」<sup>2)</sup>から引用しよう。

石の行方と書いて「ゆきがた」と呼ぶ。

雲の行方と書いて「ゆくえ」と読むが、石の場合は似たような意味ではあるが、石屋の用語として、石の目と同様に作業上特に重要なものである。

判り易くいえば、石を割るときの割れ目の方向、亀裂面の流れ易い方向をいう。石を矢で割る場合、この石の行方を念頭において作業しないと思うように割れないものである。

いいかえれば、石は目の方向に従って割れ易く、石割り作業もこの目を利用して割れるのであるが、矢を入れて叩くとき、割れ目は、石の行方に従ってある方向に流れてゆく傾向がある。この性質を利用して石を真直に割ることができる。石は黙して語らないが、物理学や材料力学の法則に従って忠実に割れる。「くさび」や打撃の効果とともに石の「行方」は、誠に興味ある花崗岩の性質である。

人心の行方は、時代によって変わるが、石の行方は悠久に亙り不変である。

この文章では多くのことが述べられているが、要約すれば、石を割る場合、石目について十分な知識を持っていないければ思うように割ることができないが、この石の目だけではなくさらに「行方」についても習熟していないとうまく割ることができない、ということである。

それではこの「行方」と呼ばれる構造は、全国的にはどの程度の共通性をもって認識されているのだろうか。筆者らの知るかぎり、「行方」という呼称で通じるのは瀬戸内東部地域に限られている。ところがその内容に照らして調べて見ると、全国的に共通して認識されていることが分かる。すなわち「行方」に関する知識は、日本の多くの採石場では「つける」という表現で知られている。多くの採石場で「この石はどの方向につける」というような表現が用いられている。この場合のつけるということばの意味は「流れやすい」という意味で使用されているようである。

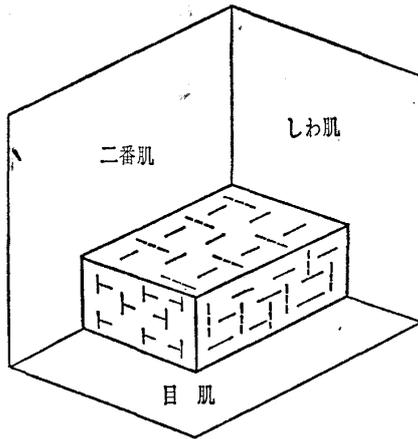
\*徳山工業高等専門学校 助教授

\*\*徳山工業高等専門学校 助手

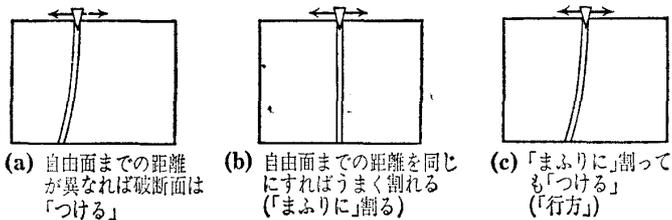
\*\*\*山口大学助手 工学部

\*\*\*\*山口大学教授 工学部

## 資料—424



図—1 石目に関する模式図



図—2 行方（ゆきがた）の概念

## 3. 「つける」ということ

本論に入る前に、「つける」という表現に対する石工職人の経験則について整理しておく必要がある。それはこの表現が現象的には同じで、本質的には異なる2つの意味として用いられているからである。工学的には力学的な問題と材料的な問題と言い替えてもよいだろう。

まず「つける」という表現は次のような場合に使用される。すなわち、多くの採石場では直方体に石材を加工しようとする場合、まず一番割れやすい「目」の方向に割って目肌を出す。次にこの目肌に垂直に、かつ二番目に割れ易い方向に割って二番肌を出す。そうして最後にこれら両面に垂直に割って直方体をつくる。その際、図—1に示すように、一般に仕上げられた直方体の面の中で一番面積の広い面が目肌、二番目に広い面が二番肌となっている。直方体の小割りを行う場合、破断予定面の一方に一定の間隔で矢穴をうち、その中にくさびを配して打撃する。その際、破断面から自由端までの長さが両側で異なる場合には図—2(a)に示すように、破断面は自由端までの距離の小さい方に向かって「つける」傾向が生じる。こうした現象は我々の日常生活においてもしばしば経験されることであり、単純な力学的モデルを用いて説明することができる。例



(a) 北木島(岡山県)の採石場



(b) 伊予大島(愛媛県)の採石場

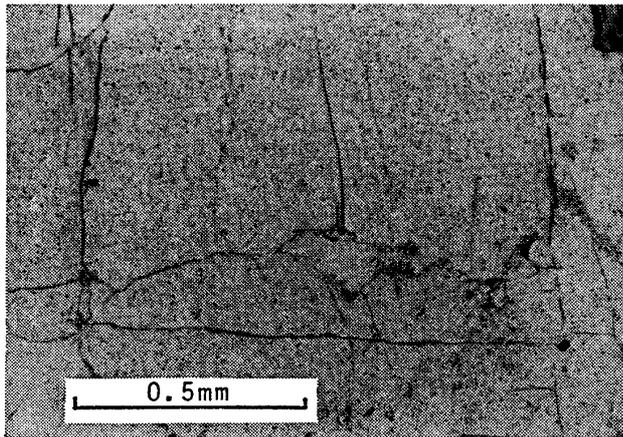
写真—1 採石場における採石風景。良材を求めて採石場は一般に深く掘り下げられる。

えば、有限要素法を用いた逐次破壊解析などでシミュレートすることが可能である。すなわち純粋に力学的な問題である。この影響を避けるために、一般には図—2(b)に示すように、自由端までの距離を等しくして割る。すなわち「まふりに割る」。

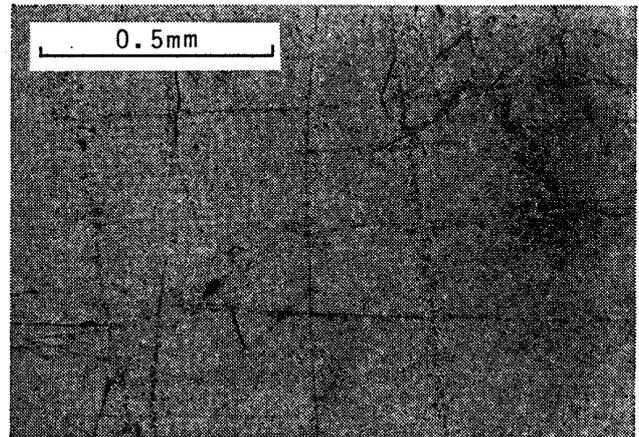
ところがしばしば「まふりに」割っても破断予定面に沿って割れず、図—2(c)に示すように破断面が「流れる」場合がある。このような現象は単純な力学モデルからでは説明することができない。すなわち本質的に材料的な問題であり、本稿で扱う問題でもある。問題をさらに簡単にするため、いまだ「行方」に関する石工の経験則について紹介する。

石工職人が日常慣れ親しんでいる採石場の石目の方向について精通していることについては前報で述べた。それでは採石の経験のない採石場についてはどうであろうか。一般に、石目の方向については、石英粒内のクラックの方向が可視的な場合はある程度の予測が可能であるが、「行方」についての知識は皆無であるといつてよい。すなわち採石場が変われば「行方」に関する情報は完全に失われる。

次に日常的に親しんでいる採石場について、元の岩盤の方向性との関連についてはどうだろうか。問題を単純にすれば次のような質問になる。「日常仕事をしている採石場で、石目に沿って割られた直方体の岩石だけから、行方を区別できるか」。ほとんどの場合回答は否定的である。正確にいえば、石目の方向は手触りやクラックの方向から見分けることができる。しかし「行方」の方向を正確に決定することはできないのである。現実には、石工職人は岩盤から岩塊をはく離させる段階から、はく離された岩塊と岩盤の位置関係をジグソーパズルのように覚えているのである。このように、採石場のような小地質区分においては、「行方」の方向は一定の方向を向いており、その方向を理



(a) 青木島産の花崗岩の石英粒内クラック(単ニコル)



(b) 北木島産の花崗岩内の石英粒内液粒面(単ニコル)

写真—2 造岩鉱物内のほぼ直交するクラックや液粒面

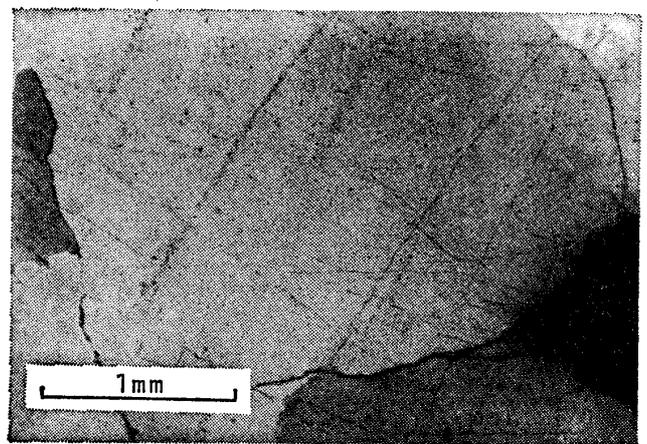
解することによって採石に利用しているのである。30年前に香川県労働基準監督局が発行した石工のテキスト<sup>9)</sup>にも次のような記述が見られる。

大割をして種が出たならば小割に掛ることになる。(中略) その時に、この石は、どこのはだについていたか、どういう向きにあったかをよく見て、目、二番、しわをはっきり見わけしないと最後まで思うような石が割れないから、小割をする上においても最も大切なことである。(下線は筆者)

#### 4. 偏光顕微鏡による「行方」の観察

筆者らがこれまでにを行った力学試験のなかでも材料内部の欠陥の存在に敏感な物理量は、弾性波伝播速度や引張り強度である。しかしながら、これらの力学試験において「行方」の顕著な影響を調べることは困難であった。それは、供試体作製までにいくつかの段階があり、原位置における方向に関する情報を、必要な精度で保つことが困難であること、さらに、試験そのものの角度に対する分解能の問題などのためである。したがって現在のところ、力学試験の結果のみから「行方」に関する結論を得ることは困難である。そのため、本稿では偏光顕微鏡を用いて「行方」を特徴づける岩石内の構造について考慮することにする。

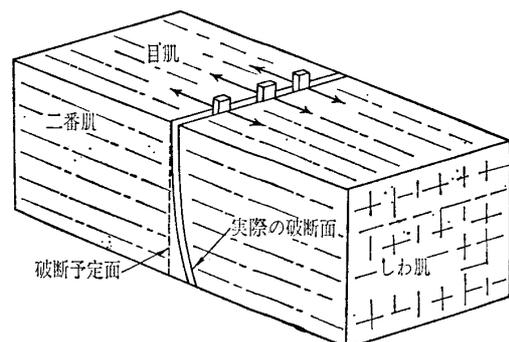
一般に、石工職人の判断した石目の方向を考慮して直交する3方向に関する薄片を製作すると、写真—2に示すようにクラックや液粒面(liquid inclusion plane)などの微小欠陥構造がほぼ直交して配列しているのが認められる。前報でも述べたように、これが花崗岩の石目を特徴づける構造である。「行方」を特徴づける構造として、まず考えられるのはこれら石目を特徴づける構造に斜交する欠陥構造である。事実一部の岩石には写真—3に示すように石目の方向に斜交する液粒面が、それ自身選択的に配向しているのが認められる。しかし、これらの欠陥構造の方向は実際の破断面が「流れやすい」方向と一致しない。ほとんどの場合石目の方向から破断面がそれるのは、せいぜい5~



写真—3 石目の方向(長辺方向)に斜交する石英粒内の液粒面

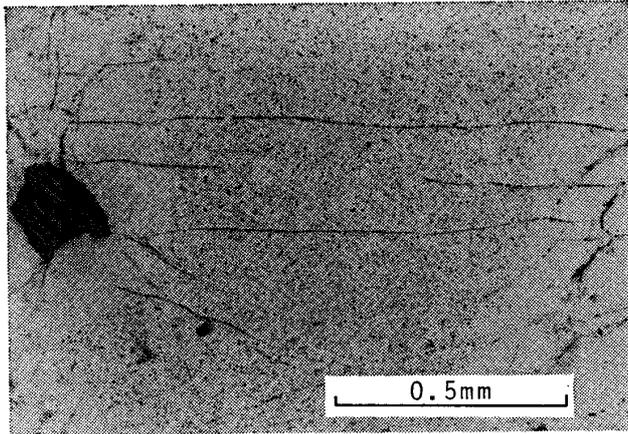
15°であり、これらの斜交する液粒面のように大きく傾いてはいない。また、こうした石目の方向に斜交する欠陥構造を有しない岩石も多い。したがって、これらの微小欠陥と「行方」を結びつけて考えるのは無理があるようである。

そこで、実際に石目の方向が分かっており、かつ「行方」がはっきりと確認されている岩石について顕微鏡下での観察を行うこととした。そのような岩石として、ここでは広島県備後赤坂産の花崗岩の薄片を使用した。この岩石の「目」(rift plane)はN5°E10°Eでほぼ水平面、「二番」はN85°E83°Nのほぼ鉛直面である。原位置での石目と「行方」の関係に関して、図—3にこれらの方向を模式的に示した。図中、「二番」の面に破線で示したのが「目」。

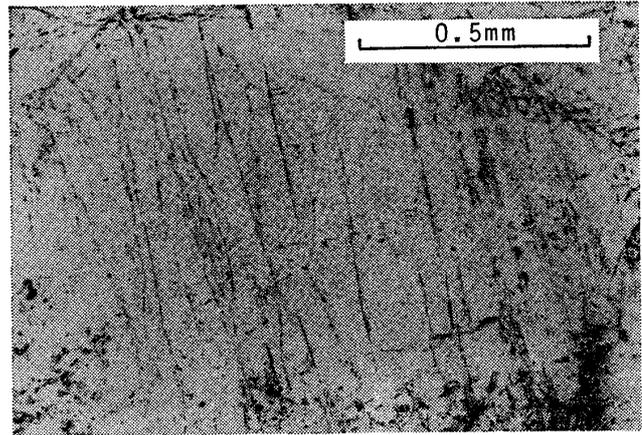


図—3 備後赤坂産の花崗岩の行方

## 資料—424

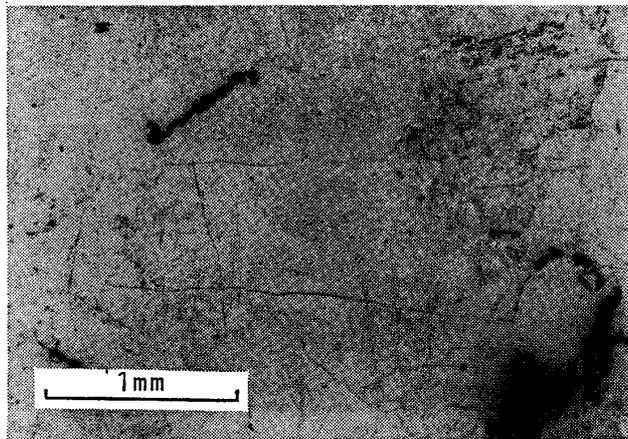


(a) 目肌にはほぼ平行な石英粒内のクラック(単ニコル)

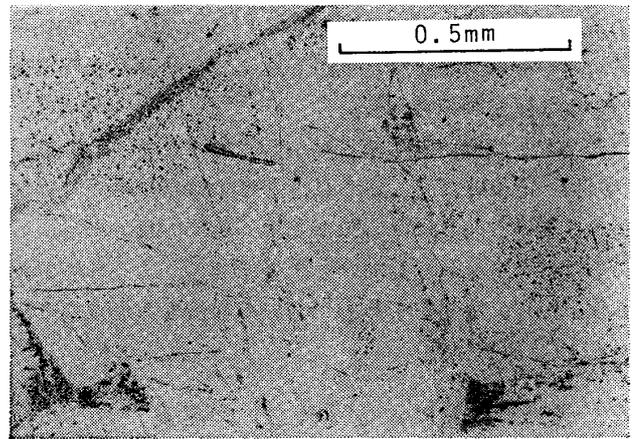


(b) しわ肌にはほぼ平行な斜長石粒内の液粒面(単ニコル)

写真—4 備後赤坂産の花崗岩内の微小欠陥構造



(a) 単ニコル



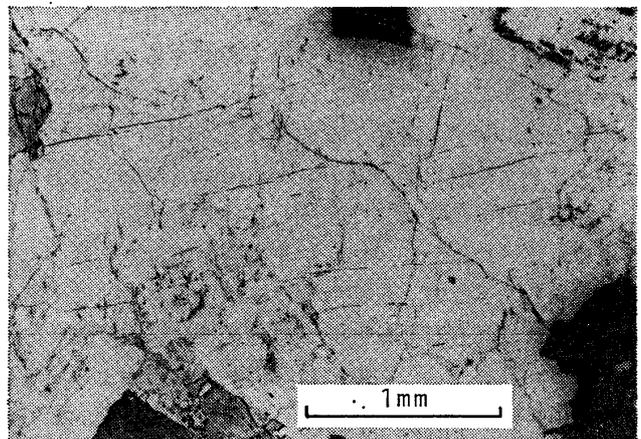
(b) 単ニコル

写真—5 石目の方向にわずかに斜交するクラック(備後赤坂産)。観察面は二番肌、長辺方向が目、短辺方向がしわ。

に直交する面(「しわ」と呼ばれている)であり、実線が実際に破断面が進行する方向、すなわち「行方」の方向である。石工職人の経験則によれば、その間の角度は約 $10^\circ$ で破断面は「二番」に垂直である。

薄片の観察は、こうした経験則を考慮して、「二番」に平行な面を観察することとした。こうすることによって、まず「目」と「しわ」に関する情報を得ることができる。写真—4に観察結果の一部を示す。写真の長辺方向は水平面、すなわち「一番」の方向とほぼ一致し、短辺方向は「しわ」にほぼ平行な鉛直面である。おおまかに見れば、「目」を特徴づける構造はこの長辺と平行に配列した石英粒内のクラック(写真—4(a))であり、「しわ」を特徴づける構造は、長石内、特にカリ長石粒内に選択的に配向する液粒面(写真—4(b))、および石英粒内のクラックである。次に、これらの微小欠陥構造の相互の関係を見たものが写真—5である。これによれば、「目」の方向を特徴づけるクラックと「しわ」の方向を特徴づける液粒面およびクラックは、正確には直交しておらず直角から $10^\circ$ 程度斜交している。この傾向が薄片全体にわたって認められ、またこの傾向は原位置における石目と「行方」の関係とよく調和

している。このことから「行方」は、微小欠陥の選択的配向面が正確には直交性を有しておらず、むしろ系統的に傾いていることから説明できることが推察された。そこで次にこうした仮定に立って、薄片観察の結果から推定される「行方」を採石場に問い合わせることによって(これまで「行方」の方向は測定の対象にしていなかった)、この推論



写真—6 行橋(福岡)産の花崗岩内の石英粒内のクラック。観察面のいたるところで石目の方向とわずかに斜交するクラックが認められる。

に対する一応の確証を得ることができた。写真-6はこのようにして確認された一例の写真である。

結局「行方」というのは、花崗岩の力学的性質がほぼ直交異方性を有することを認めつつも、さらに要求される厳密な採石のために、正確には系統的に直交性から外れていることを、石目と併せて認識した石工の経験則にほかならないといえる。

## 5. おわりに

以上、本稿では花崗岩採石場における「行方」に関する経験則について紹介し、この行方に関する筆者らの見解を述べてきた。結論的にいえば花崗岩の力学的性質はほぼ直交異方性を有し、この異方性は造岩鉱物内の微小欠陥の配向性から説明できる。採石上は、直方体形状の石材が必要であるため、石目の方向がほぼ直交性を有しているという経験則が重要となる。一方さらによりきびしく材料を観察

すれば、花崗岩の力学的性質は直交異方性とはいえない場合もあり、産地によって直交性からのわずかなずれを生じている。このことから「行方」に関する経験則が得られる。

本稿を執筆するに当たり、訪問した採石場の石工職人の方々には石目について多くのことをご教示いただいた。また、広島大学名誉教授小島丈児先生には偏光顕微鏡の観察方法についてご指導をいただいた。さらに、徳山高専技官山本秀喜氏には資料の整理で協力をお願いした。記して謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) 馬越道也：北木島の石材史，1981.11.
- 3) 香川労働基準局編：技能者養成用教科書，石工，p. 104, 1955. 3.

(原稿受理 1986.10.29)

## 学会刊行物案内

### 入門シリーズ

B 6 判 送料各 1 冊 300円

	ページ数	会員特価	定価
1 土 質 工 学 入 門	172ページ	1,200円	1,500円
2 土質・基礎工学へのコンピュータ利用入門	277ページ	2,000円	2,500円
3 土質・基礎工学のための地質学入門	199ページ	2,000円	2,600円
4 構 造 物 基 礎 入 門	301ページ	2,300円	2,900円
5 土 の 見 分 け 方 入 門	151ページ	1,300円	1,600円
6 根切り・山留め・仮締切り入門	253ページ	2,000円	2,600円
7 土の調べ方入門—調査・試験・計測—	222ページ	1,700円	2,200円
8 地 下 水 入 門	210ページ	1,700円	2,200円
9 土 質 工 学 数 式 入 門	222ページ	1,800円	2,300円
10 土質・基礎工学のための地震・耐震入門	239ページ	1,900円	2,400円
11 軟 弱 地 盤 対 策 入 門	247ページ	1,900円	2,400円
12 粘 土 の 不 思 議	181ページ	1,500円	1,900円

申込先：(社)土質工学会 ☎03-251-7661(代) FAX 03-251-6688  
〒101 東京都千代田区神田淡路町2-23(菅山ビル4階)