

広島大学学術情報リポジトリ
Hiroshima University Institutional Repository

Title	片状岩類の物理的性質と岩石構造の関係について
Author(s)	小島, 丈児
Citation	広島大学地学研究报告, 14 : 1 - 12
Issue Date	1965-02-22
DOI	
Self DOI	10.15027/52834
URL	https://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00052834
Right	
Relation	



片状岩類の物理的性質と岩石構造の関係について

小 島 丈 児

(昭和39年7月27日受理)

On the Relation between the Physical Properties and the Rock Structure of Schistose Rocks

By

George KOJIMA

ABSTRACT: Specimens of schistose rocks such as crystalline schists, schistose green-rocks, and slightly schistose Palaeozoic rocks were collected along the Dosan Line of JNR across the Sambagawa and the Chichibu belts of Central Shikoku. The elastic wave velocity (V_p), the Young's modulus, the compressive strength, and the tensional strength were measured on each specimen in the directions of fabric axes a , b , and c , respectively. The specimens are classified into the following four types after the characteristics of the rock structure: the type A having plane surface of schistosity, the type B characterized by the development of distinct transversal cleavage, the type C having folded surface of schistosity accompanied with distinct cleavage, and the type D of massive rocks. The change of the elastic wave velocity in different fabric directions is shown in the diagram of fig. 2, in which a/b represents the ratio of V_p in the direction of a to that of b . Rocks of different structural types are marked with open circles (the type A), solid circles (the types B and C), and crosses (the type D). In rocks of the type A no essential difference is shown between a and b , while V_p in the direction of c , namely, perpendicular to the schistosity plane, is distinctly lowered, that suggesting the effect of lowering the wave velocity of the schistosity. On the other hand, in rocks of the types B and C, both characterized by the presence of distinct transversal cleavage across the schistosity surface, V_p in the direction of a is lowered, that suggesting the effect of the cleavage. The similar relation is shown for the Young's modulus in fig. 3. The influence of the cleavage to the mechanical behaviour of rocks is also shown in figs. 4 (the compressive strength) and 5 (the tensional strength): the strength is distinctly lowered in the rocks of the types B and C, when the axial stress is exerted in the direction of c . The author stresses the importance to recognize the cleavage in schistose rocks in the work of engineering geology.

目 次

- I. 前 書
- II. 岩種と物理的試験
- III. 弾性波速度
- IV. ヤング率
- V. 物理的性質と岩石構造の関係
- VI. 強度試験
- VII. 岩種による差
- VIII. 後 書

I. 前 書

結晶片岩は形成時期のストレス配置と変形様式を反映していちじるしい非等方性を示している。この非等方性は、鉱物粒の形態上の定方向配列および鉱物結晶の特定の格子方向に関する定方向配列、あるいは縞状構造、劈開、微褶曲など、種々の構造要素の定方向配列が総合されたものであり、これを明らかにすることが構造岩石学の仕事である。B. SANDER (1948, p. 2) はこれらを形態的ゲフェューゲ (morphologisches Gefüge) とよんだ。これに対して、岩石の非等方性はまた、種々の物理的性質が岩石内での方向によって異なることによっても示される。このことはこれまででも、たとえば、熱伝導度・熱膨張率・弾性率・磁性などについて試みられてきた (たとえば R. BRINKMANN *et al.* 1961)。これらもやはり岩石内部の座標系とある特定の関係をもつ空間データ (Raumdaten) であるから、SANDER の定義にしたがえば一種のゲフェューゲである。SANDER (1948, p. 2) はこれを関数的ゲフェューゲ (funktionales Gefüge) と名づけた (F. J. TURNER and L. E. WEISS, 1963, の最近の構造岩石学教科書では、前者を formal or configurational fabric, 後者を functional or physical fabric とよんでいる—p. 20)。SANDER (1948, p. 6) は両者の関係について、“Unter Gestalt verstehen wir hier eine Einheit, welche als Ganzes genommen und als *der Träger der darauf beziehbaren Funktionen betrachtet wird, ...*” とのべている。すなわち、岩石の場合には、結晶粒や、鉱物組成の異なる部分部分が種々の物理的性質の担い手 (Träger) で、それらの集合形式 (すなわち形態的ゲフェューゲ) に応じて物理的性質の値や方向によるちがいが現われるわけである。いわゆる構造岩石学は本来、形態的ゲフェューゲを対象とする学問であるから、岩石の物理的性質の非等方性の種々のタイプを、それらの岩石構造に結びつけることは、構造岩石学者の仕事でなければならない。この報告はその一つの例である。

この報告の内容は国鉄本社内に設けられた土讃線防災対策委員会の研究の一部として、著者が鉄道技術研究所地質室の協力をえて行なったものである。土讃線防災対策委員会は、昭和37年2月20日に土佐岩原—豊永間で起った6万m³に及ぶ岩石崩壊事故 (職員2名死亡、42日間列車不通) を契機として、土讃線を対象に鉄道防災対策を検討するために設けられた。著者は部外委員として参加したが、片状岩類の基礎的な物理的性質がほとんどわかっていないことから、土讃線沿線の三波川結晶片岩・御荷峠緑色岩、秩父系岩石の代表的標本を指定し、それらについての物理的性質に関する試験を鉄道技術研究所に依頼した。著者はそれらの標本の岩石学的性質をしらべ、岩石構造との関係を検討した。なお、測定結果はすでに技研の三沢清扶氏により「土讃線沿線の結晶片岩類の物理的性質」(1964)、および「土讃線沿線結晶片岩類の物理的試験 (表)」(1964) として公表されている。本稿では測定結果のうち、弾性波速度・ヤング率・圧縮及び引張強度を選んで、それと岩石構造との関係を検討した¹⁾。

この研究に当り、物理的試験を担当された鉄道技術研究所三沢清扶氏、種々便宜を計られた技研地質研究室宮崎前室長、伊崎室長、国鉄四国支社施設部工事課の河野前課長、浜田前主席、阿波池田保線区及び高知保線区の職員各位に厚く感謝の意を表す。また、同委員会

1) 本稿とほぼ同じ内容のものを委員会報告として提出したが、印刷公表にはならないはずである。

の地質専門委員として参加された高知大学沢村武雄教授、岡山大学光野千春博士、高知大学鈴木堯士博士の御助言に深謝するしだいである。

本稿を、地質学の普及と応用に絶大な努力を重ねてこられた今村外治先生に捧げる。

II. 岩種と物理的試験

試験に供した岩石は、なるべくすべての岩種にわたり、かつ同種の岩石でも岩石構造特性が異なるものを含むようにした。もちろん、できるだけ風化の及んでいないものを採集するように心がけた。図版1の表に採集標本の岩石名・岩質区分・岩石構造分類・産地・所属構造区・鉱物構成・再結晶粒度・縞構造 (compositional banding)・片理・劈開その他について表記した。資料番号は採取地点を追って付してあるので、同一地点でも岩種あるいは特徴の異なる岩石はA、Bで区別した。No. 26は風化のため整形不能で破棄し、欠番である。岩石名は通称を示し、岩質区分は泥質・砂質・珪質・石灰質・塩基性に分けた。No. 12はNo. 20より塩基性物質をやや多く含んだ珪質片岩である。このNo. 12とNo. 28, No. 29を除けば、表は岩質上、砂質・塩基性・珪質・泥質・石灰質の順に配列してある。No. 28, No. 29は後に、御荷鉾帯にかなり広く分布する集塊凝灰岩源緑色岩を追加したものである。

岩石構造分類は、種々の構造要素、とくに層面片理面 (S_1)、粗劈開面 (S_2)、細密劈開面 (S_3) の組み合わせの様式、微褶曲の発達様式、劈開面に沿うずれ (transposition) の程度などを考慮して、次の4型に区分した。

A型 (平板型) : S_1 が平板状で、 S_2 を欠き、しばしば S_3 による微褶曲 (ちりめんじわ) がみられるもの。

B型 (劈開型) : S_2 および S_3 がみられるが、劈開による S_1 のずれが比較的均一で、 S_1 のうねりの少ないもの。

C型 (褶曲型) : S_2 および S_3 が発達し、劈開による S_1 のずれが不均一で、したがって S_1 のうねりがいちじるしいもの。

D型 (塊状型) : 塊状で、片理・劈開がほとんどないもの。

さらに各岩石についての岩石構造の特徴は表の片理と劈開の欄に記した。劈開の欄中 S_3' としたのは微褶曲軸面を示している。

所属構造区については別に発表するつもりであるが、たとえば、大歩危背斜帯川口背斜部となっているばあい、大歩危背斜帯は四国三波川帯の大構造区を示し (小島 1963)、川口背斜部はその中の小構造区を示している。前記の岩石構造型式と構造区との間にはきわめて密接な関係がある。すなわち、A型はすべて撓曲帯 (背斜帯と向斜帯との境界部の単斜帯) 中に産出し、B・C型は背斜帯または向斜帯中にある。D型は三波川帯では粗粒点紋片岩と石灰質片岩、御荷鉾帯・秩父帯の岩石である。このことは、造構運動と岩石構造形成との間の密接な関係を示すばかりでなく、構造区分が岩石構造型式の分布に一致することは、防災ならびに応用上きわめて有用な事実である。なぜなら、地表変動の種々の形式が岩石構造のちがいに直接的に関係しているので、野外地質調査にもとづく構造区分図から地表変動様式の分布が推定できるわけである。

岩石は大塊を採取して技研に送り、試料採取機を用いて定方向供試体を整形した。このば

あい、結晶片岩の構造軸は次のとおりに定めた。

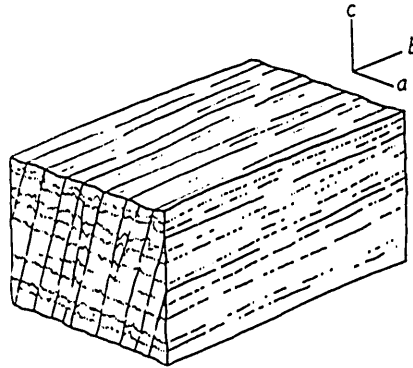
c 軸：片理面（//縞構造面）に垂直な方向。

b 軸：片理面内の微褶曲軸の方向（線構造の方向）。片理面と劈開面との交線に相当する。

また、角閃石の長軸の配列方向のこともある。

a 軸：片理面内で線構造（b 軸）に直角な方向。

構造軸と片理面・劈開面との関係を模型的に第1図に示す。



第1図 結晶片岩の構造模型図

a, b, c は構造軸。上面は片理面（縞構造に平行）。これに斜交する劈開面が示されている。

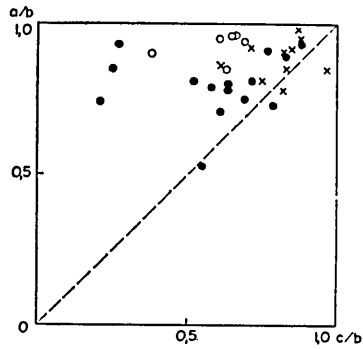
供試体は原則として試料採取機でくり抜いた円筒体とし、基準を直径25mm、長さ50mmとした。供試体の総数は892個に及んだ。技研ではこれらについて、比重・吸水率・圧縮強度・引張強度・剪断強度・弾性波速度・ショアー硬度・シュミットテストハンマー硬度・ヤング率・ポアソン比・破断角などについて測定を行なった。これらの数値は、前述のように技研三沢氏（1964）によって報告されている。本稿ではこれらのうち、岩石の構造方向との関連をとくによく示している弾性波速度・ヤング率・圧縮強度・引張強度をとりあげることとする。

III. 弾 性 波 速 度

乾燥ならびに吸水状態の供試体について、岩石用超音波伝播速度測定器（三和無線測器研究所製）を用いて測定を行なった。この測定器は、50KCの超音波を用い圧電型振動子（チタン酸バリウム）で供試体の一端に衝撃を与え、供試体を通過した弾性波（縦波）を他端の受信振動子で受け、ブラウン管を用いて通過に要した時間を測定し、これで供試体の長さを割って、弾性波速度を計算する。表には乾燥状態供試体についての測定値を、それぞれの岩石について構造方向別に平均した値が記載されてある。測定した供試体は各構造方向ごとにふつう10個以上に及んでいるが、数値は供試体ごとにある程度ばらつく（周圧をすくなくも5~10kb程度まであげないとconsistentな結果がでないといわれている）。表のa/b, c/bはそれぞれ、構造軸a, c方向に伝播した弾性波速度とb方向のものとの比を示す。

弾性波速度と岩石構造との関係を検討するために、a/bを縦軸に、c/bを横軸にとって第

2図を作った。この図では、岩石構造分類でA型、B型とC型、D型を異なった記号で示してある。B型とC型を一括したのは、両者の間に有意なちがいが分布の上であらわれなかったからである。この図でわかるように、弾性波速度についてみた非等方性の様式は岩石構造と密接な関係がある。劈開がいちじるしくない平板状（A型）の結晶片岩では、 a/b は1に近く、わずかにa方向よりb方向の速度が大きい。いかえれば、片理面に平行に伝播する弾性波では面内での方向のちがいによる速度差は小さいということになる。このことは劈開面の存在による速度低下の影響が弱いことを示すものである。しかし、片理面を横切って伝播するc方向の弾性波の速度は、b方向の速度の0.7~0.4に低下し、片理面の影響を強く示している。



第2図 構造軸方向による弾性波速度比
○ A型 ● B型およびC型 × D型

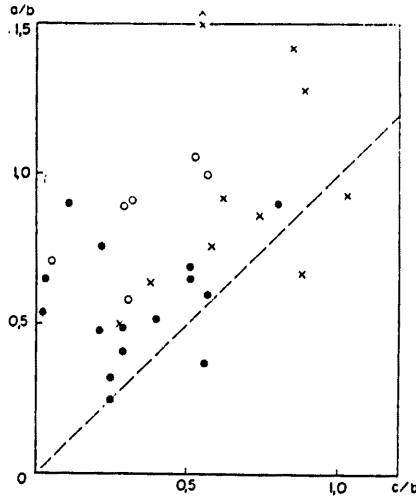
つぎに劈開（とくに粗劈開 S_2 ）の発達するB、C型の結晶片岩では、 c/b はA型と差はみとめられないが、 a/b が低下し、劈開面の存在が速度低下に強く影響していることを示している。No. 4, No. 12 ではむしろ片理面より劈開面の影響の方が強くでている。粗粒の結晶片岩や塊状の岩石（D型）は右上辺に集まり、非等方性は強くあらわれていない。

結晶片岩では弾性波速度が岩石構造方向によっていちじるしくちがうということ、またそのちがいが片理面だけでなく、劈開面の発達様式に大きく依存しているという事実は、片状岩地域を弾性波探査するばあい十分に留意しなければならないのである¹⁾。とくに、探査を実施する地帯における片理面の方向、褶曲の様式、線構造の方向、劈開面の方向と発達様式を十分に検討し、測線の位置方向が決められなければならない。また走時図の解析においても伝播方向と岩石の構造軸との関係を考慮しなければならない。

1) 具体的1例として、土讃線土佐岩原一豊永間の大崩壊地点で事故後路線を変更し大志呂隧道建設のため実施した弾性波探査の場合についてのべる。探査結果は、第1層0.2~0.6 km/sec 表土・崩土、第2層1.2 km/sec 崩積層・上部風化帯、第3層2.0~2.5 km/sec 下部風化帯又は送り出し岩盤、第4層4.0 km/sec 岩盤（結晶片岩）割目多し、4.2~4.9 km/sec 岩盤（結晶片岩）、3.0 km/sec 以下破碎帯、として報告された。しかし実際掘削の結果は第3層以下黒色片岩の岩盤であった。その理由は次のように考えられる。すなわち、測線の大部分が構造軸bと大角度をなす方向なので、表のNo. 24の黒色片岩のaとc方向の速度の中間値より低目の速度が岩盤速度になり、それは6.0~1.7 km/secで、方向によってはきわめて低い値を示すわけである。このようなばあい、b方向に近い測線をとる必要がある。

IV. ヤング率

供試体に2方向型直交ポリエステルゲージを貼付し、圧縮強度測度の場合と同じくアムスラー型圧縮試験機を用いて軸方向に加圧し、その過程での歪の変化を歪計を通して電磁オシログラフで記録し、ヤング率を求めた。いっばんに応力-歪曲線は直線ではなく、途中から歪の増加率が減少する傾向を示す（この傾向は構造軸c方向に軸圧をかけた場合が顕著である）。表のヤング率は直線部で計算したもので、それぞれの岩石の各軸方向についてふつう3~5個の測定値の平均を示してある。a, b, c; a/b, c/bの意味は前項と同じである。



第3図 構造軸方向によるヤング率比
記号は第2図と同じ

第3図はヤング率についてb軸方向に対するa, c軸方向の値の関係を示した図である。A型（平板型）の岩石では、a/bは1に近く、片理面内の方向による差がほとんどないことを示している。しかし、c/bは0.5ないしそれ以下で、c軸方向、すなわち片理面に垂直な方向ではいちじるしくヤング率が小さく、圧縮しやすいことを表わしている。B, C型（劈開型と褶曲型）ではa/b, c/bともに小さく、c軸方向だけでなく、a軸方向、すなわち斜交劈開（ S_2 および S_3 ）と大角度をなす方向についてもヤング率がいちじるしく低下し、圧縮しやすいことを示している。この場合は、弾性波速度の場合と同じように、劈開面の影響を強く反映しているのである。D型（塊状型）では、a, b, c軸方向に顕著な差がなく、縦横座標それぞれ1.0の点の近くに集積する。

V. 物理的性質と岩石構造の関係

岩石の構造軸方向によって弾性波速度およびヤング率が変化する事実は、構造岩石学的にどのように説明されるであろうか。岩石構造の非等方性は、結晶片岩のばあい、次の3つのカテゴリーに入れることができる。

1) 構成鉱物の定方向配列： いっばんに造岩鉱物は結晶内の方向によって物理的性質を異にするが、結晶片岩では大部分の鉱物が種々のタイプの統計的定方向配列を示しているので、その結果、岩石全体として物理的性質に関して非等方性を示すことになる。著者および広島大学の岩石学研究室の研究者によって、これまで三波川結晶片岩について、多数の microfabric analysis が行なわれた結果では、片理面に対する軸対称、斜方対称（対称面は ac および bc 面）を基本型とし、単斜対称、三斜対称はその修飾とみなされる場合がふつうである。たとえば、雲母・緑泥石は片理面にほぼ平行で、片理面に関し軸対称である。ただし、これらは単斜晶系の結晶なので、厳密に言えば軸対称でなく、斜方対称というべきであろう（白雲母では結晶軸 a が構造軸 a に配列する例がいられている）。しかしこれらの鉱物は擬六方であるので、この場合でも実際には軸対称と考えてさしつかえないであろう。そうとすれば、雲母・緑泥石を主とした結晶片岩では、その物理的性質も片理面内で方向による差をほとんど示さないはずである。

次に珪質・泥質・砂質結晶片岩の大部分を占める石英について考えてみよう。石英の定方向配列の型式については、SANDER (1950) や FAIRBAIRN (1949) の分類が提出されているが、片理面に関してふつうにあらわれるタイプは、構造軸 c（すなわち片理面の垂線方向）を中心として角半径の小さい（30度前後）小円上に集中点が分布するばあい（FAIRBAIRN の f 型、SANDER の “Max. um c”）、各象限内部にそれぞれ集中点が対称的に存在するばあい（FAIRBAIRN の l 型、SANDER の IV 型、構造軸 b に関する小円帯が発達する傾向をもつ）とで、対称性は前者が軸対称で、後者が斜方対称である。このような定方向配列で特徴づけられた石英を主とする岩石では、片理面内の a 方向と b 方向とで物理的性質はあまりちがわないと考えられる。泥質・砂質岩源の結晶片岩では石英のほか相当量の斜長石を含むが、このようなばあい、斜長石には有意な定方向配列がふつうみられないので、斜長石の配列による効果は考える必要はない。

このようにみえてくると、雲母・緑泥石・石英・斜長石を主成分鉱物とする片状岩類（珪質・泥質・砂質）では、片理面に関して構造軸 a, b 方向で、物理的性質にそれほど大きな差はあらわれないと考えられる。本稿の場合でいえば、劈開や褶曲のほとんど認められない A 型の岩石で、構造軸 a, b 方向の差が小さいのは、このようにして理解することができる¹⁾。しかし、上記のいずれのばあいでも、構造軸 a, b 方向に対し c 方向の値がちがうことが考えられる。ことに軸対称の定方向配列のばあい、c 方向はその対称軸となるので、その方向の値は片理面内の方向の値とかなりちがってもよいはずである。ただし、A 型の岩石で、c 方向の値が弾性波速度・ヤング率ともに明らかに低いという点を、すべて鉱物定方向配列の効果とすることはできない。むしろ次にあげる構造による影響が大きいと考えられるからである。

塩基性片岩では、角閃石が主成分鉱物になるばあい、角閃石はふつう構造軸 b 方向にその

1) 片理面内の方向によってある物理的性質がどのように変化するかということは、構造軸 a, b 方向での測定値だけでは推論できない。a, b 方向の値が同一でも、これに斜交する他の方向で値がちがうばあいもあるはずである。ただし、岩石構造が本文でのべたような a, b を対称軸とする斜方対称、または c に関する軸対称のばあいには、物理的性質の値の分布が示す対称性は、これらの対称の要素を含んでこれと同一か、より高次のものでなければならないので (M. S. PATERSON and L. E. WEISS, 1961), a, b 方向に関して対称的であるはずである。

長軸を配列させるので、a, b方向で物理的性質の値がかなりちがってくるはずである。しかし今回の資料には適例がない。

2) 縞構造：多くの結晶片岩では、鉱物組成または構成鉱物の量比のことなる部分が繰返して、いちじるしい縞構造を呈する。これは対称性からいえば軸対称で、物理的性質の非等方性に影響があるはずである。本稿で扱った岩石では、泥質・珪質岩類に縞構造がいちじるしい。

3) 劈開：劈開の効果はいろいろ考えられる。あるばあいには、劈開は不連続面であり、ときには劈開面に沿って石墨質・雲母・緑泥石などのフィルムが形成されていることがあり、またしばしば残留応力の排除に伴って劈開面にそってその両側が剝離していることもある。いずれのばあいにも、弾性的性質に影響する度合が大きいはずである。また、多くの劈開は単純なずり面ではなく、その両側の部分を劈開に沿うずり運動で引きずっており、そのため片理面が劈開の近傍で曲げられている。その結果、巨視的にきめられたa方向は劈開の近傍では片理面に斜交することになる。以上すべての効果は、劈開の顕著な岩石で構造軸a, b方向での物理的性質の値に差をもたらす結果となる。B型およびC型の岩石でa/bが低下しc/bに近づくのは、主として劈開の影響とみなされるわけである。

VI. 強 度 試 験

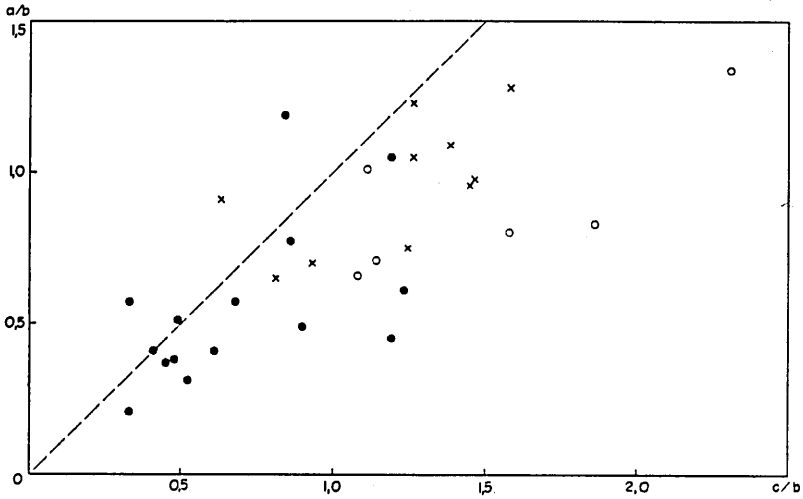
岩石の圧縮および引張強度は、前記の弾性波速度・ヤング率とことなり、圧縮ないし引張の方向に関する岩石の物理的性質を示すものとみなすことはできない。F. J. TURNER *et al.* (1954) が方解石の単結晶について明らかにしたように、岩石の強度も岩石の構造、とくに片理・劈開や粒の境界面など滑り可能な面の性質と、その上における剪断応力の大きさ（面の向きに関係する）に依存すると考えられるのである。

今回の試験では比重測定後の供試体を使用したので、岩石は吸水状態にある。圧縮試験には20T容量のアムスラー型圧縮試験機（森試験機製作所製）を用い、加圧割合は破壊荷重の50パーセントまでは比較的小さく、その後は毎分100kg/cm²をこえない速度とした。引張試験機は技研で自作し、岩石を接着剤（ビスカー12M）でチャックに接着して行なった。供試体の引張強度が接着剤の保持力（150~200kg/cm²）をこえるばあいは、やむをえず供試体の中央部を削り、断面積を減らして試験した。

強度試験の結果は表に示したとおりである。a, b, c各構造軸方向ごとに、圧縮強度はふつう7, 8個、引張強度は3, 4個の供試体での平均値を示してある。供試体ごとの値のばらつきは相当大きい。圧縮試験については、全個体について破断面と岩石の面構造との関係をしらべ表記した。なお、代表的な例を図版2に示してある。

第4図は第2, 3図にならって、各構造軸方向に軸圧を加えたばあいの圧縮強度の比較をa/b, c/bで示したものである。この図でみると、やはり圧縮強度も岩石構造と密接な関係をもつことがわかる。

A型の岩石では、a方向とb方向の差は大きくなく、1例をのぞいてa方向がやや低い。しかし、c方向は顕著に強度が大きい。これは、c方向圧縮のばあい、片理面内の剪断応力が零で、しかもA型の岩石では片理面以外に顕著な面構造がないためと考えられる。しか

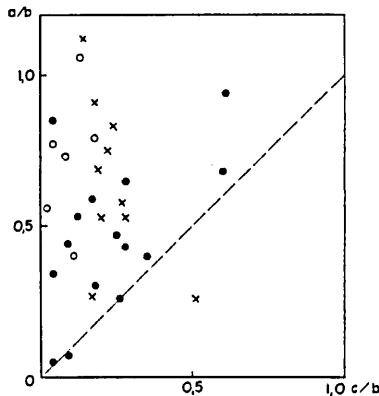


第4図 構造軸方向による圧縮強度比
記号は第2図と同じ

し、破断面を検討してみると、その一部は微弱な劈開面 (S_3) を利用していることがわかる。

B型およびC型の岩石では、第4図で明らかなように、a方向、c方向ともにA型に対して顕著に強度が減じている。これは、劈開 (S_2 , S_3) の発達と片理面の褶曲の反映とみなされる。すなわち、b方向に軸圧を加えたばあいには、b方向が片理面・劈開面の両方に沿うばかりでなく、片理面の褶曲の軸でもあるので、軸圧はつねに岩石の機械的不均質面に平行であり、条件はA型岩石のb方向圧縮とほとんど変わらない。ところがa方向およびc方向圧縮のばあいには、劈開面または褶曲した片理面の一部は圧縮軸と斜交し、その面に沿う剪断応力が生じ、強度を減少させることになる。破断面の大部分は片理面と劈開面である。

第5図は引張強度について作った図である。A型岩石では片理面の影響が顕著にあらわれ



第5図 構造軸方向による引張強度比
記号は第2図と同じ

て、c方向引張強度が極端に小さい。a方向の値がb方向よりかなり小さいものがあるのは、やはり劈開の影響とみなされる。B、C型では片理面とともに劈開面の影響が大きく、a/bとc/bが接近する傾向が示されている。

D型の粗粒ないし塊状の岩石では、圧縮強度では軸方向の差があまりない。破断面も不規則なことが多く、共軛的にあらわれる傾向がある。引張強度のばあいには、片理面の存在が強く影響してあらわれている。

以上のように、強度試験の結果も片理面のほかに劈開面の存在と劈開に伴う片理面の褶曲の効果を明らかに示している。ただ、a、b、cの軸方向について行なった試験では、多くのばあい、片理面または劈開面が圧縮および引張の軸方向に平行または垂直に近く、これらの面内の剪断応力が小さい。そのため、破壊の条件は複雑となり、これらの面の影響を直接読みとるには不適當である。そこで、No. 1BおよびNo. 2の2つの岩石について、ac面内でaと30°、45°、60°をなす方向の供試体を作り、その物理的性質の測定と強度試験を行なった。その結果を第1表に示す。No. 1BはA型の岩石で、発達が悪いS₃をみとめるが、弾性波速度はa→cと漸減し、S₃の効果は認められない。圧縮強度はcに60°、45°の方向で減少し、これはその方向が片理面に沿う滑りに好位置であるためと解される。No. 2はB型の岩石で、片理面と高角度で交わる顕著な劈開面が発達している。弾性波速度がa→cに漸減せず、不規則なのは、この劈開面の影響とみなされる。圧縮強度についてはa→cで方向によるいちじるしい差がない。これはいずれの方向でも片理面または劈開面に沿う滑りが容易なためと考えられる。

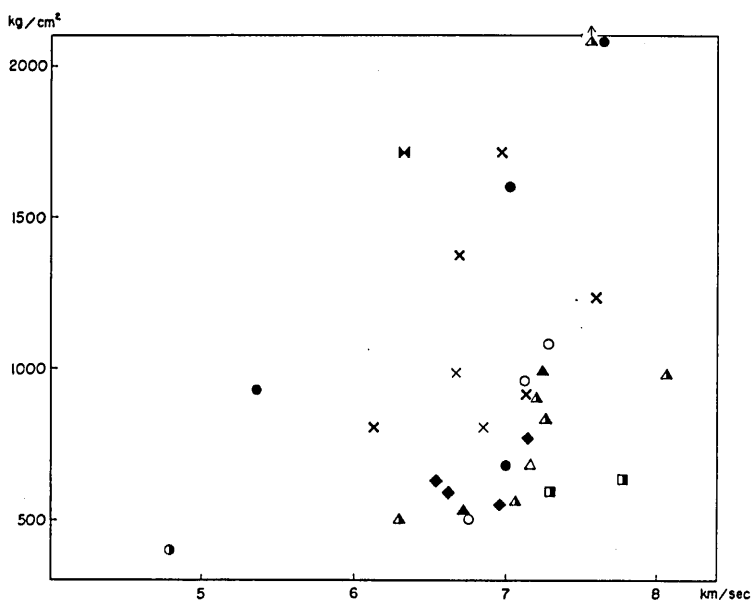
第1表 砂質片岩の方向による物理的性質変化

No.	方 向	弾性波(縦波)速度(乾) m/sec	ヤング率 kg/cm ² × 10 ⁴	圧縮強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²
1B	a	5,970	76	1,320	124
	cに60°	5,800	63	880	65
	cに45°	4,600	29	1,160	25
	cに30°	4,200	39	1,570	18
	c	3,670	35	1,920	13
	b	6,180	93	1,110	158
2	a	6,370	71	1,720	124
	cに60°	6,050	79	1,670	118
	cに45°	5,680	74	1,690	96
	cに30°	6,140	78	1,850	91
	c	5,720	78	1,710	67
	b	6,480	95	2,060	39

VII. 岩 種 に よ る 差

これまでのべてきたことは、片状岩類の物理性が岩石構造に密接な関係があるという点である。最後に岩種によって差があるかどうか検討してみよう。そのばあい、物理的性質が方

向によってことなる点が問題になる。しかし、上に説明してきたように、a, c方向の性質が劈開面の存在や片理面の褶曲にいちじるしく影響されるのに対して、b方向は片理面および劈開面に平行で、これらの影響はいちじるしくないと考えられる。そこで、第6図に岩質と岩石構造を区別してb方向の弾性波速度と圧縮強度を投影してみた。この図では岩質によってあまりはっきりした傾向はみとめられないが、例外的数点 (Nos. 4, 7, 28, 29) を除いてみると、弾性波速度では石灰質岩石が大きく、その他はだいたい似た値 (7000m/sec前後) である。圧縮強度では砂質・珪質のものが大きく、泥質のものが小さい。同一岩質で岩石構造型式による差はみとめられない。弾性波速度と圧縮強度との間の正の相関関係は、あまり明瞭ではないが、岩質ごとには多少の傾向がみとめられる。



第6図 圧縮強度 (縦軸) と弾性波速度 (横軸)

	A 型	B,C型	D 型
砂質	○	●	◉
塩基性	△	▲	▴
珪質	×	×	✕
泥質		◆	
石灰質			■

VIII. 後 書

今回の試験は数の上でも不十分であるし、周圧を高圧にしていなかったので、個体差がいちじるしくあらわれているが、しかしこれらの不十分さにかかわらず、片状岩類の物理的性質が岩石構造に強く影響されることを明瞭に示している。ことに、岩石構造のうち片理面だけでなく劈開面の影響がひじょうに大きいことが判明したことはきわめて重要な結果である。なぜなら、これまで劈開面がほとんど注意されておらなかったからである。片状岩地帯の地質

図でも劈開面の方位は記入されておらないし、応用地質学上の調査でも劈開面を測定していないのがふつうである。著者は三波川結晶片岩地帯を調査してきたが、劈開面の重要さを痛感してきている。昭和37年の土讃線の大崩壊も黒色片岩中の劈開面に沿って滑落したものであるし、多くの地辻りはその原因が基盤岩の片理面と劈開面の向きに関係しているのである。また、山系谷系の多くは片理面よりも劈開面の方向に支配されていることは、写真地質学を応用するばあい重要な事実である。これらについては機会をえて稿をあらためて論じたいとおもう。(1964・7・24)

引 用 文 献

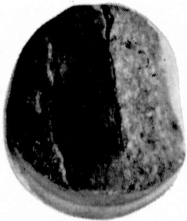
- BRINKMANN, R., W. GIESEL und R. HOEFFENER (1961): Über Versuche zur Bestimmung der Gesteinsanisotropie. *Neues Jahrb. f. Geol. u. Pal.*, 1961, Hf. 1, 22-33.
- FAIRBAIRN, H. W. (1949): *Structural Petrology of Deformed Rocks*.
- 小島丈児 (1963): 三波川結晶片岩帯の基本構造について. 広大地研報, (12), 173-182.
- 三沢清扶 (1964): 土讃線沿線の結晶片岩類の物理的性質. 鉄道技研報告, (401), 1-41.
- (1964): 土讃線沿線結晶片岩類の物理的試験 (表). 鉄道技研速報, (64-60), 1-122.
- PATERSON, M. S. and L. E. WEISS (1961): Symmetry concepts in the structural analysis of deformed rocks. *Geol. Soc. Amer., Bull.*, 72, 841-882.
- SANDER, B. (1948): *Einführung in die Gefügekunde der Geologischen Körper*. Ier Teil.
- (1950): *ibid.* Iler Teil.
- TURNER, F. J., D. T. GRIGGS and H. C. HEARD (1954): Experimental deformation of calcite crystals. *Geol. Soc. Amer., Bull.*, 65, 883-934.
- TURNER, F. J. and L. E. WEISS (1963): *Structural Analysis of Metamorphic Tectonites*.

広島大学理学部地質学鉱物学教室

資料 No.	岩石名	岩質区分	岩石構造分類	産地	所属構造区	鉱物構成	再結晶粒	織構造	片理	劈開	その他	弾性波 (縦波) 速度 (乾) m/sec					ヤング率 kg/cm ² × 10 ⁴					圧縮強度 kg/cm ²					引張強度 kg/cm ²					備考	
												a	b	c	a/b	c/b	a	b	c	a/b	c/b	a	b	c	a/b	c/b	a	b	c	a/b	c/b		
1A	砂質片岩	砂質	A	大歩危乗船場 (上流側)	大歩危南縁撓曲帯	石英・曹長石の碎屑粒の他、石英・曹長石・白雲母・スティルプノメリン・パンペリー石・緑泥石	小	微弱	平板状、微褶曲	S ₂ あり、連続性乏しい S ₁ ・S ₂ =24°±	暗灰色、硬砂岩質、剥離性	6410	6750	4130	0.95	0.61	62	70	20	0.89	0.29	735	550	1285	1.34	2.31	S ₁ 及びS ₂	110	140	25	0.79	0.18	
1B	砂質片岩	砂質	A	同上	同上	石英・単斜輝石・緑レン石などの碎屑粒の他、石英・曹長石・パンペリー石・スティルプノメリン・緑泥石・陽起石・白雲母	小	なし	平板状、微褶曲	雲母質部にS ₂ S ₁ ・S ₂ =28°±	帯緑色、比重大、パンペリー石多く剥離性弱	6680	7120	4940	0.94	0.69	85	94	30	0.91	0.32	800	960	1790	0.83	1.86	S ₁ 及びS ₂	70	175	19	0.40	0.11	
2	砂質片岩	砂質	B	大歩危堂床谷乗船場	大歩危背斜帯	石英・曹長石・カリ長石などの碎屑粒の他、石英・曹長石・白雲母・緑泥石・パンペリー石・スティルプノメリン	小	なし	いちぢるしい微褶曲	S ₂ 発達、連続性にとむ S ₁ ・S ₂ =70~90°	淡灰色、アーコース質、塊状	6520	7020	6200	0.93	0.88	78	87	69	0.90	0.79	1900	1600	1345	1.19	0.84	S ₁ 及びS ₂	120	128	78	0.94	0.61	
3	砂質片岩	砂質	B	小歩危峡谷	大歩危背斜帯 小歩危向斜部	石英・カリ長石・褐レン石などの碎屑粒の他、石英・曹長石・白雲母・緑泥石・パンペリー石	稍大	微弱	うねりと著しい微褶曲	S ₂ 発達、連続性にとむ S ₁ に対し高角度	剥離性、かなり風化	4350	5360	3820	0.81	0.72	15	61	15	0.25	0.25	475	930	455	0.51	0.49	S ₁ 及びS ₂	30	75	26	0.40	0.35	試片は構造方向に斜交するものが多い
4	砂質片岩	砂質	B	下名の南	津根山向斜帯 下名向斜部	石英・カリ長石などの碎屑粒の他、石英・曹長石・白雲母・緑泥石・パンペリー石	稍大	なし	うねりと著しい微褶曲	S ₂ 発達、連続性弱 S ₁ ・S ₂ =41°±	灰色、比重大、棒状構造	5660	7630	6060	0.73	0.79	140	290	85	0.48	0.29	1180	2080	705	0.57	0.34	S ₁ 及びS ₂	65	152	42	0.43	0.28	
5	砂質片岩	砂質	A	土讃線45.5km 隧道出口	大歩危北縁撓曲帯	石英・カリ長石・曹長石などの碎屑粒の他、石英・曹長石・白雲母・緑泥石・パンペリー石	稍大	有	平板状、微褶曲	S ₂ なく、S ₂ 不顕著	細粒、剥離性	6720	7280	4580	0.85	0.63	61	106	33	0.58	0.31	765	1075	1260	0.71	1.14	S ₁	105	137	6	0.77	0.04	
6	砂質片岩	砂質	B	岩原釣橋下	三波川南縁背斜帯 岩原背斜部頂部	石英・曹長石などの碎屑粒の他、石英・曹長石・白雲母・緑泥石	稍大	有	いちぢるしい微褶曲	S ₂ あまり連続性ない S ₁ ・S ₂ =70~90°	剥離性	5700	7000	3640	0.81	0.52	60	93	3	0.65	0.03	330	680	610	0.49	0.90	S ₁ 及びS ₂	39	74	9	0.53	0.12	
7	砂岩	砂質	D	北川駅北側	秩父帯	石英・曹長石などの碎屑粒の他、石英・曹長石・白雲母・緑泥石	小	なし	なし	微弱	塊状、かなり風化	4420	4800	3420	0.92	0.71	23	46	13	0.50	0.28	510	395	625	1.28	1.58	劈開に近似するが不規則	51	56	10	0.91	0.18	
8	点紋角閃片岩	塩基性	D	板野水位標	点紋向斜帯	斜長石・緑レン石・角閃石、ザクロ石・緑泥石・白雲母・チタン石	大	なし	不明瞭、小褶曲	有、不顕著	粗粒、塊状、やや風化	5480	7050	5770	0.78	0.82	48	72	63	0.67	0.88	590	560	690	1.05	1.26	微弱な劈開に沿うことがある	32	89	45	0.36	0.51	小褶曲のためa,c方向は厳密でない
9	緑色片岩	塩基性	A	祖谷口駅北方1km	大歩危北縁撓曲帯	曹長石・緑レン石・陽起石・緑泥石・チタン石	稍大	有	平板状、微褶曲	微褶曲軸面顕著	淡緑色、剥離性、多少風化	6450	7150	2740	0.90	0.38	82	116	6	0.71	0.05	545	685	1080	0.80	1.58	S ₁ ; a 試片ではキングバンドを作る	69	123	3	0.56	0.02	
10	緑色片岩	塩基性	C	重実、国政間河岸	大歩危背斜帯 川口背斜部	石英・曹長石・緑泥石・白雲母	小	顕著	いちぢるしい小褶曲、劈開によるずれ甚しい	S ₂ 発達、ほぼ平行にS ₂	石英質薄層含み、剥離し易い、珪質凝灰岩源	5290	6720	3880	0.79	0.58	45	65	33	0.69	0.51	345	570	700	0.61	1.23	S ₁ 及びS ₂	23	90	23	0.26	0.26	小褶曲のためa,c方向の区別は厳密でない
11	緑色片岩	塩基性	B	南日浦 (69.5 km対岸)	津根山向斜帯 下名向斜部	曹長石・緑泥石・緑レン石・陽起石から成り、石英・方解石の部分を含む	稍大	有	うねりと、いちぢるしい微褶曲	微褶曲軸面顕著、 S ₂ ・S ₁ =90°±	緑泥石に富む	5800	7240	4640	0.80	0.64	57	118	25	0.48	0.21	405	935	600	0.41	0.61	S ₁ 及びS ₂	71	161	15	0.44	0.09	
12	石英片岩	珪質	B	岩原駅南西1km	三波川南縁背斜帯 岩原背斜部頂部	石英・曹長石・緑泥石・白雲母・赤鉄鉱	小	有	いちぢるしい微褶曲とうねり	S ₂ よく発達、連続的 S ₁ ・S ₂ =75°±	赤紫色、珪質凝灰岩源、S ₂ 顕著でS ₁ 不明瞭	3750	7140	3910	0.53	0.55	32	101	25	0.32	0.25	345	915	435	0.38	0.48	S ₁ 及びS ₂	12	168	15	0.07	0.09	軸方向 a, b, c は S ₂ に関して決めてある
13	角閃片岩	塩基性	D	大杉中学校対岸	御荷鉾帯	角閃石・パンペリー石・緑レン石・緑泥石・チタン石・曹長石	大	なし	片理面不顕著	微褶曲軸面あり	剥離性微弱	6210	7260	5990	0.85	0.83	72	61	54	1.18	0.89	1025	835	1050	1.23	1.26	不規則方向で共軛的	83	100	24	0.83	0.24	
14	変輝緑岩	塩基性	D	北川駅北方	秩父帯	曹長石・パンペリー石・緑泥石・チタン石	小	なし	片理面不顕著	S ₂ 発達	塊状、多少剥離性	6840	7200	6300	0.95	0.88	158	115	98	1.37	0.85	980	900	1240	1.09	1.38	不規則方向	105	152	29	0.69	0.19	
15	点紋藍閃片岩	塩基性	D	三縄三好橋北側	大歩危北縁撓曲帯	曹長石・藍閃石質角閃石・緑レン石・緑泥石・白雲母・チタン石・電気石	大	微弱	平板状、微褶曲	微褶曲軸面一定しないが、S ₁ に対し高角度	粗粒、塊状	5420	6290	3850	0.86	0.61	77	43	23	1.80	0.54	480	500	725	0.96	1.45	多くS ₁ 、しばしば共軛的	66	59	8	1.12	0.14	
16A	点紋石英片岩	珪質	A	同上	同上	石英・緑レン石(一部紅レン石)・白雲母・緑泥石・赤鉄鉱	大	顕著	平板状、微褶曲	微褶曲軸面一定しない	粗粒	6540	6840	4430	0.96	0.65	89	85	45	1.05	0.53	810	805	895	1.01	1.11	S ₁ 、ときに微褶曲軸面	118	111	14	1.06	0.13	
16B	点紋石英片岩	珪質	A	同上	同上	石英・紅レン石・無色角閃石・白雲母	大	顕著	平板状、微褶曲	微褶曲軸面、一部劈開 S ₁ ・S ₂ =45°±	粗粒	6390	6660	4400	0.96	0.66	101	101	57	1.00	0.57	650	985	1065	0.66	1.08	S ₁ ; c 試片ではやや共軛的	89	122	10	0.73	0.08	
17	石英片岩	珪質	C	重実、国政間河岸	大歩危背斜帯 川口背斜部	石英・方解石・スティルプノメリン、緑泥石	大	顕著	小褶曲いちぢるしい	S ₂ 発達、鱗片状鉱物の多い部分にS ₂	剥離性いちぢるしい	4600	6110	4180	0.75	0.69	35	58	34	0.63	0.59	820	795	945	1.06	1.19	S ₁ 及びS ₂ , S ₂	41	60	36	0.68	0.60	a, c 方向不正確
18	石英片岩	珪質	B	榎の下、対岸	津根山向斜帯 下名向斜部	石英・陽起石・緑泥石・赤鉄鉱	稍大	顕著	S ₂ と原層理と斜交 S ₁ は微褶曲	鱗片状鉱物多い部分にS ₂ S ₁ ・S ₂ =40~50°	剥離性にとむ	6140	6700	5160	0.92	0.77	70	107	54	0.65	0.51	785	1375	940	0.57	0.68	層面、S ₁ 及びS ₂	77	119	33	0.65	0.28	
19	石英片岩	珪質	C	南日浦河岸	同上	石英・方解石・赤鉄鉱・紅レン石・陽起石・緑泥石・白雲母・チタン石	小	顕著	小褶曲及び微褶曲 いちぢるしい	微褶曲軸面、一部劈開、 S ₁ ・S ₂ =30°±、 S ₁ ・S ₂ 高角度	剥離性	6170	6970	5760	0.89	0.83	40	108	60	0.37	0.56	530	1715	885	0.31	0.52	S ₁ 及びS ₂ , S ₂	92	157	27	0.59	0.17	
20	石英片岩	珪質	C	岩原駅南西1km	三波川南縁背斜帯 岩原背斜部頂部	石英・方解石・赤鉄鉱・白雲母・緑泥石	小	顕著	うねりと微褶曲	S ₂ 発達、連続性よい S ₁ ・S ₂ =60°±	S ₂ にそう剥離性大	5350	7600	4650	0.71	0.61	57	139	40	0.41	0.29	455	1235	555	0.37	0.45	S ₁ 及びS ₂	9	180	8	0.05	0.04	
21	チャート	珪質	D	北川口橋の下	秩父帯	石英微粒を主とし、緑泥石を含み、石英再結晶脈が貫く	微小	小単位ではなし	なし	不顕著	緻密、塊状	5700	6330	5280	0.90	0.83	82	89	55	0.92	0.62	1205	1715	1585	0.70	0.93	不規則方向	57	215	37	0.27	0.17	
22	黒色片岩	泥質	C	川口、山城隧道入口	大歩危背斜帯 川口背斜部	石英・曹長石・白雲母・緑泥石・炭質物	稍大	顕著	小褶曲いちぢるしく、 劈開によるずれ甚しい	S ₂ , S ₃ 発達、共に S ₁ と高角度で交わる	S ₂ による剥離性顕著	5130	6610	4220	0.78	0.64	37	71	28	0.52	0.39	455	595	510	0.77	0.86	S ₁ 及びS ₂ , S ₂	31	105	19	0.30	0.18	
23	黒色片岩	泥質	B	土佐岩原駅対岸	清水構造帯	石英・曹長石・白雲母・緑泥石・炭質物	小	顕著	平板状	キングバンド状、 連続性乏しく、S ₁ に高角度	砂質、剥離性大	6080	7150	1780	0.85	0.25	72	80	9	0.90	0.11	310	765	310	0.41	0.41	S ₁ 及び劈開	45	95	2.4	0.47	0.03	
24	黒色片岩	泥質	B	大志呂隧道中	三波川南縁背斜帯 岩原背斜部頂部	石英・曹長石・白雲母・緑泥石・炭質物	小	顕著	平板状、多少微褶曲	S ₂ 存在	砂質、剥離性に富む	6050	6520	1770	0.93	0.27	34	45	10	0.76	0.22	285	630	750	0.45	1.19	S ₁ 及び劈開	71	83	3.5	0.86	0.04	
25	黒色片岩	泥質	C	大田口薬師橋先河岸	同上 南翼	石英・曹長石・白雲母・緑泥石・炭質物	稍大	顕著	小褶曲	S ₂ , S ₃ 顕著	剥離性いちぢるしい、 かなり風化	5120	6950	1450	0.74	0.21	23	54	1	0.54	0.02	115	550	180	0.21	0.33	S ₁ 及び劈開	12	35	1.5	0.34	0.04	
27A	結晶質石灰岩	石灰質	D	大杉駅北西採石場	同上	方解石	大	なし	不明瞭	不明瞭	塊状	7140	7760	6590	0.92	0.85	80	105	61	0.76	0.58	605	630	915	0.96	1.45	S ₁ 及び不規則面	45	85	24	0.53	0.28	
27B	結晶質石灰岩	石灰質	D	同上	同上	方解石の他、少量の石英・曹長石・緑泥石・チタン石・白雲母を層状に含む	大	有	明瞭	不明瞭	塊状	6200	7280	7060	0.85	0.97	66	76	56	0.87	0.74	445	595	740	0.75	1.24	S ₁ 及び不規則面	46	87	17	0.53	0.20	
28	玄武岩質集塊凝灰岩	塩基性	D	第四穴内橋深下(転石)	御荷鉾帯	残留単斜輝石の他、曹長石・陽起石・緑泥石・緑レン石など	小	有	有	なし	塊状; 脱玻璃した火山ガラス質多い	6540	8070	6060	0.81	0.75	80	126	48	0.64	0.38	640	985	800	0.65	0.81	S ₁ 及び不規則面	45	78	21	0.58	0.27	
29	玄武岩質火山礫	塩基性	D	同上	同上	残留単斜輝石の他、曹長石・緑泥石その他 (未確認)	小	なし	なし	なし	緻密、塊状	7450	7600	6620	0.98	0.87	109	117	121	0.93	1.03	2325	2545	1605	0.91	0.63	不規則方向	178	236	52	0.75	0.22	

図版 II 説明

1. No. 2 (砂質片岩・B型), a方向圧縮 ($2 \cdot a \cdot b$)。視方向 (紙に垂直な方向) は, 1aが構造軸 a, 1bがb。破断面は S_1 の微褶曲した面と劈開面 S_3 に支配されている。
2. No. 2 (同上), c方向圧縮 ($2 \cdot c \cdot 3$)。視方向2aはc, 2bはb。破断面は S_3 に支配される。
3. No. 5 (砂質片岩・A型), a方向圧縮 ($5 \cdot a \cdot 10$)。視方向3aはa, 3bはb。破断面は S_1 。
4. No. 15 (点紋藍閃片岩・D型), a方向圧縮 ($15 \cdot a \cdot 4$)。視方向4aはa, 4bはb。破断面は共軛的で, S_1 および小褶曲軸面に規制されている。
5. No. 20 (石英片岩・C型), c方向圧縮 ($20 \cdot c \cdot 13$)。視方向5aはc, 5bはb。破断面は S_1 と S_3 に規制されている。
6. No. 22 (黒色片岩・C型), a方向圧縮 ($22 \cdot a \cdot 5$)。視方向6aはa, 6bはb。破断面は S_1, S_2, S_3 に支配されている。



1 a



2 a



3 a



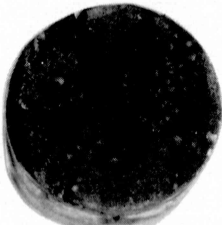
1 b



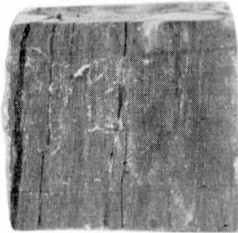
2 b



3 b



4 a



5 a



6 a



4 b



5 b



6 b