新潟県姫川地域の蛇紋岩

——岩盤評価の前に——

大村 一夫*・山地 英喜**・岩 槻 修**
吉田 亘弘*・山戸 武史*

Serpentinite in the Himekawa Area

—Geotechnical Assessment of Rock Masses—

Kazuo OHMURA, Hideyoshi YAMAJI, Osamu IWATSUKI
Tsunehiro YOSHIDA and Takeshi YAMATO

Abstract

It is often troublesome to tunnel through the areas occupied by serpentinite which is usually dealt with as fragile earth for civil engineering. This paper presents the physical and chemical properties of serpentinite in Himekawa, Niigata Prefecture from the standpoint of engineering geology. Many tunnels penetrating serpentinite masses in other parts of Japan are also referred.

Serpentinite in Himekawa is divided into two bodies, the Asaoyama and Hiraiwa. The latter shows petrologically more marginal facies than the former and both include chlorite minerals. The degree of alteration of serpentinite is fairly consistent with an index (F_c') which is designated by the average ratio of hard portion within every ten meters interval of drill core. Chemical analyses have shown that aluminum oxide (Al_2O_3) and calcium oxide (CaO) tend to increase as the alteration of serpentinite proceeds. Talc and carbonate minerals also tend to increase in that course. Determined physical properties are as follows; ranging from 2.6 to 2.8 for apparent density, less than 3% for water absorption rate, and less than 5 cm^3 for swelling degree. The primary ultrasonic wave velocity (V_{pe}) for drill core has the following relationship with the secondary one (V_{se}):

$$V_{pe}=2.075V_{se}-0.259$$

Serpentinite itself does not have any expanding nature but when it undergoes serpentinization along fractures, talc is readily formed followed by foliation. Eventually upon clay mineralization, serpentinite mass has a tendency to swell and slide due to the earth pressure and the leaching of ground water.

1. はじめに

既設の蛇紋岩トンネルは、ほとんど例外なく難工事であったことが知られている。新潟県の姫川地域の蛇紋岩地域におけるトンネル計画に際し、この施工上の困難さ

が何に起因するのかを知るため、姫川地域の蛇紋岩の理学的特性と既設の蛇紋岩トンネル[†]の工学的特性とについて調査を実施した^{††} (図-1)。

本報告は、この調査のうち、姫川地域の蛇紋岩の理学的特性について土木地質的観点から、まとめたものであ

* (株)ダイヤコンサルタント

** 日本鉄道建設公団富山新幹線建設準備事務所

[†] 調査を実施したトンネルは以下の 10 トンネルである。函館本線; 神居トンネル, 紅葉山線; 新登川トンネル, 鬼峠トンネル, 第一ニニュウトンネル, 第二ニニュウトンネル, 上越新幹線; 大清水トンネル,

宮守線; 普甲トンネル, 第一辛川トンネル, 第二辛川トンネル, 国道 128 号; 嶺岡トンネル

^{††} 調査内容は次の通りである。既往資料調査, 現地調査, 岩石試験 (みかけ比重測定 103, 膨潤度測定 160, 超音波速度測定 81, 吸水率測定 103, X線回折 139, 岩石顕微鏡観察 125, 化学組成分析 143)

図-1 調査地域位置図および既設蛇紋岩トンネル位置図

1: 姫川地域, 2: 神居トンネル, 3: 新登川・鬼峠・第一および第二ニュートンネル, 4: 大清水トンネル, 5: 嶺岡トンネル, 6: 普甲・第一および第二辛川トンネル, 姫川地域の拡大図中の黒塗部分は蛇紋岩分布域, Aは麻尾山岩体, Bは平岩岩体を示す。

る。

調査に際しては、日本鉄道建設公団の札幌支社、同占冠中央建設所、新潟新幹線建設局水上建設所、同湯沢建設所、大阪支社、同大江建設所、国鉄札幌工事局、ならびに千葉県の道路課、鴨川土木事務所の各位から、御協力をいただいた。また、顕微鏡観察では高知大学鈴木堯士教授、X線回折および鉱物学的検討では九州大学林正雄助教授、総合解析では日本鉄道建設公団設計室の吉川恵也氏（現日本国有鉄道・鉄道技術研究所地質研究室長）に御指導いただいた。これらの方々に対し心より御礼申し上げます。

2. 地 質

姫川流域は、糸魚川―静岡構造線北西端の西側にあたる。本地域に分布する古期岩類は、新潟県地質説明書(1977)によれば青海―小滝帯と呼ばれている。

青海―小滝帯は、結晶片岩・非変成古生層・中生層・蛇紋岩・ハンレイ岩等から構成されており、NW～SE方向の断層に沿って蛇紋岩が多数進入している。

同説明書は青海―小滝帯の蛇紋岩体を3区分し、以下

の様に説明している*。

① 青海結晶片岩帯の中心部に貫入**した蛇紋岩体

この岩体は北西方向に延び、外波川・歌川に露出する。一部に変ハンレイ岩体を伴っている。

図-2 麻尾山岩体分布図

1: 蛇紋岩分布域, 2: 試料採集露頭位置, 3: ボーリング実施位置, 4: ボーリング孔名

② 姫川本流沿いの南北性蛇紋岩体

姫川沿いに、北は菅沼付近から、南は深原付近まで、南北方向に約 14km、東西の幅は最長 6km に及ぶ岩体である。小滝東方、平岩東方および湯原東方 3ヶ所では東方に入り込んだ形で分布している。蛇紋岩体中には、しばしば変輝緑岩の小岩体が含まれている。

③ 断層に沿う貫入体

蛇紋岩体は結晶片岩と古生層あるいは中層生とを境す

* 小松 (1980), 小松・茅原 (1981) などによる最近の新しい考えによれば、当地域の基盤の構造は大局的には蛇紋岩をマトリックスとする構造的メランジェであるが、細かく見ると (1) 東側に黒色粘板岩からなる古生層のゾーン、(2) これにナッペ状に衝上する蛇紋岩 (蛇紋岩ナッペ帯)、(3) 蛇紋岩と蛇紋岩中にとり込まれた結晶片岩・弱変成古生層などよりなるゾーン (外側蛇紋岩メランジェ帯) に分けられるとされている。本報告の平岩岩体は (2) に、麻尾山岩体は (3) に相当する。

** 蛇紋岩は固体で上昇してくると思われるため貫入というよりは、進入というのが適切であると考えられるが、ここでは原文の表示に従った。

図-3 平岩岩体分布図
凡例は 図-2 に同じ。

る断層、古生層と中生層とを境する断層に沿って貫入している。これらの蛇紋岩体はいずれも幅が狭い割に延長性があり、著しく破砕されている。蛇紋岩に伴うハンレイ岩は、いずれも蛇紋岩中に塊状またはレンズ状の岩体として含まれ、蛇紋岩を貫く状態を示さない。

これらの蛇紋岩体の進入時期と産状とについて、日本岩石誌 I (朝倉書店, 1968) は、少なくとも来馬層堆積後の貫入で、おそらく白亜紀末のものであらうと思われるとし、岩体が直立の岩脈状であるために山崩れを起こしやすく、新潟県平岩付近では山崩れ地形がよく発達すると述べている。

調査結果によれば、当地域の蛇紋岩体は分布および産状から次の 2 体に区分できる。

① 麻尾山岩体

当地域の北部に位置し、新潟県地質説明書 (前出) の①の蛇紋岩体にほぼ一致し、③の蛇紋岩体の一部を含む。本岩体における蛇紋岩の垂直的分布は、E ボーリン

グでハンレイ岩上に、B ボーリングで中～古生界下に密着して分布していることが確認されている。また、地表部分における風化変質は次のべる平岩岩体程進行しておらず、地すべりの発生も少ない (図-2)。

② 平岩岩体

当地域の南部に位置し、新潟県地質説明書 (前出) の②の蛇紋岩体にほぼ一致し、③の蛇紋岩体の一部を含む。本岩体における蛇紋岩の垂直的分布は、F および I ボーリングで中～古生界にサンドイッチ状に挟在する様な産状を呈しているが、境界は急傾斜を示していないこと、複数の岩体からなり、各岩体の幅ないし厚さは大きなものではないことから、進入形態は緩傾斜の脈状あるいはシート状であると考えられる。また、風化変質は深度 100 m 付近にまで及んでおり、地表は地すべり多発地帯となっている。また、温泉湧出地が多い (図-3)。

3. 蛇紋岩の形態

蛇紋岩は産出形態から、次に示す 3 様に区分できる。

① 塊状蛇紋岩: 堅固な蛇紋岩であり、暗黒色を呈するものが普通である。本岩には葉片構造は認められず、ボーリングにおいては柱状のコアとして採取される。

② 葉片状蛇紋岩: 葉片状 (薄層) に分離する蛇紋岩であり、緑色～黄緑色を呈するものが多い。ハンマーで軽打するとバラバラに分離するものから素手で細かく分離できるものまでを含む。まれに、ハンマーで軽打しても折れないような硬質のものもあるが、葉片状の構造は残っているので区別できる。

③ 粘土状蛇紋岩: 粘土化した蛇紋岩である。普通は蛇紋岩体内に認められる緑色を帯びた粘土を言うが、茶白～白色を呈するものが多く、色調は変化に富む。

これら 3 様の蛇紋岩の相互の関係は、野外で以下の様に観察できる。

塊状蛇紋岩の割目に沿って葉片状蛇紋岩が存在する。葉片状蛇紋岩部分は幅広いほど、鱗片化が進行し、その中に粘土状蛇紋岩が網状に存在しており、地表では地下水の滲出が認められる。塊状部分は、いわゆる玉石状を呈し、その表面は研磨された曲面状を呈する。葉片部分は玉石状を呈する塊状部分の間を埋める様に分布し、葉片の方向は塊状部分の表面形状に平行しており、葉片相互間は粘着性に欠けている。蛇紋岩分布域は通常地すべり地域になっていることが多く、そこでは葉片状～粘土状の蛇紋岩中に礫状～巨礫状の塊状蛇紋岩が含まれているかあるいは塊状蛇紋岩が小丘状の突起となって点在

することが多い。そのため、地すべりによる移動土塊と蛇紋岩体との境界を識別することは困難である。

図-1 に示した既設トンネルでは、これらの蛇紋岩のうち、トンネル掘削時における膨圧の発生区間・膨圧の大きさが顕著である区間は、葉片状蛇紋岩・粘土状蛇紋岩卓越区間に限られていることが知られているため、塊状蛇紋岩の賦存状況を知ることは岩盤評価上重要であると考えられる。

4. 塊状率と孔内速度検層 (V_p) との関係

塊状蛇紋岩の賦存状況を示す指数として“塊状率”がある。

塊状率は次の2式で示される (日本鉄道建設公団札幌支社; 1967)。

$$F_m = \frac{\text{トンネル延長 10m 間の周面積中に占める塊状蛇紋岩の面積}}{\text{トンネル延長 10m 間の周面積}} \times 100 (\%)$$

$$F_c = \frac{\text{ボーリング長 10m における塊状蛇紋岩コアの延長}}{\text{ボーリング長 10m}} \times 100 (\%)$$

F_m と F_c とは、良く対応し、新登川トンネル (図-1 参照) においては表-1 に示す対応関係が明らかになっている (日本鉄道建設公団札幌支社; 前出)。

表-1 新登川トンネルにおける塊状率相互間の関係

形態	塊状率	F_m (%)	F_c (%)
葉片状蛇紋岩		0~30	0~45
塊状蛇紋岩		30~80	45~95
硬蛇紋岩*		80~100	95~100

—日本鉄道建設公団札幌支社(1967)による—

*硬蛇紋岩は、塊状蛇紋岩のなかで岩の状態が極めて良好な (長尺のコアが続く) 部分をさしており特異な蛇紋岩を意味するものではない。

姫川地域で掘削されたボーリングでは、蛇紋岩は図-5, 6 に示すように、屋簷堆積物におおわれるか、あるいは中〜古生界に挟まれて存在するのが確認されている。

塊状率 (F_c) は、ボーリング孔口からの深度 10m ごとに求められているが、当地域では、他岩種との接触境界から求めた方が形態変化の詳細把握に都合が良かったため、また F_c の求め方の詳細が不明であるため以下に示す方法で求めた塊状率によって論を進めることにする。

① 塊状率 (F_a): 1m 区間の塊状率

F_a は、 F_c を求める式を準用して求める。塊状蛇紋岩でもコア長 5cm 未満を示す部分は加算しない。ハンマーの軽打又は素手で細片化する場合には、その

岩片が 3cm 未満の円柱又は不規則破片に細片化する部分は加算しない。

② 塊状率 (F_c'): F_a の 10m 区間移動平均値*

ただし、その値は 10m 区間の中点に表示する。

③ 塊状率 ($\bar{F}_c$): ボーリング孔口から深度 10m ごとの F_a の平均値

上述の方法で求めた F_a , F_c' , $\bar{F}_c$ の相互関係を図-4 に示した。ただし、いずれの塊状率も端数を切りさげ 5% 単位で表示した。

図-4 塊状率と V_p の対応例 (Bボーリング)

1: 塊状率 (F_a), 2: 1m 区間塊状率 (F_a), 3: 10m 区間移動平均塊状率 (F_c'), 4: 孔内速度検層による P 波速度 (km/sec), 5: 中〜古生界, 6: 蛇紋岩

* 応用統計の一手法であり、一定区間の代表値をその区間の中央点の傾向値とし、これをひとつつつすべらせながら計算し傾向曲線を求める方法である。

図-4によれば、 F_d は、局所的な変化が強調されており、 $\overline{F}_d$ は測定区間が他岩種との境界から始まっておらず、形態変化のとらえ方が不連続的であり、孔内速度検層(V_p)との対応が良くない。 F'_d は V_p との対応も良好であり、より適切に形態変化に対応していると考えられる。

図-5、6に示したのはコア塊状率($\overline{F}_d$, F'_d)と孔内速度検層(V_p)速度との関係である。

これらの図では F'_d と V_p とは良く対応しているといえるが、変動幅は必ずしも対応していない。他岩種との境界ないし地表付近の F'_d , V_p は低い。その区間長は数10m~数100mであり、 F'_d は50%未満、 V_p は4 km/sec 未満を示すことが多い。 $F'_d \geq 50\%$ で $V_p < 4$ km/secの区間および、 $F'_d < 50\%$ で $V_p \geq 4$ km/secの区間はその後区間の F'_d の影響を受けていると考えられる。G・Hボーリングでは崖錐堆積物直下の F'_d が大き

いが、これは蛇紋岩から構成されている崖錐堆積物と粘土化した蛇紋岩との識別が困難であることに起因していると考えられる。

5. 残存組織

蛇紋岩は一般に超塩基性岩が蛇紋岩化することによって形成されることが知られているが、原岩岩体は均一とは限らず、また蛇紋岩化作用も全岩体均一に進行するわけではない。蛇紋岩化の進行していない部分あるいは蛇紋岩にはならない部分には、原岩の構造が残存していることが考えられる。

当地域の蛇紋岩の顕微鏡観察によれば蛇紋岩化作用の程度は次の4段階に区分できる。

程度Ⅰ：カンラン石および輝石が残存している。

程度Ⅱ：カンラン石は消失するが輝石は残存している。

図-5 麻尾山岩体の塊状率と V_p

1: 10m 区間移動平均塊状率 (F'_d), 2: 塊状率 ($\overline{F}_d$), 3: 孔内速度検層によるP波速度, 4: 崖錐堆積物, 5: 中〜古生界, 6: 蛇紋岩, 7: ハンレイ岩

図-6 平岩岩体の塊状率と V_p
凡例は 図-5 に同じ。

程度Ⅲ：カンラン石、輝石は消失するが仮像は残存している。

程度Ⅳ：カンラン石、輝石は消失し、仮像も残存していない。

外観的には、程度Ⅰ～Ⅱは結晶質であり、程度Ⅲは結晶が識別できず（墨を固めた様な状態）、程度Ⅳには葉片状構造が発達している。程度Ⅳよりも蛇紋岩化作用が進行したものは、葉片状～鱗片状を呈し、岩石薄片作成の対象とはなり得ない。

当地域の蛇紋岩体相互間では、蛇紋岩化の程度には特記すべき違いは認められなかったが、残存組織から判断される原岩の特徴は以下の通りである。

① 麻尾山岩体

本岩体の塊状蛇紋岩中には、カンラン岩（地表サンプルおよびA・B・Cボーリング）が残存しており、ハンレイ岩（Eボーリング）変質玄武岩（地表サンプル）と判断される部分を伴っている。変質玄武岩と判断したものは、変質した粗粒玄武岩あるいは輝緑岩であると考えられるが、その分布は本岩体の西縁部分に限られている。

② 平岩岩体

本岩体の塊状蛇紋岩中では麻尾山岩体に比較してカンラン岩の残存は少なく（地表サンプルおよびGボーリング）、変質玄武岩（地表サンプルおよびH・Iボーリング）変輝緑岩（地表サンプルおよびFボーリング）と判断される部分が多い。また、粘板岩（地表サンプルおよびL

ボーリング）と判断される部分もある。変質玄武岩、変輝緑岩と判断したのは、変質した粗粒玄武岩あるいは輝緑岩であり、粘板岩と判断したのは原岩中にとり込まれた捕獲岩であると考えられる。

上述の、蛇紋岩中にとり残されたカンラン岩の部分あるいは変質玄武岩・変輝緑岩といった蛇紋岩になっていない部分（以下“非蛇紋岩”として一括する）と蛇紋岩との境界は不鮮明であり、漸移しているように見える。また、野外踏査において石灰岩が蛇紋岩中に捕獲岩状に取り込まれているのが観察されるところもある。

したがって、これらの“非蛇紋岩”の存在は蛇紋岩化作用の程度の差あるいは原岩の不不均一を示すのか、すでに原岩中に貫入ないしはとり込まれていた部分があり、それが蛇紋岩化作用を受け得ない岩石（脈岩あるいは捕獲岩）であったことを示している。

これらの事実を考慮すると、姫川地域の蛇紋岩の原岩は均一な超塩基性岩ではなく、カンラン岩の他にハンレイ岩、粗粒玄武岩などを伴っていることから、これらが一連の火成活動より形成されたとするれば、超塩基性岩の周縁相であると推定できる。この場合、麻尾山岩体の原岩は平岩岩体の原岩よりも、より中心相に近い岩相を呈していたと考えられる。

産状からも、麻尾山岩体は中～古生界中に進入した厚い岩体の一部であり、平岩岩体は薄い進入岩体の末端に近く、緩傾斜の脈状ないしシート状に中～古生界に進入

している部分に相当すると考えることができる。したがって、平岩岩体の原岩の組織は麻尾山岩体の原岩よりもよりオフティック*であり、進入に際し中〜古生界中の粘板岩を捕獲岩として多数とり込んだと考えられる。

これらの考えは、新潟県地質説明書（前出）が青海結晶片岩帯の中心部に進入した蛇紋岩体（麻尾山岩体）の一部に変ハンレイ岩体を伴い、姫川本流沿いの南北性蛇紋岩体（平岩岩体）にはしばしば変輝緑岩の小岩体が含まれていると述べていることにも一致する。

6. 粘土鉱物組成

葉片状〜粘土状蛇紋岩を主にX線粉末回折分析を実施した。使用した機器は、理学電機工業(株)製高温X線—DTA 同時測定装置である。分析結果は表-2に示した。表-2中、蛇紋石を含む試料は、62(67%)、蛇紋石を含まない試料は30(33%)であった。

① 蛇紋石を含有する試料（“蛇紋岩”）

“蛇紋岩”は粘土鉱物の組合せに注目して分類すると次の4種に分けられる。

蛇紋石蛇紋岩：粘土鉱物として蛇紋石だけを含む蛇紋岩：13 試料（21%）

緑泥石蛇紋岩：蛇紋石と緑泥石とからなる蛇紋岩：35 試料（57%）

滑石蛇紋岩：蛇紋石と滑石とからなる蛇紋岩（緑泥石を含むことがある）：12 試料（19%）

水滑石蛇紋岩：蛇紋石と水滑石とからなる蛇紋岩（緑泥石を含むことがある）：2 試料（3%）

上記4種の蛇紋岩は蛇紋石のポリタイプによって、アンチゴライト、リザダイトの2系統に細分できる。クリソタイルのみから成る蛇紋岩はほとんどない。

アンチゴライト系蛇紋岩は麻尾山岩体に多く、リザダイト系蛇紋岩は平岩岩体に多い。いずれもクリソタイルを伴うものが多い。

アンチゴライト、リザダイトは蛇紋岩が生成した当初の主要な構成鉱物であるが、一般的には前者は高変成地域に、後者は低変成地域に認められる。両者が同一岩石中に共存することはほとんどない。両者が同一地域に認められる場合には、前者はより還元状態の環境下で、後者はより酸性状態の環境下で生成したと考えられている。

* 輝石の大きい結晶中に自形の斜長石が多数とり込まれている組織で、粗粒玄武岩、輝緑岩で典型的に認められる。

る。ただし、アンチゴライト蛇紋岩とリザダイト蛇紋岩とを肉眼で識別することは困難である。

クリソタイルは蛇紋岩生成当初からアンチゴライト、リザダイトに伴って少量生成されているが、これらが破砕風化作用を受けて低温で安定化することによっても生成される。したがってクリソタイルに富む蛇紋岩は、蛇紋岩の中でも破砕・風化作用を強く受けていることが予想される。

蛇紋岩化作用は全て加水反応であり、体積膨張を伴うことが知られている。その割合は原岩中のカンラン石と輝石の量比や蛇紋岩化の程度によって異なるが、 H_2O が外部から供給されたと仮定すると、体積膨張は一般に20〜40%の範囲にあると考えられる。しかしこれらの反応はいずれも500℃以上200℃以下の温度範囲では進行しない。土木工事が行われるのは通常の地表近くであり、そこでの温度状態は、蛇紋岩化を生じない範囲にあるため、土木工事に伴って蛇紋岩またはその原岩が膨張することは考えられない。

当地域の“蛇紋岩”は緑泥石、滑石、炭酸塩鉱物（方解石、菱苦土石、苦灰石）水滑石、およびその風化物であるパイロオーライトなどを伴っているが、特に緑泥石あるいは滑石を伴うものが多い。

モンモリロナイトは吸水膨張することによく知られているが、これを伴う“蛇紋岩”はほとんどない。例外的にごく少量のモンモリロナイトを含むものが麻尾山岩体に認められるが、これらは緑泥石を伴わない。

緑泥石は低度変成岩の主構成鉱物であり、これが生成されるためには原岩にAlを含む造岩鉱物（例えば角閃石）が必要である。また、緑泥石は破砕・風化・変質作用を受けると緑泥石—モンモリロナイト混合層鉱物を経て低温で安定なモンモリロナイトに変化する。

滑石はモースの硬度で1の最も柔らかい鉱物であり蛇紋石が熱水作用を受けて、あるいは珪質の苦灰石（ドロマイト）が接触変成を受けて形成される。

また水滑石は水溶性であるので雨水によって流出しやすい。またより低温で安定なパイロオーライトへと変化しやすい。

蛇紋岩が塊状→葉片状→粘土状に変化する要因はアンチゴライト、リザダイトが低温で安定なクリソタイルに変化したか、水滑石がパイロオーライトへと変化するためと推定される。したがって蛇紋岩は粘土化の進行により岩石が脆弱化し、岩圧によって剪断破壊され易く、水が付加されると滑動化しやすくなるという性質を有していると言える。また滑石の存在は岩石を剪断破壊されや

表-2 姫川地域(新潟県)の蛇紋岩の粘土鉱物組成(その1)

試 料 番 号	岩 体 名	色 調	形 態	粘 土 鉱 物							珪酸塩 鉱物		炭酸塩 鉱物		そ の 他							
				蛇 紋 石		そ の 他					滑 石	石 英	角 閃 石	輝 石	方 解 石	菱 苦 土	水 滑 石	バ イ オ ー ラ イ ト	磁 鉄 鉱	黄 鉄 鉱	未 同 定 鉱 物	
				蛇 紋 石	ア リ ザ ナ イ ト	オ ル ソ ク リ ソ タ イ ル	緑 泥 石 ・ モ ン モ リ ロ ナ イ ト	雲 母 ・ モ ン モ リ ロ ナ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	緑 泥												
ボ ー リ ン グ 試 料	13 (A-29.20)	緑 灰 色	塊 状	51	×	×																
	15 (A-133.50)	緑 灰 色	粘土状	77	×	×				12												
	18 (A-165.60)	淡緑 灰 色	粘土状	46	○	×				24												
	32 (B-323.60)	淡灰~暗灰色	粘土状	73	○	×	×															
	36 (B-383.70)	暗緑 灰 色	葉片状	98	◎											2						
	39 (B-399.70)	緑 灰 色	葉片状	81	○		×									1			5			
	3 (C-78.60)	黄灰色~暗灰色	粘土状	14	×	×				5						1				3		
	5 (C-97.00)	暗青 灰 色	塊 状	5		×				13						2				1	2	
	7 (C-111.90)	暗緑 灰 色	葉片状	9						6						2				2	2	
	45 (D-86.40)	赤 灰 色	葉片状							4		7						34				
地 表 試 料	49 (D-105.60)	緑 灰 色	粘土状	10				8				3	2				12					
	53 (E-45.20)	黄 緑 色	塊 状	64	○					11		7				7	6					
	56 (E-62.00)	暗緑 灰 色	葉片状					8				7					17					
	5	緑 灰 色	粘土状							6	62											
	9	暗 緑 色	塊 状	84	◎										1		2					
	10	緑 黄 灰 色	塊 状	10		×	×			2					32							
	11	帯緑 灰 色	粘土状	37	○	×																
	14	褐 色	粘土状	101	○							2										
	15	緑 灰 色	粘土状							26												
	16	帯緑 灰 色	塊 状	160	◎							10					3					
山 岩 体 試 料	17	緑 灰 色	葉片状	161	◎											3						
	21	淡 緑 色	塊 状							5						2	3					
	23	緑 灰 色	塊 状	31	○	×				2						2						
	25	緑 灰 色	塊 状	24	○	×				2												
	26	暗緑 灰 色	塊 状	24		◎				1												
	28	暗緑 灰 色	粘土状	11						20			14									4
	31	暗緑 灰 色	塊 状	59	○					1												
	34	帯緑暗灰色	粘土状	22	○		×	6				2			2							
	35	灰 黄 緑 色	粘土状	22				12						6								
	36	緑 灰 色	塊 状	67	○			9		9				2								
試 料	38	暗 緑 色	塊 状							3		3	10									3
	41	緑 灰 色	葉片状	5						24						1						1
	42	黄 緑 色	粘土状	24	○	×		2						1								
	43	緑 灰 色	粘土状					10														
	46	灰 色	粘土状							26	63	9	4		2							
	47	暗緑 灰 色	塊 状	13			○	×		10												
	52	暗 灰 色	塊 状	33	○	×												1				
	53	緑 灰 色	粘土状	27	○	×				2												
	54	灰 白 色	粘土状							26												
	56	暗黄 灰 色	粘土状	15	×		○	×		4												
58	緑 色	塊 状							3		6	9				12						

(1) 表中の数字は、純粋な石英の最強X線強度に対する試料中の各鉱物の最強X線強度を百分率で示している。したがって、石英については半定量的な含有量を意味し、他の鉱物については単なる量比を意味している。

(2) 蛇紋石は、アンチゴライト、リザタイト、クリソタイルの3ポリタイプ(種類)に区分し、◎：典型的な回折パターンを示す場合、○：存在がほぼ確実な場合、×：混入が推定される場合に分けて示した。

表-2 姫川地域（新潟県）の蛇紋岩の粘土鉱物組成（その 2）

試料番号	岩体名	色調	形態	粘土鉱物										珪酸塩鉱物		炭酸塩鉱物		その他																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
				蛇紋石		その他								輝石		方解石		苦灰石		パイロクタイト		磁鉄鉱		黄鉄鉱		未定鉱物																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
				蛇紋	アンザグライ	クリノクリソクタイト	オルソクリソクタイト	緑泥石・モンモリロナイト	雲母・モンモリロナイト	モンモリロナイト	緑泥	雲母	滑石	石	石英	石	角閃	輝石	方解石	苦灰石	石	石	石	石	石		石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石	石

すくし、破壊されたときの滑材となりやすい。

② 蛇紋石を含有しない試料（“非蛇紋岩”）

“非蛇紋岩”の大部分は、緑泥石あるいは滑石を含む岩石と粘土である。白色を呈するものには、炭酸塩鉱物を多量に含むものが数例認められる。緑泥石と滑石とは、共存していることが多い。

“非蛇紋岩”は平岩岩体（G・H ボーリングと地表サンプル）に多く、ほとんどが緑泥石と滑石とを伴う。麻尾山岩体の非蛇紋岩には滑石を伴うものは、極めて少ない。

モンモリロナイトを伴う“非蛇紋岩”はほとんどみられないが、ごく少量を伴うものが両岩体に散見される。これらの場合も蛇紋岩と同様に、そのほとんどが緑泥石を伴わない。

上述の結果から麻尾山岩体はアンチグライト系であり、リザダイト系の平岩岩体よりも高い変成を受けていることが予想されること、および青海結晶片岩帯の中心部に進入しているとみられることから、蛇紋岩化作用は青海結晶片岩帯の形成と深く関連して進行したことが予想される。

“蛇紋岩”と“非蛇紋岩”とが同一岩体内に認められていることから、“非蛇紋岩”は同一岩体中で蛇紋岩化作用のおよんでいない部分か蛇紋岩になっていない部分あるいは蛇紋石が滑石化した部分（熱水作用を受けた部分）に相当すると考えられる。平岩岩体には滑石を伴う“非蛇紋岩”が多く、それらは葉片状～粘土状を呈すること、および温泉の湧出が多いことから、蛇紋岩における風化変質作用は破碎部分を選択して進行すること、温泉要因と風化変質作用とが蛇紋岩の脆弱化を促進させる主作用であることが考えられる。

また、当地域の“蛇紋岩”・“非蛇紋岩”に共通して緑泥石が普遍的に認められることは、当地域における蛇紋岩化作用が低度変成作用の範ちゅうで生じたことを示していると考えられる。また、モンモリロナイトがほとんど存在しないこと、および少量のモンモリロナイトが認められても、そのほとんどにおいて緑泥石との共存関係が認められないことは、蛇紋岩では緑泥石のモンモリロナイト化が進行しにくいことを示していると考えられる。

7. 化学組成

蛇紋岩を塊状、葉片状、粘土状に分け、化学分析を実施した。分析後、X線回折、岩石顕微鏡観察結果に基づき蛇紋石を含有する試料（“蛇紋岩”）と蛇紋石を含有し

ない試料（“非蛇紋岩”）に分けて以下の検討を行った。

分析項目は SiO_2 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 MnO 、 CaO 、 MgO 、 TiO_2 、 H_2O である。

分析は JIS-M-8213, 8851, 8852 に基づいて実施した。分析結果を表-3 に示す。

表-3 によれば当地域の“蛇紋岩”、“非蛇紋岩”のほとんどは SiO_2 35～45%、 FeO 3% 未満、 Fe_2O_3 10% 未満、 Al_2O_3 5% 未満、 MnO 0.3% 未満、 CaO 5% 未満、 MgO 25～40%、 TiO_2 0.1% 未満、に納まるものが多い。

麻尾山岩体では“蛇紋岩”に Al_2O_3 、 CaO が 5% を、 TiO_2 が 0.1% を越えるものが認められ、“非蛇紋岩”には Al_2O_3 で 5%、 TiO_2 で 0.1% を越え、 MgO で 30% 未満を示すものが多い。

当地域の蛇紋岩と比較するために表-4 と表-5 とに蛇紋岩の原岩（神居古潭帯）および蛇紋岩（早池峰地域）の化学組成の例を示す。

いずれにおいても、その値は、 SiO_2 45% 未満、 FeO 6～8%、 Al_2O_3 5% 未満、 MnO 4% 未満、 CaO 2% 未満、 MgO 30～50%、 TiO_2 0.3% 未満を示すものがほとんどである。

表-3、表-4、表-5 を比較すると姫川地域の蛇紋岩は神居古潭帯の超塩基性岩よりも FeO 、 MgO が少なく、 Al_2O_3 が多い傾向を示し、北上山地の蛇紋岩よりも FeO が少なく、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 が多い傾向を示している。また、姫川地域の蛇紋岩は、葉片状化・粘土状化するにしがいい、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 H_2O が増加する傾向にあり、鉄の酸化・含水量・Al-粘土鉱物の増加と蛇紋岩の風化変質とが関連していることを裏付けている。

これらの結果と、“蛇紋岩”・“非蛇紋岩”の差が原岩中の組織の違いや風化変質作用・温泉化作用を受けている程度の違いを反映していると考えられることを考慮すると、姫川地域の“蛇紋岩”・“非蛇紋岩”は、共に超塩基性岩を原岩としていたと考えられ、化学組成上大きな差は認められないと言える。また、麻尾山岩体に Al_2O_3 、 CaO 、 TiO_2 含有量の多いものが認められることは、蛇紋岩形成時あるいは原岩進入時に周囲に分布する青海結晶片岩、青海石灰岩等の影響を受けたことを示しているのかも知れない。

8. 物理的性質

蛇紋岩の物理的性質として、みかけ比重、吸水率、膨潤度、および超音波速度測定によるコアーのP波（ V_{pc} ）、S波（ V_{sc} ）の測定を実施した。

表-3 姫川地域（新潟県）の蛇紋岩の化学組成（その 1）

岩石名		岩体名	試料番号		化学組成 (wt %)									
					SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	TiO ₂	H ₂ O	
蛇紋岩	塊状の蛇紋岩	麻尾山岩体	ボーリング	1 (C-51.00)	36.48	1.14	3.72	7.33	0.17	0.52	36.33	0.42	0.85	
				5 (C-97.00)	37.76	1.03	6.72	3.15	0.13	2.08	34.83	0.09	1.07	
				13 (A-29.30)	39.29	1.10	4.57	1.34	0.08	0.45	37.28	0.01	1.32	
				27 (B-216.20)	40.85	1.72	3.16	2.56	0.09	1.79	33.90	0.02	0.60	
				28 (B-230.70)	36.96	1.59	5.46	1.16	0.12	0.39	39.84	0.01	0.25	
				51 (E-32.90)	46.56	2.02	2.44	2.77	0.07	0.04	26.70	0.01	0.27	
				53 (E-45.20)	30.64	3.10	1.62	3.44	0.17	8.32	26.84	0.04	1.03	
			地	1	49.41	2.03	1.97	2.86	0.10	1.18	30.37	0.02	0.37	
				4	40.36	0.32	1.33	8.97	0.13	2.00	32.38	0.02	0.03	
				9	38.85	0.37	5.09	2.86	0.11	1.17	35.47	0.01	0.24	
				10	25.26	0.96	1.99	1.00	0.10	19.17	24.67	0.01	6.50	
				16	43.24	1.38	2.79	2.96	0.04	0.45	34.91	0.01	0.78	
				23	38.00	0.43	6.46	2.32	0.08	1.56	34.67	0.05	0.52	
				26	40.13	0.88	5.28	2.44	0.09	1.11	32.78	0.01	0.74	
				31	38.91	0.38	6.06	2.43	0.09	0.67	34.70	0.01	0.46	
				36	39.81	0.66	5.00	1.81	0.09	0.83	35.71	0.01	0.62	
				47	39.44	1.52	4.85	2.05	0.10	0.45	36.57	0.01	6.50	
				52	40.58	1.35	4.98	2.94	0.10	0.45	36.58	0.02	4.45	
		平岩体	ボーリング	121 (L-139.00)	38.86	1.14	5.88	1.89	0.09	0.35	37.51	0.01	0.61	
				105 (K-11.20)	38.12	0.35	3.86	1.45	0.15	0.04	40.00	0.01	1.91	
				68	41.67	1.16	5.13	1.86	0.12	0.52	35.39	0.01	0.91	
			地	75	40.74	0.86	3.62	2.39	0.02	0.67	32.62	0.01	0.68	
				77	41.24	0.41	3.67	4.05	0.12	0.05	34.47	0.03	0.47	
				78	40.12	0.55	6.08	2.56	0.15	0.13	33.14	0.02	4.47	
				80	37.41	0.52	7.71	1.90	0.08	0.30	37.32	0.01	0.92	
				90	35.38	0.30	3.73	0.73	0.22	6.91	32.52	0.01	1.72	
				99	35.00	0.96	4.56	5.15	0.15	0.75	34.81	0.01	1.02	
				106	41.06	0.48	5.88	1.73	0.11	1.12	34.56	0.01	1.69	
				107	34.86	1.24	4.53	1.66	0.12	5.35	27.33	0.01	1.53	
				109	38.62	0.36	7.91	1.77	0.88	0.90	31.41	0.02	0.76	
				112	44.24	0.59	6.25	3.07	0.07	1.33	27.94	0.02	1.82	
				113	37.58	0.60	5.76	2.81	0.10	1.77	34.40	0.02	0.65	
				葉片状の蛇紋岩	麻尾山岩体	7 (C-111.90)	37.23	0.84	7.61	2.15	0.13	3.76	32.16	0.11
		15 (A-133.50)	39.62			0.86	8.35	1.83	0.07	7.18	28.50	0.03	0.93	
		18 (A-165.60)	38.64			0.41	5.48	9.94	0.06	8.17	27.28	0.07	0.22	
		23 (A-193.30)	38.98			1.04	12.18	1.59	0.07	11.81	23.81	0.01	0.60	
		33 (B-352.70)	40.05			0.75	4.58	2.95	0.10	1.05	34.81	0.03	0.37	
		36 (B-383.70)	36.57			0.49	8.58	3.98	0.11	3.01	31.26	0.19	0.27	
		39 (B-399.70)	37.73			0.72	5.05	1.82	0.10	0.73	37.68	0.01	0.51	
		11	39.44			0.43	4.65	2.69	0.10	0.88	36.25	0.01	6.10	
		17	36.64			0.20	4.55	2.41	0.09	3.12	34.10	0.01	0.20	
		平岩体	ボーリング		61 (F-271.50)	41.41	1.19	4.79	1.92	0.09	0.42	35.88	0.01	1.18
					115 (L-90.80)	40.18	1.18	5.09	2.04	0.11	0.45	35.19	0.02	0.97
					66	39.52	0.77	6.16	1.96	0.10	0.22	36.73	0.01	9.05
			地		74	41.21	0.57	0.79	5.08	0.10	2.34	32.78	0.02	0.03
					81	40.79	0.34	5.53	2.22	0.08	0.28	36.57	0.01	0.66
					86	39.04	0.28	7.03	0.80	0.05	1.55	36.02	0.01	1.80
					100	38.30	0.28	6.03	1.47	0.08	2.68	34.82	0.01	1.74
					102	34.71	1.50	2.99	2.00	0.09	2.91	30.90	0.01	0.11

表-3 姫川地域(新潟県)の蛇紋岩の化学組成(その2)

岩石名		岩体名	試料番号		化 学 組 成 (wt %)								
					SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	TiO ₂	H ₂ O
蛇紋岩	粘土状の蛇紋岩	麻尾山岩体	ボーリング	3 (C-78.60)	35.21	0.93	8.29	2.27	0.10	2.61	33.60	0.06	1.58
				32 (B-323.60)	40.96	0.75	4.82	2.21	0.09	0.42	36.66	0.02	0.29
				49 (D-105.60)	37.00	2.72	4.28	7.01	0.10	3.40	29.24	0.21	3.29
				14	45.13	0.77	4.29	4.48	0.10	0.90	30.70	0.03	9.00
			地 表	28	37.81	0.84	6.36	7.00	0.11	0.90	29.63	0.52	5.50
				34	37.88	1.66	5.39	8.03	0.12	0.45	29.46	0.22	12.50
				35	39.34	1.53	4.73	10.30	0.14	2.47	26.42	0.45	15.00
				42	40.76	1.09	5.20	7.28	0.11	3.56	26.90	0.67	11.50
		平岩	ボーリング	58 (F-225.40)	41.45	0.69	3.93	1.17	0.11	0.05	37.43	0.03	1.29
				73 (I-129.00)	37.68	0.65	3.17	3.56	0.10	4.23	32.68	0.01	0.32
	非蛇紋岩	麻尾山岩体	地 表	104 (J-98.50)	40.04	0.27	6.55	2.17	0.10	0.18	36.53	0.02	2.04
				114 (L-80.40)	40.06	0.52	5.82	4.12	0.08	0.52	33.66	0.02	1.49
				60	46.05	0.80	5.99	3.44	0.17	0.03	30.43	0.01	12.40
				61	43.25	0.58	6.33	2.83	0.11	0.19	32.15	0.01	1.79
				72	35.74	0.26	6.53	1.30	0.14	0.84	37.57	0.01	11.00
				91	36.70	1.15	5.09	2.41	0.13	1.35	33.70	0.02	12.56
				②1 (A-176.90)	35.87	2.56	5.85	0.77	0.14	0.39	40.23	0.01	0.14
				45 (D-86.40)	29.67	1.71	3.65	3.18	0.13	12.63	23.42	0.01	0.89
ボーリング			56 (E-61.80)	32.88	2.32	2.00	4.89	0.09	14.51	9.62	0.12	0.36	
			5	39.50	0.66	8.16	6.59	0.22	0.67	28.92	0.16	22.00	
蛇紋岩	平岩	ボーリング	15	32.25	1.44	5.93	13.69	0.15	5.35	25.33	0.65	7.12	
			②1	34.07	0.79	8.69	15.22	0.15	18.36	10.62	0.60	0.21	
			③8	40.72	0.30	2.06	20.06	0.09	5.38	22.58	0.07	0.78	
			46	59.35	1.05	4.87	16.94	0.14	2.69	4.87	0.73	10.50	
			54	38.81	0.16	1.77	16.70	0.06	11.06	16.54	0.18	13.02	
			⑤8	36.68	1.91	0.54	13.81	0.07	11.63	14.62	0.15	0.25	
			⑨2 (G-89.30)	33.51	2.55	2.85	2.97	0.13	1.25	27.40	0.02	0.20	
			98 (G-118.20)	33.46	1.94	2.89	2.42	0.08	1.15	31.44	0.01	0.24	
			⑩2 (G-138.00)	60.60	0.11	0.81	3.78	0.02	0.45	28.07	0.01	0.05	
			⑩3 (G-138.30)	25.79	0.69	3.93	28.79	0.27	0.04	26.02	0.29	0.07	
	地 表	⑧0 (H-138.00)	25.36	1.06	4.03	3.95	0.09	0.46	51.23	0.01	0.31		
		82 (H-162.00)	34.36	1.07	7.23	12.66	0.08	1.97	27.32	0.56	0.77		
		87 (H-201.30)	47.92	0.36	4.38	17.29	0.14	1.10	18.31	0.17	0.32		
		67 (I-63.50)	41.44	1.20	5.50	7.32	0.09	2.91	25.67	0.29	1.87		
		77 (I-163.00)	34.49	1.87	2.87	1.78	0.10	4.07	21.47	0.02	0.31		
		118 (L-102.40)	42.21	3.08	9.51	13.19	0.03	1.01	19.40	1.00	4.95		
		111 (K-17.30)	43.75	0.84	3.47	3.13	0.09	1.25	34.10	0.01	0.43		
		59	33.78	0.38	5.12	22.85	0.26	0.05	21.73	0.63	0.19		
		63	44.76	1.37	2.26	5.47	0.10	4.04	25.85	0.16	15.45		
		65	51.18	0.19	0.69	6.33	0.09	10.34	23.59	0.04	0.19		
地 表	83	62.26	3.95	1.14	16.44	0.08	2.44	0.63	0.63	19.50			
	87	50.66	0.33	2.75	4.61	0.13	6.28	24.03	0.23	1.11			
	93	32.13	1.78	4.55	2.61	0.14	0.88	32.53	0.02	0.52			
	94	39.70	1.05	5.16	5.19	0.12	2.25	30.79	0.19	10.00			
蛇紋岩	平岩	ボーリング	97	68.94	0.64	2.99	14.06	0.09	0.08	5.14	0.39	0.38	
			108	64.25	1.08	0.61	18.76	0.03	1.34	3.24	0.19	14.00	

注1) 試料番号中の(A-29.30)はボーリング孔名と採集深度

注2) “非蛇紋岩”の試料番号中○印を付したものは塊状を呈す

表-4 神居古潭帯（北海道）の超塩基性岩の化学組成

岩 石	産 地	番 号	化 学 組 成 (wt %)													合 計	
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻		P ₂ O ₅
カンラン岩	岩内岳	1	40.00	—	0.68	1.26	—	7.69	0.43	46.51	1.16	—	—	3.00	—	99.73	
	岩内岳	2	39.50	—	0.34	0.29	—	6.70	0.32	51.80	0.83	—	—	0.20	—	99.98	
	岩内岳	3	42.52	—	0.68	0.31	—	8.14	1.10	45.81	1.19	—	—	0.20	—	99.95	
	岩内岳	4	39.20	—	0.25	0.63	—	6.51	0.58	49.42	0.93	—	—	2.70	—	100.22	
	岩内岳	5	40.02	—	0.59	0.44	—	6.95	0.36	49.99	1.16	—	—	0.40	—	99.91	
	岩内岳	6	41.54	—	0.34	0.26	—	8.28	0.45	47.56	0.86	—	—	0.30	—	99.59	
輝 石 カンラン岩	岩内岳	8	38.58	—	0.34	0.31	—	7.69	2.56	49.01	1.08	—	—	0.30	—	99.87	
	岩内岳	9	38.08	—	0.25	0.39	—	8.28	3.62	46.02	1.27	—	—	2.00	—	99.91	
	岩内岳	10	43.86	—	0.93	0.51	—	7.84	0.88	43.45	1.31	—	—	0.35	—	99.13	
	岩内岳	21	39.82	—	2.50	0.78	8.52	—	—	46.65	0.20	—	—	0.62	0.45	—	99.89
	岩内岳	22	42.16	—	3.58	0.72	9.48	—	—	40.25	0.50	—	—	0.36	1.95	—	99.38
	岩内岳	23	43.12	—	4.06	0.82	9.38	—	—	40.01	0.96	—	—	—	0.96	—	100.02
	岩内岳	30	43.12	—	4.06	0.82	9.35	—	—	40.01	0.96	—	—	0.96	0.41	—	99.99
	岩内岳	31	42.16	—	3.58	0.72	9.48	—	—	40.25	0.50	—	—	0.36	1.95	—	99.38
	大牛別	32	39.82	0.86	2.36	0.35	5.34	7.52	0.22	28.32	4.66	0.02	0.01	9.98	0.48	0.01	99.95
	岩内岳	33	39.82	—	2.50	0.78	8.52	—	—	46.65	0.20	—	—	0.62	0.45	—	99.89

日本岩石誌I(1968)による

表-5 早池峰地域（北上山地）の蛇紋岩の化学組成

岩 石	産 地	番 号	化 学 組 成 (wt %)															合 計
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	NiO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅	
蛇 紋 岩 カンラン岩	中 岳	3	42.29	tr	0.53	2.16	0.23	5.25	0.14	0.20	41.81	2.02	0.04	0.02	5.29	0.24	tr	100.22
	早池峰山	7	40.80	0.07	2.41	3.14	0.23	4.67	0.11	0.24	38.83	0.32	0.06	0.02	7.88	0.96	n.d.	99.74
蛇 紋 岩	鬼ヶ瀬山	1	40.34	tr	0.47	4.51	0.22	3.95	0.10	0.28	38.48	0.14	0.01	tr	10.54	0.49	n.d.	99.53
	早池峰山	2	39.54	0.01	0.71	3.01	0.33	5.14	0.14	0.35	42.18	0.18	0.01	tr	8.41	0.30	n.d.	100.31
	早池峰山	4	40.84	tr	0.58	5.16	0.29	4.56	0.14	0.20	37.56	0.82	0.05	0.02	9.02	0.52	0.01	99.77
	黒 森 山	5	39.98	0.03	0.91	3.76	0.27	4.76	0.10	0.24	38.32	0.12	0.03	0.01	10.72	0.42	tr	99.67
	早池峰山	6	42.82	0.07	2.81	4.00	0.31	4.62	0.08	0.30	36.67	0.12	0.05	0.02	7.34	0.72	tr	99.93
	中 岳	8	40.08	0.05	1.33	4.03	0.27	4.54	0.05	0.23	34.31	1.02	0.03	0.04	12.84	0.83	0.01	99.66
	神 楽	9	39.34	tr	1.81	3.36	0.37	5.95	0.12	0.26	35.37	0.54	0.05	0.03	12.65	0.23	n.d.	100.08
	道 又	10	41.95	0.02	2.71	4.92	0.21	2.04	0.09	0.20	34.55	0.42	0.03	0.01	10.37	2.73	n.d.	100.25
	早池峰山	11	42.91	0.30	2.55	1.28	0.21	8.35	0.15	0.43	33.28	3.01	0.03	0.01	6.84	0.61	tr	99.96
	神 楽	12	44.01	0.21	2.85	3.07	0.25	4.81	0.08	0.17	26.19	9.74	0.08	0.04	7.89	0.59	n.d.	99.98
	神 楽	13	38.01	tr	3.09	2.45	0.42	6.42	0.08	0.38	31.56	3.58	0.07	0.03	13.12	0.38	tr	99.59
	神 楽	14	40.99	0.23	3.45	4.32	0.25	6.10	0.05	0.15	27.55	7.96	0.06	0.04	7.91	0.67	tr	99.73
	神 楽	15	38.01	tr	3.09	2.45	0.42	6.42	0.08	0.38	31.56	3.58	0.07	0.03	13.12	0.38	tr	99.59

日本岩石誌I(1968)による

膨潤度試験では、粘土化もしくは葉片化の進行したものの、あるいは断層粘土に重点を置いたが、塊状試料についても粉化して実施した。みかけ比重、吸水率についても同様であったが、浸水により崩壊をみたものについては途中で試験を断念した。 V_{pc} 、 V_{sc} の測定は、塊状の良好岩体のみでなく、可能なかぎり葉片構造のあるものも対象とした。結果的には、粘土状蛇紋岩のみかけ比重、吸水率、 V_{pc} 、 V_{sc} は求められなかった。

測定結果を図-7, 8, 9, 10 に示す。図および以下の考察では、測定結果を“蛇紋岩”“非蛇紋岩”に分けてある。

(1) 超音波速度

図-7 に示すように“蛇紋岩”は $1.5 \text{ km/sec} \leq V_{pc} \leq 6.5 \text{ km/sec}$, $0.5 \text{ km/sec} \leq V_{sc} \leq 3.5 \text{ km/sec}$ の範囲に納まり、 V_{pc} と V_{sc} とは強い正の相関関係がある。その関係は次式で示される。

$$V_{sc} = 0.482V_{pc} + 0.125$$

または

$$V_{pc} = 2.075V_{sc} - 0.259$$

塊状蛇紋岩は $V_{pc} > 3.8 \text{ km/sec}$, $V_{sc} > 1.5 \text{ km/sec}$ の範囲におさまる。“非蛇紋岩”の分布域は塊状蛇紋岩と葉片状蛇紋岩とのほぼ中間に位置する。

図-7 ポーリングコアにおけるP波速度とS波速度との関係

1: 葉片状の“蛇紋岩”, 2: 塊状の“蛇紋岩”, 3: “非蛇紋岩”

(2) みかけ比重

図-8 に示すように, “蛇紋岩”のみかけ比重の分布, 幅は 2.60~2.80 であり, 形態の違い, V_{sc} の違いによる差は認められない。“非蛇紋岩”の分布域は, 2.60 以上であり, “蛇紋岩”の分布域とオーバーラップするが, 2.80 以上の値を示すものが多い。

(3) 膨 潤 度

図-9 に示すように, “蛇紋岩”, “非蛇紋岩”ともに分布幅は 2~7 cm^3 であるが, そのほとんどは 5 cm^3 以内に納まっている。塊状→葉片状→粘土状に変化するにしたがい, 膨潤度は増加する傾向にあり, 4 cm^3 を超えるのは粘土状の“蛇紋岩”に多く見られる。また V_{sc} との関係を見ると, 葉片状~粘土状の“蛇紋岩”は膨潤度

図-8 みかけ比重

1: 葉片状の“蛇紋岩”, 2: 塊状の“蛇紋岩”, 3: “非蛇紋岩”

2.5 cm^3 以上, V_{sc} 2.6 km/sec 以下の範囲にあり, 1.5 km/sec < V_{sc} < 2.6 km/sec, 2.5 cm^3 < 膨潤度 < 4 cm^3 の範囲は葉片状および塊状の“蛇紋岩”が混在する範囲である。

(4) 吸 水 率

図-10 に示すように, “蛇紋岩”, “非蛇紋岩”ともに分布幅は 5% 以下であるが, そのほとんどは 3% 以内に納まっている。形態の違いによる差はあまり認められないが, 葉片状の“蛇紋岩”の吸水率が大きい傾向にある。

これらの事実を考慮すると, “蛇紋岩”の V_{pc} と V_{sc}

図-9 膨潤度

1: 葉片状~粘土状の“蛇紋岩”, 2: 塊状の“蛇紋岩”, 3: “非蛇紋岩”, 左図の黒丸は試料数を示す。

図-10 吸水率

1: 葉片状の“蛇紋岩”, 2: 塊状の“蛇紋岩”, 3: “非蛇紋岩”

との間には極めて良好な相関関係があり、“蛇紋岩”では形態が違って比重は変わらない(2.60~2.80)こと、“蛇紋岩”・“非蛇紋岩”のほとんどは、膨潤度では経験的な膨張軟岩の範囲(5 cm³以上)に、吸水率では風化岩の範囲(3%以上)に達していないことが明らかになった。

9. まとめおよび考察

- ① 姫川地域は糸魚川、静岡構造線の北端にあたり、同構造線は、平岩岩体の南東端から麻尾山岩体の東方約 10km の地点を通る。平岩岩体周辺には姫川に沿う温泉群が存在する。
- ② 姫川地域の蛇紋岩は、麻尾山岩体と平岩岩体とに 2 分できる。麻尾山岩体は青海結晶片岩帯中に、平岩岩体は非変成の中〜古生界中に存在し、前者の東に接して巨大な青海石灰岩体が分布する。
- ③ 塊状蛇紋岩中の割目には葉片状蛇紋岩・粘土状蛇紋岩が、これを充填するように存在する。この様な割目によって囲まれた塊状蛇紋岩は、いわゆる玉石状を呈し、その表面は研磨された曲面状を呈する。葉片の方向はこの曲面に平行しており、葉片相互間は粘着性をもたず、葉片部分では地下水の滲出が認められる。この様な産状は塊状率が低下する程顕著となる。したがって、塊状率が低下すると蛇紋岩の物理的性状は未固結の“玉石混じりの砂礫層”ないし“火山砕屑物”が示す性状に類似する。
- ④ 蛇紋岩体中の塊状蛇紋岩の分布状態を示すのに塊状率(F'_0)を提唱したい。 F'_0 は、 V_p (孔内速度検層による)と対にして用いることが望ましい。 $F'_0 \geq 50\%$ で $V_p \geq 4$ km/secあるいは $F'_0 < 50\%$ で $V_p < 4$ km/secが長く続く区間では両者は良く対応する。 $F'_0 < 50\%$ で $V_p \geq 4$ km/sec、 $F'_0 \geq 50\%$ で $V_p < 4$ km/secの区間で良い対応を示さないのは、この部分の F'_0 が岩盤の局部的変化を捉えていることを示唆していると考えられる。
- ⑤ 蛇紋岩体は他岩種との境界から、数 10m 間あるいは数 100m 間にわたり、 F'_0 、 V_p ともに低下する部分が続くと考えられる。 F'_0 、 V_p を低下させる要因は蛇紋岩の破砕、変質による葉片化、粘土化であると考えられる。
- ⑥ X線回折により、蛇紋岩は蛇紋石を含有するもの(“蛇紋岩”)と蛇紋石を含有しないもの(“非蛇紋岩”)とに区分できる。“蛇紋岩”と“非蛇紋岩”とは、共に同一岩体内に産するので、その違いは原岩の不均一性

や原岩が受けた蛇紋岩化作用、破砕・変質作用、温泉化作用の程度の違いあるいは組合せの違いを反映したものであり、“非蛇紋岩”は蛇紋岩化作用が進行していない部分、あるいは蛇紋岩化作用を受け得ない部分(塩基性岩、捕獲岩など)と、蛇紋岩から生じたと考えられる滑石、炭酸塩に富んだ葉片状ないし、粘土状の部分であると考えられる。いずれも緑泥石を含有しているため、暗緑灰色〜明緑灰色を呈している。

- ⑦ 平岩岩体には、滑石と緑泥石に富んだ“非蛇紋岩”が多く、地表には地すべり地が広く分布している。これは岩体にドロマイト・輝石・角閃石がより多く含まれていることを示唆しているか、あるいは岩体の厚みが小さい割に露出面積が大きいこと、糸魚川—静岡構造線に接近していること、周辺に温泉が多いことが原因で、風化変質作用、温泉化作用を強く受けていることを示唆していると考えられる。
- ⑧ 蛇紋岩体中にはモンモリロナイトを含有する粘土は、ほとんど存在しない。これは蛇紋岩体中では緑泥石のモンモリロナイト化が進行しにくいことを暗示している。
- ⑨ 蛇紋岩の原岩は、麻尾山岩体がより中心相を呈し平岩岩体がより周縁相を呈しているものと考えられる。また蛇紋岩は塊状〜粘土状を示してもほぼ均一な化学組成を示している。
- ⑩ ボーリングコアの超音波速度測定によると、 V_{po} と V_{so} との相関は非常に良く、両者間には $V_{po} = 2.075V_{so} - 0.259$ (または $V_{so} = 0.482V_{po} + 0.125$)の式が成り立つ。
- ⑪ 塊状の“蛇紋岩”は $V_{po} > 3.8$ km/sec、 $V_{so} > 1.5$ km/secであり、葉片状の“蛇紋岩”は $V_{po} < 5.3$ km/sec、 $V_{so} < 2.6$ km/secである。また、“非蛇紋岩”はほとんどが、塊状の“蛇紋岩”の低速度部分と葉片状の“蛇紋岩”の高速度部分とが重複する範囲の値に近い値を有する。
- ⑫ “蛇紋岩”のみかけ比重は塊状〜粘土状まで 2.60~2.80 の範囲に納まっている。
- ⑬ “蛇紋岩”・“非蛇紋岩”の膨潤度は、そのほとんどが 5 cm³以内に納まっており、塊状の“蛇紋岩”は 4 cm³以内である。
- ⑭ “蛇紋岩”・“非蛇紋岩”の吸水率はそのほとんどは 3%以内に納まっている。

以上の結果から、土木地質的観点での蛇紋岩体を考えると以下の様にまとめることができる。

当地域の蛇紋岩は地盤の弱部を選択して進入すると考えられる。したがって蛇紋岩が小規模岩体で多数存在することは、蛇紋岩形成以前にその地域が既に破碎されていたと考えることができる。また、蛇紋岩の葉片化・粘土化が蛇紋岩の破碎部分や熱水作用・風化変質作用を受けた部分で進行しやすいと考えられることから、蛇紋岩形成後の断層などの構造運動や温泉の湧出などは蛇紋岩の葉片化・粘土化を促進する要因となり得る。

これらの現象は蛇紋岩ばかりでなく、周辺他岩種にも及ぶため、蛇紋岩の存在は、その地域一帯が変成帯、破碎帯、風化変質帯、地すべり地帯など土木工事としての難所であることを暗示しており、蛇紋岩体の分布形状および塊状率は、その蛇紋岩体における工事の困難さの程度を示す指標となり得ると考えられる。

引用文献および参考文献

- 日本鉄道建設公団札幌支社 (1967): 紅葉山線新登川トンネル蛇紋岩帯試験工事報告書
- 柴田秀賢編 (1968): 日本岩石誌 I, 朝倉書店
- 小竹豊・鈴木和也・溝畑靖雄 (1969): 蛇紋岩トンネルの特性とその設計施工——国鉄神居トンネルの例, 土木学会誌 **54**, 8
- 鈴木和也・溝畑靖雄 (1970): 蛇紋岩トンネルと吹付コンクリート函館本線嵐山トンネル, 鉄道土木 **12**, 12
- 谷健史 (1971): 強大な膨張性土圧を克服——紅葉山線鬼峠トンネル——, トンネルと地下, **2**, 9
- 緒方義久・金岡一夫 (1972): 蛇紋岩トンネルの施工——国道 128 号線嶺岡トンネル——, トンネルと地下, **3**, 3
- 喜田大三・辻博和 (1973): ずい道工事における風化蛇紋岩の土質化学的検討, 粘土科学, **13**, 2
- 岩田伸雄・飯田芳信・谷健史 (1973): 紅葉山線鬼峠トンネルの施工——蛇紋岩による破碎帯との闘い——, 土木学会誌, **58**, 6
- 青沼達 (1974): 膨張性地山を抜く円形断面の施工, トンネルと地下, **5**, 10
- 鈴木守・吉田善亮・竹林亜夫 (1974): 千葉県鴨川市嶺岡隧道の地質と膨張性地圧について, 応用地質, **15**, 1
- 竹林亜夫・大塚義之 (1974): 膨張性地山トンネルにおける施工管理の一例, 土と基礎, **22**, 11
- 日本鉄道建設公団富山新幹線建設準備事務所 (1976): 北陸新幹線長野・富山間地質調査その 73 (蛇紋岩調査) 報告書
- 新潟県 20 万分の 1 地質図編集委員会 (1977): 新潟県地質図説明書, 新潟県
- 斎藤重一・竹内兼蔵・大島曠一・杉本吉一・安田勉 (1981): 膨張性蛇紋岩を掘る——神竜幹線導水路トンネル, トンネルと地下, **12**, 7
- 小松正幸 (1980): 飛騨外縁帯の基本的構造及びそのフォッサマグナ東翼への延長, 総研「飛騨外縁帯」研究報告, 1
- 小松正幸・茅原一也 (1982): 飛騨外縁帯北東部, 青海一蓮華帯のメランジェとオリストストローム, メランジェ帯の構成とテクトニクス, 日本地質学会第 89 年学術大会討論会資料

(昭和 58 年 8 月 19 日受理)