

6. 山体地下水 (4)

⑥ 山体地下水の Compartmentalization

“Compartmentalization” という言葉は色々な方面で使われているが、当然のことながら、ここでは狭義には石油地質学、また広くは水文地質学の立場からみた概念として用いることとする。要するに、2点以上のポイント間において、地質的にはもちろん、そこに存在する流体の水理、水質、滞留時間の上からも、その連続性を欠いた状態が維持される水文地質構造ということになる。このような状態は、例えば、堆積盆地等において、地下水の圧力が静水圧分布から乖離する現象、つまり“Abnormal high pressure”、或いは“Abnormal under pressure”として、しばしば観測されるので、これらの特徴を強調して“Pressure sell”と称することもある。

このような現象に関わる水文地質構造でもっとも重要なのは、断層であり、不整合である。その他にも背斜構造、アパット、海成堆積物にみるチャンネル構造、交指構造なども関係する。そして海水準変化、侵食・堆積作用、地殻変動といった自然現象や、地下水位変動をもたらす人為作用などは、このような異常圧の発生を増長させる要因となる。

さて本題の固結岩からなる山体地下水の場合はどうであろうか。結論から言うと Compartmentalization は、より細かいスケールで、かつ明瞭に出現すると見られる。トンネル湧水記録に見る“ポケット状”といった表現や、図 52 にみるような湧水量の急増－減衰状況は、その広がりが限定的なものであることを示している。

また図 53 に例示した第三紀安山岩からなる山体での試錐における孔内水位の段階的な低下状態は、それぞれが Compartmentalize されていることを示している。

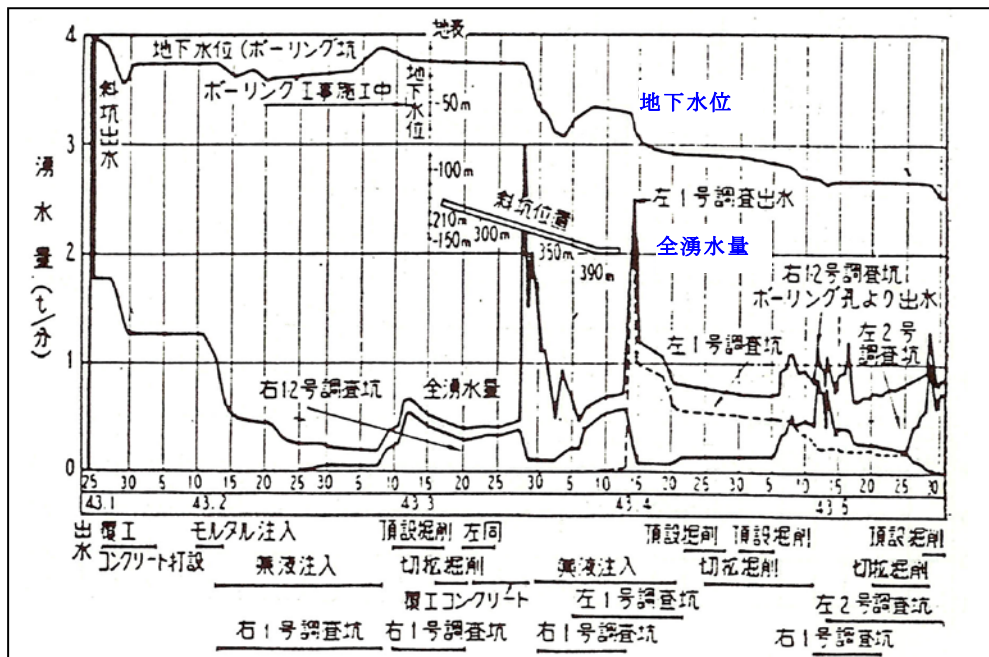


図 52 トンネル湧水量と地下水位

出典：島田孝夫他 (1970)；湧水とトンネル工事－六甲トンネルにおける施工と対策－，施工技術，Vol.3, No.7.

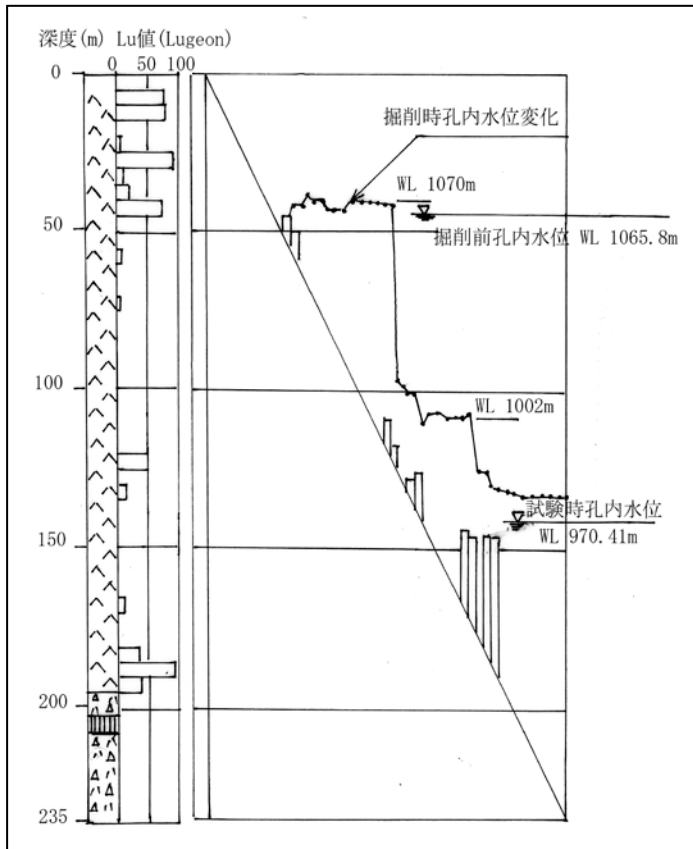


図 53 ボーリング掘削時の孔内水位
 出典：本島 勲(1998);岩盤地下水の特徴,
 地下水技術, Vol. 40, No. 7, p. 24-40.

図 54 も同じような現象で、これは釜石鉾山青ノ木坑（図 63 参照）の坑口付近の地表で掘削された試錐孔の間隙水圧の深度分布である。図から、550m レベル以上では坑道や試錐孔からの排水の影響を受けて、静水圧分布を示さずに階段状に低下していることが指摘でき、前のケースと同じようにそれぞれ Compartmentalize されている可能性がある。また、それ以下にあつては、ほぼ静水圧分布を示している。

その地下水は図 55 に示されているように、ほとんどが Na-HCO₃ 型を示すことから、“Stagnant water”系(前出)の深層被圧地下水といえる。

山体にあつては、このような現象はごく普通にみられ、垂直方向のみならず、水平方向においても認められる。

図 56 は、地表面下 200~300m に位置する地下発電所の調査坑での計測例である。山体の地下水は地表でのボーリング孔で地表面下数 10m に存在することが確認されている。調査坑内では垂直孔での孔内水位は、ほぼ孔口（調査坑の床面）に存在し、地下水圧線の基準はほぼ孔口を示している。

図示のように、地下水圧は孔口を基準とした静水圧より数 kgf/cm² 高い箇所が存在する。また水平孔では深度 30m 程度より以深で数 kgf/cm² の圧力を示す箇所が存在する一方、全く圧力を示さ

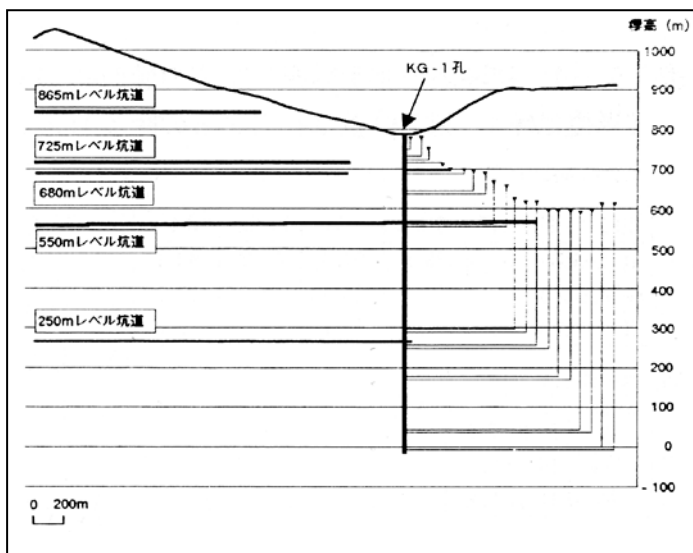


図 54 各坑道と KG-1 孔で観測された水圧分布,
 出典：地層処分研究開発の現状, 釜石鉾山
 における地質環境特性の研究.

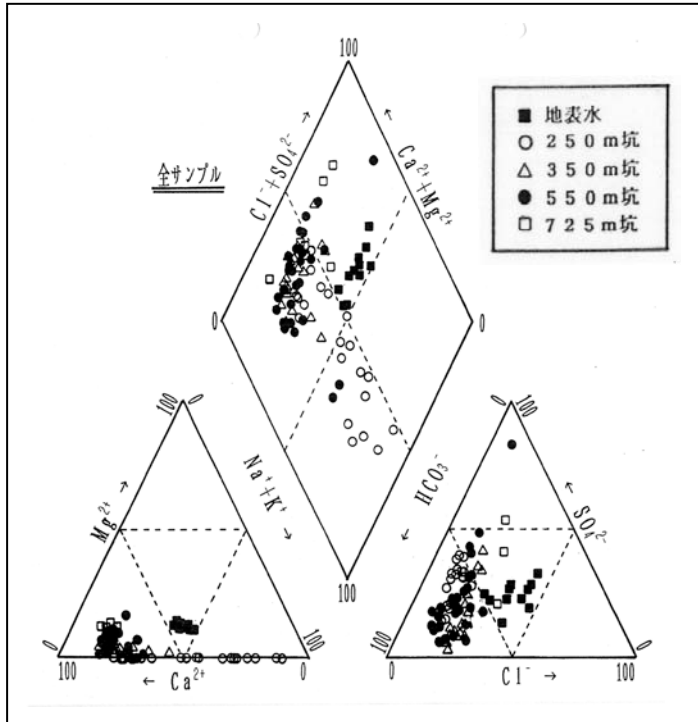


図 55 釜石鉱山の各坑道における湧水の水質
出典：新藤静夫他, 未公表資料

ない箇所も存在する。

これらの現象についても、それぞれが Compartment を形成していると考えると説明しやすい。なお図 56 で、これらの部分は透水性が大きな値を示す点も注目される (図の赤丸)。

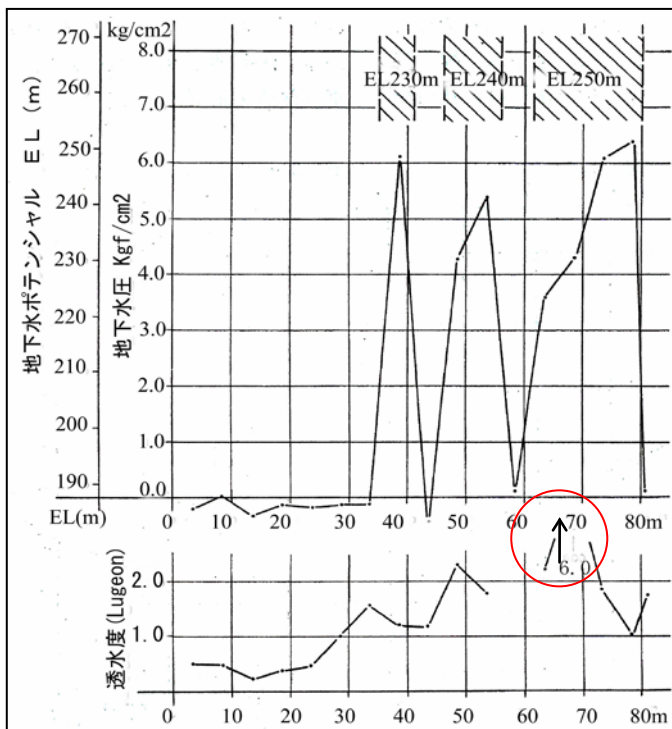


図 56 水平ボーリング孔での地下水圧測定結果,
—地下発電所調査孔—
出典：本島 勲(1998) ; 岩盤地下水の特徴,
地下水技術, Vol.40, No.7. p.24-40.

Compartmentalize 状態にある山体地下水が土木工事等によって解放され、斜面崩壊を起こす例がある。写真 19 の一連の写真は岐阜県瑞浪市南部の花崗岩地帯における道路建設に伴う斜面崩壊のプロセスを追ったもので、開削によって、埋没谷にトラップされていた山体地下水の流出がそのトリガーとなったことを示している。（埋没谷の規模は①中の人間との比較で判断出来る）



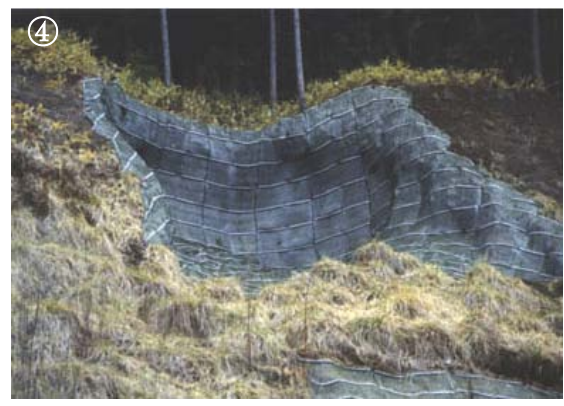
① 工事によって出現した埋没谷（左上の人間と比較）



③ まず表層崩壊が発生、1年後基盤（マサ化花崗岩）崩壊に発達



② 数ヶ月後、埋没谷の縁部にガリ浸食が進行



④ 大掛かりな修復工事

写真 19 Compartment 状態にある山体地下水の流出を契機とした斜面崩壊

⑦ 山体地下水と地表水

図 57 はノルウェー地質調査所 (Geological Survey of Norway) が発行している 1/50,000 水文地質図「Drøbak 1814 II」から抜粋したものである。なおこの 1/50,000 水文地質図はほぼ全国をカバーしている。

この地域は先カンブリア系の花崗片麻岩、二畳系の黒雲母花崗岩からなり、そこに発達する谷系は基盤岩の亀裂帯と一致するものが多く、線状谷をなしているのが特徴的である。

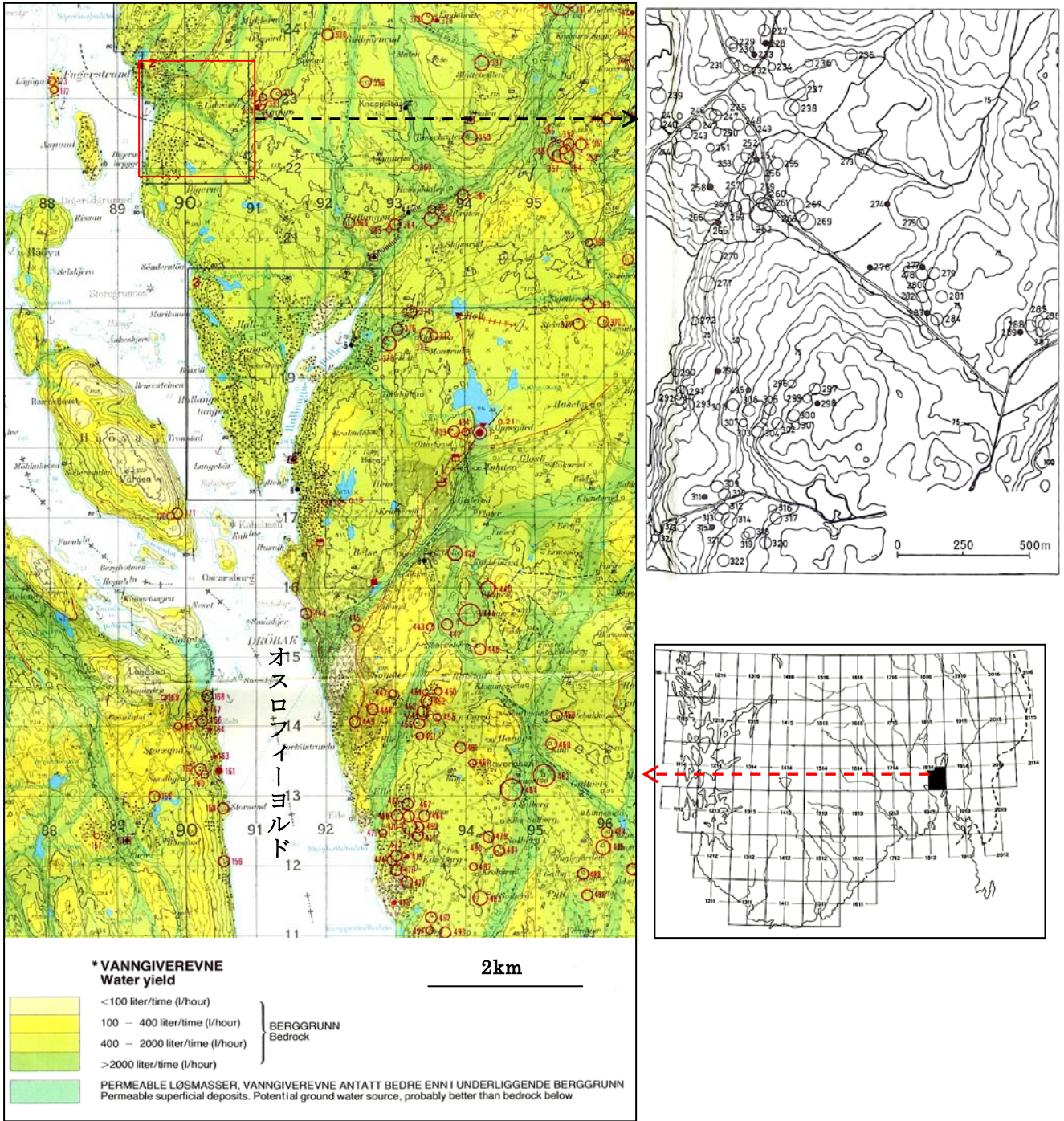


図 57 オスロフィーヨルド周辺の水文地質図
 出典：Geological survey of Norway (1987) :
 Beskrivelse til hydrogeologisk kart

図中緑色で表されているのがそれで、2,000l/hour 以上の地下水産出量を示す良好な帯水層は殆どが亀裂帯にあたる。その他の薄緑～黄色部分は 2,000l/hour 以下、多くは 500l/hour 前後に留まる。図中の赤丸の大きさは井戸の産出量を示し、その量は大きなものでは 6,000l/hour に達する。

水文地質図の右側は、同図の赤枠部分を拡大したもので、産出量の大きいところは、線状谷や湖沼などの地表水系と一致していることが明瞭に示されている。

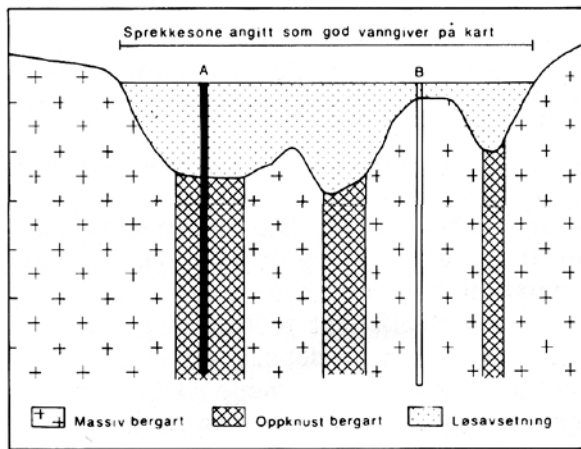


図 58 基盤岩体の亀裂帯と埋没地形

Hypothetic section across a fracture zone which is indicated as a good aquifer on the map. Borehole A is located in crush rock and yields plenty of water. Borehole B was drilled in a solid part and is dry.

出典：Geological survey of Norway (1987)：

Beskrivelse til hydrogeologisk kart

直線状をなす山地溪流が基盤の弱線に支配されて発達している例が多いことから、このようなところでのトンネルや坑道掘削などに伴う湧水の長期にわたる排水によって、地表水と地下水が連絡して、誘発的な循環系が形成され、湧水対策上支障を来すことがある。

図 59 は兵庫県明延鉱山の例で、坑道湧水の位置（●印）と量（●印の大小）の分布が空間的に限定されていることが示されている（巾着型の曲線で囲まれた範囲）。すなわち、湧水箇所にはある範囲があって、その範囲を過ぎると無水状態になる。これは水平方向のみならず、垂直方向についても同様で、湧水量はその範囲の中心部で多く、その地表部への延長は溪流にあたる。同じような傾向はこれと並行する別の坑道についても認められたが、その間には湧水が存在しないことから、両者はたがいに独立した地下水体であることが推察された。

注：明延鉱山は兵庫県養父市大屋町にある裂罅性充填鉱床である。銅、錫、亜鉛を産出し、平安時代から続く長い歴史を有していたが、1987年に閉山した。

釜石鉱山においても地下水流路としての割れ目帯（亀裂帯）のリニアメント解析、試錐、既存坑道の詳細な調査が行われ、同様の結果が報告されている。

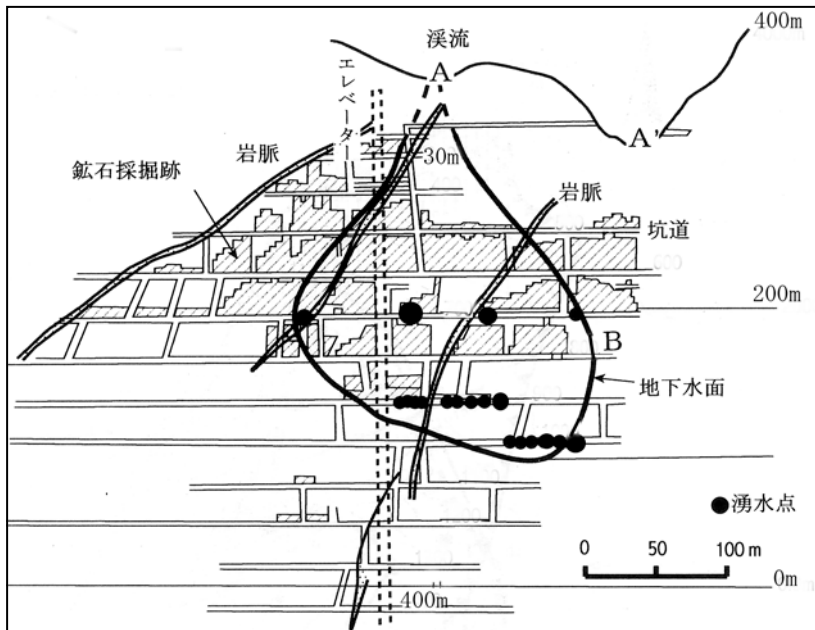


図 59 明延鉱山 4 脈鉱床坑内断面図

出典：近藤信興(1958)：岩盤割れ目と透水性について，
地質調査所月報 Vol.9, No.2, p.1-10.

ここでは原位置試験場（関連図は前号の図 44 を参照のこと）とされた 550m レベルと 250m レベルの坑道で、図 60 に示したように、3 か所の東西方向に発達する高角度の割れ目帯が明らかにされ、いずれも地表部のリニアメントの位置と一致していることが示されたが、これらの割れ目帯のうち、規模の大きい Zone B は図 61 に示したように青ノ木川の流路方向と一致していて、ここを通して地表水が地下に浸透していることが推察される。

なお参考までに割れ目帯からの湧水状況を写真 20, 21 に示しておく。

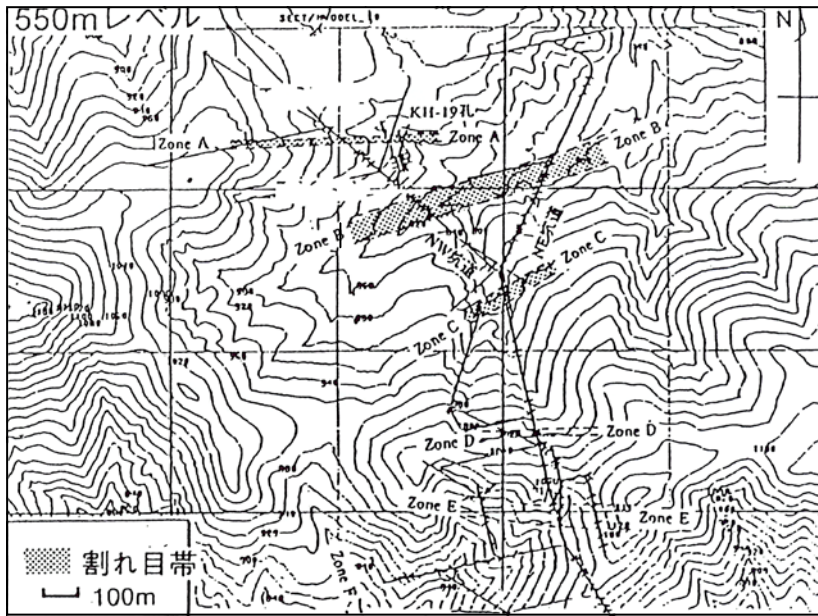


図 60 550m レベル坑道で認められた割れ目帯の位置

出典：動力炉・核燃料開発事業団（1994）；
地層処分研究開発の現状，釜石鉱山における
地質環境特性の研究．

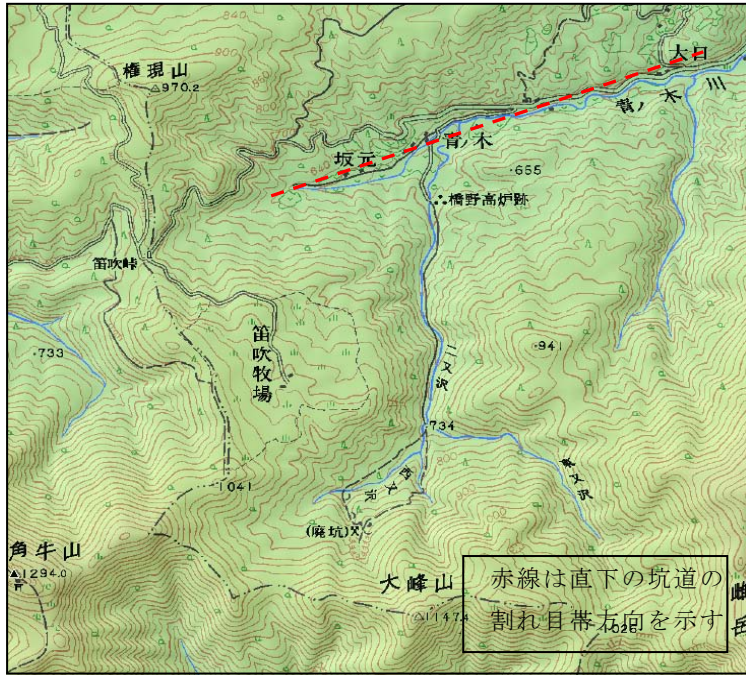


図 61 青ノ木坑坑口付近の地形



写真 20 550m レベル坑道の湧水状況



写真 21 250m レベル坑道の湧水状況

図 62 の 550m レベルの坑道で掘削された KMP-1 試錐孔の口元に設置した圧力センサーの記録によれば、図 63 に示されているように、全体として圧力値の変化は降水量とよく対応し、特に 11 月～2 月にかけての冬季で低く、4 月～5 月の春季に急激に上昇する傾向が注目される。後者の現象は融雪水が加わったものと解され、これらが割れ目帯を通して山体地下水と連絡していることを示唆している。

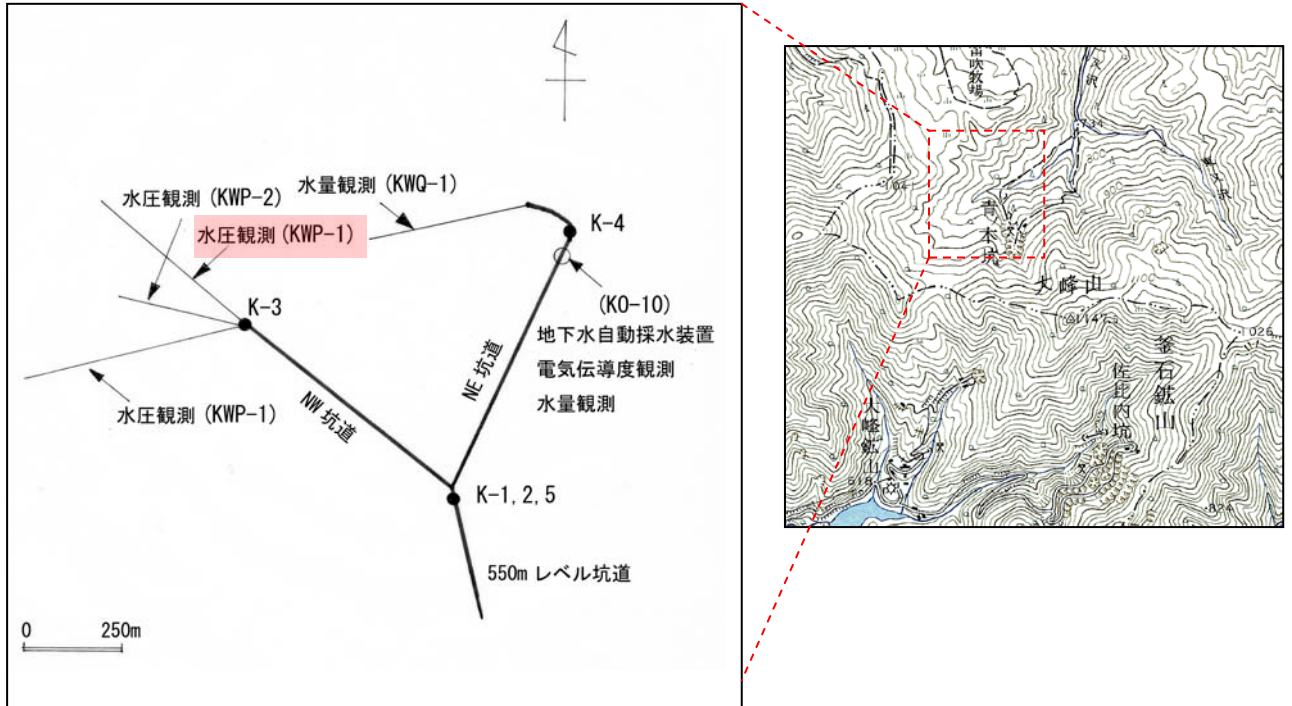


図 62 地下水理観測配置図

出典：動力炉・核燃料開発事業団(1994)：

地層処分研究開発の現状，地層処分の安定性に関する研究

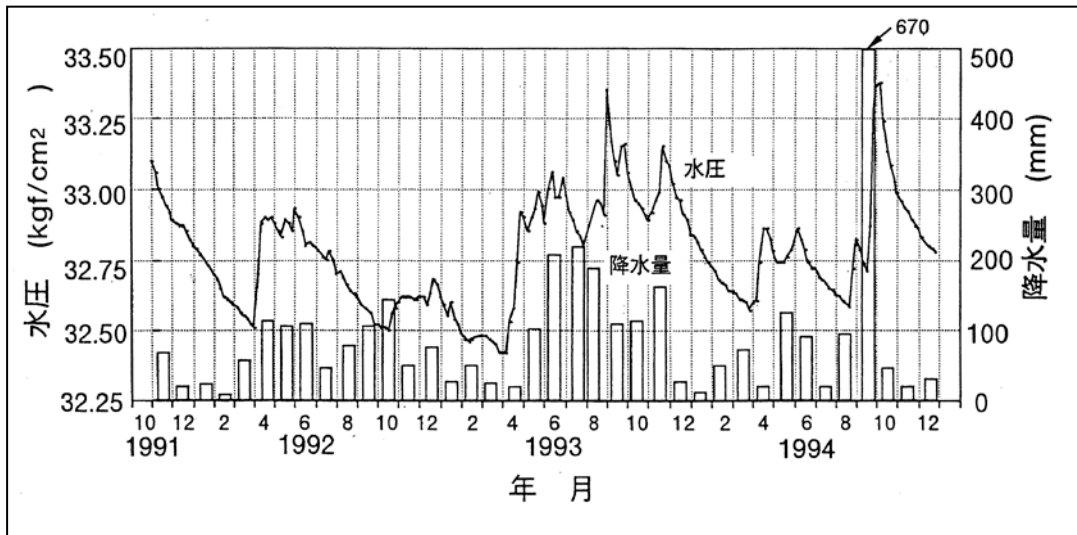


図 63 KWP-1 孔の水圧の長期変化と降水量

出典：武田精悦(1996)：文部省科研費「放射性廃棄物処分に関する地質情報の集約と研究の組織化」p. 9-18. (研究代表：新藤静夫) 報告書

⑧ 山体地下水の利用

灘五郷の酒造りに欠かせない名水として知られている宮水（みやみず）は、兵庫県西宮市付近の六甲山地から湧出する水で、江戸時代から日本酒づくりに適しているとして利用されてきた。このように名水と呼ばれるような水が山体地下水にある例は多い。たとえば東京西郊の青梅市沢井というところにある酒蔵の「沢乃井」は三多摩地方では銘柄として知られているが、その仕込み水は写真 22 にあるように、古生層からなる岩盤を横に割り貫いてつくられた横井戸から湧き出してくる山体地下水である。



写真 22 青梅市沢井の酒造り用の岩盤地下水

筆者は千葉大学在勤中、千葉県南部の安房小湊にある、付属研究所のセンター長を兼務していたことがあり、役目柄しばしば出かけたが、その道すがら必ず立ち寄って手に入れたのが、銘酒として千葉県ではよく知られている「腰古井」であった。ここは観光地として知られている勝浦海岸の裏手にあたる丘陵地帯の麓にあり、そこに穿かれた横穴から湧き出す地下水が仕込み水となっている。名前の「腰」はこの辺りの地名が「腰越台」と呼ばれていることからとり、「古井」は文字通りこの横穴のことを指したのかと思われるが、確認したわけではない。山体をなす地層は鮮新世の上総層群下部の泥質岩で、地下水はその中の亀裂、あるいは砂質岩の挟みから湧き出しているものと思われる。

釜石鉱山では 550m レベルの坑道から掘削された深度 280m のボーリングの自噴水を原水とする自然水を 1989 年から「仙人秘水」と称して販売している。非加熱処理のものとしては日本で初めて認可された天然弱アルカリ性水である。利部 慎等(2008)によ

れば、その山体内における滞留時間は約 30 年と見積もられる。

写真 23 は坑道内のボトリング作業場と採水用のボーリングが掘削された 550m レベルの坑道の様子である。なおこの水は水分子集団の大きさが小さいのが特徴とされていて、これが“おいしい”と感じる元となっている、と説明されている。いわば自然が長い時間をかけて磨きあげた水ということになる。



写真 23 釜石鉱山の「仙人秘水」

静岡県は我が国有数のお茶の産地として知られているが、とりわけ掛川市周辺は著名である。写真 24 は市のシンボルともいえる粟ヶ岳 (532m) の南斜面の遠望であるが、茶畑と集落は山頂直下まで広がっている。

写真 25～27 はその様子を示したものであるが、このように、稜線部に近いところまで茶畑や集落が存在し得るのは利水環境の良さにあるといえる。図 64 はこの地域に分布する湧水の位置 (青色) を示したものであるが、湧水の中には個人で利用しているもの③や、共同利用しているもの②、また写真 28 のように、工業用、あるいは市水道の水源になっている大掛かりな施設もある。

このような特殊とも言える山体地下水を支えているのは、この山の水文地質構造にあるといえる。地質調査所発行「掛川地方地質図」(槇山次郎, 1963) によれば、この地域一帯を構成する地層を倉真層群 (中期中新世) と称し、下位から上位へ礫質 (基底礫岩) なものから泥質なものへと変化する積成サイクルを示す。

粟ヶ岳はこのうち、最上位の泥質岩 (松葉累層、図 64②の手前側) を主体としているが、稜線部では図 64①に示したように、碎片化して、帯水層の役割を担った状態になっていると考えられる。碎片化している部分は、丁度図 64 の湧水地点を横に連ねたところから稜線までの間で、これが地下貯水池の役割を担っているというわけである。



写真24 栗ヶ岳の遠望

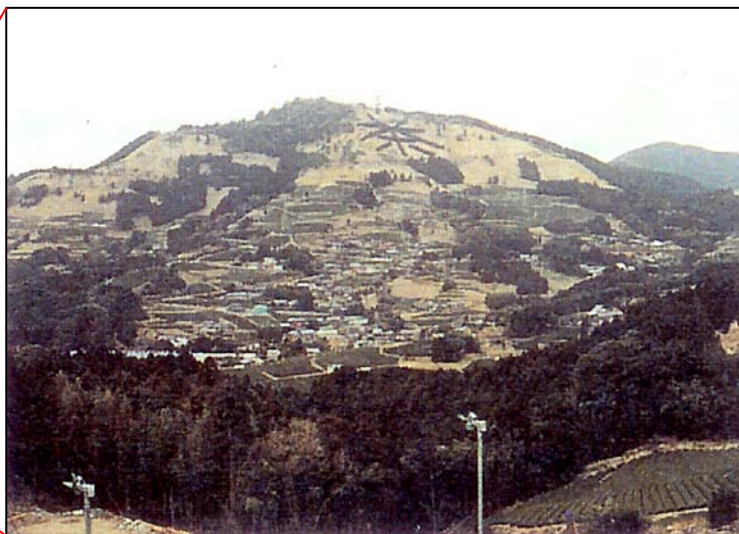


写真 25 栗ヶ岳南面に広がる茶畑と集落
(山頂の「茶」の文字はヒノキを植えて描いたもの)



写真 26 栗ヶ岳山頂より東側山麓を俯瞰



写真 27 栗ヶ岳山麓斜面の茶畑



写真 28 工場用水や地域の飲料水として利用されてきた「阿波々の麗水」



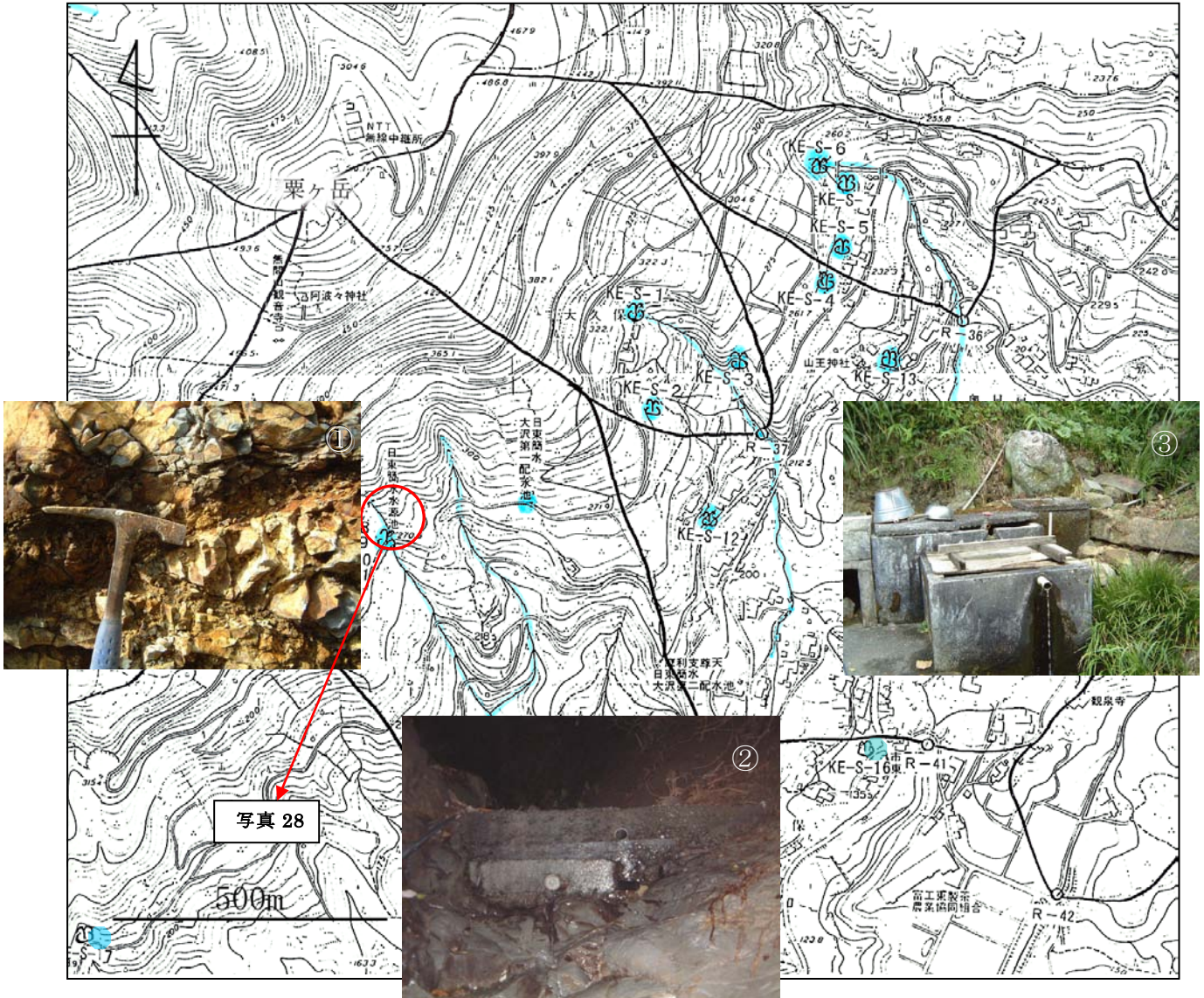


図64 栗ヶ岳東斜面の集落と湧水（青色）の分布

栗ヶ岳山麓に広がる階段畑と集落を支えてきた湧水群は、その下を貫く第二東名高速道路「金谷トンネル」の建設によって、多くが枯れてしまったと聞いているが、そうだとしたら、大変残念なことである。