

豪雨時における六甲山系鶴甲地域の地下水位、地下水 流出量と溶存化学成分との関係

吉岡龍馬・奥田節夫・沖村 孝・田中 茂

SOME OBSERVATIONS OF WATER LEVEL, DISCHARGE AND CHEMICAL COMPOSITIONS OF UNDERGROUND WATERS AT NORTHERN PART OF TSURUKABUTO AREA IN ROKKŌ MOUNTAIN RANGE DURING HEAVY RAIN

By *Ryuma YOSHIOKA, Setsuo OKUDA, Takashi OKIMURA*
and *Shigeru TANAKA*

Synopsis

In order to examine the relationships among water level of underground waters in vertical boring holes, discharge from horizontal boring holes and chemical compositions of the above-mentioned waters originated from fractured zone at mountainside during heavy rain, their variations with time were observed at the northern part of Tsurukabuto area in Rokkō mountain range from June to August in 1975. The following results were obtained: (1) The chemical compositions of the greater part of underground waters were influenced considerably by heavy rain, (2) The qualities of the above-mentioned waters could be divided into the following two types; Na^+ , $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$ and $\text{Ca}^{2+}-\text{Cl}^-$, SO_4^{2-} , (3) Some of the above-mentioned waters were affected significantly by thermal-mineral springs, (4) Some of the nearby stream water was supplied into the above-mentioned waters through fractures or faults in base rocks, and (5) Although fluctuation of underground water head differs and varies independently from point to point, the fluctuation pattern in this area could be grouped into the following two types; (i) Height of head increase was rather small, but its response to rainfall was very sensitive, and (ii) It was comparatively large, but it increased gradually with time after heavy rainfall.

1. はじめに

山地崩壊についての研究は各分野においてかなり活発に進められており、崩壊の最大誘因の1つとして豪雨があげられている。豪雨により発生する山地崩壊にはただ単に豪雨による雨水の表土層内への浸透のみならず岩盤中に存在している地下水が大きく寄与しているものと考えられる。もちろん崩壊発生の原因は単に豪雨のみならず崩壊発生場所の条件(素因)により大きな影響をこうむることは言うまでもない。

筆者らの一人・田中はこれらの地下水が包蔵されている場所を岩盤中の「われ目」と考え、これを「破砕帯」と呼び、豪雨時に発生する自然斜面の崩壊現象の多くは、この破砕帯が発達している地盤の斜面に頻発することを明らかにしている^{1,2)}。また破砕帯地下水の水頭の不揃が地盤の昇降運動を誘発していることに着眼し、その実態を究明しつつある。

そこでわれわれはこのような破砕帯中に存在している脈状地下水の豪雨中における水位および流出量の変動と溶存化学成分との関係を知る目的で、上述の破砕帯が存在し、しかも観測を行なうのに好都合な場所として鶴甲山北部斜面を選定し、1974年7月から調査研究を実施している。

1974年の観測結果³⁾はすでに報告しているので、ここでは1975年の結果を簡単に報告する。

2. 調査内容と期間

調査地点は Fig. 1 に示す○印の鉛直孔11か所 (No.1~10と30), □印の水平孔4か所 (No.1, 2, 4, 8) および当斜面裏側の土橋川(六甲山登山ケーブル駅)を対象に採水およびpH, 水温, 地下水位, 地下水流出量の観測を実施した。なお化学分析は実験室で常法に従って Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Soluble SiO_2 につき行なった。

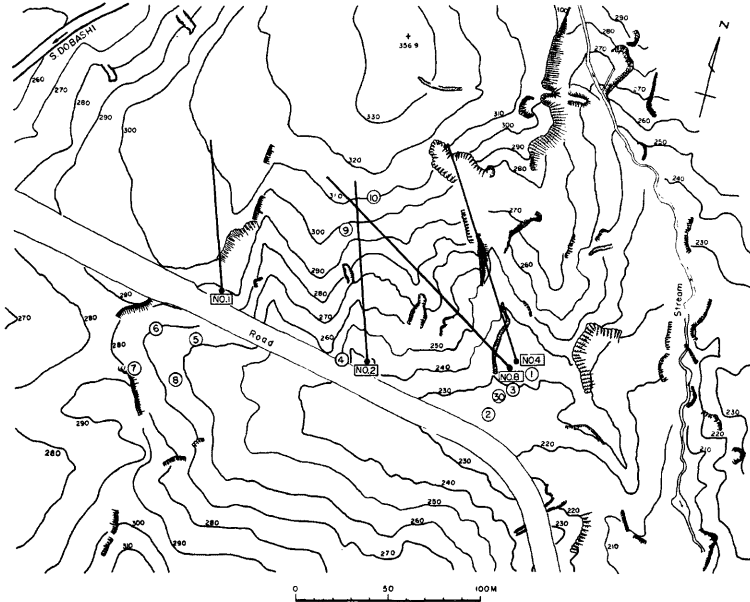


Fig. 1. Map showing locations of boring holes (O: vertical boring hole, □: horizontal boring hole).

調査期間は対象水によってことなっている、すなわち鉛直孔水については1975年4月19日と8月25日の2回一斉調査を実施し、4月調査時のNo.5, 6, 7, 8は表層から3m間隔で採水し、他の鉛直孔に関しては2回の調査とも原則的に2m間隔で採水した。水平孔については6月24日から8月26日まで原則的に毎日一回採水を行なった。ただし降雨のある場合にはその状況に応じて適宜採水間隔の短縮をはかった。土橋川は6月25日から7月10日まで水平孔とほぼ同様な時間間隔で採水した。

3. 結果と考察

3.1 鉛直孔内水位の特性

本地区における調査用鉛直孔は筆者の一人、田中の指導を受け神戸市開発局により12本施行されており、これらにはいずれも孔内水位が存在している。この孔内水位の降雨に対する変動特性を把握するために、週巻の水位計が10か所設置され、現在もその測定が神戸市開発局により継続されている。この孔内水位測定結

果を現地で測定した降雨記録とともに Figs. 2, 3, 4 に示す, Fig. 2 は第 1 回の孔内水の採水を行う 1 週間前から採水を行うまでの水位変動状況を示す。Fig. 3 は梅雨期における水位変動状況を, Fig. 4 は第 2 回採水を行う前のそれをそれぞれ示す。第 2 回採水時の水位は第 1 回の採水時の水位に比して, 台風 6 号による降雨の影響を受けいずれの孔内水においても約 1.5~6.8m 程上昇していたことがわかる。本地区における孔内水位変動の特性はこのように降雨に対して水位は上昇を示し, その上昇幅は各ボーリング孔によってかなりの相違がみられるが, Fig. 3 より明らかなように降雨に対する孔内水の上昇特性は No. 1~4 のグループと No. 5~8 のグループの 2 つに大別されよう。前者の特徴は降雨に対して孔内水位は上昇するがその量は小さい。これに対して後者のグループは前者に比して非常に大きな上昇量を示している。これらの相違は孔内水となる水源の違いや孔内水となる過程が異なることを示しているものと思われる。かりに各グループの集水域が同じであるとすると No. 1~4 のグループは上昇量が小さいことによりかなり大きな帯水層をもっていると思惟し得るのに対し, No. 5~8 のそれは小さいものと考えられる。

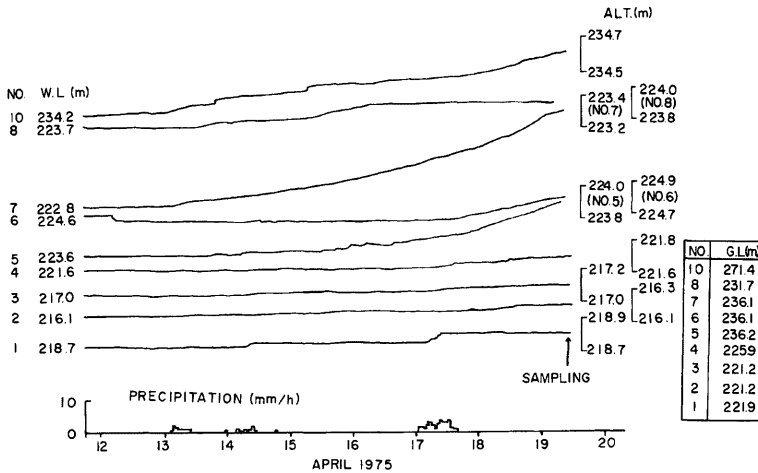


Fig. 2. Variation of water level at each vertical boring hole and precipitation with time, April 1975.

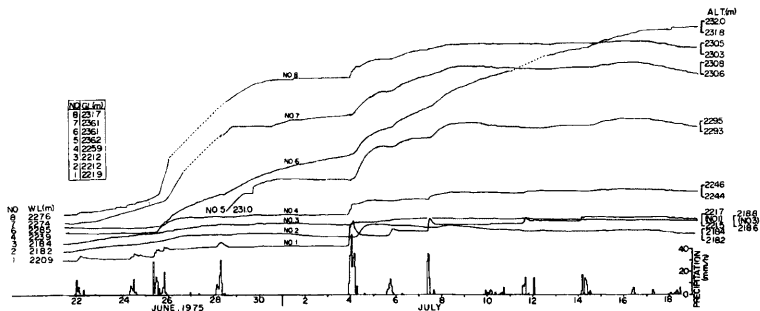


Fig. 3. Same as Fig. 2, June to July, 1975.

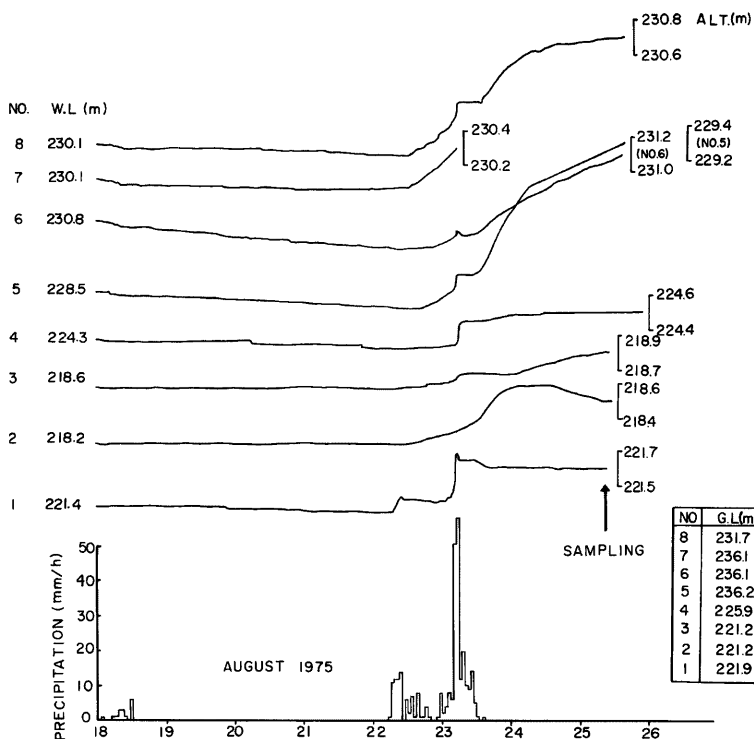


Fig. 4. Same as Fig. 2, August 1975.

一般に六甲山系における地下水は脈状地下水（裂か水）として存在しており、このような水は地表水に比して流域界が一般に不明である。しかしながら同じ降雨に対して、本測定結果のように異なった水位上昇結果が出現することは No. 5~8 のグループが No. 1~4 のグループに比してかなり大きな集水域をもち、このためボーリング孔への流入量が大きくなっていることも推察し得る。

この2つのグループの特性は測定時期が異なった場合においてもそれぞれ同様であった (Fig. 2, 4)。

降雨に対する反応が小さいグループのうち No. 1 は他の3つの孔に比し、特異な変動を示している。すなわち上昇量は小さいが、降雨に対する鋭敏な上昇と急速な低下である。これは孔内水位が非常に地表に近いことと考え合わせると地表水の影響を直接に受けた透水係数の非常に大きい脈状地下水を水源としているためと思われる。

Fig. 1 に示すようにこれらのボーリング孔は非常に狭い地域内に多数施工されているが、このように限られた狭い地区内でも地下水位変動特性は大別して東側 (No. 1~4) と西側 (No. 5~8) とではっきり異なることが判明した。

本地域が造成された際、土橋断層の存在が確認された。本地区の地盤安定対策をたてるためにこれらの調査用ボーリングが行なわれた。このように同一断層に沿って、しかも距離的にも短い区間でまったく異なった孔内水位上昇特性が存在することは、これら断層付近の地下水は必ずしも主断層に沿って存在するので

はなく、これに付随する副断層的な「われ」の中に脈状地下水として存在することを示すものであろう。しかもこれらの地下水は近接していてもその水源は異なっていることが考えられる。このために断層に沿った短い区間においても異なった孔内水位上昇特性が出現しているものと考えられる。筆者らの一人・田中はこのような現象を本地区東側約 1.5km にある渦ヶ森の異なった断層でも確認している。

3.2 鉛直孔水の溶存化学成分の分布

鉛直孔水の分析結果を Figs. 5~10 に示す。これらの鉛直分布図からわかるように鉛直孔、化学成分ある

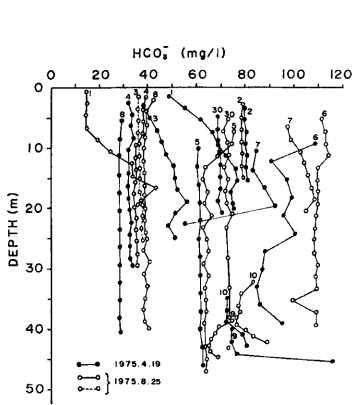


Fig. 5. Vertical distribution of bicarbonate content at each vertical boring hole (number in the figure indicates locations of vertical boring holes shown in Fig. 1).

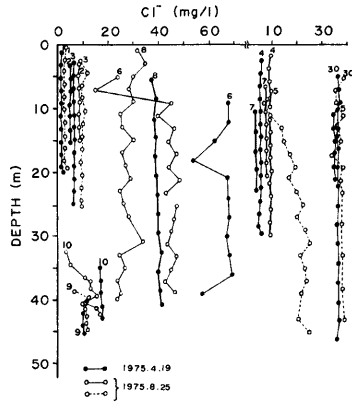


Fig. 6. Vertical distribution of chloride content at each vertical boring hole.

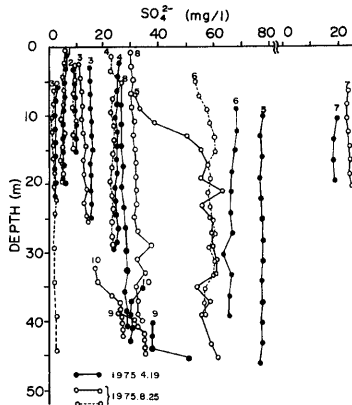


Fig. 7. Vertical distribution of sulfate content at each vertical boring hole.

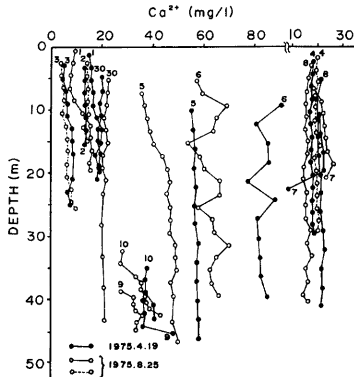


Fig. 8. Vertical distribution of calcium content at each vertical boring hole.

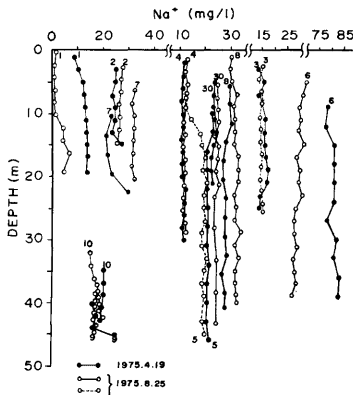


Fig. 9. Vertical distribution of sodium content at each vertical boring hole.

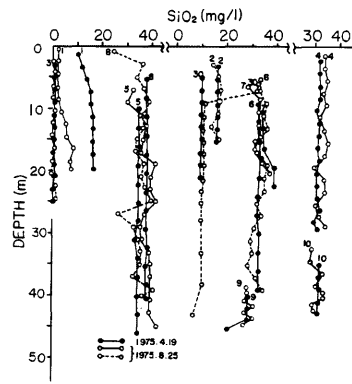


Fig. 10. Vertical distribution of soluble SiO_2 content at each vertical boring hole.

いは採水時期によってその濃度分布はことなつた様相を呈している。例えば No. 2, 4, 8, 30 の各種化学成分の分布は化学成分、採水時期にほとんど関係なく直線的な分布を示している。また No. 1 の Cl^- , SO_4^{2-} は採水時期に関係なく直線的な分布を示しているが Ca^{2+} は拡散的な分布を示し、更に No. 5 の4月の HCO_3^- は直線的な分布を示すが8月には拡散的な分布を示すといった具合に複雑な分布状況を呈しているが、以下簡単に化学成分別にその濃度分布の状況を述べる。

(1) HCO_3^- の分布

4月と8月の HCO_3^- 濃度分布がほぼ同じものは No. 2, 4, 8, 30 であるが、両月によってその分布状況が大きく変化しているものは No. 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10 で、このうち No. 6, 7, 8, 10 は、豪雨の直接影響を被って希釈されているはずである8月に採水した試料の方が4月の試料より HCO_3^- 濃度は約10mg/l から20数 mg/l 程度高い値を示している。これと類似した傾向は筆者ら³⁾により1974年7月7日の豪雨時に同地区の水平孔 No. 4 において観測されており、また1975年7月3日、4日の豪雨時にも同水平孔で同様な観測結果を得ている。いま降水が直接山地地下に浸透し、従来より岩盤の割れ目に存在している地下水 (I) に新たな地下水 (II) となって加わってくる場合を考える。一般に地下水 (I) は地下水 (II) より溶存化学成分濃度が大きいから、地下水 (I) と地下水 (II) の量が等しく、かつ地下水 (II) が地下水 (I) への流下過程時に岩石と接触し各成分を溶出する速度よりも地下水 (I) へ混入する速度の方がはやいとするならば、当然地下水 (I) の化学成分は希釈されるはずである。もしその反対に溶出速度が混入速度より大きい場合には成分濃度はもちろん大きくなり、またこれらの速度が等しい場合には成分濃度も等しくなるのは当然である。

このように考えると8月の No. 1, 2, 3, 9 の HCO_3^- 濃度が、4月のそれに比べて小さいのは単純な希釈と考えられるが、No. 7 の8月の HCO_3^- 濃度が4月のそれより高い値を示すことの説明として溶出速度が混入速度より卓越していると考えられるし、また SiO_2 を除く化学成分すべてが高い値を示していることから、4月より高い成分濃度を有している地下水が混入してきたものとも考えられる。No. 4, 5, 6, 8, 10 の8月の HCO_3^- 濃度が高い値を示しているのは HCO_3^- に富んだ地下水が混入してきたものであろう。

(2) Cl^- の分布

No. 2, 3, 4, 7 の8月の Cl^- 濃度は4月より高い値を示しているのが特徴である。

No. 1, 2, 3, 4, 7, 9, 30 の Cl^- 分布は4月と8月の両月ともほぼ直線的な分布を示しているが、No. 5, 6, 8,

10は両月で濃度的にもその分布状況も大きく異なった様相を呈していることがわかる。例えば No. 5, 10 の4月の分布は直線的であるが、8月のそれは表層近くでは大きな濃度差 (No. 5 で約 25mg/l, No. 10 で約 15mg/l) を示しているが底層に近づくにつれて両月の値は接近しつつあり、特に No. 10 は同じ値を示している。

その逆のタイプとして No. 8 は表層での両月の濃度差は 5mg/l 程度であるが底層に向かって徐々にその濃度差は大きくなり、底層水では 18mg/l 程度の差がある。これらの事実は鉛直孔壁の割れ目の位置、その大小あるいはその数の多少により鉛直孔への水の供給のされかたがことなっていることを暗示しているものと考えられる。

(3) SO_4^{2-} の分布

No. 7, 8 の8月の SO_4^{2-} 濃度は4月のそれより高い値を示しているのが特徴的である。

No. 1, 2, 3, 4, 7, 8, 30 の SO_4^{2-} 濃度は両月ともほぼ直線的に分布しているが、No. 5, 6, 9, 10 では濃度的にもその分布パターンも大きく異なっており表層近くでの濃度差が大きいのが特徴的である。

No. 5, 6, 9, 10 の8月の SO_4^{2-} の表層から中層にかけてのこの分布とそれらの8月の HCO_3^- 分布は全く逆のパターンを示している。すなわち SO_4^{2-} の分布は表層から中層に向かってその濃度は拡散的に増加しており、 HCO_3^- の分布はその逆に減少の傾向を示している。このように HCO_3^- と SO_4^{2-} の濃度分布の形成機構の説明の1つとして次のことが考えられる：降水の浸透あるいは北部斜面の背後を流れている土橋川の水が浸入して形成された地下水が地中に長く滞留しているとその水中の CO_2 は岩石と反応しながらその水中の HCO_3^{2-} 濃度を大きくする。一方その水は大気と遮断されだんだん還元状態となっていから、 SO_4^{2-} に富んだ温鉱泉水などが混入しない限り、その水中の SO_4^{2-} 濃度はだんだん減少してくる。それ故に、岩盤の割れ目の中に比較的長く存在していた水が、降水あるいは土橋川の地中への浸透などの影響を受けて、これらの鉛直孔の地下水位を上昇させたものと推定されるが、 Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} の濃度分布も考え合わせると降水または土橋川の水の直接浸入による水位上昇も十分考えられる。

(4) Ca^{2+} の分布

No. 2, 3, 4, 7, 8, 30 の Ca^{2+} 濃度の分布は4月と8月ともほぼ同じようなパターンを示している。No. 5, 6 では両月の濃度差は大きく、特に No. 6 の分布は激しく変動している。No. 1, 9, 10 の表層での両月の濃度差は 5~10mg/l とかなりあるが底層に近づくにつれてその差は非常に小さくなっている。No. 4, 7 とでは8月の方が4月より濃度は若干高い値を示している。

(5) Na^+ の分布

No. 2, 3, 4, 8, 9, 10, 30 における Na^+ の両月の分布パターンは大略同じであるが、No. 1, 6, 7 では両月での濃度差は約 10~20mg/l と相当大きい値を示している。No. 5 の表層での両月の濃度差は約 10mg/l 程度であるが 17m 以深ではほとんど同じ値を示している。また No. 6 では両月で逆の分布パターンを示している。すなわち、4月では表層から底層に向かって 5mg/l 程度ではあるが、深さとともにその濃度は増加している。8月は逆に深さとともに 5mg/l 程度減少している。

(6) SiO_2 の分布

No. 3 の SiO_2 濃度はほとんど零に近いのが特徴的である。石灰岩地域の地下水を除いては、このような花崗岩地域の山地地下水としては全く珍しい型の水である。pH が 9.4~9.5 と高い値を示すことや他の成分濃度からみて SiO_2 がこのように零に近い濃度を示すことは考えられていない。またケイソプラントンの異常発生も考え難いが何んらかの原因で SiO_2 の重合がおこり無機的に沈殿し水中から除去されたものと推察されるが、なお検討する余地がある。

ほとんどの鉛直孔では SiO_2 の両月の濃度差はみうけられないが、8月の No. 4, 5, 6, 8 ではかなり変動を示している。No. 1 では両月とも表層では SiO 濃度は小さな値を示すが底層に向かって増加している。

(7) $\log \text{Pco}_2$ の分布

水中の炭酸ガス分圧 (以下 Pco_2 と記す) を炭酸ガスの水和平衡と炭酸の第一次解離平衡から誘導した次

の近似式⁴⁾を用いて求めたのが Fig. 11 である。

$$\log P_{\text{CO}_2} = \log [\text{HCO}_3^-] - \text{pH} + 7.8$$

ここで [] はモル濃度を表わす。

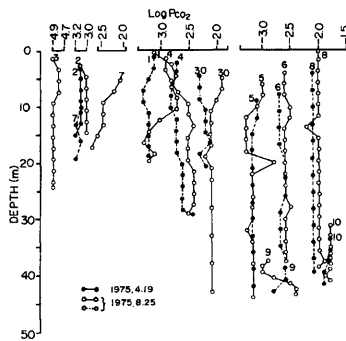


Fig. 11. Vertical distribution of partial pressure of dissolved carbon dioxide calculated from pH and bicarbonate content in underground water in each vertical boring hole.

大気中の P_{CO_2} は $10^{-3.5}$ 気圧であり、降水が大気中のガスと平衡になっていたとしたら、その降水は P_{CO_2} として $10^{-3.5}$ 気圧を保ち地中に浸透するはずである。そして他から CO_2 の供給がないとするならば、浸透中のその水の CO_2 は岩石と反応し減少するであろう。

このような見方をすると P_{CO_2} が $10^{-4.9}$ 気圧の値を示す No. 3 の水は「死に水」的なものと考えられ SiO_2 の分布状況とも符合する。この他の鉛直孔水の P_{CO_2} はいずれも $10^{-3.5}$ 気圧よりも大きい値を示している。このことは CO_2 の水中への供給があることを意味している。この CO_2 の起源は現在の所不明ではあるが、地質構造、植生状態などから判断して、多分 CO_2 の源は現在の有機物が腐朽・分解して生じたものは非常に少なく、大部分が断層、破碎帯中の岩盤の割れ目などを通して地下深所から供給されてきたものと推定される。

このように見てくると P_{CO_2} の大きい所は破碎帯とか岩盤の割れ目などが多く存在している所と考えられ、No. 1, 4, 5, 6, 7, 9 の地盤構成物質に CO_2 が与える影響は大きいものと推測される。大半の鉛直孔では 4 月より 8 月の方が

P_{CO_2} の値は大きくその差の最も顕著なのは No. 1, 7 である。

(8) Mg・pH と水温の分布

Mg^{2+} の全鉛直孔水の濃度範囲は 4 月で $0.6 \sim 4.7 \text{ mg/l}$ 、8 月で $0.5 \sim 6.9 \text{ mg/l}$ の範囲に分布しているが、大半の試水は $1 \sim 3 \text{ mg/l}$ 程度でその濃度変化は非常に小さいのが特徴的である。

pH は大略中性の値を示すが、4 月の No. 1, 2, 5, 7 と 8 月の No. 5 の試水の pH はほとんどすべて $8.0 \sim 8.1$ の範囲にあり、8 月の No. 3 の pH は $9.4 \sim 9.5$ と異常に高い値を示しているのが特徴的である。

水温は全鉛直孔水をつうじて 4 月の表層水では $14.3 \sim 16.8^\circ\text{C}$ 、同じく底層水は $13.8 \sim 16.0^\circ\text{C}$ の範囲にある。8 月の表層水では $17.8 \sim 24.1^\circ\text{C}$ 、底層水 $16.8 \sim 19.2^\circ\text{C}$ の範囲にあり、両月の底層水の差は約 3°C 程度であった。

3.3 鉛直孔・水平孔と土橋川の水質区分

4 月に採水した鉛直孔水、8 月に採水した鉛直孔水および 7 月に採水した水平孔水と土橋川の水をヘキサダイアグラムを用いて表示したのがそれぞれ Figs. 12, 13, 14 である。これらの図中の A 領域内にプロットされる試料は $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ 型に属する水であり、B 領域内のは $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ 型の水で、この両領域に属するのが一般的な淡水である。C 領域内に入るものは $\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}\text{-Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}$ 型の水で火山性起源のものであり D 領域に入るものは $\text{Na}^+\text{-Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}$ 型で海水または海水と類似した性質を有する水である。

前述の各溶存化学成分別の分布図から平常時と豪雨の影響を受けた水質とは顕著な差があることがわかったが、ヘキサダイアグラムでも 4 月と 8 月とでその水質はかなりことなつた分布を示しているが、8 月の表層水を除いた中層水と底層水の分布と 4 月のそれとは酷似した分布を示していることがわかる。No. 30 を除くと大略 2 つのグループにわけることができそうである。すなわち $\text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ 型の No. 1, 2, 3, 7 のグループ (第 1 グループ) と $\text{Ca}^{2+}\text{-Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}$ 型の No. 4, 5, 6, 8, 9, 10 のグループ (第 2 グループ) とで

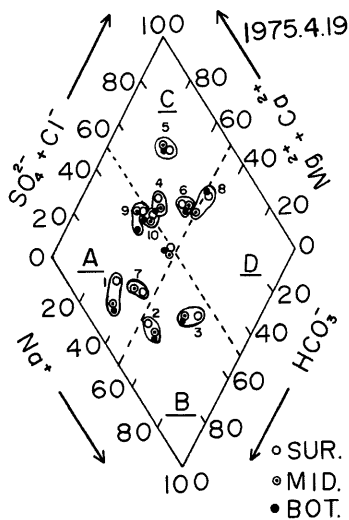


Fig. 12. Hexa diagram used to classify underground water in each vertical boring hole through its quality, under the normal condition without direct effect of rainfall (A and B: typical fresh water, C: water from volcanic origin, and D: see water or water from it).

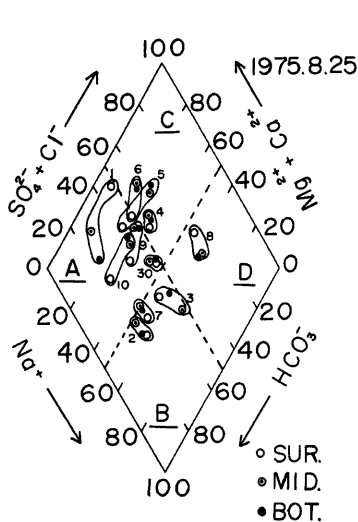


Fig. 13. Same as Fig. 12, under the extraordinary condition affected significantly by heavy rain.

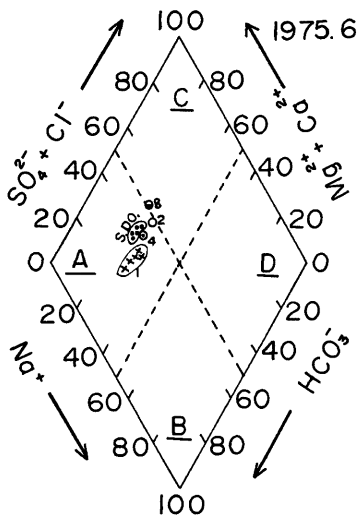


Fig. 14. Hexa diagram used to classify underground water in each horizontal boring hole and stream water (S: S. Dobashi).

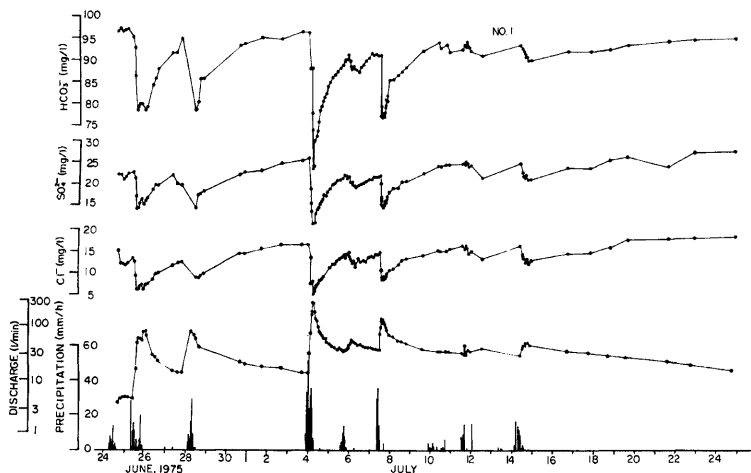


Fig. 15. Variation of dissolved chemical species contents and discharge of underground water from horizontal boring hole at NO. 1 and precipitation with time.

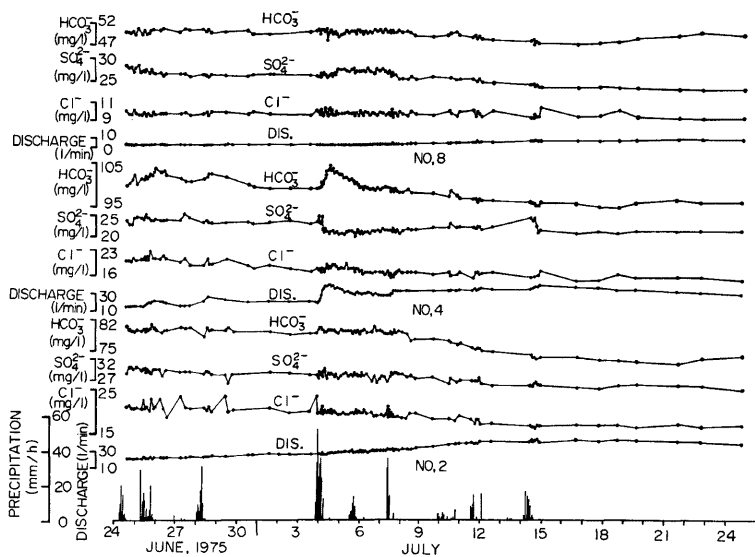


Fig. 16. Same as Fig. 15, at Nos. 2, 4 and 8.

ある。

Fig. 15 中の水平孔 No. 1, 4 と土橋川の水は第 1 グループに属し、水平孔 No. 2 と 8 は第 2 グループに属するものとみなすことができる。この分類は後述のこれらの水平孔地下水の流出パターンからの分類ともよく一致する。

鉛直孔 No. 9 と 10 の地下水位を低下させ、その近傍の斜面の安定化をはかるために水平孔 No. 2 が掘さくされたそうであるが、現在のところこれら両孔の水位低下は観測されていないが、水平孔 No. 2 の水は鉛直孔 No. 9, 10 のそれと化学成分濃度および組成比も非常によく似ていることから判断して、水平孔 No. 2 の水は一応 No. 9, 10 の近傍の水を抜いているものと推測される。

3.4 水平孔水流出量と溶存化学成分との関係

Fig. 15 に豪雨時に観測した水平孔 No. 1 の地下水流出量および溶存化学成分の時間的変動と降水量とを示す。これから降水、地下水流出量と化学成分濃度との対応性は非常によいことがわかる。例えば 7 月 4 日午前 0～1 時の最大降雨強度 (52mm/hr) から 3～4 時間後に地下水流出量のピークが出現している。しかもこのピーク時に各化学成分濃度は最低値を示している。1974 年 7 月 7 日の豪雨時にも同様な観測結果を得ている。

Fig. 16 に水平孔 No. 1 と同時期に観測した水平孔 No. 2, 4 と 8 の結果を示す。No. 4 の場合には 7 月 4 日の同じ最大降雨強度から 14～15 時間後に地下水流出量のピーク (41 l/min) が出現しているが化学成分によっては No. 1 とは異なった様相を呈している場合がある。例えば HCO_3^- 濃度は地下水流出量の増加とともに増加し、しかもそのピークと流出量のピークとはよい一致を示している。このことは豪雨によって溪流などに表流水が集中し圧力がある一定の大きさに達すると、岩盤の割れ目の中に存在する 2-3) で述べたような水質形成機構により変質した水 (HCO_3^- 濃度が大きく、 SO_4^{2-} 濃度は小さい) が新たな地下水と交換するものと推察される。

水平孔 No. 2, 8 の降水に対する流出量の応答性はよくないが、No. 2 は 6 月 4 日頃から漸次増加し 12 日頃からほぼ一定の流出量に達し、No. 8 は 7 月 8 日頃からわずかであるが増加し 16 日頃からほぼ一定の流出量を示していることがわかる。

また No. 2 の化学成分濃度は概ね地下水流出量の増加とともに減少する。No. 8 では HCO_3^- 濃度は流出量の増加とともに減少する傾向がみられるが SO_4^{2-} 濃度は 7 月 4 日から 5 日にかけて増加し、その後 7 日まで変動しながらほぼ一定の値を示している。しかし 7 日過ぎから減少する傾向を示している。

Fig. 17 は土橋川と水平孔 No. 2 の HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} 濃度の 7 月 3 日から 12 日までの変動状況と降水量との関係をみたものであり、両者の降雨に対する各成分濃度の変動状況は非常に類似している。この類似性から判断すると水平孔 No. 1 に土橋川の水が直接流入していることがわかる。

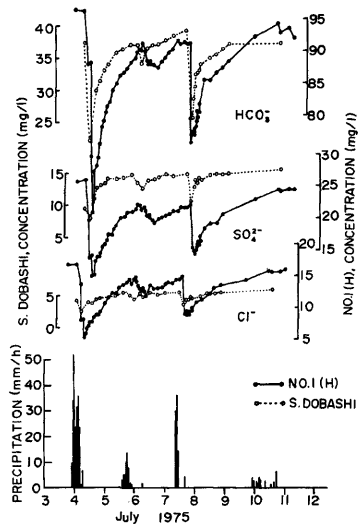


Fig. 17. Variation of dissolved chemical species contents in underground water from horizontal boring hole (NO. 1) and in stream water (S. Dobashi) during heavy rain.

4. む す び

以上六甲山系鶴甲地区の北部斜面にある鉛直孔水と水平孔水および鶴甲団地にある鉛直孔水と土橋川の水質調査などから概ね次のことがわかった。

(1) 鉛直孔水、水平孔水および河川水は採水時期によって化学成分濃度に大きな差が出現するものもあれば、ほとんど無関係のものもあった。

(2) 本調査地域の地下水には地下深所からかなりの量の CO_2 が供給されており、また温鉱泉水の影響を受けたとみられる地下水もかなり存在している。

(3) 本地域の地下水は水質的には Na^+ 、 Ca^{2+} - HCO_3^- 型と Ca^{2+} - Cl^- 、 SO_4^{2-} 型の 2 つのグループに分けることができる。

(4) 本地下水水位の変動状況からも 2 つのグループに分けることができる。すなわち降雨に対する地下水の応答は非常に鋭敏であるが水位上昇はそれ程大きくならないグループと、豪雨後水位が徐々に上昇し相対的に大きくなるグループとである。

(5) 地下水の水質的なグループ分けと地下水水位の変動パターンからのそれとは鉛直孔 No. 4 と 7 を除くとよい一致を示す。

(6) 土橋川の水が本地域の地下水の涵養に大きな影響を与えているところがある。

最後に、豪雨時の観測に際し御協力下さった元本研究所研修員大崎安彦氏（現、東京 AIS）と神戸大学院生各位、特に岩田修三氏（現、兵庫県）、三宅 旬氏（現、大林組）、ならびに雨量および地下水水位の資料の提供を賜った神戸市開発局内陸工務課に対して厚くお礼を申し上げます。なお本研究の一部は自然災害特別研究 (I)（代表：田中 茂・神大教授）の補助を受けたことを記し、関係各位に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 田中 茂：地下水を包ぞうしている断層破砕帯などに関する研究，建設工学研究所報告 No. 3, 1971, pp. 25-35.
- 2) 田中 茂：集中豪雨による斜面崩壊の本質的検討，施工技術第 5 巻第 11 号，1972, pp. 14-21.
- 3) 吉岡龍馬・奥田節夫・沖村 孝・田中 茂：豪雨時における山地地下水の流出量と溶存化成分との関係について，京都大学防災研究所年報，No. 18-B, 1975, pp. 265-270.
- 4) 吉岡龍馬・金井忠一：地すべり地地下水の炭酸ガス分圧について，京都大学防災研究所年報，No. 18-B, 1975, pp. 271-282.