

豪雨時における山地地下水の流出量と 溶存化学成分との関係について

吉岡 龍馬・奥田 節夫・沖村 孝・田中 茂

SOME OBSERVATIONS ON DISCHARGE AND CHEMICAL COMPOSITION OF GROUND WATER AT A MOUNTAIN SIDE DURING A HEAVY RAIN

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

Synopsis

In order to examine the relationships among the chemical species contents of ground water at mountainside, discharge from boring hole and precipitation, the variations of them with time observed at northern slope of Mt. Tsurukabuto in Rokkō mountain range from July to October 1974. The following have obtained: (1) The peaks of chemical species contents appear after the peak of discharge of ground water, but the conversion time of increasing rate of cation content differs from that of anion content, (2) A good correlation is observed between bicarbonate content and discharge, and (3) The observed hydrographic curves are well expressed by use of exponential functions with time at a few intervals between the observed chemical hydrographic conversion points.

1. はじめに

山地地下水は風化過程を通して地盤構成物質の変質・分解を促進したり、その局所的集中による地下水圧の増加をもたらすなど、崩壊災害の発生に非常に重要な役割を果たしていることは周知の事実である。降水の地中への流入・循環経路とその速さおよび接触物質との化学的・物理的作用を調べることは崩壊災害の予測とその有効な対策の検討に極めて重要なことである。

そこで、われわれは豪雨中の短時間間隔での地下水流出量の変化状況と溶存化学成分のそれとの関係を知る目的で六甲山系鶴甲北部斜面の水平ボーリング孔3本を対象に観測を実施した。この観測結果の一部は、すでに、第11回災害科学総合シンポジウムで発表済みであるが¹⁾、それ以後、若干データも増えたので、以下簡単に報告する。ただ、今年度は豪雨時の観測に不慣れで、データが不充分であり、流量と水質の時間的変化に対する定量的考察までには至らず、ほとんど観測事実の記述の段階にとどまらざるを得なかった。

2. 調査期間と方法

1974年7月4日から10月3日まで、全長約100mの水平ボーリング孔3本を対象に原則的に毎日1回採水と流出量の測定をおこなった。ただし降雨のある場合には、その状況に応じ適宜観測の時間間隔の短縮をはかった。なお流量はポリビーカーに一定容積の水がたまるまでの時間を測定し求めた。分析は常法に従って、 Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} (\text{as Ca}^{2+})$ 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、Soluble- SiO_2 につき防災研究所でおこなった。Fig. 1に採水地点の略図を示す。

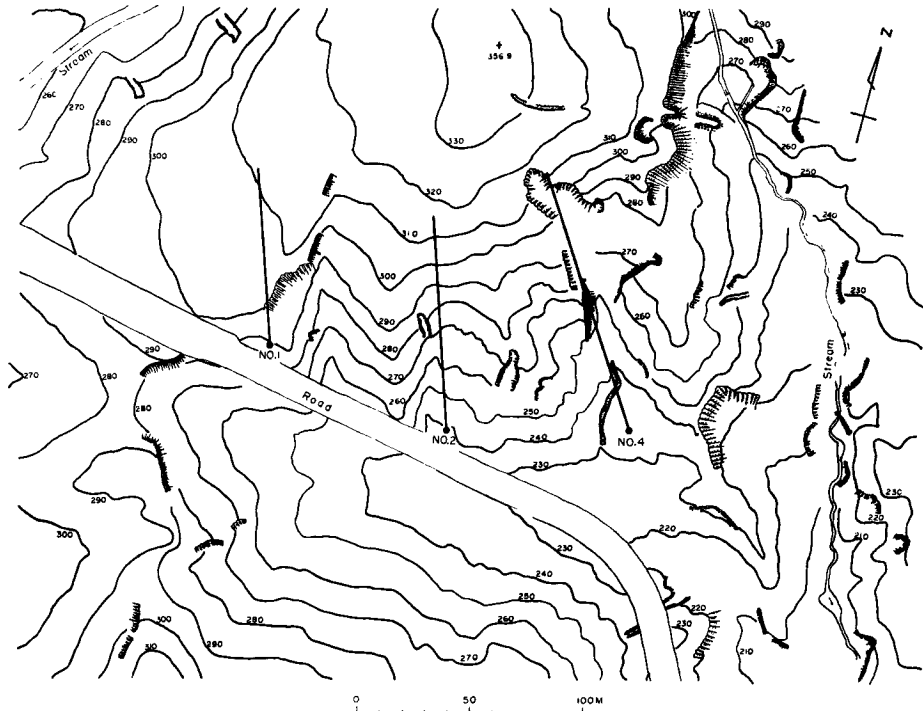


Fig. 1 Map showing localities

3. 結果と考察

1) 7月豪雨

1974年7月に東瀬戸内地方と東海地方に甚大な災害をもたらした台風7号の影響による豪雨時に観測した降雨量・水平ボーリング孔水流出量と溶存化学成分量の時間的変動を Fig. 2A, 2B に示す。なお降雨データは観測現場での神戸市役所開発局内陸工務課測定によるものである。

Fig. 2A の孔水 No. 1 では7月7日午前4～5時の最大降雨強度 (10.5mm/hr.) から4～5時間後に地下水流出量のピークが出現している。このピーク (110l/min.) 時に各溶存成分量は夫々最低値を示し、このピーク出現後の流出量低減期において流出量減少とともに各溶存成分量は増加してくるが、それらの濃度の時間的変化の状況から濃度の勾配変換点 (図中↓印) を求めると Soluble-SiO₂ (以下 SiO₂ と書く) はピーク時から約10時間後に、Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ の陰イオンは約15時間後に、Na⁺, Ca²⁺+Mg²⁺(asCa²⁺) は約45時間後にそれぞれ出現している。これらの諸現象から判断すると、7月7日の降雨水の直接の影響の終了時刻は9日午前5時頃と推定される。なお3つの孔水の平均 Mg²⁺ 濃度は 1.4mg/l で Ca²⁺/Mg²⁺ の平均重量比は 37.6 と六甲山系でも特に少ない値を示すことから Ca²⁺+Mg²⁺ の値はほとんど Ca²⁺ の値とみなしてよい。以下 (Ca²⁺+Mg²⁺) を Ca²⁺ として表わす。

Fig. 2B の孔水 No. 2 の場合は、地下水流量は6月12時頃から漸次増加しているが、ピークの出現はみられない。逆に Ca²⁺ と HCO₃⁻ 濃度は増減を繰り返しながら漸次減少しているが、他の成分についてはこういった傾向はみられない。

孔水 No. 4 では、7日午前4～5時の最大降雨強度 (10.5mm/hr.) を示す時刻から 15～16時間後に地下水流出量のピークが出現している。No. 2 と同様 Ca²⁺ と HCO₃⁻ 濃度は6日頃から減少しているが、それらの濃度の時間的減少率は No. 4 の方が No. 2 より大きい。

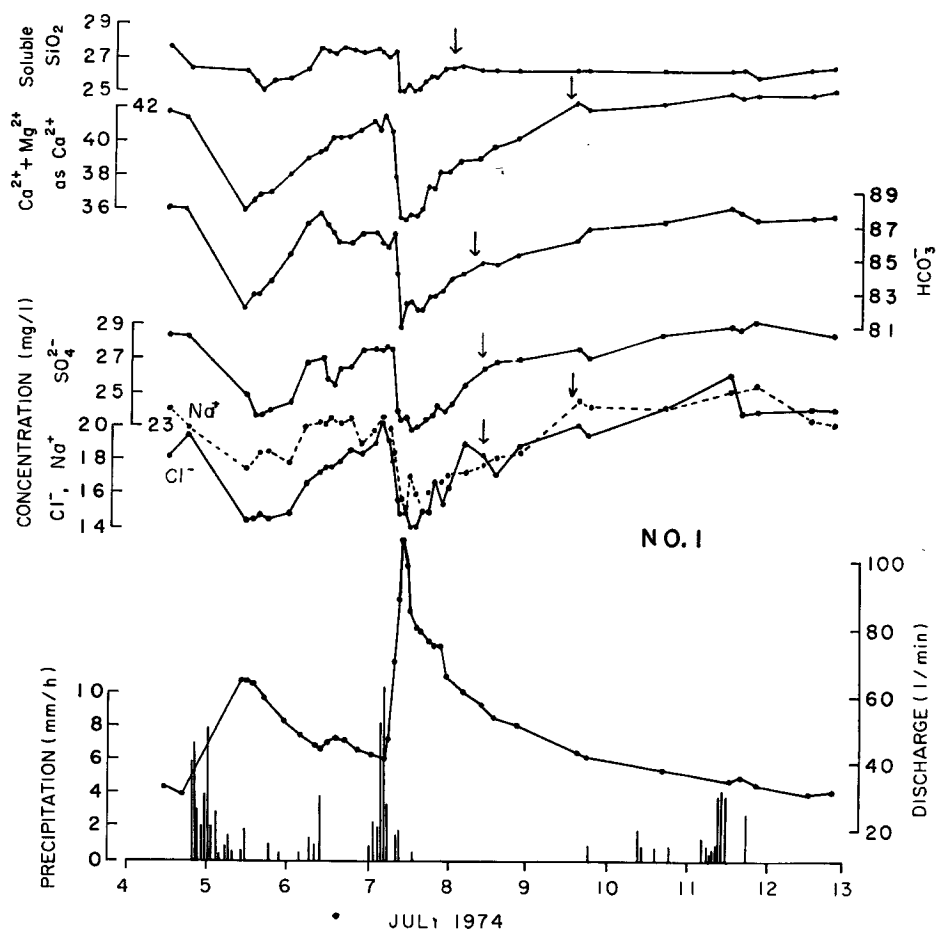


Fig. 2A Variations of dissolved chemical species contents and discharge of groundwater from boring hole as function of time and precipitation at No. 1.

No. 1, 2, と 4 から SiO_2 は地下水流出量の増加によって希釈されても、他の成分と比較して元の濃度に回復するのが速い。また降雨に対する地下水流出量の変化状況と Ca^{2+} , HCO_3^- 濃度の変化状況から判断すると、孔水 No. 1 は表面流出の影響の強い水であり、No. 2 は基底流出的な水である。No. 4 はその中間的なものと推定される。

2) 9月豪雨

Fig. 3A, 3B に 9 月豪雨時の観測結果を示す。9 月 8 日に日雨量 83.0mm, 9 日に日雨量 51.5mm の豪雨があった。この一連の豪雨で観測を開始したのは 9 日午前 9 時であり、観測開始時刻より 2 時間前の 7 時から 9 時までには 31.5mm の雨量があった。No. 1 において、9 時に測定した地下水流出量 330 l/min. の値がこの一連の豪雨時における流出量ピークを示しているかどうか疑問であるが、7 月豪雨観測と Cl^- , HCO_3^- , Ca^{2+} 濃度の最小値が 2 時間程遅れて出現していることから判断して、9 時の流出量は大略ピーク値を示しているものと推定される。

7 月豪雨時と比べて観測間隔は粗であるが、各成分の濃度勾配変換点を求めるとピーク流出量から Cl^- , HCO_3^- , SiO_2 は約 35 時間後、 SO_4^{2-} は約 40 時間後、 Na^+ , Ca^{2+} は 45 時間後にそれぞれ出現し、7 月豪雨時と同様に陰イオンと陽イオンにより異なる濃度勾配変換点を示す。

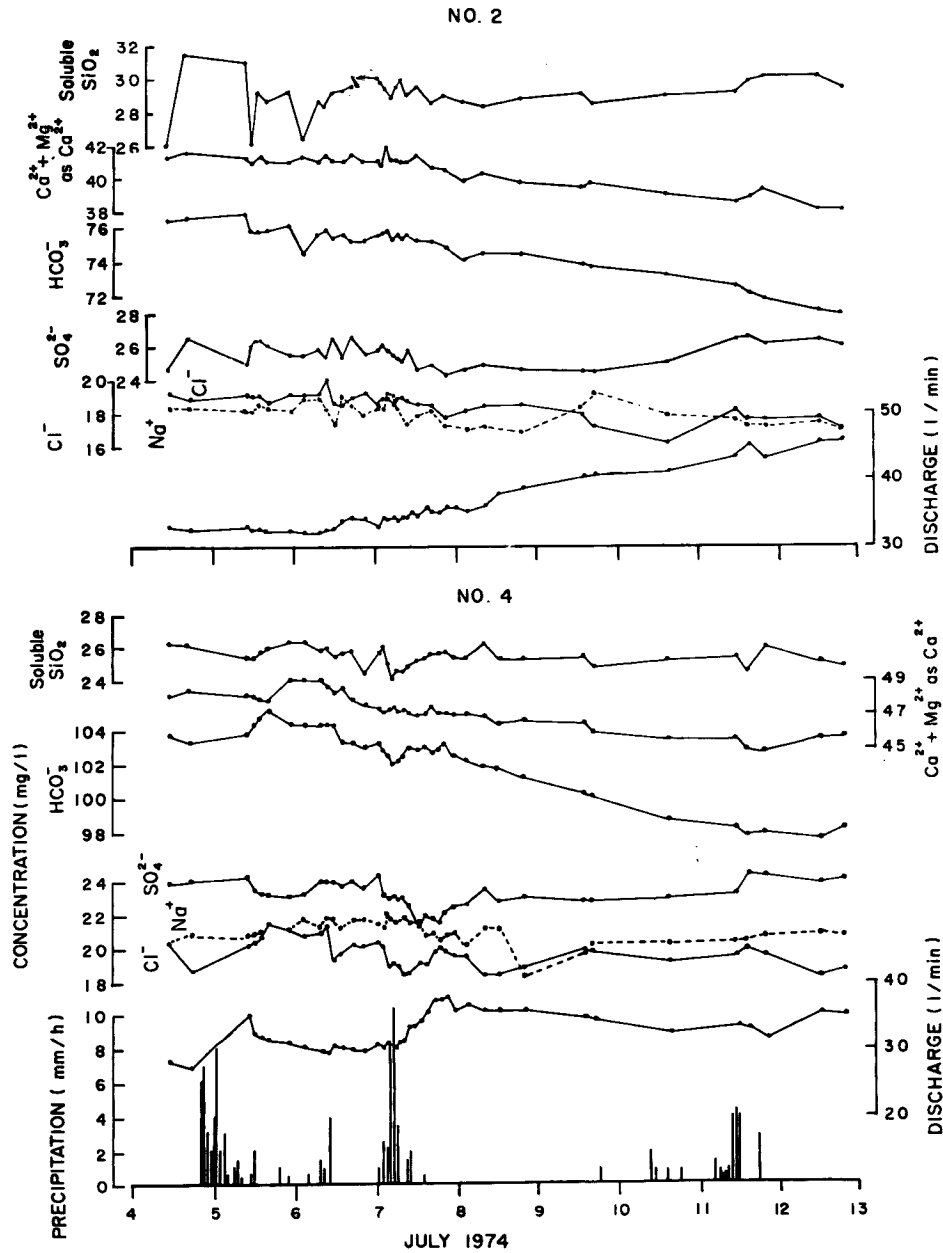


Fig. 2B Same as Fig. 2A, at No. 2 and No. 4.

8月29日から9月7日にかけて、化学成分濃度は SiO_2 を除き径々に増加の傾向を示している。そして流量は漸減している。これは8月25日52.5mm, 26日35.0mm, 27日47mm および28日12.5mmと4日間の総降雨量147mmの影響によるものと考えられる。

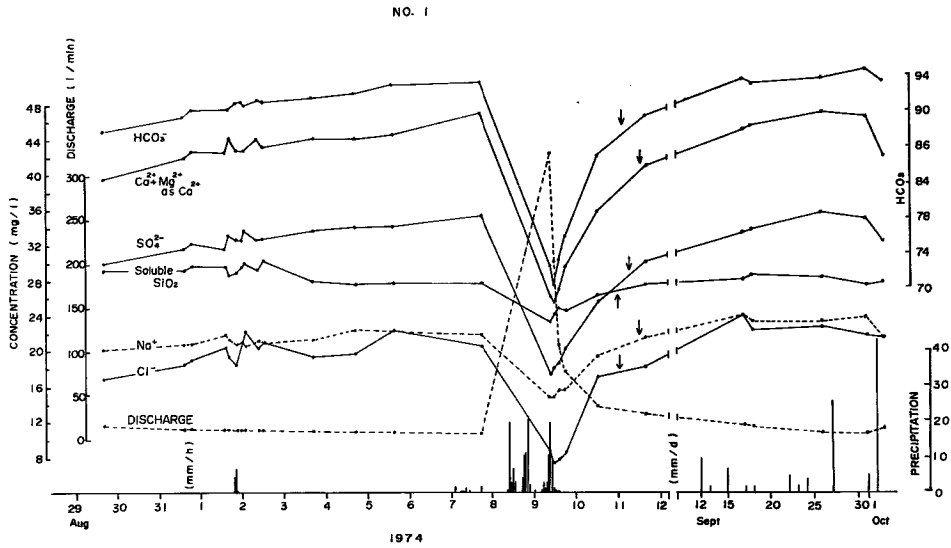


Fig. 3A Same as Fig. 2A, at No. 1

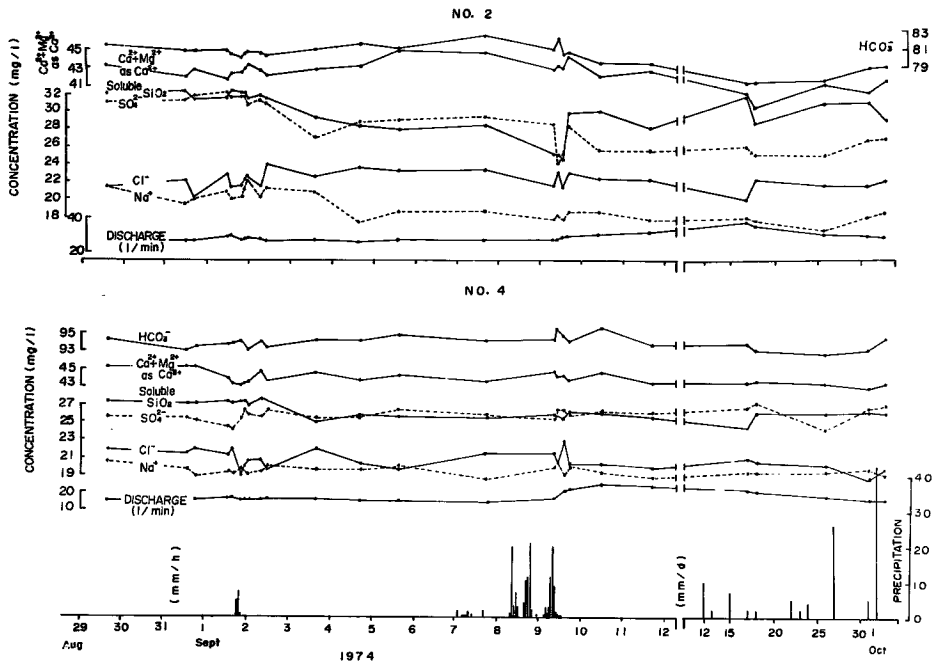


Fig. 3B Same as Fig. 2A, at No. 2 and No. 4

9月豪雨時のNo.2とNo.4における観測結果をFig.3Bに示す。降雨量に対する地下水流出量の応答はNo.4の方がNo.2より若干よいようであるが、7月豪雨程顕著ではない。地下水流量に対する化学成分濃度の変化状況はNo.2において、9日の SO_4^{2-} 、 SiO_2 濃度の変化と8日頃から Ca^{2+} 、 HCO_3^- 濃度の減少が

めだつ程度で、それ以外には両地点とも大きな差はみられなかった。

4. 水質ハイドログラフからの地下水流出量の低減係数の計算

Fig. 4 における実線は7月豪雨時の観測ハイドログラフである。7日の地下水流出ピーク時 (t_0) からの流量を時間に対して半対数紙に描くと50時間の所で勾配変換点 (t_3) がみられた。その時の流出量は45 l/min. であった。ピーク流出後の地下水流量の低減状態を $Q=Q_0 \exp(-Ct)$ として表現できるものとする、 t_0 から t_3 までの低減係数 C_{0-3} は $2.9 \times 10^{-4} \text{min.}^{-1}$ であり、 t_3 から t_4 までの低減係数 C_{3-4} は $5.7 \times 10^{-5} \text{min.}^{-1}$ となった。

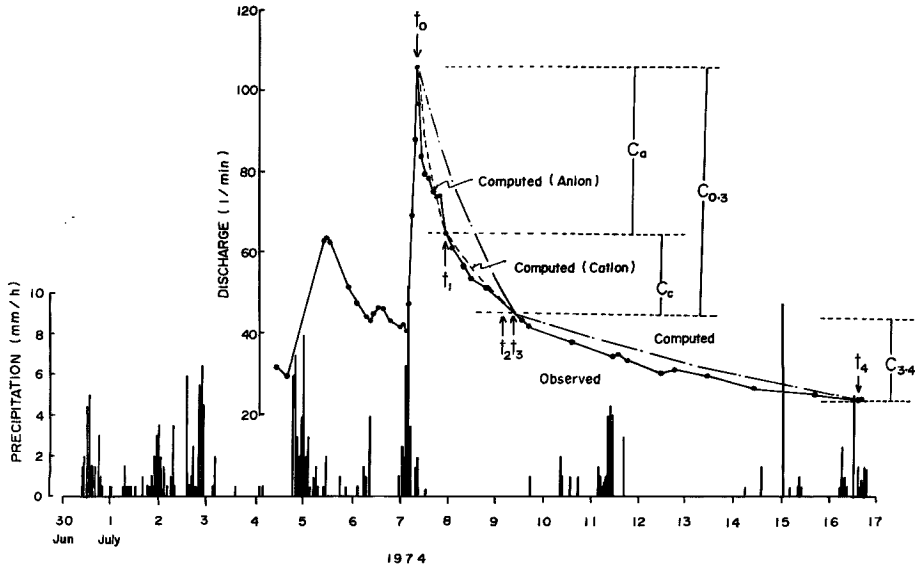


Fig. 4 Hydrograph at No. 1, —: Observed hydrograph; ---: Empirical formula with one conversion point; - · - ·: Empirical formula with two conversion points.

一方前述のように陰イオンの濃度勾配変換点は t_0 から約15時間後、陽イオンのそれは約45時間後であった。これらの観測事実に基いて、 t_0 から陰イオンの濃度勾配変換点 (t_1) までの低減係数 C_a は $5.5 \times 10^{-4} \text{min.}^{-1}$ 、 t_1 から陽イオン濃度勾配変換点 (t_2) までの低減係数 C_c は $2.0 \times 10^{-4} \text{min.}^{-1}$ であった。これらの結果は Fig. 4 に示すようなハイドログラフとなる。ここで点線は化学成分濃度勾配変換点から、一点鎖線は半対数法からそれぞれ計算したものである。 t_0 から t_3 までの計算ハイドログラフは水質から計算した方が実測ハイドログラフとよい一致を示すことがわかる。

観測回数が少ないので、今後さらに多くの観測を実施し、豪雨時の地下水流出量と化学成分量との関係、およびその化学的機構を明確にしていきたい。

最後に、豪雨時の観測に際し御協力下さった神戸大学工学部学生各位、ならびに雨量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。また、資料整理と図面作製に御協力頂いた元本研究研修員金井忠一氏および研修員大崎安彦氏に対し謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 吉岡竜馬・奥田節夫・沖村孝・田中茂：六甲山系の豪雨時における地下水流量と化学成分との関係，第11回災害科学総合シンポジウム講演論文集，1974，pp. 62—63.