

亀の瀬地すべり地における地下水の化学組成と流量について

吉岡 龍馬・奥田 節夫

INVESTIGATION ON THE CHEMICAL COMPOSITIONS AND THE DISCHARGE OF GROUND WATERS IN THE KAMENOSE LANDSLIDE AREA

By Ryuma YOSHIOKA and Setsuo OKUDA

Synopsis

The variations with time in the concentrations of dissolved elements and the discharge of the ground waters in the Kamenose landslide area in Osaka Prefecture were investigated from July 1972 to January 1973 in order to obtain the basic data for the study of estimate of the amounts of clay minerals produced by weathering processes through the chemical compositions of ground waters in this area.

The authors have examined the relationships among the chemical species contents of the waters, and between the chemical species contents and discharge of them. The following have been attained: A clear negative relationship is observed between sulfate and bicarbonate contents, a clear positive relationship between calcium and bicarbonate contents in the waters of the drain tunnel, sulfate content increases and bicarbonate content decreases with the increasing discharge of bore hole waters in the tunnel at high altitude, and the concentrations of sulfate and bicarbonate ions were scarcely changed in spite of the increasing discharge at low altitude.

1. 結 言

一般に地下水の溶存化学成分量と組成は、降水、風送塩、地表水などの量と質、および降水、地表水などの浸透条件とそれらが浸透、流動しながら接触している岩石、土壌などの種類と接触時間などの諸要素により支配される。

さきに、筆者¹⁾らは亀の瀬地すべり地（大阪府）の水質をとおして、粘土鉱物生産量の推定を試みた。本報告では、この算定法をより正確に見積るための基礎資料をえる目的で、当地の地下水の溶存化学成分量の時間的変動、および化学成分と流量とに重点をおき調査したので、以下簡単に調査結果を報告する。

2. 採取方法と分析項目

1971年6月の水質一斉調査の結果¹⁾に基づいて、Fig. 1に示すように排水隧道2点(A, B)と隧道内排水ボーリング孔10点(12, 13, 17, 19, 32, 36, 38, 49, 55, 57)をえらび、'72年7月から'73年1月まで前者の水を建設省大和工事事務所の協力をえて週1回、後者を月1回の割合で採取した。現場でpH、水温を測定し、実験室で Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、Soluble SiO_2 の7項目につき分析を実施した。なお流量は水をポリビーカーに一定時間受けとって測った。

3. 結 果 と 考 察

3.1) 排水隧道水の溶存化学成分の時間的変動

Fig. 2は排水隧道 T3, T4 の溶存化学成分の時間的変動と降雨量との関係をみたのであり、各成分量の

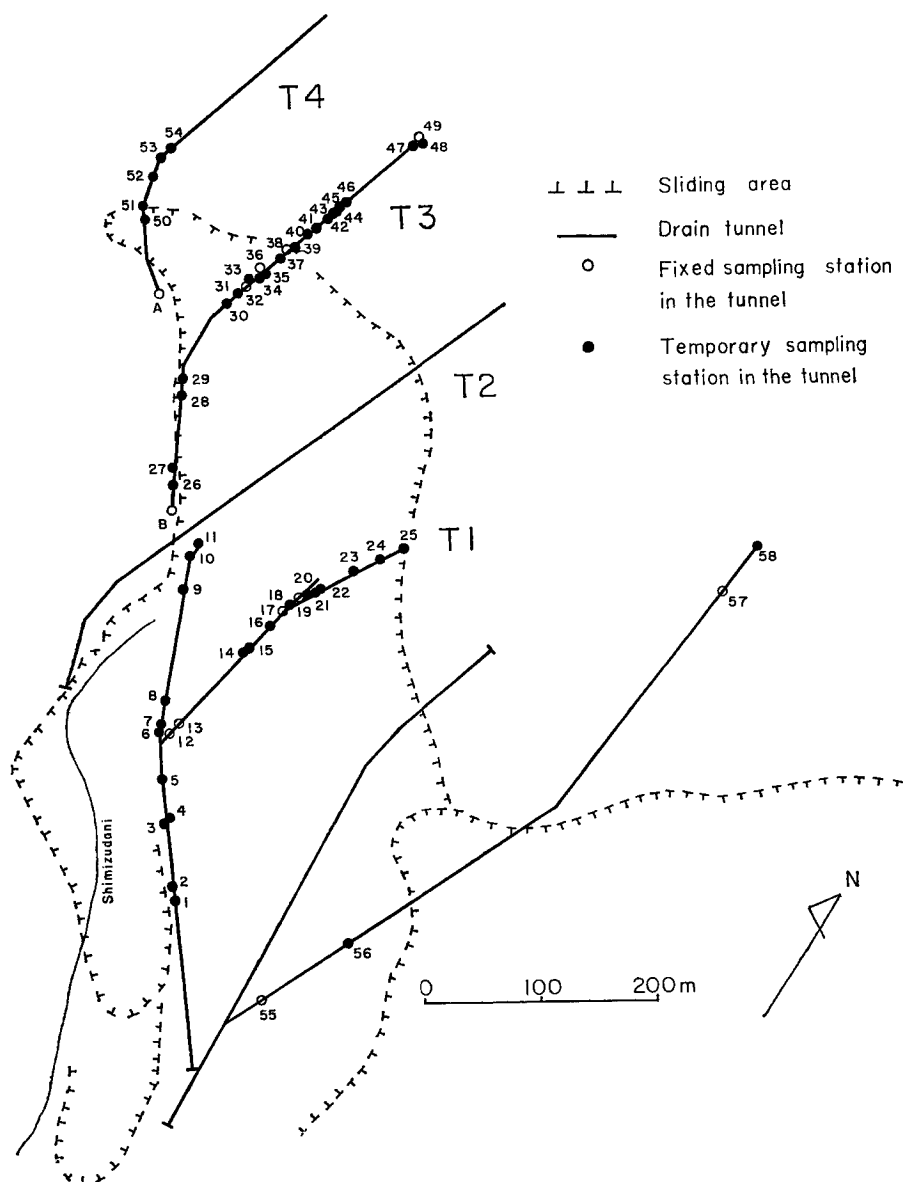


Fig. 1 Map showing sample localities in the Kamenose landslide area.

大略の変化をみると：

Na⁺: T4 は10月中旬頃からほぼ一定の値 0.85m. mol/l となるが、T3 は最初の 0.54m. mol/l から、だんだん増加し、12月には 0.84m. mol/l まで達する。

Mg²⁺: T4 は最初 0.38m. mol/l からだんだん増加し、11月の上旬には 0.49m. mol/l に達し、それから12月にかけて減少し続け、再び増加の傾向を示す。T3 は最初 0.40m. mol/l と T4 より大きい値を示しているが、8月の終り頃から10月中旬頃までは T4 より濃度が小さくもなったり、大きくなったりしているが、10月

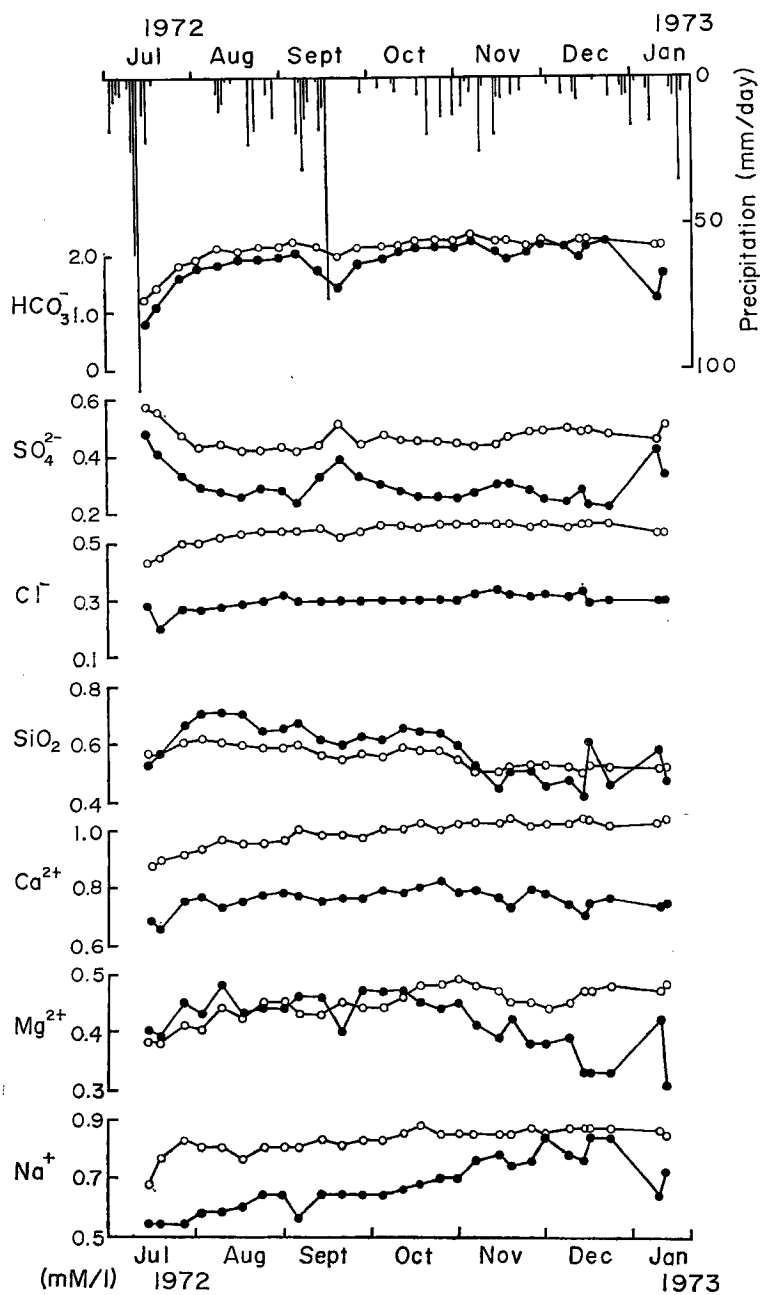


Fig. 2 Variations in the concentrations of Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} and SiO_2 of waters in the Kamenose landslide area, and daily precipitation (●: T3 and ○: T4).

中頃からは若干の増減を示すが除々に減少し、0.31m. mol/l となる。

Ca^{2+} : T4 は最初 0.87m. mol/l から10月中頃まで、除々に増し、それ以後は 1.02m. mol/l と一定の値を示している。T3 は最初 0.68m. mol/l からだんだん増加し、10月末に 0.82m. mol/l に達し、それ以後は Mg^{2+} と同じように減少の傾向を示している。

SiO_2 : T4 は8月中頃の 0.60m. mol/l から11月中頃まで減少し続け、それ以後は約 0.50m. mol/l の値を保持し続けている。T3 は T4 と似た傾向を示しているが、濃度は11月の初めまでは T4 よりは高い値を示しているが、それ以後は2点を除くと逆になっている。

Cl^- : T4 は9月頃からほぼ一定の値 0.50m. mol/l を示している。T3 も似た傾向を示し、9月頃からほぼ 0.30m. mol/l となり一定の値を示し続けている。

SO_4^{2-} : T4 は最初 0.58m. mol/l から8月の 0.43m. mol/l まで減少し、9月20日に降雨の影響のために 0.51m. mol/l に増加するが、それ以後はまた減少し約 0.45m. mol/l と一定の値を示し続けている。T3 は11月中頃まで T4 と同じような傾向を示しているが、それ以後は反対の様相を呈している。T4, T3 とともに降雨量にかなりよい対応性を示しているといえるであろう。

HCO_3^- : T4 は最初1.20m. mol/l から8月中頃まで増加し続けて 2.10m. mol/l に達し、それ以後はほぼこの値を持続している。T3 は T4 と同じような傾向を示している。 SO_4^{2-} と同様に降雨量とはかなりよい対応性を示しているのがわかる。

なお、降雨量は建設省大和工事事務所亀の瀬出張所の測定によるものである。

Table 1 には排水隧道 T3, T4 の溶存化学成分の濃度範囲(最小値と最大値)、平均値、標準偏差とこれら化学成分の相対的な変動の大小を示すと考えられる変動係数($= \frac{\text{標準偏差}}{\text{平均値}}$)を示した。これから各成分の変動係数の大きさの順は

T3: $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{SiO}_2 < \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$

T4: $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{SiO}_2 > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$

となり、 HCO_3^- , SO_4^{2-} の変動は著しく、 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ の変動は比較的少ないことがわかる。

Fig. 3 は排水隧道 T3, T4 での HCO_3^- 含量と SO_4^{2-} 含量との関係を、Fig. 4 は同じく HCO_3^- 含量と Ca^{2+} 含量との関係をみたものである。前者はきれいな負の相関関係を示し、T3 では相関係数 $r = -0.97$,

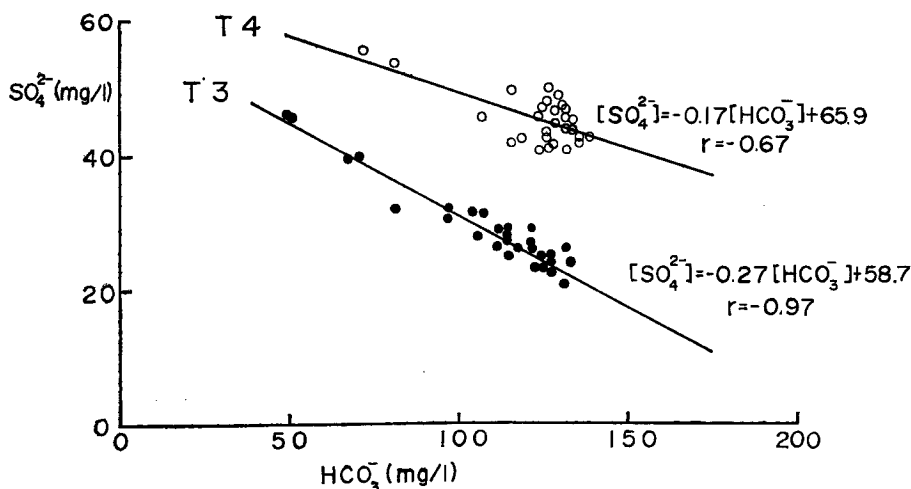


Fig. 3 Plots of SO_4^{2-} content against HCO_3^- content of waters in the Kamenose landslide area.

Table 1 Statistical characteristics of dissolved elements in the Kamenose landslide area (T3 and T4).

Chemical species	Na ⁺		Mg ²⁺		Ca ²⁺		Cl ⁻		HCO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻		Soluble SiO ₂	
Station No.	T3	T4	T3	T4	T3	T4	T3	T4	T3	T4	T3	T4	T3	T4
Number of analyses	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Minimum	11.9	15.5	7.5	9.3	26.2	34.8	6.4	10.0	51.2	73.1	20.6	40.2	24.4	29.6
Maximum	15.3	20.3	11.6	11.8	32.9	41.6	11.9	20.0	134.8	139.7	46.0	55.0	43.2	37.6
Mean	13.5	19.1	10.1	10.9	30.3	39.6	10.6	18.4	112.6	125.4	28.5	44.7	34.7	32.9
Standard deviation	1.1	1.0	1.1	0.7	1.4	1.8	1.0	2.5	20.4	14.1	5.7	3.5	5.2	2.3
Coefficient of variation	0.07	0.05	0.11	0.06	0.05	0.05	0.09	0.14	0.18	0.11	0.20	0.08	0.15	0.07

Table 2 Statistical characteristics of dissolved elements in the Kamenose landslide area (Sts. 32, 19 and 55).

Station No.	St. 32							St. 19							St. 55						
Number of analyses	7							6							6						
	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂
Minimum	12.6	6.6	9.9	9.9	40.9	23.4	34.1	10.3	10.5	32.6	10.7	74.6	35.4	27.8	7.1	7.5	18.2	4.4	71.7	25.3	29.6
Maximum	15.0	9.4	13.2	13.2	97.0	41.6	39.0	11.4	14.5	35.9	15.0	88.8	43.0	31.9	8.0	10.4	22.7	5.8	87.3	27.6	32.9
Mean	14.0	8.4	11.5	11.5	72.5	32.2	36.8	10.8	13.1	34.3	11.9	84.4	38.7	29.6	7.4	8.8	19.6	4.9	77.2	26.3	31.7
Standard deviation	0.9	0.9	1.1	1.1	20.4	6.4	1.6	0.4	1.3	1.0	1.5	5.0	3.2	1.3	0.4	0.9	1.8	0.6	6.2	0.8	1.1
Coefficient of variation	0.07	0.10	0.09	0.09	0.28	0.20	0.04	0.03	0.10	0.03	0.13	0.06	0.08	0.04	0.05	0.11	0.09	0.12	0.08	0.03	0.04

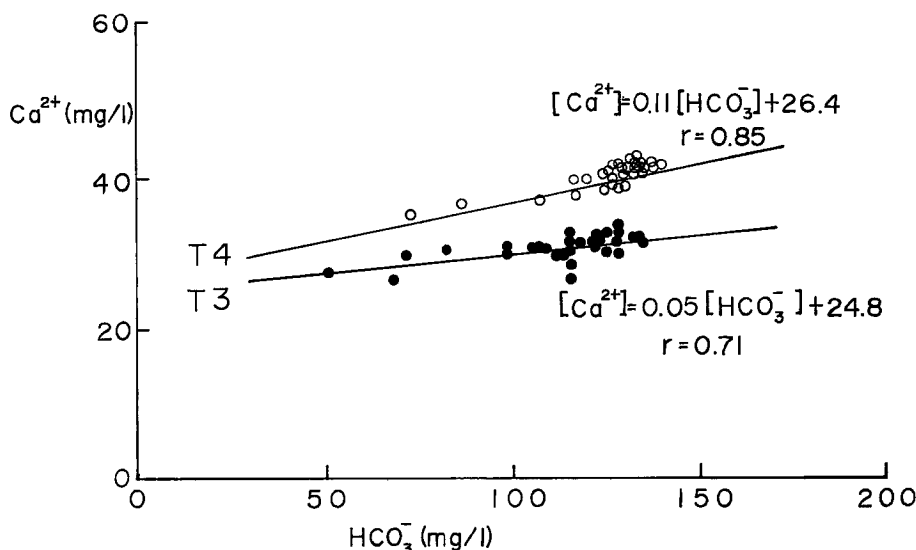


Fig. 4 Plots of Ca^{2+} content against HCO_3^- content of waters in the Kamenose landslide area.

T4 では $r = -0.67$ となり、後者ではきれいな正の相関関係を示し、T3 で $r = 0.71$ 、T4 で $r = 0.85$ となり、それぞれ危険率を1%とした場合に有意の差がみられた。

3.2) 隧道内排水ボーリング孔水の溶存化学成分と流量

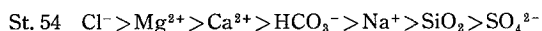
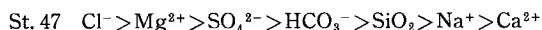
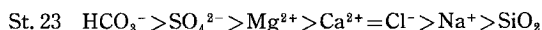
Fig. 5 は排水隧道 T1, T3, T5 の排水ボーリング孔から典型的とみなされるものを各隧道から一点づつ抽出し、それらの溶存化学成分をヘキサダイアグラムを用いて表示したものである^{2), 3)}。

高位置に存在する St. 32 では、流量 50ml/sec 以下を示す1973年9, 11, 12月の水の溶存成分量、組成はほとんど変化を示さない。流量 50~100ml/sec になると溶存成分の組成はかわらないが、成分量は減少し、流量が 100ml/sec 以上になると成分量はさらに小さくなり、同時に成分組成は大きくかわってくる。

中位置にある St. 19 では流量の変化で溶存成分量はそれほどかわらないが、成分組成において1972年7, 10月と他の月とでは若干ことになっているのがわかる。

低位置の St. 55 では流量変化はあまりみられなかった。流量 50ml/sec 以下と 50~100ml/sec とでは成分量に若干の差は認められるが、成分組成はほとんど同じである。

Table 2 には溶存化学成分の濃度範囲（最小値と最大値）とこれら化学成分の相対的な変動の大小を示すと考えられる変動係数などを示した。これから各成分の変動係数の大きさの順は



となり、 SO_4^{2-} の変動は著しく、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 SiO_2 の変動は比較的少ないことがわかる。

Fig. 6 は流量と HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 含量との関係を示したものであり、これから流量の増加とともに高位置の St. 32 と中位置の St. 19 の HCO_3^- 含量は減少しているが、低位置の St. 55 では HCO_3^- 含量は流量とはほとんど無関係になっている。

また SO_4^{2-} 含量との関係を見ると、高位置の St. 32 では流量の増加とともに SO_4^{2-} 含量は増加しているが、中位置の St. 19 はやや増加の傾向を示し、低位置の St. 55 においては流量に無関係にほぼ一定の SO_4^{2-} 含量を示している。

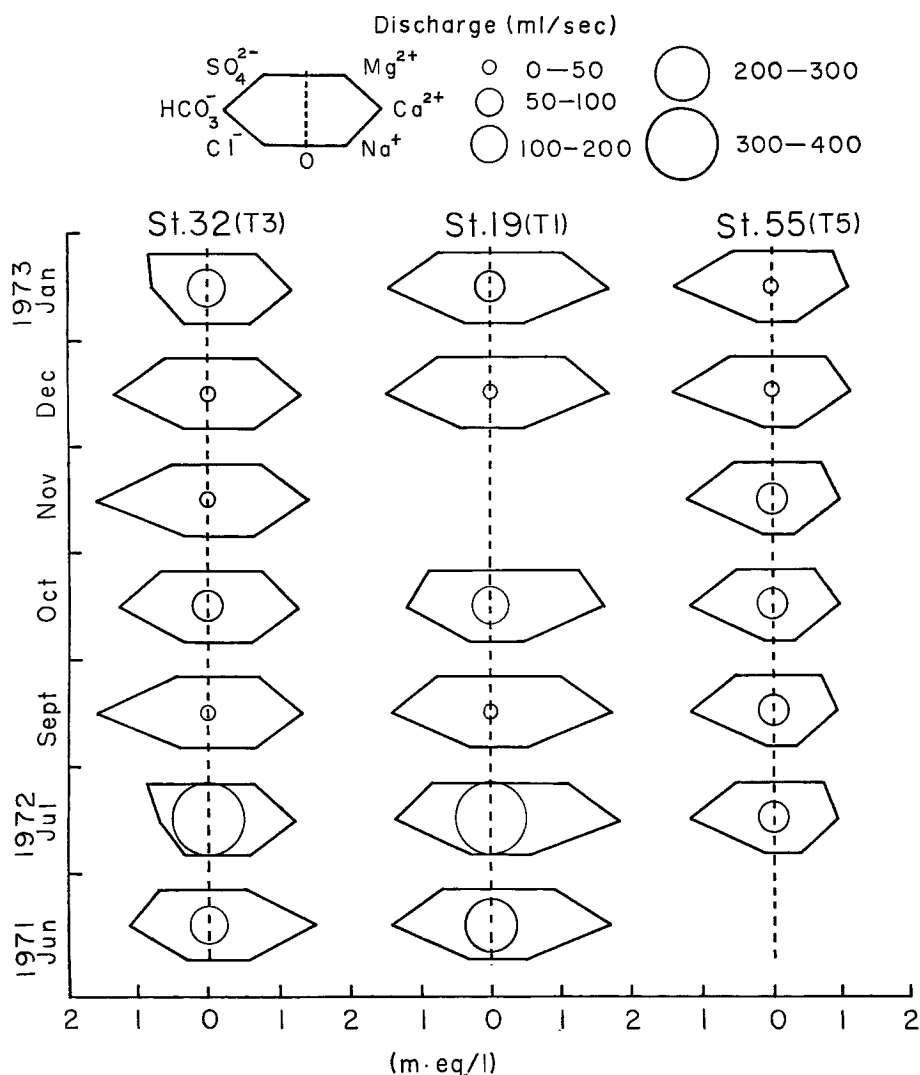


Fig. 5 Hexadiagrams used to represent milligram equivalents of major ionic constituents of waters in the Kamenose landslide area.

一般に地下水の滞留時間が長いと溶存酸素は消費され SO_4^{2-} は次第に還元され H_2S となり、それは鉄などと化合し水溶液から除かれていく⁴⁾。このことから St. 19, 32 の SO_4^{2-} の行動の説明はつくであろう。すなわち流量が多い場合にはその水の地下滞留時間が短いか、あるいは少々長くても流量の絶対量が多いので、流動の少ない場合に比較して溶存酸素の消費量が相対的に少ないため、より酸化状態が保持されるであろう。St. 54 の場合には他の2点に較べて低位置にあることから、この程度の流量では水が地中を通過している間に溶存酸素は消費され還元状態になっているであろう。

一方 HCO_3^- 含量は CO_2 を含む水と岩石、土壌との接触時間が長い程多くなる。従って流量が多いということと岩石、土壌との接触時間が短いということが同じ意義をもつとするならば、St. 19, 32 の流量と

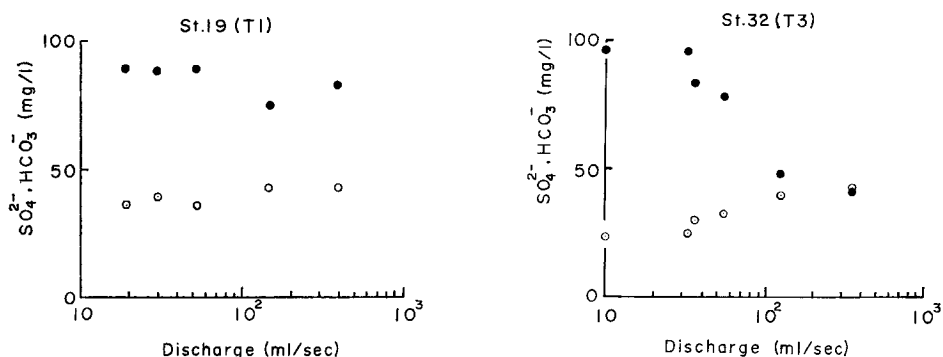


Fig. 6A Plots of HCO₃⁻ and SO₄²⁻ contents against discharge of waters in the Kamenose landslide area (●: HCO₃⁻ and ○: SO₄²⁻).

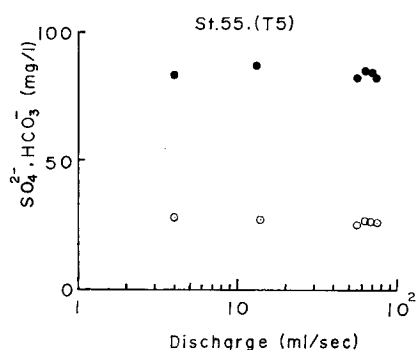


Fig. 6B Plots of HCO₃⁻ and SO₄²⁻ contents against discharge of waters in the Kamenose landslide area (●: HCO₃⁻ and ○: SO₄²⁻).

HCO₃⁻ 含量との関係は希釈効果により説明がつくであろう。また St. 55 では CO₂ による岩石、土壌の溶解速度と希釈速度とが等しいとするならば、この点での流量と HCO₃⁻ 含量との関係の説明はつくであろう。

4. 結 論

亀の瀬地すべり地内の排水隧道内水と隧道内排水ボーリング孔水の溶存化学成分の時間的変動と流量の調査結果から次のことがいえる。

- 1) HCO₃⁻, SO₄²⁻ 含量は降雨量とかなりよい対応性を示す。HCO₃⁻ 含量と SO₄²⁻ 含量とは逆相関を示す。
- 2) HCO₃⁻, SO₄²⁻ の変動は著しいが, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ の変動は比較的少ない。
- 3) 高位置にある排水ボーリング孔水の流量が 100 ml/sec 以上になると, 溶存化学成分量は小さくなり, 成分組成は大きくかわる。
- 4) 中位置および低位置の排水ボーリング孔水の化学成分量と組成にはあまり大きな変化がみられない。

謝 辞

本研究を遂行するに当り終始御指導と御教示を賜った名古屋大学理学部北野康教授に対し深甚なる謝意を表します。また試料採取に際し積極的な御援助を賜った京都大学理学研究科大学院生徳橋秀一氏および建設省大和工事事務所の各位にあわせ深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 吉岡龍馬・奥田節夫：水質からみた亀の瀬地すべり地帯の粘土鉱物生産量の推定，京都大学防災研究所年報，第15号 B，昭47，pp. 171-182.
- 2) 永井 茂：水質による地下水水系の解明，工業用水，No. 114，昭43，pp. 66-75.
- 3) 吉岡龍馬・古谷尊彦：地質的環境のことなる地すべり地の水質特性について，京都大学防災研究所年報，第16号 B，昭 48，pp. 127-139
- 4) Sugisaki, R.: Geochemical study of ground water, J. Earth Sci., Nagoya Univ., Vol. 10, 1962, pp. 1-33.