

# 亀の瀬地すべり地の地下水流について

奥 西 一 夫

## INVESTIGATION OF GROUND WATER FLOW IN THE KAMENOSE LANDSLIDE AREA

By Kazuo OKUNISHI

### Synopsis

Ground water flow regime of the Kamenose landslide area in Osaka Prefecture was investigated from 1964 to 1969 as a part of a synthetic research of the Kamenose landslide. The results of the investigations of the ground water level and the geological structure suggested that the ground water in this area can be treated as phreatic water. It was also confirmed by the result of the logging of the ground water flow in the boreholes. The distribution of ground water storage can be given from a contour map of the water table and a geological map showing the thickness of permeable layer (mainly weathered andesite). The path of significant ground water flow was estimated through the ground water tracing and the geochemical investigation of land waters. It was found that the main ground water vein exists in the zone where the landslide motion was significant. The result of the investigation of water balance in the watershed of a brook in the landslide area showed that the net recharge of the ground water accounts for about 60% of the annual precipitation. The discharge of the springs and the artificial drainage works, and the base flow of the brook in the watershed are summed up and compared with the ground water recharge. It is shown that about 60% of ground water recharge flows away without appearing on the ground surface in this area.

It is generally said that the ground water flow in landslide areas usually exists as ground water veins in the underground channels. It is demonstrated that, in such a case, distribution of the potential of ground water, direction of significant flow, and water balance of each part of the watershed must firstly be investigated to know the fundamental network of the ground water flow, and to know, then, its more detailed structure through further investigations.

### 1. 緒 論

筆者は昭和39年から44年にかけて亀の瀬地すべり調査グループ(代表者:佐々憲三)の一員として、地下水に関する調査を担当した。ここではその調査結果<sup>2)3)4)</sup>および建設省大和工事事務所による調査結果<sup>1)2)3)</sup>の中から地下水流に関するものをまとめ、それにもとづいて地すべり地における地下水流の調査のありかたについて考察する。

地すべり地およびその周辺の地形を Fig. 1 に示す。ここでクラックの印と矢印は昭和42年2月に発生した大地すべり<sup>5)</sup>による移動地塊と不動地塊の間にできたクラックと主要な地すべり流の方向を示す。

本地域の地下水調査は地下水流の実態把握を主目的としたが、地すべり地の地下水の特殊性、地すべりと地下水の関係、および排水工事の効果なども明らかにするために、地下水位、地下水流、水質、地下水収支、および地下水のかん養機構に関する調査をおこなった<sup>4)</sup>。調査地点の位置は Fig. 2 に示す。その他、山口らによって地温調査<sup>3)</sup>が、大和工事事務所によって電気探査<sup>3)</sup>が、地下水流の推定のために試みられた。

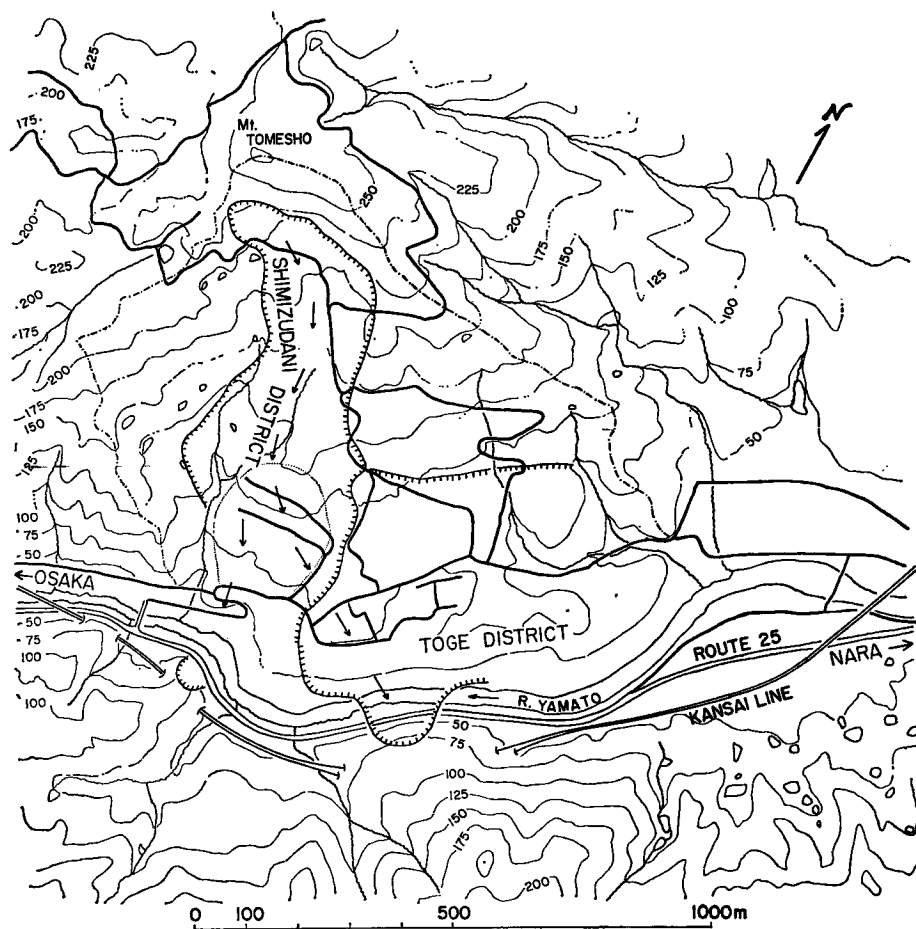


Fig. 1 A topographical map of the Kamenose landslide area. The direction of the main landslide flow in 1967 is shown with arrows.

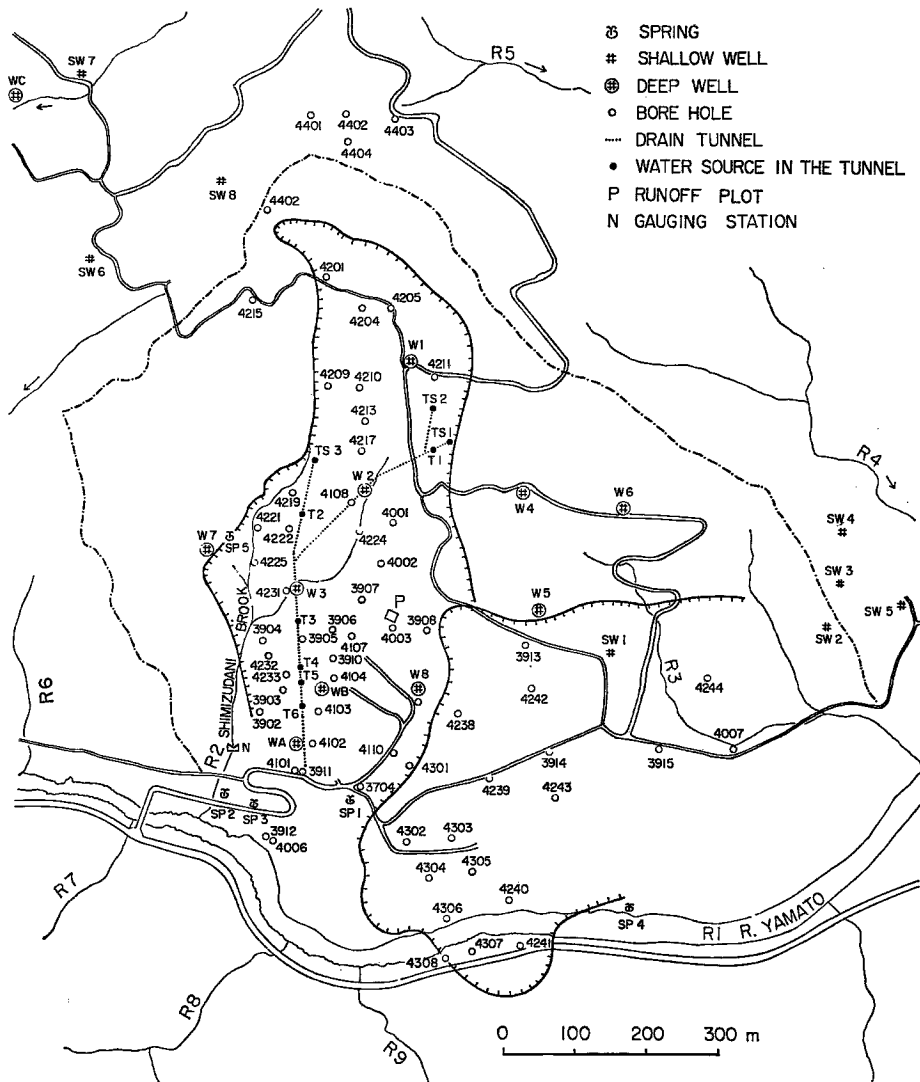


Fig. 2 Location of the hydrological stations cited in this paper.

## 2. 地下水の賦存状態

地すべり地の地下水は地すべり地特有の複雑な地盤構造と地すべり現象に対する関連を考慮して、地すべり地ごとに異なる取り扱いをする必要がある。本地すべり地は、表層は風化安山岩を主体とした透水性の高い物質より成り、その下に凝灰岩を主体とした透水性の低い地層があって、すべり面は両者の境界面付近に見られることが多い<sup>3)</sup>ので、この安山岩を主体とした地層（藤田の分類<sup>6)</sup>によるC層）内の地下水を対象にし、またこの地下水を自由面地下水として扱うことにした。調査の進展にともなって、この取扱いが原則的に正しかったことが確かめられた<sup>4)</sup>。



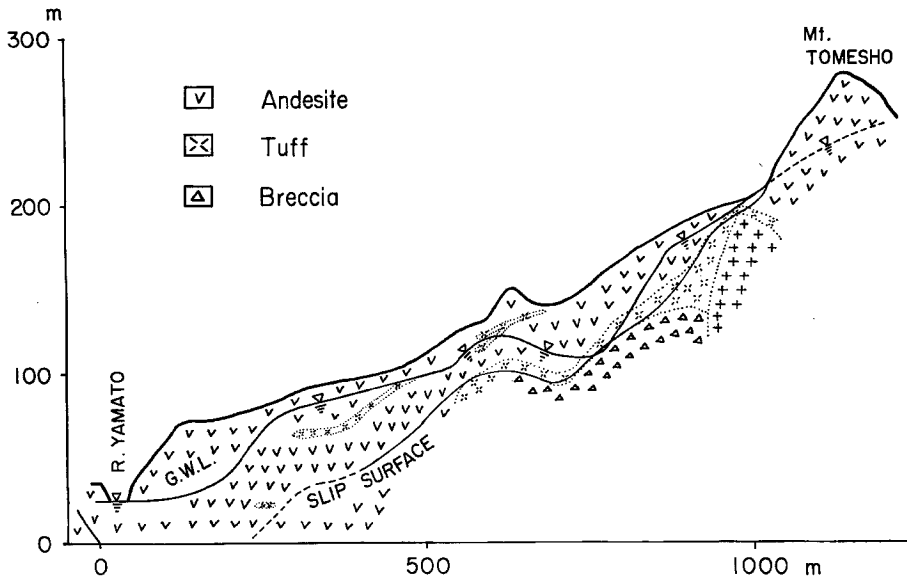


Fig. 4 A cross section of the water table and the geological structures across the line A-A in Fig. 3. The mark + indicates granite.

せき止められているものである<sup>3)</sup>が、峠地区でそれに連なるもの (Fig. 4 の左側) ではうすい不透水層が途切れている所で地下水位が急に落込んでいる。うすい不透水層の上の地下水面は宙水のそれを表わしている可能性がある。Fig. 4 の右側の段については地盤構造との関係も、地下水流との関係も不明である。花崗岩が突き出たようになっている所は断層ではないかと言われているが、地下水面の段とは明らかに異なっている。

以上の結果に空隙率の3次元的分布の調査結果を加えると地下水貯留量の分布を知ることができる。またこれだけでも定性的な分布を知ることが可能である。

### 3. トレーサーによる地下水流の追跡

昭和39年から41年にかけて著者らは食塩とウランをトレーサーとしてボーリング孔3903, 3904, 3906, 3908に投入し、清水谷地区下流部の地下水流を追跡した<sup>2) 3)</sup>。その結果清水谷左岸に沿う地下水流があり、その一部は清水谷に湧出していることがわかった。昭和43年には大和工事事務所によって硫酸マンガ、ローダミンB、およびウランによる清水谷地区上流部の地下水流の追跡がおこなわれた。それらの調査において投入点と検出点を直線で結んで得られた地下水流向を Fig. 5 に示す。かくして検出された地下水流は Fig. 1 に示された地すべり流 (下流部ではその西側の分流) の方向とよく一致している。峠地区の地下水流は追跡されていないが、地下水面の形、湧水の状況、および水質分布は、地すべり流の東側の分流に沿う地下水流の存在を示唆している。

上の追跡結果と湧水の流量調査および希釈法による溪流の流量の縦断分布調査にもとづいて地下水流のネットワークと流量分布を模式化すると Fig. 6 のようになる。ここで太い矢印は地下水を、細い矢印は地表水をあらわし、地点記号は Fig. 5 のそれに対応する。後で述べるようにここに示された流量は水収支計算から得られる流量にくらべてかなり少ない。

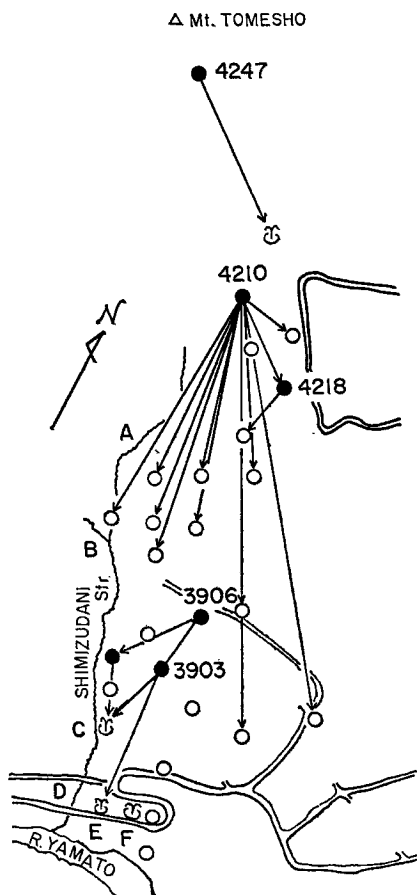


Fig. 5 The direction of ground water flow as obtained with tracer method. The black circles indicate the injection points.

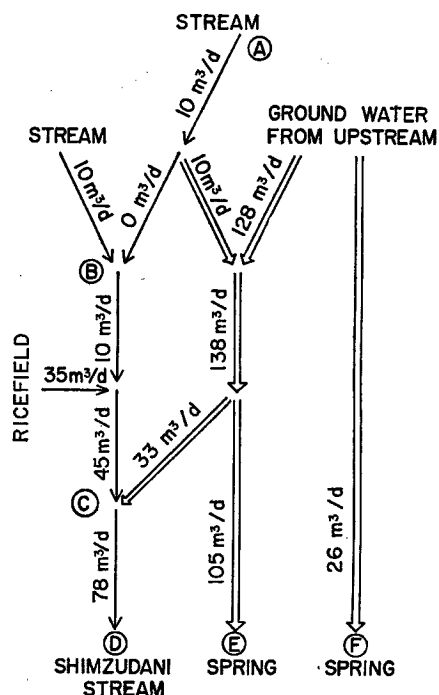


Fig. 6 The flow regime of the surface water (single arrows) and ground water (double arrows) in the downstream region of Shimizudani district.

#### 4. ボーリング孔における地下水検層

地すべり地においては地下水流の垂直分布は平面分布と同様に重要である。本地すべり地では大和工事事務所によって（一部著者らによって）地下水検層<sup>7)8)</sup>による地下水流の鉛直分布の調査が清水谷地区を中心に行われた<sup>3)</sup>。その結果、顕著な地下水流はほとんどの場合、第2節で述べた不透水層よりも上にもみ出された。このことは本地すべりの地下水を自由面地下水として扱ったこと（第2節参照）の正当性を支持している。清水谷地区上流部については、この調査の結果等にもとづいて集水井の位置が決定され、大むね良い結果が得られた。

#### 5. 水質分布による地下水流の推定

昭和39年から昭和44年にかけて著者らによって実施された水質調査の結果をTable 1に示す。その他に昭和42年に大和工事事務所による清水谷地区上流部の水質調査がある<sup>3)</sup>。これらのデータを解析した結果、次のようなことが明らかになった<sup>4)</sup>。本地すべり地の地下水に含まれる溶解物質は主として岩石・土

壤に由来するものと肥料など汚染物質によるものより成り、それらの割合は地下水の流路を反映している。 $\text{SO}_4^{--}/\text{HCO}_3^-$  (重量比) は 1 m 以浅の浅層地下水では 1 以上、湧水、清水谷の基底流出水、および地下水流速が大きいことがわかっているボーリング孔の水では 0.1~1, 明らかに水が停滞しているボーリング孔では 0.1 以下であった。したがって顕著な地下水流はこの値が 0.1~1 の間であるような地域にあると考えられる。Fig. 7 に示した  $\text{SO}_4^{--}/\text{HCO}_3^-$  の分布は地すべり流の上流部および西側の分流だけでなく、東側の分流に沿っても地下水流が顕著であることを示している。また水銀の微量分析の結果も清水谷地区上流部の旧水田地域から峠地区の SP4 方面に向かう地下水流があることを示している。排水トンネルの先端部から

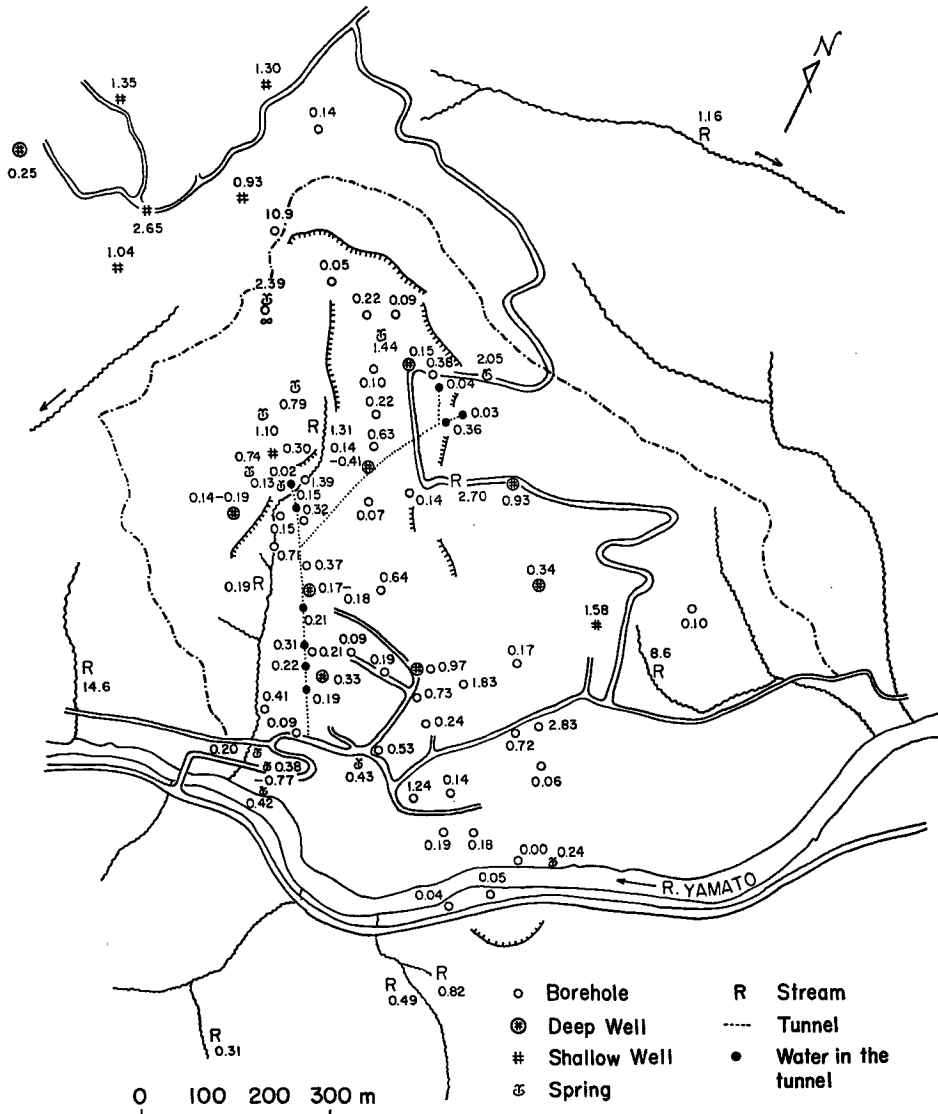


Fig. 7 The values of  $\text{SO}_4^{--}/\text{HCO}_3^-$  in the land waters. Significant ground water flow is found in the regions where the values are between 0.1 and 1.0.

Table 2 Annual recharge and discharge of ground water in the catchment area of Shimizudani brook in normal years.

|                                                |                        |
|------------------------------------------------|------------------------|
| Net recharge of ground water .....             | 303,000 m <sup>3</sup> |
| Ground water runoff to Shimizudani brook ..... | 37,000 m <sup>3</sup>  |
| Total discharge to the springs .....           | 80,000 m <sup>3</sup>  |
| Residual ground water .....                    | 185,000 m <sup>3</sup> |

の湧水 (TS1~3) は四季を通じてほとんど不変の大量の流量を示しているが水質は停滞水と同じである。これは通常の循環水ではなく、深所から湧出している (当然被圧水である) 可能性がある。

## 6. 流域の水収支と地下水のかん養機構

水収支に関する調査は著者らによって昭和 40 年から 42 年にかけて実施された<sup>4)</sup>。その結果、表面流出と中間流出の和が降水量の約 10% と推定された。蒸発散に関する調査はできなかったので、一応降水量の 30% と仮定すると、地下水の実質かん養量は降水量の 60% 程度になる。これと清水谷の基底流出量および湧水の湧出量を比較すると Table 2 のようになり、供給された地下水の半分以上は地表にあらわれずに大和川 (Fig. 1 参照) に流入しているものと考えられる。この地下水を適当な場所で人工的に排水すれば地すべり防止に大きな効果が得られることが考えられる。この調査の後、集水井と排水トンネルによる排水工事がおこなわれており、昭和 45 年には 1 年に 100,000 m<sup>3</sup> 以上の地下水が人工的に排水された。その結果大和川沿いの湧水はほとんど枯れており、地下水流のパターンも現在ではかなり変化しているものと考えられる。

地表面に供給された雨水が地下水面に供給されるまでの過程に関して、中性子水分計による土壌水分の変化と触針型自記水位計による地下水位の時間的変化に関する調査は昭和 40 年から 44 年にかけて著者らによっておこなわれた<sup>4)</sup>。観測データの量が少ないので定性的なことしか言えないが、不飽和帯は透水性と保水性が共に高く、降水量が 50 mm 以下の時は浸透水は不飽和帯に貯留されて地下水位は変化しないが、降水量がある限界 (50 mm 程度) を越えると地下水位は急速に上昇する。

## 7. 考 察

地すべり地の地下水流は 2 次元的ではなく、特定の水みちを通して流れている場合が多いといわれ、実際に水みちが確認された例も少なくない。このことは地すべり地に限らず、山地、丘陵地の地下水に共通したことであると思われる。また亀の瀬地すべり地においても、地表および排水トンネル内の湧水量が特定の地点に集中していることから、水みちの存在は十分考えられる。水みちの探査法としては、地表面の温度分布によるものが考えられている<sup>9)</sup> が、亀の瀬地すべり地のようにある程度地下水位が低い場合には適用が困難なようである<sup>3)</sup>。また地下水脈の外にも地下水は存在するわけであるから、地下水脈だけを対象にした調査によって地下水系の全貌をとらえることはできない。

地下の水みちは透水係数 ( $k$ ) が周囲よりも特別に大きい領域 (例えばクラック) であると考えられるが、水みちの中のみ顕著な地下水流がある場合、水みちの外で得たデータにもとづいて地下水流を推定しても、水みちの中の流れはそれと全く異なっている可能性がある。地下水位や地下水圧は地下水のポテンシャル ( $\phi$ ) を表わし、地下水流の推定のためによく使われる。 $k$  が一様でない媒質中の定常流に対しては<sup>10)</sup>,

$$\nabla \cdot (k \nabla \phi) = 0, \quad \text{又は} \quad k \Delta \phi + \nabla k \cdot \nabla \phi = 0 \quad (1)$$

この場合  $\nabla \phi$  は水みちの方向に沿い、 $\nabla k$  はそれに直角であるから両者のスカラー積はゼロになり、(1) 式は  $k$  の不均一存在に無関係なプラス方程式、

$$\Delta \phi = 0 \quad (2)$$

になる。したがって水みちの内外のポテンシャルは特にくい違わない。また水みちに対して周囲から顕著な流入および流出がある場合は、(1) 式から水みちの内外でポテンシャルの分布にくい違いを生ずることが予



想されるが、この場合は通常の方法で水みちの外の顕著な地下水流を正しく推定できるから、大きな誤りは生じない。したがって水みちの外のポテンシャル分布から地下水流の概要を推定することができる。一方流速は水みちの内外で大きく異なるので、トレーサーの追跡などによって得られる局所的な流速に断面積をかけてある地域の地下水流量を求めるのは危険である。

上の考察から、地すべり地の地下水調査に際しては、まず本報で述べたような地下水位（又は地下水圧）の分布、地下水収支、表流水の流量の調査、およびその他の補助的な調査（追跡、水質調査など）から流域内の地下水流を総括的に把握し、その結果にもとづいて水脈調査などの詳細調査を実施するのが望ましいと考えられる。

地すべり地の水理地質学的構造は複雑であるから、個々の地下水調査はそれぞれ何らかの単純化のための仮定の上に成り立っている。したがって地下水調査に際しては複数の方法を併用する必要がある。方法によって異なる結果が出た場合には、それぞれの仮定の吟味によって正しい方を選ぶことができるし、またそこから新しい知見が得られるかも知れない。亀の瀬地すべり地の例ではトンネル内の湧水の水質特性と湧出量の矛盾からその起源が推定された。

調査方法の選択、結果の解釈に際しては当然のことながら現場の特殊性を考慮しなければならない。例えば亀の瀬地すべり地では自由面地下水であることがわかった結果、調査がきわめて簡略化された。また水質調査において人為的汚染は一般的には有害無益であるが、ここでは汚染の度合いが地下水流のインディケータになった。

亀の瀬地すべり地の地下水の実態についてはこれまでの調査によってその概要はほぼ明らかになったが、今後さらに詳しい調査が必要である。地下水と地すべりの関係については統計的な関係<sup>9)</sup>が見出されているのみで、物理的な説明はまだ不可能である。排水工事に伴う地下水流のパターンの変化を明らかにすることも重要である。また排水トンネル内の湧水の起源については未確定であり、大量の湧出量にかんがみ、詳細な調査が必要である。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたって多くの助言をいただいた亀の瀬地すべり調査グループの各位、特に奥田節夫教授と福尾義昭助教授、ならびに現地調査に際して援助していただいた大和工事事務所の各位に感謝します。

## 参 考 文 献

- 1) 建設省大和工事事務所：亀の瀬地すべり調査報告書（その1）、昭38.
- 2) 同上（その2）、昭40.
- 3) 同上（その3）、昭44.
- 4) Okunishi, K.: Ground Water Regime of the Kamenose Landslide Area, Osaka Prefecture, Special Contributions, Geophysical Institute, Kyoto Univ., No. 10, 1971, pp. 105-126.
- 5) 高篠 香・弓削田英男：亀の瀬新地すべりの概要、地すべり、第4巻、第1号、昭42, pp. 12-20.
- 6) 藤田 崇：亀の瀬地すべりの研究(3)、地すべり、第4巻、第1号、昭42, pp. 29-38.
- 7) Okunishi, K. and S. Okuda: A New Method for Tracing Ground Water Flow with Low Head Gradient, Special Contributions, Geophysical Institute, Kyoto Univ., No. 5, 1965, pp. 93-97.
- 8) 渡正 亮・酒井淳行：ボーリング孔を利用した地下水垂直探査について、地すべり、第2巻、第1号、昭40, pp. 1-9.
- 9) 山口真一・高田雄次・竹内篤雄：串林地すべり地について、京都大学防災研究所年報、第12号B、昭44, pp. 25-45.
- 10) Aravin, V. I. and S. N. Numerov: The Theoey of Fluid Flow in Undeformable Porous Media (English Ed.), 1965, pp. 63-65.

Table 1 Quality of landwaters in the Kamenose landslide area.

| Location          | Date of sampling | pH   | temp (°C) | Na <sup>+</sup> (mg/l) | Ca <sup>++</sup> (mg/l) | Mg <sup>++</sup> (mg/l) | Cl <sup>-</sup> (mg/l) | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l) | soluble silica (mg/l) |
|-------------------|------------------|------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| R 1               | Jul. 25 '66      | >9.0 | 33.7      |                        | 29.7                    | 4.8                     | 28.2                   | 102.4                                |                                      |                       |
|                   | Feb. 7 '67       | 7.2  | 9.3       | 26.0                   | 27.5                    | 4.9                     | 30.0                   | 112.2                                |                                      | 19.9                  |
|                   | May 19 '67       | 8.1  | 25.0      | 29.6                   | 28.9                    | 5.4                     | 33.2                   | 107.4                                |                                      |                       |
| R 2 (upstream)    | Mar. 25 '67      | 7.6  |           | 11.1                   | 27.2                    | 9.6                     | 12.7                   | 39.8                                 |                                      | 30.0                  |
|                   | Jun. 23 '67      | 7.1  | 19.0      | 10.4                   | 29.2                    | 9.9                     | 10.0                   | 113.8                                |                                      |                       |
|                   | Mar. 11 '69      | 7.8  | 10.6      |                        | 49.5*                   |                         | 11.6                   | 34.1                                 | 44.8                                 |                       |
| R 2 (down-stream) | Jul. 15 '65      | 7.6  | 24.5      |                        | 46*                     |                         | 13.4                   | 56**                                 |                                      |                       |
|                   | Feb. 7 '67       | 7.4  | 8.5       | 12.4                   | 19.7                    | 6.8                     | 12.4                   | 43.6                                 |                                      | 16.8                  |
|                   | May 19 '67       | 8.2  | 20.0      | 18.3                   | 22.6                    | 7.2                     | 9.8                    | 74.5                                 |                                      |                       |
| R 3               | Apr. 5 '67       | 7.0  |           | 9.4                    | 28.5                    | 9.8                     | 18.8                   | 10.8                                 |                                      |                       |
| R 4               | May 18 '67       | 7.0  |           | 8.7                    | 9.7                     | 5.4                     | 7.9                    | 29.6                                 |                                      |                       |
| R 5               | Aug. 26 '69      | 6.9  | 20.0      | 7.7                    | 10.0                    | 3.8                     | 11.8                   | 16.4                                 | 19.0                                 | 25.8                  |
| R 6               | Apr. 5 '67       | 7.0  |           | 15.6                   | 24.1                    | 6.0                     | 11.5                   | 6.4                                  |                                      |                       |
|                   | May 19 '67       | 6.8  | 15.0      | 24.1                   | 19.7                    | 5.0                     | 10.4                   | 8.0                                  |                                      |                       |
|                   | Apr. 3 '67       | 7.0  |           | 6.9                    | 6.1                     | 4.3                     | 3.2                    | 10.2                                 |                                      |                       |
| R 8               | Aug. 26 '69      | 6.9  | 18.0      | 7.4                    | 6.3                     | 0.8                     | 5.0                    | 27.1                                 | 8.3                                  | 35.2                  |
| R 9               | Aug. 26 '69      | 7.5  | 18.6      | 9.4                    | 8.1                     | 1.7                     | 5.2                    | 33.1                                 | 16.2                                 | 54.8                  |
| S P1              | Jul. 15 '65      | 7.4  | 16.5      |                        | 50*                     |                         | 8.2                    | 59**                                 |                                      |                       |
|                   | Jul. 25 '66      | 7.2  | 16.0      |                        | 27.6                    | 10.6                    | 9.8                    | 77.5                                 |                                      |                       |
|                   | Feb. 7 '67       | 7.4  | 16.0      | 7.8                    | 27.1                    | 12.1                    | 8.7                    | 69.9                                 |                                      | 8.3                   |
|                   | Mar. 25 '67      | 7.4  |           | 8.9                    | 31.0                    | 10.9                    | 9.7                    | 63.3                                 |                                      | 30.8                  |
|                   | Apr. 5 '67       | 7.3  |           | 9.0                    | 34.1                    | 9.2                     | 9.8                    | 59.7                                 |                                      |                       |
|                   | May 9 '67        |      |           | 8.4                    | 27.2                    | 11.0                    | 8.2                    | 65.3                                 |                                      |                       |
|                   | May 19 '67       | 7.3  | 16.9      | 8.7                    | 27.5                    | 10.8                    | 8.0                    | 70.7                                 |                                      |                       |
|                   | Jun. 8 '67       | 7.3  | 16.5      | 8.8                    | 29.8                    | 9.7                     | 8.5                    | 75.8                                 |                                      |                       |
|                   | Jun. 23 '67      | 7.3  | 17.2      | 10.5                   | 27.7                    | 9.9                     | 8.6                    | 79.9                                 |                                      |                       |
|                   | Aug. 18 '67      |      |           | 8.8                    | 31.0                    | 8.7                     | 8.1                    | 81.3                                 |                                      |                       |
|                   | Oct. 25 '67      | 7.4  | 16.0      | 7.6                    | 26.1                    | 11.3                    | 8.0                    | 92.1                                 |                                      |                       |
|                   | Jan. 10 '68      | 7.5  | 14.5      | 7.9                    | 29.2                    | 11.1                    | 8.2                    | 96.2                                 |                                      |                       |
|                   | Jul. 19 '68      | 7.1  | 16.0      |                        |                         |                         |                        | 67.4                                 |                                      |                       |
|                   | Mar. 11 '69      | 7.4  | 14.9      |                        | 57.5*                   |                         | 11.7                   | 81.8                                 | 35.3                                 |                       |
|                   | Jul. 12 '69      |      |           | 9.8                    | 27.8                    | 10.5                    | 7.8                    | 63.2                                 | 36.8                                 | 32.7                  |
| S P2              | Jul. 25 '66      | 7.4  | 16.3      |                        | 26.0                    | 8.7                     | 13.0                   | 58.9                                 |                                      |                       |
|                   | Jul. 25 '66      | 7.4  | 16.1      |                        | 24.3                    | 9.7                     | 12.4                   | 58.9                                 |                                      |                       |
|                   | Feb. 7 '67       | 7.6  | 15.5      | 10.1                   | 22.9                    | 9.0                     | 10.9                   | 51.9                                 |                                      | 21.5                  |
|                   | Feb. 7 '67       | 7.7  | 15.4      | 10.0                   | 24.3                    | 7.7                     | 11.1                   | 52.6                                 |                                      | 21.6                  |
|                   | Mar. 25 '67      | 7.5  |           | 10.4                   | 24.6                    | 9.0                     | 11.5                   | 43.1                                 |                                      | 21.5                  |
|                   | May 9 '67        |      |           | 13.2                   | 24.0                    | 6.5                     | 11.9                   | 40.3                                 |                                      |                       |
|                   | May 19 '67       | 8.1  | 15.8      | 10.4                   | 22.8                    | 9.1                     | 9.3                    | 80.3                                 |                                      |                       |
|                   | Jun. 8 '67       | 7.7  | 16.0      | 15.8                   | 30.2                    | 7.5                     | 12.3                   | 107.2                                |                                      |                       |
|                   | Jun. 23 '67      | 7.7  | 15.7      | 13.9                   | 23.5                    | 8.6                     | 10.5                   | 98.3                                 |                                      |                       |
|                   | Aug. 18 '67      |      |           | 13.1                   | 27.5                    | 8.6                     | 9.4                    | 100.9                                |                                      |                       |

| Location | Data of sampling | pH      | temp (°C) | Na <sup>+</sup> (mg/l) | Ca <sup>++</sup> (mg/l) | Mg <sup>++</sup> (mg/l) | Cl <sup>-</sup> (mg/l) | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l) | soluble silica (mg/l) |
|----------|------------------|---------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| S P 3    | Jan. 10 '68      | 8.0     | 15.0      | 12.5                   | 25.6                    | 8.5                     | 10.7                   | 104.6                                |                                      |                       |
|          | Jul. 19 '68      | 8.1     | 20.0      |                        |                         |                         |                        | 84.1                                 |                                      |                       |
|          | Mar. 25 '67      | 7.6     |           | 9.4                    | 24.4                    | 10.1                    | 9.5                    | 45.4                                 |                                      | 21.4                  |
| S P 4    | Mar. 29 '67      | 7.4     |           | 11.8                   | 31.6                    | 14.0                    | 14.1                   | 85.7                                 |                                      | 37.2                  |
|          | Jun. 23 '67      | 7.3     | 22.0      | 13.1                   | 31.9                    | 15.5                    | 12.3                   | 89.3                                 |                                      |                       |
| S P 5    | Oct. 25 '67      | 7.8     | 16.7      | 9.4                    | 28.2                    | 7.5                     | 8.6                    | 102.3                                |                                      |                       |
|          | Mar. 29 '67      |         |           | 9.8                    | 37.9                    | 8.3                     | 11.1                   | 24.5                                 |                                      | 46.8                  |
|          | Apr. 3 '67       | 7.0     |           | 8.7                    | 33.5                    | 7.0                     | 14.2                   | 18.9                                 |                                      |                       |
| SW1      | Jul. 25 '66      | 6.4     | 16.0      |                        | 21.3                    | 8.0                     | 13.3                   | 39.1                                 |                                      |                       |
|          | Apr. 5 '67       | 6.3     |           | 9.8                    | 31.0                    | 9.3                     | 15.9                   | 17.6                                 |                                      |                       |
|          | May 19 '67       | 6.5     | 22.5      | 11.0                   | 19.2                    | 9.4                     | 12.8                   | 21.1                                 |                                      |                       |
| SW2      | Mar. 11 '68      | 6.0     | 11.4      |                        | 42.5*                   |                         | 13.7                   | 23.0                                 | 36.3                                 |                       |
|          | Jul. 19 '68      | 6.2     | 17.0      |                        |                         |                         |                        | 20.7                                 |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 7.4     | 16.6      |                        | 22.4                    | 8.4                     | 7.8                    | 79.4                                 |                                      |                       |
| SW3      | May 18 '67       | 5.0     |           | 4.0                    | 0.7                     | 1.2                     | 3.8                    | 3.4                                  |                                      |                       |
| SW5      | May 18 '67       | 5.7     |           | 6.6                    | 3.8                     | 3.4                     | 4.8                    | 5.7                                  |                                      |                       |
| SW6      | Aug. 26 '69      | 6.2     | 16.3      | 22.9                   | 25.1                    | 6.4                     | 21.1                   | 45.1                                 | 46.8                                 | 32.7                  |
| SW7      | Aug. 26 '69      | 6.4     | 20.2      | 37.7                   | 25.4                    | 4.7                     | 23.4                   | 37.8                                 | 50.1                                 | 27.6                  |
| SW8      | Aug. 26 '69      | 6.6     | 17.7      | 26.5                   | 22.8                    | 7.5                     | 31.8                   | 36.3                                 | 41.5                                 | 32.4                  |
| WA       | Jul. 15 '65      | 7.7     |           |                        |                         |                         |                        | 155**                                |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 8.6     | 15.4      |                        | 21.7                    | 1.1                     | 6.4                    | 168.7                                |                                      |                       |
| WB       | Jul. 15 '65      | 7.7     | 13.6      |                        |                         |                         |                        | 82**                                 |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 7.4     |           |                        | 13.5                    | 3.2                     | 4.8                    | 69.5                                 |                                      |                       |
|          | Mar. 12 '69      | 7.8     | 10.8      |                        | 27.2*                   |                         | 3.1                    | 74.8                                 | 24.8                                 |                       |
| WC       | Aug. 26 '69      | 7.0     |           | 7.0                    | 10.0                    | 1.8                     | 6.4                    | 40.9                                 | 10.1                                 | 15.0                  |
| W 1      | Mar. 11 '69      | 7.8     | 14.8      |                        | 48.1*                   |                         | 7.5                    | 128.0                                | 13.3                                 |                       |
|          | Aug. 26 '69      |         | 15.3      | 9.4                    | 24.8                    | 15.2                    | 5.4                    | 171.3                                | 6.5                                  | 59.6                  |
| W 2      | Mar. 11 '69      | 8.0     | 15.9      |                        | 49.5*                   |                         | 9.9                    | 90.3                                 | 22.4                                 |                       |
|          | Mar. 11 '69      |         |           |                        | 48.9*                   |                         | 9.7                    | 85.4                                 | 24.2                                 |                       |
|          | Mar. 11 '69      |         |           |                        | 50.2*                   |                         | 10.3                   | 93.1                                 | 22.1                                 |                       |
|          | Mar. 11 '69      |         |           |                        | 50.2*                   |                         | 13.3                   | 104.9                                | 14.2                                 |                       |
|          | Aug. 26 '69      |         | 16.7      | 9.1                    | 26.6                    | 11.2                    | 9.9                    | 72.9                                 | 30.0                                 | 32.7                  |
| W 3      | Mar. 12 '69      | 8.1     | 16.5      |                        | 50.8*                   |                         | 9.1                    | 123.3                                | 21.8                                 |                       |
|          | Aug. 26 '69      | 7.6     | 17.9      | 10.1                   | 31.5                    | 11.7                    | 8.8                    | 123.6                                | 21.0                                 | 22.4                  |
| W 4      | Mar. 10 '69      | 8.2     | 9.0       |                        | 54.5*                   |                         | 16.7                   | 41.5                                 | 38.4                                 |                       |
| W 5      | Mar. 11 '69      | 8.1     | 8.7       |                        | 78.4*                   |                         | 11.2                   | 126.7                                | 43.6                                 |                       |
| W 7      | Aug. 26 '69      | 7.7     | 20.6      | 9.3                    | 27.9                    | 14.2                    | 7.5                    | 119.0                                | 27.1                                 | 29.1                  |
| W 8      | Mar. 12 '69      | 8.1     | 15.2      |                        | 52.7*                   |                         | 7.1                    | 110.2                                | 28.4                                 |                       |
|          | Aug. 26 '69      |         | 15.5      | 13.3                   | 21.2                    | 7.0                     | 16.1                   | 94.6                                 | 18.4                                 | 84.8                  |
|          | Aug. 26 '69      |         | 15.0      | 15.8                   | 35.6                    | 11.1                    | 10.0                   | 171.6                                | 24.3                                 | 62.8                  |
| 3704     | Mar. 12 '69      | 6.2-6.4 | 11.2      |                        | 50.6*                   |                         | 11.0                   | 49.6                                 | 26.3                                 |                       |
| 3902     | Jul. 15 '65      | 7.8     | 14.7      |                        | 53*                     |                         | 5.7                    | 182**                                |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 8.3     |           |                        | 35.5                    | 16.2                    | 8.2                    | 207.2                                |                                      |                       |

| Location | Data of sampling | pH      | temp (°C) | Na <sup>+</sup> (mg/l) | Ca <sup>++</sup> (mg/l) | Mg <sup>++</sup> (mg/l) | Cl <sup>-</sup> (mg/l) | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l) | soluble silica (mg/l) |
|----------|------------------|---------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 3903     | Jul. 15 '65      | >9      | 18.7      |                        | 34*                     |                         | 8.8                    | 51**                                 |                                      |                       |
| 3904     | Jul. 15 '65      |         | 17.3      |                        | 26*                     |                         | 7.1                    |                                      |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      |         | 16.8      |                        |                         |                         |                        |                                      |                                      |                       |
| 3905     | Jul. 15 '65      |         | 17.0      |                        | 29*                     |                         | 7.8                    |                                      |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 8.9     | 17.7      |                        | 23.5                    | 4.3                     | 20.6                   | 129.0                                |                                      |                       |
| 3907     | Jul. 25 '66      | 7.1     | 19.4      |                        | 73.5                    | 6.9                     | 42.4                   | 225.2                                |                                      |                       |
|          | May 18 '67       | 8.1     |           |                        |                         |                         | 21.4                   |                                      |                                      |                       |
| 3908     | Jul. 15 '65      |         | 16.5      |                        | 73*                     |                         | 13.9                   | 154**                                |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 7.2     | 22.3      |                        | 44.5                    | 20.6                    | 67.6                   | 76.4                                 |                                      |                       |
| 3910     | Jul. 15 '65      |         | 18.6      |                        | 41*                     |                         | 8.1                    |                                      |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 7.2     |           |                        | 29.0                    | 8.6                     | 13.6                   | 86.8                                 |                                      |                       |
| 3911     | Jul. 15 '65      | 7.1     | 17.3      |                        | 36*                     |                         | 6.0                    | 166**                                |                                      |                       |
|          | May 19 '67       | 6.6     | 17.0      | 12.5                   | 18.9                    | 7.4                     | 4.0                    | 110.0                                |                                      |                       |
| 3912     | Jul. 15 '65      | 7.6     | 18.8      |                        | 48*                     |                         | 10.7                   | 81**                                 |                                      |                       |
| 3914     | Jul. 15 '65      | 7.0     | 19.1      |                        | 42*                     |                         | 14.3                   | 189**                                |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 6.4     | 18.0      |                        | 12.5                    | 4.0                     | 7.3                    | 53.4                                 |                                      |                       |
|          | May 19 '67       | 6.7     | 20.5      | 18.3                   | 26.0                    | 10.2                    | 5.3                    | 106.3                                |                                      |                       |
|          | Oct. 25 '67      | 6.9     | 17.8      | 19.0                   | 35.8                    | 12.2                    | 9.6                    | 122.5                                |                                      |                       |
|          | Mar. 11 '69      | <7.0    | 15.5      |                        | 58.3*                   |                         | 12.0                   | 31.7                                 | 74.6                                 |                       |
| 3915     | Jul. 15 '65      | 7.6     | 19.1      |                        | 61*                     |                         | 6.4                    | 178**                                |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 7.4     | 18.5      |                        | 29.9                    | 19.2                    | 11.7                   | 181.8                                |                                      |                       |
|          | May 19 '67       | 7.3     | 19.0      | 11.4                   | 33.4                    | 18.5                    | 9.5                    | 176.1                                |                                      |                       |
| 4001     | Jul. 25 '66      | 7.6-8.0 | 19.1      |                        | 49.5                    | 17.0                    | 19.0                   | 217.1                                |                                      |                       |
| 4002     | Jul. 15 '65      |         |           |                        | 29*                     |                         | 12.1                   |                                      |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | 7.6     | 20.8      |                        | 53.5                    | 5.7                     | 17.2                   | 107.1                                |                                      |                       |
|          | May 18 '67       | 8.6     |           | 21.2                   | 41.9                    | 7.2                     | 14.6                   | 121.5                                |                                      |                       |
| 4003     | Jul. 25 '66      | 7.4     | 19.5      |                        | 25.6                    | 13.5                    | 10.0                   | 176.1                                |                                      |                       |
| 4004     | Jul. 15 '65      |         |           |                        | 23*                     |                         | 12.2                   |                                      |                                      |                       |
|          | Jul. 25 '66      | >9.0    | 19.2      |                        | 68.9                    | 8.8                     | 46.0                   | 121.6                                |                                      |                       |
| 4006     | Jul. 25 '66      | 7.1     | 17.2      |                        | 33.6                    | 13.1                    | 12.7                   | 96.7                                 |                                      |                       |
|          | May 19 '67       | 7.1     | 19.0      | 19.1                   | 28.1                    | 11.1                    | 10.2                   | 67.2                                 |                                      |                       |
| 4007     | Jul. 25 '66      | 6.6     | 20.3      |                        | 30.2                    | 11.1                    | 10.7                   | 96.8                                 |                                      |                       |
|          | May 19 '67       | 6.9     | 18.0      | 10.6                   | 28.5                    | 10.5                    | 13.5                   | 33.9                                 |                                      |                       |
| 4101     | Jul. 25 '66      | 7.2     |           |                        | 17.0                    | 4.2                     | 12.6                   | 226.4                                |                                      |                       |
| 4102     | Jul. 25 '66      | 6.4     | 17.4      |                        | 26.9                    | 11.0                    | 21.6                   | 176.8                                |                                      |                       |
| 4103     | Jul. 25 '66      | >9.0    |           |                        | 23.8                    | 4.1                     | 12.0                   | 166.3                                |                                      |                       |
| 4105     | Jul. 25 '66      | 7.6     | 17.8      |                        | 43.7                    | 17.5                    | 27.8                   | 186.1                                |                                      |                       |
| 4106     | Jul. 25 '66      | 7.4     | 18.5      |                        | 48.2                    | 15.7                    | 49.0                   | 230.1                                |                                      |                       |
| 4107     | Mar. 11 '69      | >9.8    | 15.4      |                        |                         |                         |                        |                                      |                                      |                       |
| 4108     | Jul. 25 '66      | >9.2    | 19.0      |                        | 312.4                   | 15.3                    | 251.6                  | 971.5                                |                                      |                       |
|          | May 18 '67       | 8.8     |           | 20.8                   | 33.1                    | 8.5                     | 46.5                   | 101.2                                |                                      |                       |
| 4110     | Jul. 25 '66      | 9.2     | 19.4      |                        | 39.9                    | 4.9                     | 18.7                   | 195.4                                |                                      |                       |
|          | May 18 '67       | >9.8    |           | 34.8                   | 38.8                    | 2.2                     | 8.6                    | 193.3                                |                                      |                       |

| Location | Data of sampling | pH      | temp (°C) | Na <sup>+</sup> (mg/l) | Ca <sup>++</sup> (mg/l) | Mg <sup>++</sup> (mg/l) | Cl <sup>-</sup> (mg/l) | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (mg/l) | soluble silica (mg/l) |
|----------|------------------|---------|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 4202     | Aug. 26 '69      | 5.6-5.8 | 15.9      | 20.7                   | 30.3                    | 4.9                     | 14.9                   | 6.3                                  | 68.5                                 | 26.4                  |
| 4215     | Aug. 26 '69      | 6.7     | 18.3      | 10.2                   | 4.8                     | 1.4                     | 12.0                   | 0                                    | 11.7                                 | 16.5                  |
| 4238     | Oct. 25 '67      | 7.7     | 16.7      | 39.3                   | 88.2                    | 4.8                     | 25.5                   | 106.0                                |                                      |                       |
| 4239     | Oct. 25 '67      | 7.7     | 18.5      | 16.5                   | 60.2                    | 13.0                    | 18.3                   | 137.3                                |                                      |                       |
| 4240     | Oct. 25 '67      | 8.6     | 22.8      | 26.9                   | 25.8                    | 8.1                     | 10.5                   | 186.3                                |                                      |                       |
| 4241     | Oct. 25 '67      | 8.6     | 20.3      | 45.2                   | 12.8                    | 1.7                     | 9.2                    | 155.4                                |                                      |                       |
| 4242     | Oct. 25 '67      | 8.7     | 15.6      | 39.3                   | 17.0                    | 2.8                     | 17.9                   | 116.4                                |                                      |                       |
| 4243     | Oct. 25 '67      | 9.8     | 16.6      | 43.0                   | 9.9                     | 0.6                     | 10.7                   | 119.4                                |                                      |                       |
| 4244     | Oct. 25 '67      | 8.0     | 16.5      | 123.9                  | 22.4                    | 6.8                     | 60.0                   | 291.2                                |                                      |                       |
| 4301     | Aug. 26 '69      | 9.6-9.8 | 16.8      | 61.0                   | 18.6                    | 2.3                     | 17.9                   | 171.9                                | 41.3                                 | 62.8                  |
| 4302     | Aug. 26 '69      | 9.6-9.8 | 18.0      | 40.0                   | 25.5                    | 0.9                     | 25.0                   | 54.9                                 | 68.0                                 | 40.1                  |
| 4303     | Aug. 26 '69      | 6.8     | 20.0      | 8.4                    | 31.4                    | 10.8                    | 13.3                   | 140.8                                | 19.6                                 | 36.8                  |
| 4304     | Aug. 26 '69      | 7.3     | 17.9      | 65.0                   | 18.4                    | 5.6                     | 26.4                   | 176.2                                | 32.7                                 | 37.8                  |
| 4305     | Aug. 26 '69      | 6.7     | 19.8      | 16.1                   | 18.6                    | 5.0                     | 22.5                   | 91.3                                 | 16.4                                 | 5.4                   |
| 4307     | Aug. 26 '69      | 7.1     | 17.6      | 15.3                   | 15.5                    | 4.3                     | 3.8                    | 116.3                                | 5.0                                  | 85.2                  |
| 4308     | Aug. 26 '69      | 7.3     | 17.5      | 31.9                   | 13.0                    | 3.0                     | 11.4                   | 122.2                                | 6.7                                  | 28.7                  |
| 4401     | Aug. 26 '69      | 6.9     | 16.2      | 52.0                   | 13.0                    | 3.8                     | 8.0                    | 168.4                                | 22.8                                 | 28.1                  |
| T S 1    | Aug. 26 '69      | 7.0     | 17.0      | 8.6                    | 18.4                    | 14.6                    | 4.8                    | 138.3                                | 4.2                                  | 74.0                  |
| T S 2    | Mar. 20 '69      | 7.6     | 17.5      |                        | 62.2*                   |                         | 4.5                    | 207.5                                | 4.0                                  |                       |
|          | May 27 '69       |         |           | 10.9                   | 26.1                    | 15.5                    | 4.3                    | 184.4                                | 5.1                                  | 72.6                  |
|          | Jul. 12 '69      |         |           | 10.6                   | 25.6                    | 16.2                    | 4.4                    | 184.1                                | 5.9                                  | 73.0                  |
|          | Aug. 26 '69      | 7.1     | 17.8      | 10.8                   | 26.1                    | 15.7                    | 4.4                    | 184.0                                | 7.3                                  | 70.4                  |
| T S 3    | Aug. 26 '69      | 7.3     | 17.6      | 13.3                   | 27.6                    | 12.7                    | 6.9                    | 181.5                                | 3.1                                  | 59.6                  |
| T 1      | Aug. 26 '69      | 6.9     | 17.1      | 8.8                    | 25.4                    | 11.1                    | 9.2                    | 74.3                                 | 26.8                                 | 33.2                  |
| T 2      | Aug. 26 '69      | 6.8     | 17.0      | 9.9                    | 32.2                    | 10.2                    | 9.5                    | 114.6                                | 16.7                                 | 38.0                  |
| T 3      | Mar. 10 '69      | 8.1     | 16.5      |                        | 45.6*                   |                         | 9.1                    | 109.2                                | 23.0                                 |                       |
| T 4      | Mar. 10 '69      | 8.1     | 16.1      |                        | 36.2*                   |                         | 6.7                    | 80.0                                 | 24.5                                 |                       |
| T 5      | Mar. 10 '69      | 8.0     | 15.4      |                        | 40.3*                   |                         | 7.1                    | 96.9                                 | 21.5                                 |                       |
| T 6      | Mar. 10 '69      | 8.0     | 15.9      |                        | 44.0*                   |                         | 7.5                    | 107.2                                | 20.8                                 |                       |

\* Ca<sup>++</sup>+Mg<sup>++</sup> as Ca<sup>++</sup>\*\* M alkalinity as HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>