
地すべり地における地下水流動の地球化学的解析

GIOCHEMICAL APPROACH TO THE FLOW OF GROUNDWATER IN LANDSLIDE AREA

田和愛子*・長谷川祐二**・大河原彰***

Aiko TAWA, Yuuji HASEGAWA, and Akira OOKAWARA

For the purpose of explaining the flow mechanism of groundwater in landslide area, chemical analysis of groundwater and vertical groundwater logging were carried out in the Kuroshio landslide area. Since, the Imari fault passes through the Kuroshio landslide area, the fault may affect the flow of groundwater flow.

As a result, we realized that there are two aquifers in this area. One is unconfined groundwater flowing near ground surface, another is confined groundwater flowing on a slip surface.

We considered that the groundwater flowing on a slip surface causes the landslide. And groundwater flowing near ground surface is supplied through the Imari fault.

Such survey will give us important information when we design groundwater drainage works.

Key Words : landslide, fault, flow of groundwater, chemical analysis, vertical groundwater logging

1. はじめに

地すべりは、地すべり発生の素因となるような地形的、地質的特性を持った場所において、地下水（間接的には降雨、融雪を含む）あるいは人為的な環境変化などを誘因として発生する。この誘因の中で最も関連が深いのは地下水であり、地すべり地における地下水流動を把握することは、地すべりの移動機構の解明、集水井工などの地すべり対策工を計画する上で重要である。

一般的に地すべり調査で実施される地下水調査は、ボーリング孔を利用した地下水位観測と地下水検層が主である。しかし、これらの調査では各ボーリング孔における点としてのデータを得られるのみで、面的、すなわち断面的、平面的な地下水流動を知ることができない。特に地すべり地内に断層がある場合、地下水流動は複雑になるにもかかわらず、面的な調査はほとんど実施されていないのが現状である。

本研究は、断層が存在する地すべり地における地下水の流動機構を地球化学的手法により解明することを目的とし

て、佐賀県黒塩地すべりを対象に、地下水検層、水質分析を実施したものである。

本研究は、黒塩地すべりの地下水流動機構を詳細に調べたものであるが、この結果得られた知見は、断層が存在する他の地すべり地においても、地下水流動機構を解析する上で重要な手掛かりを与えるものと考えられる。

2. 黒塩地すべりの概要

(1) 地すべりの滑動状況

黒塩地すべりは、佐賀県伊万里市の北西部、伊万里湾東岸部の海岸線に面している（図 - 1）。地すべりの範囲は、最大で長さ約1,000m、幅約600m、地すべり層厚は約30mにも及ぶ。滑動履歴は比較的新しく、明治43年、大正8年の2度にわたって大きな滑動が報告されている。平成7年にも降雨に伴って滑動を生じ、鋼管杭工、集水井工などの対策工が実施された。

黒塩地すべりのすべり面は、凝灰岩起源の粘土層からなり、概ね伊万里断層の下方斜面で地すべり層厚が厚く（20～30m）、上方斜面で地すべり層厚が薄く（5～15m）なっている。断層を境界にしたすべり層厚の差異は、断層のずれによって生じていると推測され、この断層を境にし

* 東京技術本部 試験研究部

** 東京技術本部 防災部

*** 関東支店 技術部

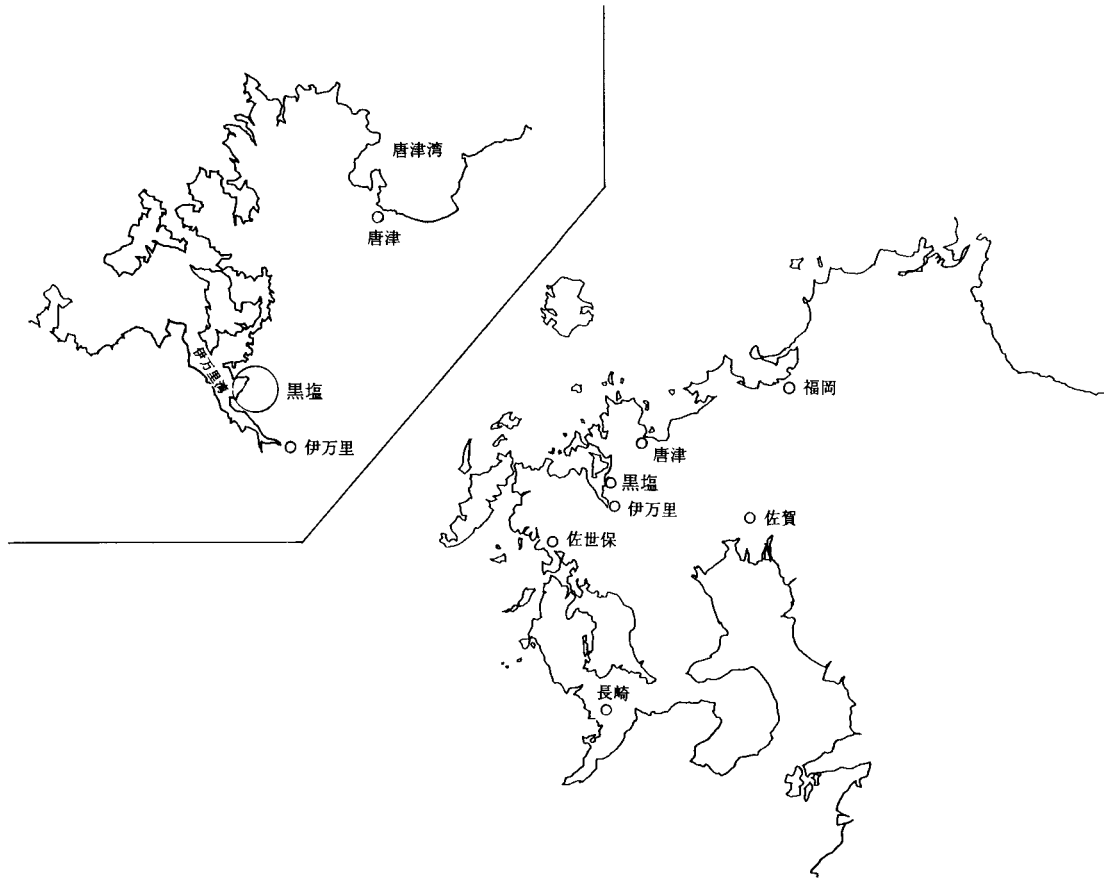


図-1 調査位置案内図

て、地すべりブロックは大きく2つに区分される。さらに断層の下方斜面では、A～Eの5つのブロック、断層上方ではFの1ブロックに区分され、計6つのブロックが存在する(図-3)。地すべり地内には、滑動状況を計測するため、地盤伸縮計、孔内傾斜計を中心とした観測計器を設置している。平成7年以前の観測では、毎年10～20mm程度の変位が、平均的に記録されていたが、平成7年以降にA～Eブロックを中心とした対策工が実施され、滑動は沈静化しつつある。しかし、Fブロックについては未対策であるため、現在も滑動は活発である。

(2) 地形・地質概要

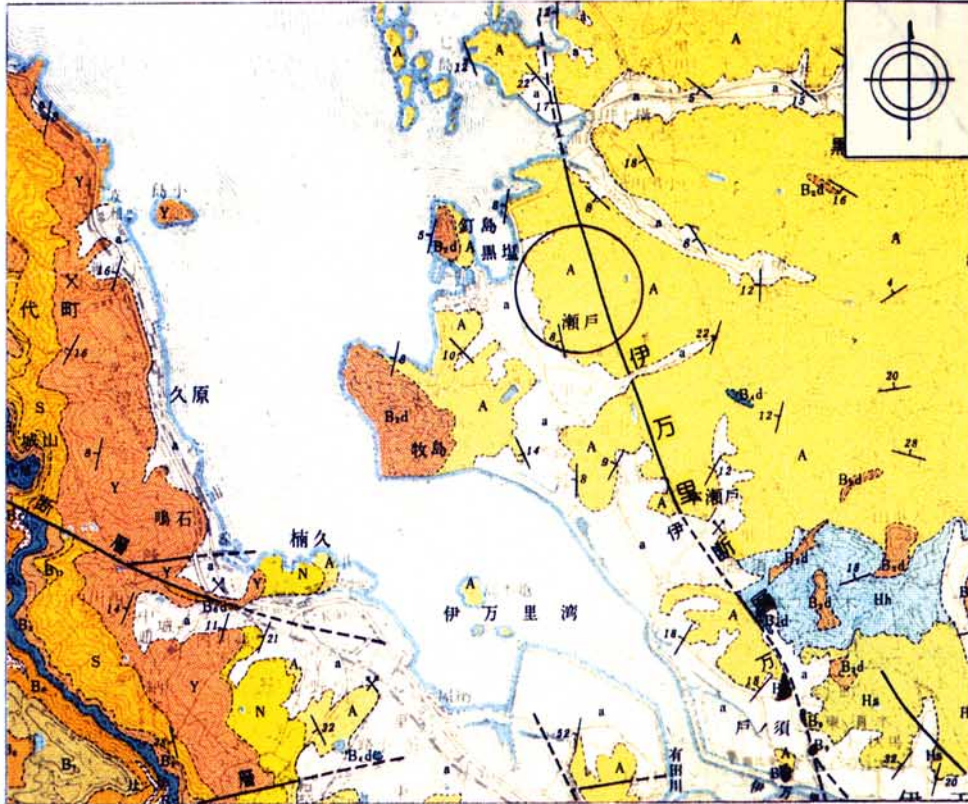
地すべり地域は、城古岳(標高404m)から徐々に高度を落としながら西北西方向に伸びる山稜の西側斜面に位置する。周辺部は開析作用が進んでいるものの、大局的にはケスタ地形を呈しており、西側斜面が緩傾斜、東側斜面が急傾斜となっている。これは地質構造的に西側斜面が流れ盤構造、東側斜面が受け盤構造となっていることを反映しており、地すべりの滑動方向も地質地盤に準じて、西向きとなっている。また、地すべり地内では、特に中～上部斜面で亀裂や滑落崖、一連の波状地形が認められ、いずれも南

北方向のリニアメントが顕著に発達している。

地すべり地周辺では、新第三紀佐世保層群相の浦層が広く分布する(図-2)。これらは部分的に第四紀の玄武岩によって被覆されている。相の浦層は塊状無層理の砂岩が大部分を占めるものの、砂岩中には頁岩、石炭、凝灰岩を挟在している。相の浦層群の一般的走向は、 $N30^{\circ}\sim 40^{\circ}W$ を示し、南西側に約 15° 傾斜しており、前述のように地形に対し流れ盤構造を呈し、滑動しやすい構造となっている。地すべり地内で採取された砂岩・頁岩は、風化が進んでおり容易に砂状化する。玄武岩の露頭としては、北方の国道沿いや地すべり頭部付近の道路法面に認められるが、ほとんどの場合、赤褐色系で土壌化している。

(3) 伊万里断層と還元帯の分布

黒塩地すべりの位置する斜面の中央部付近には、ほぼ南北の走向を有する断層が推定されている。調査ボーリングの結果から判断すると、断層上方斜面と下方斜面の地層分布に変位を与えており、その結果、地層の連続性が断層で途切れている。この段層は、既往文献(1/50,000地質図幅伊万里、昭和33、地質調査所)で伊万里断層として記載されているものに相当すると考えられる(図-2)。よって、



凡例

加勢層 Kase formation	K	砂岩・礫質砂岩および泥岩 Sandstone, conglomeratic sandstone and mudstone
福井層 Fukui formation	F	砂岩・泥岩・シルト岩・凝灰角礫岩および石灰 Sandstone, mudstone, siltstone, tuff-breccia and coal
世知原層 Sechibaru formation	S	砂岩・泥岩・シルト岩および石灰 Sandstone, mudstone, siltstone and coal
楠木層 Yunoki formation	Y	砂岩・シルト岩・泥岩および石灰 Sandstone, siltstone, mudstone and coal
中平層 Nakazato formation	N	砂岩・泥岩・シルト岩・凝灰角礫岩および石灰 Sandstone, mudstone, siltstone, tuff-breccia and coal
相の浦層 Ainoura formation	A	砂岩・泥岩・シルト岩・凝灰岩および石灰 Sandstone, mudstone, siltstone, tuff and coal

(1/50,000 地質図幅 伊万里 昭和33年
地質調査所抜粋)

地層名	柱状図	層厚 m	岩質その他
加勢層	[Stratigraphic column symbol]	20	粗粒砂岩 紫色泥岩(含有孔虫) 含礫粗粒砂岩 赤褐色泥岩(含有孔虫)
福井層	[Stratigraphic column symbol]	17	七段(二枚炭)(上三枚炭) (七枚炭(送り層)) シルト岩(二枚炭) (下三枚炭)(二枚炭) 灰白色塊状中～粗粒砂岩 シルト岩 数ヶ所凝灰角礫岩 (砂岩)
世知原層	[Stratigraphic column symbol]	155	砂岩・泥岩互層 灰白色中～粗粒砂岩 礫物化石(淡水性貝化石)多産 松浦三尺(久原三尺・磯崎三尺)
楠木層	[Stratigraphic column symbol]	12	(十二ヶ所) (七ヶ所) 北部は砂岩泥岩互層 南部は砂岩(富) 凝灰角礫岩 礫質凝灰角礫岩(江里川内礫岩) (ハブマ)(凝石二枚)
中平層	[Stratigraphic column symbol]	350	暗灰色泥岩 (楠木二枚) 砂岩・泥岩互層 (楠木三枚) 泥岩(富)
相の浦層	[Stratigraphic column symbol]	145	灰白色塊状砂岩 凝灰角礫岩 砂岩泥岩互層(淡水性貝化石多産) (大塚五尺) 板状砂岩・シルト岩・泥岩の互層 塊状中～粗粒砂岩 上二枚 砂岩泥岩互層 下層 シルト岩・泥岩(富) 礫物・礫岩発達 (モリス系列) 灰白色中～粗粒砂岩 毛工系系列、凝灰質砂岩(伴) 灰白色中～粗粒砂岩
伊万里層	[Stratigraphic column symbol]	600	礫岩発達 相の浦層少し (新田五尺系列) 暗灰色泥岩(富)(凝灰質泥岩中の泥岩) (新田五尺系列) 砂岩(富) 砂岩・泥岩互層 灰白色中～粗粒砂岩

(1/50,000 地質図幅説明書 伊万里 前出)

図一 黒塩地区周辺地質図

以後この断層を伊万里断層と呼ぶ。

過去のボーリング結果より、伊万里断層周辺には、原岩色系（暗灰色）で粘性化した地層の分布が確認された。これらの分布範囲をここでは「還元帯」と呼ぶ。還元帯の上位（浅部）には強風化作用を受け、褐色化した地層があり、透水性が良いと推定される。還元帯は、主に頁岩を起源にするもので、すべり面に近い上位に分布し、不透水層を形成している。

還元帯は、図 - 3 から分かるように、伊万里断層に沿って分布しており、この分布範囲では、恒常的に地下水位が高い。降雨時には地表まで地下水位が上昇して、窪地に沼沢を形成するほどである。一方、この還元帯の分布範囲より下方斜面では、地下水位は概ね低くなっている。

3. 本研究の目的

以上に述べたように、黒塩地すべりにおける素因の一つとして、伊万里断層、還元帯の存在が挙げられる。また、一般的に地すべり滑動の誘因には、降雨に伴う地下水位の上昇が挙げられるので、伊万里断層を中心とした還元帯分布範囲の高い地下水位は、誘因の一つと考えられる。

では、地下水は具体的に地すべり滑動にどのように寄与しているのだろうか。実際に地下水はどのような流動経路をもち、伊万里断層や還元帯は地下水流動にどのような影響を与えているのだろうか。これらを解明することは、対策工の配置計画等に大きく寄与することになる。

そこで、黒塩地すべりにおける地下水流動を明らかにするため、地下水検層と水質分析を実施することとした。地

下水検層は、地下水流動面の位置および流動の程度を知ることが目的として、一般的な地すべり調査に用いられているが、この調査のみでは、各ボーリング孔における点のデータしか得られない。これに水質調査を組み合わせることにより、地下水流動の面的な情報を得られるものと考えた。

今回の調査では、地すべり層厚が最も厚く、ボーリング本数も最も多い、A測線に重点を置いた。A測線は最も南側を通る測線である。地下水流動を知るには、トレーサ追跡などの手法もあるが、ここでは地下水が一般に利用されていることを考慮して、実施しなかった。

以下に検討方法について記す。

4. 検討方法

(1) 地下水検層

地下水検層を行う目的は、地下水流動面の位置および流動の程度を明らかにすることにある。調査地点は、図 - 4 に示すように、A測線上とその近傍で8孔、他の測線上で9孔である。

調査方法は、ボーリング孔に食塩水を投入攪拌して地下水の抵抗値を低下させ、その後25cm間隔に電極をもつ検層器を挿入し、30、60、120分後の深度別の抵抗値変化をそれぞれ測定した。

(2) 水質分析

水質分析を行う目的は、地下水の分布を明らかにし、流動経路を追跡することである。調査地点を図 - 5 に示す。水質試料は、ボーリング孔、集水井、沼沢より計55試料を採取し、実験室にて水質分析を実施した。

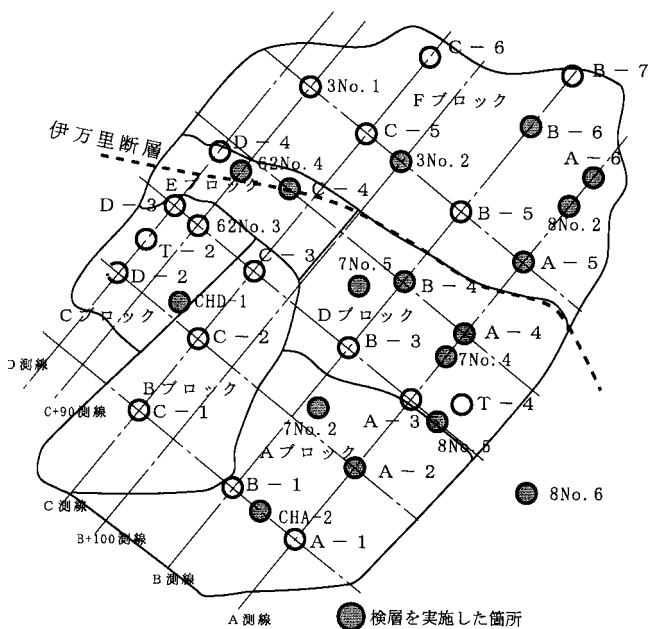


図-4 地下水検層調査地点

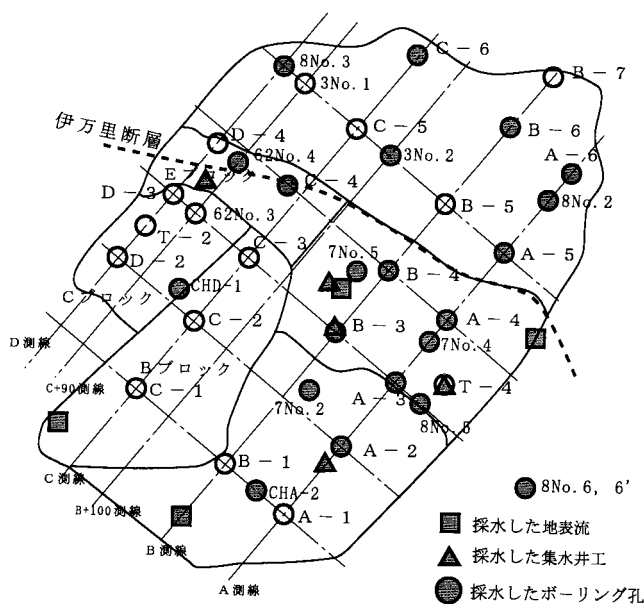


図-5 水質試料採取地点

孔内水については、井戸用採水器を用いて、原則として表層およびすべり面付近の2深度より、深度別に採水した。

水質分析項目は、通常の地下水、地表水に含まれる主要溶存成分とした。すなわち陽イオンではナトリウムイオン(Na⁺)、カリウムイオン(K⁺)、カルシウムイオン(Ca²⁺)、マグネシウムイオン(Mg²⁺)の4成分、陰イオンでは重炭酸イオン(HCO₃⁻)、塩素イオン(Cl⁻)、硫酸イオン(SO₄²⁻)の3成分である。

上記の分析項目に対する分析方法は、日本工業規格工場排水試験方法(JIS K 0102)、工場用水試験方法(JIS K 0101)、上水試験方法に準拠した。

5. 検討結果

(1) 地下水検層

地下水検層結果は、概ね図-6に示す4つの傾向に分けることができた。なお、以下の①~④に相当するボーリング孔の位置は、図-7に示してある。

①伊万里断層付近

62No. 4孔をはじめとする5孔で同様の結果が得られ

ている。特に62No. 4、C-4孔ではすべり面を挟んで上下にわたり、地下水流動が明瞭に認められた。他の3孔では、すべり面以深が孔曲がりのため、流動層の確認ができなかった。

この5孔の共通点は、帯水層(流動層)が厚く、比較的流速が均一で、流動が多い(還元速度が速い)と推測されることである。

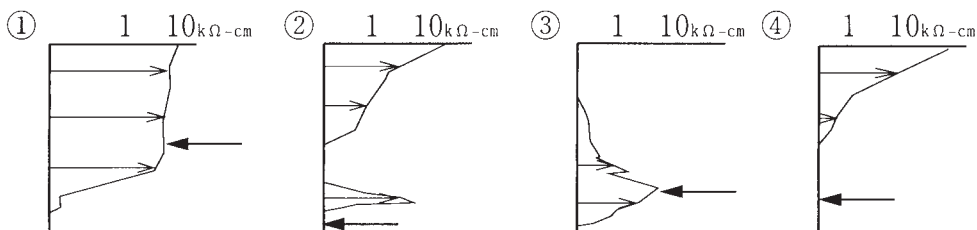
②還元帯の分布域

この傾向はA-2孔をはじめとする4孔で確認された。すなわち、すべり面の上位で2層の流動層が確認され、すべり面以浅において2層を分ける不透水層が、明瞭となる。この傾向を示す地点は、図-3から明らかなように地下水位の高い還元帯の分布域と概ね一致する。

③地すべり頭部付近

すべり面付近のみで流動が確認され、この傾向を示したのは8No. 2孔のみであった。この地点は、周囲の沼沢より孔内水位が高かったことから、すべり面付近に被圧された地下水流動層が存在すると推定される。

④その他



- ①伊万里断層付近
- ②還元帯の分布域
- ③地すべり頭部付近
- ④その他
- ← すべり面

図-6 地下水検層結果模式図

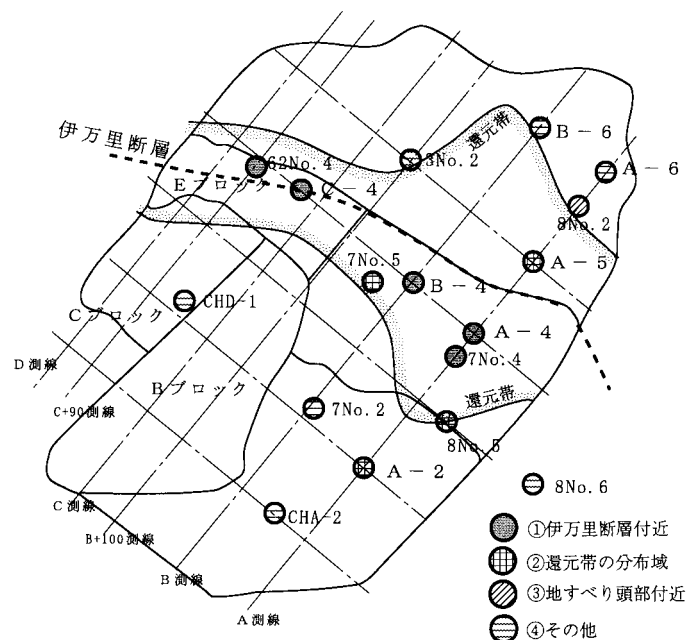


図-7 地下水検層結果の傾向区分

①～③以外の傾向を示した地点では、概ね表層のみで流動が見られた。ただし、この傾向を示した地点の多くは、地すべりの滑動によって調査孔が曲がり、すべり面以深のデータがとれなかったため、このような検層結果となっている。

以上の結果を考察すると、地すべり移動土塊には2つの地下水流動層があると考えられる。一つは、すべり面付近にあり、その上位に不透水層をはさんでもう一つの流動層がある。また、すべり面付近の流動層は、被圧されている可能性が高い。

さらに、伊万里断層付近では、地下水流動が非常に顕著で、厚い帯水層となっていることが推測され、断層が下部斜面に対して地下水の供給源の働きをしている可能性がある。

(2) 水質分析

主要溶存成分の分析結果は、分析値の図式表現を行って整理した。まず水質タイプの分類を試み、次にタイプの異同を異質の地下水の混合、流動の過程で生じる化学変化などの観点で解釈し、地下水システムの解明を行った。具体的には、トリリニアダイアグラムによって水質タイプの分類を行い、さらにヘキサダイアグラムを作成して断面図上にプロットし、水質組成の変化を解析した。

1) トリリニアダイアグラム

トリリニアダイアグラムは地下水、地表水中の主要溶存成分の濃度をミリ当量単位 (meq/l) で表し、陽イオンお

よび陰イオンに占める各イオンの当量濃度百分率 (epm%) を菱形および三角ダイアグラム上にプロットしたものである。

トリリニアダイアグラムでは、プロットされる位置により水質組成は次の5つのタイプに分類される。

- 領域Ⅰ : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型 [アルカリ土類重炭酸塩]
- Ⅱ : NaHCO_3 型 [アルカリ重炭酸塩]
- Ⅲ : CaSO_4 型、 CaCl_2 型 [アルカリ土類非重炭酸塩]
- Ⅳ : Na_2SO_4 型、 NaCl 型 [アルカリ非重炭酸塩]
- Ⅴ : 中間的組成 (Ⅱ、Ⅲに合併することもある)

図-8は、採水したA測線上の試料の分析結果をトリリニアダイアグラム上にプロットしたものである。これによると、調査地点の水質は、領域Ⅰのアルカリ土類重炭酸塩と領域Ⅳのアルカリ非炭酸塩、領域Ⅴの中間的組成に分類された。

領域Ⅰの水質組成(アルカリ土類重炭酸塩)を示す水は、最も一般的な地下水で、透水性が比較的良好、水量が多い帯水層の地下水である。この領域に分類された水は、すべり面付近から採取したものに多かった。

領域Ⅳの水質組成(アルカリ非重炭酸塩)を示すものの典型は海水(NaCl)である。一方、雨水も海水に似た水質組成を示すとともに、溶存イオン量がきわめて少ないのが特徴である。この領域に分類された水は、表層から採取したものであった。

領域Ⅴに分類される水は、中間的な水質組成を示すもの

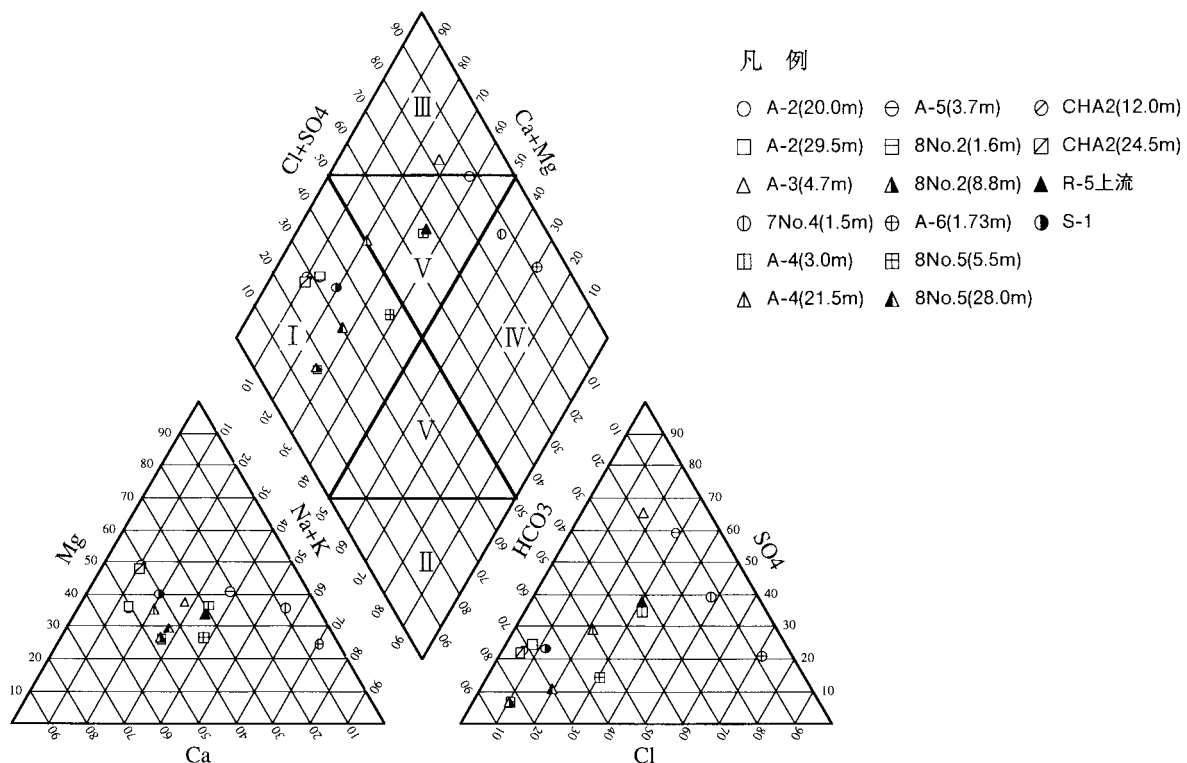


図-8 トリリニアダイアグラムによる水質分類 (A測線)

であり、アルカリ土類重炭酸塩とアルカリ非重炭酸塩の混合水である可能性がある。

2) ヘキサダイアグラム

ヘキサダイアグラムは縦軸の左右に設けられたmeq/l濃度を軸に、左側に陽イオン、右側に陰イオンをプロットし、各点を結んで六角形の図形として表現したものである(図-9参照)。

ヘキサダイアグラムは、主要成分の比率と濃度を同時に示すことができるので、この図形の地理的分布を比較したり、水質組成の変化を把握するのに適している。

雨水は、一般に溶存成分が非常に少ないため、ヘキサダイアグラムの面積は小さく表されるが、地中に浸透すると土壌や地質中の成分が次第に溶け込んでくることによって、次第に六角形の面積が大きくなるとともに、水質の特徴を表す形に変化していく。したがって、地下水の溶存成分が多いということは、地下水が長時間流動してきたことを意味している。

図-10は代表的な断面(A測線)にヘキサダイアグラムをプロットし、これにトリリニアダイアグラムによる分類にしたがって、塗色したものである。このなかでV型の中間型に分類されたものは、Ⅲ型の分類に含めた。

表層付近から採取されたA-6(1.73m)、A-5(3.7m)、7 No.4(1.5m)、A-3(4.7m)の水は、R-5の地すべり地内の沢水同様、溶存イオン量が極めて少なく比較的雨水に近い水質と考えられる。即ち、地中に浸透してからの時間が短い地下水と考えられる。これらのボーリング孔は、孔曲がりのため、孔底がすべり面付近まで達しておらず、すべり面付近の水が採取できない状況であった。

一方、表層付近から採取した試料のなかには、8 No.2(1.6m)、A-2(20m)、CHA-2(12m)のように、溶存イオン量が多く、I型の水質組成を示すものもあった。これらの地点はボーリング孔がすべり面まで達している。このためすべり面付近の被圧された地下水が孔内全体を満たし、本来の表層付近の水を捉えていない可能性が高い。

すべり面付近から採取した試料である8 No.2(8.8m)、A-4(21.5m)、8 No.5(28m)、A-2(29.5m)、CHA-2(24.5m)は、I型に分類され、また溶存イオン量も多いため、ゆっくり時間をかけて流動してきた地下水であると考えられる。

S-1は、地すべり末端部に位置する池から採取したものであるが、確実に浅層地下水や沢水が流入しているにもかかわらず、溶存イオン量が多く、水質組成も深層地下水の特徴であるⅡ型を示している。しかし、CHA-2孔と比較すると溶存イオン量が少ないことから、この池は、被圧されて地表に湧出した深層地下水が、表流水や浅層地下水に

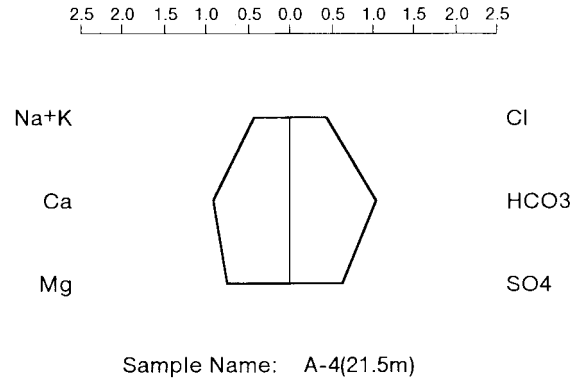


図-9 ヘキサダイアグラムの例
よって希釈されていると考えられる。

6. 考察

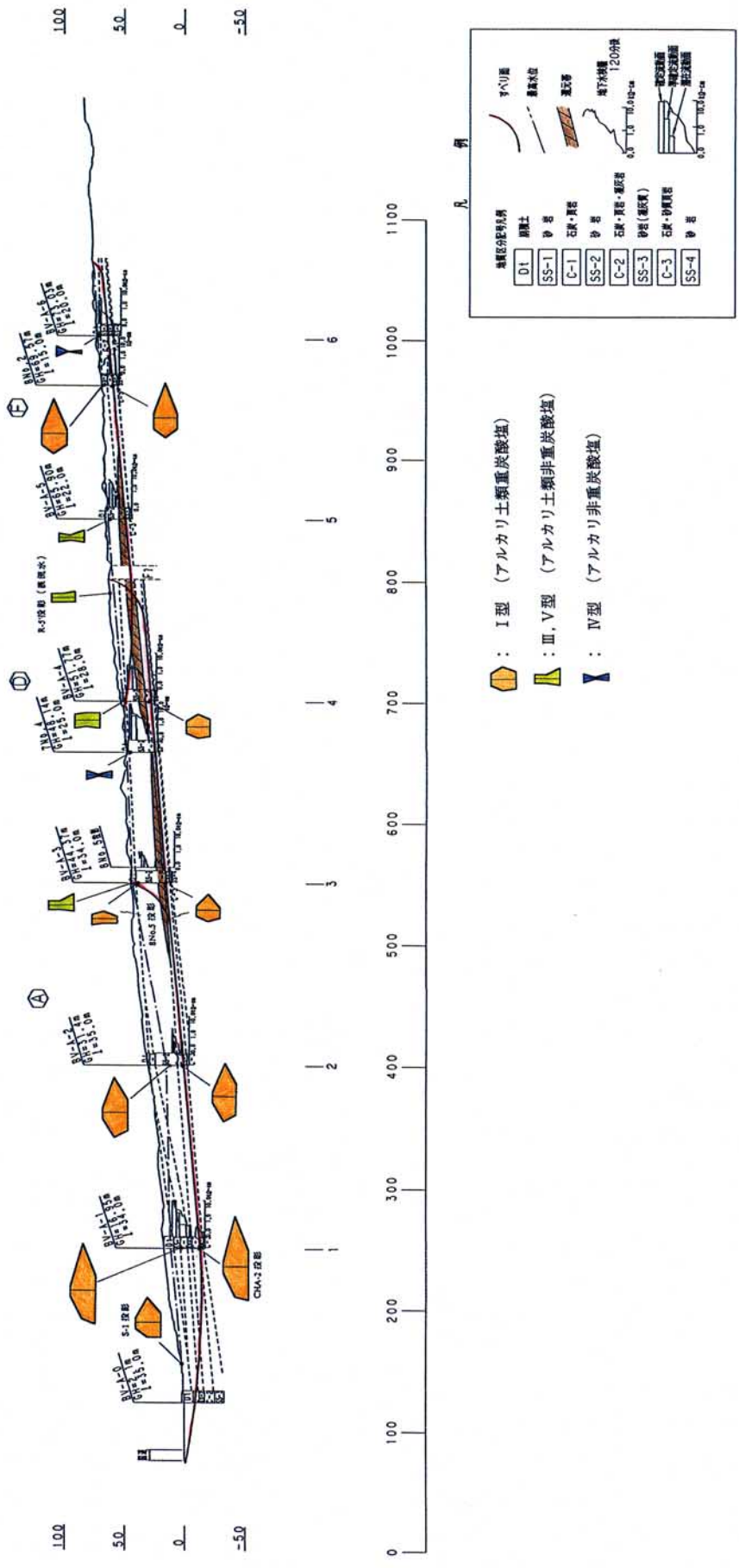
以上の地下水検層、水質分析結果から黒塩地すべりにおける地下水流動機構を次のように考察した。

地中に浸透した雨水は、A-6(1.73m)、A-5(3.7m)、7 No.4(1.5m)、A-3(4.7m)のような水質を示し、透水性に富む表層部を速い速度で流動する浅層地下水となる。これらの浅層地下水は、トリリニアダイアグラムによって分類される水質のタイプは異なるものの、溶存イオン量が比較的少ないという共通点をもつ。雨水は、流動過程における岩石や鉱物からのイオン溶解によって、溶存イオン量を増していくが、浅層地下水の場合には、流動時間が短いことや新たな雨水の流入などにより溶存イオン量はあまり多くならないためである。

一方、雨水の一部はゆっくりと地下に浸透し、8 No.2(8.8m)のようにすべり面付近の比較的透水性に富む層を流動する深層地下水となる。伊万里断層沿いには、不透水層となる還元帯が分布しており(図-10の斜線部分)、この還元帯が、浅層地下水と深層地下水を明瞭に分ける不透水層となっている。深層地下水は、溶存イオン量が多く、トリリニアダイアグラムによる分類ではⅡ型に分類されるという特徴をもつ。

伊万里断層を境にして上部斜面と下部斜面の地質が分断されており、地層に段差を生じているため、断層上方から流下してきた深層地下水は、断層付近で浅層地下水との混合を生じる。その結果、8 No.2(8.8m)では溶存イオン量の多かった深層地下水が、断層部で浅層地下水と希釈混合しA-4(21.5)では溶存イオン量が一旦は減少している。

深層地下水はさらに、A-4(21.5m)、8 No.5(28m)、A-2(29.5m)、CHA-2(24.5m)のように溶存イオン量を増しながら、流下していく。溶存イオン量の変化から、地すべり末端に行くほど時間を経過していることがわかる。



図一10 ヘキサダイアグラム分布図 (A測線断面図)

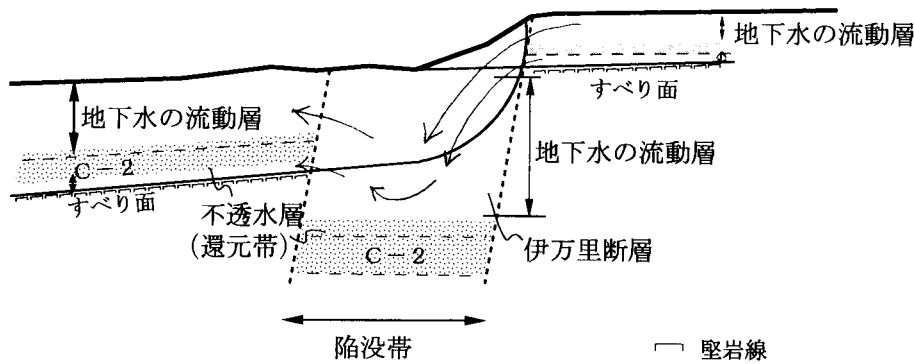


図-11 断層付近での地下水流動模式図

前述のように、伊万里断層を境にして上部斜面と下部斜面の地質に段差が生じているとともに、伊万里断層部は陥没した地質構造になっているものと推定される。これを模式的に表すと図-11のようになる。

地すべり地頭部は、検層結果に見られるように、地表面近くに不透水層があり、降雨が浸透しにくい。8 No. 2 付近には降雨時に沼沢が形成されるのも、このためと考えられる。したがって、本来であれば、深層地下水への供給量は少なく、浅層地下水となって流下すると推測される。しかし、伊万里断層部で、地表近くの不透水層が陥没し、非常に透水性のよい地層が、断層の下部斜面のすべり面まで達しているため、浅層地下水が直接すべり面付近の地下水帯に入っていくことになる。

したがって、伊万里断層はすべり面付近の地下水の供給源になっていると考えられる。そして、すべり面付近の地下水は、すべり面移動土塊に間隙水圧を与えることになり、剪断抵抗を低下させ、地すべり滑動の誘因となると考えられる。

7. まとめと今後の課題

一般的に、地すべりの滑動には、すべり面付近に存在する地下水流動層の影響があるものといわれている。

本研究では、地球化学的手法を用いることにより、伊万里断層付近一帯に分布する還元帯という不透水層の存在によって、地下水を地表面付近に貯留しやすい構造になっているということ、伊万里断層自体は、地表付近に溜まった水を深部の帯水層へ送り込む働きをしているということが明らかにされた。その結果、黒塩地すべりの滑動には、伊万里断層を中心とした地下水流動が大きな誘因となっているといえるであろう。

したがって、今後の地すべり対策としては伊万里断層部の地下水および伊万里断層に流入する上部斜面の地表面付

近の地下水を排除し、深層地下水への供給を絶つことが有効と考えられる。

今後の研究課題としては、次のことが挙げられる。対象とした黒塩地すべりでは、既に集水井が施工されており、これによって地下水流動が本来の状態から変化している可能性がある。さらに、ボーリング孔がすべり面付近で切断されているものが多く、地下水検層、水質分析とともにすべり面付近の傾向を正確に捉えていない可能性がある。

また、本研究では水質の平面的分布から、地下水流動の傾向を掴むことができなかった。これは対象とした黒塩地すべりの地形に凹凸が少なく、平面的な流動は単純であったためであり、谷地形のある地すべり地などを対象とした水質調査では、平面分布が把握しやすい。

さらに、本研究で用いた地球化学的手法が、他の断層が存在する地すべり地の地下水流動機構解析にも適用できるかどうか、事例を増やしていくことが必要である。

謝辞

本研究は、佐賀県河川砂防課、佐賀県伊万里土木事務所の皆様の多大な援助に依るところが大きく、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤原明敏：地すべりの解析と防止対策、理工図書株式会社、pp86、1983. 6
- 2) 渡正亮、小橋澄治：地すべり斜面崩壊の予知と対策、山海堂、1987
- 3) 地下水ハンドブック編集委員会：地下水ハンドブック、株式会社建設産業調査会、1980. 3
- 4) 佐藤修：地すべり地における地下水水質調査法(その1) 地すべり技術、Vol.20 No. 1、pp11-23、1993. 7
- 5) 佐藤修：地すべり地における地下水水質調査法(その2) 地すべり技術、Vol.20 No. 2、pp18-28、1993.11
- 6) 吉岡龍馬：地すべり(4)地すべりと水 地球化学的調査(その1) 地下水学会誌、Vol.32 No. 3、pp147-162、1990
- 7) 地質調査所：1/50,000地質図幅、伊万里
- 8) 建設省河川局：地下水調査および観測指針(案) 山海堂、1993