

◆ 土砂災害特集 ◆

地すべり地における地下水排除施設集水管の目詰まりに関する調査

丸山清輝* 安藤達弥** 高橋正樹*** 飯田正巳****

1. まえがき

地すべりの主な誘因は、地下水である。このことから、地すべり防止工事では、地下水排除工を採用する場合が非常に多い。地下水排除工は、集水ボーリングにより地すべり斜面内に集水管を挿入し地下水を排除することで地下水位の低下・維持を図り、斜面を安定させる機能を持つ地すべり防止工法である。したがって、この工法により地すべり斜面の安定を保つためには、地下水排除施設の機能が常に維持されている必要がある。

しかしながら、地すべり防止工事後の地すべり斜面では、地下水排除施設の集水管孔口に、赤褐色の粘性物質(スライムと呼ぶ)が詰まっているものを見掛ける。また、これまでに地下水排除施設の機能低下により地すべりが再滑動したという報告はないが、地下水排除施設の機能低下による地すべりの再滑動が危惧される。

地すべり斜面内の地下水排除工には、排除しようとする地下水の深度に応じて横ボーリング工、集水井工、排水トンネル工などがある。いずれの工法も、地下水排除は集水管により行われる。したがって、地下水排除工の機能は、集水管の目詰まりや破損により低下する。

そこで、本調査では、地下水排除施設集水管の目詰まりの実態と原因及び、集水管洗浄の効果について各々検討した^{1),2),3)}。

2. 地下水排除施設集水管目詰まりの実態とその原因

集水管の目詰まり実態とその原因の調査は、肉眼による集水管孔口の観察と小型ビデオカメラ($\phi 35\text{mm}$)による集水管内部の撮影により実施した。また、調査地は、新潟県上越地方に分布する建設省所管の地すべり地20ヶ所である。なお、調査した地すべり地は、その位置ができるだけ片寄らないように選定した。

2.1 集水管孔口のスライム付着実態調査

写真-1には、横ボーリングにスライムが付着している状況を示した。スライムは赤褐色の粘性物



写真-1 スライム付着状況茶屋地すべり (横ボーリング)

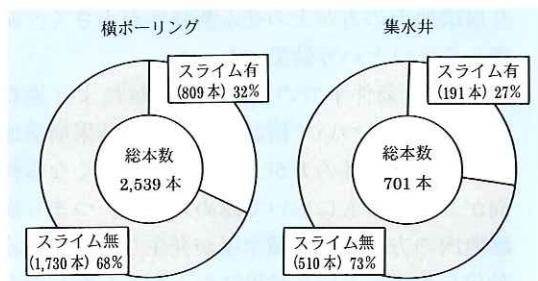


図-1 集水管孔口へのスライム付着状況

質であり、集水管内に多量に付着するため集水管が目詰まりを起し地下水の流出を妨げる。

そこで、集水管孔口におけるスライム付着の実態を調査した。調査地は、20ヶ所の地すべり地における横ボーリング(495基)と15ヶ所の地すべり地における集水井(76基)である。また、調査した集水管の総本数は3,240本であり、その内訳は、横ボーリングにおける集水管2,539本、集水井における集水管701本である。

図-1は、横ボーリング及び集水井における各集水管孔口へのスライム付着の有無を調査した結果である。以後、集水管にスライムが付着しているものをスライム有、付着していないか薄く付着しているものをスライム無とする。

横ボーリングでは、調査した2,539本の集水管の内809本(32%)にスライム付着が認められた。また、集水井では、調査した701本の集水管の内191本(27%)にスライム付着が認められた。

これらのことから、調査した横ボーリング及び集水井では、各集水管本数全体の約30%でスライ

ムが孔口に付着していることが分かった。

2.2 集水管内部の調査

集水管内部の調査は、6ヶ所の地すべり地における横ボーリング 8 基 52 本の集水管（孔口スライム付着 47 本、付着なし又は薄く付着 5 本）で実施した。また、撮影作業では、カメラを 5m 以上挿入できた集水管の数は 23 本（孔口スライム付着 20 本、付着なし又は薄く付着 3 本）であった。なお、一般的な集水管の長さは 50m 前後であるが、カメラを挿入できた深度は最長で 22m であった。また、カメラを挿入できなかった原因は、集水管の曲がり及びスライム付着などによる集水管の詰まりや摩擦である。

これらのことから、集水管が曲がっている場合や詰まっている場合が多いことが分かった。

図-2 は、調査した集水管内部のスライム付着状況をケース分けした結果である。スライムの付着状況は、4 ケースに分けられた。

ケース 1 は、スライムが孔口断面積の 1/3 以上に付着し、内部でも孔口と同等に付着していた集水管である。このタイプは 4 本あり、スライムが付着していた深度別本数は、深度 10m 以上 2 本、深度 5~10m 1 本、深度 1~5m 1 本である。

ケース 2 は、スライムが孔口断面積の 1/3 以下に付着し、内部でも孔口と同程度に付着していた集水管である。このタイプは 5 本あった。

ケース 3 は、スライムが孔口断面積の 1/3 以下に付着し、内部では孔口付近に孔口と同程度付着していた集水管である。このタイプは 10 本あった。

ケース 4 は、スライムが孔口に薄く付着し、内部でも管底に薄く付着する程度であった集水管である。このタイプは 4 本あった。

なお、スライムの孔口における付着がないか薄く付着する程度のもので、内部において孔口以上に多く付着していたというケースはなかった。また、集水管内にストレーナ（集水管全体に直径 5mm の穴を長さ 120mm 毎にあけたもの）から植物の根が侵入していたケースが 7 本あった。その内訳は、深度 0~5m の範囲の一部におけるものが 6 本、4~12m 区間のものが 1 本である。この他、土砂がストレーナから流入し、集水管内部に堆積しているケースはなかった。

以上のことから、集水管の目詰まりの主な原因是、集水管へのスライム付着であることが分かった。また、スライムの付着は、孔口付近から始まり徐々に奥に進んで行く場合が多いことが推定され

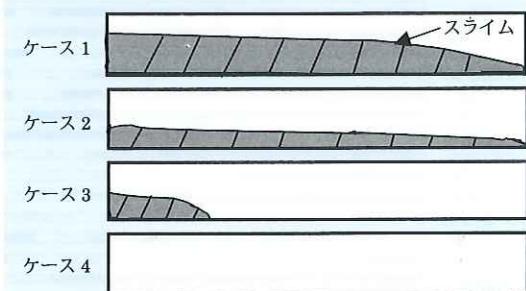


図-2 スライム付着状況

る。この他、孔口にスライムが付着していた場合は、集水管内部にも深度の大小はあるものの孔口と同程度のスライムが付着していると考えられる。

3. スライム生成メカニズムの検討

集水管に付着するスライムの生成メカニズムの検討は、集水管孔口に付着したスライムと集水管から排水された地下水を各々分析し行った。

3.1 スライムの分析

調査地は集水管の目詰まり状況調査を行った地すべり地の中で、特に孔口にスライム付着の多かった 16ヶ所の横ボーリング 20 基と集水井 3 基である。

スライムの成分は、強熱減量（有機物）と 9 項目の金属成分の各分析により求めた。また、スライムの顕微鏡観察も実施した。

図-3 には、スライム成分の分析結果を重量比で示した。スライムの成分は、無機物と有機物に分類した場合、集水管毎に各々の占める割合は多少異なるが、沢西と前川の各地すべりの他では無機物が全体の約 80% を占め残りの約 20% は有機物であることが分かる。

また、スライムに含有している金属成分は、重量比の大きい方から概ね酸化第二鉄、二酸化ケイ素の順になる。酸化第二鉄の成分は、5ヶ所の地すべり地の 5 本の集水管では約 40% 以下となっているが、15ヶ所の地すべり地の 18 本の集水管では 60% 以上を占めている。

写真-2,3 には、スライムの顕微鏡観察により存在が確認された鉄細菌⁴⁾であるガリオネラ・フェルギニアとレプスリック・オクラケアを示した。

表-1 は、スライムの顕微鏡観察結果である。鉄細菌は、スライムの顕微鏡観察を行った 15ヶ所の地すべり地における 18 本の集水管の中で、12ヶ所の地すべり地における 14 本の集水管付着スライム中で存在が確認された。なお、その内訳は、ガリオネラ・

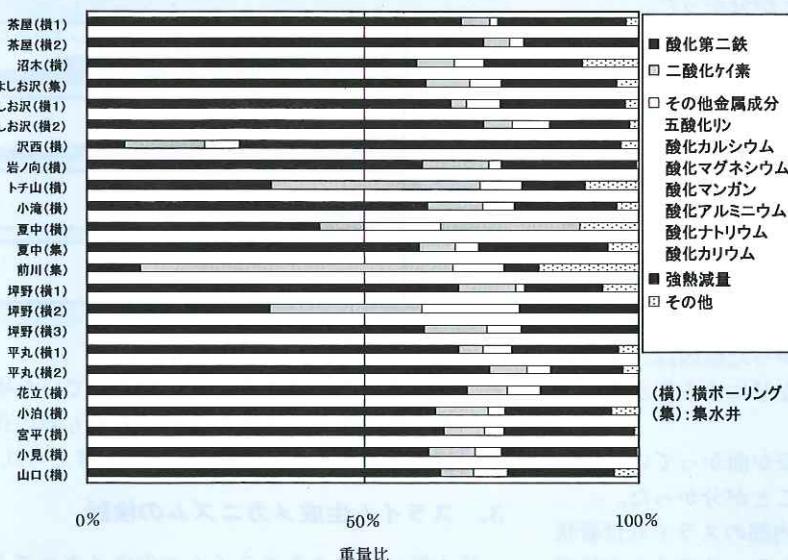


図-3 スライム成分分析結果

表-1 スライムの顕微鏡観察結果

地すべり名	施設名	確認された鉄細菌	スライムの色
茶屋地すべり(1)	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア	赤褐色
茶屋地すべり(2)	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア	赤褐色
沼木地すべり	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア	赤褐色
よしお沢地すべり	集水井	ガリオネラ・フェルギニア	赤褐色
沢西地すべり	横ボーリング	なし	黒灰色
岩ノ向地すべり	横ボーリング	ガイオネラ・フェルギニア	赤褐色
トチ山地すべり	横ボーリング	ガイオネラ・フェルギニア	赤褐色
小滝地すべり	横ボーリング	なし	赤褐色
夏中地すべり	横ボーリング	ガイオネラ・フェルギニア	赤褐色
夏中地すべり	集水井	レブスリック・オクラケア	赤褐色
前川地すべり	集水井	なし	灰褐色
平丸地すべり	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア レブスリック・オクラケア	赤褐色
よしお沢地すべり(1)	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア レスブリック・オクラケア	赤褐色
よしお沢地すべり(2)	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア	赤褐色
坪野地すべり(1)	横ボーリング	なし	赤褐色
坪野地すべり(2)	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア	赤褐色
花立地すべり	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア	赤褐色
山口地すべり	横ボーリング	ガリオネラ・フェルギニア	赤褐色



写真-2 ガリオネラ・フェルギニア (茶屋地すべり)



写真-3 レブスリック・オクラケア (夏中地すべり)

フェルギニア 11ヵ所、レブスリック・オクラケア 1ヵ所、両者 2ヵ所である。

鉄細菌は、水中に溶存する第一鉄イオンを第二鉄イオンに酸化する際に得られるエネルギーにより生活し、鉄細菌本体の内外に水酸化第二鉄を生成し沈積させる。また、水酸化第二鉄は、脱水されると酸化第二鉄になる。なお、ガリオネラ・フェルギニアは鉄のみを栄養源とする純独立栄養細菌(真正鉄細菌)であり、レブスリック・オクラケアは鉄の他に有機物も利用する鉄細菌である。

以上のことから、スライムの主成分が概ね酸化第二鉄であること、スライム中に鉄細菌が存在することなどが分かった。

3.2 地下水の分析

地下水の成分分析は、集水管の目詰まり状況調査を行った地すべり地 19ヵ所の横ボーリング 20基と集水井 3基において集水された地下水を採取し実施した。なお、地下水は、同じ地下水排除施設の中で、スライム有とスライム無を対にして採水した。また、地下水の分析は、 Na^+ 、 Ca^{2+} などの 11 項目の成分と、pH、電気伝導度、一般細菌数、酸化還元電位、溶存酸素、について実施した。

図-4 には、地下水の分析結果を集水管へのスライム付着の有無別に示した。分析項目の中で、スライム付着有りと無し

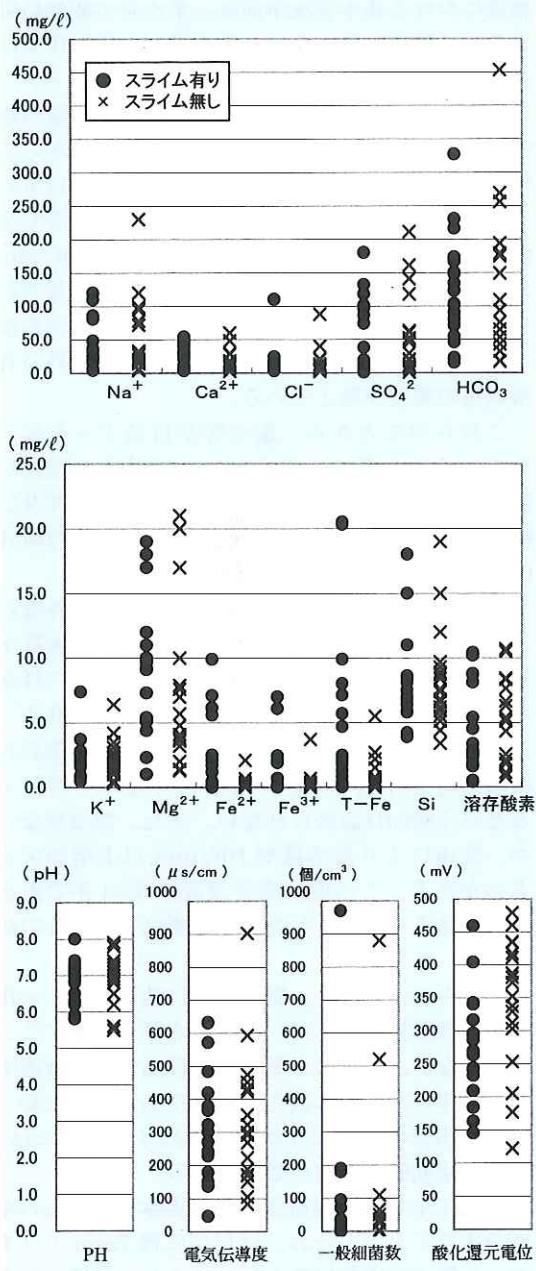


図-4 地下水の分析結果

で差が認められたものは、Fe²⁺、Fe³⁺、T-Fe(全鉄)であり、中でも Fe²⁺ の差が最も大きい。

図-5は、Fe²⁺(第一鉄イオン)の量と集水管へのスライム付着量との関係を示したものである。

なお、スライム付着量の小は、孔口断面積にスライムが薄く付着する程度であり、中は孔口断面積の1/3以下の付着、大は孔口断面積の1/3以上の付着を表す。スライム付着の有無で比較した場合、第一鉄イオン量は、沢西地すべりと坪野地すべり(横1)

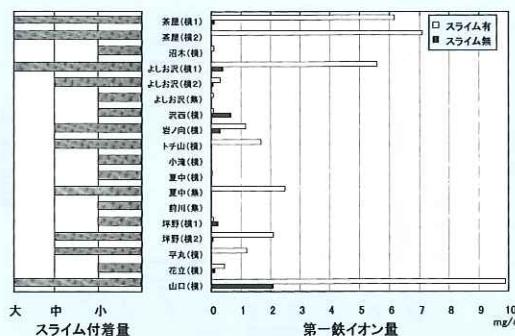


図-5 第一鉄イオン量とスライム付着量との関係

の2カ所を除く16カ所で、スライム有がスライム無より多くなっており、両者の差はスライム付着量が多くなるほど大きくなっている。また、スライム付着量が中と大の地下水排除施設では、第一鉄イオンの量が1mg/l以上となっている。

以上のことから、集水管にスライムが多量に付着する地下水排除施設は、地下水中的第一鉄イオン含有量が1mg/l以上の場合であると判断できる。また、スライムと地下水の各分析結果である、①集水管にスライムが付着する地下水排除施設では地下水中的第一鉄イオン量が多いこと、②スライム中に鉄細菌が存在すること、③スライムの主成分が酸化第二鉄であること、などは、鉄細菌のエネルギー取得メカニズムと一致し、スライムが鉄細菌により生成されることを裏付けるものと考える。

ただし、沢西、小瀧、前川、坪野の各地すべりについては、スライム分析結果における以下の点で他のものと異なっていた。すなわち、①スライム中に鉄細菌の存在が確認されていないこと、②沢西地すべりでは有機物が、前川地すべりでは二酸化ケイ素が、他の地すべり地に比較して多くなっていること、③スライムの色が赤褐色ではなく、沢西地すべりでは黒白色、前川地すべりでは灰褐色であること、などである。これらのことから、鉄細菌が関与しないスライムの生成メカニズムもあると考えられる。この点については、今後の課題とする。

4. 地下水排除施設集水管洗浄の効果

地下水排除施設の集水管は、スライムの付着などにより目詰まりを起こし、その機能が低下する。このため、目詰まりした集水管の機能を回復させるために、集水管内部の洗浄が20MPa前後の高圧力水の噴射により行われている⁵⁾。

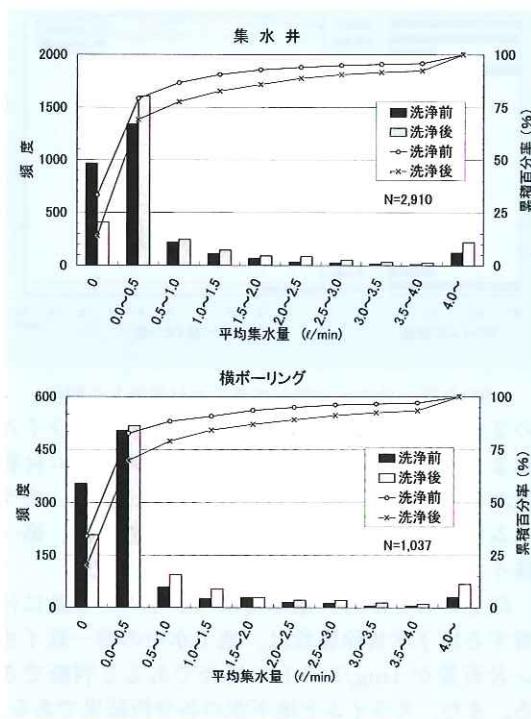


図-6 集水管洗浄前後の平均集水量

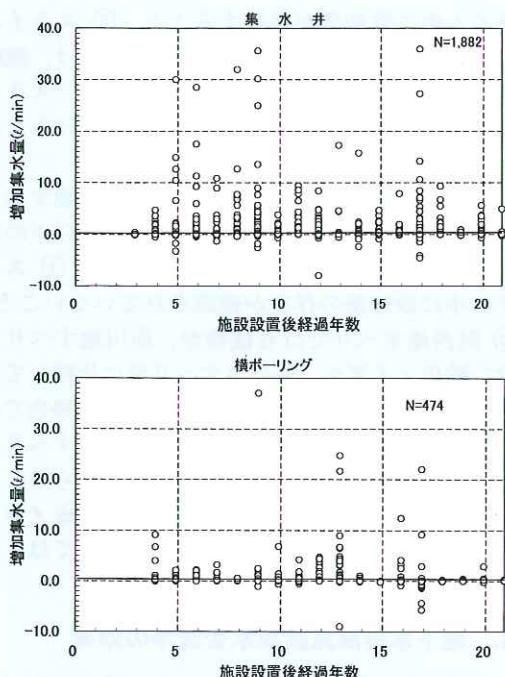


図-7 施設設置後経過年数と増加集水量との関係

集水管の洗浄効果については、集水管の目詰まり調査を実施した新潟県上越地方の地すべり地と、中国、九州の各地方を除く 17 道県の地下水排除

施設における集水管洗浄前後の集水量の観測結果をもとに検討した。なお、集水量は、洗浄作業前後 3~5 日間(1回/日)観測したデータである。

図-6 には、集水管洗浄前後の平均集水量の頻度分布を示した。集水井及び横ボーリングからの集水量は、集水管洗浄前後とも $0.5\ell/\text{min}$ 以下のものが多く洗浄前で全体の約 80%、洗浄後で全体の約 70% を占めている。また、集水量 $0\ell/\text{min}$ の集水管は、洗浄前で全体の約 30%、洗浄後で約 15% を占めている。この他、集水量は、洗浄前後では集水量 $0\ell/\text{min}$ の頻度が減り、それ以外の各階級毎の頻度が増えている。

これらのことから、集水管が目詰まりを起こしていること及び、洗浄により目詰まり物質が除去されることが確認された。また、集水井及び横ボーリングからの集水量は、ほとんどの場合 $0.5\ell/\text{min}$ 以下であることが分かった。

図-7 には、集水井及び横ボーリングの各施設設置後の経過年数と集水管洗浄による増加集水量との関係を示した。データの施設設置後の経過年数は、集水井及び横ボーリングとも 3~29 年である。集水管洗浄による集水量の増加は、施設設置後の経過年数が大きくなるにしたがい増加するという傾向は認められない。また、数は少ないが、洗浄により集水量が $10\ell/\text{min}$ 以上増加するものがある。この他、施設設置後 3~4 年で集水管が目詰まりを起こし洗浄が必要になったものがある。

これらのことから、集水管の目詰まりが、一律に施設設置後何年くらいで起こるかを見出すことはできない。これは、集水管の目詰まり進行速度が、地すべり地毎に異なるためである。したがって、集水管の目詰まり状況を把握するためには、施設の定期的な点検が必要である。

図-8 には、集水管洗浄前後の集水管検尺長の頻度分布を示した。なお、検尺は直径 7mm のワイヤーを集水管内部に挿入し、ワイヤーが挿入できる長さを測定することで行った。また、集水管の施設設置時の長さは、一般的には 50m である。集水管洗浄前の集水管検尺長の頻度は、集水井及び横ボーリングとも 50m 未満が全本数の約 50% を占めている。また、集水管の検尺長は、洗浄前後の頻度分布を比較した場合余り変化していない。

これらのことから、調査した集水管の約半数が施設設置時に比べて長さが短くなっていること及び、集水管の洗浄によりその長さを回復できる場合は少ないことが分かった。

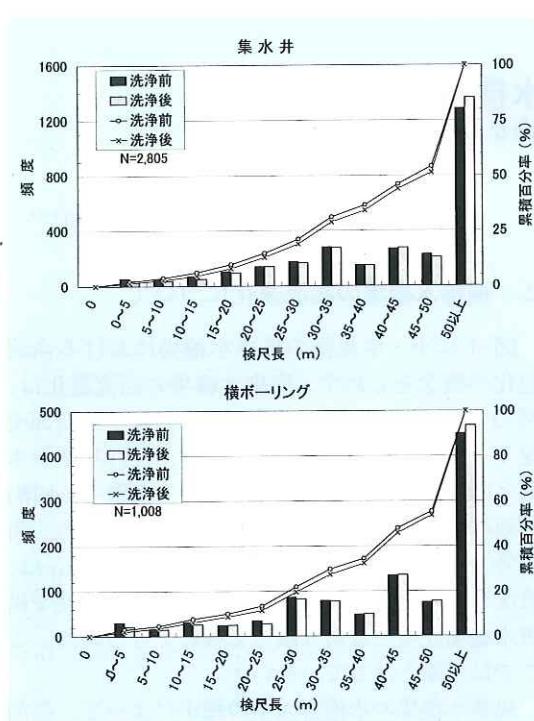


図-8 集水管洗浄前後の集水管検尺長

5. あとがき

本調査では、地すべり地における地下水排除施設集水管の目詰まりについて調査検討した。

その結果、集水管の目詰まりの主な原因是集水管へのスライム付着であり、調査した横ボーリング及び集水井の集水管本数全体の約30%でスライムが孔口に付着していることが分かった。また、スライムの主成分は概ね酸化第二鉄であり、スライム中に存在する鉄細菌がスライム生成に関与していることなどが分かった。

現在、これらの結果をもとに、集水管へのスライム付着防止法について検討中である。

最後に、本調査を進める際しては、新潟県土木部砂防課、新井砂防事務所、糸魚川土木事務所、安塚土木事務所の方々に御支援を頂いた。また、地下水排除施設集水管洗浄の効果調査に用いたデータについては、株式会社新東京ジオ・システムに提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 大浦二朗、加藤信夫：地下水排除工の機能低下の原因に関する一考察、第36回地すべり研究発表講演集、pp.119-120、地すべり学会、1997。
- 飯田正巳、丸山清輝、加藤信夫：地下水排除工の機能低下に関する実態と原因の考察、第37回地すべり研究発表講演集、pp.319～322、地すべり学会、1998。
- 高橋正樹、丸山清輝、加藤信夫：地すべり地における地下水排除施設機能低下に関する調査、第38回地すべり研究発表講演集、pp.361-364、地すべり学会、1999。
- 小島貞男、須藤隆一、千原光雄：環境微生物図鑑、pp.3-6、講談社サイエンティフィク、1995。
- 三浦靖彦、古城正明：地すべり防止施設修繕工事について(5)、第37回地すべり研究発表講演集、pp.333-336、地すべり学会、1998。

丸山清輝*



建設省土木研究所
新潟試験所主任研究員
Kiyoteru MARUYAMA

安藤達弥**



同 新潟試験所
Tatsuya ANDOU

高橋正樹***



(前) 新潟試験所交流研究員
Masaki TAKAHASHI

飯田正巳****



建設省北陸地方建設局
高田工事事務所
(前) 新潟試験所
Masami IIDA