第28回シンポジウム

地すべり防止施設の維持管理と問題点

2000．5．12

主　催　㈳日本地すべり学会新潟支部
共　催　地盤工学会北陸支部
後　援　新潟県
　　新潟県地質調査業協会
　　地すべり対策技術協会新潟支部

目　　次

Ⅰ　地すべり防止施設の維持管理について ……1
Ⅱ　水抜きボーリングは効いているか ……6
Ⅲ　老朽堰堤の補修例 ……16
Ⅳ　虫生岩戸地区における地すべり対策 ……28
Ⅴ　横ボーリング及び集水井の機能低下に関する調査 ……36

Ⅰ　地すべり防止施設の維持管理について

新潟県治山課　**吉　津　浩　司**

1　はじめに

地すべり等防止法が昭和33年に施行されてから40年以上が経過し、これまでに数多くの地すべり防止施設が施工されてきた。当県においても施設の整備（新設）とともに既設施設の修繕（機能回復を含む）も行われてきた。修繕対策は新設に比べると件数、金額ともに少ないが毎年継続して実施されている。

本発表では県関係3課（砂防課、農地建設課、治山課、以降県3課と言う。）が行っている地すべり防止施設の維持管理対策と問題点、及び今後の課題等について述べる。

2　地すべり防止施設とは

地すべり等防止法第2条3項によれば「地すべり防止施設とは-------排水施設、擁壁、ダムその他の地すべりを防止するための施設をいう。」と定義されている。一般に地すべり防止施設と言えば暗渠工（集排水ボーリング）、集水井工、杭打工、アンカー工といった工種を思い浮かべるが、ここでは地すべり等防止法の定義どおり、ダム、土留などの施設も含めて話を進めることとする。

3　地すべり防止施設の維持管理対策

施設の維持管理対策は施設そのものの修繕、いわゆるハード対策のみならず、それを行うノウハウの確立・実行、すなわちソフト対策も重要と考えている。ハード、ソフト両面から事例紹介する。

（1）維持管理のハード対策

現在、県3課では次の事業により維持・修繕対策を行っている。

砂　防　課：地すべり防止施設修繕事業（公共）
　　地すべり防止施設修繕事業（県単）
農地建設課：地すべり防止施設補修事業（公共）
　　地すべり防止事業（県単）
治　山　課：地すべり防止（修繕）事業（公共）
　　小規模県営治山（施設修繕対策）（県単）

各課とも公共（国庫補助事業）と県単（県単独事業）の両事業により対応しているが他の事業よりも事業費、施工箇所ともに少ないのが実状である。これらの他にも地すべり対策事業（砂防課、公共）、地すべり防止事業（治山課、公共）、地すべり防止工事（治山課、県単）等により対策を行っている。また異常な天然現象（融雪、地すべり、豪雨等）により施設が被災した場合は施設災害復旧事業により被災施設の復旧が可能である。

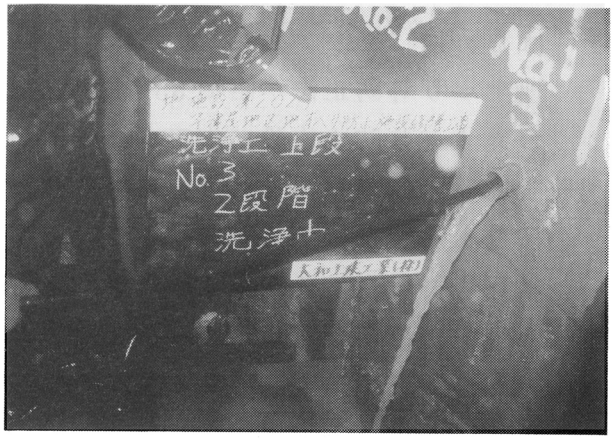
次に実際に行われている代表的な施工例を紹介する。

① 集水ボーリングの孔内洗浄（写真．1）

以前から行われている工種で、これまではジェット洗浄工法が主体となっていたが最近ではゴム製のピストンを装着して洗浄する等の新工法も出てきている。



施工前



施工中

写真．1　集水ボーリング孔内洗浄

② 水路の修繕（伏せ換え）（写真．2）

経年変化により変形、破損した水路の取り換えである。



施工前



施工後

写真．2　水路修繕

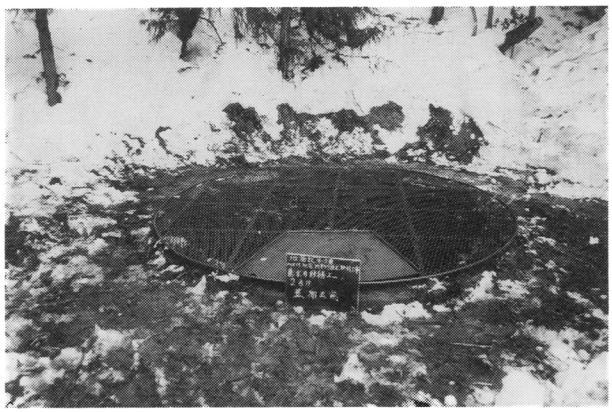
③ 集水井工の蓋、階段、防護柵の取り換え（写真．3）

老朽化した蓋、階段、防護柵の取り換えである。写真の例は鋼製の蓋をコンクリート製に交換したものである。

④ 水路脇の除草

スムーズな流水を阻害、遮断している水路両脇の雑草を除去するものである。

以上が一般的に行われている施工事例である。これ以外にも数は少ないが次のような事例もある。



施工前



施工後

写真．3　集水井工蓋の取り換え

⑤ トンネル暗渠工内の集水ボーリング増設（写真．4）

硬質な安山岩レキ混入による目詰まりが原因で洗浄が不可能なため集水ボーリングを増設した。

⑥ 既設谷止工の置き換え（写真．5）

鉄線の腐食が激しい大型フトン籠製の谷止工をコンクリート製に置き換え。



写真．4
多量の水が排出されているのが
増設した集水ボーリング



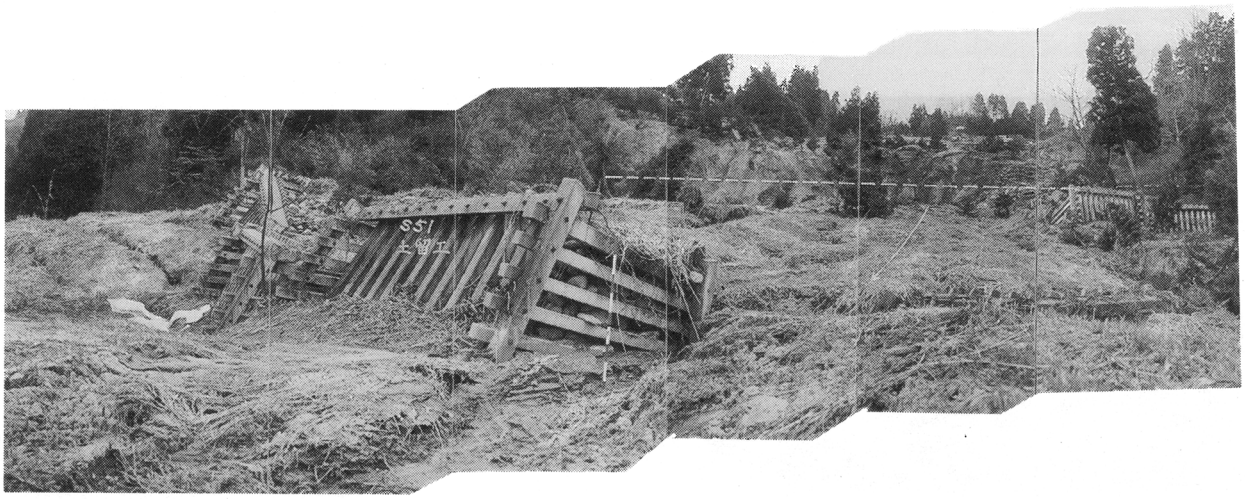
写真．5
中央の放水路下まで鉄線の腐食
が進行している谷止工

⑦ 災害により被災した施設の復旧（写真．6、7）

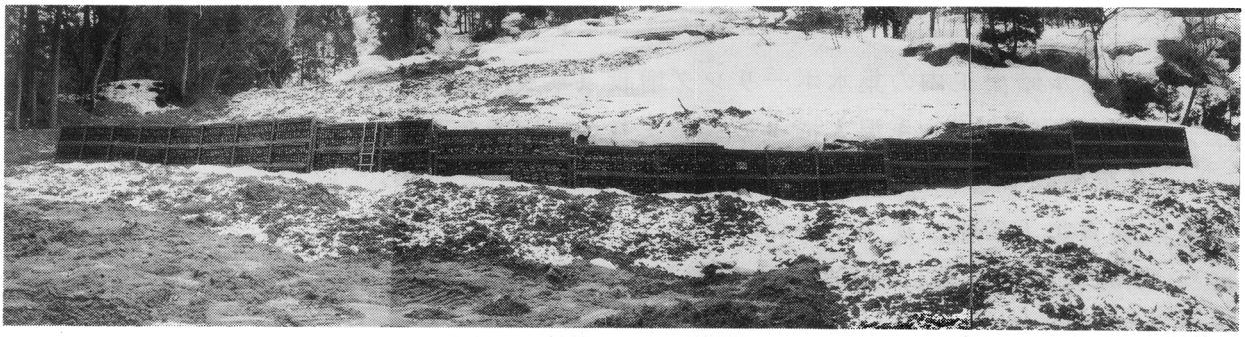
施設災害復旧事業による復旧。写真の例は被災した土留工を復旧したものである。

（2） 維持管理のソフト対策

将来に渡り効果的なハード対策を行っていくためには、施設の経年変化を継続的に調査し、データベース化することが必要と思われるが、数多くの施設すべてに対応するのは難しいのが現状である。このような中、地道ではあるが有効なハード対策につ



写真．6　地すべりにより被災した土留工



写真．7　復旧された土留工

なげるため、実施されているソフト対策を紹介する。

① 県単地すべり防止事業調査（要補修調査委託）－－－－－農地建設課

地すべり防止施設の適正な管理を目的とした調査。地すべり防止工事概成後、概ね15年以上経過している地区において実施し、その調査結果をもとに地すべり防止施設補修事業、県単地すべり防止工事等により対策を行っている。

⑧ 集水井台帳作成調査－－－－－治山課

これまで治山課により施工された集水井は全県で約500基にのぼるが経年変化に伴い所在の確認すら困難となっているものもあり、維持管理に不都合が生じていた。

このような状況を打開するため2ヵ年に渡り全県すべての集水井の現況を調査するとともに、GPSによる座標位置確認ができるようにした。

⑨ 地すべり巡視員制度－－－－－3課共通（砂防課所管）

地すべりの早期発見につとめ、地すべり災害から人命及び財産の保護並びに地すべり防止施設の適正な管理をはかるため、地すべり防止区域の巡視業務を県が市町村に委託して実施するもので新潟県独自の制度である。市町村は巡視員を設置し、巡視員は担当区域において

- 地すべり又は地割れ、不等沈下等地すべりの発生が予測される徴候
- 地すべり防止施設の亀裂、損傷箇所
- 地すべり等防止法で定める制限行為に対する違反者

を発見した場合は、すみやかに市町村長に通報することとなっており、施設の維持管理、地すべり災害の未然防止等に大きく役立っている。

4　問題点と今後の課題

（1）予算・制度上の制約

当県における施設の整備水準は低位な状況にあり、維持管理以上に施設整備を急がざるを得ない状況である。そのため修繕事業の予算が少ないのが現実である。また近年、国庫補助の修繕事業の採択基準額が引き上げられた。

このような状況下で、より効率的な維持管理を行うには施工箇所を限定し、集中的に修繕対策を実施していく必要がある。

（2）維持管理のための指針、ガイドラインの作成

水路、ダム、擁壁等の地表面に出ている施設は目視により機能の低下、損傷等を確認することができるが、杭打工、アンカー工等の地中内の施設はそれらの確認が困難である。また集水ボーリングの機能が経年的にどのくらいずつ低下していくか把握することも重要だと思われる。

これら施設の経年変化による機能低下の度合いは地質、地下水、その他さまざまな条件により異なることが想定されるので諸条件別に区分・調査し、維持管理の指針、ガイドライン（例えば、この地質であれば施工後10年を目途に集水ボーリング洗浄をするといった具合）を作成できれば今後大いに役立つと思われる。

5　おわりに

施設の維持管理は将来に渡り行って行かねばならない。多くの課題が残されているが今後とも維持・修繕対策を行い、施設の機能回復を図っていく必要がある。

Ⅱ　水抜きボーリングは効いているか

株式会社　興　和　**鴨　井　幸　彦**

１．問題の認識

地すべり対策工事において，機能低下の問題は，これまであまり考慮されてこなかった。地すべりをはじめとした土砂災害の防止と復旧に対して，毎年多額の予算が投入され，膨大な量の工事が実施されているにもかかわらず，こうして作られた施設・構造物の『その後』について，追跡した例はあまり聞かない。考えてみると，これは不思議なことである。

筆者は 1999 年 9 月の札幌での地すべり学会でこの問題を取り上げた（鴨井，1999）。これまでにも，機能低下の指摘（板垣ほか，1986）や横ボーリングの洗浄工事例（三浦ほか，1998），あるいはスライムの付着状況とその成分分析結果（飯田ほか，1998）などの紹介例はあったが，維持管理の必要性が本格的に議論されたことはなかった。

この点に関して，「いや，水位観測を実施しているじゃないか」といった反論もあるかも知れない。たしかに，地すべり対策事業の場合には水位や移動観測などが実施され，効果の判定が試みられていることが多い。しかし，その目的はあくまで効果確認であり，多くの場合数年間で終了し，防止施設の状況を後々まで追跡することはない。とくに，災害復旧関連では，施工後，まず振り返られることはないといってよいであろう。

それでも，アンカー工や杭工などの抑止工の場合には，人家や道路など目に留まるところに施工されることが多いため，自然に監視の目が行き届いている。それに，そもそも半永久構造物として施工されるため，当初から維持・管理は念頭におかれていない。これに対して，水抜きボーリング工などの地下水排除工の場合は，人目に触れることの少ない山間地に施工されることが多いため，機能低下や破損に対して気づきにくい面がある。

地すべり対策工事における地下水排除工の占める位置は高く，もっとも基本的な工法の一つとして広く普及している。しかし，中には，施工後急速に機能低下するものや，変形によって破損したり，埋没してしまったりしている例も少なからず存在する。幸いにして，地下水排除工の機能低下によって地すべりが再活動したという例はあまり報告されてはいないが，今後大いに懸念される事柄である。

２．地下水・地表水排除工の施工後の不具合

以下に，具体的な事例を列挙する。

1）水抜きボーリング工の場合

水抜きボーリング工では，次に挙げるような事例が実際に観察されている。

①スライムの付着や植物の根の侵入による排水管の詰まり(図－１～６)

②施工後の地すべり変状による破損

③流末処理の不備

・連結したエルボのはずれ

・スライムや落葉の堆積による承水路の埋没(図－７，８)

・植物の繁茂による受けマスや承水路の埋積(図－９，10)

・承水路工が未施工であることによる排水の垂れ流し(図－11)

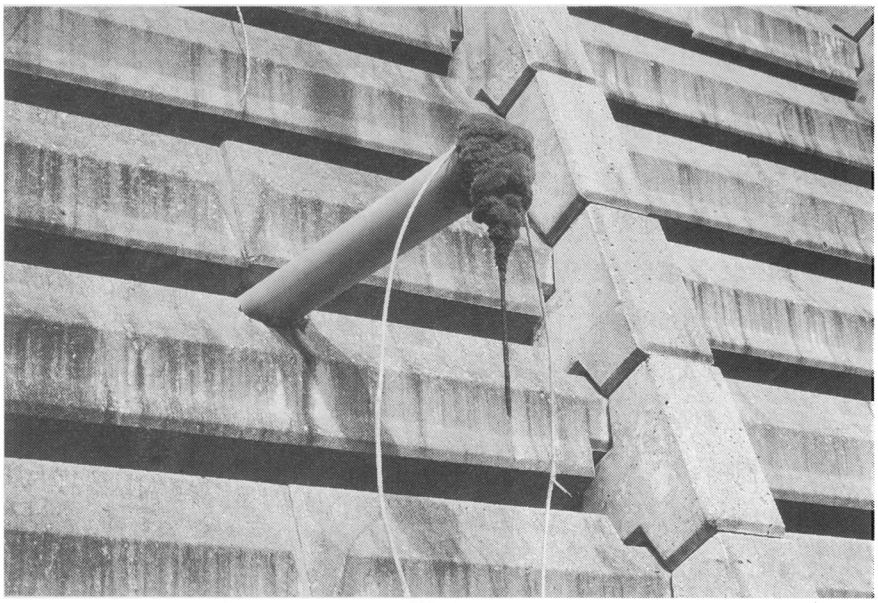
④吸い出しによる塩ビ管と地山との空隙の広がり，漏水による侵食(図－12)

このうち，①スライムの付着の事例がもっとも多い。

図－１
スライムの付着による
排水管の詰まり



図－２
コケの付着による排水
管の詰まり



図－３

植物の根の成長による排水管の詰まり

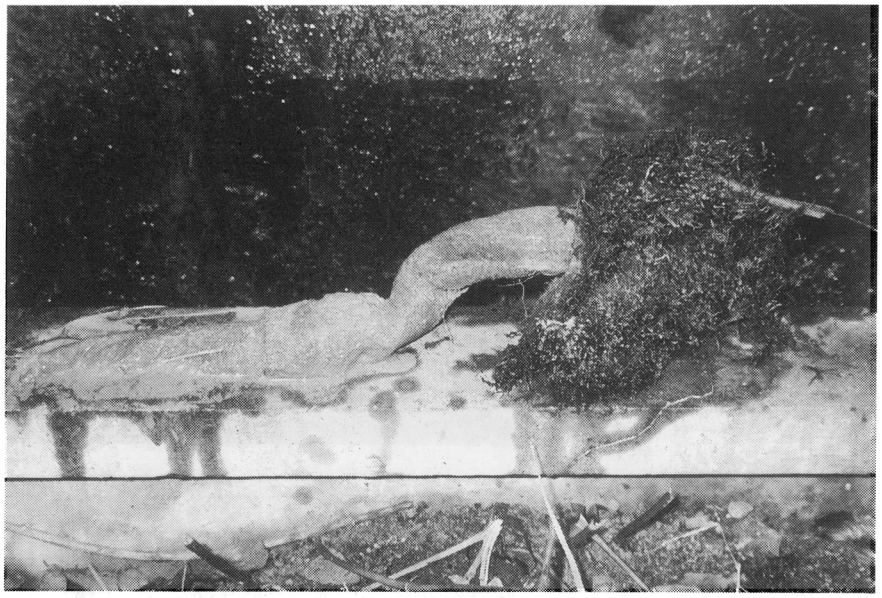
（連結した塩ビ排水管内に侵入した根が密生し，まるで栓をしたような恰好になっている。）



図－４

排水管内の詰まり

（キノコ状になったスギゴケとその根。孔口に厚く付着したコケを剥がそうとしたところ，管内に侵入していた根がすっぽりと抜け出してきた。）



図－５

排水管内の詰まり

（孔口をエルボで連結して排水している場合，その継ぎ目のわずかな隙間から根が侵入していることが多い。引き出してみると管内いっぱいに広がり，筒状になってふさいでおり，驚かされる。）



図－６

排水管内での湛水

（排水管の孔口で詰まっていたので，蓋を開けたところ，滞留していた赤茶けた地下水がドッと噴きだしてきた。この図は右側から順番に蓋を外していったところで，しばらく経ったら右端のように不断の水量に戻った。）





図－７　スライムの付着による孔口の閉塞

（スライムが厚く付着して盛り上がり，孔口をおおい隠している様子。草が生えてくるとますますわからなくなる。）



図－８　スライム排除後の様子

（これまでは詰まりのために，長期間にわたって排水されていなかったことになる。）





図－9（左上）

スライムの堆積による水路の埋積

（生産された大量のスライムが承水路一杯に溜まり，落葉と一緒になって水路を埋めただけでなく，周辺にまで溢れ出している状態。）

図－10（右上）

植物によって埋め尽くされた受けマス

（受けマス一杯に植物が繁茂したため，排水がマスに溜まらないでそのまま溢れ出し，周辺を湿地化させている状態。）

図－11（右下）

流末の未処理

（流末処理が不十分である例は意外に多い。この図では，排水は舗装された排水路に導入されず，下の休耕田中に落とされている。）



図－12
孔口保護壁の脇からの漏水とそれによる侵食（ケーシングを抜いた後，集水管との隙間が埋まりきらず，集水管の周囲を流れてきた地下水が地表付近で漏れ出してきたものと考えられる。こうした水みちがさらに大きくなることが懸念される。）

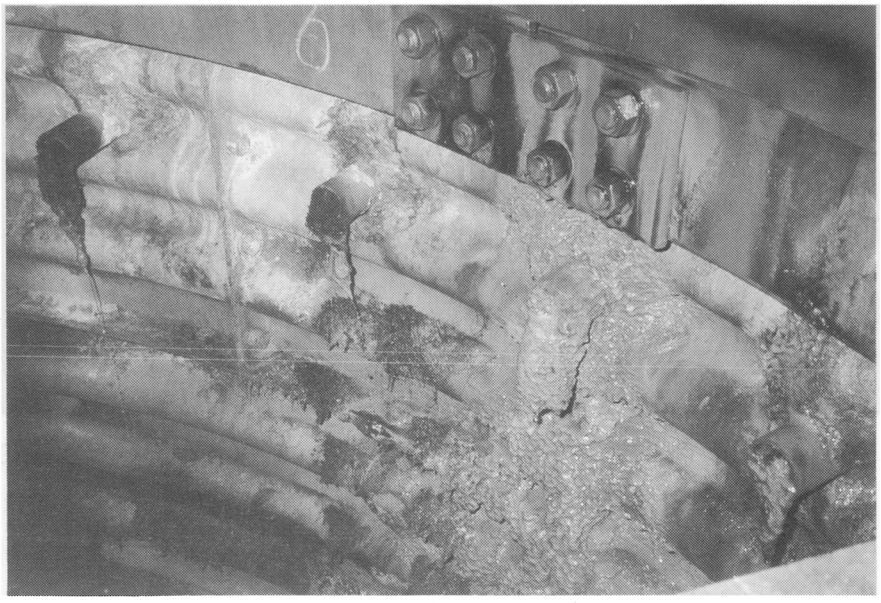


2）集水井の場合

集水井では，やはりスライムの付着による機能低下が目立つ（図－ 13 ）。これに対して，洗浄工事による機能回復の試みがなされることがあるが，ごく一部にすぎない。また，洗浄後，どの程度機能を回復したかについての評価は，ほとんどの場合，水量の変化を比較するだけに止まっており，水位の変化や安全率にまで踏み込んだ例はほとんどないように思われる。これは，洗浄されるような段階では，すでに観測業務自体が終了していることが多いためであろう。

集水井においてもう一つ注意しなければならないことは，排水管の破損による井戸の湛水である。施工後のわずかな地すべり変状によって排水管が破損し，湛水したことによって地下水位が上昇し，変状の拡大につながることがある。こうした場合でも，湛水の初期に発見できれば，拡大を防止することが可能である。

図－13
集水ボーリング孔の詰まり（スライムやコケが厚く付着したため，孔口が詰まってしまった集水井内の横ボーリング。）



3)排水路の場合

以下に示すようないくつかの点が観察される。

①落葉や土砂およびスライムの堆積による水路の埋積と溢水(図－14，15)

②継ぎ目からの漏水と侵食，地下への再浸透(図－16)

③水路の脇の侵食や移動による水路自身の変形，破損

④暗渠排水管の詰まり(図－3，5，6)

その他，軟弱地において無理に施工したため施工時からすでに変形している例や，天端が周囲の地盤より高くなっている例，自然流下に逆らって排水路を配置したため，地表水が水路に乗っていないなどといった工事例がある。



図－14　落葉で埋められてしまった承水路

(承水路の上に枝や葉が堆積し，水路をおおい隠している状態。こうなるともはや排水路の機能を十分に果たすことはできない。)



図－15　枝や落葉による水路のせき止め

(排水路が小枝や落葉によってせき止められ，溢水している例も多い。この図は溢水までには至っていないが，それに近い状態にある。



図－16　排水路の破損による漏水・再浸透

U字溝の継ぎ目は，地表部のわずかな変形によって簡単に口を開く。そこからの漏水は新たな変状につながりやすく，要注意である。

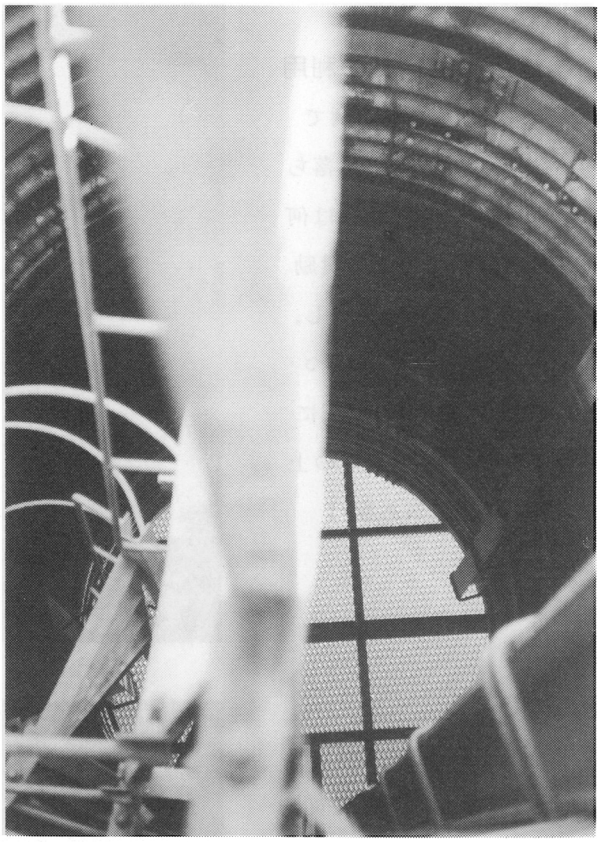
4)その他の問題

①排除水の利用

排除水の利用は大いに推奨されるべき事柄ではあるが，中には集水井の排水ボーリングの孔口を塞いで湛水させ，農業用水として利用しているといった極端な例がある（図－17，18）。また，地表水抜きボーリングの場合，孔口から直接黒ポリパイプを連結して取水している例がよく見られる（図－19）が，これは詰まりの原因になりやすく，好ましくない。

②排除水による吸い出し現象

地下水の地下侵食によって陥没が生じたり，地下水の排水によって沈下する場合のあることが高野(1983)により指摘されている。実際，地下水排除工の排水とともに土砂が吸い出されている例をしばしば目にする（図－20）。地すべり地の基盤地質が砂質土の場合，とくにおこりやすいと考えられる。地すべり防止工事が逆に助長原因になっている可能性もあるので，この点に対する配慮も必要である。



図－17　人為的な原因による集水井の湛水
（「すわ大変！変状による排水管の破損か？」と憂慮されたが，何のことはない。単に農業用に利用するため，排水管のはけ口にバルブを取り付けたせいであった。工事の目的を地元によく理解してもらう必要がある。）



図－18
孔口に取り付けられたバルブの解放によりほとばしり出た排除水（排水管のバルブを開いたところ，勢いよく水が飛び出してきた。湛水によって地下水が上昇したが，幸いにして変状はなかった。）

図－19

農業用水としての利用

（これはよく見られる例である。一旦溜めマスに落ちた水を利用することには何ら問題はなく，むしろ奨励されるべきである。しかし，図のように孔口に直接つなぐことは詰まりの原因になりやすく，地下水位の上昇を招く恐れがある。）



図－20

排水による吸い出し

（地すべり地の基盤地質や崩積土砂が砂質土系である場合，集水にともなって土砂が吸い出されてくる場合がある。この例では排水管内に砂が堆積している様子がよくわかる。）



３．施設の維持・管理の現状

既存施設の管理については，実害が生じたり目に余る状況になって初めて，地権者や調査を担当したコンサルタント，あるいは現地におもむいた管理者（国・県）などの指摘にしたがって，そのつど修繕されるというのが実状である。いわば「その場しのぎ的内容」にとどまっている。よほどひどい状況になっていても，山間地にあるため誰も知らないといった例も多いと思われる。

もちろん，こうした実態に気付いている人は多い。しかし，現状では予算化する手だてを持ってはいない。全国の地すべり指定地における対策工事の整備率はまだまだ低く，この先予算を投入し続けても，とうてい追いつかないであろうことは目に見えている。ましてや，古いものから徐

々に劣化してきているとなればなおさらのことである。そもそも本当にその工事が必要なのか，これまでにも増して十分な検討を迫られ，思い切って数量を絞り込む場面も生じてこよう。

コスト縮減の中で，既存施設の保持に関しては，これまで以上に大きな関心が寄せられるに違いない。地すべり関連予算全体の中に占めるメンテナンスの割合も，今後はいやが上にも増やさざるを得ないであろう。これからは，作りっぱなしではなく，メンテナンスを制度化し，定着させていかねばならないと考える。

4．提　案

では，具体的にどうしたらよいだろうか。この点について，筆者は，道路管理における道路パトロールのようなシステムが制度化されるのが望ましいと考えている。しかし，対象があまりにも膨大である上，工事内容(位置・数量)自体把握しきれていないという現実もある。その上，地すべり地ではちゃんとした道そのものがないことが多いので，道路パトロールのようなわけにはいかない。さらに，植生の繁茂が施工位置をわからなくしているなど問題も多い。

そこで思い当たるのが新潟県で実施している『地すべり巡視員制度』である。この制度は，現在は見回りだけでメンテナンスは含んでいない。しかし，これを母体に作り替えたらよいと考える。つまり，巡視員は，地すべり状況も含めて既存施設の現況を把握するとともに，落葉やスライムの除去，エルボの外れを直すなどの簡単な作業を行う。また，承水路や孔口保護工の補修などの人手を要する修繕は地元の建設業者が実施する。そして，提案も含めた全体の調整を地質調査を担当したコンサルタントが行い，施工の判断と予算の執行を管理者である国や県が実施するというのはどうであろうか。

いずれにせよ，関係者で知恵を出し合い，メンテナンスのためのうまい制度を作らなければならない時期にきているように思われる。

＜文　献＞

飯田正巳・加藤信夫・丸山清輝，1998：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 回地すべり学会研究発表講演集(新潟)，319-322.

板垣宏一・堀江四郎・武田建悦，1986：地すべり防止施設(抑制工)の経年変化について，第 25 回地すべり学会研究発表講演集(金沢)，106-107.

鴨井幸彦，1999：その後の地すべり対策工－メンテナンスをどうするか，第 38 回地すべり学会研究発表講演集(北海道)，341-344.

三浦靖彦・古城正明，1998：地すべり防止施設修繕工事について(５)，第 37 回地すべり学会研究発表講演集(新潟)，333-336.

高野秀夫，1983：斜面と防災，74-79，築地書館(東京)

Ⅲ　老朽堰堤の補修例

株式会社　新協地質　**川　島　隆　義**

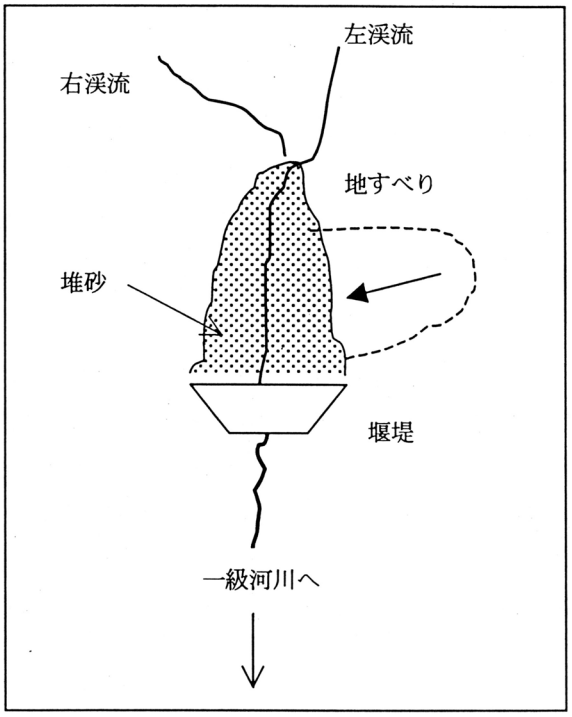
１．概要

この堰堤は、堆砂によるかん止効果を目的とした地すべり対策のもので昭和 53 年(1978)に築造された。堰堤の規模は、堤高 9.0m、堤長 29m のコンクリートダムである。

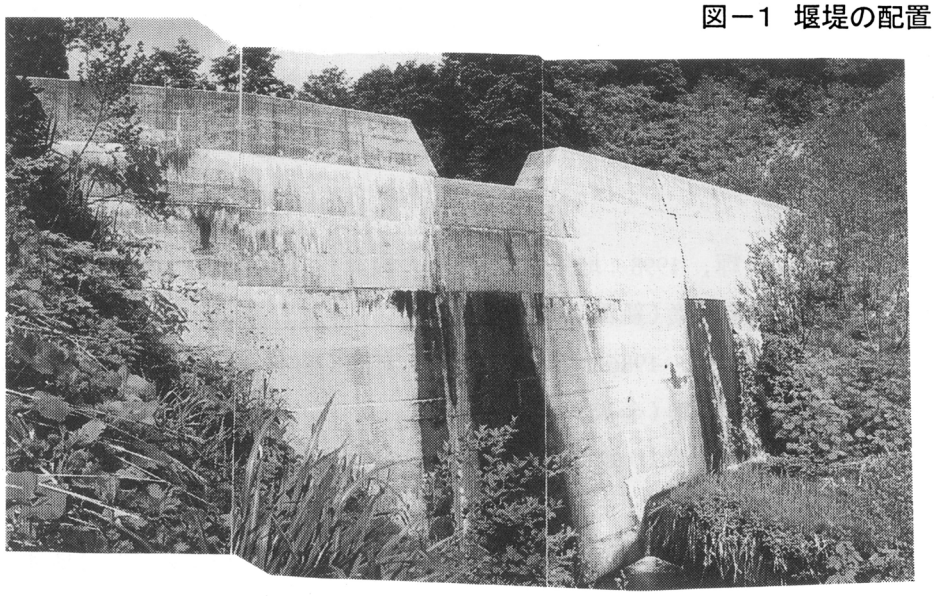
ダム上流部は既に堆砂が完了し、目的を達しているが、施行後まもなく堤体中央部の水通し左側に亀裂が入り、これが徐々に開口して、堤頂から提底までダムを左右に分離するジグザグな亀裂に発達した。さらに、左岸側の提体が沈下するとともに下流側に傾斜し、本体から分離して転倒する恐れが生じた。

ダム下流 1km には集落があり、一級河川の支流でもあるため、転倒した場合には堆砂が流出し、泥流による集落への被害、あるいは河川を塞き止める２次災害が想定された。

この堰堤を管理する現地事業所では対応を検討したが、案として次のような方法があげられた。



図－１　堰堤の配置

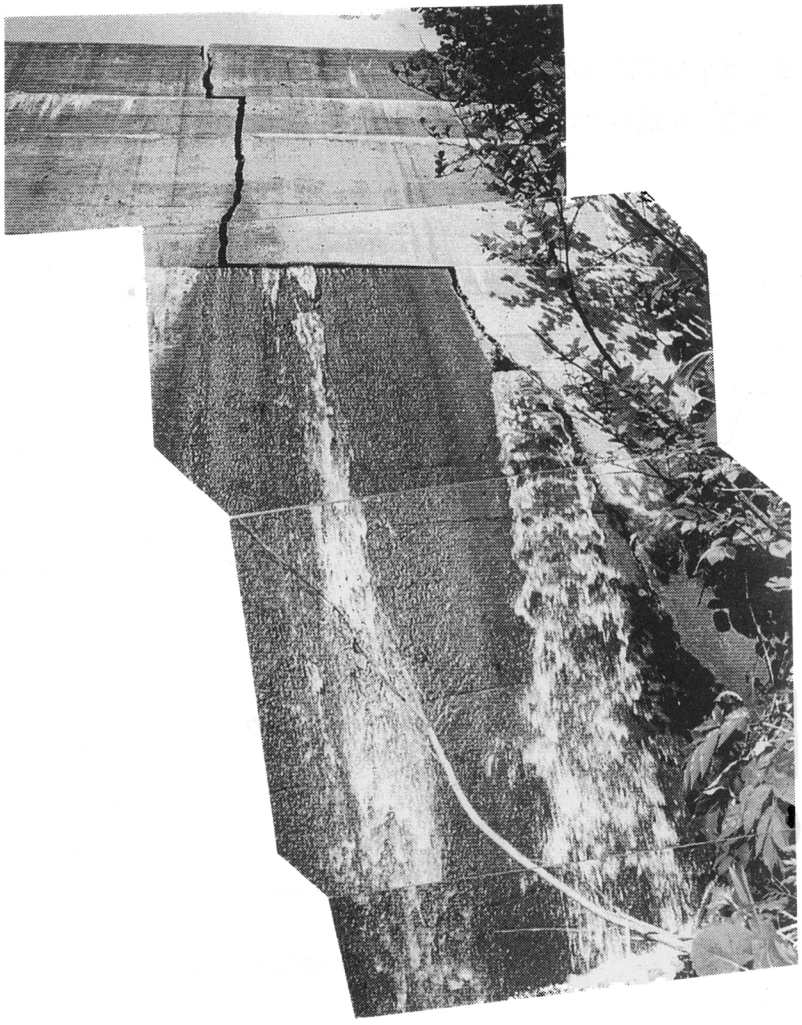


写真－１　老朽堰堤全景

① 既設堰堤の前面にコンクリートで前張りを行う。
② 下流側にもう一基ダムを新設する。
③ 堆砂を排土して補修する。

などである。しかし、①案の前張りを行うには現堤の基礎部を掘削する必要があるため分離したダムは転倒する恐れがあること。②案のダム新設では既設堰堤を捨てることになり経済的に二重の負担となること。③案の堆砂を排土するには、1 万 m^3 に近い土砂の置き場やその工法に問題があるなど、具体的な対応には苦慮するところとなった。

そこで、ダム本体の調査を行い基礎地盤状況を把握し、変状の原因を明らかにした上で対応を検討することとなった。



写真－2　堰堤前面の亀裂状況

2. 堤体の調査

調査は堤体と基礎部の 2 点について行った。

２－１）堤体の変状調査

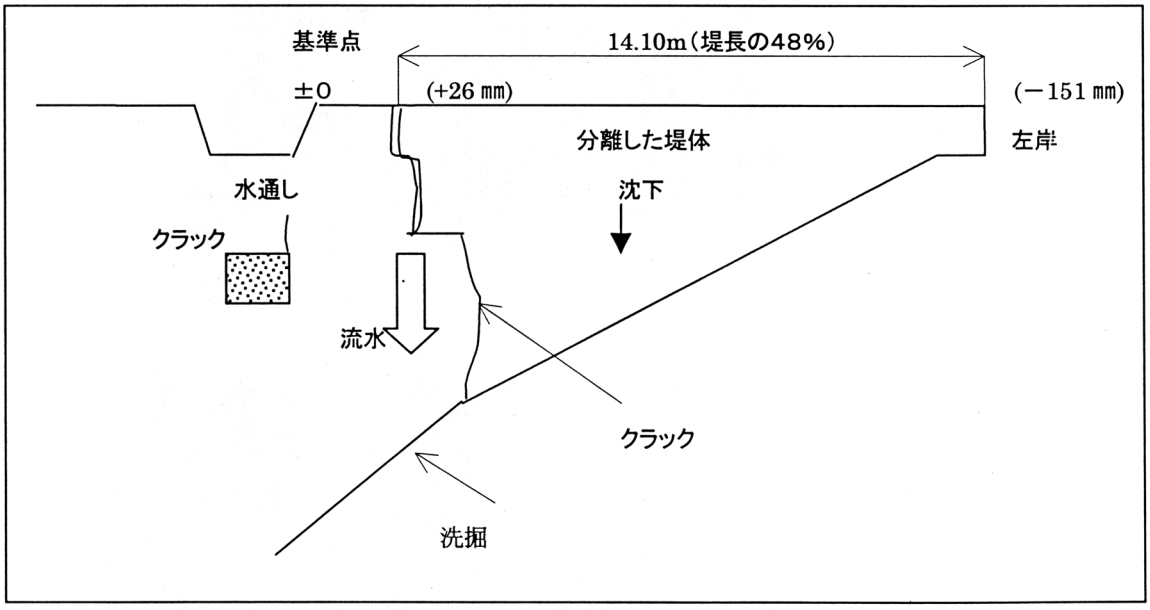
堤体は左岸から 14.10m に亀裂があり、その状況は図－２に示すようである。

堤頂の変状は水準測量によれば、水通し天端角を±0 とした場合、亀裂部で＋26mm、左岸端で－151mm であった。つまり亀裂個所から左岸の堤体は亀裂下端を支点として、左岸に向かって回転するように沈下している。また、亀裂から左岸の堤頂は右岸堤頂に比べて 20mm 下流へ張りだし、さらに下流端が８mm 低く、左岸の堤体は全体に下流に傾いていることが判った。なお亀裂より右岸側も同様の調査を行ったが、こちらは異常のないことが確認された。

堤体の亀裂は外観上極めて明瞭であった。

亀裂は堤体を左右に分け、堤頂部は人のこぶしが入る程度で約 7cm 開口している。また、亀裂は下方へ伸びてコンクリートが割れ、堤頂下 3m 付近では打ち継ぎ目に沿って横に割れ、さらに下方へ達している。堤体中ほどで亀裂は 30~40mm、下方ではヘヤークラックとなっている。

堤頂下 3m までは亀裂の開口が大きいため、川水は水通しを流れず、すべて亀裂から流出している。また、水通しを通らないため亀裂から流出した水は滝となってダム下流の基礎地盤を洗掘していた。



図－２　堤体の分離状況

２－２）　基礎地盤調査

堤体変状の原因を明らかにすること、今後の検討及び補修に必要な資料とするため、堤頂から直接、深さ 11mのボーリングを３個所実施した（付図－1）。この結果、次のことが明らかになった。

① 左岸部の基礎直下には厚さ 1~3m に及ぶ地すべり崩土が認められ、堰堤基礎部は着岩していない。

② 基礎下の崩土の N 値は小さく、特に左岸寄りでは 0~4 と極く軟弱である。N 値 20 以上の風化泥岩は堤底から深さ 2.5m、N 値 50 以上の泥岩まで同じく 4m がある。

③ 左岸 BV－1 号孔では、堤底と崩土との間に約 26cm の空洞があった。

④ 亀裂下端付近の基礎地盤には伏流水が有り、毎分 2.75 ℓ 揚水された。

⑤ 水通し部から右岸は概ね着岩して基礎が置かれていた。

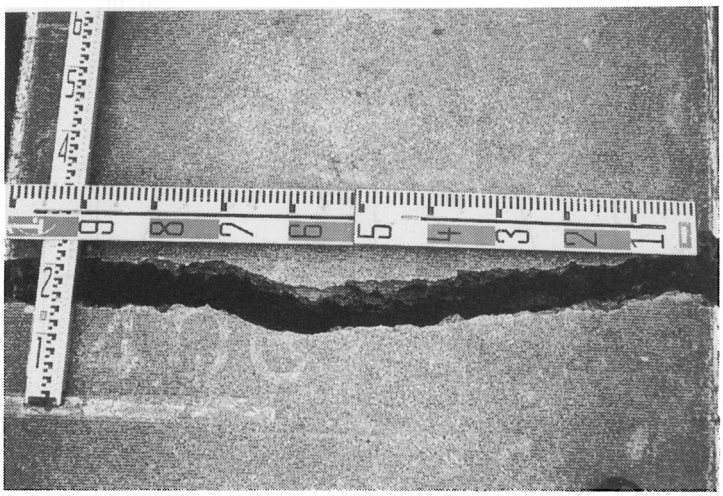
⑥ BV－1 号孔の削孔中基礎直下で、削孔水は漏水し、地表部に湧水した。

3．堤体変状の原因

堤体は、水通し部から右岸の基礎部は着岩していた。これに対し左岸は軟弱な地すべり崩土に置かれ一部に空洞が存在するなど、ほとんど地盤反力が得られず宙に浮いた状態であった。したがって堤体の分離は片持梁のような構造で左岸堤体の自重で破壊に至ったものと考えられる。

堤体の亀裂から左半部の重量は、概算で 320 t がある。ただし、この重量だけで亀裂が発生したかは疑問で、山側からの雪崩の衝撃や雪加重、あるいは崩れて来た土砂の荷重などが加えられた可能性もある。

堤頂の観察では、左岸の分離した堤体は亀裂部から下流に約 20mm ずれており、前傾した状態である。原因は主に基礎地盤に由来すると考えるが、背面土砂の土圧もこれに加担した可能性がある。



写真－3 堤頂の開口亀裂 70mm



写真－4 上流側の亀裂

4．補修工法の選定

本堤は施工後 10 年を経過していた。堤体の亀裂は施工後まもなく発見され、その後少しずつ亀裂は開口していった。

調査の結果、亀裂は堤頂から堤底に達しており、左岸は完全に分離した状態にある。さらに基礎地盤は軟弱で空洞が出来、地下水も基礎下を流れている。このため本堤をこのまま放置した場合、例えば台風時の洪水や地震などによって転倒する恐れもあった。転倒が起これば下流に被害を及ぼすだけでなく、堆砂によって抑えられている渓岸の地すべりを誘発し、その復旧は多大な経済的負担を招く。このため現況に適応した工法を用いて早急に対策を講ずる必要があった。

対応は、現堤を取り壊すか現堤に変わる堤体を築造するかが手っ取り早いが、これは先に述べたように問題があって出来ない。したがって現堤をそのままの形で補修する方法をとった。

補修工法として次のような手法を考えた。

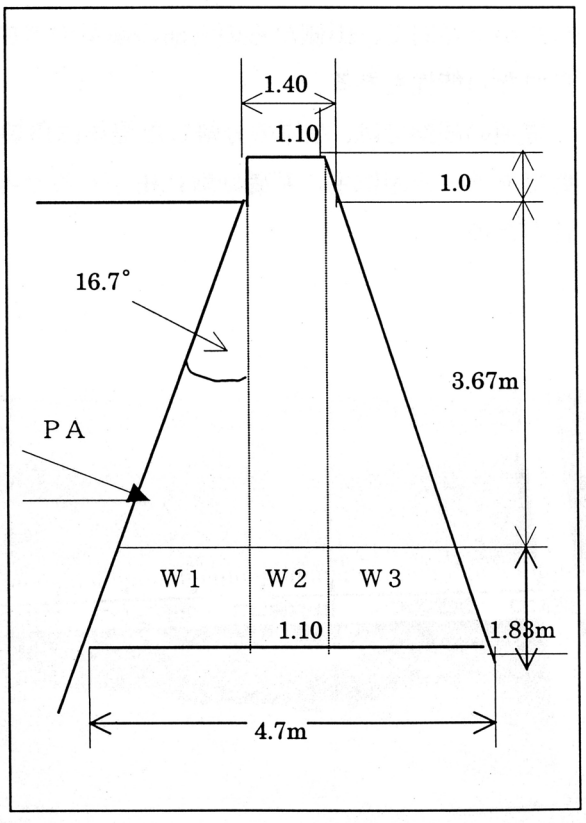
① 分離した堤体に鋼管杭を建て込んで転倒及び沈下に対抗する。

② 基礎下にグラウトを行って地盤を改良し支持力を得るとともに土砂の流出を止め、堤底の空洞化を防ぐ。

③ 亀裂をコーキングして、亀裂内部をグラウトし左右堤体を密着させて水通しへの通水を復旧させる。

④ 亀裂水によって洗掘された堤底の地盤は、コンクリートで埋め戻して被覆（前張り）し、グラウトの効果が得られるようにする。

などである。



図－3　安定の検討

5．計　算

左岸の分離堤の安定性を検討して補強を行うことにした。

計算はクーロンの土圧式から、堰堤に作用する土圧、水平力、転倒モーメント、及び転倒に対する安定性、活動に対する安定性、および支持力に対する検討を行った。

検討の詳細は省略するが、このうち滑動に対する安定と支持力の２項が不足していることが明らかとなった。

この不足分を鋼管杭のセン断抵抗力と鉛直支持力で補うこととした。

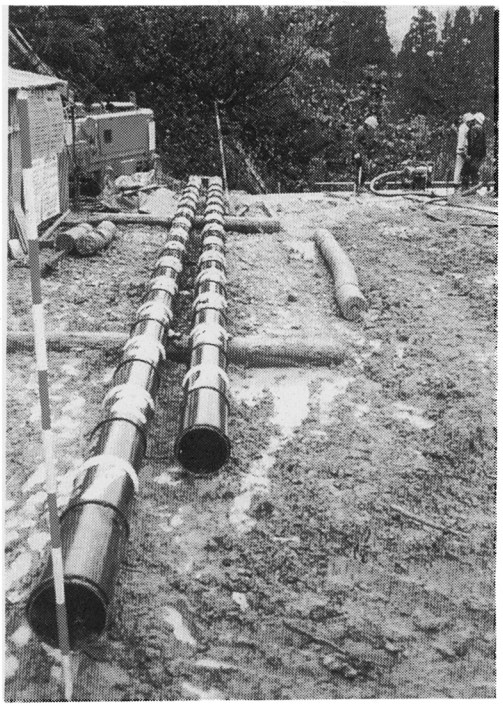
6．杭の施工

杭は亀裂のある堤体を削孔して建込むので、コンクリートの破損を防ぐ意味から削孔径が小さくて済む 300mm 以内のものが良いと思われた。

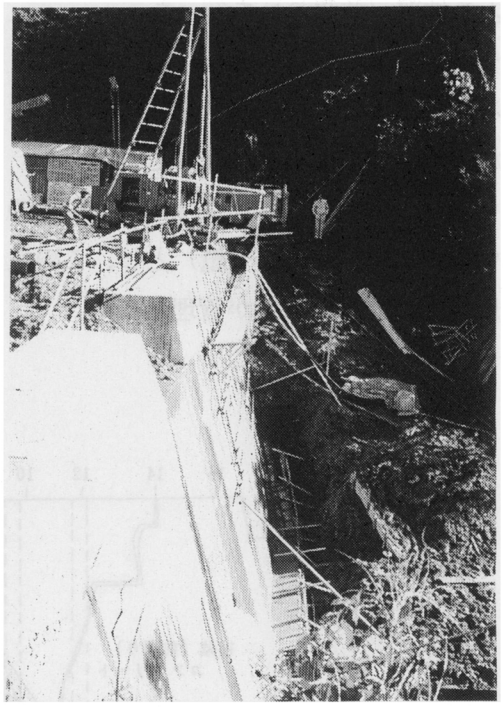
滑動に対する補強は杭径 216.3mm、厚さ 8.2mm を使用した場合、セン断強度 900Kgf/cm^2 として杭間隔は水通し部から左岸の堤軸に沿って 5.0m で良いこととなった。一方、支持力はボーリング資料を基にして、堤体を貫通し下位の泥岩に荷重を伝達することとした。さらに基礎下の地盤をグラウトで改良・固化することとした。

左岸の分離した堤体の重量は 320t である。ここで問題となるのは、堤体と鋼管杭とが十分な摩擦力を発揮するための付着力を得るにはどうしたら良いかであった。堤体はコンクリートであるから問題は無いが、杭は表面が滑らかなため加工が必要である。そこで異形鉄筋のように杭外周に凹凸を持たせるため、杭外周に帯鋼か鉄筋を巻いて溶接することにした。結果的に、帯鋼より鉄筋の方が加工しやすく、鉄筋を巻いて溶接した。これでコンクリートと鋼管杭の付着力は無加工杭より２倍程度の増加となった。

S.63 年 11 月(1988)補修工事が実施された。



写真－５ 建込用鋼管杭(節付)

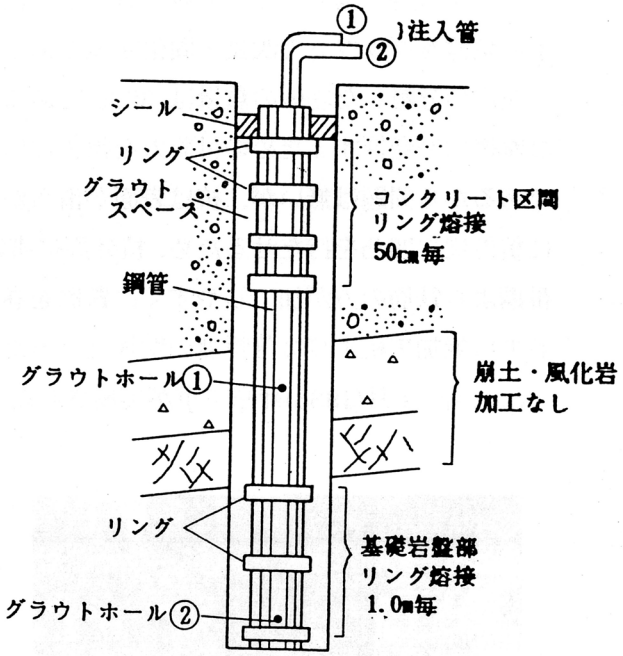


写真－６ 鋼管杭の建込作業

堤体及び基礎岩盤と杭外周にはモルタルグラウトを行ってそれぞれを十分付着させることとした。杭の本数は堤体の重量を杭支持力で割って求めた。この結果、杭は４本で良く、堤体荷重毎に杭の岩盤への根入れ長を調整し支持力をもとめた。したがって、杭　は滑動抵抗で求めた必要本数（３本）より支持力から求めた必要本数（４本）が大きくなった。よって、左岸分

離堤へ等間隔で４本の鋼管杭を打設することとした。杭は外径 267.4mm、鉄筋径 19mm、杭最大外径は合せて 286.4mm となった。このため削孔径は穴曲がりがなければ 300mm で良いことになった。

杭の施工図は図－４に示すようである。なお、杭の長さは最長で 15.5m、そのうち岩盤への根入れ長は 6.5m である。

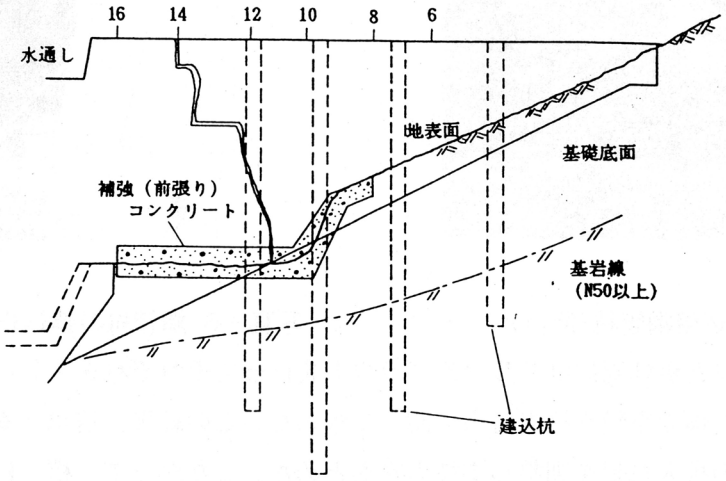


図－４　鋼管杭の加工と建て込み

７．洗掘個所の補修

亀裂からの漏水によって堤体基礎付近の土砂が流出し、堤底が露出している。機能維持のためここを埋める必要があるが、土での埋め戻しは後に行う基礎グラウトがリークし圧力がかからず注入効果が半減する。この対策として図－5 に示すように亀裂下の堤底に 8m、厚さ 0.5m のコンクリートによる被覆（前張り）を行った。

グラウト材は堤体背後の堆砂部にも圧入される恐れはあったが、それを管理する方法がなく、そのまま充填を行った。ただし、堤体基礎下に分布する崩積土の体積の 15%を注入量（セメント量）とし、この注入量と圧力でグラウトが管理された。



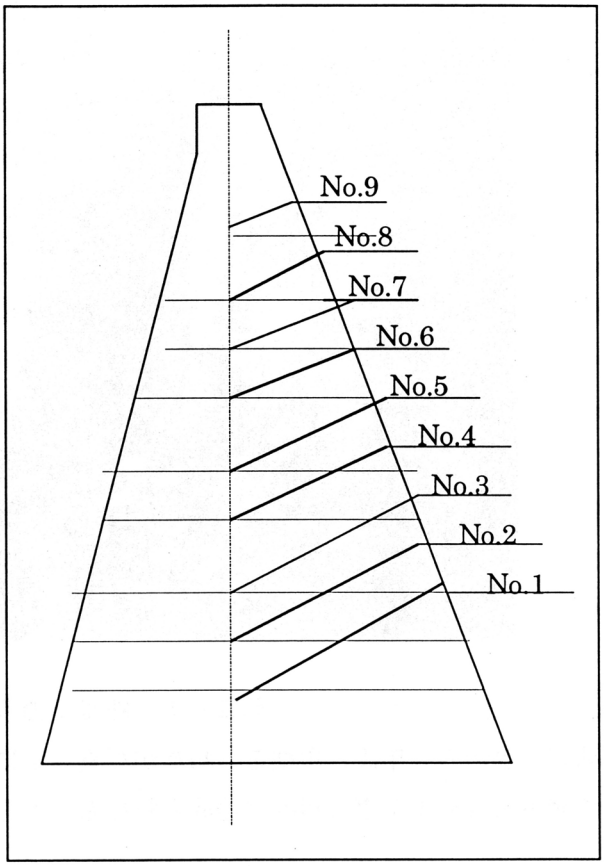
図－5　洗掘個所の補強コンクリート

８．基礎グラウト

堤体の基礎部に生じた空洞の充填、伏流水の止水、地盤反力の増加（軟弱地盤の改良）などを目的としてセメントグラウトをおこなった。

グラウトは下流側堤体から直接、斜めに径 46mm で削孔し堤底まで貫通させロッドを差し込んだまま、配合Ｃ：Ｗ＝1：1、圧力 1.5Kgf/cm²(最大)で行った。

グラウト材は提体背後の堆砂部にも圧入される恐れはあったが、それを管理する方法がなく、そのまま充填をおこなった。ただし、堤体基礎下に分布する堆積土の体積の 15％を注入量（セメント量）とし、この注入量と圧力でグラウトが管理された。



図－６　グラウト孔の配置

９．亀裂の補修

分離した堰堤を接着させ、水通しへ排水を回復するため亀裂の補修（充填）をおこなった。補修方法は亀裂の表面をＶ字にカットしてコーキングをして後、亀裂を貫通した鋼管杭の充填グラウト（モルタル）によって同時に堤体亀裂内にグラウト材が圧入された。ただし、堤体コンクリートの状態が悪く、注入は低圧でおこなった。

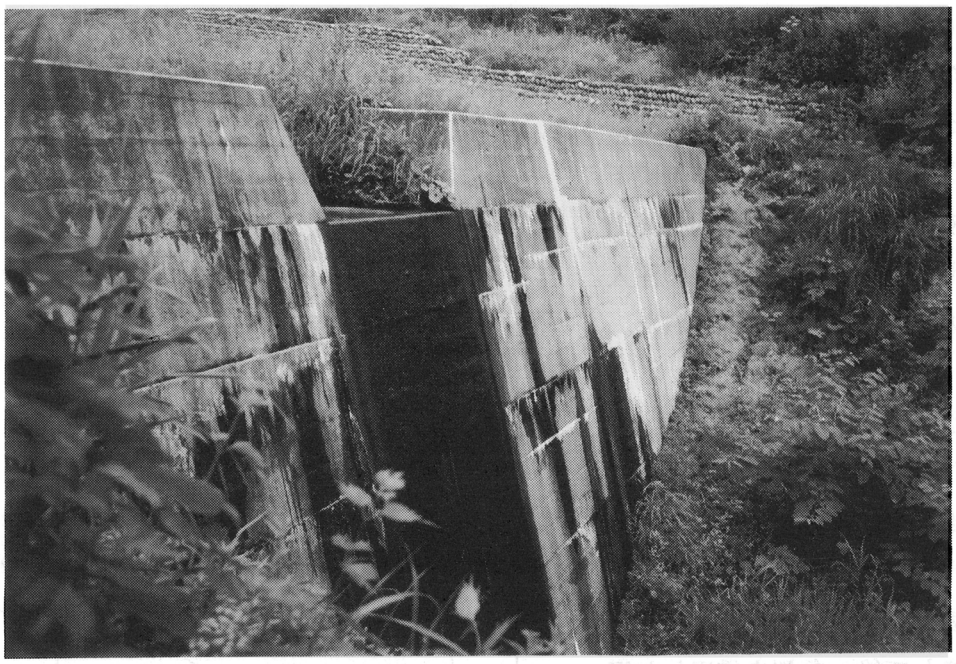
１０．まとめ

本堰堤の損傷は基礎地盤の不均衡、特に左岸側地盤の不良によってもたらされたものである。堰堤の施工は堅硬な岩盤に基礎を置く必要があるが、ここでは左岸半部は崩積土に置かれていた。これは地すべり地でよく見られることだが、渓床に岩盤の露頭が見られるものの、いざ袖部の渓岸を掘削しても岩盤になかなか到達しないことがある。ここでも、無理に掘削すると崩壊や地すべりを誘発する恐れがあるため岩盤へ基礎を置くことが出来なかったものと思われる。

ボーリング調査で明らかになったが、基岩の分布はＵ字形やＶ字形のように左右岸は対称ではなく右岸は急な傾斜、左岸は緩やかな傾斜である。これは、過去の河道がもっと左岸側にあったが基岩の構造上の理由か、あるいは左岸からの度び重なる地すべりのためか右岸に流芯が少しずつ移動して河床の岩盤を幅広く浸食し、現在の形状になったものと思われる。

堰堤や橋梁など、河川を横断する構造物の施工には、河道の変遷で地質が変化している場合

があるので、地表部で地質が確認されない時は、必ずボーリングやサウンディングで地質を確認して施工に当る必要がある。



写真－７　補修後の堰堤

補修工事から３年後、現地を訪ねたが写真－７に示すように通水は水通しを流れ、新しい亀裂の発生もなく本工事の目的は達成されたものと思われる。

（追記）

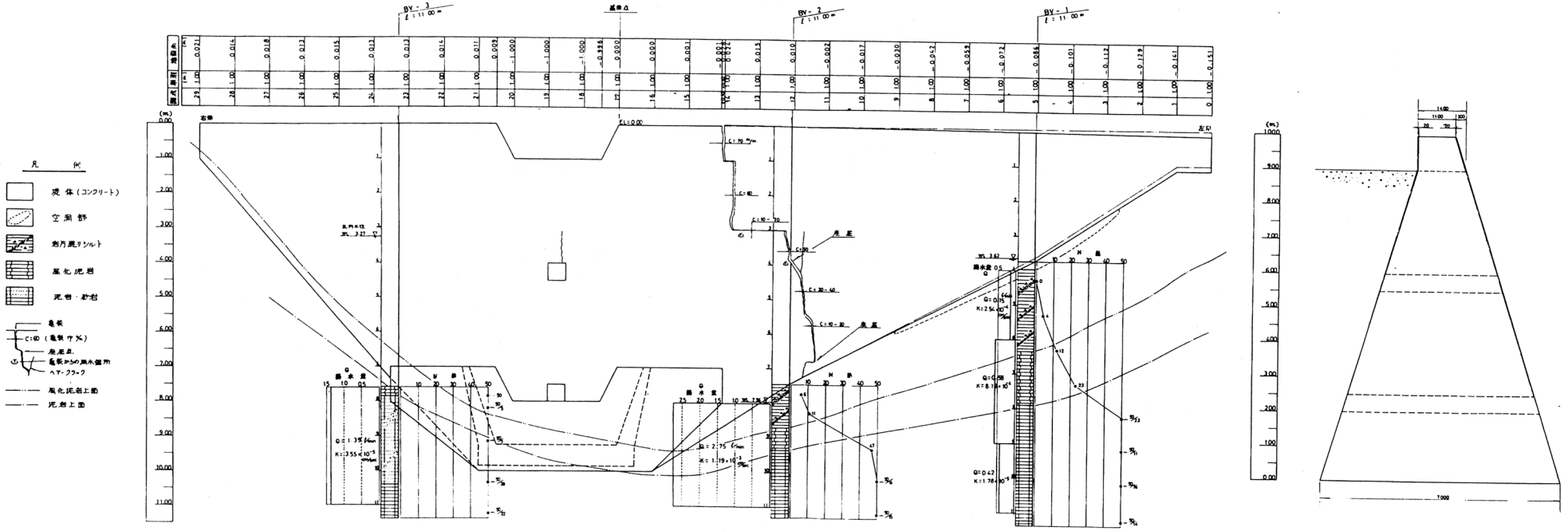
コンクリート構造物の沈下や傾斜などの変状は特殊な事例ではなく、地すべり対策のための擁壁や背後を盛土した道路の土留めなどに見られることがある。このような一度設置して、後から取り壊して再構築することが困難である施設について復旧工法をどうするか問題となることが多い。ちなみに、この堰堤補修後、同様の手法を用いて擁壁などの補修を行った。結果はとくに問題なく、経済的でもあり再構築で発生する廃材の処理など、環境に対しても後に問題を残さないことから、今後地すべり防止や土留め施設のメンテナンスを考える上で鋼管杭を構造物に貫通させて補修することも有効な手法と思われる。

以上

付図－1

現況調査図

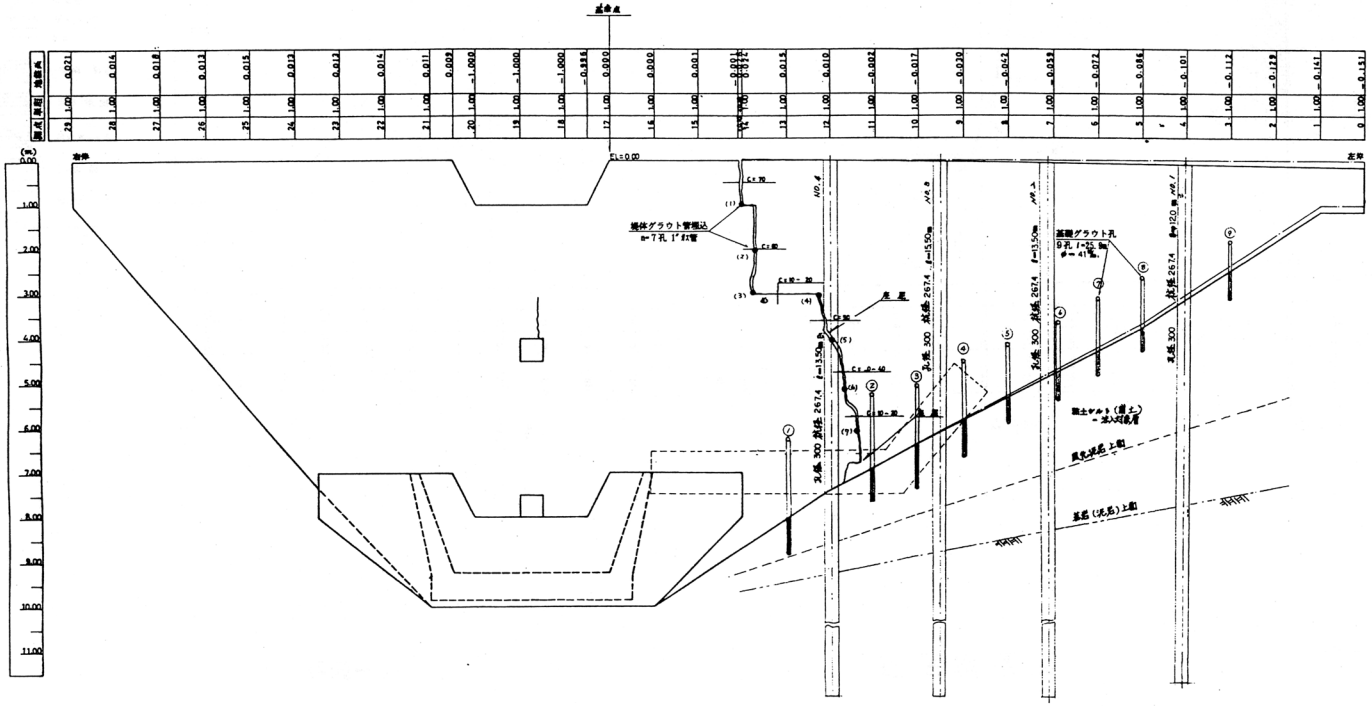
（昭和63年7月3日 現在）



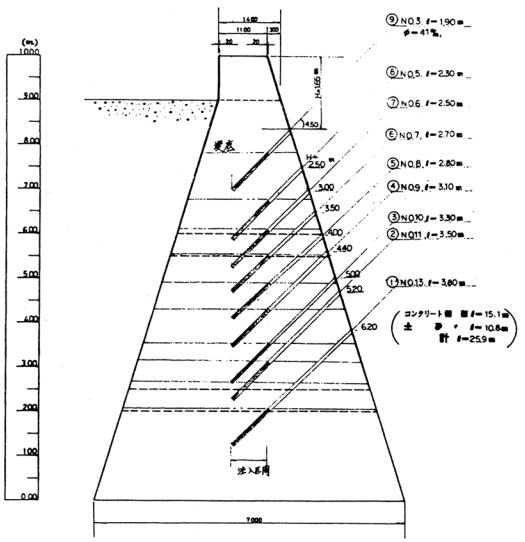
付図－2

杭施工図

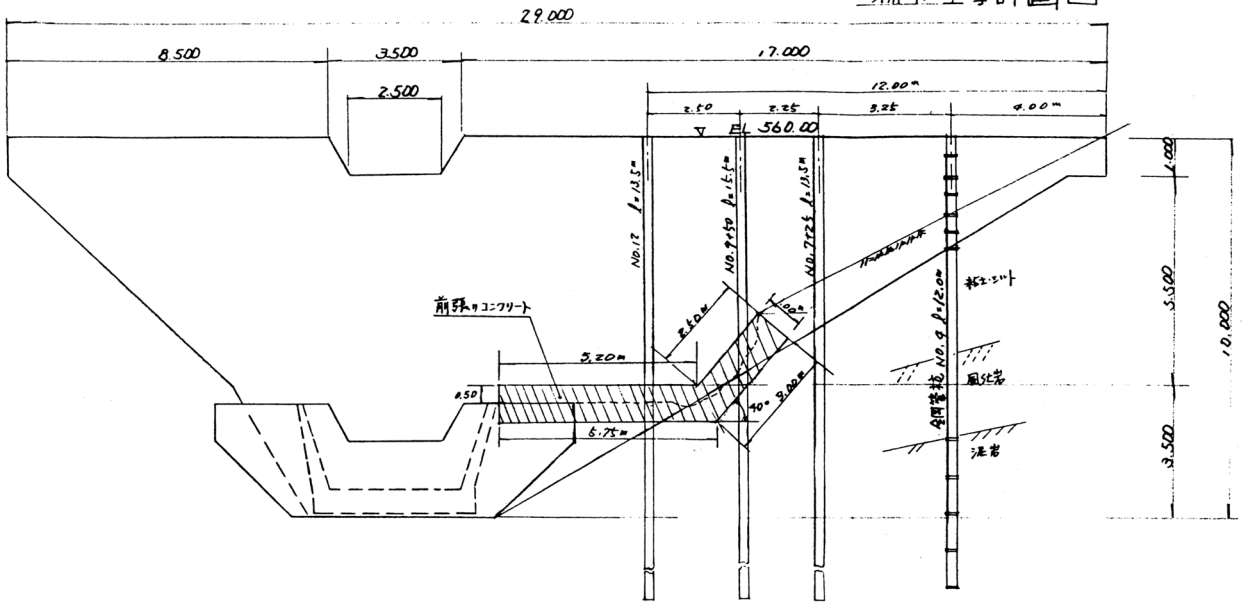
（昭和63年7月3日現在）



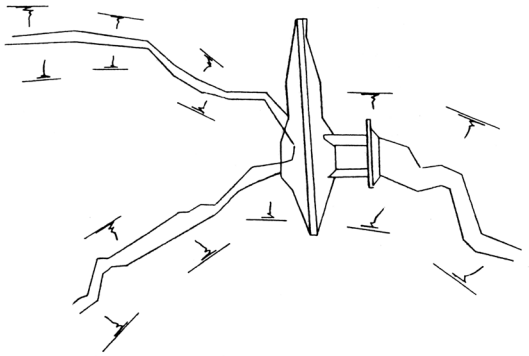
基礎グラウト施工位置図

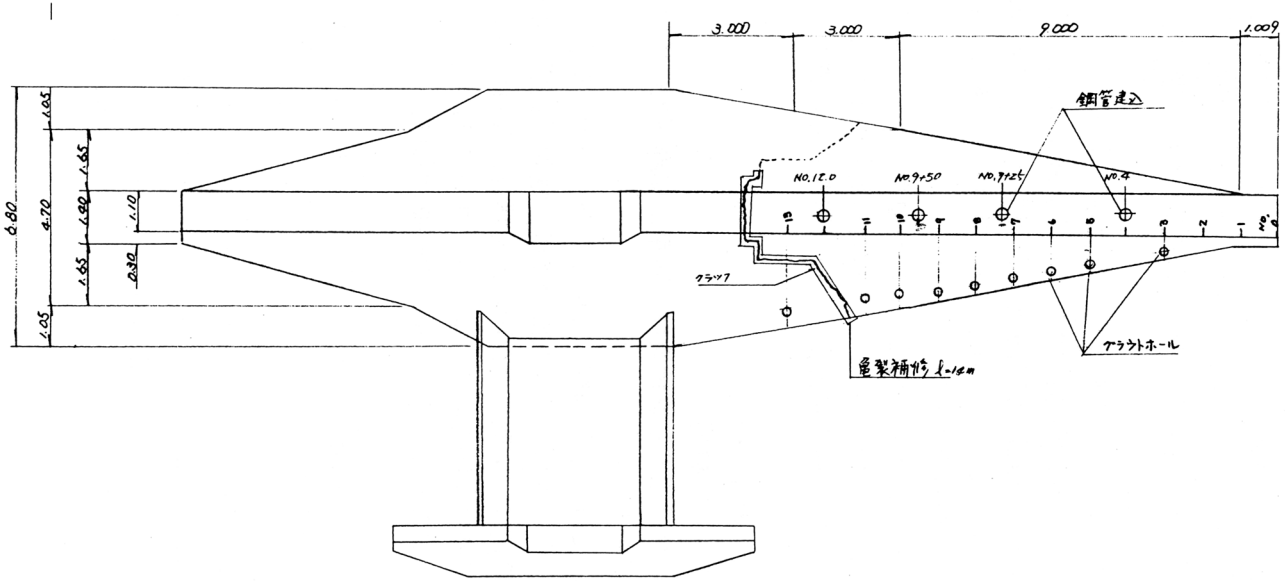


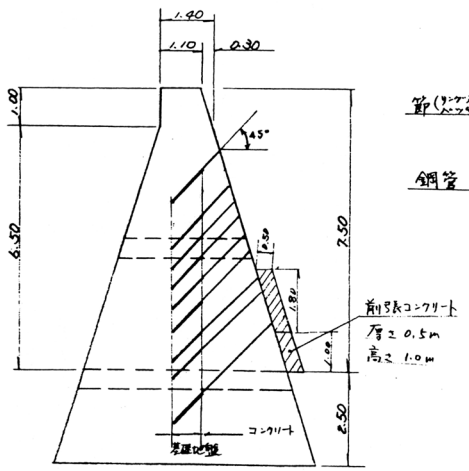
補修工事計画図



平面図

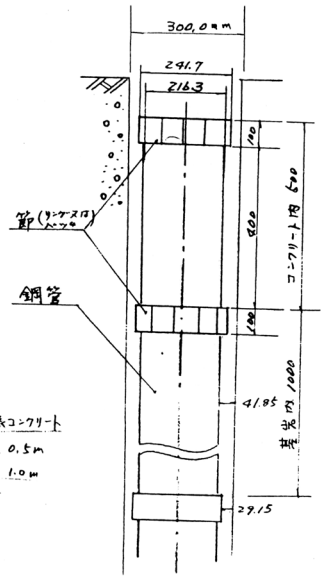






ｸﾗｳﾄﾎｰﾙ

鋼管杭の加工


300.0mm
291.7
216.3
節(リングスリット)
鋼管
4185
29.15
10
100
100
600
1000
1000
1000

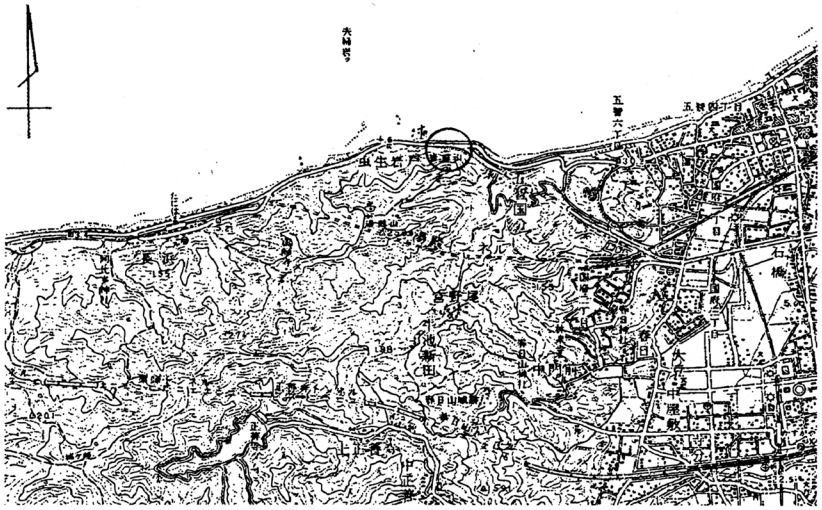
Ⅳ　虫生岩戸地区における地すべり対策

高田工事事務所　道路管理第二課　専門職　**山　本　益　人**

１．はじめに

一般国道8号は、日本海縦貫の主要国道で地域の生活・産業に欠くことの出来ない重要な路線であるが、厳しい地形条件と気象条件により、災害の絶えない路線であり降雨が続くと度々事前通行規制が行われている。

虫生岩戸地区は、上越市の西部・直江津市街地から西へ約3～5kmの位置にあり、湯殿山から東西にのびる尾根が日本海に没する位置にある。背後の斜面は標高200m前後で、平均的な地形傾斜は15～25°である。一般国道8号は、これらの山裾を日本海の海岸線に沿って標高7～15mの高さで東西にのびている。



図－１　位 置 図

虫生岩戸地区の災害履歴は、昭和39年7月の国鉄･旧北陸線郷津駅構内まで達した土砂崩壊や、昭和60年7月8日発生した土砂崩壊は、通行車両2台を巻き込み犠牲者1名･重軽傷者2名を出した惨事として記録されている。

また、最近では平成10年8月16日に発生した土砂崩壊は、国道まで到達しなかったものの、昭和60年に発生した箇所の上部斜面で発生している。

本報告は、虫生岩戸地区における地すべり・土砂崩壊について、地質調査及び斜面の安定解析を行うと共に、斜面観測・監視の体制について検討したものである。また、対策工事は、新潟県が地すべり指定している関係から新井砂防事務所が担当し、道路管理者との連携・管理体制のあり方等今後の課題についても検討した。

２．地形・地質の概要

２・１　地質概要

虫生岩戸周辺の基盤地質は、新第三紀鮮新世の砂岩・泥岩互層（能生谷層）によるが、当該地付近では砂岩が優勢である。

岩質としては、十分固結しているがあくまで「軟岩」であり、硬質部でもハンマーのピックは1cm程度突き刺さる。また、風化の進んだ部分では、亀裂が発達し軟質化が進行しているため、かなりの脆弱である。

地質構造は、東側の岩戸川付近を難波山背斜が通るため、その西側では西傾斜となる。

地層の走向はほぼ南北で、地すべり方向はほぼ走行方向に近い。虫生岩戸周辺では海岸まで延びる尾根は、いずれも南北方向であるが、尾根の東側は急斜面、西側は緩斜面となっているところが多い。（いわゆるケスタ地形）

また、これら構造運動に伴う断裂や小断層と考えられる線状構造が数多く見られ、地滑り等の崩壊発生の地質的素因となっている。

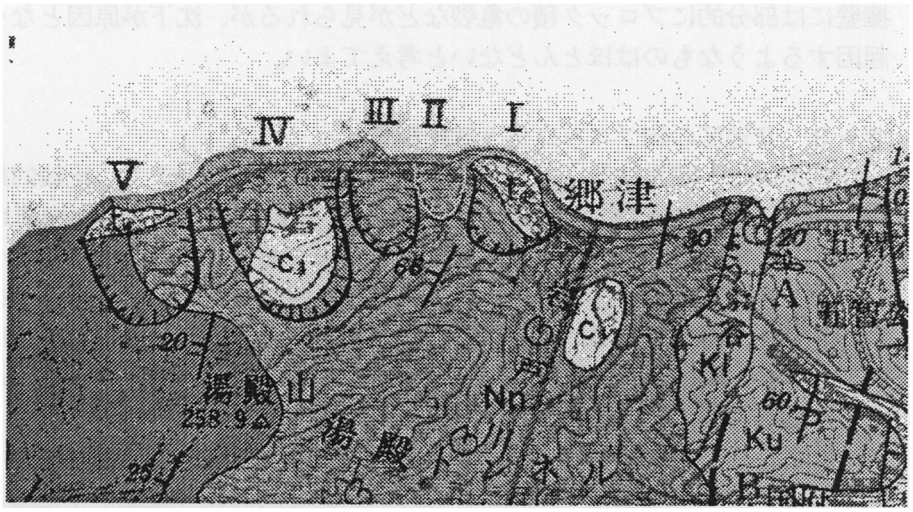
２・２　地すべりブロック区分

地表踏査・写真判読により、地すべりブロックの区分を行った。（図－２）

調査地では、幅100m以上に達する古い地すべりが数カ所見られ、調査地点全般にわたって大地すべりゾーンにわかれ、各ゾーン（地区）の特徴を以下に列記する。

・Ⅰ地区

郷津集落背後の斜面で、国道8号から40°程度の急斜面を挟んで、標高35～40ｍの緩斜面が広がっている。更にその上位には25°前後の斜面が尾根へと連続している。これら2箇所の斜面内には崩壊や地すべりが発生しており、ブロック内部の縁辺部にも新しい小地すべり発生している。ブロック全体が不安定化している様子は見られないが、末端部の遷急線においては崩落跡がみられ平成10年8月には、国道まで土砂が達しなかったが小崩落が発生した。



図－２　地すべりブロック図

背後にはやや不安定な小ブロックも見られ今後も点検・監視が必要な地区である。

・Ⅱ地区

昭和60年7月に被災履歴を持つ斜面で、比較的速度の速い崩壊的な地すべりが発生しやすい斜面で、Ⅰ・Ⅲ地区に比べると山側に凹状の斜面であり、両ブロックのような段丘状緩斜面は存在しない。

当地区の東ブロックは、昭和63年度に新潟県によって６群の横孔ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞや排水路・杭打ち工も施工されているが、その西ブロックでは、平成10年8月に幅35m・長さ20mの崩壊が新たに生じており、崩壊土砂は40～50mにわたって下方に押し出している。

国道との間には台地状の緩斜面があるため、流出土は国道には達していないが、崩壊地には急な滑落崖が依然として残っており後方拡大の危険性が高いため、今回詳細調査を行った地区である。

・Ⅲ地区

Ⅰ地区同様斜面の中腹部に段丘状の緩斜面を持つ地区で、標高50～80mの中腹部の背後に非常に明瞭な馬蹄型の滑落崖が残っている。滑落崖の下方には崩積土が堆積しているが、現在は安定していると判断される。

国道に接した法面は、平成５年度に法枠アンカーにより対策が行われた。同時に施工された水抜きﾎﾞｰﾘﾝｸﾞからは多量の湧水が見られる。

両袖部に新しい小地すべりブロックが発生しているが、現在新潟県により対策工事が進められており早期の完成が望まれる。

・Ⅳ地区

調査地内では尾根が最も南側まで入り込む、南北に600ｍの延長を持つ斜面である。この斜面内には中央に沢が入り、西側斜面は北北東向き、東側斜面は西北西向きで、ほぼ直角で交差している。地区内は下部の集落付近が緩斜面な他は、比較的一様勾配の斜面が多く明瞭な地すべり地形は少ない。しかし、所々で土石流跡が見られ、牧野神社の石段が傾くなど、部分的な不安定化の兆候は現れている。

いずれにしても、国道までは緩斜面を挟んでかなり距離があることから、小規模な不安定化は国道まで影響を及ぼさないと考えられる。

・Ⅴ地区

調査範囲内では西端に当たる。長さ、幅とも400m弱の規模を持つが、中央部に尾根状の張り出しがあり、北東ブロックと南西ブロックに細区分できる。両ブロックとも南西壁は急斜面をなし、これと直行するような北西向き斜面は比較的緩傾斜で地すべり地形が明瞭である。しかし、当地区内には２基の集水井工を始めとする対策工が現在まで実施されており、かなり安定度は上昇しているものと考えられる。また、８号山側の旧道

擁壁には部分的にブロック積の亀裂などが見られるが、沈下が原因となっている可能性が大きく、地すべりに起因するようなものはほとんどないと考えてよい。

２－３　Ⅱ地区の細ブロック化と詳細調査

当該地区は、昭和60年に地すべりの発生しているブロックで、比較的規模も大きく、現在でもその形状は明瞭である。当時の資料では移動土量7,100m3と記録されているが、崩壊地は幅約30m、長さ約50mの規模をもって大きくえぐれており、当時の崩壊跡をそのまま残している(１ブロック)。

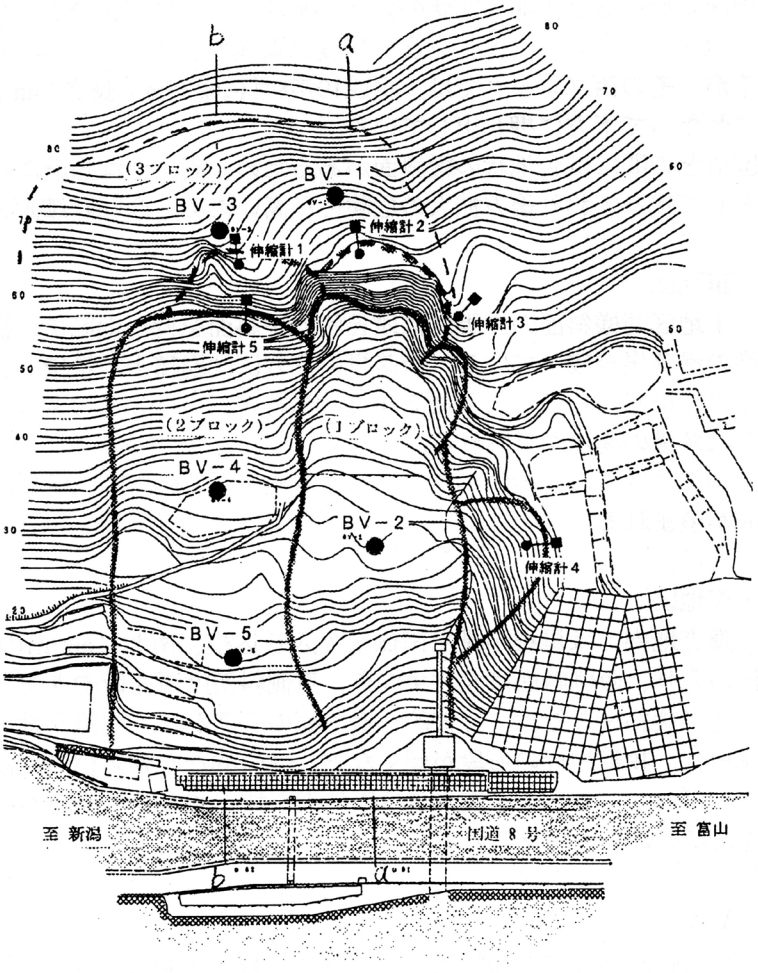
一方、空中写真判読によれば、この明瞭な崩壊地の周囲には、崩壊地を含むように、より大きな旧地すべり地形の存在が推測される。このような地形は特に明瞭なものではなく、旧地すべり地形の可能性を示唆するものであるが、縦横ともに約100mのほぼ矩形の地すべりブロックが考えられる(３ブロック)。これが実際に旧地すべり地形であれば、その末端は国道に達する可能性がある。

また、これよりやや明瞭なものとして、60年の崩壊地から頭部の連続する地すべり地形も存在することが考えられる。60年の崩壊地の東側に、幅25m、長さ約60mの範囲が予想され(２ブロック)、全体としてみれば、幅長さとも約60mの旧地すべりブロックのうち、西側半分が昭和60年に崩壊したものと見ることもできる。尚、平成10年8月17日の崩壊発生後には、この東側部分でも小規模な崩壊が発生しており、60年の崩壊地頭部と連続している可能性もあり、中央部に残された部分(２ブロック)はより不安定な状況となっていることが予想される。

２－３－１　詳細調査計画

Ⅱ地区全体の地すべり機構調査のためには、３～４測線を設定してボーリング等の調査を行うことが望ましいが、当面より優先度の高い西側ブロックについてボーリング調査を行う。前述の通り、西側ブロックも昭和60年被災ブロックと、それに隣接するやや古い地すべりブロックの二つが存在するため、西縁よりａ測線、ｂ測線の２測線を設定した。調査ボーリングは、昭和60年の地すべりにより移動層の多くが流失しているａ測線側で１箇所、まだほとんどの移動層が残存していると予想されるｂ測線で２箇所の、旧地すべりブロック内では計３箇所を実施した。また、今後更に後退拡大化する可能性のある滑落崖背後には、ａ、ｂ両測線とも１孔ずつの調査ボーリングを行った。

尚、ボーリングの終了後はパイプ歪計あるいは孔内傾斜計を設置し、移動の有無を確認するとともにすべり面深さの確定できるように配慮した。また、調査中の地下水状況からストレーナ位置を選定し、別孔にて水位観測孔を併設した。



図－３　Ⅱ地区地すべりブロック区分

一方、地すべり移動の初動や表層崩壊の兆候などを把握するため、地表面伸縮計を設置し監視を行った。伸縮計は、今後後退・拡大化が予想される滑落崖背後を中心として、西側ブロック周囲に５基設置した。

２－３－２　地質調査結果

調査ボーリングの結果から、滑落崖より下方の斜面では10m程度の厚さの崩積土が分布しており、ｂ測線滑落崖の斜面上部では、10mを超える厚さの崩積土が分布している。また、ａ測線側では薄く上部斜面は比較的一様傾斜で、崩積土が分布するもののごく薄いと考えられる。

崩積土の下方は、黒色泥岩(N=47)と固結度の弱い砂岩(N>50)の互層となっている。

３．地すべり観測

３－１　観測機器の配置

地すべり範囲・規模を特定するため、地表面変位計・孔内傾斜計・ﾊﾟｲﾌﾟ歪み計・水位計を設置し、移動観測を実施した。（図－３）

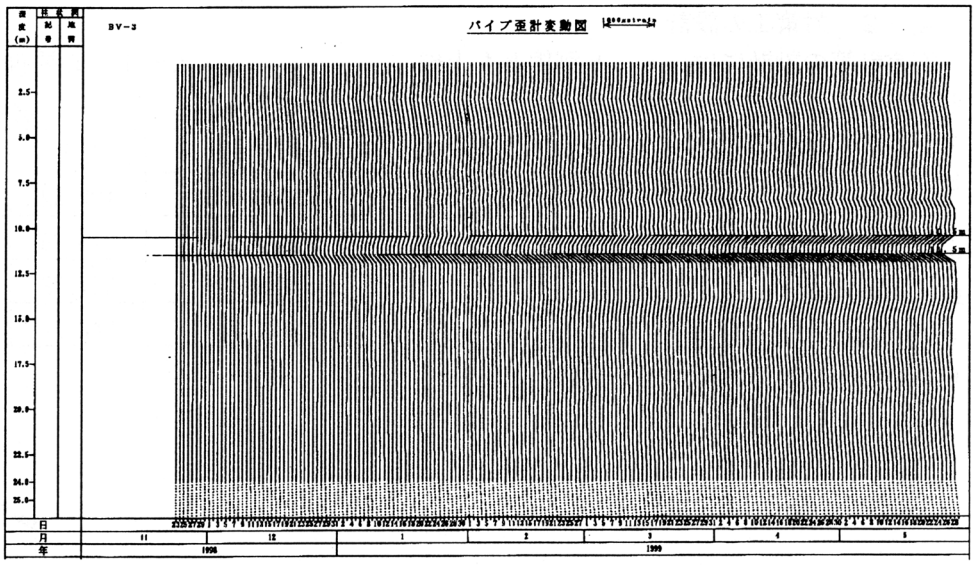
観測機器のうち地表面変位計・水位計は、自動観測装置を設置し電話回線により国道維持出張所・工事事務所でﾃﾞｰﾀを確認できるｼｽﾃﾑとした。これ以外の孔内傾斜計・ﾊﾟｲﾌﾟ歪み計の観測は、手動及び定期的にﾃﾞｰﾀを回収する方法とした。

３－２　観測結果

その結果，ＢＶ－１では、深度5mと13mで微少な蓄積性の変動が見られるが、増加速度が減少しており、地すべりに起因する動きの可能性は低い。

ＢＶ－３は、深度10.5～11.5mに明瞭な変動が現れ（図―４）ている。ほぼ1mの間で逆方向の変化も現れているため、地すべり性の動きである可能性がある。また、地質調査の結果からも崩積土と風化岩の境界にあたり、地すべり性の動きである可能性が高い。

水位計の観測は、自動観測ｼｽﾃﾑの観測ﾃﾞｰﾀから雨量との関係を記録した。観測期間中の最高水位は、平成10年11月下旬に観測している。最高水位の原因は、11月17・18日の109mm・115mmの降雨が原因であり、これまで観測された中で最高の値である。



図－４　BV-3のﾊﾟｲﾌﾟ歪み計測結果

３－３　地すべりの発生機構

ブロック内に発生している明瞭な地すべり及び崩壊地はⅡ地区全体の東西両側部に当たり、ここで観察される頭部滑落崖は風化岩内の亀裂面に規制された方向性をもって形成されている。（滑落崖には風化岩が露岩）このような断層に代表されるような断裂系は、亀裂方向には地下水を通しやすく、亀裂を横断する方向には地下水を通しにくい性質を持つ。従って、亀裂系を伝って地下水は斜面下部へと流下するが、その方向や透水性の変化により部分的に滞留することがある。これが亀裂面背後の水圧上昇、ひいては剪断強度の低下へとつながっていく。また、Ⅱ地区付近は砂岩層が優勢であり、泥岩分布域に比べて透水性も高く、より多くの地下水を貯留しやすく、且つ豪雨などにより早期に間隙水圧が上昇する一因となっている。

昭和60年に発生した地すべりは、発生時にはかなりの速度をもった崩壊性の地すべり（風化岩の岩石崩壊）として滑動したと推測される。現在の滑落崖部分に存在していた風化岩が、背後の水圧により押し出されるよ

うに、亀裂面から分離して地すべりへと至ったものと考えられる。両側部の明瞭な地すべり地形は、このような亀裂面からの分離が徐々に斜面上部へ後退しながら拡大していったものである。（60年以前の空中写真では、滑落崖はａ測線よりもｂ測線の方が奥であった。）

４　対策工

対策工の検討にあたっては、各種工法の比較検討が必要であるが地形条件によって考えられる対策工法について検討した。

４－１　対策工の組み合わせ

４－１－１　滑落崖より下位のブロック

想定地すべりブロックの不安定化は、背後から供給される地下水の供給により間隙水圧の上昇が最大の誘因と考えられるため、地下水位低下工を配置することが重要であるが、安全率をFs=1.2とすると3～4mの水位低下が必要であるが、水位低下工のみで安全率を満足することは不可能なことから、抑止杭またはアンカー工が適当と考えられる。

４－１－２　滑落崖より上位のブロック

滑落崖と上部斜面の崩積土とを覆う法枠アンカー工が適当と考えられる。

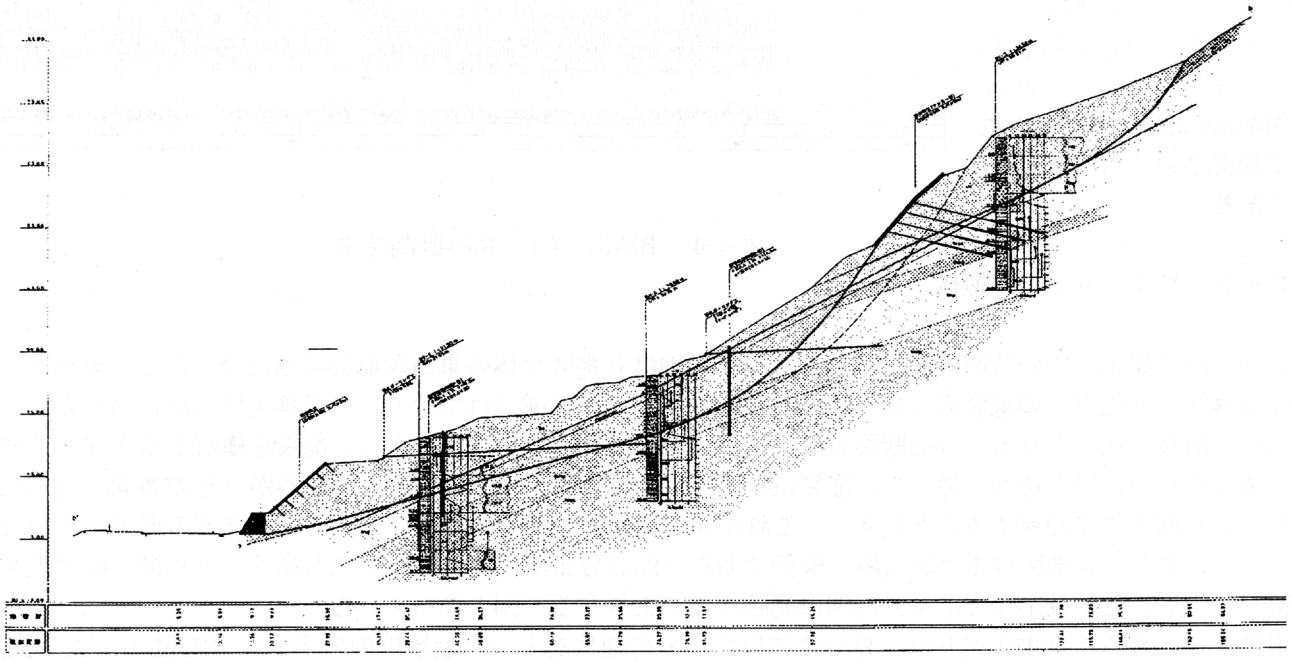
４－２　対策工の設計

安定計算の設計には、ａ・ｂ測線とも上部と下部の２つのすべりを考える。
すべり面の剪断強度はクーロンの式から
Ｓ＝Ｃ＋（σ－Ｕ）tanφ　を満足するものと考える。
地下水位は、観測期間中の最高水位とし、現況の安全率をRAs=1.0と仮定する。
すべり面の平均剪断強度（Ｃ・φ）は、すり層厚から粘着力を推定し、道路土工・法

表－１　必要抑止力

必要抑止力一覧

すべり	ΣＴ	RFs	PFs	Pu(t/m)
ａ測線上部	132.52	1.000	1.200	26.51
ａ測線下部	379.75	1.050	1.200	56.97
ｂ測線上部	337.72	1.000	1.200	67.55
ｂ測線下部	542.14	1.050	1.200	81.33



図－４　対策工の概略配置図

面工斜面安定工指針等を参考に、上部斜面はC=0.923t/㎡　φ=26.6°　下部斜面ではC=1.316t/㎡　φ=22.6°　を採用した。
必要抑止力は、表－１に示す値となった。
・上部斜面の対策は、地形条件から法枠ｱﾝｶｰ工として設計した。ｱﾝｶｰ工には締め付け効果と引き止め効果があるが、地すべり地盤の特性を考慮して引き止め効果による設計とした。
上部設計ｱﾝｶｰ力は、ａ測線で18t・ｂ測線で45tとなった。
・下部斜面の対策は、ｱﾝｶｰ工と抑止杭が検討対象となるが、ｱﾝｶｰ工は受動土砂がルーズであることから多段ｱﾝｶｰとする必要があり経済性に問題があることから、抑止杭による設計とした。
杭の設計にあたっては、杭背面が十分な地盤地盤反力を有している位置を選定する必要がある。また、ｂ測線の下部すべりは斜面長が長いことから、地盤反力が期待できる杭の位置（地すべり下部）では、杭頭部に出る新たなすべり（受動破壊）に対して十分な安全率を確保出来ないため、２段に分けた抑止が必要になった。この場合、次のような地すべり推力の負担配分を行うこととする。
①杭頭部へ出る新たなすべりが計画安全率を満足するよう、上段抑止工を配置する。
②すべり全体としての必要抑止力から上段抑止力工負担分を差し引いた抑止力を、下段抑止工が受け持つ。
③上段と下段の抑止力がそれぞれ負担する抑止力が極端に違わないように下段抑止力位置を選定する。
抑止杭は曲げの検討を行うほか、杭背面の地盤反力を期待できる「くさび杭」として設計する。
杭断面の設計は「建設省河川砂防技術基準(案)同解説：平成９年度」及び「地すべり鋼管杭設計要領(社)地すべり対策技術協会」により検討した。検討の結果ａ測線下部のすべりでは、57t/mの抑止力が必要となり、ｂ測線下部すべりでは、上段に36t/m・下段に45t/mの抑止力が必要となった。

４－３　対策工の施工区分

今回の検討は、道路防災点検で指摘された危険個所の概略検討を国道の道路管理者が行ったもので、実際の工事にあたっては、斜面の殆どが新潟県で管理している”地すべり指定地”であったことから、斜面の管理者である新井砂防事務所との協議により、対策工の詳細設計及び工事は新井砂防工事事務所が担当することとなった。
工事は、現在も施工中であり、斜面の計測ﾃﾞｰﾀ（地表面移動計・水位計）は、共有し道路の管理体制及び工事の安全管理等に利用されている。

５．道路の管理体制

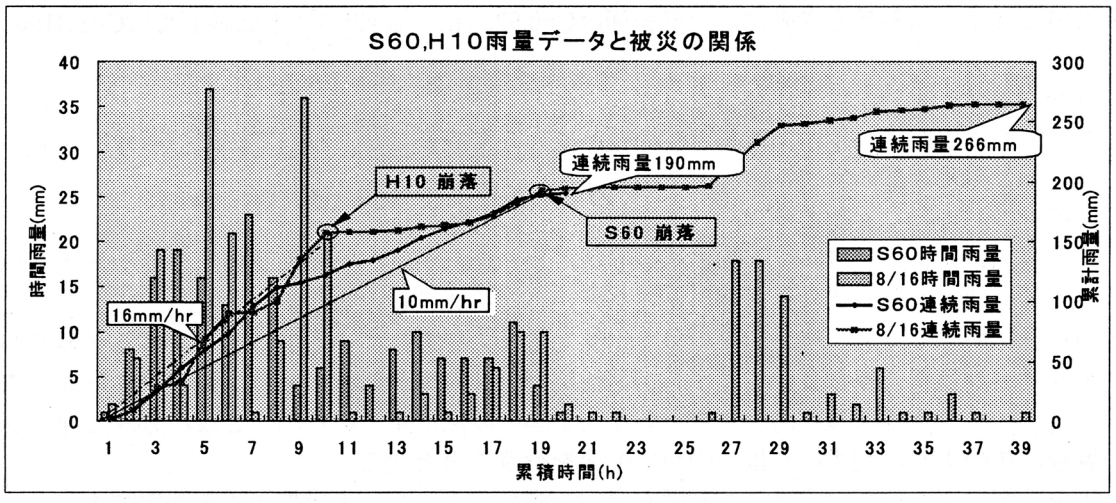
５－１　既往の災害事例

虫生岩戸地区におけるこれまで土砂崩落等で記録に残っているものとしては、昭和39年7月に国鉄旧北陸本線の郷津駅構内で発生した土砂崩落がある。
近年では、昭和60年7月の集中豪雨により発生した土砂崩落により通行車両が巻き込まれ、犠牲者１名・重軽傷者２名を出した惨事が記録に残っている。また、平成10年8月16日に発生した土砂崩落は、国道まで達しなかったものの、48時間にわたって通行止めとなり、地元の生活・経済活動に多大な影響を与えた。　これらの災害と降雨量の関係を、昭和60年と平成10年のﾃﾞｰﾀとで比較すると、60年が190mmの連続雨量で



S60.7　　被災写真

崩壊し、平成10年が157mmで崩壊している。また、平成10年は連続雨量が少ないが、平均時間雨量16mm程度の豪雨で崩壊している。これらのﾃﾞｰﾀは、道路防災対策を検討する上で大変重要なﾃﾞｰﾀと言える。



図－６　S60・H10被災時の降雨状況

５－２　管理体制

これまでの雨量ﾃﾞｰﾀと災害履歴の関係から、虫生岩戸地区における豪雨に対する通行規制は、連続雨量と降雨強度による判断が有効であるといえる。
降雨強度と管理体制については、表－２の体制基準を作成し現在運用している。
また、計測器によるﾃﾞｰﾀの取り扱いについては、斜面が工事中であることからしばらく計測を継続し、管理値の検討に入る予定である。

６．今後の課題

平成８年度道路防災点検では、管内の道路災害に起因する災害要因を”対策が必要”、”防災カルテを作成し継続的に調査する”、”対策を必要としない”の３区分に分類している。
当該地区は、対策が必要な箇所と防災カルテにより管理する箇所に該当していた。今回の調査により危険個所がある程度特定でき、対策についても管理者間で協議が円滑にはかられ、対策工事が順調に進んでいる。
今後の課題として、幾つかの項目で提案させてい頂く。
①管理者間の定期協議
道路の隣接地域には、県市町村の自治体やＪＲ・ＪＨ等の各管理者がそれぞれの区域で施設の管理業務を行っているが、斜面防災などは定期的に協議し連携した対応が今後も必要である。
②観測ﾃﾞｰﾀの共有
斜面観測ﾃﾞｰﾀや雨量ﾃﾞｰﾀは、斜面の安定度を評価する重要なﾃﾞｰﾀであり、対策の検討・道路の通行規制など重要な判断要素となるものである。これらを共有し相互に利用することは、防災対策上も有効と考えられ、通信機器の整備も重要となる。
③防災体制の構築
観測ﾃﾞｰﾀや各種解析がすすめられ斜面特性が明らかになってきた場合、これに伴う体制として各管理者間の連絡体制や規制・避難の指示・命令系統など危機管理に関する体制の整備が図られる必要がある。
以上、虫生岩戸地区の地すべり対策を中心に調査結果に基づいた対策工・管理体制について検討した成果について報告した。
最後に、今回の防災対策にあたり御理解と防災工事の進捗にご尽力いただきました新潟県・新井砂防事務所の方々に敬意を表します。

表－２　　虫生岩戸地区における体制基準

体制	定　　義	情報連絡員業務	事務所及び出張所業務
通常	・上越地方に注意報が発令されておらず、長浜雨量観測所において、降雨が確認されていない段階	①気象情報の受理・送信 ②電話交換業務	・土、日、祝祭日は､職員は出勤しない
準備	・長浜雨量観測所の降雨開始後の降雨強度が12.5mm/hを超えかつ連続雨量が降雨開始後６時間以内で75mmを超えた段階 ・新潟気象台が上越地方に大雨警報を発令した段階	・①及び②の業務 ・当番班員に連絡をとり出勤要請する。 ・出張所長に連絡する。	・出勤後班長に状況を連絡する。 ・出張所長は、現地監視体制を確立する。 ・現地監視体制確立後、情報連絡。
注意	・長浜雨量観測所の連続雨量が降雨開始後８時間以内で100mmを超える見込み又は超えた段階	・①及び②の業務	・班長及び班員に事務所出勤を要請する。 ・出張所職員による現地監視を行う。 ・必要に応じ職員を召集し、各課長に連絡する。
警戒	・長浜雨量観測所の連続雨量が降雨開始後10時間以内で150mmを超えた段階 ・現場の観測計器が異常値を示した段階	・①及び②の業務 ・指示された情報板及び路側放送の操作。	・「警戒体制」を発令する。 ・情報連絡体制は、道管一課職員に引き継ぐ ※現地の状況を判断して通行規制に入る。
解除	・長浜雨量観測所の連続雨量が連続３時間０mmとなった段階	・①及び②の業務 ・指示された情報板及び路側放送の操作。	・道管一課職員が「警戒体制」を解除し、関係機関へ連絡。 ※現場状況を確認し通行規制を解除する。（夜間の規制解除は行わない）

・過去の崩落　Ｓ60.7.8　15:40　１８９mm(連続雨量)､189mm/19hr=10mm/hr
　　H10.8.17　1:00　１５７mm(連続雨量)､157mm/10hr=16mm/hr

参考文献

1)　１級国道8号線地すべり調査報告書　土木研究所　1945
2)　地すべり工学　（理論と実践）　申　潤植　1989
3)　地すべり観測便覧　地すべり観測便覧編集委員会　社団法人　地すべり対策協会　1995

V　横ボーリング及び集水井の機能低下に関する調査

建設省土木研究所　**丸　山　清　輝**
安　藤　達　弥
株式会社　興　和　**高　橋　正　樹**

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数多く見掛ける。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。

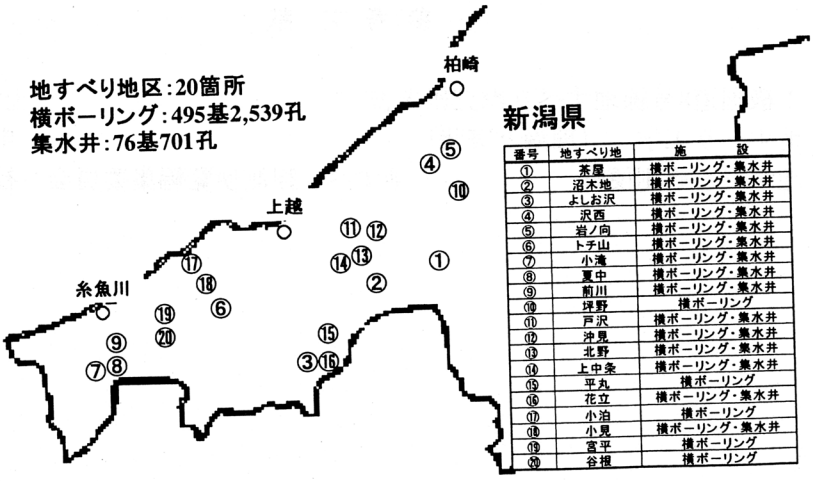
そこで、本調査では、地すべり防止施設の維持管理について検討するために、横ボーリング及び集水井における集水管の目詰まりの実態と原因及び、集水管洗浄の効果について各々調査検討した[1)、2)、3)]。

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（φ 35mm）による集水管内部の撮影により実施した。また、調査地は、図－1に示した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質であり、集水管内に多量に付着

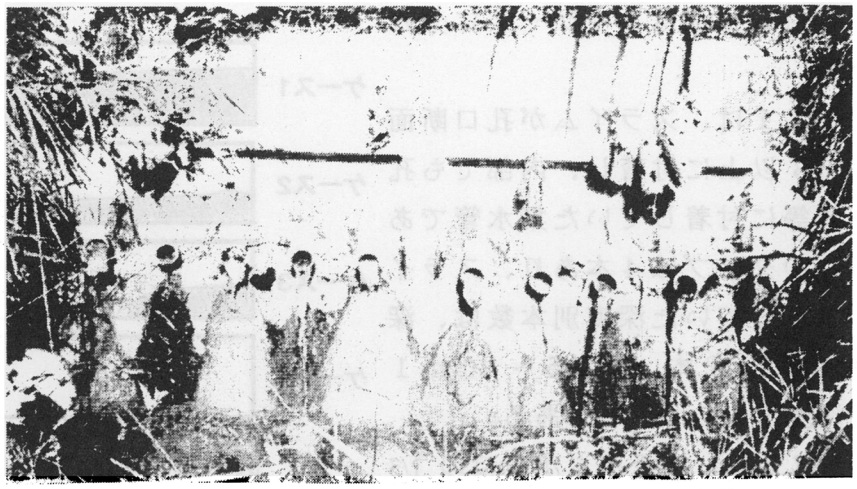


番号	地すべり地	施設
①	茶屋	横ボーリング・集水井
②	沼木地	横ボーリング・集水井
③	よしお沢	横ボーリング・集水井
④	沢西	横ボーリング・集水井
⑤	岩ノ向	横ボーリング・集水井
⑥	トチ山	横ボーリング・集水井
⑦	小滝	横ボーリング・集水井
⑧	夏中	横ボーリング・集水井
⑨	前川	横ボーリング・集水井
⑩	坪野	横ボーリング
⑪	戸沢	横ボーリング・集水井
⑫	沖見	横ボーリング・集水井
⑬	北野	横ボーリング・集水井
⑭	上中条	横ボーリング・集水井
⑮	平丸	横ボーリング
⑯	花立	横ボーリング・集水井
⑰	小泊	横ボーリング
⑱	小見	横ボーリング・集水井
⑲	宮平	横ボーリング
⑳	谷根	横ボーリング

図－1　集水管目詰まり実態調査位置

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。

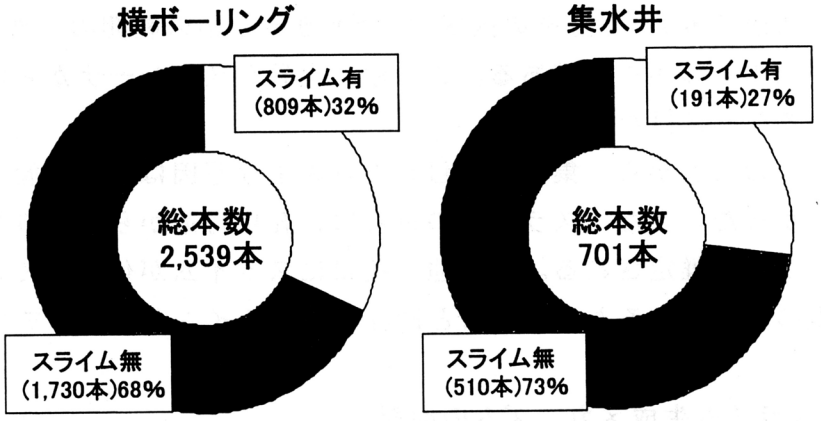


写真－1　横ボーリングにおけるスライム付着状況
（茶屋地すべり　新潟県）

図－2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。



図－2　集水管孔口へのスライム付着状況

2.2 集水管内部の調査

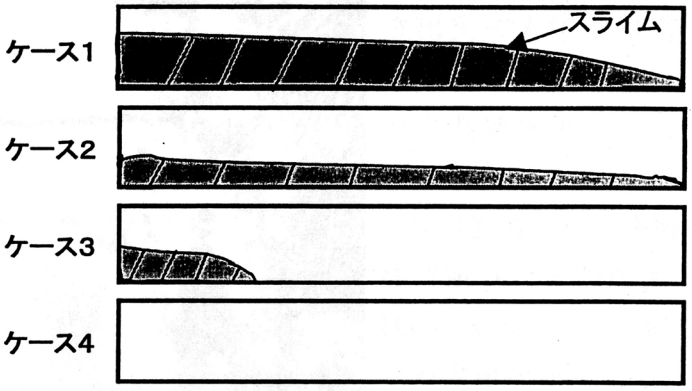
集水管内部の調査は、6ヶ所の地すべり地における横ボーリング8基 52 本の集水管（孔口スライム付着 47 本、付着なし又は薄く付着5本）で実施した。また、撮影作業では、カメラを5m以上挿入できた集水管の数は23本（孔口スライム付着 20 本、付着なし又は薄く付着3本）であった。なお、一般的な集水管の長さは 50 m前後であるが、カメラを挿入できた深度は最長で 22m であった。また、カメラを挿入できなかった原因は、集水管の曲がり及びスライム付着などによる集水管の詰まりや摩擦である。

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－3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 10 m以上２本、深度５～ 10 m１本、深度１～５m１本である。



図－３　集水管内スライム付着状況

ケース２は、スライムが孔口の 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５ mm 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～ 12 m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は、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

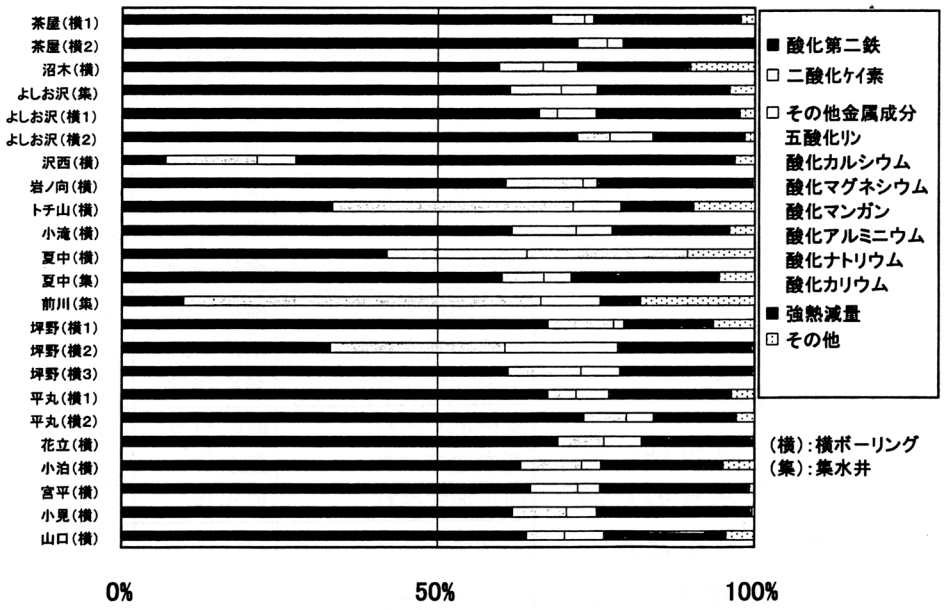
調査地は集水管の目詰まり状況調査を行った地すべり地の中で、特に孔口にスライム付着の多かった 16 カ所の横ボーリング 20 基と集水井３基である。

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－４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カ所の地すべり地の5本の集水管では約40 %以下となっているが、15 カ所の地すべり地の 18 本の集水管では60 %以上を占めている。



図－4　スライム成分分析結果

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・フェルギネアとレプスリック・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 カ所の地すべり地における 18 本の集水管の中で、12カ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・フェルギネア 11 カ所、レプスリック・オクラケア1カ所、両者2カ所である。

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・フェルギネ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、レプスリック・オ



写真－2　ガリオネラ・フェルギネア
（茶屋地すべり　新潟県）



写真－3　レプスリック・オクラケア
（夏中地すべり　新潟県）

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。

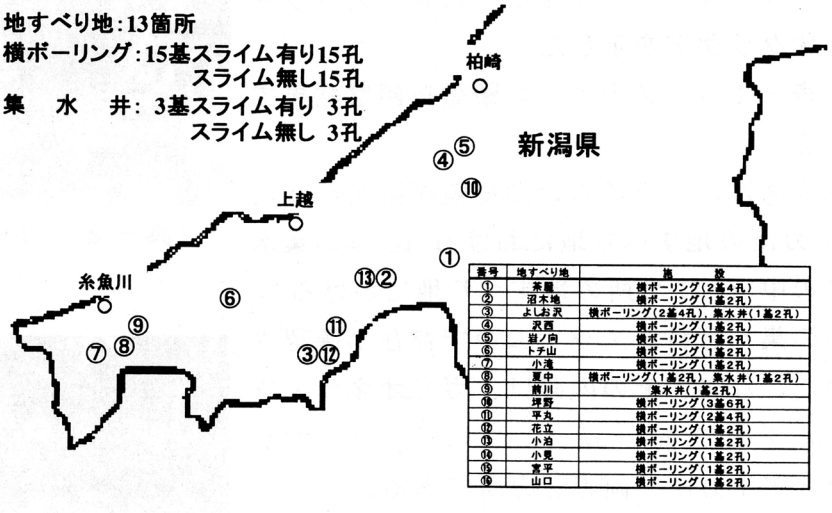
3.2 地下水の分析

地下水の成分分析は、図－5に示した集水管の目詰まり状況調査を行った地すべり地19カ所の横ボーリング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－6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で差が認められたものは、Fe^{2+}、Fe^{3+}、T-Fe（全鉄）であり、中でもFe^{2+}の差が最も大きい。

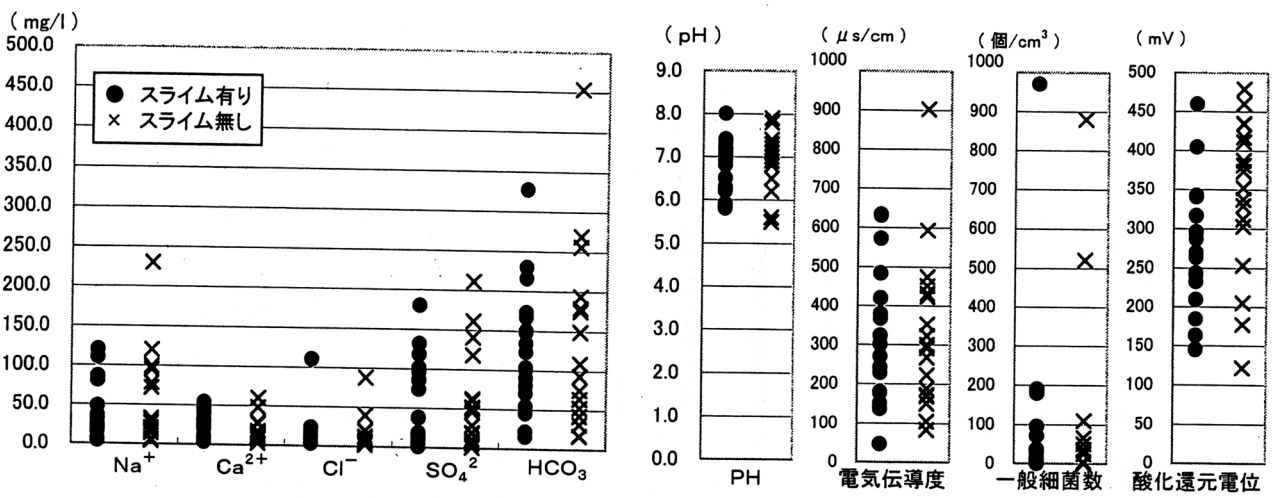
表－1　スライム顕微鏡観察結果

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)	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
茶屋地すべり(2)	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
沼木地すべり	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
よしお沢地すべり	集水井	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
沢西地すべり	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	なし	黒灰色
岩ノ向地すべり	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
トチ山地すべり	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
小滝地すべり	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	なし	赤褐色
夏中地すべり	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
夏中地すべり	集水井	ﾚﾌﾟｽﾘｯｸ・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	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ ﾚﾌﾟｽﾘｯｸ・ｵｸﾗｹｱ	赤褐色
よしお沢地すべり(1)	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ ﾚﾌﾟｽﾘｯｸ・ｵｸﾗｹｱ	赤褐色
よしお沢地すべり(2)	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
坪野地すべり(1)	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	なし	赤褐色
坪野地すべり(2)	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
花立地すべり	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色
山口地すべり	横ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ	ｶﾞﾘｵﾈﾗ・ﾌｪﾙｷﾞﾈｱ	赤褐色



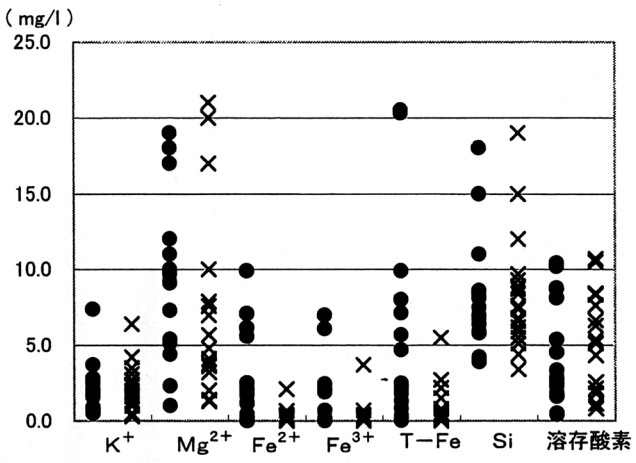
図－5　地下水採水位置

図－7は、Fe^{2+}（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）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



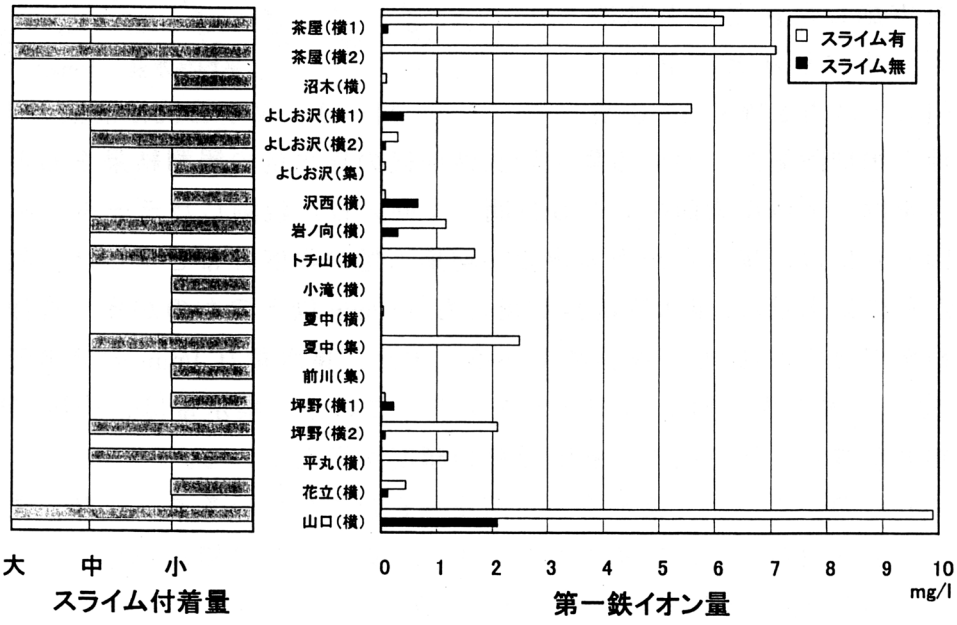
施設では、第一鉄イオンの量が１ mg/l 以上となっている。

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、地下水中の第一鉄イオン含有量が１ mg/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の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。



図－６　地下水の分析結果

ただし、沢西、小滝、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灰色、前

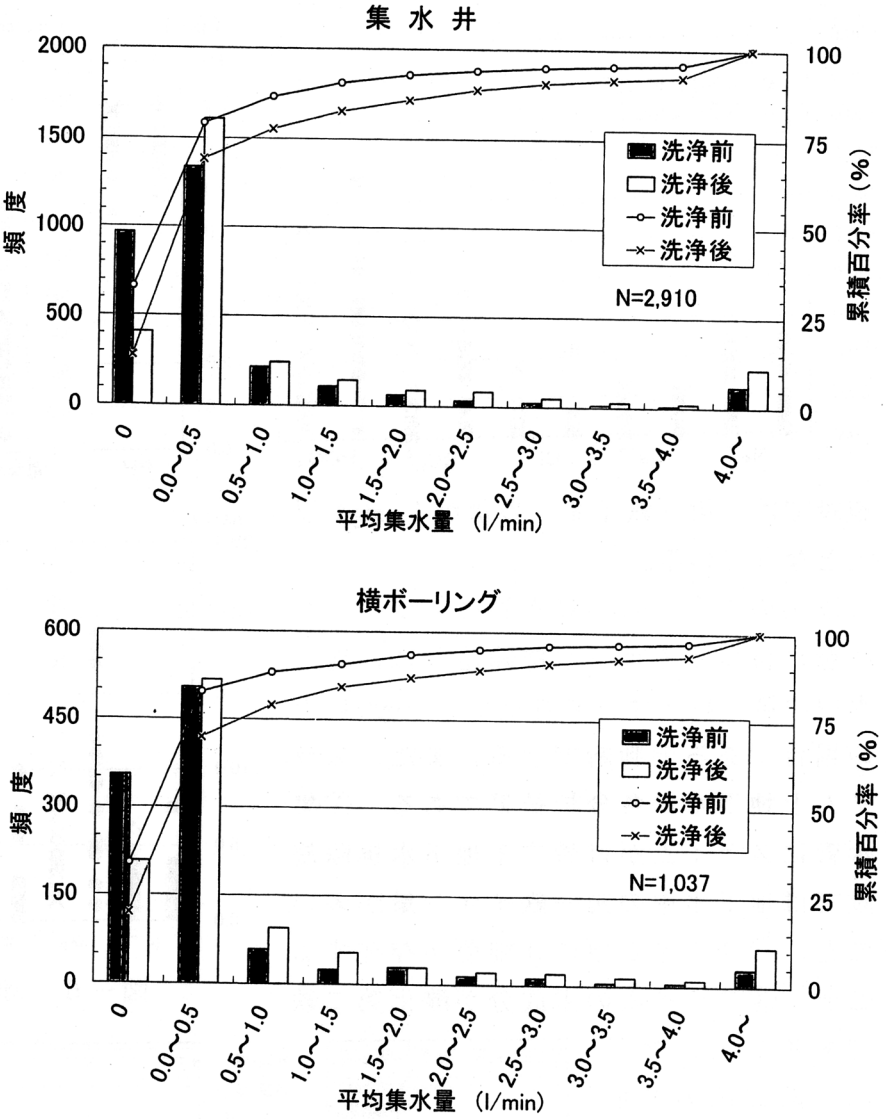


図－７　第一鉄イオン量とスライム付着量との関係

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－８　集水管洗浄前後の平均集水量

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－８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 0.5l/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 l/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 l/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。

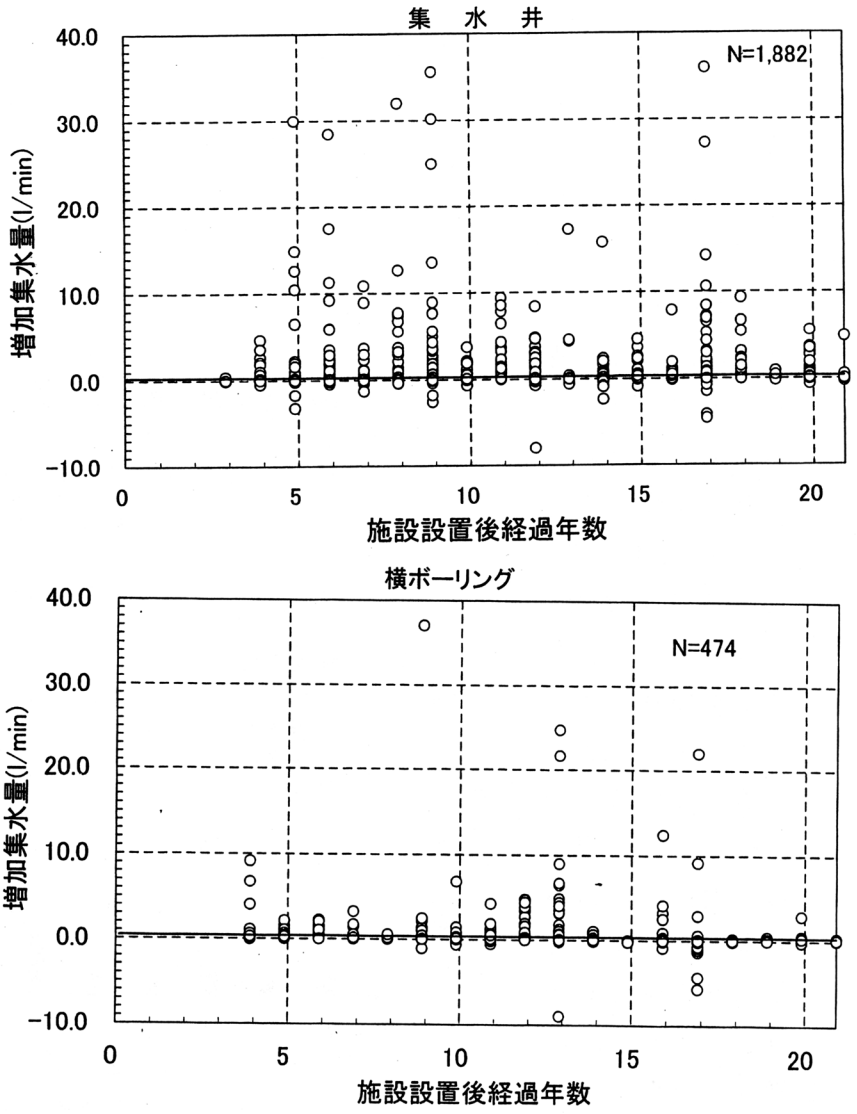
これらのことから、集水管が目詰まりを起こしていること及び、洗浄により目詰まり物質が除去されることが確認された。また、集水井及び横ボーリングからの集水量は、ほとんどの場合 0.5l/min 以下であることが分かった。

図－９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ものである。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 10l/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－ 10 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７ mm 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 50 ｍ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 50 ｍ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。



図－９　施設設置後経過年数と増加集水量との関係

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。

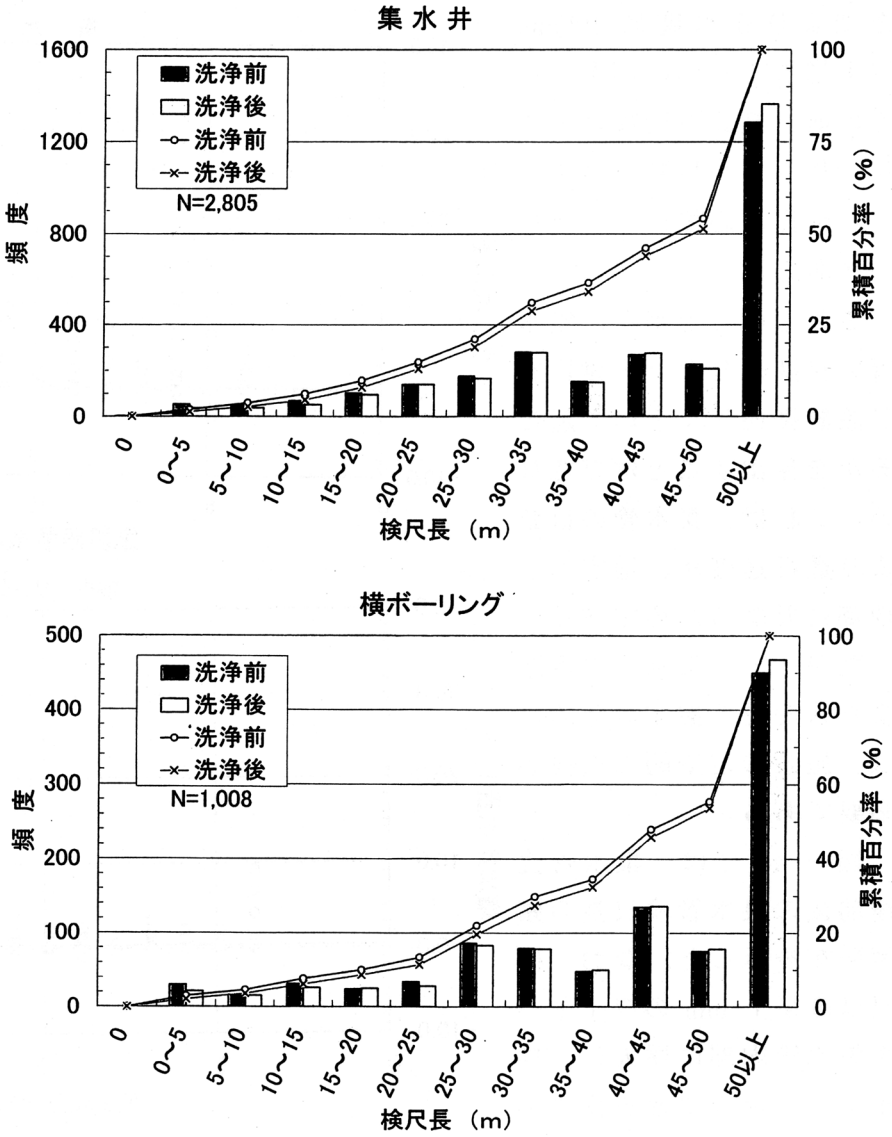
５.横ボーリング及び集水井の維持管理

本調査結果から、横ボーリング及び集水井の機能低下が生じている場合があり、地すべり斜面の安定度を保つためにはこれら施設の維持管理が重要であることが確認された。

横ボーリング及び集水井の機能を維持するためには、集水管にスライムが付着している場合、付着したスライムの除去及び付着防止が必要となる。スライムの除去については、集水管への付着状況を把握し、適切な時期に除去する必要がある。今回の調査では、横ボーリング及び集水井の維持管理について、以下の検討結果が得られた。

(1)肉眼による集水管孔口の観察と小型ビデオカメラによる集水管内部の撮影結果から、

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た。また、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た。これらのことから、集水管の孔口観察でスライムが多く付着していることが確認された場合は、内部での付着も多いと判断でき、集水管の洗浄を行う必要がある。



図－10　集水管洗浄前後の集水管検尺長

(2) 調査結果からは、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かった。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。

(3) 集水管にスライムが多量に付着する地下水排除施設は、地下水中の第一鉄イオン含有量が1 mg/l 以上の場合であることが分かった。このことから、地下水中の第一鉄イオン量を計測することにより、その集水管にスライムが付着するか否かを予め知ることができる。

一方、集水管へのスライム付着防止についての検討結果としては、以下のことが得られている。

(1) スライムと地下水の各分析結果から、スライムが主に鉄細菌により生成されることが分かった。このことから、スライム付着防止法として、鉄細菌の繁殖を防止することが考えられる。なお、鉄細菌は好気性細菌であるため、集水管内の酸素濃度を下げることにより、その繁殖を防止できると考え、このことを利用したスライム付

着防止法を現在検討中である。

6.あとがき

本調査では、地すべり防止施設の維持管理について検討するために、横ボーリング及び集水井における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調査検討した。

その結果、集水管の目詰まりの主な原因は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。また、スライムの主成分は概ね酸化第二鉄であり、スライム中に存在した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。

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

1) 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 年

2) 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 年

3) 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 年

4) 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

5) 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 年