

## 設計編

- 1.ボーリング間の地層を単純に結んではならないこと
- 2.安全率について
- 3.調査期間中に地すべり変動がなかったから対策は不要？
- 4.ボーリング暗渠工について
  - 4.1 地下水排除のポイント
  - 4.2 地下水はすべり面のみに連続する…
  - 4.3 暗渠設置領域しか水位低下しない
  - 4.4 集水井内でのボーリング暗渠成功例
  - 4.5 ボーリング暗渠の配置形: 並行形と扇形
  - 4.6 ボーリング暗渠の打設仰角
  - 4.7 地下水排除工の効果
- 5.排水トンネルについて
- 6.アンカー工の締め付け効果と引き止め効果
- 7.地すべり移動方向と受圧版の設置方向

## 1.ボーリング間の地層を単純に結んではならないこと

地すべり調査の成果図に“想定”という用語が用いられており、何か“いい加減な、適当な”といった奇異な感じをしばらく抱いていた。

一方、地すべり調査において、主断面上で実施した複数の調査ボーリング結果を基に地質断面などを作図するのであるが、例えば林道の切り土面などでは10cm程度の細かい単位で複雑に地層のずれが認められることがある。したがってボーリング孔で確認された地層境を単純に直線で結ぶ訳にいかないことが分かる。

しかし、それではいくらボーリング孔を設けてもきりが無いであろうから、“想定”と言ったことにせざるを得ないのであろう。これを踏まえれば、複雑な安定解析が行われるケースがあるが、余り意味をなさないのではないかと思える。

## 2.安全率について

筆者は渡正亮博士の講義を受ける機会があり、その際地すべり対策における安全率について次のようなお話があったと理解している。

- ①切土によって地すべりが滑動したり、押さえ盛土によって停止したりする場合の安全率 $F$ を試算した結果、 $F=1.0$ を境に $\pm 0.05$ 程度の幅があることがわかった。
- ②これを基に、動きのあるときの安全率は $F=0.95$ 、小康状態の場合は $F=1.05$ などとしている。
- ③経験的に $F=1.1$ となるように対策を行った場合はたまに再滑動することがあるが、 $F=1.2$ とした場合はほぼ安全を確保できている。
- ④ダム等絶対に失敗が許されない場合は $F=1.5$ などとしている。

このように地すべり対策における安全率は経験値によるものであり、近年“ $F>1.0$ となるように対策をすれば良く、そうすることで無駄な工事を省くことができる”といった議論があることに違和感を覚える。また地すべりの側壁部抵抗を考慮した解析等は将来的にも不可能であり、いたずらに細かい数値や設計手法にこだわるのは無意味とも思える。

一方、地すべり対策の安全率を落石対策に当てはめるような例があるが、基本的に間違っているものと思われる。すなわち、地すべりと落石では被災速度が圧倒的に異なり、目視で安定度を設定することの多い落石対策では目標安全率を十分高めておく必要がある（落石対策便覧での設計例：ロープ掛工の目標安全率 $F=2.0$ ）。

## 3.調査期間中に地すべり変動がなかったから対策は不要？

調査期間中の滑動状況に基づいて対策の要否等を決定するといったことがなされる場合があるが、災害が発生した時とその後では明らかに降雨条件等が異なる場合が多く、とても合理的判断とは思えない。

一方で確率水位に基づき初期安全率を求め、これを目標安全率まで高めるといった方法があるが、推定の仕方では莫大な工事費を要すことになり得策とは思えない。

そろそろ学会等をベースに国全体としての統一的理解をまとめるべきと思うがいかがであろうか。そのことで無駄が省け、統一基準に基づく技術の進展にも貢献できるのではなかろうか。

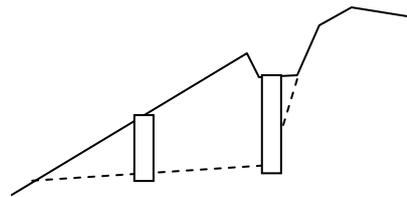
## 4.ボーリング暗渠工について

### 4.1 地下水排除のポイント

大規模な岩盤地すべりにおいて、陥没帯内にボーリング暗渠を設けた場合は排水量の増大とともに顕著な水位低下が認められるが、それ以外の領域ではほとんど効果が認められないといったデータ（数十年間分）を整理したことがある。

すなわち、陥没帯内では空隙部が多いため地下水が集中しやすく、下流側土塊に対して外力と作用することで地すべりを助長する。一方で透水性がよいことからこの位置での地下水排除は相対的に容易であり、地すべり滑動を抑制するための効果を得られやすい。

これに対して陥没帯より下流側では地下水の動きが劣勢であり、降雨に応じた地下水排除機能を高めることができず工事効果が得にくい。



一方、地表からのボーリング暗渠工において図-Aのような計画があるが、上記結果からは図-Bとすべきであろう。多くの場合側壁部亀裂末端部に小崩壊が発生することがあり、亀裂を伝って流下した地下水によって引き起こされたものと考えられることから、ボーリング暗渠は亀裂を縫う形に配置すべきである。

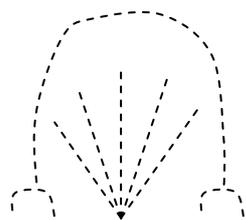


図-A

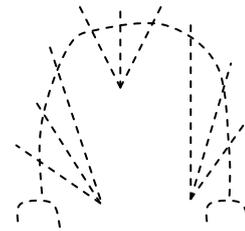
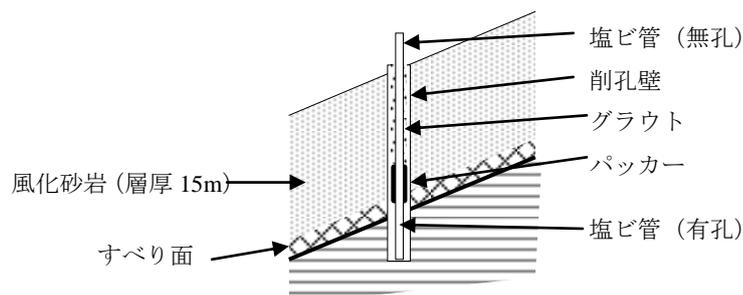


図-B

### 4.2 地下水はすべり面のみに連続する…

“地すべりを助長する地下水はすべり面のみに連続する”というように誤解していた時期があった。確かに地すべり末端部には湧水があり、すべり面（破断面）に沿って地下水が流下するものと考えられ、次図はそのすべり面における間隙水圧を測るための観測孔をもうけたものである。

当観測孔ではすべり面直上にパッカーを設け、これの上部をグラウト材で閉塞しようとしたのだが、これがパッカー下部にも廻ったことで、すべり面とこれより上位にある亀裂が連続しているものと判断された。このように、すべり面に作用する地下水の水頭高のみを測定するのは容易でないように思える。



### 4.3 暗渠設置領域しか水位低下しない

“ボーリング暗渠による水位低下は打設領域しか低下しない” というのは筆者の経験に基づく結論である。例えば図-Aのような断面で、上流に向けて暗渠を設ければこれの下流域は同様に低下するものと考えられがちであるが、数十年にわたる多くの現場での観測業務（工事効果の追跡調査）でそのような現象は認められなかった。これは図-Bのように周囲から回り込むためと考えられる。

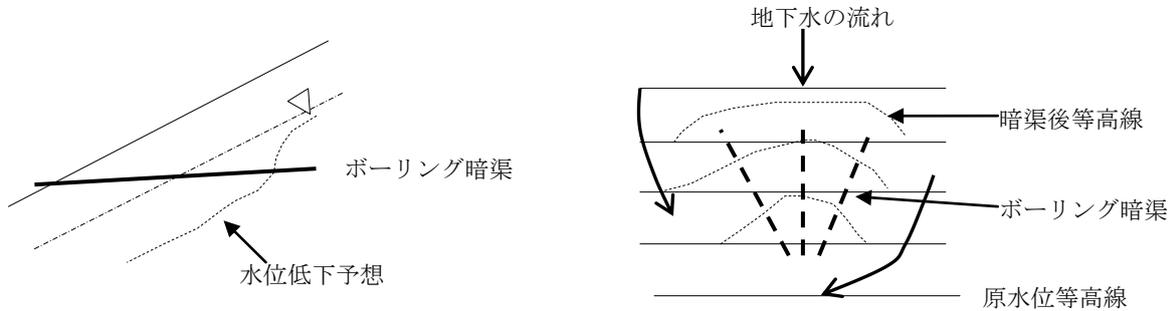


図-A

図-B

### 4.4 集水井内でのボーリング暗渠成功例

当初陥没帯に設置した集水井（深さ 30m）を基礎に斜面上流側に向けたボーリング暗渠（長さ 50m/本）を打設し、大量の排水を得ることができた。しかしまとまった降雨時には予定した水位低下がほとんど得られず、追加ボーリングを打つ場所もなくなったので、図-Bのように下流域に向けて打設した。その結果、集水井下流側はもとより、上流側に向けても予想外の広範囲な水位低下を招いた。

結論として、集水井下流域の水位を低下せしめることで上流域との動水勾配が大となり、広範囲な水位低下につながったものと考えられる。

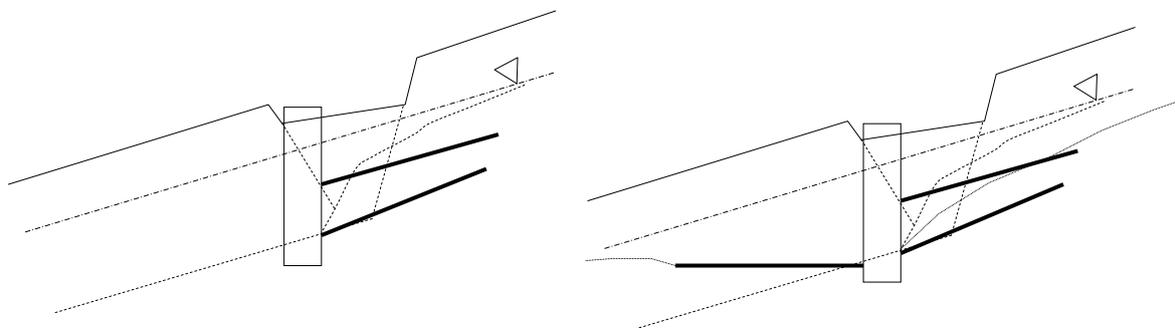


図-A

図-B

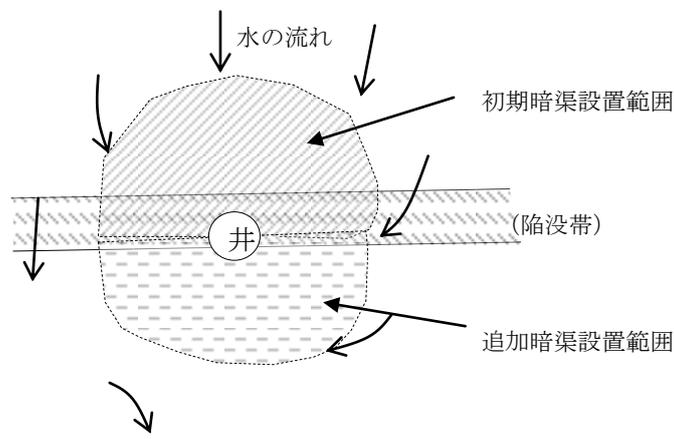
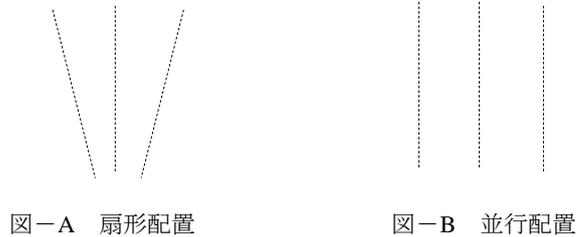


図-C 集水井内からのボーリング暗渠打設平面図

#### 4.5 ボーリング暗渠の配置形: 並行形と扇形

一般にボーリング暗渠の平面配置は図-Aのように流末処理などを考慮して扇形とする場合が多いような気がするが、一部で図-Bを提案する例もある。

どちらが有利かについては、前項に示した動水勾配が大きくなりやすい図-Aの方と思われる。

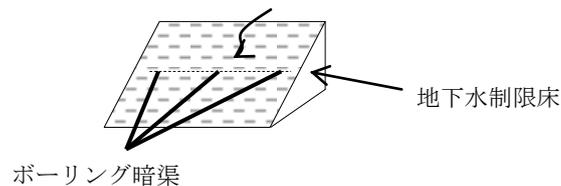


#### 4.6 ボーリング暗渠の打設仰角

ボーリング暗渠の打設仰角は主断面上で決定されることが多いが、それを一様に全方向に当てはめると、側方部では地表に飛び出す暗渠が出現することになりかねない（実際にある！）。

次図は制限床に規制される地下水を排水しようとするものであり、制限床が単斜面であれば側方への暗渠は主断面方向のものより打設仰角を小さくしなければ、これを貫通することができない。

このような点に配慮しないため、側方部では帯水層の上位に暗渠を打設しながら“水が出ない”などと騒いでいる例があった。



#### 4.7 地下水排除工の効果

ボーリング暗渠機能の低下を回復させるための洗浄工が実施され、それなりに機能回復を得るなどの成果を上げているようである。

ただし現場では孔口が変形し、洗浄のみでは機能回復出来ないようなものもあり、地下水排除の限界を知るべきと考える。すなわち、長期観測を行っている現場ではほとんど排水機能の低下が認められ、ボーリング暗渠のみで地すべりの安定化を図ろうとするのは、ほとんど不可能のように思える。

現になかなか治まらないから何十年も事業を継続している実態があり、例えば移動土塊をならして新たな土地を造成する（TPP 対策としての農地）など、最初から思い切ったことを計画されてはいかかであろうか。

## 5.排水トンネルについて

近年排水トンネルがどの程度施工されているか不明であるが、地すべり対策の初期の頃には大規模地すべりに対して定番のように採用されていたのではなかろうか。

その方法として、図-Aのようなトンネル内からボーリング暗渠を立ち上げる方法があるが、筆者が工事効果判定で携わった現場ではあまり成果がなかったように思われる。むしろ図-Bのように地下水流入側を遮断するような落とし込みボーリングの方がはるかに大きな効果が得られた例があった。

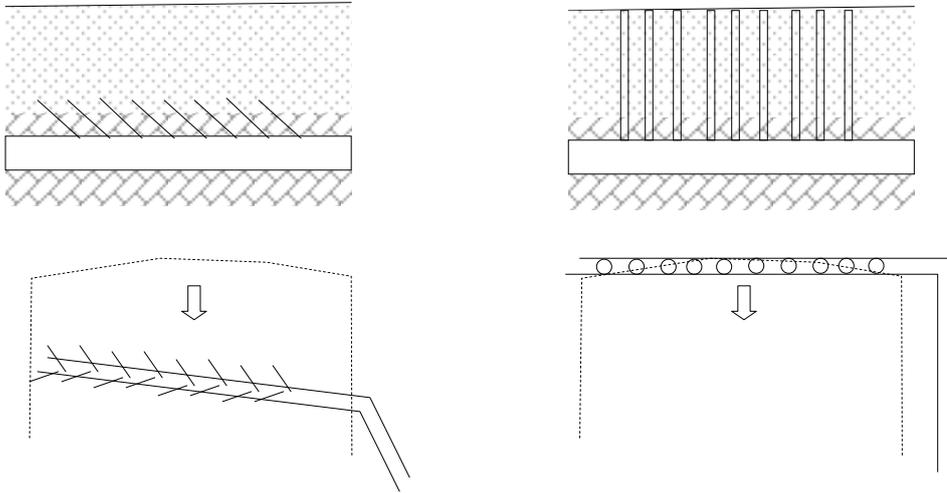


図-A トンネルからの立上げボーリング暗渠

図-B トンネルへの落とし込みボーリング

## 6.アンカー工の締め付け効果と引き止め効果

図のようにアンカー工の抑止機能には締め付け効果と引き止め効果があり、状況に応じて両方の機能を評価するか、一方のみを評価するなどの使い分けをするような説明がなされている。

しかし、締め付け効果は常に締め付け荷重が維持されていることを前提とするが、現実的にはアンカー体のクリープ変位や受圧版の沈下などにより荷重低下は避けられない。従って締め付け効果は無視すべきであるというのが筆者の意見である。

特にJTなどの研究でも地上におけるアンカー力がアンカー体にそのまま伝わっていないといった報告があり、経済的な設計になるからという理由で両方の機能を評価するのは誤りであると断言できる。

さらに言えば、仮に有効応力としてすべり面に伝わるとした場合でも、その時発生するであろう過剰間隙水圧に対する対策はどのようにするのか、明記しているものはないように思われる。

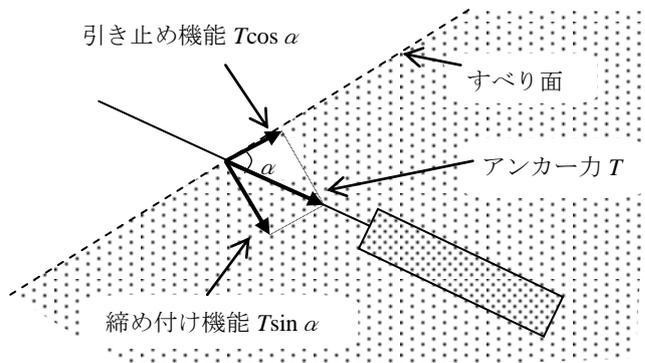


図-A グラウンドアンカー工の2つの機能  
(道路土工 P292 参図 8-10 参考)

$$F_s = \frac{S + T \cos \alpha \cdot \tan \phi}{T - T \sin \alpha}$$

$F_s$  : 安全率  
 $S$  : すべりに抵抗する力  
 $T$  : 滑ろうとする力  
 $\phi$  : 内部摩擦角

## 7.地すべり移動方向と受圧版の設置方向

一般に地すべり移動方向に直交する形で図-Aのように受圧版を設置するのが適当である。しかし、地形条件によっては、アンカー力に耐えうるだけの地盤反力を確保するため図-Bのように受圧版を断続的に設けなければならないケースがある。

この場合の問題点として施工が面倒であること、および受圧版横方向への変位が懸念されることから図-Cのように地形なりに受圧版を設置することもある。この場合、アンカー打設方向を受圧板に直交する方向とすれば抑止効果が図-A、Bより劣ることになるが、受圧版の施工延長が長くなり、これに合わせて施工本数（同一引張荷重）を多くすれば結果的に抑止力は同じとなる。

これを図-Dとする場合は受圧版が左方向にずれやすく、受圧版に直交する方向から振ることのできる角度はせいぜい $10^{\circ}$ 程度までのように思われる。

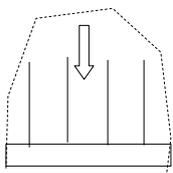


図-A

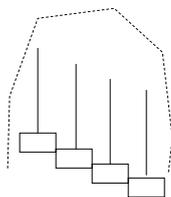


図-B

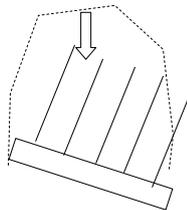


図-C

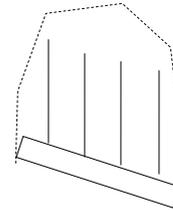


図-D