

逢初川土石流発生原因調査への意見

NPO 都市災害に備える技術者の会

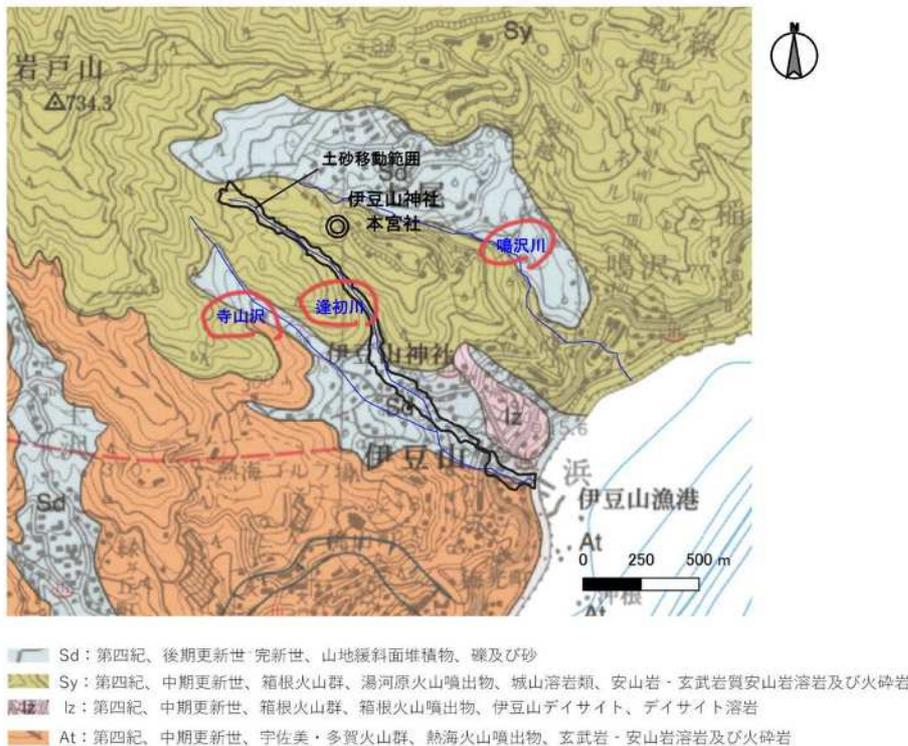
理事長 山田信祐

理事・事務局長 太田英将

office@toshisaigai.net

逢初川土石流発生原因検証委員会の中間報告を読ませていただきました。当 NPO は 2006 年の宅造法改正の際に、国交省に対して技術協力をするなど、盛土変動問題に対して当初から深く携わっています。当時従事した業務報告書を情報公開請求して、会の HP に掲載していますので、ご確認ください。[\(http://toshisaigai.net/\)](http://toshisaigai.net/)

さて、今回の中間報告書では、地下水調査を非常に詳細に行われ、逢初川に流入する地下水は、地形上の狭い集水域だけでなく、岩戸山大崩壊の堆積物に浸透した地下水が、他流域（鳴沢川・寺山沢）からも流入していることを明らかにされました。鳴沢川・寺山沢の両河川の集水域には岩戸山大崩壊で発生した崩積土砂が広く堆積しているにもかかわらず、その間にある逢初川にはほとんどそれが分布していないことから、逢初川は河川流量が多く、すでに侵食されて消失した可能性が考えられます。すなわち、岩戸山東斜面で最も水を集める沢は逢初川だったと考えられます。その結果が、中間報告書の詳細な調査結果からも裏付けられています。



出典：産業総合技術研究所 5万分の1地質図 熱海 に土砂移動範囲を加筆

図 1-2 周辺地質図

岩戸山の大崩落に伴う崩土に浸透した地下水は、崩土の透水性が比較的高いため、地下浸透して埋没地形の集水域に沿って流下していると考えられます。そしてその地下水の排水口は、逢初川最上流の盛土がなされていた部分です。

上流域の広い集水域で集められた地下水が、逢初川最上流の盛土と地山との境界部を地中浸食しながら流下していたものと思われます。地下水調査で、湧水が盛土と地山との境界部で多く流出していることから、この地中浸食が裏付けられます。

たとえるなら、上流の広い集水域が漏斗の呑み口で、逢初川最上流部が漏斗の流出口となっている構造を思い浮かべるとわかりやすいと思います。先細りの地下水路の構造なので、多量の地下水供給があれば、細い流出口から排水が間に合わなくなるので漏斗の呑み口に水が溜まりますが、この水面は標高の高いところにあるため、盛土底面付近に高い水圧を発生させます。山地水文学で「過剰間隙水圧」と表現したり、地すべり分野では「揚圧力」とか呼ぶ水圧に相当します。



この考え方に基づけば、盛土を崩壊させたのは記録的豪雨と盛土の排水不良によって盛土と地山との境界付近などに発生した高い水圧と考えられます。この考え方は、静岡県が詳細に調べられた地下水の調査結果と何ら矛盾しませんし、「地下水が原因で崩壊が発生した」という大きな見立てとも矛盾しません。

中間報告書では、「崩壊の再現」について下記のように書かれています。

7.4 対応方針

- ① 今後、追加的な浸透流解析は行わない。崩壊の再現解析においては、盛り土内の土中の水の流動や土の水による飽和・不飽和の状態は、水文調査の結果などを参照しつつ適宜仮定して行わざるを得ない。
- ② 盛り土は、締め固め度が弱く、間隙が大きい状態であったと推定される。このことはボーリングによる地盤調査からも明らかになっている。また、地下水が流入しやすい場所であったことから、土中の間隙には常時、水が多く入り込んでおり、さらに直前の降雨で盛り土内への水の流入が増える（飽和度が高い）ものと推定される。
- ③ このような状態の場所の崩壊の再現解析を行う場合には、飽和度（土の湿潤状態）の違いによる土の強度変化を考慮できる解析モデルを用いることが望ましい。
- ④ この解析モデルの選定には、高度な工学的な知見を要する。よって、地盤工学会中部支部に数値解析モデルの選定について助言を依頼した。
- ⑤ 今後、地盤工学会中部支部からの助言を待って数値解析モデルを選定し、解析を行う。
- ⑥ これまでの数値解析により、地質・地盤構造をモデル化しているため、そのモデルを公表する。また、ボーリングデータや土質試験結果を解析において使いやすい形で公表する。
- ⑦ これらによって、社会の知による解析を可能とする。

(1) 今後、追加的な浸透流解析は行わない。崩壊の再現解析においては、盛り土内の土中の水の流動や土の水による飽和・不飽和の状態は、水文調査の結果などを参照しつつ適宜仮定して行わざるを得ない。

(2) 盛り土は、締め固め度が弱く、間隙が大きい状態であったと推定される。このことはボーリングによる地盤調査からも明らかになっている。また、地下水が流入しやすい場所であったことから、土中の間隙には常時、水が多く入り込んでおり、さらに直前の降雨で盛り土内への水の流入が増える（飽和度が高い）ものと推定される。

→長雨だったので、すべり面付近はほとんどすべての場所が飽和状態（飽和度 100%）と考えてよいと思います。不飽和の場所は地表近くに存在する程度だったと思われまます。飽和・不飽和の状態を調査結果から仮定しても、安定計算結果に大きな影響を与えるとは思えません。

(3) このような状態の場所の崩壊の再現解析を行う場合には、飽和度（土の湿潤状態）の違いによる土の強度変化を考慮できる解析モデルを用いることが望ましい。

→不飽和土は負圧（サクション）があるため見かけの粘着力がありますが、前述のように破壊面付近は飽和度 100%と考えられるので、「飽和度の違いによる土の変化」はほとんどありません。飽和状態の三軸圧縮試験結果の強度を使う以外のことでは思えません。

→「飽和度の違いによる土の強度変化」は、土の強度を安全率が $F_s < 1.0$ となるまで強度を低下させ

るという手法になり、恣意的な結果しか導けません。土の強度に手を加える場合、地下水位（水圧）を固定して計算することになると思います。その水圧はボーリングなどで得られた「孔内水位」を用いられると思います。この方法では、詳細に調査された「非常に多くの地下水が逢初川最上流に供給された」ことは何も反映されません。

→したがって、飽和度によって土の強度低下を考えるという手法は、すべり面付近が飽和度 100% になっていたと考えられるため、実際上使えませんし、地下水調査で得られた定性的崩壊原理を再現することもできません。

(4) この解析モデルの選定には、高度な工学的な知見を要する。よって、地盤工学会中部支部に数値解析モデルの選定について助言を依頼した。

→このような「高度な工学的知見」が存在するとは思えません。たとえ存在したとしても、一般に飽和度 100%が一番強度が小さく、不飽和土のほうが大きくなりますが、すべり面は飽和度 100%ですから、「飽和度による強度の変化」は使いようがありません。

→このような恣意的結果しか導けない方法を用いても、他の地域への「地下水による全国の盛土崩壊予防」に対する知見が得られる見込みはありません。

→今回の災害を経験して、その教訓を使って全国の盛土を安全にするためには、どのような方策が必要かを導くのが一番大切なことだと思います。

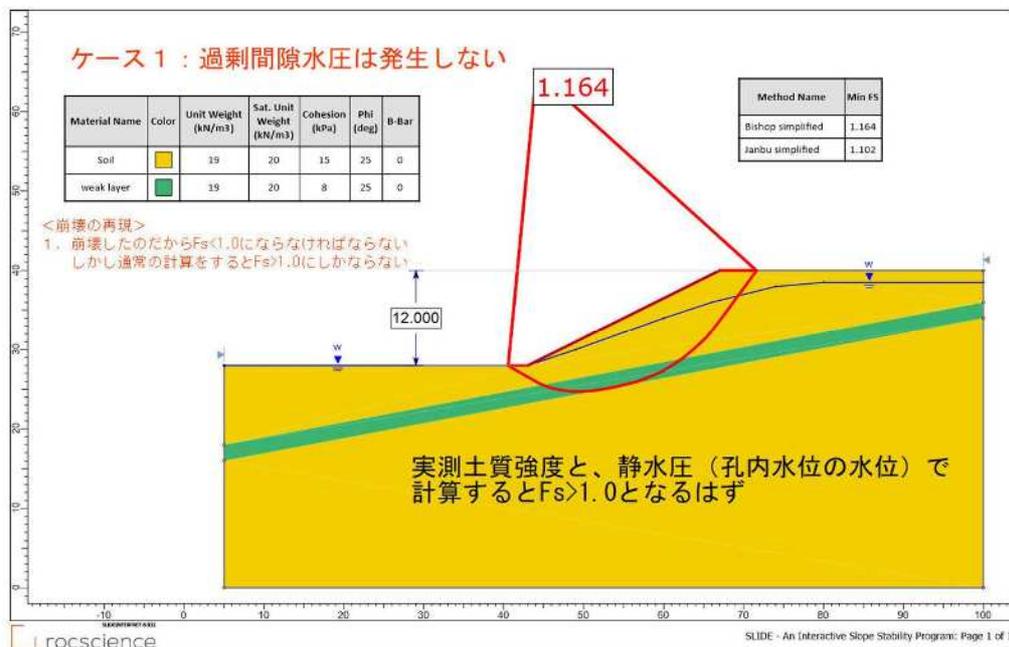
次に、こちらが考える解析法を示します。計算モデルでは、土の強度は実測強度をそのまま使い、恣意的あるいは根拠の薄い低減は行いません。そして、「大量の地下水供給があり非常に大きな水圧が地山と盛土との境界付近に発生した」という、調査結果と、そこから導かれた定性的崩壊推定原因を概略的に定量化する方法です。

盛土の形状を規制する谷形状や、崩壊の周縁部（側部等）にある不飽和土の分布まで再現したい場合には 3 次元解析を用いる必要がありますが、そこまで詳細な再現よりも、水圧がどの程度まで高まれば崩壊に至る（ $F_s < 1.0$ となる）かを確認するだけなら 2 次元解析でもよいと思います（3 次元安定解析を否定しているわけでは決してありません。可能であれば 3 次元解析のほうが良いのは言うまでもありません）。

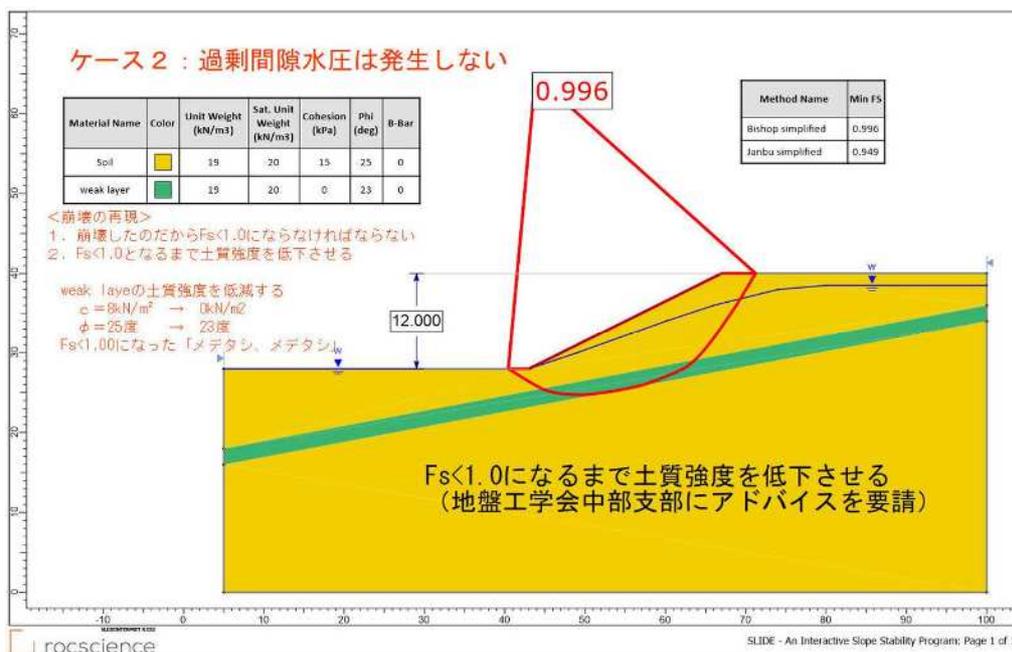
今回の崩壊の教訓と、今後の全国の崩壊の予防に寄与することを考えると、「上流部に広大な集水域がある場合、盛土底面付近に巨大な水圧が発生する」ことを確認することで十分なように思います。それによって、次の段階として、その水圧を発生させないようにするための地下水排水施設はどのような考え方で、どのような規模のものを用いればよいかという知見が得られるきっかけになります。

土質試験結果等を持ち合わせていないので、以下に概念的な説明をします。地形断面等は全くの仮のもので、逢初川の解析をしているわけではありません。

(ケース1) 土質強度の実測値と、観測地下水位(静水圧)を使って安定計算すると、 $F_s > 1.0$ となり「崩壊の再現ができない」ことになるはずですが。盛土底面の傾斜角は緩いので土質試験の強度(一般に結構強い)と静水圧では、普通 $F_s < 1.0$ にはなりません。(たぶんもう計算されていて、 $F_s > 1.0$ になったから土質強度を低減させることを書かれているのだらうと思います)

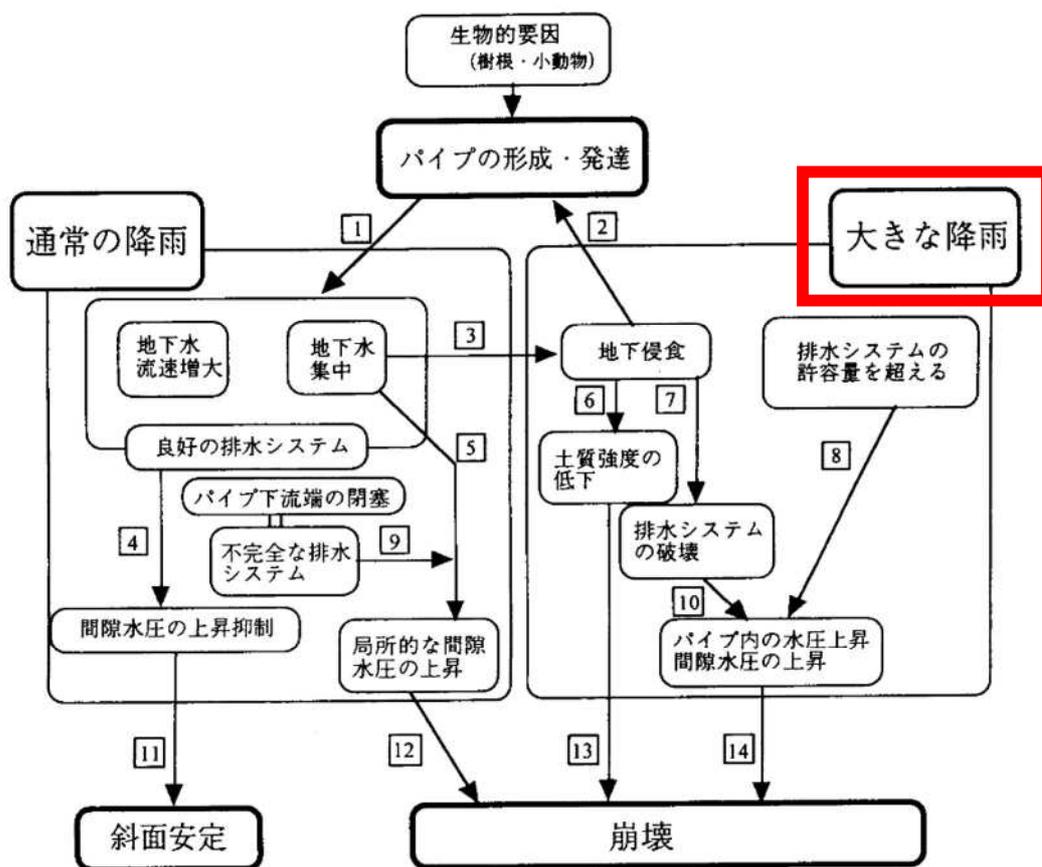


(ケース2) 「高度な工学的な知見」で飽和度によって土質強度を低下させる(ほとんど飽和度100%のはずだが)と、いつかは $F_s < 1.0$ になります。強度ゼロにすれば、 $F_s = 0$ になるのだから、その途中に $F_s = 0.99 < 1.00$ は確実に存在するので、計算結果だけは作り上げることができます。



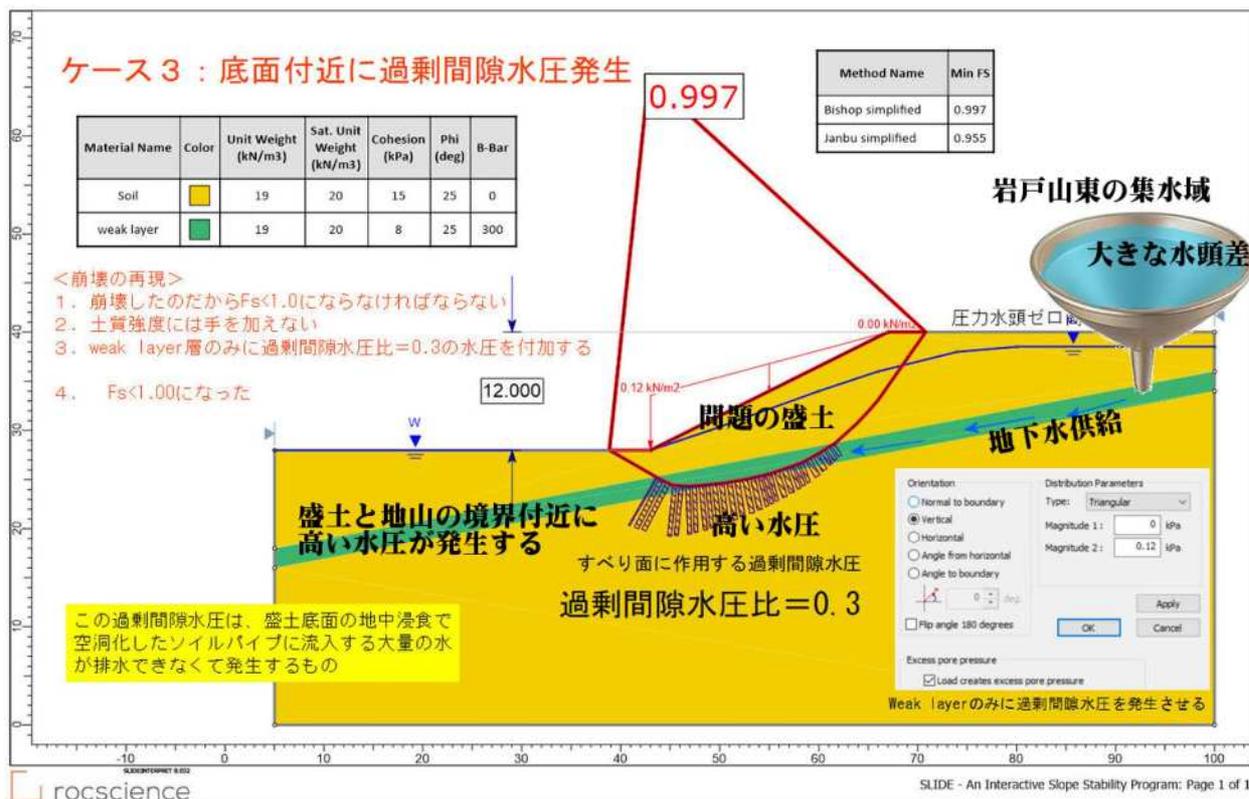
(ケース3)【私見】背後に大きな地下水の集水域があり他流域からも供給されているということは、ソイルパイプに巨大な量の地下水が供給されていることを意味します。既存のソイルパイプの断面・勾配ではとてもさばききれないので飽和して位置エネルギー起源（高い位置にある漏斗の呑み口に溜まった水圧のイメージ）の過剰間隙水圧が発生します。その水圧は「高さ」がエネルギー源なので岩戸山を背面に持つ集水域で、盛土を崩すだけの水圧を発生させることは容易なはずで、水の重量は土の1/2もありますので、 $\gamma = 20\text{kN/m}^3$ の土を水圧で持ち上げるのに、水圧の損失がなければ $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$ の水であれば、盛土圧の2倍の高さの水頭があれば事足ります。

地下水によって地盤内に形成されるミズミチ（ソイルパイプ）は、地山と盛土との境界部や、崩積土と基盤岩の境界部などの物性値の境界に発達しやすいです。ソイルパイプは平常時には、自然が作る良好な排水システムとして機能し間隙水圧の上昇抑制の効果があり斜面安定に寄与しています。しかし、大きな降雨があり排水システムの許容量を超えたり、ソイルパイプが閉塞・破壊されたりすると、ソイルパイプ内の水圧が上昇し崩壊を引き起こします（参考文献1；下図参照）。



図一 1 パイプ形成と斜面崩壊の関係のダイアグラム

表層崩壊の事例では、崩壊時の過剰間隙水圧比は最大 0.3 程度（参考文献2 参照）です。しかし厚さ 20m程度 of 盛土の場合の水圧損失がどの程度かについては知見を持っていません。（今回の解析でその知見が得られると思います）



このような解析は、「地下水の大量供給が盛土と地山との境界部付近に巨大な水圧を発生させて崩壊が発生した」ことをある程度定量的に明確化できます。そして、今後の全国の盛土崩壊の対策として、「その場所の背後にある地下水の集水域と比高を考慮して、盛土底面に過剰間隙水圧が作用しないような排水設備はどのような規模が必要か？どのようにその規模を計算で求めることができるのか」を明らかにするきっかけになります。

それが、逢初川の盛土の崩壊を今後の防災に活かす最善の方法だと思います。この悲しい教訓を制度化して固定化し、今後の安全に寄与するためには、盛土の排水施設の規模を合理的に定める方法を確立することに尽きると思います。

以上を取りまとめると下記のようになると思います。

1. 静岡県調査結果通り、今回の崩壊は岩戸山東側の「広大な地下水の集水域」から逢初川に供給された大量の地下水が原因で起こった。その影響を反映して「崩壊の再現」をしなければ意味がない。
2. この場所は、広大な集水域と、大きな水頭差がある状態があったが、その地下水の出口を盛土が塞いでしまったために、盛土底面付近に非常に大きな間隙水圧が発生した。これは、排水施設の不備が原因であるが、現在の技術基準通りの排水施設でも、同様のことが発生した可能性が大いにある。
3. 「飽和度に応じた土質強度」を用いる解析では、水圧は固定化され（おそらく観測地下水水位＝静水圧）てしまい、「大量の地下水供給が原因だった」ことは解析上何も反映されない。それでは意味がない。
4. 崩壊した盛土が、たとえ適法でつくられたものでも、この大量で高圧の地下水供給が発生する場では、同じように崩壊した可能性が高い。それを明らかにして、排水施設の設計法の見直しをするのが、今後全国の盛土の崩壊予防にとって非常に重要な点である。
5. 土質強度を変化させて解析し、この場所だけの辻褃合わせをしても、他の盛土を安全にすることにはまったくつながらない。

参考文献1) 内田・小杉・大手・水山 (1996) ; “パイプ流が斜面安定に与える影響”、水文・水資源学会誌、Vol.9, No. 4、pp. 330-339

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshwr1988/9/4/9_4_330/_pdf/-char/ja

参考文献2) 太田・美馬 (2017) ; “ソイルパイプの過剰間隙水圧を考慮した安定計算法”、第 56 回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp. 109-110、

https://www.ohta-geo.net/kaisha/ronbun/20170824jisuberi_2-27_ohta.pdf