

「解析モデルには解析精度に限界がある」  
についての直感的理解のために

2021年7月26日

静岡県副知事 難波喬司

## 疑問あり！！ という人がいるはず

- 静岡県はリニア問題について、JR東海に対し、より詳しいボーリング調査やより適切な数値解析モデルの適用など、より精緻な解析を求めている。
- 熱海の土石流では、ボーリング調査も数値解析もしていないのに、「不適切な工法の盛土が問題」と即座に断定した。
- 矛盾あり。姿勢を疑う。

(答)静岡県の行動、姿勢に問題なし。その答えは次のとおり...

# その答のカギは 「自然界の現象を推定することの不確実性」と「逆解析」

その理解のための

手品① どこで破れるのだろうか？予測は困難。

手品② なぜ破れたのでしょうか？推定は比較的容易。

科学実験① どこにどのくらいの弱点があるのかは事前調査だけではわからない。  
でも、弱点があるかもしれない(不確実性がある)という意識が重要。

解析結果によれば影響なし。だから、実際にも「影響なし」という説明は技術者として力量が問われる。

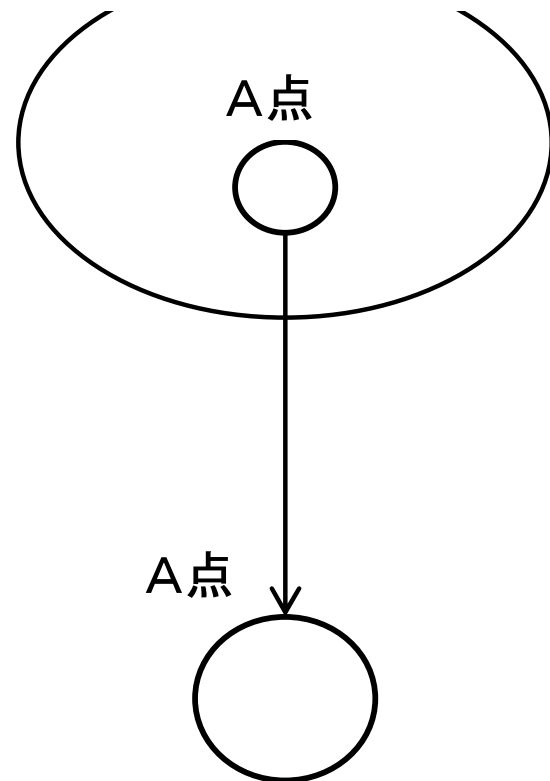
## 「不確実性」とは

不確実性とは：今、問題・話題としていることの中に  
よくわからないことがあること。

(例) どこで、紙は破れるかな？  
力を入れると多分破れると思うけど...  
どのくらいの力をかけたときに、どこの場所で破れるは  
事前にはよくわからないな～(不確実性あり)

# とりわけ自然界の中のモノは多様性と不確実性が大きい

南アルプス赤石岳周辺



南アルプスの赤石岳周辺では、多様な生物が棲んでいる(生物多様性)

- ○○チョウも△△ムシも□□ウオも棲んでいることが確認されている。(ほぼ確定的と言える)

2021年7月26日、このA点を15時○○分に調査しました。

○○チョウも△△ムシも□□ウオは確認できませんでした。



よって、ここには、○○チョウも△△ムシも□□ウオは棲んでいないものと思われる。(推定)

⇒この推定方法は誤り: 小さな個別体験で全体像を決める(一般化する)誤り

類似例: それぞれ別の人が象の鼻、足、胴を見て、象とはこういう生物と一般化する

⇒部分的な調査では、全体像も部分もよくわからない(調査結果には不確実性あり)

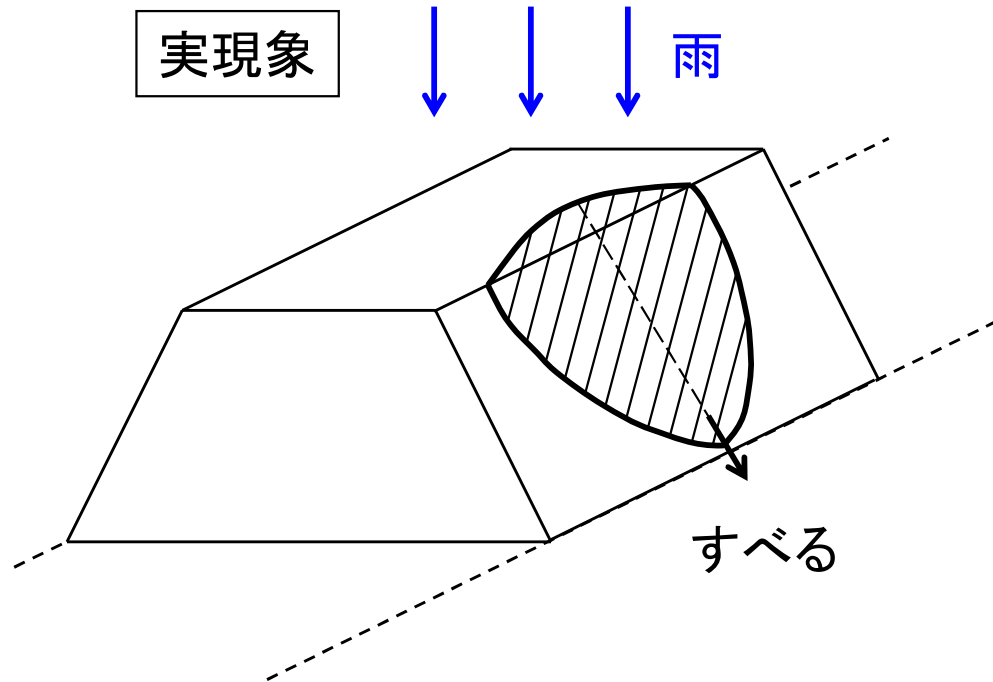
## 自然の中にある実際の現場で起きることを理解するために重要なこと …… 現象の単純化と推定誤差の理解

- 人工的なモノ(例えば自動車の部品)の品質はある程度管理され、質が推定できる
- 自然の中のモノ、例えば、地質や土質、自然現象はそうはいかない。「わからない」ではすまないなので、「推定」しなければいけない
- その有力な方法が単純化
- (単純化の例)南アルプスの複雑な地形・地質を「一定の範囲内の地質は均質である」と単純化
- 現実とは異なる「単純化」をしたので、それによる「推定には誤差がある」ことを認識。

# 現象の単純化とは？…斜面の安定

例えば：高速道路の斜面の安定問題の単純化

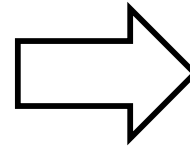
実現象



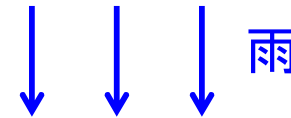
- ・3次元で起きる現象
- ・おわん型ですべる

(豆腐をスプーンで切り取ってみてください)

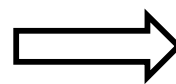
単純化



解析法：円弧すべり法

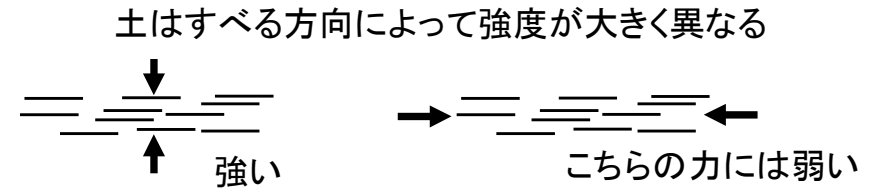
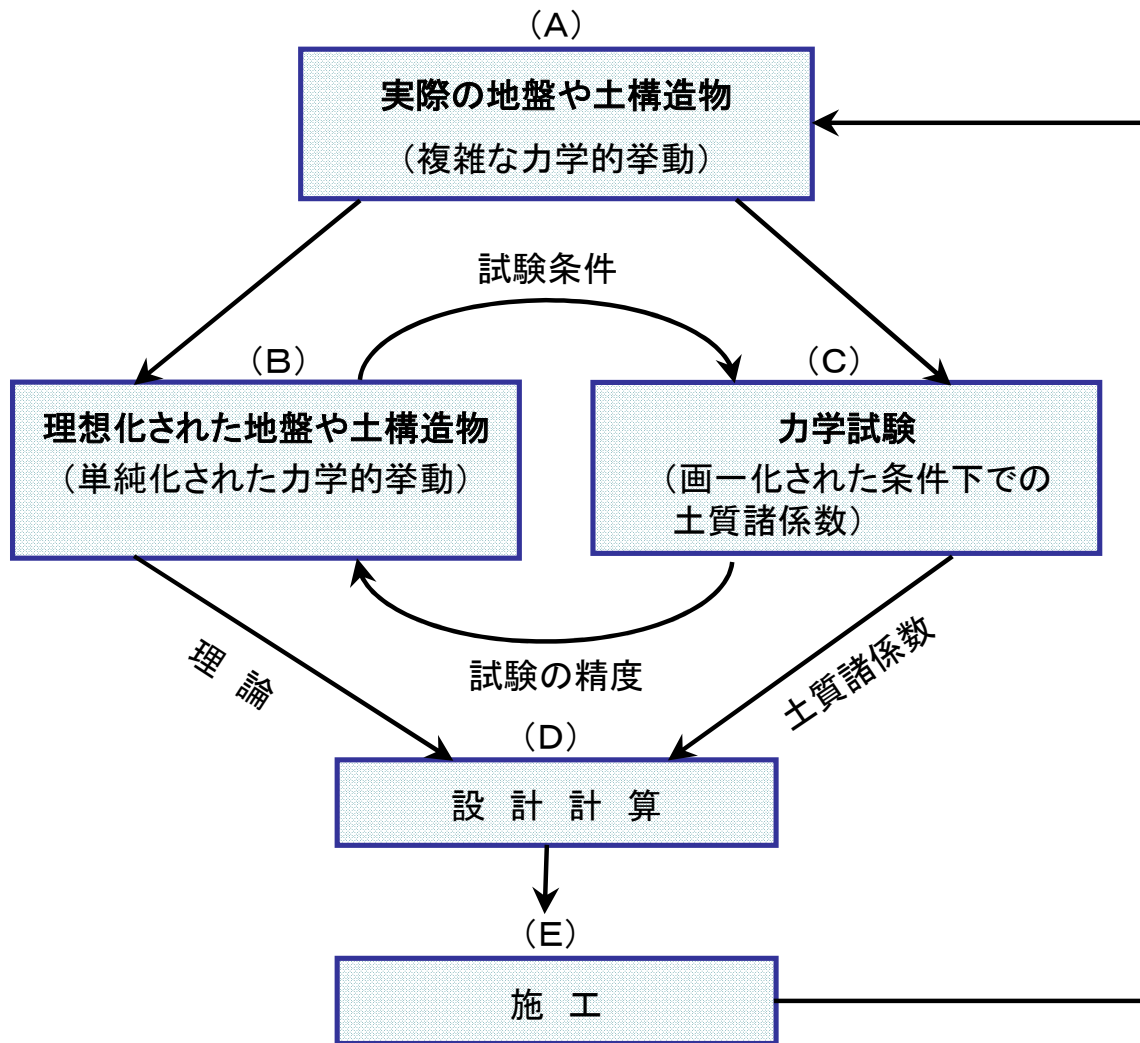


単純化

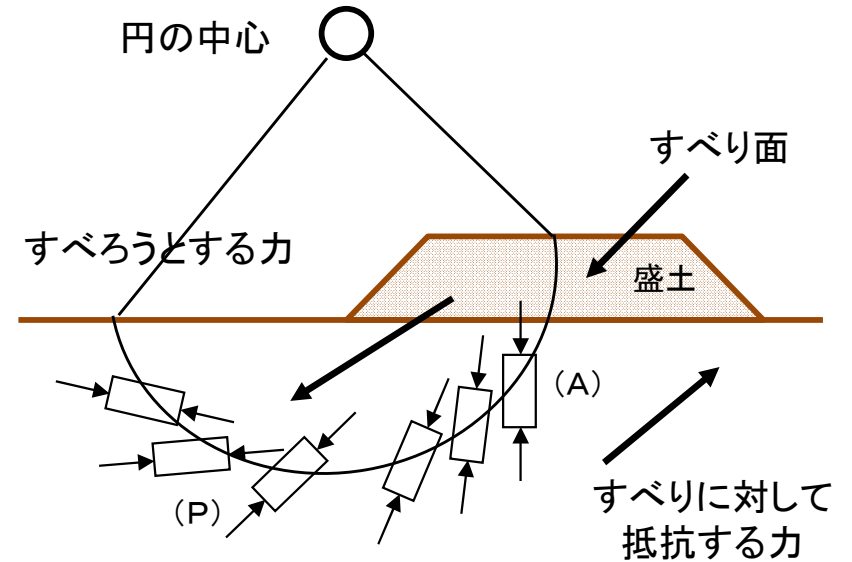


- ・2次元で起きる現象
- ・円弧型ですべる  
(解析精度が極めて高い)

# 不確実性とは？（学生時代に学んだこと）



(A) 点の(A)の向きで土を採取し、強度(まさつ力や粘着力)を調べるのだが... 実際のすべり面では(A)点とは異なる向きで力を発揮している



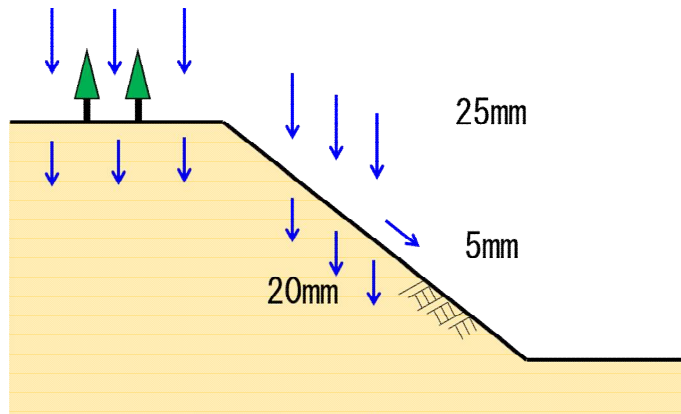
松尾稔「最新土質実験—その背景と役割—」森北出版、1974年、p36、p62に加筆

図 実験現象と設計及び力学試験との関係

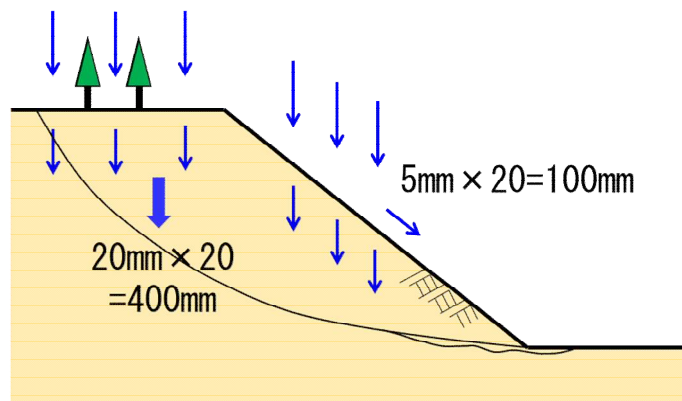


# 単純化の事例：降雨の斜面への浸透

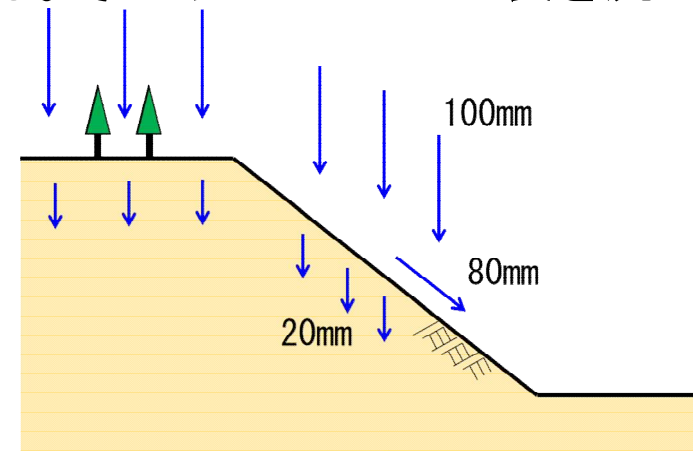
単純化：1時間20mmの雨は地中に浸透する。それ以上の雨は地表を流れる。



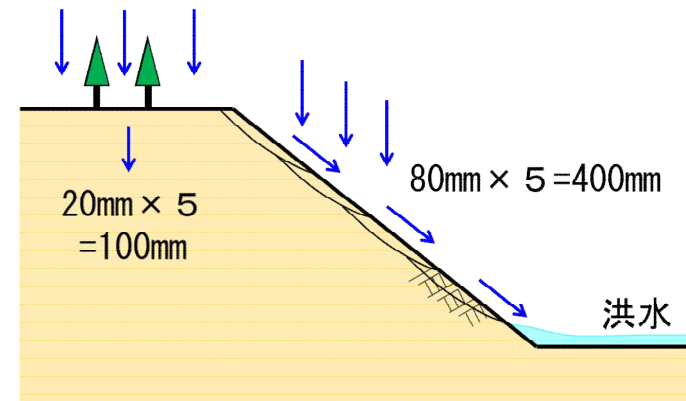
長雨蓄積型の雨  
期間雨量500mm(3日間で時間25mmの雨×20回)  
 $25\text{mm} \times 20 = 500\text{mm}$



地中に400mmの雨がたまる  
⇒比較的深い斜面崩壊のおそれ



短期豪雨型の雨  
期間雨量500mm(3日間で時間100mmの雨×5回)  
 $100\text{mm} \times 5 = 500\text{mm}$



斜面を80mm/hの雨が流れる  
⇒比較的浅い斜面崩壊、洪水のおそれ

# 正解析と逆解析

○正解析:原因から結果を導く(トンネルを掘ったら、水が減るのか)  
(こういうときは何が起きるかを解析)

○逆解析:逆に、結果から原因を推定するもの(トンネルを掘ったら、水が減った。なぜ?)  
(起きたことからたぶん原因はこういうことだろうと推定)

(正解析)(たぶん、こうなるだろう解析)

未来に起きることの推定においては、様々のわからないこと(不確実性)があり、現地調査(地形地質、土質、水の流れ等)とともに、高度な解析を行わなければ「どういう状態のとき、どういう現象が生じて、結果として何が起きるか」はなかなか推定できない。

(逆解析)(たぶん、こうだったんだらう解析)高度な数値解析が無くてもわかる。

例1:A点で水枯れが起きたのはたぶん、このトンネル工場の影響だろう。

(トンネルを掘るまでは水が流れていたのに、トンネルを掘ったら枯れた)

(起きたことからたぶん原因はこういうことだろうと推定)

例2:熱海の土石流は、この豪雨のときに発生した。

過去の豪雨の時は発生しなかった。

過去の豪雨と今回の豪雨の違いは?→少し強い雨の長雨だった。

→過去の豪雨のときは土砂流は発生せず、今回の長雨では発生した。

どういう現象が起きていたんだらうか?

# 逆解析とは

正解析:原因から結果を導く(トンネルを掘ったら、水が減るのか)  
(将来のこういうときは何が起きるかの解析。未来を推定)

逆解析:逆に、結果から原因を推定するもの(トンネルを掘ったら、水が減った。なぜ?)  
(過去に起きたことからたぶん原因はこういうことだったんだらうと過去を推定)

## 熱海における逆解析で最も重要な情報 (盛土ができてから現在までの豪雨の状況)

| (雨の条件)       | (最大値) | 1時間雨量       | 24時間雨量       | 期間雨量(一定の期間) |
|--------------|-------|-------------|--------------|-------------|
| ①2014年10月の豪雨 |       | 36mm        | <u>251mm</u> | 292mm       |
| ②2016年7月の豪雨  |       | <u>63mm</u> | 176mm        | 187mm       |
| ③2019年10月の豪雨 |       | 26mm        | 243mm        | 274mm       |

過去の雨では盛土は崩壊しなかった。

今回の雨では盛土が崩壊した。なぜだろう(結果から原因を推定)

| (雨の条件)                       | (最大値) | 1時間雨量 | 24時間雨量 | 期間雨量(一定の期間)  |
|------------------------------|-------|-------|--------|--------------|
| ④2021年7月1日4時<br>~3日10時(発災直前) |       | 24mm  | 260mm  | <u>449mm</u> |

これから何が? (2019年10月豪雨とよく似た豪雨だか、違いは期間雨量。すると・・・)

## 原因の総括

災害の内容：熱海市伊豆山地区において、7月3日10時30分頃、土石流が発生し、人と家屋等が押し流され、甚大な被害が発生した。

### 発生要因

自然要因：2010年（災害を甚大化させた盛土が造成されたと推定される時）以降の約10年間で、24時間雨量260mmは最大、期間雨量449mm（発生時まで）は最大。

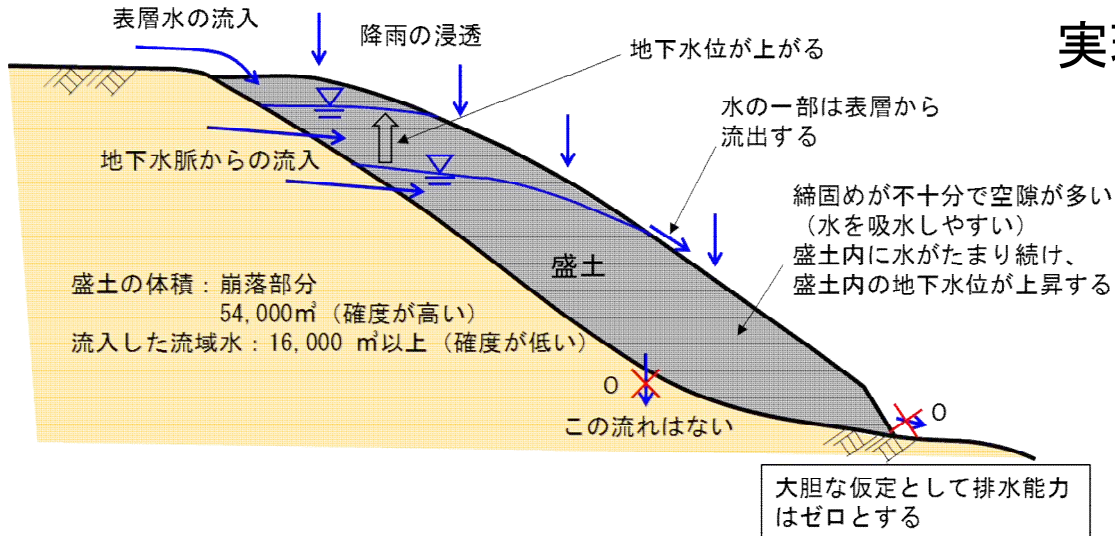
1時間雨量は24mm/h（10年間最大63mm/h）

人為要因：この周辺からの水が集まりやすい逢初川源頭部の谷に、不法かつ不適切な工法（排水不備、大量の土砂量等）で、水の流れにふたをするような形で盛土が形成されたこと。

行政要因：結果として災害の発生を防止できなかったこと。

災害発生メカニズム：雨が地中に浸透しやすい長雨により、盛土部へ大量の水が流れ込み、盛土内に大量の水が蓄積され、盛土の安定限界を超え、ほぼ盛土全体が崩落し、大量の水を含む泥状態の大量の土砂が下流に流れた。

# 熱海の事例の逆解析

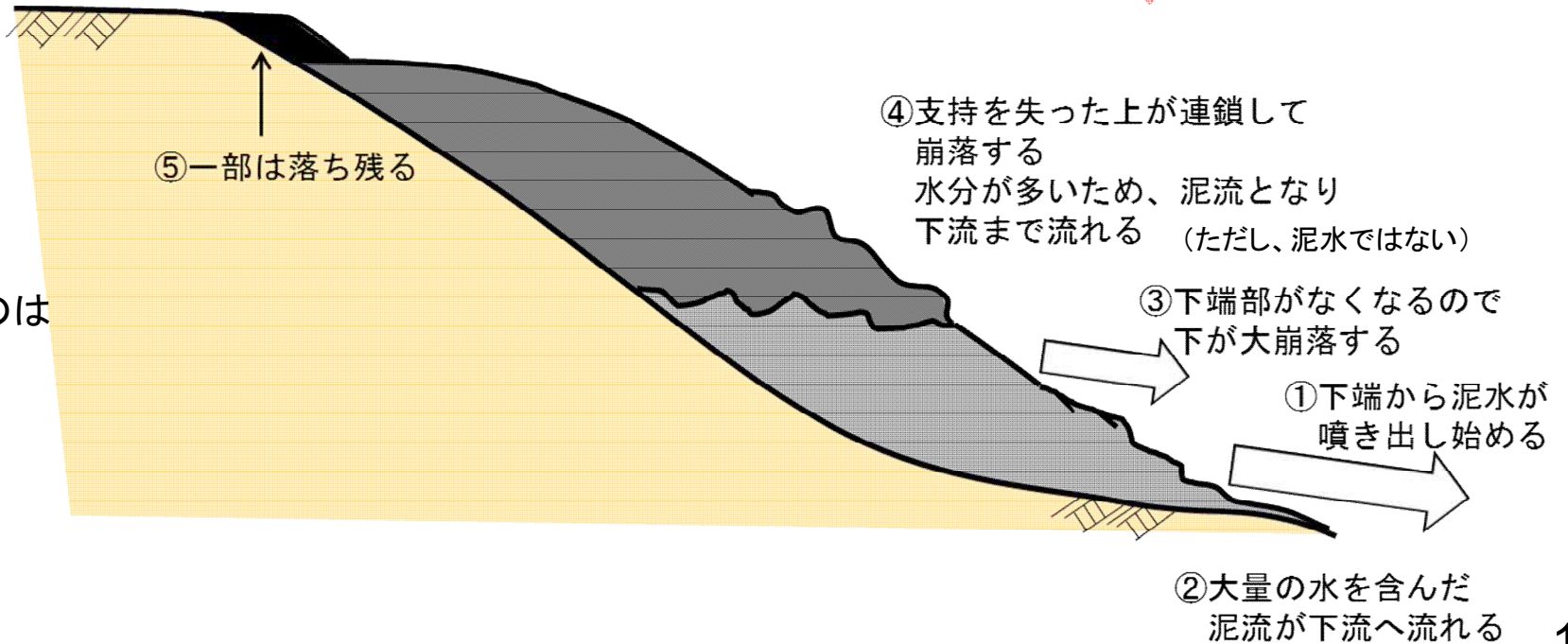


## 実現象の単純化

盛土の上端あたりまで、地下水水位が上がり、ほぼ盛土内が満水状態となる



逆解析に有力な映像  
人々の証言：  
最初の大きな1波は  
泥水。  
その後落ちてきたものは  
少し粘りのある土砂

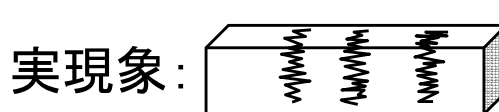
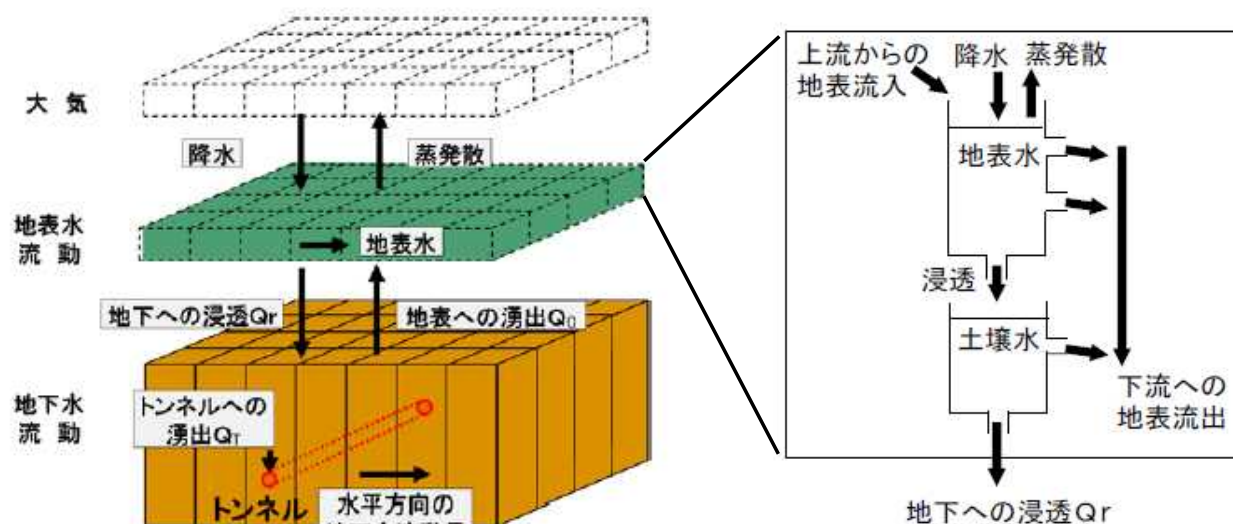
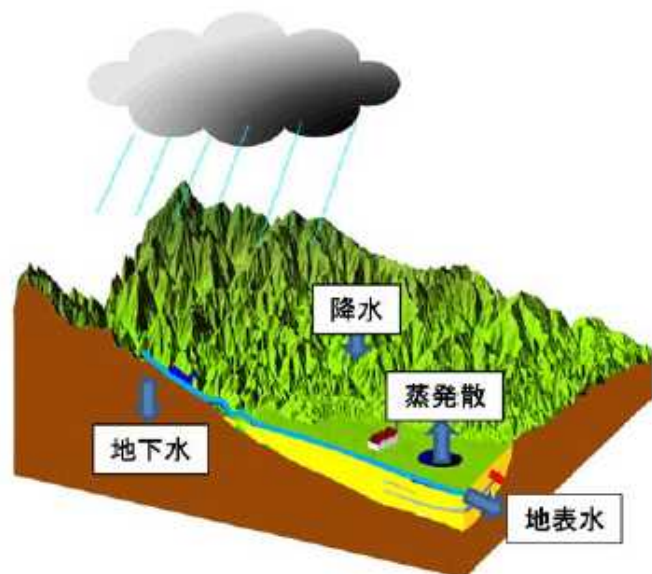




# 現象の単純化：一見高度に見える数値解析モデルにおける単純化

## JRモデル

単純化：地形を格子型で表現する  
格子の中は均質・一様とする



部分的に、クラックなどが  
入っているが、均質とする

### 解析範囲の境界では地下水の出入りなし

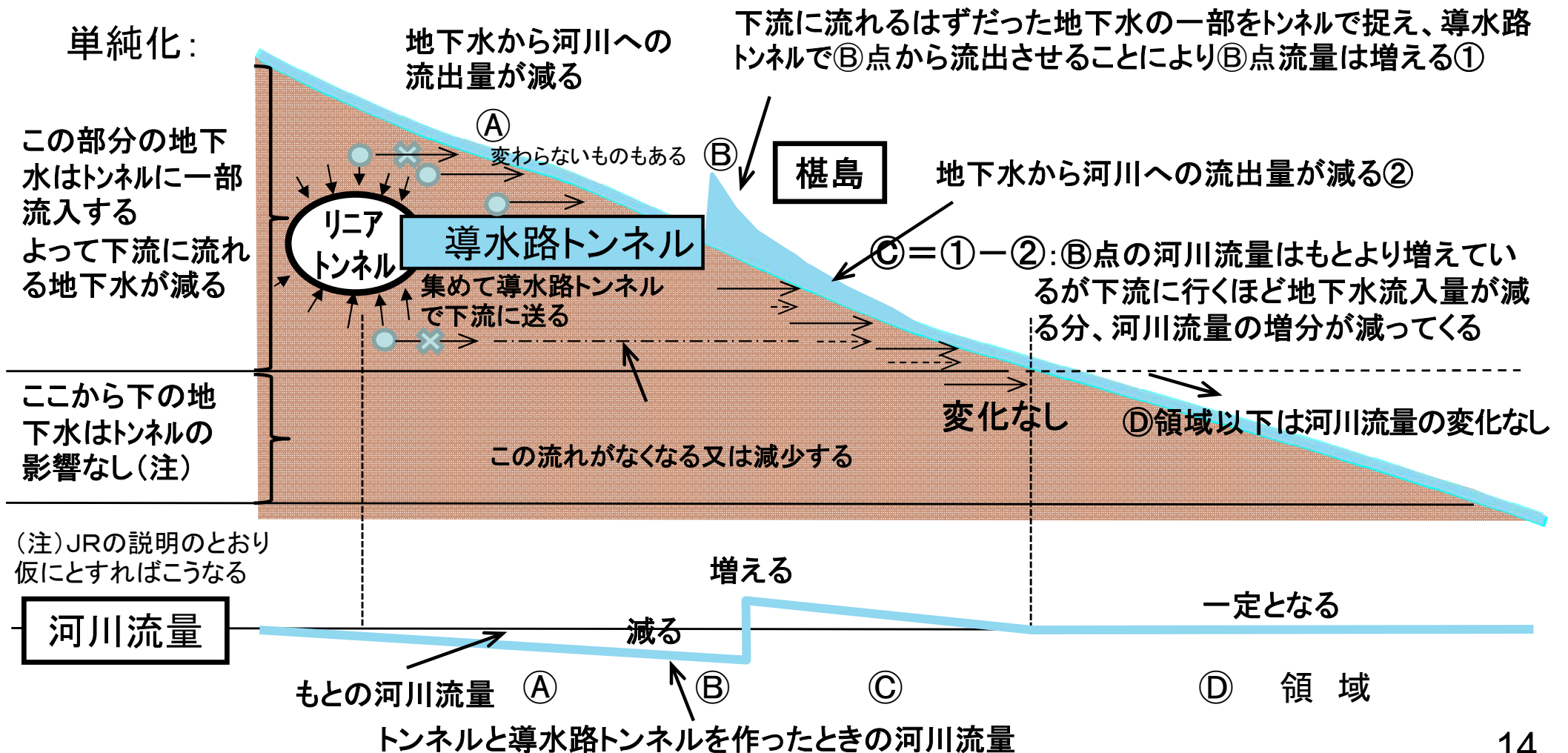
↳ これは単純化ではない。実現象と全く異なる

(実現象) 地下水は下流に流れ出る

(解析) 解析範囲の境界付近の地下水は河川へ流れ出て、水位は上昇する

# 南アルプスへのトンネル掘削により起きる現象の単純化

南アルプスの地質は複雑。地中深くの岩や土の性質、水みちは良く分からない。よって、現象を単純化して、どういう水の動きになると思われるかを推定する。



# JR東海の説明の問題点

## ○JR東海の説明

- ・ トンネル湧水の全量を導水路トンネル等で大井川へ戻せば、解析結果によれば中下流域での河川流量は維持される
- ・ トンネル湧水が静岡県外へ流出した場合においても、榎島付近より下流側では河川流量は維持される

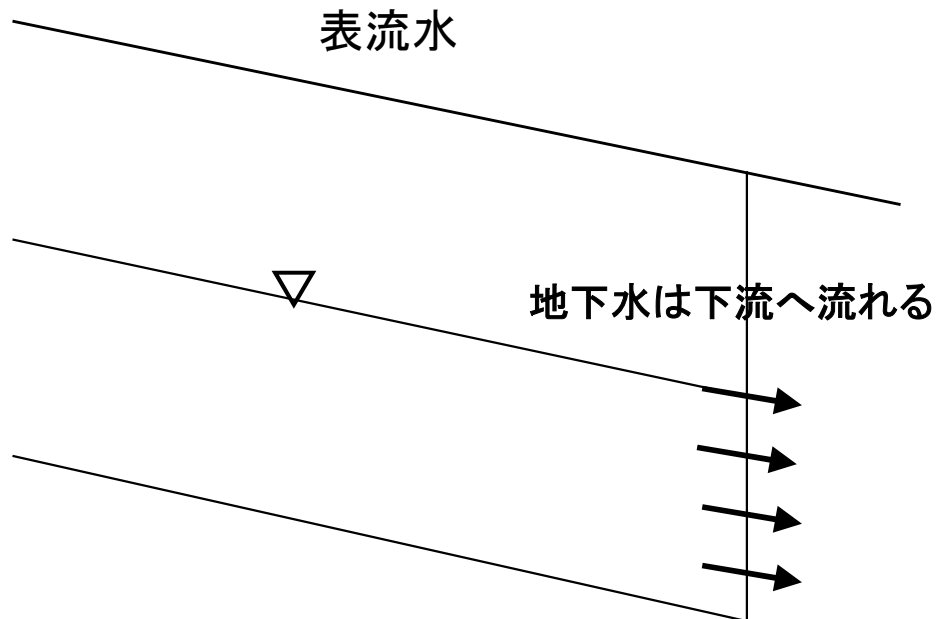
## ○問題点

- ・ 想定される実現象を想像・重要視せず、解析結果による榎島付近での流量だけをもって、それより下流の流量を論じることは科学的・工学的に正確性を欠いている
- ・ JR東海の水収支解析モデルの下流境界は榎島付近であるが、解析モデルの特性として、下流境界付近は解析精度が悪い
- ・ 一定条件の基での解析結果には不確実性があるにもかかわらず、榎島の河川流量の増分についての数値解析結果だけをもって影響の有無を断定している



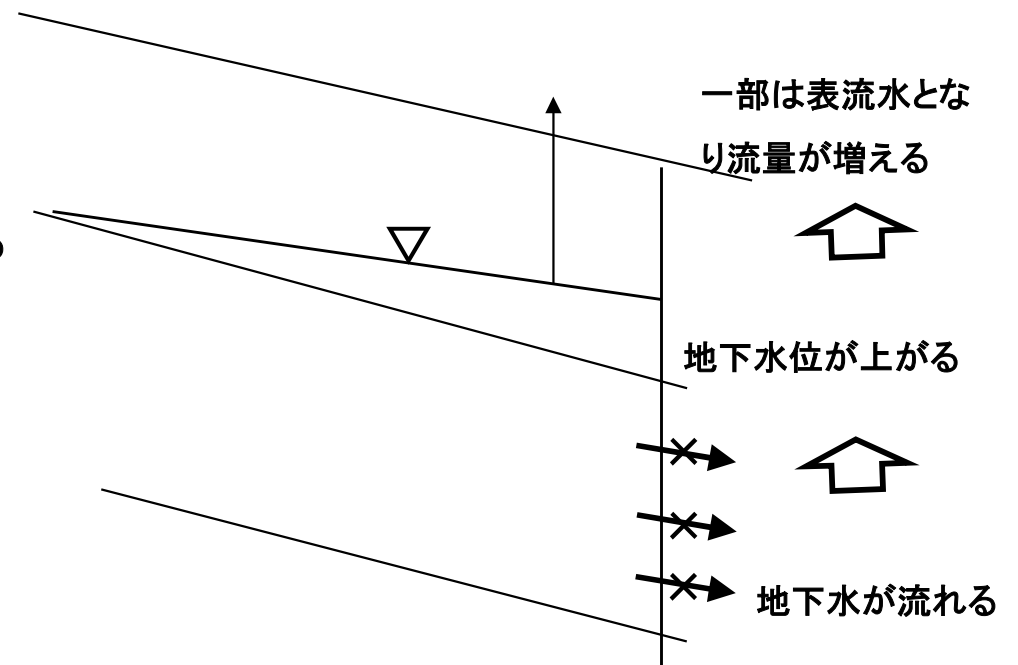
JR東海の水収支解析モデルでは、解析範囲の下流端で地下水の出入りなし(現象の単純化)としている。すると何が起きるか(推定)

実現象



実現象

JR東海モデル



## JR東海の水収支解析モデルでは、「現象を単純化し、たぶんこうなるだろうと推定した現象」を説明できていない

- JR東海は、相関係数が高いことをもって、解析モデルの解析精度は高いとしているが、「相関係数のとらえ方が適切ではない」という誤りを犯している。
- JR東海の解析モデルの下流境界は榎島付近である。この付近の解析精度はもともとたかくない。
- 「河川流量は導水路トンネルの出口の榎島で増え、その後は増分が減る」という現象を表現できていない

## おわりに・・・ JR東海への期待

- 人々は、逆解析から未来を見る。

あそこでは〇〇が起きた。その原因はトンネルだった。

きっとトンネルを掘れば〇〇がおきるだろう。

- JR東海は、正解析で未来を見る。

私たちの解析によれば、〇〇ということにはなりません。

そくな起きるはずもないことを起きると言わないでください。

⇒ 人々がなぜ不安に思うのかの根底を理解し、説明方法  
の再構成を期待する。