

「まどみちお」の詩から「三種の鏡」へ

「初期値境界値問題解析を阻害する邪悪とは？」

与えられたテーマ:

30年間の地盤工学の変遷と今後

⇒ こんなこと話せる筈もない

⇒ 自分史を語ろう！

岐阜大学 八嶋 厚

1

そして、30年前

30年前は戊辰(つちのえたつ)の年です。

中国の五行思想によれば、「戊」は「土」を意味し、「辰」も「土」を意味します。「土」が重なる「比和」の年です。重なることにより、「土」の勢いが増す、もしくは悪くなる年です。

八嶋は、「トンネルの支保効果」に関する研究をまとめて、「液状化」に関する研究を始めた頃です。

3

何故、八嶋は土木の道を選んだのか？

(高校2年生のときに会った詩)

まど・みちおの詩「朝がくると」
(1972年)

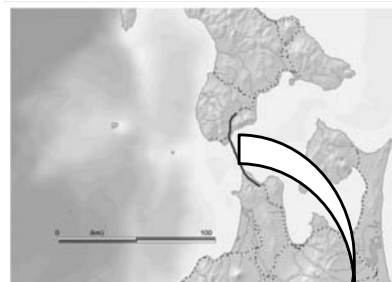
朝がくるととび起きて
ぼくが作ったものでもない
水道で顔をあらうと
ぼくが作ったものでもない
洋服をきて
ぼくが作ったものでもない
ごはんをむしやむしやたべる
それからぼくが作ったものでもない
本やノートを
ぼくが作ったものでもない
ランドセルにつめて
せなかにしよつて
さてぼくが作ったものでもない
靴をはくと
たったか たったか にかけていく
ぼくが作ったものでもない
「道路を」
ぼくが作ったものでもない
学校へと
ああなんのために
いまに おとなになつたなら
ぼくだつて ぼくだつて
なにかを 作る ことが
できるように なる ために

まど・みちお: 詩人(2014年2月没 享年104歳、戦前は土木技師)
「ぞうさん」「やぎさん ゆうびん」「一ねんせいに なったら」

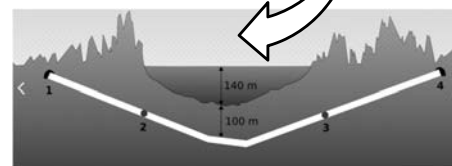
2

風が吹く 「素敵な土木屋」

(あまりにも感動してトンネル屋への賛辞)



53.85km (1985年貫通、1986年開通)



青函トンネルの位置と縦断面図

初めて風が吹く。トンネル技術者たちの芸術家にも似た不屈の精神の賜物だ。

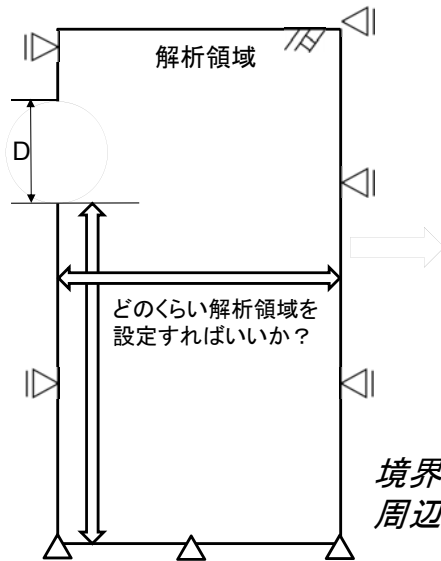
そこには、何万年、いや何億年にわたって風の行く手を遮ってきた山があった。しかし、今、私たちは心地よい風を感じる。気圧配置による風向きだけだという言葉では計り知れない、重い、湿った、しかし心地よい風が私たちの頬をかすめる。

私は、そんな場に立ちたい。風もためらっていた。何万年、いや何億年に渡って通ることを許さなかった大きな壁が、いま隧道となり、風が申し訳なさそうに歩いていく。その恥じらいを唯一知る者がトンネル技術者である。

彼らに羨望のまなざしを送りたい。新しい風を私たちに運んでくれてありがとう。

4

その頃まとめた論文では： (初期条件と境界条件の難しさに出会う)



- 深さ方向に境界を深くとれば、トンネル全体が浮かび上がってしまう。
- 地表面変位などの絶対量は、境界条件に大きく影響を受ける。
- 内空変位モードに、境界条件はあまり影響を受けない。

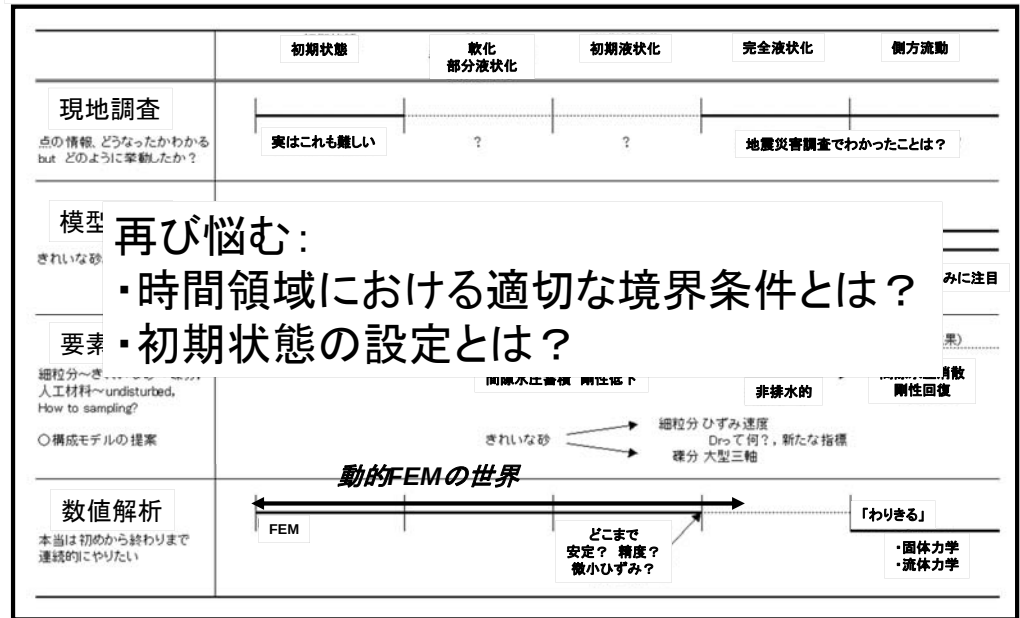
↓ どうするの？

- 通常は、掘削径の5倍以上の解析領域を設定している。本当にいいのか？

境界条件によってトンネルおよび
周辺地盤の変位量が全く違ってしまう！

八嶋 厚・國見 宏：NATM設計手法の選択に関する考察，
トンネルと地下，第21巻8号，pp.23-30，1990.

そして液状化現象を追跡し始めた (LIQCAの開発)



地盤防災のための数値解析



私たちが知りたいのは：

- どの部分で、どのくらいの範囲で崩壊するか？
- いつ崩壊が発生するか？
- 崩壊したら、どのくらいの範囲に被害が及ぶか？
- 衝撃はどの程度か？

斜面災害



がけ崩れ

雨や地震などの影響で斜面を構成する土層や風化した岩石がバラバラに分解しながら斜面表層を急速に移動する現象

土石流

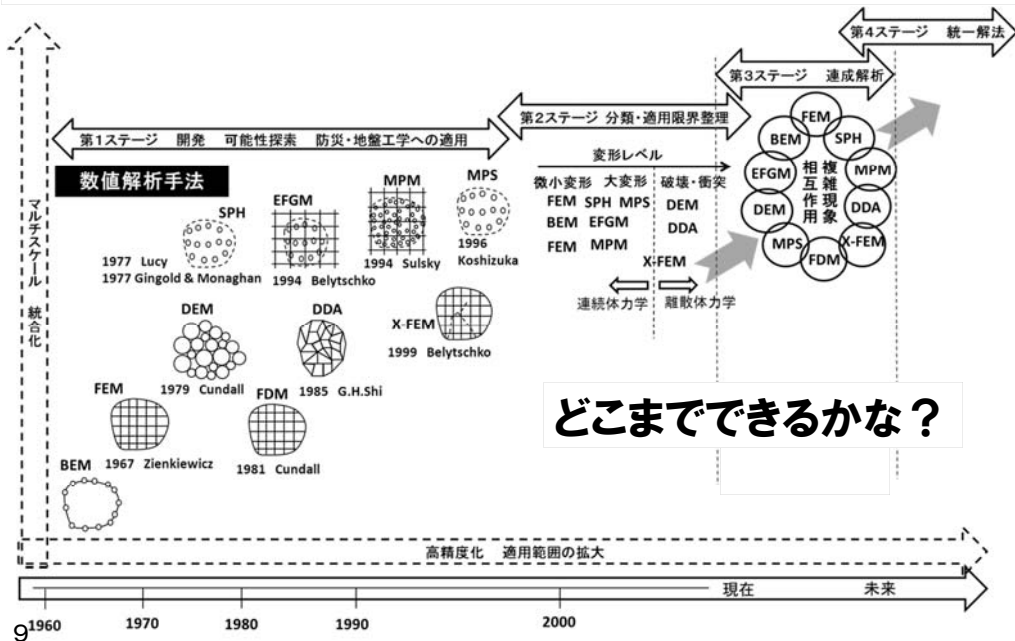
山腹や溪床を構成する土砂・石・礫の一部が長雨や集中豪雨の影響で、水と一体化となり、一気に下流へ押し流れる現象



地すべり

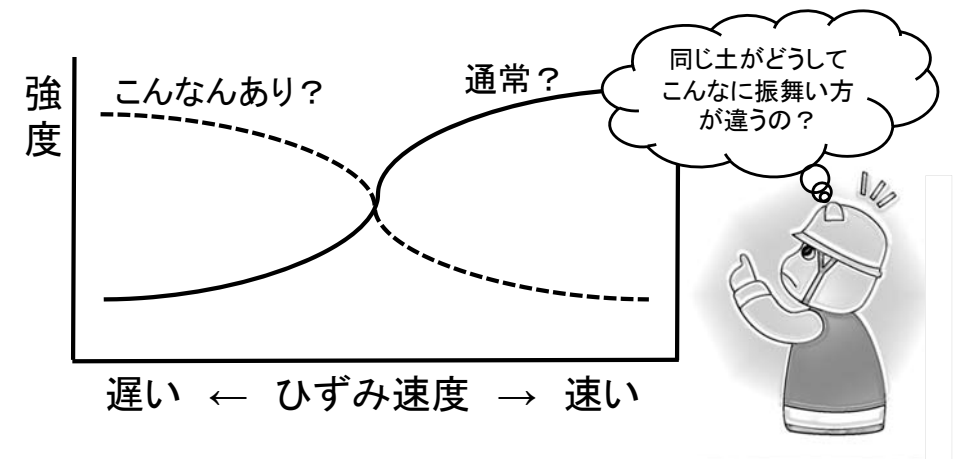
地下水の影響により、斜面の土塊が塊状を保ったまますべり面に沿ってゆっくり斜面下方へ移動する現象

そのために様々な解析技術を開発



土のモデル「連続体力学の枠組みで」

ひずみ速度と強度



10

土のモデル「連続体力学の枠組みで」

解く鍵は ダイレイタンシー、間隙水、透水性

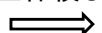


緩い砂、正規圧密粘土: 負のダイレイタンシー
密な砂、過圧密粘土: 正のダイレイタンシー

体積ひずみの計算式:

$$\begin{aligned} \text{全体積ひずみ} &= \text{弾性体積ひずみ} + \text{塑性体積ひずみ} \\ &= \Delta p / K + \text{塑性体積ひずみ} \end{aligned}$$

非排水条件 (ひずみ速度が速くて、間隙水の移動がない):
全体積ひずみ = ゼロ



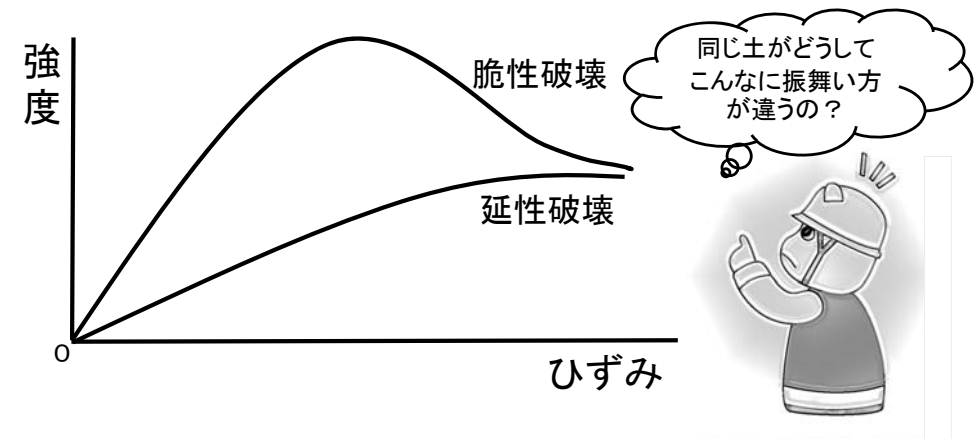
これで何とか説明ができそうだ!

結論: ダイレイタンシーと間隙水の関係を理解すれば、
ひずみ速度による強度の関係を理解できる。

11

土のモデル「連続体力学の枠組みで」

脆性破壊と延性破壊



12

土のモデル「連続体力学の枠組みで」

解く鍵は 拘束圧、ひずみ速度、温度



拘束圧の大小によってイレイタンス特性が変わってくる
(土木構造物の大きさと深度)

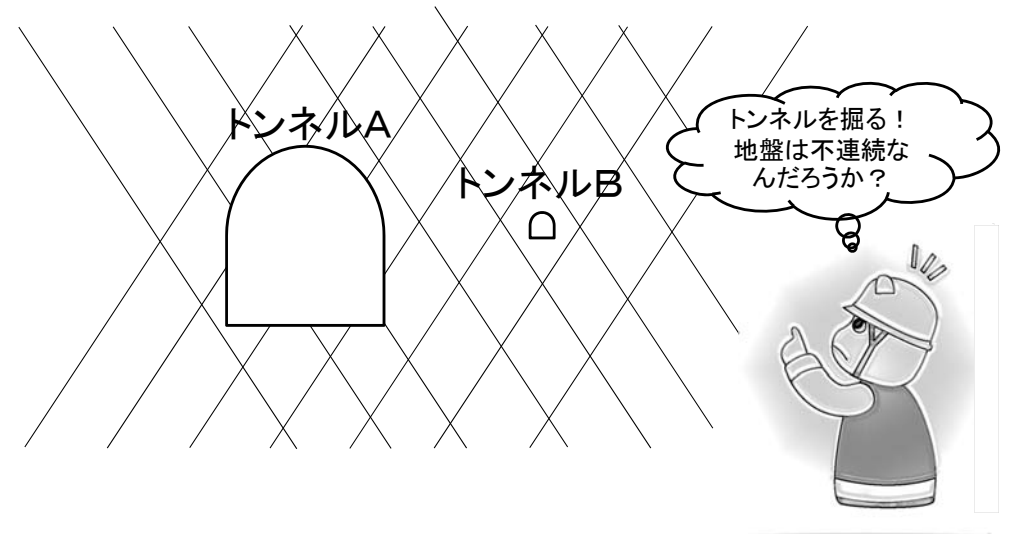
ひずみ速度の大小によって強度特性が変わってくる
(土木構造物の寿命と人間の寿命)

温度の高低によって強度と透水性が変わってくる
(高温、常温、低温)

密な砂、過圧密粘土: 正のダイレイタンス

結論: 粘土、砂、軟岩、硬岩は、みんな一緒のようなもの。
ただ、対象としている、拘束圧、ひずみ速度、温度
によって違う顔に見えるだけ。

地盤の不連続性



連続体と不連続体

解く鍵は 土木構造物の大きさと地盤の不連続面間隔



アリから見たら、砂は大きな岩

ガリバーから見たら、礫(岩)は砂

結論: 土木構造物の大きさによって、地盤を連続体として
見るか、不連続体として見るかが異なるだけ。

東海北陸自動車道斜面崩壊



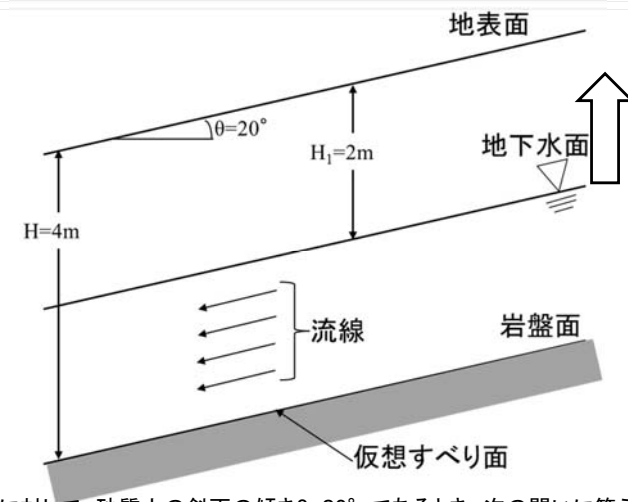
1999年9月22日、東海北陸自動車道(美濃ICー美並IC間)の切土斜面で崩壊が発生した。
斜面の表層近くに分布していた強風化岩の層で崩壊が発生した。
降雨に加え、斜面の排水機能が低下していたために、斜面内部の地下水位の上昇し、それが原因で崩壊が生じたと考えられている。

東海北陸自動車道斜面崩壊



平成11年9月22日東海北陸自動車道(美濃IC～美並IC間)切土斜面崩壊
旧日本道路公団制作ビデオ (災害復旧工事記録)より

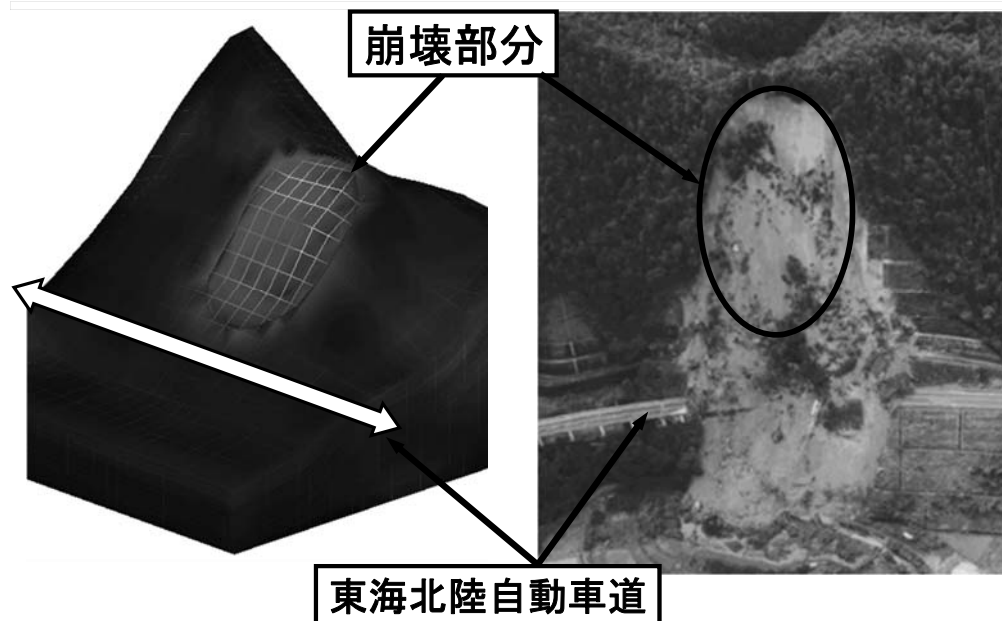
学部3年生への演習問題



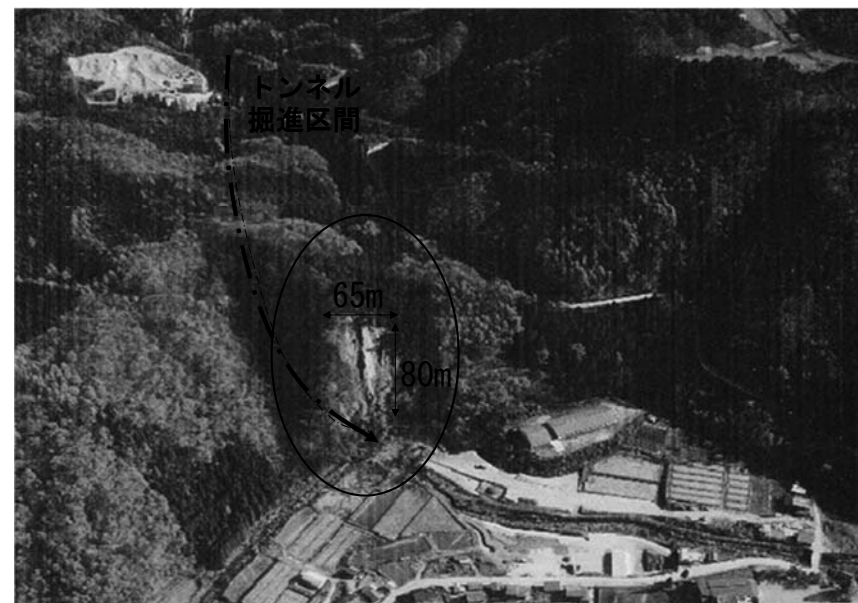
図のように水平面に対して、砂質土の斜面の傾き $\theta=20^\circ$ であるとき、次の問いに答えよ。ただし、地下水面より上の土の単位体積重量は 18.0kN/m^3 、飽和単位体積重量 20.4kN/m^3 、内部摩擦角 32° 。

- 1) この斜面に地下水位がないときの安全率を求めよ。
- 2) 降雨により地下水位が図のように上昇したときの安全率を求めよ。
- 3) 地下水面が地表面まで上昇したときの安全性を検討せよ。

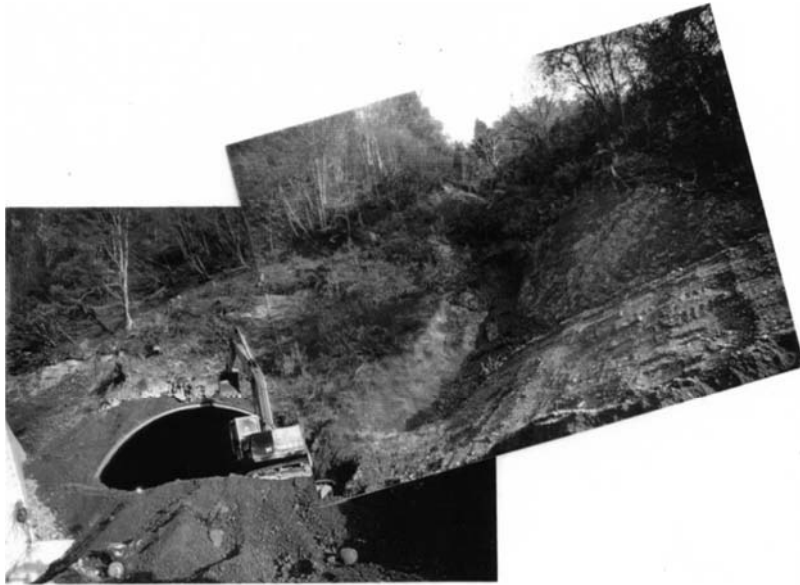
現場写真と 3次元FEM結果との比較



トンネル掘削に伴う斜面崩壊



トンネル掘削に伴う斜面崩壊



21

崩壊地形におけるトンネル掘削(貫通時)

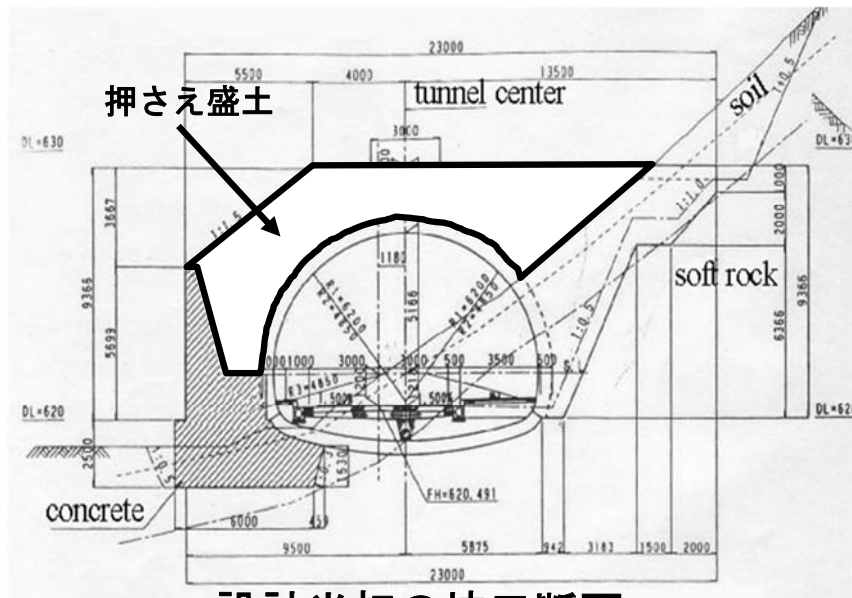
トンネル掘削に伴う斜面崩壊



鋼製支保工の変形状況
(崩落土除去後に谷側から)

22

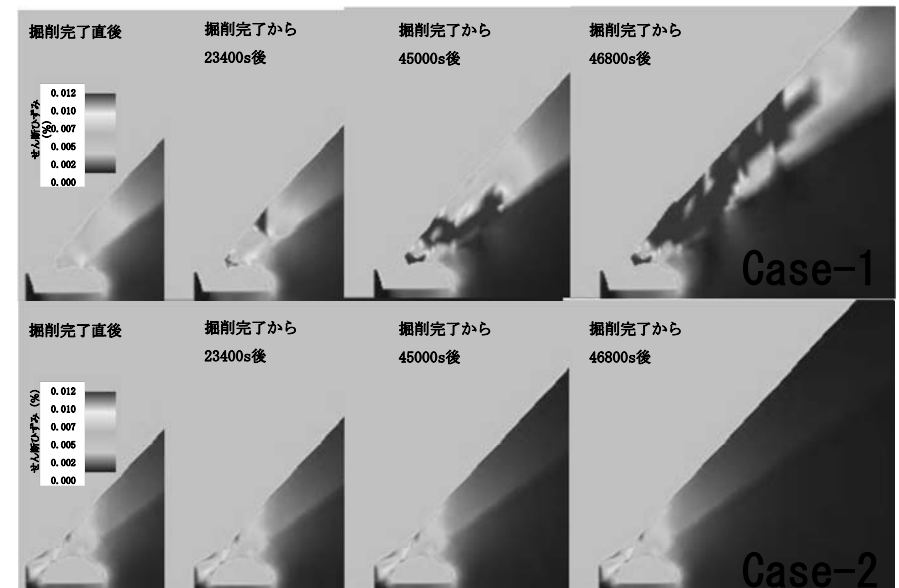
トンネル掘削に伴う斜面崩壊



23

設計当初の坑口断面

トンネル掘削に伴う斜面崩壊



24

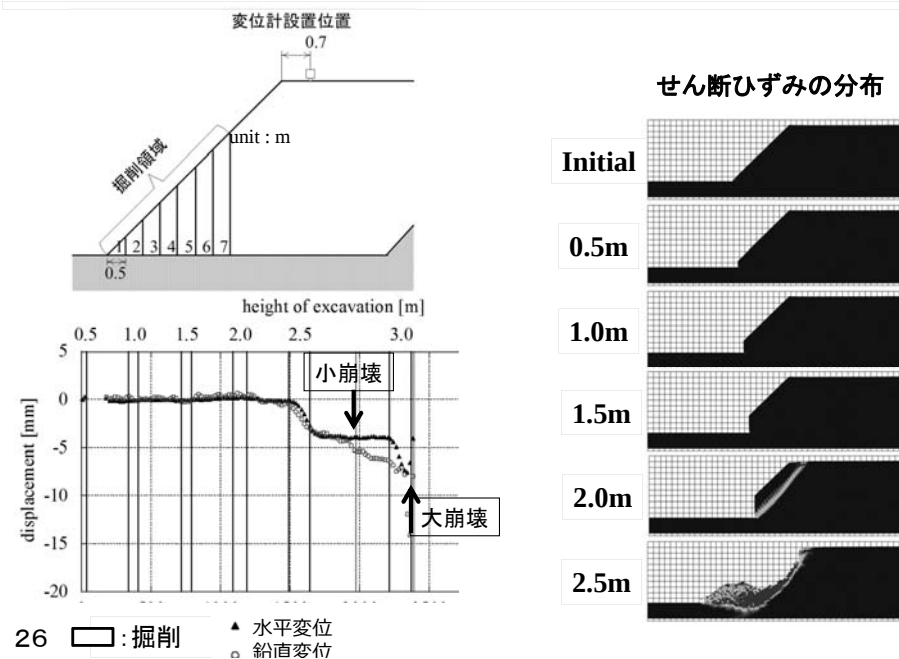
せん断ひずみ卓越領域の拡大状況

実大掘削実験の解析



25 実験 (Itoh et al. 2007)

実大掘削実験の解析 (SPH)

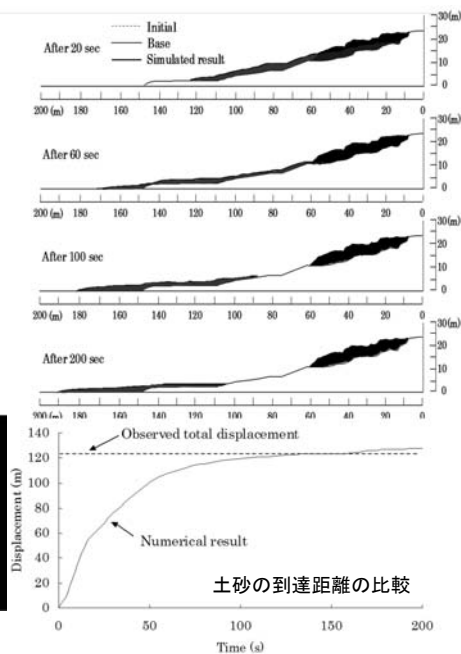
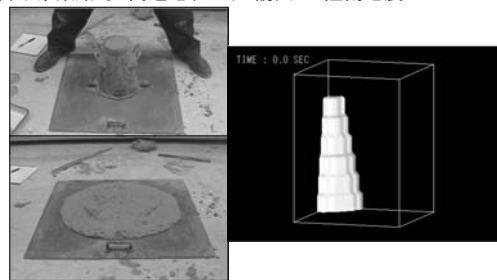


26 □: 掘削 ▲ 水平変位 ○ 鉛直変位

Euler型流動解析手法



宮城県築館町 高速地すべり 誘因: 三陸南地震



27

土石流

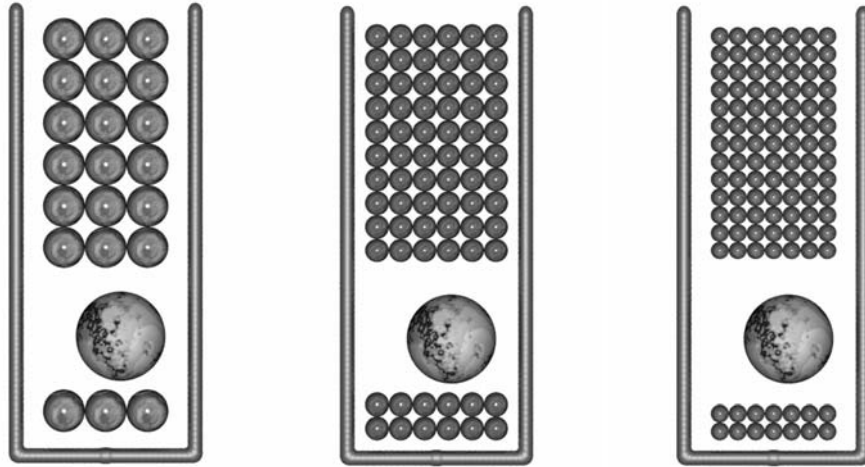
長野県木曽郡上松町滑川



28

国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所HPより

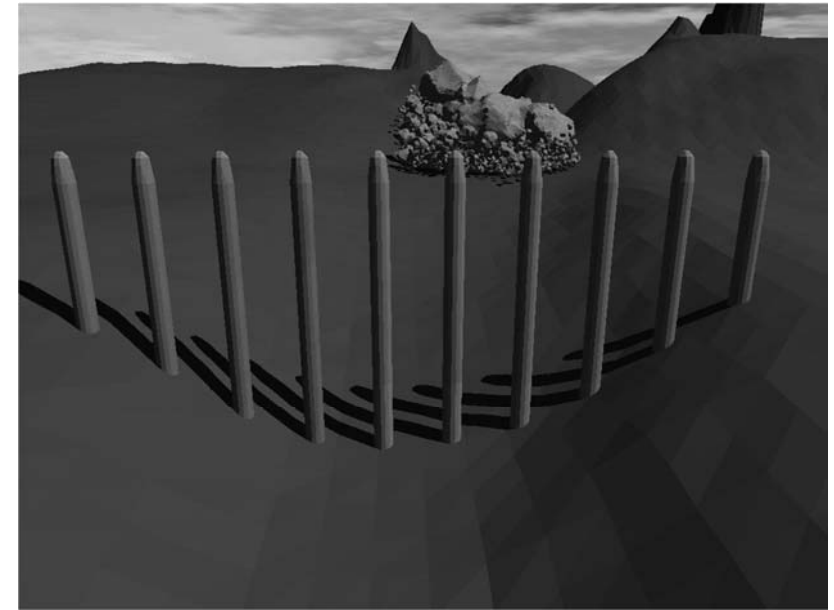
DEM（どうして大きな岩塊が上に？）



29

DEM

防護フェンスが高い場合のシミュレーション



30

国道41号飛騨市神岡町船津落石事故

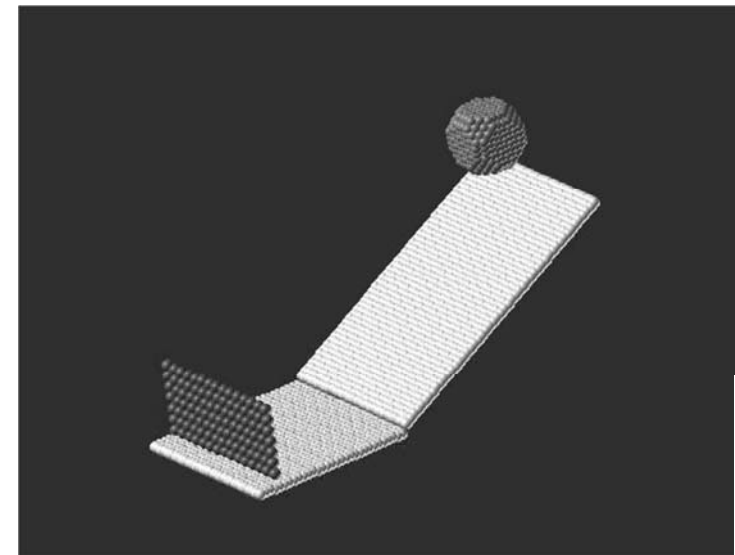


31

(平成25年7月7日17:20頃)

DEM

DEMによる落石シミュレーション



32

土木のお仕事とは？

土木とは、次の世代に現在の快適な生活環境を引き継ぐことを約束している技術。
私たちは、ゆずり葉のように、次の世代に素晴らしい社会を引き継がなければなりません。
無償の愛と知をもって

『ゆずり葉』 河井隆 著
子供たちよ、
これはゆずり葉の木です。
このゆずり葉は新しい葉が出来ること
入り代わって古い葉が落ちてしまふのです。
こんなに厚い葉
こんなに大きい葉でも
新しい葉が出来ると無造作に落ちる
新しい葉にいのちをゆずって。
子供たちよ
お前たちは何をほしがらないでも
すべてのものがお前たちにゆずられるのです
太陽のめぐるのかきり
ゆずられるものは絶えません。
かがやける大都会も
そっくりお前たちがゆずり受けるのです。
暖みきれないほどの書物も
幸福なる子供たちよ
お前たちの手はまだ小さいけれど、
世のお父さん、お母さんたちは
何一つ持つてゆかない。
みんなお前たちにゆずってゆくために
いのちあるもの、よいもの、美しいものを、
一生懸命に造っています。
今、お前たちは気が付かないけれど
ひとりていのちは延びる。
鳥のようにうたい、花のように笑っている間に
気が付いてきます。
そして子供たちよ、
もう一度ゆずり葉の木の根に立って
ゆずり葉を見るときが来るでしょう。

坂村真民詩集より

あとからくる者のために
苦勞をするのだ
我慢をするのだ
田を耕し
種を用意しておくのだ
あとからくる者のために
しんみんよお前は
詩を書いておくのだ
あとからくる者のために
山を川を海を
きれいにしておくのだ
あああとからくる者のために
みなそれぞれの力を傾けるのだ
あとからあとから続いてくる
あの可愛い者たちのために
未来を受け継ぐ者たちのために
みな夫々自分で出来る
何かをしてゆくのだ

2008年汶川地震直後の世界遺産都江堰



中州の堤防には、小さなクラックが散見されたが機能は十分果たしていた。

2008年汶川地震直後の世界遺産都江堰

諸葛孔明:「この堰は農の本、国の資する所なり」

35 これを管理する「堰官」を置き、2,000人もの人員を常駐させて維持補修にあたらせてた。

けれども、例えば道路盛土は壊れる

大雨や地震によって道路盛土が崩壊すると、災害時に交通網を遮断し、
復旧に大きく影響するとともに、人々に大きな損害をもたらす。



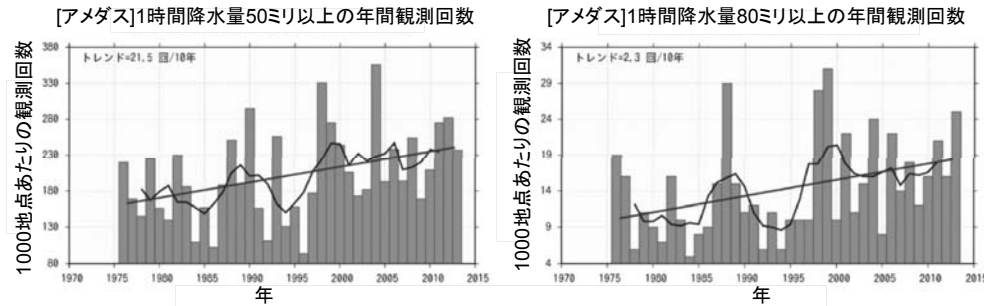
平成21年7月31日～8月3日豪雨により発生した
(一)飛騨木曾川公園線(御嵩町)の盛土崩壊



平成21年8月11日駿河湾の地震による盛土崩壊
(東名高速道路)

アメダスでみた大雨発生回数の変化

確かにたくさん雨は降っているが、原因はそれだけなの？



(気候変動監視レポート2013, 気象庁より)

そして戊戌(つちのえいぬ)の年を迎え

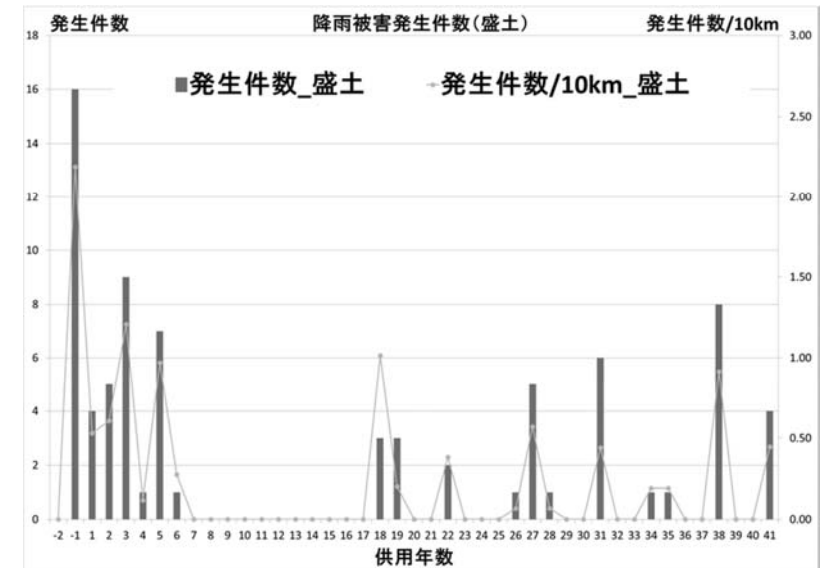
平成30年は戊戌(つちのえいぬ)の年です。

中国の五行思想によれば、「戊」は「土」を意味し、「戌」も「土」を意味します。「土」が重なる「比和」の年です。重なることにより、「土」の勢いが増す、もしくは悪くなる年です。

西日本豪雨災害:

河川堤防、ため池堤防は、壊れた。。

盛土の災害発生件数の推移 (平成元年～平成23年8月)

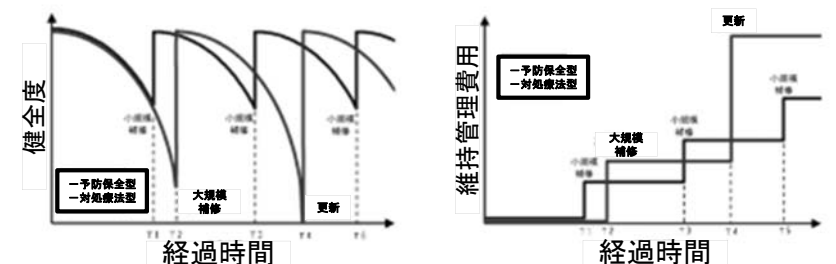


盛土は出来上がった時が一番不安定で、その後安定化に向かう(土質力学の教科書より)

土構造物の維持管理の難しさ

社会基盤構造物長寿命化修繕計画の目的

「従来の対症療法型から予防保全型に転換し、既存社会基盤構造物の健全性の低下を防止し長寿命化を図ることで、社会基盤構造物の安全性の確保を図りながらコストの縮減へもつなげることで、効率的な更新・維持管理を実施する」といった主旨が多い



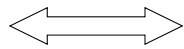
劣化曲線イメージ

維持管理コストイメージ

コンクリート、鉄など

土構造物

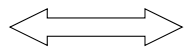
硬い



軟らかい(ぐにゃぐにゃ)
柔らかい(しなやか)

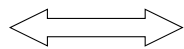
反意語

固い



緩い(ゆるい)

堅い

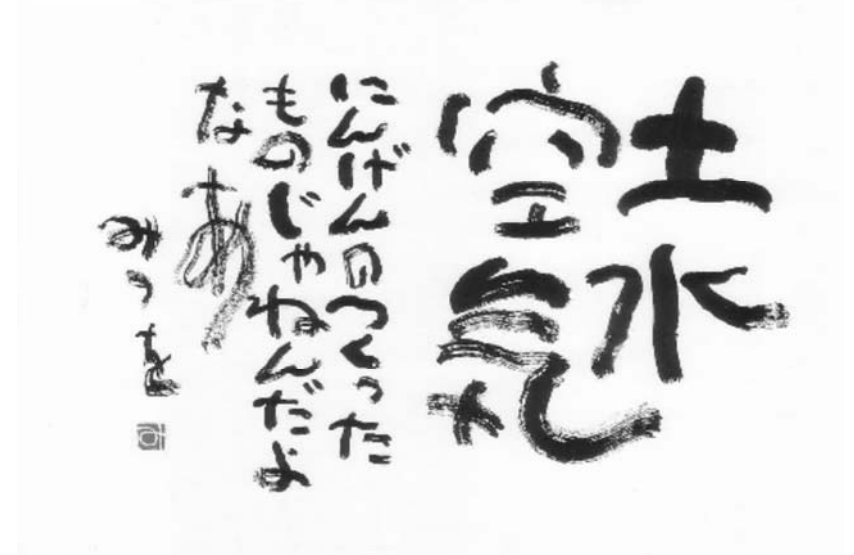


脆い(もろい)

しかし、問題もある！

41

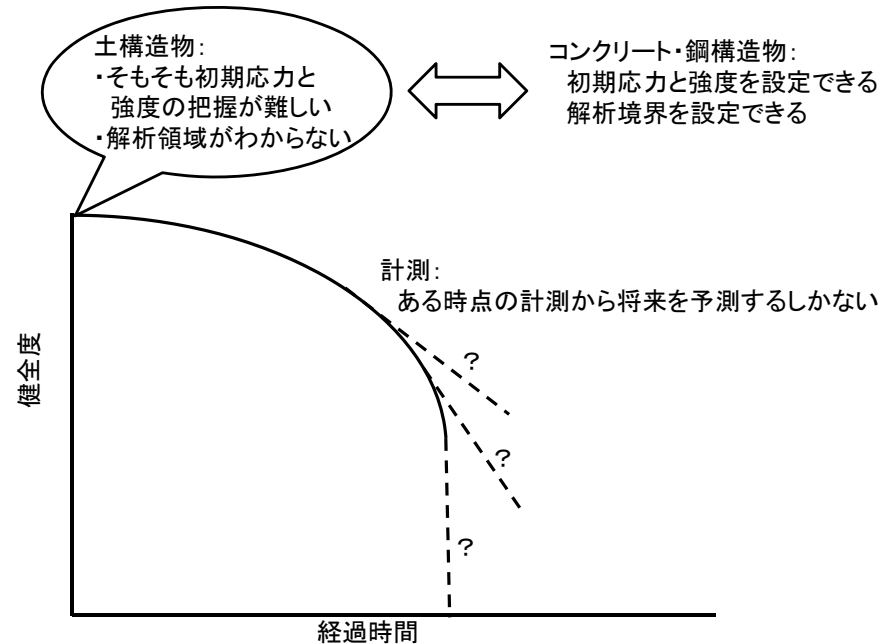
「土」に対して謙虚な姿



(相田みつを作品より)

42

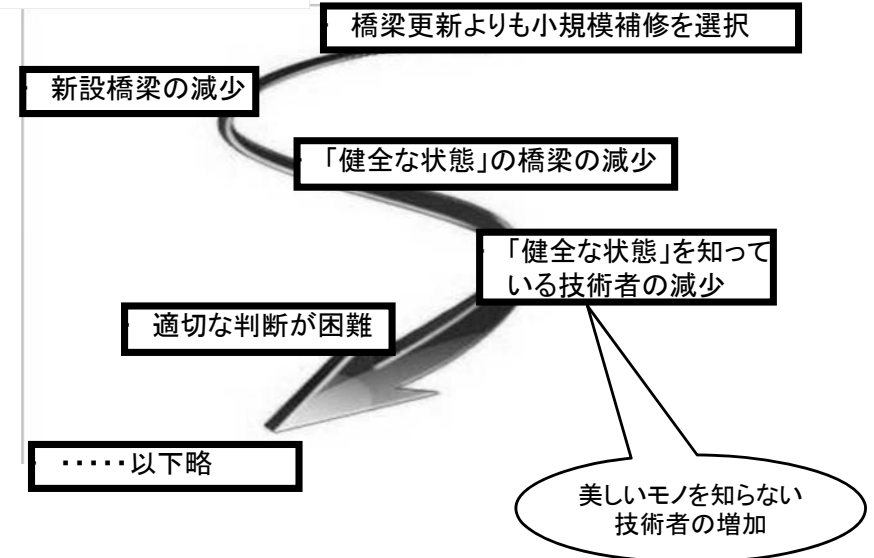
初期状態と境界条件



43

維持管理における負のスパイラル

例えば橋梁の場合でも:



44

「初期値境界値問題」を解くためには

「もっとも美しい初期の姿」
と
「扱うべき領域」
を知らなければならない。

皆さん、本当にご存知ですか？

45

新しく使われ始めた土構造物



46

(NEXCO中日本HPより)

どのくらい健全か、ご存知ですか？



47

初期状態を計測（東海北陸道）



補強土壁遠景



探査状況写真

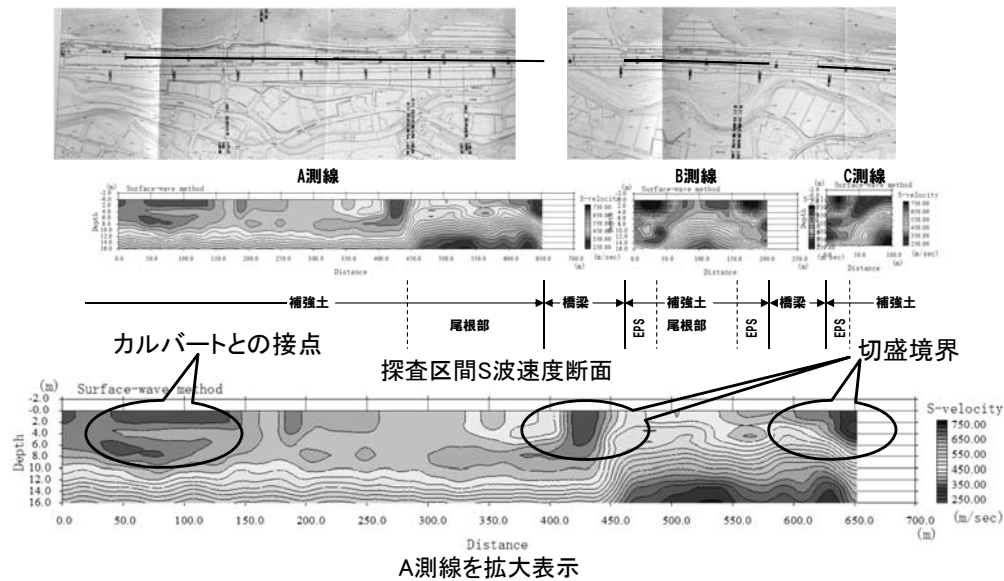


補強土壁天端(トンネルに向かって壁の勾配がゆるくなり路面と離れる)

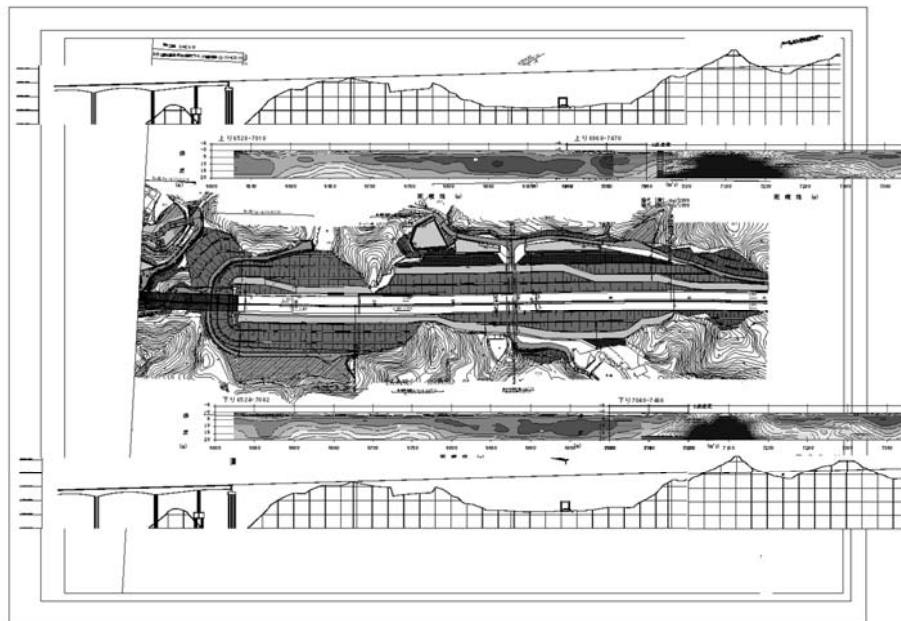
48

by 2次元表面波探査により

密度管理をしていてもこんなに違う



盛土のS-波速度分布（硬さや強さの分布）



初期状態を計測（新東名）



わかったこと

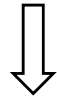
1. 盛土の初期状態の剛性(S-波速度)が、連続的に得られた。
2. 異なる盛土材料の区間で、S-波速度に大きな違いが見られた。
 - ・掘削ズリ(堆積岩)で施工された区間(A-区間):
Vsの最小値は、300 m/sec 以上
 - ・まさ土で施工された区間(B-区間):
Vsの最小値は、200 m/sec 以下

⇒ A-区間の剛性は、B-区間の剛性に比べてかなり大きい
 ⇒ A-区間の強度は、B-区間の強度に比べてかなり大きい

同じ施工基準(密度管理)に基づいて造ったにもかかわらず！！

⇒ 初期の剛性や強度を見ていなかった
 ⇒ 美しさ、健全な状態を見ていなかった

土構造物の初期状態を知ることは難しい。



実はあまり測ってこなかった。



最新の計測技術で測れるようになってきた。

初期条件(もっとも美しい状態)を知ることが可能となった。

53

技術者が決めなければならない。

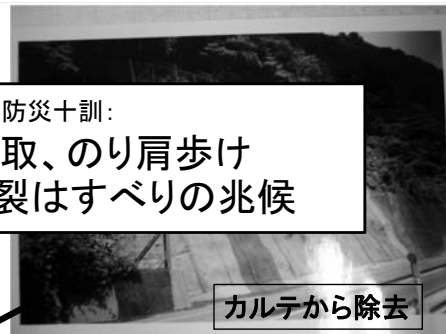
54

扱うべき領域の難しさ



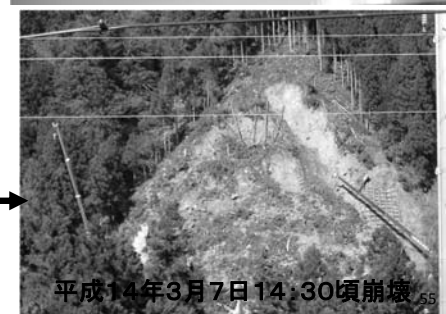
旧国鉄の法面防災十訓：
盛土、切取、のり肩歩け
のり肩き裂はすべりの兆候

カルテから除去



崩壊の3時間半前に撮影

崩壊



平成14年3月7日14:30頃崩壊

55

繰り返す斜面崩壊
(取り扱う領域の難しさ)



国道のり面崩壊(約5,000m³)

56

1. 技術者が決めなければならない。
2. 解析が教えてくれる。
ここに数値解析の良さがある。

1. 初期状態を丁寧に測る
「土構造物初期の強度や剛性を測れるようになった」
2. 適切な境界条件を設定する
「技術者の美しいモノを「見る」目が必要」
3. 数値解析の力を借りながら、適切な項目を継続的に測る
「初期値境界値問題が解けるようになってきた」
4. 健全度の劣化曲線の精度を上げる
「計測×コンピューティング」により将来を予測する」

「見る」ことのできる技術者（その1）

「覧る」: 誰かがまとめた資料を「閲覧」するだけでは、「見識」を示すことはできない。

「視る」: 「視察」だけでは、「見識」を示すことはできない。

「観る」: 「観察」して、時には計測（観測）する。

「診る」: 対象物の安全性評価（診断）を実施する。

「看る」: 危険な対象物については、対策工法（看護方法）を提案する。

「見る」: これらのステップを踏んでこそ、現場についての「見識」を示せる。

そして、「知識」→「見識」→「胆識」へ

「見る」ことのできる技術者（その2）

- 地山や構造物を高頻度で漠然とみてはいけない。
- 点検は、頻度はもちろん重要であるが、点検の質も重要である。
- 「見る」ためには、五感を研ぎ澄まさなければならない。
- 五感で不十分なときには、計測・観察機器などの助けを借りる。

点の情報 → 線や面の情報へ

- さらに、五感に加えて、これまでに蓄積したさまざまな知識も最大限発揮して、地山や構造物を見なければならない。

（第六感、知識の修得により発揮できる）

美しい「モノ」を見よう。

損傷ばかりを見て、最終状態までの過程を予測しようとしても、技術的には可能だが、「もっとも美しい状態」を知っていれば、現状が判断できるだけでなく、今後も想像できる。

美しさとは、要求性能を十分満足し、社会環境に適合している「モノ」。

美しい設計 → 美しい、機能的な構造物

美しい現場 → 機能的で、安全な作業環境

加藤唐九郎(陶芸家): 美しいモノが見える「眼」を養わなければならぬ

骨董の真偽は、もっとも美しいモノを見たものだけがわかる。

土木屋、点検・診断をするものにとって、ということだろう。

丁寧な設計をされ、周辺環境に適合した構造物は美しいのではないだろうか？ 私たちは、その美しさをまず感動できる人間でなければならない。そのような感性を持つ人間であるからこそ、構造物の損傷や周辺との不適合に何らかの違和感、美しくないものを感じるのではないだろうか？

いつも、不具合や損傷ばかりを見て、その成因や補修方法のみに目がいってしまう。

さまざまな考え方のもとで出来上がった構造物の美しさを忘れ、そこからの時間的な美しくないものへの変化を見逃してしまうのではないだろうか？

点検する者こそ、構造物を愛し、美しさを見る「眼」を養わねばならぬ。

円山応挙が見なかったモノ

1. 円山応挙は野原で馬が草を食べているところを写生したことがある。
実によく描けたつもりでいたところ、それを見た百姓が、「この馬はめくらだね」と言った。「いやそんなことはない。立派に眼のある馬だよ。絵にもほら、このように両眼があいているじゃないか」「ま、おききなせい」
百姓は手を振りながら、「馬という奴は利口なもので、草を食うときは必ず眼をつぶってしまうものなんだ。草の刃に眼をさされるのが怖いんだね。それなのにこの馬は眼をあけているじゃないか……。」

2. 円山応挙は竹藪(たけやぶ)のかたわらで、猪を写生したことがある。
その絵を獵師にみせると、この猪は死んでいると言いきった。そこで応挙が人を遣って探らせると、まさしく猪は死んでいた。実際に目撃した自分が生死の区別さえつきかねたのに、見もしない獵師が死んでいると断定してはばからない。この自信に満ち溢れた態度はいったいどこから生まれてくるのか。
獵師はこう言った。「猪という獣物(けもの)は年がら年中、昼でも夜でも、いつも毛を荒だたせているものです。それなのに、あなたが描いた猪は毛が柔かく寝ているじゃありませんか。それが猪の死んでいる証拠です」

63 応挙は一言もなかった。そしてこの時、心の眼を大きくみひらいて写生するといきつけをつかみとった。

技術者としての「鏡」

ということは、技術者は、3つの「鏡」を持たなければならない

顕微鏡: 微細に現状の足元を映し出す
今、その場所の土構造物、地質、微地形を詳細に映し出す
→ ただし、「木を見て森を見ず」はよくない

双眼鏡: 広く見る、土構造物と異なる地質、地形の境界を映し出す
→ ただし、成り立ちの時間軸が必要

望遠鏡: 土構造物のみならず、地質、地形の成り立ちを遠く、過去に映し出す

実は、もっと大切な鏡がある:

普通の「鏡」: 冷静かつ客観的に己を映し出す



65

コウモリの目は必要ないでしょうか？

物事を反対から見たり、普通の見方に捉われず想像を膨らませたり、固定観念を崩して見る目



2016年「イグ・ノーベル賞」 股のぞき効果：
 ・風景の奥行きが少なくなる
 ・遠くのが小さく手前にあるように見える

66

終わりに

「測る」ことも「数値解析」も

実は、初期値境界値問題を解くことに他ならない。

精度よく解くことを阻害していた「邪悪」は、

- ・ 初期状態をきちんと把握していなかった。
- ・ 取り扱うべき境界をきちんと設定していなかった

ことに起因している。

高度に発達した数値解析を「土構造物の維持管理」に活かすために、丁寧な計測を心がけたい。

67