

2023年6月14日（水） 15:00-17:00 専門訴訟事件等の特殊事件のための研究会（大阪地方裁判所）

地すべりの調査・研究について ～関西の都市型災害事例～

太田英将

技術士（応用理学・建設・森林・総合技術監理部門）

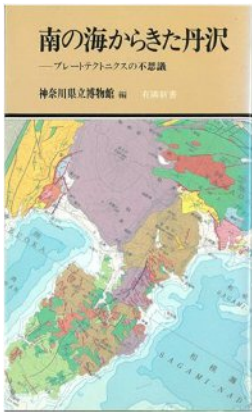
地盤品質判定士

自己紹介

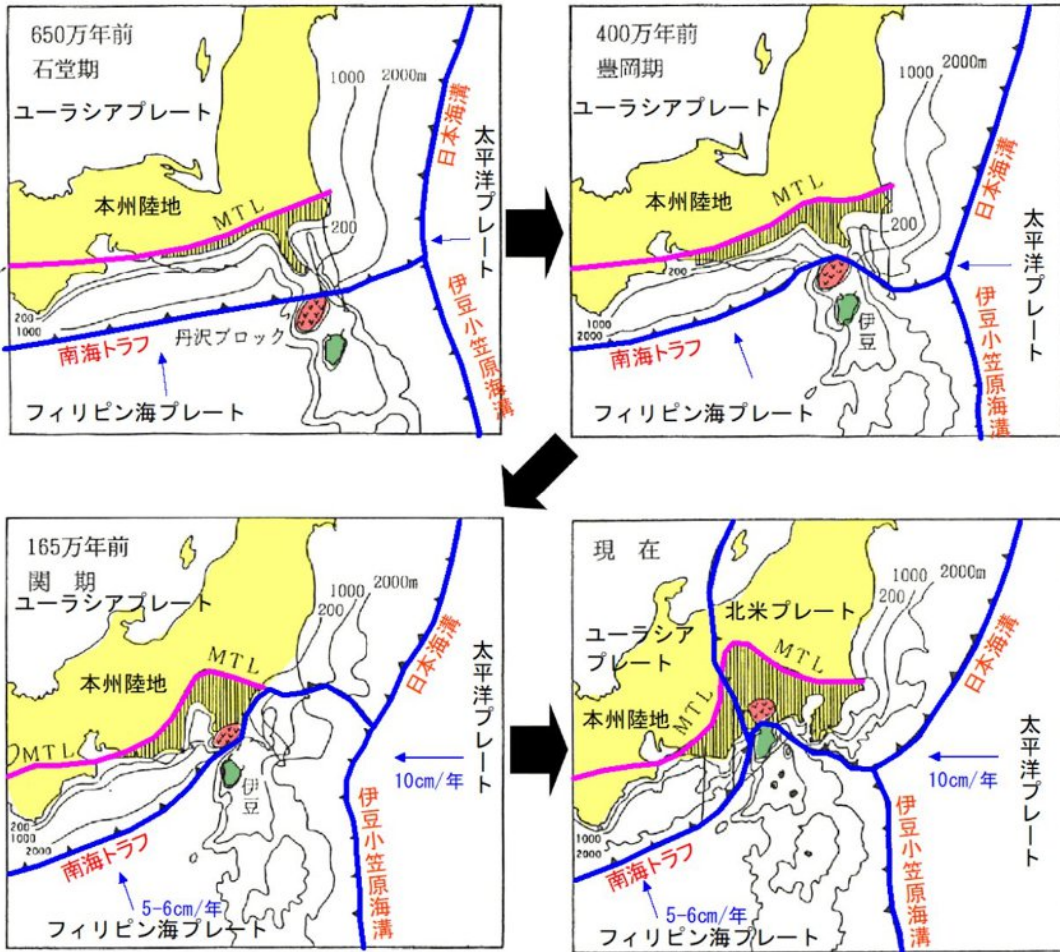


- 1960年鳥取県生まれ
- 1982年静岡大学理学部地球科学科卒業
専攻：海洋地質学（層序学・古地磁気学・プレートテクトニクス）
卒論：丹沢山地の地質（「南の海から来た丹沢」）
- 1982～1984年 阪奈トンネル（道路トンネル）の水文・地質調査
近鉄けいはんな線（電車）のトンネル工事で大陥没事故（1984年3月）で中断
（この事故の補償として石切駅に奈良線の急行が停車するようになった）
- 1984～1990年 地すべり調査に異動
- 1990～2021年 （有）太田ジオリサーチ代表者として斜面防災関連の仕事に従事、現在は相談役。（株）地盤リスク研究所 相談役兼務
- 2022年～現在 大阪地方裁判所 専門委員・民事調停委員

『南の海から来た丹沢』 . . . 地質学の方法



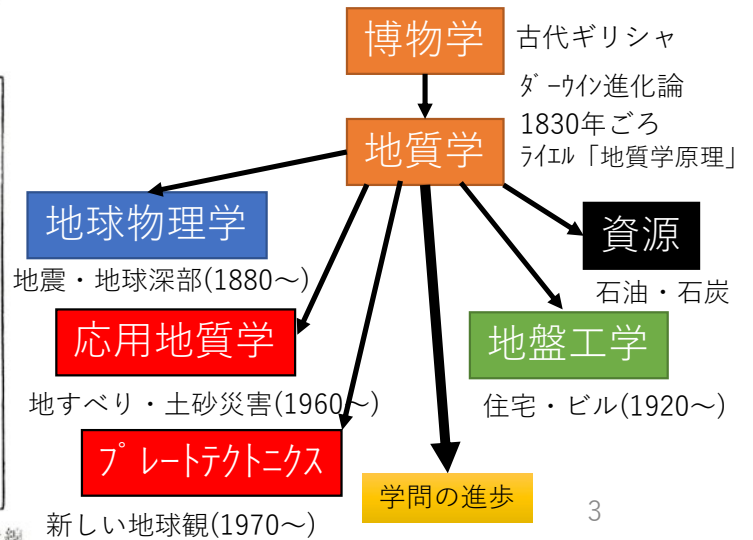
1990年ごろ



MTL：中央構造線

過去の地形の移り変わりを、科学的証拠を積み上げて、一つの物語にするのが地質学

- 地質の分布 → 地質踏査(歩く)
- 地層の年代 → 微化石 (プランクトン)
- 地層ができた緯度 → 古地磁気(伏角)
- 衝突後の回転 → 古地磁気(偏角)
- 地形発達 → データから組立てる



トンネル掘削で起きることを予測・予防



- 工事中の陥没（1984/3/28）
- 工事中の落盤事故
- 工事中の突発湧水
- 工事中・工事後の地表部の湧水（水不足）とトンネルからの恒常湧水

トンネルは地下にできた「新しい川」なので現存の川と同じように水を集める

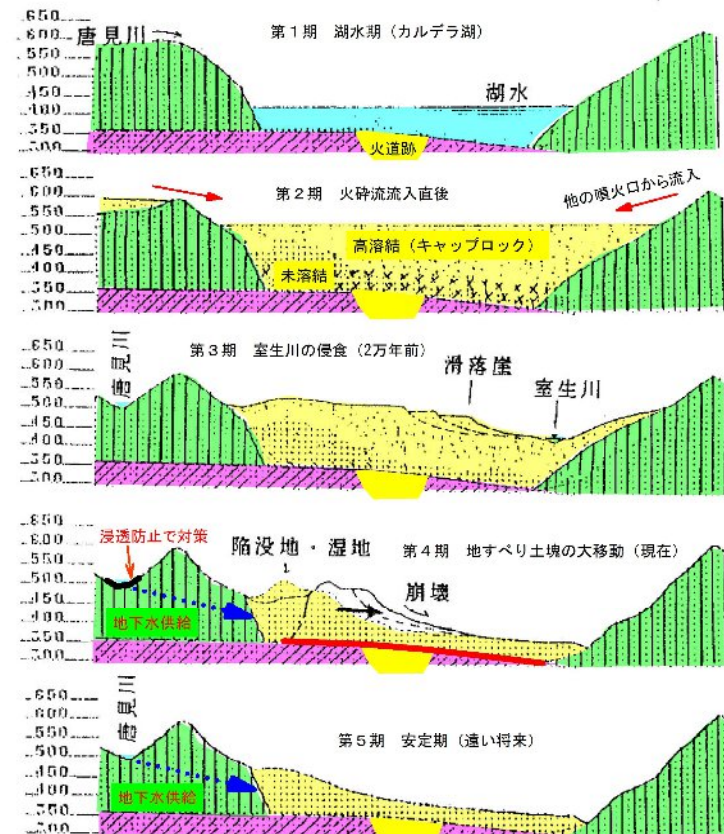
リニア中央新幹線建設で、静岡県とJRが大井川の水をめぐって争っているのは、南アルプストンネル工事で大井川の水資源が減少すると静岡県が主張しているから。

室生地すべり (1350万年前のカルデラ湖)



女人高野で有名な室生寺はカルデラ湖跡の端にある。
年間10~20mmの速度で変動していた。
カルデラ湖内の地下水が豊富だったが、その1/3は別溪流からの供給だということ突き止めて、唐見川の浸透防止で地すべり変動を止めた。

地形形成史から原因と対策を考えた動いているものを止めるのではなく水を減らして動けなくした。



「(川柳) 地質屋は見てきたような嘘をつき」

地すべりは危険より「恵み」の方が多い



- 急峻な山岳地では、岩盤が固く斜面が急峻なので「人が住めない」。
- 地すべり地は、傾斜が緩く、土が柔らかく耕せる。水もあるので人が住める
- 地すべりが変動するのは数十年から数百年に一度くらい。それを我慢して凌げば、暮らしやすいところ。

徳島県の祖谷にある
「善徳地すべり」

地すべり (LANDSLIDE) の定義

【学術用語としてのLANDSLIDE】

- the movement of a mass of rock, debris or earth down a slope
「岩やガレキや土砂が塊の状態で斜面下方に運動する現象」のことを言う。

【日本の中での「地すべり」等は法律で定義されている】

- 地すべり→地すべり等防止法
- 崖崩れ→急傾斜地法
- 土石流→砂防法
- 治山→森林法（保安施設事業）
- 落石→所属不定
- 火山災害→活動火山対策特別措置法？
- 地震災害→地震防災対策特別措置法？
- 盛土地すべり→盛土規制法（宅造法）
- 土砂災害からの避難→土砂災害防止法

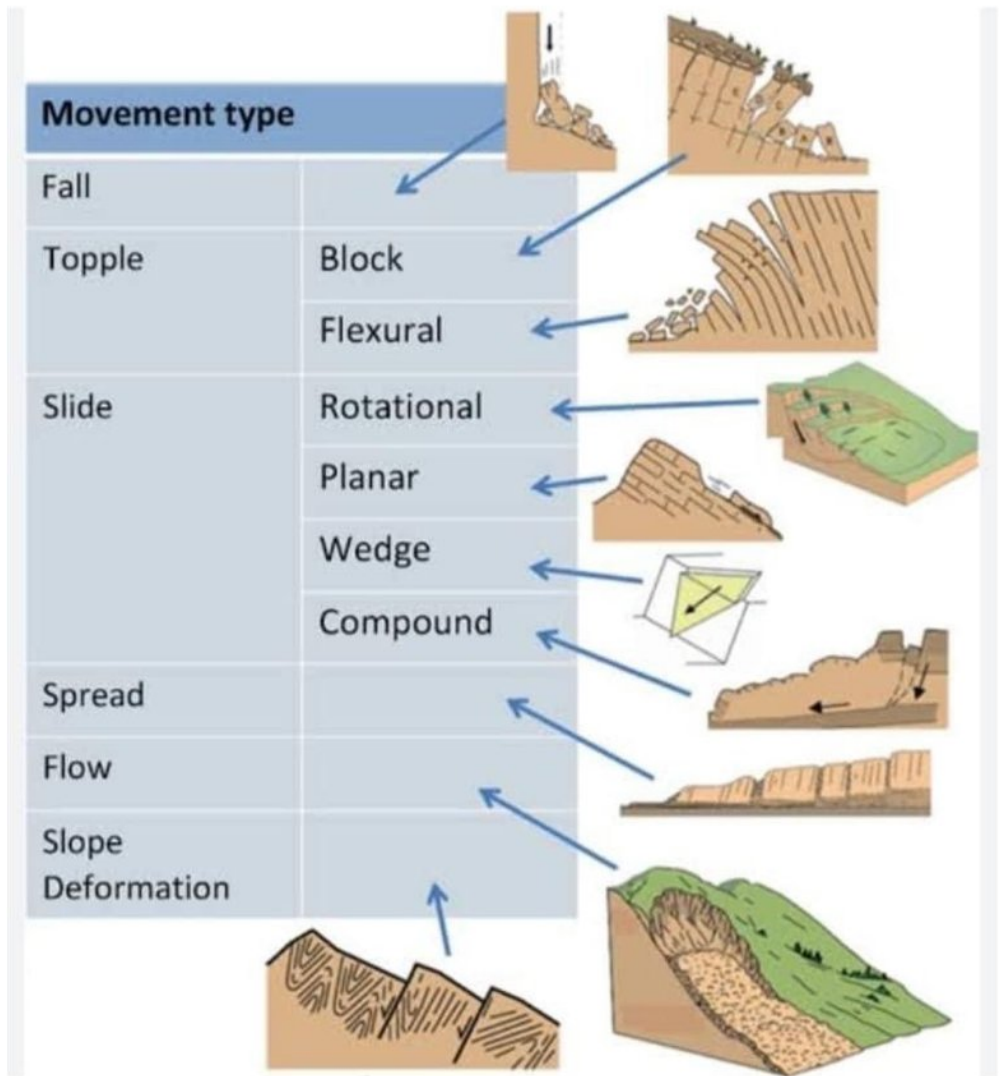
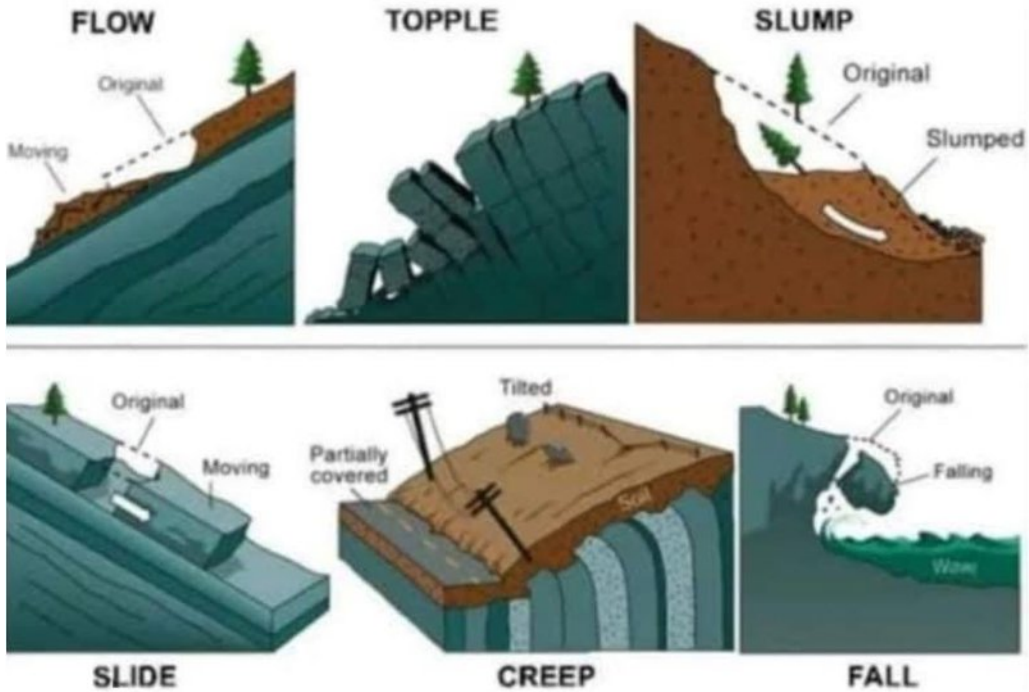


全部
LANDSLIDE

LANDSLIDEの種類

分類する人によっても異なる

LANDSLIDE TYPES



(1) 豪雨災害：2018年7月豪雨災害

神戸・鈴蘭高等学校
兵庫県立神戸
鈴蘭高等学校



崩壊したのは六甲花崗岩の自然斜面
(斜面下部は切土法面)

豪雨災害：2018年7月豪雨災害

神戸市鈴蘭台高校裏の崩壊の瞬間、間欠的に水が吹き出して崩壊

崩壊の瞬間が撮影されていた：水量と水圧が凄かったように見える
「崩れた」というより「**水が土を吹き飛ばした**」という感じ



時間の経過方向



撮影者から太田ジオが使用権取得済み



頭部滑落崖の状況

(1) **表層**土砂の**崩壊**である

(2) 集水柵と**水路**の接合部は落ち葉で**閉塞**している

→水路で集められた雨水は斜面に供給された

崩壊画像から得られる教訓

地表水路工からの溢水による水の供給
「法面崩壊の半分は表面排水施設が原因」



水路が閉塞し、溢水して崩壊



とても高価な対策工



事前に蓋をしておけばいい

水路を、詰まらない、溢れないように管理しておけば、この対策は不要だった。維持管理の不徹底。

記録的豪雨時の土の中の水圧を解放する対策

新幹線など重要路線は、こういう対策で安全な運航が確保されている

記録的豪雨に於ける突飛な高水圧消散事例

2004年
大洲市



三波川帯の強風化岩の切土法面に施工された排水補強パイプとその効果

キーワードは「土中の高水圧」

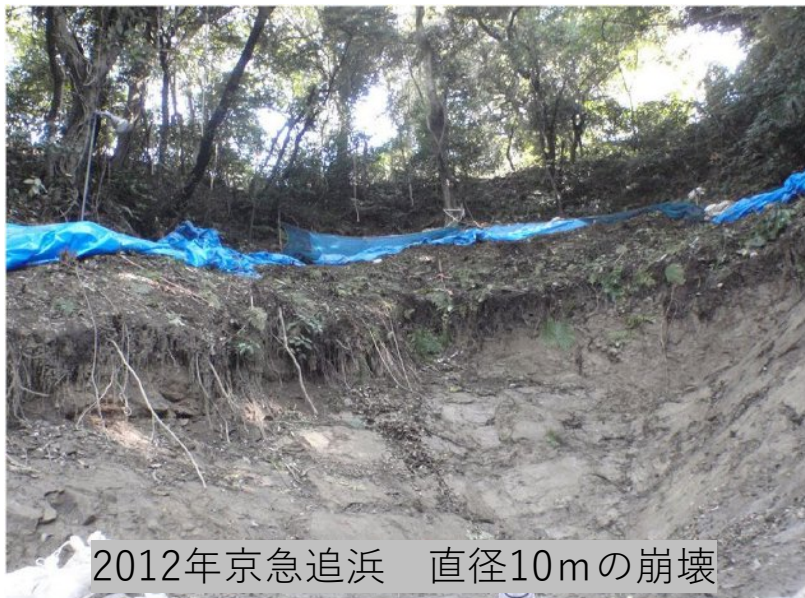


1週間後に大きな台風が直撃する予報を受けて、地盤状態の悪いほうだけに排水パイプを打ち込んだ（地盤の良い方は打たなかった）ところ、打ち込んだ側は崩れず、打ち込んでない側は崩れた。

過剰間隙水圧で崩壊した跡



2010年庄原水害 直径10mの崩壊



2012年京急追浜 直径10mの崩壊



2003年 菱刈町 100tの岩塊を横に吹き飛ばした

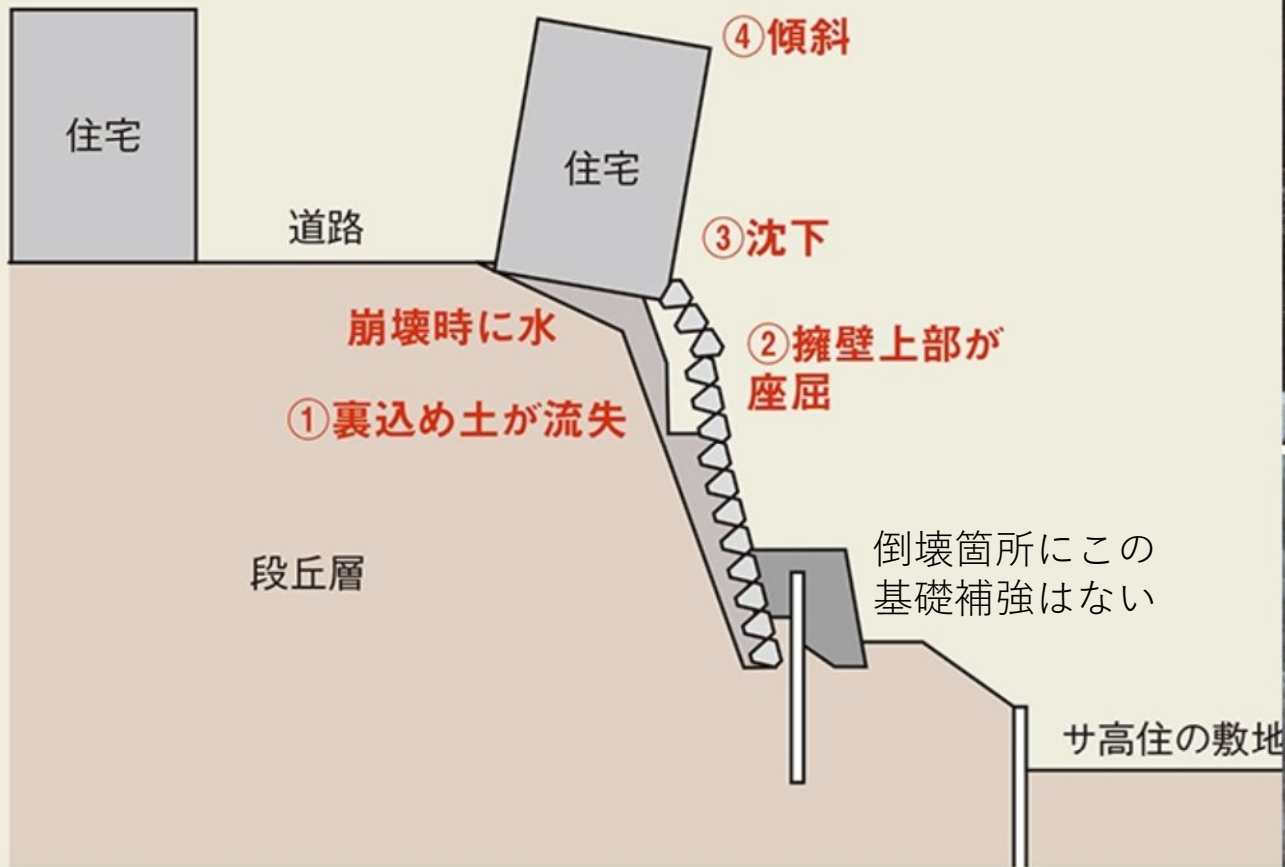


2004年 中越地震時の崩壊背面にできたφ2mの穴

崩壊の瞬間に凄い水圧が発生

(2) 老朽化土留構造物の災害：2021年大阪市西成区天下茶屋の老朽化擁壁倒壊災害





〔図2〕裏込め土の流失で擁壁上部が座屈したか？

太田ジオリサーチの太田英将相談役が推定した崩落のメカニズム。「目視では分からない擁壁背面の健全性を、表面波探査で判定する方法を積極的に導入すべきだ」（太田相談役）（資料：太田ジオリサーチ）

老朽化擁壁の課題

- (1) 建築確認を取りたいから**建築士**が「安全です」って書いてしまうこと
- (2) **所有者**が建築基準法第8条の「維持保全義務」を無視し続けること

制度の改善が必要

現地目視したところ、石垣にふくれ、キレツ等見られず
安全と見られる

大臣登録 第 〇〇〇 号
一級建築士 〇〇 〇

現地目視したところ、石垣にふくれ、キレツ等見られず
安全と見られる

大臣登録
一級建築士

練積み擁壁が強くて 空積み擁壁が弱い？



穴太衆積み（野面積み）の石垣は「空積み」

空積みだから強いということはないが、練積みだから強いもない

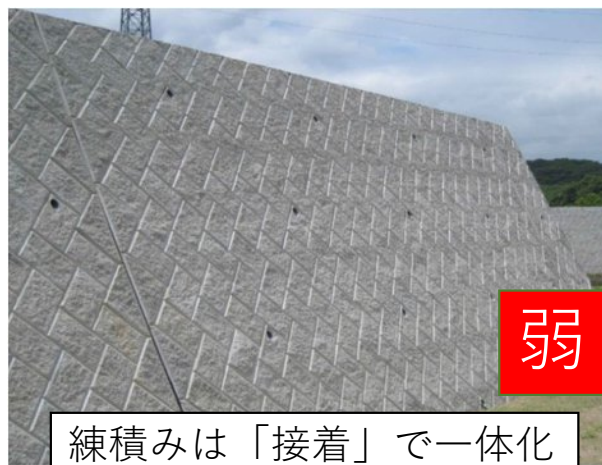
穴太衆の伝統を受け継ぐ滋賀の栗田建設HPより

250トンの載荷実験



載荷すると穴太衆積みからはピシピシと音がして、最大13cmの変形があったが250トン載荷でも倒壊せず。

空積みは「噛み合わせと柔軟性」で一体化



コンクリートブロック擁壁（練積み）は、変位量が5.5cmと小さかったが、200トン載荷時に厚さ30cmのコンクリートが突如割れて倒壊。

練積みは「接着」で一体化

2023年5月8日 門戸厄神付近の擁壁倒壊



(3) 地震時の盛土災害：1995年兵庫県南部地震に伴う谷埋め盛土の地すべり災害



崩壊面の勾配は緩い

被害は盛土外の住宅

特 徴

- (1) 緩い斜面に盛った盛土が震度6弱以上の揺れで地すべりを起こす
- (2) 造った当時の技術基準には従っているので開発許可を得ており、責任の所在が曖昧
- (3) 幅が広く浅い盛土が滑る。幅が狭く深い盛土は滑りにくい。

2004年中越地震を経て、2006年に宅造法改正。2021年熱海市伊豆山の盛土土石流災害を経て、2022年に盛土規制法に改正。2023年5月26日に施行。

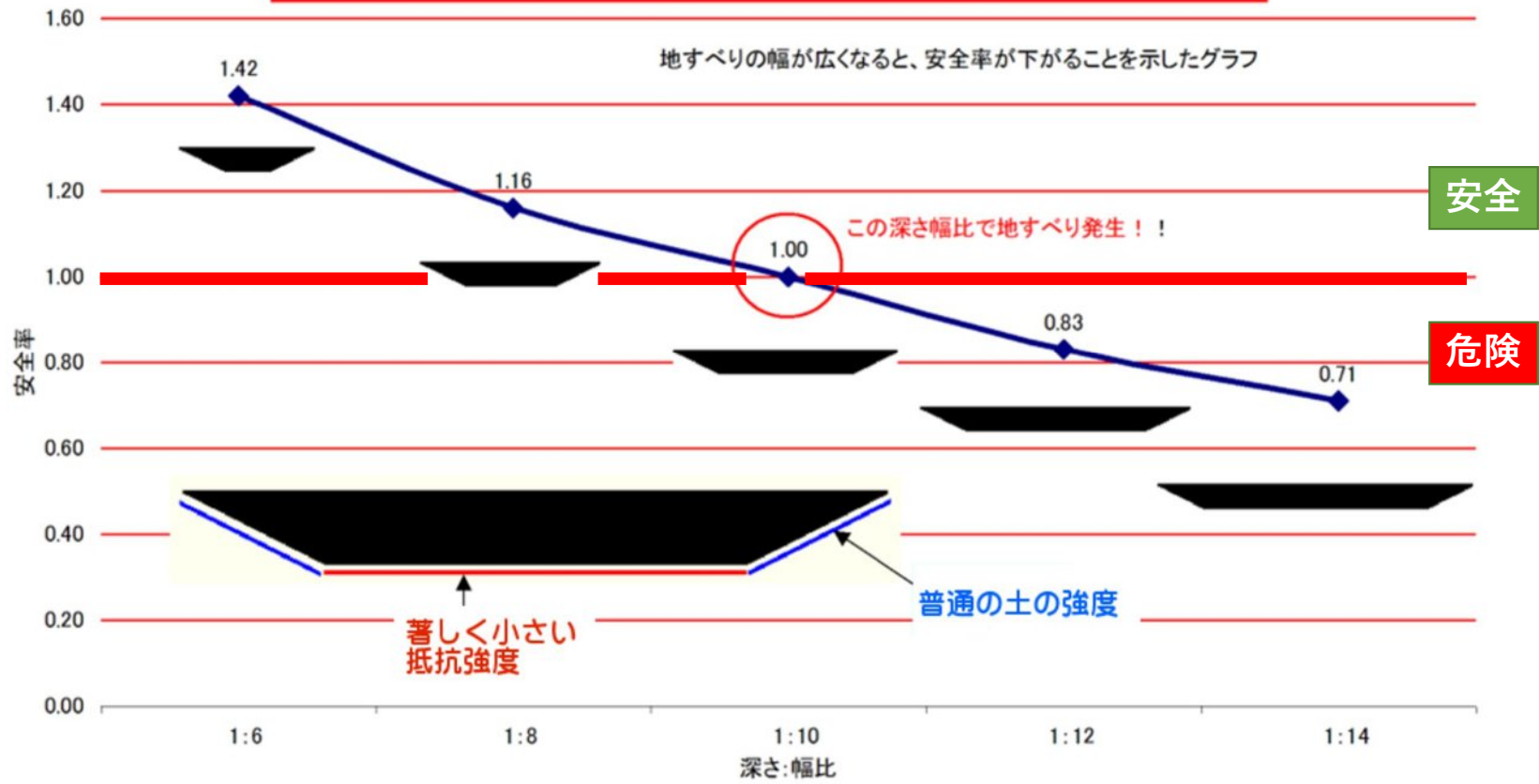
1995年仁川百合野町盛土の地すべり災害



原因者

被害者 (34名)

サイドフリクションを考慮した安定解析例 U型横断形状



ローラー滑り台モデル

滑動崩落事例



西宮市で実際に起きた滑動崩落の再現

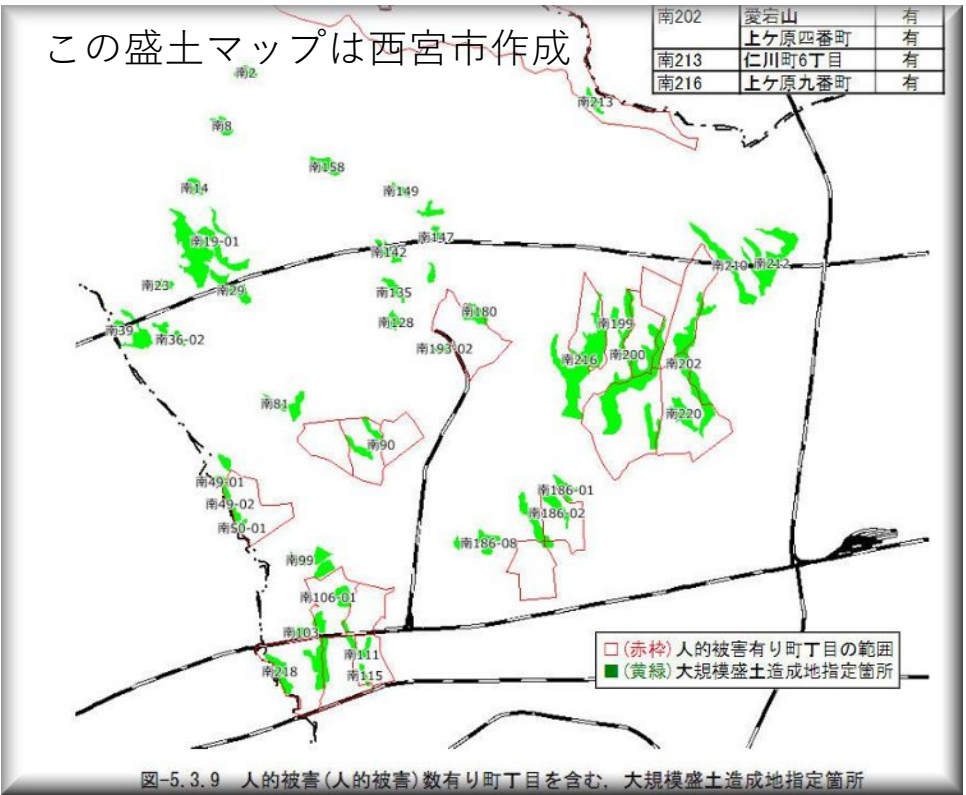


変動盛土と死者分布（西宮市）

仁川百合野町（34名死亡）

関西の地盤情報に基づく 防災ハザードマップ開発研究委員会（H31.3）
<http://www.jgskb.jp/japanese/book/pdf/iinkai/hazardmap.pdf#page=332>

5.3 地盤情報 DB と被害マップを利用した盛土地の被害相関分析



釜井先生の変動盛土(黒塗り) との重ね合わせ

阪神間の変動・非変動盛土の分布

同じ地域でも変動・非変動盛土が混在する

都市の造成地内の谷埋め盛土 (1995年兵庫県南部地震)

「大地震時における宅地盛土の被害に関する調査業務」(作業中の資料につき取扱い注意)

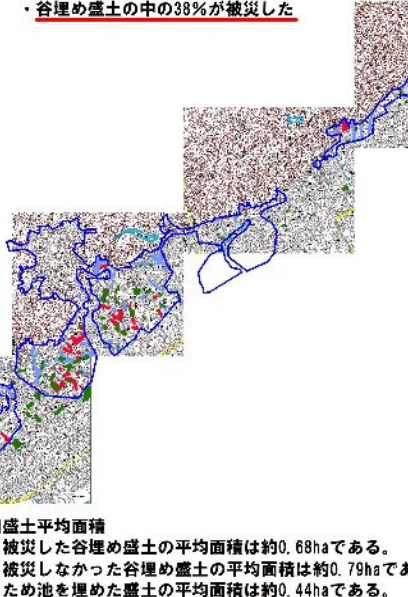
- 盛土賦存率
- ・造成地内の10.3%が盛土である。
 - ・造成地内の8.5%が谷埋め盛土である
 - ・造成地内の3.2%の谷埋め盛土が被災した

- ・全盛土の中の83%が谷埋め盛土である
- ・全盛土の中の31%が被災した
(ため池埋立盛土を加えると49%が被災した)
- ・谷埋め盛土の中の38%が被災した

西岡本 谷埋め盛土の前撮



対策後 (地すべり対策事業)



- 盛土平均面積
- ・被災した谷埋め盛土の平均面積は約0.68haである。
 - ・被災しなかった谷埋め盛土の平均面積は約0.79haである。
 - ・ため池を埋めた盛土の平均面積は約0.44haである。
 - ・盛土全体の平均面積は約0.67haである。

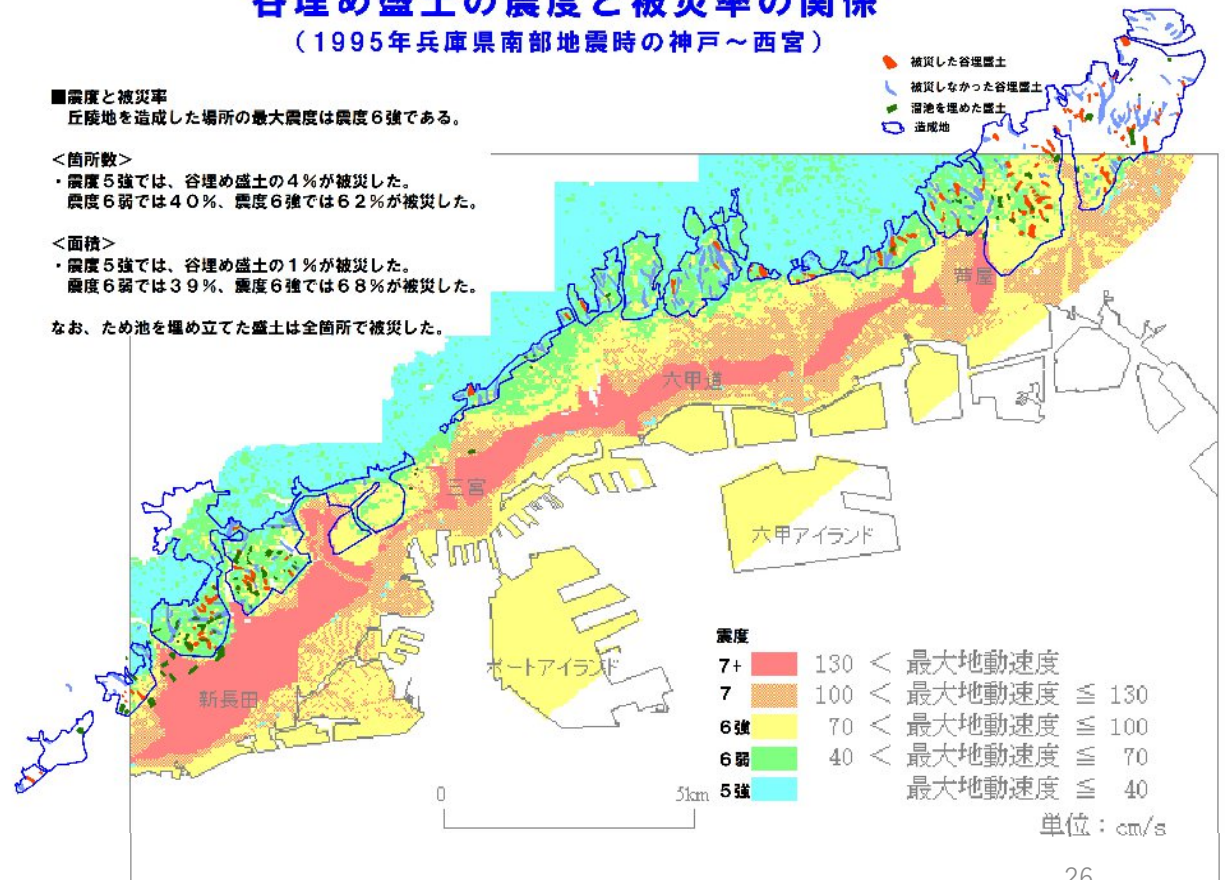
同じ震度の場所でも変動・非変動盛土が混在する

谷埋め盛土の震度と被災率の関係 (1995年兵庫県南部地震時の神戸～西宮)

- 震度と被災率
- 丘陵地を造成した場所の最大震度は震度6強である。

- <箇所数>
- ・震度5強では、谷埋め盛土の4%が被災した。
 - ・震度6弱では40%、震度6強では62%が被災した。
- <面積>
- ・震度5強では、谷埋め盛土の1%が被災した。
 - ・震度6弱では39%、震度6強では68%が被災した。

なお、ため池を埋め立てた盛土は全箇所でも被災した。

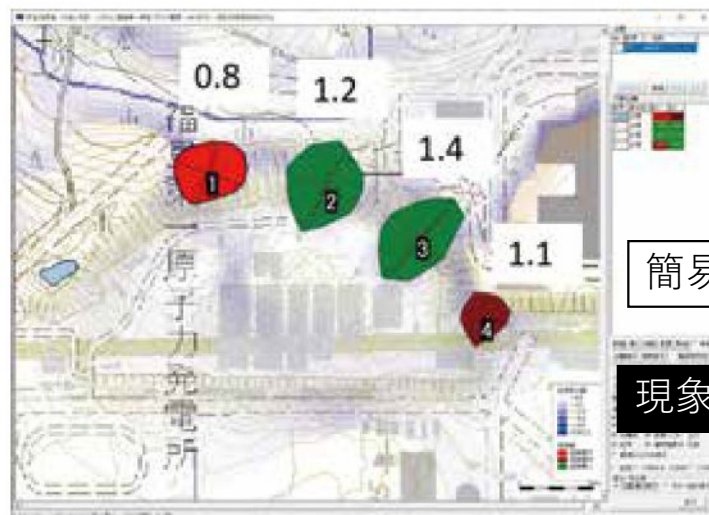


残された大きな問題

滑動崩落実績 **(40%強)** と変動予測結果 **(0.1%)** の乖離

地震名	調査全盛土数	変動盛土数	変動率	記事
1995年兵庫県南部地震	299箇所	122箇所	40.8%	池埋め盛土は除外 震度6強地域では62.2% (箇所数)、68.2% (面積) が変動 (NPOデータ)
	2,239,001㎡	835,583㎡	37.3%※	
2004年新潟県中越地震	35箇所	22箇所	62.9%	高町団地 (地理院データ)
2007年新潟県中越沖地震	58箇所	21箇所	36.2%	柏崎市内 (地理院データ)
2011年東北地方太平洋沖地震	18箇所	11箇所	61.1%※	仙台市太白区緑が丘周辺 (釜井・太田調査)
	全1697盛土 3000㎡未満を含む (地理院データ)	宅地数単位 大規模盛土2521 (地すべり宅地5728)	1盛土10宅地とすると $5728 \div 16970 =$ 33.8%	産経新聞ニュース情報 「大規模盛土造成地」で起きた東日本大震災の知られざる被害 (2021/4/10)
大地震による変動実績			平均43%	※印は集計から除外
宅地耐震化推進事業の第二次スクリーニング結果 大規模盛土変動予測ガイドラインに従った評価結果	51306箇所 第二スクリーニング後 5.5%→2822箇所	危険評価 4地区	$4(\text{危険}) \div 2822(\text{全}) =$ 0.14%	令和3年度末時点 国土交通省データ

福島第一原発の盛土地震時地すべり



簡易3次元解析

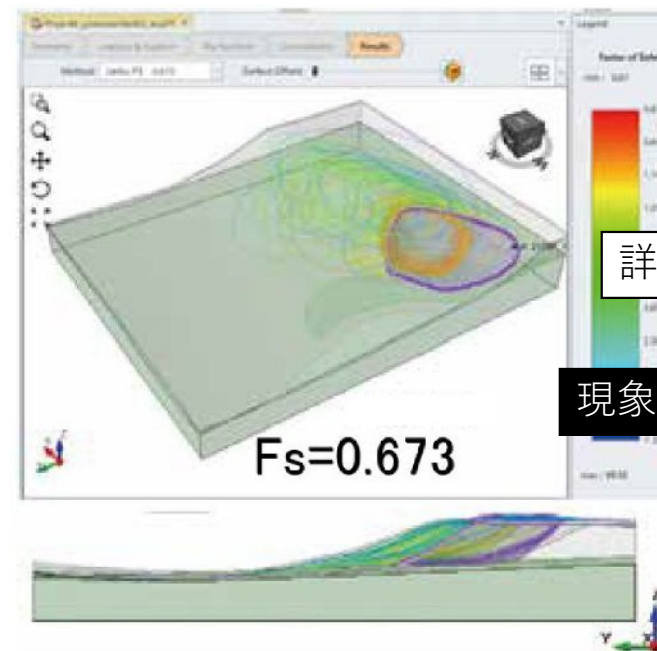
現象が再現できる

図5 側方抵抗モデルを用いた評価結果
土砂が送電線鉄塔を倒壊させた崩壊は $F_s=0.8$ のものである

盛土は宅地盛土もそれ以外の盛土も同じ挙動となる

東電の調査・解析（静的・動的**2次元解析**）では安全率が $F_s>1.0$ となった →**現象が再現できない**

現在 + 盛土規制法施行後も2次元解析が用いられることになっている



詳細3次元解析

現象が再現できる

図6 3次元安定解析結果
Rocscience社のSLIDE3で計算した

過剰間隙水圧を考慮した**3次元解析**では、簡易モデルでも楕円弧計算モデルでも現象が再現できる

福島第一原発 夜の森線No.27鉄塔

夜の森線No.27鉄塔（倒壊）

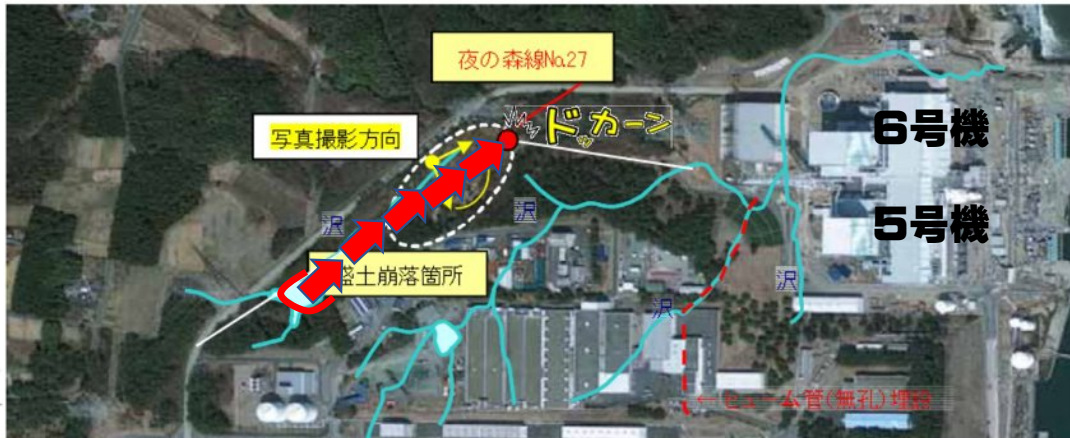
崩壊した盛土

(双葉線No.2)



この間
数秒～10秒

0. 盛土は上出来
1. 盛土が崩壊し
2. 斜面を流下し
3. 鉄塔に衝突し
4. 鉄塔を倒し
5. 地上給電が失われ
6. 全電源喪失となる



(C)GeoEye

図4：盛土の崩壊状況写真（震災後に撮影：造成前の沢を重ね書き）

宅地耐震化事業で考慮されなかった過剰間隙水圧

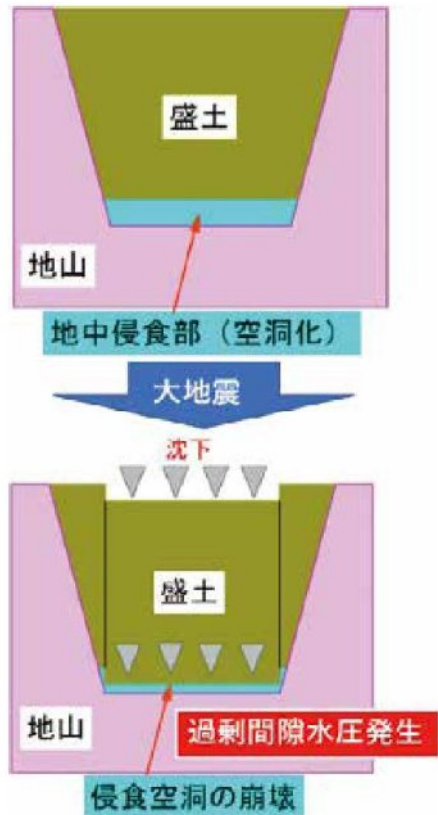


図7 盛土の地震時地すべりの地中イメージ¹⁾

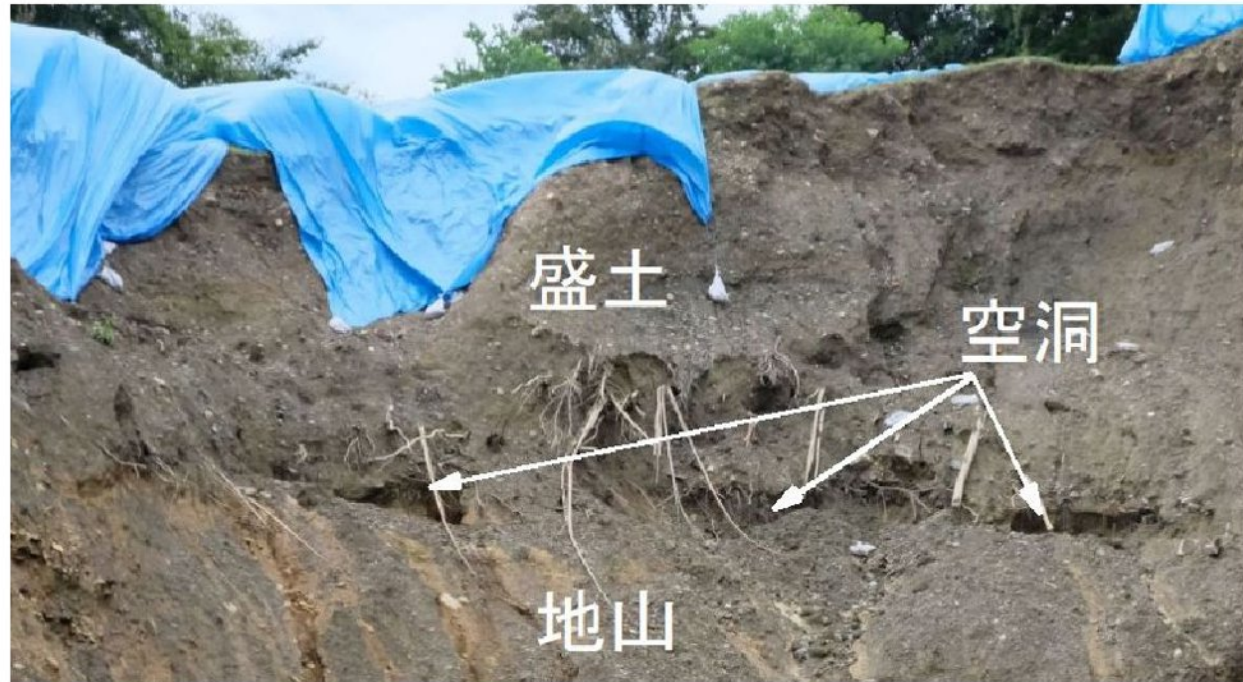


写真1 盛土と地山との境界の空洞
(2021年滋賀県湖西道路で釜井俊孝撮影)

第二次スクリーニング結果の再評価

ある政令指定都市が実施した第二次スクリーニング結果を、情報公開請求し、側方抵抗モデルで検証してみたところ、6箇所中3箇所は滑動崩落の危険があることがわかった

表3 盛土安定度の再評価結果

盛土番号と型	第二次スクリーニング結果		側方抵抗モデルの評価結果	
	安全率	判定	安全率	判定
No.1 谷埋め型	3.90	○	1.34	○
No.2 谷埋め型	1.32	○	1.16	△
No.3 腹付け型	1.20	○	1.05	△
No.4 谷埋め型	1.28	○	0.93	×
No.5 腹付け型	2.54	○	0.59	×
No.6 谷埋め型	1.70	○	0.88	×

○：非変動判定，△：境界領域，×：変動判定

第二次スクリーニング：過剰間隙水圧なし、2次元法
側方抵抗モデル：過剰間隙水圧考慮、簡易3次元法

表4 各盛土の諸元情報¹⁵⁾

	D	θ	N値	γ	c	ϕ
No.1	10.8	5.0	2~3	14.3	83.5	12.8
No.2	10.0	8.6	1	16.3	38.0	14.4
No.3	8.90	11	2~3	14.2	30.7	18.5
No.4	7.20	15	0~2	17.6	29.4	19.6
No.5	2.80	24	7~12	18.5	30.0	15.0
No.6	6.95	7.6	0~3	18.0	57.5	18.8

D(m)：盛土厚さ， θ (°)：旧地盤の平均角度， γ (kN/m³)：盛土の単位体積重量，c (kN/m²)：盛土の粘着力， ϕ (°)：内部摩擦角
c・ ϕ は三軸圧縮試験結果

宅地盛土の被害に関する過去の判例

- **仙台高等裁判所平成12（2000）年10月25日判決**
1978（昭和53）年の**震度5**とされる**宮城県沖地震**により発生した敷地の崩落等に関する責任を認定しています。
- **福島地裁郡山支部平成29(2017)年4月21日判決** 『消費者のための欠陥住宅判例集』第8巻p.308-325
2011（平成23）年の**震度6強**の**東日本大震災**の揺れは、**誘因に過ぎない**。**根本的原因是な排水処理を怠ったこと**。



震度6強は不可抗力として免責されない

2011年白石市緑が丘の非変動事例

合理的・効果的な滑動崩落防止工法



写真4 集水ボーリング到達外の大変動

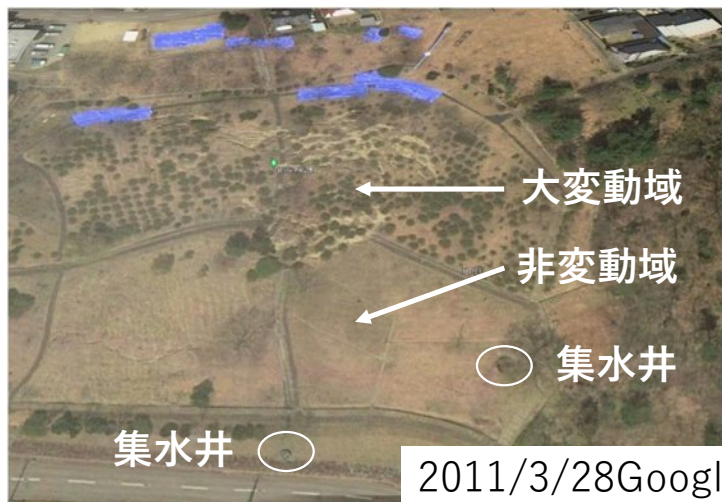


写真5 集水ボーリング到達域は変動せず
対策効果は「排水距離」が支配している

先端間隔10mはとりあえず効いた

斜面下部は平穏



斜面上部は大変動



斜面上部の地下水位も、集水井によって当然低下しているので、**地下水位（静水圧）低下の問題ではなく、過剰間隙水圧消散、すなわち排水距離の問題だった**と思われる。

地震で崩れる盛り土

新法施行でも既設のリスクは拭えず

盛り土規制法による技術基準の見直しで、新設する盛り土の排水性は向上するはずだ。しかし、地下水がたまっている可能性のある既存盛り土への効果的な対策は示されていない。過剰間隙水圧に伴う滑り面の液状化で崩れる恐れのある盛り土は全国に存在する。

危険な盛り土の解消に向け、2023年5月26日に「宅地造成及び特定盛り土等規制法」(盛り土規制法)が施行される。21年7月の静岡県熱海市で起こった土石流災害をきっかけに生

まれた新法だ(資料1)。そのため、豪雨時に崩れやすい盛り土などを規制し、安全性を確保するものと捉えがちだ。しかし、地震時の安全性向上にも寄与する。

実はこれまで大きな地震が起こるたびに、宅地の盛り土が崩れてきた。地盤問題に詳しい地盤リスク研究所(兵庫県西宮市)の太田英将相談役は「完全に排水できていない盛り土は、地震による過剰間隙水圧の発生で、滑り面が液状化して崩れるリスクが高い」と警鐘を鳴らす(資料2)。

過去に地震で変動した盛り土造成地のなかに、象徴的な事例がある。1978年の宮城県沖地震で被災した宮城県白石市緑が丘1丁目の傾斜地だ。当時、造成中だった盛り土全体が大きく崩れた。

その後、公園に用途変更され、地滑り対策として集水井2基などを法尻に施工した。

しかし、2011年の東日本大震災で再び崩れた。前回と異なるのは、斜面の上部と下部で変動の有無が分かれた点だ。集水井につながる集水ボーリング管が届く斜面の下部だけが変動しなかった(資料3、4)。

「集水ボーリング管には、管が到達していない範囲の地下水も排出する効果があるが、それでも斜面上部は変動した。地下水が少しでも残って



資料1 ■ 2021年7月3日に静岡県熱海市で発生した土石流。この土石流災害をきっかけに危険な盛り土の規制が本格的に動き出した(写真:静岡新聞)



地下水を含む盛り土が問題

資料2 ■ 地盤リスク研究所の太田英将相談役(写真:日経クロステック)



資料3 ■ 2011年の東日本大震災で崩れた宮城県白石市の斜面(写真:太田英将)

日経コンストラクション
2023年5月号
『いま巨大地震が起こったら』特集号

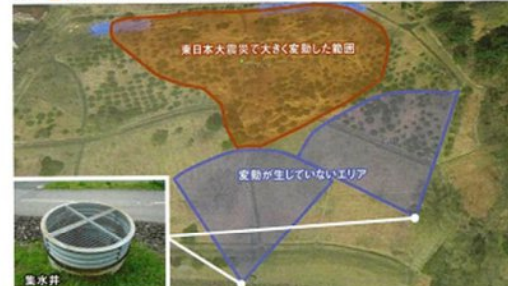
いと、過剰間隙水圧が発生するからだ。斜面下部にも水がたまっていたものの、管がより近い位置にあったので水圧を低減できたのだろう」(太田相談役)

供用前に排水効果が低下

そもそも盛り土内に水が全くたまっていなければ、地震時の過剰間隙水圧は発生しないため、盛り土底部が滑り面となって液状化することはない。しかし、「大規模な盛り土造成地ほど、地下水を大量に含んでいるケースが多い」(太田相談役)のが現状だ。

盛り土の施工中に降った雨などを排水するために多用される「中央縦排水方式」が原因とみられる。この方式では、盛り土の中央に設置したたて坑を底面の暗きょ管につなげて排水する。崩れやすい法面に雨水を

資料4 ■ 集水ボーリング管が届く範囲は崩れず



2011年の東日本大震災で崩れなかった範囲は青色、崩れた範囲はオレンジ色で示した(出所:太田英将相談役の資料や取材に基づき、GoogleEarthの11年3月28日の写真に日経クロステックが加筆、左下の写真:太田英将)

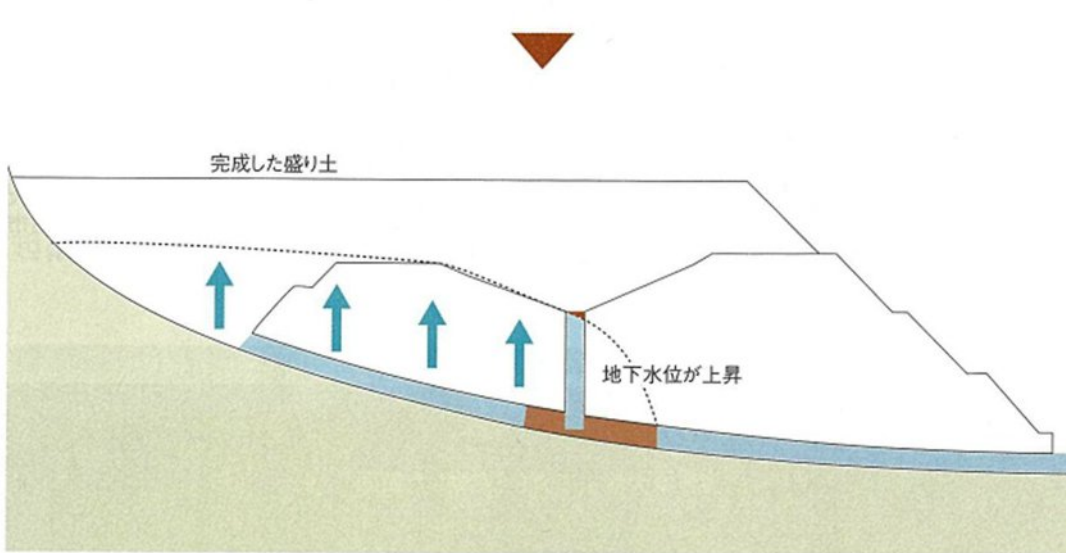
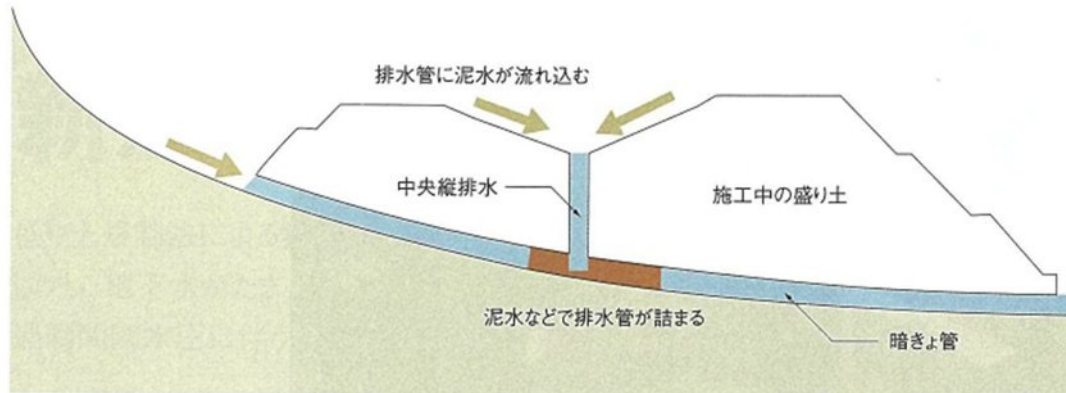
流さない利点があるので、「宅地防災マニュアルの解説」(ぎょうせい)でも推奨されてきた。

ただし、工事中にたて坑から流れてきた泥水によって暗きょ管が供用前に詰まる恐れがある(資料5)。太田相談役は「ある竣工直後の盛り土

の暗きょ管内部を調べたところ、既に管の断面の7割程度が土砂で埋まっていた」と明かす。

そこで新法では、従来の宅地造成等規制法(宅造法)で定めていた盛り土の技術基準を見直す。水平排水層や暗きょ管の設置を規定してお

資料5 ■ 施工段階で泥水が排水管に詰まる



暗きょ管の排水不良に伴って地下水位が上昇するメカニズム
(出所:太田英将相談役の資料や取材を基に日経クロステックが作成)

関しては
授)とい
に伴って
や安全
示す「
ライン

盛土内に地下水がたっぷりあるのは
施工方法に問題があったから

案による
模盛り土
とはは変
面の液状
コストが
担う自治
との見方



資料7 ■ 東京都内のある住宅地の様子。一見なんの要もないが、釜井俊孝名誉教授によると、白く囲んだ範囲は谷埋め盛り土だ。しかし造成時期が古く、大規模盛り土造成地として抽出されていない(写真:日経クロステック)

り土の抽
で何度も
の解析手
る。危険
未時点で
資料7)。
は、阪神
99カ所の
地震でも
崩れてい
結果と比
大きい」。太

盛り土は
新設と既設で
耐震性が異なる



京都大学防災研究所
名誉教授 釜井俊孝先生

所有者に
老朽化が
起してい
箇所は地
地震で崩

それでも、釜井名誉教授は「盛り土規制法で、盛り土の管理責任が土地所有者にあると示した点は評価できる」と話す(資料8)。都道府県知事などは、管理不全で安全性に問題があると判断したら、土地所有者に改善命令を出せる。全国にある危険な既存盛り土を全

で改修するのは難しい。だからこそ、暗きょ管の内部をカメラで点検したり、盛り土内の地下水位をモニタリングしたりするメンテナンスが重要となる。従来は曖昧だった維持管理の実施主体が土地所有者だと明確になることで、危険な盛り土への取り組み姿勢が変わるかもしれない。

盛土の安定に関する現状の問題

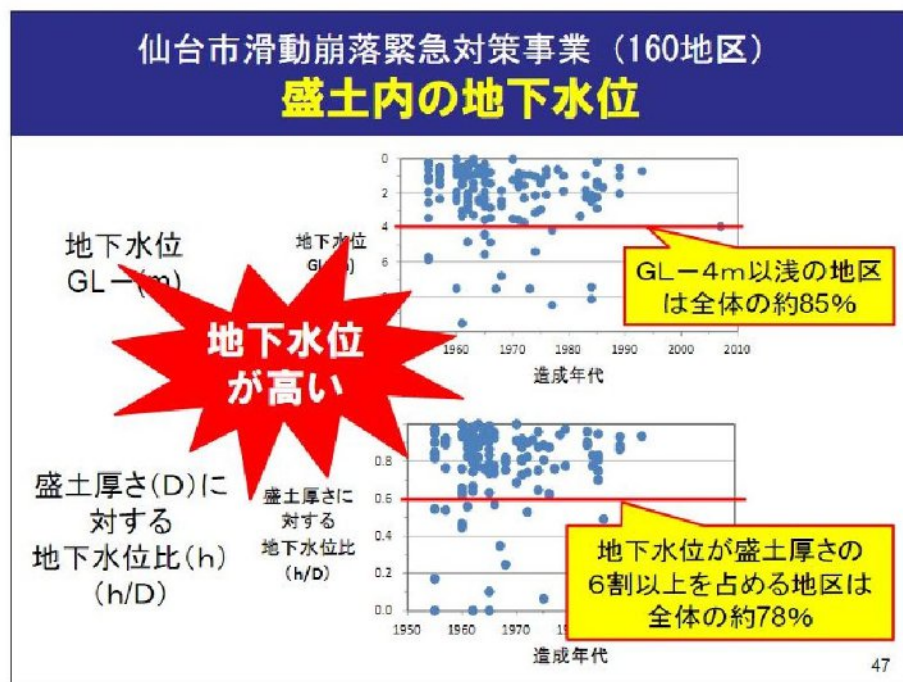


図 11 仙台市の盛土内地下水位¹⁸⁾

(復建技術コンサルタント 佐藤真吾さんの資料)



写真 6 中央排水工法で施工された盛土竣工直後の暗渠管の内部写真

盛土規制法の技術基準の動向

(2023年5月26日施行)

盛土規制法の技術基準は2本立て(3本立てともいえる)

【新設盛土】

①「盛土等防災マニュアル(の解説)」

- ・排水施設は**完全に地下水の排除**ができるよう計画する
- ・雨水排水管と暗渠排水管は「**排水系統を別**」にする

【既存盛土】

②「盛土等の安全対策推進ガイドライン(の解説)」

- ・大規模盛土造成地に関しては、③「**現行ガイドラインのままとする**」

新設盛土は改善、既存盛土は危険なまま

既存盛土は地下水チャプチャプでも安全判定

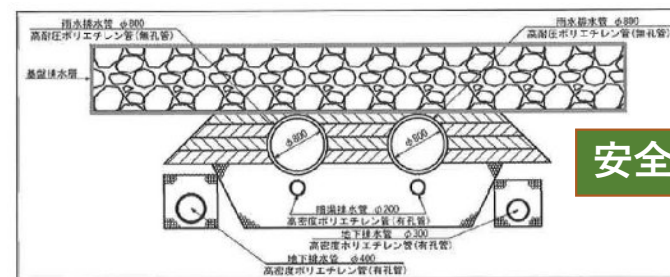
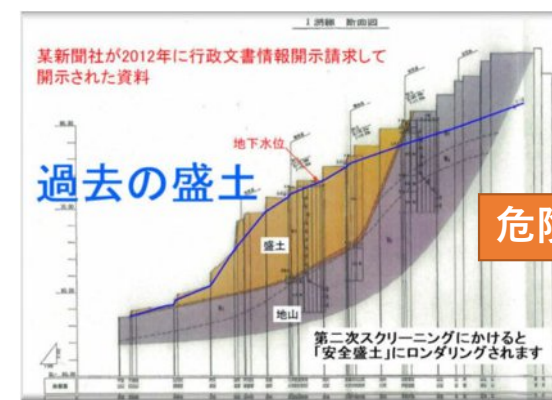


図10 基盤排水層の構造図¹⁷⁾


新設盛土は完全排水が原則



危険

盛土に関する残された課題は多い

- 熱海伊豆山の土石流災害の教訓から「盛土規制法」が2022年に成立し、2023年5月26日から施行される。
- 日本地すべり学会が2006年の法改正時に国に提示し、改正法成立に寄与した「**地震時の過剰間隙水圧が滑動崩落の原因**」は、2006年の宅造法改正でも、2022年の盛土規制法でも活かされていない。
- 国が定めた地震時の過剰間隙水圧を無視した安定計算法では、第二次スクリーニングを実施しても**ほとんど危険盛土を抽出できない**が、**大地震ごとに40～60%の盛土が滑動崩落しており**、正しい判定法とは言い難い。（**現象を再現できない方法が用いられている**）
- 東日本大震災の震度6強で崩れた盛土が、**地下水排除が不十分**という理由で、造成側が敗訴（福島地裁郡山支部2017年判決）していることを、盛土調査する技術者は強く気にしたほうがいい。
- 滑動崩落防止工法は、第一に**盛土内に水位面を形成しないようにすること**、次善の策は集水パイプを10mピッチ程度に入れて、**過剰間隙水圧を消散させること**。



2008年岩手宮城内陸地震 荒砥沢地すべり

ご清聴ありがとうございました 40