

斜面の安定対策に役立つ
地形・地質の見極め方

於：山口大学工学部
平成30年12月18日

今日の話題に関係する書籍

実験で学ぶ 土砂災害



土木学会 地盤工学委員会
斜面工学研究小委員会

危ない 地形・地質の 見極め方

上野将司 著
日経コンストラクション 編

工事の手戻りや災害に結びつく

地すべり地を見逃さない!

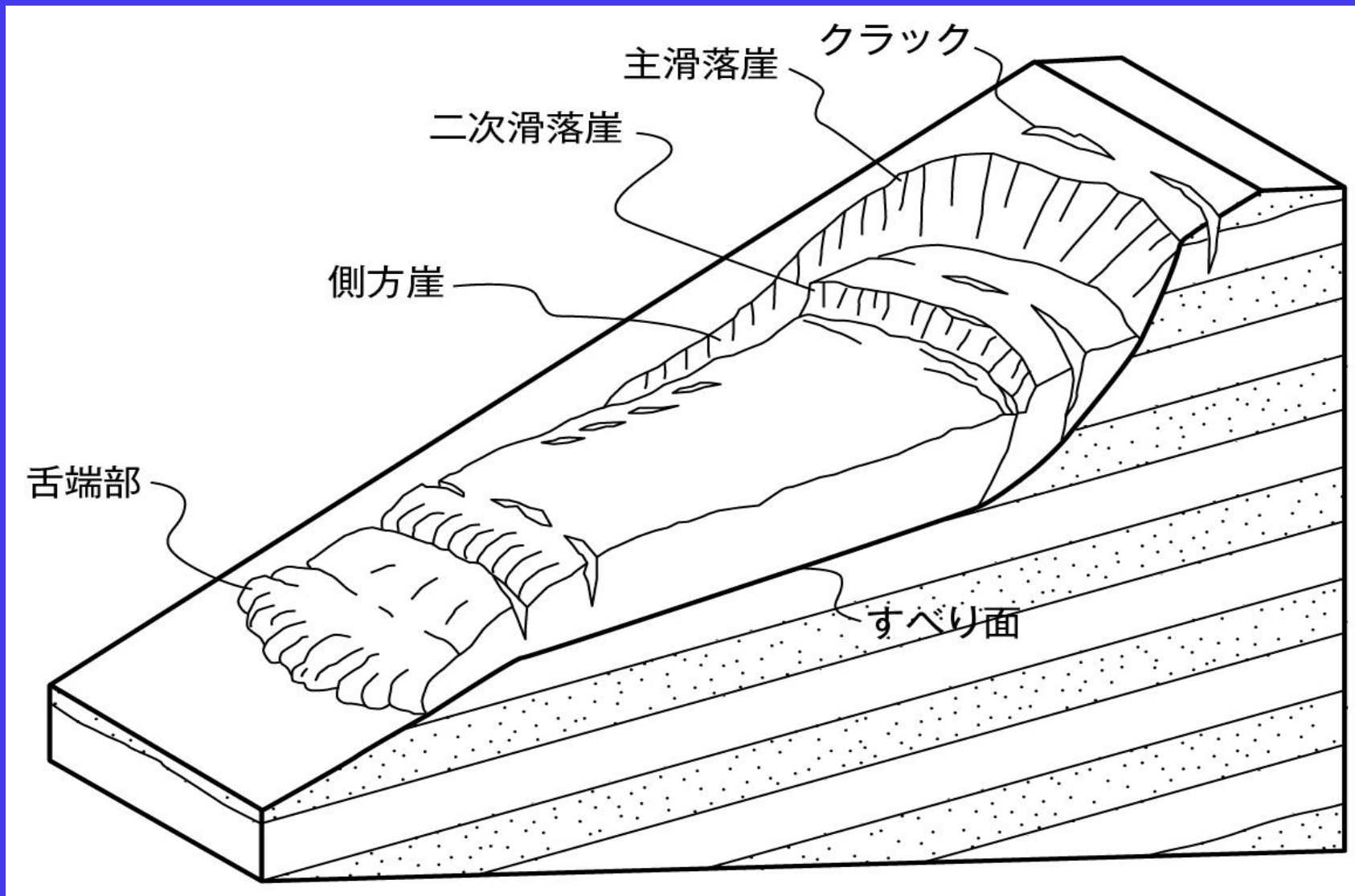
38 のトラブル事例にみる調査・設計の着眼点 🔍

日経BP社

内 容

1. 地すべり面の形状
 2. すべり面深度を誤らないために
 3. 地すべりの地下水
 4. 流れ盤と受け盤斜面の安定
 5. 表層斜面の安定
 6. 見逃しやすい土石流危険個所
- おわりに: 二次災害を回避する知識

1. すべり面の形状 円弧は稀 すべり面は円弧になりにくい！



すべり面形状は直線部分が主体

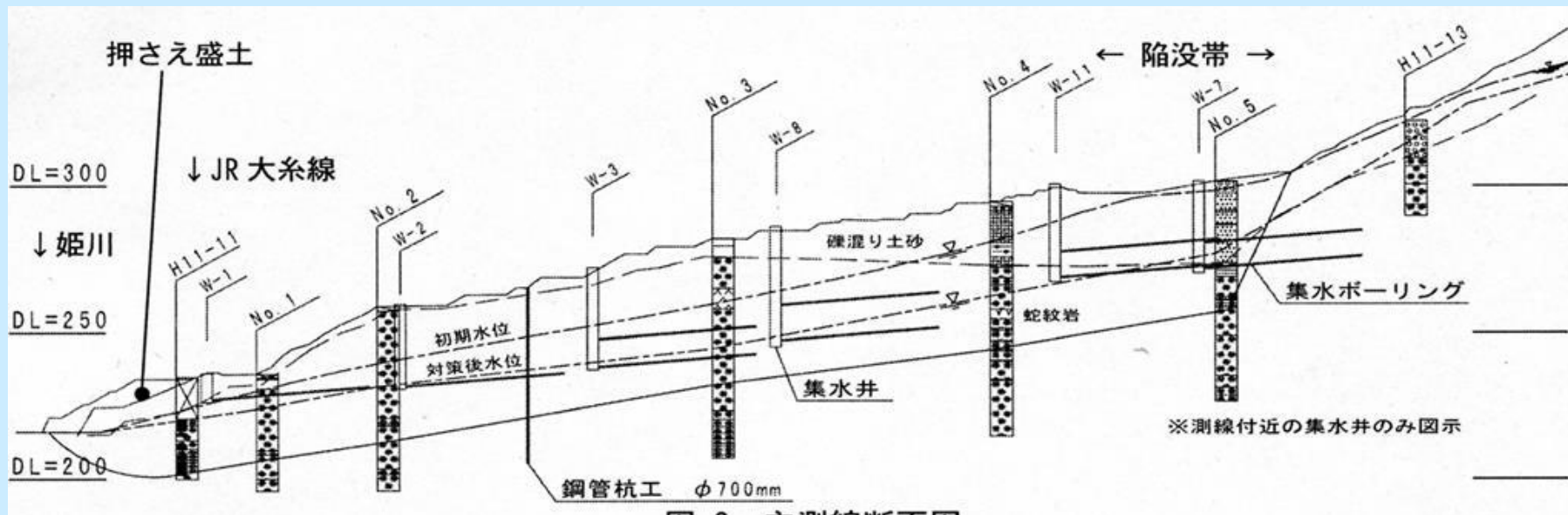
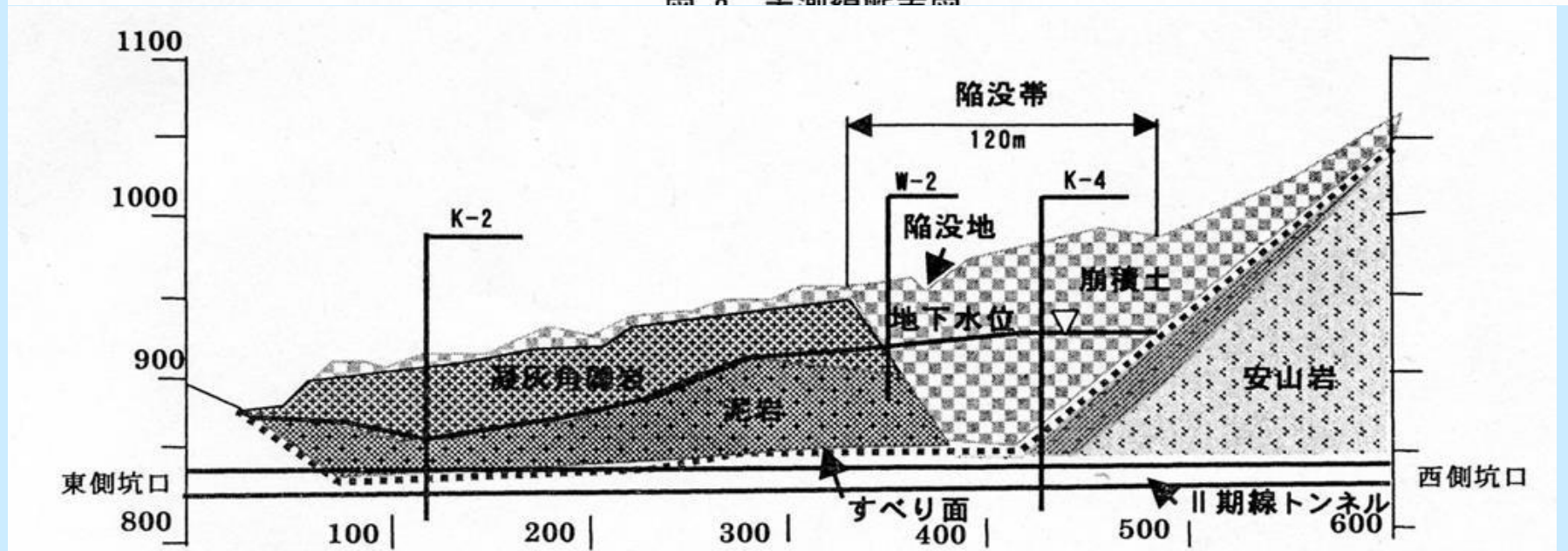


図 9 測線断面図

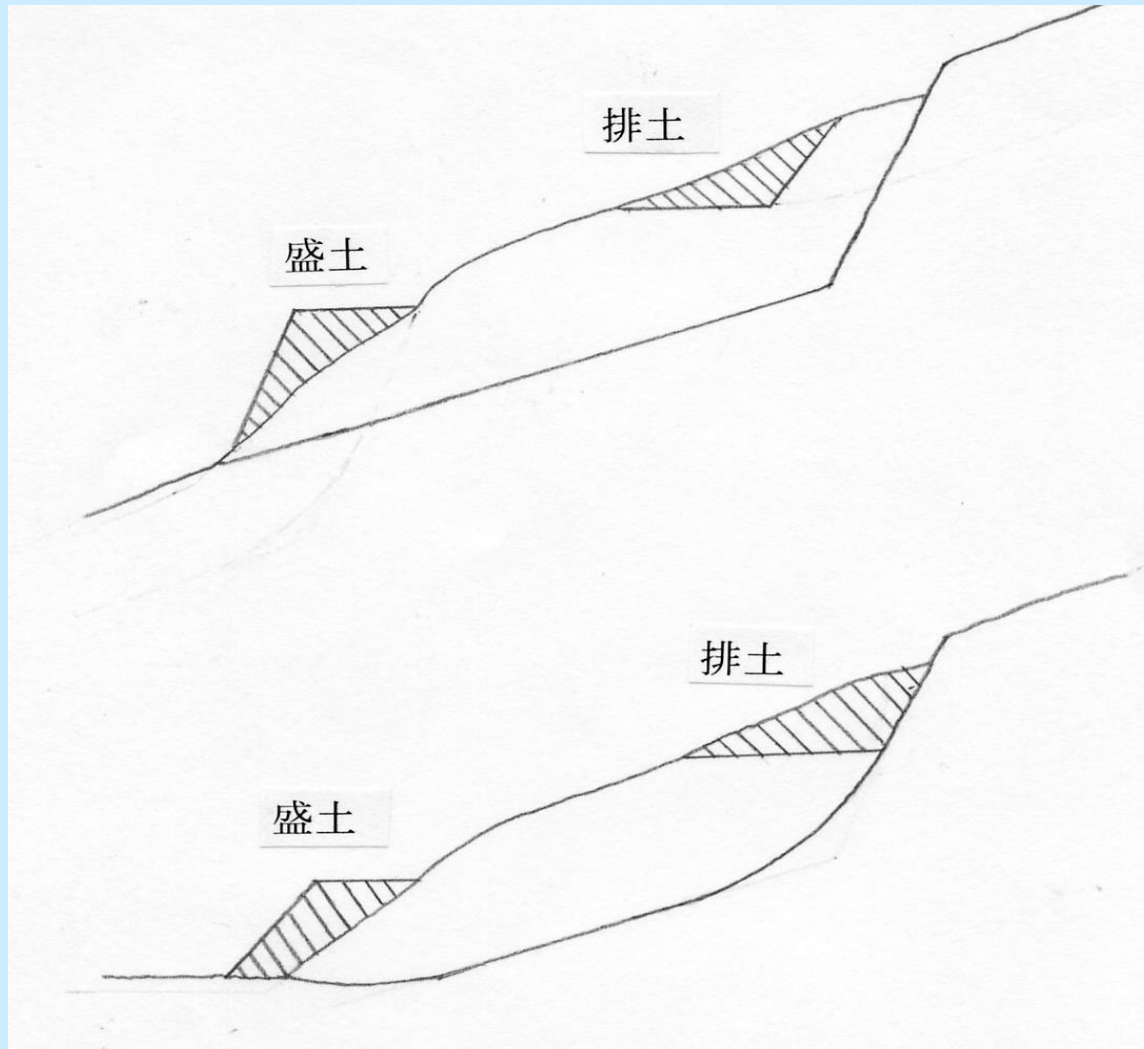


すべり面形状は円弧
になりにくい

新第三紀層の滑動
左:新潟県
下:秋田県



すべり面の形状の違いと 土工による斜面安定対策の成否



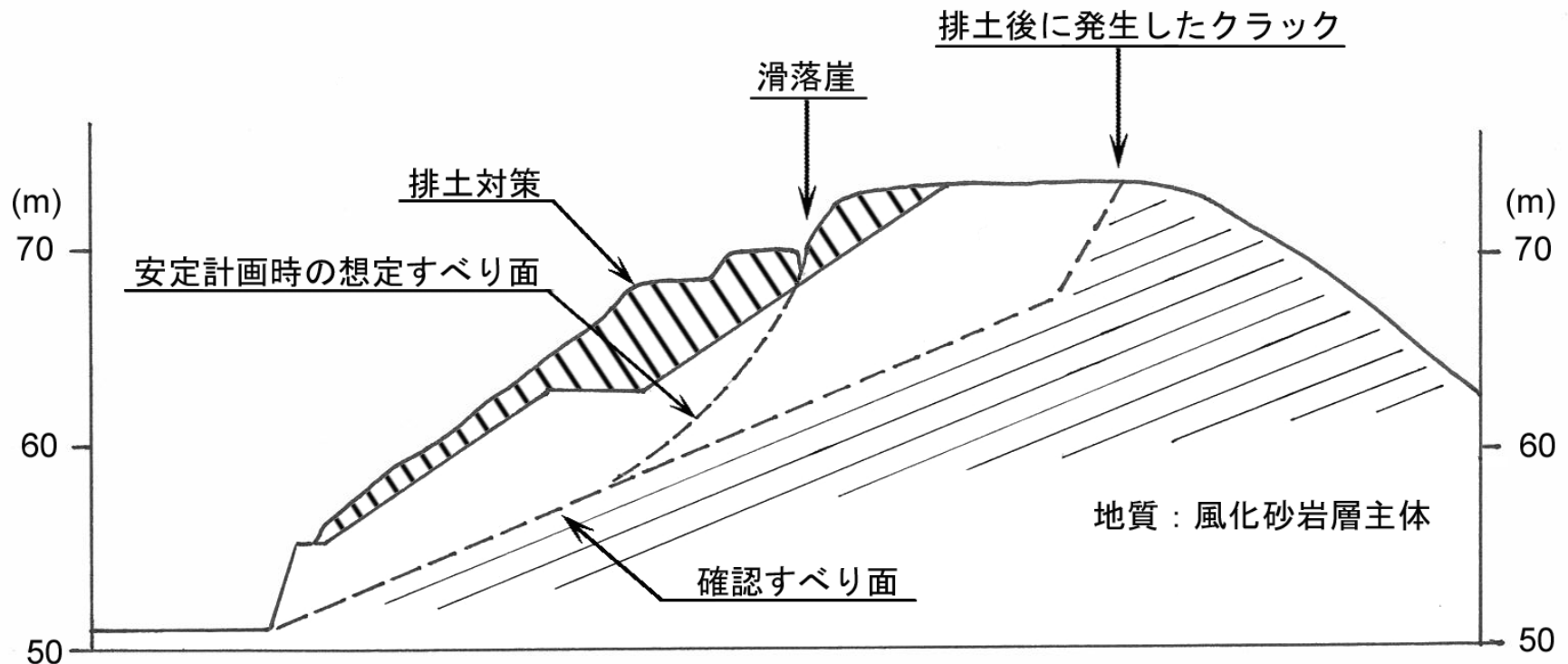
上図
効果の無い土工

下図
効果的な土工

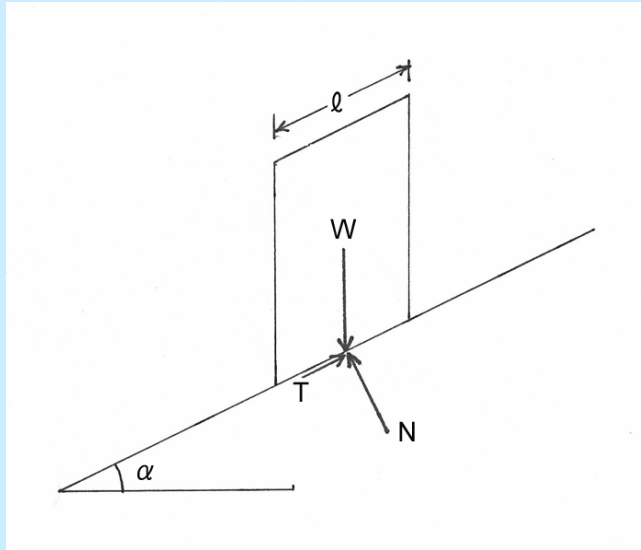
失敗事例 排土工は失敗例が多い

排土効果十分の安定計算結果と実際の違い

安定計算→排土設計→施工→施工中に地すべり拡大
原因は？



直線すべり面では効果のない排土工



W:土塊の重量

N:すべり面における垂直力

T:すべり面におけるせん断力

ℓ :すべり面の長さ

α :すべり面の傾斜角

$$F_s = (N \tan \phi + c \ell) / T \quad (1) \text{式}$$

$$N = W \cos \alpha, \quad T = W \sin \alpha$$

すべり面のせん断強度の粘着力は小さいため、粘着力(c)を無視すると、 $F_s = W \cos \alpha \tan \phi / W \sin \alpha$ (2)式

すべり面が直線であれば排土対策で安全率は変化なし！

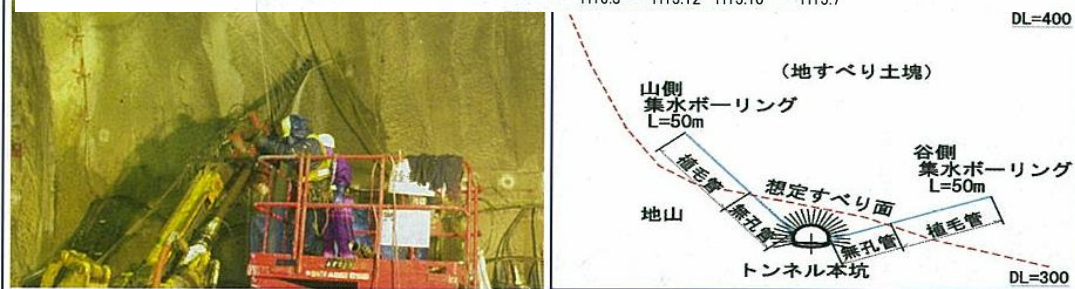
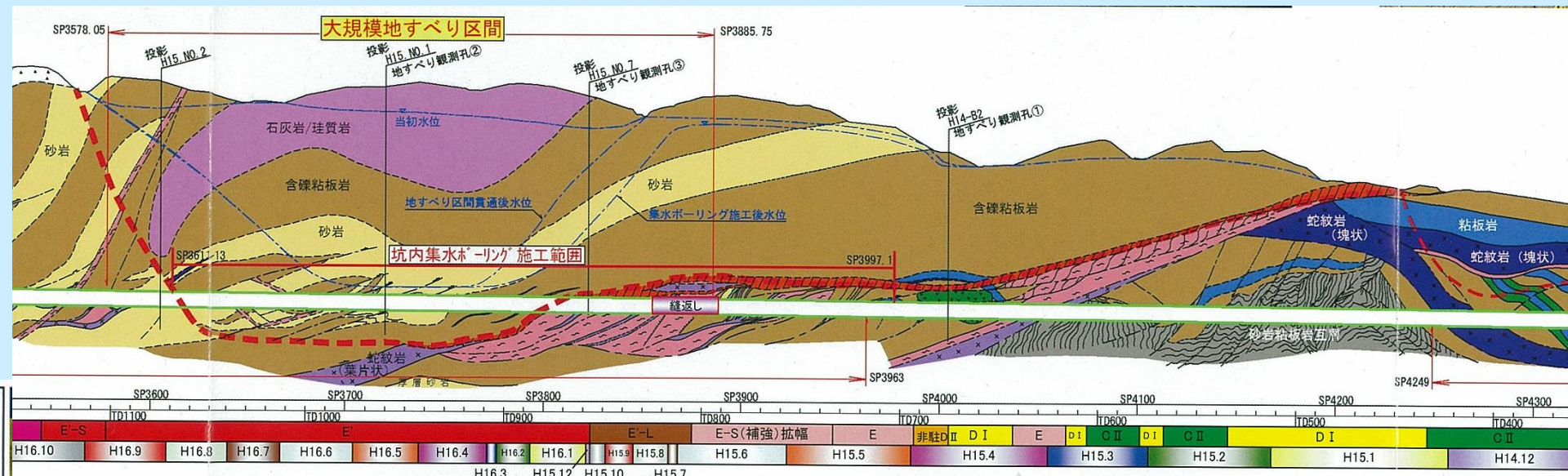
2. すべり面深度を誤らないために

地すべりを貫通したトンネル(1)

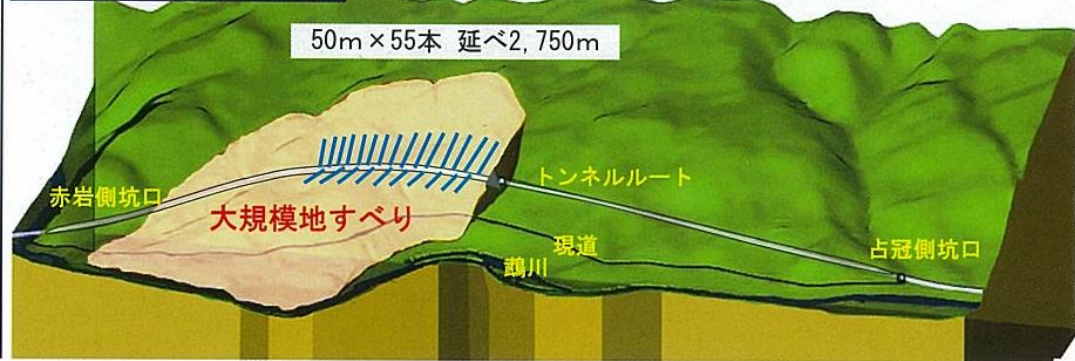


赤岩トンネル地質断面図

旭川土木現業所パンフレット



坑内集水ボーリング工



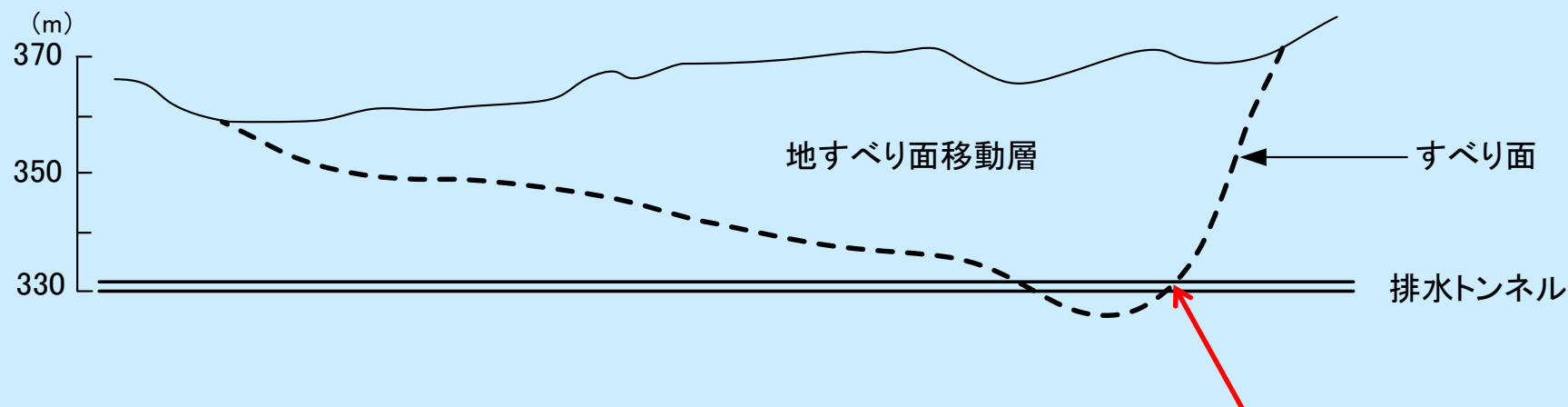
地質: 付加体

砂岩・粘板岩・蛇紋岩

対策工

トンネル坑内からの横孔排水

地すべりを貫通したトンネル(2)(長者地すべり)

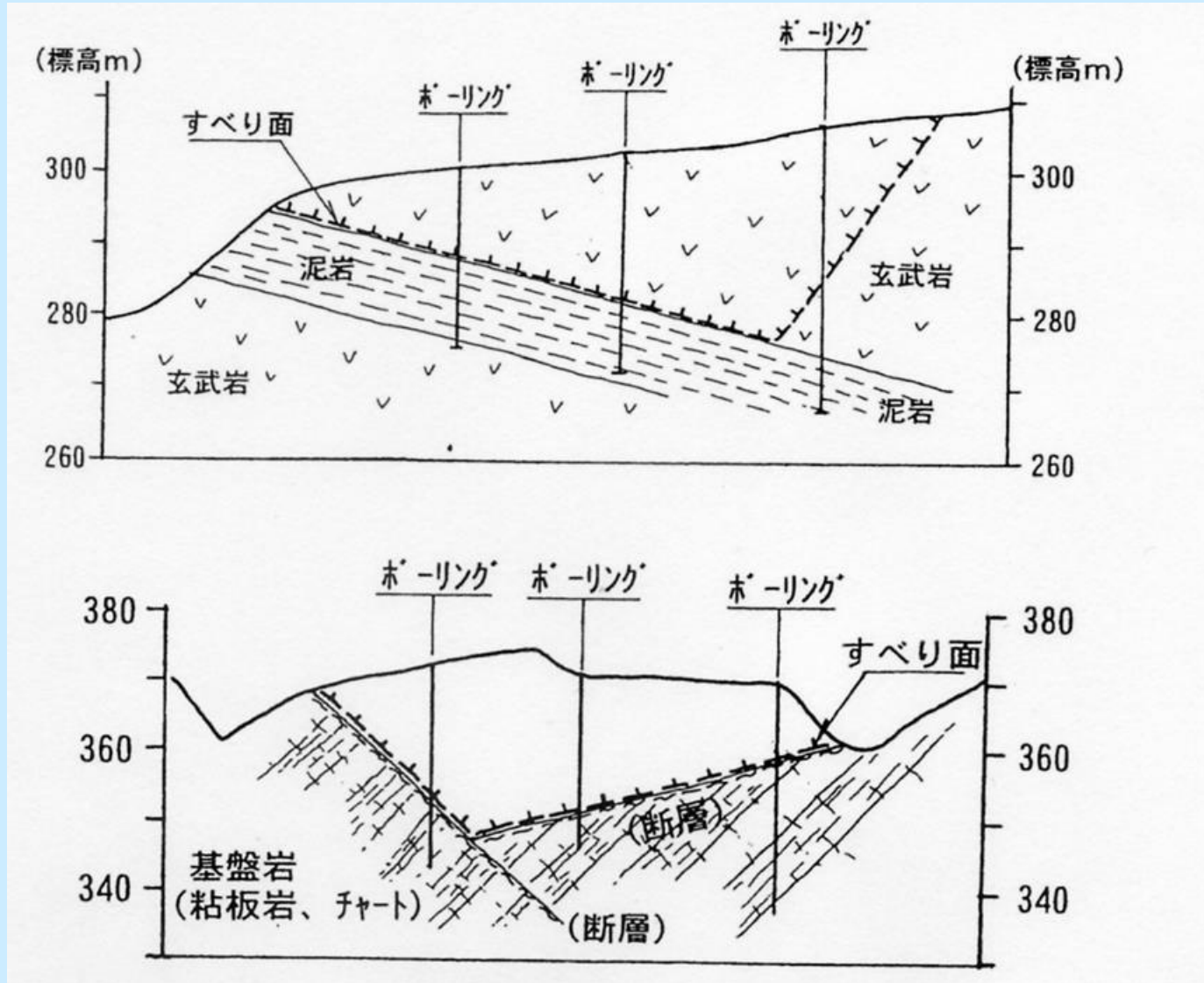


排水トンネルが移動層を
貫通
断面の中央がすべり面の
最深部ではない！

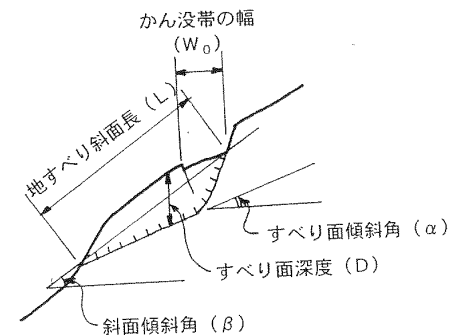
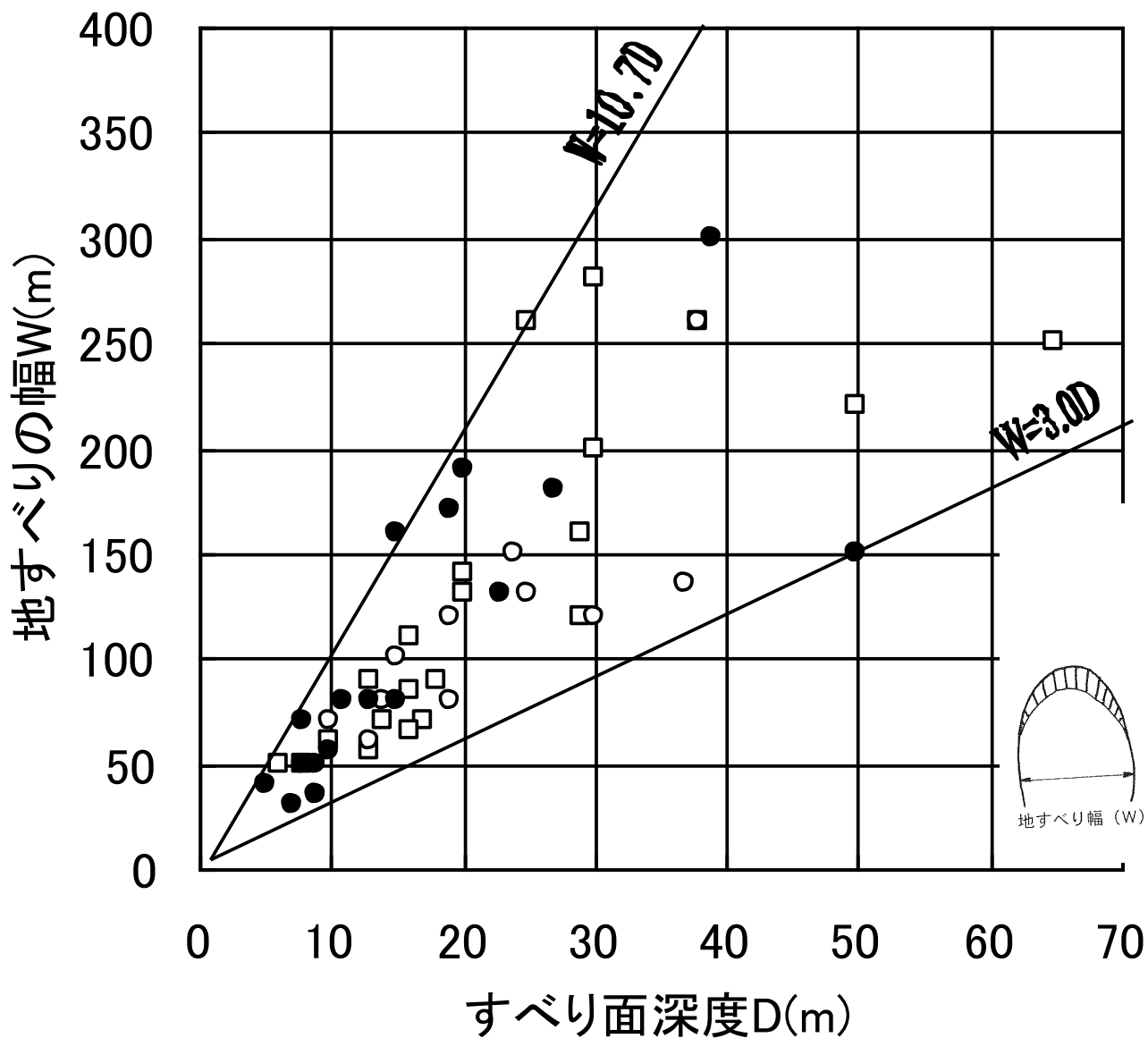


地すべり横断形状

地質構造に規制され、非対称な場合が多い



すべり面深度と地すべりの幅の関係



地すべり頭部**陥没帯**からすべり面深度の想定
初期に現われる陥没帯の幅は、
その付近のすべり面深度に等しい



地すべり頭部の**陥没帯**

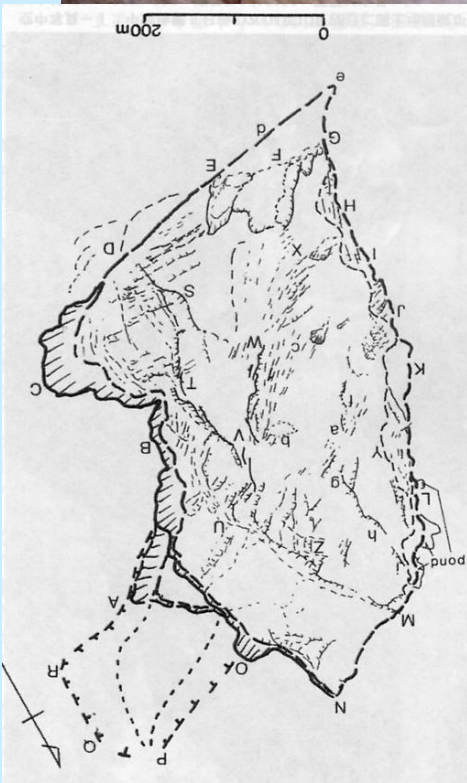


陥没帯の中で沈下した家屋
(佐賀県)



家屋の左手が不動地盤
右手が地すべり移動体

地すべり頭部の**陥没帯** 中越地震(一つ峰地すべり)

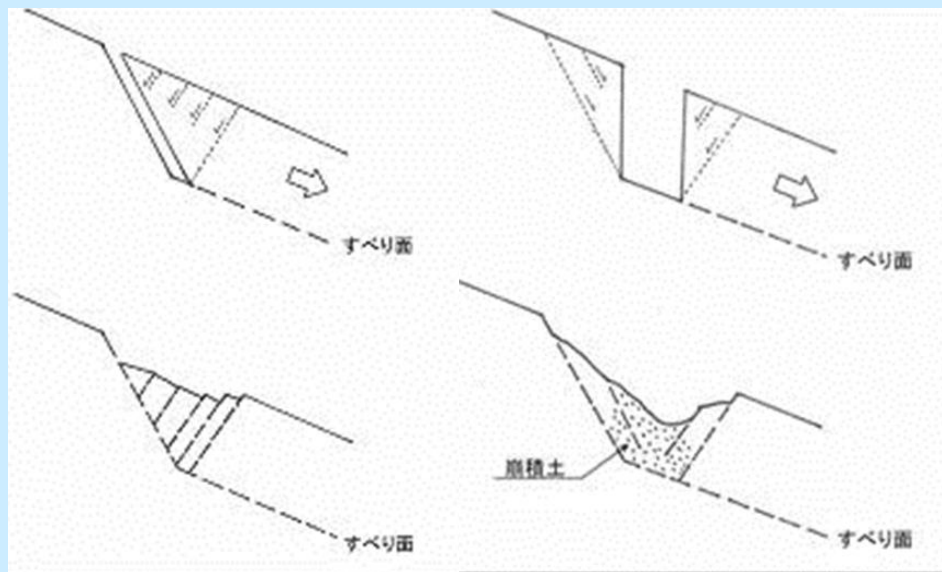


本体が右に移動し、引張ゾーンが陥没

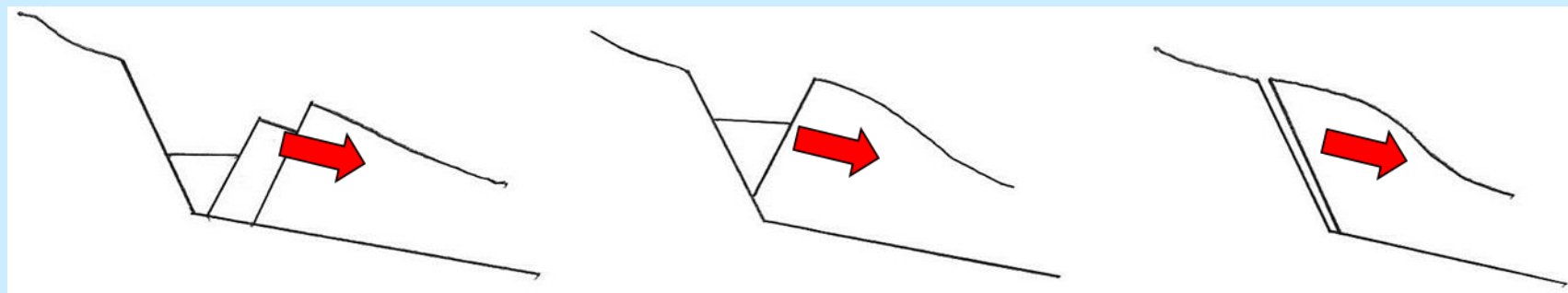
空中写真判読は大八木原図

地すべり陥没帯の形成

陥没帯の地質は崩積土などの堆積土砂



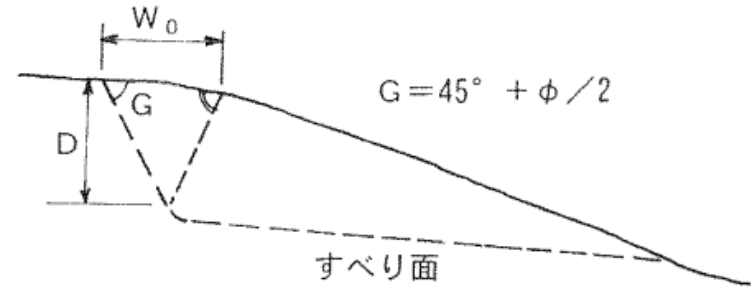
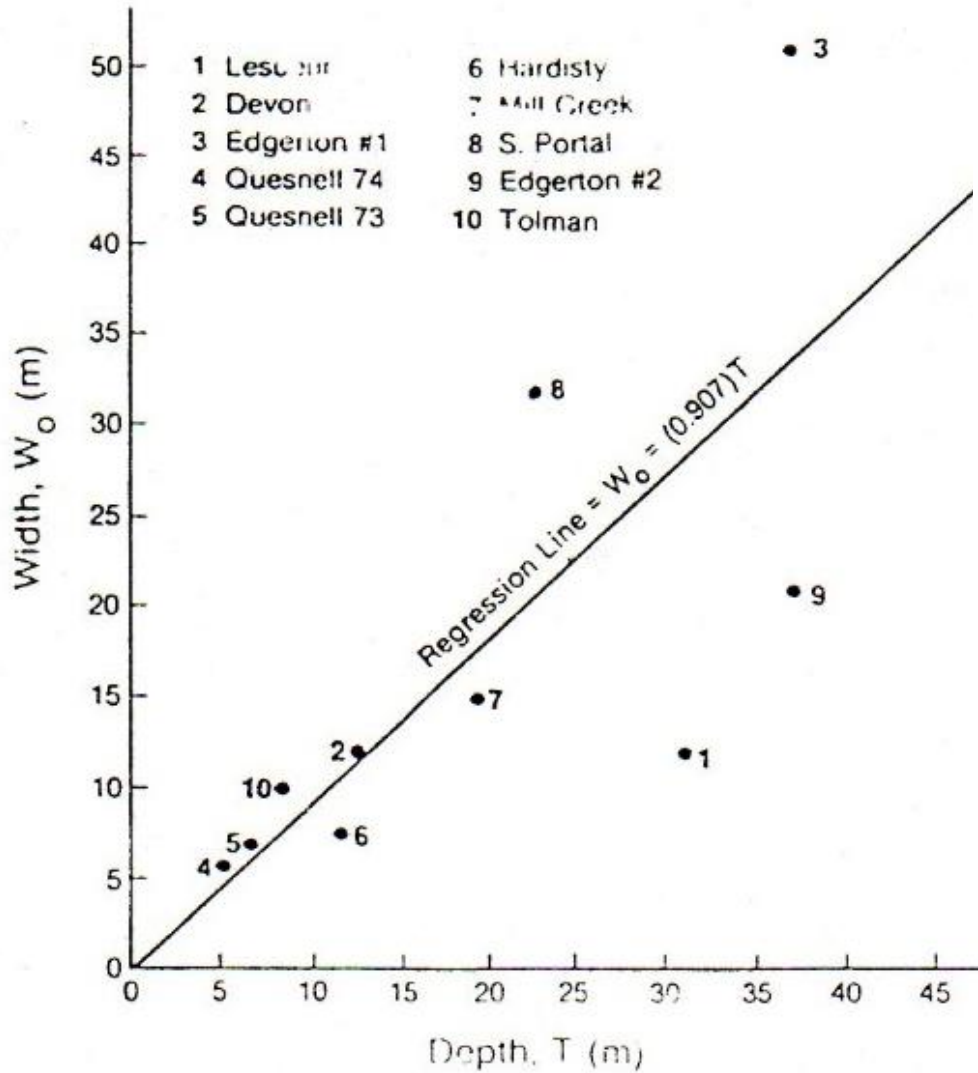
地すべり陥没帯の形成過程
(左右の図は移動速度の差を表現)



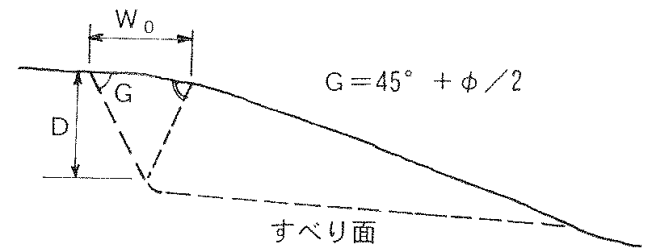
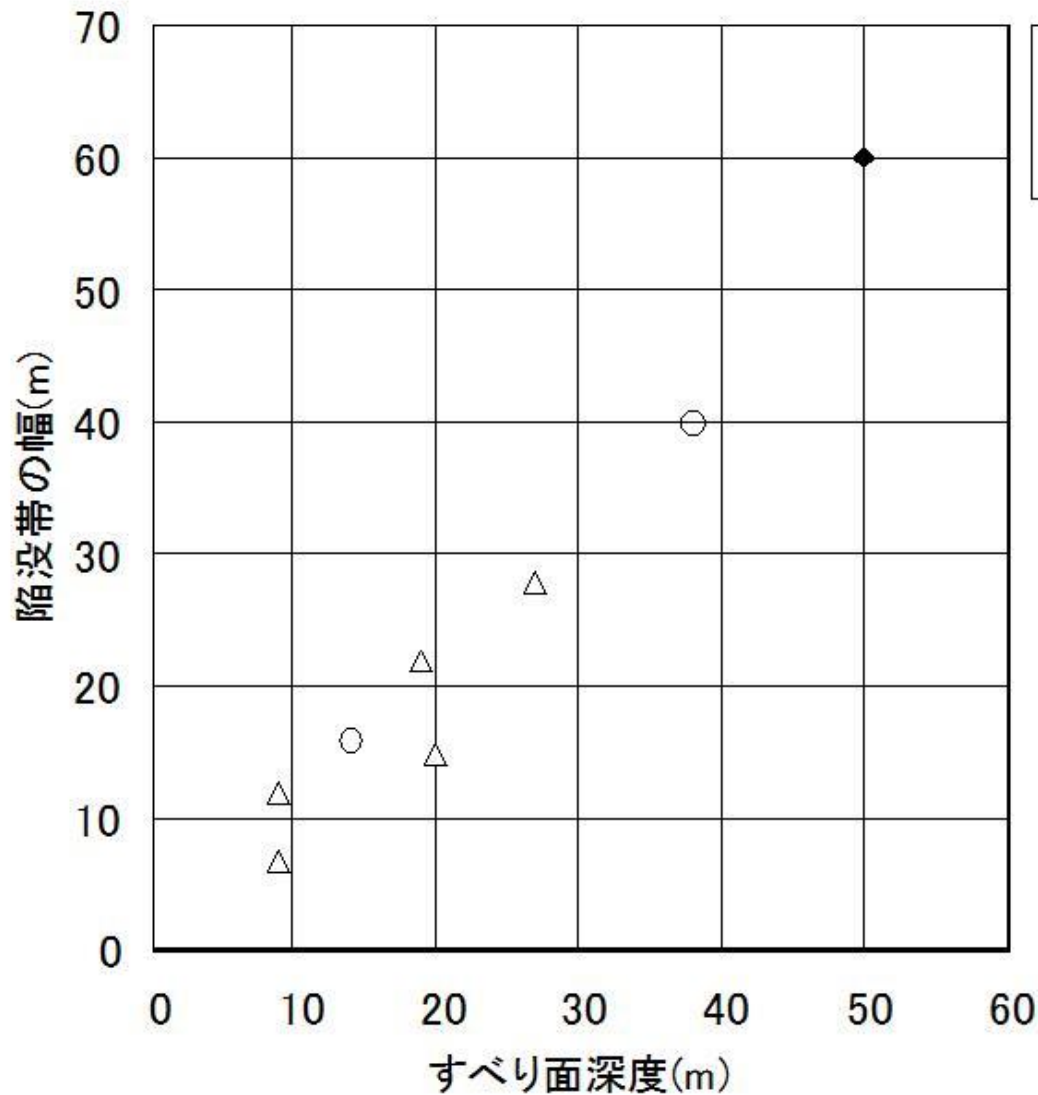
申(1995)による地すべり頭部における陥没凹地の形成過程を簡略化

申潤植(1995): 地すべり工学-最新のトピックス、山海堂、p.79

陥没帯の幅とすべり面深度の関係

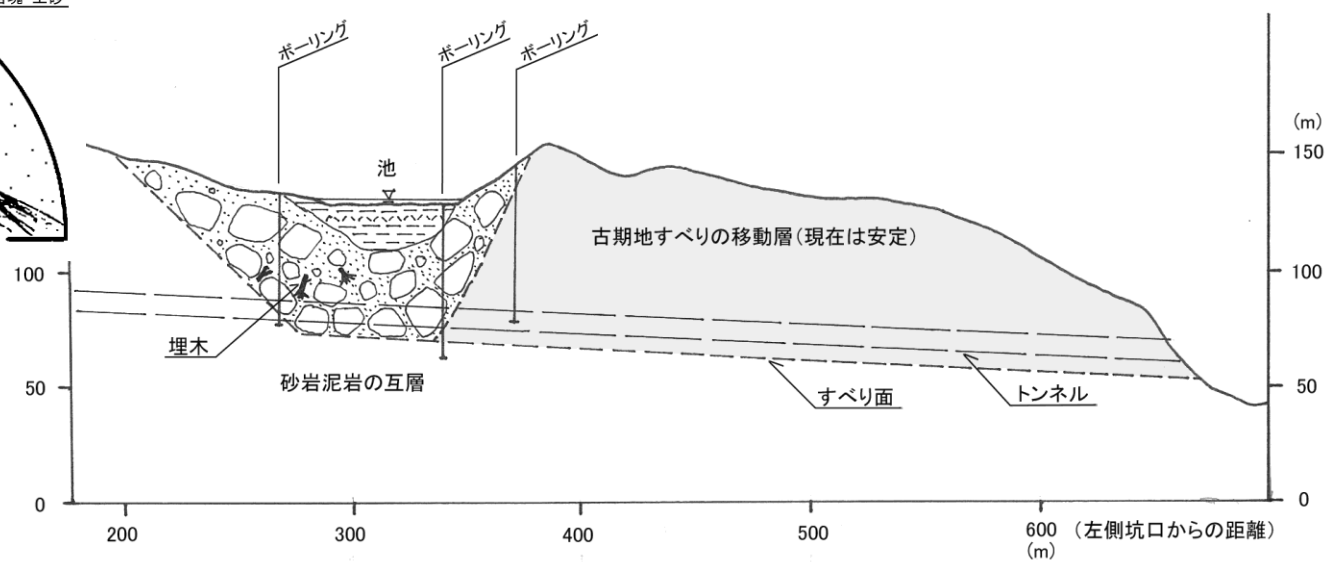
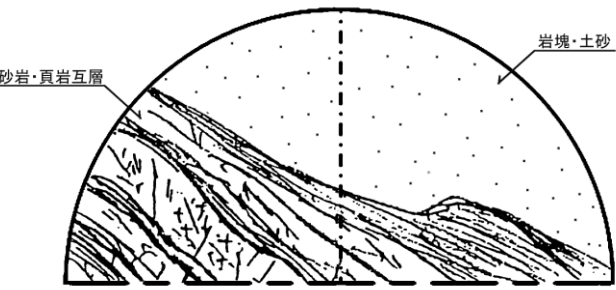
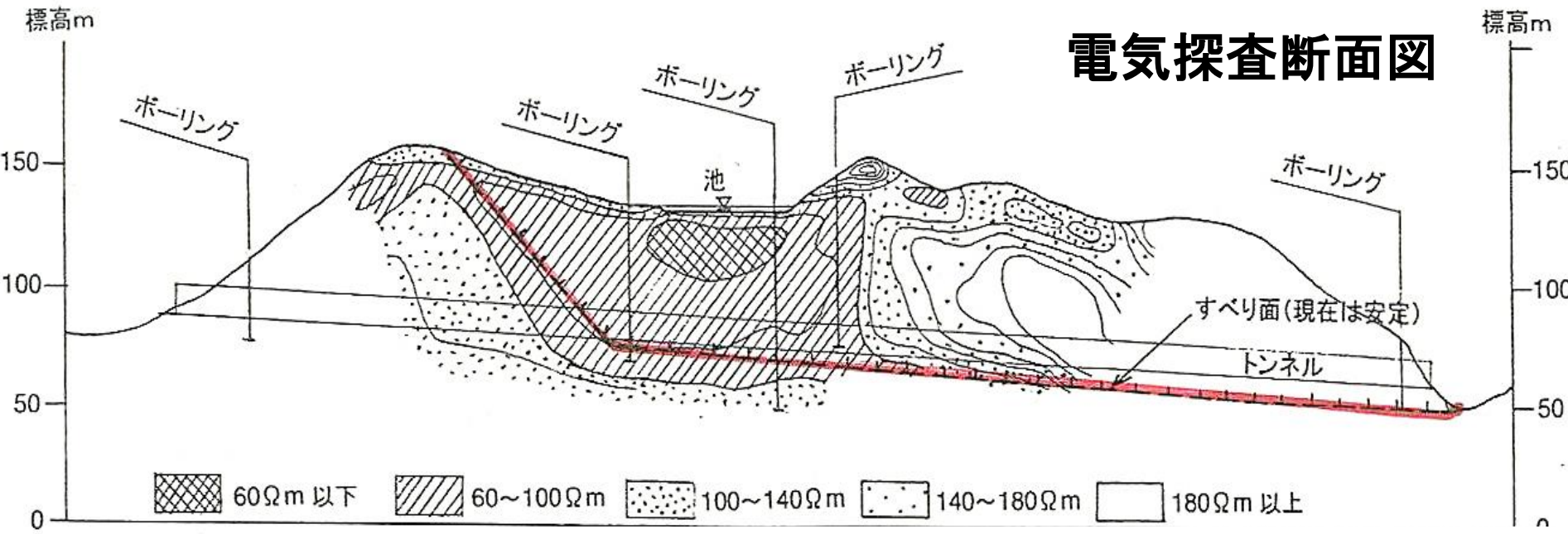


陥没帯の幅とすべり面深度はほぼ等しい



陥没帯に遭遇したトンネル(大幅な設計変更)

電気探査断面図



**基盤は和泉層群の砂岩・泥岩
切羽に土砂が出現**

地すべり陥没帯に遭遇したトンネル

切羽から土砂の押し出し
坑口まで1000m流下



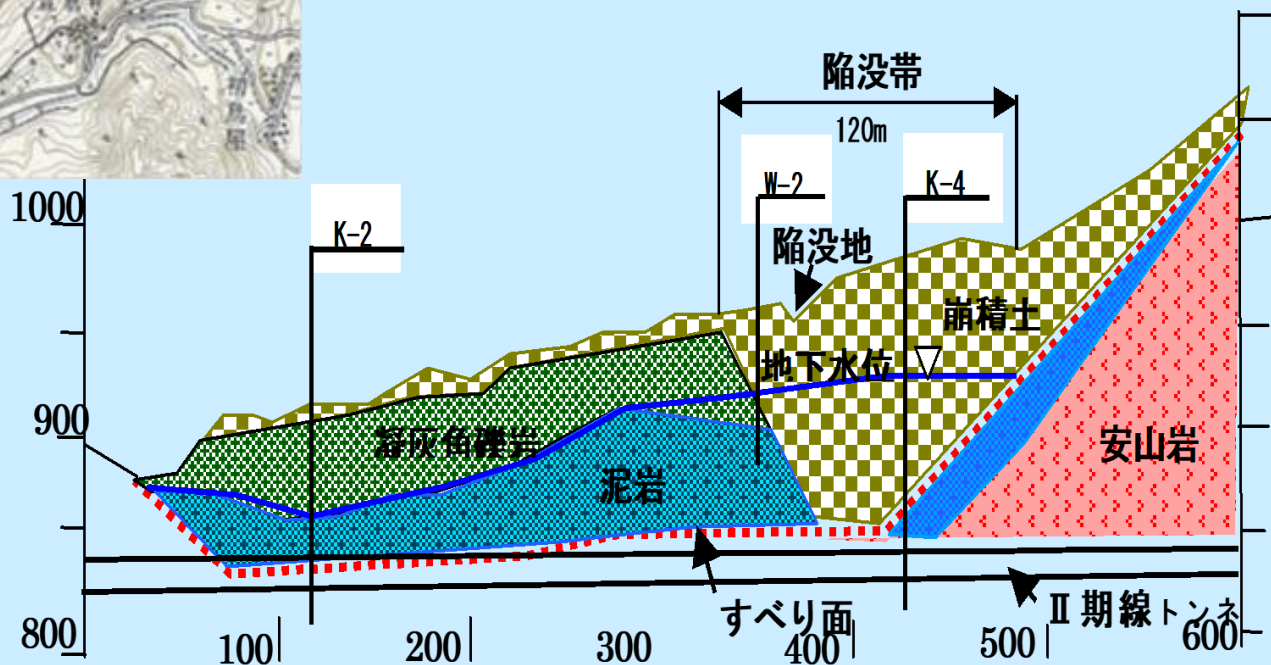
上信越道日暮山T
平成13年11月
住友建設(株)撮影



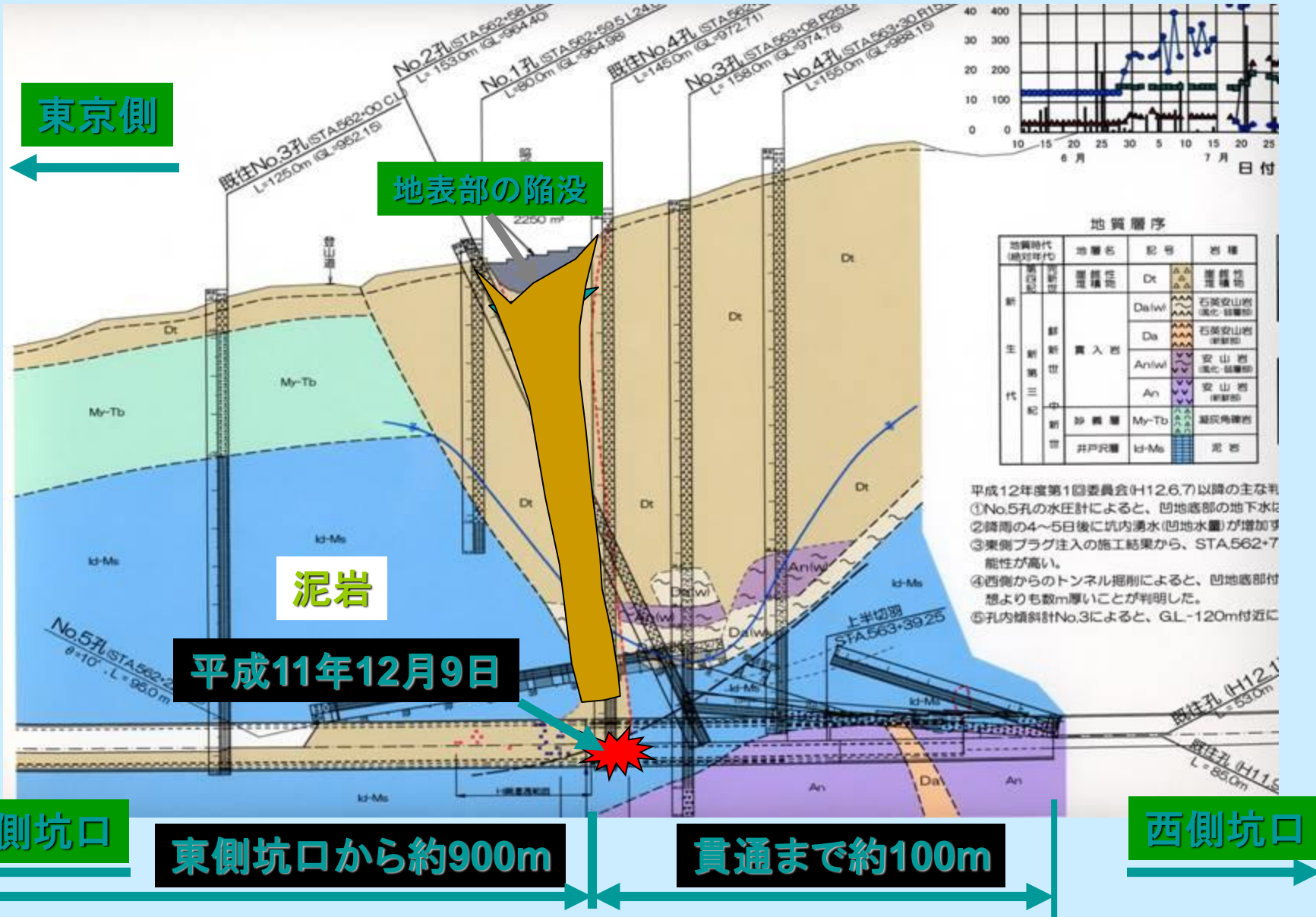
上信越自動車道日暮山トンネル 地すべり陥没帯に遭遇

2期線施工の陥没帯への遭遇まで、
1期線の覆工コンクリートの変状は
泥岩の膨張と想定されていた

2期線施工で陥没帯
に遭遇
→トンネル内に岩塊
や土砂が流入、地
表には陥没凹地形
成

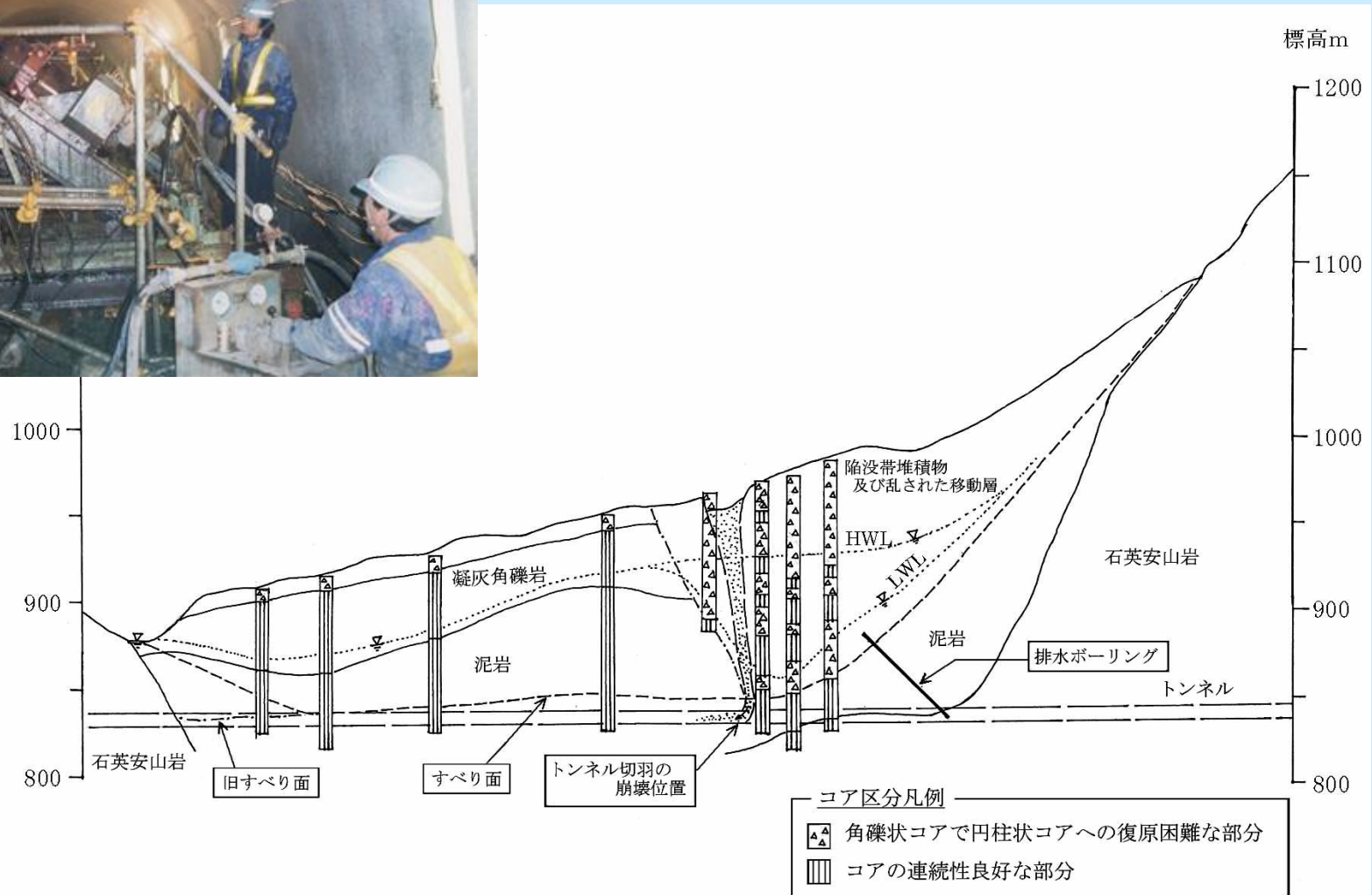


トンネルの崩壊と地表の陥没



陥没帯の排水で地すべりを抑制

本坑から直交する排水トンネル掘削
L=80m 24本の集水ボーリング

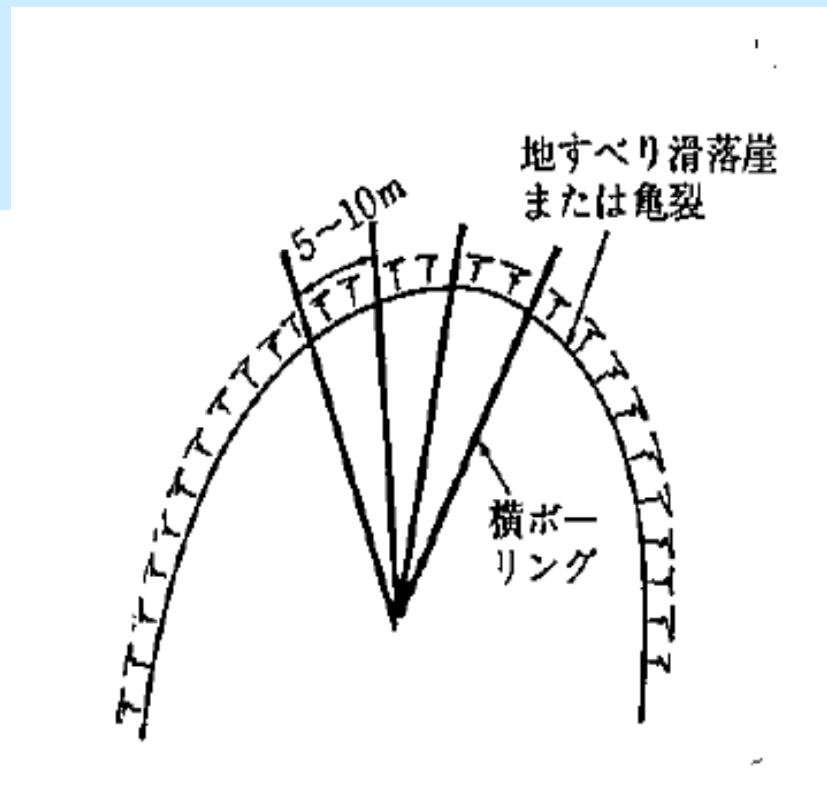
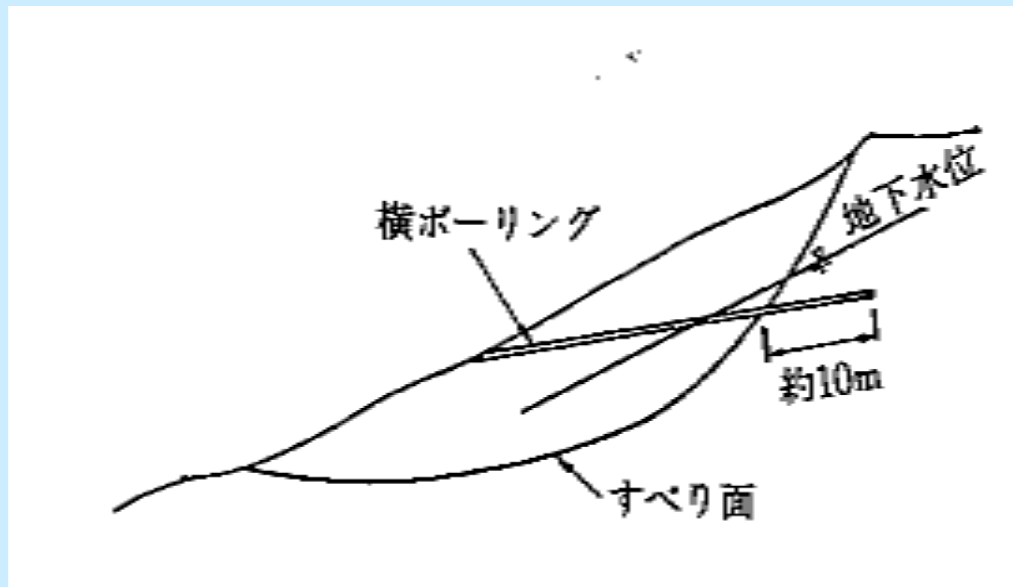


3. 地すべりの地下水



指針類に示された排水対策(図は正しい)

説明が不十分で対策効果の
発揮されない現場例が多い

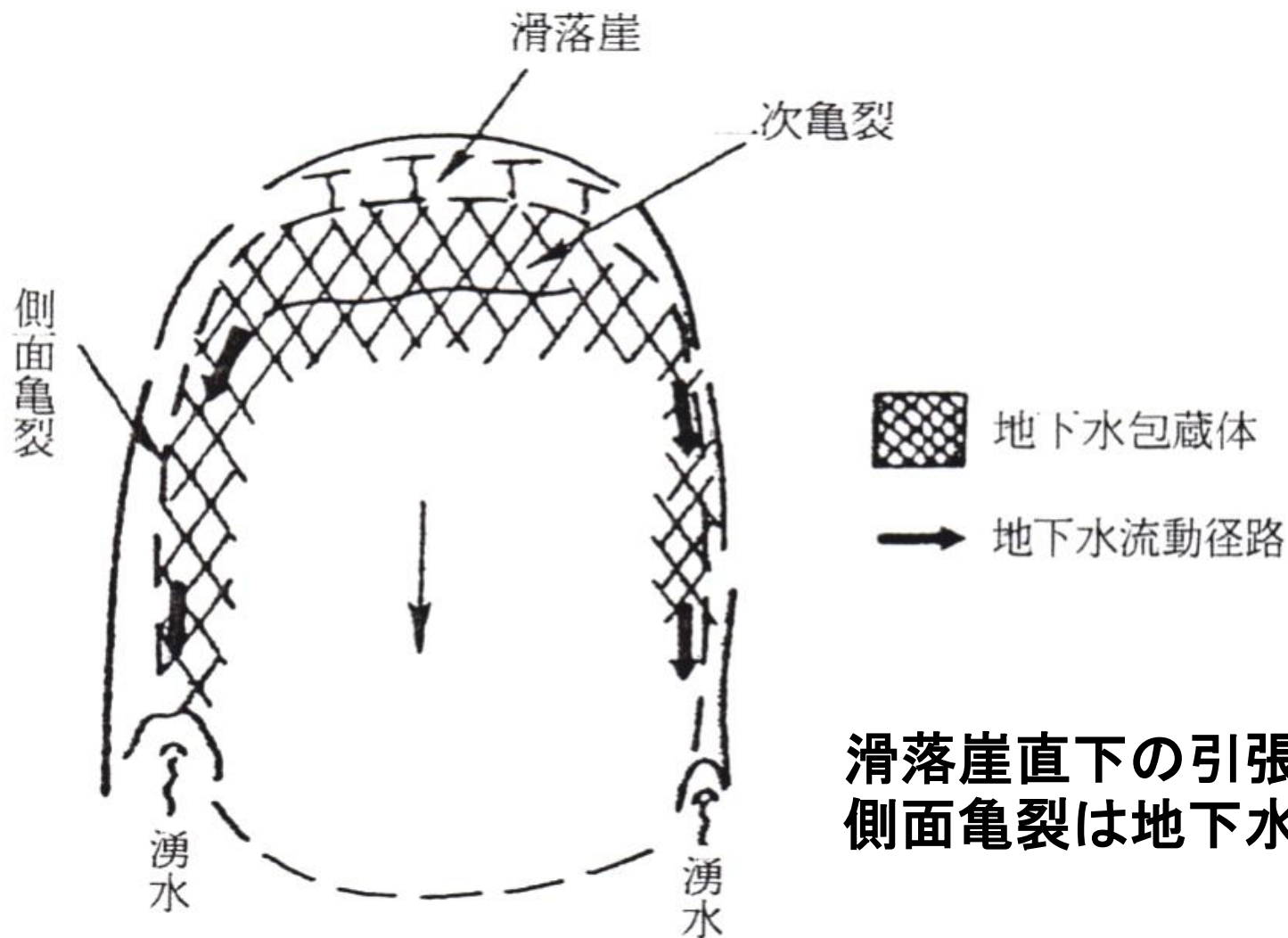


<横ボーリング排水工>

平面配置: 延長50~80m 先端間隔は5~10m

断面延長: すべり面を切って10m程度の余堀をする

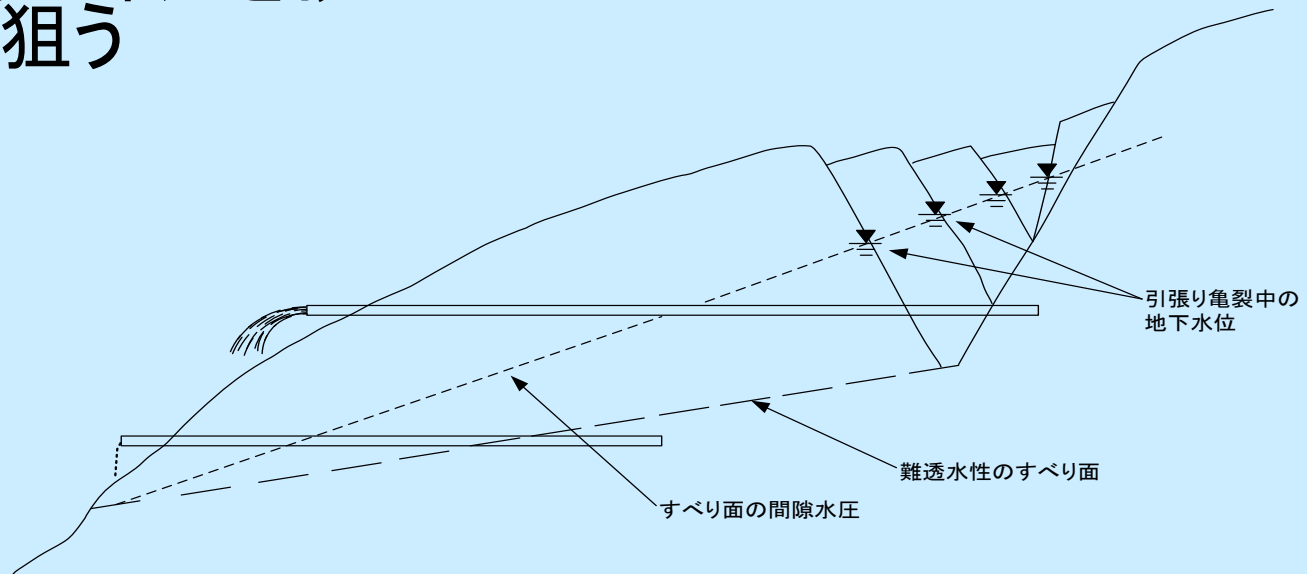
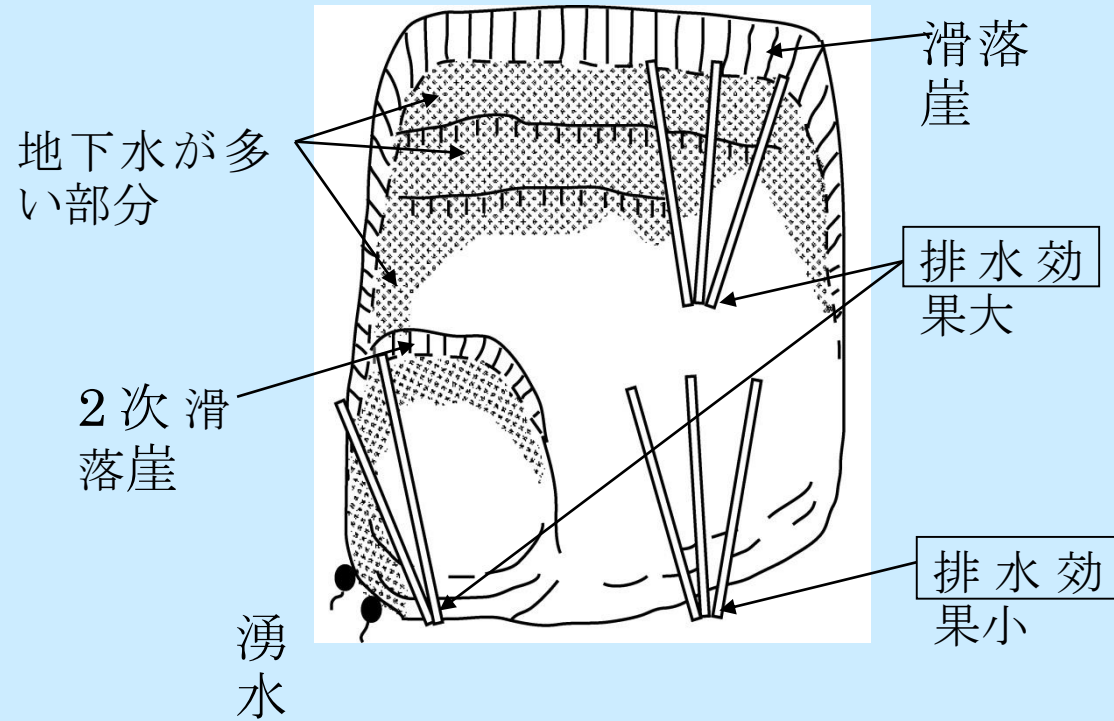
地すべり地の地下水分布



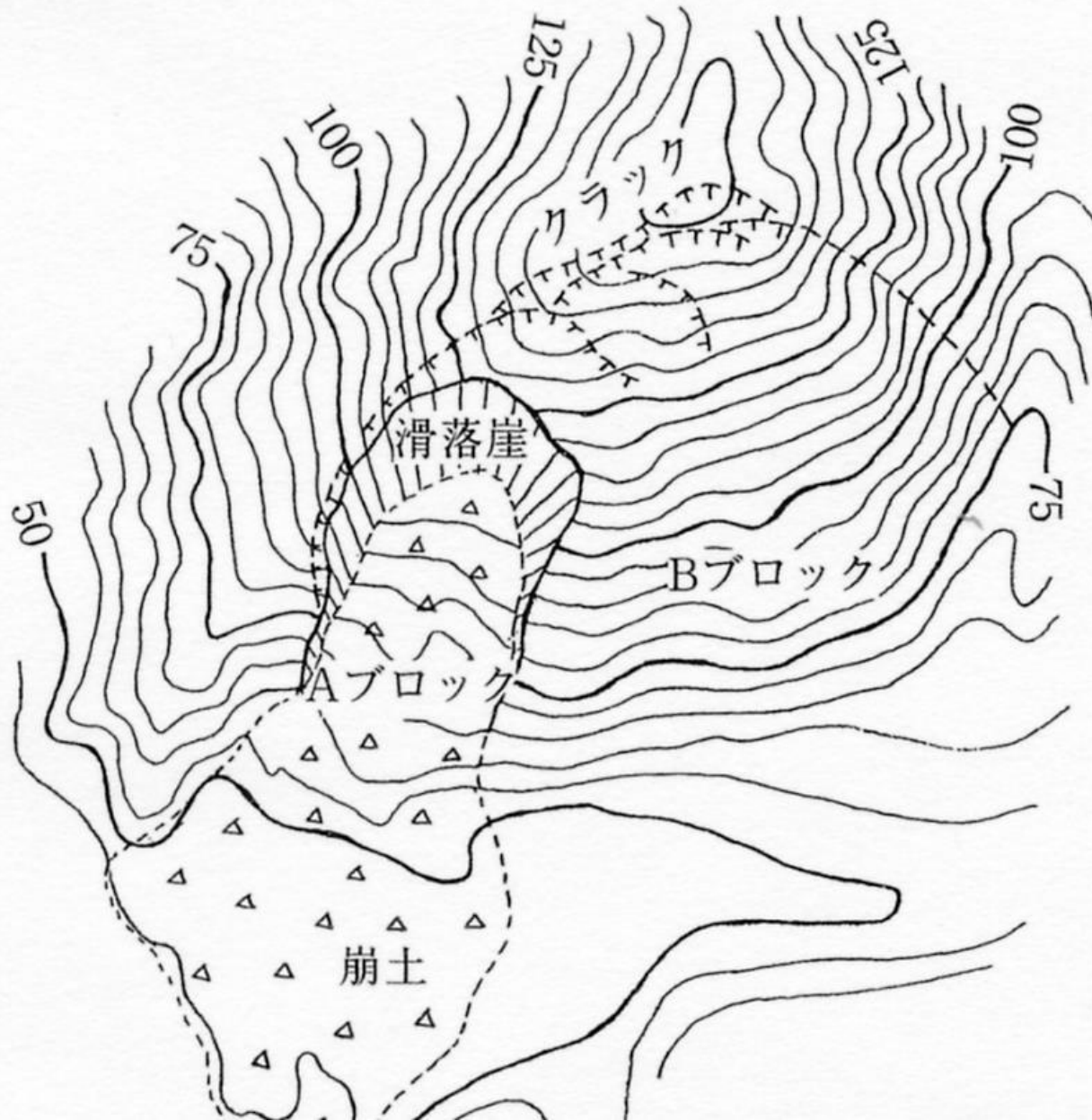
渡正亮: 斜面災害の機構と対策、山海堂、pp.73~76, 1986.

地すべり地の 地下水分布 と効果的な排水対策

水量は少なくとも、すべり面には大きな間隙水圧が作用
透水性の良い部分を排水対策で狙う



実例 不安定化した斜面の末端側面の崩壊



鹿児島県
毘沙門地すべり

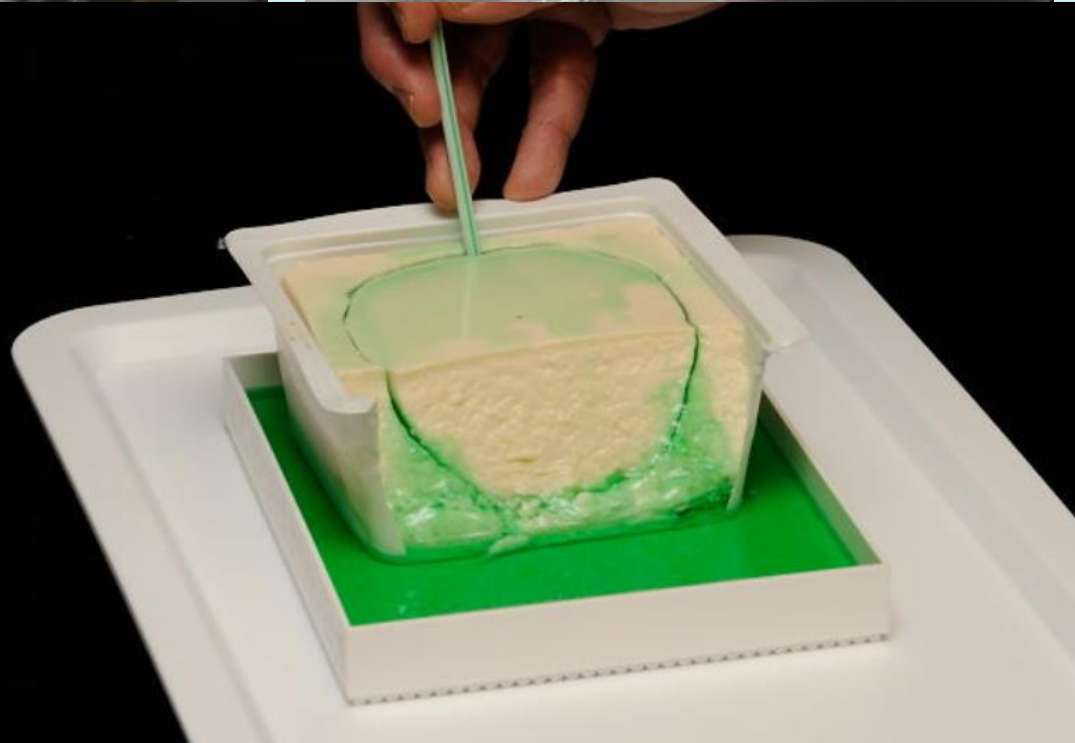
平成5年9月20日
死者2名
負傷者3名
家屋全壊2戸

当日雨量6mm
6月～9月雨量
2,172mm
(平年の2倍)

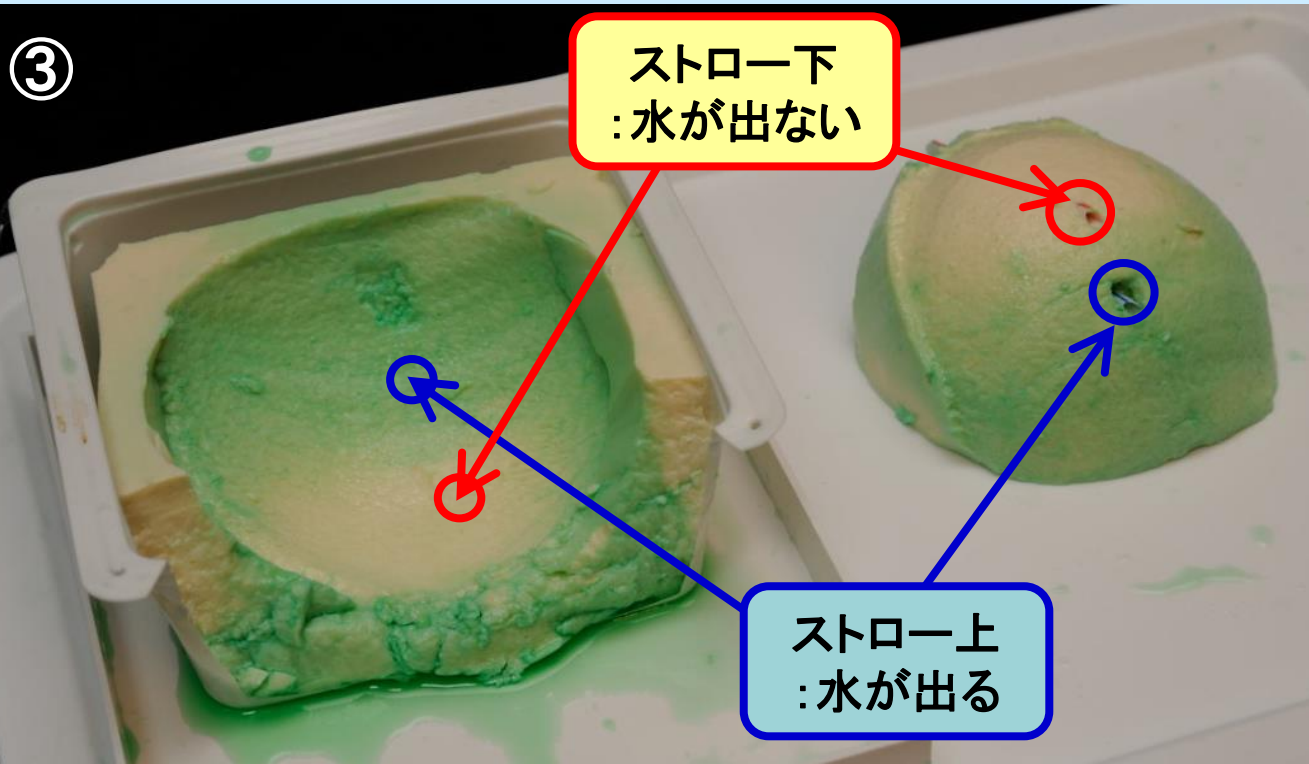
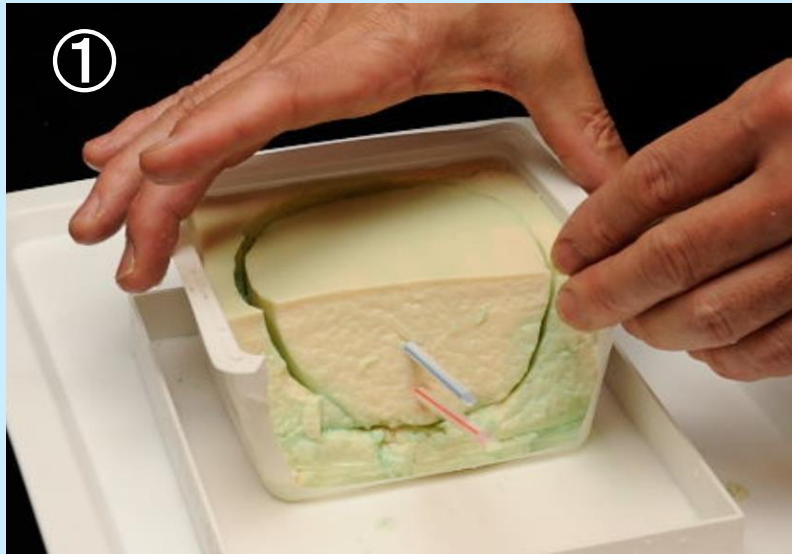
0 50 100m

地すべり地の地下水、とうふ実験 (株)藤井基礎設計事務所(藤井俊逸氏)提供

準備→
実験↓
色水の流入
と浸み出し



排水ボーリングの効果



①とうふ地すべりの上下にストローを入れる。

②頭部亀裂に注水上段ストローから水が多く出る

③すべり面の内部を見る(水の痕跡)

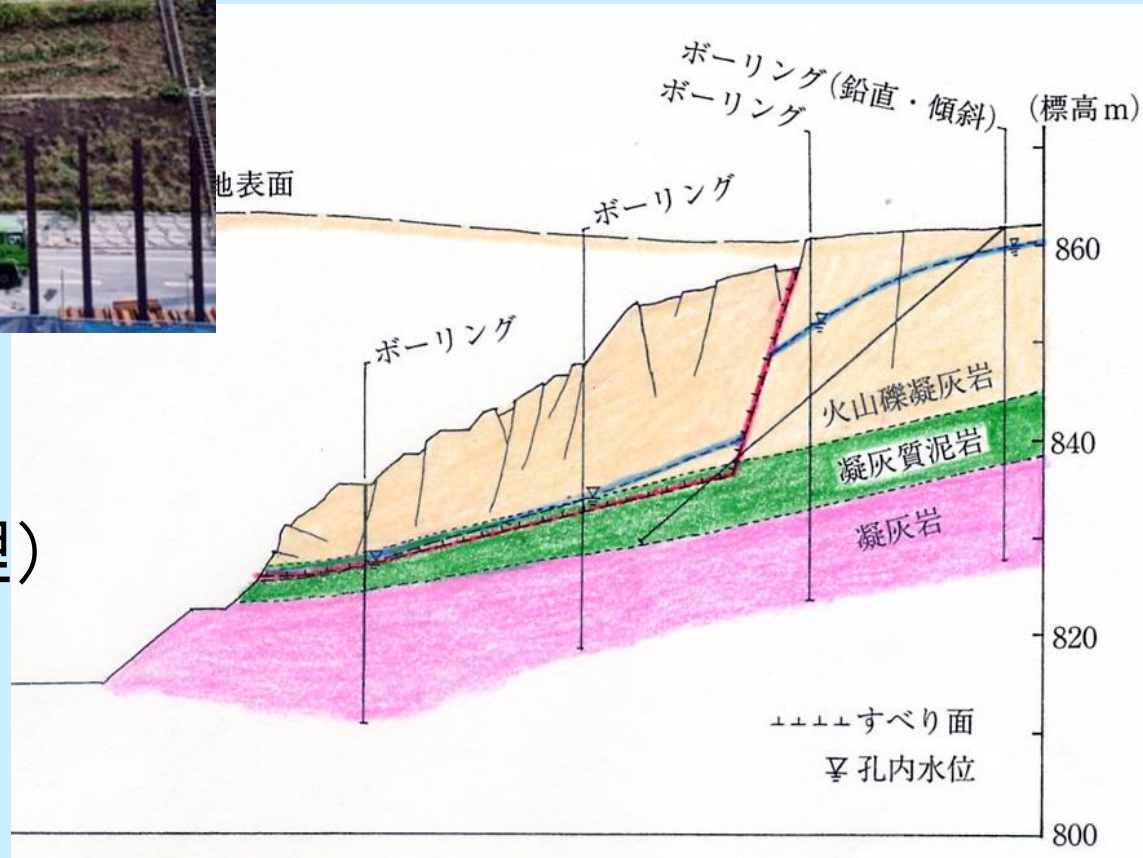
強大な間隙水圧の作用(1)

降雨後の流れ盤のり面の滑動(上信越道:小諸)



切土7年後の降雨時に滑動

急傾斜の割れ目(節理)
の水圧で2m滑動



流れ盤のり面の滑動(続き)

切土後の応力開放→急傾斜節理の開口→水圧の作用



強大な間隙水圧の作用(2)



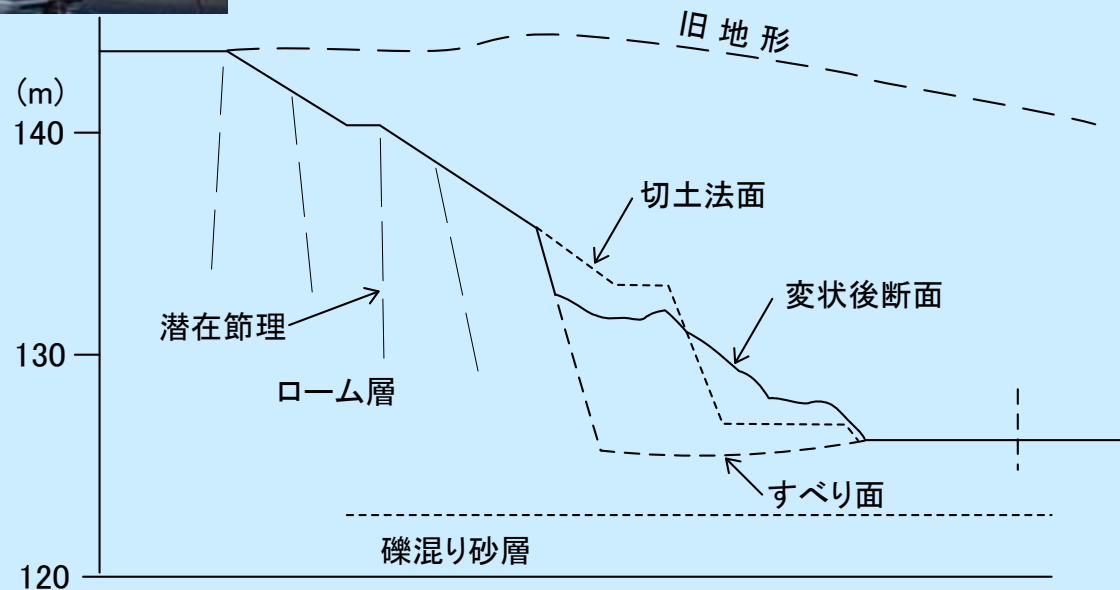
降雨後の法面の滑動

末端の歩道部分は約
2m隆起

地質は関東ローム

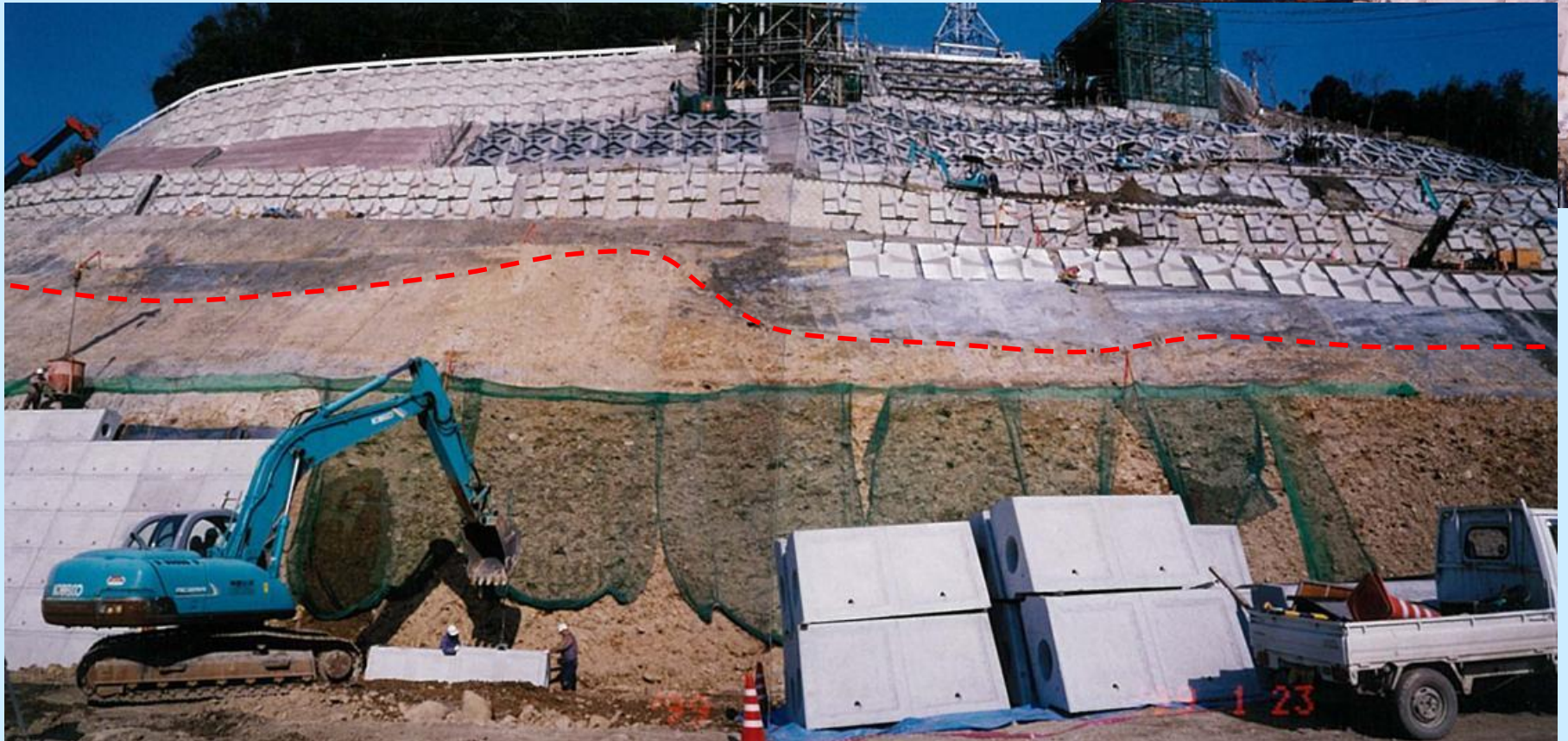
切土後の応力解放
切土数年後に発生

原因: 関東ローム層
の潜在節理の開口
部に表流水が流入



強大な間隙水圧の作用(3)

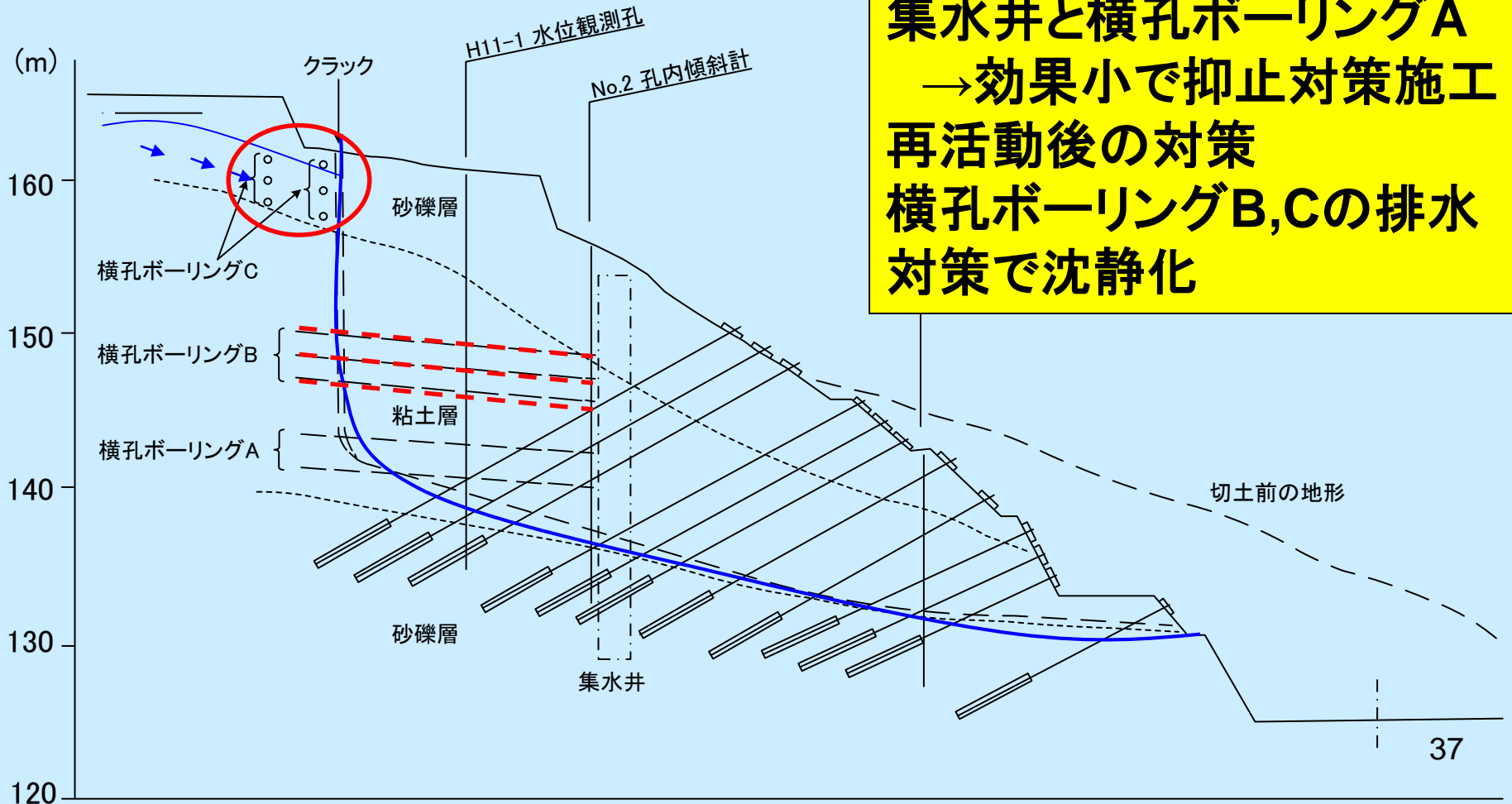
わずかな流入地下水が
グラウンドアンカー対策法面を
動かす(徳島道)



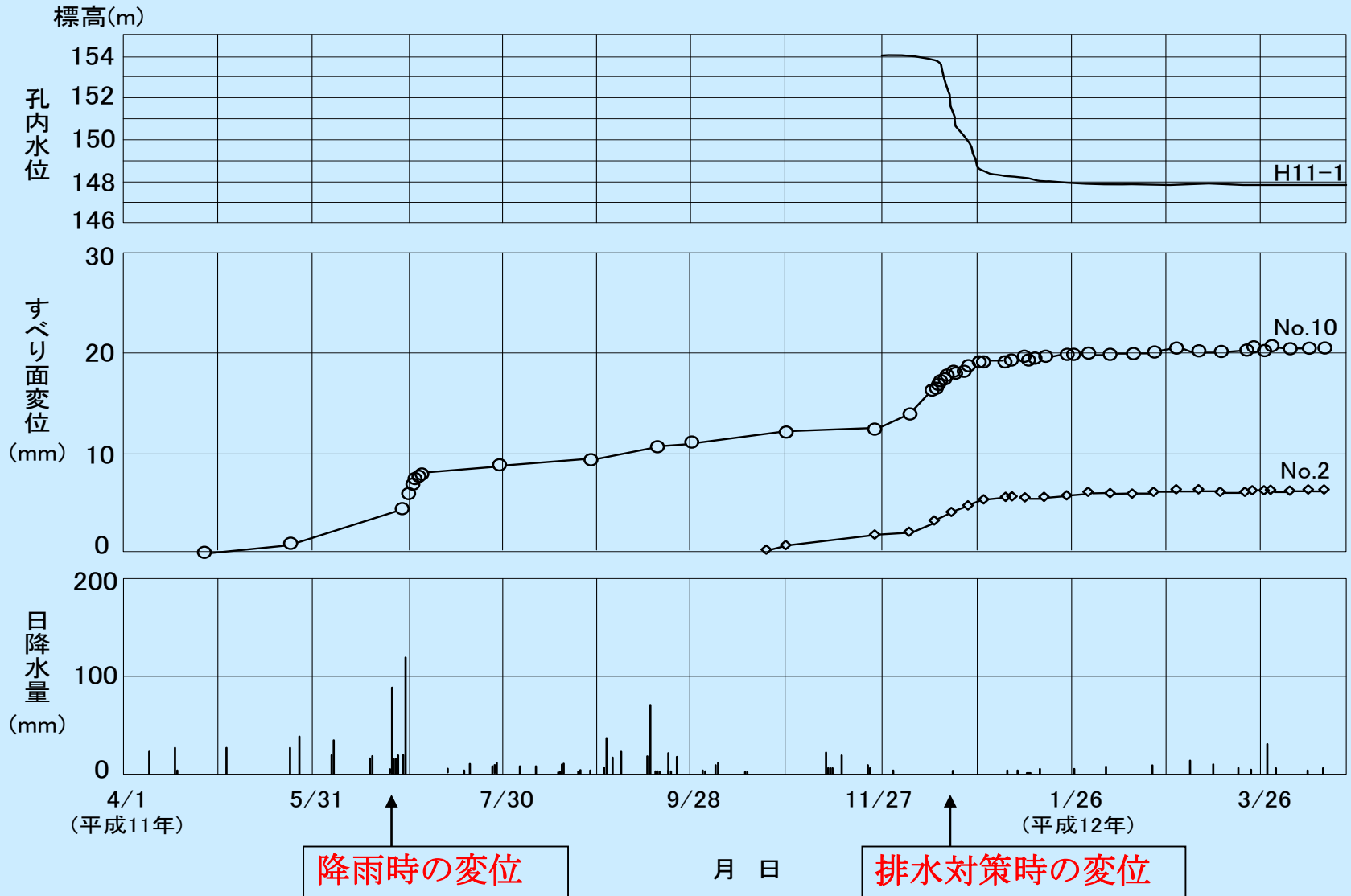
抑止・抑制対策と浸透水の流れ

抑止力2500KN/mのアンカーも水圧に負ける

切土施工時の対策
集水井と横孔ボーリングA
→効果小で抑止対策施工
再活動後の対策
横孔ボーリングB,Cの排水
対策で沈静化



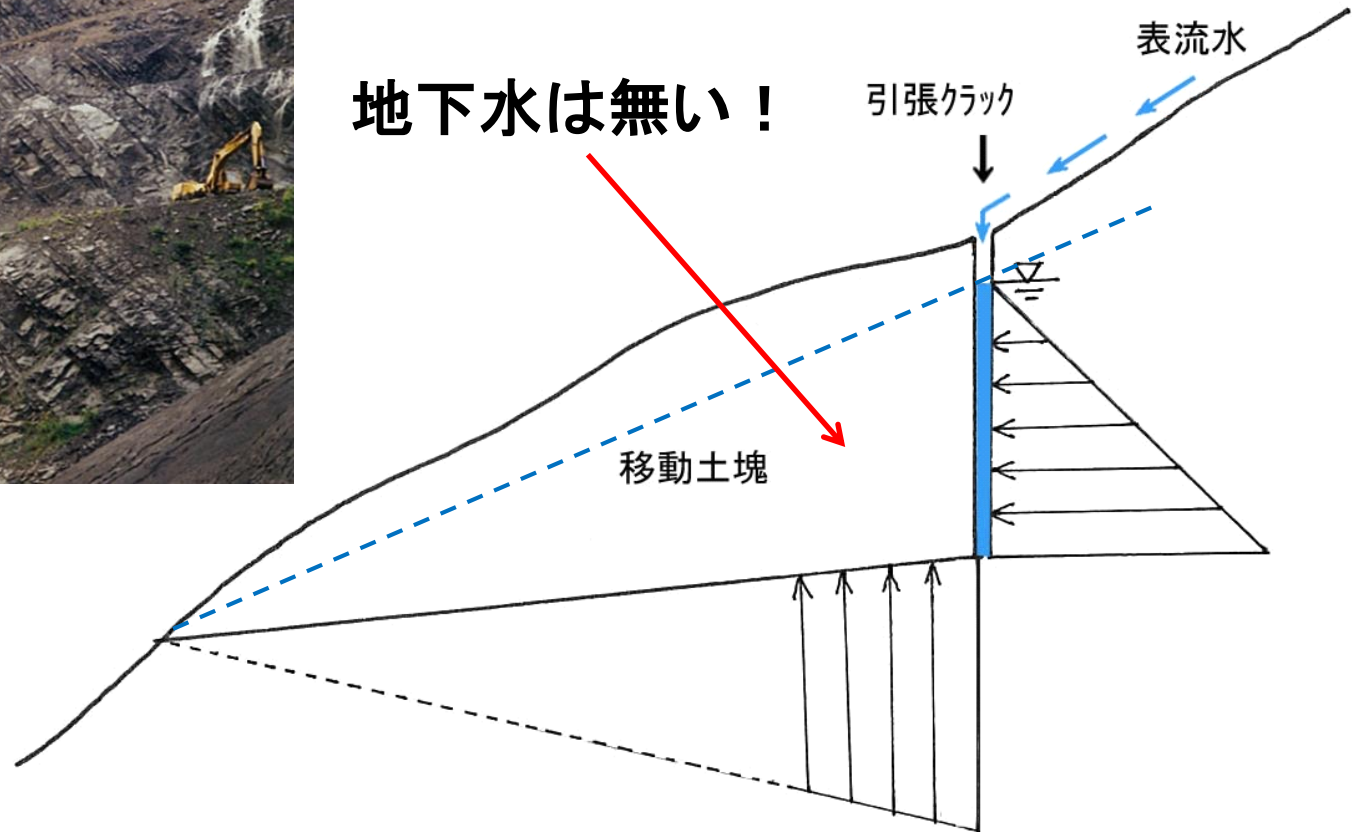
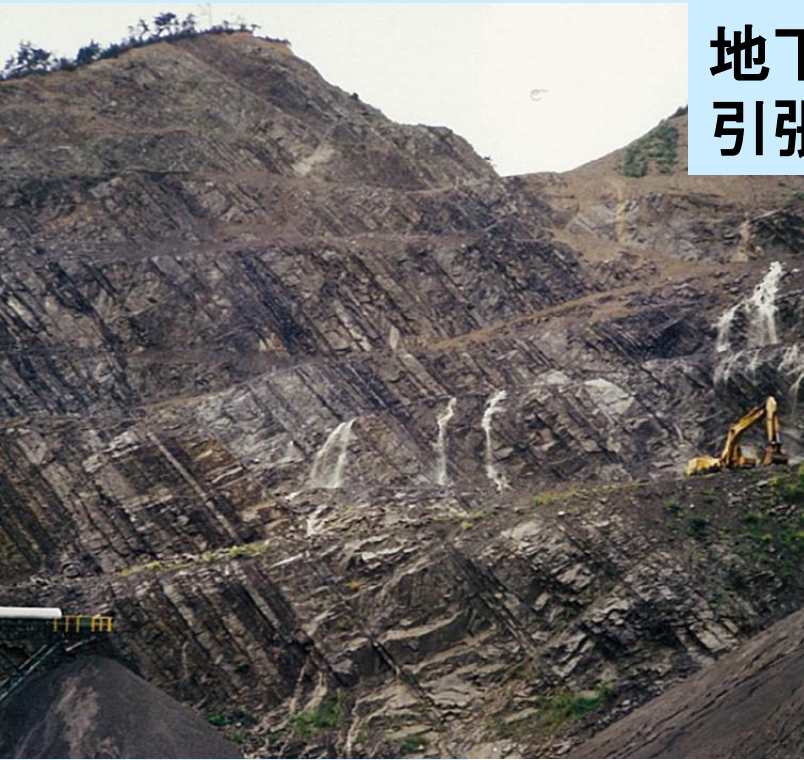
降雨に伴う地すべり変動、排水対策施工時の地すべり変動、および排水対策後の孔内水位低下



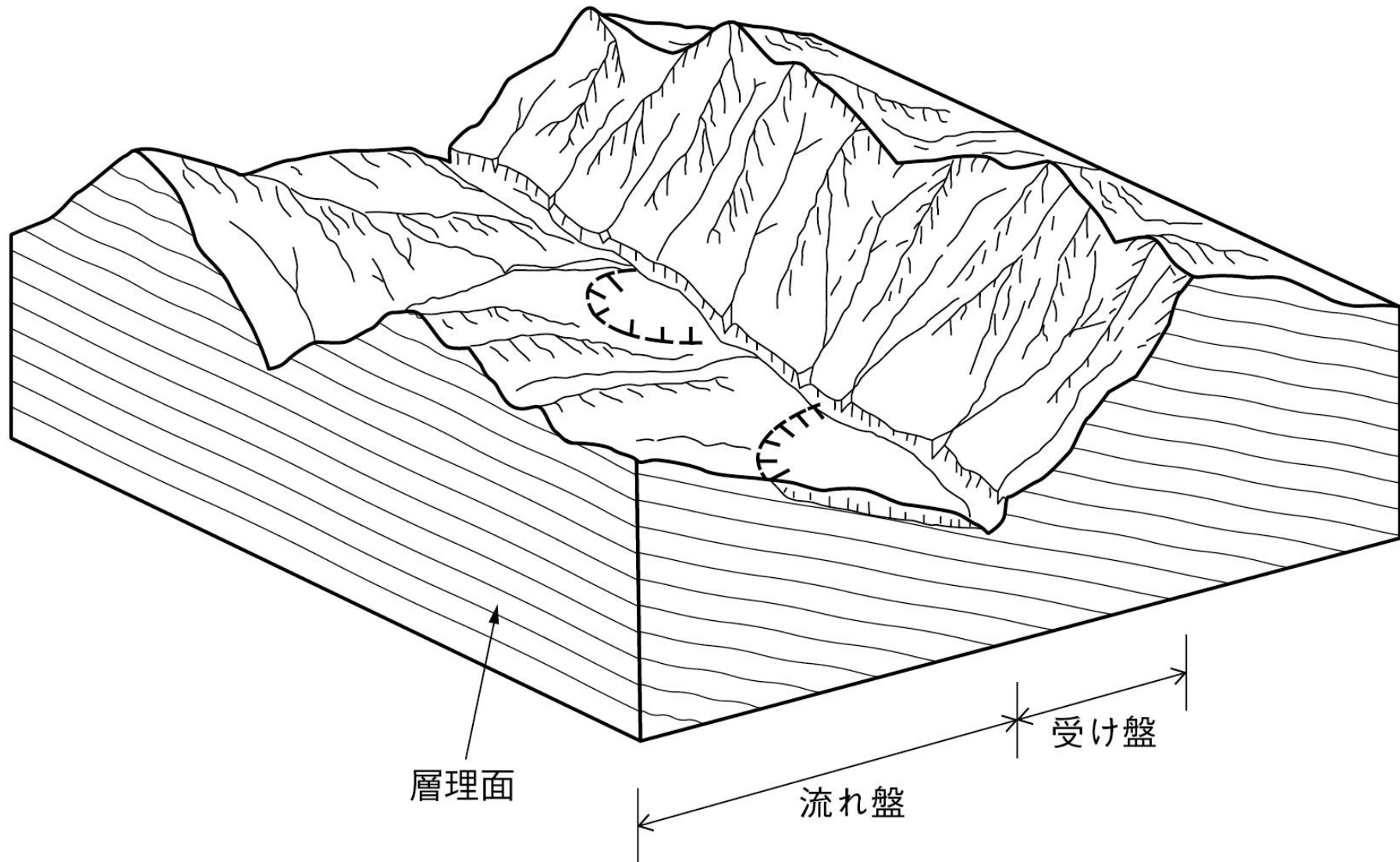
引張り亀裂に作用する水圧のモデル

わずかな水量で大きな間隙水圧

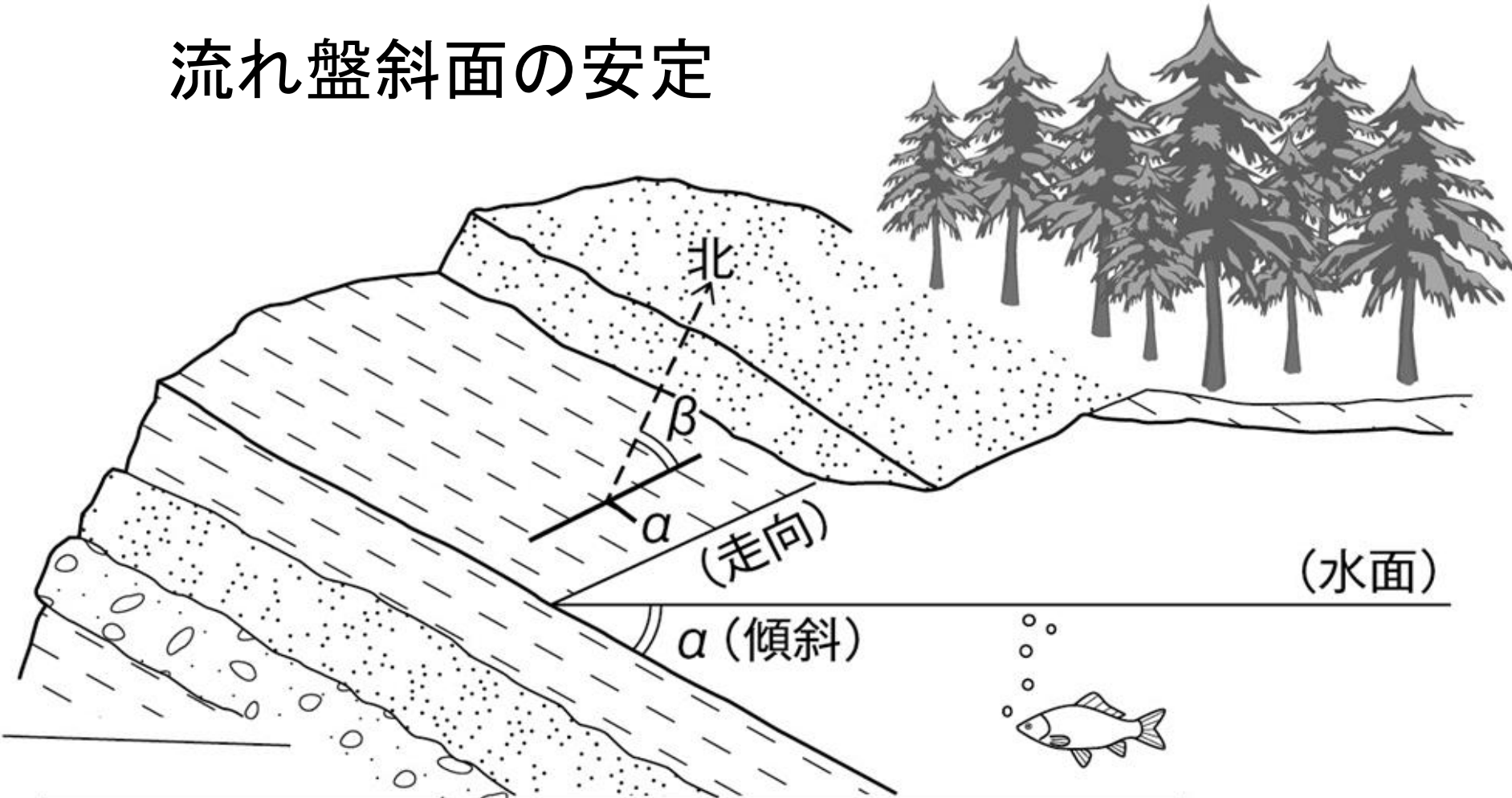
地下水は岩盤(移動土塊)全体には無く、
引張り亀裂などの緩んだ割れ目に存在



4. 流れ盤と受け盤斜面の安定



流れ盤斜面の安定



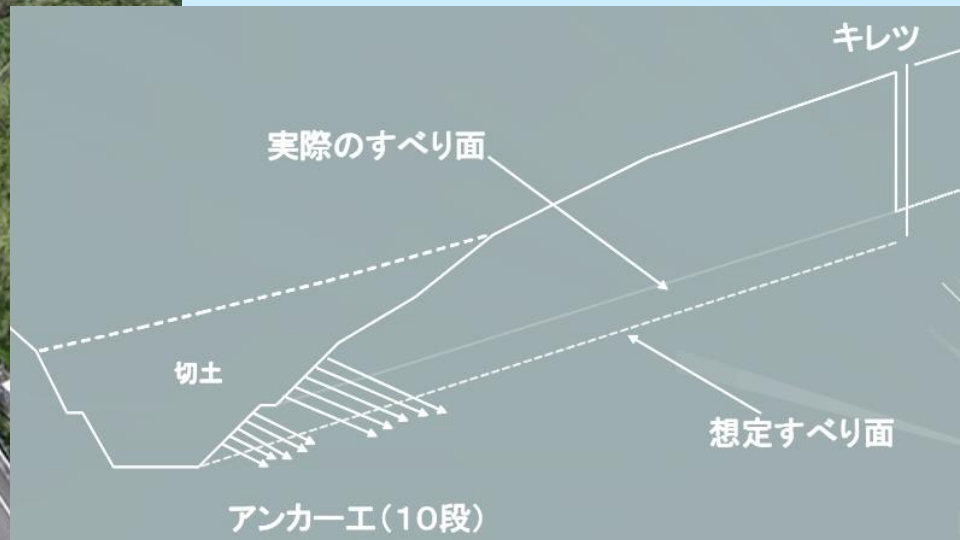
北
 β°
 α°

平面図での走向・傾斜の記載
文章表現は「走向 $N\beta^\circ E$ 、傾斜 $\alpha^\circ SE$ 」

供用後の流れ盤地すべり 台湾基隆近郊



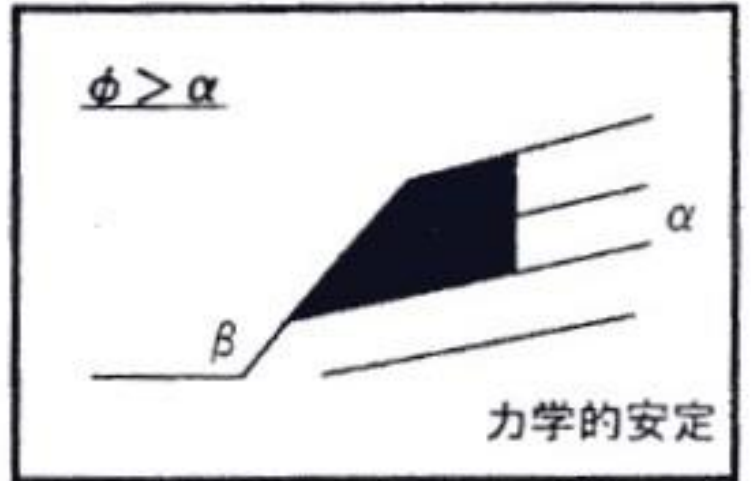
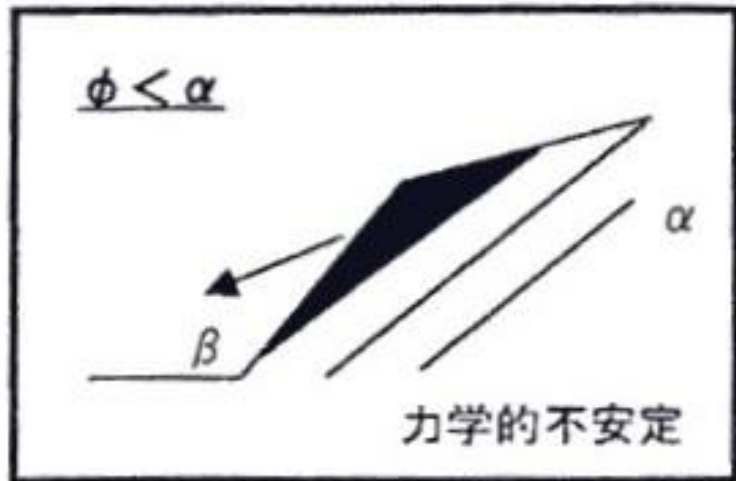
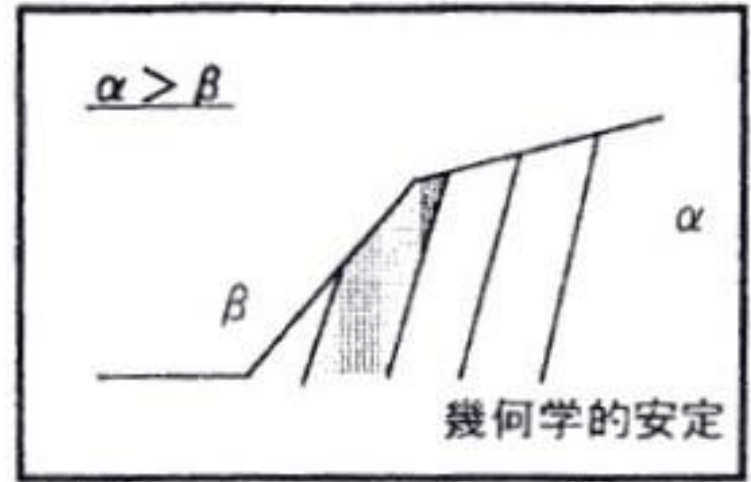
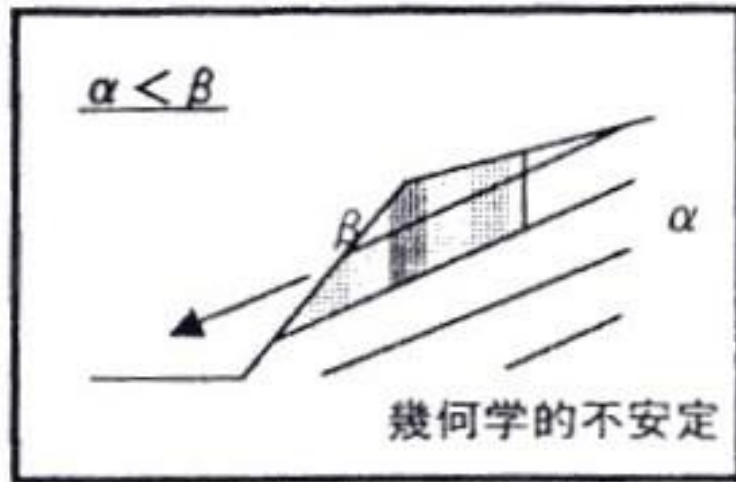
2010年4月25日
14時29分発生
無降雨、地震無



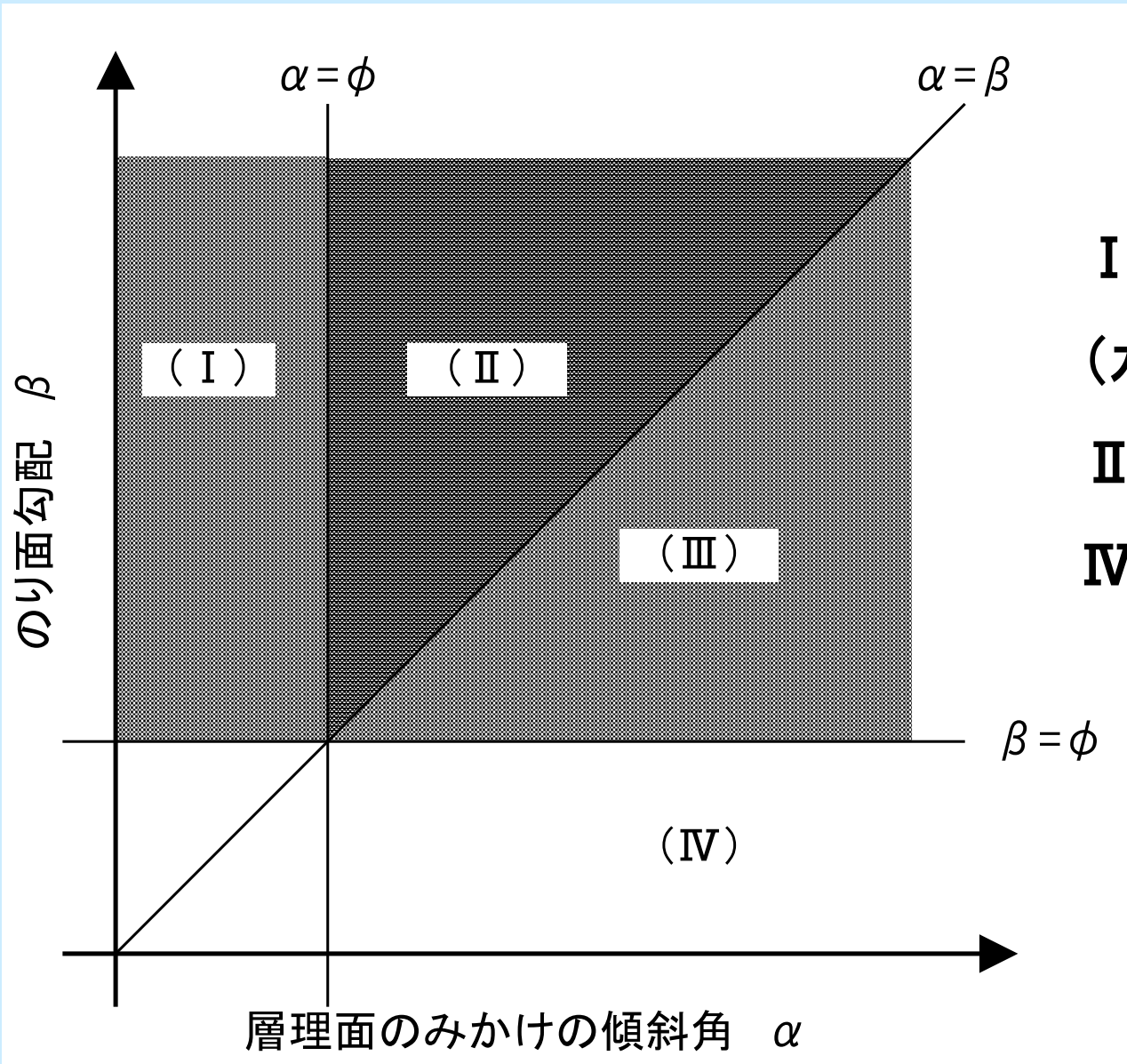
山崎孝成氏作成断面

流れ盤法面の安定性評価

幾何学的安定と力学的安定

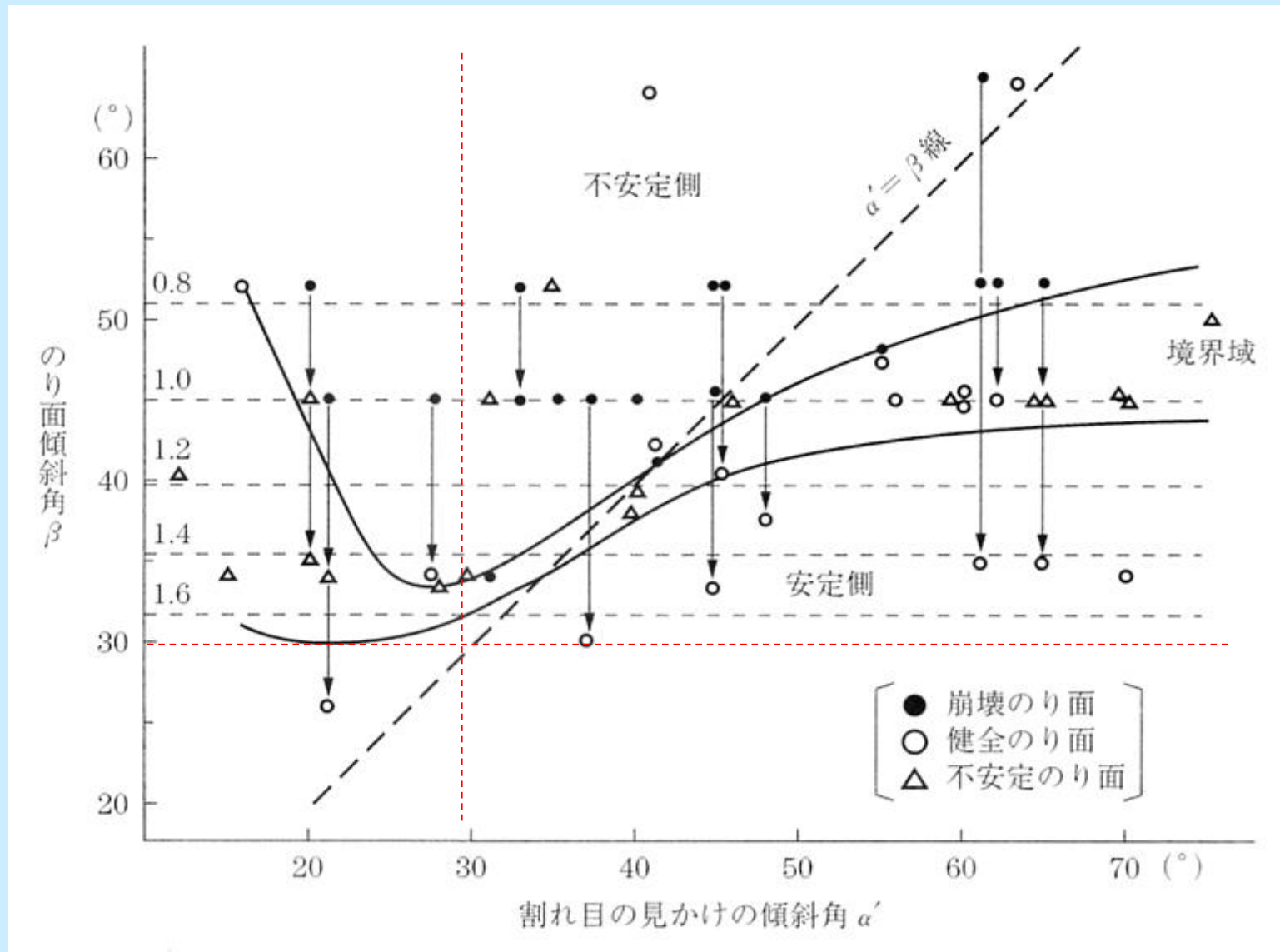


流れ盤のり面の安定評価図(基本図)

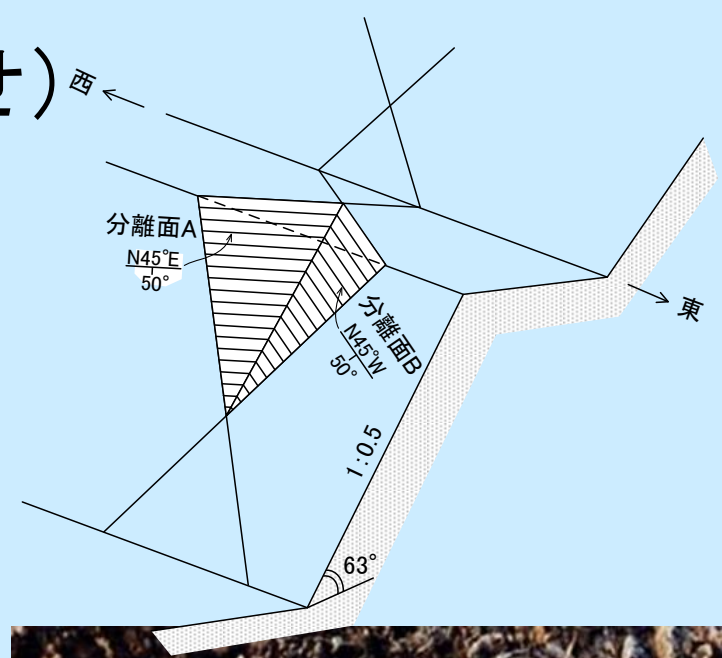


- I、III: 準不安定
(水圧、クサビすべり)
- II: 不安定
- IV: 安定

流れ盤法面の安定評価図(NEXCO) 地層の割れ目の傾斜角と限界勾配



クサビすべり(2面の組み合わせ) 西 ←



受け盤斜面の安定



トッピングと地質構造の関係



急傾斜受け盤構造の斜面が危険

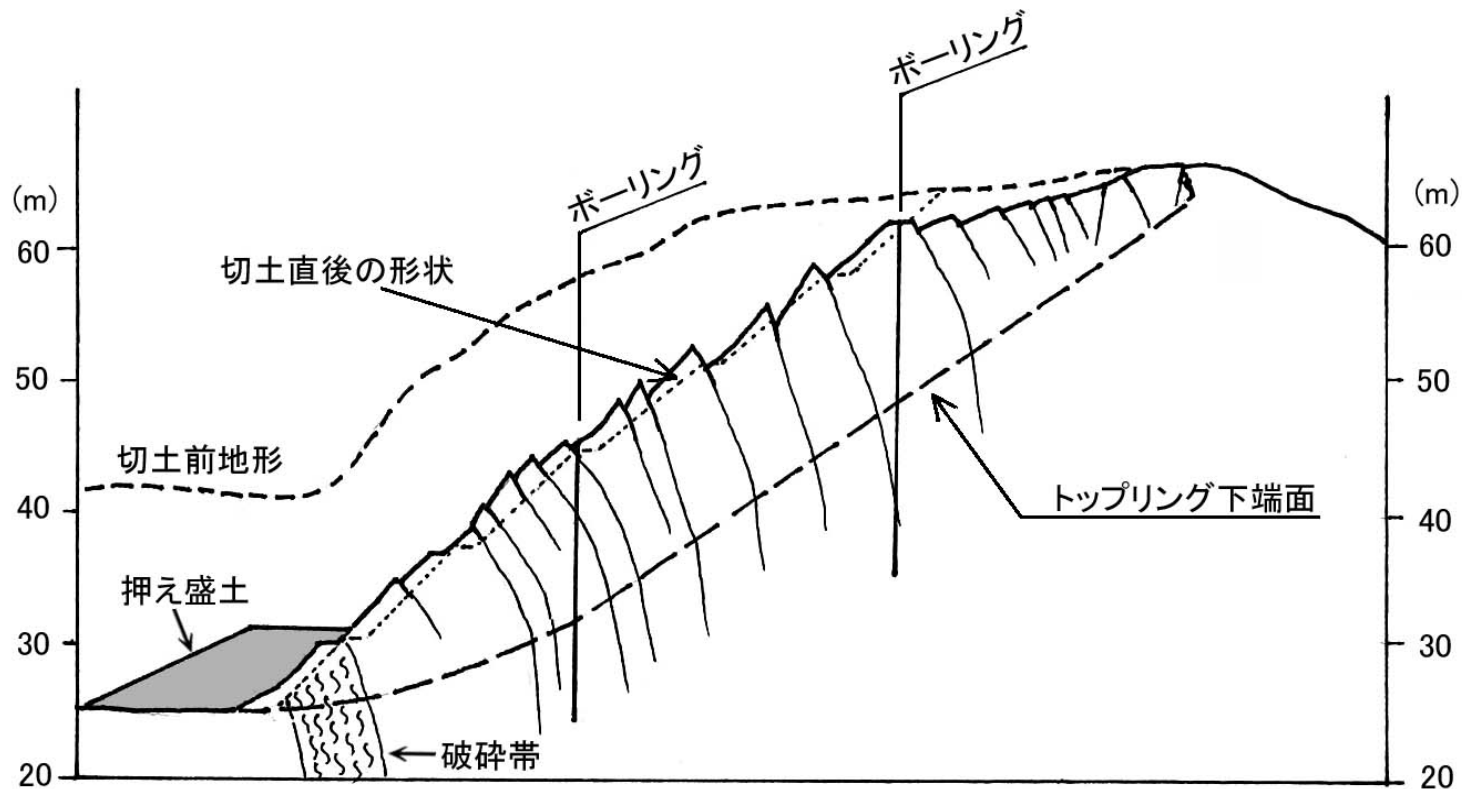
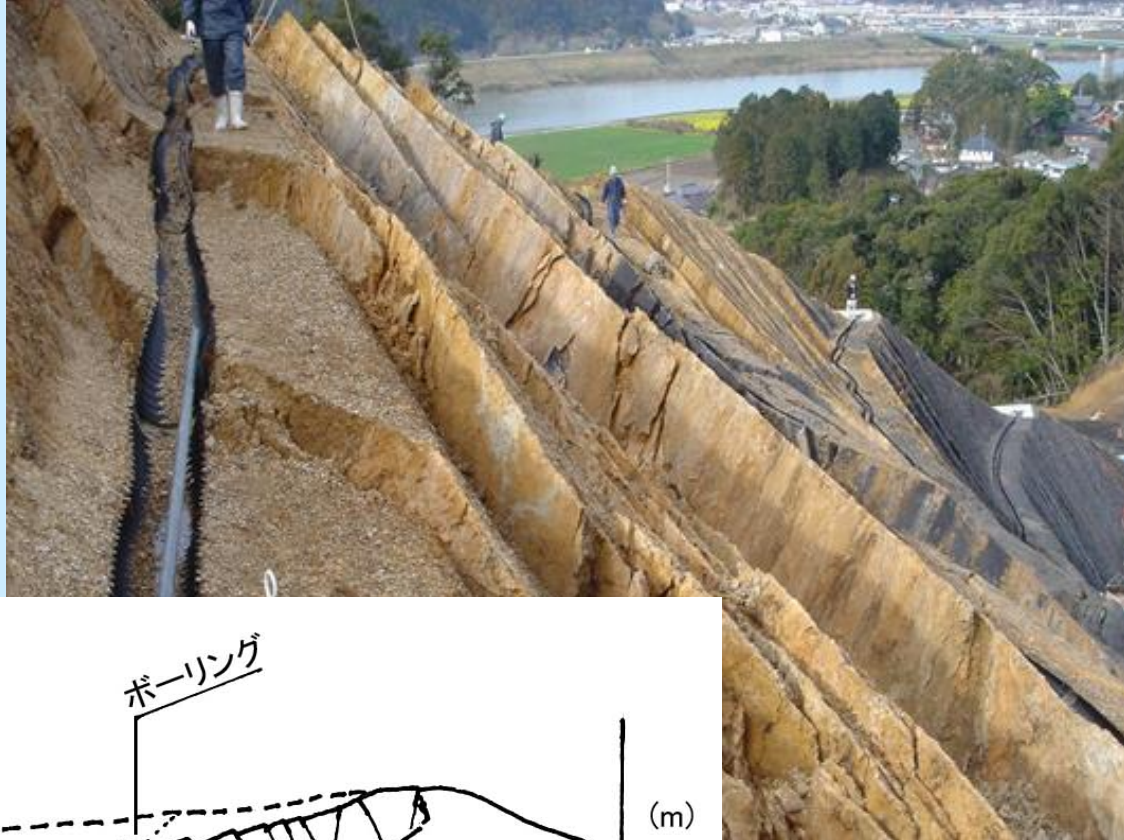
トッピングによる
変状法面の対策
は切直しが基本

地山内部は空洞
が多く降雨時に水
圧が作用する



トッピングの発生

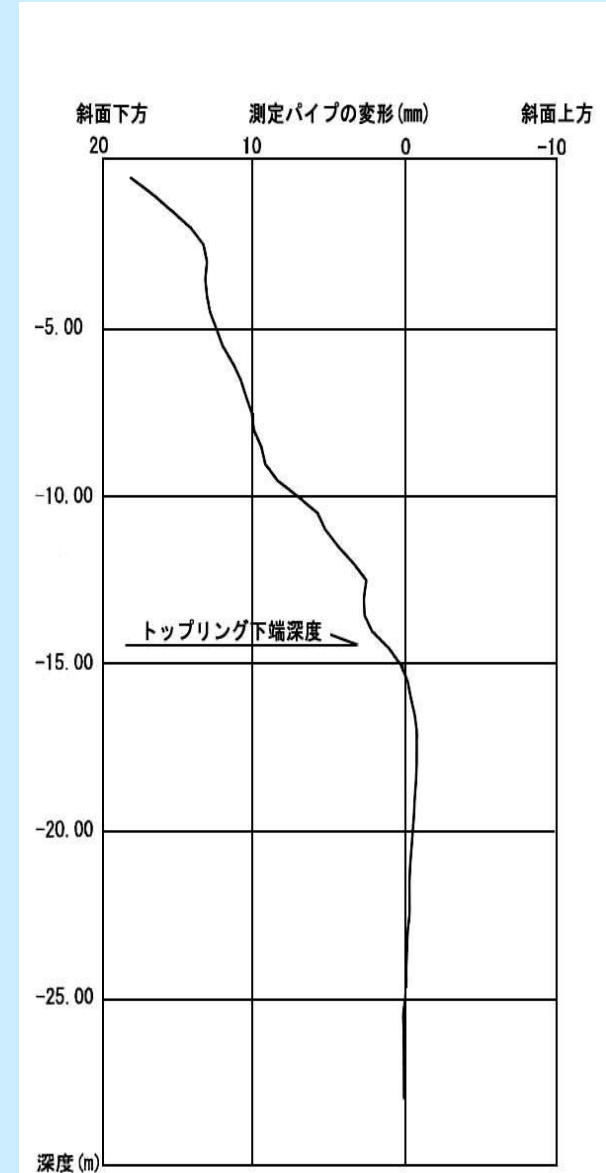
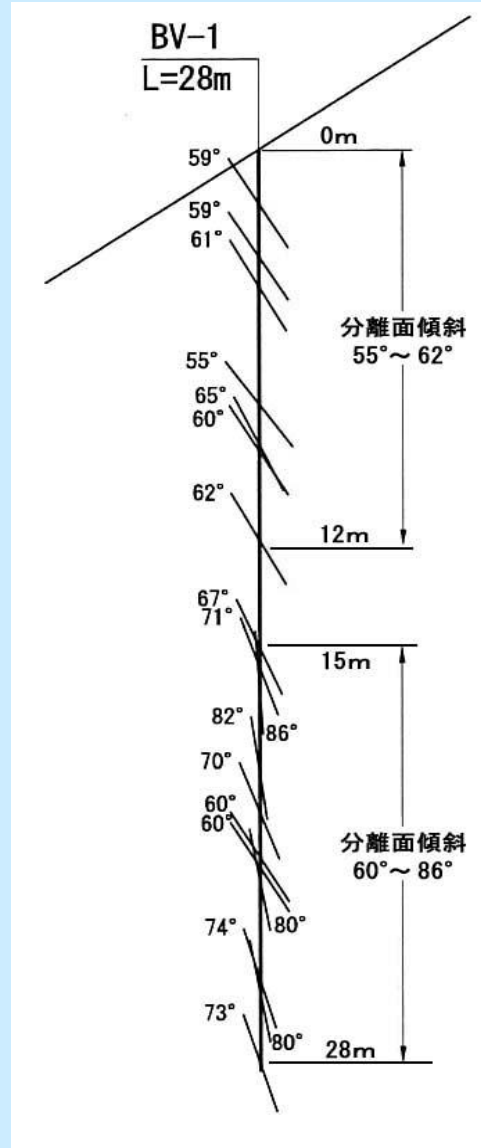
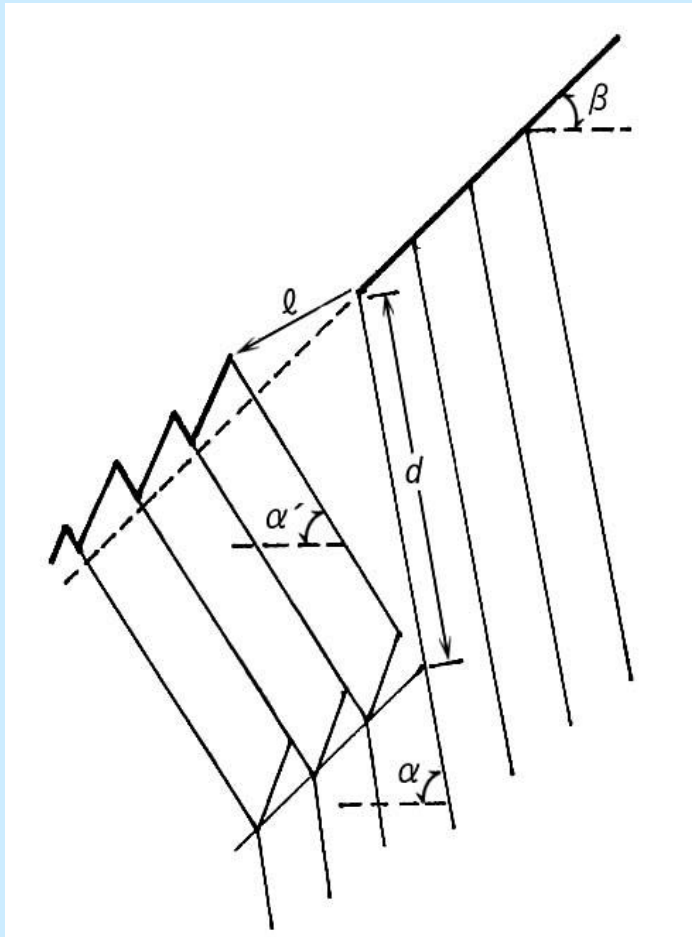
四万十帯の砂岩・泥岩
切土に伴う初生変状



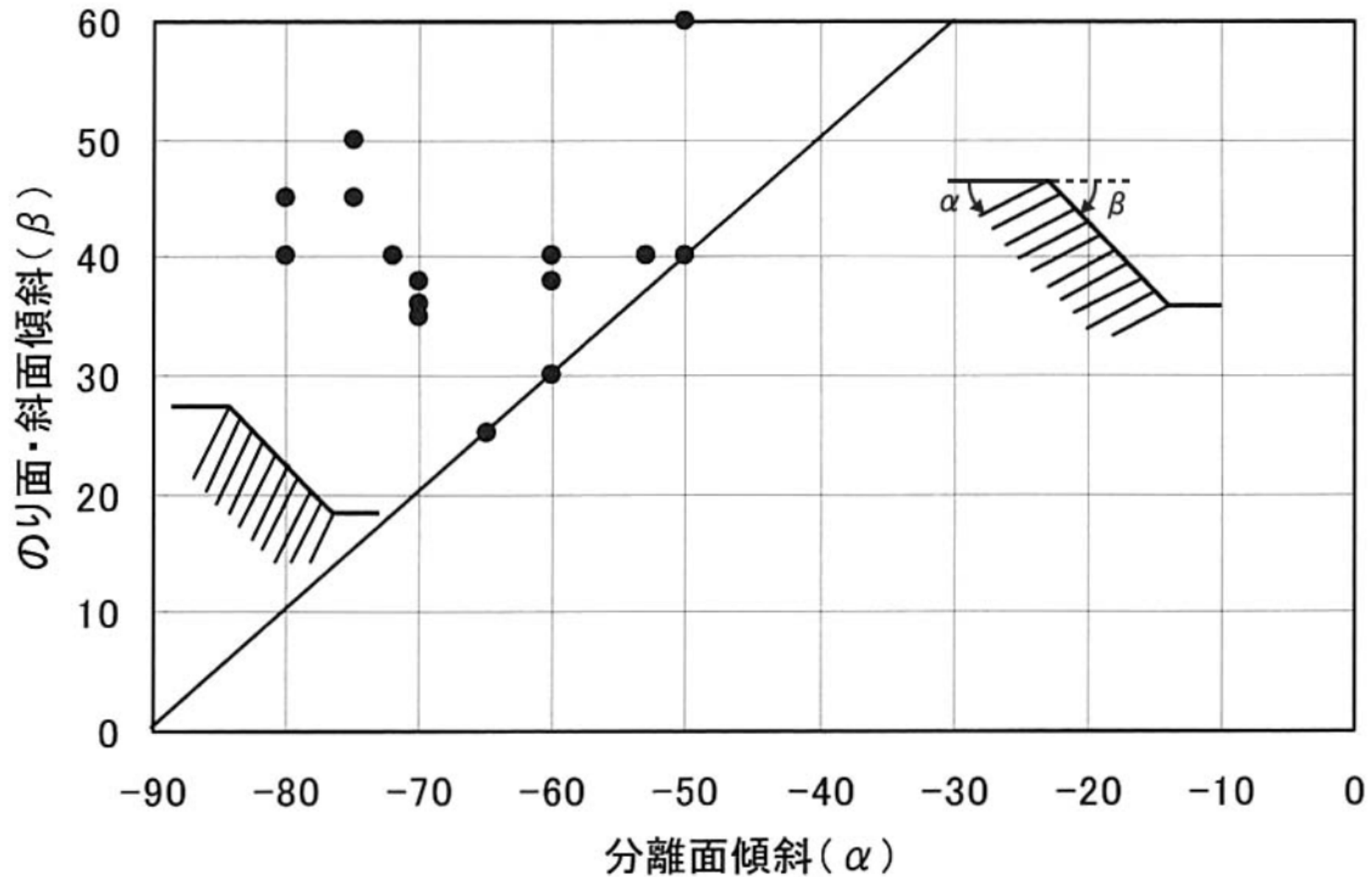
高知県四万十市

トッピング深度の想定

地表変位・コアの地層傾斜・孔内傾斜計測定



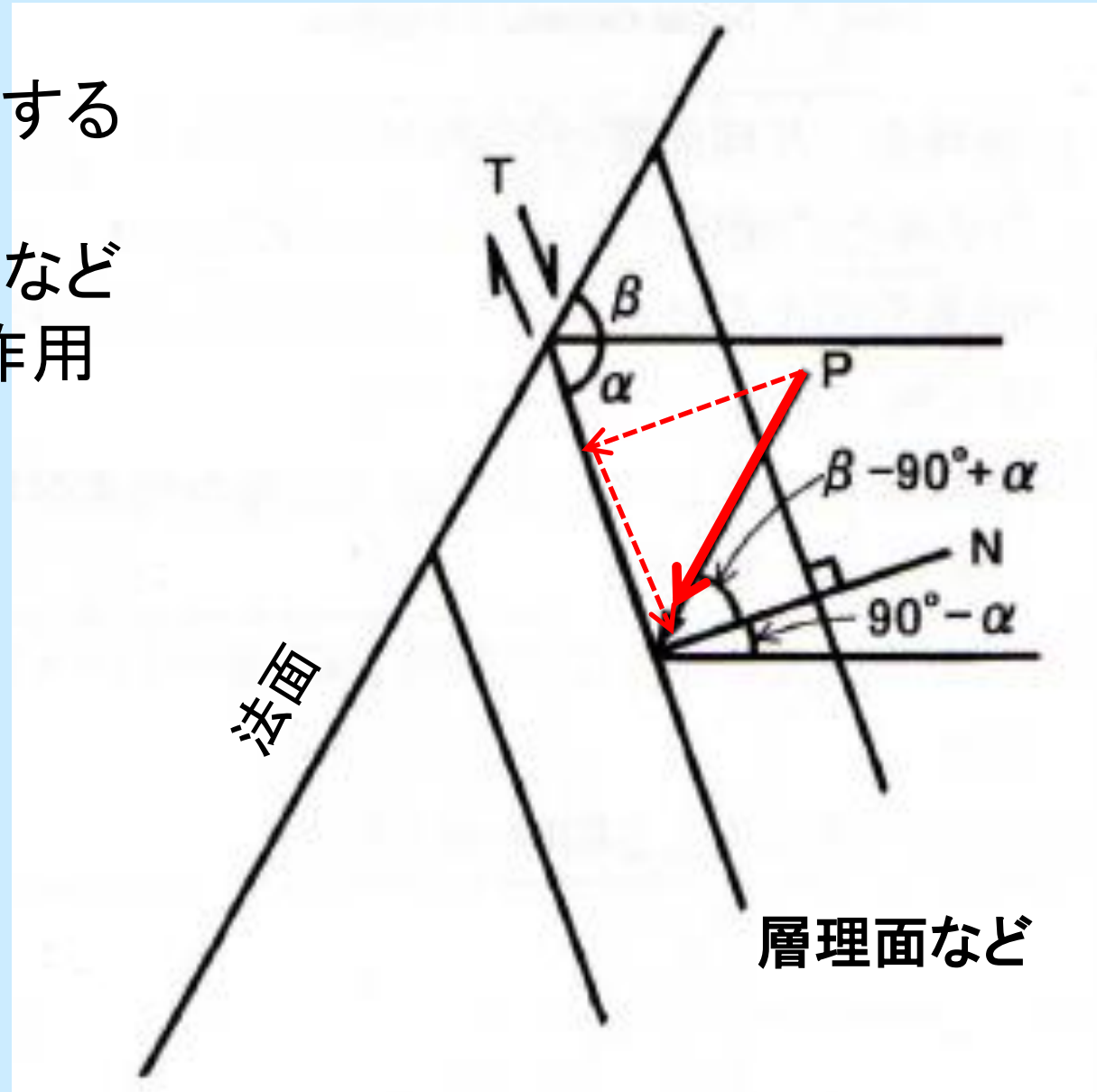
地質構造と斜面の勾配からみた トップリングの発生領域



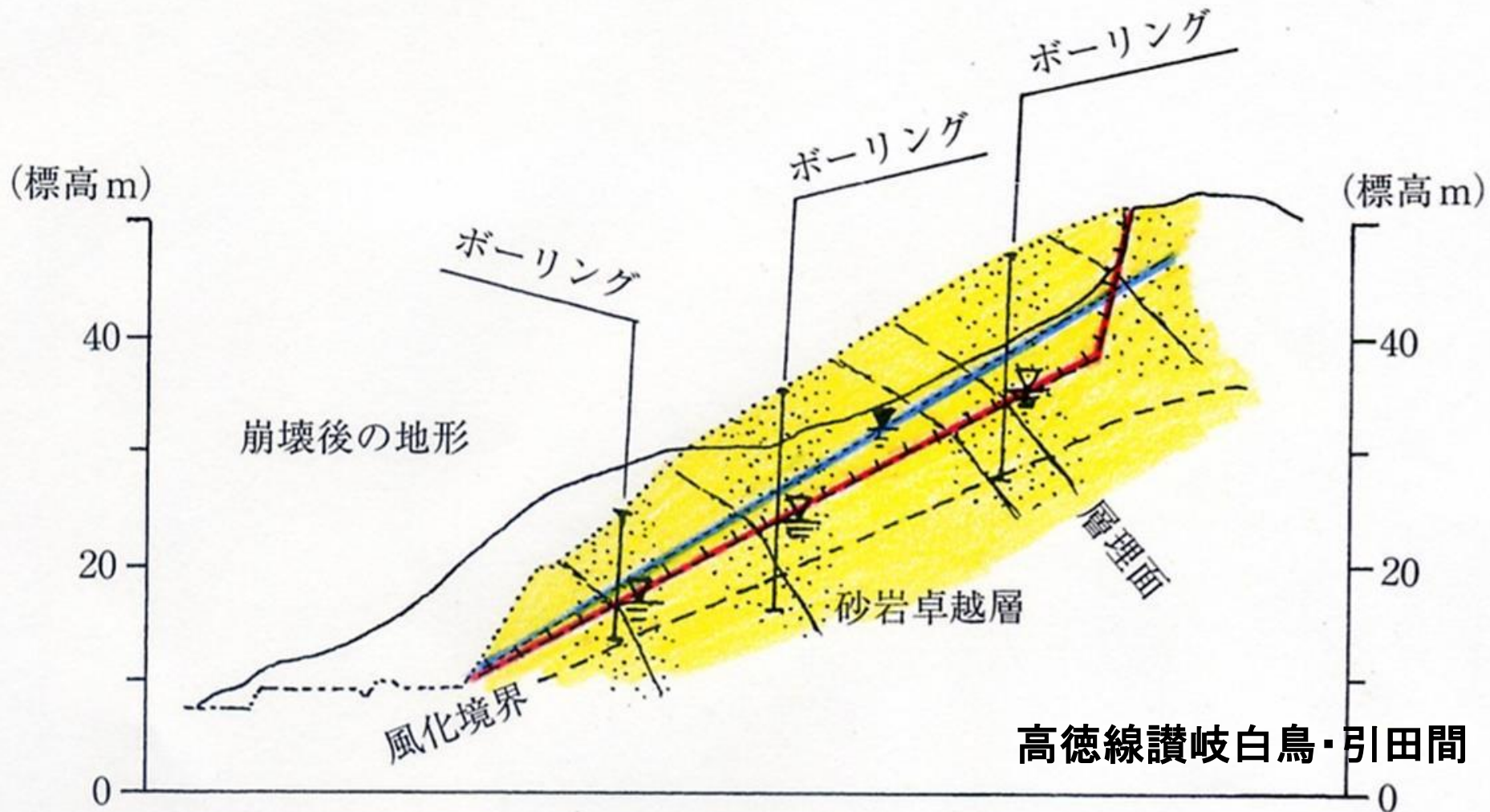
●はトップリング発生のり面・斜面

トッピングの発生機構

法面に平行に作用する
応力(P)
その分力は層理面など
にせん断力として作用
する



降雨後の既設受け盤法面の崩壊 (トッピング発生後の急速な崩壊)



和泉層群受け盤トッピング斜面の 豪雨時の崩壊(経緯)

- 1970年8月降水量122mmの降雨後開口亀裂発生:法枠での部分的な処理
- 1972年11月斜面頭部で開口亀裂確認:計測開始するが変位認められず
- 1974年7月6日~7日の記録的豪雨(連続381mm、時間最大70mm)で急速に崩壊

トッピング斜面の豪雨時の崩壊記録

ぎりぎりまで変動せずに急速崩壊

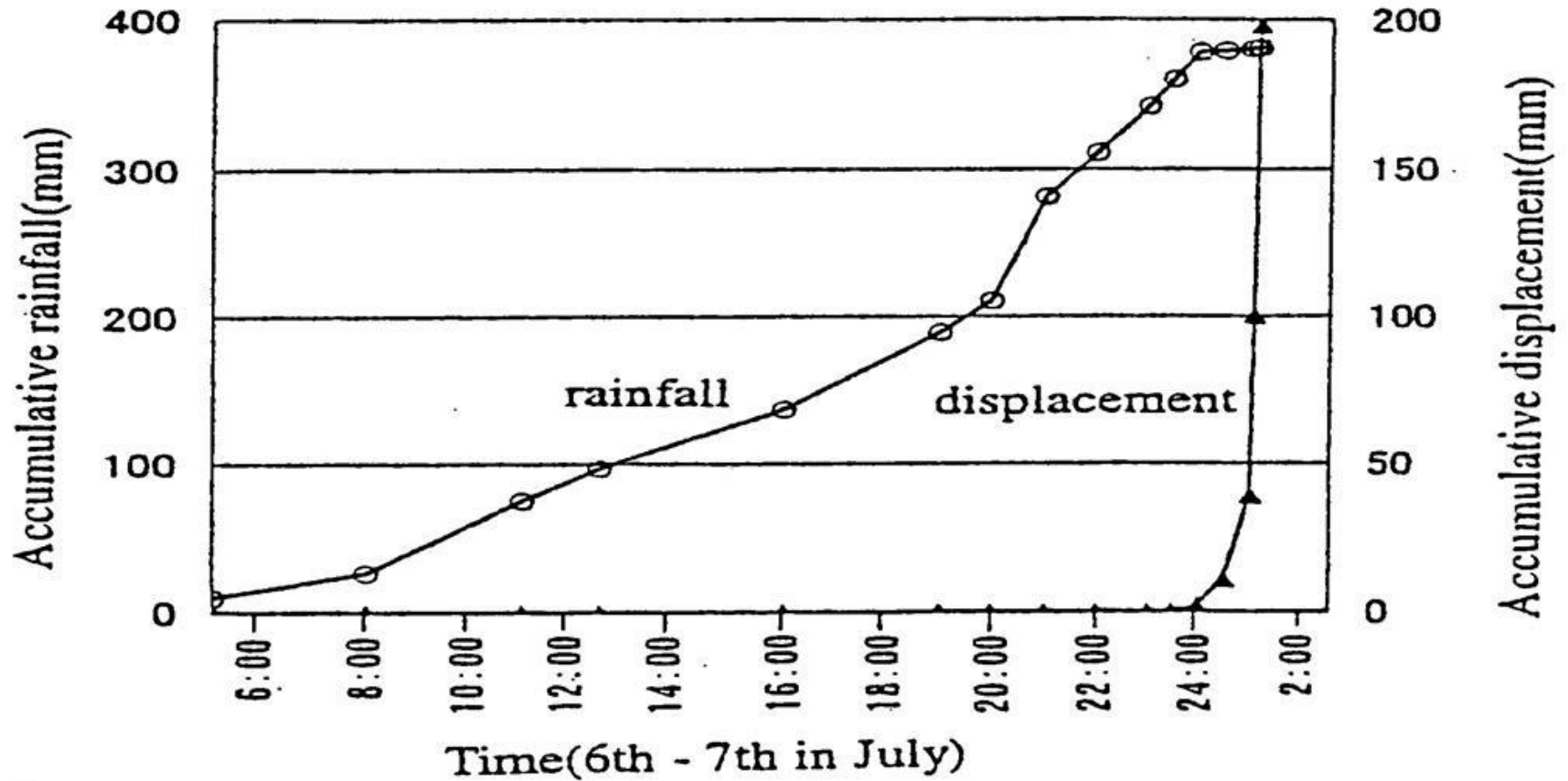
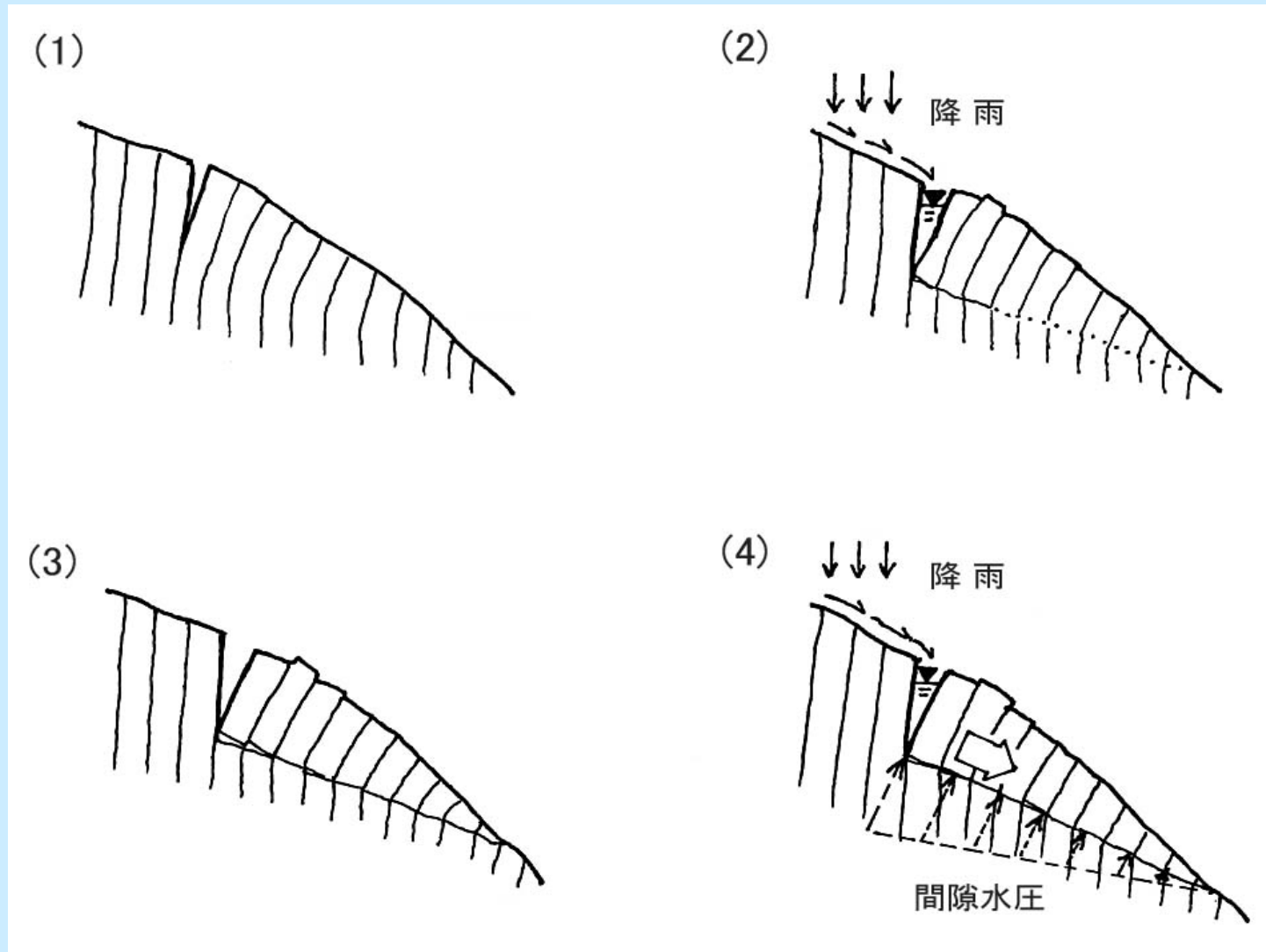


Figure 7. Accumulative rainfall and accumulative displacement until collapse time

注意 トップリングから急速移動への機構

平滑なすべり面は形成されない→滑りにくい→急速破壊



5. 表層斜面の安定性



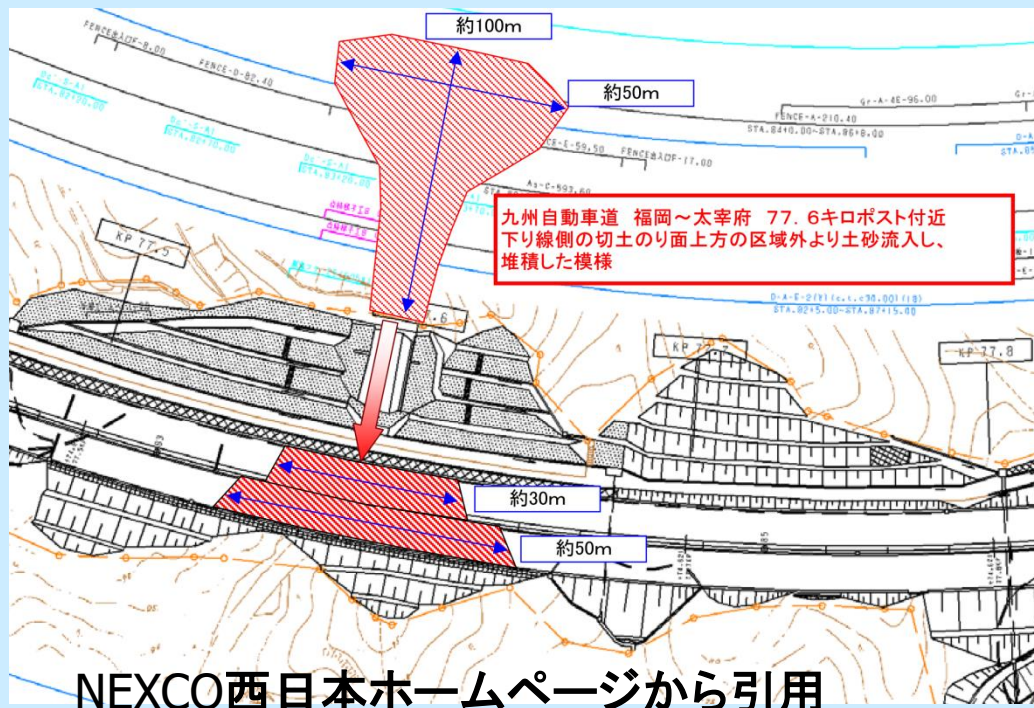
伊豆大島豪雨災害 表層崩壊と土石流
2013年10月

降雨時の表層崩壊

表流水が集中する凹状の地形

九州自動車道 2009年7月26日

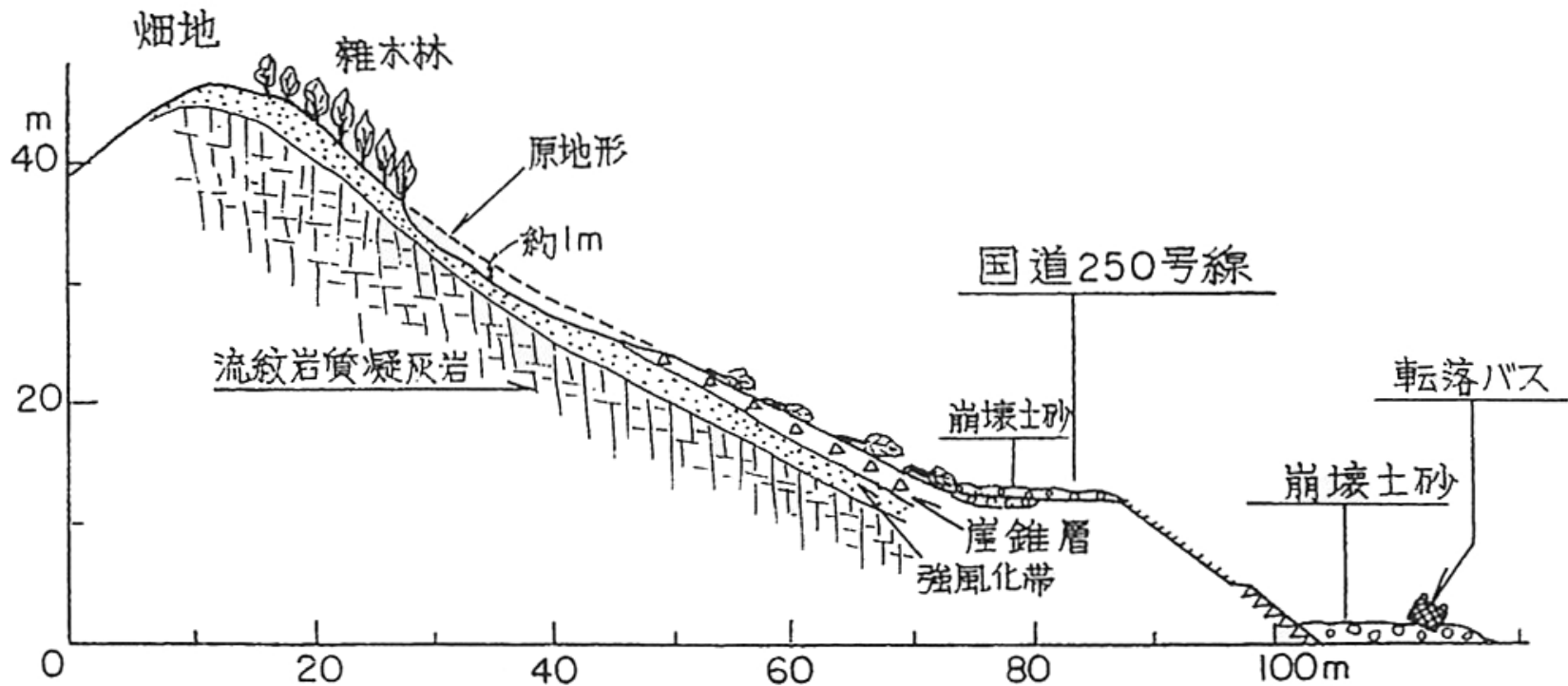
通行車両の被災



集水地形での小規模表層崩壊

崩壊による通行車両の被害

調査の見逃しが多い



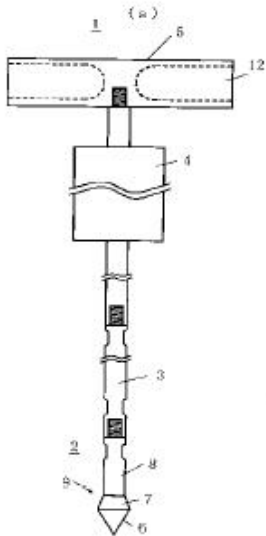
表層崩壊対策の見落とし

小規模な凹状集水斜面（表層崩壊による土砂流出）

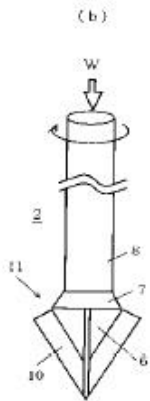


表層崩壊に対する簡便有効な調査 土層強度検査棒(土検棒)による表層土層厚調査

土検棒の構成



Normal cone



Vane cone

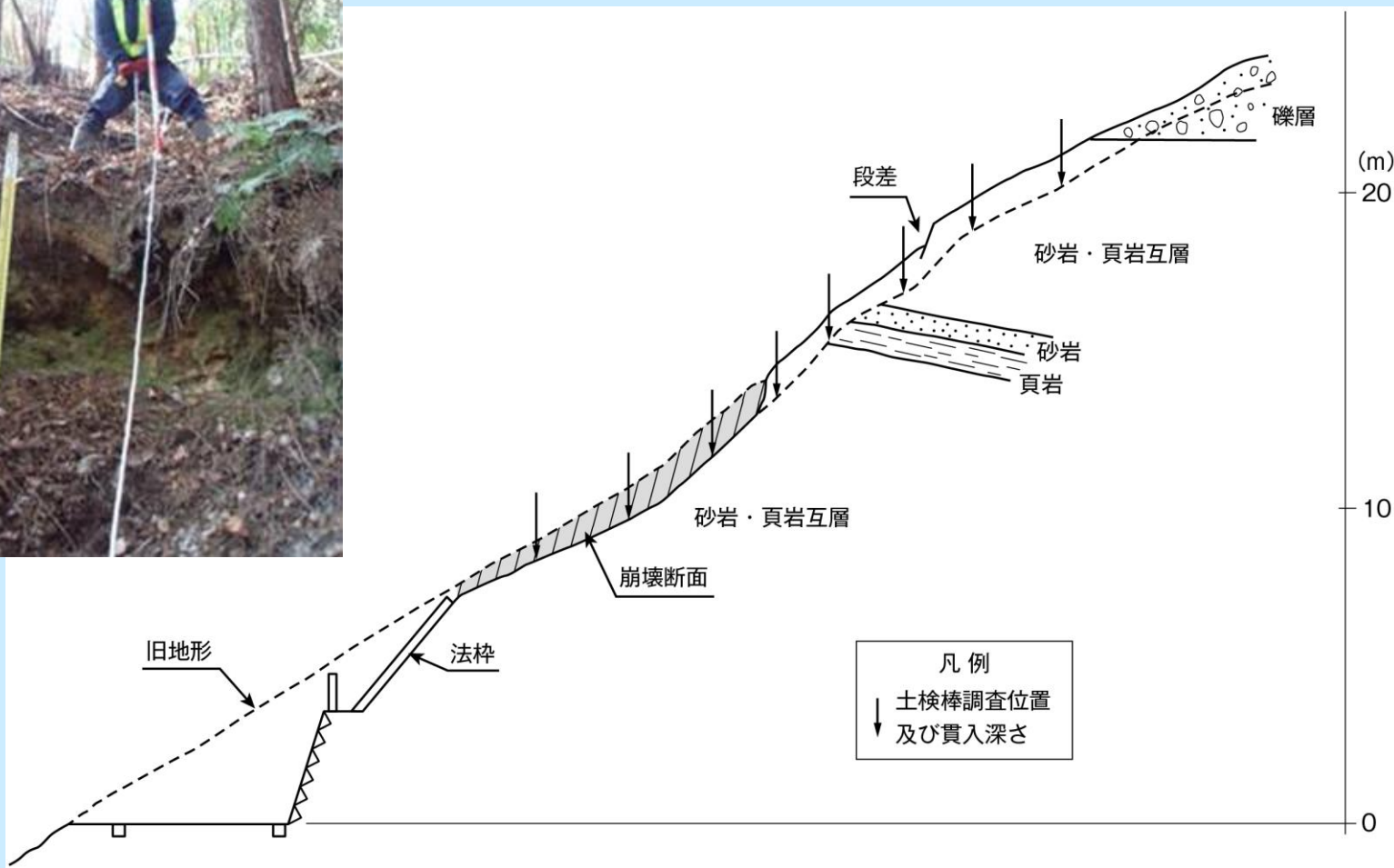


5mセットで 4.5 kg



表層崩壊深と貫入可能深度がほぼ一致

表層崩壊の層厚の確認が容易



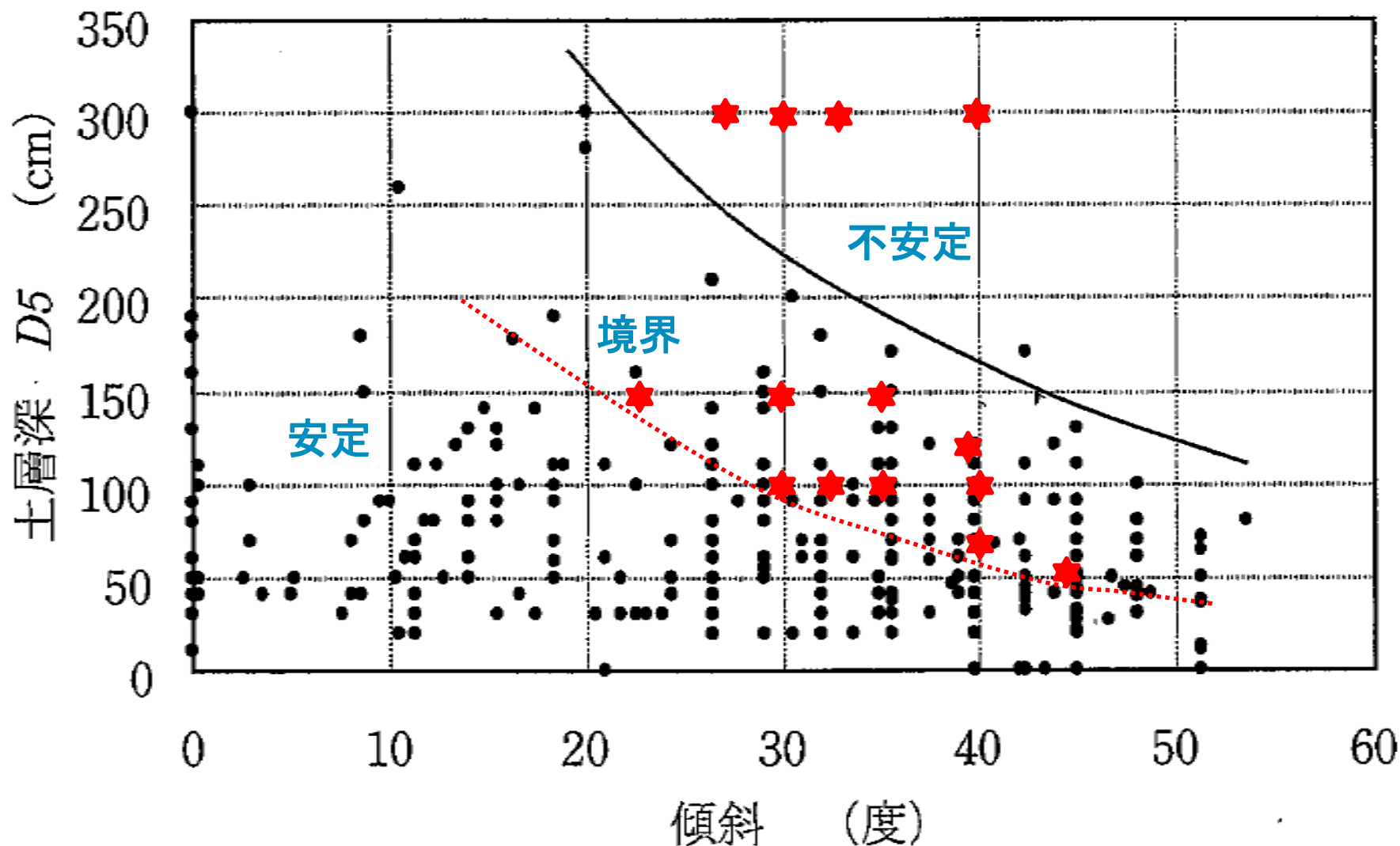
表層土層厚と斜面傾斜の関係

斜面傾斜に応じた**限界土層厚さ**

簡易貫入試験による

Nd=5の土層深度

★ 表層崩壊斜面



6. 見逃しやすい土石流危険箇所



中央道長野県辰野

撮影：国際航業株式会社・株式会社パスコ

豪雨時の土石流

家屋が被災し、3名死亡

0次谷の表層崩壊が土石流化

道路で多い土石流災害の規模

2010年7月15日20時頃発生

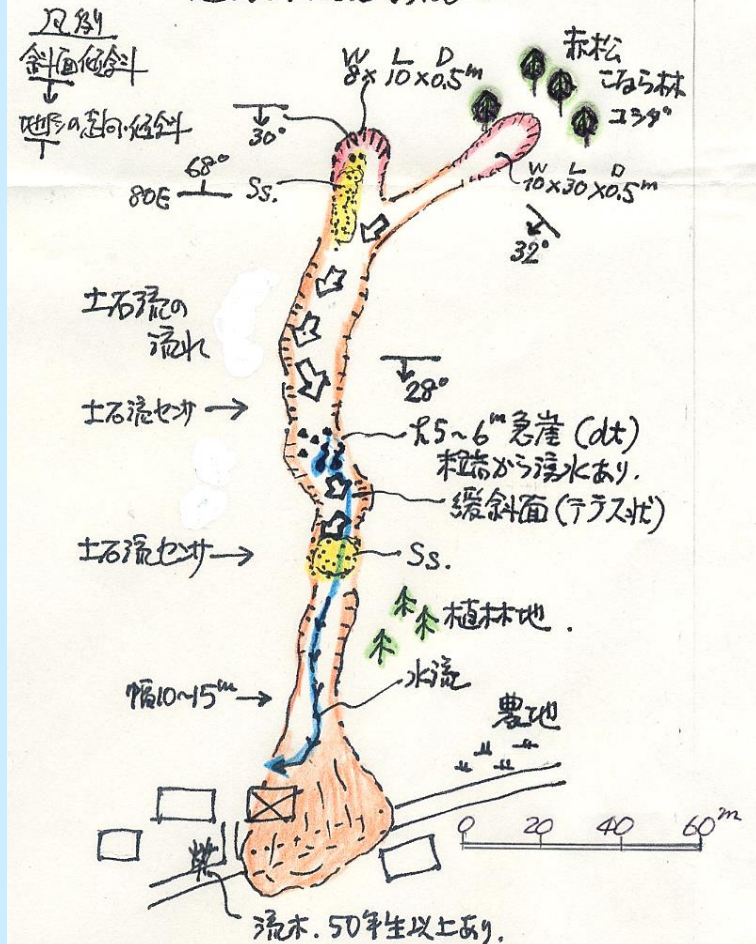


岐阜県八百津町

2010.7.26 八百津町
野上.

地質: 美濃帯. 砂岩主体. 受け盤

崩壊 40m³, 150m³ 29ft.
道路からの比高 約100m



アジア航測(株)提供

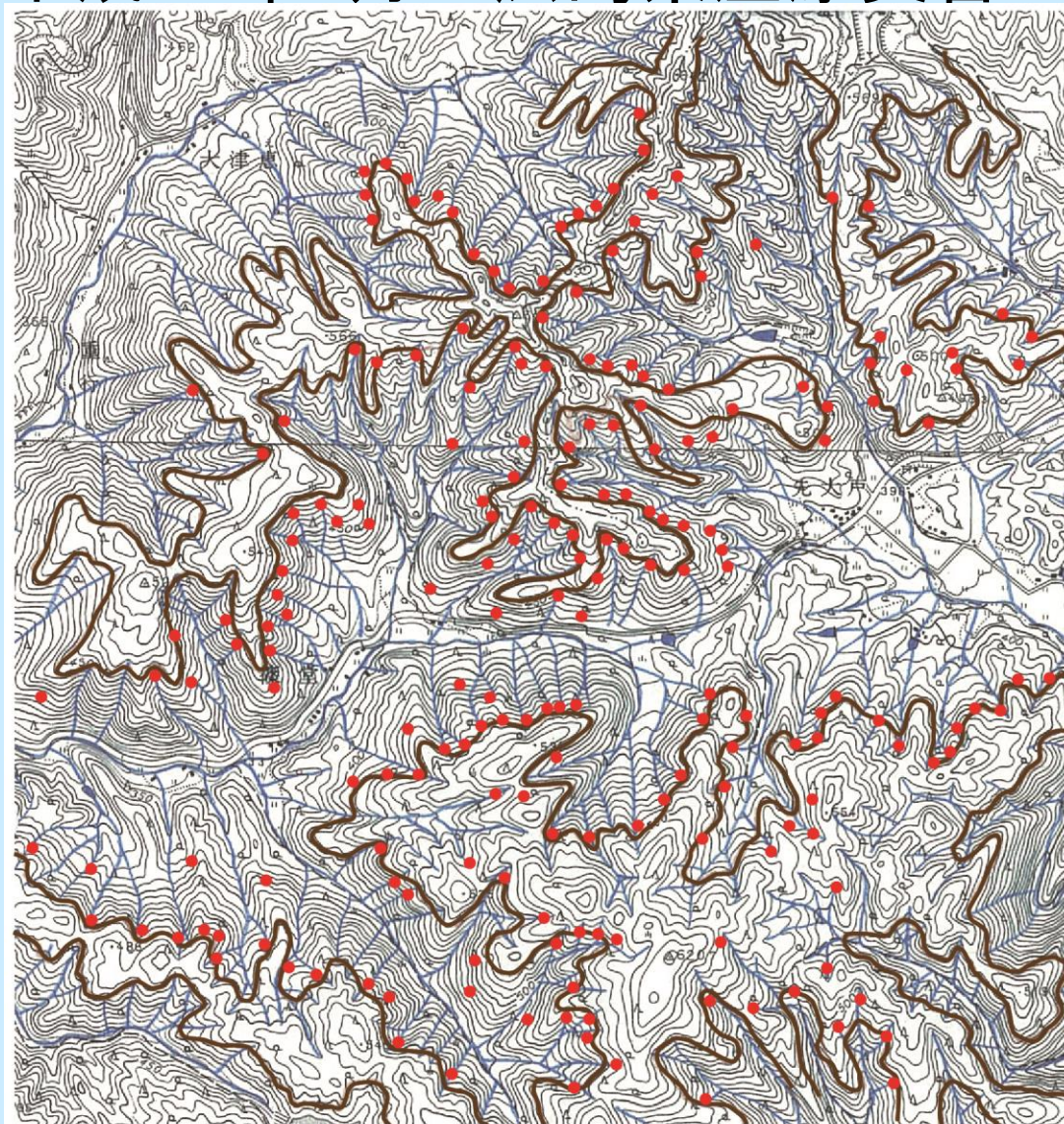
表層崩壊の土石流化 道路の被災が多いタイプ

平成22年7月の広島県庄原災害

航空レーザ計測成果から作成したデジタルオルソフォト

小規模多発型土石流災害の発生位置

平成22年7月の広島県庄原災害（地質：流紋岩、堆積岩）



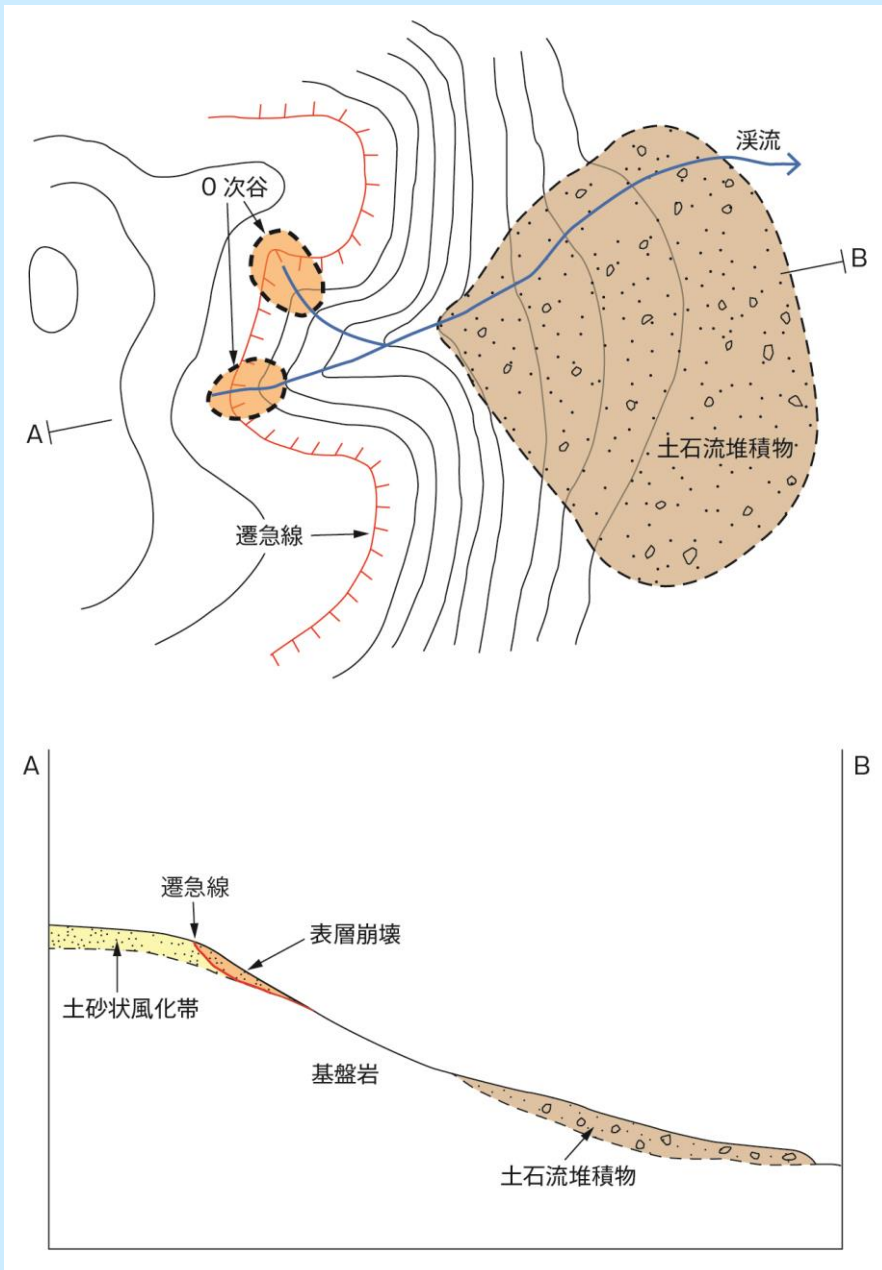
曲線：遷急線

赤点：表層崩壊

＜表層崩壊の土石流化＞
表層崩壊は茶色の遷急線
付近の0次谷で発生

→土石流化

小規模土石流の模式図



遷急線付近の0次谷での
表層崩壊が発生源

溪流出口の土石流堆積物
(沖積錐)の分布に注意

小溪流からの土石流災害

沢状部の切土設計

表流水などの処理対策のみ

切土施工

ただの土砂か？

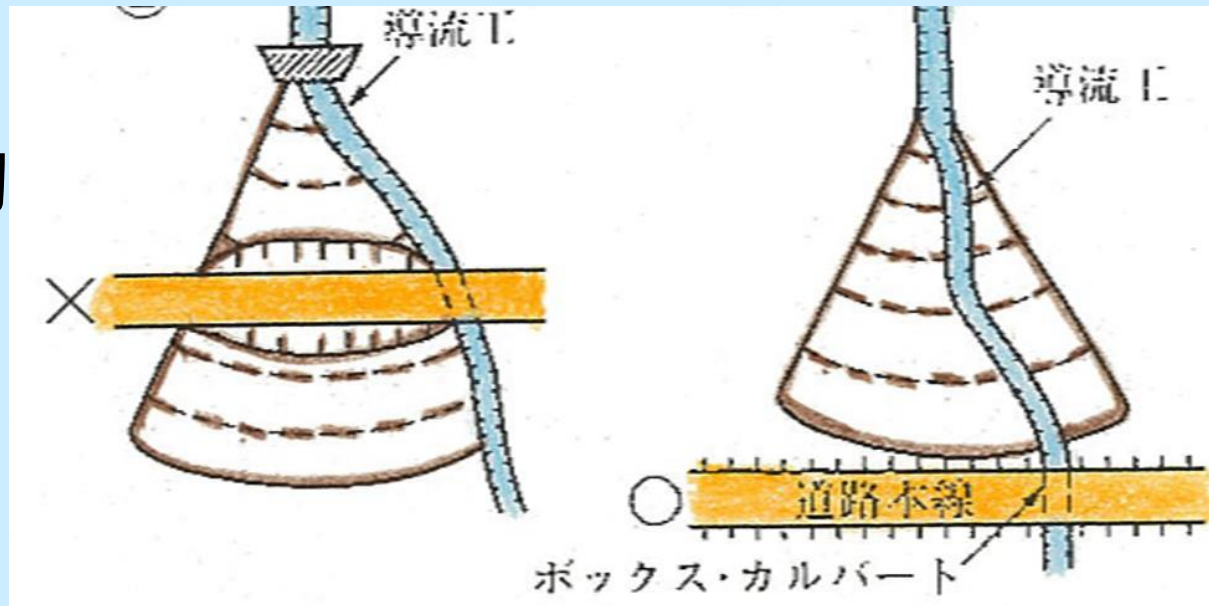
計画・施工時に配慮すべき！



堆積物から常時湧水がある
ため法枠を施工
土石流堆積物に気がつかず

土石流堆積物を横断する道路の危険度

土石流堆積物の切土は避けるべき



溪流横過のボックスや橋梁の安全な断面

→幅20m 桁下高さ10m

中央道の岡谷市土石流
平成18年7月



被災地の地形特性

広島豪雨災害 2014/08/20

遷緩線(朱色)

地形図の読図

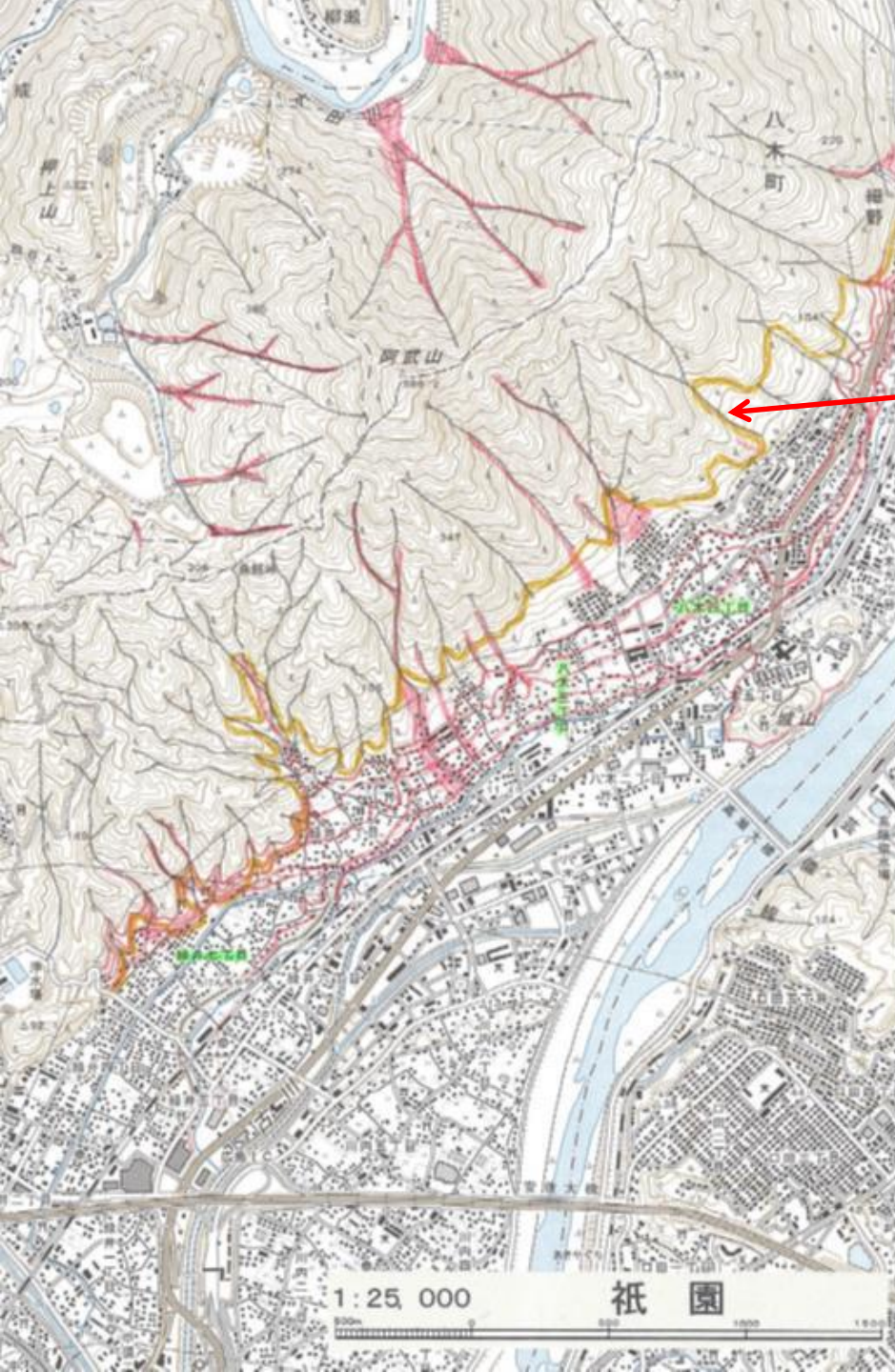
遷緩線から下の斜面

→土石流の堆積で形成

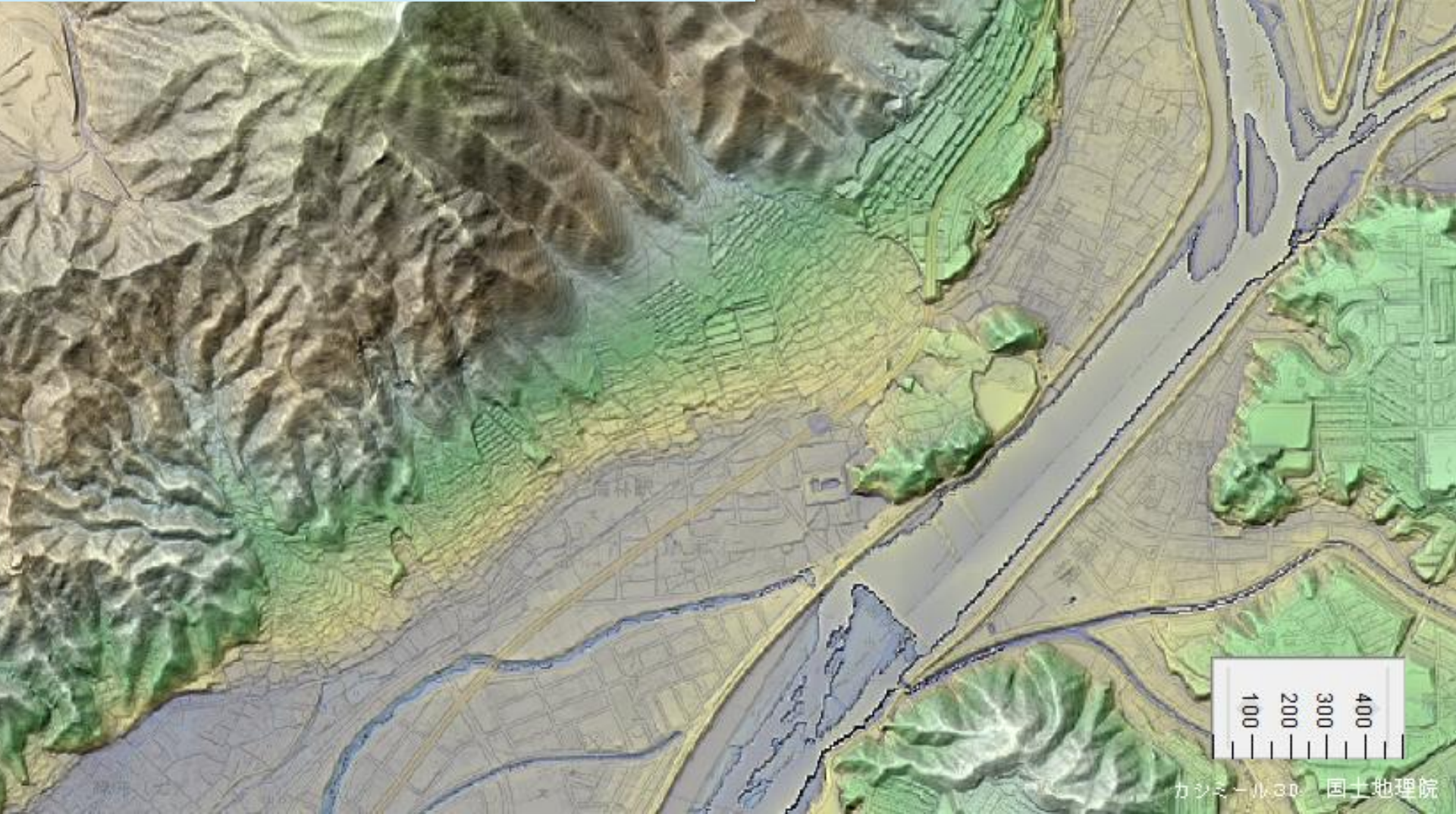
水系図を作成

→南西は谷が密(花崗岩)

→北東は谷が疎(付加体)



扇状地は現在も土石流で形成
されつつある斜面
→安全な場所はない



沖積錐(土石流扇状地)

広島土石流発生溪流
被災した住民はこの
ような堆積物の上に
居住していた

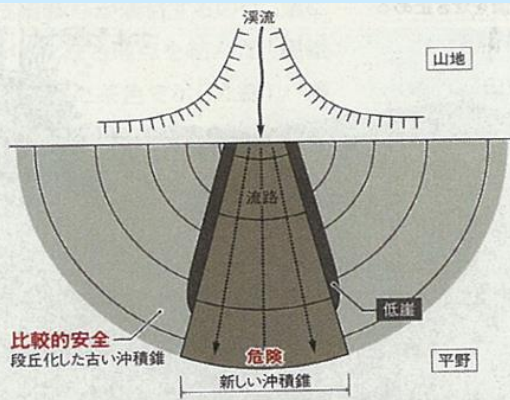


PC・MC・OC：現成・中期・
古期の沖積錐
DT：土石流段丘
DL：土石流堆
SF：土砂流原
VF：河成沖積低地， t：崖錐
1：沖積錐を伴う谷
2：沖積錐と土石流堆段丘を伴
う谷
3：土石流は発生するが本流の
側刻で沖積錐の発達しない谷



土石流扇状地の

比較的 안전한場所(→) 南木曾の例 扇状地の中の段丘化した微高地



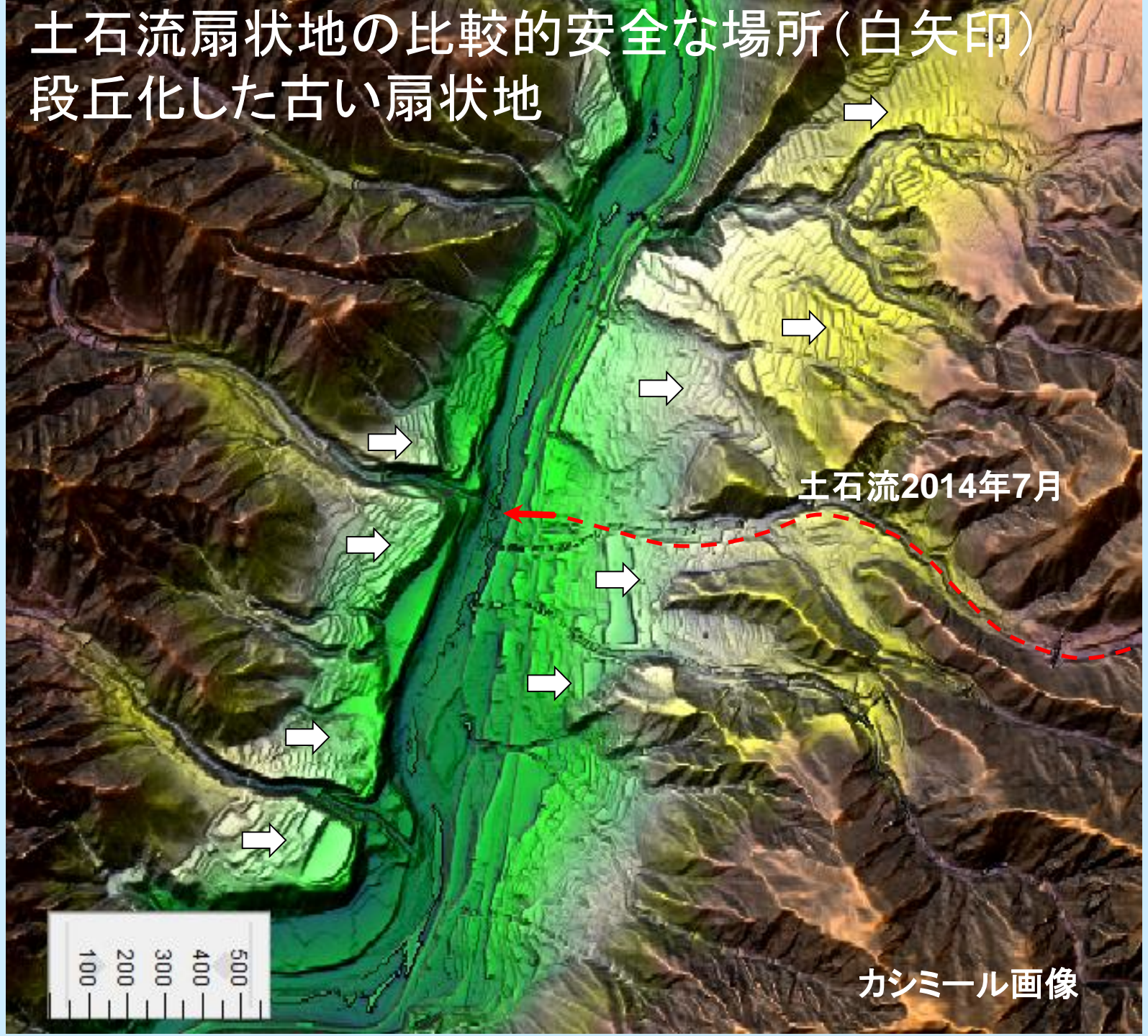
土石流が過去に発生した地域では、広島市安佐南区八木地区のように、遷緩線の下流で緩やかな傾斜が続くという特徴がある。ただし、比較的新しい土石流の堆積地は、隆起した古い地盤に比べ低くなっていることがある。この低い地盤に土石流が流れ込む可能性が高く、それ以外のエリアは比較的安全だといえる
(資料: 応用地質の上野将司技術参与の資料をもとに本誌が作成)

日経アーキテクチュア
2014年10月10日号



地理院地図1/25,000

土石流扇状地の比較的 안전한場所(白矢印)
段丘化した古い扇状地

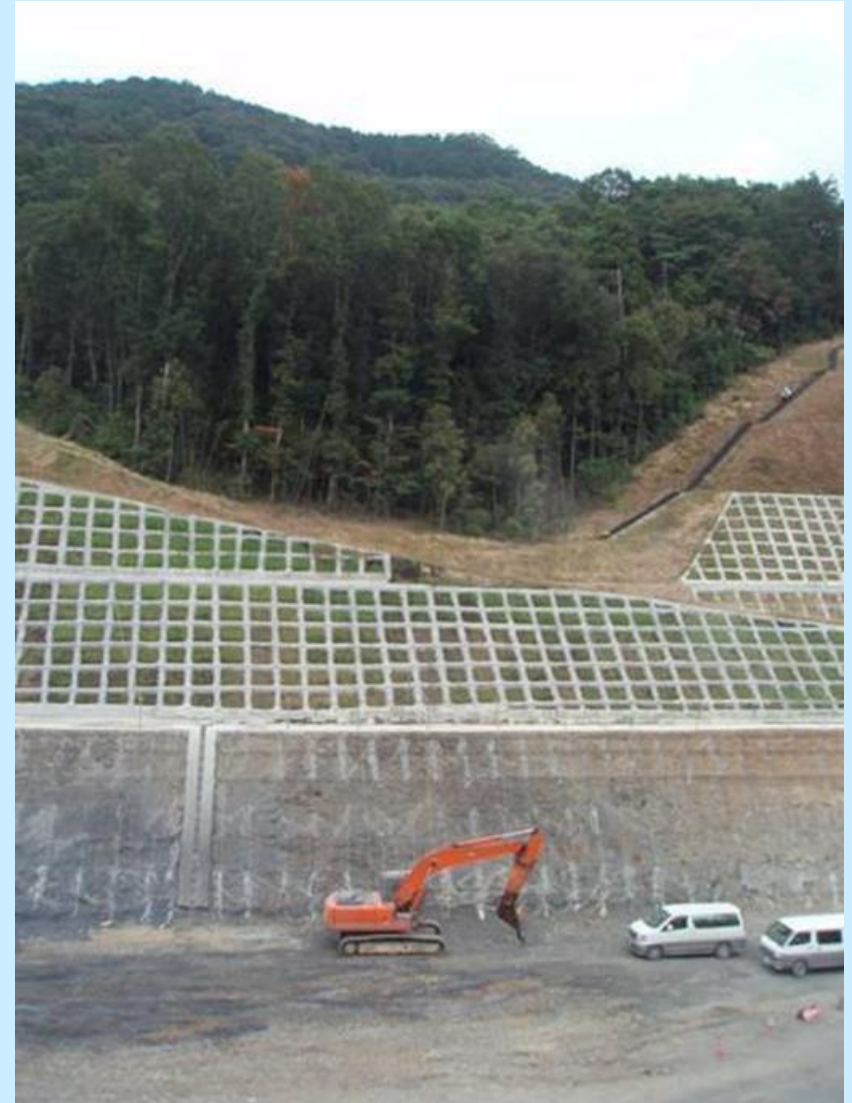


小規模土石流に対する対策の見落とし

工事段階で対策を追加

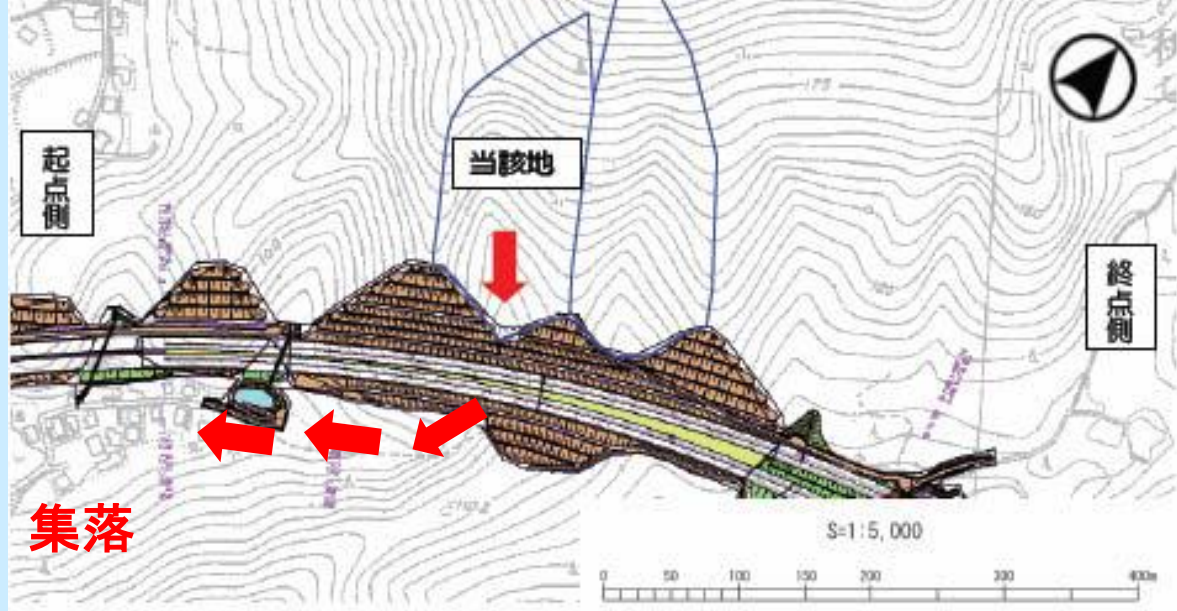


掘削面に現れた過去の崩壊
や土石流の堆積物

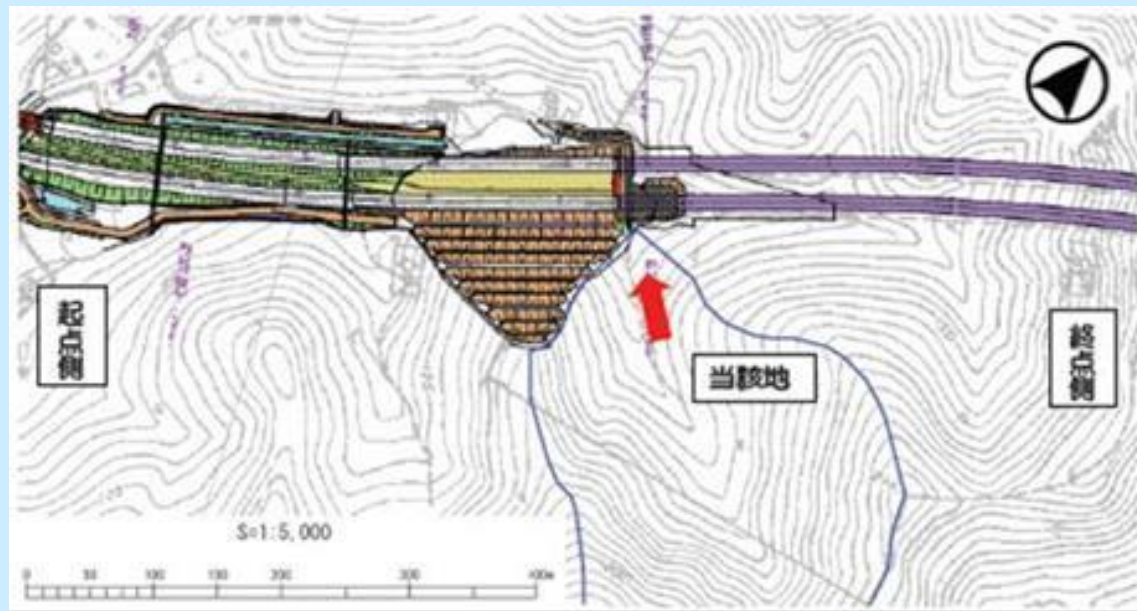


土石流危険個所の の見逃し

切土前は集落に対する
土石流危険溪流



高エネルギー柵を土石流対策に採用



特殊な対策 土石流を堆積

高速道路完成直前
に追加対策



トンネル坑口の土石流対策

国道32号戸手野トンネル

工事中の対策追加

← 沢部の砂防堰堤工

↓ 坑門背後の流路工



おわりに:二次災害を回避する知識

斜面崩壊における二次災害事例

- (1) 高知繁藤斜面崩壊(1972年7月)
住民1名生埋め、消防団など59名死亡
- (2) 川崎市高津区宅地崩壊(1989年8月)
住民3名生埋め、消防3名死亡
- (3) 上信越道法面崩壊(2001年9月)
崩壊点検中2名死亡
- (4) 北海道えりも町岩盤崩壊(2004年1月)
監視中1名死亡
- (5) 奈良県上北山村国道169号斜面崩壊(2007年1月)
通行車両被災3名死亡
- (6) 浜松市原田橋崩落(2015年1月)
落石点検中2名死亡

事例(1)
繁藤斜面崩壊
1972年7月

小崩壊の被災者1名を
救出中に大崩壊
犠牲者60名の惨事



関東で集中豪雨禍



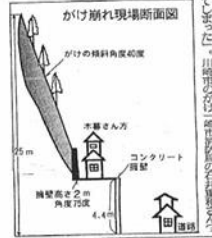
がけ崩れで巻き埋め事故があった川崎市高津区の現場
＝1日午前3時35分、朝日新聞社へりから写す

がけ崩れで死者不明6人

消防隊員も巻き込む

川崎

【本紙記者川崎二日電】川崎市高津区で、集中豪雨によるがけ崩れで、死者が六人不明となり、消防隊員も巻き込まれた。消防当局によると、崩壊したのがけは、高さ約二十五メートル、幅約十メートルと推定されている。崩壊したのがけは、高津区蟹ヶ谷の住宅地を襲った。消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。また、消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。



「あと一分あれば…」

消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。また、消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。

消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。また、消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。

消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。また、消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。

消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。また、消防隊員も巻き込まれ、救助活動が行われている。消防当局は、崩壊したのがけの周辺に警戒線を設置し、捜索活動を行っている。

事例(2) 宅地の斜面崩壊
1989年8月1日川崎市高津区蟹ヶ谷

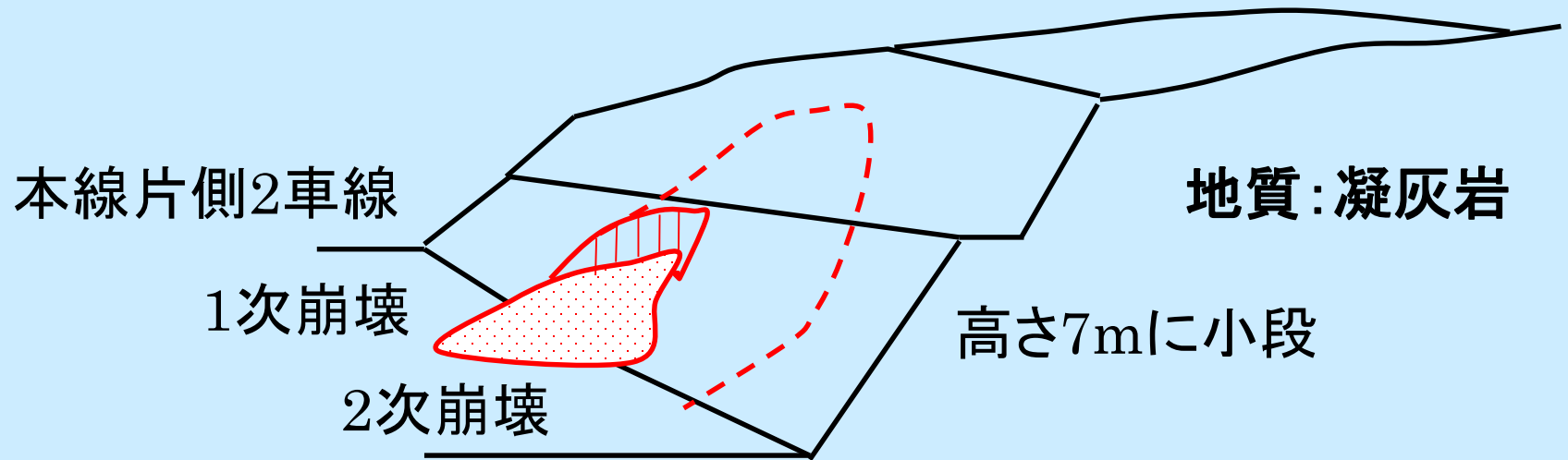
集水地形で表流水が集中

崩壊規模：高さ25m幅10m

3:15住宅埋没(3人生埋め)
被災直後救助を求める声あり
消防30人救助活動に入る
4:29二次崩壊(150m³)

消防14名被災(3名死亡)
翌朝、生き埋めの住民3名死亡確認

事例(3) 上信越道法面崩壊

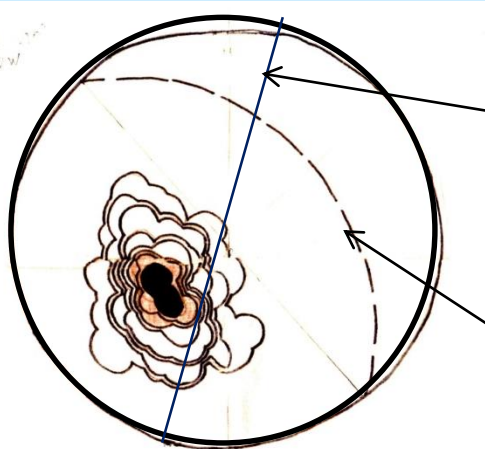


降雨停止直後の道路点検中、
法面小崩壊確認(通行規制中)
→点検者5名が路面から観察
→2次崩壊の発生
→5名が崩土にのみ込まれ2名
死亡、3名負傷



事例(4) 国道336号北海道えりもの崩壊 2004年1月13日

地質: ホルンフェルス(熱変成岩)
大崩壊の数日前および1月12日
7:30に小崩壊発生(規模400m³
程度)

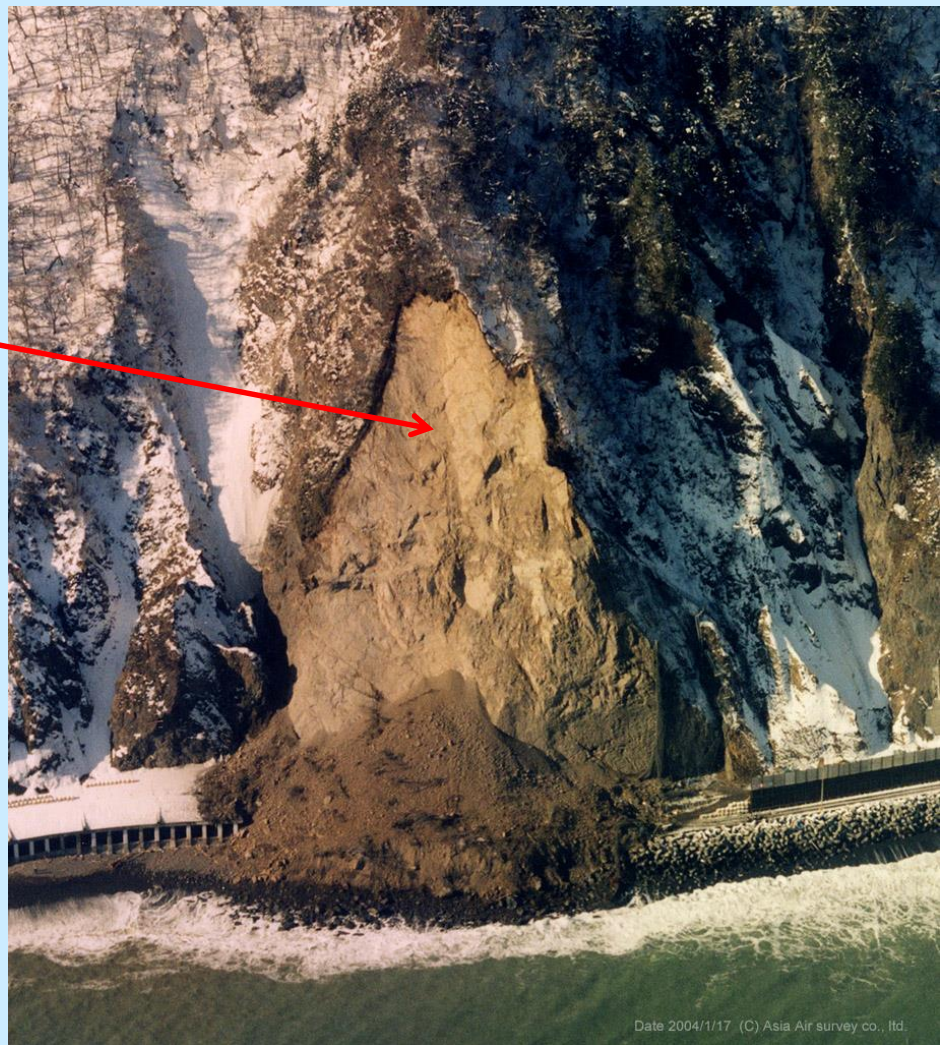


クサビ破壊
斜面の走向
N15E

片理面(64)
N42W, 40NE

剪断面(24)
N28W, 55NE

シュミットネットは南半球投影
円の上部が北



Date 2004/1/17 (C) Asia Air survey co., Ltd.

アジア航測株式会社撮影

事例(5)上北山村 国道169号斜面崩壊



地質：四万十帯 砂岩および
泥岩(混在岩)

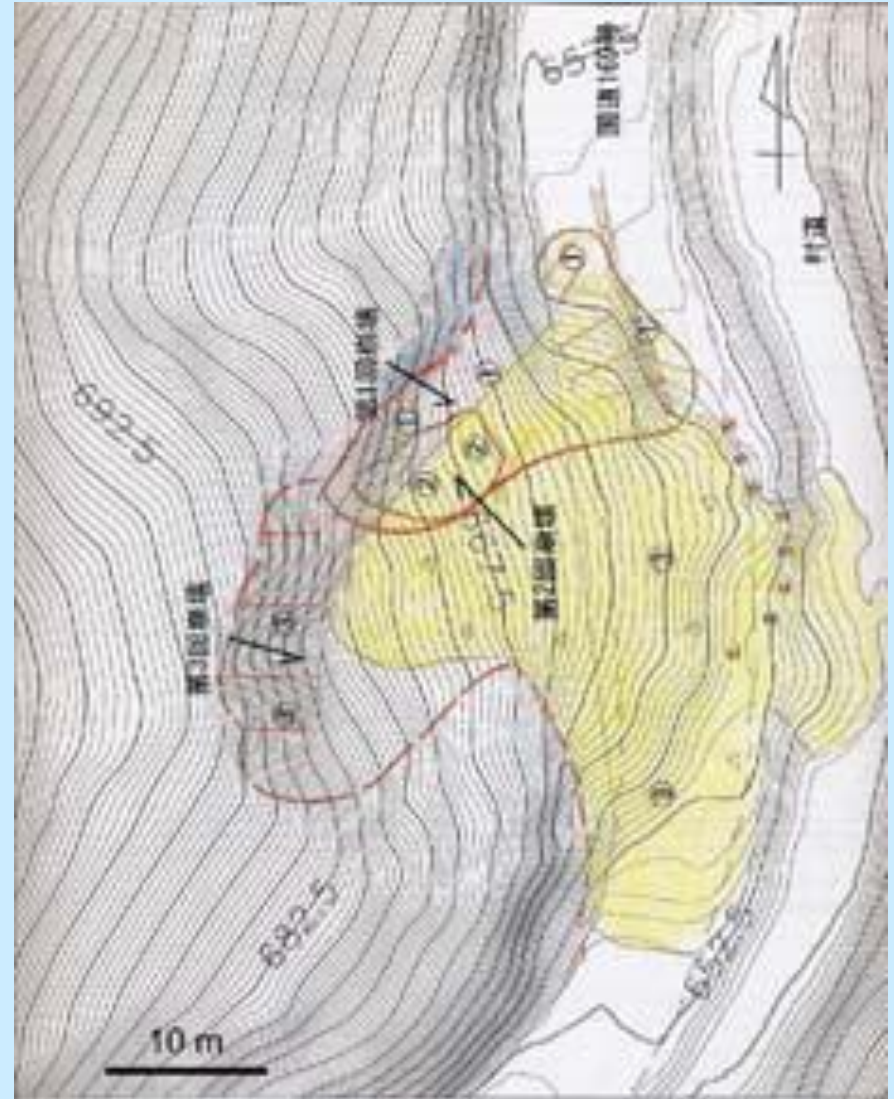
2007年1月18日20:50

小崩壊100m³

1月21日0:00 小崩壊80m³

1月30日7:40

崩壊(1.1万m³)、死者3名



奈良県委員会資料

事例(6) 浜松市原田橋崩落

傾斜75度の急崖の岩盤崩壊→吊橋落橋
2015年1月31日



2日前に吹付け工の剥離
当日に落石→原田橋を通行止

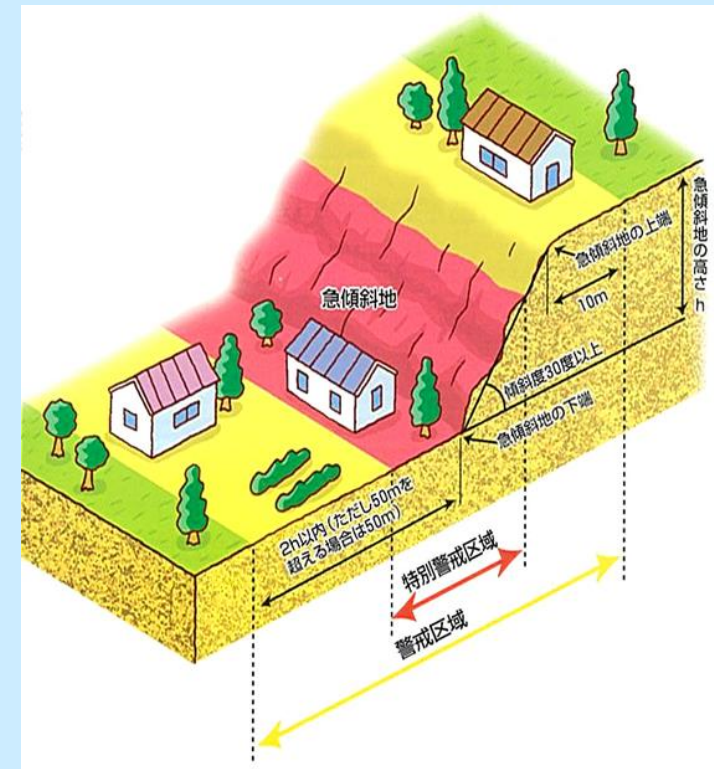
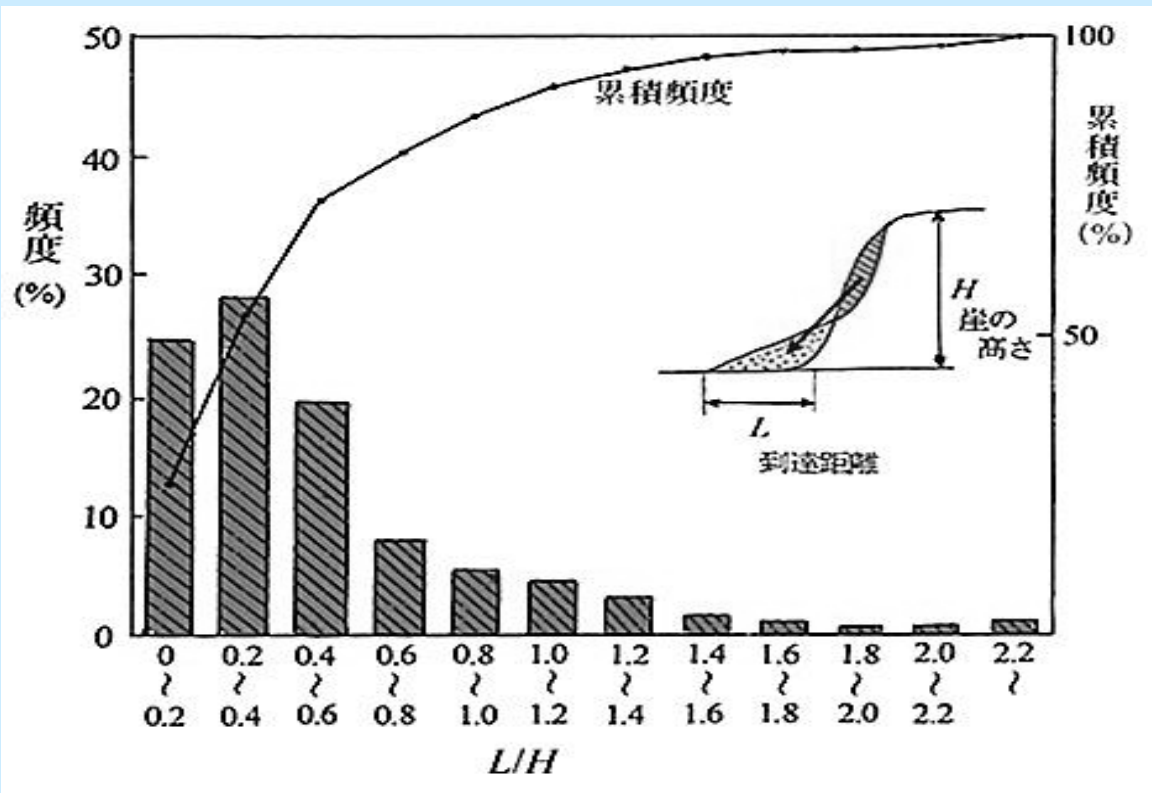
午後:浜松市管理者2名
が橋上から観察直後、岩
盤崩壊発生、吊橋の落下
に巻き込まれて死亡

事例に学ぶ留意点は次の3点

- ① 崩壊土砂の到達距離
関係事例(1)(3)(6)
- ② 崩壊の前兆から崩壊までの余裕時間
関係事例(4)(6)
- ③ 小崩壊後の規模の大きな崩壊
関係事例(1)(2)(3)(4)(5)(6)

① 崩壊土砂の到達距離

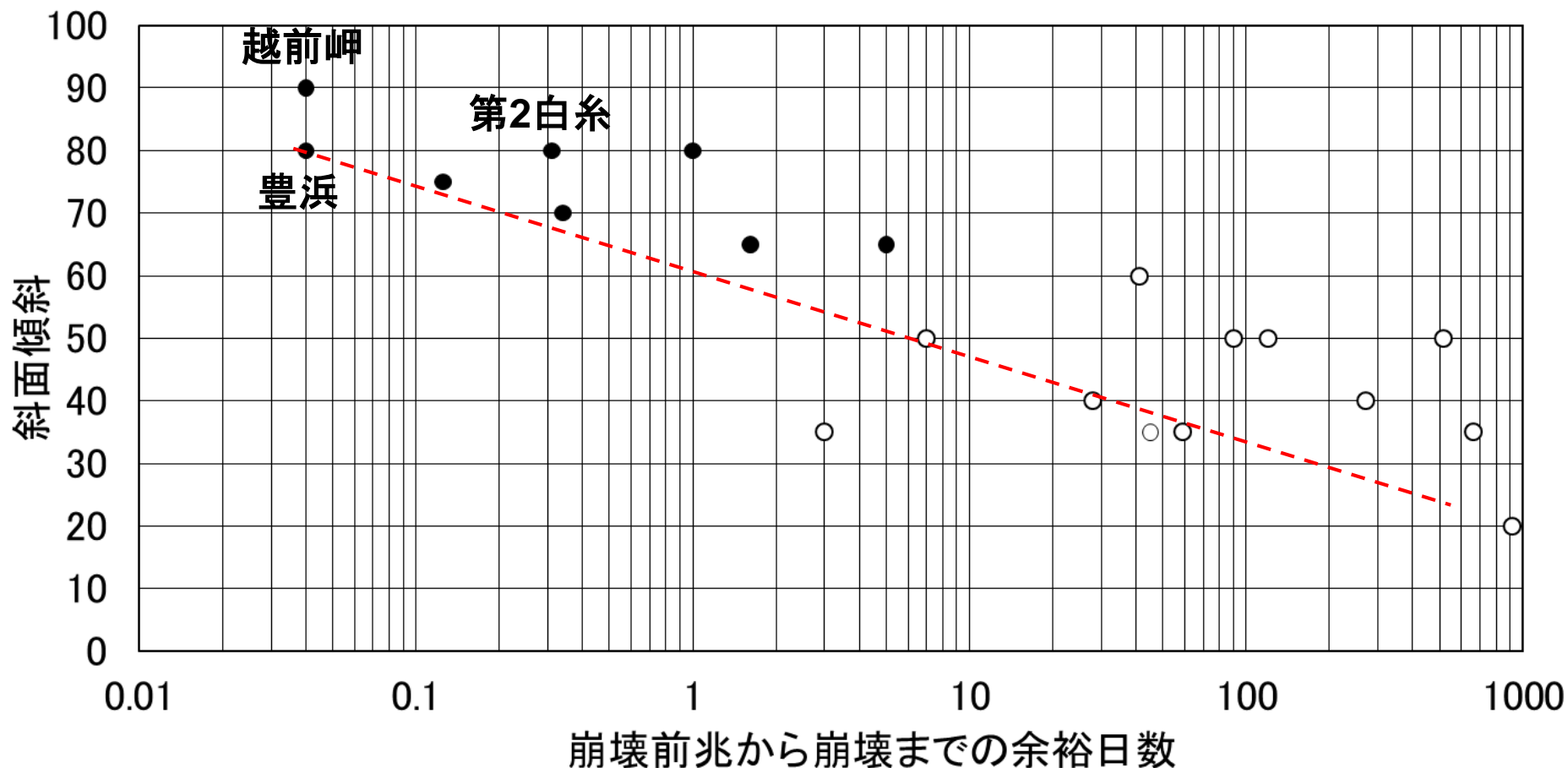
崖の高さの2倍の距離 ($L < 2H$) が危険範囲



防災科学技術研究所、国土交通省資料

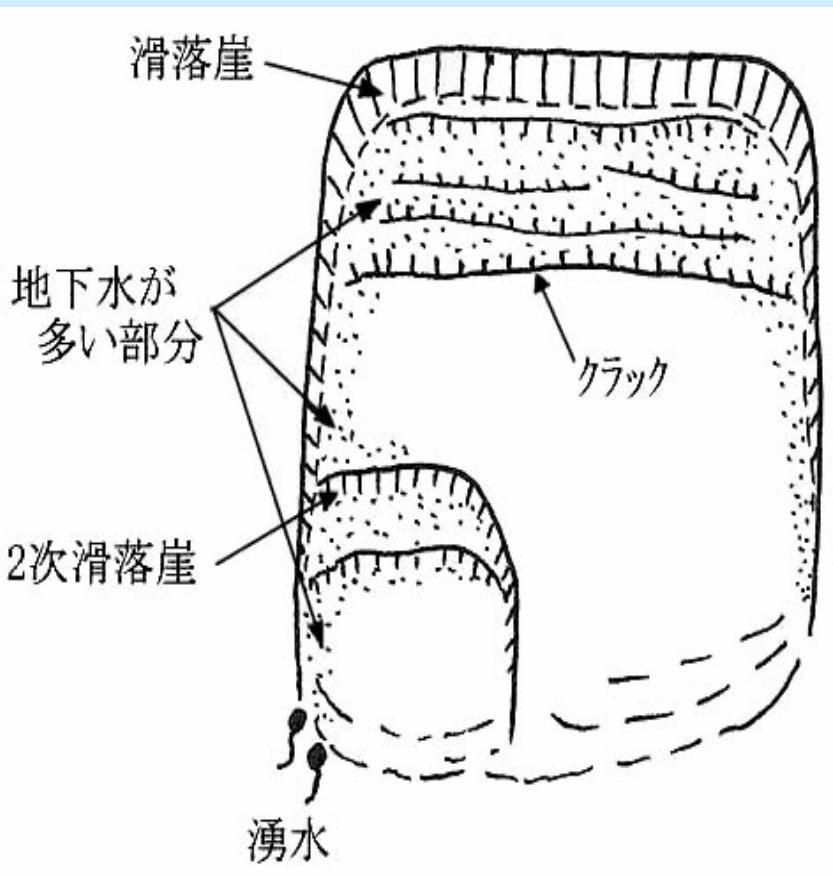
②斜面崩壊の前兆から崩壊までの余裕日数 急崖で前兆あれば余裕なく極めて危険

傾斜65°以上の急崖では前兆から5日以内に崩壊発生
8事例中6事例は1日以内に崩壊発生

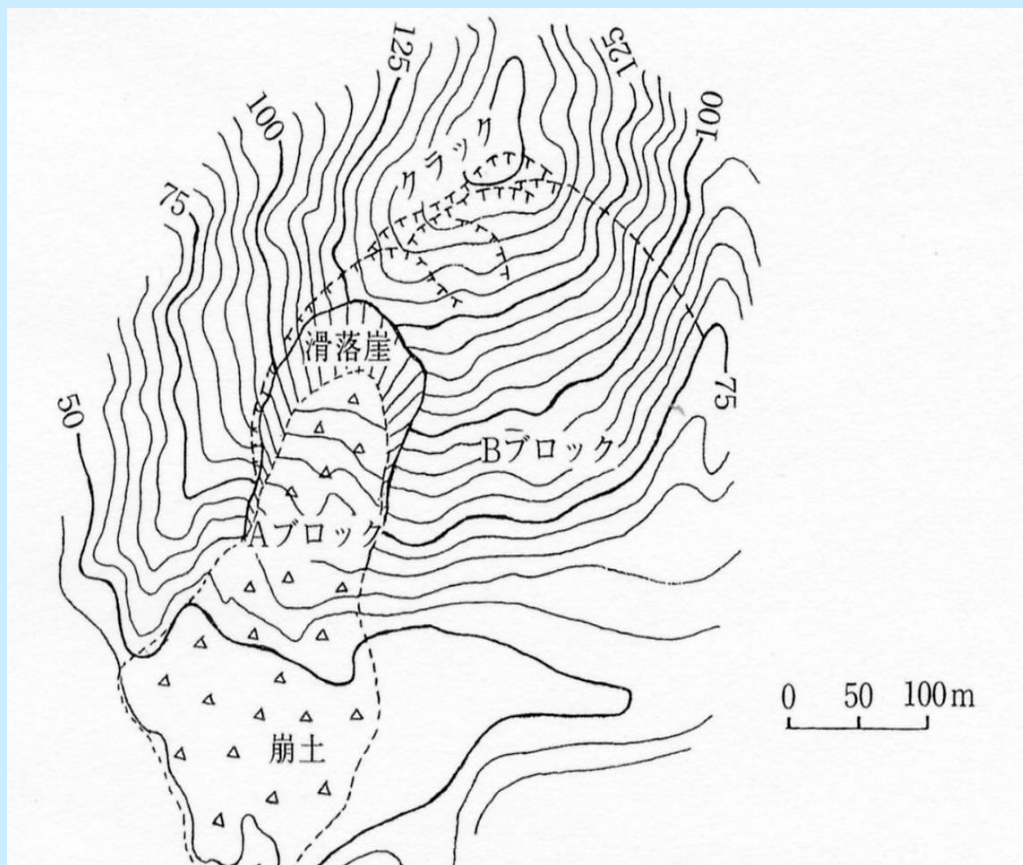


③ 小崩壊後の規模の大きな崩壊

浸透地下水は引張り亀裂の部分(左図ハッチ部分)を流れる



模式図



実例

斜面崩壊箇所における二次災害回避の留意点

以下の①②③の理解があれば二次災害の防止が可能

①崩壊土砂の到達範囲は崖高の2倍、大半は1倍

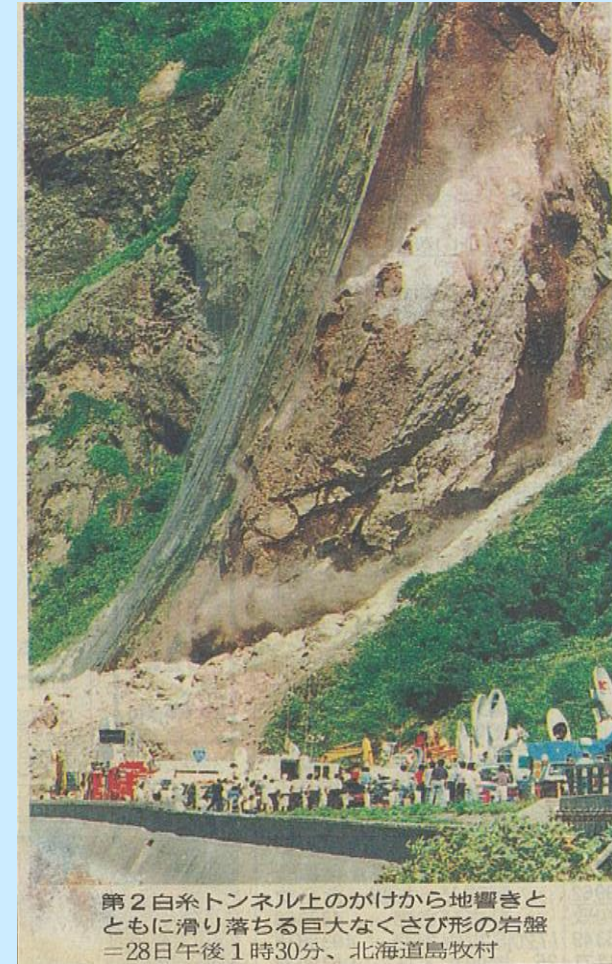
②傾斜 65° 以上の急崖で落石や小崩壊(前兆)を確認した場合、1日以内に崩壊が発生する可能性が高い

③小崩壊は大規模な斜面の不安定化につながる場合が多い

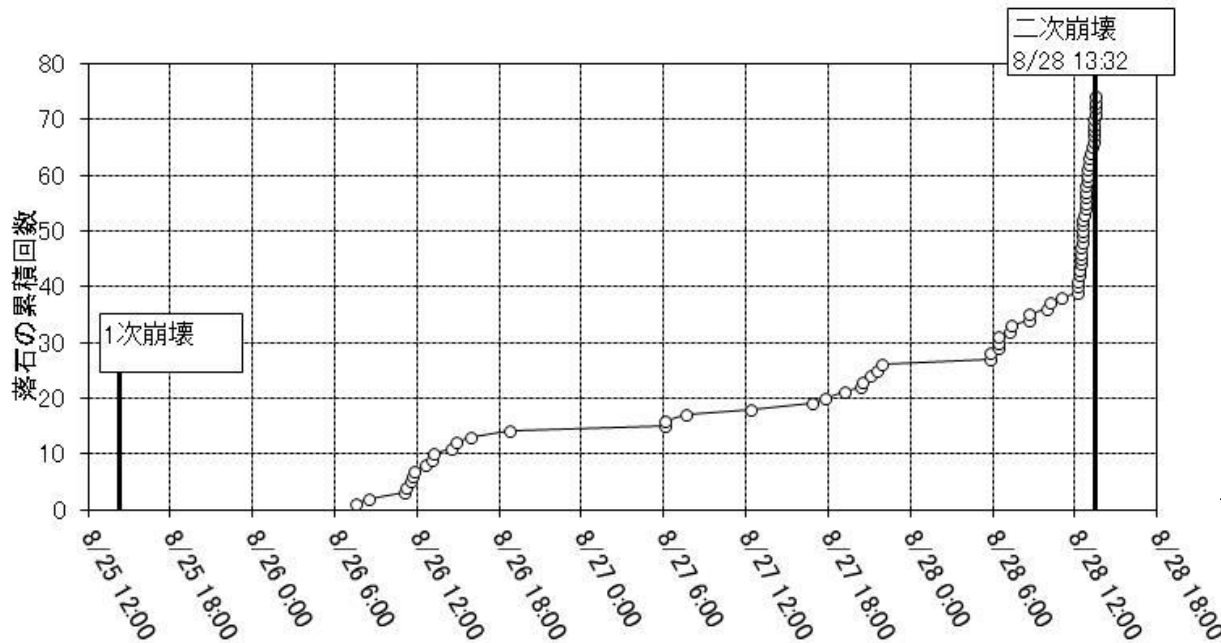
具体的な対応事例



落石頻度が
増して2次
崩壊発生



第2白糸トンネル上のがけから地響きとともに滑り落ちる巨大なくさび形の岩盤
=28日午後1時30分、北海道島牧村

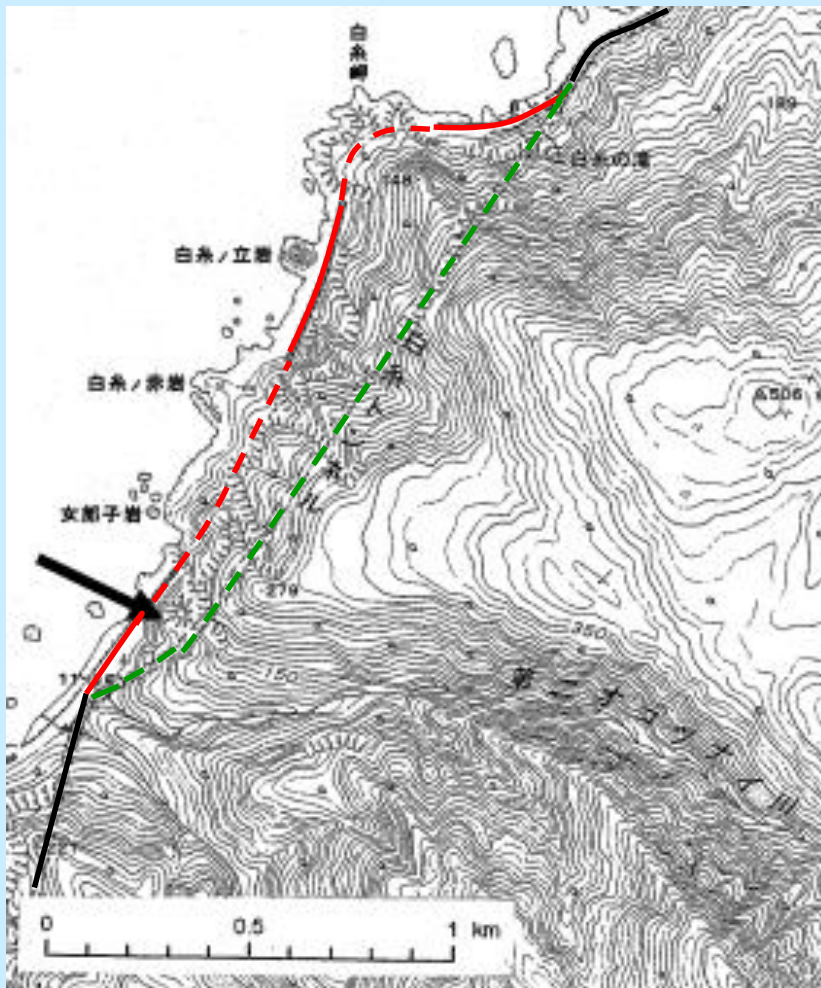


第2白糸トンネルの岩盤崩壊
1997年8月25日、8月28日

第2白糸Tの岩盤崩壊対策

抜本的な対策: ルート変更

旧ルート(赤): 海岸沿いに2トンネル
新ルート(緑): 山側で1トンネル





おわり

お疲れ様でした

海底地すべりを観察できるのり面