



# 盛土から発生する土石流 —熱海土石流災害を受けて—

静岡大学農学部  
今泉 文寿

2021年7月3日，静岡県熱海市で大規模な  
土石流が発生

死者26名，行方不明者1名，損壊家屋128棟

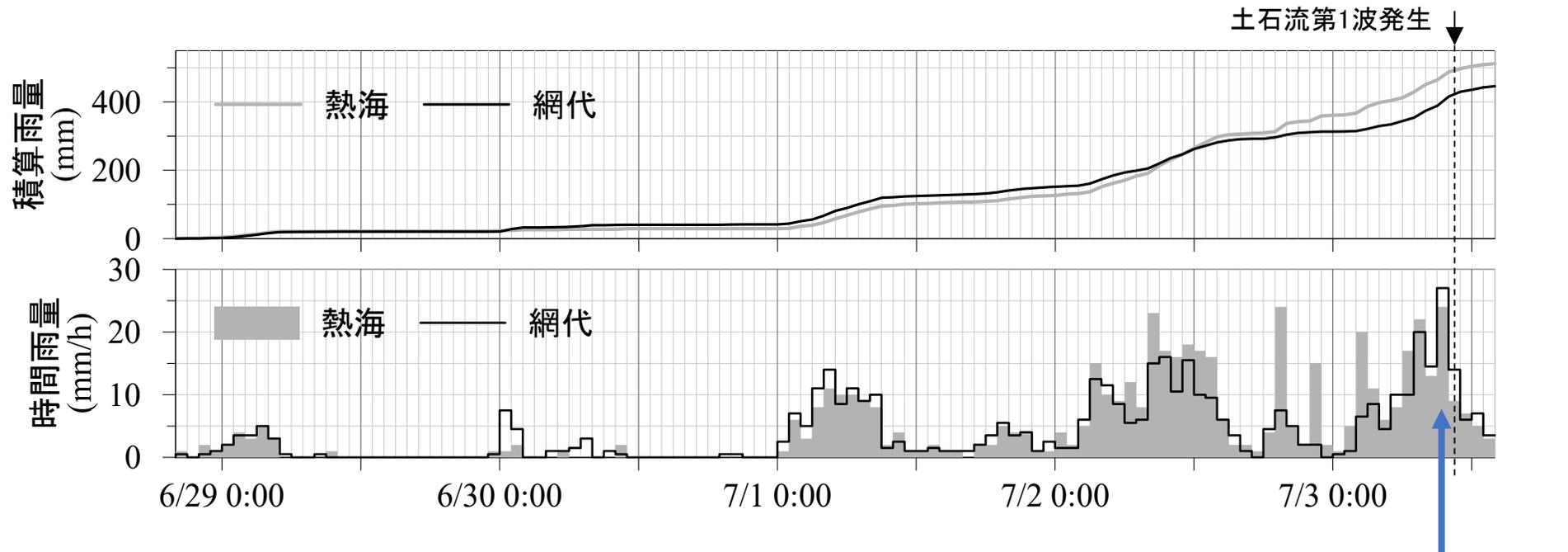


# 本日の内容

- 熱海土石流災害の概要
- 土石流とは
- 盛土が土石流化する条件は？

# 熱海土石流災害の概要

# 土石流災害を引き起こした降雨



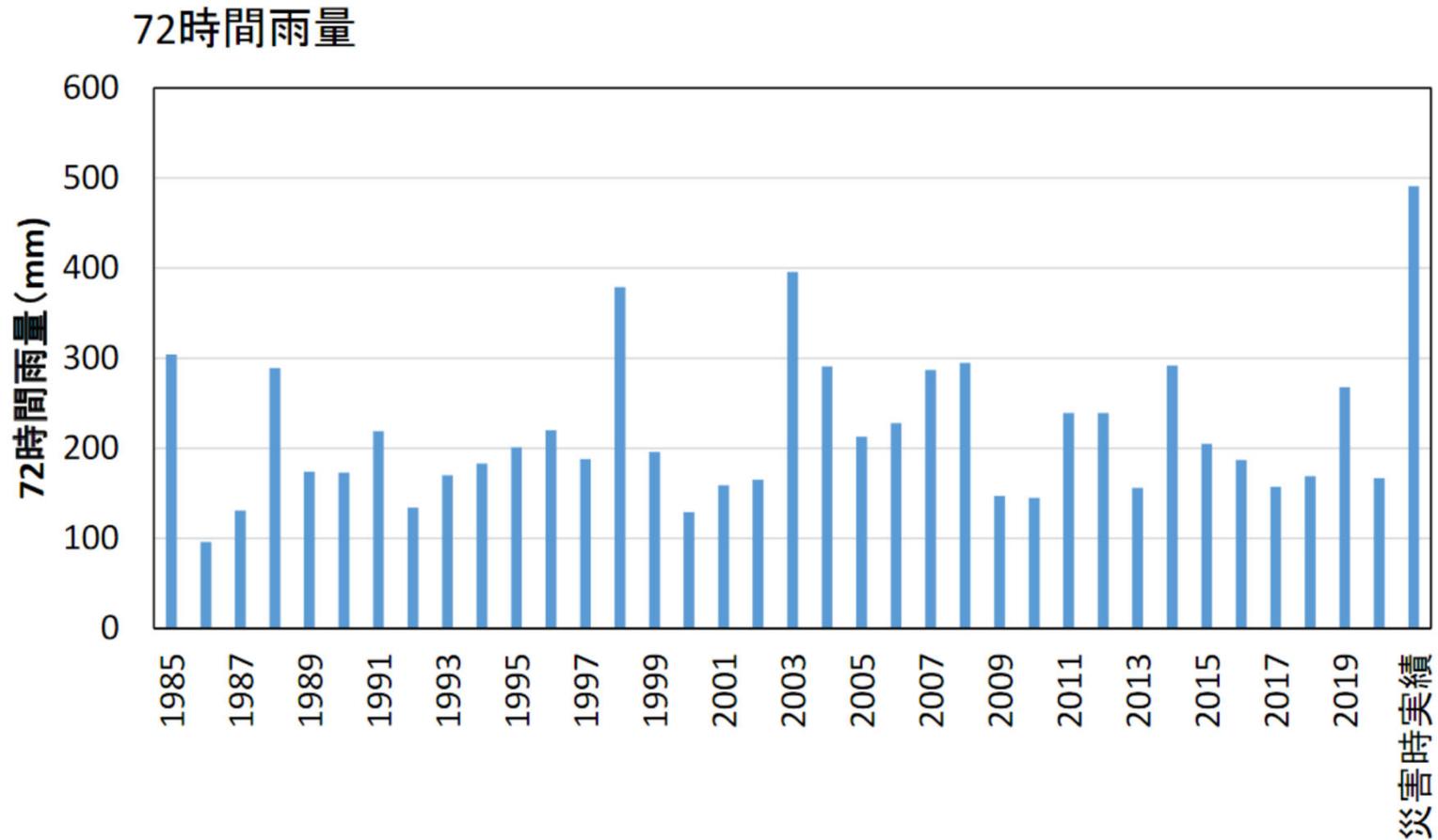
24 mm/h

短時間の降雨強度は際立って大きいわけではない

積算 488 mm

積算雨量はかなり大きい

# 土石流災害を引き起こした降雨



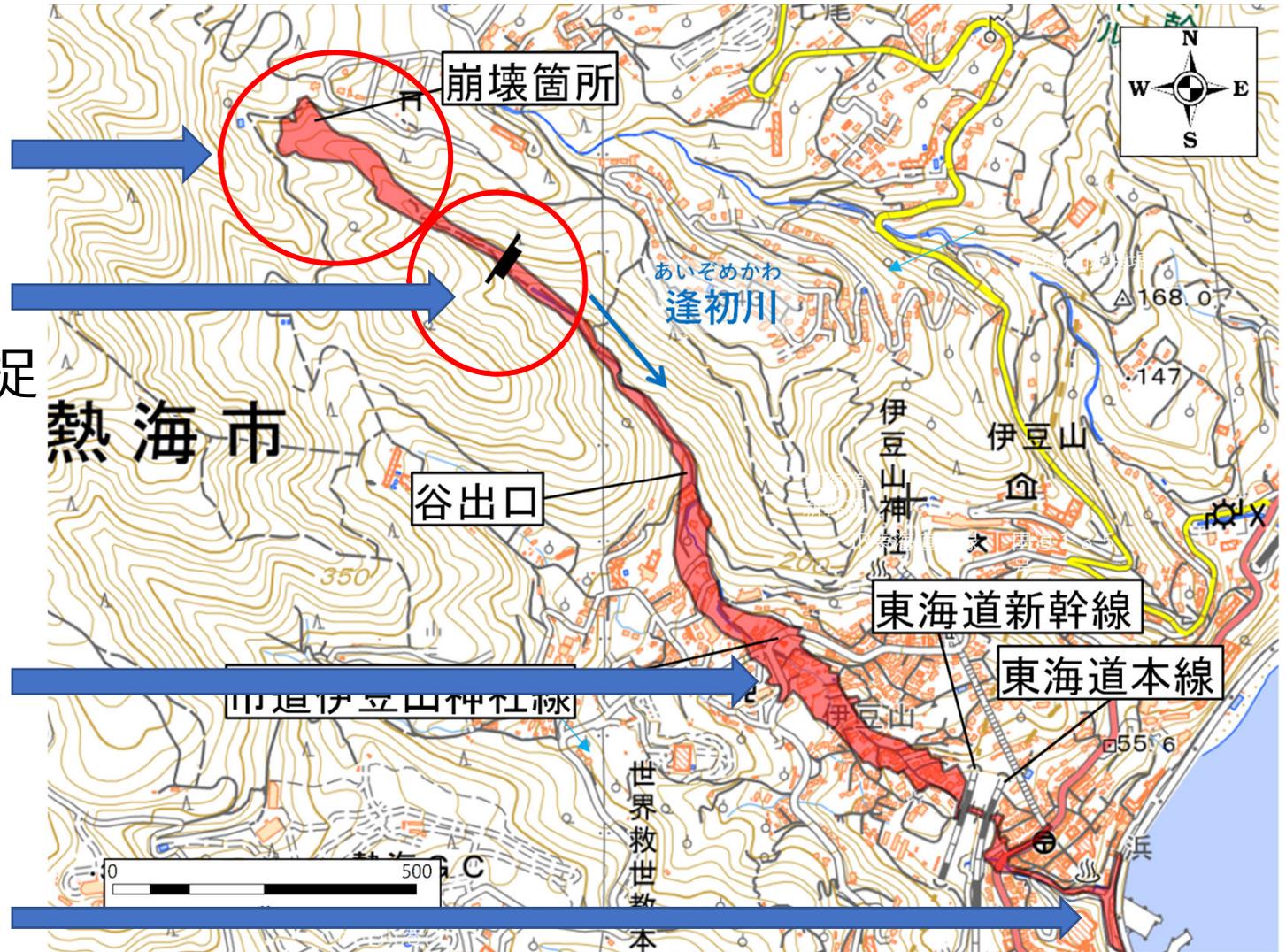
# 土石流の流下状況

発生源  
盛土

砂防堰堤で  
一部の土砂を捕捉

主な被災エリア

海まで到達



今泉ら, 2022, 砂防学会誌を一部改変

発生域

崩壊

左岸側崩壊  
(褐色の崩壊面)

黒色盛土

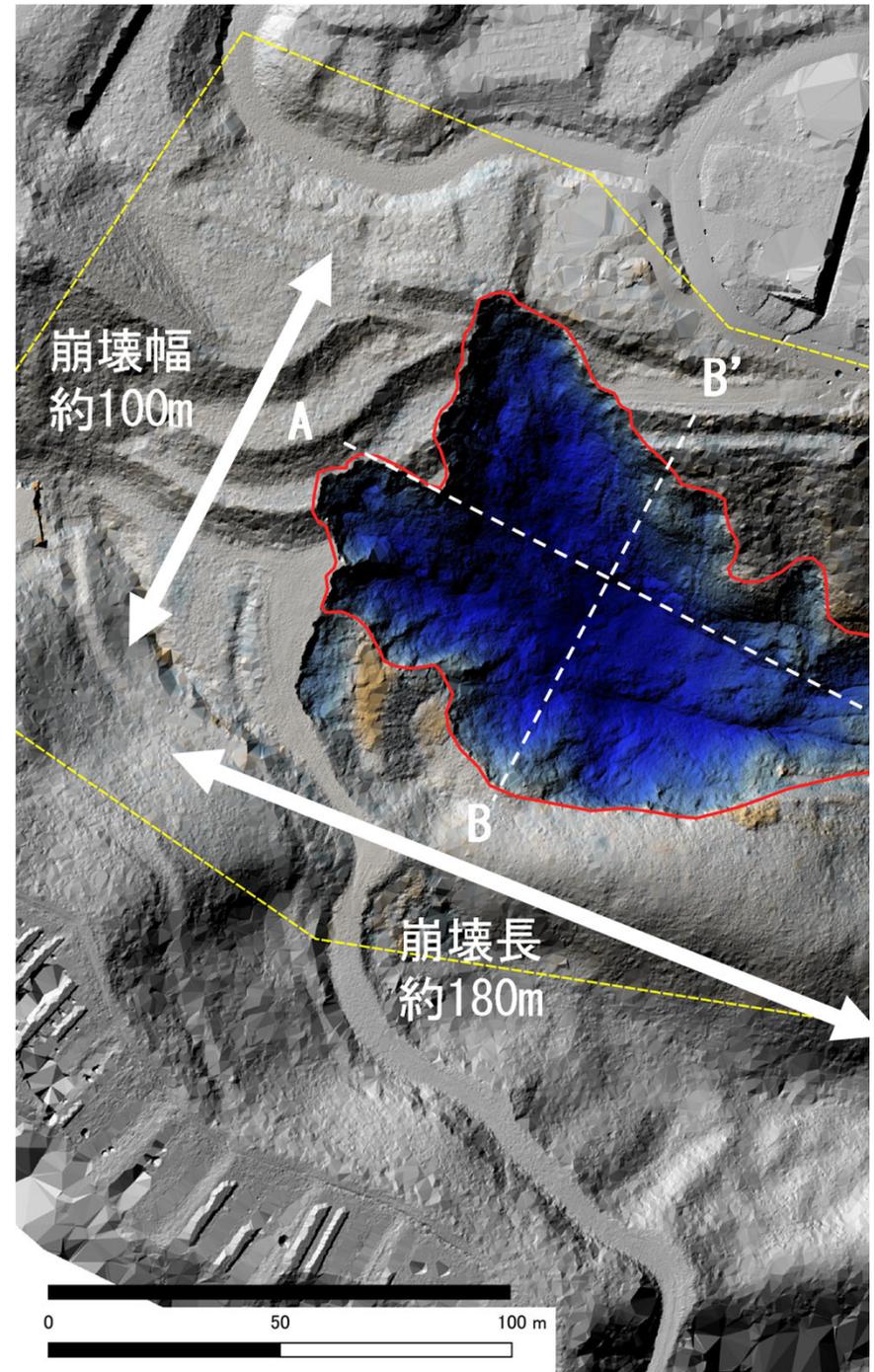
崩壊土砂  
堆積範囲

緩勾配な  
区間

滝壺のよう  
な窪み



崩壊土砂量：約5.55万 $m^3$



今泉ら, 2022, 砂防学会誌

砂防堰堤：  
7,500 m<sup>3</sup>の土砂を捕捉  
(設計は4000m<sup>3</sup>)



今泉ら, 2022, 砂防学会誌

谷出口：  
住宅地が全壊







河道断面積が小さい⇒容易に氾濫

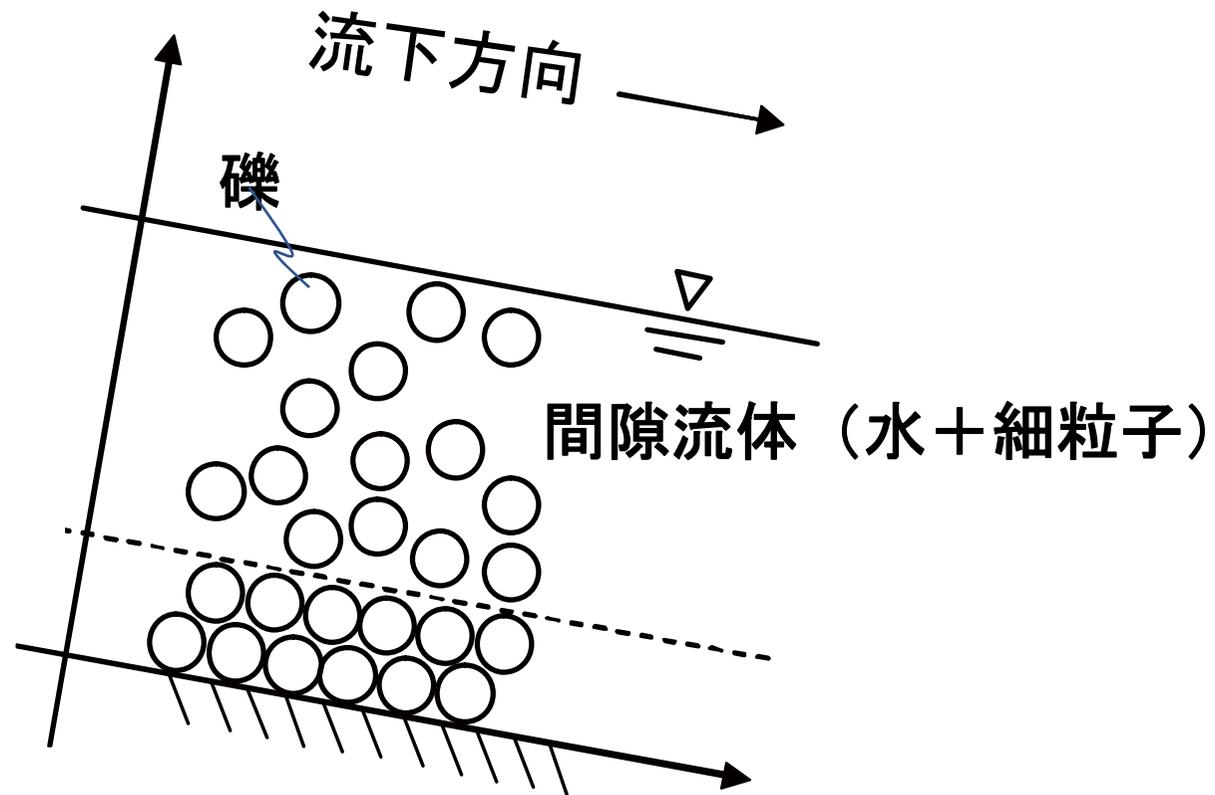


川が暗渠に⇒閉塞して氾濫

土石流とは？

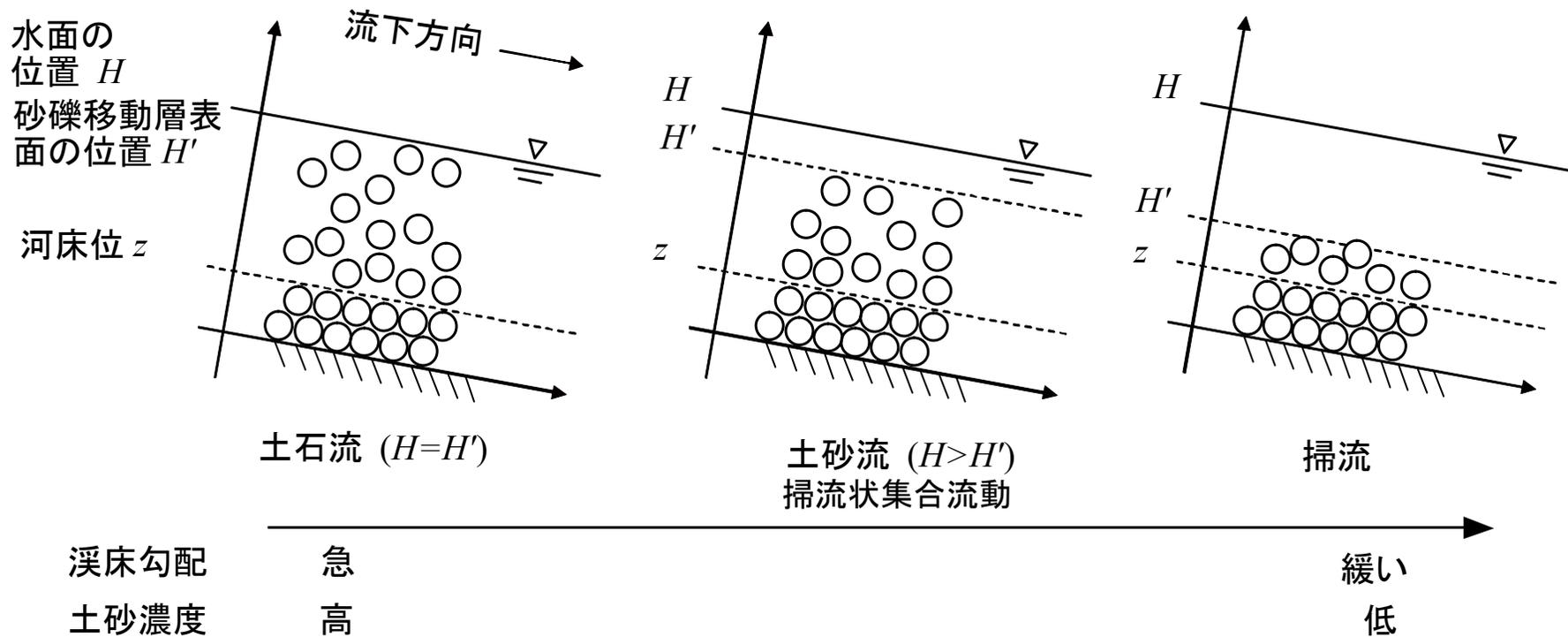
# 土石流とは？

土砂（砂礫）と水が**一体**となって渓流を**流下**する現象。つまり土砂と水の混合流体



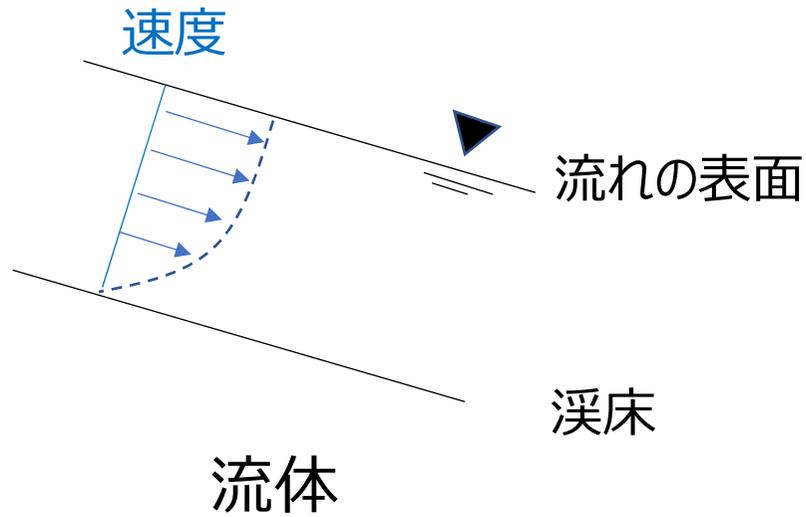
間隙流体の存在が流れやすさにつながる

# 土石流とは？

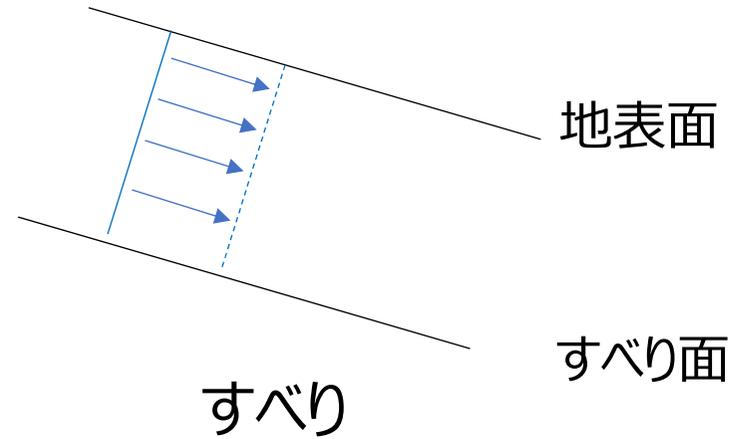


渓流における他の土砂移動現象と比較して**急勾配**の渓流で発生し、**砂礫が高濃度**

# 崩壊・地すべりとの違い



土石流

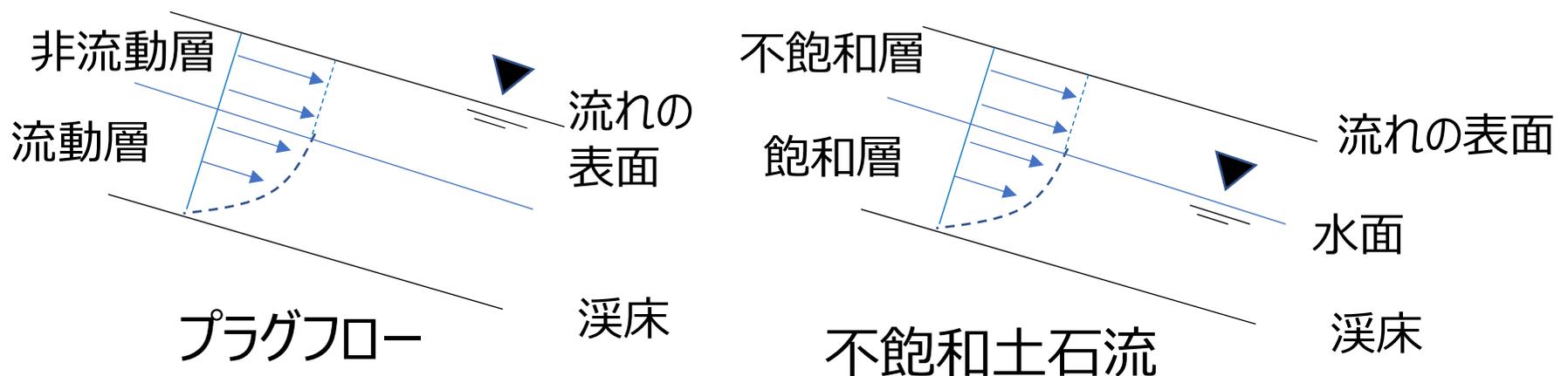


崩壊・地すべり

## 実際は区別が難しい

すべりにより移動を開始した崩土が構造を乱し土石流化

**プラグフロー**（移動土塊の上層が流動していない流れ）や**不飽和土石流**（移動土塊の上層が不飽和の土石流）といった、崩壊と土石流の中間的な土砂移動も存在



# どうして土石流は流れやすいのか？

## **過剰間隙水圧の発生→有効応力の減少**

粗粒子の骨格構造が乱される→間隙流体が収縮  
流れの乱れによるレイノルズ応力

## **細粒子が間隙流体に取り込まれることによる間隙流体の単位体積重量の上昇（液相化）**

平衡濃度式（与えられた溪床勾配に対して平衡状態にある土石流の濃度）

$$c_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

$c_d$ ：平衡濃度     $\rho$ ：間隙流体の単位体積重量

$\sigma$ ：砂礫の単位体積重量（=2650 kg m<sup>-3</sup>）

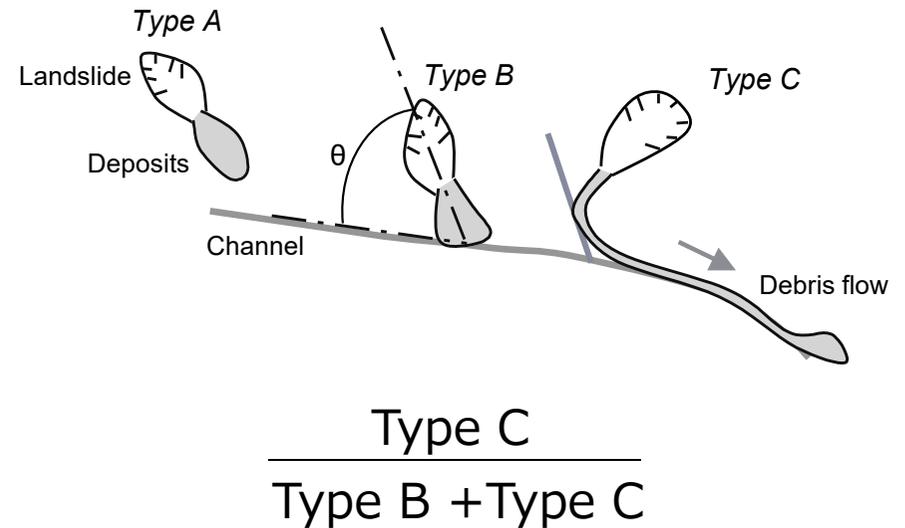
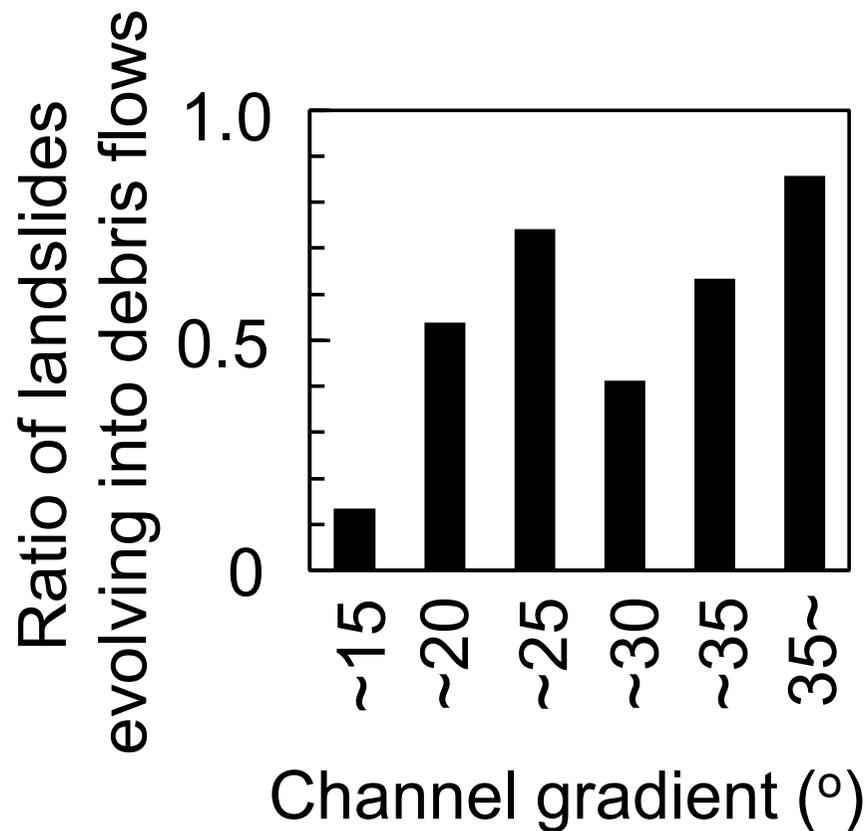
$\phi$ ：内部摩擦角（土砂の特性ごとに一定値）

$\theta$ ：河床勾配

・盛土が土石流化する条件は？

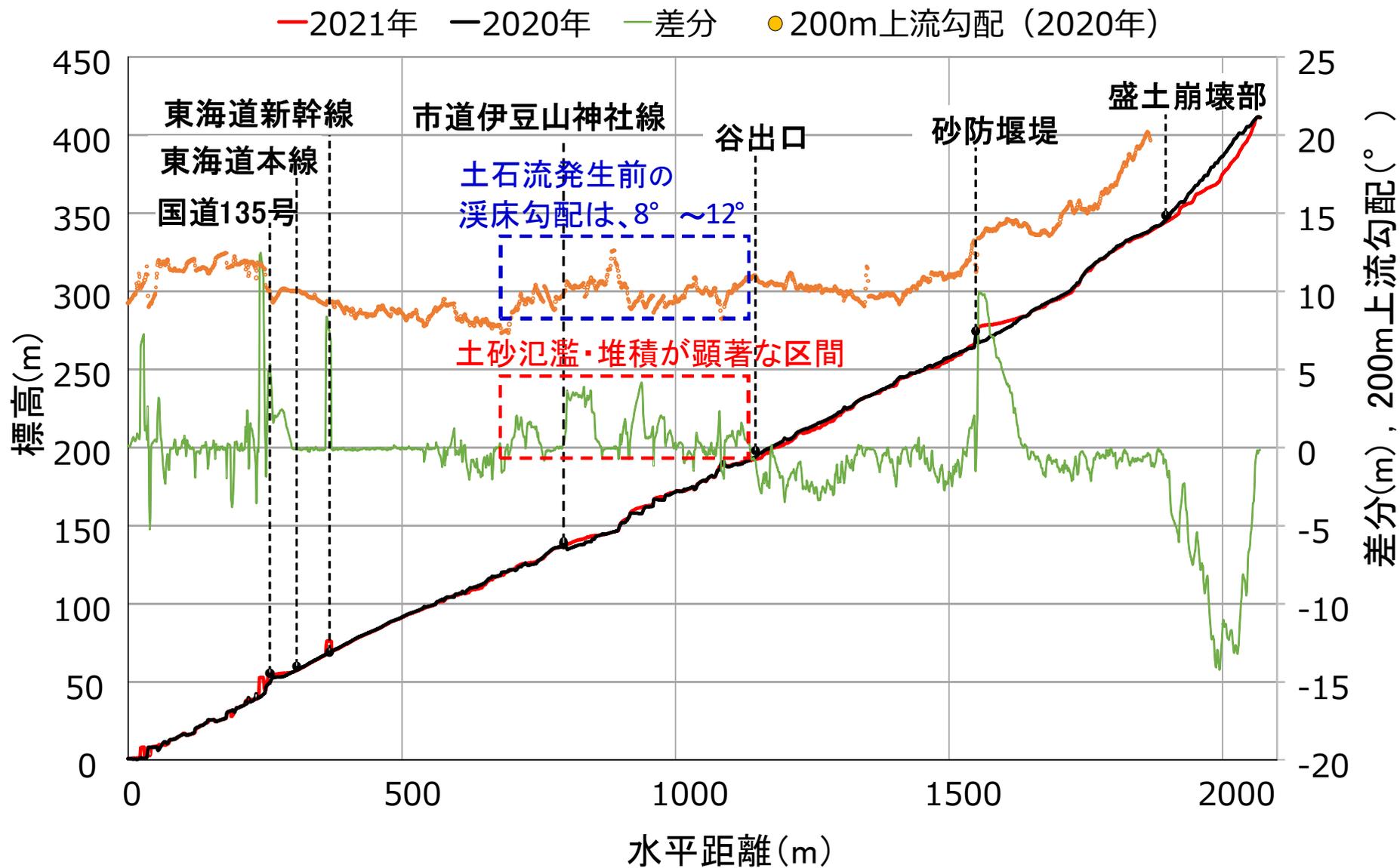
# 河床勾配

河床勾配が急であるほど砂礫や間隙流体に作用する重力が大きいため→河道に崩土が流入したあと移動を継続



Imaizumi and Sidle (2021) Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography

「河床勾配」と「土石流化した崩壊の割合の関係」



盛土付近の勾配は $20^{\circ}$ 程度 $\Rightarrow$ 崩れた土砂が流動化

# 河床勾配

---

河床勾配がゆるいと平衡土砂濃度が少なくなる

$$c_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

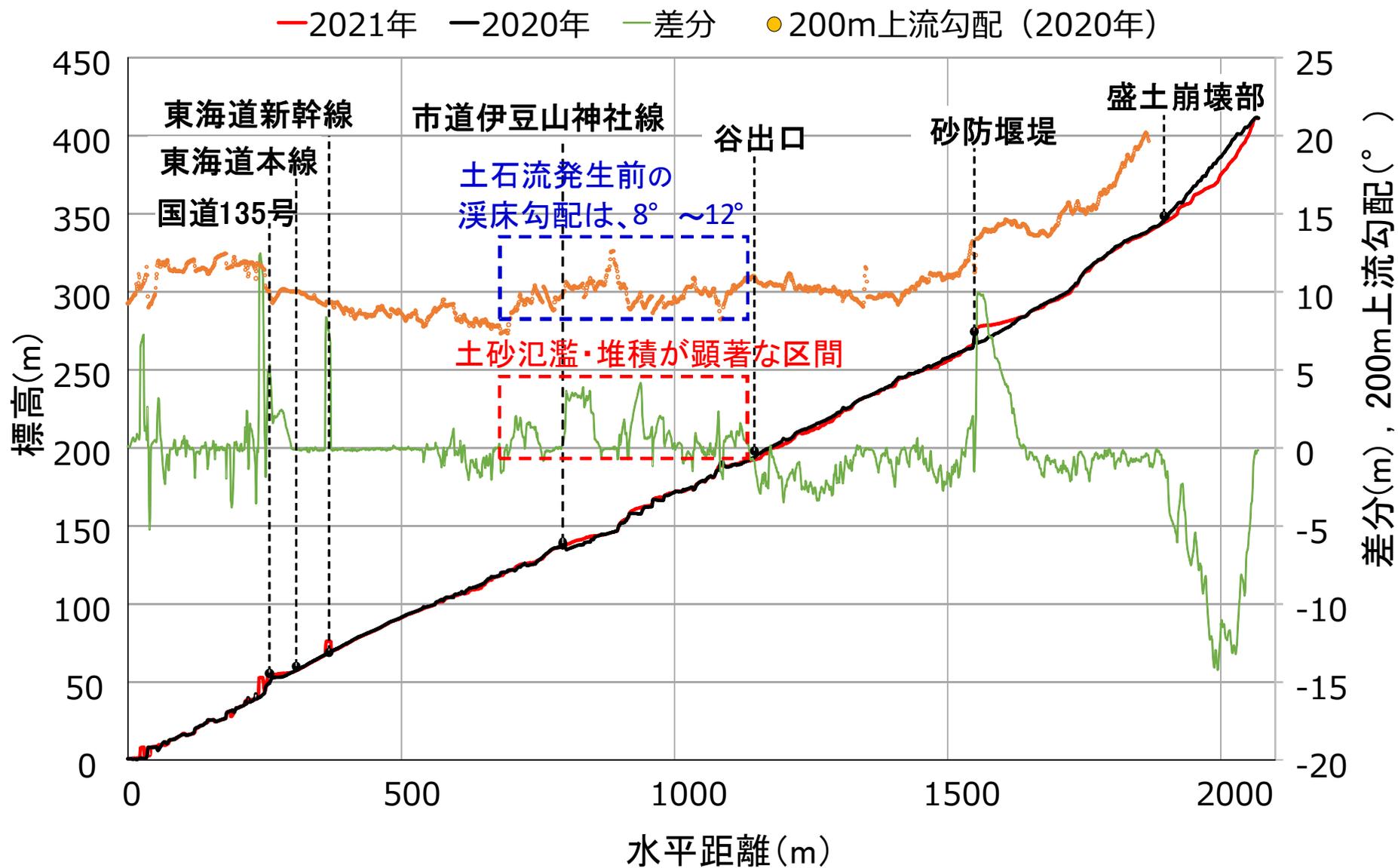
平衡土砂濃度を超える分の土砂は堆積→減衰

または急激に停止

河床勾配がゆるい区間では土砂流（掃流状集合流動）、掃流が卓越

土石流の停止勾配3～5°（火山地域は2°）

河床勾配が急勾配だと高濃度のまま流下可能

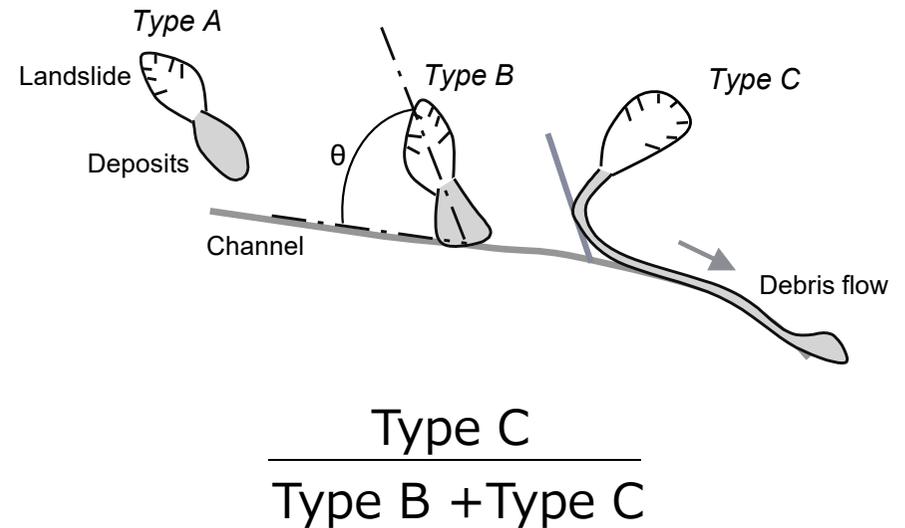
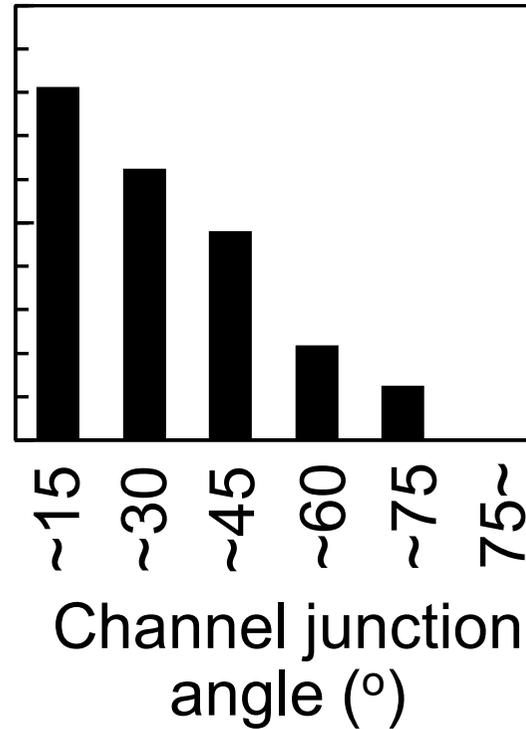


河口まで勾配が $10^{\circ}$ 程度 $\Rightarrow$ 土石流が停止をせずに流下

今泉ら, 2022, 砂防学会誌

# 溪流への流入角度

Ratio of landslides  
evolving into debris flows



Imaizumi and Sidle (2021) Geografiska Annaler:  
Series A, Physical Geography

流入角度が急だとそのまま土石流化

# 土石流の流下状況



今泉ら, 2022, 砂防学会誌を一部改変

# 構成材料

---

細粒分が多いほど土石流は流動性に富む

- 過剰間隙水圧の上昇
- 液相化



# 水の供給

---

土石流は砂礫 + **間隙流体**の混合流体

流動化するためには大量の水の供給が必要  
(降雨, 地下水)

## パターン 1

連続雨量の大きな降雨  
(今回の熱海土石流災害)

深い層からの地下水の  
供給, 広域的な集水が  
関与している可能性

## パターン 2

降雨強度が高い集中的な  
(数時間程度の) 豪雨

浅い流出経路からの水  
の供給

# 谷埋め盛土

---

周囲よりも水が集まりやすい  
(地表面, 地下の集水を含む)

土砂の流入角度が小さい (流動化しやすい移動方向)

盛土が移動を開始した場合, 土石流化するリスクがある

# 谷埋め盛土で注意すべき点

---

地形から推定される流域の外からも集水している可能性がある

排水施設が時間とともに能力を発揮しなくなる可能性がある

地下水位の上昇→崩壊→土石流の発生につながるリスク

# まとめ

---

熱海の土石流災害は

- ・溪流が急勾配であること
- ・材料が細粒であったこと
- ・集水があったこと

などが原因で、崩壊した盛土が土石流化し長距離流下

谷埋め盛土は崩れた場合に土石流化のリスクがある