

2021年7月3日に静岡県熱海市伊豆山地区で発生した盛土崩壊の原因に関する地球科学的研究

2021年7月3日10時半頃に静岡県熱海市伊豆山地区の逢初(あいぞめ)の源頭部にあった盛土の崩壊による土石流で、死者・行方不明者28人、全・半壊家屋64棟の被害が出ました。ここでは、この土石流を**熱海土石流**といいます。北村(防災総合センター・センター長)は、発災日から調査を行ない、共同研究者とともに、11編の日本語の論文を公表しました。その概要を紹介します。

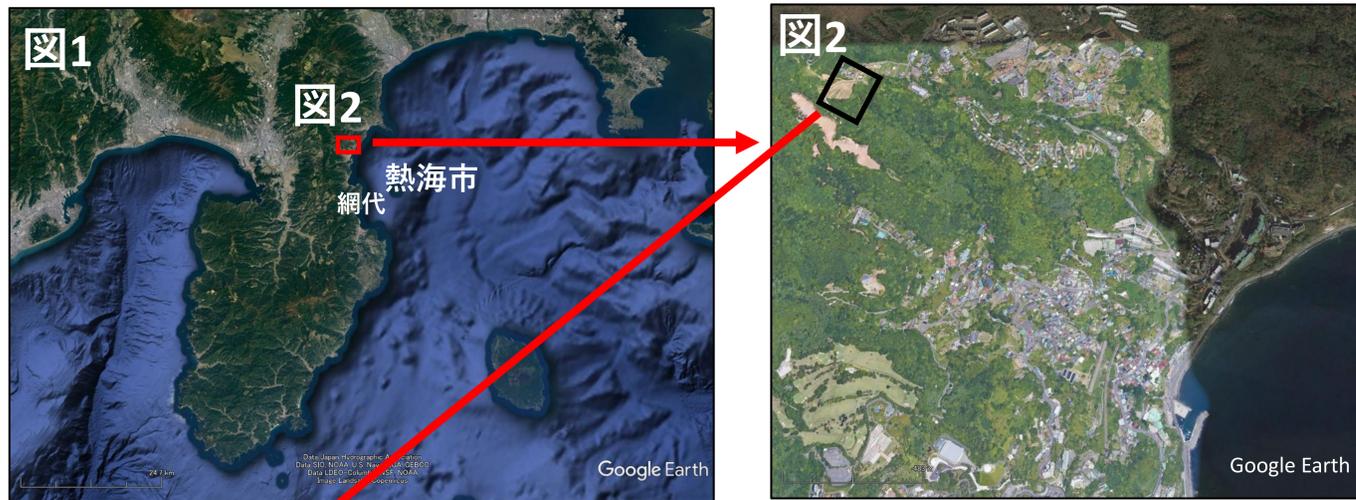
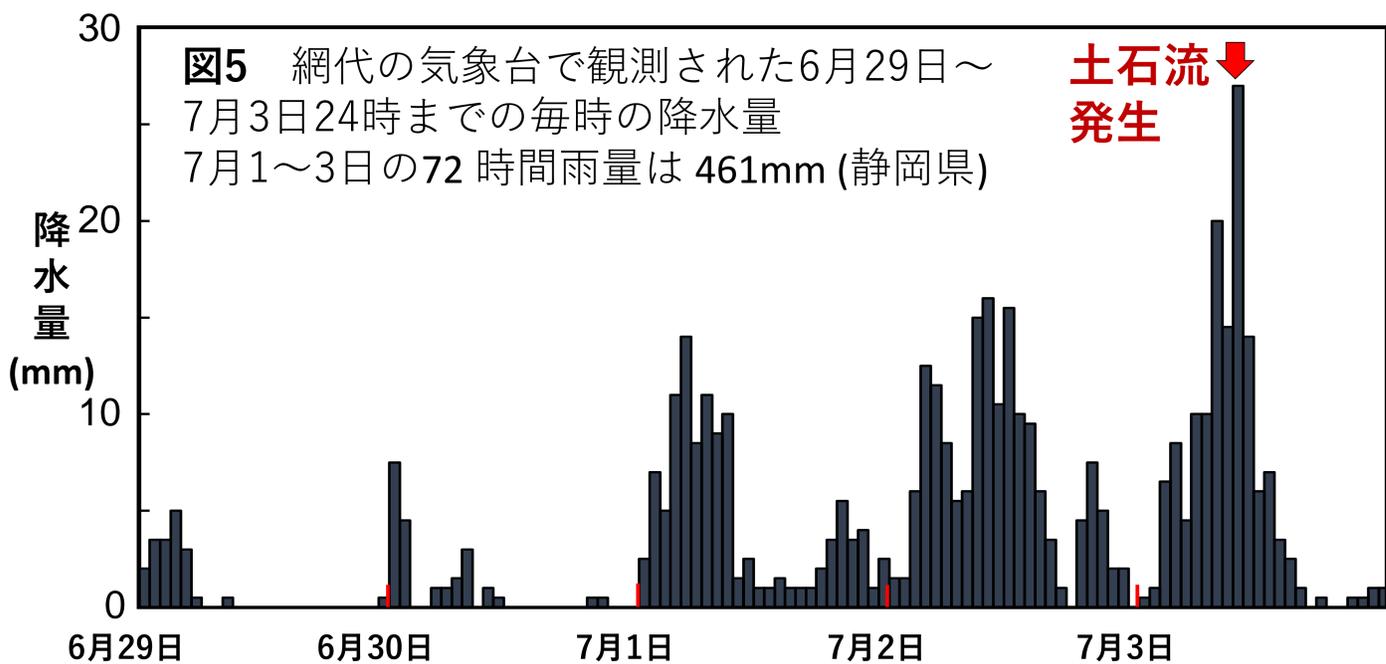
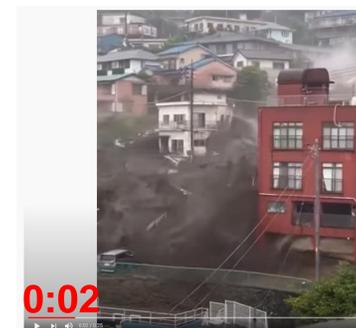
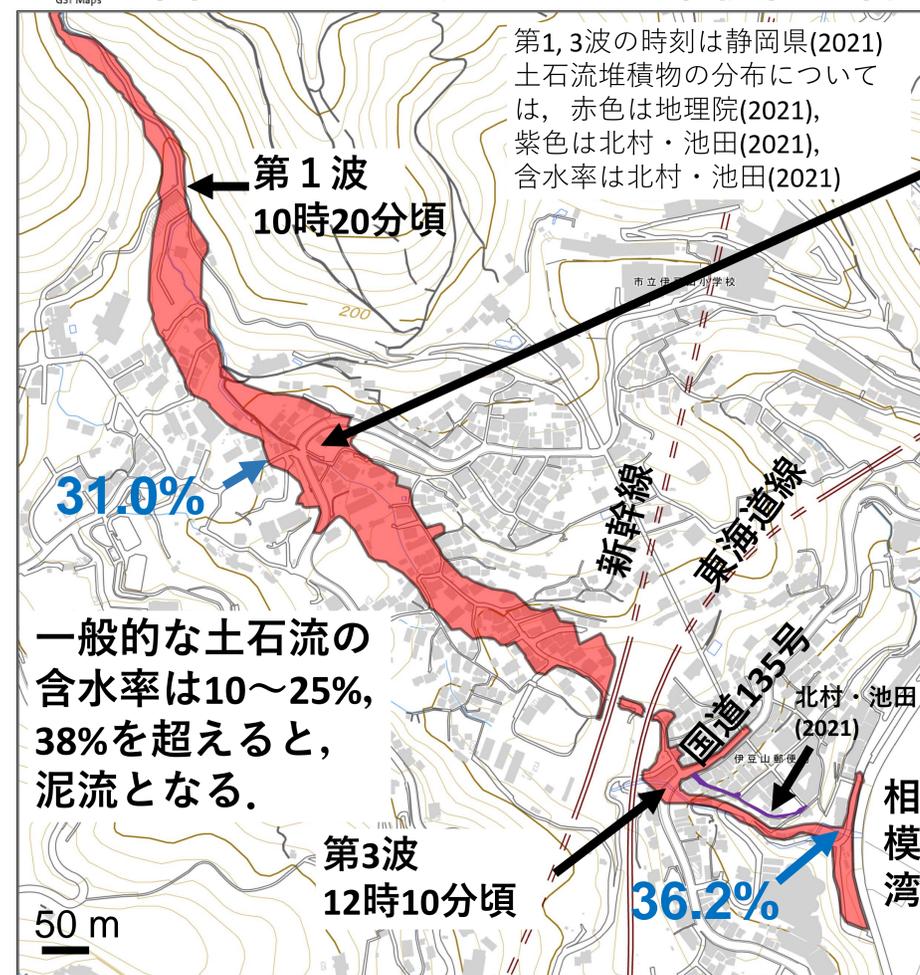


図4 静岡県が公開した盛土崩壊地の写真。盛土は、2011年までには崩壊前の状態になっており、推定崩壊量は約55,500m³ (静岡県, 2021)



地理院地図 図6 土石流の挙動とその堆積物の含水率



土石流の流路勾配はほぼ一定で、平均勾配は11.3° (20%)で、流路の屈曲度は1.07で直線的です。土石流は、砂防堰堤を土石流堆積物で埋め、さらに流下し、最上流の集落に10時20分頃に到達し、静岡県はこれを第1波としました。その後、土石流は複数回流下し、新幹線と東海道線の高架下を流下し、12時10分頃に国道135号線に到達し、静岡県はこれを第3波としました。さらに、土石流は流下し伊豆山港から相模湾に流下しました。

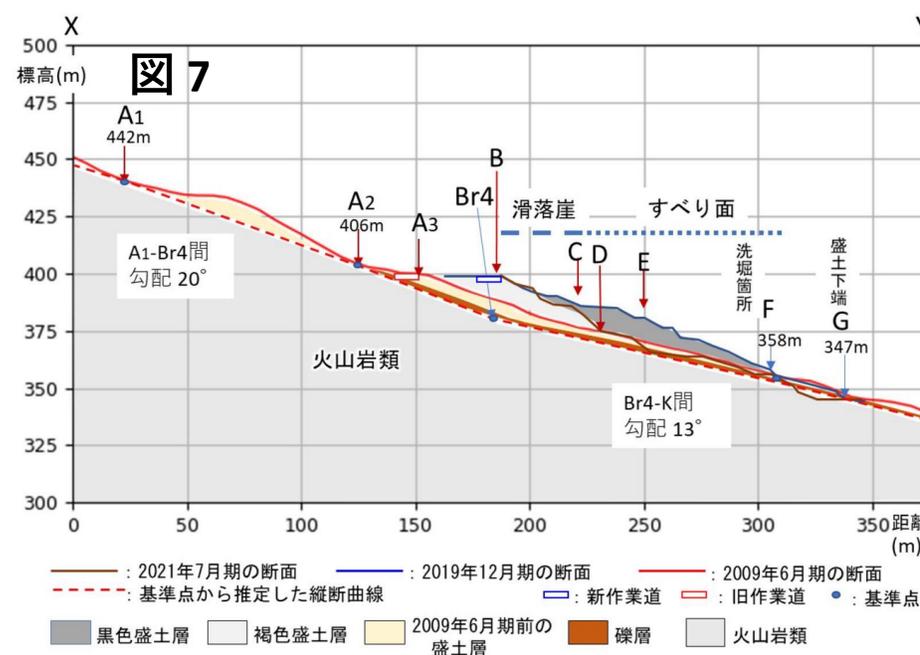


図7は、木村(2021)が推定した盛土の全体構造です。静岡県の報告書を基に、盛土は三層構造で、2009年6月期前の盛土層、褐色土砂、黒色土砂の順に重なること、2021年7月3日の崩落崖は、褐色土砂と黒色土砂の境界付近にあるとしました。したがって、盛土崩壊の原因の調査対象は**黒色土砂**になります。

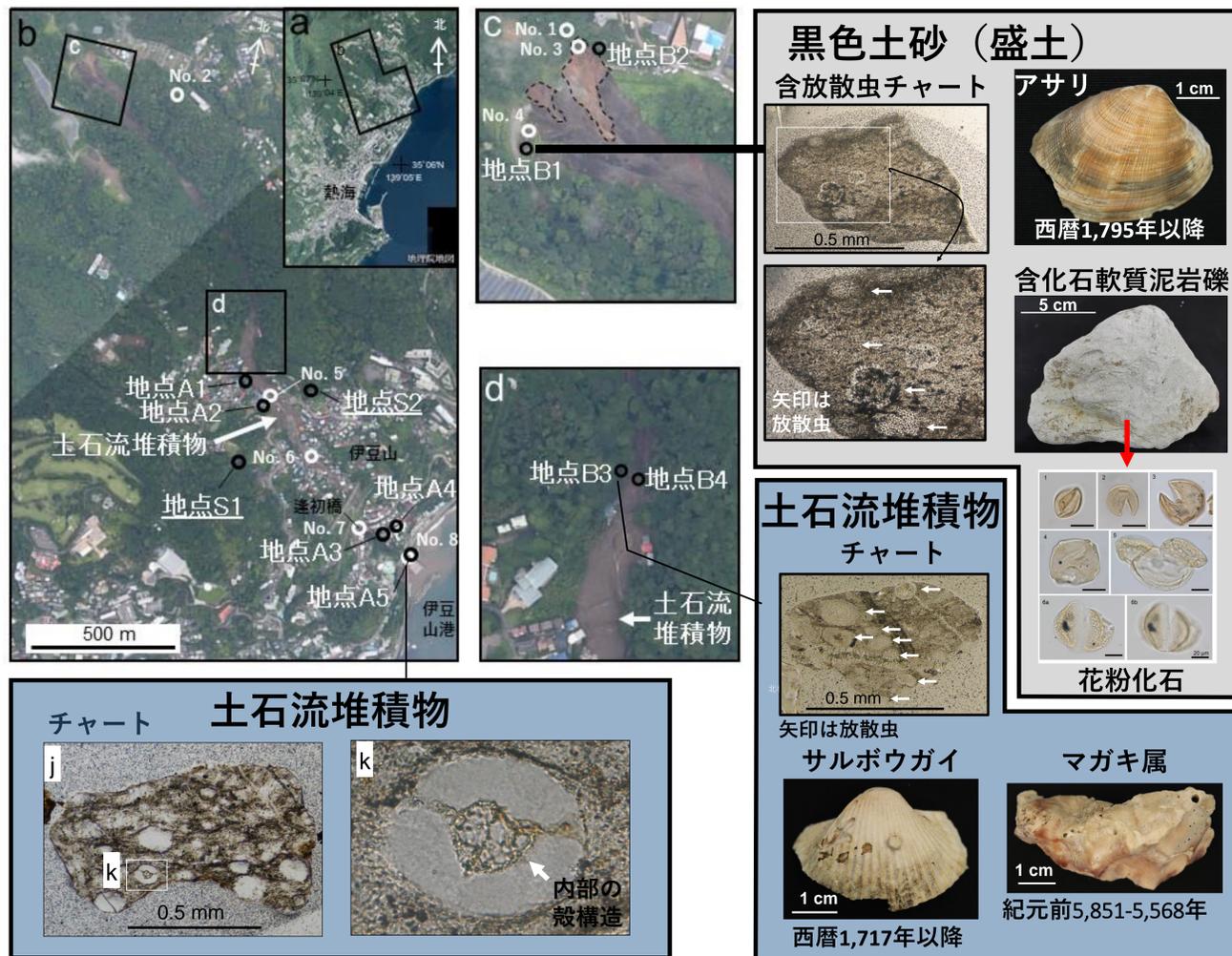
木村克己(2021), 熱海市の逢初川土石流災害の地形・地質的背景, 深田地質研究所年報, No. 22, 185-202.

熱海土石流の挙動を踏まえると、盛土崩壊の原因究明のキープレーズは、次の2つとなり、それらの解明のために盛土の構成物と内部構造に関する地球科学的調査を行っています。

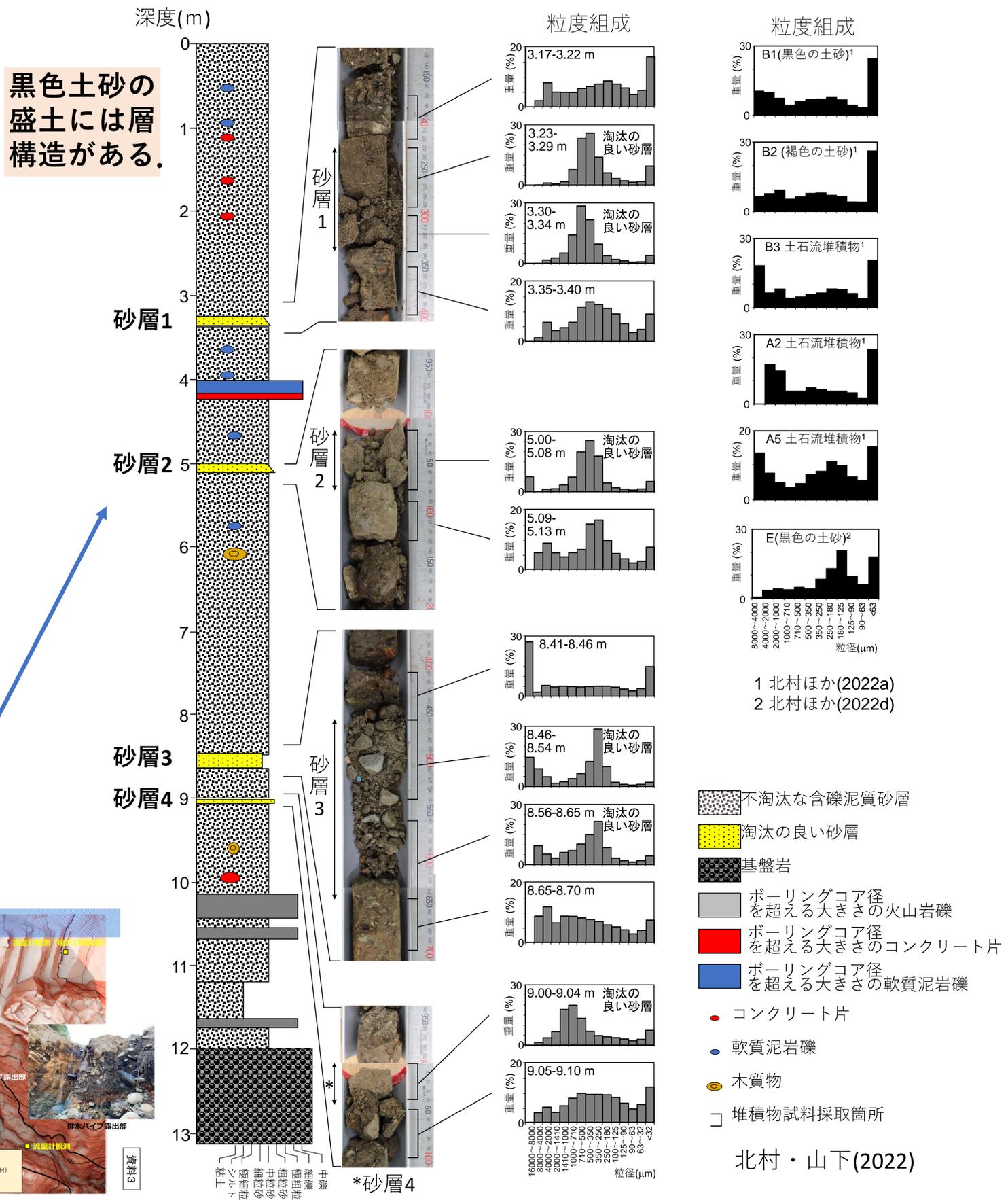
- ①なぜ、10年間崩壊しなかった黒色土砂が“一気に”崩壊したのか？
- ②なぜ、複数波ができたのか？

黒色土砂の由来

黒色土砂と土石流堆積物は、現世～中期完新世の沿岸性貝類(アサリなど)、海生微化石を含む軟質泥岩礫、古生代末期～中生代の放散虫化石を含むチャート岩片を産します(下図)(北村, 2021; 北村ほか2022a, b)。これらは、逢初川の源頭部や熱海周辺には分布しない物質です。



黒色土砂の盛土には層構造がある。

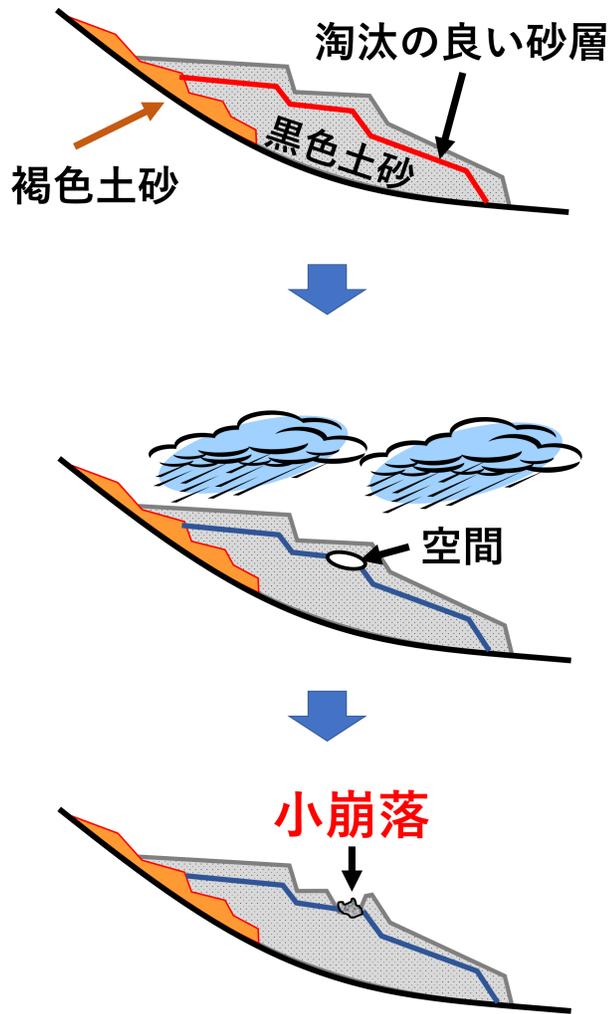


沿岸性貝類を含むことから、黒色土砂は海成堆積物を含む。海成堆積物は波浪・水流で粒子が円磨し、粒子間摩擦係数が低下するので、黒色土砂は崩壊しやすい特性を有する。

静岡県が未崩壊落の盛土で掘削したボーリングコアを分析した結果、**淘汰の良い砂からなる層厚4~19 cmの層を4層**、確認しました。直下の堆積物に比べ、平均粒径は若干大きく、含泥率は2/5~3/5となります。盛土・土石流堆積物と比較すると、砂層の粒度組成は一峰性を示し、含泥率が低い点で異なるので、砂層の採取地は他の盛土の採取地とは異なります(北村・山下, 2022)。

盛土崩壊プロセスの推定

2011年～2021年6月



海の堆積物を多く含む黒色土砂で盛土を造成し、さらに地下水の流れやすい砂層が作られていました。

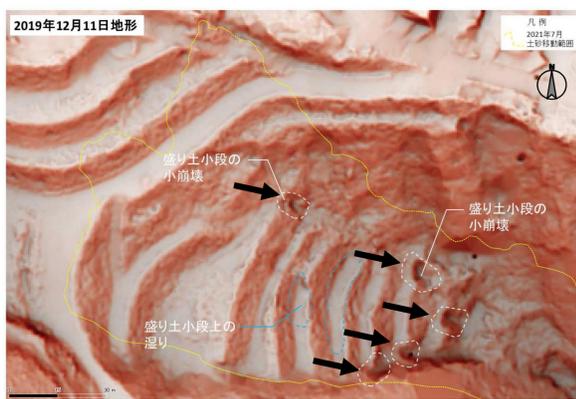
通常の降雨時には排水システムとして働き、斜面安定に寄与します。しかし、水流で砂が流出し、部分的にパイプなどの空間が形成されていきました。

10年間に及ぶ斜面の疲労現象

盛土内部に空隙が形成され、小崩落が起きました。

静岡県(2022)が、2019年に盛土の小段で小崩落が起きたことを報告しており、これは地下空洞の存在を示し、今回の崩壊の前兆現象とみなせます。

2019年空中写真及び地形図には、小段の小崩落(黒矢印)が認められ、地下の空洞(地下侵食)の存在を示唆します。



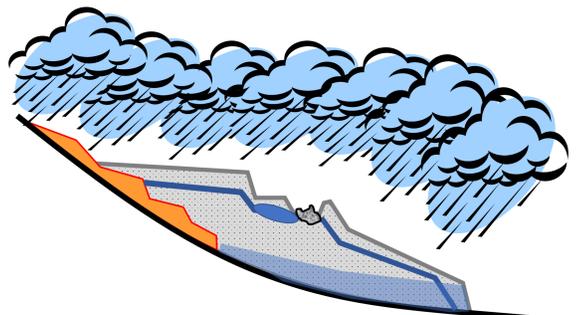
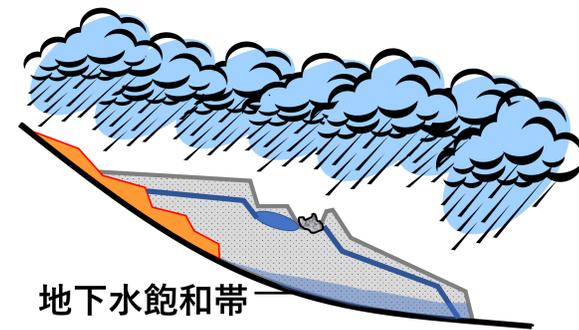
2021年7月1～3日の豪雨で、排水システムの許容量超過により間隙水圧が上昇しました。2019年に確認された小崩落の場所でも、間隙水圧の上昇が起きていた可能性があります。

排水システムの許容量超過などによる間隙水圧の上昇

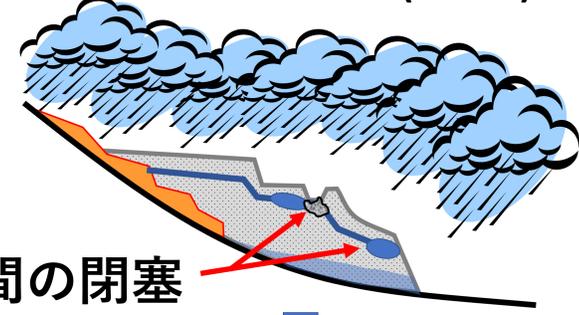
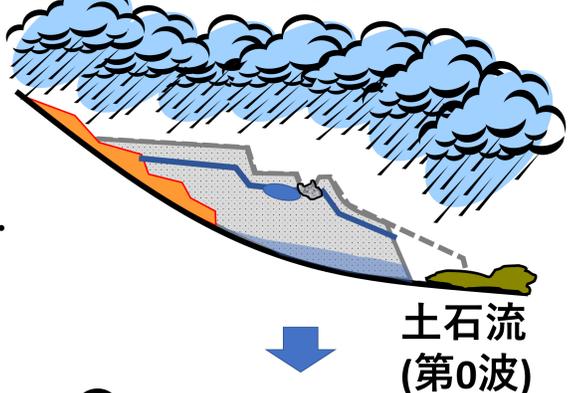
間隙水圧の上昇で、盛土が崩壊し、第0波の土石流が発生し、砂防堰堤が埋積されました。この盛土崩壊による空間閉塞で、新たな間隙水圧上昇が起き、再び盛土が崩壊し、土石流が発生することが繰り返されたのです。

盛土崩壊による空間の閉塞

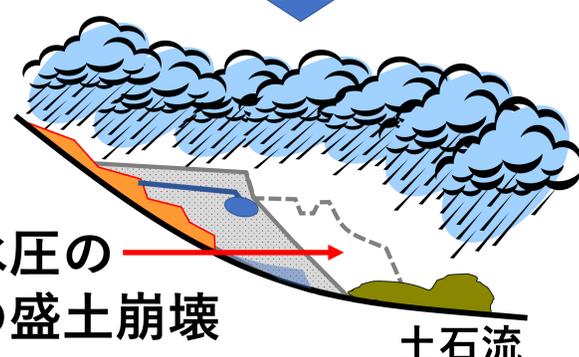
2021年7月1～3日



2021年7月3日



その後の間隙水圧の急上昇で再度の盛土崩壊



まとめ

問1. なぜ、10年間崩壊しなかった黒色土砂が“一気に”崩壊したのか？

答 黒色土砂の形成過程で、透水性の高い砂層が形成されており、10年間の地下侵食で、盛土内に複数の空洞が形成されました。それらの一部は2019年には盛土の小崩落を起こしました。2021年7月1～3日の豪雨で、小崩落の場所を含み、閉塞した空洞で間隙水圧の上昇が起き、第0波の土石流が発生しました。

問2 なぜ、複数波ができたのか？

答 第0波の土石流の発生による盛土崩壊が“みずみち”を閉塞したため、間隙水圧の上昇が発生し、盛土崩壊・土石流発生が繰り返されました。

この推定によると、2019年の小崩落は崩壊の前兆現象ととらえることができ、小崩落の有無は、既存の盛土の安全性の評価指標になると考えられます。

今後は、盛土の採取場所を特定し、物性を測定し、それらの試料を使って模擬実験を行ない、盛土崩壊を誘発した水量を見積もります。この値は、「盛土規制法」の施行に必須の具体的基準の策定に最重要なデータとなります。

学術論文

1. 千木良雅弘・北村晃寿・木村克己・市村康治, 2022, 熱海市逢初川盛土崩壊の地質的原因について, 静岡大学地球科学研究報告, 49, 45-59. https://doi.org/10.51053/shizuoka.49.0_45
2. 北村晃寿, 2022, 静岡県熱海市伊豆山地区の土砂災害現場の盛土の崩壊斜面と土石流堆積物から見つかった海生二枚貝の貝殻, 第四紀研究, 61, 109-117. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaqua/advpub/0/advpub_61.2134/article_char/ja
3. 北村晃寿, 2022, 2021年7月3日に静岡県熱海市伊豆山地区で発生した土砂災害の写真資料, 静岡大学地球科学研究報告, 49, 105-137. https://doi.org/10.51053/shizuoka.49.0_105
4. 北村晃寿・池田昌之, 2021, 2021年7月3日に静岡県熱海市伊豆山地区で発生した土石流の速報, 静岡大学地球科学研究報告, 48, 63-71. https://doi.org/10.51053/shizuoka.48.0_63
5. 北村晃寿・亀尾浩司・本山 功・守屋和佳・齊藤 毅・渡辺真人・森 英樹, 2022, 静岡県熱海市伊豆山地区の土砂災害現場の盛土に含まれる軟弱泥岩塊, 第四紀研究 <https://doi.org/10.4116/jaqua.61.2203>
6. 北村晃寿・岡崎雄太・近藤 浩・渡邊隆広・中西利典・堀 利崇・池田昌之・市村康治・中川友紀・森 英樹, 2022, 静岡県熱海市伊豆山地区の土砂災害現場の盛土と土石流堆積物の地球化学・粒子組成分析, 静岡大学地球科学研究報告, 49, 73-86. https://doi.org/10.51053/shizuoka.49.0_73 <https://www.youtube.com/watch?v=645HysKl4>
7. 北村晃寿・戸田健太郎, 2022, 相模湾の5か所における打ち上げ二枚貝類の調査—2021年7月3日に静岡県熱海市伊豆山地区で発生した土砂災害の発生原因解明の基礎資料として—, 静岡大学地球科学研究報告, 49, 139-142. https://doi.org/10.51053/shizuoka.49.0_139
8. 北村晃寿・矢永誠人・岡崎雄太・片桐 悟・中西利典・森 英樹, 2022, 静岡県熱海市逢初川の砂防堰堤の埋積土の放射性セシウム濃度と粒子組成の層位変化—2021年7月3日の土石流堆積物の識別—, 静岡大学地球科学研究報告, 49, 87-95. https://doi.org/10.51053/shizuoka.49.0_87 <https://www.youtube.com/watch?v=AQYm5mIFy>
9. 北村晃寿・山下裕輝, 印刷中, 静岡県熱海市逢初川の源頭部の盛土中の淘汰の良い砂層, 静岡大学地球科学研究報告, 50.
10. 北村晃寿・山下裕輝・本山 功・中西利典・森 英樹, 2022, 静岡県熱海市逢初川の源頭部の盛土下端部の露頭調査, 静岡大学地球科学研究報告, 49, 61-72. https://doi.org/10.51053/shizuoka.49.0_61 <https://www.youtube.com/watch?v=4LkE5qM>
11. 北村晃寿・山下裕輝・矢永誠人・中西利典・森 英樹, 2022, 静岡県熱海市逢初川源頭部の東側地点の盛土に関する調査速報, 静岡大学地球科学研究報告, 49, 97-103. https://doi.org/10.51053/shizuoka.49.0_97 <https://www.youtube.com/watch?v=78mzbutF8U>