

# 静岡県熱海市逢初川の源頭部の盛土下端部の 巨礫盛土について

北村晃寿・矢永誠人・森 英樹

The boulder embankment at the lower margin  
of the embankment at the head of the Aizome River,  
Atami City, Shizuoka Prefecture, central Japan.

AKIHISA KITAMURA, MAKOTO YANAGA and HIDEKI MORI

# 静岡県熱海市逢初川の源頭部の盛土下端部の 巨礫盛土について

北村晃寿<sup>1\*,2</sup>・矢永誠人<sup>2,3</sup>・森 英樹<sup>4</sup>

## The boulder embankment at the lower margin of the embankment at the head of the Aizome River, Atami City, Shizuoka Prefecture, central Japan.

AKIHISA KITAMURA<sup>1\*,2</sup>, MAKOTO YANAGA<sup>2,3</sup> and HIDEKI MORI<sup>4</sup>

### I. はじめに

2021年7月3日に、静岡県熱海市<sup>あいぞめ</sup>逢初川で、土石流が発生し、死者・行方不明者28人、全・半壊家屋64棟の被害をもたらした。その後の調査で、土石流は逢初川源頭部にあった盛土の崩落によることが判明した（静岡県、2021）。千木良ほか（2022）と北村ほか（2022b）は盛土最下端（図1, 地点F）の露頭において、有孔管の西側に露出する岩体・堆積物を調査した（図1, 2）。そして、下位から、地山の熱水変質粘土、最大層厚0.1mで膨縮・尖滅する砂礫層、角礫混じり砂質粘性土（乱雑堆積物；層厚2.0m）、巨礫サイズの角礫層（層厚0.7m）、木質物を含む含礫砂層（層厚0.1m）、中礫サイズの重円礫層（層厚0.4m）、砂層（層厚0.8m以上）の順に重なり、巨礫サイズの角礫層の上位の堆積物が黒色盛土層であると結論付けた（図3）。巨礫サイズの角礫層は静岡県（2021）の溪床堆積物に対応する。

この報告では、北村ほか（2022b）が報告しなかった地点Fの有孔管の東側に露出する堆積物（図2）の粒度組成、粒子組成、放射性セシウム濃度を分析するとともに、盛土最下端の状態の推移を検討したので報告する。

### II. 調査地域

盛土最下端の地点F（北緯35度7分17.37秒，東経139度4分22.44秒）は、盛土崩落後の空中写真（静岡県、2021）では窪みとなっている所である（図1c）。地点Fの詳細は、千木良ほか（2022）と北村ほか（2022b）を参照いただきたい。

有孔管の東側に露出する堆積物は厚さ4.2mである（図2, 3）。下位は、層厚2.9mの巨礫層で、礫の最大長径は約1mに達する。礫間は黄褐色を呈する不淘汰な泥質細粒砂で充填され、その砂質堆積物はビニールロープや板ガラスの破片を含む（図3）。上位は層厚1.3mの土石流堆積物である。図2の最下段は、2022年3月30日から9月22日の有孔管周辺の状況を示したものである。9月22日の写真によると有孔管の直下は角礫層である。

### III. 分析方法

試料1–3は、有孔管の西側に露出する堆積物から採取し、北村ほか（2022b）が報告している。本研究では、有孔管の東側に露出する巨礫間の泥質細粒砂の2カ所から、ねじり鎌で露頭表面を薄く剥ぎ新鮮な部分を採取し、試料4と5とした（図3）。試料は、60°Cのオーブンで24時間乾燥後、重量を測定するとともに標準土色帖（小山・

2024年11月15日受付 2024年11月26日受理。

Received: 15 November 2024 Accepted: 26 November 2024

<sup>1</sup>静岡大学理学部地球科学教室, 422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836

<sup>2</sup>静岡大学防災総合センター, 422-8529 静岡県静岡市駿河区大谷836

<sup>3</sup>静岡大学理学部放射科学教育研究推進センター, 422-8529 静岡県駿河区大谷836

<sup>4</sup>静岡大学技術部教育支援系教育研究第二部門, 422-8529 静岡県駿河区大谷836

<sup>1</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

<sup>2</sup>Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

<sup>3</sup>Center for Radioscience Education and Research, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

<sup>4</sup>Division of Technical Service, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

\* 責任著者, Corresponding Author: kitamura.akhisa@shizuoka.ac.jp

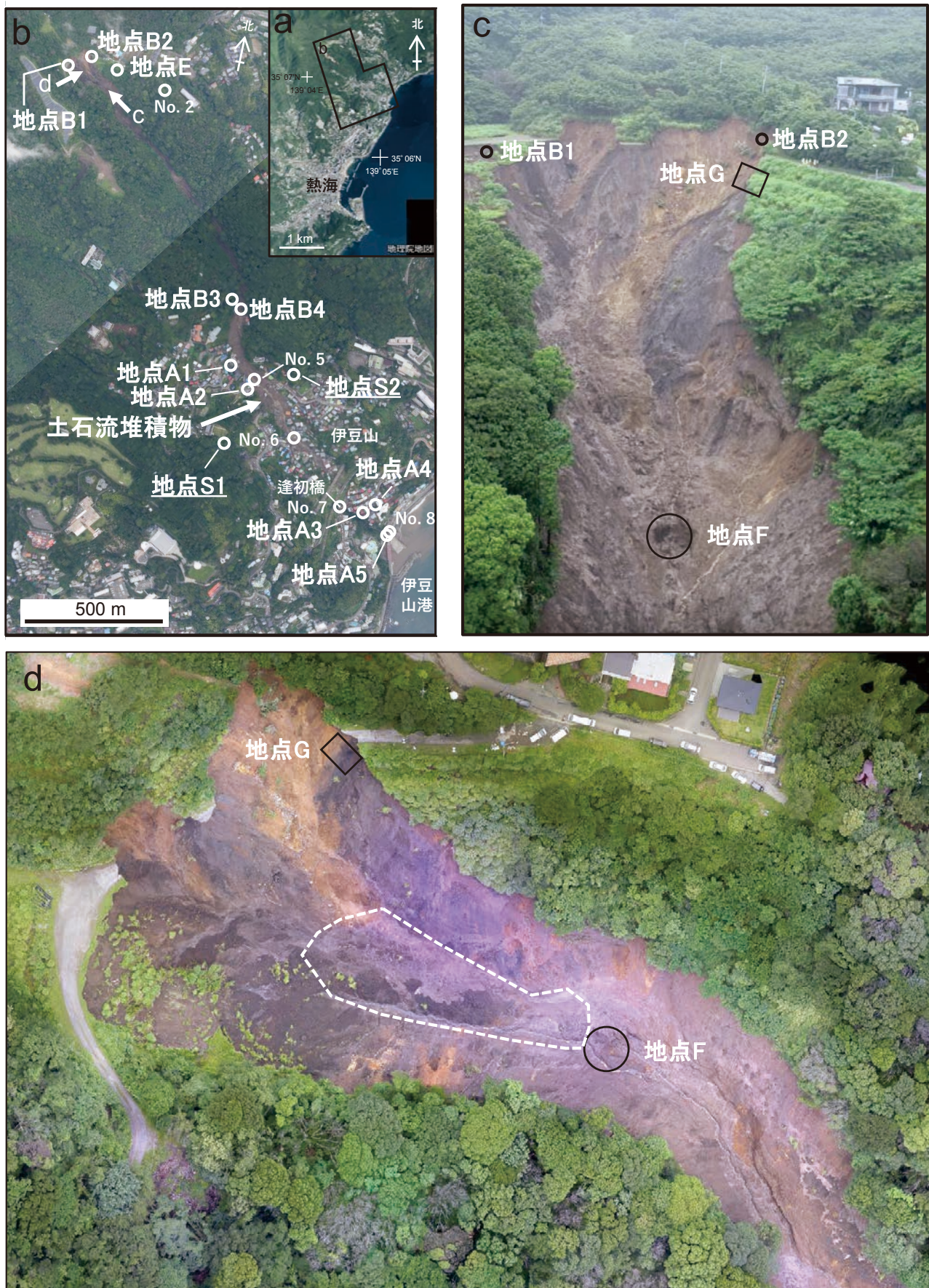


図1 熱海市伊豆山地区の土石流の流路と試料採取地点。北村ほか(2024b)の図1を引用。



2022年3月30日 北村撮影

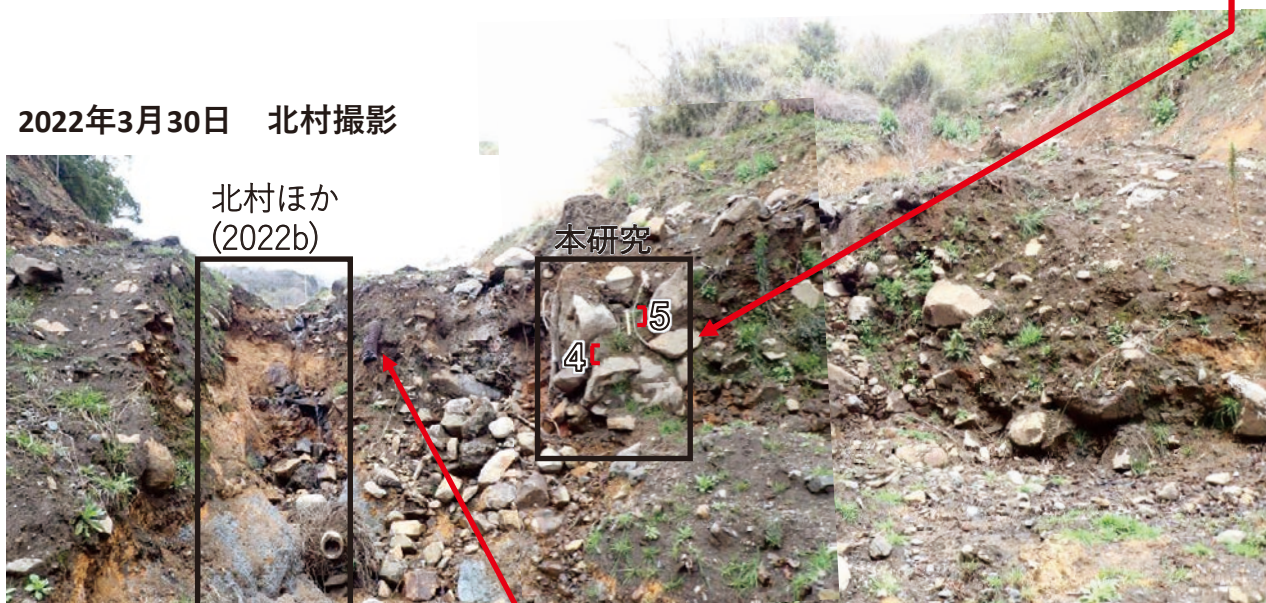


図2 地点Fの写真。最上段は静岡県(2021)が2021年8月2日に撮影。

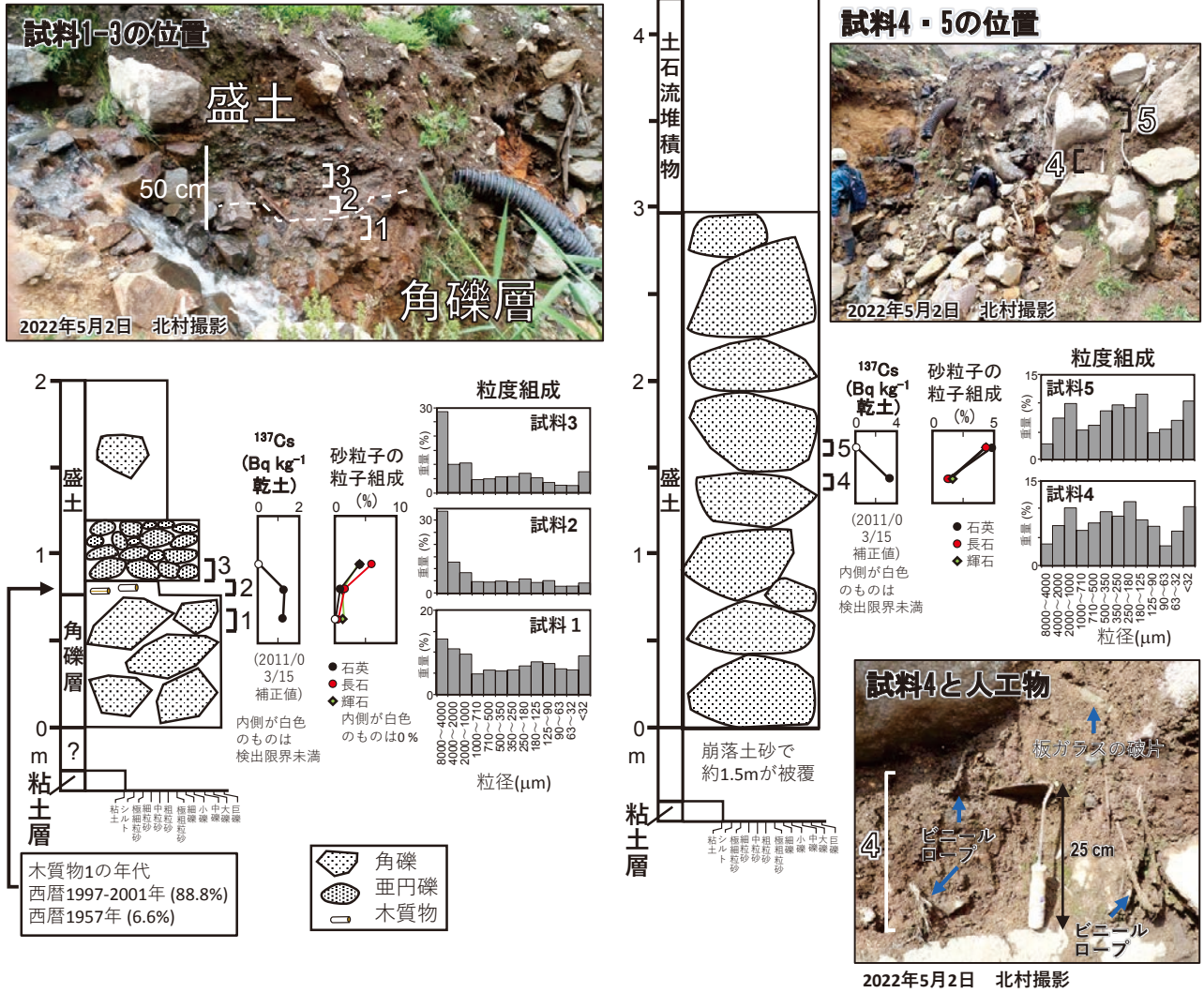


図3 地点Fの調査露頭の柱状図と<sup>137</sup>Cs濃度、0.35–0.50mmの粒子中の石英・斜長石・輝石の占有率、粒度組成。

竹原, 2007) を用いたマンセル表色法で色調を記載した。さらに各試料からサブサンプル (乾燥重量約100g) を抽出し、8,000μm (16mm) 以下の粒子について目開き 32, 63, 90, 125, 180, 250, 355, 500, 710, 1,000, 1,500, 2,000, 4,000μm のふるいで水洗し、ふるいに残った粒子の乾燥重量を測定した。これらの測定値と水洗前の乾燥重量から32μm より小さい粒子の重量を算出した。

また、各試料のうち、約40gをU8容器に封入し、静岡大学理学部放射科学教育研究推進センターの所有する高純度ゲルマニウム半導体検出器 (SEIKO EG&G社 GMX25P4-70およびMCA-7a) を用いたγ線スペクトロメトリーで、<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csを測定した。<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの値は、2011年3月11日の東北日本太平洋沖地震に伴う巨大津波による福島第一原子力発電所の事故で大気中に放射性セシウムが放出されたとされる2011年3月15日 (Adachi *et al.*, 2013) を基準に減衰補正を行った。

各試料について、ふるいで0.35–0.50mmの粒子を抽出し、約60°Cで24時間乾燥させ、エポキシ系樹脂に包埋し、薄片を作成し、500個の粒子の組成を顕微鏡で同定

した。

なお、北村ほか (2022b) の亜円礫層の間隙を埋める砂 (試料3) についても、標準土色帖 (小山・竹原, 2007) を用いたマンセル表色法で色調を記載した。

#### IV. 結果

色調は試料3, 4, 5は10YR4/4 (黄褐色) で、黒色盛土 (地点1) と褐色盛土 (地点B2) の中間的な色調である (図4)。粒度組成に関しては、2試料ともに淘汰が悪い (表1, 図3)。含泥率は、試料4が16%、5が17%である。放射性セシウム濃度については、試料4は<sup>137</sup>Csが3.7 ± 0.7Bq/kg乾土で、<sup>134</sup>Csは検出限界未満である (表2, 図3)。試料5は<sup>137</sup>Csと<sup>134</sup>Csともに検出限界未満である。

0.35–0.50mmの粒子については、試料4と5ともに団粒と岩片が卓越する。石英、斜長石、輝石粒子の占有率は、試料4は1.4%, 1.2%, 1.6%で、試料5は4.8%, 4.4%, 4.4%である (表3, 図5)。試料5からは、有孔虫殻の破片を含む泥岩岩片と軟体動物の貝殻の破片が見つ

## 地点B1 黒色盛土

## 地点B3 土石流堆積物

## 地点B2 褐色盛土



試料3

試料4

試料5

図4 黒色盛土（地点B1）、土石流堆積物（地点B3）、褐色盛土（地点B2）、地点Fの試料3-5の写真。各地点の位置は図1を参照。

表1 各試料の堆積物の粒度組成の占有率。粒径の単位はmm。

試料	8.0~ 4.0	4.0~ 2.0	2.0~ 1.5	1.5~ 1.0	1~ 0.71	0.71~ 0.5	0.5~ 0.35	0.35~ 0.25	0.25~ 0.18	0.18~ 0.125	0.125~ 0.090	0.090~ 0.063	0.063~ 0.032	<0.032
4	3.8	6.9	4.9	4.9	6.1	7.3	9.2	8.5	10.9	7.9	6.8	3.5	5.9	10.1
5	2.8	7.3	5.5	4.4	5.3	6.1	8.6	9.7	9.2	11.6	4.8	5.4	6.9	10.4

かった（図6）。

## V. 考察

巨礫層の礫間を充填する黄褐色を呈する不淘汰な泥質細粒砂はビニールロープや板ガラスの破片を含み、色調は有孔管の西側に露出する盛土（亜円礫層）の砂質堆積物と類似する。また、試料5から有孔虫殻の破片を含む泥岩岩片が検出された。逢初川の上流域には、中期更新世の湯河原火山噴出物が分布し、主に玄武岩、安山岩、デイサイトからなり（及川・石塚, 2011）、有孔虫殻の破片を含む泥岩は分布していない。以上のことから、砂質堆積物は他所から搬入された盛土である。

第一著者の北村は、逢初川の源頭部の盛土崩壊地において、図2の地点B1、Gならびに図2dの白破線内を調査し（北村ほか, 2022a-c; 2024b）、盛土の中に長径10cmほどの礫が点在していることを確認しているが、長径が1m

に達する巨礫層は観察していない。したがって、本研究の巨礫層は盛土の他の部分とは形成過程が異なる。そこで、本論では、この巨礫を他の盛土から区別するために巨礫盛土と呼ぶ。

熱海市（2022）が提示した工事写真では、盛土の下端部に沈砂池（以下、熱海市（2022）に従い下流沈砂池とする）の設置の過程が示されている（図7）。工事は2011年8月1日に着手し、同月30日に竣工した。これらの写真によると、着工前に下流沈砂池があり（図7c, d）、これを掘削した後（図7e）、池の周囲に巨礫が積まれている（図7f, h）。また、下部沈砂池の上流に3本の有孔管（熱海市（2022）では横断管）が並列して敷設されている（図7i, j）。これらの写真と照合すると、地点Fには有孔管は1本しかないので、この有孔管は下流側の擁壁に埋設したものと考えるのが自然であり、有孔管の東側の巨礫盛土は池の下流側の擁壁と推定される。

静岡県（2021）の報告した2021年8月2日の写真では、

有孔管は約20cm突き出し、その先端には長さ約20cmの切れ端がぶら下がった状態である(図2)。有孔管の露出部分の長さから判断すると、有孔管を埋積していた擁壁は、少なくとも奥行き40cm分が崩壊したことが分かる。また、図8の露頭写真の赤矢印で示した範囲の有孔管の西側にあるくぼんだ部分も、擁壁がないと沈砂池としての機能を果たせない。そのため、このくぼんだ部分は擁壁が失われた場所と推定される。したがって、地山の熱水変質粘土と巨礫サイズの角礫層(溪床堆積物)は擁壁に覆われていた(図8)。

静岡県(2022)の資料には、「2012年10月以降(時期不明)に現場に入った時には、沈砂池はなく、木製の縦排水路も壊れていたとのことであった。この時にはすでに流出した土砂で沈砂池が埋塞していた可能性がある。」とある。したがって、2021年7月3日の盛土崩壊前に沈

砂池は堆積物で埋められていた。これらの内容を踏まえ、盛土下端部について、沈砂池設置時と盛土崩壊直前の状態を図8に示した。

盛土下端部の排水能力に関しては、静岡県(2021)が盛土崩壊のメカニズムの中で記しているので、原文のまま引用する。

(引用ここから)

①2010年以降の降雨の中で、今回の降雨は24時間総雨量、期間雨量が最大となり、盛土下端部からの排水が不十分なため、盛土の内部に水がたまり、地下水位が上昇する。(推定)

(引用ここまで)

さらに、静岡県(2021)の図中で「大胆な仮定として排水能力はゼロ」と表記している(図9)。

これらの静岡県(2021)の考察は、盛土崩壊直前の盛

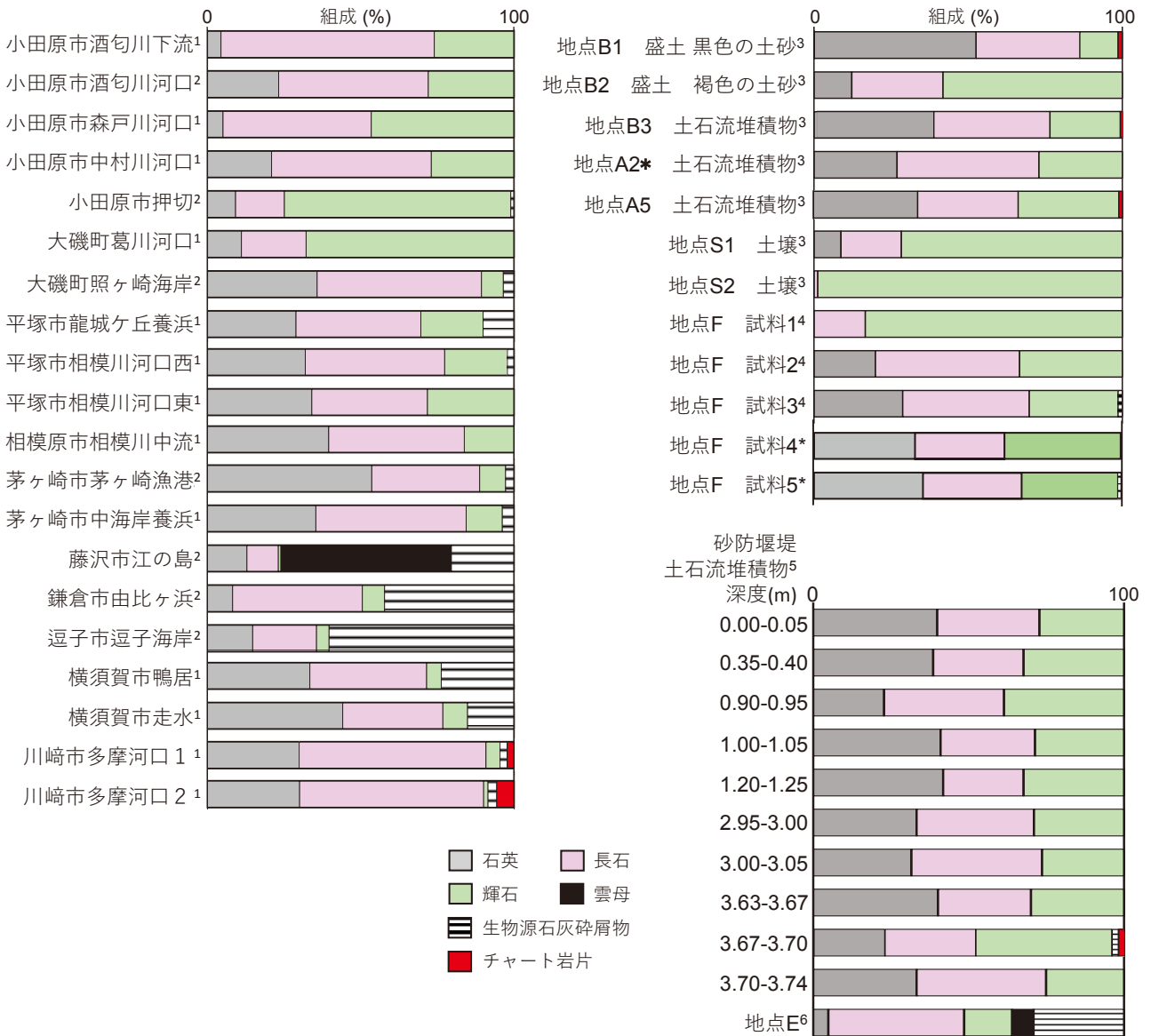


図5 各試料の0.35-0.50mmの砂粒子の石英、長石、輝石、黒雲母、生物源石灰砕屑物、チャート岩片の総和を分母にとった各粒子の占有率とチャート岩片の有無。地点名に付された上付き数字はデータの出典を示し、\*は本研究、1は北村ほか(2024a)、2は北村ほか(2023)、3は北村ほか(2022a)、4は北村ほか(2022b)、5は北村ほか(2022d)、6は北村ほか(2022c)である。

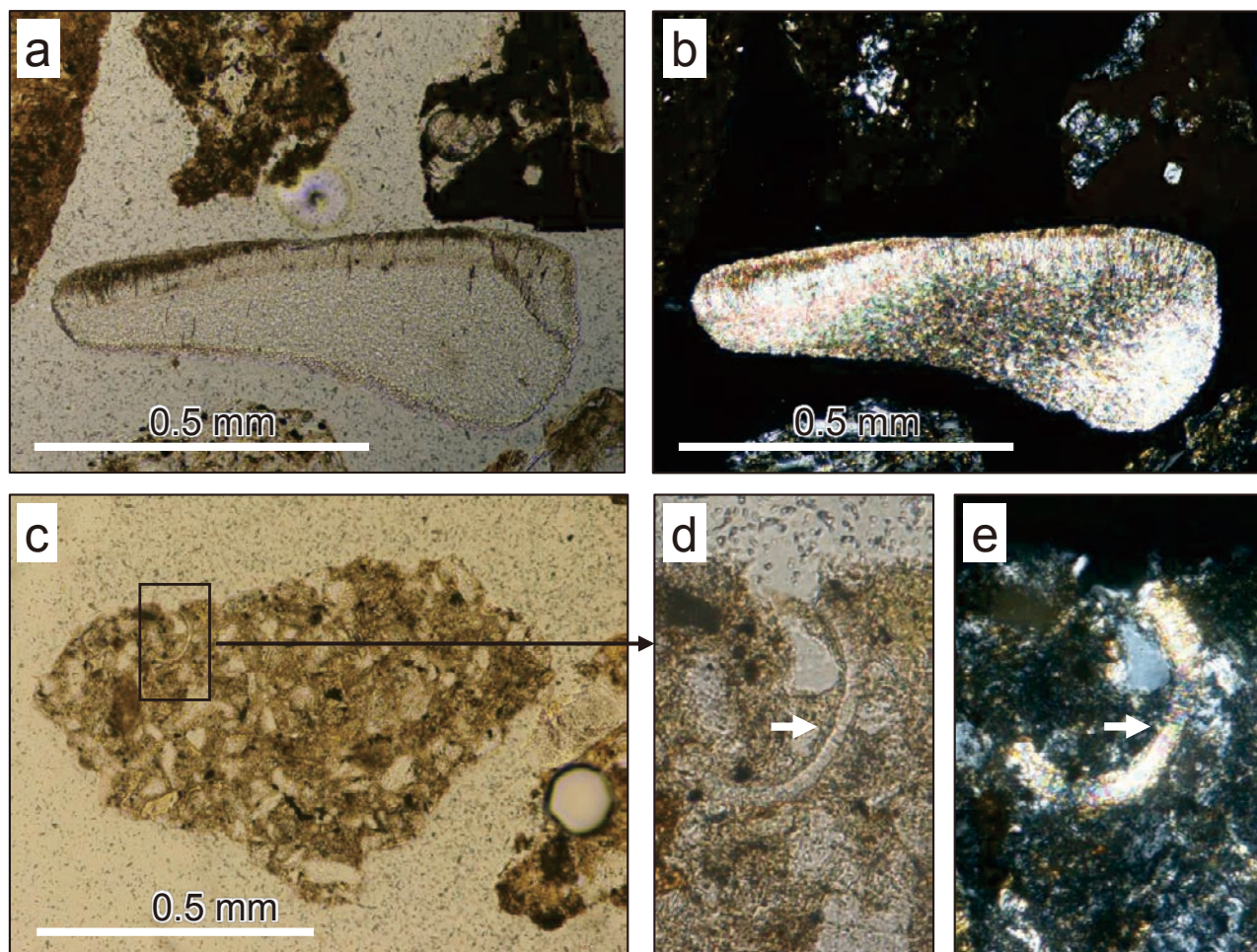


図6 試料5の軟体動物の貝殻の破片と有孔虫殻の破片を含む泥岩岩片の薄片写真。軟体動物の貝殻の破片 (a, b)。有孔虫殻の破片を含む泥岩岩片 (c, d, e)。d, eの矢印が有孔虫殻の破片。

表2 盛土の泥質物の放射性セシウム濃度。NDは検出限界未満。カッコ内は検出限界値。

試料	Cs-137 (Bq/kg乾土) (2011/03/15補正值)	Cs-137 (Bq/kg乾土) (2011/03/15補正值)
4	3.7 ± 0.7	ND (< 61)
5	ND (< 1.4)	ND (< 38)

土下端部の状況で裏付けられる。下流沈砂池の役割は水の貯留であるから、巨礫を積み上げた擁壁には止水効果がある。また、擁壁は沈砂池に流れ込んだ泥質土砂を堆積させる効果を発揮し、有孔管の目詰まりと盛土内地下水の流下抑止効果をもたらす。これらの状況から、盛土の崩落前には、盛土下端部での地下水の排水能力は著しく低下していたと推定される。

#### 謝辞

熱海市と静岡県の関係者には、立ち入り禁止区域内の調査にご協力いただいた。匿名の査読者からの指摘で、

本原稿は大幅に改善された。これらの皆さんに感謝申し上げる。本研究の経費は静岡大学防災総合センターの予算を使用した。

#### 引用文献

- Adachi, K., Kajino, M., Zaizen, Y. & Igarashi, Y. (2013), Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident. *Scientific Report*, **3**, 2554.
- 熱海市 (2022), 盛土に関する調査経過報告について。添付ファイル。写真8。 [https://www.city.atami.lg.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page\\_/001/011/726/20211017/S8.pdf](https://www.city.atami.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/011/726/20211017/S8.pdf) 2024年11月10日引用。
- 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.
- 北村晃寿・岡寄颯太・近藤 満・渡邊隆広・中西利典・堀 利栄・池田昌之・市村康治・中川友紀・森英樹 (2022a), 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



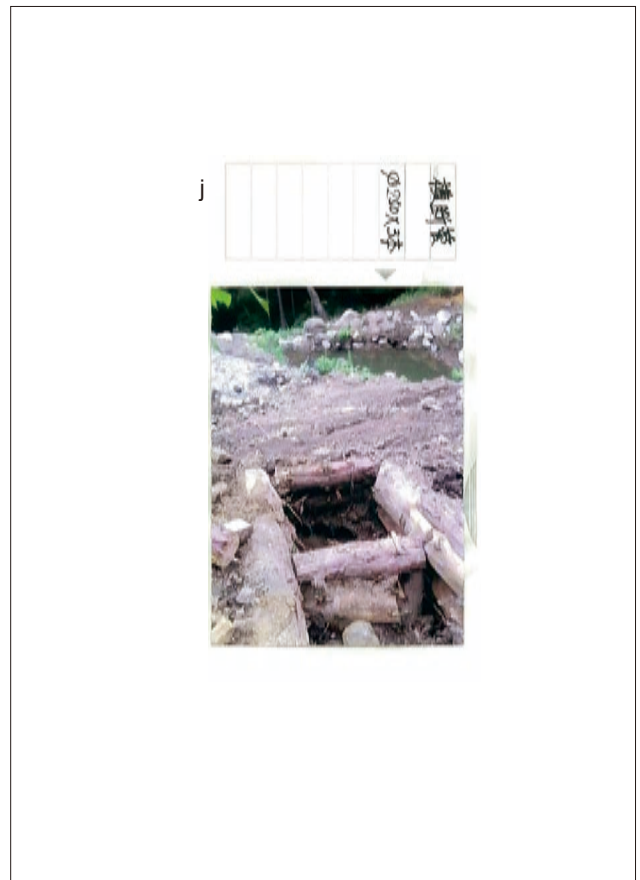
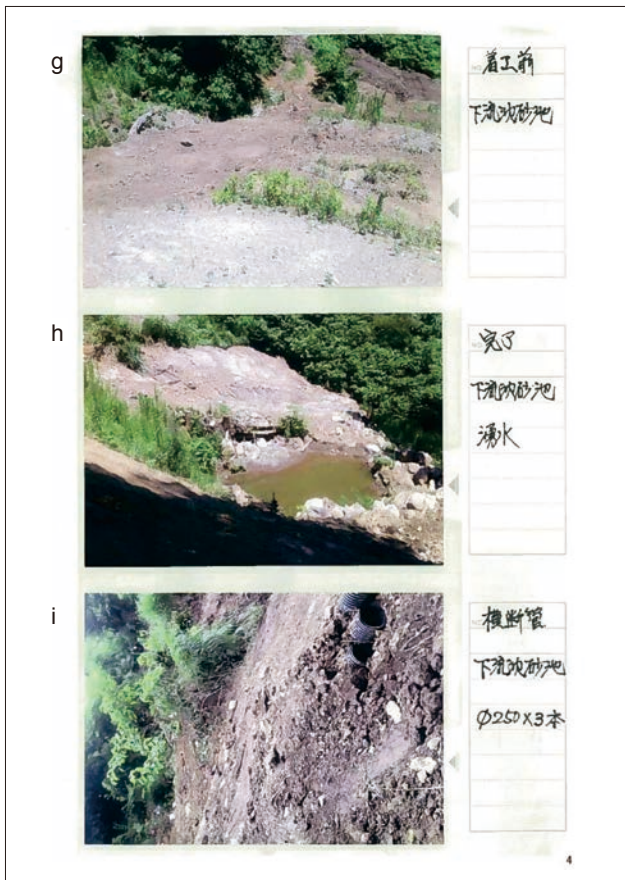
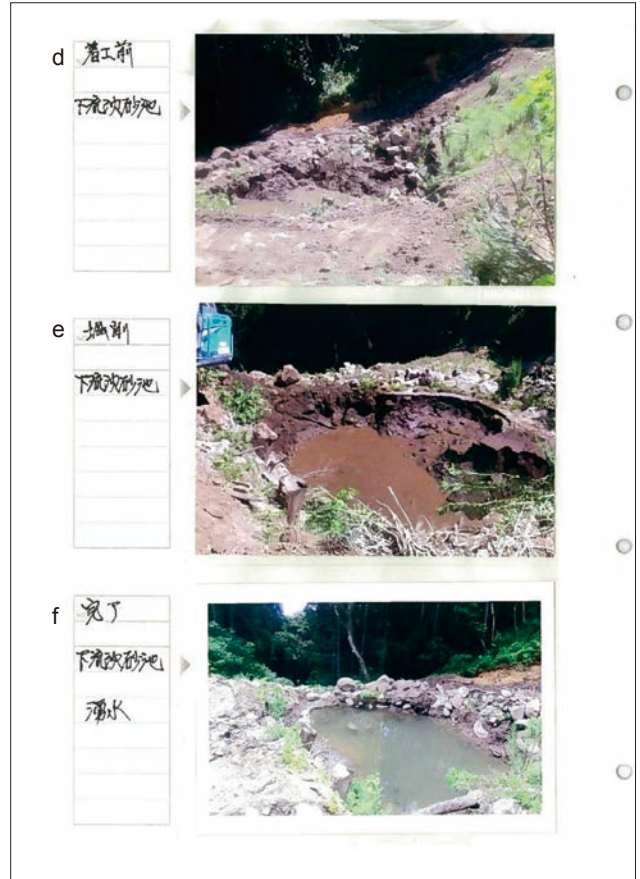
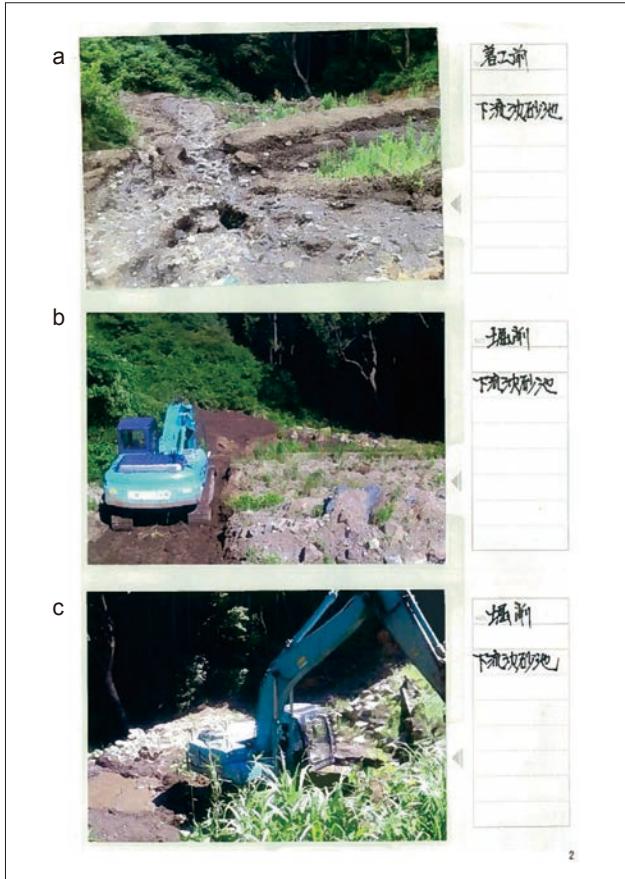


図7 熱海市（2022）が提示した盛土の下端部の下流沈砂池の工事写真。

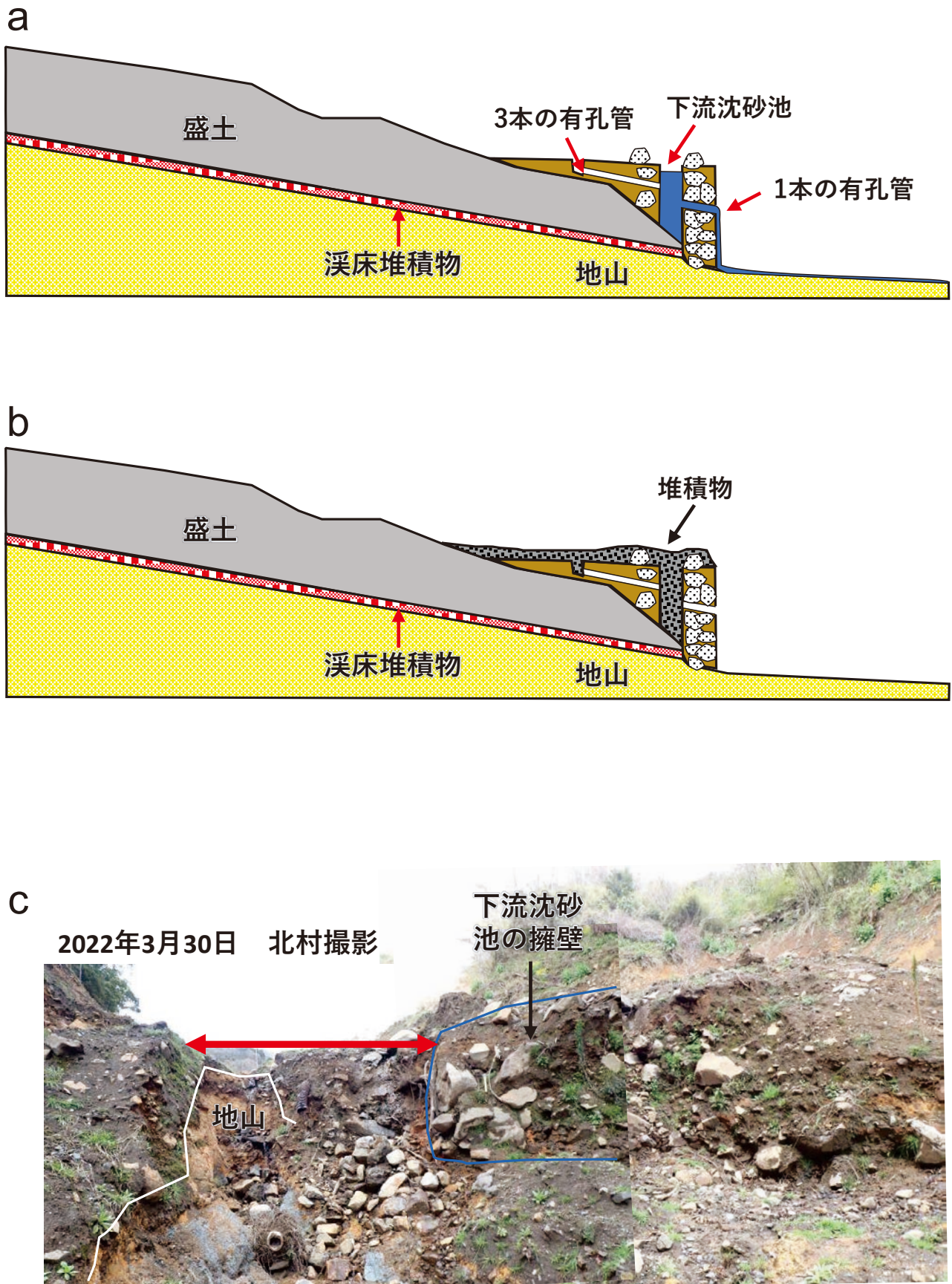


図8 地点Fの写真及び盛土下端部と下流沈砂池の概略断面. a 2011年8月30日の沈砂池設置時. b 盛土崩壊直前. c 盛土崩壊後の地点F.

表3 0.35–0.50mmの粒子組成の占有率。

試料	団粒(%)	岩片(%)	石英(%)	長石(%)	輝石(%)	その他(%)	不明(%)
4	80.2	13	1.4	1.2	1.6	1.8	0.8
5	59.4	26	4.8	4.4	4.4	0.4	0.6

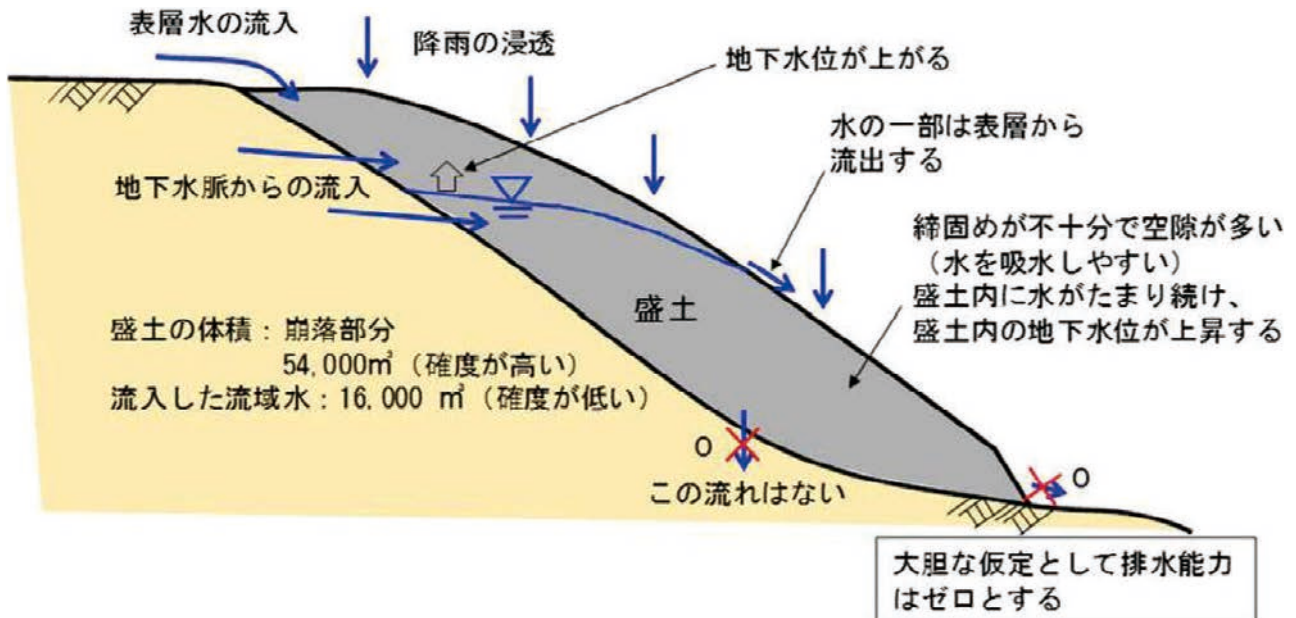


図9 静岡県（2021）の盛土崩壊のメカニズム。

成分析. 静岡大学地球科学研究報告, 49, 73–86.  
 北村晃寿・山下裕輝・堀 利栄・森 英樹 (2024a), 神奈川県内の海浜・河床堆積物の粒子組成の調査—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盛土の採集地の解明の基礎資料として—. 静岡大学地球科学研究報告, 51, 57–69.  
 北村晃寿・山下裕輝・森 英樹 (2023), 相模湾の7か所の海浜における打ち上げ二枚貝類と海浜堆積物粒子組成の調査—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, 50, 155–163.  
 北村晃寿・山下裕輝・本山 功・中西利典・森 英樹 (2022b), 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.  
 北村晃寿・山下裕輝・矢永誠人・中西利典 (2024b), 静岡県熱海市逢初川の源頭部の盛土に関する地球科学的データの追加. 静岡大学地球科学研究報告, 51, 1–16.  
 北村晃寿・山下裕輝・矢永誠人・中西利典・森 英樹 (2022c), 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.

北村晃寿・矢永誠人・岡崎颯太・片桐 悟・中西利典・森 英樹 (2022d), 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, 87–96.  
 小山正忠・竹原秀雄編著 (2007), 新版 標準土帖, 農林水産省農林水産技術会議事務局監修, 日本色研事業. 及川輝樹・石塚 治 (2011), 熱海地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 61p.  
 静岡県 (2021), 第1回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会配布資料 (1–17). 2021年9月7日開催 <https://www.pref.shizuoka.jp/bosaikinkyu/saigai/atamidosa/aizomegawasaigai/1047027/1029517.html> 2024年11月10日引用.  
 静岡県 (2022), 第5回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会配布資料 (3). [https://www.pref.shizuoka.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page\\_/001/043/591/dai3syousu.pdf](https://www.pref.shizuoka.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/043/591/dai3syousu.pdf) 2024年11月10日引用.

## 著者貢献

北村晃寿：試料採取，砂粒子の鉱物種・岩石種の同定，全体総括，論文執筆を担当。矢永誠人：放射性セシウム濃度の測定，論文執筆を担当。森 英樹：薄片作成を担当。