

1 熱海市逢初川盛土崩壊の地質的原因について

2 Geological causes of the landslide of an embankment at the
3 Aizome River, Atami

4

5 千木良雅弘^{1, 2}, 北村晃寿^{2, 3}, 木村克己¹, 市村康治⁴

6 Masahiro Chigira^{1, 2}, Akihisa Kitamura^{2, 3}, Katsumi Kimura¹,

7 Koji Ichimura⁴

8

9 ¹公益財団法人 深田地質研究所, 113-0021 東京都文京区本駒込
10 2丁目13番12号

11 E-mail: chigira@fgi.or.jp

12 ¹Fukada Geological Institute Public Interest Incorporated

13 Foundation, 2-13-1 Honkomagome, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0021

14 Japan

15

16 ²静岡大学防災総合センター, 422-8529 静岡市駿河区大谷 836

17 ²Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards,

18 Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka, 422-8529

19 Japan

20

21 ³静岡大学理学部地球科学教室, 422-8529 静岡市駿河区大谷 836

22 ³Institute of Geosciences, Shizuoka University, 836 Ohya, Suruga-

23 ku, Shizuoka, 422-8529 Japan

24

25 ⁴東京大学理学系研究技術部, 113-0033 東京都文京区本郷 7

26 丁目3番1号

27 ⁴Technical Division, School of Science, the University of Tokyo, 7-

28 3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033 Japan

29 柱：千木良雅弘・北村晃寿・木村克己・市村康治

30 熱海市逢初川盛土崩壊の地質的原因

31

32 脚注

33 2022年5月31日受付 2022年6月15日受理.

34 Received: 31 May 2022 Accepted: 15 June 2022

35

36

37 Abstract

38 On 3 July 2021, a heavy rainstorm induced landslide of an
39 embankment in Atami, Shizuoka prefecture; it transformed
40 into debris flow along the Aizome River hit a town of Izusan
41 causing heavy damage including 26 fatalities and 1 missing.
42 The cause of the landslide of the embankment was first
43 attributed to probable inappropriate workmanship and poor
44 drainage control of the embankment. We performed careful
45 field survey after the landslide, and found that the area used
46 to be covered by fluvial deposits (chaotic debris flow deposits).
47 These fluvial deposits overlie hydrothermally altered andesite
48 rich in smectite, which likely caused their landslide with the
49 sliding surface in between since geological past. The fluvial
50 deposits covered not only the Narusawa River but also the
51 upstream of the Aizome River, where the shape of fluvial cone
52 has been erased because of recent artificial modification. The
53 embankment was made above the fluvial deposits. The
54 landslide scar after the event suggested that water had gushed
55 out from the basal parts of the old landslides. The water is
56 assumed to be not only from the catchment of the Aizome River
57 but also from that of the Narusawa River through the fluvial
58 deposits, particularly along the basal part of the old
59 landslides on the impervious clayey materials.

60

61 Keywords: heavy rain, embankment, landslide, debris flow,
62 fluvial cone

63

64 1. はじめに

65 静岡県熱海市逢初川上流部では、2021年7月3日に盛土が崩
66 壊して土石流(泥流)となり、下流の伊豆山地区を襲い、死者26名、
67 災害関連死1名、行方不明者1名、全・半壊家屋64棟の被害を
68 生じた。災害の概要と土石流の発生原因については静岡県(2022)
69 が中間報告としてまとめている。熱海雨量観測所の観測によれば、
70 6月28日から崩壊発生の日7月3日10時までの総雨量は461mm
71 であった。崩壊土砂量は55,500m³と見積もられている。流下す
72 る泥流の目撃証言や記録映像によって、土砂とともに非常に大量
73 の水が流下したことが指摘されている。盛土崩壊と土石流につい
74 ては、その概要と地質的背景を木村(2021)がまとめている。

75 本報告では、盛土の崩壊跡を調査し、また、5本のボーリング
76 コア観察、周辺地形分析、地質試料の年代測定、鉱物分析をした
77 結果について述べる。現地調査は、2022年3月30日と5月2日
78 に行い、ボーリングコア観察は2022年4月15日に行った。踏
79 査は、鳴沢川沿い、逢初川崩壊地内、鳴沢川と逢初川の間の尾根
80 (A尾根と仮称)の道沿いで行った(図1)。数値地形データの処理に
81 はフリー地理情報システムのQGIS (version 3.22)を用いた。盛
82 土崩壊地内の2地点から採取した植物片の放射性炭素年代測定
83 をBeta-Analytic社に依頼し、加速器質量分析法により行なった。
84 年代の暦年較正はINTCAL20 (Reimer *et al.*, 2020)をデータセ
85 ットとして、OxCal4.4を使用して計算した。

86 盛土崩壊地と周辺の地形図を図1 a, b に示す。及川・石塚
87 (2011)によれば、盛土周辺の基盤の地質は、第四紀の湯河原火
88 山噴出物の城山溶岩類からなり、これは溶岩が卓越する地層で、
89 玄武質安山岩から安山岩の溶岩・火砕岩からなり、緑色に変質し
90 ている場合がある。

91

92 2. 調査結果

93 2.1 崩壊地周辺の地形と地質

94 2.1.1 概要

95 崩壊地周辺には地質・岩石を観察できる露頭が極めて少ない。
96 鳴沢川沿いには差し渡し最大 2m の角礫が乱雑に堆積している。
97 鳴沢川と逢初川の間尾根は、盛土崩壊地の東方 600m まで東南
98 東に伸びるが(A 尾根, 図 1 a), そこで大きく屈曲し, 南東方向に
99 伸びる広い B 尾根となる。A 尾根は不規則な凹凸に富むが(図 1b),
100 B 尾根は滑らかな地表面を呈す。また, A 尾根では, 熱水変質し
101 た安山岩と思われる粘土(熱水変質粘土と呼ぶ)が伊豆山神社本宮
102 境内から道路沿いに点々と露出し, 堅硬な岩盤の露出はない(図
103 1b)。一方, その東側の B 尾根では, 熱水変質粘土の露出はほと
104 んどなく, 堅硬な安山岩の露頭が頻繁に認められた。これらのこ
105 とから, A 尾根は主に熱水変質粘土からなり, B 尾根は未変質の
106 安山岩からなると推定される。A 尾根の南側斜面には小規模な崩
107 壊跡地が多く認められる(図 1b)。

108 崩壊した盛土は, 東南東に流下する逢初川の最上流部に位置し
109 (図 1b), その北東側には, A 尾根を隔てて鳴沢川がやはり東南東
110 に流下している。鳴沢川の上流はいくつかの支谷に分かれ, 標高
111 734m の岩戸山東面を構成している(図 1a)。岩戸山東面は全体と
112 して東に開いた馬蹄形の尾根線をなし, その中央部に岩戸山山頂
113 が位置している。岩戸山山頂の北西側は, 北西に急傾斜する斜面,
114 南西側は広い緩斜面となっている。この緩斜面上には, 前述の馬
115 蹄形の尾根線に沿って線状凹地がある(図 1a)。これは, 静岡県が
116 公開している 1m メッシュの数値標高データ(静岡県, 2020)によ
117 れば, 幅 20m から 40m, 深さ 4m 程度で, 長さ 550m にわたっ
118 て尾根の縁沿いに連続している。このような線状凹地は, 重力に
119 よる斜面変形によって形成されたと考えられ, 深層崩壊の前兆現

120 象となることもある(Chigira *et al.*, 2013). 岩戸山の場合, 馬蹄
121 形の尾根線よりも東側の斜面が崩壊を繰り返してきたと推定さ
122 れ, その背後斜面が変形しているものと考えられる.

123 図 1b には, 人工的な地形改変を切土と盛土に分けて表示して
124 ある(静岡県, 2022). 逢初川最上流になされた盛土の内, 図 1b に
125 輪郭を示した範囲が崩壊し, その土砂が逢初川沿いに流下した.
126 盛土表面は階段状に成形されており, 発生前後の 1mDEM データ
127 (静岡県, 2020, 2021b)を比較したところ, 崩壊した部分の最下
128 部 350m と最上部 407m との比高は 57m, 崩壊深の最大は約 15m
129 であった. 2019 年 12 月の空中写真によれば, この崩壊した盛土
130 の下部と北側中部の盛土小段には小崩壊が発生していた(後述,
131 静岡県, 2021a).

132

133 2.1.2 人工的な地形改変前の地形と沖積錐

134 逢初川上流から鳴沢川上流の切土や盛土などの人工的な地形
135 改変は, 2002 年に始まり, 2011 年には終了した(静岡県, 2022).
136 人工的な地形改変前の地形は, 1962 年に国土地理院が撮影した
137 空中写真によって良く観察できる(図 2). その写真では, 盛土が
138 なされる以前の箇所は, 滑らかな草地となっている. 岩戸山東斜
139 面の複数の谷は, 下流側で合流し, その下流側では河谷は埋積さ
140 れ, A 尾根をまたいで, その両側の鳴沢川と逢初川の上流部を覆
141 う変則的な沖積錐が形成されている(図 2a, b). 1962 年の空中写
142 真で見ると, この二股に分かれた沖積錐の中央部を鳴沢川が侵食
143 し小規模な V 字型の谷を形成していたことがわかる(図 2b, c).
144 重要な特徴として, 逢初川上流部を覆う沖積錐の東端は崩壊して
145 元の堆積面を失っていることである(図 2b, c). この崩壊の西端
146 は, 南側の丸尾根の中央部よりもやや西側で逢初川の攻撃斜面側
147 となっている(図 2c).

148 1962 年以降の地形変化を空中写真のステレオペアとして図 3
149 に示す。使用した空中写真は、1962, 1967, 1989, 1994, 2005,
150 2012 年のものである(表 1)。1967 年には、鳴沢川流路の南側斜
151 面の頂部尾根の南側が小規模に崩れていることがわかる。また、
152 1989 年と 1994 年には沖積錐の上の植生は草原から森林に変化
153 し、地形が見えにくくなっている。2005 年には鳴沢川が埋め立
154 てられ、また、その流路の両側の V 字谷の肩が切り取られ、沖積
155 錐の形が認められなくなっている。逢初川の盛土はこの後、2007
156 年から開始された(静岡県, 2021a)。

157

158 2.1.3 沖積錐とそれを構成する乱雑堆積物

159 地形的に認められた A 尾根をまたいで広がる沖積錐の構成物
160 は、盛土崩壊後に行われたボーリング調査によって確認された。
161 調査のために 5 本のボーリングが掘削されている(#1, 2, 3, 4,
162 5, 図 4)。これらのボーリング孔のいずれにおいても、褐色の砂
163 質な基質と数 mm から最大径 1m 程度のサイズと亜角礫状の安山
164 岩片からなり、所々に円磨礫を含む砂礫層を薄く挟む堆積物(乱
165 雑堆積物と呼称する)が表層部に確認されている。乱雑堆積物は、
166 No. 1, 2 孔ではほぼ孔口から確認されたが、No. 3, 4, 5 孔では
167 盛土に覆われていた。ただし、盛土層基底部と乱雑堆積物との間
168 に軟弱部は認められなかった。No. 3 孔では、盛土直下の乱雑堆
169 積物でボーリング掘削水が逸水しており、この乱雑堆積物が場所
170 によって高透水であることを示している。乱雑堆積物の厚さは、
171 No. 1 から 5 の順で、9m, 6m(12m の可能性あり), 2.55m, 3.25m,
172 6.75m である。ただし、これらの厚さは切り盛りあるいは 2 次的
173 な崩壊の影響を受けている可能性もあり、必ずしも堆積時のまま
174 でない可能性はある。

175 図 4 には、ボーリング調査からわかった乱雑堆積物の上面の等

176 高線を示す．これは，No. 1 ボーリング近くで 432.8m と最も高
177 く，東から南東側に向かって低くなっている．このことは，1962
178 年の空中写真から判読される沖積錐の傾斜方向とほぼ一致して
179 おり，これらの乱雑堆積物が鳴沢川上流から供給されたことを示
180 唆している．逢初川上流部は人工改変されているが，鳴沢川の左
181 岸の緩斜面の内，宅地造成されていない北半分は元の地形面が残
182 っていると推定される．そして，図 4 でボーリングデータから得
183 られた乱雑堆積物上面の等高線は，鳴沢川北側の地形面の等高線
184 に滑らかに接続することができる．

185 以上に述べた乱雑堆積物の構造的特徴や地形的な分布から，乱
186 雑堆積物は，主に，鳴沢川上流から繰り返し流出した土石流の堆
187 積物であり，それが前述した沖積錐の構成物であることがわかる．
188 その中に挟まれる円磨された礫を含む砂礫層は土石流の流出の
189 間の静かな時期に堆積したものと考えられる．

190

191 2.1.4 地質構造

192 調査個所の 4 つの断面図を図 5 に示す．断面線は図 4 に示して
193 ある．Line 1 は No. 2 孔と後述の S 地点を通る南北のライン，
194 Line 2 は後述の F 地点を通る北北東-南南西のラインである．
195 Line 3 は鳴沢川上流部から No. 1 のボーリング孔を通り，逢初川
196 の流心を通る北西-南東の断面である．Line 4 は，No. 1 と No. 2
197 のボーリング孔を通り，尾根 A に至る西北西-東南東の断面であ
198 る．Line 1 では，No. 2 孔の孔口から深さ 6m(あるいは 12m)ま
199 で乱雑堆積物，その下は安山岩で，深さ約 33m から 41m つまり
200 標高 370m から 380m の間は灰色に強く熱水変質し，黄鉄鉱を含
201 み，頻繁に鏡肌を有する．この範囲は，高角度な鏡肌も含まれ，
202 断層破碎帯であると推定される．乱雑堆積物の層は，逢初川に向
203 かって傾斜している．Line 3 では，No. 1 孔での乱雑堆積物の層

204 は 1m から 9m の深さまであり，同様に逢初川に向かって傾斜し
205 ている．断面図上では乱雑堆積物の下方延長は盛土崩壊面に現れ
206 ることが，後述するように，崩壊面で確かめられた．鳴沢川では，
207 広い範囲が沖積錐に覆われていることから，乱雑堆積物は厚いと
208 考えられる．土砂に埋められた後の鳴沢川の盛土上面標高は Line
209 2 沿いで約 390m であり，逢初川の 350m よりも 40m も高い．鳴
210 沢川沿いの堆積物の厚さは不明であるが，いずれにしても，鳴沢
211 川に表流水がある状態では逢初川に向けて大きな水位差がある
212 ことになる．そして，鳴沢川の集水域からも，乱雑堆積物の層を
213 通過して地下水が逢初川に流入していると推定される．Line3 上
214 で，F 地点は乱雑堆積物層の延長上にある．

215

216 2.2 崩壊地内の地質

217 2.2.1 概要

218 崩壊後の崩壊地の写真を図 6 に示す．崩壊地の上縁の中央部に
219 道路が部分的に残存しており，崩壊地はこの道路から南東に延び
220 る高まり(中央尾根)によって北側と南側とに分かれる．北側崩壊
221 地の中央部では盛土はほとんど失われ，その下の褐色の地山が露
222 出している．この地山は，乱雑なサイズの強風化安山岩の岩片や
223 硬質の安山岩の岩片を含む黄褐色土を主とし，所々にわずかに円
224 磨された細礫から中礫が 10 cm から 20 cm 程度の厚さでレンズ状
225 に含まれていた．この堆積物は，その特徴と位置から考えて，前
226 述の沖積錐を構成する乱雑堆積物である．北側崩壊地の北側側面
227 には黒色盛土が薄く残っている．南側崩壊地，特にその中央の沢
228 部の南側には黒色盛土がかなり残存している．図 6 で南側崩壊地
229 の縁よりも南西側にも地肌が見えるが，崩壊発生前後の地形標高
230 データを比較すると，これらは小段表面が薄く崩れたもので，小
231 段自体はずり下がってはいないことがわかる．

232 北側崩壊地および中央尾根下部には，地山と判断される熱水変
233 質粘土が露出していた(図 6)．これは，灰色と黄白色のまだら模
234 様を呈しており，もともと灰色をしていたものが，酸化によって
235 部分的に褐色化または黄白色化したものと推定される．

236 中央尾根には，割れ目に富む安山岩の岩塊が露出していた(図
237 7a, b, c)．この安山岩の割れ目には，褐色の土が詰まっている所
238 と，それが失われて最大幅 10 cm の隙間にとまっている所とがあ
239 った(図 7b)．

240 2.2.2 粘土と粘土鉱物

241 北側崩壊地(図 6)に露出する灰色粘土と黄白色粘土に含まれて
242 いる鉱物種の分析を粉末エックス線回折法(XRD)により行った．
243 いずれも同じ粘土鉱物に由来する全体的に似たパターンとなる
244 (図 8a, b)．灰色粘土は黄鉄鉱を含み(図 8a)，熱水変質により形
245 成されたと考えられる．わずかに含まれる石膏は，黄鉄鉱の酸化
246 と分解によって発生する硫酸と鉱物中に含まれるカルシウムの
247 反応によると思われる．黄白色粘土は，黄鉄鉱および石膏を含ん
248 でおらず，わずかに石英を含んでいた(図 8b)．これらのことから，
249 黄白色粘土は灰色粘土を起源とし，酸化的な風化の過程で黄鉄鉱
250 を失ったものと解される．水簸による 2 μm 以下の粘土の定方位
251 試料のパターンからは，風乾後に 1.56, 0.51 nm (図 8c)，エチレ
252 ングリコール処理後に 1.70, 0.86, 0.57 nm(図 8d)，500°C で 1 時
253 間の加熱処理後に 0.96 nm のピークが現れており(図 8e)，これ
254 らの特徴から含まれている粘土鉱物の種類はスメクタイトと判
255 別できる．0.150 nm の 060 反射(図 8a, b)からは 2 八面体型のス
256 メクタイトであることが分かる．

257 2.2.3 古い地すべり

258 地すべり 1

259 北側崩壊地の乱雑堆積物の下位には，植物片の濃集したゾーン

260 が観察され(図 6 の S, *i*, 図 7a の *i*, 図 9), ここでの観察から,
261 この部分の乱雑堆積物は, 過去に熱水変質粘土の上で地すべりを
262 起こしていたことがわかった(地すべり 1). 植物片は, 炭化した
263 草および根のついた直径 2 cm 程度の木片からなり, 厚さ 10-20 cm
264 の黒味を帯びた土の上部に濃集していた(図 9). この産状から,
265 この植物片濃集ゾーンは, 元の地表面であったことがわかる. 後
266 述するように, この植物片は ¹⁴C 年代測定の結果, 約 700 年前(西
267 暦 1950 年を基準とする)のものであることがわかった. この露頭
268 の旧地表面は, 著しく変形しており, その非対称構造から, 旧地
269 表面の上を乱雑堆積物が北から南(図 9b の左から右)に移動した
270 ことが示唆される. 旧表土の下には厚さ最大 30 cm の砂礫層があ
271 り, それは円磨された中礫を含み, やはり変形していた. この砂
272 礫層の下には熱水変質粘土があり, 砂礫層との境界から 20 cm 下
273 まで酸化によるまだら模様が扁平化しており, 上述の地すべりに
274 よって変形したものと推定される. この熱水変質粘土には鏡肌が
275 認められた. それは, N14° E/28° SE の走向傾斜を有し, また
276 S24° E/18° の条線を有していた. この条線と上述の非対称構造
277 から, 地すべり 1 は, 熱水変質粘土上面をすべり面とし, その移
278 動方向は南南東であることが示唆される.

279 図 6 の S 地点では, 上述のように古い地すべりがその下底面で
280 のせん断構造によって認定されたが, その延長を横方向に追跡す
281 ると, 特にせん断構造なしに, 下位の熱水変質粘土の上に乱雑堆
282 積物が載る個所も認められた. つまり, 乱雑堆積物は熱水変質粘
283 土の上に載り, その一部が地すべりしたことが示唆される. 中央
284 尾根にある前述の安山岩の岩塊の露頭は, 位置的に見て乱雑堆積
285 物に含まれる. 北側崩壊地の下部には(図 6 と図 7a の *ii*), 盛土
286 の下に差し渡し 2m 程度の安山岩ブロックも含まれていた(図
287 10a). この安山岩ブロックは, さらに小ブロックに分かれていて,

288 その中に土砂が入り込んでいる部分があったので、おそらくこれ
289 も乱雑堆積物の一部であり、S地点との相対関係からおそらく基
290 底部に位置すると推定される(図 10a). 乱雑堆積物の上には盛土
291 が載っていたことになるが、両者の境界は詳細には追跡していな
292 い.

293 すべり面の観察された S 地点よりも斜面下方は緩斜面となっ
294 ており、それは下流方向に開く平滑斜面となっていた(図 6, 7a,
295 c). この地形は、乱雑堆積物基底、特にすべり面付近から突出し
296 た地下水によって土砂が洗い流されて形成されたことを示唆し
297 ている. また、乱雑堆積物内部の、亀裂に富む安山岩の塊は、亀
298 裂に沿って地下水が流れやすいため高透水ゾーンを形成すると
299 考えられる.

300 地すべり 2

301 盛土崩壊地下端付近の谷底には高さ 3m 程度の滝状の窪みが形
302 成され、そこから下流側はガリーとなっていた(図 6 の F). これ
303 は、木村(2021)が洗堀箇所 F とした所である. この窪みの側面で
304 地質構造が観察でき、それは、ここが古い地すべりの基底部であ
305 ることを示唆していた. 窪みの南側側面(右岸側)では、図 11 に示
306 すように、下部に黄褐色と灰色がまだら模様をなす熱水変質粘土
307 が露出し、その上に最大厚さ 10 cm で膨縮・尖滅する砂礫層が載
308 り、さらにその上に黄褐色で角礫を含む砂質の粘性土が約 1m の
309 厚さで載っていた. この角礫を含む砂質粘性土は、断面的に考え
310 て乱雑堆積物層の延長上にあり、特徴も類似していることから
311 (図 5, Line 3), その一部であると推定される. また、この黄褐色
312 粘性土は、火炎状の構造を呈し、一部に鏡肌を伴う個所がある(図
313 11). このような構造から、この角礫混じり黄褐色粘性土はせん断
314 されており、地すべりの基底部であることがわかる(地すべり 2).
315 つまり、S 地点と同様に、ここでも乱雑堆積物が熱水変質粘土と

316 の境界をすべり面として過去に地すべりを起こしていたことが
317 わかった。

318 窪地の北側では，地すべりの基底部は下流側に高さを減じてい
319 る．この基底部には安山岩岩片に富む部分もあり，そこでは基質
320 の褐色土が失われ，隙間となっている部分が認められた(図 12a)．
321 一部の隙間からは褐色の沈殿物を伴う湧水が認められた．後述す
322 るように，ボーリングコアの熱水変質粘土には一般的に黄鉄鉱が
323 認められたことから，この褐色の沈殿物は黄鉄鉱の酸化・分解に
324 よって生じた鉄含有の二次鉱物の可能性がある．私たちの現地調
325 査時には，これらの隙間から少ないながらも湧水が認められ，盛
326 土崩壊時には水の噴出があった可能性がある．実際，この窪地か
327 ら下流は，ゴルジュ状の谷となっており，噴出した水によって土
328 砂が洗い流された可能性が高い．この岩塊の集積部の上にコルゲ
329 ートパイプを含む盛土が認められた(図 12a)．

330 北側側面の向かって右下部では，地山の熱水変質粘土の上に砂
331 礫が厚さ 10・20 cm の層として載り，さらにその上に岩片と黄白色
332 から褐色の粘性土の混合した層が載っている様子が観察できた
333 (図 12c)．この砂礫層は，変形して入り組んだ形態をしており，
334 また，直径約 2 cm，長さ約 7 cm の木片を含んでいた．このような
335 産状から，ここでは，砂礫層とその下の熱水変質粘土の間にすべ
336 り面を持って地すべりが起こり，その滑動に伴って砂礫層に木片
337 が巻き込まれたものと推定される．後述するように，この木片は，
338 ^{14}C 年代測定の結果，約 8,000 年前(西暦 1950 年を基準とする)
339 のものであることがわかった．窪み北側の熱水変質粘土には，乱
340 雑堆積物との境界から 20 cm 程度の範囲まで所々で鏡肌と条線と
341 が認められた． $\text{N}7^{\circ}\text{E}/38^{\circ}\text{E}$ の鏡肌面上に $\text{S}8^{\circ}\text{E}$ に 12° 傾斜す
342 る条線が認められ，これは，地すべりの移動方向が南南東方向で
343 あったことを示唆している．これは，地すべり 1 の移動方向とは

344 ぼ同じである． 上述の砂礫層の高さは右岸側(南側)で左岸側(北
345 側)よりも約 2m 高いが，これは，おそらく地すべりが北側から南
346 側に移動し，そこで対岸に乗り上げているためであると考えられ
347 る．

348 窪地で認められた砂礫とその上に載る乱雑堆積物は，その下流
349 方向の右岸側に点々と認めることができた．ただし，F 地点以外
350 ではせん断構造は認められず，地すべりは生じていないと推定さ
351 れる．さらに，窪地の下流 780m よりもさらに下流には，熱水変
352 質粘土は認められず，安山岩の凝灰角礫岩と塊状の安山岩が河床
353 に露出している．

354 **¹⁴C 年代測定結果**

355 結果を図 13 と表 2 に示す．地すべり 1 の直下の植物片の ¹⁴C
356 年代値は暦年代で西暦 1224～1291 年(西暦 1950 年から 726～659
357 年前)(95.4%)である．一方，地すべり 2 の直下の砂礫からの木片
358 試料の ¹⁴C 年代値は暦年代で紀元前 6066～5978 年(西暦 1950 年
359 から 8,015～7,927 年前)(82.7%)，紀元前 5946～5921 年(西暦 1950
360 年から 7,895～7,870 年前)(12.7%)である．

361

362 **3. 考察**

363 人工的な地形改変のなされる前の 1962 年の空中写真観察から，
364 鳴沢川上流と逢初川上流とは，岩戸山東面から流出した土石流に
365 よって埋積され，下流側で 2 つに分かれる変則的な形の沖積錐を
366 形成していたことがわかった．そして，この沖積錐を構成する地
367 層は，ボーリングコア観察から，所々に円磨礫を含む砂礫層を挟
368 み，褐色の砂質な基質と不淘汰な粒径と形態の安山岩片からなる
369 堆積物からなり(乱雑堆積物)，土石流の堆積物であると推定され
370 る．乱雑堆積物層は，現在地形的に鳴沢川の流域となっている範
371 囲の南部では逢初川に向かって傾斜している．したがって，尾根

372 A の西方延長よりも北側部分からも地下水が逢初川方向に流れ
373 ると推定される。

374 断面的に見た地質構造とその特徴から、盛土崩壊地の崩壊面に
375 広く露出する地層は、この乱雑堆積物である。そして、この乱雑
376 堆積物は熱水変質粘土の上に載っており、地点 S と地点 F では、
377 それぞれ北側から南側に向かって地すべりを起こしていた。この
378 熱水変質粘土は、軟弱かつ難透水性で、主にスメクタイトからな
379 る。S 地点で年代測定した植物片は、炭化した草および根のつい
380 た直径 2 cm 程度の木片の集合したもので、現地性産状とみなせる
381 ことから、地すべりで急速に埋没したと解釈される。したがって、
382 我々は植物片の ^{14}C 年代値から、地すべり発生年代を約 700 年前
383 と推定した。

384 F 地点の木片の ^{14}C 年代値は約 8000 年前であるが、異地性産
385 状を呈する。したがって、その直上の地すべりの発生年代は約
386 8000 年前より新しいことは確実だが、それより詳しい発生年代
387 を推定することはできない。そのため、本論では、暫定的に F 地
388 点の地すべりの発生年代を約 8000 年前とすることとした。

389 上述の沖積錐は、米軍空中写真が撮影された 1947 年までには、
390 逢初川上流で東側が崩壊し、その堆積面が失われていた。この崩
391 壊範囲を盛土崩壊前の地形と重ね合わせると、その下部が盛土表
392 面に水の滲出による小崩壊と思われる孔が形成された範囲と重
393 なっていることがわかる(図 14a)。また、この孔の形成範囲は、
394 盛土崩壊後に見いだされた乱雑堆積物基底部の位置とも符合し
395 ている。これらのことは、沖積錐の崩壊のメカニズムと盛土崩壊
396 とのメカニズムとの間に関連性があることを示唆している。

397 盛土崩壊後の地形からは、大きく 2 か所から出水があり、それ
398 が土砂を洗い流したことが示唆される。一つは、F 地点、もう一
399 つは S 地点である。前者は、地すべり基底部分で細粒分が地中侵食

400 された岩塊集積部からの出水であると推定され，盛土の末端付近
401 で生じた．乱雑堆積物内の水位が上昇して，ある限界を超えたと
402 ころで急激に出水したことも考えられる．後者も，古い地すべり
403 基底部からの出水であり，盛土の厚い部分の下の出水であった．
404 ただし，乱雑堆積物基底部は崩土に覆われている所もあり，S地
405 点やF地点のすべり面がどの程度まで広がっているのかは，不明
406 確である．

407 盛土崩壊に伴う土石流は複数回の段波からなり，そのうち特に
408 第2波と第3波が大量の出水を伴ったことがわかっている(静岡
409 県，2022)．この2回の土石流は，上述の地すべり2基底からの
410 出水および地すべり1基底からの出水が引き金となった可能性
411 がある．

412 静岡県は，崩壊地内の3か所で流量観測を行っている(図6の
413 R1, R2, R3)．静岡県(2021a, 資料5-35)に示された流量観測によ
414 ると，F地点より上流側のR1とR2の合計よりもF地点下流側
415 のR3の流量が大きいことから，R2～R3間(地点Fを含む)で地
416 下水が滲出していることが示唆されている．また，R2の流量と，
417 R2～R3間での滲出量は降雨後数日して増加したことから，流動
418 距離の長い地下水が左岸側から流入していることが示唆されて
419 いる．これらのことと，地点Fでの地質性状から，乱雑堆積物基
420 底のすべり面近傍で左岸側から地山中を流れる地下水が滲出し
421 ていると推定される．

422 一方，南側崩壊地から湧出する流量はR1で計測されており，
423 これは降雨に速やかに応答する．南側崩壊地では，図6のiii地
424 点からの湧水が継続的に見られ(図10b)，これは沖積錐の砂礫層
425 からの出水と見られる．盛土崩壊は，南側崩壊地では，上述の地
426 すべり1の基底部からの出水とともに，この出水も関連している
427 と考えられる．

428

429 4. おわりに

430 2021年7月に熱海市逢初川で発生した土石流は、盛土の崩壊
431 に起因するものであり、一般には盛土そのものに原因があると考
432 えられてきた。しかしながら、その後注意深く地質調査を行った
433 結果、盛土の下に、沖積錐が存在しており、それを構成する乱雑
434 堆積物を通して隣接する鳴戸川の流域からも地下水が流入して
435 いたと推定された。特に、乱雑堆積物の下には難透水性の熱水変
436 質粘土があり、乱雑堆積物の一部はそれとの境界をすべり面とし
437 て、過去に地すべりを起こしていたことがわかった。崩壊地の崩
438 壊後の地形と地下水観測結果から、破壊的な土石流の段波を生じ
439 た盛土崩壊には、古い地すべりの基底部からの出水が引き金とな
440 った可能性が高いと推定される。ただし、これらの地すべりは西
441 暦1950年から約700年前および約8,000年前と古いもので、今
442 回の盛土崩壊時には活動していない。

443 2022年5月27日に公布された盛土規制法には、盛土個所の地
444 質・地形を考慮することが謳われているが、今回のような複雑な
445 地質構造が隠れている可能性を考慮して、十分な地質調査を行う
446 必要があるといえる。

447

448 **謝辞** 公益財団法人深田地質研究所の金子 誠氏には、現地で
449 議論していただき、また、調査に協力いただいた。立ち入り禁
450 止区域内の調査に協力いただいた静岡県交通基盤部河川砂防局
451 砂防課、熱海市市民生活部危機管理課、本稿にコメントをいた
452 だいた2名の匿名査読者と編集委員会委員に感謝申し上げます。
453 本研究の経費は静岡大学防災総合センターの予算および深田地
454 質研究所の経費を使用した。粉末X線回折分析は東京大学理学
455 系研究科地球惑星科学専攻の装置を使用した。

456

457 **引用文献**

458 朝日航洋株式会社 (2021), 静岡県熱海市伊豆山付近の陰陽図
459 (被災前) (CC-BY)

460 <https://www.aeroasahi.co.jp/news/detail.php?id=391> 2022年4月
461 21日にダウンロード.

462 Chigira, M., Tsou, C. Y., Matsushi, Y., Hiraishi, N. & Matsuzawa,
463 M. (2013), Topographic precursors and geological structures of
464 deep-seated catastrophic landslides caused by Typhoon Talas.
465 *Geomorphology*, **201**, 479–493.

466 doi:10.1016/j.geomorph.2013.07.020

467 木村克己 (2021), 熱海市の逢初川土石流災害の地形・地質的背
468 景. 深田地質研究所年報, 22, 185-202.

469 及川輝樹・石塚 治 (2011), 熱海地域の地質 (5万分の1地質図
470 幅東京8 第92号). 産業技術総合研究所 地質調査総合セン
471 ター, 61p.

472 Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P., Bronk
473 Ramsey C. *et al.* (2020), The IntCal20 Northern Hemisphere
474 radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*,
475 **62**(4), 725-757. doi: 10.1017/RDC.2020.41

476 静岡県 (2020), 静岡県 富士山南東部・伊豆東部 点群デー
477 タ. G空間情報センター.

478 [https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/shizuoka-2019-](https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/shizuoka-2019-pointcloud)
479 [pointcloud.](https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/shizuoka-2019-pointcloud)

480 静岡県 (2021a), 第2回逢初川土石流の発生原因調査検証委員会
481 配布資料 (1~15). 11月26日開催.

482 <http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke->

483 [350/sabouka/r3hasseigenninncyousakennsyouiinnkai_2.html](http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/r3hasseigenninncyousakennsyouiinnkai_2.html)

484 静岡県(2021b), 2021年7月3日静岡県熱海市土石流災害ドローン
485 レーザ計測データ. G空間情報センター.
486 [https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/20210703-atami-](https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/20210703-atami-dronelazer)
487 [dronelazer](https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/20210703-atami-dronelazer) 2022年4月21日にダウンロード.
488 静岡県(2022), 逢初川土石流の発生原因調査 中間報告書. vol.
489 1-7. [https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-](https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/r3hasseigenninncyousakennsyouiinnkai_3.html)
490 [350/sabouka/r3hasseigenninncyousakennsyouiinnkai_3.html](https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/r3hasseigenninncyousakennsyouiinnkai_3.html)
491
492 著者貢献
493 千木良雅弘: 現地調査, 地質・地形の検討, 論文執筆を担当.
494 北村晃寿: 試料採取, 論文執筆を担当.
495 木村克己: 現地調査, 論文を改善.
496 市村康治: 粘土鉱物分析を担当.
497

図表キャプション

図 1 盛土崩壊箇所周辺の盛土崩壊前の地形イメージ. a: 位置図(基図は, 朝日航洋株式会社(2021a)). 挿入図の★が a 図の位置. b: 盛土崩壊部近傍の拡大図. 切土と盛土の分布は静岡県(2021)による. 白矢羽根印は植生の回復した小崩壊地形を示す.

Fig. 1 Topographic image around the landslide of the embankment before its failure. a: Index map (Base map is from Aero Asahi Corporation (2021a)). A star in the inset shows the location of a. b: Enlarged map around the landslide of the embankment. Cut and fill areas are from Shizuoka Prefectural government (2021). White feather arrows point small landslides now is vegetated.

図 2 逢初川および鳴沢川上流の人工改変前の地形. a: 1962 年撮影の空中写真(国土地理院撮影, MKT-62-8X C9-8). 破線は沖積錐の輪郭. b: 盛土予定地付近の拡大ステレオペア(MKT-62-8X C9-8, C9-9). c: 同上(地形分類図).

Fig. 2 Topography of the upstream of the Aizome River and the Narusawa River before the artificial modification. a: Air photograph in 1962 (Geospatial Information Authority of Japan, MKT-62-8X C9-8). Dashed lines delineate a fluvial cone. b: Enlarged stereopairs around the planned embankment (MKT-62-8X C9-8, C9-9). c: Interpretation of figure a.

図 3 調査地の経時的空中写真. a: 1962 年, 1967 年, 1989 年. b: 1994 年, 2005 年, 2012 年.

Sequential aerial photographs in the study area. a: 1962, 1967 and 1989. b: 1994, 2005 and 2012.

図 4 乱雑堆積物層上面の等高線と地形との関係. a: 盛土崩壊発生前の地形イメージ(朝日航洋株式会社, 2021a)と 10m 間隔等高線(静岡県, 2020 から作成)に, 乱雑堆積物層の上面の等高線, および崩壊発生後の崩壊地内と近傍の 5m 間隔等高線を重ね合わせたもの. 乱雑堆積物層の上面の等高線は北部で地表の等高線に連続する. #1 から#5 はボーリング番号で, それに付随する数字はボーリングで確認された砂礫層の上面の標高(m). Line 番号は, 図 10 の断面に対応する断面線. 上部に散在する黒い点は樹木によるノイズで, 左上から右下に下がる黒 2 重線は, ソフトの不具合による. b: 1962 年撮影の国土地理院の空中写真に乱雑堆積物層の上面の等高線を重ねたもの. 空中写真は MKT623X C9 をジオレファレンスして重ね合わせたため, ひずんでいる. 切土と盛土の分布は静岡県(2021a, 資料 10-26)

Fig. 4 The relationship between the top surface of the chaotic deposits and the

topography. a: Topographic image before the landslide of the embankment (Asahi Aero Survey, 2021a) with 10-m contours (Shizuoka Prefecture, 2020) overlain by the contours of the top surface of the chaotic deposits and the 5-m interval contours after the embankment landslide. The contours of the top surface of the sandy gravel layer merge the topographic contours in the north area where natural slope surface remains. Numbers #1 to #5 denote drillings, which are attached with the elevations of the top of the chaotic deposits in the drill holes. Four lines with numbers correspond to the profiles in Fig. 10. Black dots in the north are due to trees and the double lines from upper left to lower right are due to application bug. b: Aerial photographs taken in 1962 by the Geospatial Information Authority of Japan overlain by the contours of the top surface of the chaotic deposits.

図 5 地質断面図。黒線は崩壊前の地表面で、赤線は崩壊後の地表面。茶色は乱雑堆積物、黄色は盛土。ピンクはすべり面。

Fig. 5 Geological cross sections. Black lines are the ground surface before the landslide of the embankment and the red lines are after the event. Brown: chaotic deposits. Yellow: embankment. Pink: sliding surface. See text for detail.

図 6 盛土崩壊地の地質概略図。S は地すべり 1 の基底部の観察箇所(図 5)。F は地すべり 2 の基底部の観察箇所(図 7)。その他の記号は本文参照。基図は盛土崩壊地の 2 cm 解像度オルソ画像に 50 cm の DEM データから作成した傾斜図を重ね合わせたもの(静岡県(2021b)のデータから作成)。

Fig. 6 Geologic outline in the landslide of the embankment. S and F show the locations where the basal part of landslide 1 and 2 were observed respectively (Fig. 5). Refer to the text for the other symbols. The base map was made from orthophotographs with 2-cm resolution overlaid with a slope image from 50-cm DEMs, both data were obtained by Shizuoka Prefectural government (2021b).

図 7 盛土崩壊地内部の状況。a: 南側から中央尾根(左側)と北側崩壊地を望む。i は地すべり 1 のすべり面観察位置(図 5)。ii は地すべり 1 基底部付近の安山岩塊の位置(図 6a)。破線は下流方向に開いた扇状の窪みで、地下水の流出によって土砂が洗い流された部分と推定される。b: 中央尾根に位置する亀裂の発達した安山岩塊。c: 盛土崩壊地を下部から見上げた写真。ハッチのついた線は乱雑堆積物底面のトレース。

Fig. 7 Photographs showing the inside of the landslide. a: A view of the central ridge (left) and northern landslide, looking from the south. i is the location where landslide 1 was observed (Fig. 5). ii is the location of andesite block near the base of the landslide

(Fig. 6a). Dashed line shows a fan-like depression widening downslope, which is assumed to be made by the washing out of debris by the gushing out of groundwater. b: Cracked andesite block in the middle of the central ridge. c: A view of the landslide looking from its lower portion. Lines with hatches delineate the base of landslide 1.

図 8 北側崩壊地に露出する X 線回折図. 灰色粘土(a)及び黄白色粘土(b) : $5-70^\circ$ (2θ), 特に $10-65^\circ$ (2θ)の範囲を強調して示している. 灰色粘土試料の $<2\mu\text{m}$ 分画試料の風乾(c), エチレングリコール処理(d), 500°C で 1 時間の加熱処理(e)の後の不定方位試料. S = スメクタイト; P = 黄鉄鉱; G = 石膏, A = 鋭錐石, Q = 石英.

Fig. 8 X-ray diffraction patterns of clay samples exposed in the northern collapsed area: (a) gray clay and (b) pale-yellow clay. The range is $5-70^\circ$ (2θ) and exaggerated scale at $10-65^\circ$ (2θ). Oriented $<2\mu\text{m}$ fraction of sample Gr after (c) air-drying, (d) ethylene glycol treatment, (e) heating at 500°C for 1h. S = smectite; P = pyrite; G = gypsum; A = anatase; Q = quartz.

図 9 地すべり 1 の基底部(位置は図 3 の S). a: 乱雑堆積物(黄褐色部). 表面には崩壊土石が載っている. 破線はその下底面. b: 地すべり直下の植物片濃集層と, その下の砂礫とさらに下の熱水変質粘土. 植物片濃集層は右側で非対称に変形しており, 地すべりが左から右に向かって移動したことを示唆している. スケールの鎌の柄は長さ 30 cm. c : 植物片濃集層. 炭化した草や根のついた細い木が認められる.

Fig. 9 The basal portion of landslide 1 (located as S in Fig. 3). a: Landslide body (yellowish brown), which is partially covered by debris. Dashed line is the base of the landslide. b: Plant fragments-rich layer below the landslide underlain by sandy gravel layer, which in turn underlain by hydrothermal alteration clay. The plant fragments-rich layer is asymmetrically deformed in the left, which suggests that the landslide displaced from the left to the right in this figure. The handle of the sickle is 30-cm long. c: plant fragments-rich layer, which has carbonized grass and rooted thin wood.

図 10 崩壊地内部の安山岩ブロックと湧水状況. a: 差し渡し 2m の安山岩ブロック(図 3 の ii). 小ブロックに割れていて, 間に土砂が詰まっていることから, 地すべり 1 の一部と推定される. スケールは 2m. b: 盛土下からの湧水(図 3 の iii). 亜円礫が認められることから, おそらく背後に砂礫層があるものと推定される(2022 年 5 月 2 日撮影).

Fig. 10 Andesite blocks and spring water in the landslide of embankment. Two-meter across andesite block, which is separated to smaller blocks with soil in between (ii in Fig. 3). This suggests that this block is a part of landslide 1. The scale is 2-m long. b: Water spring coming out below the embankment (iii in Fig. 3). Subrounded pebbles are seen

with the water, which suggests that sandy gravel layer is beneath the embankment. Photograph taken 2 May, 2022.

図 11 地すべり 2 の基底部の構造(図 3 の F 地点の窪みの右岸側). 下部に地山の熱水変質粘土があり, その上に防縮する砂礫層があり, その上にせん断された角礫混じり砂質粘性土が載っている. この粘土には鏡肌が認められ(左上挿入写真), また, 左岸側の地山の熱水変質粘土にも鏡肌が認められた(右下挿入図).

Fig. 11 Structure of the basal part of landslide on the right bank of the gully at F in Fig. 3. The bottom is a basement of hydrothermal alteration clay overlain by sandy gravel with laterally variable thickness, which in turn overlain by sheared sandy clay with rock fragments. The sandy clay is sheared with slickenside (upper left inset). Clay is also exposed on the left bank with slickenside (lower right inset).

図 12 地すべり 2 の基底部の構造(図 3 の F 地点の窪みの左岸側). a: 地すべり 2 とその上に載る盛土および今回の崩積土. 盛土の右端の中にコルゲートパイプが見える. 地すべり 2 の下部には角礫が多く, その間の細粒分が流失して隙間になっている. b: F 地点の窪みを下流側から見た状況. 約 3m の深さの窪みになっており, その下部に地すべり 2 があり, その上が盛土および今回の崩積土となっている. c: 地すべり 2 とその下の砂礫層, さらにその下の熱水変質粘土. 砂礫層は変形しており, また, 木片を含んでいる. この木片を ^{14}C 年代測定に供した.

Fig. 12 Structure of the basal part of landslide 2 on the left bank of the gully at F in Fig. 3. a: Landslide body 2 overlain by embankment, which in turn is overlain by the new debris. A corrugated pipe is seen in the embankment in the upper right. The lower portion of the landslide body 2 is rich in angular rock fragments, of which matrix finer materials were removed to leave openings. b: Overview of the gully at F seen from the downstream. It is approximately 3-m deep and its upper side exposes the landslide body 2 in the bottom and embankment and new debris on it. c: The bottom of landslide body 2 on sandy gravels, which is on hydrothermal alteration clay. The sandy gravel layer is deformed and has a wood fragment, which was dated by ^{14}C .

図 13 確率密度分布で表示した年代モデル

Fig. 13 ^{14}C dating results presented as probability density distributions.

図 14 盛土崩壊発生前後の地形と 1962 年以前の沖積錐の崩壊と今回の崩壊, および乱雑堆積物下面(一部地すべり面)のトレースの関係. a: 盛土崩壊前. 基図は朝日航洋株式会社(2021)の陰陽図. 白楕円で囲んだ範囲内の盛土小段に数 m 大の小崩壊が複数見える. この

範囲は盛土崩壊後に乱雑堆積物下面のトレースが露出した位置に符合する。また、1962年以前の沖積錐の崩壊斜面の下部ともほぼ重なる。b: 盛土崩壊後の傾斜図を発生前の陰陽図に重ねた図。盛土崩壊範囲の最下部に F 地点、つまり地すべり 2 の基底部が露出した窪みが位置する。この窪みは盛土崩壊前に a 図の G 地点にあったガリー頭部が後退したものと考えられる。F 地点よりも下流は周辺部分よりも数 m 低いガリーになっており、また、S 地点の下流部には平滑な扇型斜面があり、これらの地形は、それぞれ地すべり 2 および地すべり 1 の基底部からの地下水の突出によって形成されたものと考えられる。

Fig. 14 The relationship among the topography before the landslide embankment, the landslide of the fluvial cone before 1962, landslide of the embankment in 2021, and the traces of the old landslide bases. a: Before the landslide of the embankment. Base map is the topographic image by the Aero Asahi Corporation (2021). There are small failures on the embankment in the area encircled with a white ellipse. This area coincides the area where the base of landslide bodies 1 and 2 appeared as well as the area of the bottom of the landslide of the fluvial cone before 1962. b: Overlapped maps of a slope image after the landslide of the embankment and a topographic image before the event. The gully head F where the base of landslide 2 was exposed likely used to be at G in fig. a and retreated to F. The gully downstream of F is several meters lower than the surroundings (yellow dashed line) and the downslope of S where the base of landslide 1 was exposed is a fan-like smooth slope (yellow dashed line); both topographic features are assumed to be the results of washing away of debris by the water from the basal parts of the landslides 1 and 2.

表 1 観察に使用した空中写真一覧。

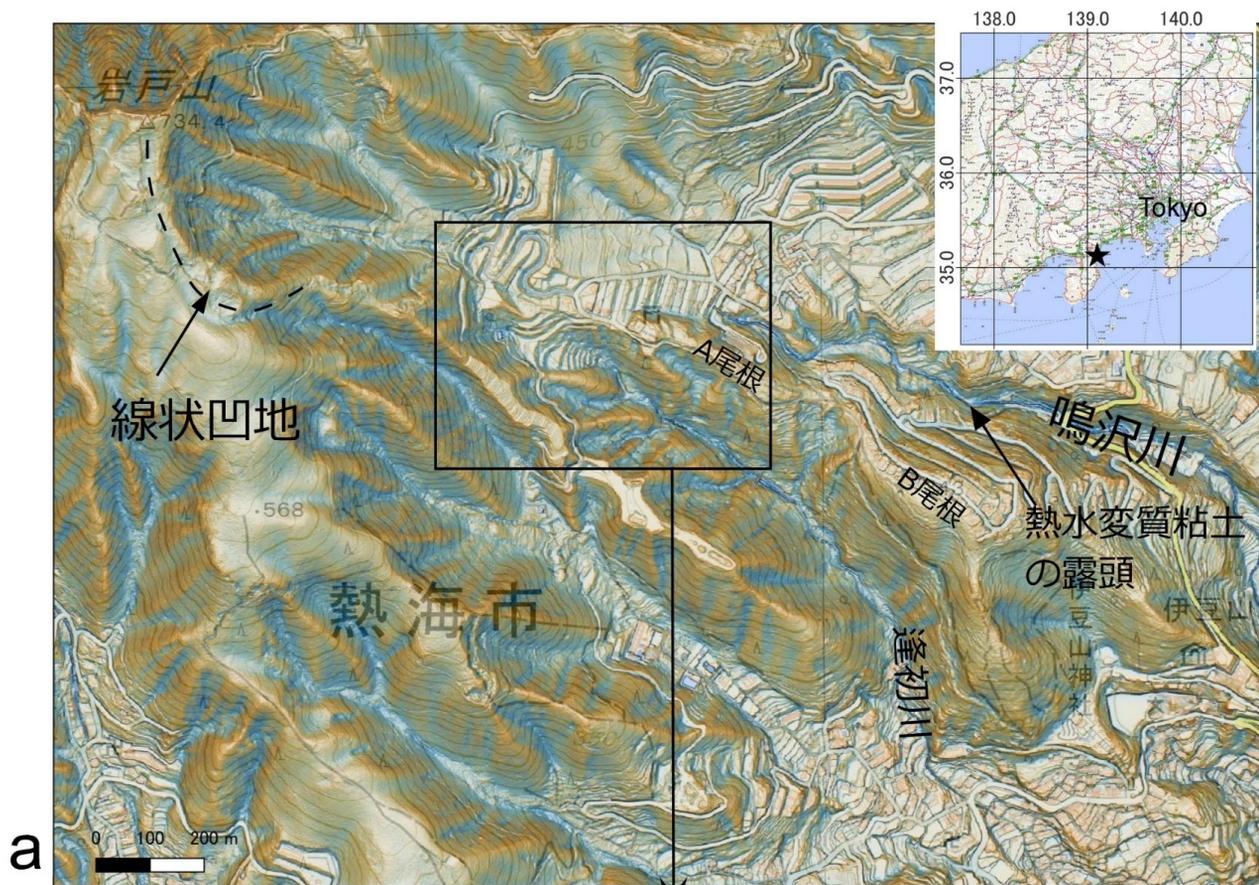
Table 1 A list of aerial photographs used in the study.

撮影年	空中写真番号
1962	MKT623X C8,9
1967	CB-67-1X C6-14, 15
1989	CB894X C2-5, 6
1994	CCB941 C2-27, 28
2005	CCB-2005-3X C3-21, 22
2012	CCB-2012-1 C13, 28,29

表 2 放射性炭素年代測定結果

Table 2 Results of radiocarbon dating.

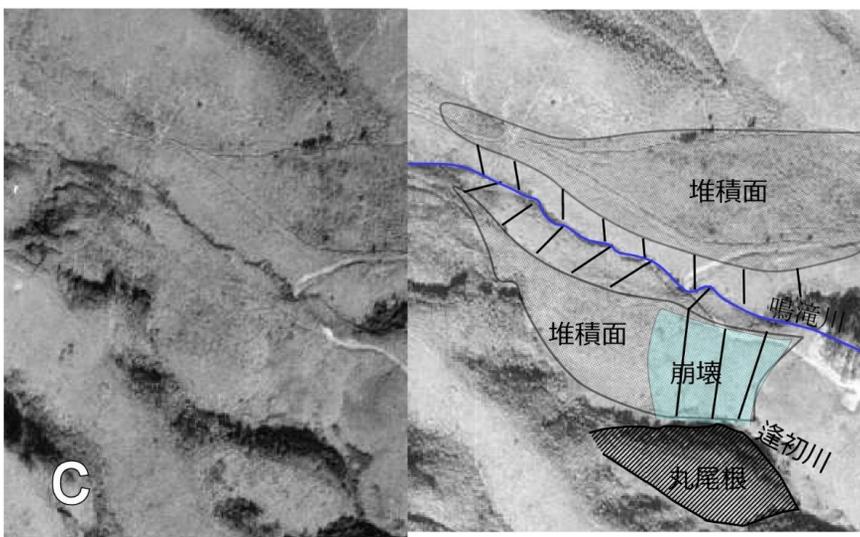
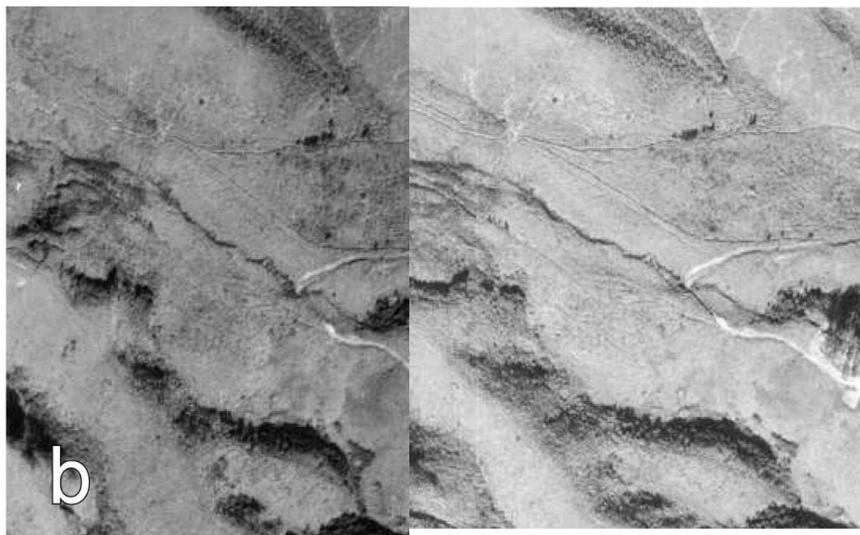
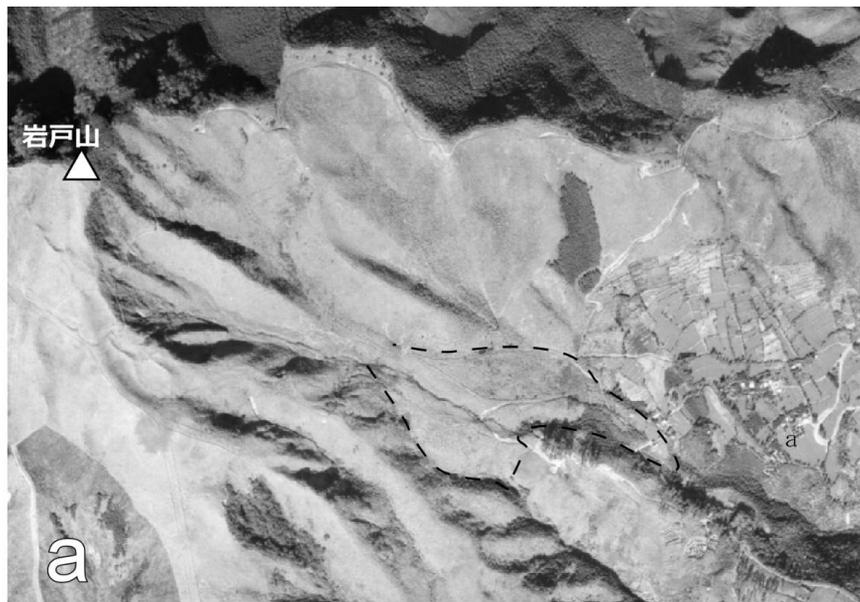
地点	種名	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C age (yr BP)	暦年代 (2 σ) (cal yr) (95.4%)	暦年代 (2 σ) (cal yr BP) (95.4%)	ラボナン バー
地すべり移動 体1の直下	植物片	-23.1	750 \pm 30	1,224–1,291 cal yr AD 6,066–5,978 cal yr BC	726–659 cal BP	Beta-65684
地すべり移動 体2の直下	木片	-25.1	7,130 \pm 30	(82.7%) 5,946–5,921 cal yr BC (12.7%)	8,015–7,927 cal BP (82.7%) 7,895–7,870 cal BP (12.7%)	Beta-65683

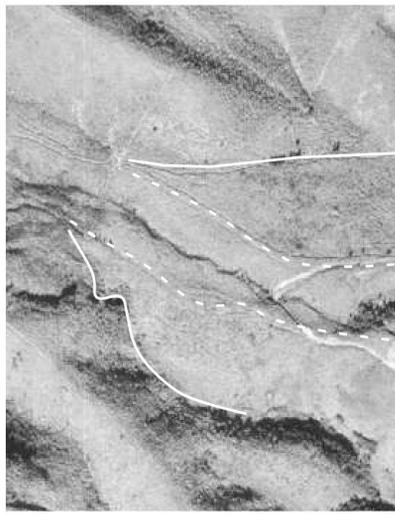


a

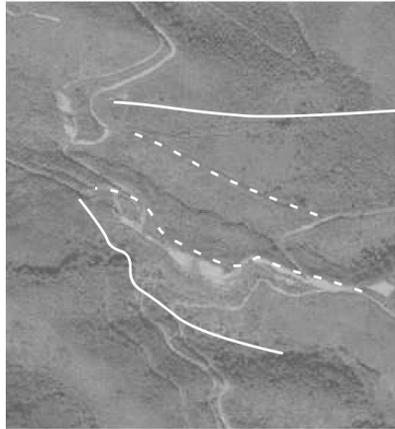


b

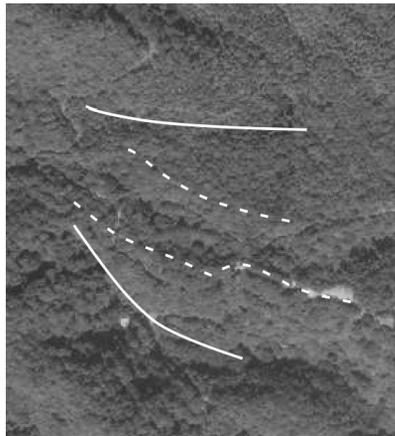




1962



1967



1989



1994



2005



2012

