

令和5年度（公社）日本地すべり学会
関東支部シンポジウム

地震時の地すべり



令和5年5月

1. 名称：公益社団法人日本地すべり学会関東支部令和5年度シンポジウム

2. テーマ：地震時の地すべり

3. 期日：令和5年5月9日（火）13:00～16:10（開場 12:30）

4. 場所：日比谷図書文化館（地下1階）大ホール（東京都）
東京都千代田区、日比谷公園内

5. 次第

(1)開会の辞 13:00

(2)シンポジウム

講演 1 13:05～13:45

関東地震（1923）による土砂災害の概要と Poole の逃避行ルート

井上 公夫

（（一財）砂防フロンティア整備推進機構・専門研究員）

講演 2 13:45～14:25

関東地震による震生湖の地すべりについて

千木良 雅弘

（（公財）深田地質研究所・理事長）

講演 3 14:25～15:05

都市部に隠れた地震時盛土地すべりとその課題

太田 英将

（（有）太田ジオリサーチ・相談役）

休憩 15:05～15:15

総合討論（コーディネータ：新井場 公德） 15:15～16:05

(3)閉会の辞 16:10

目次

関東地震（1923）による土砂災害の概要と Poole の逃避行ルート ……………	1
（井上 公夫、（一財）砂防フロンティア整備推進機構・専門研究員）	
関東地震による震生湖の地すべりについて ……………	13
（千木良 雅弘、（公財）深田地質研究所・理事長）	
都市部に隠れた地震時盛土地すべりとその課題 ……………	26
（太田 英将、（有）太田ジオリサーチ・相談役）	

講師略歴

井上 公夫 (いのうえ きみお)

- 1971年 日本工営株式会社 入社
- 2006年 砂防フロンティア整備推進機構 入社

千木良 雅弘 (ちぎら まさひろ)

- 1981年 財団法人電力中央研究所 入所
- 1997年 京都大学防災研究所 教授
- 2020年 公益財団法人深田地質研究所 理事長

太田 英将 (おおた ひでまさ)

- 1982年 明治コンサルタント株式会社入社
- 1990年 太田ジオリサーチ創業 代表
- 2021年 (有)太田ジオリサーチ 相談役

関東地震（1923）による土砂災害の概要と Poole の逃避行ルート

井上公夫¹

1 一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構

1. はじめに

関東地方南部の山地や丘陵地、台地の縁辺部では、関東地震（1923年9月1日11時58分）の激震や2週間後の豪雨により、崩壊や地すべり、土石流による土砂災害が多発した。しかし、地震の揺れによる人家の倒潰や火災被害が甚大であったため、土砂災害の詳しい調査・研究はあまり行われてこなかった。そこで、中央防災会議・災害教訓の継承に関する専門調査会の1923関東地震小委員会¹⁾では、内務省社会局²⁾の資料や当時の報告書などを収集・整理して、土砂災害分布図を作成した。

ここでは、関東地震による土砂災害の概要を説明する。アメリカから横浜に来て35年間生活していたPooleは『古き横浜の壊滅』³⁾で、関東大震災で被災した状況を詳しく語っている。彼が被災後Dodwell商会から脱出して家族と落ち合い、大型客船まで逃避行した経緯を説明する。

2. 地震による土砂災害の概要—関東地方全域の土砂災害分布図作成

土砂災害地点の特定に当たっては、当時の災害資料・報告書などをもとに、関東地震直前に修正測図された1/5万の旧版地形図に災害地点を記入し、一覧表を作成した⁴⁾。図1は、内務省社会局（1926）『大正震災誌』²⁾の巻末図で、関東地震による林野被害区域山崩れ概況図を示している。丹沢山地の秦野盆地に面した南斜面は「山崩れ激甚地帯」に区分され、山崩れが最も多く発生した。丹沢山地から箱根火山地帯は「山崩れ多大地帯」、関東山地から多摩丘陵、三浦半島、房総半島は「山崩れ軽微地帯」となっている。



図1 関東地震による林野被害区域「山崩れ地帯」概況図と関東地震による土砂災害地点
井上編著⁵⁾に伊豆大島を追記, ▲びやくの地点を追記

図1では、この図の上に、地震直撃（○）と2週間後の豪雨（■）による土砂災害地点を追記した^{4,5)}。さらに、「びやく」（▲）という土砂災害地点も追記した⁶⁾。

表1は関東地震による土砂災害^{5,6)}を示している。関東地方全域で、土砂災害箇所は170箇所、土砂災害に起因する死者・行方不明者は1064人+139人と1000人を超えている。関東地震の震源域は神奈川県から千葉県南部であったため、神奈川県内の土砂災害はきわめて大きく、神奈川県全体で103箇所、死者・行方不明者945人+139人にも達した。神奈川県西部で37箇所、650人+74人が亡くなり、神奈川県東部で66箇所、295人+65人が亡くなっている。当時の横浜市内では27箇所、68人+60人が亡くなっているが、火災によって死亡した人の中には、崖崩れで家が倒壊し、負傷して動けなくなり、死亡した人も含まれている可能性がある。

表1 関東地震による土砂災害(井上編著^{5,6)}を修正)

地 区	箇所数	死者・行方不明者	被災戸数	河道閉塞
神奈川県西部	37	650人+74人	265戸	5
神奈川県東部	66	295人+65人	203戸	0
横浜市内	27	68人+60人	83戸	0
鎌倉町内	19	7人	9戸	0
横須賀市内	20	220人+ 5人	111戸	0
静岡県東部	7	64人	8戸	1
山梨県	12	4人	0戸	0
東京府	6	14人	3戸	0
千葉県南部	42	37人	16戸	6
計	170	1064人+139人	495戸	12

*井上編著⁴⁾の表4.2, 6.1, 7.1, 7.2, 7.3, 8.1をもとに集計
伊豆大島・岡田, 秦野市の事例を追加

3. 神奈川県西部の土砂災害

3.1 神奈川県西部の土砂災害分布

図2は、「神奈川県震災荒廃林野復旧事業図」⁷⁾（神奈川県環境農政局緑政部森林再生課蔵）で、丹沢山地・箱根火山地域の山地の荒廃状況と昭和4年（1929）までに施工された荒廃林野復旧事業の施行箇所（緑色箇所）が描かれている。日本で最初に作成された土砂移動分布図で、崩壊地や地すべり地の分布状況が良くわかる。

墨で塗られた部分は御料林で、明治23年（1890）に御料林に編入された時点では、かなり良好な天然林があったと想定される。その後、伐採事業が行われ、関東地震（1923）の頃にはかなり荒廃していた。伐採事業により、かなり荒廃した状況になっていた丹沢山地に、関東地震（9月1日）の激震と2週間後の台風による集中豪雨（9月12～15日）、翌年の丹沢地震（M7.3, 1924年1月15日）の激震が重なり、崩壊や土石流が多発して、より荒廃した状況となった。

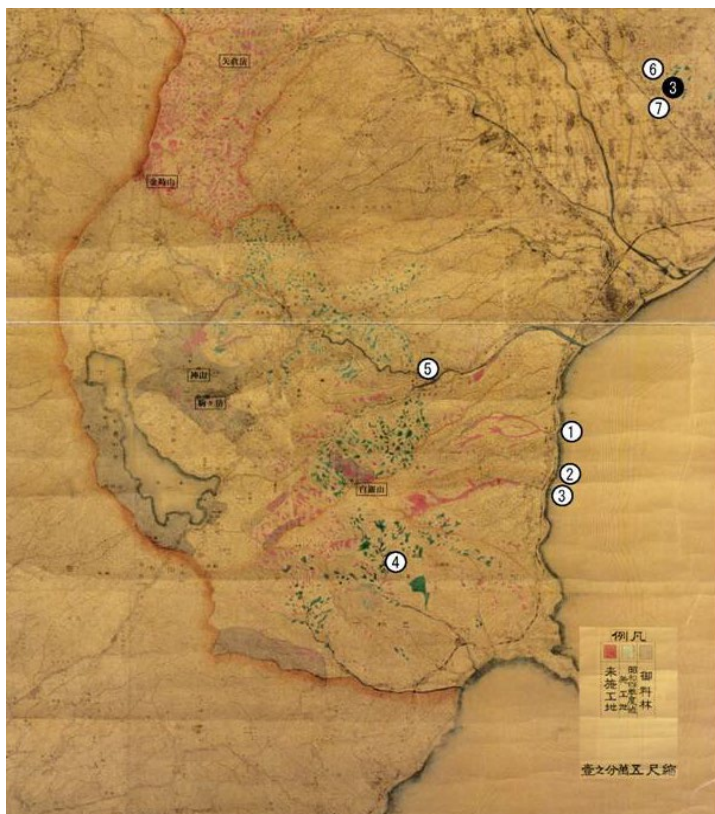
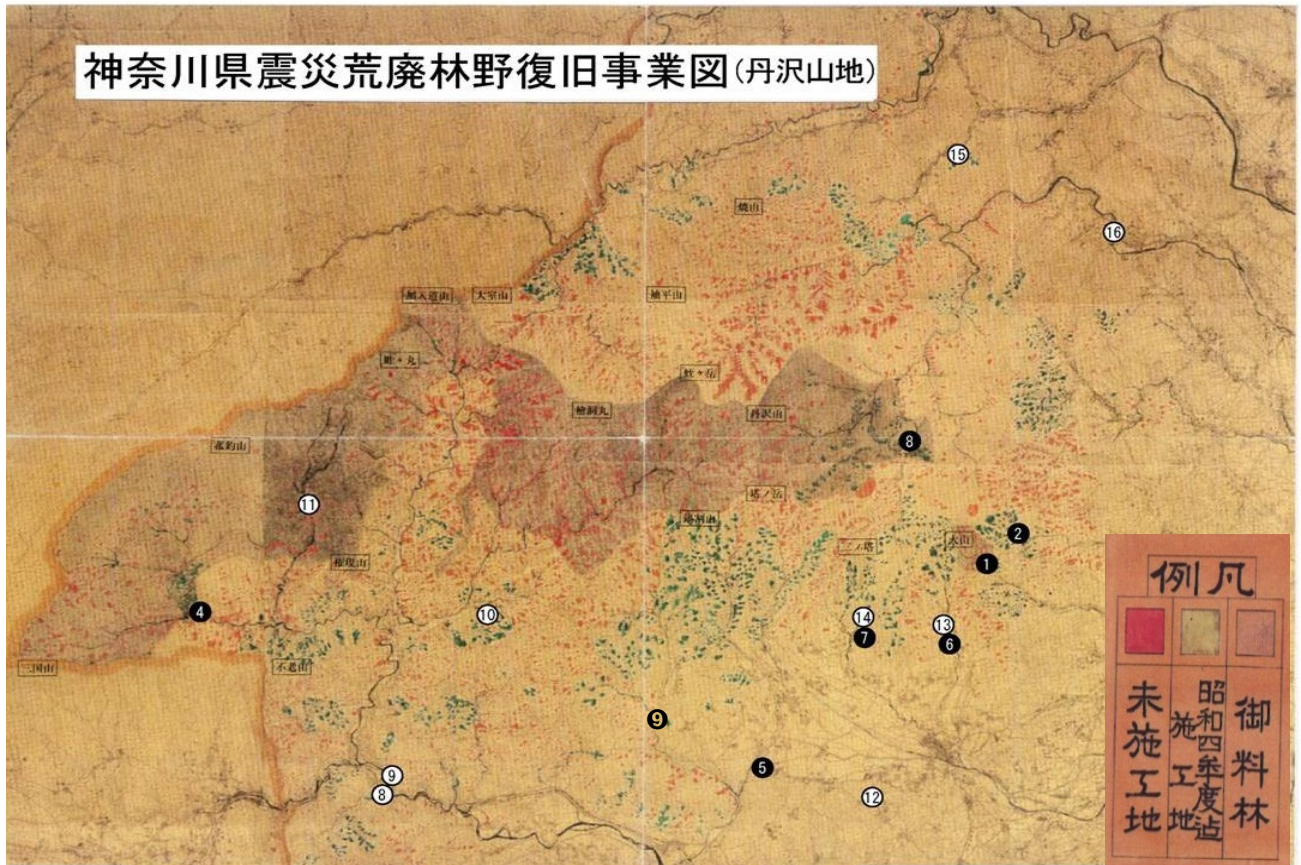
図2で緑色の崩壊地は、関東地震から6年経って山腹工や植栽工などの治山工事がほぼ完了した箇所を示している。黒丸数字①は関東地震直撃による土砂災害、白抜き数字❶は震災から2週間後の豪雨による土砂災害地点を示す。

内務省では、大正13年（1924）から「直轄震災復旧砂防事業」を新設し、10ヶ年計画を策定して、相模川、酒匂川流域など5河川において、内務省直轄砂防事業⁸⁾を実施した。この砂防事業は昭和12年（1937）まで14年間実施された。大正12年度（1923）の全国の直轄砂防事業費が25.1万円だったのに対し、大正13年度（1924）のそれは70.8万円と3倍にも達した。それだけ、関東大震災後の対策が重要視されていたことが分かる。

3.2 小田原―熱海間の土砂災害

小田原―熱海間は、箱根火山の外輪山が相模湾に面して急峻な地形をなしている。この間の海岸線の美しさは、外国人向けの『旅行案内』に、「日本の代表的な景観である」と紹介されている。明治14年（1881）に小田原―熱海間の県道は開通したが、人力車で6時間もかかった。国鉄東海道線の横浜―国府津間は、明治20年（1887）7月に建設された。外国人を含め、箱根温泉の湯治客が増加したため、「小田原馬車鉄道」が明治21年（1888）に国府津―小田原―箱根湯本間に建設された。

小田原―熱海間については、「豆相人車鉄道」が鉄道建設の特許を明治23年（1890）に得て、明治28年（1895）7月に吉浜（現神奈川県真鶴町）―熱海間の10.4kmを、明治29年（1896）3月に早川南（現小田原市、現早川駅付近）―吉浜間の14.4kmを完成させた。明治33年（1900）に小田原馬車鉄道が電化されると、同年6月に人車鉄道は早川橋梁を完成させて520m延長し、早川口で小田原馬車鉄道と連結して、全線25.3km（現在のJR小田原―熱海間は20.7km）を完成させた。人車鉄道の軌間は2フィート（61cm）しかなく、客車の定員は上等車が4人、中等車が4～5人、下等車が6人で、3～4人の車丁と呼ばれる押し手が登りは押



関東地震直後(9月1日)に発生した土砂災害	地震後降雨時(9月15日)の土砂災害
①小田原市米神(吉浜村)	①伊勢原市大山(大山町)
②国鉄熱海線・根府川駅	②伊勢原市日向(高部屋村)
③小田原市(片浦村)根府川	
④湯河原町(吉浜村)星ヶ山	
⑤箱根温泉街・登山鉄道	
⑥小田原市(曾我村)上曾我	⑥小田原市下蘇我(曾根村)
⑦国鉄東海道線・蘇我駅	
⑧国鉄東海道・谷職駅付近	
⑨山北町(川西村)嵐	
⑩山北町(三保村)玄倉	④山北町世附(神鍋村)
⑪山北町(三保村)地藏平	⑤秦野市八澤(上秦野村)
⑫秦野市(南秦野村)震生湖	⑥秦野市千村(西秦野村)
⑬秦野市(東秦野村)養毛	⑦秦野市養毛(東秦野村)
⑭秦野市(北秦野村)菩提	⑧秦野市菩提(北秦野村)
⑮津久井町(鳥屋村)馬石	⑨清川村丸掛(燧ヶ谷村)
⑯愛川町(愛川村)馬渡	⑩秦野市金目川水系・大倉
⑰相模原市緑区・与瀬隧道	
⑱相模原市緑区(千木良村)	

* ⑪⑱はこの地図の北側の相模川流域

図2 神奈川県震災荒廃林野復旧事業図⁷⁾(丹沢山地, 神奈川県環境農政局緑政部森林再生課蔵)
(関東地震による土砂災害地点を追記; 井上・伊藤⁴⁾; 井上編著⁵⁾)

して運行するという極めて原始的なものであった。小田原から熱海まで4時間かかり、料金は下等で50銭であった。人力車で行けば6時間かかり、料金は1円50銭もかかったため、人車鉄道はかなりの人気があった。しかし、登り坂にかかると、下等の客は降りて押さなければならなかったし、ちょいちょい脱線すると

いう、危なっかしい乗り物であった。

この人車鉄道が一番繁盛したのは、明治 37, 38 年 (1904, 1905) の日露戦争の頃である。多くの傷病兵を湯河原や熱海の温泉に療養させるために、一度に 20 台もの人車が長い列を作って運転された。しかし、人車鉄道は脱線・転覆事故が多く危険で輸送力がなく、車丁の件費が高くなって採算が取れなくなった。このため、豆相人車鉄道は、社名を「熱海鉄道株式会社」に変更し、軽便鉄道に切り替える工事が進められた。明治 40 年 (1907) 7 月から軌道を 2.6 フィート (79cm) に広げる工事にかかり、同年 12 月 22 日に全線開通し、24 日から軽便鉄道の運転を開始した。

東海道線 (現在の御殿場線で、明治 22 年 (1889) 開通) の交通量が増えるにつれて、急勾配が続く御殿場線のルート (最高点は御殿場駅付近の標高 457m) では、大量輸送が困難となったため、丹那トンネル (全長 7804m) を通るルートの建設が大正 2 年 (1913) に決定された。熱海線は国府津-小田原間が大正 9 年 (1920)、小田原-真鶴間が大正 11 年 (1922) に開通した (関東地震時は真鶴駅で折り返し運転)。このため、併走区間の軽便鉄道は廃止され、関東地震時 (1923) には真鶴-熱海間の軽便鉄道が残っているだけとなった。

このような状況下で、大正 12 年 (1923) 9 月 1 日に関東地震が発生した。図 3 は 1/5 万の震災地応急測図「小田原」「松田総領」図幅で、関東地震による被災状況が克明に描かれている (歴史地震研究会編集⁹⁾; 井上編著⁵⁾)。本図は、参謀本部陸地測量部が震災直後の 9 月 6 日~15 日という短期間に延べ 94 人もの要員を配置して、現地調査し作成した「震災地応急測図」63 枚のうちの一部である (日本地図センターで購入可能)。この地域は、関東地震による激甚被災地域で、調査隊員が調査した事項を赤字で多く書き込んである。「小田原」図幅で 2 枚、「松田総領」図幅で 3 枚の応急測図が作成された。国鉄東海道線 (現 JR 御殿場線) や国道 1 号線 (東海道)、小田原-熱海までの県道 (現国道 135 号線、含む鉄道) に分かれて調査隊員が現地調査した。調査ルートの集落毎の被害状況や鉄道や道路の被害状況や復旧工事の必要日数などが詳細に記載されている。小田原から伊豆半島の東海岸に向かっては、箱根地区 (東海道) とは別の調査隊員が調査し、応急測図を作成している。図 3 はこれらの図を編集して、1 枚の図としたものである。

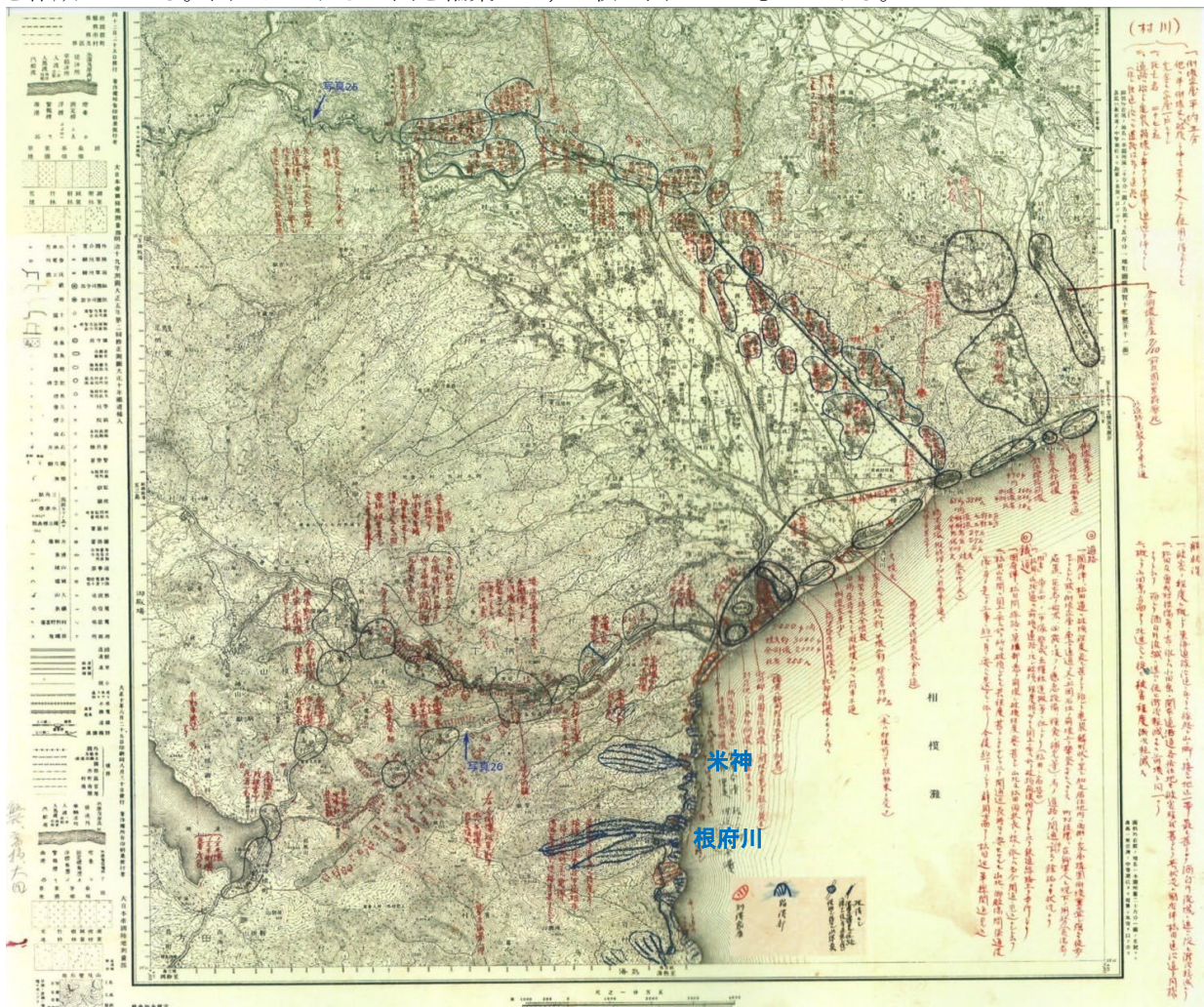


図 3 震災地応急測図 1/5 万, 形図「小田原」「松田総領」図幅 (歴史地震研究会編集⁹⁾; 井上編著⁵⁾)

4. 神奈川県東部の土砂災害

4.1 神奈川県東部の土砂災害

神奈川県東部の横浜や鎌倉・横須賀地域では、人家背後の急斜面が崖崩れを起こし、多くの人家が押し潰され、多数の死傷者を出した。表1に示したように、神奈川県東部で66箇所、295人+65人が亡くなっている。当時の横浜市内では27箇所、68人+60人が亡くなっている。中央防災会議・災害教訓の継承に関する専門調査会の1923関東地震小委員会では、神奈川県県土整備局・河川水道部・砂防海岸課（現砂防課）の協力を得て、資料や報告書を収集・整理するとともに、図4 神奈川県東部の土砂災害分布図⁴⁾（1997年編集の1/10万集成図「南関東」に追記）を作成した。図4の右側に「土砂災害一覧表（66箇所）」を示した。災害状況の詳細な一覧表は、井上・伊藤⁴⁾、井上編著⁵⁾を参照されたい。

土砂災害地点の特定にあたっては、当時の災害資料・報告書などをもとに、関東地震直前に修正測図された1/5万の旧版地形図「横浜」（1898年測図，1922年修正）、「横須賀」（1903年測図，1921年修正）図幅に災害地点を記入し、その後1/10万集成図「南関東」（1997年編集）にプロットしたものである。土砂災害地点の土地利用は1921～22年当時の地形図なので、基本的に1923年の関東地震時の集落配置とほぼ同じである。土砂災害の少ない地域は農地や林地として利用されていて、被害はほとんどなかった。

しかし、現在では土地利用が高度化し、農地や林地は減少し、ほとんどの集落が繋がってしまっている。今後関東地震のような大規模地震が発生した場合、災害地点はもっと増える可能性がある。

4.2 鎌倉の土砂災害

関東地震当時、自動車交通が発達し始めたため、鎌倉に向かう切通し道は、次第に自動車道として整備された。しかし、これらの自動車道は極めて狭く（1車線のみ）、現在は旧道として遊歩道となっている箇所もある。朝比奈（図9の地点29）、化粧坂（同34）、亀ヶ谷（同35）、名越（同36）、大仏坂（同41）、極楽寺坂（同45）などの切通しの峠越え道は、多くの箇所で崩壊して、通行不能の状態になった。このため、周囲から鎌倉に向かう鉄道や道路は、津波や土砂崩壊の影響もあって寸断されてしまい、鎌倉は一時期孤立状態となった。

浪川¹⁰⁾は、鎌倉市のホームページで「知られざる鎌倉、関東大震災の鎌倉、その1～30」を公表しており、貴重な写真や丁寧な解説が掲載されている。また、NAMAZUの会¹¹⁾も参考になる。鎌倉は、鎌倉時代以降、幾度か大地震に見舞われた記録が残っている¹²⁾。特に、長谷の高徳院と大仏は何回も地震を経験してきた。鎌倉の大仏は現在露座であるが、鎌倉時代に完成した時には大仏殿の中に祀られていた。明応四年八月十五日（1495年9月3日）の鎌倉大地震で、「大津波、水勢、鎌倉大仏殿堂舎屋を破壊し、溺死者200人」と記されている。大仏の標高は12～13mあり、津波で被害を受けたとすれば、大津波だったことになる。浪川¹³⁾は、文明十八年（1486）にはすでに大仏殿はなく、露座の大仏であったと報告している。関東地震による揺り出しによって、大仏が35.8cm前に動いたことが記録されている¹⁴⁾。

4.3 横須賀地区の土砂災害

三浦半島北部は、主に新第三紀の三浦層群（逗子層など）からなり、標高50～70mの定高性のある丘陵地である。この丘陵地の山頂部は下末吉期・小原台海進期の海水準で、その後この高さまで隆起した。氷期には寒冷で海水準が下がり、丘陵地は侵食が進んで、樹枝状に多くの谷地形が発達した。横須賀はこのような地形を利用して、江戸時代から横須賀製鉄所（横須賀造船所）が建設された。明治9年（1876）に横須賀鎮守府（東海鎮守府）が設置されると、造船所も拡張され、日本最大の海軍基地となった。また、谷底部や谷地形の斜面には、宅地や軍施設が多く造成され、関東地震時には密集状態となっていた。

関東地震による激震によって、多数の人家が倒潰するとともに、急斜面部で何箇所も崩壊が発生して、多くの死者・行方不明者を出した。その後の市街地の焼失によって、多くの犠牲者は焼死として計上されることが多い。横須賀地域では、図4に示したように、関東地震による土砂災害を19箇所（No.47～65）で確認でき、被害家屋数111戸以上、死者220人にも達した。三浦半島は新第三紀の丘陵地からなり、多くの谷地形が発達している。谷底低地に建物・人家が密集し、周辺は急傾斜な斜面で囲まれている。図5は横須賀市震災誌刊行会¹⁵⁾の「大正十二年九月一日横須賀震災要図」で、軍都・横須賀市の市街地のほとんどの建物は、関東地震による激震によって倒壊し、その後の火災によってほぼ全焼した。急傾斜面の多くの場所で崩壊（→の方向）を起こし、崩壊土砂が建物を襲い、激甚な土砂災害となった。



神奈川県東部関東地震土砂災害一覧表

現在の市町村	NO	震災当時の地名	発生位置
横浜市	1	伊勢佐木町	伊勢佐木警察署
	2	宮崎町 30	成田山延命院
	3	南太田町谷原耕地	東福寺
	4	西戸部町 1559	
	5	南太田町 2083	
	6	南太田町 2009	
	7	戸部町1丁目	渡邊邸石垣
	8	伊勢山太神宮	後の崖
	9	伊勢町2丁目	正金銀行倶楽部
	10	宮崎町66	
	11	宮崎町崖	
	12	磯子町字新地	割烹借楽園
	13	山手町	見晴し
	14	山手町60	山手本町警察署
	15	元町2丁目	浅間山
	16	元町4丁目	太神宮
	17	石川町	1丁目から5丁目
	18	本牧町字十二天	村社本牧神社
	19	本牧町台	東本願寺出張所
	20	岡村町仲久保	
	21	磯田町	
	22	神奈川町字神明町	京浜電車軌道
	23	青木町字妻ヶ谷357	
	24	金沢村谷津	飲食店小林宅
	25	戸塚町・厚木県道	矢沢トンネル
	26	日下村字日野	
	27	戸塚町	
鎌倉市	28	十二所	17番地
	29		県道朝比奈谷切通し
	30	浄明寺	報国寺奥宅間ヶ谷
	31		報国寺
	32	雪の下	巨富久路(子袋)坂切通し
	33	扇ヶ谷	泉ヶ谷229番地
	34		化粧坂切通し
	35		龜ヶ谷切通し
	36	大町	県道名越踏切から陸道
	37	大町	蛇止堂～安国論寺の裏山
	38	大町	釈迦堂切通し
	39	乱橋材木座	五所神社
	40	乱橋材木座	飯島道
	41	長谷	大仏塚トンネル
	42	長谷	光則寺
	43	長谷	桑ヶ谷
	44	坂の下	虚空蔵堂
	45	坂の下	極楽寺坂切通し
	46	手広	青蓮寺
横須賀市	47	港町	見晴山
	48	諏訪町	諏訪公園
	49	山王町	横須賀市役所
	50	山王町	山王稲荷神社
	51	大滝	若松町
	52	逸見	横須賀駅
	53	逸見	巡査派出所
	54	逸見	部会所構
	55	堀の内	
	56	汐留	巡査派出所
葉山町	57	榎ヶ浦	切通し
	58	公郷	田戸海岸(田戸小学校)
	59	田浦町	横須賀線第三トンネル
	60	浦賀町蛇畑	雲岩山
	61	浦賀町荒巻	浦賀警察分署
	62	浦賀町谷戸	浦賀船渠株式会社
	63	浦賀町	県道久比里坂切通し
	64	下北浦町	尻古獺坂
	65	西浦町	大崩
	66	葉山村下山口	

図4 神奈川県東部の土砂災害分布図(井上・伊藤⁴⁾;井上⁵⁾)
 国土地理院 1/10万集成図「南関東」(1997年編集)に土砂災害地点を追記

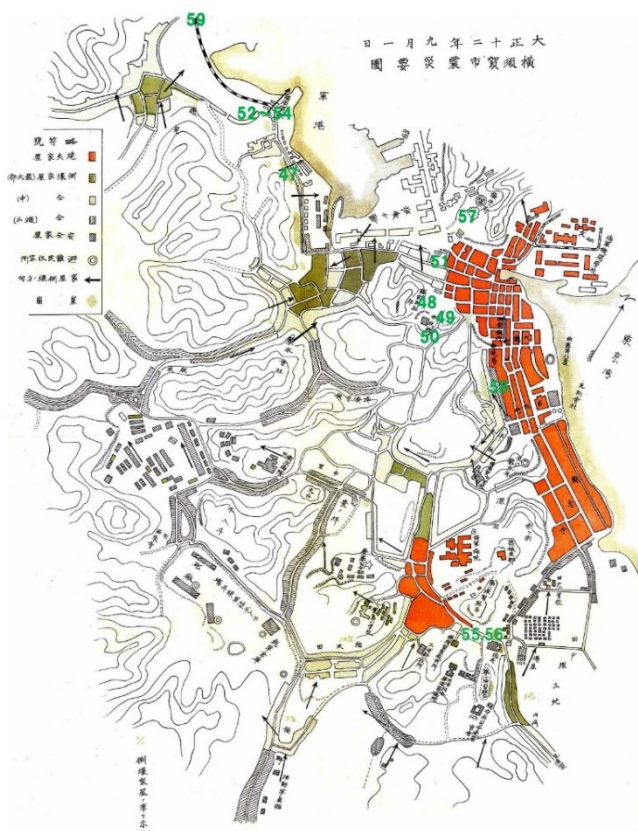


図5 大正十二年九月一日横須賀震災要図に土砂災害地点(青番号)を追記(横須賀市震災誌刊行会¹⁵⁾;井上編著⁵⁾)



図6 横須賀市港町の土砂災害状況図(海軍省公文書番号 T12-172; 蟹江¹⁷⁾)

2015年10月24日に井上・蟹江・相原¹⁶⁾で、「横須賀地区と浦賀地区の土砂災害地点を歩く」という現地見学会を行った。見学会は横須賀(逸見・汐入)地区と浦賀地区に分けて行った。

横須賀地区で最も被害の大きかった場所は、図5に示した横須賀市港町(地点47, 現汐入町5丁目)付近の横須賀鎮守府に面した急崖部である。図6に示したように、海軍基地に面した見晴山の高さ30mの急崖部が長さ440mにわたって地すべり性崩壊を起こした。崩壊土砂は16万 m^3 にも達し、横須賀駅から海軍基地に向かう県道と海軍工廠内の海軍軍需庫を埋没させ、その間の交通は途絶した。このため、崩壊土砂に巻き込まれて、通行人など50人が死亡・行方不明となった。崩壊地はA, B, C, Dに分かれており、崩壊土砂を取り除くため、トラック線路が敷設された。土砂は本町(現在のショッピングセンター付近)に運ばれ、埋め立てに使われた。横須賀海軍基地内の建物(軍艦)や斜面の崩壊状況は分かっていない。被害は激甚だったと推測され、船を動かせず、横須賀基地から横浜への救援活動は行われなかった。

港町公園には「関東大震災供養塔」などがあり、関東地震による横須賀地区全域の死者500名が祀られている。元は旧県道付近にあったが、昭和5年(1930)に国道16号の拡幅工事にともない、現在の港町公園内に移設された。大きな供養塔の前には、横須賀線で通学途中に死亡した横須賀市立高等女学校(現、県立横須賀大津高校)の生徒9名と市民遭難者41名の慰霊碑がある。

4.4 横浜の激甚な被害とO. M. Pooleの逃避行ルート

大岡川の沖積低地や周辺の台地に発達した横浜の市街地は、地震で多くの建物が倒潰するとともに、その後各地から出火し、ほとんどの建物は焼失した。被災民の多くは周辺の台地(神社, 仏閣, 外国人居留地が多く存在)へ向かって避難したが、台地縁辺部の急崖部では多数の崖崩れや地すべりが発生し、逃げるのができず、焼死した人も多い。

O. M. Poole (Otis Manchester Poole, 愛称, Chester) は、1966年に『The Death of Old Yokohama in the Great Earthquake of 1923』を発行し、日本では金井圓訳『古き横浜の壊滅』(有隣堂)³⁾として、1976年に出版された。激甚な被害(地震動による建物の倒潰とその後の延焼)の中で逃避行を行い、家族と落ち合って大型客船に乗船できた。この経緯を振り返り、横浜での関東地震による被災状況を考察することにする。

Pooleは明治13年(1880)9月6日米国イリノイ州シカゴに生まれた。父はアメリカ人、母はスコッチ・アイリッシュ系であった。実父 Otis Augustus Poole は、日本茶の買い付けなどで82回も太平洋を横断していた。

明治 21 年 (1888) 春, 父が極東・日本での生活環境に心を打たれて, 家族と一緒に生活することを決め, 横浜にやってきた。Poole は 8 歳で日本に来て, それ以降横浜の山手に住み, 日本各地を旅行し, 研鑽を深めていった。明治 37 年 (1904) には日本アルプスの槍・穂高に登り, 240 マイル (384km) の徒歩旅行に成功した。この試験登山が認められて, イギリス王立地理学会 (Royal Geographical Society) の会員に選ばれた。その後, 彼は商社員として日本各地や台湾などで仕事をした。また, 明治 43 年 (1910) ~ 大正 2 年 (1913) は神戸に住んでおり, 神戸にも多くの知人を得ていた。大正 5 年 (1916) に Drothy Campbell (愛称 Doro) と結婚して, 横浜で生活を続けた。

Poole は, 関東地震当時 43 歳で, 英国貿易商社 Dodwell 商会 (山下町 72 番地) の日本総支配人であった。父は震災当時, 日本茶の買い付けのため, 静岡に住んでいた。Poole は, 関東地震による建物の倒潰や延焼から逃れて逃避行し, 家族 (妻 Drothy と 6・4・3 歳の 3 人の男子) と再会でき, 大型ヨットから大型客船に乗船することで避難できた。その後, 客船で神戸に向かい, 神戸居留地の外国人たちの協力を得て Dodwell 商会の復旧・復興対策を検討した。

図 7 は, 1/1 万旧版地形図「横浜近郊南部」(1922 年測図) に Poole の 9 月 1 日の逃避行ルートを追記したものである。この地形図は関東地震時の 1 年前には測図作業が完了しており, 関東地震前の横浜の地形 (海岸部の埋め立て地) や土地利用状況を克明に記録している。図 8 は 2013 年 9 月 21 日 (土) に実施した「関東大震災・横浜の現地見学会—1923 年 9 月 1 日の Poole の逃避行—」⁶⁾ で実施した現地見学会のルート (緑線) と Poole の逃避行ルート (赤線) を, 1/1 万地形図「関内」(1984 年編集, 2005 年修正) に示したものである。図 8 の右上には, 現地見学会の見学地点と関東地震の主な慰霊碑の地点を示した。Poole は勤務先 (Dodwell 商会, 山下町 72 番地) で関東地震の激震を受け, 必死に山手 68 番地の自宅に向かい, その付近で家族と落ち合い, 急崖を必死になって埋立地に降りることができた。図 7 と図 8 を持って, Poole の逃避行ルートを散策することをお勧めする。

Dodwell 商会は図 8 の No.0 地点 (山下町 72 番地) に存在し, 付近の道路は現在も震災前とほぼ同じである。この位置には現在 JAL シティホテルが建っている。関東地震当時, 横浜港に面した沖積低地 (細長い砂州の発達する微高地) は関内と呼ばれ, 英国領事館や米国領事館, 香港上海銀行などの施設が多く建っていた。その南東側の低湿地には中華街が建設された。関東地震の頃には大岡川下流の沖積低地一帯が人口密集地となり, 関内の南東側の台地 (下末吉海成段丘) の上は山手と呼ばれ, 欧米人の居住地区となっていた。横浜は幕末に開港されて以来, 外人墓地が建設され, 欧米人の洋館が次々と立ち並んだ¹⁷⁾。

9 月 1 日 11 時 58 分に関東地震の激震を受け, 商会周辺の建物の多くは倒潰した。Dodwell 商会の建物は大きく損壊したものの倒潰せず, Poole は怪我をしなかった。商会の社員もほぼ安全であると確認してから, 妻 Drothy と 3 人の子供が待つ自宅 (No.7 地点, 山手 68 番地) に社員 2 人と一緒に向かった。商会の玄関から出ると周囲の建物は殆ど倒壊していた。自宅に帰るいつもの道 (中華街から前田橋へ向かう) は倒潰した瓦礫で通行不能であった。余震が続く中, 倒潰した建物から次々と火災が発生した。このため, 中華街の西側を迂回し, 加賀町警察署 (No.2 地点) のある通りを通って, 西の橋 (No.4 地点) に向かった。No.2 と No.4 の間はスワンプ (湿地, No.3 地点) と呼ばれていたが, 地割れと液状化により地下水が吹き出し沼地状であった。この地点を腰まで水に浸かって必死に横断し, 西の橋まで到達した。

西の橋からチェリーマウントヒルを通って山手の自宅に向かおうとした。しかし, ホテルなどのある V 字型の谷斜面は, 崩壊や地すべりを起こし, 元町・石川町の商店街になだれ落ちていた。崖下の元町商店街の

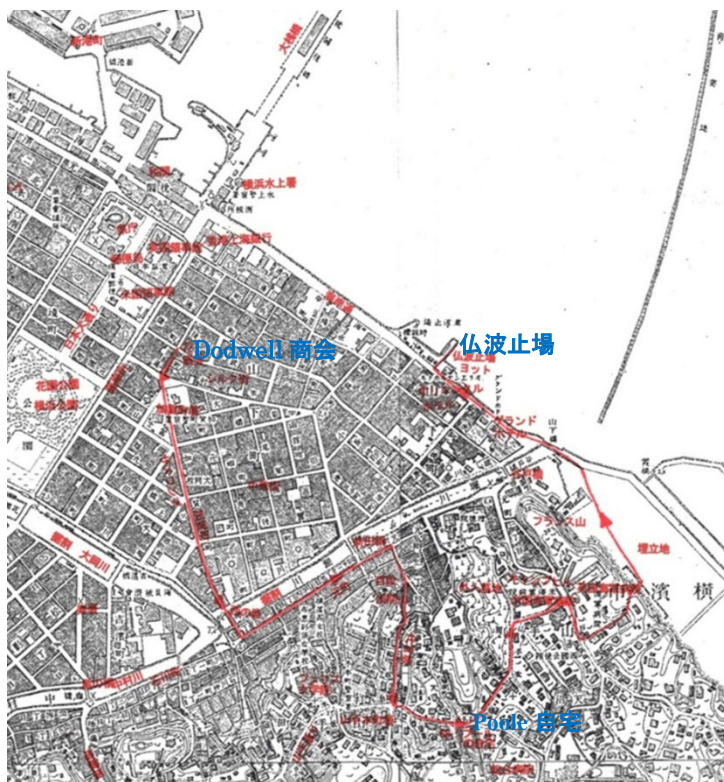
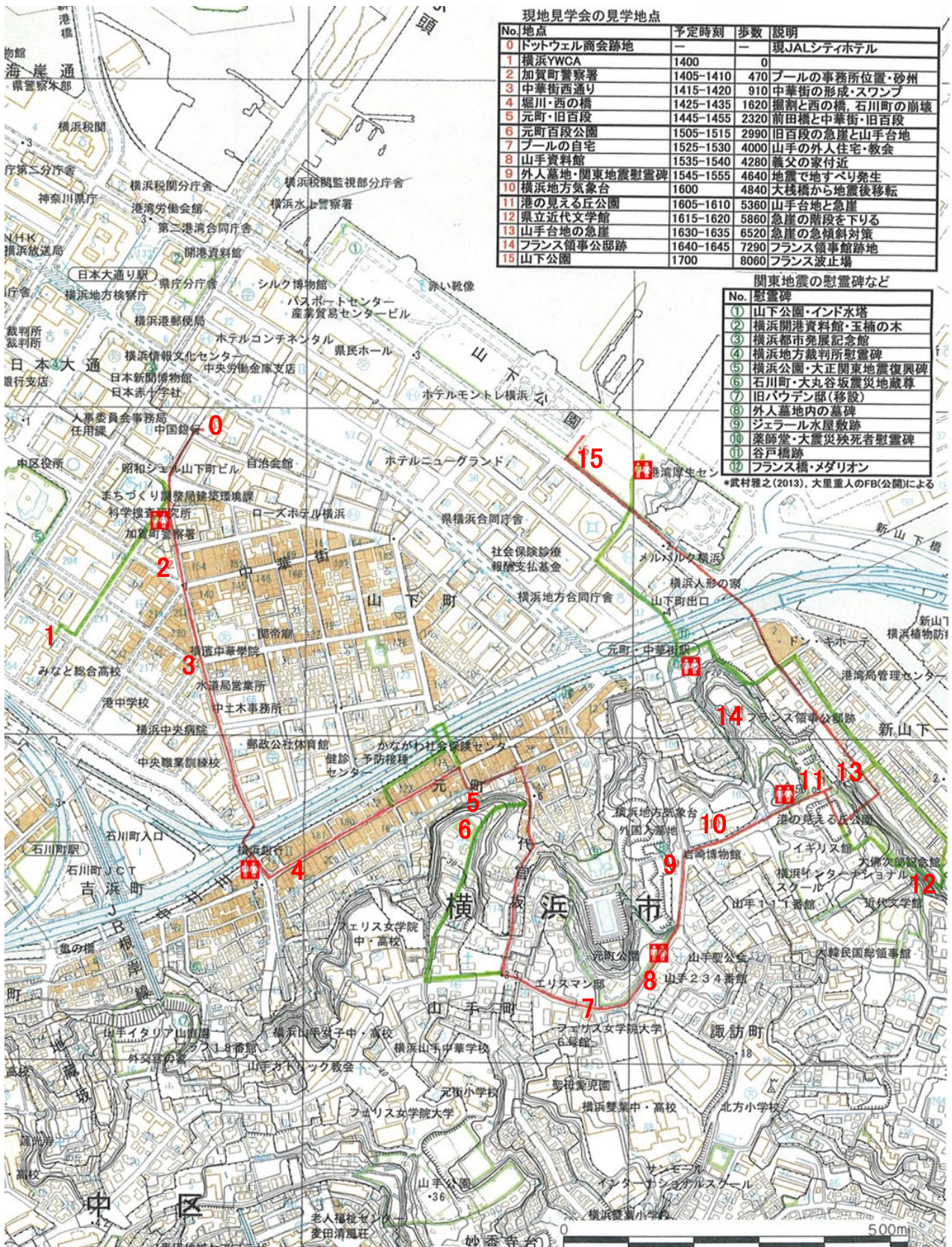


図 7 Poole の逃避行ルート, 1/1 万旧版地形図「横浜近郊南部」(1922 年測図) に加筆 (井上編著⁵⁾; 井上⁶⁾)



現地見学会の見学地点

No.地点	予定時刻	歩数	説明	
0	トットウェル商会跡地	—	現JALシティホテル	
1	横浜YWCA	1400	0	
2	加賀町警察署	1405-1410	470	プールの事務所位置・砂州
3	中華街西通り	1415-1420	910	中華街の形成・スワンブ
4	堀川・西の橋	1425-1435	1620	掘割と西の橋、石川町の崩壊
5	元町・旧百段	1445-1455	2320	前田橋と中華街・旧百段
6	元町百段公園	1505-1515	2990	旧百段の急崖と山手台地
7	プールの自宅	1525-1530	4000	山手の外人住宅・教会
8	山手資料館	1535-1540	4280	義父の家付近
9	外人墓地・関東地震慰霊碑	1545-1555	4640	地震で地すべり発生
10	横浜地方気象台	1600	4840	大橋橋から地震後移転
11	港の見える丘公園	1605-1610	5360	山手台地と急崖
12	県立近代文学館	1615-1620	5860	急崖の階段を下りる
13	山手台地の急崖	1630-1635	6520	急崖の急傾斜対策
14	フランス領事公邸跡	1640-1645	7290	フランス領事館跡地
15	山下公園	1700	8060	フランス波止場

関東地震の慰霊碑など

No.	慰霊碑
①	山下公園・インド水塔
②	横浜開港資料館・玉桶の木
③	横浜都市発展記念館
④	横浜地方裁判所慰霊碑
⑤	横浜公園・大正関東地震復興碑
⑥	石川町・大丸谷坂震災地蔵尊
⑦	旧パウデン邸(移設)
⑧	外人墓地内の墓碑
⑨	ジェラルド水屋跡
⑩	薬師堂・大震災犠牲者慰霊碑
⑪	谷戸橋跡
⑫	フランス橋・メダリオン

※武村雅之(2013)、大里重人のFB(公開)による

図8 Pooleの逃避ルート(赤線)と現地見学会ルート(緑線)(井上編著⁵⁾;井上⁶⁾
(基図は1/1万地形図「関内」)(1984年編集, 2005年編集)

状態はさらに悲惨で、細長い街全体がペシャンコになっていた。日本人の商店の並ぶ細長い商店街は消え去っていた。すべてのものは沈黙していた。ここかしこで、深い悲しみの中から叫び声がし、気違いのように土を掘り返している人の群れが見えた。80ヤード(73m)も離れていないところで、突然火が吹き出して、赤茶けた炎が薄気味悪いつむじ風となって、空へ舞い上がった。倒壊した瓦礫で埋まったところを乗り越え

て、西の橋から元町の商店街を4分の1マイル(400m)ほど歩いて、第2の橋である前田橋まで来た。

そこから**百段階段**(No.5地点、実際は101段)を登って、茶屋が1軒ある**浅間山**(No.6地点)に登ろうとしたが、この急崖は大きく崩落して、百段階段は消滅していた。火は私たちの足元をなめるように迫って来たので、もう一つ先のブロックへ行き、**代官坂**から山手68番地(No.7地点)の自宅に向かうことにした。その角に食料品店があったので、Pooleたちは缶詰などを持てるだけ購入した。

代官坂を登って自宅に近づくと、山手にあった多くの邸宅は激震でペシャンコになっていた。山手68番地にあった自宅は地震によって壊されていたが、まだ完全には潰れてはいなかった。足に怪我をしていた下男しもやまの石井は、「皆さんは怪我もなくベランダから庭へ逃げ出し、修道院の庭の方へ行った」と伝えた。Pooleは計り知れないほどほっとして感謝し、家族の捜索のため、小道を下って行った。しかし、この小道は崩れ落ちた建物で完全に塞がれており、元町方面に下って行けなかった。しかも、日本人町(元町)は渦を巻きながら上がってくる黒煙で一杯になっていた。さらに激しい余震があって、地面から跳ね上がり、揺さぶられた。89番地に戻ると叫び声が聞こえ、Drothyと3人の子供に再会できた。

この場所はPooleが結婚する前、母が死ぬまで30年間住んでいたところで、Drothyの父Campbellと母Callaも一緒にいた。義父Campbellは太平洋郵船会社の総代理人であり、ヨットクラブの会長で、フランス波止場(東波止場)にヨット「ダイミョウ(大名)号」を置いてあった。また、激しい余震があり、PooleとDrothyは必至で子供たちを守った。最初の地震(11時58分)からまだ1時間しか経っていなかったが、頭上で渦巻く煙は雷雲のように黒くなり、危険が迫り逃げる以外処置はなかった。1分か2分ごとに余震が続き、絶えず破壊が続いていた。

義父Campbellは、「みんなで海岸通りに降りて行き、フランス(東)波止場(No.15地点)にある大名号に乗れば、食料もいくらかあるし、この事態を切り抜けられる。」と、フランス波止場に行くことを勧めた。Pooleたちは、山手から元町に向かう途中の**外人墓地**(No.9地点)とその向こうまでを見渡すことができた。しかし、外国人居留地も日本人街もただ一面の炎と煙に覆われていた。多くの箇所で行った火災はとめどなく広がり、1時間以内に全横浜は炎に包まれた。当初はキャンプヒルを下って海岸通りに出て、大名号に乗り込む積りだったが、不可能だった。状況は数分の間に驚くべき変化を起し、**娯楽劇場**(ゲート劇場、現**岩崎博物館**)の下から病院の構内に向かって火が押し寄せた。

人々は**英国海軍病院の庭**(No.11地点、現在の**港の見える丘公園**)に避難した。そこから先は高さ30~40mの急崖(No.12地点)となっており、子供や老人たちを連れて降りることはできなかった。図9は、相原¹⁷⁾作成の港の見える丘公園の崖を作る地層などの露頭写真(茅野光廣氏提供)と柱状図である。テニスコートにあった網を見つけて、急崖に垂らしてその網をたよりに降りることにした。妻Drothyは先に降りることができた。Pooleは網を伝って子供たちを抱えて崖の中段まで降り、そこからは滑り降りることができた。老人を含め外国人はほぼ全員降りることができ、海辺の埋立地に集合した。

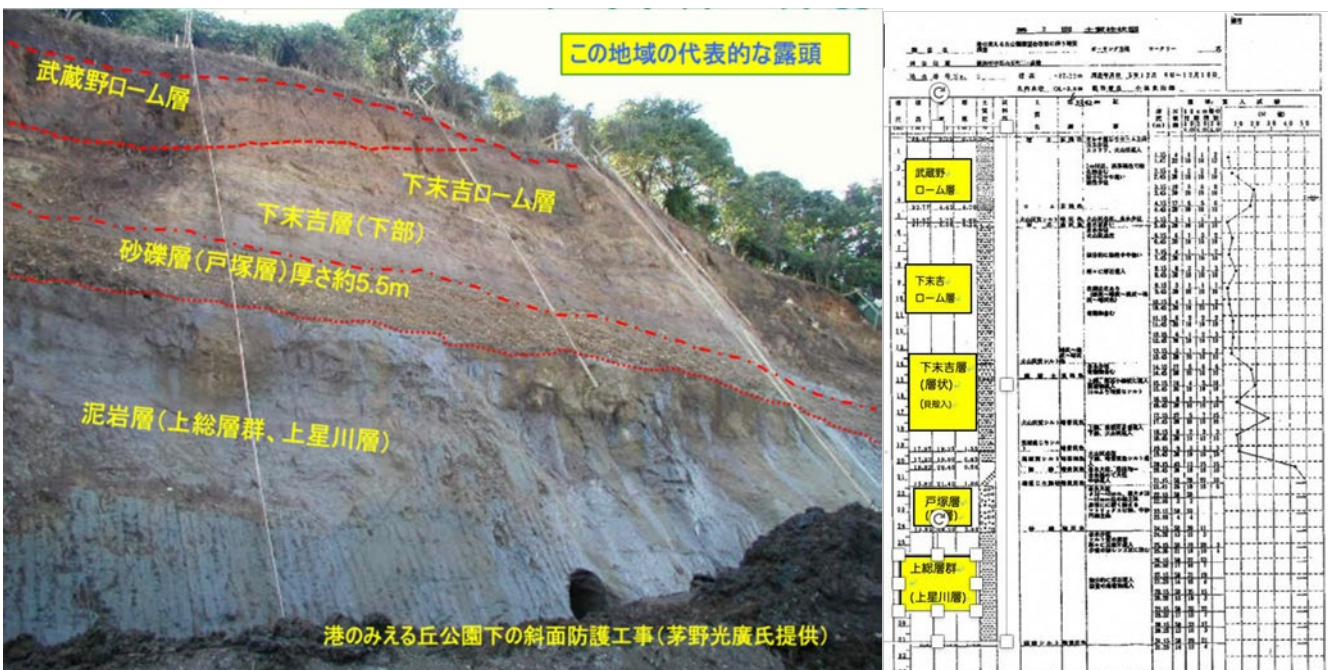


図9 港の見える丘公園の崖を作る地層などの露頭写真と柱状図(相原¹⁸⁾)

まだ、英国海軍病院の庭に残されていた日本人たちは、炎が人々の衣類を焦がし始めると、パニック状態となった。崖に垂らされている綱に押しかけ、崖っぷちを越えてどっと降り始めた。彼らは海辺に面した急崖にふじつば貝のようにぶら下がった。このため、テニスの綱は切れてしまい、多くの人々はなだれ落ちていった。炎の舌先が煙の中に織り交じっており、崖上の数人は飛び降り始めた。崖の麓には身動きしない人の壁ができてしまった。そこに数人の若者が来て、生きている人たちを次々と運び出していた。

埋立地には元町から掘割の土手を通して、2000人ほどの日本人が避難していた。埋立地は重苦しい熱い煙に覆われたため、Pooleたち欧米人は外側の水際の方に退いた。猛烈な風の中を火と煙がナイアガラのように崖の上端から落ち始めた。崖から落とした病院のシーツを見つけ出し、熱と煙に負けて喉が渇いていた子供たちの風よけを作った。海岸付近に真水を運ぶ鋼鉄製のはしけを見つけた。はしけに渡り板が渡され、全員に手柄勺で水が渡された。

これまで私 (Poole) が話してきたことのすべては、最初の地震から3時間の間に起こったことであった。Poole は、横浜の居留地や海岸通りの住宅や日本人町のみならず、周辺の田舎も全て消滅しようとしていたことを知った。

正午にヴァンクーバーに向けて出航予定だったエンブレス・オブ・オーストラリア号は大栈橋につながれたままであり、義父 Campbell (提督) 愛用の大名号もフランス波止場に停泊しているのがはっきりと見えた。海岸通りにあるグランド・ホテルなどの建物からは、赤い炎が吹き出していた。Poole たちは埋立地に家族などを残して、フランス波止場方向に偵察に行くと、風向きがすでに変わっていて、海岸通りを歩くことができた。フランス波止場のボートハウスにやっと思うことができた。しばらくして大名号の老船頭に会うことができ、ボートで掘割にあるボート用上陸場に行くことができた。そこで、近くの小舟を調達して、埋立地に避難していた家族などを小舟に乗せて、大名号に乗船させた。暗くなりかけた頃 (18時頃)、Poole 達は小舟で埋立地に戻ると、オーストラリア号などの停泊中の外国船から救命ボートが出され、負傷者や避難してきた外国人など (一部日本人を含む) を外国船に運び始めているのが見えた。大名号に戻った時には、ほとんど真っ暗 (19時頃) となっていた。

9月1日の夜は大型ヨット大名号にいたが、十分な食料がないので、2日の早朝全員がオーストラリア号に向かった。全員が乗船を許され、暖かい朝食が提供された。食事後、Poole と義父 Campbell は小型船で大名号に行き、上陸して会社と自宅付近の状況を偵察に行った。グランド・ホテル付近に上陸したが、Dodwell 商会を含め、海岸付近の外国人居留地の建物は焼け跡の熱気で近づくことはできなかった。山手の我が家 (68番地) に向かったが、ほとんどすべて燃え尽きて、70年前の開港以前の状態に戻っていた。代官坂を見下ろすと、灰塵となった元町、破壊された掘割の護岸、漂う煙で霞んで見える居留地以外、何も見えなかった。

Poole と義父 Campbell は海岸通りに戻り、大名号に乗船して、昼食を取った。2日12時頃風向きがぐらりと変わり、沖の方へ吹き付けた。海面に流出していた油に火が付き、大栈橋に繋がれている大型船に炎が近づき、危険な状態になり始めた。Poole たちは半マイル (800m) 先のオーストラリア号で起こっている恐るべき事件をただ呆然と見守った。オーストラリア号には Poole の家族を含め、多くの外国人が乗船していて非常に危険な状態になっていた。

大型船の船員は消火ホースを出して、大栈橋に放水していた。オーストラリア号はゆっくりと栈橋から離れ始め、前進して小型船の群れに突っ込み、多くの小型船の船員は海中に放り出された。Poole たちはオーストラリア号の船長が「気違い」になってしまったと思った。大型船の一等航海士は、大名号にブイを離して動くように叫んだので、義父 Campbell は仕方なくブイから大名号を切り離した。Poole たちは大型船の動きを見て、その後乗船してからオーストラリア号の船長が的確な判断をしていたことを知った。大型船がすぐ近くを航行したため、大名号は激しく揺れたが、広い海原に脱出できて、ほっとした。

震源域の相模湾沿岸では甚大な津波被害が報告されているが、横浜港など東京湾内では湾の形の影響で大きな津波が来なかったのも、船での避難が可能になったのは幸いであった。しかし、4.3項で説明したように、横須賀海軍基地周辺は関東地震による崩壊や基地施設の損壊などで、基地から救助船を出すことはなかった。

本牧の十二天の下方の湾内に行き、大名号を停留させた。Poole はヨット備え付けの小型船でオーストラリア号に戻り、乗船して家族と再会できた。Poole は顔や手を洗ったが、崖をよじ登ったままの服装は汚れたままであった。船上の会議で避難してきた人たちから、避難者の名前や様々な避難状況を聞くことができた。会議が終わり、Poole や家族たちはやっと2日目の夜の眠りにつくことができた。

5. むすび

以上、関東大震災による土砂災害について、土砂災害分布を中心に説明した。今回は紹介しなかったが、

関東地震による大打撃から立ち直るためには、神戸地域の果たした役割は極めて大きかった。被災民の努力だけでなく、アメリカなどの多くの国、日本国中から非常に多くの支援を受けたことを忘れてはならない。ドイツ菓子職人の Juchheim（ユーハイム）夫妻が 2 度の世界大戦と関東大震災・阪神大水害（1938）を経験した経緯をいさぼうネットのコラム 83, 84 で紹介した。

関東大震災の際、神戸が支援を行ったが、関東大震災から約 70 年後の阪神淡路大震災（1995 年 1 月 17 日）では、関東からの支援も多かった。2023 年 2 月 14 日に発生したトルコ地震の惨状を報道で知るにつれ、災害復旧・復興に向けて、世界中からの支援が必要なことを思い知された。

参考文献

- 1) 中央防災会議・災害教訓の継承に関する専門調査会の 1923 関東地震小委員会：1923 関東大震災報告書 第 1 編，242p. 2006，2012 年 11 月 19 日訂正
- 2) 内務省社会局：大正震災志，上巻，1236p. 下巻，836p. 附図，20 葉，写真帖，166p. 1926.
- 3) Poole, O.M. : 古き横浜の壊滅，金井圓訳，有隣堂，220p. 1976.
原著は The Death of Old Yokohama in the Great Earthquake of 1923, 135p, 1966.
- 4) 井上公夫・伊藤和明：第 3 章 1 節 土砂災害，中央防災会議災害教訓の継承に関する専門調査会 1923 関東大震災報告書，第 1 編，p. 50-79. 2006.
- 5) 井上公夫編著：地震と土砂災害，古今書院，口絵，16p. 本文，226p. 2013.
- 6) 井上公夫：歴史的大規模土砂災害地点を歩く，II，丸源書店，2019.
コラム 37 関東大震災（1923）による横浜の土砂災害—9 月 1 日のプールの逃避行ルートを歩く—，p. 78-90.
コラム 38 関東大震災による神奈川県東部の土砂災害—横須賀地区と浦賀地区の土砂災害地点を歩く—，p. 91-104.
コラム 39 関東大震災（1923）による丹沢山地の土砂災害—秦野駅から震生湖周辺の土砂災害地点を歩く—，p. 105-119.
コラム 40 関東大震災（1923）による小田原市の土砂災害—根府川・白糸川流域の大規模土砂災害地点を歩く—，p. 120-133.
コラム 41 伊豆大島・元町の土砂災害史と「びやく」，p. 134-147.
コラム 42 東京都と山梨県の土砂災害を示す「びやく」，p. 148-161.
コラム 43 神奈川県・静岡県・千葉県の土砂災害を示す「びやく」，p. 162-175.
井上公夫：歴史的大規模土砂災害地点を歩く，III，丸源書店，2020.
コラム 62 南関東の「びやく」という地名の由来について，p. 165-177.
コラム 74 関東大震災（1923）による伊豆半島東部の土砂災害，15p. 2022.
コラム 82 プールの関東大震災（1923）9 月 2 日以降の逃避行と復旧復興に果たした神戸の役割，15p. 2022.
コラム 83, 84 ユーハイムとドイツ菓子（バウムクーヘン）①，②—2 度の世界大戦と関東地震・阪神大水害を経験した独菓子職人—
- 7) 神奈川県農政局緑政部森林再生課蔵：神奈川県震災荒廃林野復旧事業図，丹沢山地，箱根山
- 8) 建設省河川局砂防部：地震と土砂災害，企画/編集 砂防・地すべり技術センター，61p.
- 9) 歴史地震研究会編集：地図にみる関東大震災—関東大震災の真実—，日本地図センター，68p. 初版 1908，2 版 2013.
- 10) 浪川幹夫：知られざる鎌倉，関東大震災の鎌倉，その 1～30，<https://www.kcn-net.org/oldnew/sinsai01.html>，～30.html，2004～2008.（2023 年 3 月 6 日閲覧）
- 11) 鎌倉市役所自主研究グループ NAMA ZU の会：新編鎌倉震災誌，写真 32p. 本文 123p. 鎌倉市，2008.
- 12) 鎌倉市文化交流館：写真集 鎌倉 災害と復興—土地に刻まれた痕跡—，鎌倉市教育委員会，194p. 2019
- 13) 浪川幹夫：鎌倉における明応年間の「津波」について，歴史地震，29 号，pp. 209-211.
- 14) 鎌倉町役場：鎌倉震災誌，写真 32p. 本文 319p. 1930.
- 15) 横須賀市震災誌刊行会（編）：横須賀市震災誌附復興誌. 336 ページ. 横須賀市震災誌刊行会，横須賀日日新聞社，1932
- 16) 井上公夫・蟹江康光・相原延光：関東大震災による横須賀・浦賀の土砂災害，地理，61 巻 3 月号，口絵，pp. 4-5，本文 pp. 80-87. 2016.
- 17) 横浜開港資料館（1986，2014）：横浜のあゆみ，第 2 版，48p.
- 18) 相原延光：山手台地の地形地質の話を中心としたブラブラ散歩案内資料，18p. 2022.

関東地震による震生湖の地すべりについて

千木良 雅弘 (公益財団法人 深田地質研究所)

震生湖については、下記論文をもとにしている。

千木良雅弘, 笠間友博, 鈴木毅彦, 古木宏和. (2017). 1923年関東地震による震生湖地すべりの地質構造とその意義. 京都大学防災研究所年報, 60B, 417-430.



13

震生湖地すべりは1923年関東地震によって発生



震生湖

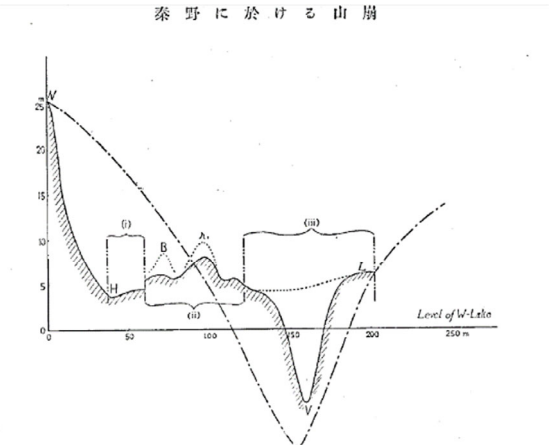
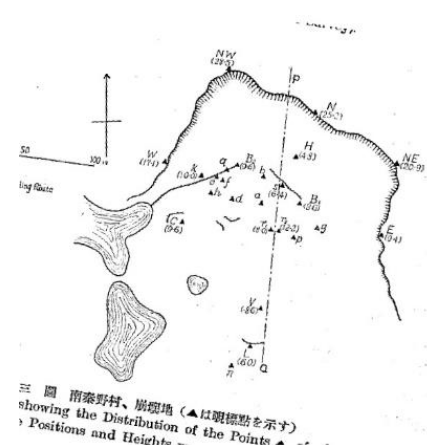
震生湖は、一九二三年(大正十一年)九月二日の関東大震災の時、渋谷丘陵の一部が崩落し、その土砂が谷川をせき止めてきた自然湖です。この湖周辺では、一年を通じて多くの野鳥を見ることができ、かなわのの森(探鳥地)として知られています。

震生湖	110メートル
面積	11,000平方メートル
最大幅	85メートル
長さ	315メートル
周囲	1,000メートル
平均水深	4メートル
最大水深	11メートル

秦野市

地震直後に寺田寅彦他によって測量がされた

地すべりの内部構造は長い間不明だった。



三 圖 南秦野村、崩壊地 (▲は観測點を示す) showing the Distribution of the Points Positions and Heights

五 圖 第三圖に於ける PQ の断面圖 (鎖線は舊の谷のプロファイルを示す) Fig. 5. Profile of the Section PQ of Fig. 3. (Chain Line shows the Profile of the Valley before the Landslide).

寺田・宮部 (1932、地震研彙報)

今日のお話

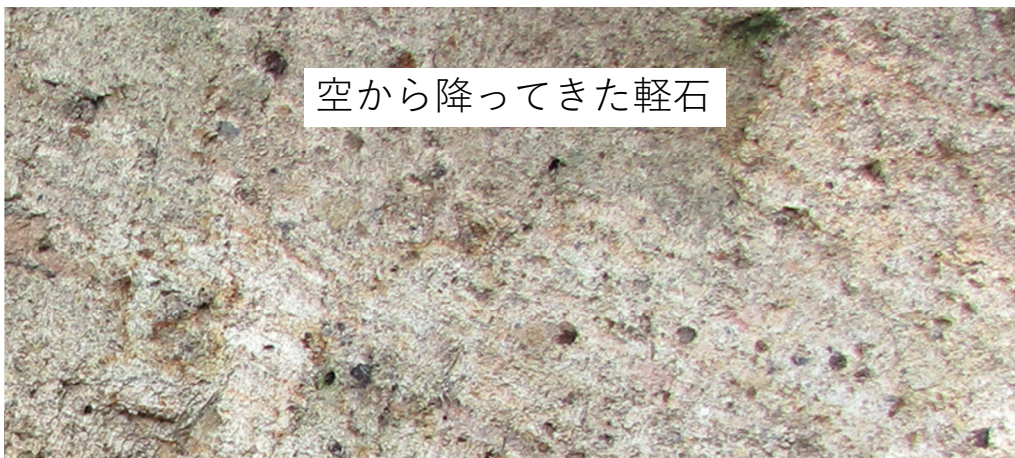
- 震生湖地すべりの内部構造とその発生メカニズム
- 似た現象が過去にも起こっていたのか？
- 今後起こらないかどうか
- 起こるならばどういうところか

- 震生湖地すべりと似た事例
 - 2018年北海道胆振東部地震による地すべり

- 備えるためにはどうするか
- 土砂災害防止法の対象にはなっていない

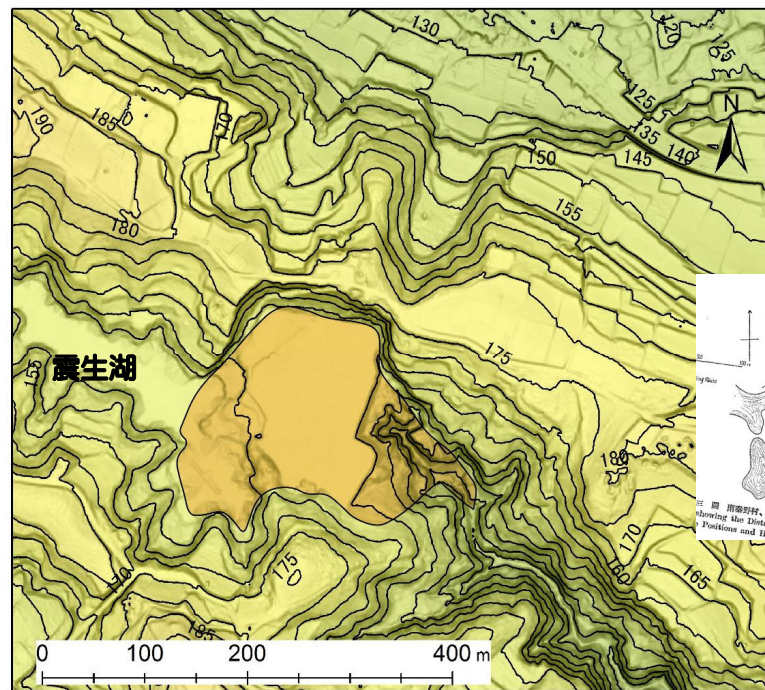
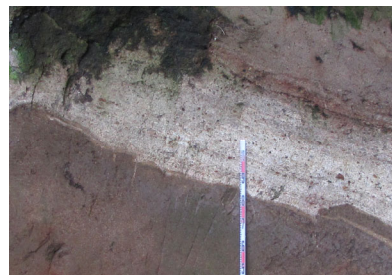


14





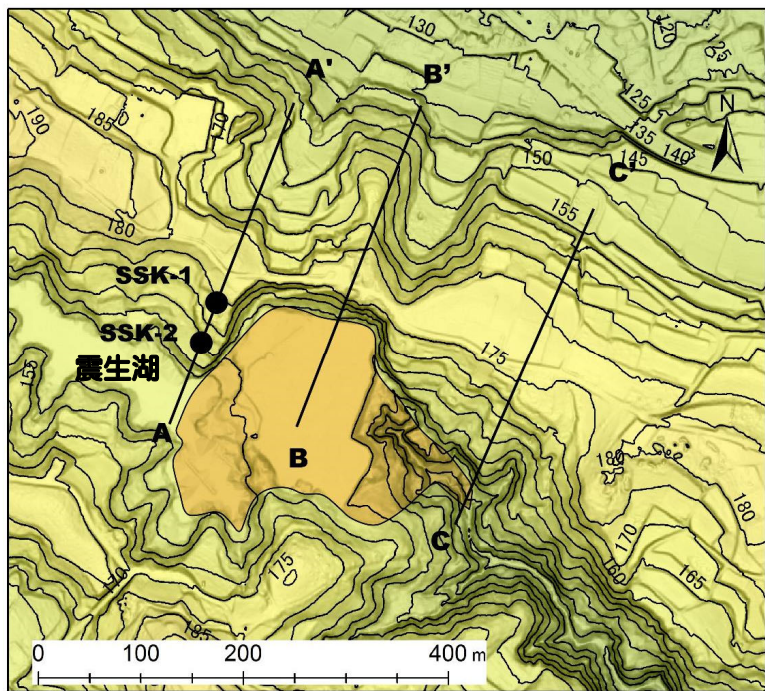
東京軽石層: 6万6千年前箱根火山から噴出 (青木他, 2008, 第四紀研究)



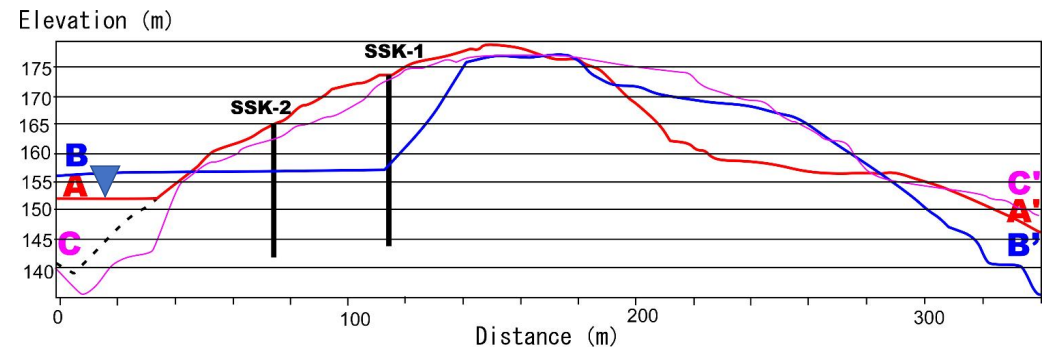
震生湖と周辺の地形



地すべり

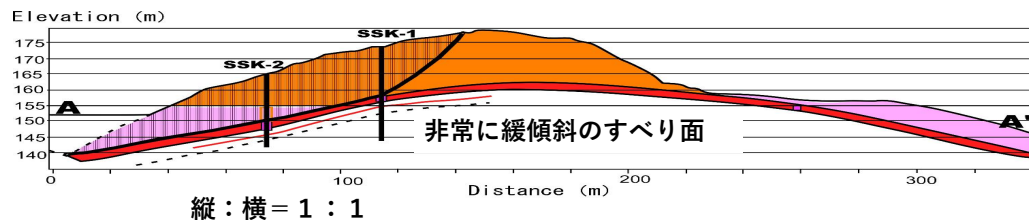
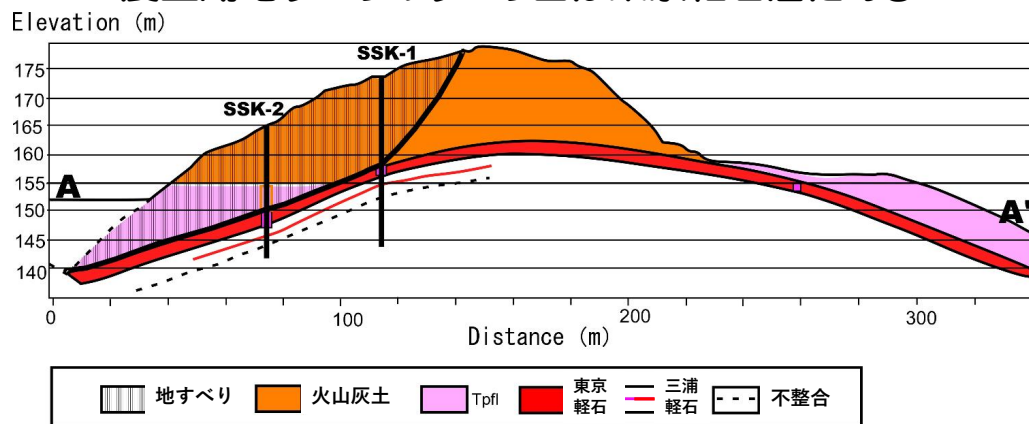


地形断面図

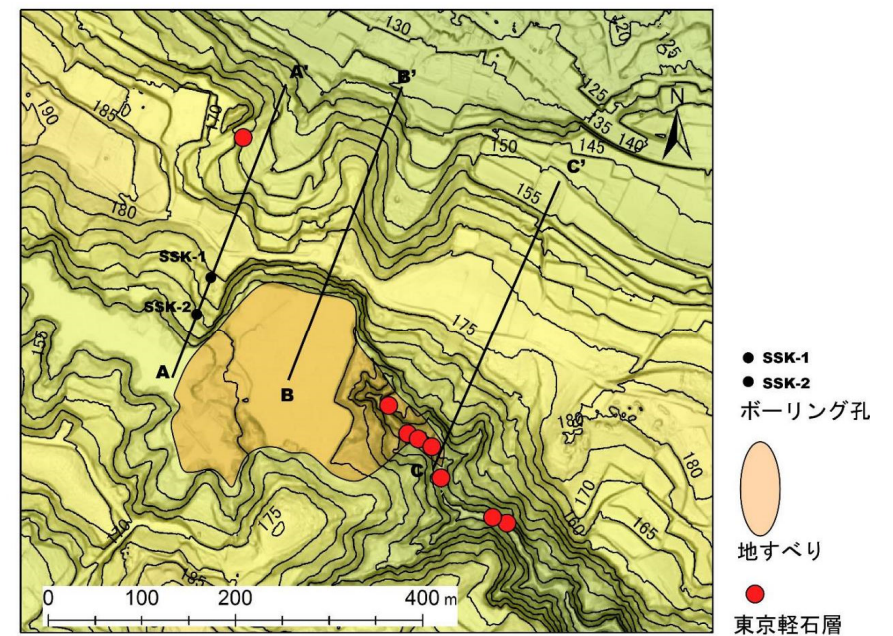


16

震生湖地すべりのすべり面は東京軽石層にある



東京軽石層の確認箇所

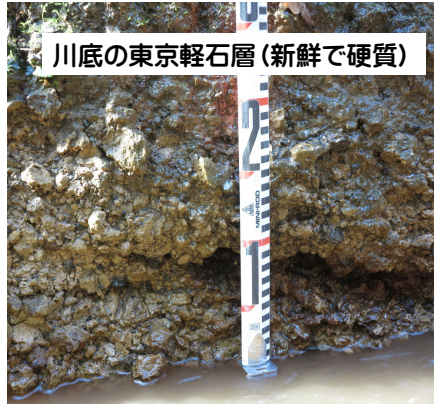




震生湖北の東京軽石層露頭



震生湖地すべりに巻き込まれた東京軽石層露頭



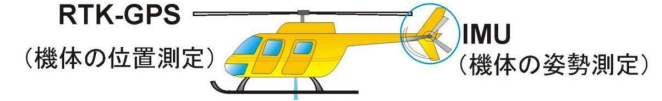
川底の東京軽石層(新鮮で硬質)



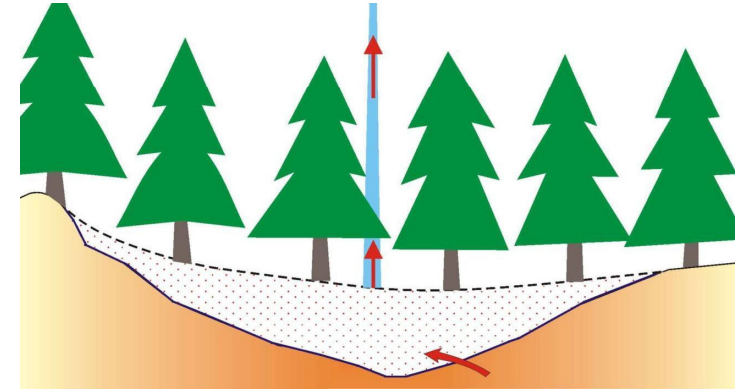
指で泥濁化

航空機からのレーザーを使った測量 - 2000年ごろから一般化

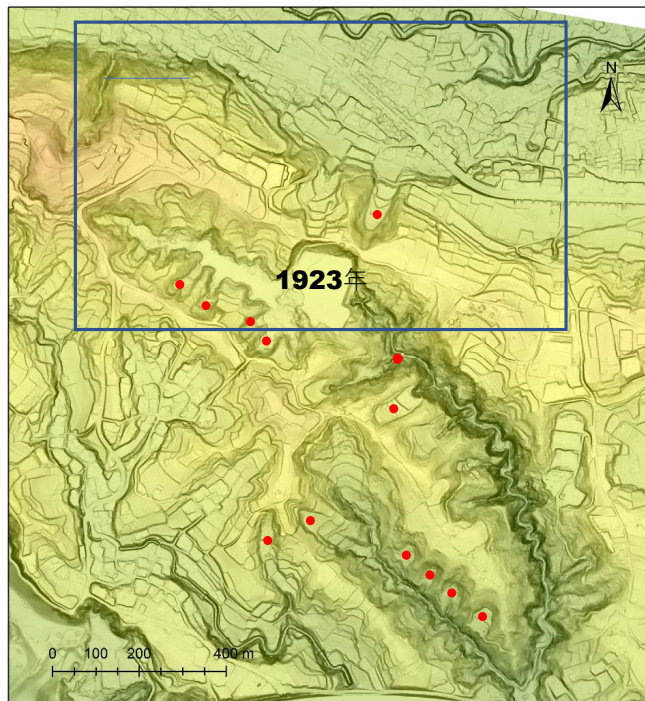
航空レーザー測量
 レーザースキャナー
 レーザープロファイラ
 ライダー



森を透かして地表を見ることができる
 水平誤差50cm, 鉛直誤差10cm程度の詳細数値データ



17



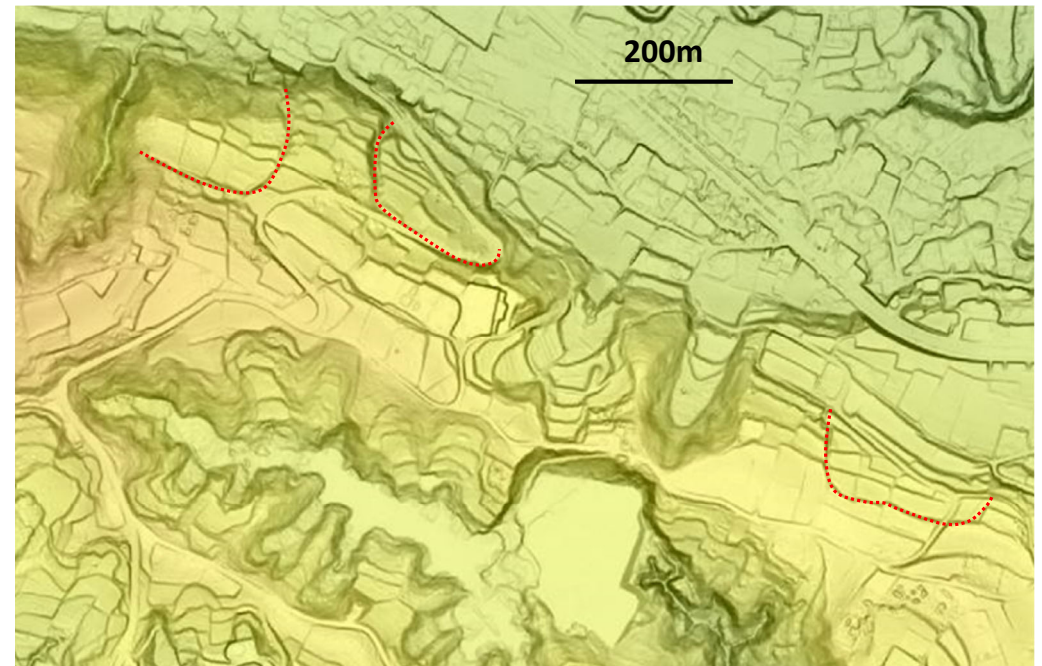
震生湖地すべりに似た地形は他にもたくさんある

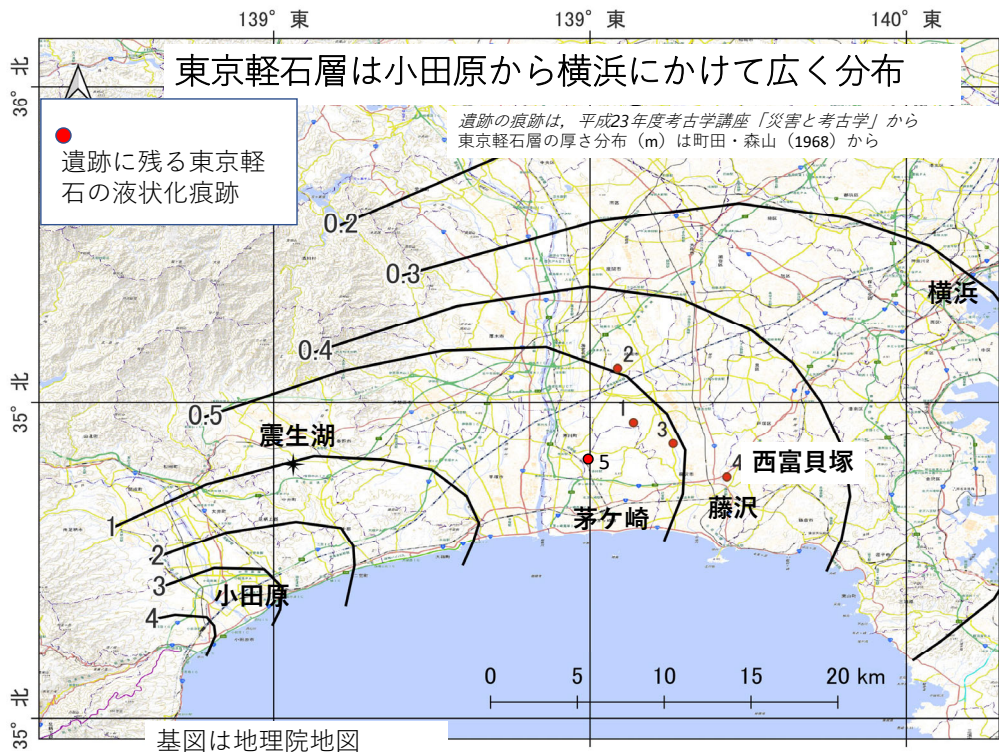
関東地震前にもたくさん発生していた。

関東地震時にも？

将来の地震時に発生する危険性？

亀裂？





東京軽石は、過去にも地震で液状化したり、地すべりを起こしてきたことが、遺跡調査でわかっている。

平成23年度考古学講座

災害と考古学

講座

- 1 神奈川県内の災害記録と調査現場での災害痕跡について 上本進二
(小休憩)
- 2 茅ヶ崎市における災害痕跡 (仮) 大村浩二
(昼休み)
- 3 藤沢市内の災害痕跡の残る遺跡 西野吉論

18

上本 (2012)

藤沢市南鍛冶山遺跡 (33) では東京パミス層 (TP) と三浦パミス層 (MP) から多数の液状化物質 (パミスダイク) が上昇している。液状化物質は両パミス層に認められる層すべり痕から始まっておりロームブロックを巻き込みながら地割れに沿って上昇している。地割れは古墳時代の土層まで達しているので地震発生の時期は古墳時代と考えられる。同じ現象は34、藤沢市慶応義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) 遺跡、綾瀬市吉岡遺跡群、茅ヶ崎山下寺尾 (35) の露頭 (鈴木1993) でも認められている。



左: パミスダイク 右: ロームブロックを巻き込むパミスダイク (南鍛冶山遺跡)

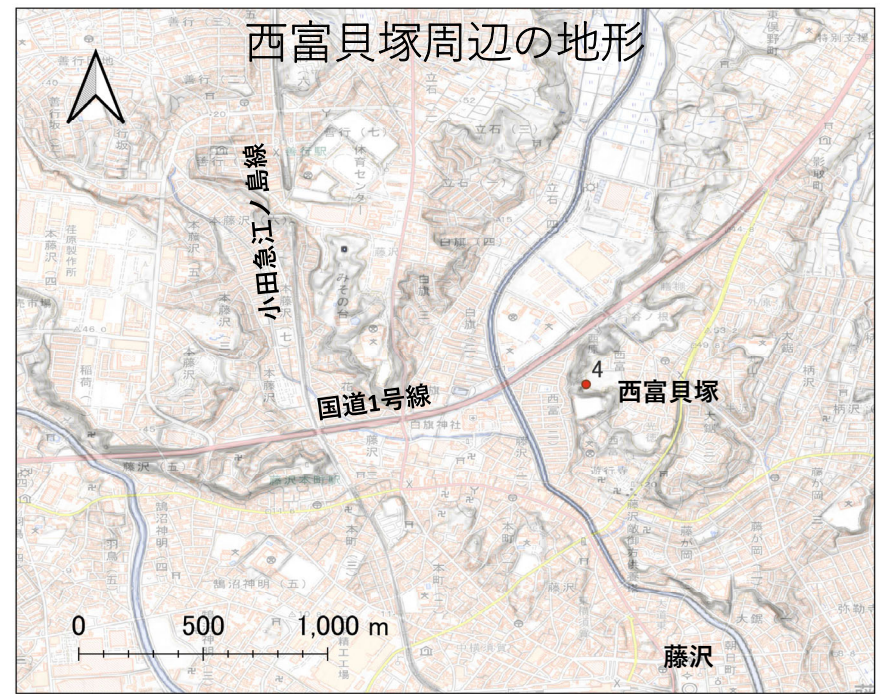
西野吉論 (2012)

パミスダイク?

2016年熊本地震

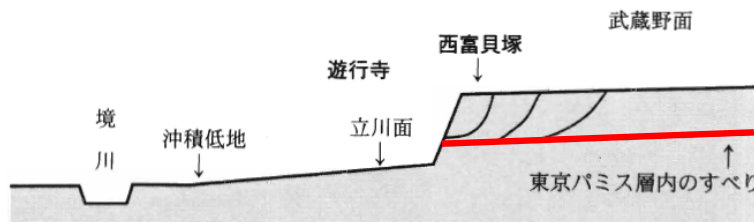
地すべりの原因になった 粘土化した軽石の液状化



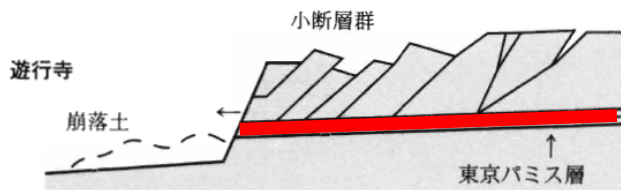


基図は地理院地図

19 古墳時代中期から後期の地すべり (藤沢市西富貝塚)



液状化が起こると非常に緩い傾斜でもすべる。



西野 (2013)

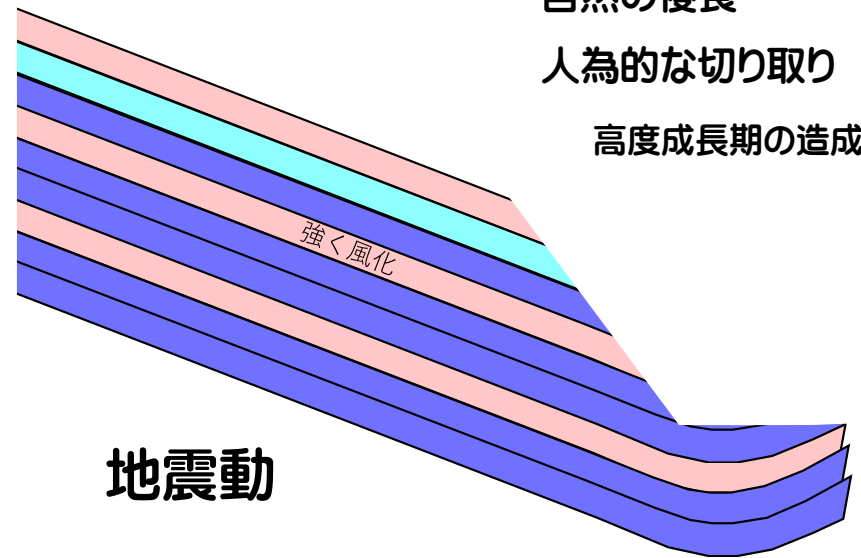
第2図 西富貝塚付近の小断層形成模式図

西野吉論. (2012). 藤沢市内の災害痕跡の残る遺跡
平成23年度考古学講座「災害と考古学」, 横浜.

積もって堆積した後, 斜面下部を切断されると不安定化する

自然の侵食
人為的な切り取り

高度成長期の造成?



どこが危ない？

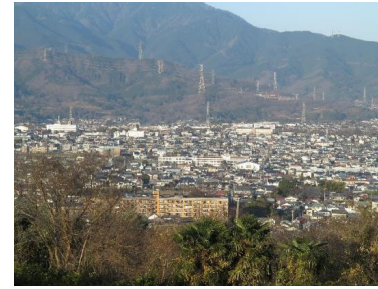
すべるかどうかは、いろいろな要因に支配される

東京軽石層の傾斜角—概ね斜面傾斜と同じ

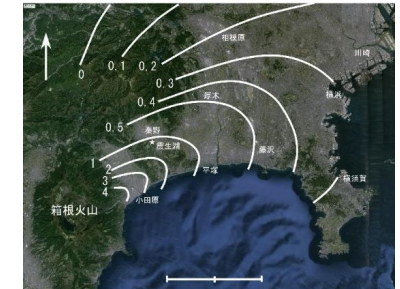
東京軽石層の風花程度—近傍でも位置によって異なる
 東京軽石層の上の地層の厚さ—場所によって異なる
 地層の下部切断の有無—判断がむずかしい
 地震前の降雨—予測できない

ピンポイントの予測は難しい
 東京軽石層の分布域は要注意

東京軽石層の分布域



丘陵の縁まで人口密集（秦野市）



東京軽石層は神奈川から東京にかけて広く分布（町田・森山、1968年から作成）

関東大震災でできた震生湖
 地すべりの原因は軽石層

1923年の関東大震災の地すべりが、地すべり動いた部分の下部に巻き込まれた。6万年前の箱根山の噴火で、神奈川県秦野市の「震生湖」が形成された。最近、研究者が地下を調べたところ、箱根山の噴火で降り積もった大量の軽石層の厚さが、地すべりの原因となることが分かった。関東に広く分布している地層で、将来の地震による地すべりに注視が必要という。

震生湖は、長さ約3000mの細長い湖。震災で巨層の一部が崩れ、谷を埋めてきた。京都防災研究所の千木良弘教授が昨年11月から今年にかけて、ボリソン調査や地層の観察などで地すべりの原因になった地層を探った。

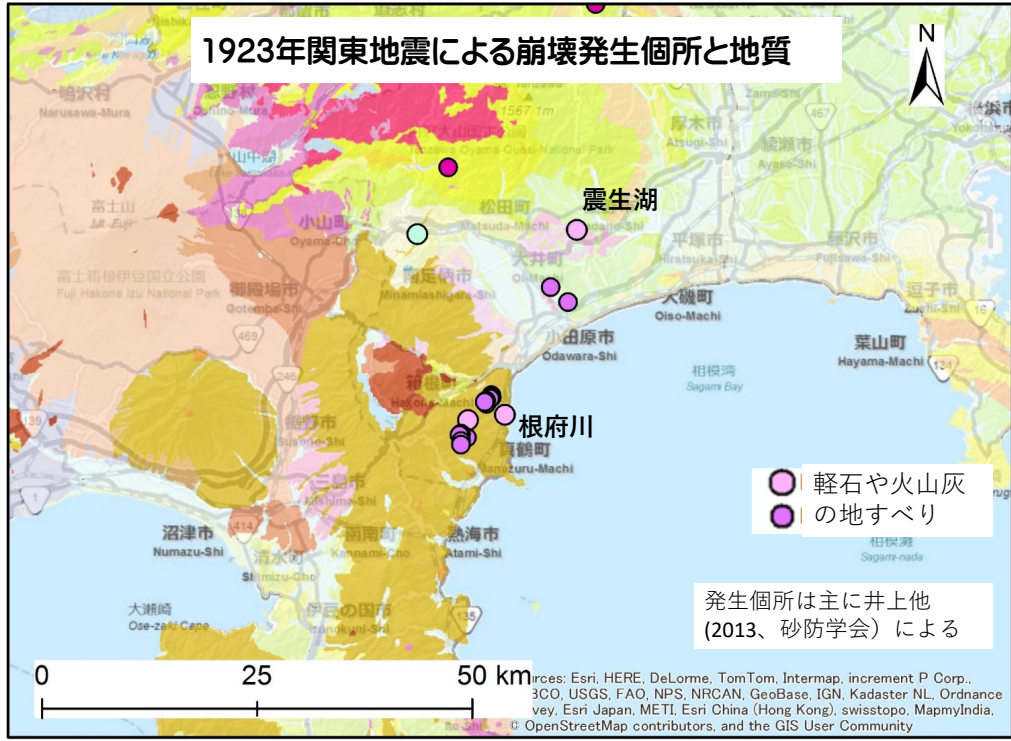
その結果、地表から約17mにある「東京軽石層」が震生湖でできた。この層は、約3000mの長さがある。東京軽石層の厚さは、約10mから20m程度で、その傾斜角は、斜面傾斜と同じである。軽石層の厚さが、地すべりの原因となることが分かった。関東に広く分布している地層で、将来の地震による地すべりに注視が必要という。

震生湖は、長さ約3000mの細長い湖。震災で巨層の一部が崩れ、谷を埋めてきた。京都防災研究所の千木良弘教授が昨年11月から今年にかけて、ボリソン調査や地層の観察などで地すべりの原因になった地層を探った。

その結果、地表から約17mにある「東京軽石層」が震生湖でできた。この層は、約3000mの長さがある。東京軽石層の厚さは、約10mから20m程度で、その傾斜角は、斜面傾斜と同じである。軽石層の厚さが、地すべりの原因となることが分かった。関東に広く分布している地層で、将来の地震による地すべりに注視が必要という。

2016年1月26日 朝日新聞

20



震生湖に似た地すべりは、1923年関東地震以降、多数知られている。

2016年熊本、2018年胆振東部と連続



降下火砕物の地震時崩壊の比較

(千木良, 2018災害地質学ノート) に加筆

地震	1923 関東	1949 今市	1968 十勝沖	1978 伊豆大島近海	1984 長野県西部	2011 東北	2016 熊本	2018 胆振東部
発生日	9月1日	12月26日	5月16日	1月14日	9月14日	3月11日	4月14日, 16日	9月6日
マグニチュード	Mjma 7.9	Mjma 6.4	Mjma7.9 (Mw8.2)	Mjma 7.0	Mjma6.8	Mw 9.0	Mjma6.5 Mjma7.3	Mjma6.7
崩壊発生域の震度 (JMA)	6	5~6	5	5~6	6	6~6+	6+	6+~7
観測所		宇都宮	八戸	稲取	御岳山	白河	南阿蘇	厚真
先行降雨 (mm)		22.5	181	12	183	12.5	79.5	30
30日間		80.8	292	172	555	83.5	83	225
60日間		255	307	334	839	93.5	716	275
崩壊の数	2 (根府川)	1 (秦野, 震生湖)	88 ^{a)} 314	7 ^{b)} (物質の分布が狭かった)	5 ^{c)}	<10 ^{d)}	56 ^{e)}	8000
すべり面形成層の物質	風化軽石 ^{a)} ハロイサイト	風化軽石 ^{m)} ハロイサイト	風化軽石 ^{a)} , 火山礫 ^{m)} ハロイサイト ^{e)}	古土壤(砂質火山灰) ^{a)} ハロイサイト ^{d)}	風化軽石とスコリア ^{a)} ハロイサイト ^{k)}	古土壤 ^{e)} ハロイサイト ^{e)}	風化軽石, 風化暗灰色土, ハロイサイト ^{e)}	軽石, 軽石混じり火山灰土, ハロイサイト ^{v)}
すべり面形成層の層準	米神溶岩 ^{w)}	東京軽石層 (66 ka) ^{p)}	鹿沼軽石 (32ka), 小川火山礫, 今市軽石 (12ka) ^{j,m)}	十和田八戸テフラ (15ka) ^{o)}	鉢の山テフラの下位 (29ka) ^{q)}	千本松スコリア (84~76ka) ^{p)}	Sr10 (スコリア) 下位, 高久軽石 (330ka) 相当 ^{o)}	Kpfa (30ka) など
すべった物質	箱根火山の安山岩熔岩, 火山礫 ⁿ⁾	箱根火山と富士火山のテフラ ^{m)}	鹿沼軽石 (32ka), 小川火山礫, 今市軽石 (12ka) ^{j,m)}	十和田火山のテフラ ^{o)}	東伊豆単性火山群のテフラ ^{d)}	スコリア, 溶岩, アグルチネート, 段丘堆積物	阿蘇中央火口丘の噴出物	Ta-d, En-a
すべり面の深さ(m)	70 m, 30 m	17 m	3~5 m ^{a)}	<3 m ^{b)} , 1~2.5 m ^{c)}	2~6 m ^{d)}	5 m~200 m (Ontake) ^{b)}	3~9 m ^{a)}	2.5-13 m
斜面に平行な層理	有	有	有	有	有	有	有	有
下部切断	有	有	有	84.7%有	有	有	有	有 (河川侵食)
犠牲者	447 ⁿ⁾	2	8	33	7	29	13	16
								36

降下火砕物の地震時崩壊の比較

(千木良, 2018災害地質学ノート) に加筆

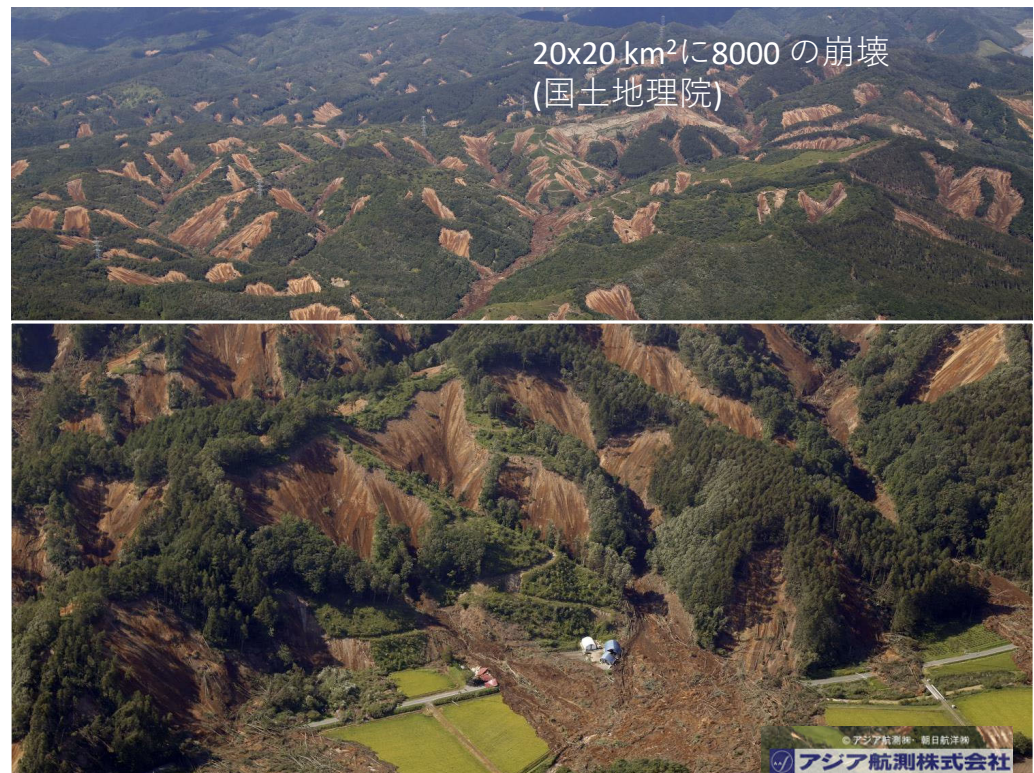
地震	1923 関東	1949 今市	1968 十勝沖	1978 伊豆大島近海	1984 長野県西部	2011 東北	2016 熊本	2018 胆振東部
発生日	9月1日	12月26日	5月16日	1月14日	9月14日	3月11日	4月14日, 16日	9月6日
マグニチュード	Mjma 7.9	Mjma 6.4	Mjma7.9 (Mw8.2)	Mjma 7.0	Mjma6.8	Mw 9.0	Mjma6.5 Mjma7.3	Mjma6.7
崩壊発生域の震度 (JMA)	6	5~6	5	5~6	6	6~6+	6+	6+~7
観測所		宇都宮	八戸	稲取	御岳山	白河	南阿蘇	厚真
先行降雨 (mm)		22.5	181	12	183	12.5	79.5	30
30日間		80.8	292	172	555	83.5	83	225
60日間		255	307	334	839	93.5	716	275
崩壊の数	2 (根府川)	1 (秦野, 震生湖)	88 ^{a)} 314	7 ^{b)} (物質の分布が狭かった)	5 ^{c)}	<10 ^{d)}	56 ^{e)}	8000
すべり面形成層の物質	風化軽石 ^{a)} ハロイサイト	風化軽石 ^{m)} ハロイサイト	風化軽石 ^{a)} , 火山礫 ^{m)} ハロイサイト ^{e)}	古土壤(砂質火山灰) ^{a)} ハロイサイト ^{d)}	風化軽石とスコリア ^{a)} ハロイサイト ^{k)}	古土壤 ^{e)} ハロイサイト ^{e)}	風化軽石, 風化暗灰色土, ハロイサイト ^{e)}	軽石, 軽石混じり火山灰土, ハロイサイト ^{v)}
すべり面形成層の層準	米神溶岩 ^{w)}	東京軽石層 (66 ka) ^{p)}	鹿沼軽石 (32ka), 小川火山礫, 今市軽石 (12ka) ^{j,m)}	十和田八戸テフラ (15ka) ^{o)}	鉢の山テフラの下位 (29ka) ^{q)}	千本松スコリア (84~76ka) ^{p)}	Sr10 (スコリア) 下位, 高久軽石 (330ka) 相当 ^{o)}	Kpfa (30ka) など
すべった物質	箱根火山の安山岩熔岩, 火山礫 ⁿ⁾	箱根火山と富士火山のテフラ ^{m)}	鹿沼軽石 (32ka), 小川火山礫, 今市軽石 (12ka) ^{j,m)}	十和田火山のテフラ ^{o)}	東伊豆単性火山群のテフラ ^{d)}	スコリア, 溶岩, アグルチネート, 段丘堆積物	阿蘇中央火口丘の噴出物	Ta-d, En-a
すべり面形成層の年代はおおむね9ka~100ka								
すべり面の深さ(m)	70 m, 30 m	17 m	3~5 m ^{a)}	<3 m ^{b)} , 1~2.5 m ^{c)}	2~6 m ^{d)}	5 m~200 m (Ontake) ^{b)}	3~9 m ^{a)}	2.5-13 m
斜面に平行な層理	有	有	有	有	有	有	有	有
下部切断	有	有	有	84.7%有	有	有	有	有 (河川侵食)
犠牲者	447 ⁿ⁾	2	8	33	7	29	13	16
								36

すべり面は軽石とその直下の層にできた場合が多い
粘土鉱物のハロイサイトの形成層

すべり面形成層の年代はおおむね9ka~100ka
おそらく、古くなりすぎると斜面に平行な層構造が失われることと、ハロイサイトの形成には時間がかかること、のため

2018年北海道胆振東部地震

千木良雅弘, 田近淳, 石丸聡. (2019). 2019年胆振東部地震による降下火砕物の崩壊：特に火砕物の風化状況について. 京都大学防災研究所年報, 62B, 348-356.



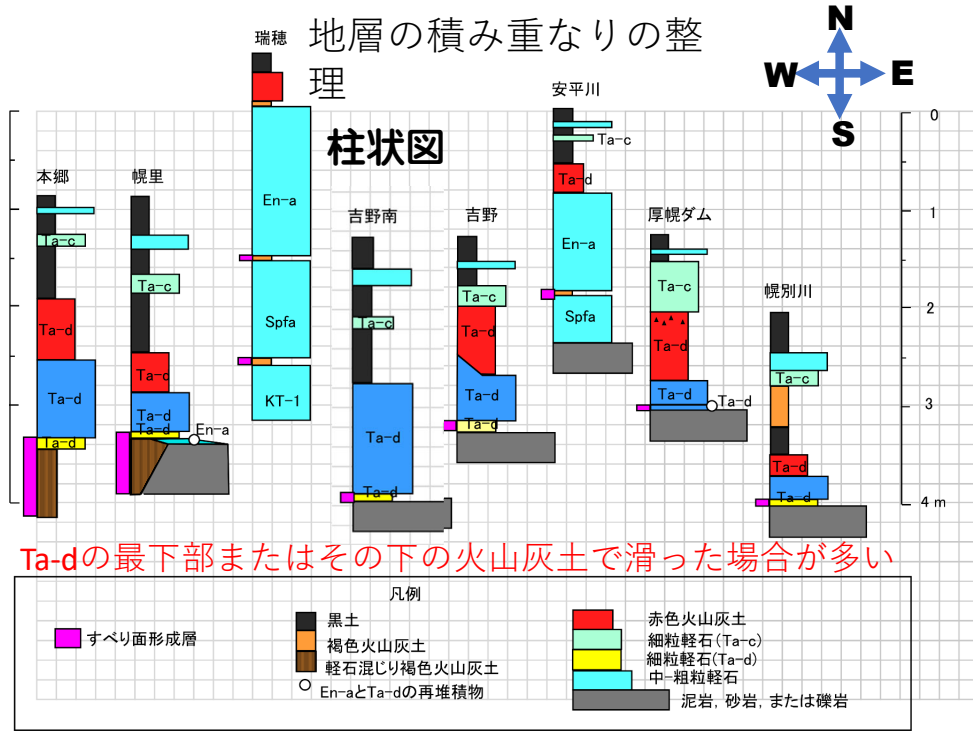
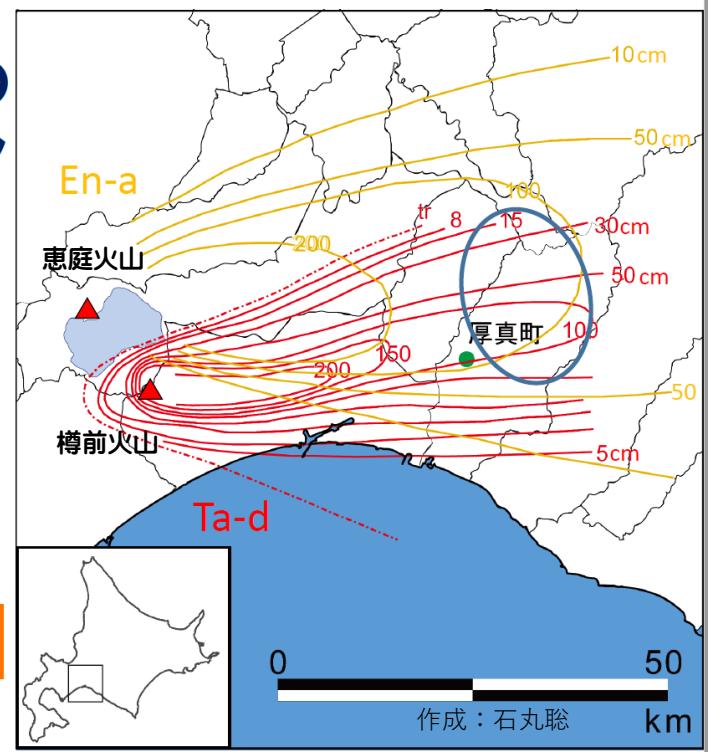


厚真地域の 主なテフラ

樽前: **Ta-d**
(0.9万年前)

恵庭: **En-a**
(1.8万年前)

支笏: **Spfa1**
(4.2万年前)



人間地すべり実験



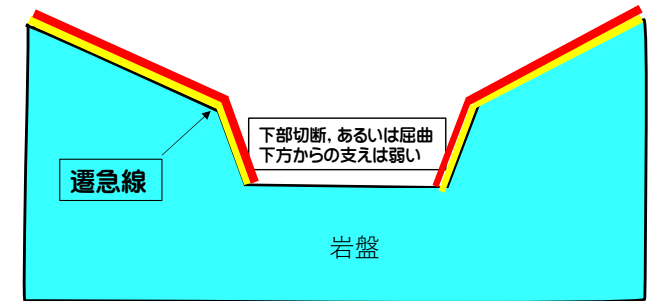
すべった物

限られた範囲ではあるが、いたるところが同じ地質構造

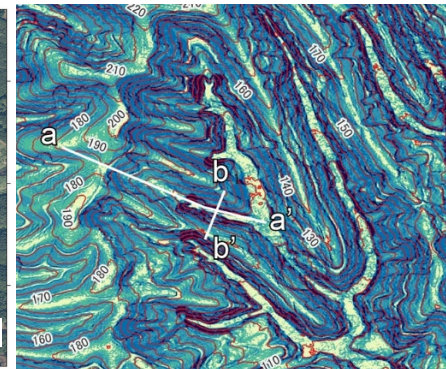
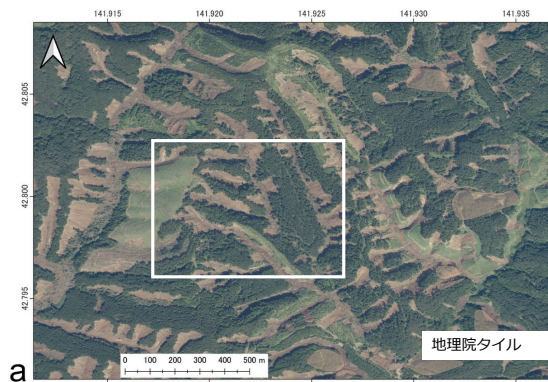
今回の場合、Ta-d最下部部またはの下の火山灰土、En-a直下の火山灰土ですべった。

どこにあるか、は、火山灰層序学が教えてくれている

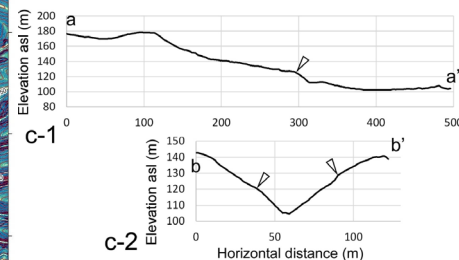
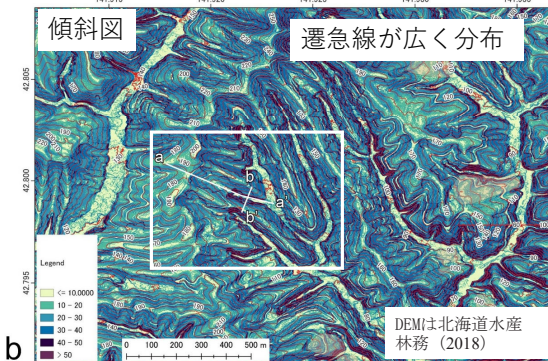
斜面の下部切断



23



遷急線よりも上の斜面が崩壊した



備えるためには

- どこが？
 - 特に軽石の分布を知る
- いつ？
 - 地震予知はできない→時間の予測はできない
- どのような地震で？
 - 深度5強以上
- どのように？
 - 非常に高速（逃げられない）
 - 特に1階が危険

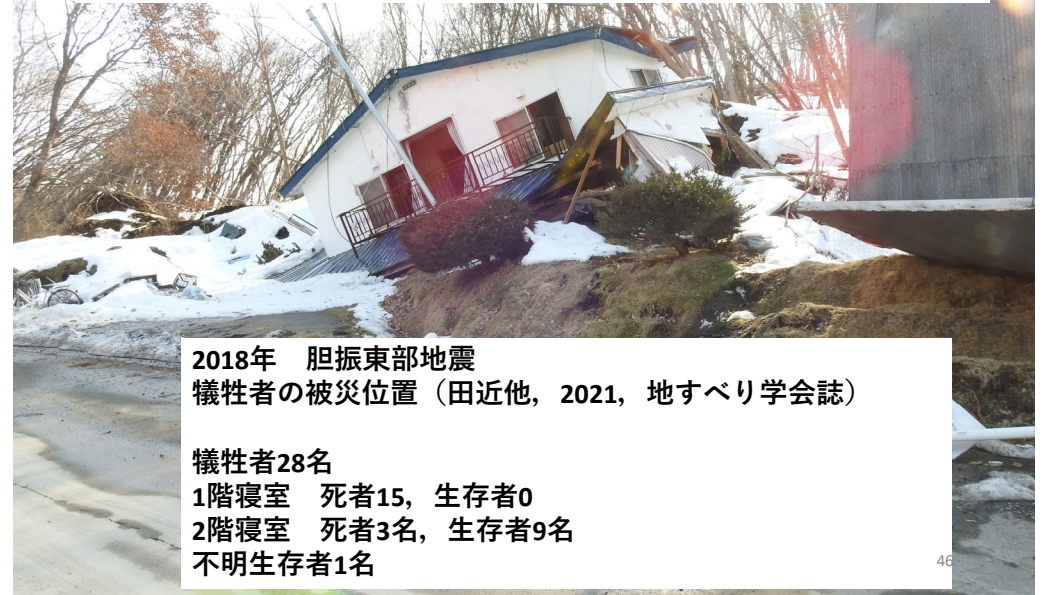
どこが？

今までの経験で、次のようなところに発生したことがわかっている。

- すべり面は**軽石層**あるいはその直下の火山灰土にできる場合が多い。
 - すべり面には**ハロイサイト**が形成されている。
(が、ハロイサイトがあればすべるというわけではない)
 - およそ**9000年から12万年前のテフラ**
(おそらくハロイサイトができるのに時間がかかることと、古いテフラは斜面に平行な層構造を失っているため)
 - **斜面に平行な層構造が斜面下部で切断**されている場合
 - 過去にすべったところは安全—**すべっていないところが危険**
 - 過去に大きな地震を経験していても、**物質が残っていれば発生の危険性はクリアされていない。**
-
- すべり面の形成されるテフラの風化程度—近傍でも位置によって異なる
 - すべり面よりも上の地層の厚さ—場所によって異なる
-
- ピンポイントの予測は難しい
 - まずは、**疑わしい軽石などの分布を捕まえ**、その範囲で**過去の地すべりの発生の有無を知る**ことが重要

逃げることは不可能

可能性のあるところでは、**普段から1階には就寝しない。** (雨の場合と違う)



2018年 胆振東部地震
犠牲者の被災位置 (田近他, 2021, 地すべり学会誌)

犠牲者28名
1階寝室 死者15, 生存者0
2階寝室 死者3名, 生存者9名
不明生存者1名

24

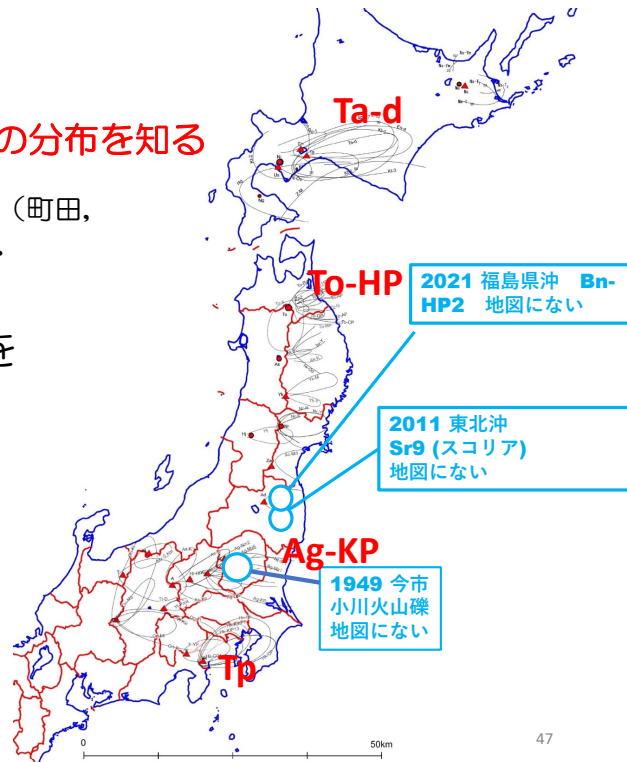
備えるためには、**まず、9 ka~120 kaの軽石の分布を知る**

新編火山灰アトラス (町田, 新井, 2003) から、
厚さ > 10 cm

もっと詳細な図を
完成させる！！

↓
注意喚起

↓
詳細評価

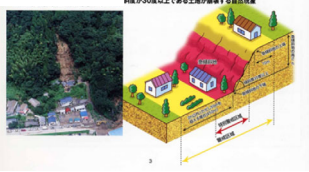


斜面災害に関連する法律

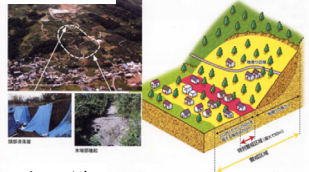
- **砂防法**—砂防事業 明治30年指定
- **森林法**—治山事業 明治30年制定
- **地すべり等防止法** 地すべり対策事業 昭和33年制定
- **急傾斜地法** (急傾斜地の崩壊に関する災害の防止に関する法律) 急傾斜地崩壊対策事業 昭和44年制定
- **土砂災害防止法** (土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律) 平成13年施行

土砂災害のハザードマップ（場所）

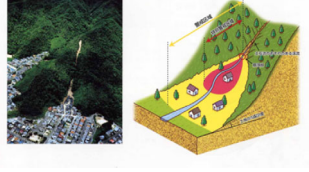
急傾斜地



地すべり



土石流



2001年の土砂災害防止法

→ 国土全体を同じ目で。もっとも簡単な方法として、斜面傾斜と地すべり地形に基づいてレッドゾーンとイエローゾーンの指定（国交省関連、作業進行中。）



2016年熊本地震, 2018年北海道胆振東部地震.
20°にも満たない緩斜面が崩壊して、広い範囲に被害



2011年台風12号
深層崩壊
地すべり地形を示さない斜面が大規模に崩壊して、遠方にまで広がる

地震による緩傾斜斜面の崩壊や深層崩壊はノーマーク



ご清聴ありがとうございました

都市部に隠れた地震時盛土地すべりとその課題

太田英将（有限会社太田ジオリサーチ）

キーワード：地震時地すべり，盛土，過剰間隙水圧，過剰間隙水圧消散工，滑動崩落

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震で阪神間にあった谷埋め盛土406箇所のうち、229箇所が地すべり的な変動をした¹⁾。406箇所のうち107箇所は溜池を埋めた盛土（池埋め盛土）で、100%変動した。

池埋め盛土を除く299箇所の盛土のうち、122箇所が変動した。変動率に換算すると40.8%である。

その後の大地震でも、表1のように高い変動率が推計されている²⁾。

表1 大地震の盛土地すべり発生率

地震名	変動率	記事
1995年 兵庫県南部地震	40.8%	阪神間299箇所中
	(62.2%)	震度6強地域のみの集計値
	(100%)	溜池を埋めた盛土
2004年 新潟県中越地震	62.9%	長岡市内35箇所中
2007年 新潟県中越沖地震	36.2%	柏崎市内58箇所中
2011年 東北地方太平洋沖地震	61.1%	仙台市太白区緑が丘周辺18箇所中
	33.8%	仙台市全体1697箇所中
平均盛土変動率 43%		

2006年に成立した改正宅造法により大規模盛土造成地の変動予測をすることとなった。盛土の抽出は全国ですでに完了しているが、第二次スクリーニングが完了した箇所は全体の5%強程度である（令和3年度末時点）。

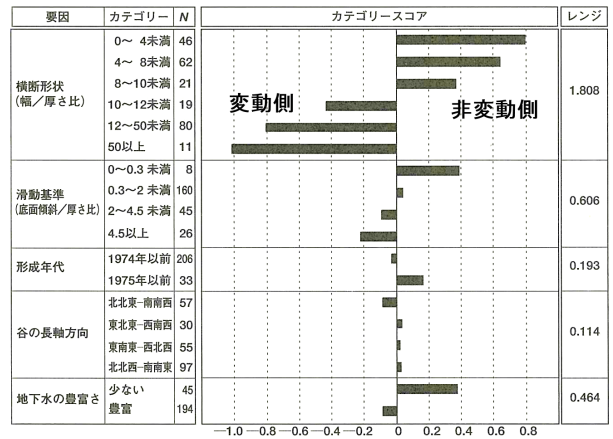
そして、第二次スクリーニングで危険判定された盛土は、0.1%のみである。実際の大地震で発生した平均変動率43%と比較して、あまりにも大きな乖離がどのようにして生まれたのか、どう正していくべきなのかについて、以下に説明する。

2. 盛土の地震時地すべりメカニズムの解明

1995年兵庫県南部地震で発生した谷埋め盛土の地震時地すべりでは、同じ地区内の、同様の地盤条件にも関わらず変動盛土と非変動盛土が混

在していた。

変動・非変動を再現する試みが、小林慶之³⁾、釜井俊孝ほか^{4) 5)}で行われ、盛土の横断形状、すなわち幅/深さ比が他の要因と比較して圧倒的に影響力が大きいことがわかった。（図1参照）



注) カテゴリースコアが大きい(正に)ほど安全側。Nはサンプル数

図1 盛土変動要因の分析結果⁵⁾（数量化Ⅱ類）

太田英将⁶⁾は、幅/深さ比が変動・非変動を決定づける最大要因ということを力学的に解析するため、図2のような簡易安定計算モデルを提案した。幅/深さ比が大きいほど変動しやすくなるという現象は、底面の抵抗強度が小さく、側面のそれが大きい組み合わせの場合に起きるので、それを力学モデル化したのである。

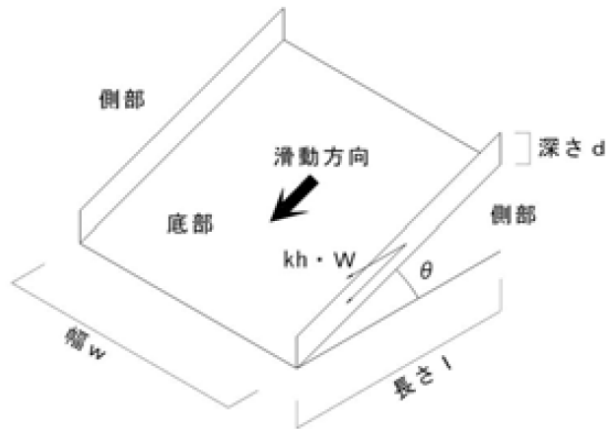


図2 簡易安定計算モデル（側方抵抗モデル）⁶⁾

日本地すべり学会宅地谷埋め盛土の地震時地すべりに関する検討委員会⁷⁾は、実際に兵庫県南部地震で発生した変動・非変動盛土の谷形状デー

タを用い、いくつかの安定解析手法を用いて現象の再現性を検証した。その結果、表 2 の 3 番目の側方抵抗モデルが、驚くほど見事に実現現象を再現した。なお、いずれの方法でも盛土底面に過剰間隙水圧が発生することが前提としている。

表 2 各安定解析モデルの検証結果⁷⁾

安定解析手法	評価	
①通常の 2 次元安定解析	現象の再現性無し	×
②側方抵抗を考慮した 2 次元安定解析	比較的良好に再現した	○
③側方抵抗モデル	最も良い再現ができた	◎
④3 次元安定解析	検証不十分	?

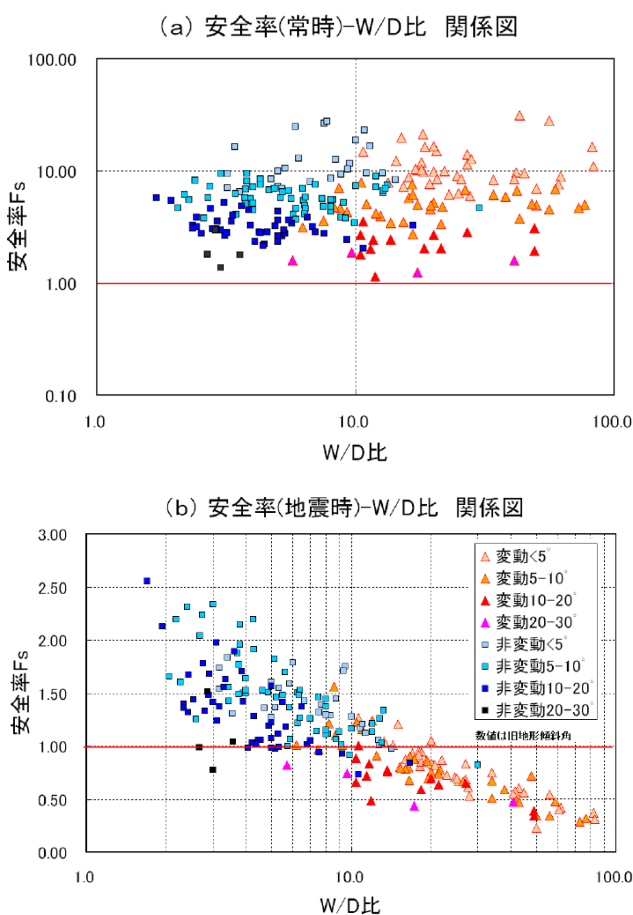


図 3 側方抵抗モデルの検証結果⁷⁾

(a) 2 次元解析では安全率の差は出ないが、(b) 地震時には変動・非変動が明瞭に分離できる

表 2 及び図 3 は、2006 年の改正宅造法成立直前に検討された方法論であり、阪神地区の実現象データのみが解析に供されていた。

その後、中笠貴元ほか⁸⁾で、中越地震・中越沖地震の実現象データも組み込んで検証を行った

結果、側方抵抗モデルは、地域や地質の違いに関係なく同一の土質パラメータで実現象を高い精度で再現できることが実証された。そして、国土地理院は、そのシステム(図 4)を無償公開した。

この方法により、盛土の「器」の形状のみの情報で、80%以上の精度で危険性のある盛土を抽出できるようになった。

実際、東日本太平洋沖地震の 1 年前に仙台市太白区緑が丘周辺の谷埋め盛土(18 箇所)の危険度評価を行ったところ、側方抵抗モデルでは 2011 年の地震で盛土の変動・非変動をほぼ 100% 正しく予測していた⁹⁾。

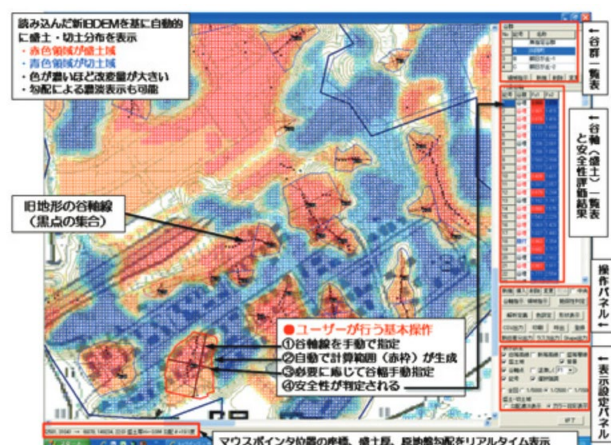


図 4 安全性支援システムの画面⁸⁾

造成前後の DEM があれば半自動で盛土の抽出と安定度評価ができる

3. 福島第一原発の盛土地震時地すべり

2011 年東日本大震災(災害名称)では、福島第一原発の施設内で盛土の地震時地すべりが発生し、これが唯一機能していた地上給電系統を破壊して、全電源喪失に至らした¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。

東京電力¹²⁾はその盛土崩壊に対して、ボーリング調査、力学試験を行い、そのデータを用いて 2 次元安定解析を静的・動的の両方で実施したが、いずれの結果も安全率 $F_s > 1.00$ となった。これは、事前に調査していても従来の方法(2 次元解析・過剰間隙水圧を考慮しない)では危険性を事前に把握できなかったことを意味する。

また、造成盛土の地震時地すべりでは、盛土の締固めが弱かったことが原因と指摘されることが多いが、当該盛土は N 値=5~7 と、盛土としては N 値が高い部類であり、決して締固めが弱いものではなかった。

鈴木雅一¹³⁾の論文に掲載されている造成前後の地形情報を用いて側方抵抗モデルで検討したところ、崩壊した盛土のみが安全率 1.00 を下回っていた(図 5, $F_s = 0.8$)。

また、楕円弧で試行計算する3次元安定解析(2次元法の試行円弧スベリ解析に相当)を実施したところ、図6に示すように最小安全率がFs=0.7となり、崩壊形状も実際の崩壊に近いものが再現された¹¹⁾¹²⁾。

なお、このときに盛土底面には、過剰間隙水圧比=0.33を作用させている。この値は、次の方法で、側方抵抗モデルの最適パラメータから導いたものである。

すなわち、側方抵抗モデルのデータセットの平均盛土層厚D=5m、単位体積重量 $\gamma=18\text{kN/m}^3$ 、変動・非変動盛土の正答率の合計が最大となる最適パラメータの過剰間隙水圧高 $\Delta U=3.0\text{m}$ 、水の単位体積重量 $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ なので、過剰間隙水圧比 $=\Delta U \times \gamma_w \div (\gamma \times D) = 0.33$ となる。

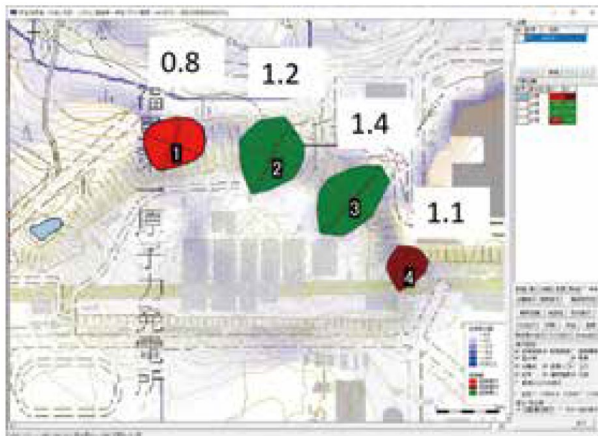


図5 側方抵抗モデルを用いた評価結果
土砂が送電線鉄塔を倒壊させた崩壊はFs=0.8のものである

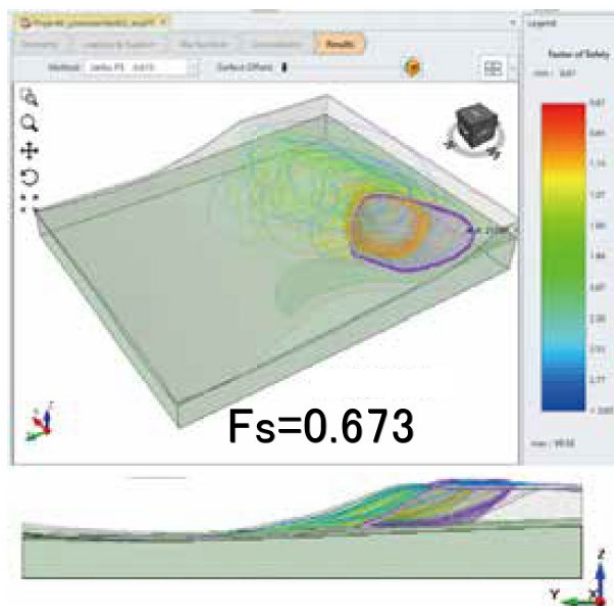


図6 3次元安定解析結果
Rocscience社のSLIDE3で計算した

4. 事業で考慮されなかった過剰間隙水圧

幅/深さ比が大きい盛土ほど変動する現象は、底面強度と比べて側面強度が大きい場合に起こる。

底面強度が著しく低下する理由として、地震時に盛土底面に過剰間隙水圧が発生すると考えた。

その理由は、盛土のサウンディング調査を行うと、盛土と地山との境界部に空洞化している部分が存在することが多く、大きな振動があると、この部分が崩壊して上載荷重が過剰間隙水圧を発生させるからである(図7)。

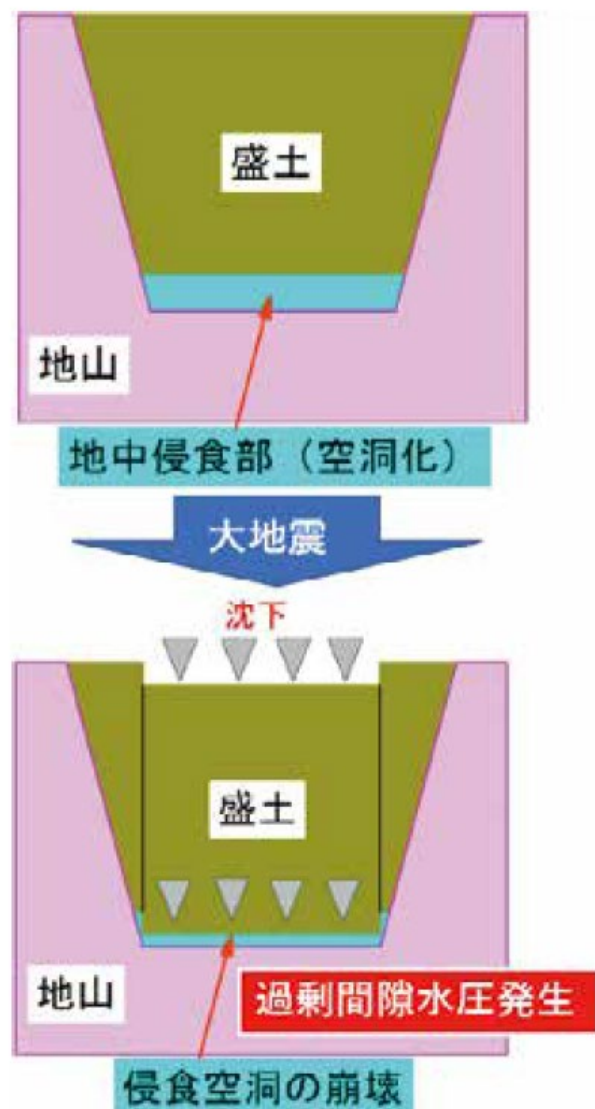


図7 盛土の地震時地すべりの地中イメージ¹¹⁾

ところが、2006年の宅造法改正後に創られた宅地耐震化推進事業のための「大規模盛土造成地の変動予測ガイドライン」には、安定計算の方法として「すべり面が液状化しないことを前提とした2次元安定解析」を行うことが標準とされた。盛土底面は一般に低角度なので、過剰間隙水圧

を考慮しなければ、安全率が 1.00 を下回ることがほぼ無い。このことが、第二次スクリーニングを終えた盛土の中で危険度判定されたものが 0.1% しかないことの原因である。

この「液状化」という用語は、地下水以下の緩い沖積砂層に起きる現象をさす。盛土は粘土分を多く含んだ中間土なので、液状化判定をすると液状化に対する抵抗率 FL 値が、液状化の目安となる 1 を下回ることがほとんどない。

また、前述したように側方抵抗モデルから導かれる過剰間隙水圧比は 0.33 程度である。この値は、道路土工軟弱地盤対策工指針¹⁴⁾によれば、FL 値 > 1.0 なので「液状化しないと判定される領域」にある (図 8)。

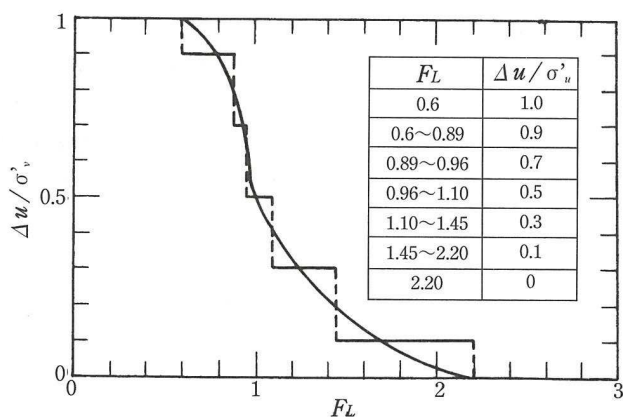


図 8 FL 値と過剰間隙水圧比の関係図¹⁴⁾
過剰間隙水圧比 0.33 は、FL 値 > 1 の領域であり「液状化しない」と判定される

すなわち、盛土の地震時地すべりの安定解析においては、「液状化するか否か」ではなく、過剰間隙水圧比そのものを安定計算に組み込む必要がある。また、その過剰間隙水圧は図 7 に示したように沖積砂層とは発生原理が異なるので FL 値から求めるのも適切ではない。

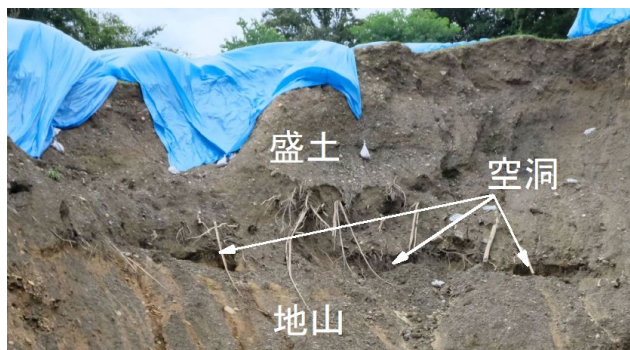


写真 1 盛土と地山との境界の空洞
(2021 年滋賀県湖西道路で釜井俊孝撮影)

筆者は、過剰間隙水圧は写真 1 に示すような地

中侵食による空洞 (あるいは大きな緩み領域) の崩壊・圧縮で発生するので、その物性を土質試験で計測することは不可能だと考えている。

このため、実際に発生した現象を実測値に基づいて再現計算し、統計的に過剰間隙水圧比を導くことが最適である。すなわち、側方抵抗モデルの最適パラメータを導き出す方法と同じである。

5. 第二次スクリーニング結果の再評価

行政が実施した業務結果は、情報公開請求によって入手することができる。

ある政令指定都市 (K 市) で実施された第二次スクリーニング結果¹⁵⁾を再評価した結果を表 3 に示す。表 4 には、各盛土の諸元情報を示す。

K 市の第二次スクリーニング結果では全箇所変動しないとの評価だったが、過剰間隙水圧の発生を前提とした側方抵抗モデルで再評価すると半数は変動する判定となった (表 3)。

なお、K 市の独自基準では、細粒分含有率 $F_c \leq 35\%$ または塑性指数 $I_p \leq 15$ の土層は液状化の可能性のあるものに分類されるが、調査対象の盛土はすべてその基準から外れており、過剰間隙水圧が考慮されていない。盛土は細粒分を多く含む中間土のことが多いので、この判定法で液状化対象の土層とはならないのが普通である。

表 3 盛土安定度の再評価結果

盛土番号と型	第二次スクリーニング結果		側方抵抗モデルの評価結果	
	安全率	判定	安全率	判定
No. 1 谷埋め型	3.90	○	1.34	○
No. 2 谷埋め型	1.32	○	1.16	△
No. 3 腹付け型	1.20	○	1.05	△
No. 4 谷埋め型	1.28	○	0.93	×
No. 5 腹付け型	2.54	○	0.59	×
No. 6 谷埋め型	1.70	○	0.88	×

○ : 非変動判定, △ : 境界領域, × : 変動判定

表 4 各盛土の諸元情報¹⁵⁾

	D	θ	N 値	γ	c	ϕ
No. 1	10.8	5.0	2~3	14.3	83.5	12.8
No. 2	10.0	8.6	1	16.3	38.0	14.4
No. 3	8.90	11	2~3	14.2	30.7	18.5
No. 4	7.20	15	0~2	17.6	29.4	19.6
No. 5	2.80	24	7~12	18.5	30.0	15.0
No. 6	6.95	7.6	0~3	18.0	57.5	18.8

D (m) : 盛土厚さ, θ (°) : 旧地盤の平均角度, γ (kN/m³) : 盛土の単位体積重量, c (kN/m²) : 盛土の粘着力, ϕ (°) : 内部摩擦角

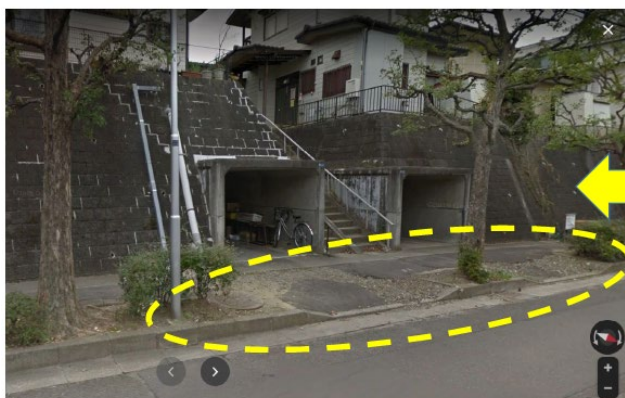
6. 2022 年 3 月の仙台市再度災害¹⁶⁾

仙台市では、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震によって、数多くの盛土造成地の滑动崩

落が発生した。そして、これらの被災盛土の対策として、抑止工が実施された。

ところが、仙台市内では、2022年3月16日に発生した福島県沖を震源とする地震(仙台市内の最大震度5強)で数多くの再度災害が発生した。

再度災害の中には、盛土の剛性が弱いことによる「変形」が原因の現象もあるが、滑動崩落現象が再発したと強く疑われる場所もあった。詳細な調査が実施されていないので推測の域を出ないが、仙台市青葉区西花苑二丁目の事例を紹介する。ここでは、2011年と同様の変状被害が発生した(写真2)とのことである。



2011年10月撮影(Googleストリートビュー)
※東北地方太平洋沖地震における歩道部の変状



2022年3月16日の福島県沖地震で被災
※歩道部が連続して隆起により変状

写真2 変状被害の状況¹⁶⁾

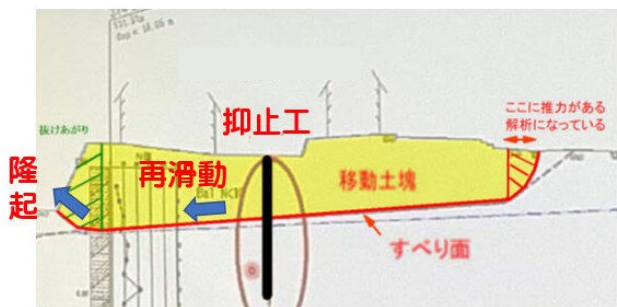


図9 仙台市西花苑二丁目の再度災害断面図

対策工断面図を図9に示す。土塊の中央部付近に抑止杭が設置されている。杭よりも上方の移動土塊は杭によって移動が制限されているので、滑動したのは杭の下流側である。くさび杭で設計されているとのことなので、杭背面の有効抵抗力が十分にあったはずだが、震度5強の揺れを受けて杭下流側の土塊は安全率 $F_s < 1.0$ となった。

この断面図で杭下流側が $F_s < 1.0$ となるための土質定数を水圧を考慮せず逆算したところ、すべり面強度は $c=0\text{kN/m}^2$ 、 $\phi=0.15^\circ$ となった。すべり面強度が、ほぼゼロでないで滑動しないのである。そのようなゼロ強度は、通常の間中土が材料の盛土では、過剰間隙水圧を抜きにして説明することはできない。



写真3 全てのガレージの奥に水が溜まった

筆者は、福島県沖地震から約4か月後に現地踏査を行ったが、被害があった通りの全てのガレージの奥に水が溜まっていた(写真3)。ガレージの奥に水が溜まるのは大雨・大雪の直後など以外

にはないのが普通である。何らかの異常事態が起きているものと推測した。具体的には、土の中で発生した過剰間隙水圧を解消するために、地下水が時間をかけて絞り出されてきているのであろう。これは地中に過剰間隙水圧が発生したひとつの証拠と考えられる。

7. 2011年白石市緑が丘の非変動事例

盛土の地震時地すべりと有効な対策工を考える上で貴重な情報が、2011年東北地方太平洋沖地震時の白石市緑が丘にある。ここは、1978年の宮城県沖地震の時に造成中で、造成盛土が大きく崩れたため、その後公園に用途変更された場所である。当時は寿山と呼ばれていた。

公園化されたのちに、2基の集水井が施工されたようである。

2011年の地震後に訪れると、公園の上部は広い範囲で地すべりを引き起こしていた。一方、公園の下部の集水井の集水ボーリング管到達エリアに限って変動していなかった。



写真4 集水ボーリング到達外の大変動



写真5 集水ボーリング到達域は変動せず

集水井の集水ボーリング管到達範囲に限って変動しなかった理由は、集水ボーリング管が過剰間隙水圧消散効果を発揮したものと考えられる。

集水ボーリング管は、斜面上方の地下水も排水

する効果がある。しかし、地震に伴う急激な過剰間隙水圧上昇に対して水圧消散効果を発揮するためには、近い位置に有孔管がある必要があると考えられる。すなわち、地下水位を低下させる効果だけでは過剰間隙水圧を消散することはできず、有孔管と近い範囲（おそらく10m程度以内）の過剰間隙水圧のみを消散し、その区域の変動を抑制したのであろう。

過剰間隙水圧が消散されている箇所では、土が本来の強度を発揮するため、滑動崩落防止だけでなく、盛土の変形も抑制できると考えられる。すなわち、初動そのものが発生しない。

以上のように、盛土の地震時地すべり防止工としては、抑止工は盛土の変形を防止できない点で不適切な工法であり、過剰間隙水圧消散工が有効である。

8. 高速道路の盛土対策の考え方

大規模盛土は宅地のみにあるわけではない。他にも2011年7月3日に熱海市伊豆山で土石流が発生した残土盛土や、高速道路などにも存在する。土が盛土の用途によって挙動を変えることはないため、すべての盛土に共通した考え方があった方がよい。

2018年3月に開通した新名神高速道路高槻神戸間でも大規模盛土が造成されている。代表的な大規模盛土は、宝塚北SAにある。

ここでは、2009年から施工方法検討委員会が設置され、2018年の開通まで詳細な検討が行われた¹⁷⁾。

この検討委員会で行われた検討の中で、特に重要な部分を以下に記載する。

- (1) 地震時に排水暗渠が無い場合には、液状化による過剰間隙水圧が発生して地震時安全率が著しく小さくなり大規模な崩壊が発生する。このため徹底した盛土内地下水の排除を行う。
- (2) 雨水排水管と盛土内の地下水を排出するための暗渠管は独立した構造とし別系統とする。将来の機能低下のリスクを考慮して複数系統化・ネットワーク化する(図10)。
- (3) 盛土内の地下水位を常時モニタリングする。

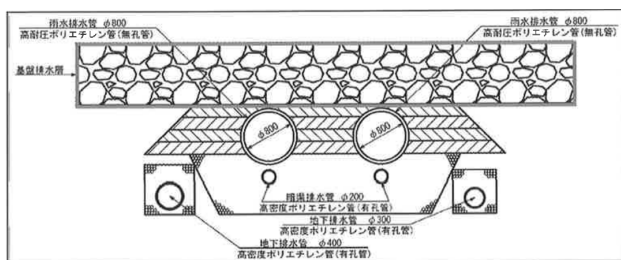


図10 基盤排水層の構造図¹⁷⁾

このような慎重な施工計画が立案・施工されたため、開通直後に起きた2018年7月豪雨においても、盛土に問題は発生しなかった。地下水位モニタリングでは、降雨後35時間後に水位上昇が始まり、43時間後に盛土内水位が1.4m上昇後、50時間後には常時状態に戻ったとのことである。

9. 盛土の安定に関する現状の問題

宅地盛土を対象とした大規模盛土造成地の変動予測事業において、第二次スクリーニングが行われた盛土には、ほぼ例外なく地下水が豊富にある。

2011年東北地方太平洋沖地震被災箇所の調査を行った佐藤真吾¹⁸⁾によれば、仙台市滑動崩落緊急対策事業を実施した160箇所の調査結果から、地下水位が盛土厚さの6割以上を占める地区が全体の78%あったとのことである(図11)。

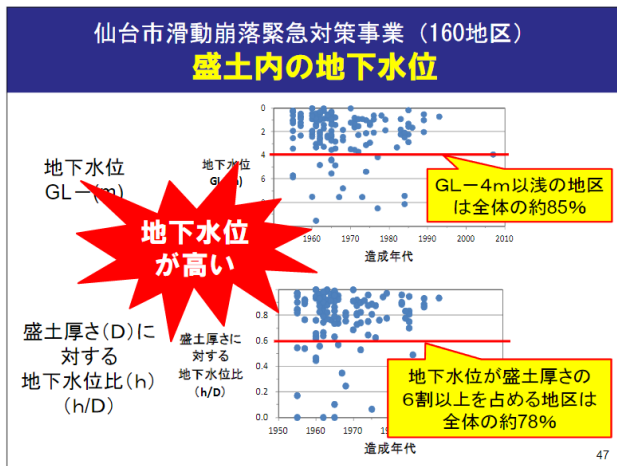


図11 仙台市の盛土内地下水位¹⁸⁾

この盛土内地下水位の状況は、先に述べた新名神宝塚北SAとは対照的である。

盛土内に地下水位が無ければ、平常時の間隙水圧(静水圧)の影響がないだけでなく、地震時の過剰間隙水圧の影響も受けない。

すなわち、造成盛土の最大の問題点は、「盛土内に地下水が多量に存在する」ことに尽きる。

盛土内に地下水が多量に存在するのは、盛土内の排水を担っている暗渠工が機能不全あるいは能力不足なのが最大の理由である。

その状況を招いている原因は、施工中の雨水排水と、盛土の地下水を排水する用途の暗渠管を併用して排出する「中央(縦)排水工法」¹⁹⁾にある。このように、中央排水工法は、盛土施工中に地下排水管の機能を低下させている可能性が高い。

写真6は、盛土工事竣工直後に暗渠管を撮影したものである。この時点ですでに断面の7割程度が土砂で埋まり、ストレーナー部分を細かな泥が塞

いで、排水機能が停止寸前である。

中央(縦)排水工法は、技術指針で推奨されている工法であり、技術指針に従って施工された大半の盛土造成地で排水機能が低下し、地下水を多量に蓄えるようになっているものと考えられる。

中央排水工法で暗渠管の排水不良が起きるメカニズム¹⁹⁾を図12に示す。



写真6 中央排水工法で施工された盛土竣工直後の暗渠管の内部写真

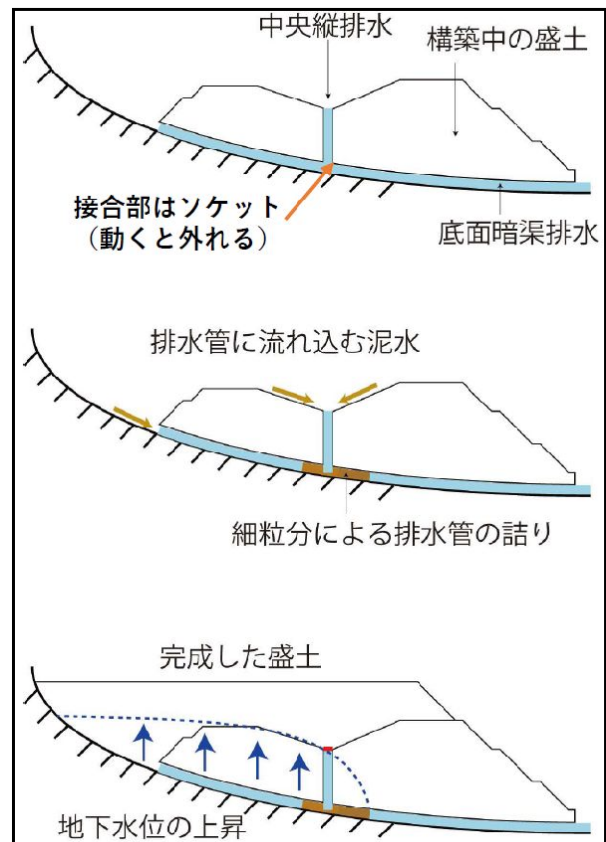


図12 暗渠管の排水不良に伴う地下水位の上昇メカニズム¹⁹⁾

正常に機能する暗渠管の内部は、写真7のようになっていなければならない。盛土の危険性評価に際しては、暗渠管の内部観察が非常に重要である。

技術指針・ガイドラインに欠陥があると、将来的に危険な盛土を造り続けることになる。このため、施工者側や規制当局に配慮した安易な妥協は排除しなければならない。



写真7 正常な暗渠管の内部²⁰⁾
φ900mmのコンクリート有孔管

10. 盛土規制法の技術基準の動向

2022年に成立した盛土規制法が、2023年5月26日に施行される予定である。それに伴い、各種技術基準や省令が整備されつつある²¹⁾。

現時点で判明していることを以下に示す。

(1) 新設盛土

新設盛土に関しては、「盛土等防災マニュアルの解説」が作成される。

盛土内の排水施設については、「地下水排除工及び盛土内排水層により**完全に地下水の排除**ができるように計画することを基本とする」となる。

また、施工中の仮排水については、「施工中における中央縦排水は、暗渠排水管と併用せず、別系統の排水管を設置することを基本とする」となる。

この2つの規定は、現在の盛土が抱える地下水の問題を根本的に解決するので、非常に重要である。

(2) 既存盛土

既存盛土に関しては、「盛土等の安全対策推進ガイドラインの解説」が作成されている。この中で、安全性把握調査・安全確保のための対策・被災盛土の復旧・維持管理について記載されている。

ただし、安定計算法は、「2次元の分割法による計算を基本とする」ことに変更はなく、「砂丘地等において盛土や地山の液状化が懸念される場合などは、震度法による安定計算に加えて、液状化による過剰間隙水圧を考慮した安定性の検

討を別途行うことが望ましい」と弱い表現になっており、新名神高速道路宝塚北SAの考え方とはかなりかけ離れている。このため、地震時に過剰間隙水圧が考慮されることはあまり期待できない。

(3) 大規模盛土造成

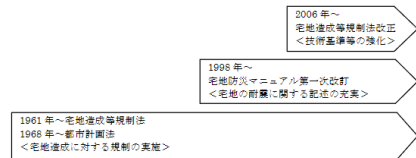
「盛土等の安全対策推進ガイドラインの解説」の序文には、「令和2年3月までにすべての自治体でマップの公表がなされたものは、現行ガイドラインによっていることを考慮し、当面の措置として、現行ガイドラインは現状のままとした」と記載される。

すなわち、実際の大地震で40%の盛土が地震時地すべりを起こしているにも関わらず、現行ガイドラインに従って安定度評価をすると、危険盛土が0.1%しか抽出できないという問題に関しては、改善はなされず、「現行のまま」となる。

2011年東北地方太平洋沖地震後に、国土交通省は滑動崩落被害をとりまとめ、「滑動崩落を予防するために宅地造成等規制法等を改正した2006年以降に造成された宅地では、同被害は発生しておらず、大地震時の被害防止に現行の基準が有効であった」と結論付けている(図13)²²⁾。

表1 宅地造成年代と甚大な宅地被害との関係

表1 宅地造成年代と大規模滑動崩落被害発生件数									
地区数	1949年以前	1950年代	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000～2005年	2006年以降	合計 ^{※3}
※1	2 (1%) ^{※2}	7 (4%)	81 (45%)	46 (25%)	31 (17%)	10 (6%)	2 (1%)	0 (0%)	179



※1 仙台市の他、宮城県、岩手県、福島県、茨城県、栃木県内で被害発生。
※2 合計に占める各年代の割合。
※3 この他に、造成年代不明が18地区ある。

図13 宅造年代と甚大の被害の関係²²⁾

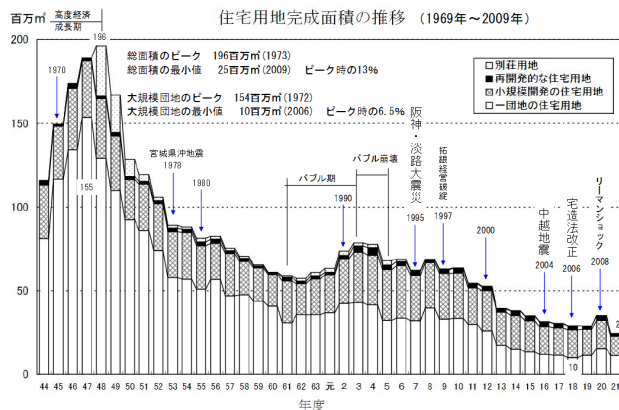


図14 住宅用地完成面積の推移²³⁾

しかし、滑動崩落が発生するためには、写真1に示したような盛土内の地中侵食が進む時間経過が必要で、新しい盛土には発生しにくいことや、大規模造成地の面積が高度経済成長期と比べて1/15以下に減少し、全造成地数が少ないこと(図14)²³⁾が考慮されていない。さらに、盛土規制法の新設盛土のマニュアルで「盛土内の地下水を完全に行うこと」と既存宅地盛土と異なる方針を示したことなどを考えると、「現行基準は有効」の評価は楽観的過ぎる。

盛土内に地下水があるものは、すべて地震時地すべり(滑動崩落)の危険性があり、側面抵抗が有効に効くなどの要素がある場合に限り「変動しないこともある」と考えるのが合理的である。

11. まとめ

法令や技術基準は、甚大な災害が起きる度に制定されたり改正されたりする。

適切な技術基準があれば、その影響力により全体が安全に向かうことになる。一方、不適切な技術基準は、その悪影響が全体に及び、改善困難な状況を招く危険性がある。

施工の容易さを優先した盛土の中央排水工法はその悪い側の典型的な例である。この工法により盛土の地下排水設備は、施工中から機能低下を起し、竣工時には排水不良状態となっている。

大規模盛土は、完成後に改修することが非常に困難である。第二東名高速道路や新名神高速道路の大規模盛土では、その重要性を考慮して非常に丁寧な盛土排水計画が立てられ、施工され、かつ地下水水位がモニタリングされている。

2023年5月に施行される盛土規制法の各種技術基準のうち、新設盛土に係る技術基準は、盛土内の地下水を完全に排除するように作成されている。

一方、既存盛土の方は、若干の改善があるものの基本的に現行のままとされている。宅地の大規模盛土造成地に関しては、若干の改善すらない。

次の首都圏直下地震、南海トラフ地震では、他の地震と同様に非常に多くの盛土(全体の約4割)で地震時地すべりが起きると予測される。

日本地すべり学会は、実際に大地震で起きた地震時地すべりを高精度に再現できる側方抵抗モデルを作成した学術学会である。今後も盛土の地震時地すべりに関わる技術基準に対して、適正化のための声を上げ続けていかなければならない。

少なくとも、既存・新設を問わず、盛土内の地下水水位モニタリングと、盛土の地下水を排出するための暗渠管の管内カメラによる点検を必須とすべきであろう。

参考文献

- 1) NPO 都市災害に備える技術者の会(2005): 大地震における宅地盛土の被害に関する調査業務報告書, 国土交通省 都市・地域整備局 都市計画課 開発企画調査室
- 2) 太田英将(2022): 関西の都市型災害事例, 2022年度土砂災害予測に関する研究集会 テーマ1「都市型土砂災害の現状と課題」
- 3) 小林慶之(2000): 都市域における宅地盛土斜面における地震災害予測図の作成, 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻平成11年度修士論文
- 4) 釜井俊孝・守随治雄・太田英将・原口強(2000): 都市域における地震時斜面災害のハザードマップー宅地盛土斜面の変動予測ー, 日本応用地質学会平成12年度シンポジウム予稿集「斜面ハザードマップの現状と課題」
- 5) 釜井俊孝・守随治雄(2002): 『斜面防災都市ー都市における斜面災害の予測と対策ー』, 理工図書
- 6) 太田英将(2005): 宅地地盤の地震時盛土スベリのメカニズムと対策方法, 日本地すべり学会研究発表会予稿集
- 7) 社団法人日本地すべり学会宅地谷埋め盛土の地震時地すべりに関する検討委員会(2006): 平成17年度谷埋め盛土造成地の危険度評価・安定解析手法に関する検討業務報告書, 国土交通省都市・地域整備局
- 8) 中埜貴元・小荒井衛・星野実・釜井俊孝・太田英将(2012): 宅地盛土における地震時滑動崩落に対する安全性評価支援システムの構築, 日本地すべり学会誌, Vol. 49, No. 4, pp. 12-21
- 9) 太田英将・釜井俊孝・村尾英彦(2011): 2011年東北地方太平洋沖地震による都市住宅域の斜面災害の予測と対策, 第50回日本地すべり学会研究発表会講演集
- 10) 太田英将・廣野一道(2021): 福島第一原発の全電源喪失の原因となった盛土崩壊の検証, 第60回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 87-88
- 11) 太田英将(2022): 福島第一原発を襲った土砂災害ー夜の森線 No. 27 鉄塔を倒壊させた盛土地すべりー, フォレストコンサル No. 166, pp. 31-38

- 12) 東京電力 (2012) : 福島第一原子力発電所内外の電気設備の被害状況等に係る記録に関する報告を踏まえた対応について (指示) に対する追加報告について (鉄塔倒壊に関わる福島第一原子力発電所内の盛土の崩壊原因) oshi06_hh_000010.html
- 23) 国土交通省総合政策局建設統計室 (2011) : 平成 21 年度住宅用地完成面積調査報告
- 13) 鈴木雅一 (2012) : 東北地方太平洋沖地震で福島第一原子力発電所の送電線鉄塔倒壊をもたらした盛土斜面崩壊について, 砂防学会誌, Vol. 64. No. 5, pp. 38-42
- 14) 道路土工軟弱地盤対策工指針 (平成 24 年度版), 社団法人日本道路協会, p. 173 の参図 5-12
- 15) K 市の情報公開資料 (NHK が 2022 年に収集) : 土質試験結果, 地下水位観測結果, 円弧すべり検討結果 (ひな壇部の変形の検討), 複合すべり検討結果 (盛土全体の変形の検討)
- 16) 一般社団法人地盤品質判定士会東北支部 (2022) : 仙台市の大規模盛土造成地の地震被災地見学会 事前学習資料 (7 月 28 日見学会用) 17)
- 17) 山口卓位・滝川龍誠・小野稔和・安藤伸・遠藤司・沖村孝 (2015) : 新名神高速道路宝塚北 SA 高盛土の建設, 建設工学研究所論文報告集第 60 号, pp. 143-185
- 18) 佐藤真吾 (2019) : 造成地の地盤リスクー最近の地盤被害による宅地造成地の主なリスクー, 地盤工学会東北支部災害協定に基づく講習会「地盤リスクに関するシンポジウム」資料
- 19) 釜井俊孝 (2021) : 残土問題の現状と課題ー熱海伊豆山の災害が示すものー, 欠陥住宅被害全国連絡協議会第 50 回大阪大会資料集
- 20) 美馬健二・川浪聖志・太田英将 (2023) : 赤外線カメラ搭載ラジコンを用いた谷埋め盛土に敷設された暗渠排水管内の観察, 第 58 回地盤工学研究発表会 (投稿中)
- 21) 国土交通省 : 盛土等防災対策検討会
https://www.mlit.go.jp/toshi/web/toshi_tobou_tk_000031_00001.html
- 22) 国土交通省 (2014) : 東日本大震災の宅地滑動崩落被害を踏まえた現行の宅地造成基準の検証結果について,
<https://www.mlit.go.jp/report/press/t>



Kanto branch

地震時の地すべり

令和5年5月 公益社団法人日本地すべり学会関東支部行

本書に掲載された原稿は、著者から印刷物への掲載・配布、ホームページでの公開の承諾を得ております。