

熱海伊豆山地区の土石流被害実態と避難情報発令

徳島大学環境防災研究センター ○蔣 景彩, 中野 晋, 上月康則
国土防災技術(株) 松山支店 古谷綱崇

1. まえがき

2021年6月30日から7月4にかけて、梅雨前線が九州北部から四国南部、紀伊半島、静岡県沿岸、関東地方へと東西に長く連なって停滞し(図-1)¹⁾、この梅雨前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだため大気の状態が不安定となり、断続的に強い雨が降った。気象衛星「ひまわり」の赤外面像(図-2)²⁾より静岡県伊豆地方から東北地方に分布する強い雨雲が確認できる。そのため、静岡県内では7月2日夜遅くから3日朝にかけて、遠州北、中部、東部、伊豆北の広い範囲で非常に激しい雨となった。7月1日~3日までの72時間雨量は網代アメダス(旧網代測候所)では411.5mm、熱海市水口町(静岡県熱海総合庁舎)では491mmとなり、平年の7月1か月分の1.7倍近くに達した¹⁾。

この強い降雨によって、静岡県全域に土砂災害警戒情報が出され、7月3日に熱海市伊豆山地区、逢初川で大規模な土石流が発生し、甚大な被害をもたらした。この土石流によって、犠牲者が27名(死者26名・行方不明1名、2021年12月1日現在)にもものぼり、被害家屋が128棟(135世帯、215名)になった³⁾。土石流発生後に出された緊急安全確保(レベル5)を受けて、7月3日に被災者等が小中学校5カ所の指定避難所へ避難したが、新型コロナウイルス感染防止の観点、一括して健康管理もできるという理由から、7月5日に二つのホテルに避難者を集約させた。土石流源頭部に不安定土砂などが残っているため、再び被害が出るおそれがある逢初川沿いの約160世帯が住む地域が「警戒区域」として指定され、多くの住民は公営住宅やみなし仮設の民間賃貸住宅に非常長い避難生活が強いられている。

著者らは土砂災害の実態把握を行うため、土石流発生直後の7月10日及び土石流発生からほぼ5か月後となる12月2日に2回の現地調査を実施した。本報告は今回の土石流被害を速報すると共に、2015年12月20日に中国深圳で発生した建設残土の斜面崩壊と比較しつつ土石流の発生原因や避難情報の発令について若干の考察を加える。

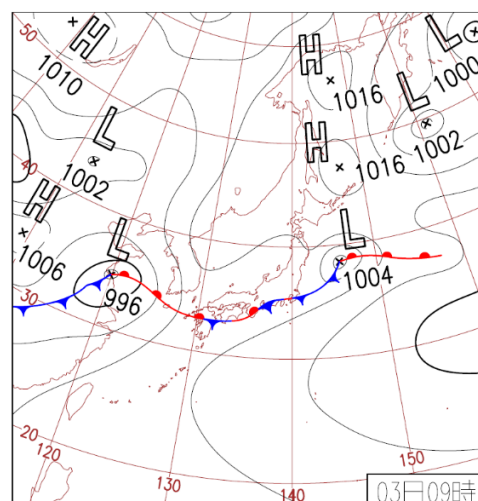


図-1 2021年7月3日9時の天気図¹⁾

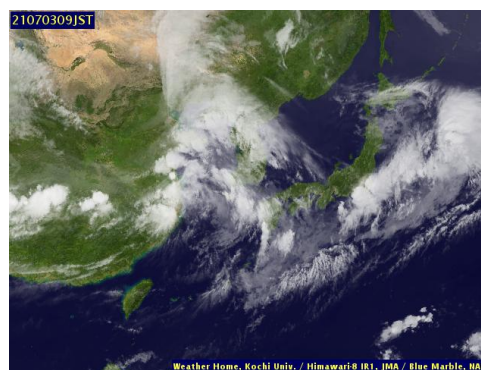


図-2 気象衛星「ひまわり」の赤外面像²⁾

2. 地形・地質的条件と土石流の特徴

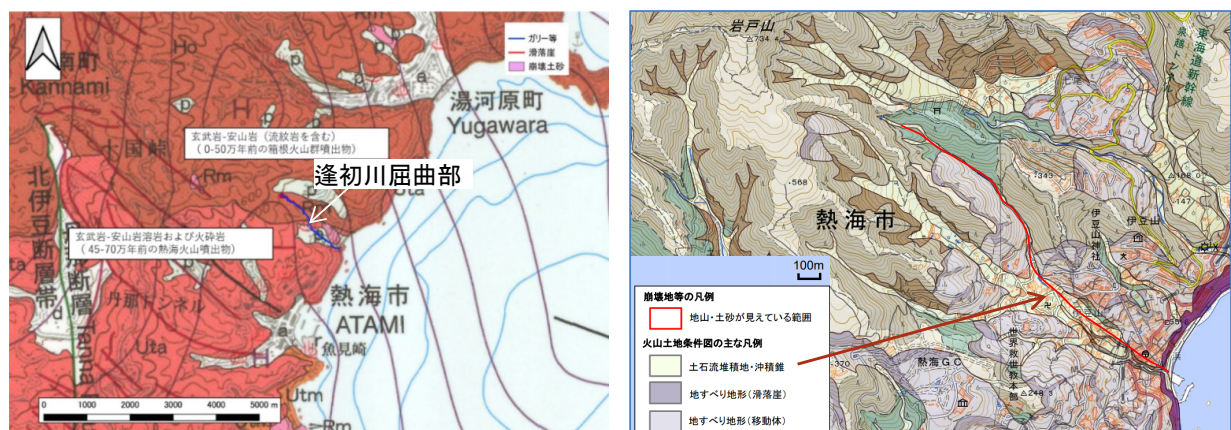
今回の土石流は静岡県熱海市の北部に位置する伊豆山地区で発生したものである。伊豆山地区は熱海市沿岸部に位置し、谷と海岸線が交わるような狭い山の斜面に市街地が形成されている。こうした土地条件下の町では、山の斜面を削ったり谷筋を埋めたりして、道路や宅地などを作る必要があり、
Damage of the mud and debris flow around Izusan area in Atami city and evacuation information announcement, Jing-Cai Jiang, Susumu Nakano, Yasunori Kozuki (Tokushima University), and Tsunataka Furuya (Japan Conservation Engineers Co. Ltd.)

斜面崩壊や土石流などの土砂災害に対して脆弱な状況が潜在的に作り出されている。伊豆山地区の住宅等は谷の斜面上のみならず溪床付近にも多数建設されており、土砂災害による人的・建物被害の大きさの一因ともなっている。

伊豆山地区周辺の地質図⁴⁾及び土地条件図⁵⁾を図-3に示す。地質図からわかるように、逢初川中流の屈曲部より北側は玄武岩、安山岩などの0～50万年前の箱根火山群堆積物が分布し、南側は玄武岩、安山岩溶岩及び火砕岩などの45～70万年前の熱海火山噴出物である。土地条件図では逢初川及び隣接した溪流との合流点付近より下流域は土石流堆積地・沖積錐となっており、過去の土石流で流出した土砂が山麓に堆積して形成された地形である。土石流溪流の中腹部に砂防ダムが作られていることや下流域が土砂災害警戒区域に指定されていることから、土石流による災害の危険性が高いと示唆される。火山噴出岩地区は一般に土石流等の土砂災害のリスクが比較的高いとされるが⁶⁾、静岡県市町村災害史(熱海市)⁷⁾によると、熱海市の土砂災害被害事例の記載が非常に少ないようである。

今回の土石流は7月3日午前10時30分頃、熱海市伊豆山地区の逢初川源頭部で盛土をした部分の崩壊によって発生したものである。図-4に土石流の平面図と断面図を示す。平面図におけるガリー侵食等の谷状地形、崩壊土砂の痕跡などは、静岡県G空間情報センターで公開されているオルソ画像および陰影図から作成した⁸⁾。平面図から(盛土の)斜面崩壊は谷頭部の標高400m付近で発生していることがわかる。崩壊した土砂が谷筋に沿って流れ下り、流下距離は約2.0kmになり海岸に到達した。土石流溪流の上流部AB間の傾斜が約13°に対し、溪流出口付近から海岸までの傾斜が約10°になっている。溪流出口から海岸付近までの横断面図(図-4(b))を見ると、土石流の流下・堆積区域の地形が谷状になっており、崩壊土砂が傾斜10°以上の谷筋に下流に流れ下ったことがわかる。土石流は標高200mの溪流出口付近で向きや勾配が変化しており、このような地形変化が同標高付近の被害を広めたことが考えられる。

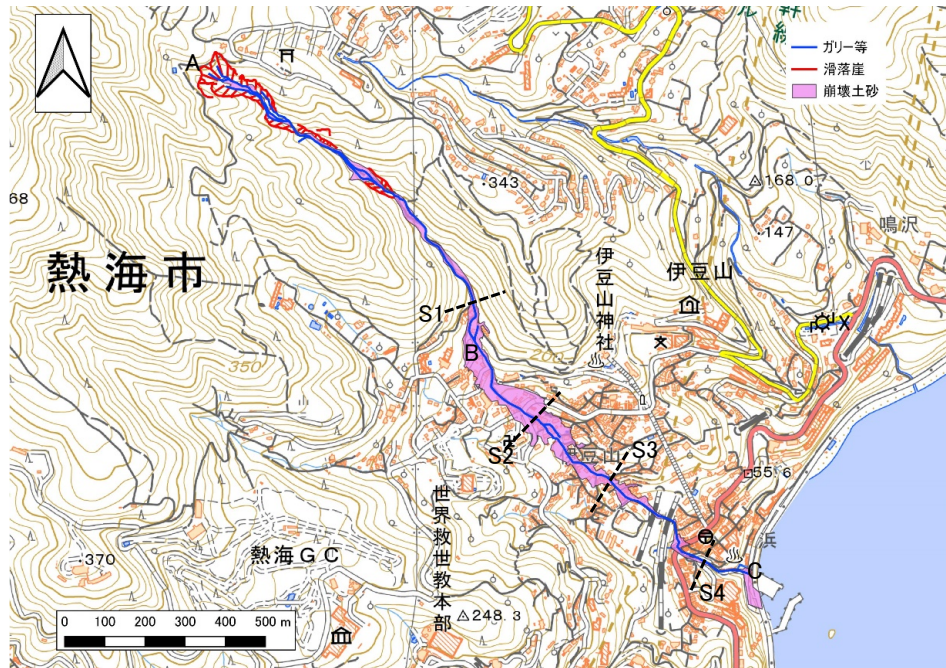
土石流の発生原因は1) 斜面崩壊土砂・地すべり土塊が流動化する場合、2) 堆積土砂が流水の増加によって流動化する場合、3) 斜面崩壊による土砂ダム決壊の場合に分類されるが、今回の土石流は溪流の起点部にあった大量の盛土が大雨で崩壊し(図-5)、土石流となって流下した⁹⁾。流出土砂は自然地山ではなく人工で造成された盛土の崩壊により供給されたことが特徴の一つである。盛土は逢初川最上流部で造成されたため、大量の崩壊土砂は溪床勾配10度以上の谷筋に沿って勢よく流下し、下流側の谷沿いの住宅地を直撃した。今回の土石流のもう一つの特徴は、図-4(a)の土石流痕跡からわかるように、土砂が谷筋に沿って流下したため、横方向に広がらなかったものの(最も広いところは幅約140m)、破壊力が谷沿いに集中し溪床付近の住宅などを中心に大きな被害を与えたことである。



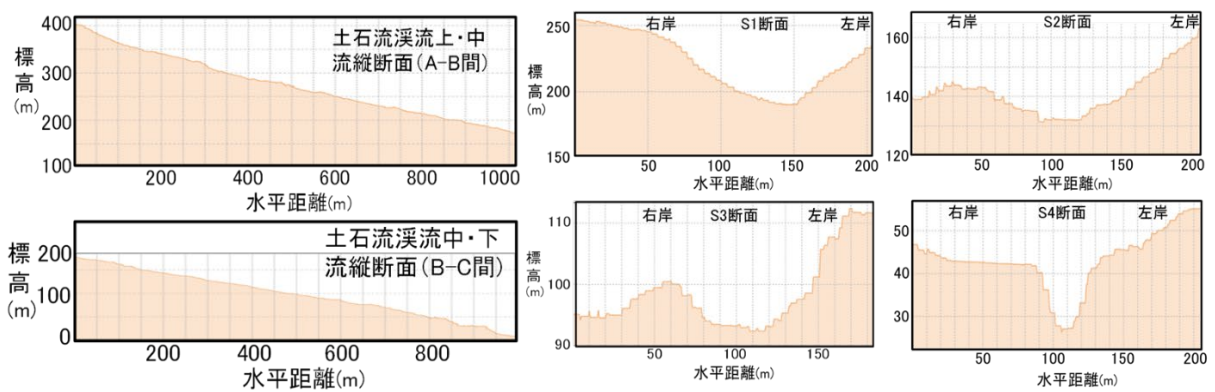
(a) 地質図 (文献4)より加筆)

(b) 土地条件図 (文献5)より加筆)

図-3 伊豆山地区周辺の地質図と火山土地条件図



(a) 土石流痕跡図

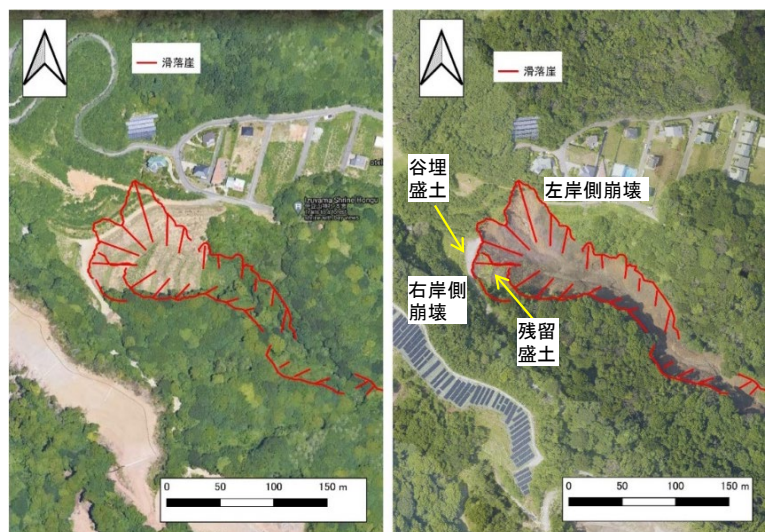


(b) 土石流溪流縦・横断面図 (国土地理院地図より作成)

図-4 土石流の平面図と断面図

3. 現地調査結果

土石流源頭部の崩壊状況を図-6 に示す。逢初川頭部の盛土が大きく崩壊したが、右岸側に崩れ落ちかかる盛土や背後の谷埋め盛土がまた残留されている。大きな滑落崖の背後に固結度の低い自然地山の露頭が現れており、残留盛土と共に不安定な状態にあると思われる。逢初川中下流側の被害状況を図-7 に示す。土石流溪流出口付近では土石流が2階建て住宅の屋根に到達し、丸越酒店・熱海市消防団第4分団の建物に残っている土砂等の痕跡が高さ9m-10mに達している。



(a) 崩壊前 (2017年6月)¹⁰⁾

(b) 崩壊後(7月10日)¹¹⁾

図-5 源頭部崩壊前後の空中写真 (文献10-11)より加筆



(a) 源頭部左岸側崩壊の状況



(b) 源頭部右岸側崩壊の状況



(c) 右岸側の残留盛土

(d) 右岸背後の谷埋盛土

(e) 崩壊部背後の露頭

図-6 土石流源頭部の崩壊地の状況(2021/12/2 撮影)



(a) 土石流溪流出口付近(2021/7/10 撮影)

(b) 出口下流側(2021/12/2 撮影)



(c) 丸越酒店付近と下流域の家屋被害 (2021/12/2 撮影)

図-7 逢初川中下流域の被害状況

4. 考察

4.1 崩壊盛土の土石流化

崩壊斜面に最も近い気象庁網代観測所の雨量計のデータを図-8 に示し、崩壊盛土付近の集水域と集水面積を図-9 に示した。6月30日から土石流発生までの累積雨量約400mm、分水嶺で囲まれた集水面積約4.7haであり、降った雨がすべて盛土に流入したとしても約2万立米となる。今回の流出した盛土が約5万4千立米と推定されているが、崩壊土砂が流動化するのに土砂とほぼ同体積の水が必要である¹²⁾。これは盛土背後地山からの地下水の侵入や図-9 に示す集水域の外から地表水の流入があったと示唆される。流域を超えての地表水等の流入に関する検討は文献 13) を参照されたい。

盛土の崩壊原因は届出より非常に高く作られ、不適切な盛土が残置され、適切な排水工も設置されていなかった等と推定されている⁹⁾。建設廃棄物の混入や不十分な締固め等によりルーズな盛土、即ち自然斜面での崩壊土砂と同様、間隙率が非常に大きい盛土ができていた可能性が高い。このような盛土は相対的低い飽和度で崩壊し、土砂の見かけの体積が減少するので、非常に強い雨が降らなくても、崩壊土砂と水の割合が1:1に近づき流動化したことが考えられる。

4.2 深川の建設残土の斜面崩壊との比較

2015年12月20日に中国広東省深圳市光明新区の恒泰裕工業団地で大規模な斜面崩壊が発生し、コンクリート建物の倒壊・埋没、死者85名と甚大な被害になった(図-10)¹⁴⁾⁻¹⁵⁾。崩壊は採石場跡地に地下鉄工事等で出た残土や建設廃棄物を盛土した斜面で発生したが、崩壊前に雨が殆ど降らなかったし、地震の影響もなかった¹⁴⁾。盛土は若干幅のある小段を設けて逐次堆積・造成し、殆ど締固めせず盛土底部に排水施設を設置しなかった¹⁵⁾。また設計盛土高約50mに対し、崩壊したときの実際の盛土高が約100mに達し、違法な盛土が行われたことが明らかになった¹⁵⁾。

斜面崩壊前に雨が殆ど降らなかったが、崩壊後の調査と実験ですべり面付近や末端部の土砂は飽和に近い状態(飽和度85.4-94.5%)にあることが半明された¹⁴⁾。また崩壊土砂が約700mに長距離移動・広く拡散したことも盛土中の水の多さを物語っている。崩壊の直接の原因は直前の降雨ではなく、盛土前の採石場内のたまり水や地表水・地下水の流入、不適切な排水施設配置等が挙げられている¹⁵⁾。

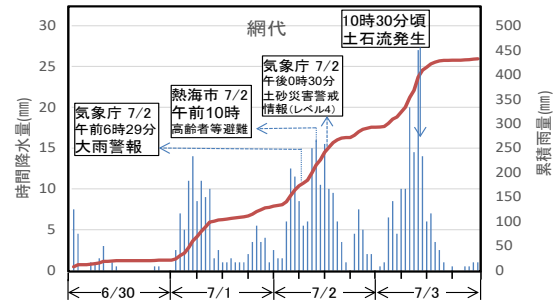


図-8 降雨量の時間的推移(網代観測所)

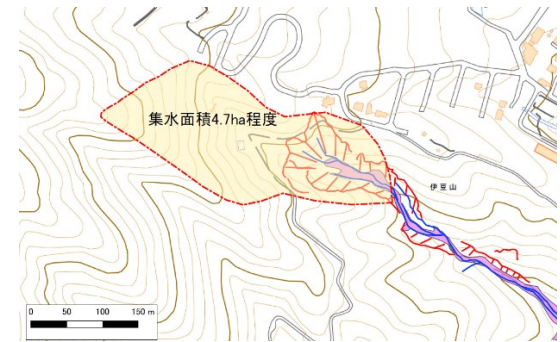
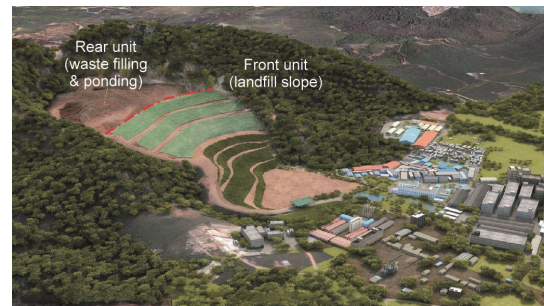


図-9 谷頭部盛土の集水域と集水面積



(b) 崩壊後の状況



(c) 倒壊したコンクリート建物

図-10 中国深圳市の建設残土の斜面崩壊¹⁴⁾

逢初川源頭部の盛土と深圳市の盛土の共通した特徴は、盛土材料が建設残土（一定量の廃棄物混入）、締固めが不十分、排水施設が不設置・不適切、違法な盛土で非常に高い法面が造成されたこと等が挙げられる。熱海市では強い雨が降ったものの今回の土石流以外に土砂災害が全く発生していないこと、また深圳市では雨が殆ど降らなかったにもかかわらず、法面が大きく崩壊し土砂が広範囲に拡散したこと等を考えると、やはりこれらの災害の主因は不適切で違法な盛土にあると言える。

4.3 避難情報発令

今回の土石流では、気象庁が土砂災害警戒情報を伝えたものの、避難指示が発令されないまま災害発生に至ったことが議論を呼んでいる。熱海市長は会見で「2日にレベル3の避難情報を出した時点で雨のピークは過ぎることが予想されていた。雨は弱まり、土壌水分量も下がっていくという状況をもとに私が判断した」と述べた。結果として自然斜面での土砂災害が発生していなかったため、市長の判断に一理あることを言える。しかし、土砂災害警戒情報の発表基準¹⁰⁾や土砂災害リスクが比較的高い熱海市の地質（火山噴出岩）⁶⁾、長い梅雨による多めの先行降雨等を合わせて勘案すると、土砂災害警戒情報の発表と同時に避難指示を躊躇せず発出すべきであったと、著者らは考える。

5. あとがき

本稿は現地調査の結果等をもとに、熱海市伊豆山地区の土石流被害を報告すると共に、中国深圳で発生した建設残土の斜面崩壊と比較検討し、土石流の発生原因や避難指示の発令について考察した。

参考文献

- 1) 静岡地方気象台, 令和3年6月30日～7月4日の大雨に関する静岡県気象速報, 日々の天気図 No. 234, 令和3年7月12日.
- 2) 高知大学気象情報・気象庁: 気象衛星「ひまわり」の赤外画像, 高知大学気象情報頁(<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/>), 2021年7月14日閲覧.
- 3) 静岡県: 7月1日からの大雨等による被害状況について【最終報】, <https://www.pref.shizuoka.jp/kinkyu/documents/030701ooame17.pdf>.
- 4) 産総研 地質調査総合センター 2015 (初版: 1980): 20万分の1地質図幅横須賀 (第2版) / YOKOSUKA (2nd ed.).
- 5) 国土地理院: 静岡県熱海市伊豆山周辺の火山土地条件図 (図幅名「箱根山」), 令和3年, https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R3_0701_heavyrain.html#6, 2021年11月30日閲覧.
- 6) (一社) 全国治水砂防協会: 砂防便覧・平成26年版, 2015.
- 7) 静岡県: 静岡市町村災害史 (熱海市), <https://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/shiraberu/higai/saigaishi/sh008.html>, 2021年11月30日閲覧.
- 8) 静岡県 G 空間情報センター, データセット, <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset?tags=2021年7月熱海市土石流災害>, 2021年11月30日閲覧.
- 9) 静岡県: 熱海市逢初川源頭部の盛土の造成状況 (2021年10月29日), <https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-520a/documents/1morido.pdf>.
- 10) Google 地図, <https://www.google.co.jp/maps/>, 2017年6月.
- 11) 朝日航洋株式会社 (7月10日撮影), 静岡県 G 空間情報センター, データセット, 2021年11月30日閲覧.
- 12) 高橋 保: 土石流の発生と流動に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第20号B-2, pp.405-435, 1977.
- 13) 中野 晋, 蔣 景彩, 上月康則: 熱海市土石流災害に関する雨水流出過程からの考察～分水嶺付近で行われる土地改変の危険性～, 令和3年自然災害フォーラム, 土木学会四国支部, 2022年1月.
- 14) Yueping Yin, Bin Li, Wenpei Wang, etc.: Mechanism of the December 2015 Catastrophic Landslide at the Shenzhen Landfill and Controlling Geotechnical Risks of Urbanization, International Journal of Engineering, No. 2, pp. 230–249, 2016.
- 15) 深圳市人民政府: 深圳市光明新区残土置き場における「2015.12.20」大規模な土砂崩壊に関する調査報告, <https://www.mem.gov.cn/gk/sgcc/tbzdsgdcbg/2016/201607/P020190415543303044296.pdf>, 中国語.
- 16) 国土交通省: 土砂災害警戒情報, https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/sabo_ken_link.html.