

自然災害 の予測と対策

地形・地盤条件を基軸として

水谷武司 [著]

高知県立図書館



1106942624

朝倉書店

発生年順災害例索引

- ・ピナツ
05, 109
・山岳噴火 107
1994年インドネシア・メラ
ピ火山噴火 109
2000年三宅島噴火 121
- 大雨・強風災害**
- 1828年シーボルト台風
198
1858年富山・常願寺川洪水
174
1900年アメリカ・ガルベス
トン高潮 209
1934年室戸台風 141, 203
1938年茨城・土浦洪水
184
1915年枕崎台風 142, 241
1917年カスリーン台風・一
関洪水 160, 180
1917年カスリーン台風・利
根川氾濫 150, 159
1918年アイオン台風・一関
洪水 168, 180
1950年ジェーン台風高潮
204
1953年13号台風高潮 201
1953年西日本水害・白川氾
濫 180
1953年西日本水害・筑後川
氾濫 172
1957年謙早豪雨 179
1958年狩野川台風内水氾濫
188
1959年伊勢湾台風高潮
- 142, 192, 193, 200
1961年第二室戸台風 142,
144, 203, 204
1966年新潟・加治川氾濫
167
1966年台風4号内水氾濫
188
1966年第二宮古島台風
140
1967年7月豪雨 190, 240
1967年新潟・加治川氾濫
148, 167
1969年黒部川氾濫 174
1970年バン格拉デシュ高潮
206
1976年台風17号 136, 141
1976年台風17号・長良川
氾濫 163
1981年小貝川氾濫 149,
150, 156, 182
1982年長崎豪雨 133, 180,
241, 287
1983年島根豪雨 181
1986年台風10号・小貝川
氾濫 146, 170
1986年台風10号・桜川氾
濫 170, 184
1986年台風10号・阿武隈
川氾濫 171
1990年千葉・茂原竜巻
211
1991年バン格拉デシュ高潮
206
1991年台風19号強風
41, 210, 283

- 2000年茨城・千葉降雹
218, 283
2000年東海豪雨 138, 188,
283
2003年福岡内水氾濫 149,
190
2004年台風16号高潮 192
2005年ハリケーン・カト
リーナ高潮 192, 209
2006年北海道・佐呂間竜巻
212
2012年茨城・栃木竜巻
216

土砂災害

- 1792年雲仙・眉山崩壊 58,
114, 117, 124, 239
1938年阪神大水害 239
1945年秋崎台風 142, 241
1961年梅雨前線豪雨 240
1963年イタリア・ヴァイヨ
ンダム地すべり 228
1967年7月豪雨 190, 240
1970年ペルー・ワスカラン
岩層なだれ 237
1984年御岳岩層なだれ
238
1985年長野・地附山地すべ
り 230
2001年中越地震 228

異常気候災害

- 1980年東北冷害 248
1993年平成大冷害 248

著者略歴

水谷 武司

京都大学経済学部卒業
東京都立大学理学部卒業
科学技術庁国立防災科学技術センター災害研究室長、
千葉大学理学部地球科学科教授、などを経て、現在は
独立行政法人防災科学技術研究所客員研究員
理学博士、技術士(応用理学)

主要著書
『防災地形』(古今書院)
『自然災害調査の基礎』(古今書院)
『自然災害と防災の科学』(東京大学出版会)
『数理地形学』(古今書院)

自然災害の予測と対策

一地形・地盤条件を基軸として一

定価はカバーに表示

2012年7月20日 初版第1刷

著者 水谷 武司

発行者 朝倉 邦造

発行所 株式会社 朝倉書店

東京都新宿区新小川町6-29

郵便番号 162-8707

電話 03(3260)0141

FAX 03(3260)0180

http://www.asakura.co.jp

〈検印省略〉

©2012 (無断複写・転載を禁ず)

印刷・製本 東国文化

ISBN 978-4-254-16061-1 C 3044

Printed in Korea

JCOPY <(社)出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつと事前に、(社)出版者著作権管理機構(電話03-3513-6969、FAX03-3513-6979、e-mail:info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

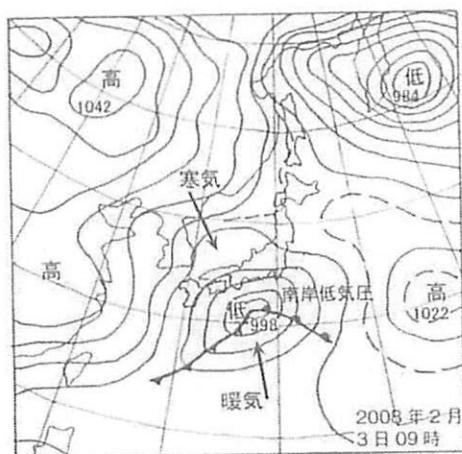


図 4.59 太平洋岸に大雪をもたらす南岸低気圧

退いて、太平洋南岸沿いを西から東へと低気圧が発達しながら進むときである（図 4.59）。これは南岸低気圧と名づけられている。低気圧の進行前面（東側）には温暖前線があり、南方からの暖気が北方からの寒気の上に這い上がっている。この這い上がり角度はゆるやかなので広い範囲に上昇気流が生じて雲がつくれ、降水（雨か雪）をもたらす。前線の近くでは上空の暖気の影響で降水は雨となり、雪が降るのは前線からかなり離れたところである。わかりやすい目安として低気圧が八丈島の南を通ると関東平野で雪になるとされる。低気圧のコースがもっと南に離れると、関東平野は雨雲・雪雲の範囲からはずれず。

冬季に上空の雨粒は小さい氷の結晶になっている。これが落下してきて地上で雪になるか融けて雨になるかは、地上付近から雲の高さまでの間の気温によって決まる。一般に地上気温が2~4℃以下、上空1500mの気温が氷点下5~6℃以下であると雪になることが多いとされている。低気圧が移動しながら発達すると北からの寒気が強く引き込まれるので、降雪となる低い気温条件がつくられる。関東が雪になるかどうかの予報は、低気圧のコースとその発達、気温の低下などの予測に依存し、当たり外れがかなり大きくなる。

新雪が積もる厚さは雨量（雨水の深さ）の10倍ほどで、降水量10mmでは10cmの積雪になる。日本海側とは異なり雪が少ない関東では、10cmの積雪でも鉄道・道路の交通機能に大きな障害・混乱が生じる。また、雪は湿っていて重いので電線が切断され停電などを起こす。過去50年間における日積雪深の最大は、つくば（館野）で22cm（1986年）、東京で33cm（1969年）である。大雪の降ることが多いのは1月から3月上旬にかけての期間である。

5 土砂災害

土砂・岩屑が重力の直接作用により一体となって急速移動することによる災害で、斜面崩壊、地すべり、土石流、岩屑なだれなどがある。斜面構成層の安定を乱して移動を起こす誘因には大雨、地震、火山活動がある。この不安定化を起こす力学的機構や条件はわかっているが、それがどこでいつ起こるかを予測することは非常に難しい。外からは把握し難い斜面内部の構造が強く関係しているからである。このため、捉えやすい地形条件が危険判定の実用的手がかりとして利用される。しかしひとたび動き始めると、その運動は地形の支配を大きく受けるようになるので、危険域は比較的に予測しやすくなる。土砂移動の破壊力は強大であるから、大きな安全率を見込んだ対応が必要である。

5.1 斜面崩壊・地すべり

5.1.1 斜面安定条件

斜面崩壊とは、斜面表層の土砂や岩屑が地中のある面を境にして滑り落ちる現象である。山崩れ、崖崩れ、あるいは一般に土砂崩れといわれているものはこれに相当する。地すべりは文字どおり「滑る」現象であるが、発生条件などに特色があり、一般の斜面崩壊と区別されている。土砂・岩屑が急速に運動する様式には、「滑る」のほかに「落ちる」（落石など）、「流れる」（土石流など）がある。

斜面の地層は重力により斜面傾斜の方向に常に引っ張られている。一方、地層はそれに抵抗する力を働かせて、斜面の変形や移動を抑える（図5.1）。何らかの原因により（大雨と地震動が主要な誘因である）、地層内のある面において、下に引っ張る力が抵抗する力を上回ると、この面で地層が断ち切られて（せん断されて）、上に載る土塊が一体となって滑動する。

土塊を斜面傾斜の方向へ動かそうとする滑動力 F は、 W を土塊の重量、 θ を斜面傾斜角として

$$F = W \sin \theta \quad (5.1)$$

で与えられる。すなわち、その土塊の重量が大きいほど、また、斜面傾斜が急なほど大きくなる。雨水が地中に浸透するとその水の重さ分だけ土塊の重量が増大して、崩壊を起こす力が大きくなる。斜面傾斜は危険判定の最も重要でわかりやすい要因である。傾斜角が小さくなると、次式が示す抵抗力を大きくする効果が優位になることも

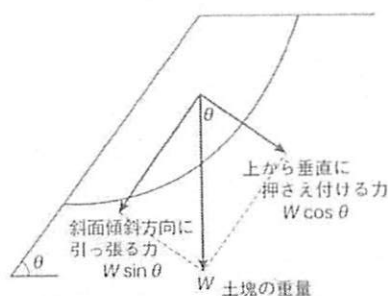


図 5.1 斜面の安定条件

あり、崩壊は発生しなくなる。大雨を誘因とする崩壊の場合、 θ が 25° よりも小さいとほとんど発生しない。

この滑動力に対抗するせん断抵抗力 τ は、構成粒子間の粘着力 C と摩擦力との和になる。摩擦力は垂直応力 $\sigma = W \cos \theta$ と摩擦係数 $\tan \phi$ との積で与えられる。地層が地中水で飽和している場合には、間隙水圧 u が発生して垂直応力を相殺するので、 $\sigma - u$ が有効垂直応力になる。したがって、地層のせん断抵抗力は

$$\tau = C + (\sigma - u) \tan \phi \quad (5.2)$$

と表される。ここで ϕ は内部摩擦角あるいはせん断抵抗角と呼ばれる値で、乾燥砂の場合、静かに盛り上げたときの表面の傾斜角（安息堆積角）に近い。粘着力は粒子間の界面作用や吸着水層などに起因するもので、乾燥砂には存在しない。

地層中のある連続面でせん断力がせん断抵抗力を上回ると、この面を境界にしてその上に載る地層が滑動する。この状態をつくり出す主因は、降雨の浸透および地震動である。地震の加速度のすべり面に平行の成分は滑動力を増大させ、垂直成分は垂直応力を減少させるとして表現されている斜面安定の式は、次式で示される。

$$F = \frac{C \sum L + (\sum W \cos \theta - K_H \sum W \sin \theta) \tan \phi}{\sum (W \sin \theta + K_H W \cos \theta)} \quad (5.3)$$

ここで、 F は安全率、 L はすべり面の長さ、 W は土塊重量、 θ はすべり面傾斜角である。 K_H は震度係数であり、地震の水平加速度を α 、重力加速度を g として、 $K_H = \alpha/g$ で表される。ここでは垂直加速度は小さいとして無視されている。上式右辺の分子が抵抗力、分母が滑動力を示し、 F が 1 よりも小さくなると崩壊が発生する。

5.1.2 大雨による崩壊

大雨は斜面崩壊を発生させる最も主要な誘因である。多量の雨水の地中浸透により間隙水圧が生じ、これが有効垂直応力を減殺し摩擦抵抗力を低下させることが、崩壊発生の最大の原因である。また、浸透水は土塊重量を大きくして滑動力を増大させる。表面流による侵食は地層の強度を低下させる。

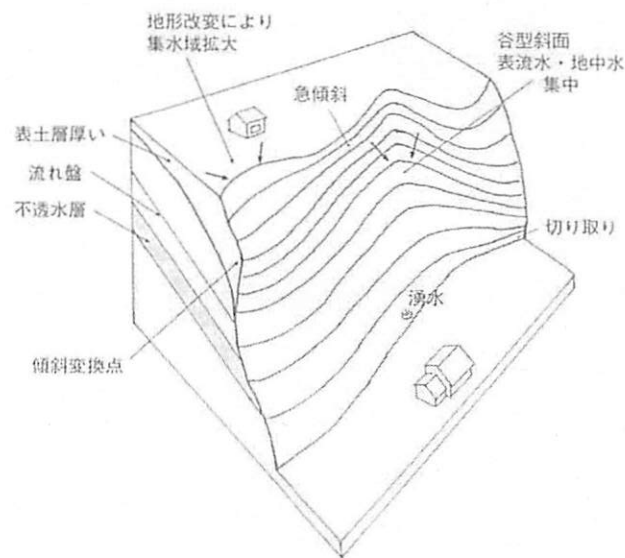


図 5.2 斜面崩壊の危険箇所

式 (5.1)、(5.2) に基づいて、大雨による斜面崩壊が発生しやすい箇所を整理して示す (図 5.2)。まず地形条件からは、斜面の傾斜が急なところ (傾斜角 30° 以上)、斜面の途中で傾斜が突然急になるところ (遷急点) のある斜面、窪んだ谷型 (凹型) の斜面、上方に広い緩傾斜地をもつ斜面、が挙げられる。大雨による崩壊では一般に傾斜角が 30° を超えると崩壊が急増する。法指定の急傾斜地崩壊危険箇所における急傾斜とは、勾配 30° 以上とされている。ただし、非常に急傾斜で表土層がほとんどないところは、崩壊の発生率はかなり小さくなる。遷急点があるとそこを頭部にして崩壊が起きやすい。中央が窪む凹型の斜面は表流水だけでなく地中水も集めやすい地形である。上部に緩傾斜地があるとその下方の一つの谷型斜面に多量の流水が集まること起きやすい。

地層の条件では、表土層の厚いところ、表土層の厚さの変化が大きいところ、透水性が大きく違う地層が重なっているところ、斜面傾斜の方向へ地層が傾いているところ (流れ盤) などが挙げられる。斜面崩壊の大部分は表土層の崩壊であり、それが厚いというのは不安定な条件である。基盤岩など難透水層の上には地中水が滞留するのですべり面となりやすい。地中水の浸透・滞留に関する地層構成は最も重要であるが、外部からはこれを判定し難い。湧水はこの条件を推定させる情報である。いつも水がしみ出ているところ、とくに、雨の時すぐに湧き水の量が増え、それが濁っているところは、要注意斜面である。

人為的な条件では、道路建設などにより斜面下部が切り取られているところ、斜面の上方で大規模な地形改変が行われたところ、斜面内に道路建設などの人為作用が加わっているところ、樹木が伐採されそのまま放置されている斜面、などである。斜面下部の切り取りは斜面を急傾斜にする。傾斜地の地形改変は雨水の浸透・流出の条件を変えて、これまで安定していた斜面を不安定化させることが多い。とくに、下方への排水処理が不適切であると危険が大きくなる。樹木を伐採して根をそのまま放置し5~10年ほど経過すると、腐食により土層の強度が低下する。まったくの山奥は別として、斜面崩壊の発生には人為的な要因が多かれ少なかれ関係している。

崩壊を起こしやすい地質には、深いところまで風化を受けやすい花崗岩、変質し粘土になりやすい火山岩・変成岩、シラスとも呼ばれる火砕流の堆積層などがある。富士山のような形の成層火山は、火山灰・火山礫・溶岩・火砕流堆積物など、性質の異なる地層が流れ盤構造で積み重なっており、その山頂部は安定限界ぎりぎりの急勾配なので、きわめて不安定である。

上記の斜面要因に危険度に応じた重み付き評点を与え、個々の斜面につき評点づけをおこなってその合計値から危険度を評価するというチェックリスト法は、危険度判

表 5.1 斜面崩壊危険度判定のチェックリストの一例

項目	区分	点数
斜面の高さ	30 m 以上	3
	10~30 m	2
	5~10 m	1
斜面の傾斜角	60° 以上	3
	45°~60°	2
	30°~45°	1
斜面形(横断面)	凹型斜面	3
	平滑斜面	1
	凸型斜面	0
基岩の岩質	未固結砂泥層	3
	半固結砂泥層	2
	風化岩	1
地層構成	流れ盤構造	3
	厚い透水層の下に不透水層	2
表土の厚さ	50 cm 以上	3
	10~50 cm	1
湧水	降雨時に湧水	3
	常時湧水	1
地形改変	斜面内に道路など建設	3
	斜面の上方で市街化進展	1

点数は仮に与えた値。

定のわかりやすい実用的手段である(表 5.1)。評点を決める方法には判別分析などの統計処理の手法がある。

5.1.3 地震による崩壊

地震動の効果は図 5.3 のように示すと直感的に捉えやすい。最も不安定側に働いた場合には、その垂直加速度成分が重力加速度に加わり、さらに水平加速度成分と合成されて、重力加速度が図の G のように増大すると考えられる。これにより土塊重量が大きくなり、したがって滑動力が増大する。また、合成加速度の方向(鉛直方向)が変化して、瞬間的には斜面傾斜が大きくなったような効果が生じる。旧震度 6 の下限に相当する揺れである水平加速度 250 ガル、垂直加速度 100 ガルの地震動が作用した場合を考えると、重力加速度が最大で 12% 増大(したがって重量もそれだけ増大)し、斜面傾斜角が最大で 13° 大きくなると計算される。この結果、斜面土塊に作用する滑動力は、平常時に比べ最大で 50% ほども増大する。地震動はまた、液状化のような現象を引き起こして表土層を滑動させることがある。

地震動のこのような効果から、地震による斜面崩壊は、大雨の場合では安全である傾斜角 10°~25° のゆるやかな斜面でも発生する。また、表土層のない切り立った崖も崩落させる。つまり大雨の場合よりも広い勾配範囲にわたって崩壊が生じる。地震動は側面からの押えがより小さい地形的突出部(周りが空気である)で大きくなり、また水を集める条件は関係しないので、尾根・山稜などでも崩れる。強い雨のあとに地震があると、雨の効果も加わって谷型斜面でも崩壊が発生する。雨の浸透は表層部に限られるのに対し、地震動は山体の全体に作用するので、地震による崩壊の規模は巨大化する可能性がある。崩れた場合、崩壊土の運動には初速が加わり、いわば振り出されるような状態になるので、より遠くまで到達する。地震時に崩壊を起こさなくても、震動によって山体が脆くなり、その後の大雨で崩れを起こしやすくなる。

このように、地震による斜面崩壊は発生場所が限定し難いし、大規模になる可能性があり、また、先行する降雨といったような前駆現象がなくて突発的であるので、対応がきわめて難しい現象である。緊急避難の余地はほとんどない。危険な場所はあらかじめ避けておくというのは自然災害全体に共通する基本的な対応であるが、地震崩

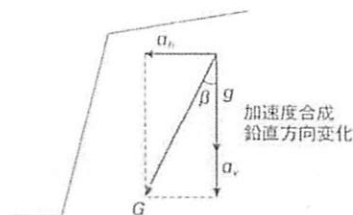


図 5.3 地震動の効果

壊の場合にはこの対応しかないということになる。

崩壊土砂量が数千万 m^3 以上の規模のものを巨大崩壊あるいは山体崩壊と呼んでいる。このような崩壊のほとんどは地震および火山噴火が発生誘因となっている。降雨とは違い地震は山体全体を振動し変形させるので、深いところでせん断破壊が生じて崩壊が大規模になる可能性がある。巨大崩壊が起きやすいのは、大起伏で大きな体積をもち深部亀裂の生じやすい地質構造の山地である。富士山型の大形成層火山はその代表である。

5.1.4 斜面崩壊への対応

斜面崩壊の発生は外部から容易にはわからない斜面内部の欠陥に主として基づくもので、どこでいつ崩れるかを予測するのは、特定斜面を常時監視するという特別な場合は別として、実行上はほぼ不可能であるとしたほうがよい。あるところで大きな斜面崩壊が生じた場合、なぜそこだけで起こったかという理由をはっきりと説明するのが困難であることは多い。一方、崩れた場合その崩土がどこまで到達するかは、かなり限定することができる。つまり、発生予測は難しいが危険域予測は可能であるから、前者に依存せず後者に基づいて対応するのが現実的である。

通常の崖崩れの場合、崖下端から土砂の到達先端までの距離は崖の高さと同じ距離の範囲内にはほぼ収まっている(図5.4)。したがって、被災の高危険域は崖の高さとはほぼ同じ距離内であり、これに安全を見込んで、崖の高さの2~3倍までの範囲を危

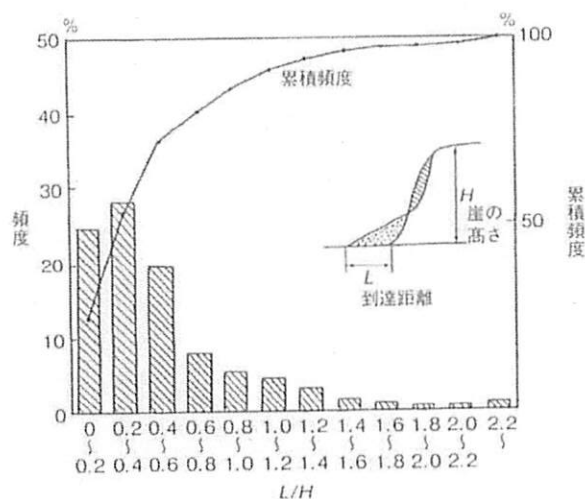


図5.4 崩壊土砂の到達距離

険域とすることができる。ただし、土砂到達域に傾斜がある場合には安全率をより大きく見込む必要がある。すでに崖に近づいて建物がある場合、盛土などの障害物で隔てて、土砂の衝撃力を弱めるといった手段がある。

土砂災害防止法(2000年)により土砂災害警戒区域の指定が行われているが、この区域は急傾斜地の高さの2倍(最大50mまで)に定められている。なお、急傾斜地とは傾斜角 30° 以上で高さが5m以上の斜面をいう。急傾斜地崩壊危険区域に指定され利用上の制限などが課せられるには「住家5戸以上もしくは官公署に危険が及ぶおそれのあるところ」などの被災対象条件が加わるので、実際に危険地指定がなされているのは急傾斜斜面の一部である。このように大まかな地形条件を指定の基準としているということは、危険斜面を限定するのは非常に難しいことの結果でもある。なお、土砂災害警戒区域は急傾斜地の上端から水平距離10mの区域にも設定されるが、ここでは自らの危険だけでなく、雨水処理などによって下方斜面に危険をつくり出さないように配慮することも必要である。

危険地指定ではほかに、山腹崩壊危険箇所、地すべり危険箇所などがある。土砂災害のハザードマップでは、これらの危険地指定箇所が表示されているのが大部分である。急傾斜地崩壊危険区域にある住宅は、資金助成を受けて移転することができる。土砂災害の破壊力は強大であるから、移転は最も有効な危険除去策である。

雨による斜面崩壊では、斜面の表面の移動・伸縮、斜面地層の歪み(微小な変形)の増大、地下水面の上昇、間隙水圧の増大などの先駆現象が観測される。斜面の内部や表面にこれらを観測する計器を設置してそのデータを監視することにより、崩壊発生の直前予測は可能である。斜面の移動量の測定は簡単な工夫によっても可能で、その変化速度が急増しはじめると危険と判断される(図5.5)。しかし斜面の数は無数であり、専門家を配置し重要斜面を常時監視するといった特別な場合は別として、普遍的な防災手段としては現実的ではない。

予測の間接的の手がかりとして雨量がある。崩壊の発生には、その時降っている雨の

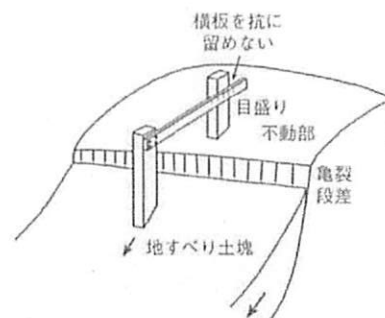


図5.5 地すべりの運動の簡易測定