

# 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

## 発生年順災害索引

発生年順災害索引	著者略歴	著者略歴
'05.109 火事・山噴火 107	142, 192, 193, 200 1961 年第二室戸台風 142. 144, 203, 204	2000 年茨城・千葉降雹 218, 283
1994 年インドネシア・メラ ビ火山噴火 109	1966 年新潟・加治川氾濫 167 1966 年台風 4 号内水氾濫 188	2000 年東海豪雨 138, 188, 283
2000 年三宅島噴火 121	1966 年第二宮古島台風 140	2003 年福岡内水氾濫 149. 190
大雨・強風災害	1966 年第二宮古島台風 140	2004 年台風 16 号高潮 192
1828 年シーホルト台風 198	1967 年 7 月豪雨 190, 240	2005 年ハリケーン・カト リーナ高潮 192, 299
1858 年富山・常願寺川洪水 174	1967 年新潟・加治川氾濫 148, 167	2006 年北海道・佐呂間巻 212
1900 年アメリカ・ガルベス トン高潮 209	1969 年黒部川氾濫 174 206	2012 年茨城・栃木巻 216
1934 年室戸台風 141, 203	1970 年ハングラデシユ高潮 176 年台風 17 号 136, 141 1976 年台風 17 号・長良川 氾濫 163	1792 年姫仙・眉山崩壊 58, 114, 117, 124, 239
1938 年茨城・土浦洪水 184	1981 年小貝川氾濫 149. 150, 156, 182	1938 年阪神大水害 239
1945 年枕崎台風 142, 241	1982 年長崎豪雨 133, 180, 241, 287	1945 年枕崎台風 142, 241
1947 年カスリーン台風・一 関洪水 160, 180	1983 年鳥取豪雨 181	1961 年梅雨前線豪雨 240
1947 年カスリーン台風・利 根川氾濫 150, 159	1986 年台風 10 号・小貝川 氾濫 146, 170	1963 年イタリア・ザイヨ ンダム地すべり 228
1948 年アイオーン台風・一 関洪水 168, 180	1986 年台風 10 号・板川氾 濫 170, 184	1967 年 7 月豪雨 190, 210
1950 年ジェーン台風高潮 204	1986 年台風 10 号・板川氾 濫 170, 184	1970 年ベルー・ワスカラ 岩屑なだれ 237
1953 年 13 号台風高潮 201	1986 年台風 10 号・阿武隈 川氾濫 171	1984 年御岳岩屑なだれ 238
1953 年西日本水害・白川氾 濫 180	1990 年千葉・茂原巻 211	1985 年長野・地附山地すべり 0 230
1953 年西日本水害・筑後川 氾濫 172	1991 年ハングラデシユ高潮 206	1986 年中越地震 228
1957 年謙早豪雨 179	1991 年台風 19 号強風 41, 210, 283	異常気候災害
1958 年狩野川台風内水氾濫 188	1993 年平成大治害 248	1980 年東北台害 248
1959 年伊勢湾台風高潮 201		1993 年平成大治害 248

自然災害の予測と対策  
—地形・地盤条件を基軸として—  
定価はカバーに表示

2012 年 7 月 20 日 初版第 1 刷

著者 水谷邦造  
発行者 朝倉書店  
会社 東京都新宿区新小川町 6-29  
郵便番号 162-00707  
電話 03(3260)0141  
FAX 03(3260)0180  
<http://www.asakura.co.jp>

© 2012 『無断複写・転載を禁ずる』  
ISBN 978-4-254-16061-1 C 3044  
Printed in Korea

JCOPY <(社)出版者著作権管理機構 奉承出版物>

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

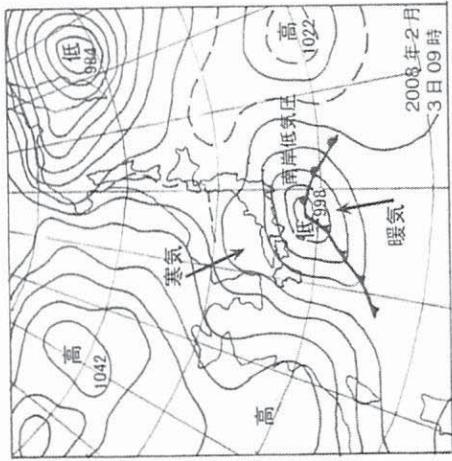


図 4.59 太平洋岸に大雪をもたらす南岸低気圧

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。この這い上か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られ、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、関東平野は雨雲・雪雲の範囲からはずれる。

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、地上附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 $2\sim4^{\circ}\text{C}$ 以下、上空 1500 m の気温が氷点下 $5\sim6^{\circ}\text{C}$ 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 10 mm では 10 cm の積雪になる。日本海側とは異なり雪が少ない関東では、10 cm 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斷され停電などを起こす。過去 50 年間ににおける日積雪深の最大は、つくば（館野）で 22 cm (1986 年)、東京で 33 cm (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、岩屑などがある。斜面構成層の安定を乱して移動を起こす要因には大雨、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つても、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。しかしことび動きが始まると、その運動は地形の支配を大きく受けようになるので、危陥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つ張られている。一方、地層はそれをに抵する力を働かせて、斜面の変形や移動を抑える（図 5.1）。何らかの原因により（大雨と地震が主要な要因である）、地層内のある面において、下に引つ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、 $\theta$  を斜面傾斜角として

$$F = W \sin \theta$$

(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な要因である。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

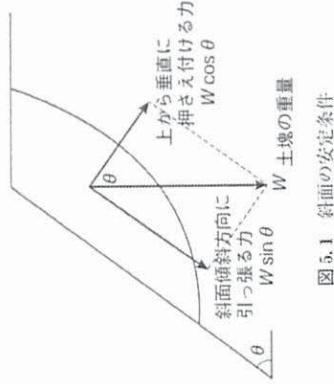


図 5.1 斜面の安定条件

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、 $\theta$ が25°よりも小さいとほとんど発生しない。

この滑動力に對抗するせん断抵抗力  $r$  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  $\tan \phi$  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

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

と表される。ここで  $\phi$  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式は、次式で示される。

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

ここで、 $F$  は安全率、 $L$  はすべり面の長さ、 $W$  は土塊重量、 $\theta$  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  $\alpha$ 、重力加速度を  $g$  として、 $K_h = \alpha/g$  である。ここでは垂直加速度は小さいとして無視している。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。

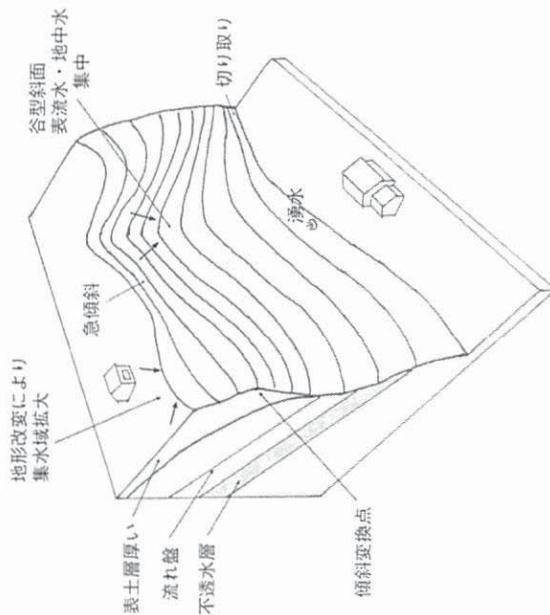


図 5.2 斜面崩壊の危険箇所

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、準んだ谷型(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、中央が溜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が起きやすい。

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、それが厚いといいのは不安定な条件である。基盤岩など難透水層の上面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・滞留に関する地盤構成は最も重要な一つですが、外部からこれ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。いつも水が浸み出しているところ、とくに、雨の時すぐに湧き水の量が増え、それが湧っているところは、要注意斜面である。

人为的な条件では、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を行われたところ、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。まったくの山崩は別として、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、変質した粘土になりやすい火山岩・変成岩、シラスとも呼ばれる火碎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・火碎流堆積物など、性質の異なる地層が流れ疊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	30m以上	3
	10~30m	2
	5~10m	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	未固結砂岩	3
	半固結砂岩	2
	風化岩	1
地盤構成	流れ疊構造	3
	厚い透水層の下に不透水層	2
	50cm以上	3
表土の厚さ	10~50cm	1
	降雨時に湧水	3
湧水	常時湧水	1
	斜面内に道路など建設	3
地形改変	斜面の上方で市街化進展	1

点数は仮に与えた値。

## 5.1 斜面崩壊・地すべり

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、最も不安定側に倒いた場合には、その垂直加速度成分が重力加速度と合成されて、重力加速度が図のGのようになりますと考えられる。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つたような効果が生じる。旧震度6の下限に相当する振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(したがつ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、斜面上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、また水を集めることはないので、尾根・山稜などでも崩壊が生れる。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、地震による崩壊の規模は巨大化する可能性がある。崩壊土の運動には初速が加わり、いわば放り出された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とも、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既定し難いし、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

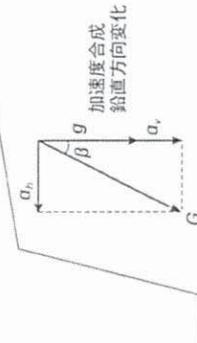


図5.3 地震動の効果

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<sup>3</sup>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。このような崩壊のは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。降雨とは違い地盤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地盤の生じやすい地質構造の山地である。富士山型の大型崩壊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ず、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つ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度予測は可能であるから、前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倍までの範囲を危険区域とすることができる。

#### 5.1 斜面崩壊・地すべり

陥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防ぐ、土砂の衝撃力を弱めるという手段がある。

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。このようにままかな地形条件を指定の基準としているといふことは、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、斜面地盤の歪み(微小な変形)の増大、地下水压の上昇、間隙水压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つても可能で、その変化速度が急増しあ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

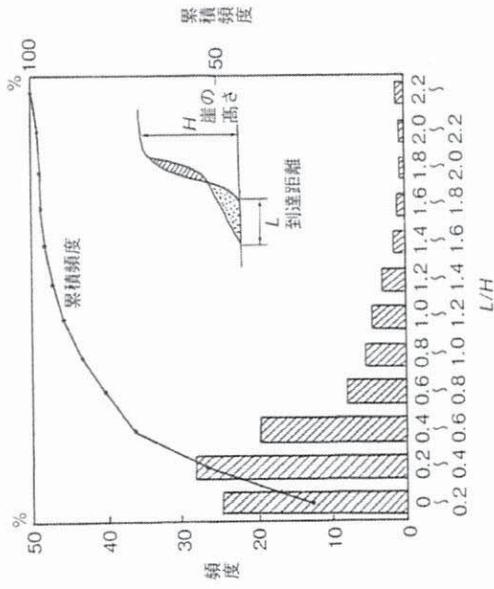


図5.4 崩壊土砂の到達距離

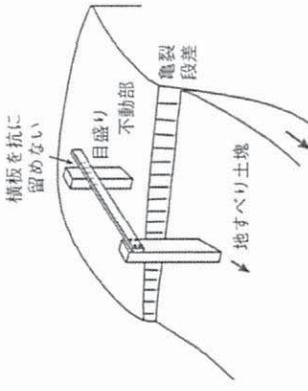


図5.5 地すべりの運動の簡易測定