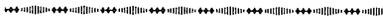


集中豪雨による傾斜地災害の予測

黒田和男(環境地質部)

はじめに

自然現象にもとづく災害には すべて素因と誘因がある。たとえ素因があっても 誘因がなければ災害は発生しないし 誘因があっても 災害を発生させるような素因がそこになければ別種の災害は発生するかも知れないが 本来の災害は発生しない。本稿の場合に 誘因は集中豪雨であり 素因はたとえば傾斜地の地形・地質・土性・林相など そうして都市域の場合には 人工による土地条件の改変が加わっているのである。以下に述べる文章は 建築物・住居・道路など各種の保全対象物に防災上の指針を与える場合 地質学の立場からどのように事象をみるかについて 筆者の考えをまとめたものである。



災害とは

私たちは「災害」という言葉をほとんど無意識に使っているが これを学問的に正確に定義づけてみると難かしい問題である。私たちが取り扱っている災害は大きくみて例えば落雷による火災と 過失や放火による火災とが比較されるように 自然現象による災害と 直接人の手によってなされた災害とに分けられ 後者は「人災」と呼ばれ区別されている。そうしてこれから述べようとする災害は 自然現象による災害であり 少なくとも私たちの研究分野が「地球の表面」を対象にしている限り 自然現象がどのようにして災害となってくるかを考えねばならない。

ここに1つの例を述べてみる。何かの気象異変 たとえば落雷で火事が発生して森林の一部が枯れ果ててしまったとする。その森林があることで生存していた動物群は 生存するための根拠を失ってしまうことにより 滅亡の危機にさらされるとすると その動物群にとっては 落雷による火事で森林がなくなってしまったという異変は「災害」となる。しかし 森林や動物群が人間生活に関係をもたなければ この火事は格別に「火災」としての意味をもたないであろう。逆に 森林をもって生活の根拠とし 動物群がいることによって生計が立てられている人々がいた場合 落雷による火事の発生は「災害」としての意味をもって来るのである。

同じことは 山くずれ現象にも言うことができる。

人が住まない深山幽谷に大きな山くずれが発生したとしても それは「災害」としての意味をもたないであろう。山くずれのために 人間の生命や財産が失なわれることはないからである。しかし 人家が密集する場所で発生した山くずれは 生命や財産の安全がそこに関係するので「災害」としてニュース種になったりする。

日本では 人の手にかからない場所は皆無であるといつてよいであろう。たとえ深山幽谷であっても 森林はそれなりに私たちの生活の一部分とかかわりをもっており これが山くずりで荒廃したとなつては 少なくとも何らかの財産が損失したことになり あるいは生活系の一部に変化を余儀なくさせられるので 山くずれ・地すべりを始めとするすべての破壊的な変化をもたらす自然現象を 単純に「災害」と称していたようである。

さて 天然自然には 時の流れに応じた変化があり その変化があるための結果として 現在私たちのまわりに見ることができる地形起伏・林相等の自然環境が定まっているわけである。その自然環境も 天然自然の法則にしたがって時々刻々と変化している。その変化にもいろいろの段階があり 私たちの目に見えないいつの間にか進行しているもの 何年ごとの周期で繰り返されるもの 平均すれば何10年に1回という割合で発生しているが 私たちの目には突発的に変化するように見られるもの 極端な場合にはその地の長い地質時代の間にもわずかに1回しか発生しないような変化と 多くの段階のものがある。その中に人間が入り込み その流れに巻き込まれ あるいは流れにさからおうとしている所に生命財産がおびやかされる事変すなわち「災害」が現れるのである。言いかえれば 自然の中に人間が割り込んだ結果 自然現象がたまたま人間の生存に悪い事件を及ぼすことが「災害」であるといえることができる。

最近では 自然の中に人間が割り込むだけでなく 天然自然の流れの方向を変えたり 加速させたりする傾向が著しい。その結果は「災害」の質まで変化している。人間活動によって生産された物質が 天然自然の流れに加わって発生するものが「公害」であるけれども 「公害」や「人災」と区別のつかない災害が 今後ははいよいよ増えていくであろう。

災害防除の研究目標

私たちが生活している所は地球の表面である。ここでは人間が様々の自然現象に出会いこれとかかわりをもっている。地質家はこれらの現象のあるものを地質現象と呼び観察している。人間生活がこの地質現象の中に割り込んでくるものであるならば地質現象を支配している法則が完全にわかってしまえばこの法則を生活を営む上で利用・活用することができるであろう。「防災地質」という言葉があるならばその内容は「災害を予知・予測するための地質学」でありここでは地質現象の研究すなわち地史の研究ではなく現在までの地史の上に立って現在地表や地下のどの部分ではどのような地質現象が進行しているかその機構はいかなるものかを明らかにしてその結果を私たちが生活を営むうえでの指針とすることである。

災害を予知・予測する立場から考えた場合いずれにしても地質現象の流れの中に人間が置かれるのであればそうしてその中から人間生活に害を及ぼすものに対処して行くならばその方法には地質現象の流れが及ぶ範囲から逃げてしまいか流れの中にうまくおさまって流されるかあるいは強引に流れにさからうかの3つの場合が予想される。この場合流れの及ぶ範囲とはいわゆる影響圏である。

私たちの分野で災害のもとになる地質現象を列挙してみても山くずれ・地すべり・河床洗掘・海岸侵食・河口異常堆砂・地盤沈下・地震・噴火など種々のものがあるがいずれにせよ現象が及ぶ範囲(影響圏)から逃げることが出来るもの現在の科学の段階ではまず影響圏から逃げ出すことが不可能なものなどいろいろの段階がありこれが「災害」に対処する基本姿勢を決定していると言うことが出来る。

通常「防災地質」の中で扱われる現象には素因や誘因が挙げられている。崖くずれのように誘因が短時間に集中する多量の降雨であるというような例もあればある種の地すべりのように素因は地質環境であることがわかっているが誘因がはっきりしないものさらには地震のように科学の現段階では素因・誘因がはっきりせず私たちの目には時と場所を限らず突然襲ってくるように見えるものなど素因・誘因をみてもいろいろの段階がある。そうして各々の段階に対応して

もちろん地震予知そのものの研究も第一の目標ではあるけれどもそれよりも地震が発生した場合に少しでも災害が減少するにはどのような対策をとるべきであるかとの目的で地震対策その中の一項目として耐震設計に必要な地盤の研究が進められている。

- 2) 発生を予知することが可能な土石流のようなものは土石流による災害発生土地条件とは別に土石流の誘因となる集中豪雨の予知に関する研究すなわちいつどこでどのような強さの雨が降るかを知って警報を出すタイミングを出す技術が研究として進められいわば影響圏から逃げてしまうことに方針が向けられている。
- 3) 逃げてよいが土木技術の進展によって現象の流れの中を強引にさからうというものは自然堤防の上に住居をかまえながらなお堤防によって嚴重な防壁を作っている輪中集落の例が挙げられる。そうして私たちのまわりにはこの場合が余りにも多過ぎると言ってよいであろう。ちなみに防災工学はこの部分が役割である。

結局災害を無くするためには地質現象の把握それも素因・誘因・影響圏の3つにわたった詳細な解析が必要であり科学の現段階ではどの程度にまで素因・誘因・影響圏の設定が可能であるかをよく知っておくことが重要である。地震のように科学の現段階では素因・誘因がはっきりせず私たちの目には突然襲ってくるように見えるもの噴火のように素因・誘因はわからないが場所(影響圏)が限られており微小地震や地表の傾斜変化などの前兆をつかむことによりある程度予知が出来るものある程度の地すべりのように素因をつかむことは出来るが誘因がはっきりしないために突発的現象として見えるもの等現在の段階に応じて防災工学や政策の対応が認められる。

昭和38年度に発足した文部省科学研究費による特定研究「災害科学」はその後自然災害科学特定研究と名称を変えながらも現在まで続いている。その研究の前提は各種の減災・防災対策に守られて私たちは生活しているがひとたび異常な自然現象に見舞われると減災・防災の諸施策のもつ防災的機能の能力を上廻る自然の加害力が発生し大災害となる。したがって異常事態での災害を防止・軽減することが研究の目標である。具体的には研究の目標は次の表のようになる。表-1は自然現象の中でも地質現象といわれるものだけにに関して抜粋したがこの中で丸印をつけたものが本稿で述べようとしている集中豪雨による傾斜地災害に関するものである。

- 1) その発生を予知することが不可能な地震のようなものは現象の流れの中にうまくおさまって流されるという事に方針が向けられ耐震工学分野での発達となっている。も

斜面崩壊の発生機構

集中豪雨による斜面崩壊は地盤を構成している地質

表-1 自然災害科学の指向する主要な研究課題

目 標	研 究 課 題
1. 災害に係わる 現象の予知	台風の発生規模と進路予測
	<ul style="list-style-type: none"> ● 集中豪雨の発生機構と予知 ● 地すべり山くずれ 土石流の発生機構と予測 ● 土砂流出の予測 ● 地震の発生機構と予知 ● 活断層の分布 ● 噴火の発生機構と予知 ● 測定機器の開発活用
2. 災害に係わる 現象の極値	<ul style="list-style-type: none"> ● 豪雨の地域分布とその極値 ● 流出土砂量の極値 ● 災害要因としての地震動および噴火の極値
	<ul style="list-style-type: none"> ● 法面土留構造物の破壊限界 ● 河川構造物の破壊限界 ● 地盤の動特性と破壊条件 ● 構造物の動的挙動と破壊限界 ● 斜面の振動破壊
3. 防災機能の破壊	<ul style="list-style-type: none"> ● 法面土留構造物の破壊限界 ● 河川構造物の破壊限界 ● 地盤の動特性と破壊条件 ● 構造物の動的挙動と破壊限界 ● 斜面の振動破壊
	<ul style="list-style-type: none"> ● 氾濫水土砂の挙動 ● 土地利用型態と被災規模 ● 地震活動度と震害分布 ● 火山噴出物の性状と災害分布 ● 災害の社会経済的側面
4. 被災の メカニズム	<ul style="list-style-type: none"> ● 土砂災害の防止対策 ● 洪水土砂災害 地震火災 ● 噴火の予警報避難救急システム ● パニック発生の防止システム ● 災害対策からみた地域都市計画
	<ul style="list-style-type: none"> ● 土砂災害の防止対策 ● 洪水土砂災害 地震火災 ● 噴火の予警報避難救急システム ● パニック発生の防止システム ● 災害対策からみた地域都市計画
5. 防災・減災の システム	<ul style="list-style-type: none"> ● 土砂災害の防止対策 ● 洪水土砂災害 地震火災 ● 噴火の予警報避難救急システム ● パニック発生の防止システム ● 災害対策からみた地域都市計画
	<ul style="list-style-type: none"> ● 土砂災害の防止対策 ● 洪水土砂災害 地震火災 ● 噴火の予警報避難救急システム ● パニック発生の防止システム ● 災害対策からみた地域都市計画
6. 環境変化と災害	<ul style="list-style-type: none"> ● 土地利用形態性状変化に伴う地震災害 ● 土地利用形態変化に伴う土砂水害危険度の変化予測 ● 地盤沈下の進行予測
	<ul style="list-style-type: none"> ● 土地利用形態性状変化に伴う地震災害 ● 土地利用形態変化に伴う土砂水害危険度の変化予測 ● 地盤沈下の進行予測
7. 地域災害	<ul style="list-style-type: none"> ● 特殊地域(シラス フォッサマグナなど)の災害危険度と予測 ● ○○地域における大地震 ● 発生時の震害予測と対策
	<ul style="list-style-type: none"> ● 特殊地域(シラス フォッサマグナなど)の災害危険度と予測 ● ○○地域における大地震 ● 発生時の震害予測と対策

表-2 最近の主要傾斜地災害年表

年 月	通 称	おもな現象
昭和28年9月	南山城水害	風化花崗岩地帯の崩壊 土石流
昭和32年5月	諫早の水害	多良岳の山くずれ 土石流
昭和33年9月	狩野川台風	伊豆地方山くずれ 多摩丘陵斜面崩壊
昭和36年6月	36・6豪雨	伊那谷地方 風化花崗岩地帯の崩壊 大鹿村 大西山 大崩壊
昭和37年7月	(梅雨前線)	佐賀県多良岳南東麓 火山岩地帯斜面崩壊 太良町権現山 大崩壊
昭和39年7月	山陰・北陸豪雨	島根県大原郡 風化花崗岩地帯の崩壊
昭和40年9月	(台風24・25号前線)	岐阜・福井県境 能郷白山周辺崩壊・土石流 徳山村白谷 大崩壊
昭和41年6月	(台風4号)	横浜市 がけくずれ
昭和41年9月	(台風24・26号)	山梨県東部 足和田村 土石流 静岡県梅ヶ島 土石流
昭和41年10月	(台風39号)	尾鷲土石流
昭和42年7月	42・7豪雨	長崎県佐世保市北方 第三紀層地帯がけくずれ 広島県呉市 花崗岩地帯がけくずれ 土石流 神戸市 花崗岩地帯がけくずれ
昭和42年8月	羽越豪雨	新潟県榊形山脈 土石流
昭和43年8月	飛騨川豪雨	美濃加茂市東部 斜面崩壊 バス転落事故
昭和44年6月	(前線豪雨)	鹿児島市 シラス斜面崩壊
昭和44年8月	(前線豪雨)	新潟県 青海土石流
昭和45年7月	(前線豪雨)	房総半島中部 斜面崩壊
昭和46年9月	(前線・台風25号)	千葉県北部および房総半島中部 斜面崩壊
昭和47年7月	47・7豪雨	富嶺県真幸 土石流 熊本県天草 山くずれ・土石流 島根県西部高津川 土石流 高知県土佐田町繁藤 大崩壊 愛知県・岐阜県境 花崗岩地帯斜面崩壊 神奈川県丹沢山地 山くずれ・土石流
昭和48年9月		北海道南部 斜面崩壊土石流
昭和49年4月	(融 雪)	山形県最上郡大蔵村赤松 大崩壊
昭和49年7月	(台風8号前線)	香川県小豆島 山くずれ土石流 静岡県静岡市周辺 斜面崩壊 神奈川県横須賀市 がけくずれ
昭和50年6月	(前線豪雨)	鹿児島県垂水市周辺 山くずれ土石流
昭和50年8月	(前線豪雨)	青森県岩木山周辺 百沢土石流 山形県北部山くずれ
昭和50年8月	(台風5号豪雨)	高知県吾川郡地方山くずれ土石流 徳島県剣山周辺 山くずれ土石流
昭和51年7月	(前線豪雨)	静岡県伊豆半島東部・南部 山くずれ 東伊豆町白田 大崩壊
昭和51年9月	(台風17号豪雨)	高知県高知市周辺 中古生層山地山くずれ 土石流 徳島県那賀川上流 山くずれ 香川県小豆島 土石流 岡山県赤穂市周辺山くずれ土石流 兵庫県栗原郡一宮町福知 大崩壊
昭和51年10月		長野県上水内郡信州新町 奈良尾地すべり
昭和53年5月	(融 雪)	新潟県中頸城郡妙高高原町 妙高土石流

災害科学総合研究班(1977) わが国の自然災害科学より1部を抜す

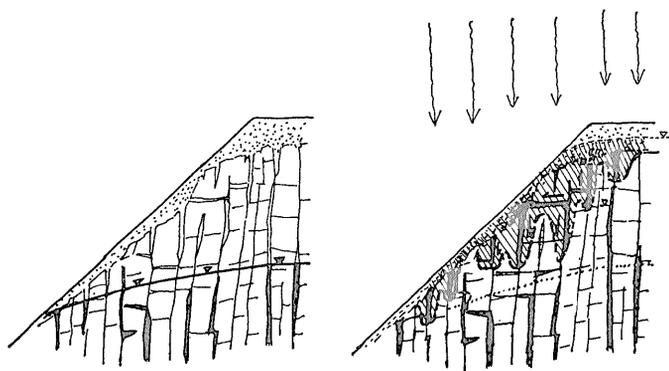


図-1 山体中の地下水面
左側は平常時 右側は集中豪雨時で山体の上部に 一時的な飽和帯がある

の条件から いわゆる「すべり面」が風化生成物の中あるいは風化生成物と基岩との境界にあるものと 基岩の中にあるものとの2つに分類できる。

建設省土木研究所(1973)では かつて崖くずれ災害を受けたことのある地域を対象に 地盤の地質条件を表-2 のように分けてその発生頻度を調べてみた。

その結果 1-(2) 崩土の滑落 が圧倒的に多く これに次いで 2-(2)-a 崩積土の滑落 5-(2)-a 強風化岩の(マサ) 崩落が多く これですべての75%を占めていた。

筆者は 集中豪雨の際に発生する山くずれを その単位の大きさから経験的に小規模山くずれと 大規模山くずれとに分けている。小規模山くずれは 表土や風化生成物がすべり落ちる程度のものであり 大規模山くずれは岩盤内に「すべり面」があるもので 比較的稀であるが その規模が大きいために注目されやすい。

基岩の中に「すべり面」がある斜面崩壊の発生機構は次のように考えられている。基岩には 岩石が生成した時やその後の地殻変動によって 節理などの空隙や粘土脈のように 遮水壁としての作用をするものが発達しているが この基岩中の空隙部分に降水が侵入してここに局所的な間隙水圧の上昇が起こり この間隙水圧の局所的な上昇が ひきつづいて生ずる降水の侵入によって異状に高まった時に安定が破られることで 斜面崩壊が発

生ずる。この現象は理論的にも考えられていたが 最近は水文気象の観測データが蓄積されるとともに 大規模な降雨実験設備の登場によって裏付けされるようになった。

空隙が 通常の場合は水に充たされていないという事は 山体中の地下水位が低いということである。ここで長期間の連続降雨による注水があつて空隙が地下水で充満されることになるが これが徐々に行われている間は 地下水位の上昇も順調であつて 上昇に見合うだけの排水も行われ 崩壊もいづれ発生するようになるであろう。

集中豪雨の場合には 降水が基岩中の空隙に急速に侵入していくことになるが その速さは各々の空隙の性質によって異なるため 基岩中に局所的な間隙水圧の上昇が行われる。しかも 通気帯と飽和帯とが混在して いわゆる宙水が多数存在するという形が1時的に生じこれが連続してひとかたまりの水柱になった時に急激に基岩内に作用する間隙水圧が上昇して安定が破れ 斜面崩壊となる。やや巨視的にみると 集中豪雨による降水の侵入が地表から行われている際に 下降中の浸透水の前面の空気が圧縮されて 種々の挙動もするという状態が いづれ爆発的なエネルギーの放出となるらしい事も考えられている。(図-1)

このような斜面崩壊の発生機構から 集中豪雨によって崩壊が発生する条件を考えると まず基岩中に一時的にせよ地下水が貯溜されるような状態がなければならない。基岩中の空隙の発達は良好であり しかもその発達が不均等であることが必要である。たとえば 緻密であるが割れ目が発達している岩石と やわらかいが水を通しにくい岩石とが入り組んでいるような場所はその1例である。図-2 は昭和37年7月に佐賀県多良岳東麓で発生した崩壊を図示したものであるが 斜面の上部は安山岩質の熔岩流で緻密ではあるが柱状節理が発達し岩体としての透水性は大きい。斜面の下部には若干粘土化した凝灰角礫岩があり 透水性は上部の岩体に比較

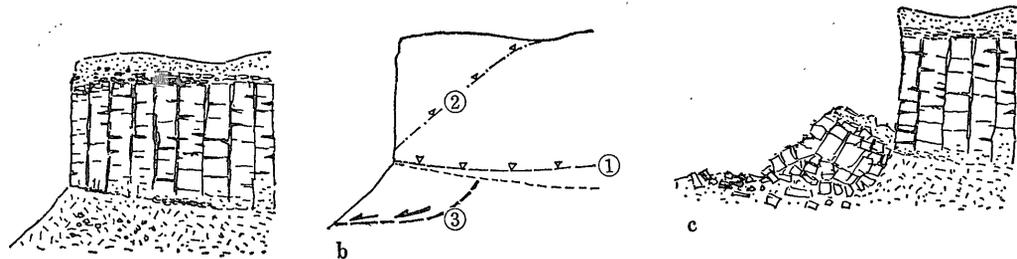


図-2 左側 崩壊前 右側 崩壊後 ①は 崩壊前の地下水面 ②は 集中豪雨時の地下水面 ③は すべり面を示す

して著しく劣っている。また熔岩と凝灰角礫岩との境界は 前面の崖に対して受け盤状となっていた。さらに 斜面の背後は熔岩台地となっており しかも背後には若干周囲より低い窪地があつて 集中豪雨があつたという条件に 台地上に降つた水がこの窪地に集中して大量の地下浸透水の供給をもたらしたものである。この場合に 「すべり面」 は粘土化した凝灰角礫岩中であつて 熔岩流の中に大量の注水が行われ 岩盤自体の荷重が急激に増加したことも 崩壊の1つの原因となつて いると考えられている。

風化生成物と基岩との境界 あるいは風化生成物の中に「すべり面」がある崩壊現象も 原理は同じである。さきに土木研究所による調査結果でも述べたように 集中豪雨に伴つて発生する崩壊の大部分はこの種類のものであつて 台地の末端や急な山腹斜面で浸透流が集中しやすい谷型の斜面ではどこでも発生する可能性をもつて いる。今までの例からいえば 風化帯と基岩との境界が物理的にも不連続な面を作りやすい花崗岩・泥質岩では 集中豪雨時には崩壊が多発している。次項でその例を述べてみよう。

斜面崩壊の実例

昭和45年7月 関東地方南部を襲つた集中豪雨の際 千葉県下に発生した斜面崩壊には 泥岩地帯と砂岩地帯との間に次のような相違のあつたことが報告されている (千葉県 1971)

- 1) 泥岩地帯 小規模の崩壊が大半であるが 断層帯のものには中規模程度のものである。崩落は シルトないし粘土状を呈する風化部の表層崩壊で 崩落面は層理面あるいは割れ目に沿つてゐる。崩落面では新鮮な岩盤をみる ことができる。また崩落面には鏡肌面がみられるが これは上方の土塊が崩落したためである。
- 2) 砂層地帯 砂層は 一般に未固結であるために 新鮮部と風化部とを かたさの程度によって判然と区別することは困難である。素因として 地表付近の浸透能の強弱 表流水に対する抵抗性の大小 深部の地層の透水性の大小 などが重要視される。崩壊の規模は大から小までさまざま まで 砂層の崩壊としては 集水性の大きい地形要素がむしろ 支配的である。

昭和46年の秋雨前線では 泥質岩と砂層の場合には 同じようにならなつた崩壊の状況がみられた。

- 1) 泥質岩の場合 泥質岩の層理面の傾斜が 斜面の

表-3 崩壊型の分類

1. 表土	(1) 崩落	
	(2) 滑落	
2. 崩積土	(1) 崩落	
	(2) 滑落	a. 基盤との境界 b. 崩積土中の滑落
3. 火山碎屑物	(1) 崩落	a. シラス・ローム等 b. 風化した集塊岩 凝灰角礫岩等の崩落
	(2) 滑落	シラス・ローム等
4. 段丘堆積物	(1) 崩落	a. シルト等の不透水層がある場合 b. 礫を含むルーズな堆積物からの礫の抜け出し
	(2) 滑落	
5. 強風化岩 (マサ・温泉余土)	(1) 崩落	
	(2) 滑落	
6. 岩 (I) (硬岩)	(1) 崩落	a. 割れ目で囲まれたブロック崩落 b. 互層になっている時 下層が侵食に弱く 上層が残されているもの c. 同一地層でも 下部が侵食に弱く 上部が残っているもの d. 熔岩の節理による崩落
	(2) 滑落	a. 地層の境界面での滑落 b. 断層 割れ目の組合せによる滑落 c. 礫岩・集塊岩で礫と粘土石灰岩 火山灰などの膠着部の境界沿いの滑落
7. 岩 (II) (第三紀層などのいわゆる軟岩)	(1) 崩落	a. 互層になっている時 侵食に強い層が残る それが崩落 b. 第三紀層の頁岩の表面剝離による崩落
	(2) 滑落	a. 頁岩の層理面沿いの滑落 b. 砂岩・頁岩の二層にまたがる滑落

(建設省土木研究所資料 722 号による)

図-17 銚子地区崩壊模式図(成田層)

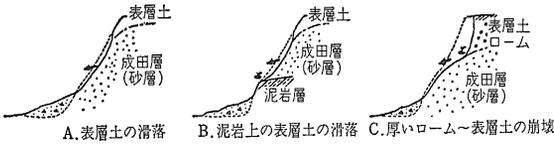


図-18 小見川地区崩壊模式図(成田層)

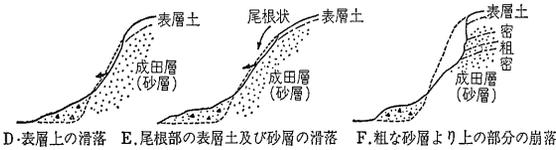


図-19 泥岩の崩壊模式図



図-3 千葉県下 斜面崩壊の模式図(建設省土木研究所による)

傾斜方向に一致するか逆方向かによって異なり また泥質岩表面の風化の程度によっても異なる。層理面が斜面の方向と逆の場合には 浸透した降水は泥質岩中で地下水の包蔵体を作り 排水よりも貯溜の方が多くなって崩壊の規模は大きくなる。層理面と斜面の傾斜の方向が一致する場合には 表層土の崩壊があるいは風化した部分と未風化の基盤との境界で崩壊する 경우가多く 規模は小さい。

2) 砂層の場合 砂層は塊状で層理に乏しく この場合表層土は崩落しているが 尾根部分では樹木が強風のためにゆさぶられて表層土が攪乱され そこにしみ込んだ雨水や表流水によって表層土および砂層も崩れ 崩土は比較的速くに達している。

同じ砂層でも 部分によって粗粒部と細粒部が成層している場合 シルトや粘土が互層状となっている場合には 崩壊はその部分で深くなっている。

図-3 は 建設省土木研究所(1969)の挿図をそのまま転載したものであるが 泥質岩と砂層との間の崩壊状況の差 同時に崩壊の発生機構が 塊状均質の岩層と層理などの剝離面がある場合とで差があることを示している。

昭和39年7月 島根県東部に集中豪雨があり 花崗岩地帯に多数の崩壊が発生した。この際に発生した崩壊は次のように分類された(三浦 1966-67)。

1) 節理型崩壊 崩壊が花崗岩の節理面と密接な関係をもっているもの。一般に花崗岩には数方向に顕著な節理面

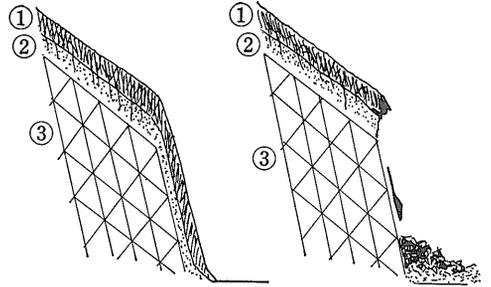


図-4 風化花崗岩地帯の節理型崩壊(三浦 1966-67による) ①表面板状体 ②中間帯 ③基岩(風化花崗岩)

があって 風化の進行にしたがい節理面に沿って モンモリロナイトの薄層が形成され これはマサ化しても残り このような所が剝離面となって崩壊する(図-4)。

- 2) 表層滑落型崩壊 風化した花崗岩地帯では 基岩のうえに風化生成物があり その上の表層は 植物の無数の根系によって堅く結ばれて表層板状体が形成されている。各部分は物理的に不連続であり 崩壊は 中間体全体の崩壊によってひき起こされる流動化現象と 密接な関係をもっている。
- 3) 複合型崩壊 表層滑落型崩壊が原因で その運動過程において節理型崩壊を伴うもの
- 4) 脈岩型崩壊 花崗岩体中に存在する脈岩があり しかも風化花崗岩体中で地下水の受け盤としての役割を果たしていると その面に沿って小規模の崩壊が起こり 時に母岩の花崗岩が熱水変質を受けている時は 規模が大きい。
- 5) 断層破砕帯型崩壊 一般にいう地すべり性の崩壊であって 花崗閃緑岩と黒雲母花崗岩が断層接触をなし 幅100m 以上にわたって破砕化されている所に円弧型のすべりが発生した。
- 6) 崖錐型崩壊 花崗岩それ自身に発生する崩壊の型式ではなく 過去において発生した崩壊にもとづく崩積土の再崩壊で 山くずれの大きいものはこの型のものが多い。崩壊は基岩との境界付近から起こり 流動性地すべりの性状をもつ。

以上6つの分類の中では 節理型と表層滑落型あるいはそれらの複合型が多数を占めているが 風化した花崗閃緑岩は節理型 やや風化のおくれた花崗閃緑岩や黒雲母花崗岩では 圧倒的に表層滑落型が多い。

斜面崩壊を起こしやすい地質は 定性的には多くの報告がある。上に述べた例を含めて 風化してマサ土となった花崗岩地帯(南山城・伊那谷・島根県東部・東濃西三河)や急斜面をなしている花崗岩地帯(神戸市・新潟橋形

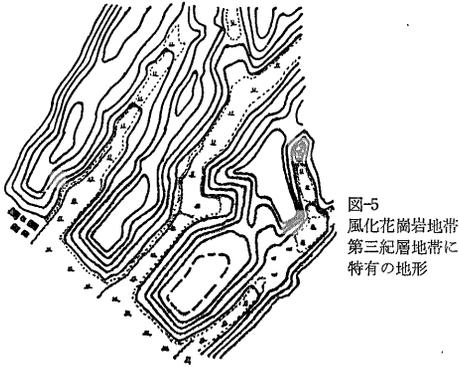


図-5
風化花崗岩地帯
第三紀層地帯に
特有の地形

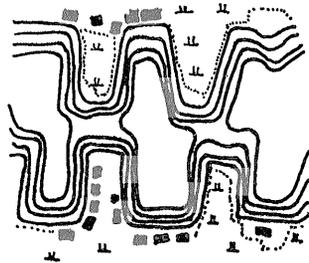


図6-1 第三紀層の丘陵地帯に特有の地形

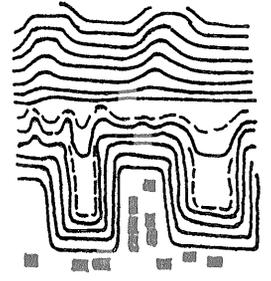


図6-2 古生界の里山地帯に特有の地形

山脈・広島県呉市) 第三紀の泥質岩地帯(佐世保北西方・房総半島) 新第三紀の砂層地帯(千葉県東部) などは同一の岩石からなる地域に限って まとまった発生をしている。

このほか 崩壊の頭部が線状に分布している場合がある。たとえば安山岩熔岩と凝灰角礫岩との境界付近(赤城山周辺・多良岳周辺) 古生代のチャートと粘板岩との境界付近(美濃加茂・高知県吾北地方) その他多くの例が挙げられる。この場合 斜面の上部を占めている岩石は緻密で岩片としては透水性に乏しいが 割れ目が多数発達し 常時は地下水位が低い集中豪雨の場合に降水が充満しやすい条件にあり 下位を占めている岩石は相対的に透水性に乏しい。この組み合わせは屏風型の稜線をもち 山腹傾斜の急な山体が組織地形として形成されており 後述の土石流を発生させやすい条件ともなっている場合が多い。

すでに述べたように 斜面崩壊が発生しやすい地質として 風化花崗岩地帯 新第三紀末の泥質岩地帯 砂層地帯を挙げた。その他 過去に災害の多かった地帯をみると 図-5のような地形を呈しているところが多い。すなわち 現在の堆積基準面と 稜線をもとにした地形面との比高が小さく 斜面の傾斜が急である。さらに細長い平底谷がどこまでも続いて 一般の場合谷底は水田に利用されている所である。このような場所に集中豪雨があれば その地帯を構成している岩石の種類が如何にかかわらず 浸透水が集中しやすい場合で斜面崩壊が発生している。

よく言われているように 岩石の種類によって地形・植生・水文その他すべての自然景観が定まる。さらに言葉を続けるならば 私たちの眼前にある景観は その土地がたどって来た地史の所産である。細長く発達した平底谷が 台地を深く刻んでいる地形で特長づけられるような地帯は 日本ではよくある地形である。また

このような地域は 昔からの生産活動も著しく 集落が発達した土地条件にある。

図-5 や図-6 も 第三紀の泥岩や 粘板岩・千枚岩を主とする古生界の地帯で「里山」と呼ばれるところでは 一般にみられる地形である。図-6 の背後に山腹傾斜が連続している場合には 集中豪雨の際に背後からの表流水や 背後の山に浸透した地下水の水頭が作用するために 土石流が発生しやすいとされている地形である。

斜面崩壊の予測手法

斜面崩壊の予測は 防災対策をとるための対象物があって 初めて行われるものである。対象物を限った場合には 背後の傾斜地を構成している岩石の種類は定まっているので その中から 地下水を充満させやすい節理系などの空隙の存在を予想すればよい。

とはいうものの 背後地を構成している岩石が露頭として見える場所では 周辺の地質の踏査から空隙の賦存状況を判断できるかも知れないが 一般の場合には風化生成物や植物で被覆されているために 直接に対象物の背後地がどのような空隙や節理系が発達しているかを判断するのは困難である。その場合には 種々の調査方法(物理探査や土質調査といわれているもの)が考案されているので 土地条件に応じて適宜 手法を選択することとなる。

今までの研究例から集中豪雨と斜面崩壊との関連性は次のようにまとめられている(田中 1977)

- 1) 本格的降雨に先行する約15日間の降雨が 数日の間隔を置いて30~40mmのものが数回か 50~80mmの降雨が2回程度で 合計140~150mmを超えると 本格的降雨と相まって斜面崩壊に有効に作用する。
- 2) 1降雨の量が 40~50mm 以下の場合には 不透水性または難透水性の斜面流域でない限り その降雨は斜面の表面流出にはほとんど影響しない。この降雨は 表土層の含水

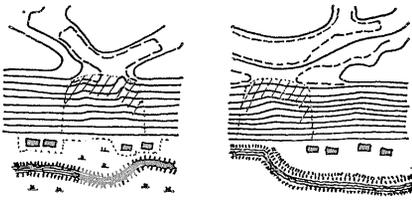


図-7 台地上に前輪廻の谷地形が残っている例
平常時には水流が無い場合が多い

量を増加させ 植生をぬらすために作用する。

- 3) 本格的降雨に関しては 強雨が少なくとも数時間以上継続しなければ崩壊し難い。先行降雨が存在しない場合には 3時間～5時間で 150～200mm 以上なければならず 約 400mm 以上の総雨量になることが斜面崩壊を引き起こす条件である。多数の山くずれや大規模崩壊が発生する時刻は 強雨が相当時間降り続いた後である。

斜面崩壊が発生した場合 崩土の到達距離は斜面下端から10mという例が多い。しかし これは崖の直下に人家があるために 崩土が前面に流れるエネルギーが人家で吸収されているから 実際はもっと大きいであろう。崩壊の高さと崩土の到達距離を比較すると 全体の80%



写真1 宅地背後の斜面崩壊(がけくずれ)で 一部損傷した家屋
地質は赤色風化を受けた結晶片岩である がけくずれの場合 斜面の高さの2倍が 崩土が到達する危険範囲と見なされてきた。

は1:1であるが ある程度の余裕を見た場合 崩壊の高さの2倍以内の距離にある人家は 被災のおそれがあると考えなければならない。しかし 具体的に地質構成から 直接に影響圏を予想するのは困難であろう。

地質条件のほかに 集中豪雨の効果が2倍にも3倍にも高められるような地形条件がある。これは前輪廻の地形が台地上に残っている 図-7の例である。筆者が考えるところでは 大規模崩壊の中には 微細地形をよく観察するとこの例に相当するものもある。

最後の手段として 同じような条件にある個所に同じような営力が働くと 同じ現象が発生するという経験的法則(?)が 判断のよりどころになる。少なくとも過去に斜面崩壊が発生したと全く同じ条件にある土地は今後も斜面崩壊が 同じような降雨状況で発生するであろうと予想することであるが 保全対象物を含む背後地だけでなく その地域全体の斜面崩壊の履歴をよく知っておき 災害予測を行うのが現状では最も確実な方法かも知れない。

本稿の始めに述べたように(集中豪雨による)斜面崩壊では 地質はあくまでも素因であって 斜面崩壊が発生するような条件がそこにあっても 豪雨という誘因がなければ 崩壊は発生しない。数10年に1回という豪雨あるいは「かつて経験されたことの無い」豪雨の際に斜面がどのような挙動をとるかを予測するには 全く同じような自然条件下にある土地に起こった災害の例を持ち出さねばならない。技術者の「勘——がおそらくそれは多くの事例が積み重ねられた結果が パターン認識と融和して判断材料となっているものであろうが——まだ頼りになる状況では 統一された尺度で作られた地質図を頼りに「土地条件のよく似たよその土地」の災害事例を観察することこそ 最良の予測手法であると言うのはどうだろうか。

土石流災害の予測

集中豪雨による災害のひとつに土石流がある。現在土石流に関する研究は 砂防工学の分野で進められており 地質学の分野では 現在地形として認められている扇状地は 過去に繰返し発生した土石流によって形成されたものであるという点を強調しておく。

斜面崩壊によって生じた岩塊や土石が 土石流や泥流に転化するためには 斜面にあった物質が粉砕されやすいという条件が必要である。厚く発達した風化生成物や半固結の岩石 あるいはシラスやロームなど火山性堆積物が 土石流や泥流に転化しやすい。

もう一つ 土石流が発生しやすい土地条件がある。



図-8 扇頂部に立地した集落の土石流被害

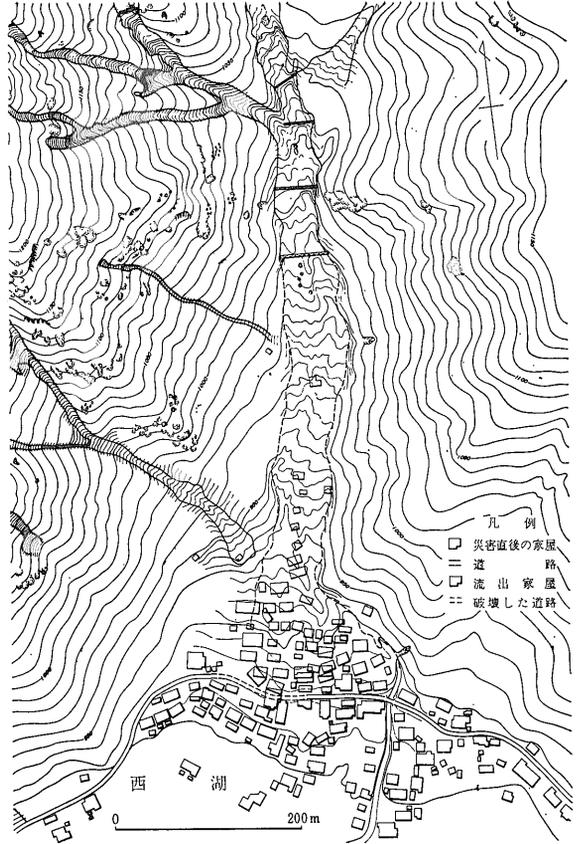


図-9 扇頂部に立地しているが土石流が集落の中で停止した例

これは 山体の上半分が岩石片としては 緻密であるけれども垂直に近い節理が発達し そのために斜面が著しく急であって 急峻な山稜が形成されていること 山体の下半分は 崖錐や扇状地が展開していることである。もちろん 崖錐や扇状地を形成している堆積物は 背後の山稜からもたらされたものであるけれども その形成時期は 第四紀の始めにまでさかのぼるものもあるかも知れない。 気象学での研究成果では 急峻な山稜は また集中豪雨を発生させるに足る気流の形成をもたらすとも考えられているが この解説はここでは省略する。

崩落した岩塊が土石流になると あとは斜面上をどこまでも流れ 流下のエネルギーが消費されてしまうまで運動が継続する。 この事は土石流災害を予測する場合の鍵になりやすい。 すなわち 扇状地が過去に繰返された土石流や泥流によって生じたものであるから 扇状地の末端は そこまで土石流や泥流が到達したという証拠である。

図-8 図-9は 昭和41年9月の通称足和田村土石流で被害を受けた集落の例である。 図-9では集落が抵抗体

となって土石流が停止しているが 図-8では抵抗体にならなかった。 いずれの場合も 地質現象の目でみれば 扇状地形成の歴史が繰返されたことである。

改変された土地に対する考えかた

最近の環境問題 あるいは災害の予知・予防対策に関する課題は 土地の形成を改変したことによって発生する災害である。 もちろん 大規模な土木工事は 事前の調査段階や工事中の施工管理中を含めて 安全のための調査設計を行わねばならないが 時として予想以上の営力が働いて 完成したばかりの構造物が破壊し その結果大きな災害が発生することがある。

土地の改変を考える場合 災害予測に関する一般的な法則は 人工によって不自然に改変させられた土地は 常に原型に復帰しようという営力が働いているということである。

永い地球上の歴史をふり返ってみると 現在 眼前に見られる地形は 地盤運動に海面の昇降 そうして気象

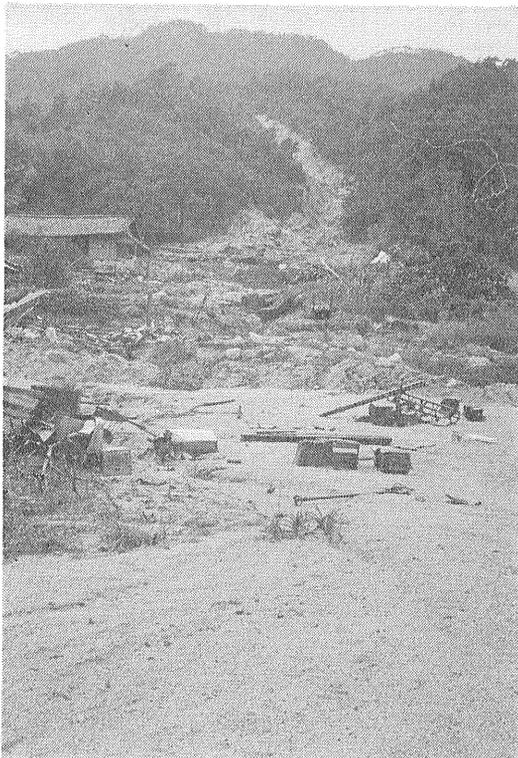


写真2 土石流が通過した跡 背後に見える山の山頂付近に崩壊が発生し、これが土石流となって土地を埋没させた。地質は花崗岩で、土石流といっても、前面に見えるものの大部分は、花崗岩質の砂である。

条件で規定される削剝作用などの営力を受けて形成され、おそらくその時点では最も安定な状態にあったか、安定な状態に向かっていたという状況が表現されているものである。

全く人工の加わっていない状態というのは、少なくとも私たちの身のまわりではあり得ないであろう。しかしある時期までの自然は、たとえ人工が加わっていたとしても、自然の営力にさからうことの無い改変であったに違いない。集落の立地にしても、集落と集落とを結ぶ道路の位置にしても、その位置は影響圏からはずされ、仮りに災害に遭っても容易に回復可能な場所にあった。

最近の大規模な土地の造成は、自然の営力にさからっているかも知れない。たとえば傾斜地を切り盛りして造成された土地では、切り取られた部分はさらに上位からの土砂の崩落によって埋め戻されるであろうし、盛土された部分は、いずれ流失していく方向にある。したがって、改変された土地に対する災害の予測は、改変される以前の姿に戻るということを想定すれば、判断できる。

結 び

集中豪雨時における防災対象物の安全を考える時、その対象物が、斜面崩壊とこれに由来する土石流の影響圏内にあるかどうかを、まず判断しなければならない。もし影響圏内にあると判断された時には、その対象物を他の安全な場所へ移すか、崩落した土石の直撃にあっても絶対破壊しないような覆いを取付けたり、対象物を改造するか、斜面と対象物との間に壁を設けなければならない。もし、何の手当も出来ない場合には、集中豪雨時には、少なくとも人命だけは守るということで、逃げ出す（避難させる）ことである。

自然の現象には、その周期が短い場合も長い場合もあるが、その現象の痕跡は、地物を詳細に観察すれば、必ず残っている筈である。想定しなければならない誘因の「強さ」が明確にできないときには、現象の痕跡が長い期間において繰り返し形成されたか、最大限に近い「強さ」のものによって一度に形成されたものであるか、判断する必要があるが、この判断は、現場における聴き取りや古文書が重要な資料となる。

斜面崩壊による危険は、累計雨量や雨量強度により判断される。個々の斜面をとってみると、危険状態となる累計雨量や雨量強度には差がある。この個性を定量的に探るには、まだまだ研究と事例の積み重ねが必要である。しかし、過去の集中豪雨で安全であった斜面は、形状が著しく改変させられなければ、同じ程度の豪雨には、今後も耐えられるという結論も成り立つし、岩盤は常時風化作用を受けて弱められているから、過去に安全であった斜面が再び安全であるとは限らないという考えかたも成立する。

自然が改変させられている場合の危険の予測は、改変される以前の状態に復元しようとする営力が、内在しているという条件を考慮したうえで、災害の予測が可能であろう。綿密に設計・施工された斜面地は別としても、集中豪雨の強さに斜面がどの程度耐えられるかは、過去の履歴が全く無いものとして判断しなければならない。

過去に発生した大規模な斜面地災害は、決まって「かつて観測されたことのない」または「古老の言にもない」強さの豪雨によって発生している。これが意味するものは、豪雨が被害をもたらす周期が、数世代に1回という割であることであろう。防災上のキーポイントは、結局はその土地の個性をどの程度握っているかであり、これには、その土地の古文書などによる災害履歴を掘り出すこと、同じ土地条件をもった「よその土地」の災害例を拾い出して比較することが要点である。