

知っておいてほしい

地盤のはなし

—地盤リスクとの付き合い方—



Tohoku Branch

of The Japanese Geotechnical Society

公益社団法人 地盤工学会 東北支部

東北地域地盤災害研究委員会

地盤リスク検討小委員会

まえがき

1 リスクは何故ある？

- 1-1 想定内・想定外
- 1-2 地震のリスク
- 1-3 地震はなぜ起こるのか
- 1-4 降雨のリスク
- 1-5 その他の自然現象のリスク(降雪, 火山)
- 1-6 知らないというリスク
- 1-7 単独とは限らないリスク
- 1-8 想像力が無ければリスクに備えられない

2 最近の地盤災害を振り返る

- 2-1 青森県における地震時の地盤リスク事例
- 2-2 2016年岩手豪雨災害
- 2-3 東日本大震災宅地造成地被害
- 2-4 2013年秋田豪雨土砂災害
- 2-5 福島県の土砂災害
- 2-6 液状化

3 地盤災害をもたらすもの

- 3-1 地盤災害はなぜおきる？
- 3-2 いろいろな地滑り
- 3-3 地すべりと地下水
- 3-4 土砂崩れはなぜおきる？
- 3-5 雪崩はいつどこでおきる？
- 3-6 宅地造成地の地盤被害の誘因と素因
- 3-7 液状化はなぜおこる？
- 3-8 軟弱地盤の沈下と安定

4 地盤災害を低減するために

- 4-1 地盤を知る
- 4-2 自然災害から命を守る

5 地盤関係の法律

- 5-1 宅地造成等規制法
- 5-2 土砂災害防止法

6 トピック

- 6-1 なぜ雨量による通行規制が必要か？
 - 6-2 造成地盤と自然地盤の違い
 - 6-3 土砂災害警戒区域の指定を受けたときに考えるべきこと
 - 6-4 大規模な雪崩の現場調査
 - 6-5 地名が教えてくれること
 - 6-6 地盤の調査方法
 - 6-7 家を買う時に専門家が考えること
 - 6-8 「リスクと責任」のお話し
 - 6-9 リスクを大きくするバイアス
 - 6-10 リスク論の基礎
-

まえがき

1 生活リスクとしての地盤災害

私たちが生活をいとなむ上で、多くのリスクに出会います。健康リスク、食品リスク、テロリスク…そして、様々な失敗があります。地盤災害も身の回りにあるリスクの一つです。

2 身近な地盤災害

土砂崩れ、地すべり、地盤沈下、地震時の液状化現象などが地盤災害の例です。雪崩も地盤災害の一種と考えることができます。

土砂崩れや地すべりは地盤が傾斜していることで起こります。地盤が傾斜していると、絶えず滑らそうとする力が作用しています。地震のときのように滑らそうとする力が増えて地盤の抵抗力を超えたときに斜面は滑り出します。滑らそうとする力が同じでも、抵抗力が小さくなるとやはり滑り出します。抵抗力を下げる最大の原因は、斜面から入り込んだ雨水や雪解け水による地下水位の上昇です。

地盤が平らであっても地盤災害は起こります。例えば、軟弱な粘土地盤の上に宅地を造成すると、盛土や宅地の荷重によって地盤沈下が発生します。どの部分も同じように沈下した場合には、家屋の被害は小さいのですが、ある部分は大きく沈下し、ほかの部分は小さな沈下となると、家屋に大きな荷重が作用し、「玄関のドアが開かない」「壁にきれつが入った」などの被害が生じます。砂の地盤でも、地震時に液状化現象を起こして、砂が大量に吹き出したり、家が傾いたりする被害が生じることはよく知られるようになってきました。ものや組織がもろくも崩壊する様子が「液状化現象がおこった」と例えられるほど、液状化現象という専門用語はよく知られるようになりました。

山を切土して、その土により盛土をして宅地造成が行われます。削った段階で土は緩みます。盛土をするときには、人工的に転圧して密度を上げることが行われます。これを締固めと呼びます。しかし、十分な締固めがなされない場合があります。締固め不足の造成地であっても、平時では十分に宅地として機能し、上の家屋からの荷重を支え

ます。しかし、家を建ててから 20 年ほど経過して、大きな地震が起こり、その揺れによって、宅地が滑り出し、家屋が被害を受けることがあります。このような被害が東日本大震災で多数起こりました。

粘土地盤は、20 年も経過したら強くなっているのですが、人工的に造成した地盤は、20 年たっても全く強くなっていません。そして、揺れによって簡単に壊れてしまいます。20 年経過していると、家屋の被害が造成地盤の不備によるものだとわかっても、その損害を業者さんに補てんしてもらうことは、現時点ではかなり難しいことになります。

3 本冊子の目的

この冊子は、地盤災害の基本的で重要なことを一般の人にわかってもらうことを目的としました。「これだけのことを知っていれば、たいがいの地盤災害を分かってもらえるだろう」というレベルを目指しました。大事であっても、最初の段階としては難しすぎる話はすべて削除しました。そのため、多少知識のある方にとっては物足りないものになっています。誰でも気軽に、短い時間で読めるものが、地盤災害分野では見当たらないということで、多少、正確さには欠けても仕方がないと考えています。この点はおわかりください。

4 リスクという用語について

最初に、身の回りのリスクの一つとして地盤災害を考えると書きました。リスクという用語は、多くの分野で共通に使用されるものです。政治・経済、金融などの人間社会の営みに関するものから、原子力、遺伝子組み換えなどの科学技術の最先端まで、共通にリスクという用語が使われます。地震や洪水などの自然災害でもリスクという概念は利用されます。リスクに関する簡単な話を最後にまとめています。

リスクという用語を用いた理由は、私たちの生活の中で出会う様々なリスクを比較し、相対的な評価を行うことが目的です。災害を考える上で、「正しく怖れて、対策を検討する」ことが大事だといわれています。自分とその家族にとって、「何が最もリスクの高い災害か」を考えていただきたいという目的です。

この冊子が、お役に立てば幸いです。

1-1 想定内・想定外

地震でも、降雨でも、風でも、何かを建設するときには、ある強さを想定して、それに耐え得るように設計がなされます。それは逆に考えると、それ以上の強さの地震、降雨、風に対しては、設計上は構造物の安全性を保証していないことになります。

辞書で「想定」という語を調べると「ある条件や状況を仮に設定すること。」と書いてあり、「想定外」は「事前に予想した範囲を越えていること。」となっています。また「想像」は「実際には経験していない事柄などを推し量ること。また、現実には存在しない事柄を心の中に思い描くこと。」と説明してありましたが、「想像外」という言葉は有りませんでした。

さて、ここで2011年の東北地方太平洋沖地震の後に多用された「想定外」という言葉を、設計の視点で考えてみましょう。辞書では、「事前に予想した範囲を越えていること」となっていますので、「事前に予想した範囲」が何に当たるかが重要です。例えば、地震について言えば、一般の方々にとっては、過去に世界のどこかで経験した地震よりももっと強い地震の揺れが発生する可能性があるから、それをイメージすることを「想定（ある条件や状況を仮に設定すること）」として、どんな場所でも、今まで経験した以上の強さで、それよりもずっと強い地震でない限り「想定外」には当たらないのかもしれませんが、しかし、構造物の設計および建設は我々の経済活動と密接に結びついており、安易に無駄を出すことは避ける必要があります、地震の場合で言えば、プレートや断層の活動記録から、構造物を設計する地点で現実的に起こり得る、本当に備えるべき地震の強さを想定することになります。すなわち、（土木）技術者にとって「想定外」とは、設計で規定されている地震の強さを超えることであり、一般の方々にとっての想定外よりもはるかに小さな地震から想定外になる可能性があります。造語が許されるなら、一般の方々の想定外は、技術者にとっては「想像外」とでも言うべき範囲になります。

何が言いたいかと言えば、実際の設計においては、一般の方々が思っ

ているほど”想定外”の敷居は高くなくて、言い換えると「リスクはそれなりに存在する」世界に我々は日々生活していると言えます。

1-2 地震のリスク

日本では、小さな地震から大きな地震まで、非常に高い頻度で地震が発生します。日本列島周辺では、陸側のプレート（板状の岩盤）の下に太平洋プレートおよびフィリピン海プレートの2つの海側のプレートが沈み込むことで、プレート境界やプレート内部にひずみが蓄積され、それを解消するために地震が頻繁に発生しています。そのため、日本国内で何か構造物を設計する際には、それらの地震に耐えるための設計、耐震設計が必要になります。そこで、具体的にどの程度の地震に耐えれば良いのかを設定する必要が生じます。

設計に用いる地震動については、1995年兵庫県南部地震の前後で大きく考え方が変わりました。すなわち、地震後に土木学会より、土木構造物に対してそれまでより合理的で安全な耐震設計を行うことを目標として、レベル2地震動の考え方が提言されました。

レベル2地震動とは、構造物の耐震設計に用いる入力地震動で、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動であるとされており、さらに対象構造物の耐震性能に対して、最大級の深刻な影響を及ぼす可能性が強い地震動と補足されています。しかしその一方で、「しかし将来の地震に関しては震源断層の破壊プロセスに不確定要因が多く、予測にはばらつきが不可避である。とりわけ、大きな破壊力を示す強い地震動の発生メカニズムに関しては、未解明ないし不確定の部分が多い。そのため、耐震機能と経済性のバランスのもとで合理的と判断される地震動強度を選定することが必要であり、その場合にレベル2地震動は物理的に発生可能と考えられる極限としての最大地震動強さを下回ることもある。」とも説明が加えられています。

また、重要構造物の代表例とも言える原子力発電施設関連の耐震設計においては、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイドで、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特性せず策定する地震動」の評価結果を踏まえて、基準地震動の策定過程に伴う

各種の不確かさを考慮して適切に策定されている必要があると説明されています。また、それに関連して、将来活動する可能性のある断層等は、後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できないものとし、必要な場合は、中期更新世以降（約 40 万年前以降）まで遡って活動性を評価することを活断層の認定基準として明示しています。その”約 40 万年前”という数字の根拠は、政府の地震調査研究推進本部がとりまとめた活断層の長期評価手法（暫定版）によれば、活断層は約 40 万年前以降から現在に至るまで、ほぼ同一の地殻変動様式が継続していると考えられ、今後も同様の活動をする可能性が高いと考えられるとされていることにあります。

これらの考え方は、技術的に非常に合理的であり、我々が生活する基盤を整えるために妥当な考え方であると思われませんが、その一方で、純粋な科学的な見地からは、それらの枠を超える現象が発生する可能性がゼロではないことも物語っています。そのため、”リスク”という観点からは、確率の数字上、これを完全に排除できる（確率ゼロ）ものではないとも言えます。

防災科学技術研究所：

<http://www.j-shis.bosai.go.jp/subduction-zone-eq-and-active-flts-eq>
土木学会レベル 2 地震動：

<http://www.jsce.or.jp/committee/earth/propo3/s4.pdf>

原子力：基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

<https://www.nsr.go.jp/data/000069160.pdf>

原子力：実用発電用原子炉に係る新規制基準について

<https://www.nsr.go.jp/data/000070101.pdf>

1-3 地震は何故おこるのか

日本では、小さな地震から大きな地震まで、非常に高い頻度で地震が発生します。それでは何故そのように地震が多く発生するのでしょうか？

地球の内部構造は、中心から核→マントル→地殻と呼ばれています。地球の中心部付近は高温の状態になっており、その熱エネルギーを宇宙空間に放出する営みの一環として、マントル対流と呼ばれる地球表面に近い部分（厚さ 100 km程度）のゆっくりとした流れが生じていると考えられています。その流れによって地球の表面は 14~15 枚のプレート（GPS 観測等で移動速度が異なる部分を細かく分けると 40 枚程度に細分化される）と呼ばれる板状の岩盤に分かれており、それぞれが年間に数 cm 程度動いているそうです。

日本列島周辺では 4 枚のプレートが重なっていて、主に陸側のユーラシアプレートの下に太平洋プレートおよびフィリピン海プレートの 2 つの海側のプレートが沈み込むことで、プレート境界やその内部にひずみが蓄積され、内部にどんどん力が溜まっていきます。そのため、プレート境界や内部の岩盤がその力に耐えきれなくなった時、境界が滑るか、岩盤に亀裂が入るかして、そのひずみが解消され力を解放します。その際に発生する振動＝私たちが揺れを地表面で感じる地震となります。また、一度割れてずれてしまった岩盤の部分は断層と呼ばれ、その部分は周囲の部分と比べて弱く再び動き易い場合もあり、今後も地震の原因となりそうな断層を活断層と呼んでいます。

定規のような板を手で持って壁に押し付けて力をかけた際に、壁と定規の間が滑ってしまうのがプレート境界、定規が割れてしまうのが断層、もし定規に予め傷が付いていて割れやすい部分があった場合を活断層と考えるとイメージし易いかもかもしれません。但し、定規の場合は小さいので一度割れてしまったら終わりですが、プレートの場合は非常に大きく、1 回の地震くらいのことでは、壁と定規の間のずれがほんの少し戻っただけで、まだまだ定規が曲がっている状態か、また

は定規の表面にほんのちょっと傷が入っただけか、予めあった傷がほんのちょっと深くなっただけに相当するので、何度も何度も繰り返して定期的に地震が発生することになります。

ハワイが日本に近づいてくる速度の計測結果によると、太平洋プレートは年間約 6.5cm の速度でユーラシアプレートに沈み込んでいるようで、いずれ日本列島とハワイが合体する日がやってくるのかもしれませんが。伊豆半島は元々、島だったようですが、約 100 万年前にその当時の日本列島と衝突して合体したそうです。その痕跡は地質的な境界面として確認することが出来るようです。はるか昔の島の衝突はロマンに感じられることではありますが、伊豆半島が日本列島に衝突した結果、おそろしく迷惑なことも起きてしまいました。

地震の原因となるプレート境界は、通常は陸地から遠く離れた海の中に存在しています。プレート境界は、そもそもの地震を発生させるプレート運動そのものに直結しているために、その規模は断層運動と比べて非常に大きいですが、幸いなことに遠く離れた海の中なので、陸地に到達するまでには揺れのエネルギーはある程度減衰しています。ところが、伊豆半島はプレートに載って日本列島にやってきたものの、大きすぎて陸側のプレートの下に沈み込むことが出来ず、その代わりにプレート境界を陸に近いところに引き寄せてしまいました。そのため、関東地震と東海地震だけは震源域が沖合いではなく陸上にかかっており、非常に危険な存在となっています。

参考文献

防災科学技術研究所（地震の基礎知識とその観測）

http://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/

プレート，プレートテクトニクス

<https://ja.wikipedia.org/wiki/プレート>

1-4 降雨のリスク

皆さんが特に意識することも無くその上で生活している地盤は、水の存在によってその強さが大きく影響を受けるのはご存知でしょうか？

一般に、地盤を構成する土は粒々の集合体であり、その間には空気や水が存在します。地下水面より下の土であれば、その隙間は全て水で満たされており、そこには水圧が存在します。その水圧の大小によって土は変形に抵抗できる力が大きくなったり、小さくなったりします。そのため、降雨は地盤リスクに大きく影響します。

例えば、雨の多い梅雨時や台風や前線に伴う豪雨の時は、「土砂くずれに注意をして下さい」という報道を耳にすることが多いと思います。雨が降ると、まずは地表面を流れる土砂を巻き込んだ大量の水によって建物が壊されたり、埋められてしまったりなどの危険が生じます。また、地中に水が浸透した場合でも、その水の重さが斜面を崩落させる力を増やすだけでなく、水圧の増加によって土の抵抗力を下げる効果も同時に生じてしまうため、非常に危険な状態になります。

そこで、設計段階および供用段階（使用中）の両方で、リスク管理が行われます。

まず、これから造るものに対しての設計では、例えば、盛土工指針では、「降雨の作用は、盛土の安定性、排水工の断面計算、のり面保護工、地下排水工の設計で考慮する。盛土の安定性の照査において想定する降雨の作用については、地域の降雨特性、盛土の立地条件、路線の重要性、事前通行規制との併用を鑑み適切に考慮する」ものとされています。また切土工・斜面安定工指針において、土石流を発生させる降雨条件を推定するために、「降雨状況の類似性を考慮して地域を分割し、過去に土石流を発生させた降雨と、強雨ながら土石流の発生に至らなかった降雨に関する資料を当該地域内より収集し、土石量の発生、非発生の境界となる降雨条件を求める。」ものとされています。鉄道に関しては、さらに踏み込んで降雨作用として確率降雨を用いることを具体的に定めています。但し、その確率降雨に関して「本

確率降雨は 40 年程度の既存の観測データを基本に算定されたものであり、100 年や 1000 年に対して盛土の安定を保証したものではないことに注意されたい」と補足説明がなされています。

このように設計段階では、予想される何らかの設定値に対して対応を考えるため、それを超える状況（雨量等）となった場合には、何らかの問題が生じる可能性が残ります。そこで、2 段階目のリスク管理として、雨量によって様々な対応が取られることとなります。例えば、気象庁では、表面雨量指数、流域雨量指数などを判断指標として、重大な災害が起こるおそれのある時に警戒を呼びかけて発せられる警報、災害が起こるおそれのある時に注意報を出します。リスクとしては、雨量だけでなく、それを受ける側の地形の条件や地盤（土）の条件、長期間の降雨や地震による地盤のゆるみの影響など、様々な要素が絡んでいるため、地域ごとに異なった値が警報・注意報の基準値として使用されています。道路についても同様に、国土交通省（国道）や NEXCO 各社（高速道路）などの道路管理者によって、雨量による事前通行規制が行われています。さらに鉄道でも、雨量によって速度規制や運転中止などの対応を行っています。これらは周辺の斜面や道路・線路の下の盛土に影響が出ることを懸念しての対応になります。このようにすれば、最悪の人命の損失を避けることは出来ませんが、施設に対して損害が出るリスクは残ります。

気象庁：<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kijun/index.html>

国土交通省：<https://www.mlit.go.jp/road/bosai/jizenkisei/kisei.html>

鉄道：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物

1-5 その他の自然現象のリスク

地震や降雨以外でも、自然現象に起因したリスクには様々なものが存在します。例えば、地震や降雨などのような外的作用の影響がなくても、斜面がそれ自体の重さに耐えられず徐々に地すべり変位を生じていて、ある日突然限界に達して崩落するケースや、岩盤の風化に伴う強度低下に起因した斜面の崩壊リスクなどがあります。また、豪雪地帯では、雪崩のリスクもあります。ちょっと変わったところでは、主に地中にある空洞（自然・人工）に関して、地下水の流れにより徐々に土砂が流出し、最終的にはある時突然地表面に陥没が生じるようなことも発生します。さらには、地盤災害リスクではありませんが、水に関係した洪水や高潮、地震後の津波のリスク、火山噴火によるリスク、台風や竜巻などの風による構造物等の倒壊リスク、落雷のリスクなどもあります。これらの中には、地震や降雨ほど、日本全国どこでも同じように存在するリスクではありませんが、地域によっては地震や降雨よりも切迫したリスクになり得る可能性があります。また、それぞれが単独ではなく、同時に複数の現象が発生する可能性があります。

1-6 知らないというリスク

この図を見て皆さんはどのように感じるでしょうか？地盤工学に係わる技術者としては、左側の図の家は非常に怖く、このような場所に住むのは嫌だと思ふのが一般的です。それでは右側の図の家は？こちらは意見が分かれるかもしれませんが、少なくとも地盤工学技術者の中でも住んでも良いと考える人はいるかもしれません。ここまで極端ではないかもしれませんが、似たような状況は現実に存在しています。左側の図の斜面は、“流れ盤”といって、地すべり崩落が起き易い地形になります。それに対して、右側の図の斜面は“受け盤”といって、地層の状況的に地すべりが起き易いということはなく、岩盤自体が強ければそう簡単には斜面崩落が生じません。

このようなことを知っていれば、家を購入する際の選択行動に大きな差が出ると思いませんか？景色が良いところに住みたいと考えている人にとっては、左側の家を購入したら大きなリスクを抱えることになり、右側の家を購入したら望み通りの満足できる買い物になると思うのですが、セールスパーソンに進められるままに買ったとしたら、さてどちらでしょうか？このように、知らない（見ようとしない、考えようとしない）ということも一種のリスクだと考えられます。知らないということは怖いこと、またはもったいないことだとは思いませんか？

さあ皆さん、これから地盤に纏わるリスクだけでも詳しく勉強してみませんか？

なお、左側の家も売っているからには設計上の値は満足しているはずなので、あくまでも残されたリスクの大きさが違うということと受けとめて下さい。また、筆者は「石橋を叩いても渡らない」と言われるくらいなので、斜面の傍だとリスクがあるのでいずれの家も購入しませんし、液状化も洪水もより発生しなさそうなところ（川や海から離れて土地が低くなっていないところ）を探しますけれど。。。

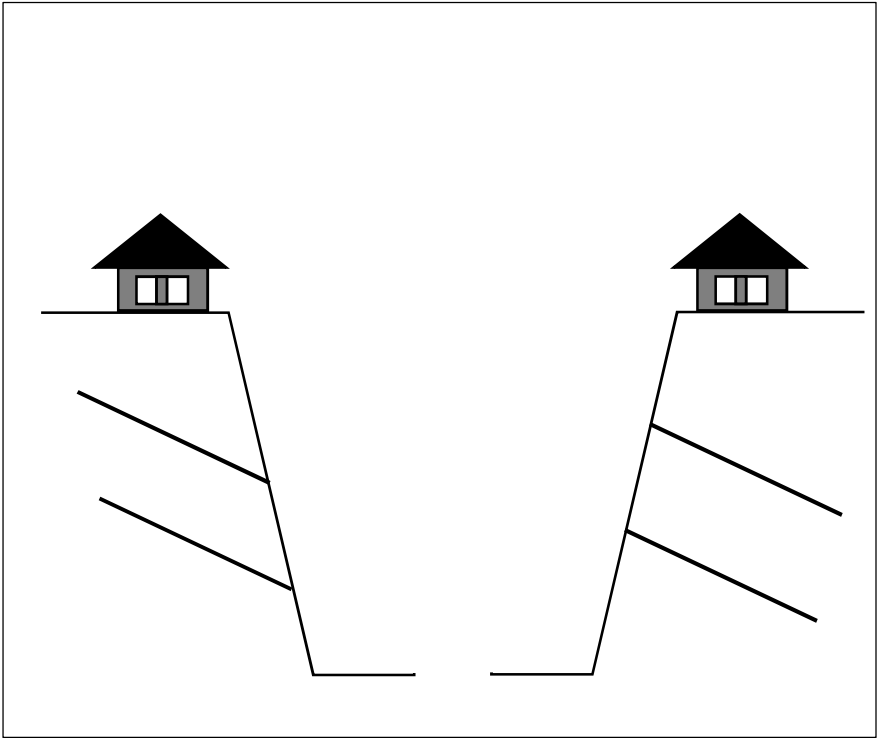


図1 どちらの家が安全？

1-7 単独とは限らないリスク

原子力施設に関係した、基準地震動及び耐震設計方針に係るガイドにおいては、「地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組み合わせを考慮すること」とされています。これを見てもわかるとおり、リスクは必ずしも単独ではありません。地震と津波のように現象自体の関連性があるものとしては、岩盤斜面の崩壊や雪崩が地震によって誘発されるケース、火山性の地震、台風と洪水などの関係が考えられます。一方、直接現象的には関係が無いものの、たまたま重なってしまう可能性だってなくはありません。例えば、洪水や高潮時に地震が発生する場合、地震で構造物や地盤がダメージを受けた後に、復旧までの間に台風が襲来する場合などが考えられます。

前者のように現象自体に関連性があるものは、念のため設計上は常に同時に発生すると考えることにしておけば良いと思われませんが、後者のようにたまたま重なってしまう可能性があるものについては、どのように考えたら良いのでしょうか？全てのリスクが同時に発生するものとして、可能な限りリスクをゼロに近づける努力が必要でしょうか？つまり、最大級の地震は、常に最大級の降雨や台風の影響で洪水と高潮が同時に発生している時に発生するとして設計すれば良いのでしょうか？

それが出来るに越したことはありませんが、予算や時間の制約があり、現実的には出来そうもないことが容易に想像できると思います。そのため、リスクは定量化して、他と比較したり、組み合わせたりする必要が生じます。

1-8 見えないものまで考えないと

リスクには備えられない

地震、津波、噴火、豪雨など、それぞれが単独で恐ろしい現象であり、その悪影響を受けないように備えるべきものではありません。但し、コストがかからず瞬時に対応できる方法があるとは限らない（普通は無い）ので、優先度の高いものから予算や時間の割り当てを考えて対応していく必要があります。そうすると、我々の生活全般に影響が出てきます。例えば、道路の耐震対策を優先し、学校の耐震化を後回しにした場合は？景気対策や教育投資にお金を使い過ぎてインフラの維持管理をやめてしまったら？逆に、景気対策や教育投資をやめてしまい、自然災害リスクに備えることに全てのお金を使ってしまったら？長い将来を見通したら、資源の無い日本のような国にとってはそちらの方が怖いかもかもしれません。あまり話を広げすぎても現実的ではないですが、リスクの管理としては、今日の前にある災害に対応するだけでは駄目ということは容易に想像がつくと思います。

次に対応の仕方について考えてみます。リスクを管理するためには、まずは、考えられるリスクを全て洗い出し、それらの相互関係も踏まえて最も起きそうなことを含むいくつかのシナリオを考え、発生する可能性の大きさと発生した場合の被害を把握することが必要です。その上で、個々のケースについて、優先的（時間・予算）に対応するのか後回しにするのか、徹底的に対応するのか最低限の対応または対応しないのかを他と比較しながら決めていく必要があります。しかも、その決め方は、客観的である方が良いでしょう。さらに、災害の性質によってはハード的に対処するのかソフト的に対処するのか、またはその両方か、最も効果的な方法を選ばなければなりません。

一般的には、地震は突発的に発生し事前に予測することは難しいからハード的に備えることが良いでしょう。降雨や高潮・洪水などは避難のための時間的な猶予を確保することが比較的容易であることが

ら、少なくとも人命についてはソフト的な対応を取ることが可能でしょう。津波の場合は、それよりも時間的猶予は少ないけれど、地震よりはあるので、ソフトとハードを組み合わせの方が良いかもしれません。このようにリスクの性質ごとに、色々なことを想定して対応する必要があります。

このように見てみると、リスクというのは、ある特定の現象に対して、そのリスクを限りなくゼロに近づけるために評価するものではなく、同時に色々なリスクを確率などに数値化するなどして、発生する可能性と発生した場合の損失を定量化した上で、同時に多くのことを比較して、もっとも望ましい状態を作りだすことに意味があるように思えます。その際、出発点として大事なことは、目前に無い（見えていない）けれど関係しそうなこと（比べるべきもの）までを考えに入れることができるかどうかです。目の前に見えているリスクだけを限りなくゼロに近づけて、もっと大きなリスクを放置するのは良くないと思いませんか？

2-1 青森県における地震時の地盤リスク事例

1 斜面災害

1968年に起きた十勝沖地震の際の日本全国の死者数は52名とされていますが、そのうちの48名は青森県の方です。このうち26名の方は土砂崩れ、6名の方は盛土崩壊により亡くなられており、死者数の半分以上の方は斜面が原因となって亡くなられています。

この地震前には雨が多く降っており、県南地域の地震前3日間の総降雨量は100mmを超えており、特に住家被害が甚大だった五戸町周辺では200mmとなっていました。このことから、盛土を含む斜面が崩壊した原因として降雨の影響が指摘されていました。

では、雨が降らなかったら斜面の崩壊はなかったのでしょうか。十勝沖地震以降の地震時の斜面崩壊を研究した結果から、地盤にも問題があった可能性が指摘されています。この地域は火山灰に覆われた台地ですが、例えば1978年伊豆大島近海地震や1983年長野県西部地震でも火山灰に覆われた台地(火山灰被覆丘陵地)において地震被害が多発しています。2017年に発生した北海道胆振東部地震でも多くの斜面が崩壊していますが、これも台地を覆う火山灰の影響も大きいと言われています。

破壊の詳細なメカニズムについては、現在さかんに研究されていますが、火山灰層のなかで広義の液状化が発生し、それによって斜面崩壊が起きたとの考え方が主流です。このように考えると、地震後に崩壊した土砂が長い距離流動することも説明できます。

これまでの被害例から震度5程度でも斜面崩壊は生じています。また、地震時に崩壊する火山灰被覆丘陵地の斜面は比較的なだらかです。このように考えると、多くの被害が発生するような地震の際には斜面崩壊が発生する可能性は高いと考えられます。よって、斜面周辺にあっては十分な注意が必要ということになるでしょう。

2 液状化

地震時には、しばしば液状化が発生します。青森県にあっても、1968年十勝沖地震や1994年三陸はるか沖地震の際には太平洋沿岸の各地

で液状化が発生しました。2011年東北地方太平洋沖地震の際は、海岸線に近い地域では液状化は見られなかったという報告が地盤工学会の調査団からなされていますが、十和田市、六戸町、おいらせ町の奥入瀬川沿岸の農地で局所的に液状化に伴う噴砂が発生しています。

青森県内で起きた液状化でもっとも有名なものは1983年日本海中部地震のものでしょう。この地震の際には、鱒ヶ沢町の鳴沢川河口付近や津軽平野の広い範囲で液状化が発生しました。津軽平野を流れる岩木川にそって鶴田町から十三湖まで液状化が見られました。本震で液状化した後に、最大余震でも液状化するという再液状化現象もこの地域で始めて観察されました。津軽平野の西部には砂丘地帯がありますが、この砂丘と平野の境界部および砂丘間低地でも液状化が起きています。さらに、青森市でも青森駅の西側の地域で液状化が発生しました。

液状化が引き起こす被害は様々なものがありますが、農業県である青森県で特筆すべきは、浮苗（うきなえ）という現象です。これは、田の作土層が地震によって液状化し、植えたばかりの稲苗が浮上り流出する現象です。液状化ですので、田に水が入っている場合にしか起こりませんが、稲がなくなるのですから経済的損失は莫大になります。1968年十勝沖地震、1983年日本海中部地震はともに5月に起きたことから浮苗が発生し大きな被害となりました。

液状化するか否かの簡単な判定方法は、地形を見ることです。対象地点の液状化リスクを考える際には、まず地形を観察しましょう。ただし、上述した東北地方太平洋沖地震の際に液状化した地点の幾つかは人工改変があった場所です。地形に加え、土地利用の推移を調べることも重要でしょう。

2-2

2016 年台風 10 号による岩手県の被害

2016年8月に発生した台風7、9、10、11号は東北地方またはその周辺を通過し、多くの被害が発生しました。特に10号については、図1に示すように一度南下した後、向きを反転して上陸しており、太平洋側から東北地方にダイレクトに上陸した台風としては観測史上初のものでした。通常、台風は上陸すると徐々にエネルギーを失うため、多くの場合は東北地方に到達するまでにある程度勢力が弱まりますが、この台風10号は東北地方から直接上陸したため、強い勢力を保ったまま、特に岩手県で多くの被害をもたらしました。また、その他の台風が先に通過しており、台風10号の襲来の前に既に多くの先行降雨がある状態でした。

岩手県内では、死者・行方不明者23名、全壊489棟、半壊2218棟、県管理道の122箇所交通規制が発生するなど、甚大な被害が発生し、これらの被害推定額は1440億円とされています¹⁾。被害が拡大した主な要因は、河川氾濫と土砂災害です。河川氾濫については、特に小本川（県管理の2級河川）流域の被害が甚大で、岩泉町乙茂地区では多くの流木を含む濁流が流れ込み、特に高齢者施設で多くの死者が発生しました。乙茂地区上流の支流では、多いところで250mm以上の累積雨量が観測されていて、こ



図1 台風の経路



図2 被害の様子

の豪雨の前の2週間で250mm以上の先行雨量も観測されています。先行雨量は、山の土の水分量を増加させ、その後に豪雨が発生すると、山の保水能力が低くなっているため、雨がそのまま流れ出てきて河川水位の上昇などが発生しやすくなります。

土砂災害については、人的被害や民家・道路の被害が発生したものに限定すれば、岩手県内で155件（斜面崩壊146件、土石流9件）となっており、そのうちの7割は岩泉町で発生しました。ただし、山間部で発生した崩壊を含めれば、その数は数千レベルになります。図3と図4は被害の一例です。岩泉町根岸地区で発生した土石流の崩壊部分の土を調べたところ、保水性の高い土であったことがわかっています²⁾。豪雨の前から続いた先行雨量の中で徐々に土中の水分量が増加し、その後の豪雨によって一気に水分量が上昇し、崩壊しやすくなったものと推察されます。このように、先行雨量は河川氾濫や土砂災害の発生に強く関係するため、豪雨そのものだけでなく、その前の雨にも注意して考える必要があります。



図3 斜面崩壊



図4 土石流

参考文献

- 1 岩手県平成28年台風 災害復旧・復興推進本部会議資料
- 2 森口周二, 大河原正文, 呉修一, 2016年台風10号による岩手県内の被害の分析—地盤工学と河川工学の観点から—, 地盤工学ジャーナル, 13巻, 2号, pp.149-158, 2018

2-3 東日本大震災における宅地造成地被害

東日本大震災（2011年東北地方太平洋沖地震）では、台地や丘陵地を切盛りして平坦地に造成した場所の宅地被害が9軒6市町村で確認されました。これらの被害は、震度6弱以上が観測された地域に集中しております。このうち、東北地方では、岩手県（一関市）、宮城県（仙台市、塩釜市、白石市、亶理町、利府町）、福島県（福島市、郡山市、いわき市、須賀川市、桑折町、矢祭町、石川町、広野町、西郷村）の3県15市町村で被害が確認され、中でも仙台市の被害が最も大きく、5,728箇所（平成25年7月現在）で宅地が被害を受けました。ここに、宅地被害とは、被災宅地危険度判定（被災宅地危険度判定連絡協議会）における危険宅地（赤判定）と要注意宅地（黄色判定）のことです。

1 宅地造成地の被害形態

住宅建設のために大規模に造成した宅地（台地や丘陵地の高い所を切土して沢や谷などの低い所を盛土して平坦地に造成した宅地）では、図1に示すように、(1) 滑動崩落・変形被害（地すべりのように盛土地盤が滑動するもの）、(2) 沈下被害（盛土地盤が不均等に沈下するもの）、(3) 擁壁被害（崖を押さえる壁の損壊）の大きく3つの被害が発生しました。

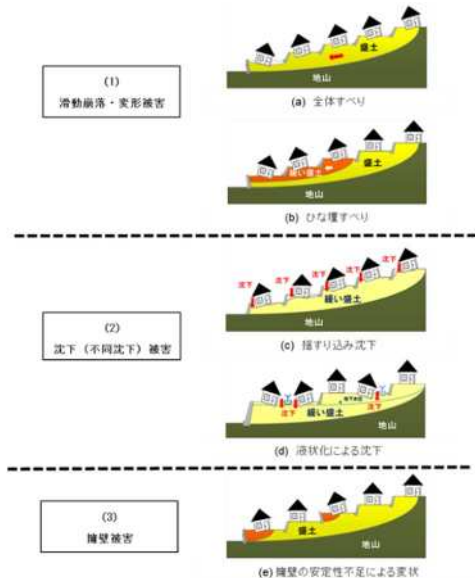


図1 被害形態

2 宅地造成地の被害要因

台地・丘陵地における宅地造成地の被害要因は、図2に示すように、大きく7つに分類されます。すなわち、(1) 谷埋め盛土の滑動に起因するもの、(2) 腹付け盛土の滑動に起因するもの、(3) 切盛境界に起因するもの（切土と盛土では地震動の増幅特性や地盤の変形特性が異なる）、(4) のり面の安定性不足に起因するもの、(5) 擁壁の安定性不足に起因するもの、(6) 緩い盛土地盤に起因するもの（即時圧縮沈下とも呼ばれ、盛土厚さの1.5%（盛土厚さ約20mのところでは約30cm）の圧縮沈下）が確認された）、(7) 地盤の液状化に起因するもの、の7つに分類されます。



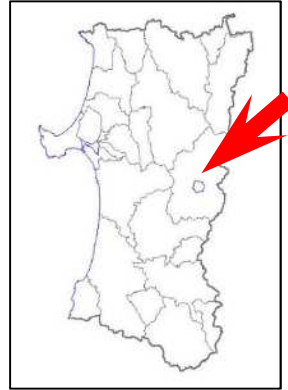
図2 被害要因

参考資料

・佐藤真吾：博士論文 2011年東北地方太平洋沖地震における仙台市の宅地造成地の被害分析と耐震性評価に関する研究、2016年3月。

2-4 平成 25 年 秋田県田沢湖土砂災害

平成 25 年 8 月 9 日、秋田県仙北市田沢湖田沢供養佛地区で大雨により土砂崩れが発生しました。6 名死亡するという東北地方では稀な土砂災害となりました。過去に大きな土砂災害の記録がなくとも、このように発生することがあることを改めて考えさせられる災害でした。



1 被害の概要

平成 25 年 8 月 9 日午前 11 時 34 分頃に日雨量 278mm という、いままでに経験したことが無いような猛烈な雨が降り、斜面が長さ 400m、幅 40m で崩れ、崩壊土砂量は 17,000m³ におよび集落を襲いました。土砂の流下方向に小高い盛土がありましたが、それを土砂は乗り越えました。

図 1 被災位置

被害は、死者 6 名、全壊住家 5 棟と、秋田県内の土砂災害としてはまれにみる被害でした。

2 変化する雨の降り方

昔に比べてゲリラ豪雨のような雨が増えてきているように感じます。気象庁によれば、50mm/時間の発生回数は徐々に増えています。この災害の際に、秋田県から岩手県に向かって带状に細かい局所的な範囲で



図 2 50mm/時間以上の雨の発生回数の変化

豪雨となりました。ニュースで「線状降水帯」という言葉を聞いたの

は、この災害の頃からでしょう。雨の降り方が変わってきており、「今までの雨では大丈夫だった」という考えは危険なのです。

3 こんなところが崩れるとは

「自分は大丈夫」、「これまで大きな被害は出ていない」、という考えは、自分の経験に基づいた、楽観的な判断と考えられます。土砂災害後に地元の人にインタビューでは、「このような災害が発生するとは考えもしなかった」などといった声が聞かれます。田沢湖の災害においても、集落の近くは山の傾斜が緩かったため、住民は土砂災害が発生するとは想定できなかったと思われています。

4 流木の脅威

被災地を見ると土砂だけでなく、流木も目立ちました。車の上に堆積し、家の窓に突き刺さっているものもありました。豊かな自然を形作る森林も時には注意が必要です。



図3 被災地全景(秋田県防災へりより)

参考資料

- ・秋田県防災ポータルサイト,秋田県総合防災課,平成25年8月9日からの大雨による被害状況等について
- ・気象庁ホームページ,大雨や猛暑日などのこれまでの変化



図4 流木の堆積

2-5 福島県の土砂災害

福島県は、南北方向の山脈や山地によって、地形・気候・歴史などから越後山脈と奥羽山脈に挟まれた会津、奥羽山脈と阿武隈山地に挟まれた中通り、阿武隈山地と太平洋に挟まれた浜通りの3地域に分けられます。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、太平洋に面した浜通りは沿岸部において津波被害や平野部・山地部において液状化被害や斜面崩壊などが発生しました。中通りも盆地部や山地部において液状化被害(写真1)や斜面崩壊(切土：写真2、盛土：写真3)などが



図1 福島県の3地域

発生しました。会津地方は、盆地部や山地部において液状化被害や斜面崩壊などが若干発生しました。さらに、3ヶ月後に発生した平成23年7月新潟・福島豪雨では越後山脈付近の町村において洪水被害(写真4)や斜面崩壊(写真5)が多く発生しました。また、中通りと浜通りを画する阿武隈山地は、花崗岩とその風化残積土であるまさ土が分布する山地であり、局所豪雨による斜面崩壊(写真6、図2)が頻発しています。



写真1 液状化によるマンホールの浮き上がり



写真2 道路切土斜面の崩壊



写真3 宅地盛土の崩壊(末端部は国道まで流出した)



写真4 洪水により流出した鉄橋



写真5 豪雨による斜面崩壊(末端部は国道まで流出)



写真6 局所豪雨による斜面崩



図2 局所豪雨による斜面崩壊の模式図

2-6 液状化

1 液状化現象とは

1964年の新潟地震のときにはアパートの転倒や昭和大橋の落橋（図一1）が注目を集め、液状化現象がその原因とされました。同じ年のアラスカ地震でも液状化現象によりパイプラインなどに大きな被害が生じたために、アメリカでも注目を集めました。もちろん、それまでも液状化現象によると思われる地震の被害記録はありました。

1983年の日本海中部地震でも液状化現象が発生し、緩やかな勾配をもつ地盤が数メートルも移動する地盤流動をもたらし、さらに地盤流動に基づく埋設管や杭基礎の被害も注目されました。1995年の阪神大震災では埋め立て地盤であるポートアイランド、2011年の東日本大震災でも千葉県浦安市の住宅地で液状化による大規模な被害が発生しました。一般の人にとっても「液状化」という言葉はおなじみのものとなり、自分が混乱しているときに「頭が液状化した」というような表現もされるようになりました。

液状化現象は、地盤が次のような条件を満たすときに、強い地震が作用した際に発生するとされています。

- ・ 緩い砂地盤であること：埋立地、旧河川跡地など
- ・ 地下水位が高いこと

2 液状化の判定方法

液状化が起こるかどうかの判断は、地盤の状況を調査する標準貫入試験により作られる「柱状図」と呼ばれるデータを基本としてなされます。まず、柱状図のデータに基づいて、せん断抵抗力 R を決めます。ついで、想定する地震の大きさをマグニチュードで決定して、震源からの距離などにより、地盤に作用するせん断応力 L を決め、最後に地盤のある深さの安全率を $F_L=R/L$ と定めます。この F_L の分布より、液状化のしやすさを判定する手法が最もよく用いられます。非常に簡便な方法ですが、一般的には、液状化の発生条件をよく表していると考えられています。



図 1 (左) 川岸町アパートの転倒 (右) 昭和大橋の落橋

3 大きな災害の原因となる液状化現象

液状化現象自身も、上下水道などのライフラインに被害を与えたり道路の陥没、護岸の押し出しなどももたらし、大きな被害となります。さらに怖いのは液状化現象が起こった地盤が変状を起こし、大きな災害の原因となることです。例えば、2011年の東日本大震災のときには、液状化現象によって河川堤防の堤体沈下や崩壊などをもたらしました。もし、大雨が降っていて河川の水位が高かったとしたら、2次的な被害として洪水被害も起こったでしょう。

東京の地盤沈下による、海水面よりも低いゼロメートル地帯は堤防によって守られています。地震時にこの堤防が液状化現象により破堤した時は、満潮時に海水が入り込んでしまい、4メートルほどの浸水深さになり、大きな被害をもたらします。これは「地震洪水」と呼ばれています。水門などの大事な構造物も液状化現象により機能を果たさないことも考えられます。

現実的に、これらの可能性がある堤防や水門などのすべての箇所で液状化対策工事を実施することは不可能です。液状化現象により、堤防などが破損したときの状況を想定して、どのように避難するかという対策を真剣に考える必要があります。

3-1 地盤災害はなぜ起きる？

人が生活している場で生じるもの

1 宇宙や深海に行ける今日でもマンツルの物質を手にしていない人類

私たちは地球の中を見たことはありません。地球の中心から地表までの距離は約 6400km ありますが、人は地表から 50m ほど利用しているにすぎません。地球の中心から地表までを 100m 走にたとえると、50m の距離は 1mm にも達しません。人類は、地球の表面の薄皮の上で生活しており、その地表を覆っているのが地盤なのです。今日では、宇宙開発や深海探査のニュースが頻繁に報道されますが、そんな時代でも、人類は未だに地球の大半を構成するマンツルの物質をこの手に取って見たことはないのです。

2 自然と共生する

大地は人々の生活の場所であり、人間も自然の一部です。自然は、大地から人間に恵みを与えますが、時として災害をもたらします。日常は穏やかな風景を映しだしている山も、時として地震災害・火山災害・水害などを起こします。地盤に関連するという意味で、これらは地盤災害の一部と言えます。しかし、人が生

穏やかな山の風景も時として災害をもたらす



写真1 世界谷地から栗駒山を望む



写真2 2008年岩手宮城内陸地震で発生した巨大地滑り

活していない場でこのようなことが発生しても「地盤災害」とは言いません。それは人に害を及ぼさない「自然現象」であって、災害ではないからです。災害が人間と自然のかかわりの中で発生するので、災害は人間側にも原因の一端があります。その原因は、長い年月をかけて生じる



図1 土石流の危険区域や

軟弱地盤の土地利用は地盤災害の遠因

大地の動きや数千年に1度というような頻度で起こる自然現象と人間の一生の時間スケールが違うため、それら現象をよく理解しないまま、地盤災害に脆弱な場所を土地利用するために生じます。私たちの生活は自然と共生の場で成り立っているのです。

3 高度に土地利用された現代の都市と地盤災害

現代の都市には、密度の濃い社会インフラが集積しています。都市のほとんどは沿岸部の低地に位置し、地盤災害を受ける可能性が高いことを強く認識すべきです。テクノロジーである程度の減災はできるかもしれませんが、想定を超える災害があることも認識すべきです。

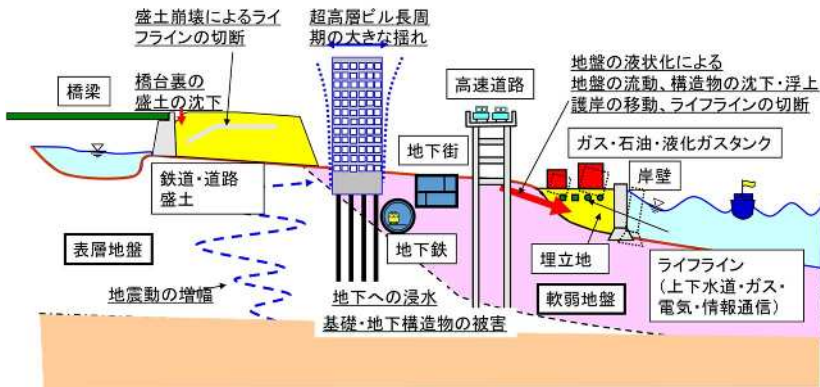


図2 低地の軟弱地盤に立地する都市の社会インフラは地盤災害に脆弱

3-2 いろいろな地すべり

1 地すべりとは

地すべり等災害防止法では、「地すべり」とは、「土地の一部が地下水等に起因してすべる現象又はこれに伴って移動する現象」と定義しています。

土砂災害防止法令の解説では「地すべりの特徴としては、その移動土塊の規模が斜面崩壊に比較して大きく、緩斜面でも発生し、その典型的なものの移動は緩慢で、断続的あるいは継続的であり、誘因としては長雨や融雪が関係することが多い」と地すべりの特徴を表現しています。

図に代表的な地すべりの形状と地すべりの各部の名称を示します。

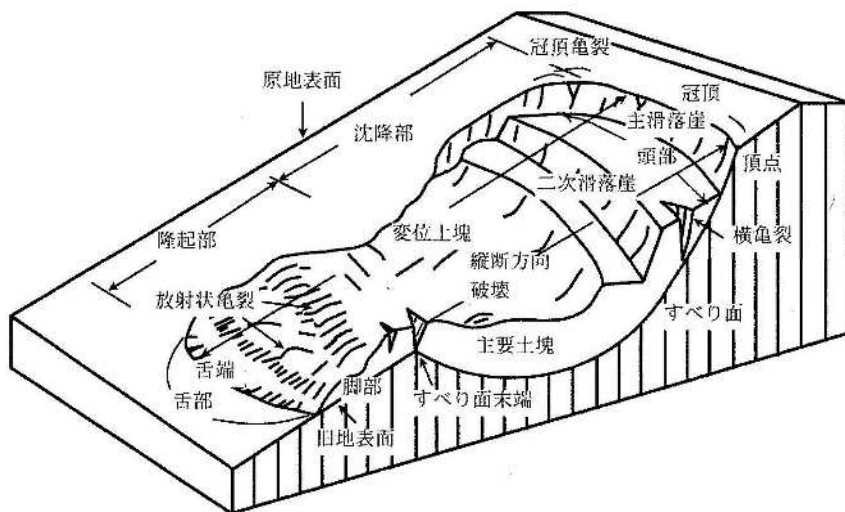


図1 地すべりの名称 (A.K.Turner et.al.,1996)

2 地すべりの分類

地すべりの分類については、①地すべりの分布地帯を地質特性で分

類したもの、②地すべりの平面形で分類したもの、③すべり面形状で分類したもの、④地すべりの地質構成と地すべりの平面形やすべり面形状に一定の関係があるとして区分したものと等があります。

ここでは、④の分類について詳しく示します。④では、初生的な地すべりから終末期の地すべりまでを、次のタイプに分類しています(図)。

【岩盤型地すべり】

過去に地すべりの発生したことの無い、地すべり地形を呈していない斜面で発生するもので、その多くは新鮮な岩盤よりなります。発生すると移動速度は大きく、突発的です。地すべり土塊は一体となって運動し、頭部に明瞭な滑落崖または帯状の陥没を生じます。地形的には凸型斜面、尾根地形に多く発生します。

すべり面は平面状で、頭部では 70° ～ 90° に直立しているため椅子形。すべり面の深さは深い場合が多く、100m に及ぶものもあります。地すべりの原因として記録的な長雨や強雨や地震が引き金となるものや、近年では大規模土工などの人為的誘因によるものも発生しています。

【風化岩型地すべり】

先述の岩盤型地すべりがその後の降雨や融雪水の浸透により風化が促進され、地すべりが再発することになります。地すべり土塊は強風化岩であるため褐色系に変色していることが多く、すべり面を境にして明瞭に色が変わっていることが多いので、すべり面の分布を推定することが出来ます。末端部や側面部、陥没帯では巨礫混じり土砂となっている場所もあります。地形的には初生の岩盤地すべりの時にできた滑落崖と頭部の台地状地形から、地形図から風化岩地すべりを判読することができます。

すべり面は末端部では平面状であるが頭部付近では弧状と直線の複合した形になっています。すべり層の厚さは20～30m 位が一般的です。

【崩積土型地すべり】

最も一般的な地すべりで、土塊は主として礫混じりの土砂によって

地盤災害をもたらすもの

構成されています。風化岩地すべりがさらに漸移したものであり、地すべり地全体がいくつかの段階状斜面に分かれます。上部は巨礫混じり土砂や風化岩盤の形態をとりますが、末端に至るほど細粒化して礫混じり土砂や粘土状を呈します。

すべり面は弧状を呈し、すべり層の厚さは10~20m位が一般的です。地表の乱れが顕著で、池や沼、湿地、凹地等が各所で見られるようになり、地形図からも地すべり地として容易に判読できます。

地すべり滑動は長雨や融雪等の影響を受け、傾向として5~10年に1回位の割で断続的に発生します。

【粘性土型地すべり】

崩積土土塊がさらに細分化すると、地すべり土塊の大部分が礫混じりの粘土で形成されるようになります。

ブロック化がますます進行して多数の小さな運動ブロックに分割され、相互に関連しあいながら複雑な運動を起こし、滑動は継続的になります。地表地形はほとんど一様な緩勾配の斜面となります。

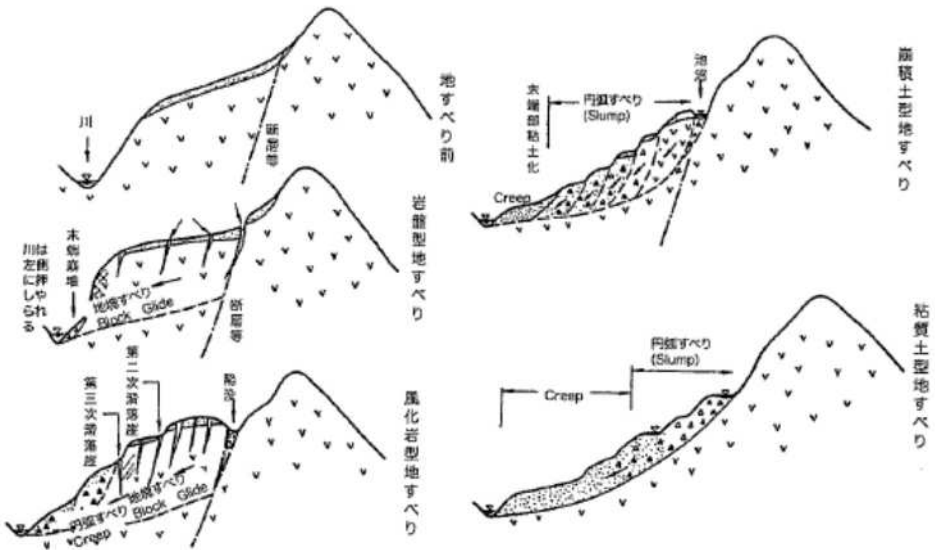
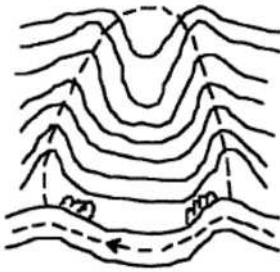
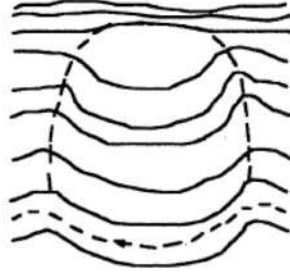


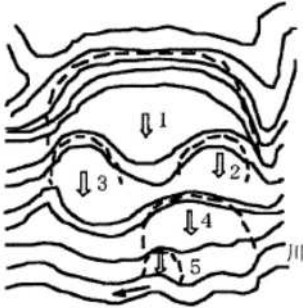
図2 地すべりの型分類と縦断模式図 (渡、1976)



岩盤型地すべり(凸状尾根型地形,渡,1986)



風化岩型地すべり(凸状台地型地形,渡,1986)



崩積土型地すべり(多丘状台地型地形,渡,1986)



粘質土型地すべり(凹状緩斜面地形,渡,1986)

図3 地すべりの型分類と微地形 (渡、1986)

引用文献

- ・地すべり等災害防止法
- ・土砂災害防止法令の解説
- ・Turner, A.K. and Schuster, R.L., 1996: Landslides, Investigation and Mitigation, Special Report/Transportation Research Board, National Research Council ; 247, pp.36-75
- ・渡 正亮, 山田剛二, 小橋澄治, 1975: 地すべり斜面崩壊の実態と対策, 山海堂, p.170
- ・渡 正亮, 1986: 斜面災害の機構と対策, 山海堂, p.170

3-3 地すべりと地下水

1 地すべりの誘因としての地下水

地すべり発生の誘因は、集中豪雨（台風を含む）と長雨、融雪、地震等の自然要因、一方、切土や盛土、斜面の一部水没等の人為的要因があります。特に長期間の降雨や、融雪による地下への浸透、すなわち地下水の増加が最も大きな影響を与えます。

地下水が地すべりに与える影響としては、

- ・ 地すべり土塊の飽和による重量の増加
- ・ 含水量の変化などによって強度の低減が大きい地盤特性
- ・ 浸透、溶解や水和作用などによる物理化学的風化作用
- ・ 間隙や亀裂内の含水比あるいは圧力による粒子間圧力の低減

等が考えられます。

2 地下水位と地すべり変動量

図1は、間隙水圧変動(地下水位換算)と地すべり地表移動量との関係を調べたものです(檜垣ら、1991)。間隙水圧の上昇と地すべり移動量とは密接な関係が有ります。伸縮計の日移動量の最大値は概ね1~3日ずれることもあると報告されていますが、地すべり移動量は降雨による間隙水圧の上昇によって生じていると言えます。

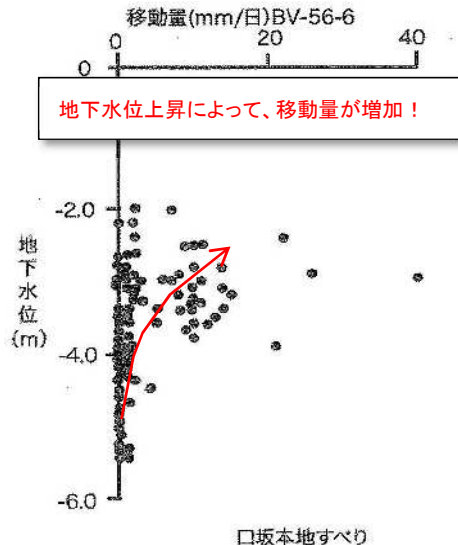


図1 間隙水圧(換算水位)と地すべり移動量の関係(檜垣ら、1991)

3 地すべり対策工としての地下水対策

地下水を対象とした地すべり対策工は、降雨・融雪水を地下に浸透させない「表面排水工」(水路工、暗渠工等)と直接地下水を排水する「地下水排除工」に区分されます。

更に「地下水排除工」は、浅い地下水を排除する地表からの「横ボーリング工」と深い地下水を排除する「集水井」からの「集水ボーリング工」と大規模な地すべり地で実施される「排水トンネル」があります。

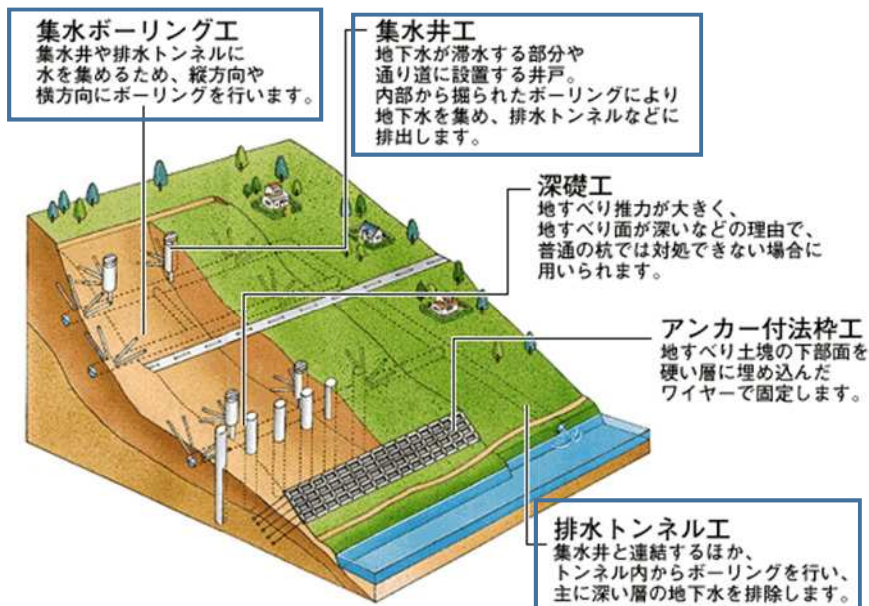


図 2 地すべり対策工の例

引用文献

- ・吉松弘行, 地すべり防止技術研修テキスト, 4. 地すべり機構解析 p.10-11, p-20
- ・檜垣大助, 丸山清輝, 吉田克美, 吉松弘行, 1991: 地すべり地における間隙水圧変動の観測, 地すべり, vol.28, No.4, pp.9-16
- ・国土交通省関東地方整備局 HP

3-4 土砂崩れはなぜおきる？

地すべりや土砂崩れは、土砂災害と呼ばれ、この他に土石流などもその仲間に含まれます。誰も住んでいない山の中でこれらの現象が発生しても問題はありませんが、山が多くて面積の限られた日本の中では、どうしても家や道路の周りでも土砂災害のリスクが高くなっていることがあります。国内では平均して1年間に1000件程度発生しています。土砂災害の誘因のほとんどは地震と雨です。2018年の7月に発生した西日本豪雨と9月に発生した北海道胆振東部地震では、いずれも多く土砂災害が発生し、2018年は例年の3倍以上の土砂災害が発生しました。

雨については、6～9月が要注意です。この時期には、梅雨や台風によって大雨が発生しやすいからです。雨による土砂災害の発生メカニズムには、土の強さが水分量によって変化する性質が関係しています。砂場や砂浜で山をつくって遊んだことがある人が多いと思います。高い山を作りたい場合、水が少なくても多すぎても駄目で、程よい水分量のときに一番高い山を作ることができます。図1がそのイメージ図です。土が一番強くなるための適切な水分量があります。その条件では、土の粒が最もがっちりとお互いを支え合います。逆に一番弱くなるのは水分量の多いべちゃべちゃの状態です。このために大雨の際には土砂災害が発生しやすくなります。

地震については、地震自体がいつ発生するのかわからないため、要注意な時期というのではありませんが、日本という地震大国に住んでいる以上、常に注意しておく必要があります。地震の際には、地震の大きな力によって斜面が揺さられることになるため、土砂災害が発生しますが、斜面の角度が急であることの他に、地質や地層構造の向きなども関係します。地層構造の向きの簡単な例としては、図2に示す受け盤と流れ盤があります。一つの同じ山でも、斜面の表面の向き（崩れる方向）に対して地層の向きが同じ方向なのか違う方向なのかで崩れやすさが異なります。崩れる向きと地層の方向が同じ流れ盤の場合は要注意です。

ここまで、土砂災害が発生する理由について説明してきましたが、土砂災害が発生してしまえば逃げることは非常に難しくなります。特に、地震は突然やってきますので、事前に逃げることは難しいのですが、それでもそのリスクを事前に知っておくことで、防災意識の向上などにつながり、やがてそれが自分や家族の命を災害から守ることにつながります。各地域で用意されているハザードマップ等で土砂災害のリスクは簡単に確認することができます。

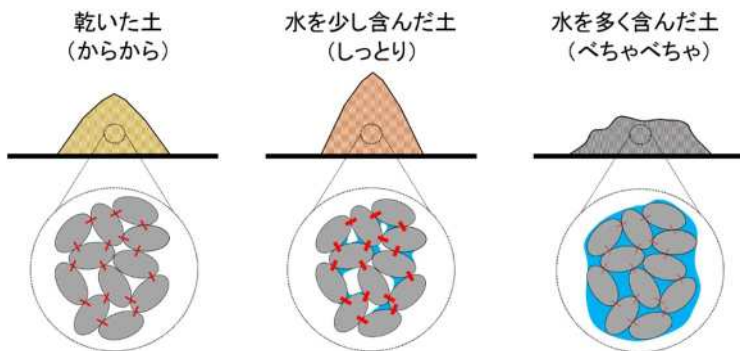


図1 土の強さと水分量の関係

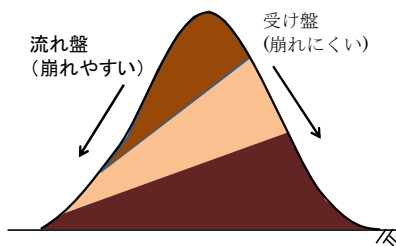


図2 受け盤と流れ盤

3-5 雪崩はいつどこで起きる？

1 雪崩の発生要因について

雪崩の主な発生要因として、斜面勾配 θ 、雪質や積雪層の沈降現象、及び地熱融雪等が挙げられています。また戦後70年ほど前に国内に導入され、雪崩対策として活用してきた「スイス方式」も時代の流れと共に、細部について確認が必要な時代になってきています。

1-1 平地における積雪層の沈降現象

斜面の積雪層は常時、圧密や地熱融雪等により流下し動いており、このような現象が大規模な雪崩の主な要因となっています。図1は北海道地方の平地で12月より翌年3月までの期間に積雪深を観測し、連続断面図を構成した資料です。この図面より下記内容が確認されます。

(1) 降雪時の柔らかい雪質層は急速に締固まり薄層になります。

図2は図1の積雪表面を一部抜取り拡大した図面です。この図より1日で $h \div 50\text{cm}$ 程に降り積もった降雪深が10日間程で $h \div 5\text{cm}$ 程

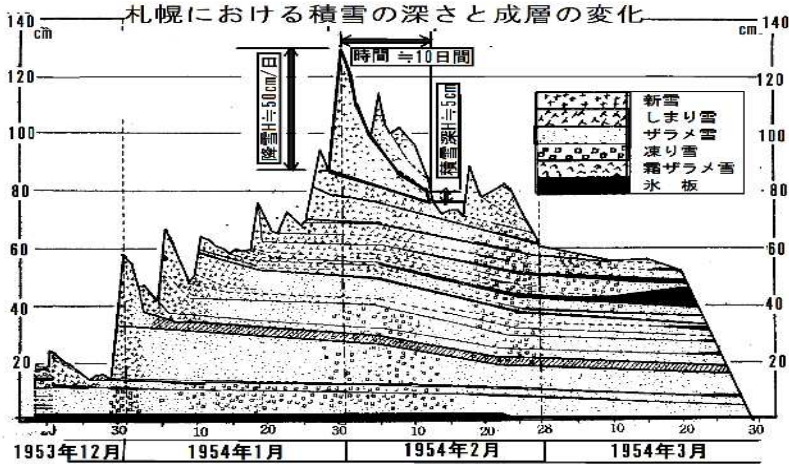


図1 北海道の平地における冬期間の積雪層の沈降現象

(1/10程)に急速に沈降している現象の現象が確認されています。この様な現象が表層雪崩の主要因と判明]

(2)更に、積雪層底面は地熱融雪雪等により3日間で $h \approx 1\text{cm}$ 程の速度で積雪層全体が沈降している現象を確認しています。[この様な現象が全層雪崩の主要因と判明]

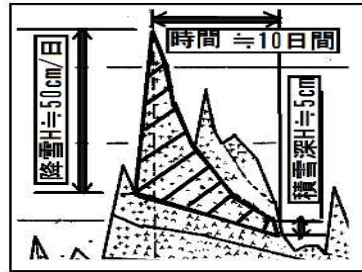


図2 図1上部の拡大図

1-2 斜面積雪層の「流下速度」と「雪崩発生」

山間部の斜面に積雪層が形成されると、平地では見られない現象が発生します。図3は斜面勾配 $\theta \approx 45^\circ$ 、斜面長 $L \approx 10\text{m}$ 、積雪深 $H \approx 3\text{m}$ における積雪層断面観測により積雪表面と底面の流下速度を観測した資料です。この観測資料

により斜面上下で $L① \approx 1\text{cm}/\text{日}$ 、 $L② \approx 4\text{cm}/\text{日}$ が確認され、その速度は気温の上昇や降雨等により影響を受けていることが判明しました。また流下速度は下部($L① < L②$)上部($L1 < L2$)となっています。更に積雪層の流下速度は底面より表面が速く、矢印の様に谷側に移動し沈降していることが判明しています。

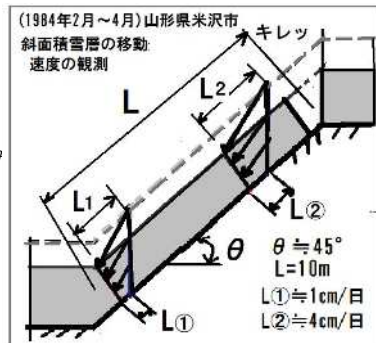


図3 斜面積雪層の流下速度

この様な中で、雪崩の発生予測資料として図4の様な「斜面積雪層の流下速度と雪崩の発生危険度」を表した参考資料があります。この資料を参考に図5の様な全層雪崩が発生した直前の積雪層底面の滑り

グライド速度	発生時間	危険度
1cm/分 (60cm/時)	10分間	危険
1cm/時	10時間	注意
1cm/日		安全

速度は60cm/時程であったものと推測されます。またこの様な現象が判明した今後の全層雪崩対策としては、図5③の様に下層斜面の積雪層の流下速度が、上部斜面に累積し増幅することのない様に、周囲

地盤災害をもたらすもの
の予防柵の配置(千鳥配列)とは異なった配置(直線配列)で、予防柵の間隔 $L \div 25\text{m}$ 程に四列配置し計画しています。(柵高 $H \div 50\text{cm}$ で十分)

2 斜面積雪層の「流下速度」と「全層雪崩」

図5は2011年2月27日に、国道112号、山形県西川町付近で斜面勾配 $\theta \div 40 \sim 45^\circ$ 斜面長 $L \div 200\text{m}$ ほどの現場で大規模な雪崩が発生し国道が埋没した現場資料です。図5①は雪崩発生2週間前ほどの資料で、図5②は雪崩発生1日後、及び図5③は雪崩予防柵を設置した1年後の資料です。全層雪崩が発生する前の図5①から見て、斜面上部にキレツ等の発生が確認できない状況で有りました。しかし雪崩が発生する3日前に気温が上昇し平均気温 $+1,2^\circ$ ・最高気温 $+11,8^\circ$ であったことが判明した。積雪深 $H \div 3\text{m} \sim 4\text{m}$ 底面における地盤面では、図3の様に、地熱融雪等により積雪層全体が流下し、斜面長 $L \div 200\text{m}$ の上部斜面の積雪層底面の滑り速度が累積して 60cm/時程 の異常な速さで流下していたものと推測されました。この様な現象により、上部斜面積雪層の 100m 区間程が崩落したものと推測されます。



図5 斜面勾配 $\theta \div 40 \sim 45^\circ$ 斜面長 $L \div 200\text{m}$ の大規模な雪崩

3 表層雪崩の発生要因

積雪層の安定勾配は図6①②の様に、斜面勾配 $\theta \div 45^\circ$ に降積もった降雪は、時間が経過すると徐々に変形、雪面勾配 $\theta \div 30^\circ$ 程になります。また図6①の様に雪崩予防柵が高い場合には、柵下に大きな空洞部が形成され不安定な雪崩対策となります。これまでの「スイス方式」では柵高が高いほど安全性が増大すると考えてきか、逆に柵工背後が空洞化して「巻きだれ」が発生し不安定になります。なお図6②の様に柵高が低い場合には空洞部が小さく、経済的で安定した階段状が形

成されます。同様に国内の屋根雪対策は古来より図7③(屋根勾配 $\theta \approx 55^\circ$)の様に、柵高の小さい横材(昔は径15cm程の丸太)を使用し今日に至っています。また下段の屋根勾配は $\theta \approx 15^\circ$ (勾配 $\theta < 30^\circ$)であり、雪面勾配と同勾配となり安定しており雪面に階段工は形成されません。

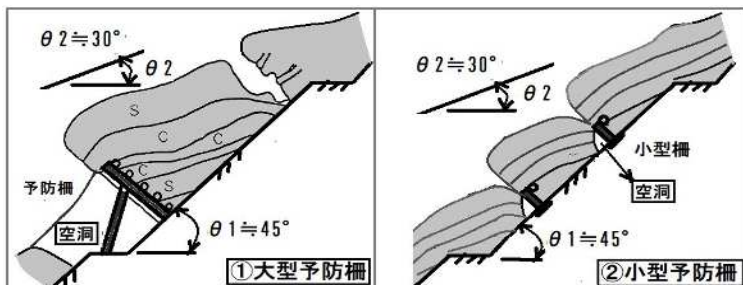


図6 積雪層の安定勾配 $\theta_2 \approx 30^\circ$ (柵高により空洞が左右される)



図7 日本古来の屋根雪止め工法(柵高が小さくとも安定)

4 まとめ

斜面の雪崩は全層雪崩と表層雪崩に大別されます。全層雪崩は斜面勾配 θ や地盤面の不陸(凹凸状況等)により大きく左右されますが、表層雪崩発生は降雪時の雪質や斜面勾配($\theta > 30^\circ$)に左右されています。このようなことから、スキーや冬山登山等においても表層雪崩の安定勾配 $\theta < 30^\circ$ 、及び全層雪崩は気温の上昇等に大きく左右されていることに留意し、長大斜面では特に安全管理に努める必要があります。

参考文献 日本雪工学会誌 (2018-10) pp.201~211.

3-6 宅地造成地の地盤被害の誘因と素因

台地や丘陵地を切盛りして平坦地に造成した宅地造成地では、主に盛土したところで豪雨や大地震時に被害を受ける事例が近年多くなっています。

1 豪雨や大地震による被害例



写真1 豪雨による被害例



写真2 地震による被害例

2 宅地造成地の地盤被害の誘因

宅地造成地の地盤に被害を及ぼす誘因としては、地震と豪雨の大きく2つが挙げられます。

地震では、震度6弱程度以上の地震動で宅地造成地にまとまった被害が発生する事例が多く見られます。図1は、2016年熊本地震における益城町（KIK-net 益城）で観測された地震動ですが、益城町では震度6弱以上の揺れが28時間で5回発生し

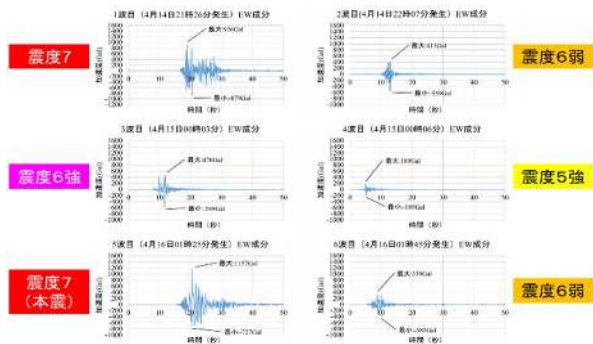


図1 益城町の観測地震動

て甚大な被害が発生しました。また、豪雨では、短時間に集中的に大量の雨が降ることで、地中の間隙水圧あるいは地下水位が上昇し、主に盛土斜面で崩壊が発生しています。

3 宅地造成地の地盤被害の素因

(1) 地下水位

地下水位が高いと、水圧による水平方向の力や地震時の慣性力等が大きくなり、盛土斜面の崩壊や擁壁の変状等の被害を受けやすくなります。また、地下水位が高いと、緩い砂質系地盤では地震時に液状化が発生しやすくなります。このほか、融雪期では、地下水位の上昇に伴い地すべりが発生しやすくなります。

(2) 盛土地盤の品質や外的要因等

緩い締固め状態の盛土では、地盤の強度（せん断抵抗力）が小さいため、豪雨や地震で斜面がすべりやすくなるほか、揺すり込みによる沈下等が発生しやすくなります。また、図2に示すような地震時の被害要因もあり

あります。このほか、亜炭層等の採掘跡地（空洞）の陥没、下水道管路の老朽化による空洞形成とそれに伴う陥没等も外的要因としてあります。



図2 地震時の被害要因

3-7 液状化はなぜおこる？

みなさんの足元にある地盤、それがどのようなもので出来ているか観察したことはあるでしょうか？我々の多くが生活している平野部では、粘土や砂といったある程度目に見える粒々の集合体（土）で形成されています。専門的には、粒々の大きさによって、小さい方から粘土、シルト、砂、礫と呼ばれます。このうち、主にシルトや砂の部分に液状化が発生することになります。但し、自然の産物ですから、それらが完全に分離して存在しているわけではなく、粘土とシルト・砂が混じっている場合、粘土～礫まで全て混じっている場合など、様々な構成で地盤が形成されているため、シルトや砂が多く含まれる地盤は粘土や礫が混じっていても液状化が発生する可能性があると考えていた方が無難です。

地震によって液状化が発生するにはある条件が揃っている必要があります。まずは地表面から比較的浅いところに地下水位があること、次に粒々の集合体が緩く（隙間が大きく）堆積していることです。そのような地盤にある程度大きな地震の揺れがやってきた場合に液状化が発生します。

緩く堆積している土は、せん断という変形を与えると、上側の図のように粒々同士が接触しながら配置を変え、粒々同士のすき間（空隙）がつぶれて沈下を生じます。但し、その過程では、常に粒々同士は接触しているので、より上方にある土の重さは粒々同士の接触力で支えられています。その一方で、空隙が水で満たされている場合、水は体積を小さくしようとする力に対しては非常に硬い（水風船は変形させることは出来ても潰すことは出来ません。空気の風船ならば両方可能です）ので、水が空隙から逃げてくれないと、上にある土の重さを水が支えることになってしまい、粒々同士の接触力が無くなります。つまり粒々が水の中で浮いた泥水の状態になってしまいます。これが液状化の正体です。

そのような泥水のような状態になってしまうと、水風船を変形させ易いと同様に、地盤の傾斜に合わせて大規模な流動を生じたり、そ

の地盤上にある構造物の沈下や地下に埋設された軽い構造物（マンホール等）の浮き上がりを生じたりします。さらに、一旦かみ合わせが外れてしまった粒々は水が逃げた後の間隙の圧縮量も大きくなるため、液状化が発生しない場合よりも大きな沈下を生じます。

なお、粘土が液状化しないのは、粘土のような小さな粒々になると、粒子が接触している部分の摩擦だけでなく、粒々同士が近くにあるだけで発揮される微視的な力があるためです。逆に粒の大きな礫が液状化しないのは、あまりに隙間が大きすぎて、水が隙間から逃げるスピードが速すぎるため水圧が上がらず、隙間が水で満たされていても常に粒々同士が力を伝えあっているからです。

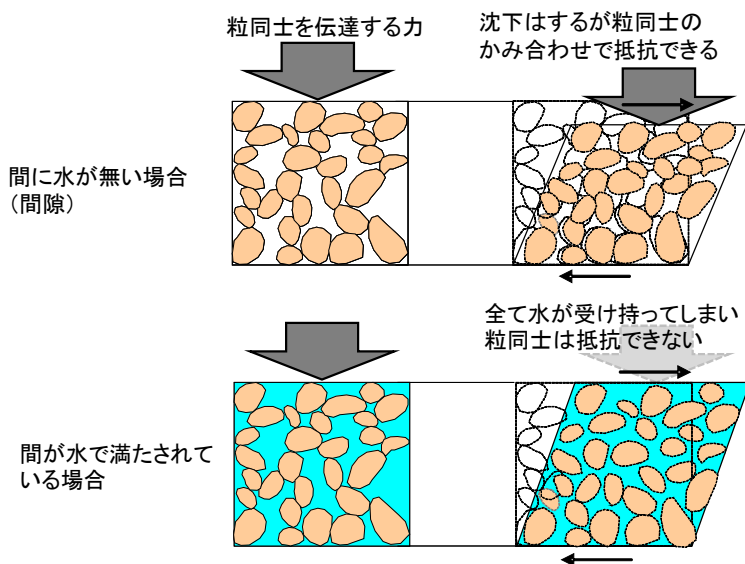


図 1 水が影響する土の変形や抵抗

3-8 軟弱地盤の沈下と安定

1 軟弱地盤とは？

土は、粒子の大きさによって4つに分類できます。土粒子の大きい順に「礫」→「砂」→「シルト」→「粘土」のように区分され、これらの土粒子と土粒子の間の隙間で地盤は構成されています。この地盤の性質は、土粒子の種類はもちろんですが、隙間に含まれる水分の量の違いにより変わってきます。乾いている時は硬いグラウンドの土が、雨が降ると軟らかく、ぬかるんでしまうのと同じことです。土粒子の種類が主に「シルト」「粘土」で構成されており、隙間に多くの水を含んでいる地盤を『軟弱地盤』と言い、ドロドロとしており、強度が弱く透水性(水の通し易さ)が悪い状態です。このような軟弱地盤上に構造物を建造しようとする際、「沈下」と「安定」の現象が問題となってきます。

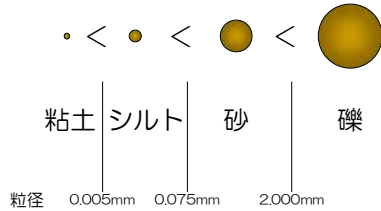


図1 土粒子の大きさによる分類

2 沈下の問題

軟弱地盤を例えると“豆腐”のようなものであり、豆腐を硬くするために水抜きを行う場合、重石をのせて時間をかける必要があります。これは、豆腐の中に含まれている水が外に染み出るのに時間がかかるためです。

軟弱地盤も同じように、盛土などの荷重が作用すると、隙間の水が絞りだされるため、地面が大きく変形してしまいます。この現象が沈下と

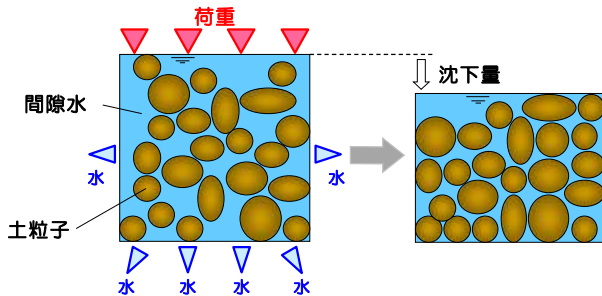


図2 沈下現象のイメージ

呼ばれる現象です。また、軟弱地盤は透水性が悪い地盤ですので、隙間の水が排出されるのが遅いため、長期間（場合によっては、数十年）にわたって沈下現象が起こってしまいます。もし、家を建てた後に地盤が沈下してしまうと、せっかくの家が傾いてしまい、大変な問題となってしまう。

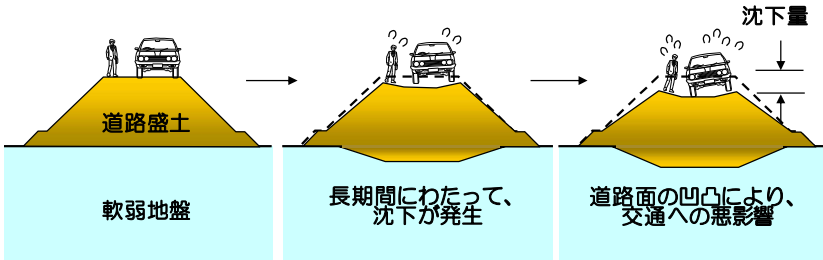


図3 長期間にわたる沈下現象

3 安定の問題

道路や鉄道路線の建設、土地造成、ダムや堤防の建設においては切土や盛土により人工的な斜面が作られます。これらの斜面は建設中や建設後において崩壊せずに安定性を保っておく必要があります。この斜面の安定性は、ある土の塊が「滑り落ちようとする力」と「滑りに抵抗しようとする力＝地盤の強さ」のバランスにより評価します。軟弱地盤では、この「滑りに抵抗しようとする力」が小さいため、容易に「滑り落ちようとする力」が上回ってしまうため、土の塊が一気に移動し大変形を起こしてしまいます。

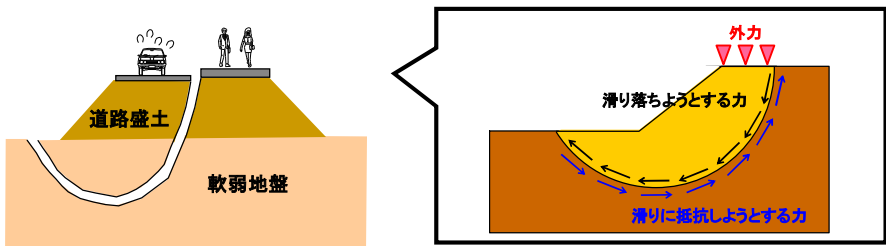


図4 斜面安定のイメージ

4-1 地盤を知る

1 身近であってもわからない地盤

家であれ、工場であれ、ビルディングであれ、多くの構造物は地盤の上に造られます。これらの構造物の重量や地震のときの荷重を地盤は支えることとなります。地盤が弱ければ、構造物をいくらしっかりと造っても、構造物に大きな負担を抱えて、構造物の沈下や壁の亀裂などをもたらすこととなります。地震による家屋被害では、構造物自身の被害も起こりますが、全壊や大きな被害を与える原因の多くは地盤の弱さです。構造物の場所によって沈下の程度が異なる不同沈下、地震時の地盤の変状は、地盤の上に存在する構造物に大きな被害を与えます。また、地中に埋設されている上下水道管などにも大きな被害を与えます。

地盤の性質や強さを知ることは重要です。特に、気を付けるべきは、平時はしっかりと構造物を支えることができても、地震や大雨の時には、地盤が支持力を失ったり、大きな変状を起こすことです。なぜ、このようなことが起こるのかを理解しておくことは大事です。

2 地形と地盤

地盤は、長い時間をかけて、川が土砂を運んで堆積して形成されたものです。図一1に、代表的な地形を示しています。この地形の中で、自然堤防などはよく締まった砂地盤です。山から川が広がる扇状地は、大雨が降った際に土石流などにより岩、砂などが堆積しています。地下水が豊富で地盤そのものはしっかりとしています。しかし、もともと土石流が形成した地形ですから、大雨が降った場合には土石流が発生する可能性が高く、集落地としては問題があります。

人口が少なかったときは、洪水や土石流、土砂災害などが頻繁に起こる地形は避けて住居が作られました。終戦後、人口が爆発的に増加して、必ずしも居住地としては適当でない地形にも家が建てられるようになりました。図一1に示す後背湿地は軟弱な地盤の層が厚く、地震

のときには大きな揺れとなり、大雨の際には浸水の危険が大きいです。崖を削って宅地を造成した場合は、土砂災害の可能性が高くなります。

「必ずしも住居としては適地ではないが、やむを得ず」宅地として造成したケースも多く見られます。

自分の住んでいるところが、もともとどのような地形で、どのような災害の可能性があるかを知っておくことは、自分の家屋そして自分の命を守るために、非常に大切なことです。

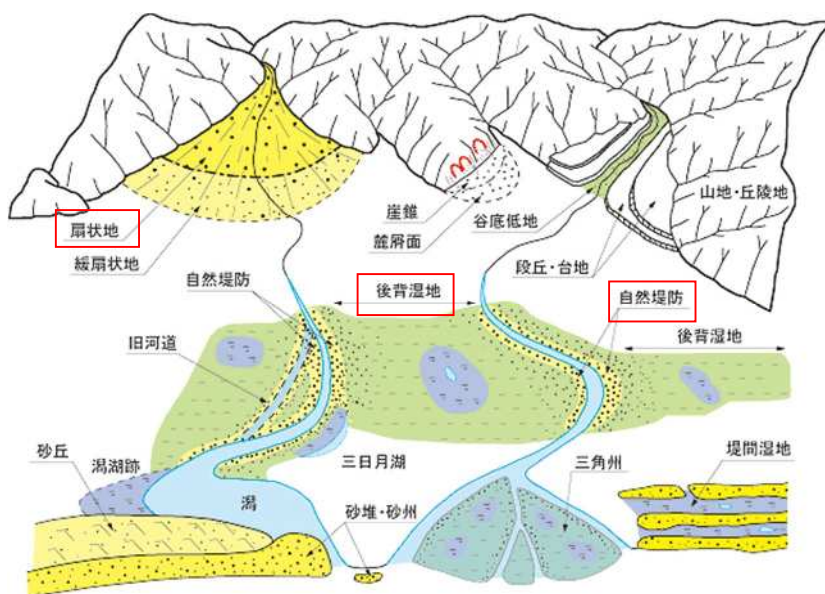


図1 基本的な地形

3 水と地盤

地盤の挙動を考えるとときに、水、特に地下水との相互作用を理解することが大事になります。結構、めんどろな話になります。

高度成長時代、特に、首都圏、大阪、名古屋などの大都市圏では、地下水を汲み上げすぎて、地盤沈下が起こりました。その結果として、地盤が海水面よりも低いゼロメートル地帯が増加しました。洪水時や高潮、さらに地震により堤防が崩壊することにより海水が居住地に流

地盤災害を低減するために

れ込む「地震洪水」などの現象では大きな災害をもたらすことが心配されています。

地盤沈下が悪い影響をもたらすことが明確になり、地下水の汲み上げを禁止する措置をした結果、首都圏では地下水が戻ってきています。地下水が戻ったからといって、地盤がもとの高さに戻るということはありません。わずかに戻るだけです。

水の影響は、ある日突然起こる地表面や道路の陥没にも見られます。地下水の流れがゆるやかに地盤に空洞を形成し、その空洞が見かけ上上昇し（空洞の上の部分の土が下に落ちることにより、見かけ上は空洞が上昇する）、地表面までの厚さが足りなくなると、地表面に作用する自動車の車輪からの荷重などの影響により、陥没してしまいます。道路などでは、高速で車が移動していますので、陥没は大きな事故につながります。

地盤がなんらかの異状を示したときには、専門家はまず水の影響を考えます。水の影響を考えるのは、正直めんどろなのですが、起こった現象を理解するためには、どうしても必要なことです。

4 軟弱地盤と人工盛土の違い

専門家以外にはなかなか理解してもらえない話をします。自然が形成した軟弱地盤上には、盛土造成をして家を建てたとします。この場合は、時間が経過すれば安定します。20年たってから軟弱地盤の悪影響がはじめて出てくるということはありません。軟弱地盤に伴う家屋への影響（例えば、玄関が開かなくなる。壁に亀裂ができるなど）は、家を建ててから5年ぐらいの間に出尽くしてしまいます。もちろん、もともとが軟弱地盤の上にあるわけですので、軟弱地盤は地震を増幅する性質をもっていますので揺れやすい性質は変わりません。

山を崩して谷を埋めた盛土地盤は、造成時の締固めが不足していると、時間とともに劣化が進み、大雨や地震により大きな崩壊をもたらす可能性があります。軟弱地盤と人工盛土は異なる性格をもつと考えるべきです。

山を崩した部分は「切土」と呼ばれ、谷をうずめた部分は「谷埋め

盛土」と呼ばれます。ほかに、造成面積を大きくするために、土を盛りつけた「腹付け盛土」もあります。強い地震動を受けたときの被害の程度は、盛土の方が切土よりも大きいといわれています。これは、切土はよく締まっていて地盤の密度が高いのに対して、盛土部分は締固めが不十分な場合があることが原因です。特に、造成地盤の中心部分は、ローラーなどによる締固めがしやすいのに対して、造成地盤の端の部分は斜面に近く、締固めが難しくなります。地震の際には、造成地の外回りの外周道路から斜面よりの宅地の被害が多く見られます。家屋自身は健全に見えるのに、斜面の崩壊に伴って斜面の途中で止まっている被害がよく見られます。

平時では、地盤の密度が多少小さくても、家屋程度の荷重はしっかりと支えることができます。地盤はしっかりと力を伝達する「力の鎖」を形成して、荷重を支えます。地震などによりこの「力の鎖」が壊れても、密度が高い場合は、壊れた力の鎖の近傍の粒子が新たな「力の鎖」をすぐに形成して、大きな変状に至ることなく家屋からの荷重を支えます。密度が低い場合には、新たな力の鎖を形成することが困難なために、大きな変状が生じ、家屋に大きな被害を与えてしまいます。

結局、しっかりと締固めて地盤の密度を高めることが役に立つのは、地震や大雨などの外力の変化が起きたときに、地盤が大きな変状を示さないためといえます。平時は、密度が高くても低くても、差は出ないのですが、大きな荷重が作用した時に差が出ます。

このことを理解することは難しいために、裁判所などでは、軟弱地盤と人工盛土の差を考慮することなく、「築後 20 年が経過しているので、施工者の責任はない」という判断がなされることが多いようです。これは、いつも問題になることで、被害が出た時点を起点として、訴えの有効期限を設定すべきという考え方も示されていますが、常識になってはいません。

4-2 自然災害から命を守る

1 自然災害のリスクの考え方

自然災害のリスク（以下、災害リスクと略記します）を軽減するために、脆弱性の低減を目的として、防潮堤や堤防の強靱化、破堤や高潮による浸水時の避難場所としての高台（スーパー堤防含む）の造成、道路やライフラインの冗長性（余裕）の確保などが試みられています。過疎地域での若者不足により災害対応が難しいことも脆弱性となります。また、リスクの低減を目的として、被害を受ける可能性のある地域に住む人口、事業所、工場を対象にして、移転、高層化により暴露を低減することも考えられています。これらのリスク低減方策は、膨大な経費を要するために、行政が行うべき事業と考えることができます。

脆弱性や暴露の低減により災害リスクを低減する努力は継続されるべきです。しかし、限られた財源の中で、短期間でのリスク低減は期待できないこととなります。また、長年住み慣れたまちからの移転などは、大きな心理的抵抗を伴うことも事実です。

様々な理由から、災害リスクを、脆弱性や暴露の観点から、短期間に低減することには限界があり、多くの町では、決して低くはない災害リスクとともに暮らし続けることとなります。

2 ちょっと昔のこと：集落での防災（共助）

堤防の高さも十分ではなく、雨が降れば洪水が当たり前の時代はそんなに古い話ではありません。昭和30年代半ばまでは毎年あるいは隔年で、洪水が起こっていました。そのときの集落がどのような体制で洪水に備えたかを振り返ってみたいと思います。ここでは、宮城県南部の小さな町の集落での防災の在り方を紹介しますが、おそらく、多くの地域で同様のことがなされたと思います。

空模様がおかしく、ラジオで大雨の注意報が出ると、青年団や婦人クラブが活動を開始します。青年団は、浸水しやすい家から始まって、

床上浸水に備えて畳を上げる。大事なものは2階に移すという作業を始めます。婦人クラブは、炊き出しの準備に入ります。その炊き出しの準備は、広い庭をもつ通称「庄屋さん」の家（高台にあり、浸水の心配はありません）で始まります。炊き出しに必要なものは各家庭から持ち寄ります。なべ、釜すべてにそれぞれの家の屋号の印が押されています。必要なまきは庄さんの家に保管されています。

あらかじめ決められた人が堤防の様子を見に行きます。川の水位を見るだけでなく、堤内地に湧き出している浸透水の濁り具合も調べてきます。湧き出す水が濁ったら、堤防が危ないということで、住民全員に知らせ、高台への避難を始めたようです。これは、地盤工学的には、「パイピング」が始まったということですね。理由はわからなくても、「濁ったら逃げろ」という言い伝えを守っているとのことでした。

知らせを受けると同時に、物置のはりや室内に格納していた舟を下ろします。舟は川にあるもので、なんで物置にぶら下げているのか不思議だったので、祖父に聞いたら、「水が上がったら、この舟で、お年寄りや米、布団なんぞを運ぶんだ。この舟をもっているのが、この集落での家の格を表しているんだ」と自慢げに話していました。

被害があったら、被害のひどい家からなんとか住めるようにして、順次繰り返していきます。堤防が壊れたら、総出で俵に土を入れて、土嚢をつんで復旧します。年寄は俵づくり、壮年青年は土嚢づくりと土嚢積みと作業を分担していたようです。稲わらはふんだんにありましたが、ブルーシートはなかった時代の話です。

行政からの公助がほとんど期待できない中で、集落の共助により、地域の復旧・復興を整然と行っていた様子を知ることができます。

3 命を守るための近助と共助

阪神淡路大震災は、倒壊家屋での圧死や火災により亡くなった方が多数を占めました。一方で、倒壊家屋より助け出された方も数多くいました。誰によって救助されたのか...その多くはご近所のかたの献身的な努力でした。つぶれた家屋から救助された人で、自助・共助の割合が97.5%に達しました。隣人、通行人による救助の割合が30%を超

地盤災害を低減するために

えていました。阪神淡路大震災は早朝の地震であったために、家にいた大人が多かったこともこの数字を押し上げました。

救命活動や延焼の防止などに、近助、共助が重要です。さらに地域コミュニティがしっかりと存在することが地域のレジリエンス（復興への回復力）を高めることは、災害のたびに言われることです。

話が逆になりますが、地域コミュニティを存在させるための最も適切な方法は、小学校・中学校のPTA活動と防災訓練ではないかと思えます。どちらも、原則的には逃れることはできない活動として位置付けることができます。この2つの活動が円滑に実施できない町は、多くの面でリスクの高い地域といえるでしょう。しかし、そのような地域が決して少なくはないというのが日本の抱える現状のようです。

すべての住民の防災活動への参加が無理ならば（多分、無理です）、あえて全員参加を求める必要はないものと思えます。住民のうち1割程度が高い意識とある程度の知識を持ち、半分以上の住民が防災活動に意義を見出すようなレベルを目標にすべきと考えます。このような割合であれば、円滑な防災活動の実施、避難の実施は可能です。後は地域の防災リーダーが適切に指示を出せるように頑張ることです。

4 最低限かつ最高の災害対策：避難

地震や洪水などの自然災害への対処として、最も大事なことは「命を守る」ということに異論をはさむ人はいないだろうと思えます。災害に強い強靱な町の構築が難しければ、命を守るための手段は、「避難」となります。避難は最低限の災害対策としてとらえることもできますが、「命を守る」目的で、これほど有効な手法はほかに存在しないことを考えると、最高の対策ともいえます。

適切な時間で安全に避難するためには、避難の意義の確認、避難手法の確立、集落の共助体制の構築などが必要です。これらを実行し、災害時に機能させることはかなり難しい話です。なにより、住民相互の信頼関係が必要となります。避難を確実に行うための意識づくり、準備、訓練などの難しさを考えると、「避難」は最高の災害対策として位置付けて、努力したいものです。

5 避難時のためらい：「空振り」の怖さ

避難勧告や避難指示を適切に行政が出すことは難しいものです。小さな町になると、災害対策の専門家がいるわけではありません。このために、タイムラインと呼ばれる防災行動計画が構築されています。これは、気象データや川の水位などがある基準を満たしたら、予め決めておいた時系列表に基づいて、「避難勧告」「避難指示」などを発信するというものです。ニューヨーク市の地下鉄の運行停止の判断で成功を収め注目を集めた手法で、日本でも取り入れられています。

防災に携わる責任者が怖がるのは、避難指示が「空振り」に終わったときの住民の反発でしょう。避難指示に従って、避難行動を起こすことは誰にとっても苦痛です。結果として、災害は発生せず事なきを得たとき、「誤った指示を出したものは責任を取り、陳謝しろ」などという声が出てきそうです。避難に伴う損害賠償を求める人も出てくるかもしれません。残念なことです。

自然災害が本当に起こるかどうかは、データと予測方法の不確実性の両者が絡み、その予測精度は決して高くはありません。また、住民全員の命を守るためには、かなり早い時点（洪水の際には、まだ雨が降っていない時点もあり得ます）での判断が必要になります。避難指示が空振りに終わり、住民全員が無事であったときに、誰をも非難することなく、お互いの無事を喜びあうような住民の高い見識が不可欠です。あらかじめ、徳を慕われている高齢者に、無事に過ごせたときに「よかったなあ。みんな息災だ。お天道様に感謝だな」の一言を、不満に先んじて言ってもらうようお願いしておくことも、地域コミュニティ維持の有効な手段と考えています。

5-1 宅地造成等規制法

宅地造成等規制法は、1961年（昭和36年）に集中豪雨により神奈川県、兵庫県等の宅地造成地において相次いで発生した崖崩れの災害を契機として、土砂災害の防止を目的に1962年（昭和37年）に制定されました。しかしながら、この法律にもとづく宅地造成工事規制区域は国土のわずか2.7%です。さらに、危険性のある大規模盛土造成地が宅地規制区域内のみに存在するとは限らず、また、兵庫県南部地震や新潟県中越地震の際に宅地造成工事規制区域外においても大規模盛土造成地（特に谷埋め盛土）で地すべりの崩落が発生したことなどから、宅地造成工事規制区域外の既設の造成宅地の安全確保対策として、2006年（平成18年）に宅地造成等規制法が改正され、一定の要件を満たす危険な盛土を「造成宅地防災区域」として指定し、災害防止のための措置の勧告、命令ができるようになりました。

これまで、既設の造成宅地については、耐震性を調査・検討し、対策を施すことはほとんど行われていませんでしたが、この改正にもなって、国土交通省より「大規模盛土造成地の変動予測調査ガイドライン（案）」、平成27年に「大規模盛土造成地の滑動崩落対策推進ガイドライン及び同解説に改定」が示されたことや、滑動崩落の防止を図ることを目的として「宅地耐震化推進事業」が創設されたことにより、ようやく既設の造成宅地における調査・検討・対策が始まりました。

宅地造成等規制法が昭和37年に創設され、その後、昭和40年代に大都市周辺部において新規宅地の大量供給が開始されましたが、当時、盛土等の土構造物の耐震設計は、フィルダム等の一部の重要構造物を除き、ほとんど行われていなかったことから、宅地造成における土構造物、擁壁等の耐震設計も行われておりませんでした。2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）における仙台市の被災宅地の多くは（緑ヶ丘地区や折立地区等）、仙台市が昭和40年に宅地造成工事規制区域に指定する直前に造成されたものでした。

2006年に宅地造成等規制法が改正されましたが、その主な内容は、滑動崩落防止のための技術的基準を追加したことと、都道府県知事が滑動崩落防止の危険のある既存の造成宅地を指定し、災害防止のために擁壁、排水施設、地すべり抑止杭の設置等の措置の勧告・命令ができるようになったことです。

宅地造成の設計方法については、本法律が創設された1962年から現在までの間の50数年の間に大きく変化している。既設の造成宅地の耐震性はそれぞれの宅地によって大きく異り、宅地の耐震設計については、以下のような問題があると考えられます。

- 宅地造成等規制法が制定された1962年より前に造成された宅地では、地震時の安定性に関してはほとんど考慮されていない可能性がある。また、1962年より新しく造成された宅地でも、古いものほど地震時の安定性に関して考慮が少ないものが多い可能性がある。
- 大規模地震動を考慮して設計されている宅地はあるものの、それは最近の一部に限られ、多くの宅地では大規模地震動は考慮した設計はされていない。現在では、一定の条件下での宅地開発は宅地造成等規制法や都市計画法における規制の対象になっており、擁壁や盛土・切土を対象として技術基準が設けられており、また、建築基準法において擁壁に関する技術基準が定められている。しかしながら、一定規模以下の宅地開発（ミニ開発）や一定以下の壁高の擁壁（宅造法が適用される擁壁では盛土1m以下、建築基準法の適用となる擁壁では2m以下など）に関して技術規定は特になく、地震に対する設計・施工は設計者の判断で行われているため、耐震性を考慮されていない場合が多数存在しているなどの問題が指摘されている。

<参考文献>

地盤工学会：地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために ―地盤工学からの提言―、2009年8月。

5-2 土砂災害防止法

土砂災害の多いこの日本。多くの被害がこれまでありました。これからも雨は降り地震も来ます。そして土砂災害は起こります。何とか、生命を守るために出来たのが、“土砂災害防止法”です。

1 土砂災害防止法が出来たきっかけ

平成 11 年 6 月に広島県で大雨により土砂災害 325 件、死者 24 名という甚大な被害が発生しました。土砂災害の危険性がある範囲に多くの人家があり被災したこと等を受けて、整備に時間と費用のかかる砂防ダムなどの対策工事だけでなく、まずは生命・身体を守る必要性が高いと認識されました。そこで、出来たのがこの法律です。

2 土砂災害防止法とは

土砂災害防止法は、土砂災害から国民の生命を守るため、土砂災害のおそれのある区域について設定し、危険を周知し、警戒避難体制の整備、住宅等の新規立地の抑制、既存住宅の移転促進等のソフト対策を推進しようとするものです。

この法律、正式には「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」といいます。

3 警戒区域と特別警戒区域

警戒のレベルに応じて 2 種類の区域に分けられています。

- ・**特別警戒区域** 特に危険な範囲のことで、建物が壊れるくらいの危険性が考えられる範囲です。危険なまま宅地分譲することができなかつたり、家屋の新築や増改築の際に、補強が必要になったりします。
- ・**警戒区域** 土砂が到達する可能性のある範囲のことで、避難が望まれる範囲です。非常に規模の大きい災害の場合、死者が出る場合があります。

4 土砂災害の種類

・急傾斜地の崩壊

雨や雪どけ水、地震などの影響によって、急激に斜面が崩れ落ちる現象で傾斜度が30度以上で斜面中や斜面の下側が特に危険性が高くなります。

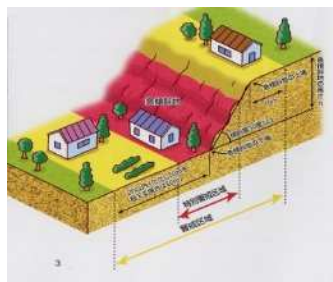


図1 急傾斜地

・土石流

山や川の石や土砂が、大雨などにより水と一緒に激しく流れ下る現象です。勾配が緩くなると土砂が谷からあふれ出し、我々の生活圏に影響を与えます。川沿いの上流部で危険性が高くなります。

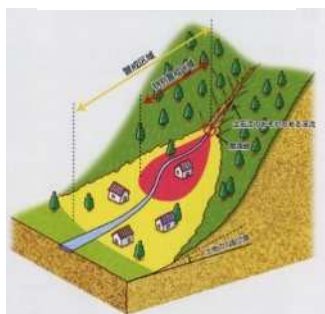


図2 土石流

・地滑り

雨や雪どけ水が地下にしみこみ、断続的に斜面がすべり出す現象です。地滑り地は傾斜が緩く、人が住んでいたり農地として利用していることもあります。

5 最後に

危険区域は、自治体のホームページなどから確認できます。一度、自分の家や会社、実家等が区域に入っていないか、調べてみてはいかがでしょうか。

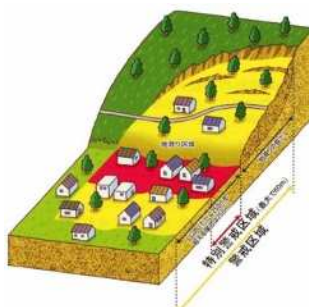


図3 地滑り

参考資料

- ・国土交通省 水管理・国土保全局砂防部ホームページ
- ・各県砂防担当課のホームページ ・市町村発行のハザードマップ

6-1 なぜ？雨で通行規制なの？

事前交通規制とは

大雨や台風による土砂崩れや落石等の恐れがある箇所については、過去の記録などを元にそれぞれ規制の基準等を定め、災害が発生する前に「通行止」などの規制を実施し、道路を利用する皆様の安全を確保します。

国土交通省 HP より

激しい雨が降ると、地面に大量の雨が浸みて地盤（土）が緩みます。また、周辺の山野に降った雨水が沢や谷底など低地に集まり、普段は水の少ない・流れがない場所でも大量の水が流れる場合があります。

自然斜面・切土や盛土のり面などの傾斜した場所では、地盤（土）が緩むと自身の重さを支えられなくなり、土が“ウォータースライダー”を滑るように動き、崩落や変形が起きる場合があります。また、沢や谷底を激しく水が流れると底に溜まっていた石や倒木を押し流す、水の勢いで周りの土を削ることで、土・石・木などが混じった水が勢いよく押し寄せてきます。

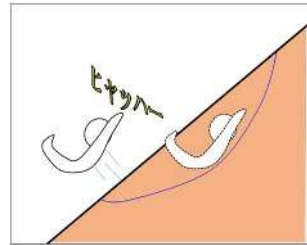


図1 崩壊イメージ

そこで、過去に起きた“雨による災害”の記録などから、それぞれの場所や区間で、どれくらいの雨が降ると災害が起き易くなるかの基準値を設けています。この基準値を超えると雨による土砂災害が起きる可能性が高くなるため、土砂災害が起きる前に道路の利用を制限することで、通行者が災害に巻き込まれることを予防し、道路を利用者の安全を守るためのものです。

大雨が予測される場合は、お出かけの前に各関係機関からの情報を確認することをお勧めします。

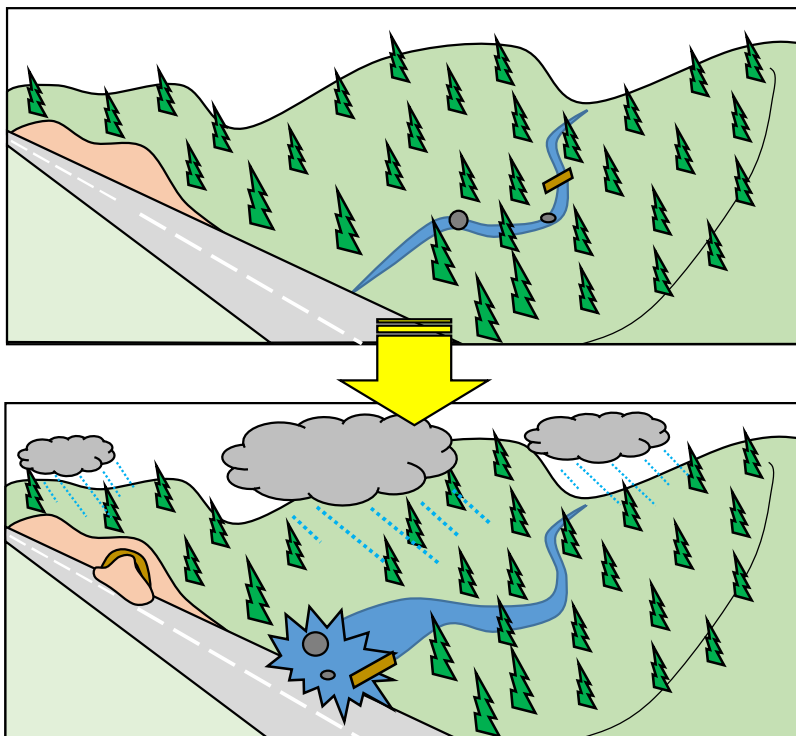


図2 降雨による災害イメージ

○ 通行止解除前の作業（高速道路の場合）

雨が降っている間はもちろん雨が止んだ直後でも、緩んだ土砂が道路に流れ込んだり、のり面が崩れるといった災害が起きる恐れがあります。

このため、基本的に通行止の解除は道路の点検や清掃を行うとともに、災害が発生した場合にはその復旧を行ったのちに交通管理者と路面の安全確認を行い、無降雨が続くことを確認した上で通行止解除を行ないます。

6-2 造成地盤と自然地盤の違い

造成地盤とは、人工的に切土や盛土を行って形成された地盤のことで、丘陵地などの高いところを削り（切土し）、谷や沢などの低いところを埋めて（盛土して）造った平坦な土地のことをいいます。

このため、造成地盤と自然地盤の違いは、人工的な地盤であるかどうかということになります。

1 造成地盤の被害の特徴

宅地などの地盤を造成する場合には、盛土においては、沈下、安定（斜面崩壊や地すべりのようなすべり破壊）、地震時の液状化などについて、十分な調査・検討・対策を行ったうえで施工します。また、切土においては、切土した斜面が崩壊しないように対策を行います。

このように、盛土や切土する際に、十分な調査・検討・対策を行っていれば大きな問題は発生しないのですが、近年、豪雨や地震により、造成地盤（特に盛土造成地）の被害が多く見られるようになりました（写真1、2）。



写真1 豪雨による被害例



写真2 地震による被害例

この原因としては、造成時に検討した外力条件（例えば地震力など）を超える事象が発生したことが挙げられますが、それ以外にも地下水位の上昇や地盤材料の劣化など、地盤そのものの問題によるものも少なくないようです。

2 自然地盤の被害の特徴

自然地盤は、山地・丘陵地、台地、低地などの地形条件や、地盤を構成する地質条件、地震や豪雨、洪水等の外力条件などによって、発生する災害が多岐にわたります。

私たちが暮らす住宅の足元の地盤（低地）や、住宅の周辺地盤（山地、丘陵地、台地）では、下図に示すような地盤リスクがあります。

腐植土層や粘性土地盤の圧密沈下、緩い飽和砂質土層の地震時の液状化などにより、住宅等が不同沈下を起こしやすい



図1 低地部における地盤リスク



図2 山地・丘陵地・台地部における地盤リスク

6-3 土砂災害警戒区域の指定を

受けたときに考えるべきこと

突然、あなたの家は「土砂災害警戒区域に指定されます」と行政機関から言われたら、どのように感じるでしょうか。「ここは、これまでそんな土砂災害など起こったことが無いから、大丈夫！」とか、「え、明日にでも崩れるかもしれないの？すごく心配なんだけど。」と思うでしょうか。土砂災害警戒区域を定める目的を知って、適切に対処すれば、土砂災害で命を落とすリスクを低くすることが出来る重要な情報となります。

1 警戒区域は 2 種類

土砂災害警戒区域は特別警戒区域と警戒区域の 2 種類あります。「特別」の方がより土砂災害の影響が大きいと想定される区域です。特別警戒区域（レッドゾーン）の場合、土砂災害が発生した際に、建物が損壊し人命に影響が想定される範囲です。警戒区域（イエローゾーン）は土砂の到達が想定されるものの、家が容易に倒れたりすることは想定させず、警戒避難体制の整備により人命を守る範囲です。

2 特別警戒区域（通称レッドゾーン）に指定されたら。

そもそも、土砂災害で命を落とすことは非常に確立が低いことを知っていますか。交通事故による死者は年間 3～4 千人にもものぼります。土砂災害による死者・行方不明者は、0 人の年もあれば 300 人程度の犠牲者がでる年もありますが、年間 30 人～40 人程度です。概ね交通事故に比べて土砂災害で命を落とす可能性は 100 分の 1 程度と考えられます。そのため、過度に土砂災害を心配する必要はありません。発生しやすい場所と気象条件等に少し気を向けることで、人的被害を避けることが可能な災害です。

指定されたら、非常に低い可能性かもしれないが、大雨等の際には十分注意し、どのような対応をとるか家族で話し合っておくことが望まれます。また、崖が隣接する山側の 1 階には長時間居住するリビングや寝室を設けないなどの対応も考えられます。そして、増築・立て

直しなどを計画する際には、移転、家の配置、補強にかかる費用などを総合的に考えて対応する必要があります。



図1 警戒区域での対応や制限事項

国土交通省砂防部ホームページより

3 警戒区域（通称イエローゾーン）に指定されたら

地震や大雨の際には、崖が崩れるかもしれませんので、避難情報が出た場合、命を守る行動をとってください。危険が差し迫る前に「土砂災害警戒情報」や「避難勧告」等の情報などを参考に避難活動をはじめること検討してください。想定を超える大規模な土砂災害の場合この区域でも死者が出る場合があります。

4 勝手な思い込みでなく命を守る行動を

「今回の雨は強そうだから避難訓練だと思って、避難してみるか」、「絶対大丈夫だと思うけど、念のため今日は2階で寝るか」と考え、命を守ってもらいたいのです。ごくまれに発生する土砂災害だからこそ、最低限命を守る行動をとってもらいたいのです。自治体が土砂災害ハザードマップを作っている場合もありますので、「危険箇所を把握して、土砂災害で人命を落とさないようにしていただければいいのではないか」だと、土砂災害防止区域に指定されたら考えていただければいいのではないのでしょうか。

参考資料

- ・首相官邸ホームページ、防災の手引き
- ・国土交通省砂防部ホームページ、土砂災害から身を守るために

6-4 「大規模な雪崩」の現場調査

1 「山津波」に匹敵する「大規模な雪崩」

一般的には地震等により海面に高波が発生し、海岸沿いを襲うなどの現象を「津波」と呼んでいる。これに対して大雨や地震等により大規模な「土石流や斜面崩壊、地滑り」などの現象を「山津波」と呼び、危機管理用語として使用されている。この様な中で、「山津波」に匹敵するような「大規模な雪崩」に関する事例を紹介する。豪雪地方の山間部に位置する防災区域の範囲設定等に役立つことを願っております。

2 大規模な雪崩の現場調査

これまでに山間部で発生した、土石流等の土砂崩壊以上の大量の雪崩が流下し平場に堆積する強風を伴った沢状地形の雪崩、また河川を流下し橋梁に激突し河川を埋め尽くした大規模な雪崩等を紹介し

2.1 福島県桧枝岐村の大規模な雪崩状況

2013年2月25日に栃木県北部で地震発生(M6.3)の震源地より北方向に約15Km離れた福島県桧枝岐村の斜面近辺(地震観測値で震度5強)において図1の様な大規模な表層雪崩が発生(標高約600m)、沢状地形を流下(延長L≒2000m)し道路や河川(幅W≒200m)が埋没した。幸いに人身事故は発生しなかった。なお後日、表層雪崩に伴う強風により近辺の斜面の流木がなぎ倒され斜面に吹き上げられた流木が確認され、改めて雪崩の厳しさを知り得た現場資料である。



図1 大規模な強風を伴った雪崩の痕跡

2.2 山形県小国町内の鉄道橋破損した大規模な雪崩

融雪期の2005年3月12日に山形県小国町の米坂線において大規模な全層雪崩が発生し、河川幅が約30mの鉄道橋に激突し、橋桁を歪曲した事例。更に、河川が堰止められたため、上流部の水位が急激に上昇(ダムアップ)し、下流域の住民に緊急事態が発生した。幸いに河川を堰止めた雪崩壁の隙間が徐々に増大し事なきを得ている。なお同町において1940年3月5日に列車が雪崩に襲われ、15名が死亡し30名が負傷している。



図2 鉄道橋が歪曲し河川を堰止めた現場

2.3 山形県鶴岡市(旧朝日村)の大規模な雪崩状況

2006年2月上旬頃に山形県朝日村(大鳥湖)近辺の常願寺山において大規模な表層雪崩が発生し河川(幅約150m)を横断して対岸の流木をなぎ倒す表層雪崩が発生した。(現場調査4月下旬) なお近辺では1918年1月20日にこの様な大規模雪崩に

より大鳥鉦山付近の集落が雪崩に飲み込まれ154名が亡くなり集落が消滅する痛ましい雪害が発生している。

沢状地形の雪崩は下流の平場に到達すると扇状に雪崩のデブリが拡散し、強風を伴い土石流以上に被害が広がる場合があるので特に注意を要する。



図3 沢状地形の雪崩の痕跡(扇状地)

6-5 地名が教えてくれること

地名は先人の知恵

地名の多くは、昔の人が特徴や目印としてその土地を呼んだ言葉が代々受け継がれてきたものです。

国土地理院 HP コラム「地名と水害」より

地名は、住民の生活や歴史に深く関係があり、多くの人々に認識され定着したもので、地名に入っている漢字はある土地（場所）の特徴的な地形を表すことが多くあります。

例えば、“沼”や“田”などは湿地や氾濫原、“池”は水が溜まりやすい場所であったりすることが多く、このような場所では大雨時に水が溜まりやすい、地震の揺れで液状化の被害を受けやすい土地である可能性があります。また、“山”や“丘”などは地盤の良い山や台地、“崎”などは自然堤防などの水はけの良い場所であったりします(表 1、図 1)。

近年は、市町村合併や大規模な造成工事などによりイメージの良い地名に変更、地名の簡略化などが行われていることがあり、昔から存在する地名が消えてしまうことがあるようです。

これに対して駅やバス停は、初めに付けられた名称が変わることはあまりないようです。また、それらの名称にはその土地の住民になじんだ通称地名が付けられることもあるため、より狭い範囲の地形を表していることもあると思われます。

自分が住んでいる周辺の地名を確認しながら散歩をすると、普段は気が付かない僅かな地形の変化に気が付くかもしれませんね。

表 1 地名にある漢字の例※

由来	小分類	良好な地盤				軟弱な地盤			
地形	山地	山	尾	根	岳				
	台地	岡	丘	台	坂上				
	傾斜地	坂	阪						
	みさき							崎	岬
	水辺						浜	洲	州
地物	窪地・低湿地					谷	窪	袋	坂下
	河川					川	江	瀬	沢
	湖沼								池
地質	人工物					堤	井	舟	堰
	地質	岩	磐						砂
植物	森林	森	林						
	水辺の植物					菰	竹	蓮	蒲
	農作物								稲
生物	水鳥					鶴	鴻	鴨	鷺
	水辺の生物							貝	亀
	山の生物	猪							魚
当て字	そね	曾根							
	や(谷)								矢
	うめ(埋め)								梅
	す(洲・州)								須
状態	高低	高	上						下
	水						渡	浅	深

※河合・福和ら；地震ハザードの説明力向上のための地名活用に関する研究，日本建築学会
構造系論文集 第74巻 第636号，409-416,2009. 参照

下図は仙台市近郊の地名を色分けしたものです。青色の地名は河川の近くや低地に多く、茶色の地名は丘陵地にあることが分かります。



図 1 仙台市近郊の地名

6-6 地盤調査の方法

地上からでは地中のことがよくわかりません。そのため、建物などの構造物を建てる時、地中の土の種類や状態を調べたうえで、目的に合った対策を講じながら工事を行います。

では、土の種類や状態をどのような方法で調べるのかについて2例を紹介します。

1 ボーリング調査

ボーリング調査は、ボーリングマシンを使って、土を掘り進め、実際に土を採取して、砂なのか、粘土なのかといった土の種類を見ることができます。

また、ボーリング調査の孔を使っていろいろな試験を行うことにより、その土が持つ特性・強さ・性状などを調べることができます。

これらの調査や試験を行うことで、例えば、マンションや橋、または河川堤防や道路といった構造物を建設する際に沈下や液状化の可能性があると判断されれば、事業者はある程度の抵抗性を持たせるため対策を講じています。

2 スウェーデン式サウンディング試験

スウェーデン式サウンディング試験は、写真のように真ん中の棒に最大100kgのおもりを載せて回転させ、その回転数から土の強さを調べる試験です。

ボーリングと違い実際に土の状態を見ることはできませんが、試験中の音などから砂か粘土かを判断します。主にボーリング調査の補完や、住宅の地盤調査に使用されます。

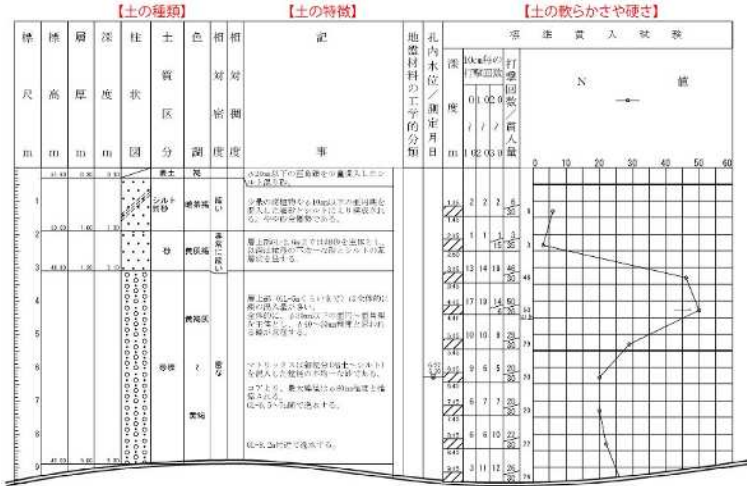


図1 ボーリング調査

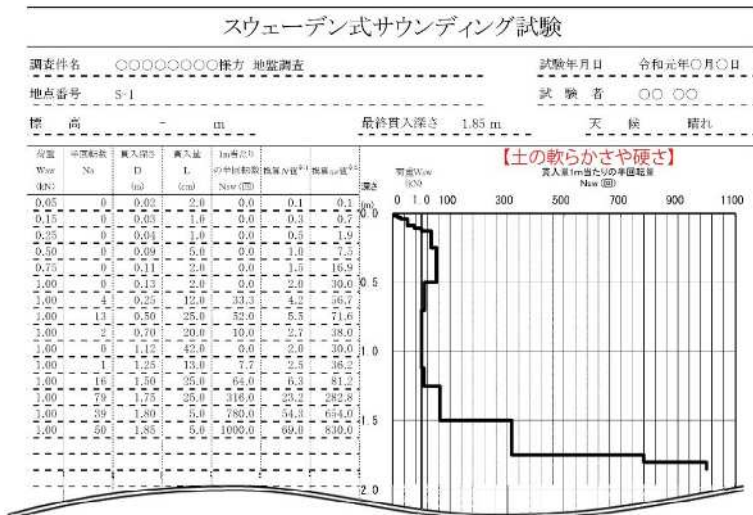


図2 スウェーデン式サウンディング調査

＜ボーリング調査結果 柱状図の例＞



＜スウェーデン式サウンディング試験データシートの例＞



6-7 家を買う時に専門家が考えること

3年前に仙台市内で一軒家を購入した際に、どのようなことを考えたのかをご紹介します。当然ながら、家の耐震性などについても考えましたが、ここでは地盤や家が建っている場所の災害リスクについて考えたことを記載します。

1 造成地のリスク

本書でも紹介されているとおり、造成地は地震や豪雨によって変状が発生するリスクがある場合があります。そのため、物件が造成地にある場合には、切土（地山を切った部分）なのか、盛土（土を盛った部分）なのか、切盛境界（切土と盛土の境界）であるのかにこだわりました。具体的には、造成地の場合はできるだけ切土の上に建っているものを候補にしました。また、造成年代（造成地が建設された年）にもこだわりました。この造成年代についても、本書の中で説明がありますが、1962年の宅地造成等規制法よりも前に建設された造成地はリスクが高いですし、造成年代が新しくなるほどリスクが低減することを意識して地盤情報を見ていました。このように、地盤情報を見ながら自宅の候補を探すことができたのは、私の住む地域では造成地の切盛情報と造成年代の情報がマップとしてインターネット上で公開されているからです。私が専門家だからではなく、誰でも入手できる情報になっています。驚いたことに、お世話になった不動産屋はこの情報を知りませんでした。ただし、私がいかにこだわったせいか、最後には物件を紹介して頂く際には地盤情報も事前に調べて頂けるようになり、「いい情報を教えて貰った」との感想を頂きました。災害リスクを考える上では、地盤も建物と同じように自分の所有物として責任を持つ必要がありますので、地盤情報を眺めながら家を探すことができたのは非常にありがたかったです。

2 津波・斜面災害・洪水・液状化のリスク

津波・斜面災害・洪水・液状化のリスクは、地震や豪雨の被害を拡大させる要因で、やはり家を買う際には気になります。これらのリス

クについても、情報は簡単に手に入りました。ハザードマップです。ハザードマップは多くの市町村で整備されており、インターネットさえあれば、誰でも簡単に入手できます。2018年の西日本豪雨の際にもハザードマップの有用性は立証されています。土砂災害の警戒区域や特別警戒区域に入っていないか、洪水の浸水範囲に入っていないかなどなど、いろいろと調べたことを覚えています。また、ハザードマップを見て、避難所へのアクセスのしやすさなども考えていました。

3 内陸直下型地震のリスク

内陸直下型地震が発生すると、動いた断層付近周辺に被害が集中します。そのため、警戒されている活断層の近くは避けて候補を選んでいました。この情報も J-SHIS という WEB サイトで日本全国の活断層の位置を確認することができました。

4 おわりに

私があまりに防災情報にこだわった結果、なかなか良い物件の候補が見つからず、妻が呆れていたのを覚えています。しかし、家を購入した今では、やはりこだわって良かったと思います。何も知らずに、何も考えずに家を購入していれば、災害時に家族や家のことを必要以上に心配することになります。考えて購入したからと言ってリスクがゼロになるわけではありませんが、無料で誰でも使える情報が転がっているのですから、少しでも将来の不安を小さくするために、それらの情報を使わない手はないと思います。

参考資料

- ・ J-SHIS 地震ハザードステーションのホームページ

6-8 「リスクと責任」のお話し

多くの人が係わる事業での責任とは

どのような事業であれ、異なる会社や企業体に属する多くの人が関与します。その事業で、もし悪い結果が出たとしたら、誰が責任を負うことになるのでしょうか。この問題もリスク論の大きな問題です。

誰も悪い結果をもたらそうとして意図的な行為をしたわけではなく、明確な過失もないのに、悪い結果がもたらされてしまうことがあります。この場合には、悪い結果に対する責任を個人的な犯罪や過失行為に帰着させることはできません。

例えば、飲料水・工業用水の確保と洪水調整のためにダムを建設したとします。そのことによって生態系が崩れ、貴重な種が失われたとします。事業として、環境アセスメントも実施し、自然環境への擾乱を極力押さえた施工方法をとった。それにも関わらず、その後の調査で、貴重な種が失われたとします。

さて、責任はどこにあるのでしょうか。「アセスメント、調査、設計、施工管理これらすべての観点で、現時点の科学技術レベルからみて、意図的行為や過失など格別な問題があるとは判断できない」というケースを考えます。この場合には、個人や特定の会社を対象とした犯罪的な責任は発生しません。それでも貴重な種が失われたという事実に対して、責任問題が発生します。良し悪しは判断できませんが、現代社会の一つの特徴です。

6-9 リスクを大きくするバイアス

1 バイアスとは

東日本大震災で犠牲になられた方の多くは津波でした。逃げ遅れてしまった方が多くいました。この事実「正常性バイアス」が悪い影響を与えたとする報道が多数ありました。

バイアスは偏見と訳されていますが、適当な訳とは思えません。人間が長年かけて身に付けた感覚が、時には悪い方向に働くので気をつけなさい、ということを表すのがバイアスです。

自然災害のときに、人の判断に悪い影響を与える「正常性バイアス」、「同調性バイアス」、「追認性バイアス」の概要を述べます。これらのバイアスは、私たちの日常的な判断にも悪影響を与えます。自分の判断に、これらのバイアスが作用していないかどうかを確認するだけでも、リスクを低減できるものと思います。

2 正常性バイアス：大したことはない

正常性（あるいは正常化）バイアスは、人が危機的状況を感じたときに、「大したことはない。落ち着け」という心の動きです。例えば、山中でクマなどの猛獣にあったときに、慌てることは悪い結果になります。人間（ホモサピエンス）はおおよそ 20 万年の歴史ですが、その多くは、飢餓と他の動物から身を守るという歴史でした。このことより、危ないと感じたときに最も大切なことは「落ち着く」ことでした。この正常性バイアスはかなり強いもので、避難すべきときに避難できなくなってしまう。

「あわてるな」「うろたえるな」「わめくな」という心の動きが正常性バイアスです。多くの場合、これらの心の自動的な動きがよい結果をもたらします。ただ、逃げるしか方法がないときにも、同じように作用してしまいます。

危険なときには、正常性バイアスが作用するという事実を知って、そのバイアスを克服することが必要です。克服するためには、正常性バイアスの存在を理解し、克服する訓練が必要です。

3 同調性バイアス：逃げたいけど逃げられない

地震が来て、「逃げたいな」と思っても、同じ部屋にいる人が動かないと自分も動けないという心の働きが「同調性バイアス」です。

ホモサピエンスがほかの人類と比較して優れていたのは、協調性（他人と協力し合う）あるいは同調性（他人と同じことをする）であったといわれています。競合したネアンデルタール人の集団の規模は、お互いにすべての人を認識できる 300 人程度が限界であったのに、ホモサピエンスだけは、神、宗教、国家などの概念を共有して、数万人から数百万人もの大きな集団を形成できたといわれています。

この優れた協調性と同調性が大きな集団を形成することを可能として、灌漑、堤防、都市を造り、大きな繁栄をもたらしたわけです。ただ、この同調性も、危機的状況では悪い方向に作用します。周りの人の動きを優先して、自分の行動を決めてしまうということになります。

リスクを小さくするためには、同調性バイアスを克服して、「避難の先頭を走る、率先避難」のが、リーダーとしての役目であることを強く意識する必要があります。

4 追認性バイアス：自分は正しい

ひとは一度決めたことは容易には変更しないという性質があります。この性質が好ましいのは「初志貫徹」が美德とされていることからわかります。ある優れた技術者の述懐です。「一度、大丈夫と判断してしまうと、悪い情報はあっても、自分の判断を変えない。そんなときに、大きな失敗をしてしまうんですね」

人はある判断を下すと、自分の判断に都合のいい情報だけを重視して、都合の悪い情報は無視するというを身に付けています。多分に、この考え方の方が成功する可能性が高かったという経験が教えたんですね。ウサギを捕まえるときには、「ここだ」と思ったところで、ウサギが現れるのを待っていた方が、ウロチョロするよりも、飢えを救ってくれる動物の確保に成功したのです。

大雨の際にも、自分の経験に基づいて「大したことはない」（これは

正常性バイアスですね)と考えて、降り続く雨に対しても「雨は弱くなってきた。俺の判断は正しい」(これが追認性バイアスです)と考えて、避難勧告を無視するということになります。

追認性バイアスの一種として、成功体験があります。「以前に、こういう困難な状況のときに、ある方法で成功したので、今回も同じようにするのが最善である」と考えてしまい、大失敗を犯してしまうことがあります。

身近な例では、ある病気のときに試して回復できたときに「私はこのサプリメントを飲んでうまくいったので、あなたも試すべき」と押し付けてくる人がいます。サプリメントが効いて、回復できたのかどうかは全く根拠がないのですが、ある意味信じてしまうのが怖いですね。

5 バイアスと不合理性

このようなバイアスは、「ものごとを合理的に考え、しっかりとした方法論に基づけば克服できる」と考えたくになります。小学校、中学校、高校までは、合理的に考えることの重要性が強調されます。合理的に考えれば「正解は必ず見つかる」と教えられます。そのような問題ばかりを勉強しているわけです。大学になると、さすがに不合理なことが世の中では多い。どんなに頑張っても合理的に答えを見つけられない現象があるということをちょっとだけ(複雑系や非線形数学などで)教わります。

ときには合理的な判断よりも、バイアスや不合理性が優先する理由として、ヒューリスティック(近道思考)という概念が提唱されています。すべての問題に対して、合理的に解決することは不可能です。日常生活のほとんどは、合理的に考えているわけではなく、過去の経験や勘に基づいて、直観的に判断し、それで多くの場合には、格段の問題なく、生活しています。駅の改札口でスイカをタッチしたり、切符を挿入したりしています。判断することなく、無意識的にやっています。これらもヒューリスティックな判断と言えます。

先にも述べましたが、ホモサピエンス 20 万年の歴史のほとんどはヒ

ユーリスティックな判断が優先されました。急いで判断する場合のほとんどは、勘と経験による判断でした。緊急時の人間集団の判断も、合議するというよりは、リーダーの直観的な判断でした。

データや方法論に基づく合理的な判断（あるいは意思決定）が人間社会で取り入れられるようになったのは、人間社会が、飢餓や病気をある程度克服し、余裕が生まれた 18 世紀の産業革命以降のこととされています。日本で、合理性が叫ばれるようになったのは、太平洋戦争後のことと言えます。合理的判断の歴史は極めて短く、いまだに瞬間的な判断の際には、狩猟時代、集落単位の生活が支配的であった時代の経験に根差す「バイアス」が優勢になることが多いです。

6 バイアスを克服するために

バイアスが常に自分の判断に存在することを理解し、そのバイアスを克服することは難しいものです。自分一人で処理することはできないとする知恵を身に付けたいと思います。その知恵がリスクを大きく低減させます。

自分一人で克服できないなら、どうすべきでしょうか。多くの人の意見を聞くことが有効とされています。中国の唐の時代には、皇帝のいうこと、なすことに批判的意見を常に述べる役割の人を置いたそうです。必ず、その批判的意見を聞くことがシステム化されていたそうです。

現代社会に生きる私たちも、効率ばかりを求めてリスクを大きくするのではなく、バイアスを克服するシステムをもち、リスクを低減するという知恵と余裕を持ちたいものです。

6-10 リスク論の基礎

1 リスク論とは

今の状況、あるいはこれから行おうとすることが、安全か危険か、どの程度危険なのかは生活するうえでいつも考えていることです。雨の降り方が激しい。裏山は大丈夫だろうか。ちょっと心配だから、家族はみんな裏山の反対側で寝ることにしよう。このような判断は日常的に行っています。

このような場合の判断をできる限り合理的に行おうとするのがリスク論です。しかし、リスクを考える際に、すべての段階で合理的に行うことはできません。「思い込み」「勘違い」など、どうしても不合理なことや、「好き嫌い」など感情的になることがあります。これらの合理的でないことも否定することなく積極的に認めて、リスク全体を考えていこうとするのがリスク論です。

2 リスク論のひろがり

政治経済から科学技術の最先端までリスク論は利用されています。日本でもリスク論が注目されたのは、米国が政策決定の際に、リスク論を用いた分析結果を最重要視すると決定したからです。日本においても、これからの重要な判断に際して、リスク論が大きな役割を果たすとされています。例えば、原子力発電所の再稼働の管理に、リスク論に基づく管理手法が適用されることになっています。あらゆる分野でリスク論に基づくリスクマネジメントが行われることになるでしょう。

3 リスクの定義

広い分野で共通に「リスク」という用語が使われます。しかし、その定義に共通性はなく、かなり好き勝手にリスクという用語が用いられています。現時点では、常に「このリスクは、どういう定義であろうか」と確認する必要があります。一つの本の中でも、リスクが違う定義で利用されていることもあります。本当は、いちいち「この文章でのリスクの定義は、これこれである」と断る必要があるのです。し

かし、ある特定の分野にどっぷりとつかっている専門家は、自分が頭の中で考えているリスクが正しいと感じているのでしょう。なんの定義もされずに使われていることが多いです。

このような状況にイラついていても仕方がないので、理系分野での一般的な定義を考えます。その定義は以下の式で与えられます。

リスク＝確率×結果（影響）の大きさ

私たちの判断は、結果の大きさ、自然災害であれば、損害の大きさ（亡くなった方の数、損害金額など、**ハザード**と呼ばれます）に強く影響されます。ハザードばかりでなく、その起こりやすさである確率も一緒に考えて、できる限り合理的にしようというのがリスクです。例えば、ある市で、10年に一度ぐらい、300億円ぐらいの洪水被害があるとします。別に、200年に一度ぐらい巨大地震により4000億円の被害があるとします。起こりやすさも考えるために、1年あたりの被害に換算すると、洪水は30億円/年、地震は20億円/年となり、リスクとしては、洪水の方が高いということになります。このようなことをより厳密に合理的に行うのが**リスクアセスメント**ということなのです。

4 様々なリスクの定義式が存在するわけ

科学技術の分野では、この「確率×結果」というリスクの定義式が用いられることが多いです。基本はこの式に置きながらも、科学技術の分野であっても、分野ごとに見かけの異なる定義が現れます。

例えば、防災の分野では、リスクの定義の中に、**脆弱性（バルネラビリティ）**や**暴露度（エクスポージャー）**などが現われます。リスクの定義にとって大事なはずの「確率」が定義から消えていることがあります。これは、脆弱性や暴露度の方が利用しやすい量であるという理由です。例えば、ダムを造ることによって、洪水に対する脆弱性が低下することにより、流域市町村のリスクが下がるという直観的にわかります。利用しやすく説明しやすい変数の方が扱いやすいということになります。このような理由で、様々なリスクの定義式が現れます。多くの場合、このような説明は一切ありませんので要注意です。

5 リスクをもたらすもの

私たちの生活、仕事、事業の中でリスクをもたらす原因はなんでしょう。か。「神様ではないのだから、人は失敗する」という言い方がされます。神様と人の違いは何でしょうか。「神様はすべてのことを確実に知っているが、人は一部だけをそこそこ知っている」と考えると、リスクがわかりやすくなります。

6 リスクは不確実性がもたらす

リスクは、**不確実性**によってもたらされると一般には考えられています。何らかの事業を行うとします。その事業を企画する際に、すべてのことが確実であれば、リスクは発生しないということになります。予定通りのものが出来上がり、事業は成功という結果になります。

しかし、予定通りにいかないのが当たり前です。まったく考えもしなかった地震が起こったり、予定していた資材が手に入らないという事態になり、当初の目論見どおりに事業が進むことはありません。どのような事業であっても、不確実性が付きまとうことになります。

7 不確実性の原因

不確実性の原因としては、大きく2つに分けることができます。**モノ**と**ヒト**です。**モノによる不確実性**は、対象とするモノの品質がばらついていたり、場所によって大きく変化していたりすることによるものです。土木工事で利用される材料は、鋼、コンクリート、土・岩です。鋼とコンクリートは人工的材料です。その品質のばらつきは小さく、かなり確実性をもっています。しかし、土・岩は自然が作った材料です。その品質は大きくばらつきます。このため、土・岩が主たる材料となる工事では、不確実性が大きくなります。

バラツキが小さい場合には、リスクを判断するのに必要な変数を確率変数にとらえることにより、より正しいリスクの計算につながります。コンクリートの分野ではこのような手法が用いられます。

もう一つの**ヒトによる不確実性**は、人の経験、知識不足や判断ミスが主たる原因になります。経験のあまりない技術者が崩壊につながるような危険な兆候を見過ごすことはよくあります。また、専門家の間でも、どのように設計すべきか意見が異なることがあります。

不確実性をどのように処理していくべきかは、これからの大きな課題です。「人事を尽くして、天命を待つ」とは、いろいろな場面でよく言われることです。どのような結果が待っているかは、不確実性がある限り、事前に予測することはできません。人間にできることは、不確実性に関して勘違いや思い込みがないように、関係者間でなんども繰り返し協議して、可能な限りのデータを取り込んで、不確実性を減らす努力です。また、そのようなことが可能となるようなシステムを作り上げ、**リスクマネジメント**として実施することになります。

8 リスクの感じ方

リスクの感じ方は、専門家と一般の人では大きく異なります。専門家にとっては小さなリスクであっても、一般の人には大きなリスクと感じられることがよくあります。特に、放射能、重金属、食品添加物、遺伝子組み換え作物などについては、リスクに対する感じ方が大きく異なります。これらのものに対して、実は専門家は怖さを感じません。なぜならば、リスクで考えると非常に小さなものだからです。しかし、一般の人にとっては、これらの用語に対しては、嫌悪感を強く感じます。この嫌悪感によってリスクを大きく感じるようになります。

このような専門家と一般の人のリスクの感じ方の違いは、さまざまな事業を進める上で大きな障害となります。「正しい知識を持ってもらえば、住民はわかってくれるはずである」という考え方で、住民とのコミュニケーションを始めたら、おそらく失敗に終わります。

このようなことは、**リスクコミュニケーション**という分野で強く主張されています。「信頼関係の構築」を目指した広報のありかたが議論されています。

小さなリスクを過大に感じて、その処理を求めることは、別のリスクを生み出すことになります。このようなことを**リスクのトレードオフ**といいます。リスクに対して、適切な判断ができるように必要な知識を得ることも、これからの生活を考える上で大事なことになってきます。

公益社団法人地盤工学会 東北支部

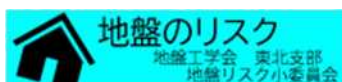
Tohoku Branch of The Japanese Geotechnical Society

<http://jgs-tohoku.org/>

東北地域地盤災害研究委員会

地盤リスク検討小委員会

より詳しい資料はホームページバナーから



(学会支部事務局)

〒980-0014 仙台市青葉区本町 2-5-1 オーク仙台ビル 3 階

E-mail : jgsb-th@tohokushibu.jp

電話 : 022-711-6033 / FAX : 022-263-8363

執筆編集 : 地盤リスク検討小委員会

一般向け / 全体 / 2019.11.18 版