

リスクは何故ある？

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。

リスクは何故ある？

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>

リスクは何故ある？

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、何度も何度も繰返し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>

リスクは何故ある？

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

リスクは何故ある？

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。

リスクは何故ある？

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ではなく、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。。。

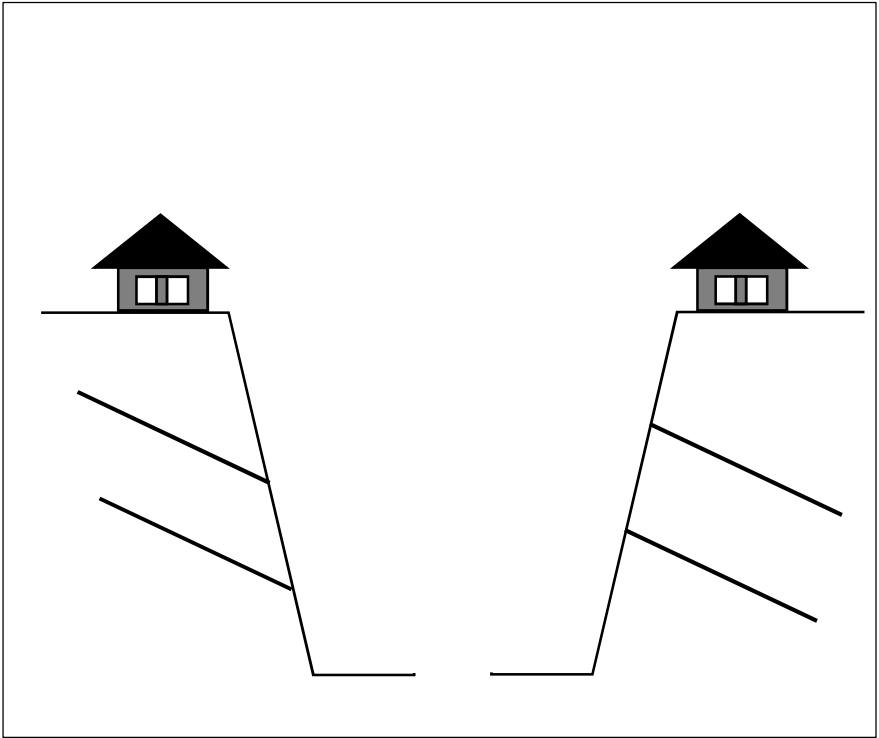


図1 どちらの家が安全？

リスクは何故ある？

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そうですが、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。

リスクは何故ある？

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。そうなると、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？