

津波・高潮と沿岸防災

高知工科大学システム工学群 教授 佐藤 慎司



1. 海岸では「長い波」ほど危ない

私たちがふだんの海で目にする波は、海で風が吹くことによって発生したものです。波の性質は、図1に示すように、高さ（波高）と長さ（波長）によって表わします。波長の代わりに時間を用いることもあり、波長の長い波は、ひとつの峰が通過してから次の峰が来るまでの時間（＝波の周期）も長くなるので、周期が長い波と表現することもできます。

風によって発達する海の波の高さや周期は、風速や風域の大きさによって決まります。発生初期の波は高さが小さく周期が短い「さざ波」のような小さな波ですが、強い風速のもとで長い時間かけて発達した波は、高さが大きく周期も長くなります。波高が10mを超え、周期が15秒から20秒程度になる高波もあります。しかしながら、高さが10mを超える波でも、海岸に近づくと砕けてしまい高さが小さくなるので、これだけで沿岸域が広く浸水することはまれです。これに対して、津波や高潮では、周期が数十分から数時間と非常に長くなります。「長い波」は、沿岸で砕けることなく海岸に押し寄せ、陸地の奥深くまではい上るといった性質があります。沿岸域が大規模に浸水するのは、津波や高潮などの「長い波」が来襲したことが多いのです。

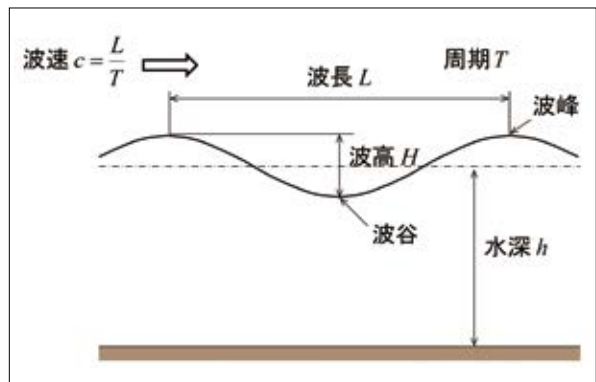


図1 波の高さ、長さと周期

2. 海底地震で起きる津波

津波は主として海底地震によって発生します。地震の規模が大きくなる海溝付近では、巨大な津波が発生します。日本の沿岸では、日本海溝や南海トラフなどの海溝付近で巨大な地震や津波が繰り返し発生します。図2に海溝型地震で津波が発生する機構を示します。例えば、日本海溝では、大陸プレートの下に太平洋プレートが毎年数センチメートルずつ潜り込んでいるため、約百年に一度の頻度で、巨大な地震が発生します。地震は地盤内に断層破壊が生じる現象ですが、破壊の影響で海底が隆起・沈降し、これに伴い、海面が上昇・下降して津波の初期波形が形成されます。形成される津波の初期波形は、波長が100kmに及ぶこともある「長い波」です。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震もこのようにして発生した巨大地震であり、津波の初期水位が沿岸に伝播することにより、周期1時間程度の津波が沿岸域を浸水させ、大きな被害を発生させました。このようなタイプの津波は周期的に起きるの

が特徴で、東北地方太平洋側に来襲した津波としては、慶長津波(1611)、明治三陸津波(1896)、昭和三陸津波(1933)があります。南海トラフ沿岸においても、宝永地震津波(1707)、安政東海津波、安政南海津波(1854)、昭和東南海津波(1944)、昭和南海津波(1946)など、ほぼ百年に一回の頻度で大きな津波が発生しています。

沿岸に押し寄せる津波は、海底地形の影響を受けて変形します。リアス式海岸の入り組んだ地形で見られるV字型の湾では、幅の広い湾口から来襲した津波が、徐々に

幅を狭めていく湾地形によって増幅され、V字の頂点に当たる湾奥部では、極めて大きな津波となる場合があります。このように、津波の高さや来襲方向は、沿岸の地形に大きく影響を受けるため、津波が集中する地域などをあらかじめ確認しておくことが重要です。

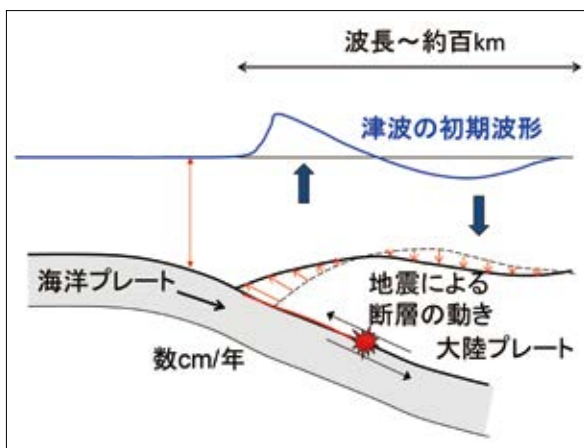


図2 海溝型地震で津波が発生するメカニズム

3. 台風時に水深の浅い湾で発生する高潮

台風や強い低気圧が来襲すると、波が高くなると同時に、海の水位も上昇します。周りを陸地で囲まれた海域である湾の中では大きな水位上昇がみられることが多く、これを高潮と言います。高潮も「長い波」の一種ですが、周期が数時間と津波よりさらに長いので、波というよりむしろ潮の満ち引きのように、湾内の水位が全体的に上下動する現象のように見えます。高潮の発達には2つのメカニズムがあります。1つ目は大気圧の低下に伴い、海面が吸い上げられるように上昇する「吸い上げ」とよばれる現象です。大気圧が1hPa低下すると海面は約1cm上昇します。平常時の大気圧は1,013hPa程度ですので、台風の中心気圧が910hPa程度になると、台風の中心では海面が約1m上昇することになります。2つ目のメカニズムは、湾口から湾奥に向けて強風が吹き続けることにより、湾奥に海水が吹き寄せられ海水面が上昇する「吹き寄せ」です。この「吹き寄せ」による海水面の上昇は、風速が強いほど、湾の長さが長いほど、湾の水深が浅いほど大きくなります。北半球では、中心の東側(=右側)で

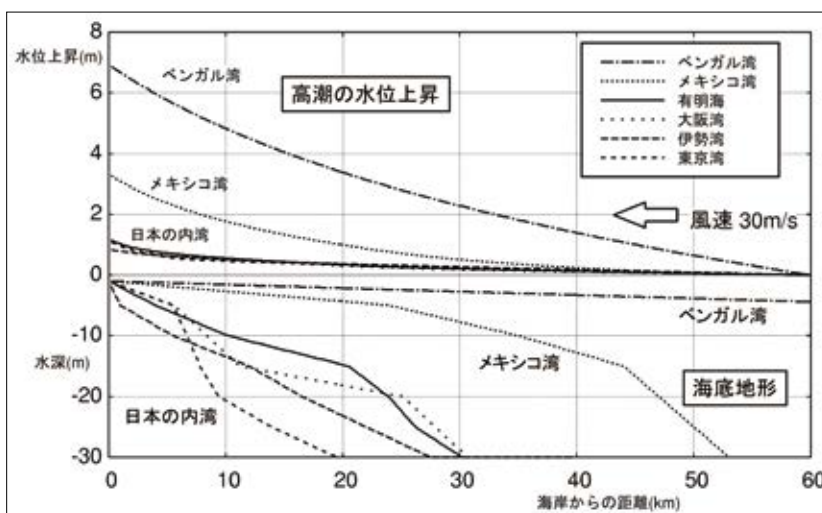


図3 世界各地の湾における海底地形と高潮の水位上昇

は、台風の北向きの風と台風の移動に伴う北向きの風が重なり合って、非常に風が強くなります。台風の右側となる南に開いた長い湾で、湾内の水深が浅い場合には、湾口から湾奥に向けて強い北向きの風が作用するため、「吹き寄せ」による水位上昇が大きくなります。世界的には、ベンガル湾やメキシコ湾、日本では、東京湾、伊勢湾、大阪湾、有明海や周防灘などがこれらの条件に合致し、図3に示したように、海岸での水位上昇量（図3上左端）が大きくなります。これらの地域では、過去に大きな高潮災害が繰り返し発生しています。

4. ハード（海岸堤防）とソフト（避難）を組み合わせた総合的な対策

津波や高潮に対する対策は、堤防などの構造物によるハード対策と、沿岸域の土地利用規制・警報・早期避難などによるいわゆるソフト対策を組み合わせることで総合的に進められてきました。ハード対策では、既往最大津波の記録などをもとに計画対象とする津波や高潮の規模を決定し、潮汐や高波の作用も踏まえたうえで、これらに基づいて設計される海岸堤防により陸地への浸水を防護します。堤防の構造を適切に設計すれば、その高さまでは海水の侵入を完全に防止できるので、「防災」と呼ぶのがふさわしい対策です。しかしながら、堤防は、その高さを大きく超える規模の津波や高潮に対しては、ほぼ無力となります。堤防を越えて氾濫が生じることが想定される場合には、早期避難を中心とするソフト対策で被害の最小化を図るのが総合的な津波・高潮防災の理念です。この場合には、ある程度の被害は防ぎきれませんので、「減災」のための対策となります。浸水想定図が作成されており、洪水のハザードマップと同様に、減災に活用されます。

2011年に巨大津波が来襲した東日本太平洋側沿岸においても、ハード対策とソフト対策を組み合わせる総合的な津波対策が進められていました。しかしながら、2011年に来襲した津波の高さは過去のどの記録よりはるかに高く、青森県から房総半島に至る東日本太平洋沿岸において、広い範囲で壊滅的な被害を発生させました。

大津波の後の新たな津波対策では、レベル1とレベル2の二段階の津波規模を設定することとなりました。これは、これまでのソフト対策においては、避難計画で用いるべき津波の高さが具体的に示されていなかったためです。そのため2011年の大津波では、避難所のいくつかで浸水被害が発生しました。このような被害を繰り返さないため、最大クラスの津波であるレベル2津波を科学的に設定し、これを地域の避難計画などに用いることとなりました。

一方、海岸堤防の設計には、レベル1津波を用います。レベ

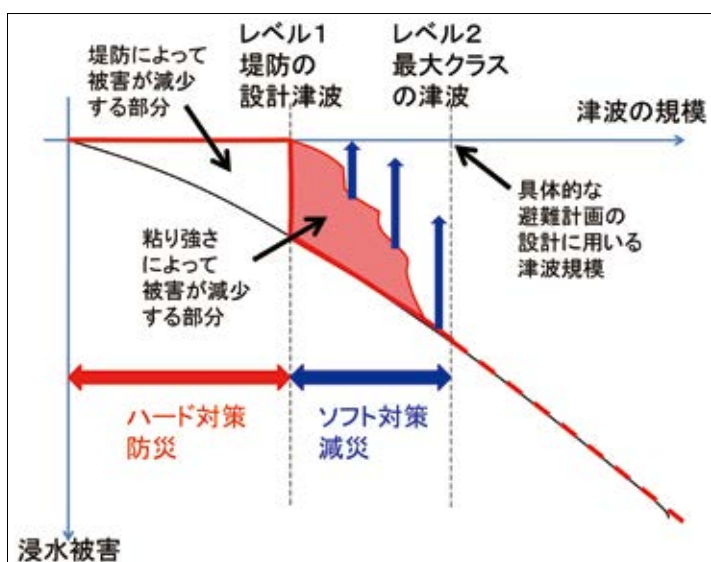


図4 二段階の津波レベル設定と防災・減災

ル1津波は、数十年から百数十年に一度の頻度で発生する津波であり、レベル2津波に比べると、頻度が高く、高さが小さい津波になります。百年程度に一回の頻度で発生する津波を用いるのは、日本海溝や南海トラフで発生する巨大地震の発生周期がほぼ百年であるためです。コンクリート製の海岸堤防や防波堤などの寿命（約50年程度）も考慮されています。例えば、千年に一度程度の極めて低い頻度でしか発生しない巨大津波に対して、コンクリート構造物でこれに対応すると、二十回程度造りなおして、実際にその高さの堤防が必要となるのは一回のみということになり、構造物のみでこのような低頻度の巨大津波に対応するのは不経済であることがわかります。構造物の設計に用いる津波としては、百年に一回程度の頻度で発生する津波（レベル1津波）を採用するのが合理的と考えられます。高潮についても、同様の考え方が模索されています。現在の高潮対策における堤防は、過去に記録された最大の高潮を用いて設計されていますが、これを超える規模の高潮に対する備えも必要なため、想定最大規模の高潮に対する浸水地域も公表されています¹⁾。

5. 減災の中核は地域防災リーダー

津波や高潮に対して、二段階のレベルを設定し、防災・減災対策が全国各地で進められていきます。堤防の高さを超える津波や高潮をあらかじめ想定することで、被害を小さくすることができます。しかしながら、津波や高潮の災害が迫りつつある現場において、その場に在る住民の全員が最適に行動するのは容易ではありません。たとえば、発災の現場においては、これから来襲する津波や高潮が堤防で防ぎきれないレベル1規模以下なのか、それを超える規模なのかを十分な精度で判断することはできません。ある程度不確実な情報しかないなかで、迅速かつ適切に行動しなければならないのです。できれば避難しないで済ませたいとする心理や、大きな災害が発生するとは考えたくないと思う正常性バイアスなどが作用することも考慮したうえで、個々人の迅速かつ適切な行動を促す必要があります。そのためには、津波・高潮対策の考え方や、堤防の機能と限界などを正しく理解し、これを住民に適切に伝える地域防災リーダーの存在が重要になります。

津波・高潮対策においては、安全な堤防を造る技術が確立したことによって、ある規模の現象までは災害を防ぐ（＝防災）ことが可能となりました。しかし、実は発災の現場では、防災を考える前にまず減災のための迅速な避難が重要になるわけです。津波や高潮が来襲する現場において、防災施設を過信したり、減災を防災の先にあるものと捉えたりすることは、避難を遅らせることにつながりかねません。防災計画の限界を意識したうえで減災の行動を促し、これを全員の意識の中で共有することが必要です。防災・減災の考え方を、行政と住民、ハード対策の担当者とソフト対策の担当者、専門家と一般の人々がそれぞれのレベルで正しく共有しておく必要があります。沿岸防災・減災を実現するためには、地域防災の担い手が地域コミュニティの中核となって、指導的な役割を果たすことが重要です。

【参考文献】

1) 高潮浸水想定区域図、東京都、<https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/kasenbu0056.html>、2020年7月参照。