



自然の 水を相手に、 その挙動の 予測に挑む



1 水理学への誘い

秋田大学工学資源学部土木環境工学科

松富英夫 教授

このコーナーでは、私たちの社会や生活に身近な研究テーマを分かりやすく紹介する。第一線で活躍なさっている研究者の研究内容を中心に、学問の仕組みや今後の可能性などについて、インタビューする。

大雨、洪水、高潮、津波…。水は時として人間社会に大きな被害をもたらします。人は古くからこれらの発生を予測する技術とともに、被害を最小限に止めるための技術開発に取り組んできました。そのためには水がどのような動きをし、どのような力を持つのかなどを知ることが重要ですが、自然が相手だけに、それは容易ではありません。それに挑んでいるのが水理学という学問です。「水」と格闘する水理学の最前線を紹介しましょう。

この学問って？

**水理学は土木工学の一分野
水の運動や力学的な性質を明らかにする学問**

人間は、自然との調和や環境の保全を考慮しながら、自分たちが暮らしやすいように農地や都市を造り、川の流れを変え、海岸の形を変えてきました。これらの技術や知識の体系全体が土木工学という学問を形成しています。治水やダム、道路、鉄道、トンネル、橋梁、上下水道、港湾、空港など社会基盤となる大規模な建設物を造る土木工学 (Civil engineering) は、国家の基盤を支えてきています。

その土木工学には、「構造力学」「土質力学」「水理学」の3つの専門基礎科目があり、大学の土木系学科では、この3科目は必ず学ぶことになっています。

構造力学は、橋や建物などの構造物がどれだけの力に耐えられるかを明らかにする学問です。構造力学の土台

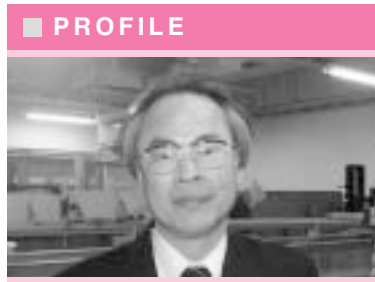
は「フックの法則」に行き着きます。バネは一定の限界までは重さ(力)に応じて伸び縮みするという法則です。その限界を超えると、バネは伸びきったり、切れたりします。構造物は石や木材、鉄などの金属、コンクリートなどの材料で構成されていますが、構造力学は、極論すれば構造物の材料にフックの法則を当てはめて、ものごとを考える学問ともいえます。

一方、土質力学は、土の力学的な性質などを明らかにする学問です。土は1cmでも隔たれば互いの性質が異なりますから、土を同一体として捉えることはできませんが、構造物はその土の上に建設しなければなりません。したがって、厳密には分からなくても、土の性質を力学的に考えてみようというのが土質力学です。

水理学は、水の運動や力学的な性質を明らかにする学問です。水の動きそのものは物理的に理論化されていますが、例えば一旦波が砕けて空気が介在してしまうと、その先の動きを予測することは困難です。ある程度までは理論的に議論ができて、水が空気などの異物質を伴い、構造物と出会った場合などの理論化は不可能という難しい世界です。

水がどう動くかを明らかにしようとする学問はいくつかあります。水などの流体の挙動を物理的に突き詰める場合は「流体力学」になります。機械工学の世界でパイプラインなどでの流体を扱うときは「水力学」といった言い方をします。土木では水理学と言いますが、流体を扱うという点では、これらはみな同じ学問と言えます。

水理学の特徴は、「大気や土と接した水の流れを扱う」こと



PROFILE
松富英夫教授 (まつとみひでお)
秋田大学工学資源学部土木環境工学科教授
1953年山口県生。1979年中央大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。2005年より現職。現在、工学資源学部付属地域防災力研究センターのセンター長でもある。専門分野は水工水理学で、津波、特に沿岸や陸上での挙動と流体力、ダムや河川堤防などの決壊による氾濫流解析、秋田県南部海岸の漂砂動向と海浜過程分析などが主な研究領域。スマトラ島地震による津波被害では、数日後に現地を訪れ、調査活動を行った。



です。土木工学は自然を相手にしていますから、土木工学の一分野である水理学は河川や海岸などにおける水を対象にしています。そのため水理学は、以前は「河川水理学」と「海岸水理学」に分類されたりしましたが、現在は両方をあえて区別せず、「環境」が話題になっていることもあってか「環境水理学」という呼び方をすることが多くなっています。いずれにせよ、河や海などの水がどう動くか、またその力学的な性質はどうかといったことを研究するのが水理学です。



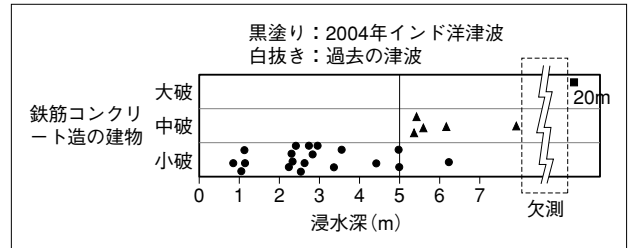
水理学の大きな研究テーマの1つに津波研究があります。津波の力学的な研究にもいくつかの種類があり、大きく「発生の研究」「伝播の研究」「沿岸や上陸してからの挙動の研究」に分かれています。発生の研究は、地震が起きたときにどんな津波が発生するかを明らかにするもので、伝播の研究は、波源域で発生した津波が遠く離れた地域までどのように伝わっていくかを解明するものです。この2つはいずれも工学レベルでの数値計算の技術が開発され、コンピュータシミュレーションとして視覚的に見ることができます。しかし、自然界で起きる現象ですから、海底地盤変動、それに対する水の応答や波の分裂など不明な要素がたくさんあり、それを数値計算にいかん反映させるかが、当面の課題といえます。発生の研究では、人工衛星を使って宇宙から発生過程をキャッチしようという試みが行われています。これは特に新しい発想ではなく、水理学に関係する降水問題などにおいてすでに行われていることですが、今後発展させるべき研究課題と考えています。

私の専門は、沿岸や上陸してからの津波の挙動と流体力に関する研究です。通常、波の運動は流体力学で説明できますが、一旦波が砕けてしまい(砕波)、防波堤などの構造物に当たると、その後の動きの予測が困難になります。また、海岸や居住地などを氾濫する水の高さやスピード、建物がある場合の挙動は未だに予測が難しい状況です。

研究を進めることによって、通常の海の波(波浪)と津波の違いについて、波の動きや波の力について分かってきたことがあります。

例えば、「エッジボア」の研究です。波には海岸に対

■図 津波浸水深と鉄筋コンクリート造の建物の被災程度の関係



鉄筋コンクリート造の建物に関しては、浸水深が5m以下であれば小破、8~20mのデータは無く、20mで大破した1例が知られている。

して直角に入ろうとする性質がありますが、中には沿岸に沿って伝わろうとする波(エッジウェーブ)があり、その波が砕けると段波(ボア)と呼ばれる波になります。水平底でのエッジボアの理論はありますが、沿岸のような斜面での動きについてはまだ理論が確立されていないので、実験を行って仮説を立て、数値計算でその動きの予測に取り組んでいます。その結果、エッジボアは沿岸から沖に向かう性質があることが分かりました。

また、波の力に関する研究でも進展が見られました。通常の海の波は波の間隔(周期)が短く、砕波すると急激にエネルギーを失うので、陸岸に近づくと小さなエネルギーになっています。しかし、津波の場合は周期が長く、大きなエネルギーを持ったまま構造物や陸岸にぶつかり、大きな力を及ぼすことになります。このような津波によるエネルギーは予測できない現象を引き起こします。例えば1983年の日本海中部地震津波では秋田県の峰浜村で、重さ4tの異形ブロック(*)が100数十メートルも飛ばされた記録があります。これは、異形ブロックが津波に飲み込まれてしまい、異形ブロックの重量が浮力で軽くなり、津波の先端部が分裂して形成された短周期波成分で遠くに飛ばされたことによるものです。

1983年の日本海中部地震津波以来、津波による構造物の被害の研究も行っています。水理学の研究では、水路を使った実験を通じて現象を理解し、それを現実の現象に当てはめながらその理論を練り上げることが多いのですが、津波の被害は実験による再現が容易にできません。そこで、被災地で被害や津波痕跡などを調査し、そこから津波の大きさと被害との関係を導き出していきます。

これまで津波の被害は、浸水深(津波の高さ)と構造物の被害程度を関連づけて予測し、それをもとに波の力の大きさを推定し、構造物の設計に反映させてきました。

しかし、私は津波の被害の予測のためには、浸水深だ

■恐るべき津波の破壊力



海岸から約0.9km内陸に位置する形をとどめた数少ない家屋の1つ(北スマトラBanda Aceh)。家屋前背面の浸水痕跡差からピーク時の氾濫流速は約7.7m/sと推定された。

けでなく、津波の流速も重要ではないかと考えます。津波の流速をリアルタイムに測定することはできません。構造物に津波が押し寄せると構造物背後に水が回り込むため、その前面と背面では浸水深が異なります。破壊されずに残った構造物でその差を測ることによって、おおよその流速が推定できます。流速が決まれば、その構造物に作用した力が計算できるのです。

また、構造物が一切残らないような巨大津波の場合は、構造物から流速の推定はできませんので、近辺の小山の津波痕跡を測ることにしました。小山の場合も前面と背面では水位差があるので、実験によって、その差から流速を推定する計算式を導き出し、それに実際の津波のデータを代入することで、流速の推定を行います。

水位差から推定する流速はあまり精度がよくありませんが、浸水深以外の指標として、近年、注目されています。私は1983年からこうしたデータの収集を試みてきましたが、2004年12月26日に発生したスマトラ島沖地震津波を機に、多くの研究者が流速を推定するようになりました。今後も津波の被災のたびに流速のデータが蓄積され、それをもとに津波の力と構造物の被害の関係が、解明されるはずです。

■漂流物による被害と 植生による被害緩和にも注目

また、漂流物を伴った場合の流れとその被害についての研究も始めています。流木については研究を行ってききましたが、津波の場合は、木材以外にも船や車、コンテナなどが漂流物として押し寄せます。そこで、各漂流物に対応する降伏応力などを決め、それが1つぶつかる場合の被害と、さらに2つ、3つがぶつかる確率などから、被害を想定しようという研究です。実験室でのデータをベースにして、実態に合うモデルの構築を目指しています。

さらに、植物による津波エネルギーの減衰効果に関する研究にも取り組んでいます。津波の被災地を調査すると、植物によって被災が緩和される場合もよくあります(*2)。そこで、植物がどの程度エネルギーを吸収するのかを明らかにしようというわけです。まずは実験室でデータを集めて数値計算モデルを導き、それから実際の被害と比べる研究ですが、問題は実験の難しさです。実験室で起こす津波は実際の100分の1程度のスケールですが、そのスケールで実際の植物と相似の効果を出す(*3)材料がなかなか見つかりません。試行錯誤の末、特注することになりましたが、高価なため、少しずつ実験を進めています。

■国の防災対策や各地の港湾設計などに 研究成果が役立っている

これらの津波研究の成果は、国の中央防災会議の被害想定や各地の港の漂流物対策などに活用されています。このように、自分たちの研究成果が人々のために役立つことで、少なからず世の中に貢献していることを実感しています。

津波に限らず、水理学の研究は人々の暮らしと直接関係ある水の動きをできるだけ明確に記述しようというものです。自然を相手にするだけに、まだまだ分からないことが山積されています。水理学は、未知の研究分野に挑戦できる学問なのです。

(*1) 異形ブロック…波などの力やエネルギーを弱めることを目的として海岸などに設置されるコンクリートブロックの総称。ちなみに「テトラポッド」も異形ブロックだが、これは商品名。

(*2) 植生による減衰効果…日本では1854年の安政南海地震以降、津波被害の低減に防潮堤と植生(主に松)による面的防護が有効だと考えがある。

(*3) 相似の効果を出す…模型を使った実験では、模型が実物の挙動と相似の関係になるように条件(相似則)を整えることが必要。高さ10mの津波に対して実験室で100分の1の高さ10cmの津波を起こす場合、実際の松の木材を100分の1にカットしたのを使っても、相似則は満たされない。



コラム
column

就職状況

研究室生の就職先は、ゼネコン、コンサルタント会社、公務員など。コンサルタント会社では、専門である水理学の知識を活かした仕事ができる。コンサルタント会社にも専門があり、河川や港湾が専門であればより専門性が活かせる仕事ができる。

実際はゼネコンへの就職が多い。一般的に土木系学科出身の学生は国家・地方公務員になることも多いが、現在は、公共事業の縮小などで、従来よりも減少傾向にある。そのため、高度な数値計算の技術などを見込まれてSEや金融機関に就職する例もある。もっとも「土木は総合工学なので、ほかの工学系学科よりは他分野への転身が可能なのかもしれません」(松富教授)。