

津波・高波による災害の軽減に向けて

地球総合工学専攻 社会基盤工学コース
教授 荒木 進歩

1. はじめに

私は、2023年5月1日付で工学研究科地球総合工学専攻社会基盤工学コースの教授に昇任し、国土開発保全工学領域を担当しております。国土開発保全工学領域では、沿岸域・海岸の防災、および海岸侵食等の海浜地形変化に関する研究を行っております。私は学部4年生で本研究室に配属されて以来、大学院博士前期・後期課程の5年間、それ以降は教員として本研究室において研究および教育に従事しております。沿岸域・海岸の防災と聞くと、2011年の東日本大震災や本年1月の能登半島地震の際に発生した津波、また今後の発生が懸念される南海トラフ地震による津波に対する防災をお考えになる方も多いかと思えます。あるいは、台風接近時に海岸や港湾の防波堤に押し寄せて、激しい飛沫を打ち上げる高波の映像を思い浮かべられる方もいらっしゃるかと思います。以下では、津波被害のひとつである橋梁の流出に関する研究、および台風接近時等の被害として発生する越波に関する研究をご紹介します。

2. 津波による橋梁の流出

2011年3月の東日本大震災から遡ること約6年、2004年12月にインド洋大津波が発生し、沿岸各国に甚大な被害を及ぼしました。このとき、津波による橋梁の流出が注目されました。1本の道路の寸断により、迂回路の確保が困難になる地域が存在することが再認識されたからです。山地が海岸線まで迫る急峻な地形が多い日本では、そのような地域が少なくありません。津波による橋梁の流出が救援物資の輸送等の遅れにつながることで想定されるため、日本でも研究が進められるようになりました。私も2007年頃から研究を始め、橋梁に作用する津波波力の特性を把握することに努めてきました。ここでは、水理模型実験により水路内に擬似的な津波を発生させ、橋梁模型全体に作用する波力を測定した結果をご紹介します。

台風来襲時の波と比較すると、津波は非常に長い波長および周期を持つため、実験水路内に津波を発生させることは容易ではありません。一般的には、(1)台風時の波を造波するために使用される最も一般的なピストン型造波機を改良して津波を造波、(2)高い位置まで水を貯めた貯水部のゲートを急開して津波を造波、(3)ポンプ等を用いて水流を発生させることにより津波を模擬、などにより水路内に擬似的な津波（以降、単に津波と呼びます）を発生させています。これらの方法で水路内に発生させた津波は、それぞれ少しずつ特徴が異なります。ご紹介する研究では、(1)と(2)の方法で発生させた津波（ただし、本検討では(1)のピストン型造波機は改良せずに通常の状態で使用したため、実際の津波のような長い波長ではありません）を用いて、海岸線沿いの橋梁に作用する橋梁模型全体に作用する波力にどのような相違が生じるかを検討しました。

橋梁全体に作用する鉛直上向きの力の測定結果を図1に示します。使用した橋梁模型は図中の左側にグレーで示す通り、下面に凹部を持つ断面としました。(1)の方法で発生させた津波は孤立波状（波が砕けていない）、また(2)の方法で発生させた津波は段波状（波が砕けている）と呼ぶことができます。造波方法以外の細部に

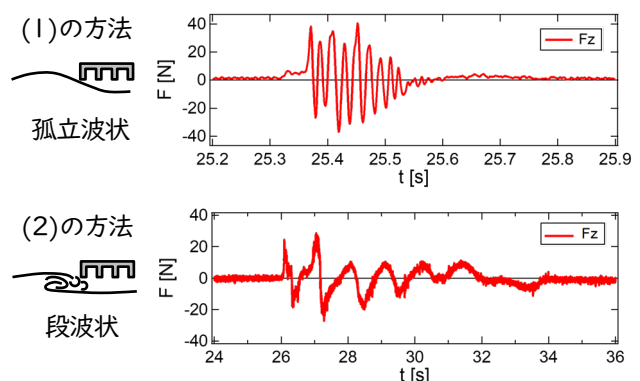


図1 橋梁に作用する鉛直上向きの力

においても、両者の間では条件の違いがありますが、鉛直上向きの作用力の特徴がまったく異なることが分かります。孤立波状の津波による波力には、非常に短い周期の振動が見られます。段波状の津波による波力にも周期的な変動が見られますが、振動の周期はそれほど短くはありません（両グラフの横軸の時間スケールが異なっている点にご注意ください）。解析の結果、孤立波状の津波による波力は、橋梁模型下面の凹部で空気が圧縮される際の力によるものと判断されました。この空気圧縮による力が実際の橋梁の挙動にどのように影響を及ぼすかは、模型の相似則および橋梁の動的な応答解析をもとに、更なる検討が必要です。

3. 越波の抑制

「海岸線にあるものは？」と尋ねられたら、何が思い浮かぶでしょうか。珊瑚礁、松林など自然豊かな回答もあるかと思いますが、これを回答する方も少なくないと思います。そう、消波ブロックです。コンクリート製のブロックで、日本の砂浜を少し歩けば必ず目に入ると言っても過言ではないくらい、多数の消波ブロックがあります（そのため、景観を害する等の批判を受けることもあります）。

消波ブロックには、海岸侵食の防止、海岸堤防への波力低減、陸地へ浸水する波（越波）の抑制などの機能があります。消波ブロックを積み上げることにより消波ブロック相互が咬み合い、来襲する波に対して安定性を保ちつつ、これらの機能を発揮します。来襲する波が非常に高い場合（ここでは津波ではなく、台風来襲時の波を考えます）は消波ブロックが飛散し、消波ブロックを積み上げて作られた構造体（以下、消波工と呼びます）の形状が崩れることがあります。しかし、消波工は高波により全体が瞬時に崩壊することはなく、緩やかに変形が進行します。現在、設計外力以上の波に対しても、粘り強く機能を発揮することが求められており、この特徴を活用することが期待されます。ここでは、消波工が変形していく過程において、陸地への越波量がどのように変化するかを水理模型実験により測定した結果をご紹介します。

波により変形していく消波工の断面を Initial、Profile 1→2→3→4 のように表現し、それぞれの消波工断面に対して、陸地への越波量を測定した結果を図2に示します。写真は Initial と Profile 4 を示しています。三角形形状の消波工の右側には、海と陸の境界となる直立壁（海岸堤防）があります。Initial は変形が生じていない当初の消波工断面であり、消波工の天端と直立壁の天端が同じ高さです。その後の変形とともに消波工の天端が低下し、斜面が緩勾配化していきます。グラフの縦軸が越波量を表しますが、消波工断面の変形が進行するにつれて一様に越波量が増加するのではなく、越波量は増加の後、逆に減少する結果となりました。消波工の断面が徐々に変形することと同様に、消波工の越波抑制機能が急激に悪化することはなく、粘り強く機能を発揮することが具体的に示されました。なお、変形が最も進行した Profile 4 において越波量が最小になりましたが、直立壁に作用する波力は大きくなるため、Profile 4 を積極的に活用することには課題があります。

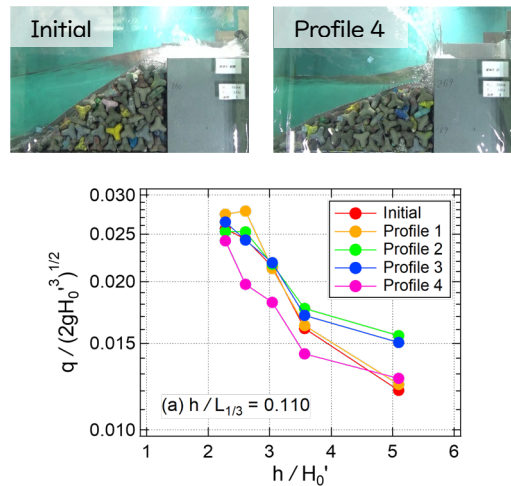


図2 消波工の変形と越波量

4. おわりに

設計外力に対して安定性を確認するだけでなく、設計外力以上の波に対して何が起こるのか、構造物の性能がどの程度、低下するのかを明示する時代になりました。気候変動により自然の力が変化しつつある今、みなさまの安全が確保されるよう、沿岸域の防災についての研究を継続して参ります。今後ともご指導賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。