

海岸堤防の役割

東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 佐藤 慎司

1. 海岸保全の考え方

わが国の海岸は、台風、冬季風浪、高潮、津波などの厳しい自然環境に曝されているため、古くから沿岸災害に悩まされてきた。第二次世界大戦後に大規模な水害が頻発するなかで、1953年の台風13号により、愛知・三重県の海岸を中心に高潮災害が発生し、これを契機に1956年には海岸法が成立し、海岸保全が体系的に進められることとなった。

海岸保全対策では、堤防などの海岸保全施設を用いて、波や流れと漂砂を制御し、沿岸域の治水安全度を向上させる。代表的な構造物である海岸堤防（＝防潮堤）は、波浪・高潮・津波などに対して陸域への海水の侵入を防止する施設である。計画対象とする高水位に基づいて天端高さを決定し、諸構造を設計するのは河川堤防と同様であるが、不規則な波浪が堤防に打ち上げる際の水位は洪水のそれに比べて変動が大きいことが特徴である。そのため、最大波を用いて堤防を設計すると巨大な堤防が必要になり、現実的でなく、海岸堤防の設計では、波の高さを代表する統計値として、有義波の諸元が用いられる。有義波は不規則な波群の中から抜き出した高波の高さの平均値として定義されており、不規則波群の個々の波の7波に1波程度はこれを超える高さとなる。したがって、有義波に対して設計した海岸堤防は、ある確率で波が堤防を越えることを想定していることになり、堤防の構造は河川の堤防とは異なり、越波に対して耐えられるものとしなければならない。このような理由から海岸堤防は、海側、天端、陸側の三面をコンクリート板で被覆するいわゆる三面張りの構造とされるのが標準的である。背後地が狭隘な地域では、コンクリート躯体による直立堤防も採用されている。三面張りの堤防構造は、1953年の台風13号において、盛土堤として整備されていた海岸堤防が大きく破壊されたため、復旧にあたって採用されたものである。三面張りの堤防は、その後の1959年の台風15号（伊勢湾台風）において被害を抑える効果が確認されたため、以後、海岸堤防の構造は三面張りを標準とすることとなった。これは、堤防の高さを現実的な高さに抑え、ある程度の越波が生じる条件に対しても堤防の破壊を防ぐという考え方であり、高潮や高波に対し

て後述する「粘り強い堤防構造」が導入された先駆的事例と捉えることもできる。

海岸保全の考え方は、1980年頃までは海岸の陸側境界に堤防・護岸を設置して陸域を防護するいわゆる「線の防護」が主体であったが、その後、海岸侵食問題が深刻化するにつれて、海岸線から海側にある程度の距離において設置する離岸堤などの施工が増加し、複数の施設を組み合わせて波や流れと海浜変形を制御するいわゆる「面的防護」に主力が移った。さらに最近では、天端面が水面下となる人工リーフ（潜堤）やヘッドランドなど多様な構造物に加えて、構造物のみによらず、人工的に土砂を投入する養浜工や流砂系全体での土砂移動の最適化を図る対策などソフト対策も導入がすすみ、地域の個性を生かした海岸保全や、自然の営力を活用した海岸づくりが図られている。これらの変遷のなかで、比較的初期に建造された構造物である海岸堤防は、その一部に老朽化が進み、維持管理や更新の検討が必要な時期にある。このように、海岸保全の取り組みは、津波のみならず高潮、高波や海岸侵食などを総合的に検討して段階的に実施されるものであり、その目的も、防護のみでなく、沿岸域の環境や利用との調和を目指しているため、多様なステークホルダーがその役割を正しく認識することが極めて重要である。

2. 津波に対するハード対策とソフト対策

地震が多い日本において、日本海溝に面する東北・関東地方や相模・南海トラフに面する東海・東南海・南海・日向灘は、繰り返し津波の来襲を受けてきた地域である。リアス式海岸の入り組んだ地形が特徴的な三陸地方は特に、過去に繰り返し大津波が来襲しており、海岸堤防や避難訓練などの津波対策が多重的に講じられている地域である。

津波の高さは地震の規模や特性によっても、海底や海岸の地形によっても大きく変動するため、事前に精度良く予測することは困難である。また、洪水や高波に比べて、発生頻度が低いことや、瞬時的に被害をもたらす地震と比べて、津波が沖合で発生してから海岸に来襲するまでにはある程度の時間があることなどが津波災害の特徴である。そのため、その対策は、堤防などの構造物による

ハード対策と、集落の高所移転・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た。図-1は、ハード対策とソフト対策の組み合わせによる総合的な津波防災の概念図である。横軸は津波の高さ(規模)であり、縦軸には負の方向に被害の大きさを示してある。津波被害は津波の高さが大きくなるにつれて加速的に増加するので、対策を実施しない場合の津波被害は、津波の高さが大きくなるにつれ被害が急増する上に凸な曲線で表されることになる。ハード対策では、同図に示すように既往最大津波の記録などをもとに計画対象とする津波の規模を決定し、波浪や高波の検討も踏まえたうえで、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する。さらに、それを超える規模の津波に対しては、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とするのが総合的な津波防災の理念である。

2011年の東北地方太平洋沖地震津波(以下、東北津波)において巨大津波が来襲した東日本沿岸においても、ハード対策とソフト対策を組み合わせた総合的な津波対策が取られていた。例えば岩手県では、明治三陸津波(1896)が岩手県北部に特に高い津波をもたらしたことを受けて、北部地域では高さ10mを超える海岸堤防が整備されてい

る。同地域では津波の高さで堤防高さが決定されているが、日本の海岸は台風や冬季風浪による厳しい海象にさらされているため、全国的にはこのような海岸はむしろ例外的であり、津波より、高潮や高波の打ち上げ高さの方が高くなる場合が一般的である。東北地方の被災地においても、仙台湾や福島県の海岸では、ごく一部の例外を除いて、高潮や高波で堤防高さが決定されている。岩手県においても、南部の海岸では、東北津波以前における既往最大の津波高さは低く、高波の打ち上げ高さの方が高くなるため、堤防高さは高波の諸元で決定されていた。たとえば陸前高田では、海岸の松林の中にそれに覆われる形で、高さ5~6mの海岸堤防が整備されていた。チリ津波(1960)では海岸の松林が津波の背後陸地への氾濫を軽減する効果があったことが報告されているが、東北津波は、これらの海岸保全対策の検討で用いられていた過去の記録よりはるかに高く、松林や堤防がほぼ完全に破壊されることとなった。復興に当たっては、後述するように二段階の津波規模設定が導入され、陸前高田ではレベル1津波に相当する高さ12.5mの海岸堤防が計画されている。

海岸域に来襲する波浪・高潮・津波の規模を推定するためには、数十kmスケール以上の空間スケールで波の発達や変形を検討することが必要に

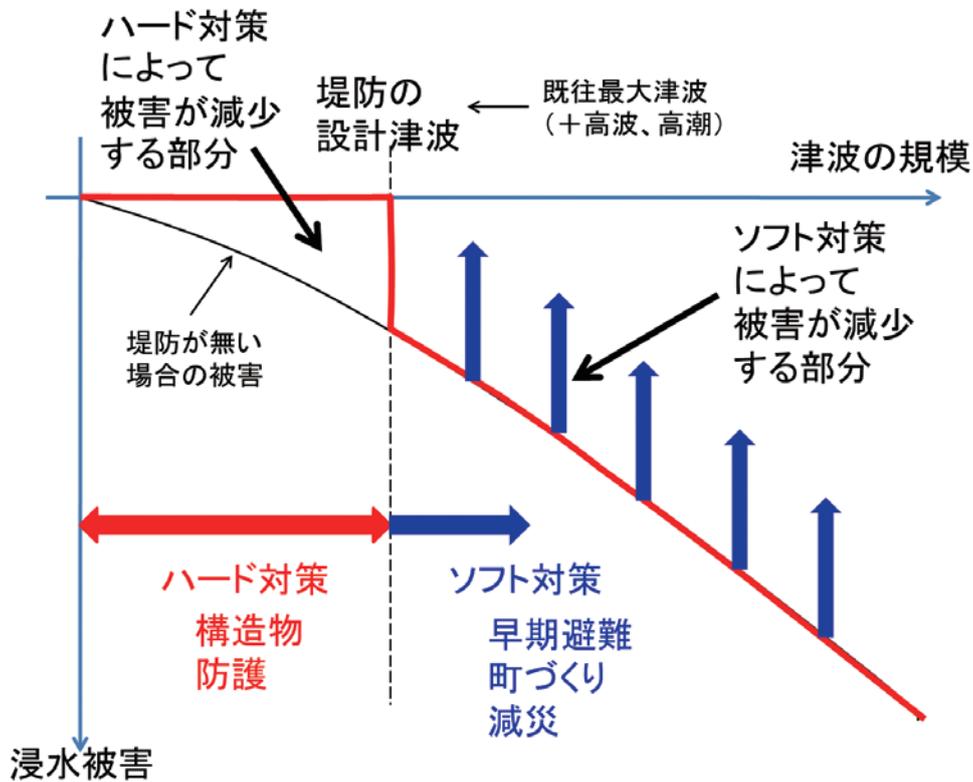


図-1 総合的な津波防災の概念図(設計津波までは堤防により被害を回避し、それ以上の津波に対してはソフト対策で被害の軽減を図る)

なるため、海岸域の管理は、海岸法のもとで都道府県知事が国と連携しながら推進することとなっている。例えば、ハード対策のひとつである海岸堤防は、海岸管理者である都道府県知事がその高さや構造を決定することになるが、その際には、潮汐・高潮・高波による水位の変動と計画対象津波による水位の変動の両者を検討し、どちらの場合においても陸域への海水の進入を防げるように、堤防諸元が決定される。

一方、地震や火災を含めた防災対策については、集落や地域ごとに固有の自然・社会的条件のもとで検討することが実効的であるため、法制度である災害対策基本法は、海岸管理の枠組みよりは小さな市町村レベルで検討される。津波対策に関しては、市町村長が策定する地域防災計画の一部として、堤防では防ぎきれない規模の津波が来襲した際の避難計画を策定することになる。堤防で守られた陸側の地域を堤内地と呼ぶが、堤内地に津波が氾濫する場合には、家屋などの構造物に浸水被害が生じるため、被害を完全に防ぐことは不可能である。一方、津波に関しては、地震の発生か

ら来襲までに時間的な余裕がある場合が多いため、迅速な避難により人命の損失は防ぐことができる。これらのことから、防災や防護が目標となるハード対策とは異なり、ソフト対策では、人命の損失を防ぎ資産への被害を軽減する、いわゆる減災が目標となる。円滑な避難をベースとする減災を実現するためには、住民個人個人の防災意識の維持やコミュニティとしての相互扶助が重要となるため、公助として認識される堤防の役割と限界を認識したうえで、共助や自助の概念を共有することが重要となる。東日本大震災以前においても、北海道南西沖地震津波（1993）、スマトラ沖地震津波（2004）、カトリナ高潮災害（2005）など、堤防のみでは防ぎきれない規模の津波・高潮災害を経験し、公助だけでなく、共助や自助の重要性が指摘されていたところであった。

3. 津波防災における海岸堤防の役割

東北津波は、青森県から房総半島に至る東日本太平洋沿岸において、防護施設である海岸堤防の計画規模をはるかに超える高さの津波をもたらし、

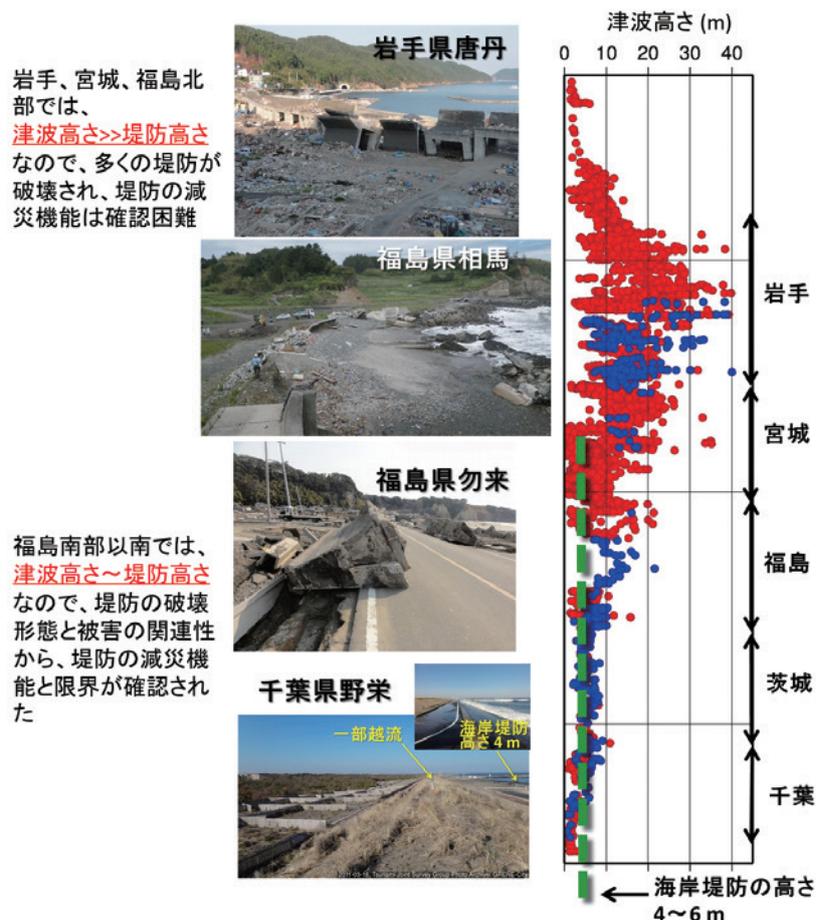


図-2 津波痕跡水位の標高（右）と堤防の破壊状況（左）：青色のマークは筆者らによる調査、赤色のマークは、東北津波合同調査グループ（2011）の計測データ。すべての写真は東北津波調査写真アーカイブス（2013）においてインターネット公開されている。

世界的に見て津波防災の先進的な地域であるこれらの地域においても、壊滅的な被害が生じることとなった。図-2は、千葉県から岩手県までにおいて、津波痕跡高さと堤防被害との関係を整理したものである。岩手県北部の譜代など津波の高さが海岸堤防と同程度で、堤防により津波の浸水が阻止された一部の地域では、堤防の役割が明確に確認されたものの、福島県北部より北の多くの地域では、津波の高さが海岸堤防の高さより数m以上高く、多くの堤防が破壊され、堤防が残存している箇所においてもその減災効果を明確に確認することは困難であった。これに対して、福島県以南の地域では、堤防上の津波の越流水深が1~5m程度であり、堤防の破壊状況と陸地の被害に関して、明確な関連性が観察された。例えば、福島県勿来海岸では、越流水深1m程度の地域の堤防は破壊されず、浸水被害も軽微なものに対し、数百m離れた近傍の地域で越流水深が3m程度のところでは、ほとんどの堤防が破壊され、大規模な浸水被害が見られた(佐藤ら, 2012)。また、南相馬市の一連の海岸では、大規模な浸水被害が生じたものの、陸地の浸水水位は、堤防の全壊率が低い地域ほど低くなる傾向が見られ、海岸堤防には、全壊まで至らなければ、越流量低減効果があることも

確認されている(Satoら, 2014)。

上述のように、設計条件をはるかに超える津波によって多くの海岸堤防が破壊された東北津波においては、堤防が完全な破壊にまで至らなければ、浸水被害を軽減することも報告されており、ハード対策の効能と限界が定量的に解明されつつある。また、いくつかの避難所が浸水するなどの被害が生じ、ハード対策のみでなく、ソフト対策においても計画で用いる津波の規模を具体的かつ科学的に設定することが重要であることが認識された。これらをもとに、図-3に示すように、数十年から百数十年に一度の頻度で発生し、堤防などの設計に用いるレベル1津波と、数百年以上に一度の低い頻度で発生し、避難計画の策定などに活用されるレベル2津波の、二段階の津波規模設定の考え方が導入されるとともに、計画対象規模を超える津波に対しても粘り強く機能を発揮する堤防構造の検討が進められている。具体的な目標のもとに設計されるソフト対策を、粘り強さを加えたハード対策と組み合わせることにより、なんとしても人命を守り、資産の被害を軽減する総合的な対策が推進されることになる。

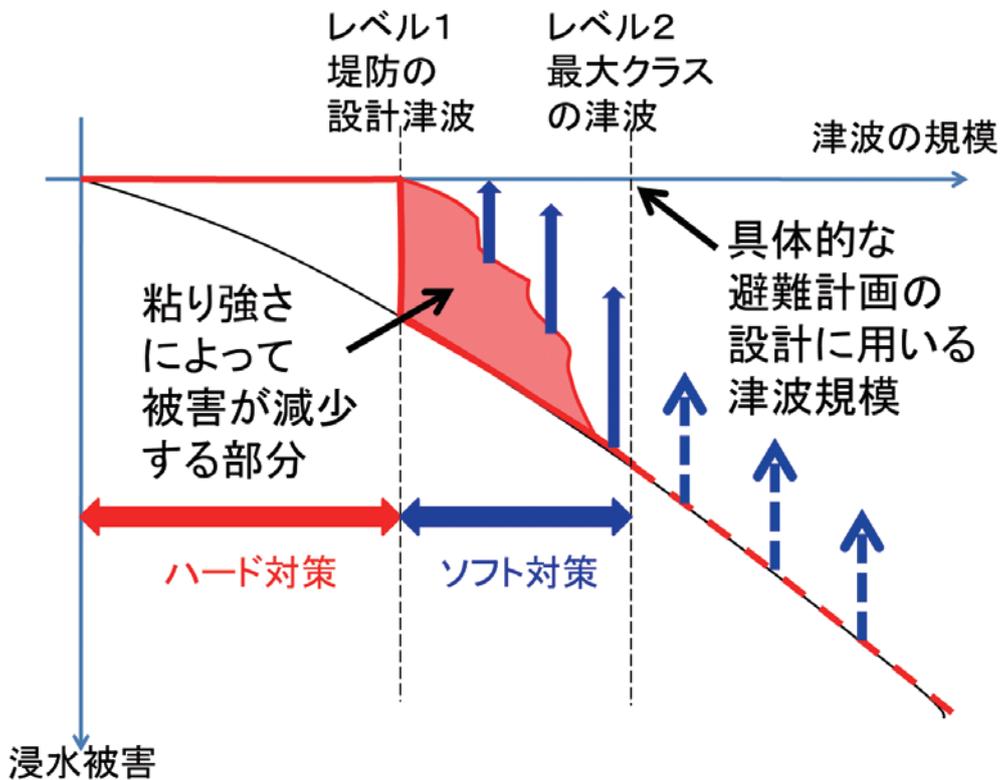


図-3 二段階の津波設定に基づく津波防災の概念図(レベル1津波までは堤防で防護し、ソフト対策はレベル2津波で具体的に設計する。レベル1を超える津波に対しても堤防を粘り強く機能させ、被害の軽減を図る。)

4. 堤防機能の正しい理解が生み出す地域の安心

二段階のレベル設定と粘り強い防災施設に基づいて、今後の津波対策が進んでいくことになるが、海岸法改正で新たに導入された減災の概念を実現するためには、堤防の機能と限界を地域住民に正しく浸透させ、これを地域の共有財産として長期にわたって継承する仕組みが重要になると思われる。たとえば津波対策における堤防整備は、地域の安全度を高め、安心な社会を実現するために不可欠であり、浸水リスクを低減して一定レベルの安全度を効率的に実現するものであるが、堤防の設計対象であるレベル1津波を超える規模の津波に対して被害の低減を保証する万能の構造物ではない。堤防の設計対象を超える規模の津波は、低頻度ながら有限の確率で発生するため、それぞれの地域でそのリスクを既知のリスクとして認識したうえで、総合的な減災計画を作成しておく必要がある。粘り強く機能を発揮する安全な堤防を造るだけでは安心な社会は実現しない。インフラ施

設の役割とリスクの存在を人々に正しく伝えることや、既知リスクを地域の財産として長期にわたって正しく伝承する仕組みを作ることが求められている。堤防機能の誤った理解が堤防への過信を生み、その後の不信につながることはない様、海岸管理者や施設整備の担当者が中心となって取り組むことが肝要である。

参考文献

- 1) 2011 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (2011) : <http://www.coastal.jp/ttjt/>, 2014 年 4 月参照。
- 2) 東北津波調査写真アーカイブス (2013) : <http://greencity.csis.u-tokyo.ac.jp/>, 2014 年 4 月参照。
- 3) 佐藤慎司・武若 聡・劉 海江・信岡尚道 : 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による福島県勿来海岸における被害, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_1296-I_1300, 2011.
- 4) Sato, S., A. Okayasu, H. Yeh, H.M. Fritz, Y. Tajima and T. Shimozono: Delayed survey of the 2011 Tohoku Tsunami in the former exclusion zone in Minami-Soma, Fukushima Prefecture, Pure Appl. Geophys., Springer, DOI 10.1007/s00024-014-0809-8, 2014.