

津波減災レベルを想定した津波減波システムの提案

株式会社 竹中工務店
西岡 浩是, 井上 修作, 成山 由典

1. はじめに

2011年3月11日宮城県沖を震源とする M_w 9.0 の2011年東北地方太平洋沖地震が発生し、これによって引き起こされた津波で港湾構造物に甚大な被害を生じた¹⁾。土木学会では、今回の津波を受けて、設計津波として想定する津波高として、完全に防御すべき津波防護レベルと、完全に防御できないが少なくとも減災を目指す津波減災レベルの二つを提案している²⁾。そこで、本論文では、津波減災レベルを想定し、想定を超えるような津波に対しても機能を維持し、かつ、津波の流速や波高を減少させるような津波減波システムの提案を行う。

2. 2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害事例

図1に今回の津波の痕跡高と遡上高を示す³⁾。これを見ると岩手県北部から岩手県南部の北緯38~40度付近では津波の遡上高、痕跡高が20mを超えており、最大で40mに達している。これら岩手・宮城を襲った津波の高さは、計画堤防天端高(およそ5m~10mに分布)を超えたことが報告されている⁴⁾。設計津波高を超えた津波外力によって、世界一といわれた田老町の防潮堤(図2)や、海底面からの高さが60mにもなる釜石港の湾口防波堤が破堤し(図3)、図4,5に示すように、各地域の堤防や護岸も大きな被害を受けた。

一方、防波堤は最終的には破堤しているものの、それによって津波の到達時間を遅らせ、湾内の津波高を減少させたことが報告されており、例えば、釜石港では防波堤がなかった場合、湾内の津波高は13.7m(防波堤があったため、実際は8.7m)になっていたとの数値解析の結果が報告されている⁵⁾。図6に防波堤が流された女川町での被害の様子を、図7に防波堤が一部残存した釜石港での被害の様子を示す。図中では、町全体の一部だけを取り出しているため、特別な事例のように見えるが、筆者が現地を踏査した感想では、図に示すように湾口防波堤が残存した釜石港では津波力が低減され、建物の損傷が女川町と比べ少ないと感じられた。

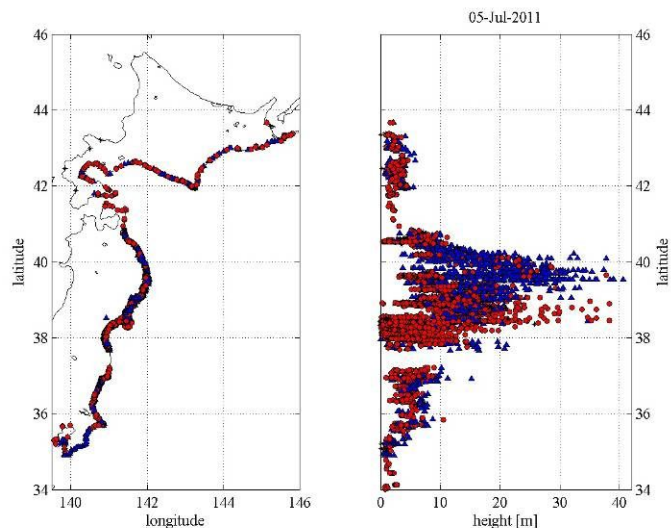


図1 津波の遡上高(青点)と痕跡高(赤点)。このデータは東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(<http://www.coastal.jp/ttjt/>)による速報値(2011年7月15日参照)である。



図2 田老町の防潮堤 .



図3 釜石市の湾口防波堤 .



図4 南三陸町の防潮堤 .



図5 気仙沼市大島の護岸 .



図6 女川町のRC造建物，壁の破壊 .



図7 釜石港の建物 .

3. 既存の防波堤の問題点

既存の防波堤は、津波を完全に防御することを念頭において設計されており、防波堤の後ろへは津波の侵入を全く許さないような考えとなっている(図8)。しかしながら、一度越流を許してしまうと破堤し、後続の津波の浸入をやすやすと許してしまう「0か1しかない」のが現状である⁶⁾。一方、越流したとしても、防波堤によって津波の力を軽減させていることも今回の被害から明らかとなっている。つまり、越流後の防波堤の脆弱性は問題であるが、防波堤自体の津波低減効果は無視できない。

政府は、中央防災会議で、「設計津波高を超えても、施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していく必要がある。」と言及しており⁷⁾、土木学会でも想定する津波の高さを完全に防御可能な津波防護レベル(レベル1、通常の防波堤で防御可能)と完全には防御できないが被害を低減させなければならない津波減災レベル(レベル2、通常の防波堤では防御不可

能)の2段階の設定を提案している。今回の津波は、津波減災レベルの津波であったが、津波防護レベルのみに対応した既存の防波堤では十分な性能を発揮できなかったと考えられる。

4. 新しい防波堤の提案

上記に述べたように、従来の防波堤の考え方は「巨大な津波の力・量を全て受け入れて耐える」という考えに基づいており、構造的には巨大な曲げモーメントに対する設計が必要となる。防護性能を高めようとする程、より堅牢で武骨な構造物になってしまい、海辺の自然環境や景観の破壊にも繋がりがねない。また東日本大震災での被害レベルを避ける程の、完全に強固な津波防護の構造物を構築するためには、技術的な困難性や多額の投資という経済的問題も依然として残されている。

そこで、従来とは違った新しい防波堤のあり方を提案したい。考え方として「津波の塊を砕き、受け流して弱める」といった発想に転換をした。半分の水の物量には耐えるが、半分の水の物量は後ろに受け流す。そうすると、力学的には、引張力に対する構造設計が主となり、曲げモーメントよりは比較的有利な荷重条件で防波堤を設計できるため、技術的・経済的にも有利になるのではないかと考えた。

提案するシステム「Tsunami Damping Flutters (以下TDFと呼ぶ)」は、水平に配置された複数のウイング・プレートと、免震パネで構成されている(図9,10)。通常時には、図10に示すように、頂部の部材のみ海上に、他の部材は海中に、浮力をバランスよく保ちながら佇んでいる。津波発生時には、TDFは風に押されたブラインドのようになり、図11のように変形する。ブラインド状に並んだプレートによって津波を反射させ、隙間に水を通すことで半分程度の水の浸入を防ぐ。同時に津波の流速エネルギーを位置エネルギーに変換させることで、一部の力を打ち消す。また、図12に示すように平面形状として三日月型とすることで、構造物自体の剛性を確保すると共に、津波の流れの方向を変え、津波の流速を下げて遡上威力を低減し、避難時間を確保する。更には、この機構を千鳥状に配置し(図13)、津波の流れ同士を衝突させ相殺する効果を得る。結果として、津波のエネルギーは低減する。

TDFは、既存の防波堤よりも沖合に配置されることで、景観を乱すことなく環境に調和できると考える。通常時には漁礁としても利用され漁業産業にも貢献する。更には波力発電の可能性も秘めていると考える。このようにTDFが環境配慮に貢献し、日常生活の中で便利に使われて親しまれ、非常時には人の命を守り、まちを守るものになることを期待する。

5. まとめ

本論文では、津波減災レベルを想定した新しい津波減波システムを提案した。今後は、提案したシステムの技術的な検討が課題である。

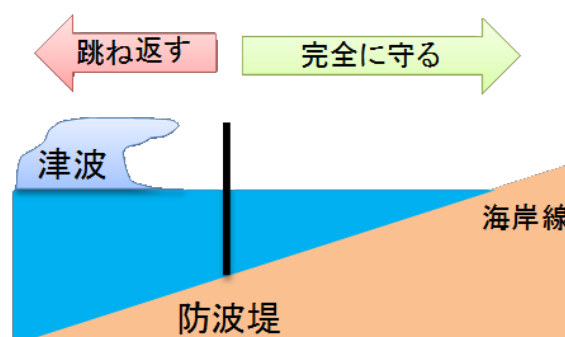


図8 これまでの防波堤の考え



図9 TDF の上空からの模式図



図 10 TDF 断面図（平常時）

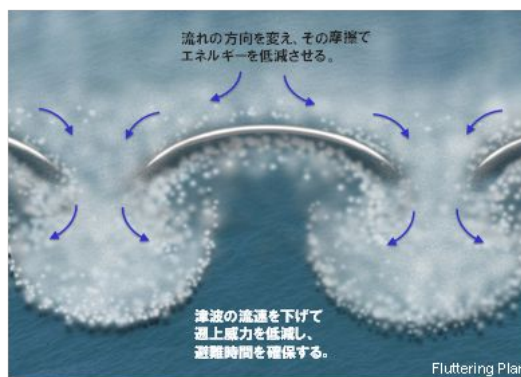


図 12 TDF 平面図

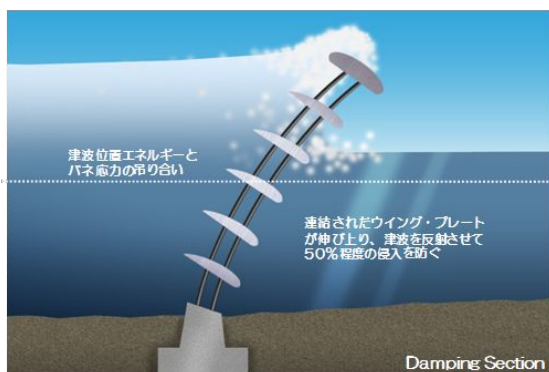


図 11 TDF 断面図（津波時）

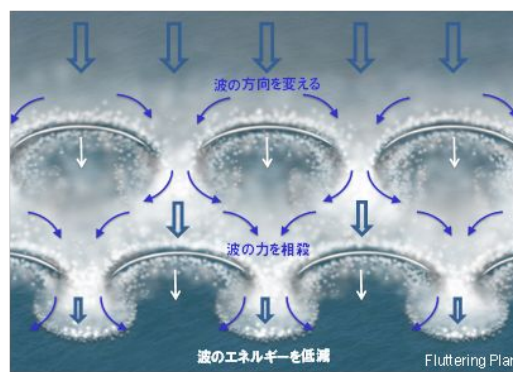


図 13 TDF の千鳥配置

謝辞

本アイデアの設計では、竹中工務店の大木克清氏、ならびに、THAI TAKENAKA INTERNATIONAL LTD. の奥村隆史氏から多大な協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 高橋重雄・戸田和彦・菊池喜昭，他 31 名：「2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報」，港湾空港技術研究所資料，No. 1231, 2011。
- 2) 土木学会津波特定テーマ委員会：「第二回報告会資料」，<http://committees.jsce.or.jp/2011quake/node/84>，2011。
- 3) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ：「Tohoku Earthquake Tsunami Survey」，<http://www.coastal.jp/ttjt/>，2011。
- 4) 諏訪義雄：「海岸堤防の被災状況と仙台平野における津波痕跡分布の特徴」，東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会予稿集，2011。
- 5) 富田孝史：「港湾における津波被害」，東北地方太平洋沖地震津波に関する合同調査報告会予稿集，2011。
- 6) 東畑郁夫：「関東東北の大震災から感じたこと」，地盤工学会誌，Vol. 59, No. 7, pp. 70-72, 2011。
- 7) 中央防災会議 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会：「中間とりまとめに伴う提言～今後の津波防災対策の基本的考え方について～」，<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinohon/4/index.html>，2011。