

波の反射と透過により津波の破壊力を低減させる次世代防波堤の提案

総合情報基盤センター 講師 奥村 弘

In this study, we propose a new tsunami breakwater technology based recently developed the *wave interference* by reducing the effective use of wave energy achieving very high speed vessel *Buseman biplane* focusing on the hydrodynamic shape of the bulwark of futuristic people-friendly environment and be able to dissipate the destructive power of the giant tsunami biplane-type breakwater proposed, shape design system to develop cost-conscious construction of the inverse problem. Inverse design problem has also proven catamaran shape design, an efficient design method that can reduce the cost by simulation and deep understanding of the phenomenon.

Keywords : *Tsunami, biplane-type breakwater, reflection-transparent-interference-cancellation of waves, CFD*

1. はじめに

2011年3月11日、東日本大震災では巨大津波の発生により三陸海岸を中心に広汎な太平洋側海岸線に甚大な被害を被った。今後、日本を初め、世界的にも巨大津波に対する防災技術が求められている。本研究では、近年開発された、波の「干渉」を有効利用し波のエネルギーを低減することで非常な高速化を実現した船舶「双胴船」の流体力学的形状に着目し、巨大津波の破壊力を消散することができる環境と人にやさしい未来型の防波堤「双胴型防波堤⁽¹⁾」を提案し(図1)、建設コストも配慮した逆問題形状設計システムを開発する。逆問題設計は双胴船形状設計にも実績があり、現象に関する理解を深く行う事でシミュレーションコストをおさえる事が出来る効率的な設計法である。

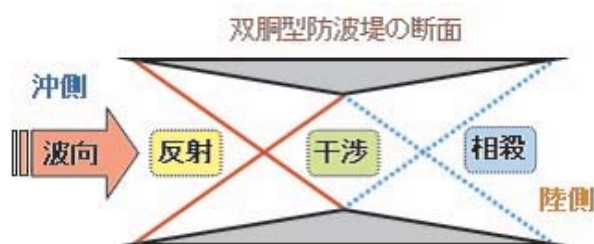


Fig. 1: 津波を消散させる双胴型防波堤の断面配置と波の反射と干渉の相殺効果

2. 双胴型防波堤の提案とその基本的性質

本研究では、CFD(計算流体力学)⁽²⁾を用いた航空・船舶工学の分野で研究されている翼や船舶にかかる流体力(圧力や抗力など)を最小になるよう形状設計するCFD逆問題設計システムに、これまでに研究開発してきた津波・高波予測シミュレータを統合的に開発付加させることにより、巨大津波の流体力を消散させることのできる未来型防波堤「双胴型防波堤」を提案する(図1)。「双胴型防波堤」とは、船舶工学で実用化されている高速船舶「双胴船」の波抵抗を最小限にする流体力学的デザインに着目し、従来の防波堤の発想とは逆に、津波の抗力を受けない翼形状(ブーゼマン翼)からなる双対の堤防胴体を適切な間隔で配置し、この流体力学的形状を持った堤防間を津波が流れる間に波の「反射」・「干渉」・「相殺効果」(wave cancellation)のメカニズムを利用することで、津波エネルギーを消散あるいは10%程度まで最小化させるものである⁽³⁾。よって、沖合で発達した巨大津波は、海岸線に設置された「双胴型」防波堤の働きで防波堤内側の港湾・海岸では波が静穏化されるわけである。波を堰き止めるのではなく干渉で波を弱める発想は従来になく、津波防災の未来構想を拓く新技術に成り得るといえる。また、これまでの研究で、超音速の複葉翼(ブーゼマン翼)理論として、マッハ数を超える高速流体中においても航空機などにかかる流体力(圧力や抗力など)を10%程度まで低減させる翼形状の逆問題設計が実際に適用されている⁽³⁾。超音速流れと海洋の流れは類

似性があるため超音速の設計手法を津波流れにも適用でき、既に開発済の超音速複葉翼設計手法を堤防の形状設計に応用することで、有効に津波の破壊力を消散させることができると考えている。

Remark 浅水長波流れにおけるフルード数 Fr が、圧縮性流体流れの音速に対して定義されるマッハ数 M に対応することから、これら二つの流れ問題には類似性がある。つまり、圧縮性流体において、マッハ数が $1.2 \approx 1.25 < M < 5$ のとき、超音速流(supersonic flow)と呼ばれる。このとき、全ての流れ場で流速が音速を超え、衝撃波が流れ場全域に発生する。一方、津波波圧が最大となるフルード数は $Fr = 1.5$ 程度(この状態を射流という。また、 $Fr < 1$ では常流とよばれ、波速が流速より大きい場合、下流での影響が上流に及ぶ)となることから、超音速流れと浅水長波方程式によって表現される津波には共通した流れの構造がある。



Fig. 2: 実験に用いる造波装置を有する断面水槽

3. 数値実験と今後の展望

本研究で提案した「双胴型」防波堤(特許出願1))は、高い壁に津波を衝突させるという従来の防波堤の発想とは異なり、波の干渉を利用して津波の力を低減させようというアイデアに基づいている。このアイデアは2つの翼間での波の「反射」・「干渉」・「相殺効果」のメカニズムを利用することで波動抵抗を劇的に低下できる複葉翼(ブーゼマン翼)や、高速船舶の双胴船から着想した。一見、超音速流と津波は結びつかないと思われるが、実は超音速流と陸地近くの海底が浅い場所の流れは、類似な流体方程式で表現できる。これまでの申請者の研究から、超音速流れと海洋の流れに類似性があるため、超音速翼の抵抗低減アイデアや理論式を津波流れにも応用することで、有効に津波の破壊力を消散させることができる。双対の堤防胴体を適切な間隔で配置し、この流体力学的形状を持った堤防間を津波が流れる間に発生する



Fig. 3: 平面水槽

波の「反射」・「干渉」・「相殺効果」の現象を利用することで、津波エネルギーを減衰させるものである。沖合で発達した巨大津波は、海岸線に設置された何組かの「双胴型」防波堤の働きで防波堤内側の港湾・海岸では波が静穏化される。波を堰き止めるのではなく干渉で波を弱めるという発想は新しく、津波防災のイノベーションに成り得るといえる。津波は、スネルの法則により、どのように複雑な地形に対しても海岸線に垂直に波が到来するので、海岸線に垂直に設置した「双胴型」防波堤は津波をより効果的に消散することが出来る。この点は、迎角を考慮する航空工学や船舶工学とは異なっている。従来の防波堤では想定する波を堰き止めるためにその高さや規模が肥大化し、海水の循環を妨げるなど自然環境の破壊が問題となっている。また、防波堤によって海洋景観が遮断されるといった「海の見えない海岸」の景観損失は近隣住民や観光産業にとって大きな問題であった。従来の防波堤に散見するこれら諸問題を大きく緩和させる未来型の防波堤として「双胴型」防波堤は大きな可能性があり、学術的にも産業利用上の観点からも卓越した成果が期待できる。なお、2体以上からなる複数組のブーゼマン型堤防を設置する場合には「複胴型」防波堤として、広範な海岸域においても有効な津波防災および減災技術となりうる。

謝辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）研究成果最適展開支援プログラム平成23年度ASTEP検索タイプ（研究代表者：奥村弘，課題番号：AS231Z03558A，課題名：津波の破壊力を消散させる未来型の防波堤「双胴型防波堤」の提案と逆問題設計システムの開発）より助成を頂いている。

参考文献

- (1) 特願 2011-194299「消波構造体」(2011/09/06) 出願，出願人：国立大学法人富山大学，発明者：奥村 弘，松島 紀佐
- (2) H. Okumura, M. Kawahara: A new stable bubble element for incompressible fluid flow based on a mixed Petrov-Galerkin finite element formulation, *IJCFD*, Vol.17(4), pp.275-282 (2003)
- (3) K. Kusunose, K. Matsushima, D. Maruyama: Supersonic biplane — A review, *J. Progress in Aerospace Sciences*, 47, pp.53-87 (2011)

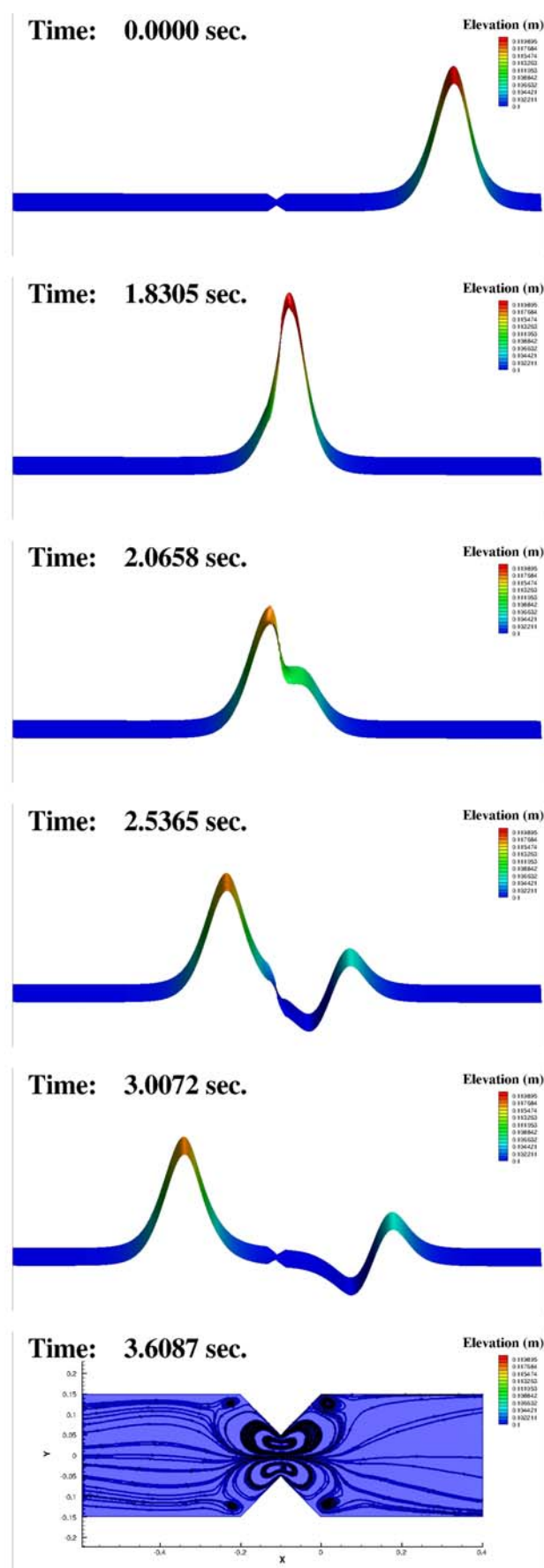


Fig. 4: 新型防波堤が孤立波を反射・干渉させて波高を減衰させる様子とその渦構造（数値実験）