

防波堤天端形状が津波越流時の流況特性に及ぼす影響に関する数値解析

国土技術政策総合研究所 正会員 宮田 正史
 日本工営(株) 正会員 野島 和也・桜庭 雅明
 国土技術政策総合研究所 浅井 茂樹

1. 目的

2011年東日本大震災では、第1線防波堤が津波越流の作用を受けて大きな被災を受けた。第1線防波堤が津波来襲時に倒壊を免れれば、背後地域に対する津波減災効果を期待することができ、かつ津波来襲直後から港湾内の静穏度が確保されることから緊急物資等の搬入や地域の早期復旧に大きく寄与する。このため、第1線防波堤に対しては、津波に対して可能な限り倒壊しない粘り強い構造が期待される。水理模型実験の結果から得られた粘り強い防波堤の事例として、防波堤の天端に段差(パラペット)を付けることにより防波堤ケーソンの背後から飛び出す水塊の方向を変化させ、ケーソン背後の基礎マウンド等の洗掘を避ける方法が示されている¹⁾。本研究では、数値解析を用いて越流水深を変化させた感度分析を行い、パラペット断面の有効性について確認することを目的とした。

2. 防波堤の津波越流に関する数値解析の概要

防波堤の津波越流解析は、2次元の数値波動水路プログラム(CADMAS-SURF)²⁾を用いた。図1に解析対象断面の諸元を示す。越流解析は、防波堤の天端が水平である断面(通常断面)と天端の港内側を切り欠いた断面(パラペット断面)を対象とし、越流水深を1.5m、2.0m、2.5mおよび4mまで段階的に変化させた。また、防波堤背後の水位はL.W.L.を想定して設定した。計算領域は、防波堤の上流側に80m、下流側に500m、上方側に24mとした。上流端および下流端には、CADMAS-SURFの「流速固定」の機能を使用し、水平方向の流速を境界条件とした。上流端境界では、底面から防波堤天端までの範囲に所定の越流水深となるような一様流速を与えた。下流端境界では、L.W.L.を境として底面までの範囲に上流の流入量に見合った流出量になるような一様流速を、領域上端までの範囲にはL.W.L.を超えた水を強制排出するために10m/sの流速を与えた。メッシュサイズは基本的に0.5mとしたが、防波堤の後方で0.25m、天端表面で0.125mとした。解析時間ステップは自動設定(実質 10^{-5} 秒から 10^{-2} 秒程度)とし、20分間を解析対象とした。また、基礎マウンドの物性値は一般的な捨石マウンドを想定し、空隙率43%、 $C_M=1.2$ 、 $C_D=1.0$ として設定した。基礎マウンド上の根固工および被覆工については、基礎マウンドと同じ透水性を与えた。

解析結果については、ケーソン周辺の流況(流速、流向)の時刻歴波形から、波形が安定している概ね180秒を対象として平均値を算出した。また、越流水深は、上流側における津波水位(防波堤から60m離れた位置)と防波堤天端高との離隔として定義した。

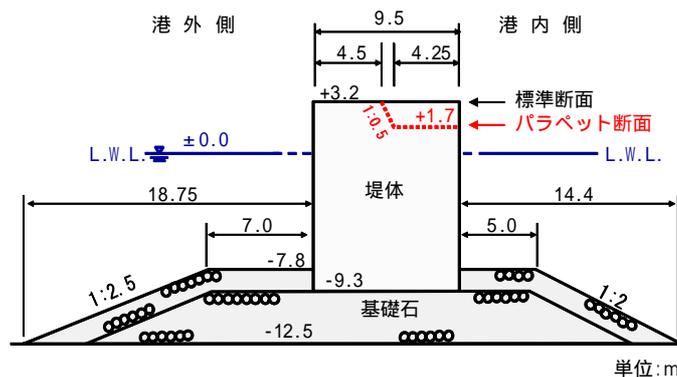


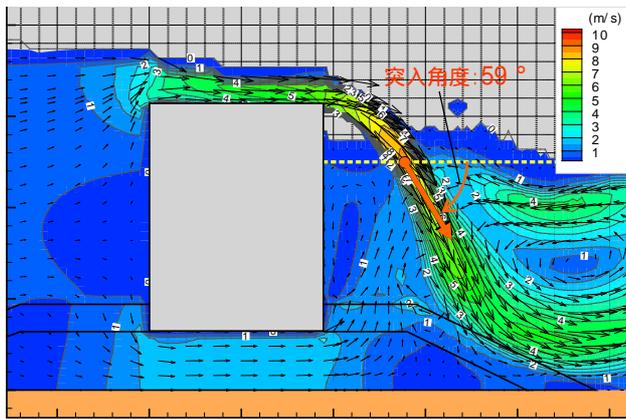
図1 解析断面図

3. 解析結果および考察

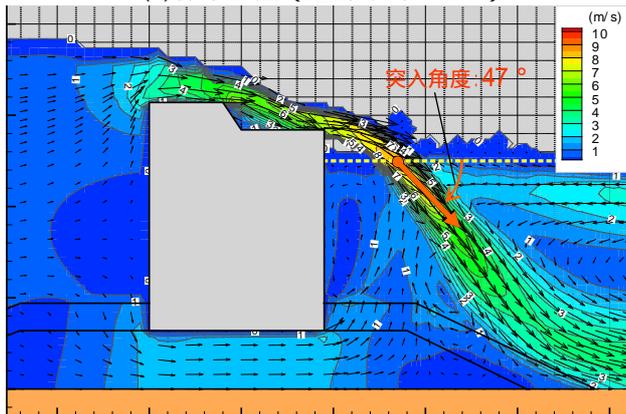
図2に越流水深2.5mのケースにおけるケーソン周辺の流速分布を示す。本図より、パラペットの効果により、ケーソン天端上で越流した津波がパラペットを落下する際に加速するとともに、背後水面への突入角度が浅くなっていることがわかる。L.W.L.位置における突入角度は、通常断面で約59度、パラペット断面で約47度であった。なお、この流況の変化にともない、パラペット断面のケースでは、ケーソン背後から飛び出した水塊の主流部分がケーソン背後からより離れたマウンド位置に作用し、かつマウンド周辺の流速も低減していることがわかる。

キーワード 防波堤, 津波, 越流, 数値解析, 流速, 粘り強い構造

連絡先 〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室 TEL:046-844-5029

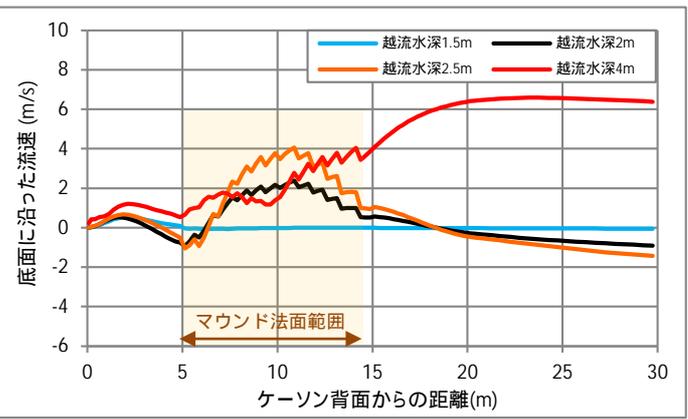


(a)標準断面（越流水深 2.5m）

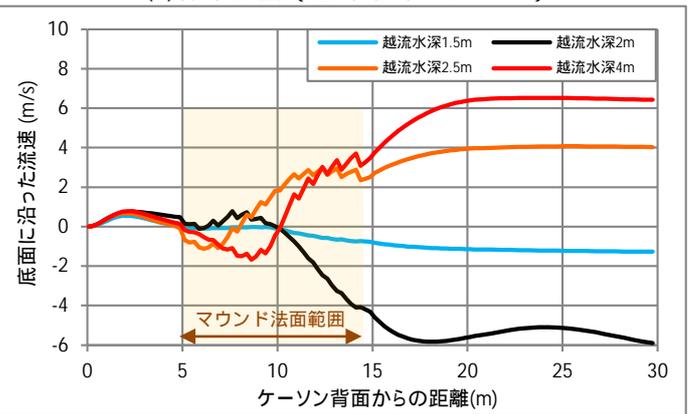


(b)パラペット断面（越流水深 2.5m）

図2 ケーソン周辺の流速分布



(a)標準断面（越流水深 1.5 ~ 4m）



(b)パラペット断面（越流水深 1.5 ~ 4m）

図3 ケーソン背後のマウンド上面の流速平面分布

図3に、ケーソン背面からの水平距離とその位置における底面に沿う方向の平均流速（底面から1.5mの高さの範囲の平均流速として定義．流速が正の場合は下流側に流速が発生）との関係を示す．標準断面の場合、越流水深1.5mでは背後マウンド周辺の流速は極めて小さいが（0.5m/s程度以下）、越流水深が2m・2.5mになるとマウンド法面で最大2m/s・4m/s程度の流速が発生するようになり、背後マウンドを被覆ブロックで保護したとしても、洗掘の可能性が急激に高まることわかる（文献¹⁾の越流実験では、2tの被覆ブロックが流速3m/s程度で飛散）。

一方、パラペット断面の場合、越流水深1.5mでは標準断面と同様、背後マウンド周辺の流速は極めて小さい．越流水深が2mになると、標準断面とは流況が異なり、ケーソン背後から背後水面に突入した主流部分はマウンド法面の中央部付近で上昇に転じ、その流れを補完するようにマウンド法尻付近より下流側ではケーソン側に向かう強い流れが発生する結果となった（負の流速）．主流部分が上昇する現象やその発生条件については、今回の数値解析結果の妥当性も含め、詳細な確認が今後必要である．なお、越流水深が2.5mになるとマウンド法面で3m/s程度の流速が発生するが、標準断面よりは流速が低く抑えられおり、パラペットの効果は持続していることがわかる．

越流水深が4mに達しても、パラペット断面ではマウンド法面付近において流速が低く抑えられており一定の効果認められる．しかしながら、マウンド法尻より下流側では流速の有意な差がなくなっており、越流水深がさらに増加するとパラペットの効果はさらに低減すると考えられる．なお、ケーソン背後から10m位置のマウンド法面に着目すると、最大流速は越流水深2.5mのケースで発生しており越流水深4mのケースではない．この結果は、粘り強い防波堤の検討の際、最大津波に至る途中段階の津波に対しても十分な検討が必要であることを示唆している．

以上の結果より、パラペット断面の洗掘対策に対する有効性を数値解析により確認することができた．しかしながら、数値解析が安定しない計算ケース等もあったため、今後は水理模型実験を用いた検証を行う予定である．

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：「防波堤の耐津波設計ガイドライン（案）」，2013.1
- 2) 財)沿岸技術研究センター：「CADMAS-SURF 実務計算事例集」，2008.5