

数値計算による細島港余島防波堤基礎マウンドの津波安定性の評価

宮崎大学 学生会員 阿南聡太

宮崎大学 学生会員 Akhmad Adi SULIANTO

宮崎大学 正会員 村上啓介

1. はじめに

東日本大震災では、津波により多くの防波堤が破壊された。その中で、いくつかの防波堤は津波により損傷しつつも全壊せず、浸水域の減少や津波到達時間を遅延させる働きを見せた。これらの事実から、津波被害の低減に対して防波堤の粘り強い構造が望まれるようになった。防波堤の粘り強い構造を実現するためには、津波による防波堤の被災メカニズムを理解することが重要である。震災後の調査により防波堤被災の原因の一つに、津波越流による防波堤港内側基礎マウンド洗掘が挙げられている。また、最近の研究では、津波来襲による防波堤基礎マウンド内の浸透流も防波堤の不安定化に影響するのではないかと意見がある。そこで、本研究では、津波越流と津波による基礎マウンド内浸透流が作用する場合の防波堤の安定性を、数値波動水路(CADMAS-SURF/2D)を用いて評価する。また、防波堤基礎マウンドの洗掘対策工の効果を同じく数値波動水路を用いて検証する。

2. 計算方法

本研究では宮崎県日向市細島港(図-1)の余島防波堤を対象とする(図-2)を用いる。計算領域のメッシュは図-3に示すように、x方向についてはケーソン周辺で0.5m(区間A)、ケーソンから離れるごとに0.75m(区間B)、1.0m(区間C)と大きくした。z方向については0.5mとし、総メッシュ数は158,400個であった。計算に用いた防波堤各材料に関する諸係数を表-1に示す。

洗掘対策工の効果の評価にも同じ断面を用い、港内側に水平板を取付け、その長さと取付け位置を変化させて計算を行った。



図-1 計算対象場所

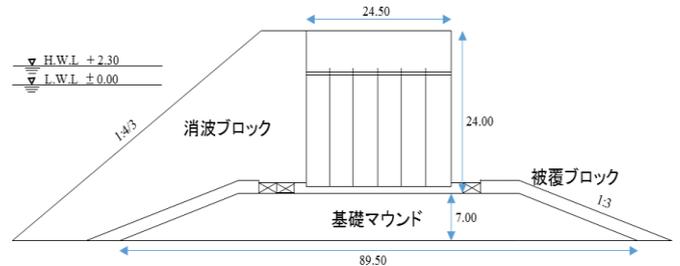


図-2 防波堤断面図

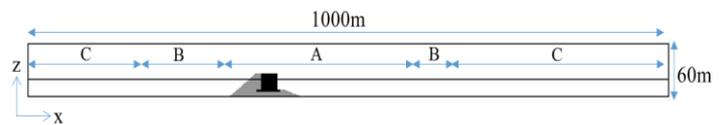


図-3 計算領域

表-1 計算に用いた諸係

	慣性力係数	抗力係数	空隙率
消波ブロック	1.5	0.9	0.5
基礎マウンド	1.2	1.0	0.43
被覆ブロック	1.5	0.922	0.24

3. 数値計算結果

3.1 流れの特徴

まず、越流の状況を図-4に示す。ケーソン天端上で計測した越流水深は図-5に示すように、第一波では6m程度となっている。そこから時間経過とともに越流水深は低下している。

次に、防波堤港内側の越流時のベクトル図を図-6に示す。図のように越流水の両側に渦が形成されることがわかる。この渦が基礎マウンドの洗掘に起因すると考えられる。また右側の渦の形成には基礎マウンド浸透流が影響していると考えられる。

最後に、港内側基礎マウンド内の流速に着目すると、図-7に示すように、ケーソン直下のマウンド内流速は時間経過とともに減少していることがわかる。これは、時間経過に伴ってマウンド内に反時計回りの小さな渦が形成され、50秒を過ぎたあたりからマウンド直下では逆流しているからである。一方、法尻の流速値は津波襲来以降上昇することがわかる。また、法面全体で見ると、法肩から法尻へ向かうにつれて流速値は増加し、負の値(逆流)が出力されないことも確認できた。

3.2 被覆ブロックの安定性検証

今回、被覆ブロックの安定性検証には、イスバッシュ式(式1)とブロック上下面の水圧差を用いた。

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48 g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (式1)$$

Mはブロックの安定重量、 ρ_r は被覆ブロックの密度、Uはブロック上の流速、gは重力加速度、yはイスバッシュ定数(1.08)、 S_r はブロックの水に対する比重、 θ は水路床の軸方向斜面勾配である。これらを用いて基礎マウンド天端の被覆ブロックの安定重量を計算したところ、20t前後という結果が得られた。法面の被覆ブロックにも同様の計算を行ったところ、安定重量に大きなばらつきが生じた。これは、越流水や浸透流により法面周辺で大きな渦が発生することにより流速値が天端と比べてばらつくためだと考えられる。そこで、数値計算により被覆ブロック上下面の水圧を求め、下面水圧から上面水圧を引くことで揚力を求めた。その結果、揚力は200kNを越えて205~260kNとなり（このことは、重量が20t以上のブロックが必要なことを意味する）、ブロック重量が20tでは安定性が確保できないという結果が得られた。

3.3 対策工の効果

洗掘への対策工として徳富ら(2015)が考案した水平板を用いた場合、被覆ブロックの安定性に影響を及ぼすのかを検証した。防波堤港内側に水平板を取付けて計算を行った。水平板長は10m、取付け位置は水面から0.5m、6.5m、13.5mとした。取付け位置が水面から0.5m、6.5mの場合は基礎マウンド天端のブロック安定重量が1t未満となり、水平板によって被覆ブロックの安定性が向上したといえる。しかし、取付け位置13.5mの場合は被覆ブロック上面と水平板との間隔が狭くなってしまい、水平板が無い場合に比べブロック上の流速が非常に大きくなってしまったため、安定重量が増加した。

4. 結論

本研究では、宮崎県日向市細島港余島防波堤を対象にCADMAS-SURF/2Dを用いて津波を再現して計算を行った。津波越流時に発生する防波堤港内側の渦の形成には越流水だけでなく、基礎マウンド内を通る津波浸透流が影響することを確認した。また、マウンド内の流速は場所により大きく異なることや、マウンド内に渦が形成されることを確認できた。

また、イスバッシュ式を用いて被覆ブロックの安定重量計算を行った。基礎マウンド天端のブロックについては計算を行えたが、法面については計算値にばらつきが生じたため別の計算手法が必要である。また、水平板対策工を設けることでブロックの安定重量の低減が可能であることを明らかにした。

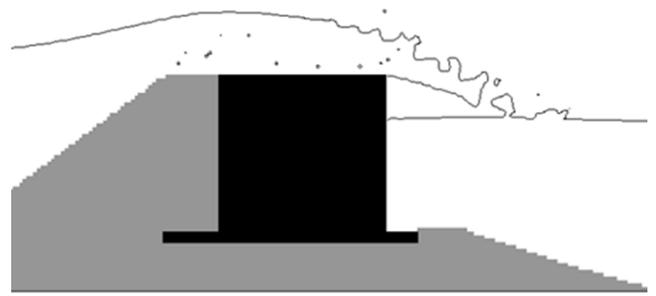


図-4 越流の状況

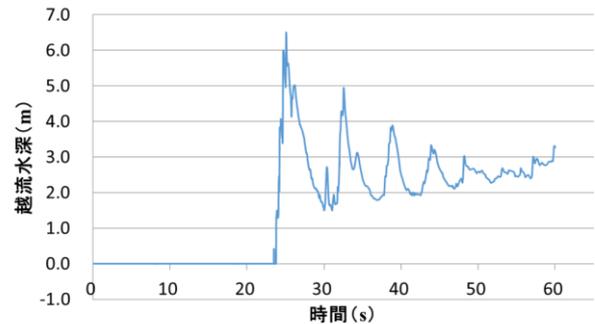


図-5 越流水深

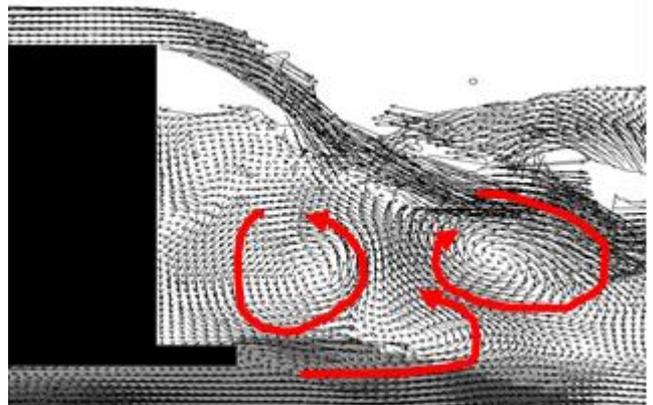


図-6 越流時のベクトル図

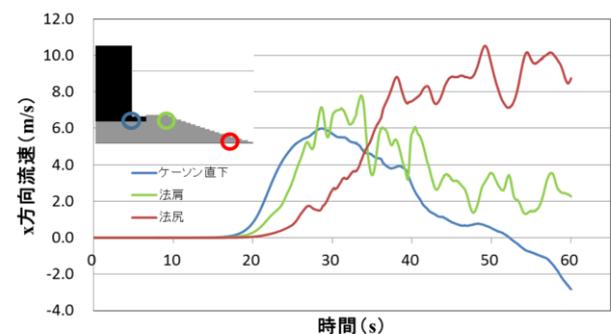


図-7 マウンド内流速

参考文献

- 1) 徳富ら：津波越流による防波堤基礎マウンドの洗掘と対策に関する研究，土木学会論文集B(海岸工学)，Vol.71，No.2，I_1207-I_1212，2015.
- 2) 有川ら：津波越流時における混成堤の被災メカニズムと腹付工の効果，港湾空港技術研究所資料，No.1269，p21-p37，2013.