

MPS 法を用いた海岸堤防を越流する津波の流体特性

岩手大学 学生会員 ○亀尾実愛, 佐々木智, 正会員 小笠原敏記

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震津波により、多くの防波堤が破壊された。防波堤の破壊の一因として、津波が防波堤を越流することによる湾内側マウンドの洗掘が考えられる。将来の津波防災の観点から、津波に対する防波堤の耐久性能の評価は必要であり、模型実験や数値計算による防波堤周りの流動特性の研究が活発に行われている。佐藤ら（2012）は、津波越流時の模型実験と数値波動水路（CADMAS-SURF-2D）での再現計算を試みているが、水面変形や流速分布に関して計算結果が一致しておらず、他の数値計算手法による検討が必要と言える。

そこで本研究では、津波越流時の再現計算として粒子法の一つである MPS 法を用いる。一般防波堤が越流洗掘型の被災を受けた事例を基に、流入境界による越流時の流動現象を再現する。同時に、佐藤らによる模型実験の結果と本研究での再現計算を比較し、MPS 法との整合性を検討する。

2. 計算方法および条件

MPS 法は、連続体の運動を有限個の粒子で表すラグランジュ的手法であり、粒子間の相互作用の強さに重みを考慮した粒子間相互作用モデルとして、勾配モデル、発散モデル、およびラプラスアンモデルが用いられる。また、圧力のポアソン方程式には、田中・益永（2008）が提案した疑似圧縮性の効果を組み込んだ次式を用いる。

$$\nabla^2 P = \frac{1}{\Delta t^2} \nabla \cdot \mathbf{v}^* + \frac{\gamma}{\Delta t^2} \frac{n^0 - n^*}{n^0} \quad \dots(1)$$

ここで、上式の右辺第 1 項は、速度 $\mathbf{v}^*$ の発散がゼロという Divergence Free (DF) 条件、第 2 項は非圧縮条件を粒子数密度が初期粒子数密度 n^0 を満足するという Particle Number Density (PND) 条件を表す。な

お、変数の添え字*は、陽的な部分の計算が終了した後の値を意味する。

再現計算は東北地方太平洋沖地震を発生源とした津波により、八戸港北防波堤が破壊された事例を想定する。このときの計算初期場の粒子数は 6734 個であり、粒子間距離 l_0 を 0.01m とした。図-1 は、計算に用いた 2 次元計算領域を示す。なお、図中の数値は、フルードの相似則を用いて現地換算した値である。佐藤らによる模型実験では、ポンプで水を流入させ、越流を再現したが、本研究では、水位の急激な変動を抑制するため、水槽底面に流入境界を設置した。流入境界の妥当性を検証するため、貯水槽の水位の変化を理論値と比較する。その結果が図-2 であり、流入速度 v_{in} を 1m/s とした。理論値と計算値

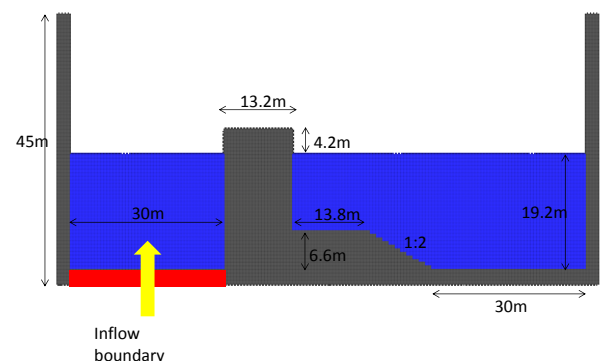


図-1 2次元計算領域

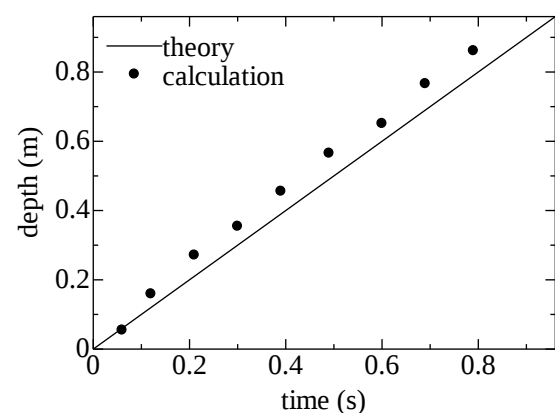


図-2 流入境界による水位の時間変化の計算値と理論値の比較

キーワード 津波防波堤, MPS 法, 流入境界

岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学工学部社会環境工学科・019-621-6889

は概ね一致しており、流入境界の妥当性を実証している。

3. 津波防波堤の越流計算

佐藤らの水理模型実験では、津波の港内・外の水位および越流継続時間を2011年東北地方太平洋沖地震津波の再現数値シミュレーション結果と一致させている。このときの港外および港内の最大水位は、静水面を基準として約8.4mおよび約2.2mであった。本計算では、港外の水位は流入境界の影響を受け易いため、港内の最大水位が一致するように流入速度 v_{in} を適宜変更させて調整した。その結果、港内の最大水位は、1.8m から 2.4m の範囲となり、概ね妥当な結果を得た。図-3 は、流入速度 $v_{in} = 0.23\text{m/s}$ （現地換算値：1.78m/s）における防波堤を越流する津波の空間波形および流速分布の時間変化である。なお、流速ベクトルは現地換算値で表している。防波堤を越流した流体が港内の水面に突入する様子を安定的に計算していることがわかる。特に、突入ジェットに伴う反時計回りの渦の生成、更には時計回りの渦の生成のような複雑な乱流場の計算を可能にしている。また、突入時から渦生成過程における最大流速値は、10m/s（現地換算）を越えており、流入速度の6倍近い速度が越流によって発生することがわかる。このような速い流速を持った突入ジェットが、マウンドの洗掘を引き起こす要因と推察される。

図-4 は、流入速度 $v_{in} = 0.20\text{m/s}$ （現地換算値：1.55m/s）における計算開始から0.10秒後の空間波形および流速分布を示す。図-3 に示した同時刻と比較すると、最大流速値に大差はないが、流速分布に明確な違いが生じることがわかる。 $v_{in} = 0.23\text{m/s}$ の場合、突入ジェットによる水塊を巻き上げるような大規模な渦が発生する。一方、 $v_{in} = 0.20\text{m/s}$ では、突入ジェットと水面付近に速い流速分布が生じるものの、渦が生成し発達する様子は見られない。つまり、流入境界における速度の設定が防波堤越流後の流体運動に大きな影響を及ぼすと言える。したがって、模型実験の適切な再現計算には、流入速度の設定に注意する必要がある。

参考文献

佐藤正勝，米山治男，長谷川巖，稲垣茂樹（2012）：一

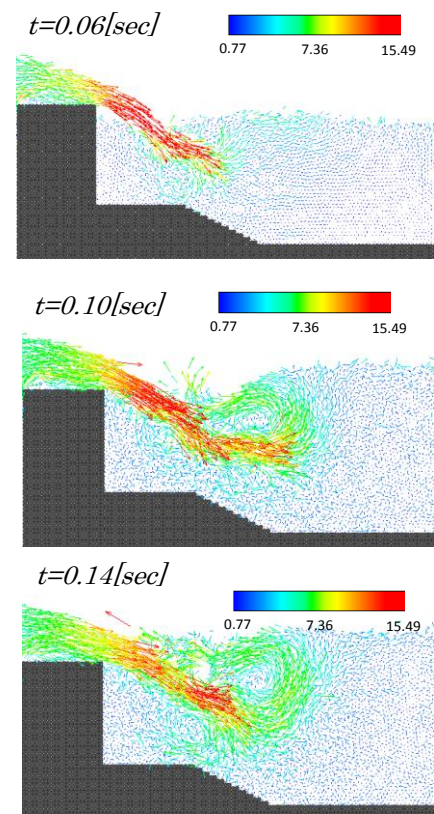


図-3 流入速度 $v_{in} = 0.23\text{m/s}$ （現地換算値：1.78m/s）における空間波形および流速分布の時間変化

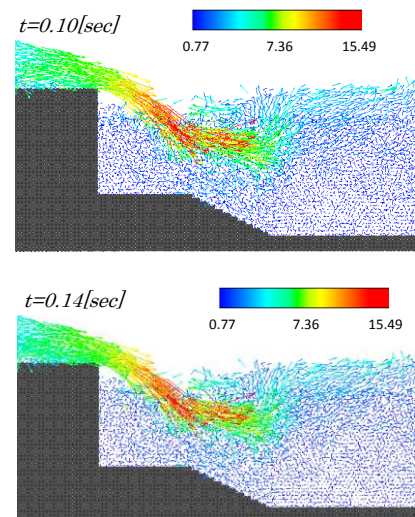


図-4 流入速度 $v_{in} = 0.20\text{m/s}$ （現地換算値：1.55m/s）における空間波形および流速分布

般防波堤の津波越流による港内側マウンドの洗掘と対策，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 68，No.2，I_252 - I_257.

田中正幸，益永孝幸（2008）：疑似圧縮性効果による MPS 法の安定化と圧力の平滑化，Transactions of JSCES，No.20080025.