

礫浜の地形変化への XBeach モデルの適用とその再現性に関する一考察

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 牧 亮太

名古屋大学大学院工学研究科 正会員 中村 友昭, 趙 容桓

名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 水谷 法美

1. はじめに：礫浜には波浪条件によっては大規模な地形変化が発生し、背後地に被害をもたらす可能性がある。こうした背景から、礫浜の地形変化特性を明らかにする必要がある、その際には数値解析が有効であると考えられる。海浜変形モデル XBeach (Roelvink et al., 2009)を用いた数値解析は主に砂浜海岸を対象に実施されてきている一方で、礫浜への適用例は少ない。また、底質を礫に限定した拡張型モデル XBeach-G も存在するものの、平面2次元の計算ができないモデルであるため、使用できる条件は限定的である。そこで、本研究では、XBeach を礫浜の地形変化現象に適用した際におけるモデルのパラメータが地形変化に与える影響を調べるとともに、水理模型実験で観測された地形変化を良好に再現可能なパラメータ条件について考究する。

2. 計算条件：本研究では、Kim et al. (2020)による1/25スケールの水理模型実験のうち、勾配1/7、中央粒径 $D_{50} = 3.2 \text{ mm}$ の礫浜斜面に波高10 cm、周期2 sの規則波を6時間作用させたCase 6を対象に数値解析を実施した。このCase 6では、各時間帯における礫浜斜面の断面地形の時間変化が計測されている。計算領域を図-1に示す。

水理模型実験において固定床が設置された部分は、底質の移動が起こらない“Non-erodible layer”として設定した。

そして、水理模型実験と同じ波高、周期の規則波を造波し、各時間帯における断面地形の変化を計算した。

XBeachの波浪モジュールはnon-hydrostatic mode、土砂輸送の定式化はMcCall-Van Rijn型を使用し、 x 方向の格子幅は0.02 mとした。造波時間は、3章、4章の計算では30分間、5章の計算では水理模型実験と同じ6時間とした。

3. 堆積型地形の再現：造波開始 30 分後の断面地形に関して、数値計算結果と水理実験結果の比較を図-2 に示す。図中の pattern については後述する。図-2 に示すように、XBeach のすべてのパラメータをデフォルト値とした pattern 0 のとき、計算された地形変化は水中部のバー地形や陸上部の侵食を特徴とする侵食型となり、陸上部のバーム地形や水中部の侵食を特徴とする堆積型の地形変化を示した水理模型実験の結果とは大きく異なった。そこで、土砂輸送式によって得られた掃流砂量に対して岸・沖方向で異なる係数（岸方向：15、沖方向：0.3）を乗じた pattern 1 の計算を行ったところ、堆積型の地形変化となった。さらに、pattern 1 に対して水の有無を判定する閾値水深(eps)をデフォルト値の 0.005 m から 0.001 m に変更した pattern 2 の計算を行ったところ、波の遡上高が大きくなり、陸上のバームの高さが増加した。これは、

eps の値を小さくすることによって遡上波先端付近の水の層が薄い部分でも流速や底面せん断応力が計算されるようになり、その結果としてバーム頂部付近の堆積量が増加したためと考えられる。図-3 に、各地点における断面平均流速の沖向きおよび岸向き最大値の 5 波平均値（造波開始後 600～610 秒）の空間分布を示す。同

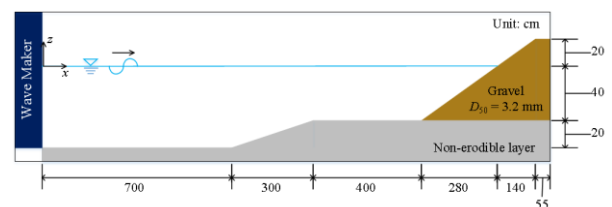


図-1 計算領域

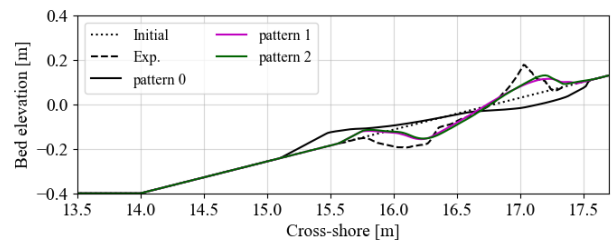


図-2 造波開始 30 分後の断面地形の比較

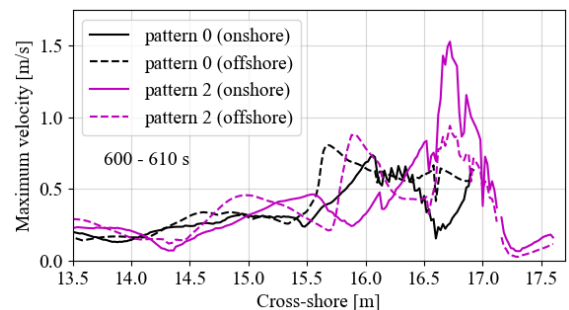


図-3 断面平均流速の岸向き最大値と沖向き最大値の 5 波平均値の空間分布

図に示すように、汀線 16.8 m 付近 (16.5~17.0 m 付近) の流速は, **pattern 0** では沖向きが卓越しているのに対し, **pattern 2** では岸向きが卓越している. 掃流砂量の係数の変更は流速場にも影響を与えることがわかった.

4. 造波開始30分後の地形の再現性: 図-2に示すように, **pattern 2**は堆積型の地形変化を再現できているものの, バームの高さや位置, 水中部の侵食の位置などの再現性には課題が残る. そこで, **pattern 2**から新たに2つのパラメータを, a) 水のあるセルの安息角 $m_{cr,wet}$ (keyword: wetslp) : 0.3→1.0, b) 掃流砂計算に使用される内部摩擦角 ϕ (keyword: reposeangle) : 30→40, と変更した**pattern 3**の計算を行った. 図-4に, 造波開始30分後の断面地形に関して, 実験結果, **pattern 0, 2, 3**の比較を示す. 同図に示すように, **pattern 3**は**pattern 2**と比較してバーム前面の斜面勾配がより急峻になり, バーム頂部がより実験結果に近い位置となった. また, 水中部の侵食量も大きくなり, 実験結果に近づいた. これらの計算結果の地形変化が水理模型実験の地形変化をどの程度再現できているかを定量的に評価するために, 式(1)で表わされる評価指標BSSを使用した.

$$BSS = 1 - \frac{\langle |z_{b,c} - z_{b,m}|^2 \rangle}{\langle |z_{b,i} - z_{b,m}|^2 \rangle} \quad (1)$$

ここで, $z_{b,m}$, $z_{b,c}$ はそれぞれ水理模型実験および数値計算の断面地形, $z_{b,i}$ は初期断面地形, $\langle \rangle$ は平均を示す. BSS 値は-1.0 から 1.0 までの値で表わされ, 数字が大きいほど再現性が高いことを示す. その結果, 図-4に記載しているように, **pattern 0**における BSS 値は負値となった一方で, **pattern 3**では BSS 値が 0.8 程度となっており, 前述したようなパラメータの変更によって地形変化の再現性が飛躍的に向上したと言える.

5. 地形の時間変化の再現性: 断面地形の時間変化を水理模型実験と数値計算で比較するため, 造波時間を

水理模型実験と同じ6時間に変更して**pattern 2**と**3**の計算を行った. 図-5に, **pattern 3**における造波開始から1, 3, 6時間後における断面地形の比較を示す. 同図に示すように, 造波開始6時間後の最終地形では, 数値計算は水理模型実験のバーム高や侵食深さを良好に再現できている. ただし, 造波開始1時間後の地形からわかるように, 平衡地形に達するまでの時間は水理模型実験よりも長くなっており, 最終地形に至るまでの過程におけるバーム高や侵食深さの再現性には課題が残る.

図-6に, 断面地形のBSS値の時間変化を示す. 上述したような平衡地形に達するまでの時間の差により, 造波開始50分後付近でBSSの若干の減少が見られるものの, **pattern 3**は全時間帯でBSSが0.8程度と高い精度で断面地形の再現ができたと言える.

6. おわりに: 本研究では, XBeach のパラメータが地形変化に与える影響を調べ, 礫浜の堆積型の地形変化を高い精度で再現できるパラメータ条件を示した. 今後は, 平衡地形に達するまでの時間に影響を与えるパラメータの検討や, 様々な波浪条件に対するモデルの再現性の検討を行っていく所存である.

参考文献: [1] Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R., Lescinski, J. (2009): Coastal Eng., Vol. 56, No. 11-12, pp. 1133-1152. [2] Kim, S., Nakamura, T., Cho, Y., Mizutani, N. (2020): IJOPE, Vol. 30, No. 3, pp. 349-356.

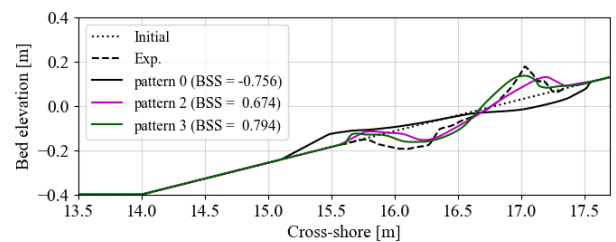


図-4 造波開始 30 分後の断面地形(pattern 0, 2, 3)

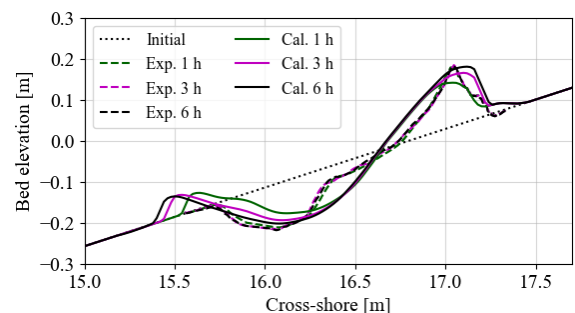


図-5 断面地形の時間変化の比較(pattern 3)

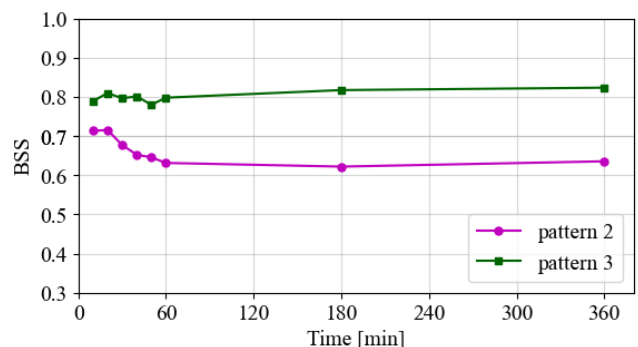


図-6 断面地形の BSS 値の時間変化