

干潟地形を対象とした地形と底質粒度に関する二次元水理実験

湯浅城之*・上野成三**

近年, 人工干潟の造成が増加する中, 波浪による地形変形や細粒分の流出という問題が顕在化している。そこで, 潮位変化を考慮した上で, 広大な緩勾配のテラス部を持つ干潟地形を対象とした二次元水理実験を行い, 地形と底質粒度の変化特性を調べた。その結果, 異なる潮位で不規則波を作用させると, 潮位レベルによって地形変化の形状が異なり, 干潟地形の形成には潮位変化が重要な役割を果たしていることが明らかになった。また, 常時波浪と高波浪を繰り返し作用させた場合, LWL よりやや深い範囲において, 常時波浪作用時で堆積・細粒化, 高波浪作用時で侵食・粗粒化となり, 地形と底質粒度が波浪条件に連動して変化することが確認された。

1. はじめに

近年, 人工干潟の造成例が増加する中, 波浪による侵食やシルト・粘土などの細粒分の流出が起こり, 造成当初の地形や底質粒度の変化が生じることが報告されている(国分ら, 2004, 2005)。特に, 干潟土壌の底質特性は, 干潟の底生生物の生息環境に重要な因子であり, 従来, 干潟材料で多用されてきた清浄な砂に比べて, 適度に有機物やシルト・粘土分を含んだ底質の方が底生生物の種類, 量ともに増大することが明らかになってきた(上野ら, 2001, 2002; 国分ら, 2004, 2005)。よって, 今後の干潟の設計・施工に際して, 干潟地形の安定性に加えて, 干潟底質の粒度分布も考慮する必要性が明確になってきた。

干潟の地形変化に関する既往の研究としては, 現地観測や水理実験などの結果から干潟の漂砂や地形変化に対する潮汐・潮流などの影響を論じている(内山ら, 2000; 柿木ら, 2000; 許ら, 2003)。しかし, 地形変化と底質粒度の両者を扱った研究としては, 最近, 砂浜海岸を主対象とし混合粒径を考慮したモデル化が精力的に進められているものの(小林ら, 2003; 熊田ら, 2004), 干潟地形を対象とした研究はほとんどなされていない。

そこで, 本研究では, 干潟地形の特徴である緩勾配で広大なテラス部を有する干潟模型を用いた二次元水理実験を実施し, 潮位変動や作用波浪の履歴を考慮した上で, 干潟の地形変化と底質粒度の変化特性を明らかにした。

2. 実験方法

造波機を備えた二次元水槽(長さ25 m, 幅0.5 m)に干潟模型を作成し, 表-1 に示すように, 常時波浪作用時における潮位変化の有無による地形形状と底質粒度の変化を調べるケース(Case 1 縮尺1/5)と, 常時波浪

と高波浪を繰り返して作用させた場合の地形形状と底質粒度の変化を調べるケース(Case 2 縮尺1/10)の2種類の実験を実施した。

図-1 に干潟模型図を示す。干潟地形の初期断面形状は, 姜ら(2001)を参考に自然干潟の形状にならって設定した。具体的には, Case 1の干潟地形は, 干潟テラス部の勾配を1/75, 沖側法面の勾配を1/10とした。この地形形状を用いた実験の結果, 沖側法面の侵食がやや顕著になることが判明したため, Case 2では干潟テラス部の勾配を1/100, 沖側法面の勾配を1/20と全体的に緩い勾配地形で作成した。底質材料には, 粒径が20~1000 μm の幅広い粒度分布(中央粒径約240 μm)を持つ混合砂を用いた。これらの波浪・地形条件における Sunamura・Horikawa (1974) の堆積・侵食パラメータ C を算出すると, Case 1は中間型地形(Type II), Case 2の常時波浪は堆積型地形(Type I), 高波浪は侵食型地形(Type III)となる。潮位はポンプを用いて水槽内の水を給水・排水することによって変動させた。潮汐周期は, M_2 分潮を対象とし, Case 1-3で5.6時間, Case 2で4時間とした。Case 2の波浪履歴は常時波浪10周期(40時間), 高波浪2周期(8時間)を交互に作用させた(図-2)。

不規則波作用後に, 地形計測(岸沖10 cm 間隔)と底質採取(岸沖1 m 間隔, 表層5 mm)を行った。採取した試料は, レーザ回折式粒度分布測定装置を用いて, その粒度分布を計測し, 中央粒径, 均等係数, シルト含有率を算出した。

表-1 実験条件

ケース	縮尺	常時波浪	高波浪	潮 位
1-1	1/5	$H_{1/3} : 10 \text{ cm}$ $T_{1/3} : 1.3 \text{ s}$		固定(L.W.L.: 60 cm)
1-2				固定(H.W.L.: 80 cm)
1-3				変動(周期: 5.6 h)
2	1/10	$H_{1/3} : 5 \text{ cm}$ $T_{1/3} : 0.9 \text{ s}$	$H_{1/3} : 20 \text{ cm}$ $T_{1/3} : 1.5 \text{ s}$	変動 (L.W.L.: 60 cm, H.W.L.: 70 cm, 周期: 4.0 h)

* 正会員 (財)三重県産業支援センター
** 正会員 工修 大成建設(株)技術センター

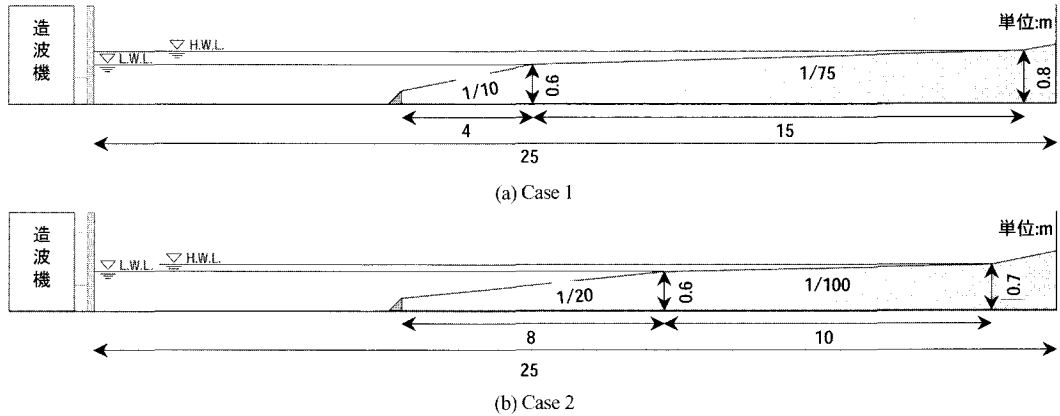


図-1 干潟模型

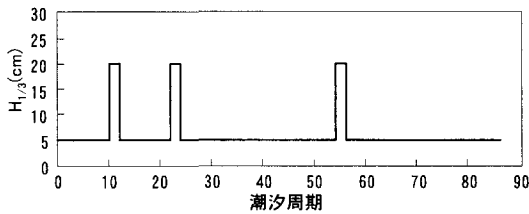
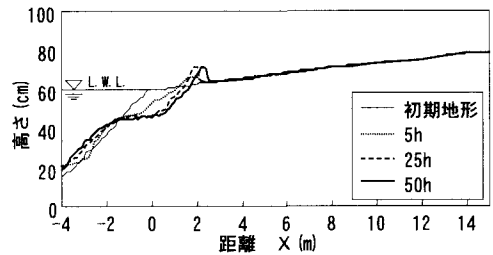


図-2 作用波のパターン (Case 2)



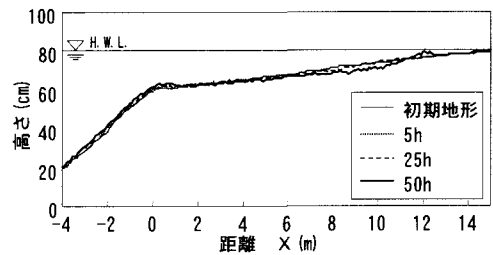
(a) Case 1-1 (潮位固定/L.W.L.)

3. 実験結果および考察

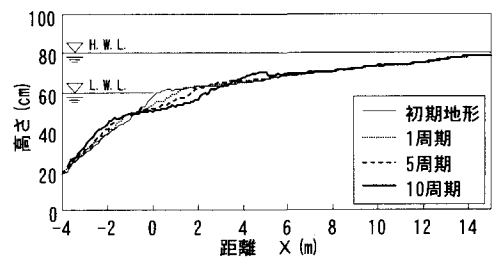
(1) 潮位変動の有無による地形形状と底質粒度の変化特性

Case 1の各ケースにおける地形変化状況を図-3に示す。Case 1-1は汀線が法肩に位置するため、碎波の影響を直接受けて造波開始直後から法肩 ($x = 0$ m) の侵食と法面 ($x = -4 \sim -2$ m) での堆積が起こり、地形が大きく変形した。また、汀線の岸側 ($x = 2$ m) でバーム地形を形成した。Case 1-2では全体的に地形変化量は小さく、 $x = 8 \sim 10$ m で侵食し、汀線のやや沖側 ($x = 12 \sim 13$ m) でバーム地形を形成した。碎波点は法肩よりも岸側 ($x = 8 \sim 11$ m) の広い範囲に分散した。そのため、局所的な侵食はなく、2～3 cm 程度の侵食が広範囲に見られた程度であった。潮位を変動させた Case 1-3では、法肩付近 ($x = 0 \sim 3$ m) で侵食が起こり、5～10周期後にかけてその岸側 ($x = 4 \sim 5$ m) にバームが形成された。

潮位変動の有無による地形変化の最終形状を比較する(図-4)。潮位固定ケースでは汀線的位置に応じてそれぞれバームが形成されたのに対し、潮位変動ケースでは両者の間 ($x = 4 \sim 5$ m) にバームが形成された。また、法肩部分 ($x = -1 \sim 3$ m) が侵食したが、潮位変動に



(b) Case 1-2 (潮位固定/H.W.L.)



(c) Case 1-3 (潮位変動)

図-3 地形変化状況

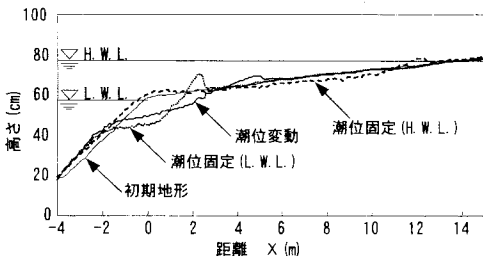
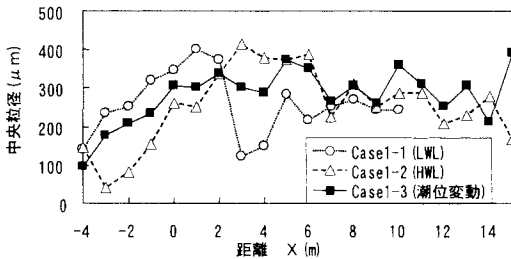
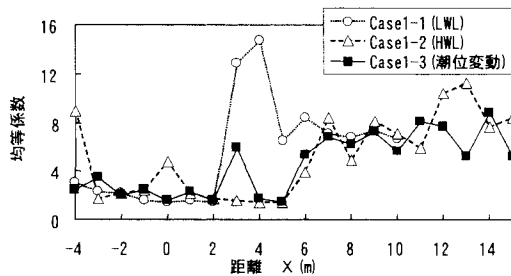


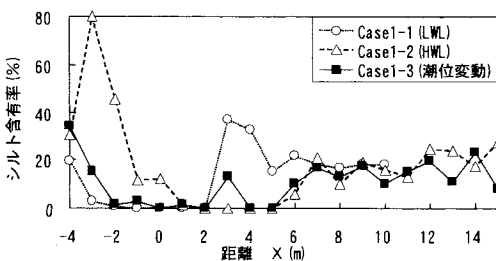
図-4 最終地形の比較 (Case 1)



(a) 中央粒径



(b) 均等係数



(c) シルト含有率

図-5 底質粒度分布状況

伴って汀線や碎波点の位置も移動していくため、Case 1-1よりもなだらかな形状となり、潮位レベルによって地形変化の結果が大きく異なった。

以上のことから、干潟の地形変化特性は、緩勾配のテラス部の存在により、潮位変動に連動して汀線や碎波の位置が大きく変動するため、潮位固定条件に比べて全体的に緩やかな地形変化形状を示すことが明らかになった。

これは許ら (2003) と同様な結果となっている。

図-5 に最終地形における底質粒度分布の変化状況を示す。潮位変動を L.W.L. に固定した Case 1-1 の中央粒径分布に着目すると (図-5(a))、バーム形成位置 ($x = 0 \sim 2$ m) で粗粒化し、バームより岸側部 ($x > 2$ m) で細粒化する分布を示した。シルト含有率、均等係数の分布形も中央粒径の分布に対応して、バーム位置で減少し、バーム岸側で増加した。また、その他のケース (Case 1-2, 1-3) においてもバーム位置に対応してバーム付近で粗粒化し、バーム岸側で細粒化するという同様の傾向を示した。バーム岸側で細粒化する原因は、越波によってバームを越えて細粒分のみが運ばれ、沈降したためと考えられる。

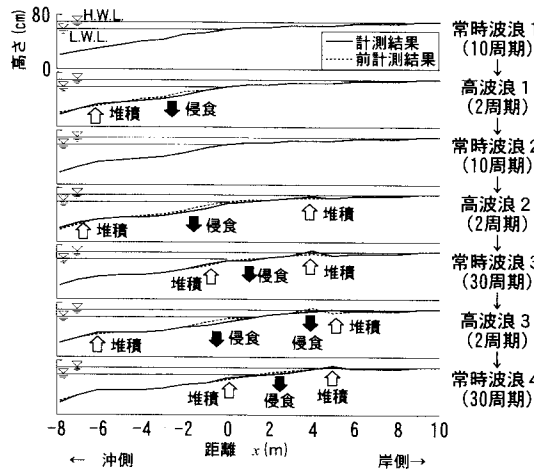
(2) 常時波浪・高波浪を繰り返して作用させた場合の地形形状と底質粒度の変化特性

図-6 に作用波の履歴を考慮した地形形状および底質粒度の経時変化を示す。この実験は図-2 に示したように、常時波浪と高波浪を交互に作用させて行った。地形形状は法面 ($x = -7 \sim -5$ m) では高波浪時に堆積し、バー地形を徐々に形成しつつある。また、L.W.L. よりやや深い範囲 ($x = -4 \sim -1$ m) では高波浪時に侵食、常時波浪で堆積を繰り返している。これは Sunamura・Horikawa が示す堆積・侵食パターンと一致する結果となった。これに対し、テラス部中央付近 ($x = 3 \sim 6$ m) では、常時波浪だけでなく、侵食型である高波浪においても堆積し、バーム地形が徐々に岸側へ移動しながら形成された。これは、高波浪時の来襲波は干潟沖側の法面付近での碎波に加えて、広大な緩勾配のテラス部において波高減衰することにより、汀線付近では堆積型の地形変化を引き起こすと考えられ、一般の海岸地形変化とは異なり、干潟特有の変化パターンであると言える。

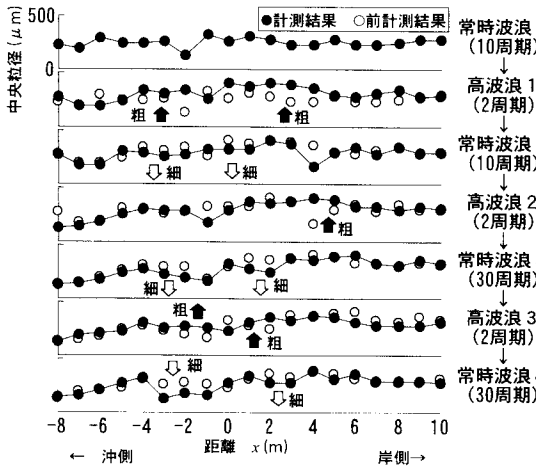
中央粒径の経時変化を見ると、高波浪時には粗粒化、常時波浪では細粒化する傾向が見られた。特に、L.W.L. より深い範囲 ($x = -4 \sim -2$ m) ではその傾向が顕著となっており、常時波浪と高波浪が繰り返されると、地形の堆積・侵食と連動して、底質粒度も細粒化・粗粒化をサイクリックに繰り返すことが確認できた。

シルト含有率においても、中央粒径の結果同様、L.W.L. より深い範囲 ($x = -4 \sim -2$ m) において、常時波浪で細粒化し、高波浪で粗粒化する傾向が見られた。また、最初の高波浪作用時において、 $x = 0 \sim 2$ m の範囲でシルト含有率がほぼ 0% になる地点が発生し、その後、波を作用させるにしたがってシルト含有率 0% の範囲が徐々に岸側へ移動していた。これは岸側に移動したバーム地形の位置と連動したものである。

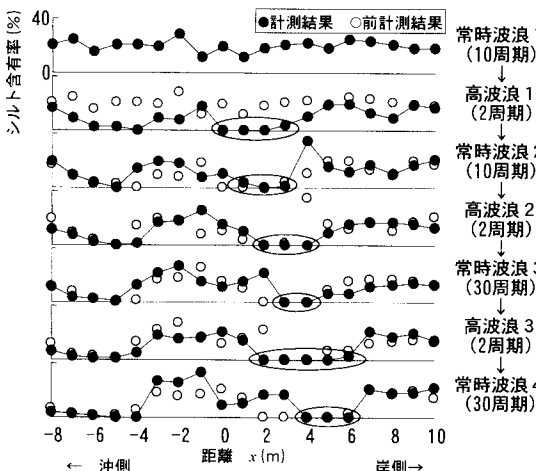
図-7 に法面における地形および底質粒度の経時変化を示す。地形形状は、 $x = -4 \sim -1$ m の平均をまとめた。



(a)地形形状



(b)中央粒径



(c)シルト含有率

図-6 波浪履歴による経時変化(Case 2)

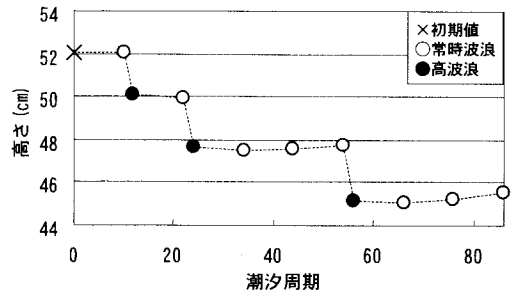
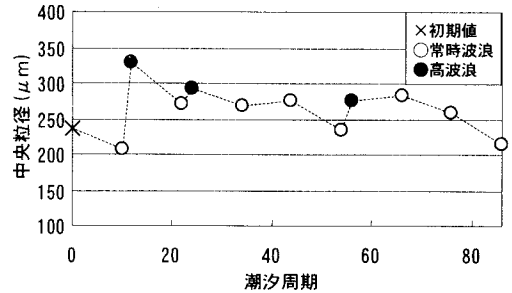
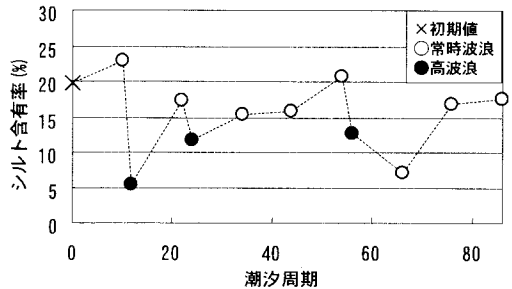
(a)地形形状 ($x=-4\sim-1\text{m}$ 平均)(b)中央粒径 ($x=-4\sim-2\text{m}$ 平均)(c)シルト含有率 ($x=-4\sim-2\text{m}$ 平均)

図-7 法面における地形および底質粒度の経時変化(Case 2)

常時波浪では僅かに堆積する程度であったが、高波浪では1周期当たり約1cm侵食しており、この範囲の地形変化は高波浪に起因していると言える。中央粒径とシルト含有率はともに $x = -4 \sim -2\text{m}$ での平均値で示した。両者とも、作用波に連動して常時波浪で細粒化・シルト増、高波浪で粗粒化・シルト減となっている。

以上から、干潟地形において、シルトの流出は高波浪時に起こり、常時波浪では逆にシルトが流入・沈降して細粒化する傾向にあることが確認できた。この細粒化する機能を維持さらには強化することができれば干潟の底質粒度の長期安定化ができると考えられる。

4. 結 論

本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- ① 干潟地形の変化特性として、潮位変動固定条件に比べて潮位変動条件では、侵食・堆積の変化が緩やかになることが示され、潮位変動も重要な役割を果たしていることが明らかになった。
- ② 干潟底質の変化特性として、バーム形成位置では粗粒化し、バームの岸側では細粒化することが示された。
- ③ 常時波浪と高波浪を繰り返して作用させた場合、L.W.L. よりやや深い範囲では高波浪時に侵食、常時波浪で堆積を繰り返して、地形変化と連動して、底質粒度は高波浪で粗粒化、常時波浪で細粒化を繰り返す傾向が示された。
- ④ 高波浪作用時においても、砕波やテラス部における波浪減衰によって、汀線付近ではバームが形成し、堆積型の地形変化パターンを示した。

謝辞：本研究は三重県地域結集型共同研究事業の一部で実施された。また、実験にあたり、大成サービス（株）から多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 上野成三・高橋正昭・原条誠也・高山百合子・国分秀樹(2001)：
 浸渫ヘドロを利用した資源循環型人工干潟の造成実験，海岸
 工学論文集，第48巻，pp. 1306-1310。
- 上野成三・高橋正昭・高山百合子・国分秀樹(2002)：浸渫土を用
 いた干潟再生実験における浸渫土混合率と底生生物との関係
 について，海岸工学論文集，第49巻，pp. 1301-1305。
- 内山雄介・加藤一正・栗山善昭・古川恵太(2000)：東京湾盤洲干
 潟の漂砂特性について，海岸工学論文集，第47巻，pp.
 521-525。
- 柿木哲哉・滝川清・山田文彦(2000)：白川・緑川河口域の干潟形
 成に及ぼす潮位・潮流と河川流入の影響，海岸工学論文集，
 第47巻，pp. 636-640。
- 姜関秀・高橋重雄・奥平敦彦・黒田豊和(2001)：自然および人工
 干潟における地盤の安定性に関する現地調査，海岸工学論文
 集，第48巻，pp. 1311-1315。
- 許東秀・牛木賢司・高木祐介・岩田好一朗(2003)：人工干潟の地
 形変化に関する研究，海岸工学論文集，第50巻，pp.
 1221-1225。
- 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・野志保仁(2004)：粒
 度組成の3次元変化を考慮した等深線変化モデル，海岸工学論
 文集，第51巻，pp. 441-445。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004)：
 英虞湾における浸渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られ
 た干潟底質の最適条件，海岸工学論文集，第51巻，pp.
 1191-1195。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2005)：
 英虞湾における浸渫ヘドロを用いた大規模造成干潟の底質と
 底生生物の特性について，海岸工学論文集，第52巻，pp.
 1196-1200。
- 小林博・本田隆英・佐藤慎司・渡辺晃・磯部雅彦・石井敏雄
 (2003)：波の前傾化と混合粒径底質の分級を考慮した3次元
 海浜変形シミュレーション，土木学会論文集，No.740/Ⅱ-64，
 pp/157-169。
- Sunamura, T. and K. Horikawa (1974)：Two-dimensional beach
 transformation due to waves, Proc. 14th Coastal Eng. Conf.,
 ASCE, pp. 920-938。