

暴浪波と静穏波の繰り返し作用に伴うヘッドランド間の 海浜変形過程に関する実験的研究

山本幸次*・鳥居謙一**

波が斜めから入射し沿岸漂砂が生じる条件下で、暴浪波と静穏波の繰り返し作用によるヘッドランド間の海浜変形過程に関する移動床平面実験を行った。その結果、沿岸漂砂の上手側では暴浪波と静穏波の作用で汀線が後退するとともにバーが徐々に消滅する変形過程を、沿岸漂砂下手側では暴浪波の作用で前浜部分が侵食されるものの沖浜が形成され、静穏波の作用で前浜が復元する変形過程を明らかにした。また、ヘッドランド間の土砂収支は暴浪波作用後には増加し、静穏波作用後には減少するが、暴浪波と静穏波の作用後の 1-cycle 後にはほぼ均衡することが新たな知見として得られた。

1. はじめに

1999 年 5 月 28 日に公布された改正「海岸法」のもとでは、海岸管理者が消波等の海岸を防護する機能を維持するために設けたもので、指定したものに限り、砂浜も海岸保全施設として認められるようになった。特に、大規模な突堤（ヘッドランド）で囲まれた土砂収支の閉じた区間に養浜により創出した砂浜は、海岸保全施設として指定・管理されることになる。この場合、現地海岸では気象擾乱時の暴浪波や常時の静穏波が繰り返し来襲することから、指定する範囲での岸沖方向と沿岸方向における土砂動態を把握し、砂浜の侵食限界や安定性を評価しておく必要がある。

ところで、気象擾乱時のように、時間的に変動する波浪の作用に伴う岸沖方向の海浜縦断面の時間的変化については、砂村・倉田(1981)や福島ら(1999)、岡田ら(2000)による実験や、栗山(1996)や山本ら(1999)による現地データの解析などでかなりの知見が得られている。しかし、沿岸漂砂が卓越する条件下での、時間的に変動する波浪の作用による海浜縦断面の変化過程に関する研究はほとんど行われていない。そこで、本研究では沿岸漂砂が生じる海岸における、暴浪波と静穏波の繰り返し作用に伴う、土砂収支の系が閉じたヘッドランド間の海浜変形過程を移動床平面実験により検討した。

2. 実験方法

実験で使用した平面水槽は、図-1 に示すように幅 30 m、長さ 30 m、深さ 1 m の諸元を有し、その中には造波板幅 8 m のピストン式造波機が 3 台設置してある。実験では平面水槽内を導波板で区切り、その左側の導波板に原点 O を設け、沿岸方向に X 軸を、岸沖方向に Y 軸をとった。この場合、導波板に対し Y 軸を時計回りを正として 15° 傾け、波浪が左斜めから入射し沿岸漂砂が卓越する条件にした。そして、 $X=0\sim 22.1$ m、 $Y=0\sim 8$ m に中

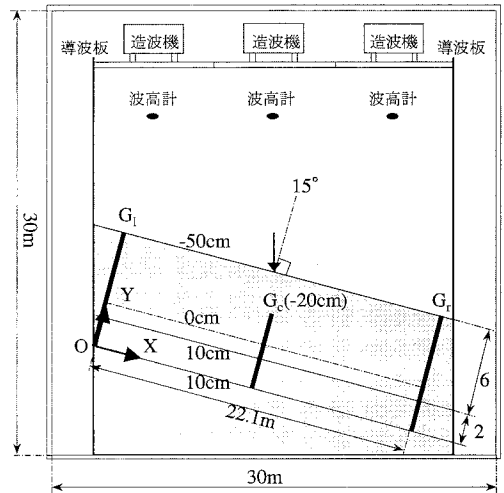


図-1 平面水槽と模型海浜の諸元

央粒径 $d_{50}=0.3$ mm の実験砂を用いて模型海浜を製作した。また、Z 軸の基準は平面水槽底面から 50 cm の静水面とし、 $Y=0\sim 2$ m は天端高が $Z=10$ cm の平坦面で、 $Y=2\sim 8$ m ($Z=10\sim -50$ cm) まだが $i=1/10$ の一様勾配斜面からなる海浜縦断面とした。したがって、初期汀線は $Y=3$ m の位置になる。

また、左右端の $X=0$ m と $X=22.1$ m には初期汀線からの堤長 5 m (初期先端水深 $Z=-50$ cm) の突堤 G_1 、突堤 G_2 を、中間地点の $X=11.0$ m には初期汀線からの堤長 2 m (初期先端水深 $Z=-20$ cm) の突堤 G_c を設置した。これらの突堤は合板で製作し、沿岸漂砂を阻止する不透過構造とした。なお、以下では突堤 G_1 と突堤 G_c の間を区間 I、突堤 G_c と突堤 G_2 の間を区間 II とする。

以上の模型海浜に左斜めから入射する静穏波 ($H=4.0$ cm, $T=1.6$ s) を 190 分作用させ、形成された地形を初期地形 ($t=190$ min) とした。その後、暴浪波 ($H=10.0$ cm, $T=1.6$ s) を 30 分、静穏波 ($H=4.0$ cm, $T=1.6$ s) を 190 分作用させる cycle を 3 回繰り返して海浜変形過程を調べた。なお、初期条件から完全移動限界水深 (h_c) と、海浜縦断面の変化を分類する指標 (C_s) を求めると、

* 正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部海岸研究室主任研究官

** 正会員 工 修 国土交通省四国地方整備局 大洲河川国道事務所長 (元国総研海岸研究室長)

静穏波で $h_c=5.5$ cm, $C_s=3.4$ (バーム形成・汀線前進型), 暴浪波で $h_c=18.0$ cm, $C_s=8.5$ (バー形成・汀線後退型) となる。ここで, 突堤 G_1 と突堤 G_r の先端水深は $h=-50$ cm で沿岸漂砂を完全に遮断するので, これらは大規模なヘッドランドと考え, 中央突堤 G_c の先端水深は $h=-20$ cm で暴浪波作用時には沿岸漂砂が通過する可能性がある, これはやや規模の小さなヘッドランドと仮定した。

3. 実験結果

(1) 入射波の測定結果

模型海浜の沖側の3地点(図-1参照)に設置した波高計で得られた入射波高を平均して, その経時変化を示したのが図-2である。初期地形を形成させた $t=0\sim 190$ min の静穏波は波高が約4 cm, その後の cycle-1~cycle-3 では暴浪波は波高が約10 cm, 静穏波は波高が約4 cmであった。したがって, 実験で設定した暴浪波と静穏波の繰り返し作用条件をほぼ満足していると言える。

(2) 汀線形状の経時変化

まず, 静穏波を作用させた $t=0\sim 190$ min においては, 静穏波の作用により区間Iでは突堤 G_1 の下手側の $X=0\sim 5$ m で汀線が後退し, 突堤 G_c の上手側の $X=5\sim 11$ m で汀線が前進した(図-3)。同様に, 区間IIでも突堤 G_c の下手側の $X=11\sim 17$ m で汀線が後退し, 突堤 G_r の上手側の $X=17\sim 22$ m で汀線が前進した。以上のことから, 区間Iと区間IIともに, 左側から右側への沿岸漂砂に伴う汀線形状の変化が生じたことが分かる。

$t=190$ min の海浜地形を初期地形とした cycle-1 の汀線形状の経時変化を図-4に示す。暴浪波作用後の $t=220$ min では区間Iの $X=0\sim 8$ m と区間IIの $X=11\sim 20$ m で汀線が後退した。これに比較して汀線が前進したのは, 区間Iでは $X=8\sim 11$ m, 区間IIでは $X=20\sim 21$ m であり, 汀線後退範囲より汀線前進範囲がかなり小さい。したがって, 暴浪波の作用により沿岸漂砂に比較して岸沖漂砂に伴う海浜変形が卓越したと言える。その後に静穏波を作用させた $t=410$ min においては, 区間Iと区間IIともに中間地点では汀線が $t=190$ min の位置までほぼ復元した。また, 突堤 G_1 と突堤 G_c の下手側で汀線の後退が, 突堤 G_c と突堤 G_r の上手側で汀線の前進が進んだ。以上のことから, $t=220\sim 410$ min では岸沖漂砂による汀線の復元と, 沿岸漂砂に伴う突堤近傍での汀線の後退と前進が進んだことが確認できる。

同様に, 図-5に示した cycle-2 でも暴浪波の作用による汀線の後退が, 静穏波の作用に伴う汀線の回復と突堤近傍での汀線の後退と前進が見られる。ただし, 静穏波作用時における沿岸漂砂に伴う汀線変化は, cycle-1

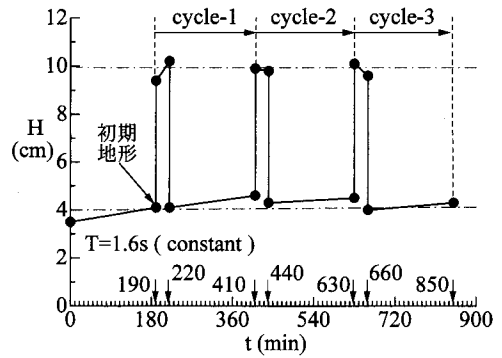


図-2 計測された入射波の波高

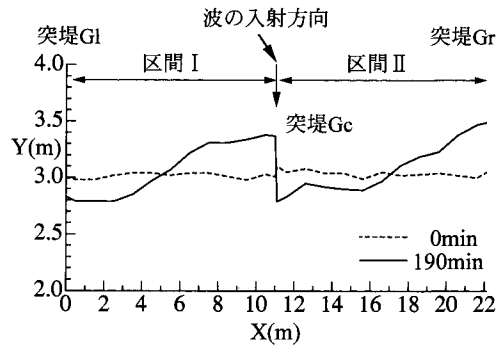


図-3 静穏波の作用による整形後の汀線形状の変化

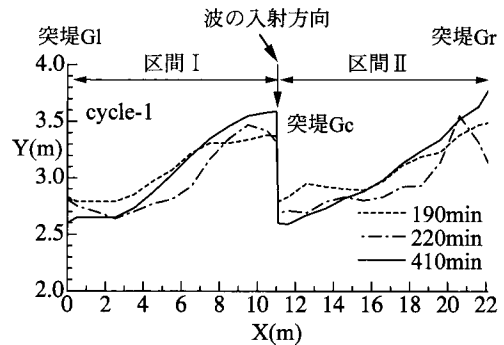


図-4 cycle-1 における汀線形状の経時変化

に比較して小さくなった。さらに, cycle-3 では図-6に示すように, 暴浪波の作用による汀線の後退と静穏波の作用による汀線の復元が, cycle-1 および cycle-2 とほぼ同様に生じた。しかし, 静穏波作用の沿岸漂砂に伴う突堤近傍の汀線の前退と後退はほとんどなくなった。つまり, cycle-3 では波の入射方向に対してほぼ安定な汀線形状になっており, 静穏波の作用では沿岸漂砂がほとんど生じない海浜地形が形成されていると推定できる。また, 区間Iの $X=7\sim 11$ m と区間IIの $X=17\sim 22$ m では cycle-3 においては汀線の変化はほとんど見られ

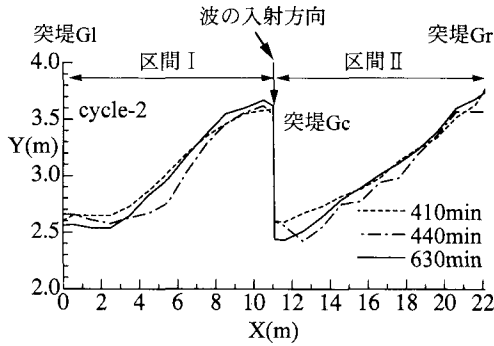


図-5 cycle-2における汀線形状の経時変化

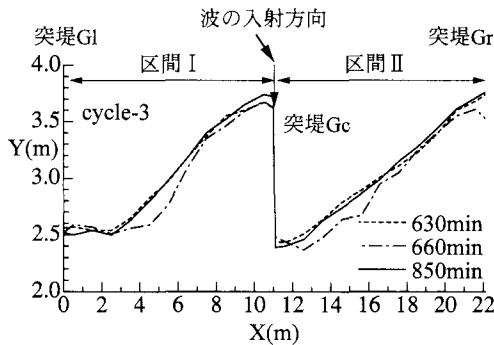


図-6 cycle-3における汀線形状の経時変化

ず、沿岸漂砂の堆積域では暴浪波の作用に対しても安定な海浜地形になったと言える。

(3) 代表測線における海浜縦断面の経時変化

区間 I の代表測線における cycle-1 での海浜縦断面の経時変化を図-7 に示す。突堤 G_1 の下手側における侵食域の $X=0.0\text{ m}$ では、暴浪波作用後の $t=220\text{ min}$ には前浜部分はほとんど変化しなかったが、沖側にバーが形成された。しかし、静穏波の作用により $t=410\text{ min}$ にはバーが消滅して、前浜部分が後退した。中間地点の $X=5.5\text{ m}$ では暴浪波作用後に前浜部分が侵食され、その沖にバー状の地形が形成された。その後の静穏波の作用で前浜部分は復元されたが、沖側のバー状の地形は消滅した。突堤 G_c の上手側における堆積域の $X=11.0\text{ m}$ では、暴浪波の作用で水面より陸側が侵食されたが、水面下には砂が堆積しバーの形成も見られる。そして、その後の静穏波の作用で前浜部分が復元した。

区間 I では各測線における cycle-1 での海浜縦断面の変化過程は cycle-2 および cycle-3 (図-8) でも繰り返されたが、変化量は徐々に小さくなった。特に、侵食域の $X=0.0\text{ m}$ では cycle-3 では海浜縦断面はほとんど変化しておらず、堆積域の $X=11.0\text{ m}$ では最終的には移動限界水深付近にバー状の地形が形成された。このため、

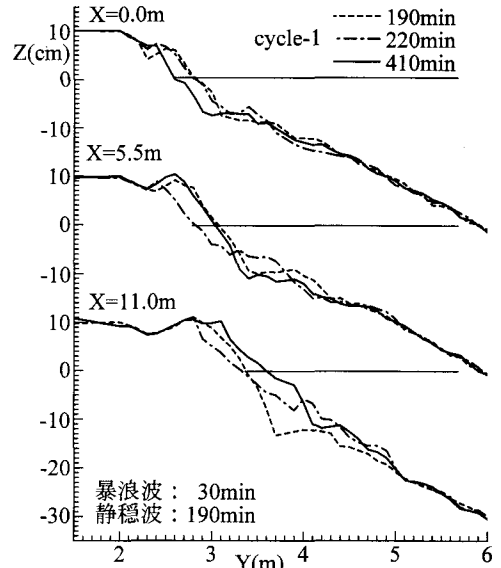


図-7 区間 I の cycle-1 における海浜縦断面の経時変化

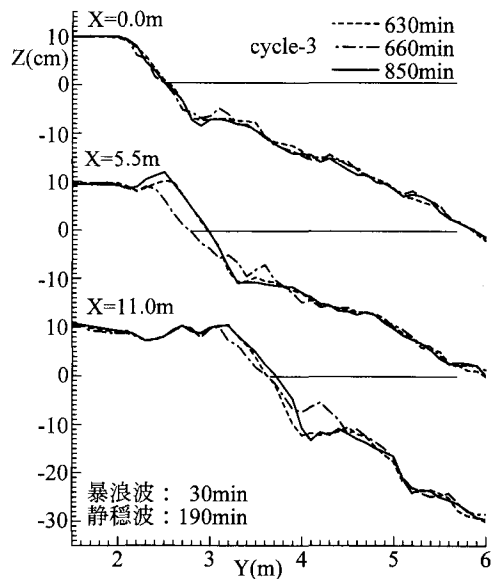


図-8 区間 I の cycle-3 における海浜縦断面の経時変化

侵食域と中間地点では鉛直上方に凹状の海浜縦断面になったのに対し、堆積域では鉛直上方に凸状の形状の沖側にバー状の地形が付随したような海浜縦断面となった。

区間 II の代表測線における cycle-1 での海浜縦断面の経時変化を図-9 に示す。突堤 G_c の下手側における侵食域の $X=11.1\text{ m}$ では、暴浪波作用後の $t=220\text{ min}$ には前浜部分はやや侵食され、沖側にバーが形成された。しかし、静穏波の作用により $t=410\text{ min}$ にはバーが消滅す

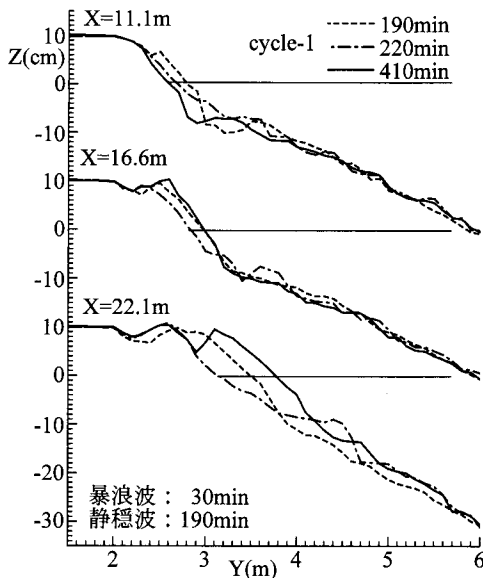


図-9 区間IIの cycle-1における海浜縦断面の経時変化

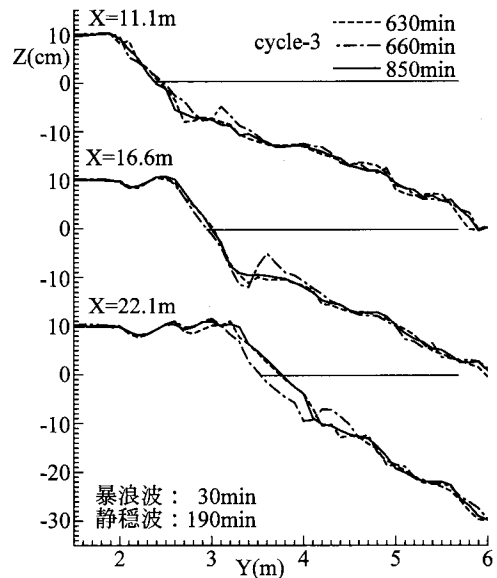


図-10 区間IIの cycle-3における海浜縦断面の経時変化

るとともに、前浜部分が後退した。中間地点の $X=16.6$ m では暴浪波作用後に前浜部分が侵食され、その沖に砂が堆積してバーが形成された。その後の静穏波の作用で前浜部分は復元されたが、沖側のバーは消滅した。突堤 G_r の上手側における堆積域の $X=21.1$ m では、暴浪波の作用で $Y=2.7\sim 3.8$ m の範囲が侵食されたが、水面下には砂が堆積しバー状の地形の形成も見られる。静穏波の作用後の $t=410$ min には前浜部分にも砂が堆積し、ほぼ一様な勾配の海浜縦断面となるとともに、陸上部には2列のバーム（浜堤列）が形成された。

cycle-2 になると侵食域の $X=11.1$ m における海浜縦断面の変化過程は cycle-1 とほぼ同じであったが、中間地点の $X=16.6$ m では前浜の変化はほとんどなく、暴浪波作用後におけるバーの形成と静穏波作用後のバーの消滅が見られるのみとなった。また、堆積域の $X=22.1$ m では暴浪波の作用による前浜部分の後退とバーの形成、静穏波の作用でのバーの消滅と前浜の復元が見られたが、 $t=410$ min と $t=630$ min の海浜縦断面はほとんど変化していなかった。さらに、図-10 に示した cycle-3 になると、侵食域と中間地点では暴浪波作用後におけるバーの形成と静穏波作用後のバーの消滅が見られるのみになった。また、堆積域では cycle-2 とほぼ同じ海浜縦断面の変形過程を示した。そして、侵食域と中間地点では鉛直上方に凹状の海浜縦断面に、堆積域では鉛直上方に凸状の海浜縦断面となった。

(4) 土砂収支の経時変化

最後に、突堤 G_l と突堤 G_r の間の侵食土砂量 (V_e) と堆積土砂量 (V_a) を算出し、それらを加算して土砂収支

(V_t) を求めた。まず、海浜縦断面の測定時間毎の土砂収支を図-11 に示すが、 $t=0\sim 190$ min では侵食土砂量がかなり大きく、堆積土砂量が小さいため、土砂収支が $V_t = -800.3 \times 10^{-3} \text{m}^3$ (黒棒) と大きい負の値となった。その後は暴浪波作用後には土砂収支が正の値 ($94.6\sim 182.9 \times 10^{-3} \text{m}^3$) となり、静穏波作用後は土砂収支が負の値 ($-207.0\sim -198.8 \times 10^{-3} \text{m}^3$) となった。

つまり、 $t=190$ min 以降は暴浪波作用後に正の土砂収支、静穏波作用後に負の土砂収支となるパターンの繰り返しとなっていることが分かる。そこで、暴浪波と静穏波を継続して作用させたと考えられることのできる cycle-1~cycle-3 の土砂収支を検討した。その結果を示した図-12 によれば、cycle-1 では土砂収支が $V_t = -112.4 \times 10^{-3} \text{m}^3$ (黒棒) となったが、cycle-2 では $V_t = -19.0 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 、cycle-3 では $V_t = -16.3 \times 10^{-3} \text{m}^3$ と土砂収支がほぼ均衡するようになった。

4. 考 察

まず、ヘッドランド間の区間 I と区間 II で海浜縦断面の変形過程がやや異なり、堆積域の最終的な海浜縦断面違う形状となった理由について考察する。これは、中間地点に設置した突堤 G_c の堤長が短く暴浪波作用時の沿岸漂砂が通過するが、右端の突堤 G_r は堤長が長く暴浪波時の沿岸漂砂を完全に遮断するためと推定できる。

次に、図-11 に示したように静穏波作用後に土砂収支が負の値に、暴浪波作用後に土砂収支が正の値になった理由について考察する。まず、整形後における模型海浜の砂粒子間の間隙が大きかったが、 $t=0\sim 190$ min の静

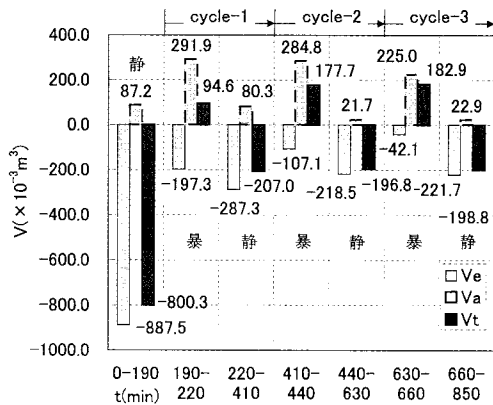


図-11 海浜縦断面の測定時間毎の土砂収支

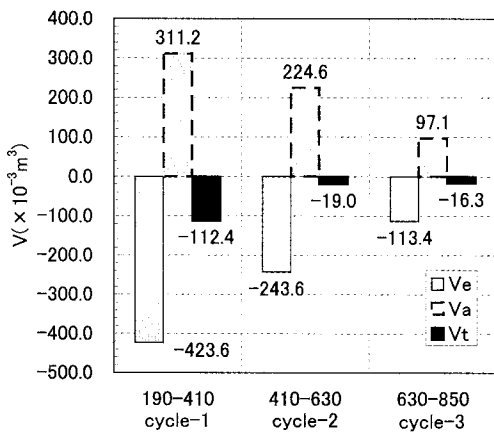


図-12 cycle 毎の土砂収支

穏波の作用でほぼ全域で締め固められて砂粒子間の間隙が小さくなり、土砂収支が大きな負の値となった。次に、 $t=190\sim 220$ min では暴浪波の作用で砂粒子間の間隙が大きくなり土砂収支が増加し、 $t=220\sim 410$ min では静穏波の作用で再び砂粒子間の間隙が小さくなり土砂収支が減少した。このような砂粒子間の間隙の変化が暴浪波と静穏波の作用で生じて、土砂収支の不均衡が生じる。しかし、暴浪波と静穏波を継続して作用させた後は砂

粒子間の間隙はもとに戻るもので、1-cycleの土砂収支はほぼ均衡すると推定できる。

5. おわりに

本実験で対象とした沿岸漂砂が卓越する海岸の侵食域では、暴浪波の作用による前浜の侵食と沖側でのバーの形成、および静穏波の作用による前浜の侵食とバーの消滅が繰り返されて、鉛直上方に凹形の高浜縦断面となった。同様に中間地点でも鉛直上方に凹形の高浜縦断面となった。また、堆積域では暴浪波と静穏波との作用により砂の堆積が進み、鉛直上方に凸形の高浜縦断面となった。そして、土砂収支が閉じたヘッドランド間では暴浪波と静穏波を繰り返し受けると、波浪の作用に対して安定な海浜地形になる変形過程が明らかになった。

また、本実験ではヘッドランド間の土砂収支は暴浪波作用後には増加し、静穏波作用後には減少するが、1-cycleではほぼ均衡することも分かった。この理由として、暴浪波と静穏波の作用で生じる砂粒子間の間隙の変化を考えたと、このような現象の解明は今後の課題として残された。そして、現地海岸において養浜で創出した砂浜でも、暴浪波と静穏波の作用によって砂粒子間の間隙の変化が生じるとすれば、養浜範囲から土砂が流出したと評価される場合があることが問題点として指摘できる。

参考文献

- 岡田 渉・浦南 満・出口一郎 (2000): 沿岸砂州を有する海浜の断面変形に関する研究, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 606-610.
- 栗山善昭 (1996): 沿岸砂州の短期変動特性, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 576-580.
- 砂村継夫・倉田雄司 (1981): 時間的に変動する波浪を用いた海浜変形に関する二次元実験, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 222-226.
- 福島雅紀・山本幸次・佐藤慎司 (1999): 時間変動波浪を用いた海浜変形実験, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 556-560.
- 山本幸次・福島雅紀・佐藤慎司 (1999): 阿字ヶ浦海岸における長期断面変化と砂層厚, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 636-640.