

浜漂砂に及ぼす吸水の影響について

土 屋 義 人*・河 田 恵 昭**

1. 緒 言

海浜の地下水位の変動が、とくに前浜付近の海浜変形に影響を及ぼすことが、古くから Johnson¹⁾をはじめとする多くの海岸地形学の研究者によって指摘されてきた。これは、地下水位の変動が、海浜の透水層厚の変化となり、波のそ上時の海水の浸透量を左右する結果、いわゆる swash movement の特性が変化することに起因すると理解されよう。新しい海岸侵食制御工法である強制浸透による浜漂砂制御工法 (Sub-sand filter system) は、この原理をつぎのように応用した工法である。すなわち、平衡海浜では海浜に沿って定常的な swash movement がみられるが、そ上時の海水の一部を強制的に砂中に浸透させると、down-wash 時に浜砂の堆積が期待できるというものである。

Chappell²⁾ や Machemehl ら³⁾の研究は、この原理を海岸侵食制御へ適用した最初の研究として高く評価される。本研究では、浜漂砂に及ぼす吸水の影響を定量的に見出し、本浜漂砂制御工法の適用性をさらに明確にしようとするものである。この場合、浜漂砂の外力となる波のそ上に関しては、孤立波のそ上機構を究明してきたので⁴⁾、周期波とともに孤立波による浜漂砂の実験結果を用いて考察を進めることにする。

2. 実験方法および実験条件

2.1 孤立波による実験

実験には、図-1 に示すプランジャー式孤立波発生装置

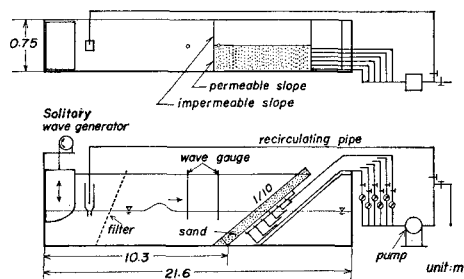


図-1 孤立波による実験装置の概略図

置をもつ波浪水槽を用いた、模型海浜は中央粒径 0.0350 cm の砂粒を厚さ 16 cm に敷いて作製した。図中の透水側斜面は中空 2 層になっており、中空部分に置かれた吸水用トレイからのパイプはポンプに接続し、完全に循環式となっている。その発生間隔は、水槽内の水の自由振動がほぼ減衰する 5 min 50 sec 間隔で、自動制御できるようになっている。これらの実験条件はまとめて表-1 に示す。

表-1 孤立波による海浜変形の実験条件

Run No.	波 高 H (cm)	吸 水 速 度 u_s (cm/sec)
1-1	7.18	1.79×10^{-3}
1-2	7.18	1.12
1-3	7.18	2.63
1-4	7.18	1.50
2-1	8.75	2.63
2-2	8.75	1.08
2-3	8.75	1.79
3-1	10.8	2.63
3-2	10.8	2.38
3-3	10.8	1.95
3-4	10.8	1.08
4	11.3	2.63

* 水深 (h)=43.1 cm

2.2 周期波による実験

実験は、図-2 に示す波浪長水槽を用いた。模型海浜は中央粒径 0.0940 cm の砂粒を厚さ 50 cm に敷いて作製した。吸水は、図中に示すように、上面に約 1.5 cm

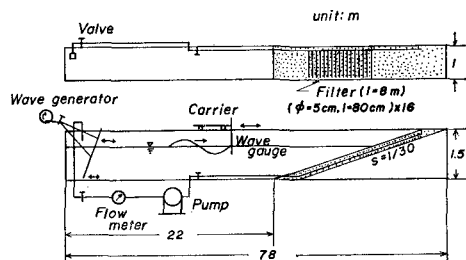


図-2 周期波による実験装置の概略図

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所

表-2 周期波による海浜変形の実験条件

Run No.	波 高 H (cm)	周 期 T (sec)	水 深 h (cm)	波形勾配 H_0/L_0	吸水速度 u_s (cm/sec)
5	A	29.8	1.77	90.0	0.0699
	B	28.9	1.80	90.0	0.0630
6	A	21.0	2.99	100	0.0155
	B	20.1	3.00	100	0.0150
7	A	27.0	1.99	100	0.0481
	B	26.8	2.00	100	0.0470
8	A	12.4	2.97	100	0.00932
	B	11.8	2.96	100	0.00893
9	A	29.3	2.03	100	0.0481
	B	29.3	2.03	100	0.0481

A: Suction, B: No suction

のスリットを設けた 16 本の塩化ビニールパイプを通して行い、やはり水は循環するようになっている。周期波の実験条件を表-2 に示すが、非吸水の場合の Run 5B, 6B および 7B の結果は伊藤ら⁵⁾によるものであり、また、Run 9 の初期海浜は、Run 6 の周期波を 10 時間作用させたときの海浜地形である。

3. 吸水・非吸水時の海浜変形特性

3.1 孤立波による海浜変形特性

図-3 には、孤立波が 200 波、400 波あるいは 600 波来襲後の水路中心線に沿った海浜断面形状の数例を示し、点線は非吸水、実線はポンプによる強制吸水の場合である。これから、孤立波による海浜変形の過程は、一般的につきのようであった。すなわち、実験開始直後に、吸水・非吸水側とも汀線付近が侵食され、前浜に berm、沖に step が形成される。波高が大きい場合、この step 上に ripple が発生した。さらに、200 波来襲前後では、step の形状には吸水の有無による大きな相違はないが、

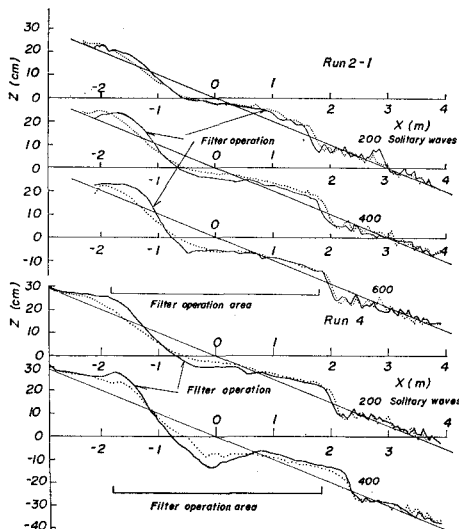


図-3 孤立波による海浜変形

berm は明らかに吸水側の方が発達しており、400 波来襲後ではその差はさらに顕著になっている。そのため、排水側の berm の傾斜は急で、前面の侵食も非吸水側より大きい。

つぎに、波高別にこれらの特徴を詳しく検討すると、波高が最大の Run 4 では、200 波来襲後における上に凸状の berm の位置が、400 波来襲後では沖方向へ移動し、逆に初期汀線付近で非吸水側 10 cm, 吸水側 15 cm も水深方向に砂面が侵食されていることがわかる。これは、berm の発達によって、孤立波が berm を越えなくなると、傾斜が $1/4 \sim 1/5$ となった急な前浜で down-wash 時の戻り流れの流速が増加し、巻き波型碎波によって発生した breaking scour に激しく衝突する結果生じたと考えられる。この特性は Run 3 でも認められる。Run 2 では、吸水量が最も少い Run 2-2 の 400 波来襲後の berm が吸水量の多い Run 2-1 および 2-3 に比べて大きい。この原因の 1 つとして、吸水量が少いため、down-wash 開始時に最大そ上点付近の狭い範囲の砂粒だけが、主として自由浸透のために堆積を繰り返すうちに、波のそ上距離が短くなり、前浜勾配が急になったと考えられた。一方、吸水量の多い他の二者では、吸水の影響が前浜の全域で期待されるので、砂の堆積が最大そ上点だけでなく、それより汀線側でも進む結果、あまり berm の形状が変化しないと推定される。この傾向は、自由浸透層厚、吸水量および波浪特性によって変化すると考えられ、今回の一連の実験によっても明らかにはなかった。つぎに、波高の最も小さい Run 1 では、400 波来襲後に吸水の影響が見出される。これは、孤立波が碎波せずにそ上するため、砂粒の動きが比較的少く、吸水の影響が現れるまでに時間を要するためであろう。

3.2 周期波による海浜変形特性

図-4 は、周期波による汀線と直角方向の海浜断面の

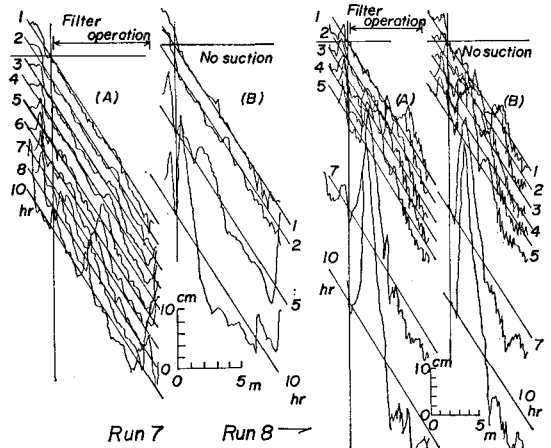


図-4 周期波による海浜変形

時間的変化の数例を示し、(A)および(B)はそれぞれ吸水および非吸水の場合である。なお、とくに吸水の効果をも明らかにするために、吸水領域から波のそ上点までの海浜を対象とし、海浜断面の鉛直縮尺を水平縮尺の50倍に拡大して示した。

まず、海浜の平衡勾配が暴風海浜になると考えられる Run 7 では、碎波帯より岸側で吸水による海浜断面形状の相違が認められる。すなわち、(B)では $t=5$ hr で見られる小さな bar が、 $t=10$ hr で berm に発達し、beach crest と合体して二つのピークをもつ berm になるのに対し、(A)ではこの領域における砂の移動が(B)の場合ほど単純ではない。後者では、時間の経過とともに2つの小規模の bar がこの領域で発生し、岸方向に向うが、その発達速度は小さく、吸水によって砂粒の移動が抑止されていることがわかる。このことは、(A)では侵食・堆積土量の時間的変化が時間の経過とともにほぼ一定となるのに対し、(B)では $t=10$ hr においてもその変化が認められることから確認される。

一方、周期波の作用によって、正常海浜になると思われる Run 8 では、とくに berm が発達する過程に着目すれば、 $t=7$ hr までは(A)および(B)の両者にほとんど差は認められないが、それ以降、(A)の berm の方が(B)に比べて高くなっており、汀線も前進していることがわかる。なお、砂粒の移動量の検討から、 $t=7$ hr までは堆積土量は(A)および(B)ともほぼ等しいが、侵食土量は(B)の方が多く、結局収支としては(A)の方がよりプラスになっている。これは、(B)において berm の沖側で沖方向への砂粒の移動量が多くなるためによるものであろう。Run 8 では波形勾配が小さいため、孤立波による結果に接続するものと期待されたが、

今回の実験では、berm の規模そのものには大きな変化は見出されなかった。しかしながら、吸水領域内での土砂収支の観点からは、この作用によって明らかに砂粒の堆積が生じており、しかも海浜の凹凸がやはり小さくなることがわかる。

図-5 は、Run 9 の実験結果であり、吸水によって砂面の凹凸が少なくなった前浜をもつ正常海浜に、波形勾配が大きい周期波が作用した場合の海浜変形の時間的変化を示したものである。土砂収支上の検討は次章で行うことにして、海浜変形の特徴はつぎのようであった。すなわち、このように波浪特性が変化しても、吸水領域内の海浜の凹凸の減少に直接起因するような過度の侵食が発生しないことであって、新しく形成された海浜断面においても、やはり吸水による砂粒移動の抑止効果が明らかに見出されよう。

4. 浜漂砂に及ぼす吸水の影響

ここでは、前章に示した実験結果に基づいて、浜漂砂に及ぼす吸水の影響を明らかにする。ただし、周期波による実験では、使用した砂粒が比較的大きかったので、パイプラインのバルブを全開し、ほぼ一定の最大吸水量の条件に限定したため、吸水量の変化による影響は見出せなかった。

図-6 は、孤立波の場合の単位面積当りの吸水量 u_s (吸水速度) をパラメータとして、単位幅当りの berm の堆積量 A と初期汀線と最大そ上点を結ぶ直線を斜辺とする直角三角形の面積 A_0 との比と、波高・水深比 H/h の関係を示したものである。この図から、今回の実験における吸水量の範囲では、berm の堆積量に及ぼす波高・水深比の影響は非吸水の場合の2~4倍程度であるが、その増加率は両者でほとんど同じであることが見出される。また、berm があまり発達していない200波来襲後の場合、いずれの波高水深比に対しても、最大の堆積量を示す吸水量は最大吸水量よりも少なくなっており、

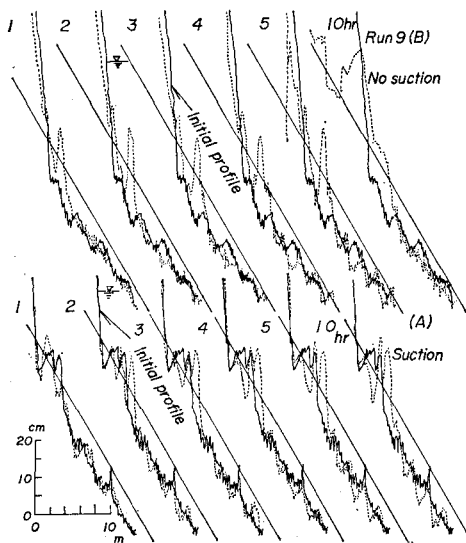


図-5 波浪特性の変化による海浜変形

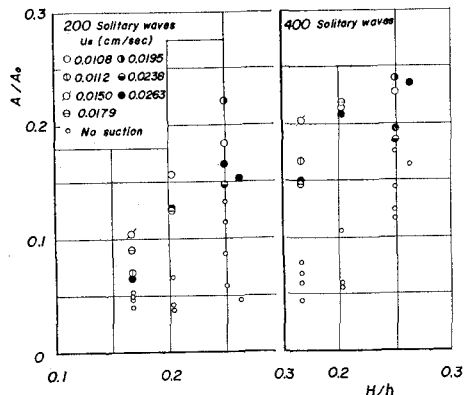
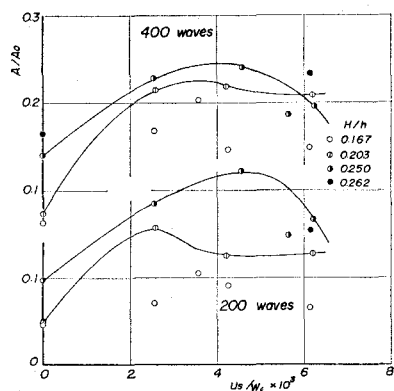


図-6 海浜断面の変形量と波高・水深比の関係

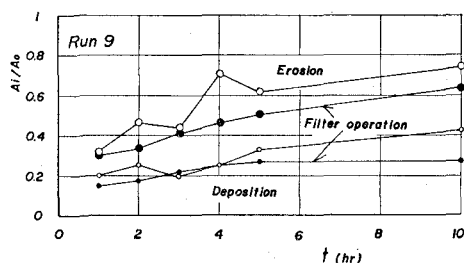


図—7 海浜断面の変形量と吸水速度の関係

このことから最適吸水量の存在が推察されよう。図—7は吸水量と Rubey の実験式から求めた沈降速度 w_f との比で A/A_0 を整理し、 H/h をパラメータとして示したものである。これから、孤立波が 200 波来襲後では、 $H/h=0.167$ の場合、そ上距離が短かく浜漂砂量が少いため、吸水の影響はほとんど認められないのに対して、 $H/h=0.250$ の場合には、berm の最大堆積量を与える最適無次元吸水量 u_s/w_f が存在するようである。つぎに、400 波来襲後については、 $H/h=0.167$ および 0.203 の両者の場合、 $u_s/w_f > 0.25$ で A/A_0 の値がほぼ一定となっているのに対し、 $H/h=0.250$ では、やはり最適無次元吸水量が見出される。これは、前二者の場合に berm がほぼ完全に発達し、吸水の効果が現われにくいと考えられるのに対し、 $H/h=0.250$ では来襲波数の増加によってさらに発達し、最適無次元吸水量は大きくなると推定される。つまり、吸水の効果はとくに berm の高さに規定されるので、最適の u_s/w_f は時間的に変化すると考えられよう。

つぎに、図—8 は周期波の実験において、吸水領域の侵食・堆積土量の絶対値の和 A とその領域の砂面を斜辺とする直角三角形の面積 A_0 との比と実験継続時間 t との関係を示したものである。この図から、波形勾配の小さい Run 6 および 8 では、波形勾配の大きい Run 5 および 7 に比べて A/A_0 の変動がかなり大きく、しかも $t=10$ hr においても

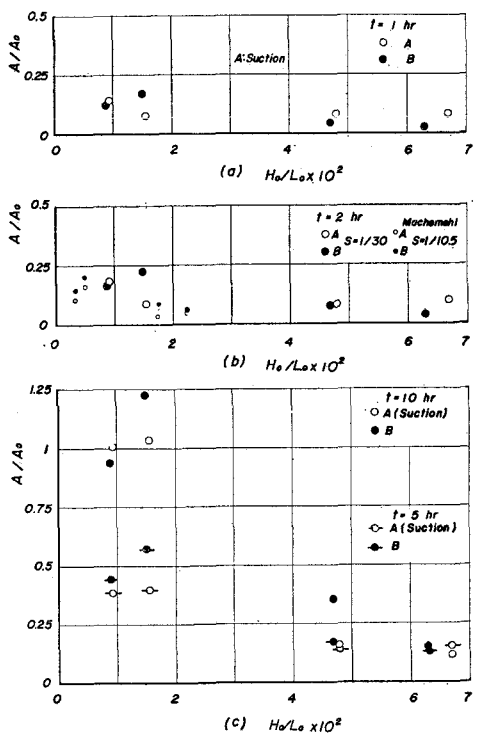
図—8 海浜土砂収支の時間的変化



図—9 波浪特性の変化による海浜土砂収支の時間的変化

この変動の時間的変化が認められる。また、すべての実験において、吸水条件の付加によって A/A_0 の変動が小さくでており、この結果は Machemehl らの結果ともほぼ一致している。また、図—9 は、Run 9 の場合の初期海浜からの侵食・堆積量の時間的変化を示し、波形勾配が 0.0155 から 0.0481 に大きくなっても、やはり同様の結果が得られる。これらのことから、Machemehl らおよび著者らの実験の範囲では、海浜形状に関係なく、吸水領域の砂粒の移動が抑制され、海浜変形に対する抵抗力が発生するものと考えられる。

図—10 は、実験継続時間をパラメーターとして、前述した A_0/A と波形勾配との関係を図示したものである。ただし、Machemehl らの結果は汀線より沖側の吸水領域を saturated zone と定義しているの、 A_0 とは若干相違することに注意する必要がある。この図から、実験継続時間の増大とともに、海浜の変形量に対する吸水の



図—10 海浜土砂収支と波形勾配の関係

効果がさらに見出され、また、波形勾配が大きくなると、 A/A_0 の時間的変化が小さくなり、この値が一定に近づくことが認められる。

以上、浜漂砂に及ぼす吸水の影響に関する孤立波と周期波による実験結果から、つぎのことがいえよう。すなわち、孤立波および波形勾配の非常に小さい長波性の周期波の場合には、吸水によって swash zone での berm の発達に伴う浜漂砂の堆積が助長されることが見出された。さらに、周期波の波形勾配が大きくなっても、土砂収支上の観点からは、吸水の影響はあまり明かではないが、吸水領域における砂粒の移動に対する抵抗力が期待され、一般に初期海浜形状からの海浜変形量が非吸水の場合に比べて小さくなることがわかった。また、吸水条件の付加によっても、今回の実験範囲では、いわゆる暴風海浜型・正常海浜型で示される海浜断面形状の特性は、ほとんど変わらないようであった。

5. 強制浸透による浜漂砂制御工法の適用性

本浜漂砂制御工法の特長はいくつか挙げられるが、もちろん最も重要な点はこの工法が海岸侵食制御において有効な機能をもつかどうかということであろう。この工法と同じ原理である well point 工法を現地海岸に適用した Chappell らの報告は、ごく概要だけであって詳しい資料は何も発表されていない。したがって、Machemehl らと著者らの実験結果から、本浜漂砂制御工法の適用性をいまい少し詳しく検討してみよう。

図—6, 7 および 8 の結果から、孤立波および波形勾配が 10^{-3} のオーダの長波性の周期波の場合、吸水によって swash zone での berm の発達が期待される。すなわち、波の作用時間の経過とともに汀線が前進し、berm が発達するという正常海浜の特性をさらに助長するものと考えられる。すでに指摘されているように、波形勾配の小さい周期波はそれ上距離が長いので、海浜の透水層厚が大きくなるが、吸水すればさらに見かけ上の透水層厚の増加となるので、down-wash 時の浜砂の堆積傾向がさらに促進されと考えられる。

一方、正常海浜から暴風海浜への移行に際しては、berm を形成する砂粒が沖方向へ運ばれ、沿岸砂洲を作るといわれており、図—4 からそれがうかがわれる。

しかし、この工法を適用すれば、swash zone における砂粒の移動方向は局所的に複雑に変化するので、沿岸砂洲の形成はむしろその沖からの岸方向漂砂がかなり寄与していると推定される。すなわち、吸水領域では本工法によって、砂粒の移動に対する抵抗力が付加されるので、前浜からの浜砂の流失は少なくなる可能性があるといえる。ただし、前浜の凹凸で表される粗度が減少するので、波浪が減衰せずに到達する危険性はあるが、その場合においても図—9 の結果から判断して、吸水作用を継続すれば、吸水領域内での砂粒の移動が抑制されるので、この付近の侵食防止に効果があると考えられる。

したがって、海浜変形の相似則が成立すれば、以上に述べた本浜漂砂制御工法は、近年とくに多用されつつある養浜工の成功の鍵を握る供給砂の流失防止に対しても有効に利用されるであろう。ただし、そ上時の浜漂砂量の算定やそれに及ぼす強制浸透の効果など残された問題も多く、その実用化に際しては、最適吸水量、吸水方法や斜め入射波の場合の適用性などについても検討する必要があることはいうまでもないであろう。

6. 結 語

以上、孤立波および周期波による海浜変形の実験を行い、浜漂砂に及ぼす吸水の影響をかなり明らかにし、強制浸透による浜漂砂制御工法の海岸侵食制御への適用性がある程度認められた。今後、とくに周期波を対象とした最適吸水量および吸水位置に関する実験を行って、本工法の基礎となる吸水の影響を定量的に見出したい。

参 考 文 献

- 1) Johnson, D. W.: Shore Processes and Shoreline Development, Wiley, New York, 584 p., 1919.
- 2) Chappell, J.: サーフ・ビーチ保全のための新技術, 土木学会誌, Vol. 60, No. 11, 85 p., 1975.
- 3) Machemehl, J. L., T. J. French and N. E. Huang: New method of beach erosion control, Civil Engg. in the Oceans, ASCE, pp. 142~160, 1976.
- 4) 河田恵昭・土屋義人: 透水性海浜における孤立波のそ上機構, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 75~78, 1979.
- 5) 伊藤政博・土屋義人・山下隆男: 海浜変形の相似則に関する基礎実験, 土木学会第33回年次学術講演会講演概要集, pp. 810~811, 1978.