

前浜地下水の吸水による海浜変形の実験

佐藤 道郎*・ 秦 禎 勝**

1. ま え が き

河川の流出土砂の減少などによって侵食傾向にある海岸が多くあるが、それに加えて、今後予想される海面上昇の影響を考えると海岸保全はますます求められよう。だが、一方、渚を自然に近い状態に保ちたいという要求も強くなってきており、離岸堤の設置に対する反対運動が生じるような情勢を鑑みたとき、海岸保全のあり方については、景観への配慮がますます重要となろう。

ここで取り上げたのは、前浜付近に汀線に平行に埋設した集水管で砂浜内部の水を排水して砂を吸着させ海浜変形を制御しようとするものである。吸水によって漂砂制御を行う方法としてウエルポイント工法を用いた方法や実験では面的に吸水することも行われているが、ここで取り上げる方法もかなり実務的な方法と思われる。

このシステムの主要部は砂浜に埋設され目に見える部分はあまりなく、自然の景観を損ねるところがあまり無いという点で望ましい性質を持った方法といえる。そのほかにも従来の方法と比べ、設置が簡単、周辺環境に与える影響が少ない、安価である、自然エネルギーの利用によりエネルギーコストを軽減できる可能性があり、吸水した水はろ過されており養殖や水族館等で利用し得る、といった多くの有利な点が見えられており、近年デンマーク、アメリカ合衆国などの諸外国で注目されているようである。

だが、レポートを見るとうまくいったと書かれているものの、具体的なデータがあまり無く、どの程度有効なのか、どのように機能してその効果を発揮するのか、どの程度吸水すればよいのか、どのあたりに設置するのがよいのか、吸水によって漂砂に係る水理学的諸条件がどう変わるのか等、不明な点が多い。そこで、まずは平面水槽を使って吸水部と非吸水部の海浜変形の比較によってどの程度効くのか、また、設置位置はどこがよいのかといった点に絞って実験を行った。

2. 実 験

幅 14m、長さ 26.7m の平面水槽に設けられた勾配 1/20 の砂浜 ($d_{50}=0.29\text{ mm}$) の半分に当たる片側 7m の部分に集水管を砂の被りが管の上部から 5cm 程になる深さに埋設した (図-1)。集水管は 50mm 径の硬質ポリエチレン製で、厚さ 1cm のフィルター (ステラシート) で巻いた。これをモノフレックスポンプに接続して吸水した。

排水の仕方については、Vesterby (1991) や Parks (1989) によれば排水溜を埋設し、集水パイプ内に周辺の砂中から自然に浸出した水をその排水溜へ導き、溜まった水を汲み上げる方式が取られているが、本研究で用いた方法はポンプに直接に接続し、水でも空気でも吸引して強制的に排出する方式である。

排水した水は三角ぜきで流量を測定した。汀線下ならびにそれより岸側にパイプがある場合には時折空気を吸引し、排水流量は脈動して大きく変化した。ポンプの吐出量は平均して毎秒 2.34l であった。したがって、汀線方向幅 1m 当たり毎秒 0.33l ということになる。

地形の測定は台車に 30cm 間隔で取り付け付けた 46 台の砂面計 (図-2、西ら, 1987) で測定し、パーソナルコンピュータに取り込んだ。

また、両方の砂浜のほぼ中央部に岸沖方向に 5 本ずつ内径 10mm の透明なパイプを立て、長い浮きを入れて地下水位を調べた。

実験波は表-1 に示すように周期 1 秒と 2 秒、波高 5cm と 10cm の波の組み合わせについて、吸水管が汀線より岸側、汀線下、汀線より海側の 3 通りの 6 ケースについて行った。砂村等 (1974) によれば、次式中の無次元定数 C_s の値に応じて海浜断面が三つのタイプに分けられる。

$$\frac{H_0}{L_0} = C_s (\tan \beta)^{-0.27} \left(\frac{d}{L_0} \right)^{0.67} \dots\dots\dots (1)$$

それぞれのケースについて C_s と汀線の前進型、後退型、中間型の区別も表中に示してある。

平面水槽であるので 2 次元性が幾分保たれず、沿岸方向にそれぞれの側で全く同じように変化するというわけ

* 正会員 工博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科

** 正会員 九州電力(株)

にはいかなかった。そこで、7m ずつの各領域で両端のデータは捨てて、それぞれ中央部の測線の16データの沿岸方向の平均を求め、断面形状を求めるとともに、初期断面形状からの各測定時の変化を求めた。

表-1 実験波

No	周期	波高	C _s	タイプ	位置
1	2.0sec	10cm	7.3	中間型	岸側
2	1.0	10	11.6	後退型	岸側
3	1.0	10	11.6	後退型	汀線
4	2.0	5	3.7	前進型	汀線
5	2.0	5	3.7	前進型	海側
6	1.0	10	11.6	後退型	海側

測定は、まず一様断面にし、排水を始める。30分程すると砂浜内部の地下水面が低下する。そこで波を作用させ、No. 1 のケースは 2, 6, 12 時間後に、No. 2 から 5 まではさらに 18, 24 時間後にも地形の測定を行った。No. 6 については 2, 6, 12, 18, 24, 48, 60, 72, 84, 96 時間後に測定を行った。各測定時には平均的な汀線の位置も記録しておいた。

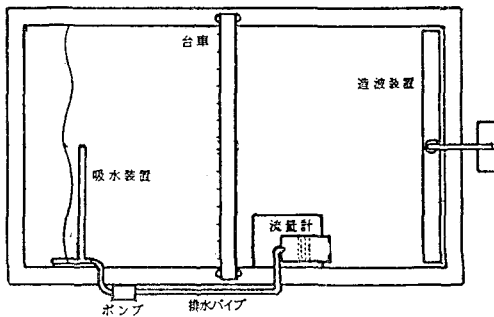


図-1 実験装置

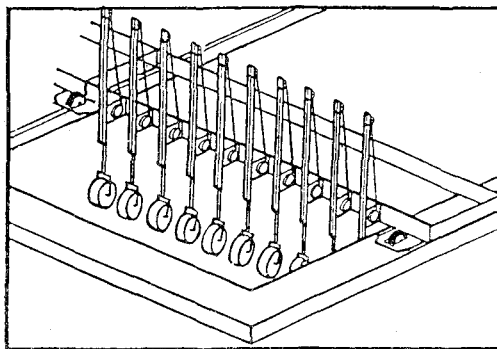


図-2 砂面測定装置

3. 結果と考察

まず、吸水の効果が顕著にみられた No. 5 と No. 6 の場合について、海浜断面の変化に吸水がどのように効いてくるか見ることとする。

図-3 は海側に集水管を埋設し前進型の条件下での No. 5 のケースの海浜断面の変化量、すなわち、1/20 勾配の一樣斜面からの断面のズレの岸沖方向の分布の経時変化を示したものである。縦軸のプラスは堆積、マイナスは侵食を表し、横軸は岸（左）-沖（右）方向の距離である。実線は吸水側、破線は非吸水側を表している。図中の黒丸が集水管の埋設場所である。それより少し初期汀線（左の破線）寄りから波の遡上端にかけての前浜では吸水域も非吸水域も砂が堆積し、バームが発達していったが、図から明らかなように吸水側の方が堆積が急速で大きい。18 時間後には吸水側の前浜に堆積しすぎて砂面計の計測可能な限界を越えてしまったため 24 時間後にも測定はしたものの、実験に打ち切った。

この測定した時間内では吸水側はバームが急速に発達しその海側の勾配が 1/5 程度になると砂は上部へ堆積して陸側に発達していく。だが、やがて遡上疲はバームの頂部には達しなくなると発達はおさまリ、24 時間の結果にみられるように非吸水側との差が小さくなっていく。したがって、本実験の前進型の条件の実態ではいずれも、吸水によってバームは陸側にかなり発達していくが、その発達は必ずしも著しい汀線の前進となっているわけではなかった。

このように、前進型の条件下では前浜の堆積はより促進され、その様子は遡上波は砂浜に吸い込まれ、残された砂はあたかも紙を一枚一枚貼り付けるようにしてバームが肥大していくようであった。

図-4 は後退型の波の作用下での結果を示したものである。このケースでは 96 時間後まで 11 回測定を行っている。この場合、非吸水側では時間経過にともない前浜が決壊して汀線が後退し、遡上端に浜涯を形成し最後の測定時には 5 cm 程になった。

一方、吸水している部分の方は 24 時間あたりまでは前浜に堆積がみられ、汀線の前進が見られたが、その後、決壊に転じ汀線が後退していった。だが、図中に右側の縦の破線で示した初期碎波線より岸側についてみると侵食の程度においては吸水側と非吸水側との間かなりの差がみられ、吸水によって侵食に抵抗していることが分かる。

その結果、図-5 に示すように汀線の後退速度の差となり、吸水によって汀線の後退を遅らせることができることになる。なお、この図の縦軸は岸側の水槽壁面からの距離 m である。

これらの地形変化の測定結果をみると、吸水の影響は前浜部分だけでなく、サーフゾーン全域に現れており、特に後退型の波の場合、バームが発達するわけではないので、図-3, 4 のように比べてみないと効果は見えない。

こういったシステムの機能について、通常の場合には波の遡上にもなって運ばれた底質は戻り流れとともに戻されてしまうが、吸水システムが作動している場合には遡上した水が浸透するために戻り流れが弱められ、前浜上部に運ばれた底質の戻りも減少し堆積するとして説明されている(土屋・河田(1980); Parks(1989))。

前進型の条件下での現象を見ていると先述の通りまさにこの効果を目の当たりにすることができる。そのような様相を見ていると集水管を岸寄りに設置した方がよさそうに思われ、実際、その方が遡上した水がよく浸透していく様子が見られる。だが、後述するように設置位置については海側が最も効果的と考えられた。また、後退型の波の条件下では前浜への堆積は見られないものの決して効果がないということでは無く、侵食を遅らせるように機能している。

これらの点を考慮すると、単に、従来から言われている先述のような直接的な効果だけではなく、それも含めて、例えば漂砂の移動限界に及ぼす吸水の効果(河田・Larsen(1984)やその他のサーフゾーンの水理的条件を変えることによって、サーフゾーン全域に砂を堆積させたり、侵食に抵抗していることが考えられる。この点に

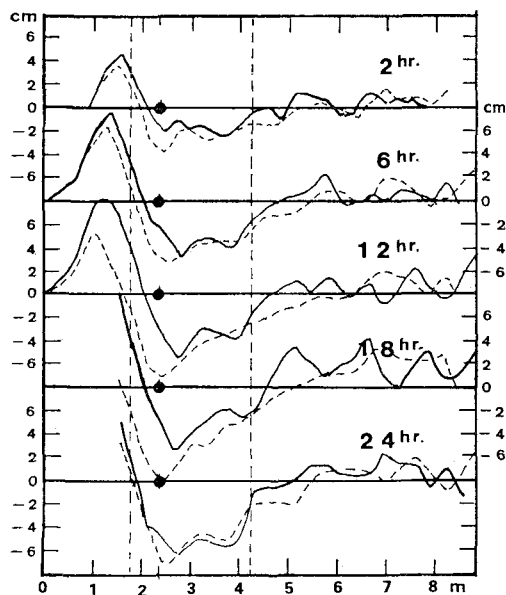


図-3 初期断面からの変化量(+: 堆積, -: 侵食, 実線: 吸水側, 破線: 非吸水側; 黒丸: 集水管, 左側破線: 初期汀線, 右側破線: 砕波線)

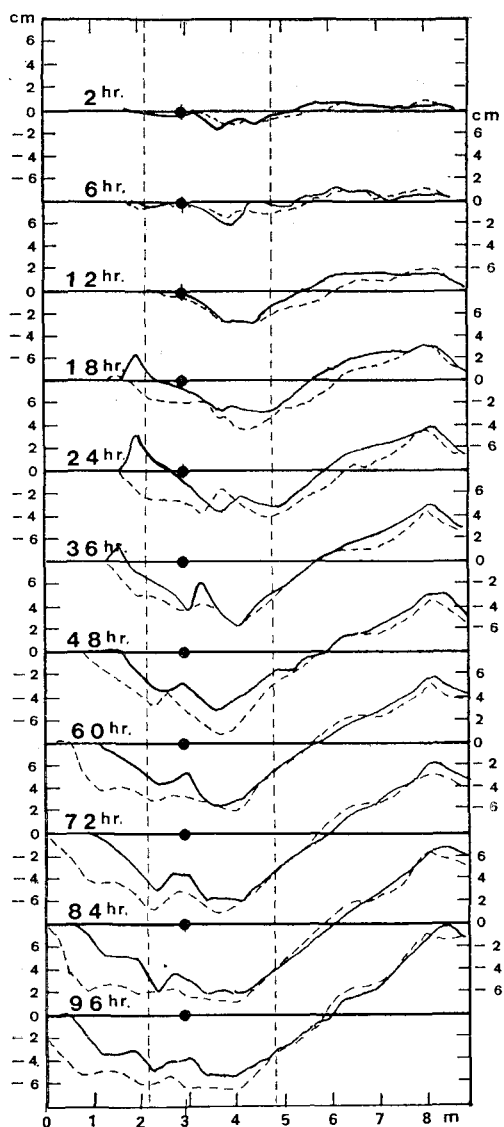


図-4 初期断面からの変化量(+: 堆積, -: 侵食, 実線: 吸水側, 破線: 非吸水側; 黒丸: 集水管, 左側破線: 初期汀線, 右側破線: 砕波線)

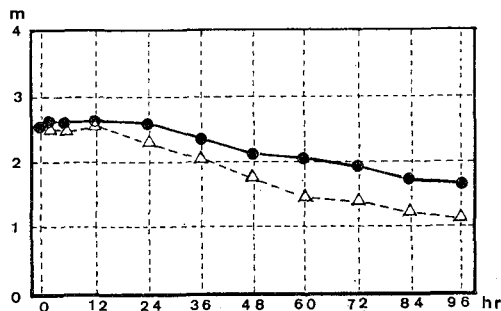


図-5 汀線後退の経時変化(実線: 吸水, 破線: 非吸水)

についての詳細な検討が望まれよう。

次に、設置位置によって効き方に違いがあるのか、あるとすればどこに設置するのがよいかといった点について見ることにする。

Parks (1989), Vesterby (1991) の論文ではMWLあるいはMHWより陸側に埋設している図を載せているが、Parksは会社のチラシのような印刷物に“新しい方法”として汀線より海側に埋設している図を載せている。特に説明は無く、設置方法として集水管ともう1本のパイプを組み合わせ、そのパイプから水を噴出させながら周辺の砂をゆるくして埋設する方法を提案し、特許出願済みとの説明を加えていることから、埋設の関係で海側に設置するようにしたのか、効果の観点から海側にしているのか分からない。

全データを比較できるのは12時間後のものであるから、まず、12時間後のものによって集水管の位置による効果の差異を見ることにする。図-6は前浜に砂が堆積した実験ケースのものであるが、集水管の埋設位置が汀線の陸側と汀線下の場合、前浜の堆積量が多少吸水側が多いものの、吸水側と非吸水側でそれほど大きな差があるわけでない。ところが、集水管が汀線より海側にある場合、吸水側の堆積量は非吸水側よりかなり多くなっている。

次に、図-7に示した後退型の波浪条件下の12時間後のものを見ると、この時間では吸水側と非吸水側の差も設置位置による差異もはっきりでいてない。汀線下と海側については24時間後のデータがあるので、それらを比べると図-8のように、汀線下の場合吸水側の堆積が認められるが、海側の場合に比べるとかなり少なく海側の方がよく効いていることが分かる。

以上の結果から、設置場所によって効き具合には差異があり汀線より海側に設置された場合がより効果があるといってよいであろう。これは、一つには先に述べたように陸側と汀線下の場合には時折空気を吸引していたが海側に設置した場合では効果的に水を吸引しており、それによる差異が考えられる。また、地下水面から同じレベルだけ下がったところに設置した場合、岸側が砂の被りが一番厚くなり、一方、被りを同じにすた場合（本実験はこの場合である）、他の場所に比べて集水管のレベルは高いところにあることになり、いずれにせよ岸側に設置するのがよいという理由はあまり見当たらないようである。

本実験で用いたポンプは吐出能力を制御できなかったため、吸水量による効果の違いを見ることは出来なかった。この点は実際的には極めて重要な要素であり、検討すべく現在準備中である。ところで、本実験の吸水量の場合、砂の表面における浸透速度が図-9のように底面

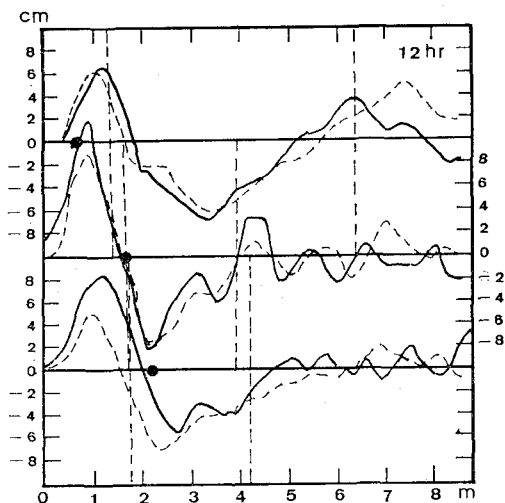


図-6 吸水位置による差異 (Run No.: 上段から 1, 4, 5)

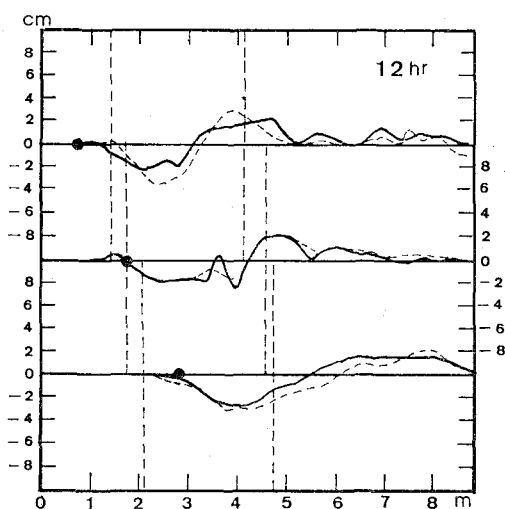


図-7 吸水位置による差異 (Run No.: 上段から 2, 3, 6)

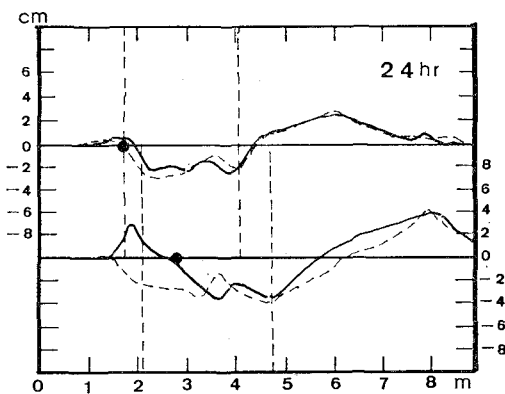


図-8 吸水位置による差異 (Run No.: 上段から 4, 5)

から a の深さに強さ $-q/2\pi$ の吸い込みがあり、底面に対して鏡像の位置に強さ $q/2\pi$ の湧き出しがある場合の底面上の速度

$$-\frac{aq}{\pi(x^2+a^2)} \dots\dots\dots (1)$$

で見積もられるものとする、集水管の真上で 0.14 cm/s 程度と沈降速度の 2% 程度で、離れるにつれて小さくなる。また、波の質量輸送とバランスする流量 $E/\rho C$ の 4 ないし 22% をパイプを介して沖へ戻したことになる。したがって、吸水により波の遡上だけでなく wave setup や undertow 等にも影響を与えているはずで、漂砂帯の水理に及ぼす吸水の影響の様々な側面について検討していく必要がある。波の変形、遡上、wave setup への影響に関する検討は既に始めているが (坂本・佐藤 1992)、実験的な検討も加え、別途報告したい。

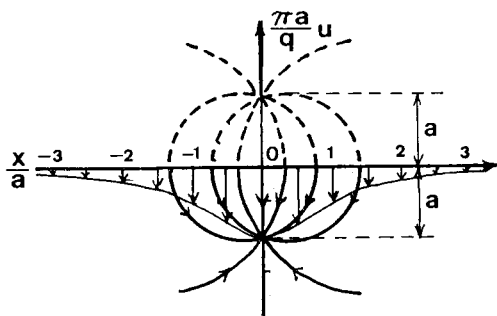


図-9 集水管による底面浸透速度

4. あとがき

前浜付近に埋設した集水管による砂浜内部の水を排水して海浜変形制御をしようという方法の有効性を実験的に調べた。平面水槽で吸水している部分としていない部

分の海浜変形の比較からこの方法の有効性を検討した結果、前浜に砂が堆積するような波の条件下では堆積を助長し、侵食させるような波の条件下では侵食に抵抗し侵食を遅らせることが確認された。また、集水管の設置位置により効果には差がみられ、汀線より海側が最も効果が認められた。

集水管埋設方式の吸水システムの機能の概要を知ることが出来たが、さらにサーフゾーンの水理に及ぼす吸水の影響について調べると共に、現地実験で実用性の評価についても検討を進めたい。

最後にこの研究を進めるにあたり、運輸省港湾技術研究所 加藤一正漂砂室長には文献を紹介して頂いた。ここに、謝意を表します。

参考文献

- 河田恵昭・土屋義人 (1979): 透水性海浜における孤立波の遡上機構, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 75-79.
- 河田恵昭・L. H. Larsen (1984): 漂砂の移動限界に及ぼす吸水の効果, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 267-271.
- 坂本龍治・佐藤道郎 (1992): 吸水による遡上波の変化に関する一計算, 平成3年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 14-15.
- 土屋義人・河田恵昭 (1980): 浜漂砂に及ぼす吸水の影響について, pp. 270-274.
- 西隆一郎・佐藤道郎・中村和夫・矢車美政・又野康治 (1987): 規則波・群波・不規則波を用いた三次元海浜実験について, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 302-306.
- 柳嶋慎一・加藤一正・片山 忠・磯上知良・村上裕幸 (1991): 地下水位低下の前浜地形変化におよぼす影響, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 266-270.
- Parks, J. M. (1989): Beachface dewatering: A new approach to beach stabilization, THE COMPASS, Vol. 66, No. 2, pp. 65-72.
- Sunamura, T. and K. Horikawa (1974): Two dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th ICCE, pp. 920-937.
- Vesterby, H. (1991): Coastal drain system—a new approach to coastal restration, Proc. of the Int. Conf. on Geotech. Eng. for Coastal Development, pp. 651-654.