

地下水位低下工法による海岸侵食防止に関する実験

An experiment on Beach Stabilization
by Ground Water Pumping Method

福島雅紀*・秋山成央**・西村仁嗣***

By Masaki FUKUSHIMA, Shuhei AKIYAMA and Hitoshi NISHIMURA

The effect of water table control upon beach process due to waves has been studied by means of Two-dimensional experiments. Beach profile variation and ground water level were measured under various conditions of incident waves and forced ground water drainage. Lowered pressure in the sand layer contributes to the stability of sand in a limited range near the shoreline. It however leads to marked erosion in its immediate offshoreward range at the same time. In addition to the effects of increased uprush water percolation and reduced return flow in a swash zone, notable effect of sand compaction was observed.

Keywords: beach stability, ground water pumping, movable bed experiment

1. はじめに

海岸の環境創造という言葉に代表されるように、近年、海岸保全に対する理念が変化してきた。これまでの侵食防止の目的で、突堤等による直接砂の移動を制御する方法、もしくは、離岸堤、潜堤、人工リーフなどにより、波のエネルギーを減衰させる方法がとられてきた。しかし、このような構造物の設置により、水質、生物環境、漁業活動、さらには海の景観への悪影響といった問題が生じるようになった。

環境にやさしく、海岸の景観を損なわない一つの保全法として、ポンプにより前浜で地下水を吸水し、地下水位を低下させることによって、海岸侵食を低減させる方法がある。デンマークやアメリカでは、この方法に対して積極的に取り組んでいる。そして、この方法は、Sub Sand Filter法、または、Coastal Drain Systemと呼ばれており、その一部はデンマークの特許になっている¹⁾。今までの構造物設置による方法が海浜性状（流れ、水質、景観）を大きく変化させるのに対して、本体が地下に埋設され漂砂のバランスを微妙に崩すだけで侵食を防止する方法は、近自然的な工法であると言える。さらに、吸水した水はフィルター処理されており、他への利用価値が高いものと考えられる。

* 学生会員 工修 筑波大学大学院 工学研究科

(〒305 つくば市天王台1-1-1)

** 筑波大学 基礎工学類

*** 正会員 工博 筑波大学教授 構造工学系

地下水位と海岸侵食の関係についての研究は古くからなされており、前浜地下水位が平均海面水位より低いときには堆積傾向、高いときには侵食傾向になることが指摘されている²⁾。しかし、前浜地下水位と海浜変形の相互作用のメカニズムは未だ明らかにされておらず、研究の余地を残している。最近、Sub Sand Filter法に関する論文は増加しており、その効果については少しずつ明らかになってきている。例えば、必要な吸水量については、底質の沈降速度の1/100の流速が生じる程度³⁾、もしくは、沿岸方向100mあたり3m³/min程度⁴⁾、といったものである。しかし、地下水位を詳細に計測し、海浜変形との関連を明らかにしたものは少ないように思われる。

本実験では、地下水位（圧力低下）と海岸侵食との相互作用に視眼を置き、前浜地下水位をいくつかのパターンで制御したときに、海浜変形に現われる影響を調べた。地下水位計測等の便宜上、比較的小規模な実験装置を製作し実験を行ったので、その成果を報告する。

2. 実験

2.1 実験装置

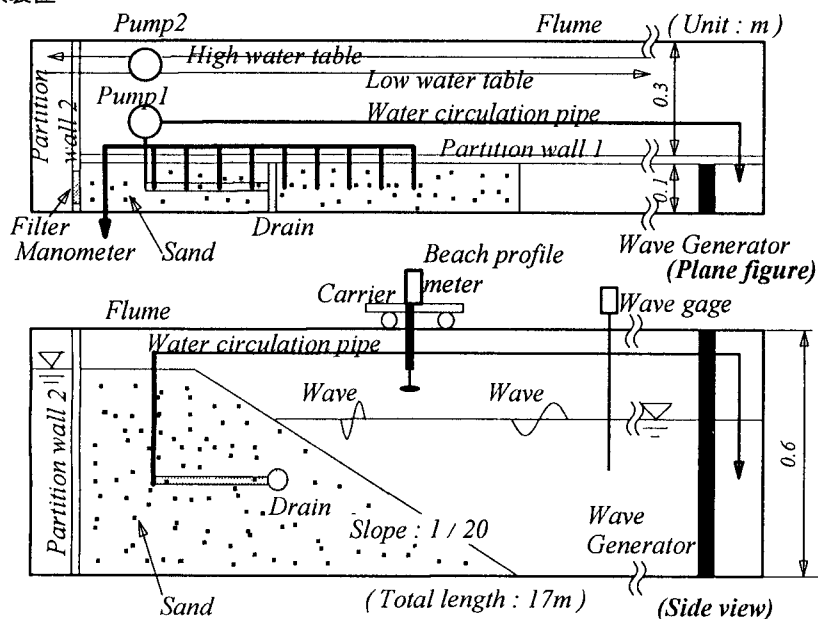


図-1. 実験装置概略図

図-1に示すような、幅40cm、高さ60cm、長さ17mの水路を用いた。マノメータの設置の便宜等を考慮し、水路幅を10cmに区切った。この場合、岸側地下水位を調節する必要があるため、仕切り板の間隙から横方向の流れが生じないように各種の配慮がなされている。底質としては、中央粒径0.14mm、均等係数1.37の砂を用い、勾配1/20の砂浜を設定した。Drainからの吸水用にPump1、岸側地下水位（ここでは、Partition wall 2の左側の水位を指す）調節用にPump2の2台のポンプを用意した。DrainとPump1は、直径13mmの塩ビ管で接続されている。Drain本体は、T型の直径13mmの塩ビ管に多数の穴を開け、目詰まり防止のために、フィルター材（ガラス繊維からなる断熱材）を巻いたものである。Drainは、汀線の下側で初期底面から10cmの深さに設定されている。

2.2 測定項目

測定項目は、地下水位、地形変化、沖波波高、沖波周期、および、Drainからの吸水量（Pump1による）の5項目である。

地下水位の測定用のマノメータは、水槽底面から鉛直上向き5cmの位置に、30cm間隔で34箇所を設置した。とくに、地下水位の挙動を詳しく測定する必要のあるDrain設置場所周辺については、15cm間隔の設置となっている。その設置範囲は、Partition wall 2から、汀線の約4m沖側までである。

地形変化の測定には砂面計を用いた。地形の測定範囲は汀線の1m岸側から3.8m沖側までである。砂面の測定間隔は5cmとし、合計97点につき計測を行った。沖波等の諸元の測定には、容量式波高計2台を用いた。Pump1の吸水量は、1分間に容器に溜まる水量を計量することにより得た。

これら諸量の測定は、実験開始前と開始後1時間毎とし、4～5時間にわたって各ケースの実験を行った。この4～5時間という計測時間はほぼ地形の急激な初期変化が生じる時間に相当する。

2. 3 実験条件

水深を30cmに固定し、表-1の各沖波条件に対して、表-2の各ケースに示すような地下水位の状態をそれぞれ組み合わせて、実験を行った。Case B, Cと、吸水量を2通りに変えた。ただし、吸水量に関しては時間変動があり、一定量に固定することは困難であった。そこで、表には多、少とのみ示してある。

沖波条件は、砂村・堀川⁵⁾の「実験室における海浜プロファイルのタイプ分け」図を参考に決定した。図-2は同図中に表-1の沖波条件をプロットしたものである。図-2で、Type Iは砂が侵食されて、汀線が岸の方へ移動してくる汀線後退型、Type IIは汀線がほとんど移動しない中間型、Type IIIは砂が堆積して、汀線が沖の方へ移動する汀線前進型であり、本実験ではNo.1,3が中間型、No.2が汀線後退型、No.4が汀線前進型となった。No.4の条件に対しては、Case C, Dの地下水条件の実験は現段階では行っていない。

3. 実験結果

ここでは、代表的な例として汀線後退型の沖波条件:No.2をとり上げ、図-3に、海浜形状および地下水位の時間変化を示す。図中の地下水位は、マノメータの読みから得た飽和水面の高さと考えられる。地下水面が実際にDrainの位置より低くなっていることは考え難いので、マノメータの表示する低水位は不飽和領域の発生に伴う間隙水圧の低下の状況を表すものと理解されたい。この点は、今後地下水流について調べて行く上で重要な要素である。また、図-4は、各ケースの実験開始4時間後の地形変化を整理したものであり、図-3(a)～(e)に対応している。

図-3の(a)～(e)を比較すると、吸水を行わないCaseA, D, E (図中の(a), (d), (e)) では地形変化の傾

表-1. 実験条件（沖波）

No.	波高(cm)	周期(s)	波形勾配
1	2.6	1.0	0.019
2	5.0	1.0	0.038
3	7.5	1.3	0.038
4	1.8	1.6	0.008

表-2. 実験条件（地下水位）

Case	吸水	岸側地下水位
A	なし	沖の水位に同じ
B	少	沖の水位に同じ
C	多	沖の水位に同じ
D	なし	沖の水位より高い
E	なし	沖の水位より低い

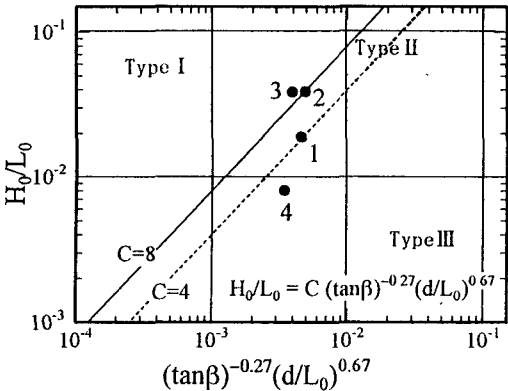


図-2. 沖波条件のタイプ分け
(図中の番号は表-1のNo. に対応)

向が類似しており、岸側の地下水位が海浜変化にほとんど影響していないことがわかる。これは、他の沖波条件の場合にも同様に言えることである。このことから、前浜への自然浸透性を高めるのみでは、侵食防止に大きな効果を期待することは困難と思われる。吸水の効果について見ると、汀線より沖方向に50cmの辺りまでは、吸水の影響が顕著である。その効果により、図-4の(b),(c)にあるように、汀線後退が抑制されており、波作用後4時間経過した後も、初期形状とほとんど同じ状態が保持されている。しかし、その代償として、沖方向に50cm以上離れた位置で、深さ5cmにも及ぶような侵食が生じている。現地海岸では沿岸流その他の複雑な要因もあり得るので、この領域にこのような急勾配が維持されるとは限らない。現地施工段階ではより沖側まで吸水の効果が生じることが望まれる。

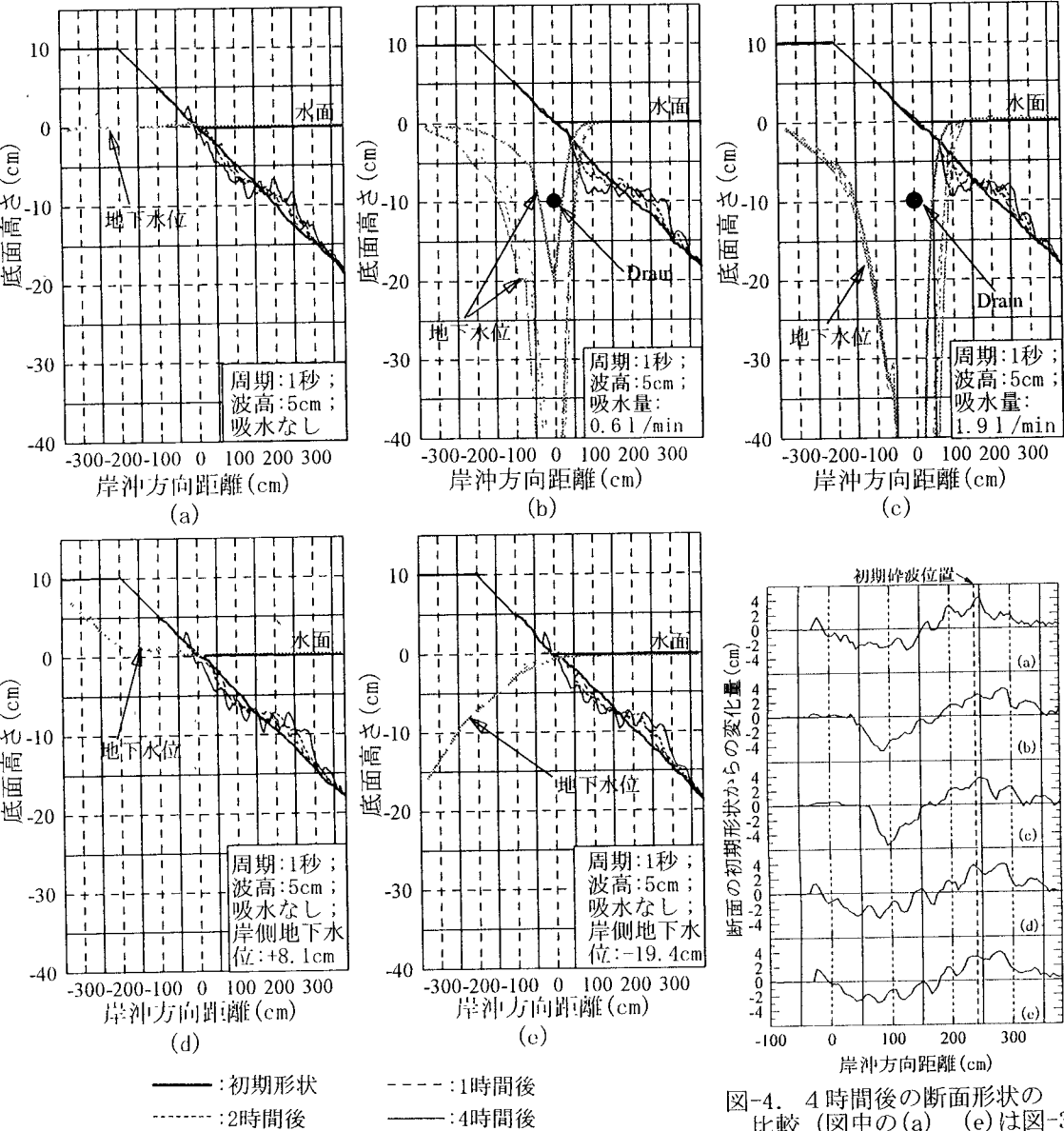


図-3. 地形変化および地下水位の時間変化

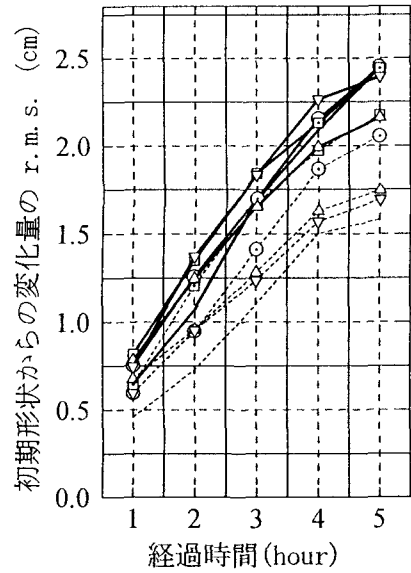
図-4. 4時間後の断面形状の比較 (図中の(a) (e)は図-3の(a) (e)に対応)

次に、海浜の安定度を評価するために、各地点における地形の初期断面形状からの変化量の自乗平均(r.m.s.)を考え、その時間変動を図-5にまとめた。侵食、または堆積にかかわらず、地形変化が小さいほど自乗平均値が0に近くなる。ここでは、汀線の後退を示した沖波条件:No.2、および中間型を示した沖波条件:No.3に関してまとめた。

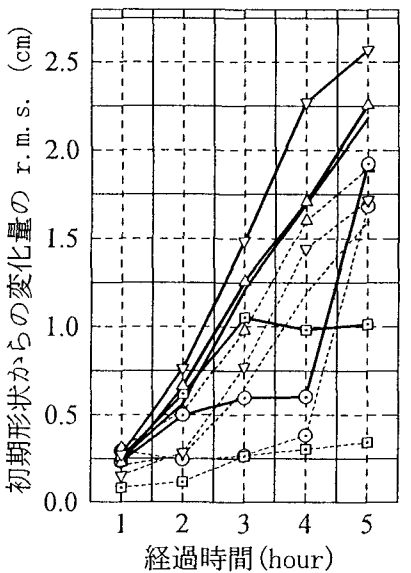
この図によると、砕波点までを考慮に入れた図-4(a)図では、各沖波の条件毎に安定度が異なるものの、地下水位による安定度の差は小さい。それに対して、Drainを中央とする1m区間に対応する(b)図を見ると、同じ沖波条件の下では、吸水を行った場合に、0に近い値をとることがわかる。すなわち、汀線付近、言い換えれば、吸水が影響を及ぼす領域では砂浜の安定度が増している。また、実験中の感触によれば、吸水の影響が大きい領域では砂が締め固められる傾向が観察された。

最後に、図-6は岸側の一定区間の全砂量の増減の状況を示したものである。この図の縦軸はそれぞれの区間の全砂量の増減であるが、斜面くさび形領域の全砂量で正規化されている。吸水の影響により、波打ち帯全域において砂の堆積傾向が予想される。ここでの波打ち帯とは沖浜領域より岸側を指す。しかし、図-6を見ると、図-5における状況と同様に、吸水の効果は波打ち帯全域には現われていない。図-6(b)に注目し、太い実線で表された侵食傾向の波条件に対する右下がりの曲線の傾きを見ると、吸水により勾配が緩くなっている。これは、汀線付近の侵食が吸水により抑制される状況を示すものと理解される。図-5, 6に関して、他の沖波条件に対しても同様のことが言えた。

現時点では、吸水による地下水流の変化の状況が十分に把握されていないこともあって、地下水流速、あるいは、全吸水量と地形安定性との関係を定量的に論じるには至っていない。本実験で、汀線付近の不飽和帯の状態が侵食に対して大きな影響を持つことがわかったので、今後吸水の影響範囲、および吸水による締め固め効果について調べて行く必要がある。



(a) 岸沖距離-100cmから砕波点までの区間のデータの自乗平均



(b) 岸沖距離-50cmから50cmまでの区間のデータの自乗平均

記号なし	: Case A	-----	: 沖波条件 No. 2
○	: Case B(吸水少)	————	: 沖波条件 No. 3
□	: Case C(吸水多)		
▽	: Case D(岸側地下水位高)		
△	: Case E(岸側地下水位低)		

図-5. 砂浜の安定度の比較

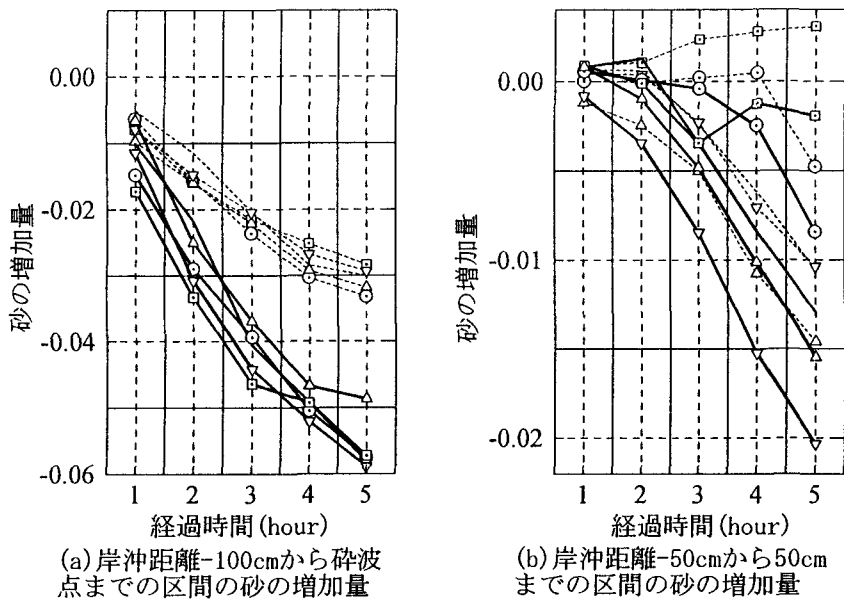


図-6. 砂浜の砂量の増減の比較
(Caption は図-5に従う)

4. おわりに

前浜地下水位と海岸侵食の関係について定性的に調べた。その結果、岸側への自然浸透性を高めるのみでは、十分な侵食抑制を期待することは困難と推論された。吸水による強制浸透の影響範囲では、砂が締め固まり侵食が低減した。しかし、その前面ではむしろ深掘れが生じるので、浜全体を考慮しながらDrainの設置位置を検討しなくてはならない。また、図-3に示されるようなマンメータの示す地下水位とDrainとの位置関係から、吸水によって、地下水の流れとともに不飽和領域が発生することが推定される。また、吸水による浮遊砂濃度の低下は生じ得ることであり、実際に実験にもある程度観察される。これは、沿岸漂砂との関連において今後検討に値する課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたって、佐藤工業株式会社および株式会社テトラの方々には、貴重な議論と資料の御提供を頂いた。または、実験上の御援助を頂いた。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1)Vesterby,H.:Coastal drain system-a new approach to coastal restoration,Proc. of the Conf. on Geotech. Eng. for Coastal Development,pp 651-654,1991.
- 2)Grant,U.S.:Influence of the Water Table on Beach Aggradation and Degradation,Journal of Marine Research,Vol.7,pp.655-660,1948
- 3)土屋義人・河田恵昭:漂砂の移動限界に及ぼす吸水の効果,第31回海岸工学論文集, pp. 267-271, 1984.
- 4)加藤一正:養浜(人工海浜)のためのいろいろなアイデア,みなとの防災110号, pp. 19-23, 1991.
- 5)堀川清司:[新編]海岸工学,東京大学出版会, p. 384.