

Coastal Drain System の現地実験

佐藤 道郎*・西 隆一郎**・中村 和夫***・佐々木 崇雄****

1. はじめに

Coastal Drain System について著者らはこれまで主として室内実験により検討を行ってきた。室内実験ではメカニズムに関する定性的な意味での知見を得ることは出来るが、海浜の安定に係る営力としての浸透の影響が波の影響に対して現地スケールの場合よりも大きく出てくるため、期待を抱きそうな結果となりがちである。したがって、小規模な室内実験の結果が現地でも成り立つものなのかという基本的な点について現地で確かめる必要がある。また、これに係る物理的な機構に根拠を置いた数値モデルの構築が望まれるが、そのチェックとなるような条件のはっきりしたデータの取得も望まれる。さらに、実験室と違って現地に設置するということになると、それ自体に解決していかなければならない種々の問題が出てくることが考えられる。そのような観点から現地実験を行ったが、本報告はその経験と結果をまとめたものである。

2. 二、三の予備的考察

現地で Coastal Drain System を設置して稼働させようとすると、何処に設置すべきかということが問題となる。Danish Geotechnical Institute (DGI) では汀線より陸域に集水管を埋設しており、一方、Parks は干潮汀線の海側に設置するのを “New Method” として示している。潮位差がある海岸では図-1 に示す A, B, C の三ヶ所が考えられる。A の満潮時の汀線より陸域に集水管を埋設した場合は、DGI のパンフレットに説明されているように、BMS (Beach Management System, GDI ではこう呼んでいる。他に Beach Advancer System (DYNQS Ltd.), STABEACH (Coastal Stabilization Inc.) といった呼び名もある。) は前浜に地下水の不飽和な部分を生じさせ、週上波の浸透性を高め、戻り流れを減少させることにより侵食を弱め、堆砂を増すということになる。この場合、集水管の埋設深さと集水量の関係を既存の式(松

尾・河野, 1970) で評価すると図-2 に示すように深いほど集水量が多くなる。また、その水は管の海側の波に起因するものばかりでなく管の陸域からの水をも集めていることになる。Parks は Beach Advancer System のパンフレットで、集水管を中心に海側と陸側のある概念的な範囲を “Effective Width” としているが、それが全て波の作用下になるようにするのが有効と考えて、B で示した干潮汀線の海側に設置することを “New Method” として提唱していると思われる。この場合には、図-3 に示

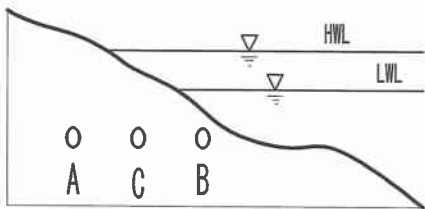


図-1 集水管の埋設位置

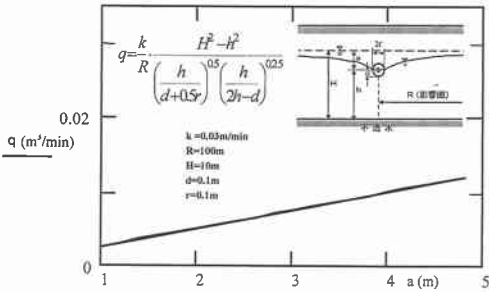


図-2 埋設深さと集水量 (A の場合)

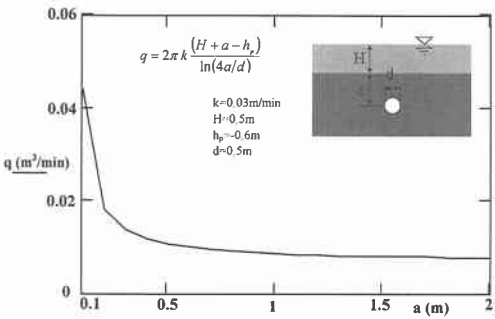
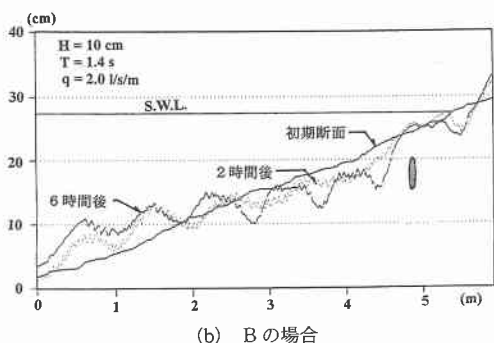
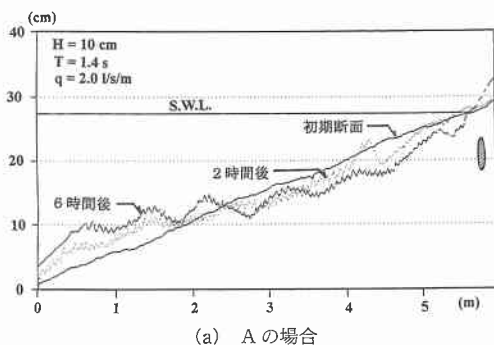


図-3 埋設深さと集水量 (B の場合)

* 正 会 員 工 博 鹿児島大学工学部教授 海洋土木工学科
** 正 会 員 博(工) 鹿児島大学工学部助教授 海洋土木工学科
*** 正 会 員 鹿児島大学工学部技官 海洋土木工学科
**** 学生会員 鹿児島大学大学院理工学研究科



図—4 侵食性の波による断面変化の模型実験結果

ように埋設深さが浅いほど集水量が大きくなる。

また、実験での観察では A の場合と異なり波の遡上に与える影響はずっと弱まる。そして、surf zone 内や底面境界層等の流れの変化が砂の堆積にとってむしろ主要なものとなる考えられる。

著者らは既に模型実験で比較的短時間で多くの砂の堆積が見られた実験結果の例を示した。著者らの実験はポンプで強制的に吸水する場合のもので、多くの場合とられているのは埋設した集水管から流れてくる水を水溜に導いてある程度たまったらポンプで排水するという方法であるため、事情は少し異なってくるであろうが、先述の模型実験における侵食性の波条件での結果の例を図—4(a), (b) に示した。

(a) は汀線の少し陸寄りに集水管を埋設した場合、(b) は海側に埋設した場合である。海側に設置した (b) の場合、集水管の沖側は砂が沖にもって行かれていたものの、管の周囲に砂を吸着させたようにしていくらかの厚さの砂をまとい、波に抵抗して陸域を保護しているかのようである。実験結果に基く限り、(a) の汀線より陸域に埋設するよりも、(b) のように海側に埋設したほうが、より有利な印象を与えるものであった。

排水の仕方には前述のように、水溜めに集まった水を排水する仕方と、直接的にポンプで吸引して排水するやり方がある。商業ベースで考えた場合、後者のやり方ではフィルターが目詰まりを生じさせるおそれから、長期



図—5 実験地



写真—1 用いた集水管

の運転には向かないと考えられ、前者の方法が取られる。したがって、ポンプは常時運転しているわけではなく、ある程度たまれば排水して停止するという運転になる。そして排水量として運転時のポンプの能力が示されることがあり、必ずしも実質的な平均排水量を示しているわけではない。

3. 現地実験の概要

現地実験は設営から撤収まで含めて 1998 年 11 月 24 日から 12 月 4 日及び 1999 年 10 月 8 日から 10 月 25 日にかけて鹿児島県大隅半島の志布志湾南端部の柏原海岸(図—5)で行われた。

この海岸は太平洋に面し、ほぼ安定して手ごろな波高の波が期待でき、また、この海岸では国家石油備蓄基地の建設を契機として 9119 号台風以降、海岸決壊に悩まされてきたことから、このような方法がその手当てとして使えそうかどうかの感触を得たいということで選ばれた。実験地は中央粒径 0.5 mm 程度の底質からなる前浜勾配 1/5 程度の砂浜である。

Coastal Drain の推進者である Vesterby は二週間の運転で数メートル汀線が前進したことを記しており、これ自体、Coastal Drain System に対する期待感を抱かせる記述である。そこで、その程度の期間でそのような堆積が見られるものかどうか調べることを目標としたが、

準備や片付けに予定以上の時間がかかり、測定は10月10日から22日までと少し短くなった。

用いた吸水管は運搬ならびに現地での作業性を考えて径が0.3 m、長さ10 mの多孔管を現地で2本繋いで20 mとし、厚さ1 cmのステラシートで巻いたものである(写真-1)。その両端に水中ポンプを取り付けたものを1ユニットとし、1998年には3ユニットを1999年には4ユニットを同じところに汀線に平行に埋設した。

設置場所は満潮時汀線と干潮時汀線の中間のところで、図-1のCの場所に相当する。この選択は、図-1のBの場所に設置する工事を行うだけの余裕が無く、干潮時に短い時間を利用してユンボで幅3 m、深さ1 m、長さ25 mほどの溝を掘ってパイプを設置し、ユンボで砂を被せるという簡便な方法で行うためであった。砂のかぶりは0.5 m程であった。

初年度は溝にパイプを入れてポンプを取り付けたりして組み上げたため時間が掛かったが、2年目には鋼製の枠を用意して事前にパイプをその枠に取り付けて、この枠をユンボで吊って運搬ならびに設置を行い、作業時間の短縮を図った。また、初年度は、終盤で波が荒くなって埋設管が露出し流される危険を感じるようになったため、大事をとって予定より早めに実験を中止した。高波の作用している状況では図-4(b)に示したような状況はとても期待できそうには思えなかった。そのような経験から、フレームにワイヤーを結び後浜にパイプを2 mほど打ち込んでそれに結わえて流失に備えた。これで十分かどうかは不明である。

この海岸では図-6に示すように最大1.8 m程度の潮位差があるので干潮時に埋設、撤去ならびに測定を行った。

吸水に伴う地形変化を測定するために吸水管埋設部の周辺を、沿岸方向40 m、岸沖方向26 mの範囲にわたって沿岸方向に5 m、岸沖方向に2 mの間隔で鋼杭を格子状に配置した。汀線に平行な測線には海側から1~14の番号を、また、岸沖方向の測線には北側からA~Iの記号を付した。

また、この格子網の南側20 m離れた吸水の影響の無い部分と比較対照するために2測線(Y, Z)を設けた。

干潮時に砂面から出ている杭の長さを測定することで地形変化を求めた。また、砂面への水中銃の貫入長を測定することにより、砂面の吸水に伴う締り具合(締り度)の測定を各格子点で行った。また、3色の蛍光砂を吸水管の岸側と沖側、それに少し離れた吸水の影響の無いと考えられるところに投入し、砂の移動状況の追跡を行った。

これまでに開発してきた可搬式多点波浪観測システムにより作用する波の測定も行ったが、これは主として別

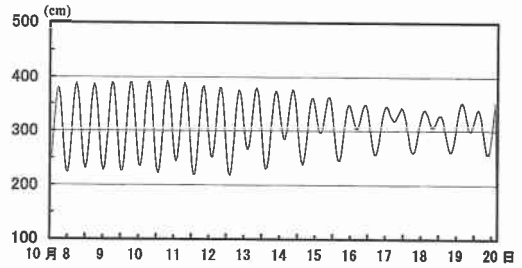


図-6 1999年の実験期間中の潮位

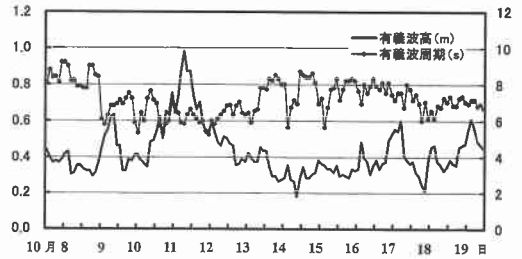


図-7 実験期間中の波

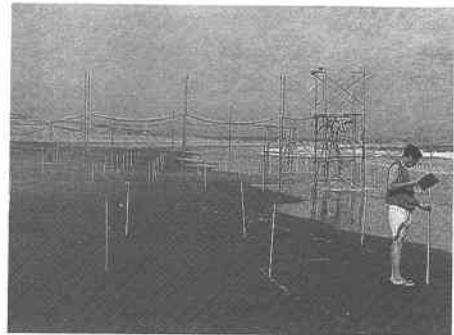


写真-2 実験状況

の目的で碎波帯内のデータを取得することを目的としていた。

期間中、碎波高が0.4 m~1 m程度の波が作用していた。図-7には枇榔島で運輸省が観測した1999年の実験期間中における有義波の波高と周期を示した。11日から12日にかけて幾分強い波が作用したが、それ以外は周期8秒、波高0.4 m弱の波であった。

吸水量は100リットルのポリバケツを配水管から出てくる水が満たすのに要する時間を測定して求めた。電磁流量計の使用も試みたが、前者の方法による結果といくぶん異なり、必ずしもおかしな値というわけではないものの、その動作で不可解なところがあってバケツで測った値をとった。それによると順調に吸水しているとき1台のポンプでほぼ27 m³/h排水しており、8台のポンプを運転し20 mの部分から吸水しているので1 m当たりほぼ11 m³/h/mということになる。1993年以降に世界

各地で行われているものでは0.5から4.4 m³/h/mで、しかも、前に述べたように水溜にある程度溜まったらポンプが作動する方式では、ポンプの能力が必ずしも実際の平均排水量となるわけではなく、著者らの実験における排水量はかなり大きなものといえよう。ただ、その排水量がずっと維持されたわけではなく、埋設時に砂を埋め戻す際に、ユンボがフィルターを破っていたパイプが2本あり、日毎にパイプ内部に砂がたまり終盤には吸水しなくなってしまった。また、目詰まりによるものと思われるが排水量の減ってくるものもあった。したがって、終盤には吸水量は半分ぐらいまで落ちてきたが、それでも既往のものに比べて小さいわけではない。

4. 実験結果と考察

以下では主として1999年の実験結果をもとに考察を行う。

(1) 地形の変化

図-8と9に吸水部と対照部の平均断面をまとめて示した。これらを一見してわかるような顕著な違いは見られない。図-10は最後の測定による平均断面から最初のを差し引いたもので、正の部分は堆積を表している。横軸は海側の測線からの距離である。どちらの部分も似た変化を示している。

図-11と12は測定期間中の平均断面の期間平均と変化を標準偏差で示したものである。平均断面はほとんど同じである。しかし、変化量は吸水部では18 mあたりの吸水管から海側10 mほどの間で変化が小さくなっており、違いといえばこの程度の違いと言えよう。この違いの様子を見るために汀線に平行な測線の平均砂面高さの経時変化を図-13と14に示した。17日の11回目の測定までは変化が小さく推移してきたが、このあたりからいくぶん堆積が始まる。しかし、その変化はどちらも似たものでDrainの働きを示す兆候を見出すことはできない。

なお、1998年度の実験では詳細を示す余裕は無いが、吸水によって平均断面がいくぶん低下するという結果が得られていた。

(2) 砂面の締まり度

実験室でDrainを作動させると集水管付近の砂が締まる。現地実験でも集水管の近くを歩くと少し硬くなっているような気がする。砂浜が締まったり、不飽和帯の含水量が小さくなったりすることはウミガメの産卵なども関連してくることも考えられる。そのようなこともあって、締まり具合を定量化できないかと思い、水中銃を用い、その貫入長を測定した。図-15はその結果である。集水管の埋設部直上のデータは省いてある。これより少し海側のところでいくぶん貫入長が小さくなってい

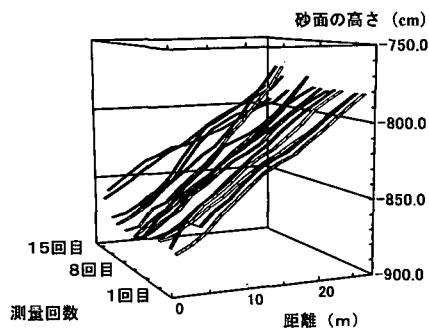


図-8 平均断面の経時変化 (吸水部分)

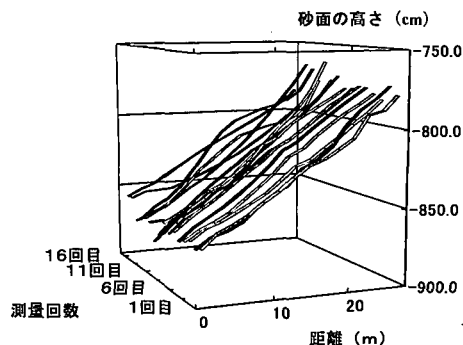


図-9 平均断面の経時変化 (対照部分)

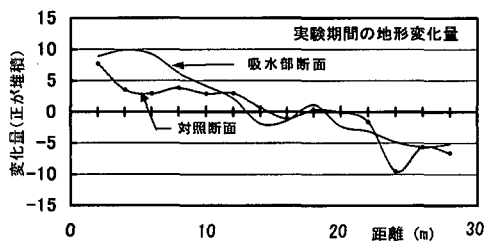


図-10 実験期間の地形変化量

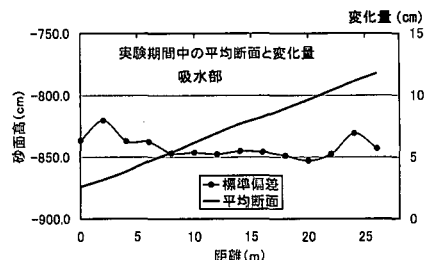


図-11 平均と変化量 (吸水部分)

る。干潮時の干上がったときに測っており、砂浜の海側と後浜よりの部分では飽和、不飽和の違いがありその違いによる可能性もある。このあたりを調べてどう測るのがよいか検討していく必要がある。

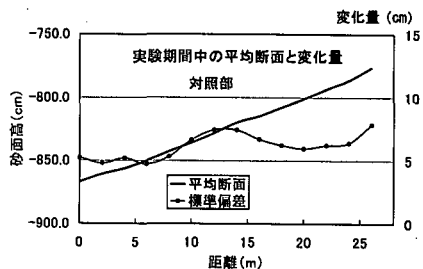


図-12 平均と変化量 (対照部分)

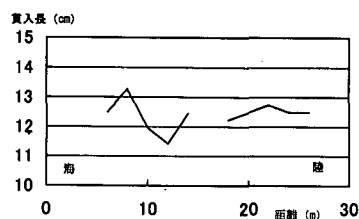


図-15 砂面の縮まり具合測定結果

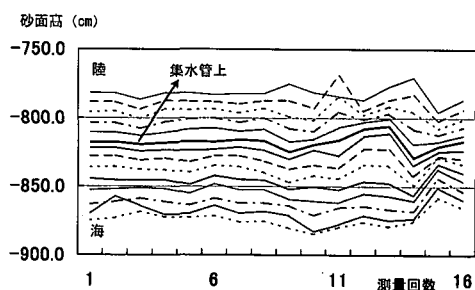


図-13 汀線に沿う測線平均高さの時系列変化 (吸水部)

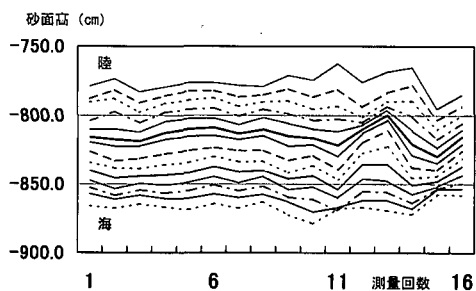


図-14 汀線に沿う測線平均高さの時系列変化 (対照部)

(3) 蛍光砂の移動

蛍光砂の移動を調べたところ、実験は終盤に近いところで行っており、先に述べたように動作しない集水管が出てきて集水管の上でも吸い込みが一様でなくなっていた。蛍光砂を置いたのが管の近くであったこともあり、蛍光砂の重心の移動を求めたところ、吸水部では吸水の強さの分布を反映して、管に平行に移動していた。対照部では岸に向かって移動していた。管の近くでは管の吸い込みによる流れの影響を受けて移動していることが認められた。

5. あとがき

現地実験から以下の事柄が明らかになった。(i) 吸水部分の平均断面の変化と比較対照用測線の断面との比較から、1999年の実験では吸水の効果といえるものを見出すことはできなかった。強いて言えば、吸水部分是对照部

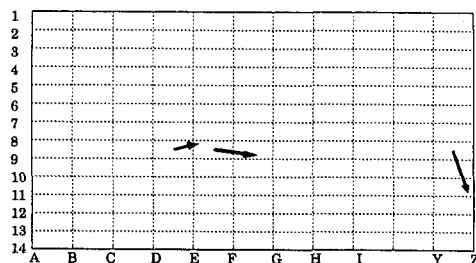


図-16 蛍光砂の重心の移動

よりもいくぶん断面の変動が抑制されているようであった。(ii) 締り度も埋設管より海寄りの部分で大きくなっており、このこと自体が侵食に対する抵抗を増す一因となり得る可能性はある。(iii) 蛍光砂の移動から、吸水による流れを反映した砂の移動が生じる。これも実験で見えたものと一致している。

Coastal Drain 機能を把握していく上で基本となるこれまで実験室で見えてきたことのいくつかの点について定性的に現地で確認することができた。

今回のような波浪条件の場合、ある程度の運転時間の後に室内実験では堆積がかなり進むが、本現地実験では Vesterby の報告にあるような堆積の片鱗も見られなかった。Vesterby の場合の諸条件に関する詳細が分らないのでこの違いが何に起因するものか現時点で明らかではないが、この結果をどう理解するかは重要な課題である。

謝辞：現地実験を行うに当たり、鹿児島県にはお世話になったことを記し謝意を表す。潮汐ならびに波浪データについては運輸省志布志港湾事務所にお世話になったことに対し謝意を表す。また、現地での作業は 1998 年度と 1999 年度の研究室学生諸君の助力によることを記し謝意を表す。本研究は文部省科学研究費 基盤研究 (B) (2) の補助により行われたものであることを記し謝意を表す。

参考文献

- 松尾新一郎・河野伊一郎 (1970): 地下水位低下法, 鹿島出版会, pp. 138.
- Vesterby, H. (1991): Coastal Drain System—a new approach to coastal restoration, Geo-Coast '91. pp. 1-4.