

Coastal Drain による漂砂帯の流況変化と断面変化について

佐藤 道郎*・福島 正寛**・西 隆一郎***・福永 雅彦****

1. 序 論

前浜に埋設した集水管で砂浜内部の水を排水して海浜変形を制御する方法 (Coastal Drain System) が試みられてきており、自然景観を損ねないなどの利点が見られている。この Coastal Drain System について著者等はこれまでに、1. 集水管は汀線より海側に埋設したときに最も有効で (佐藤・秦 (1992)), 2. 吸水量を増していくと侵食性の波浪条件下でも堆積性に転じうること (佐藤・福島・坂元・中村 (1993)), を実験的に示してきた。

デンマーク等で行われている方法については波の穏やかな場合に堆積を促進させるものの時化の時には効かないという批判もあるが (Bruun (1989)), 汀線の海側に集水管を設置し水溜めを介せずに強制的に排水した著者等の実験の過程で、侵食性の波の作用下でかなり急速に大量の底質が汀線近くに堆積する状況が見られた。このような堆積がどのような状況下で生じているのか明らかにすることは、この方法の可能性を明確にしていく上で重要である。また、実験室ではなく、現地スケールでその様な条件の実現を期待するにはどの程度吸水すれば良いかを明らかにすることは、この方法がエネルギーコスト等を考慮にいれて現実性のあるものかどうかを評価する上で必要である。しかし、小規模な室内実験では定性的な物理機構の解明に有効であったとしても、所要吸水量の定量的な議論は難しい。そこで、断面変形計算モデルの構築とそれに基づく議論をするのが実際的と考えられる。

本研究の目的は、所要吸水量を明らかにしていくための基礎として、先述のかなりの堆積が見られた場合について、漂砂帯の流況の変化を実験的に調べ、断面変形モデルに流況の変化を考慮した場合、どういうことになるか検討を行い、Coastal Drain System の機能について理解を深めようとするものである。

2. 吸水による漂砂帯の流況変化

Coastal Drain System の有効性は、吸水による前浜の地下水面の低下が遡上波に対する浸透を促進し戻り流れが弱められ、遡上波が運び上げた底質が取り残されることにより堆積が進むことによるものとして説明されている。汀線より陸地で吸水した場合には確かにその状況を観察できるが、侵食性の波の作用下ではいくぶんの抵抗を示すものの侵食が生じた。しかし、汀線より海側で吸水した場合にはそれ程遡上に変化が生じるわけではなく、前浜の目に見える部分の堆積はそれほど顕著というわけではないものの漂砂帯全体では有効と思われる。そして注目すべき点は侵食性の波の条件下で堆積性の波を作用させていたときよりも大量の砂を堆積させたケースがあったことである (佐藤・福島・坂元・中村 (1993))。この場合の有効な理由は前述のような遡上時のプロセスで説明されるものではない。この点については染料や砂の移動の観察から 1. 吸水によって生じる吸水管に向かう流れによる漂砂帯の流れの変化、2. 吸水管の埋設したあたりの底面では砂が底面に吸い付けられたような様相を示し、吸水の無い場合には碎波による乱れで砂が巻き上げられているような部分の砂の動きが抑制され、浮遊砂の沈降も促進される、といったことが効いているように思われた。

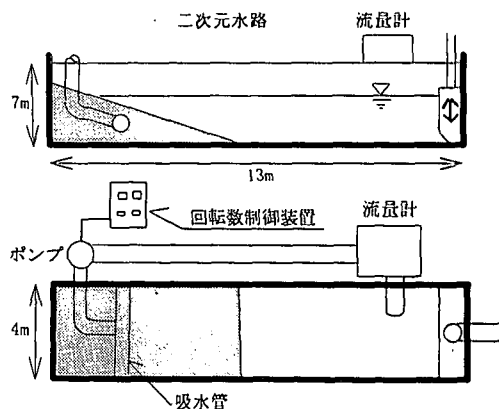


図-1 実験装置

* 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 工 修 宮崎県庁

*** 正 会 員 工 修 鹿児島大学助手 工学部海洋土木工学科

**** 学生会員 鹿児島大学大学院 工学研究科

そこで、漂砂帯の流況の変化のあらましを電磁流速計で測定を行った。

2.1 実験装置および方法

幅 0.4 m、高さ 0.4 m、長さ 13 m の二次元造波水路を用い、粒径 0.3 mm の砂からなる勾配 1/20 の砂浜に 50 mm の径の吸水管を埋設した(図-1)。そして、非吸水と吸水したときの漂砂帯の平均流の流況を電磁流速計で測定した。造波しながら流速測定を行っているうちに断面形状が変化してくる。そこで、変形があまり進まないうちに整形して測定を行った。とはいっても実験値には測定中の地形変化の影響が出ているようである。

2.2 実験結果

図-2 は測定結果の例である。水表面付近と底面付近のデータはとれおらず中間水深の戻り流れの部分だけ測ったことになる。吸水によって初期碎波点から岸寄りの部分で流れが弱められており、吸水量が大ききときには弱いながらも吸水管の方を向いている。なおこれは吸水量のかなり大きな場合の流況に対応する例である。

3. 流況変化による断面変化

3.1 計算モデルの概要

吸水により碎波点の岸側では吸水しない場合に比べかなり流況の変化が見られた。それより沖側では実験結果からは明瞭というわけではないが、吸水により生じた流れによって冲向きの流れは幾分弱められていると考えられる。このような流況の変化が海浜地形の変化にどのような違いをもたらしか検討を試みた。ここで考慮にいったのは、① 吸水により生じた吸水管へ向かう流れの水

平成分が吸水管より沖側の部分で波による冲向きの流れを弱めること、② 鉛直成分は浮遊砂の沈降速度を増し沈降を促進させる、の二点である。

吸水管上部付近の底面では吸水中あたかも磁石に吸い付けられた下敷きの上の鉄粉ように動かなくなることが

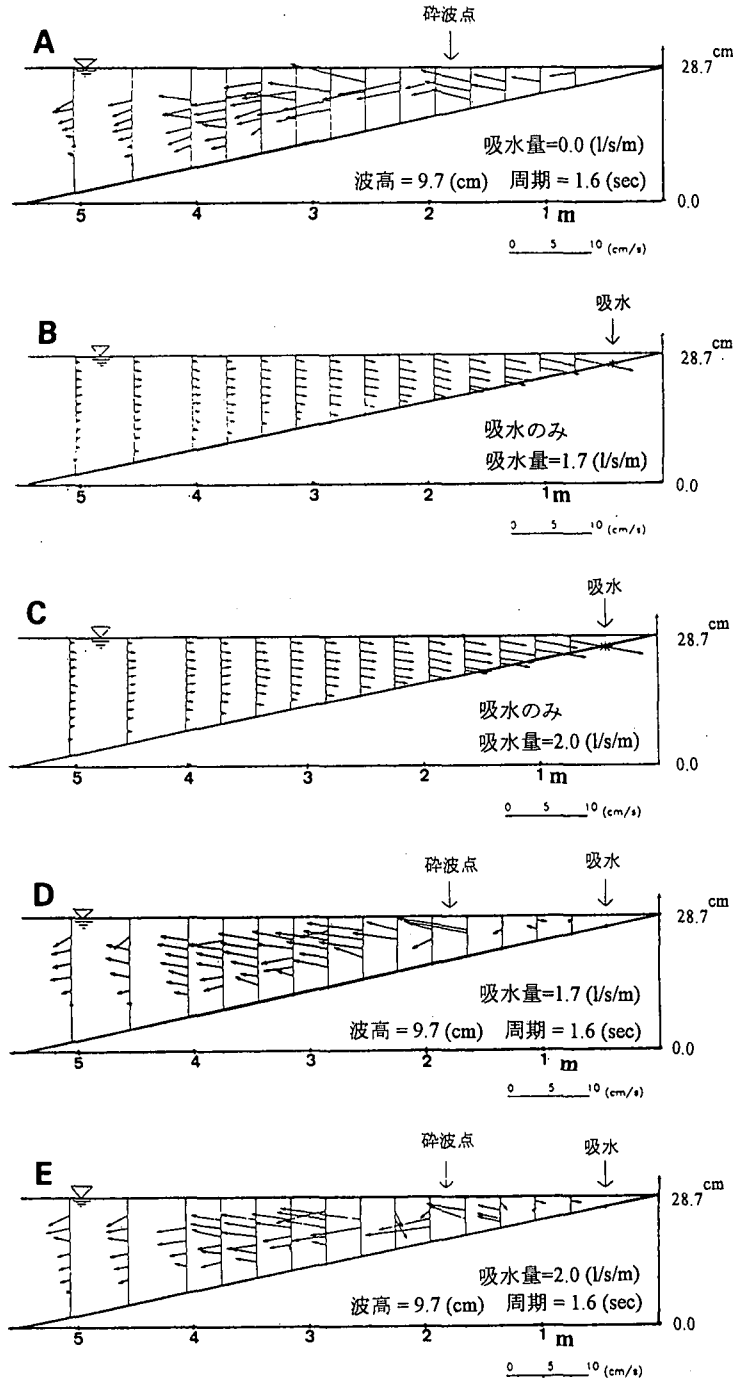


図-2 測定結果

観察される。また、実際のスケールで考えた場合、砂を巻き上げる外力となる碎波によってもたらされる乱れや、底層付近に境界層流れによって生じる乱れが吸水によってどう変化するかといった未知の問題もあり、上述のような二点だけで考慮しただけでは説明しきれぬも

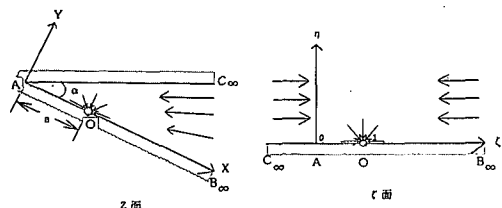


図-3 吸水による流れ

のとも思えないが、それらについては別途検討しており、ここでは上述の2点の効果を絞って検討した。

波はなく吸水だけの流れの測定結果を参考にし、吸水により生じる平均流速については楔状の領域で一辺にsinkを置いたときの流れの複素ポテンシャルをSchwarz-Christoffelの定理を用いて求め、漂砂帯の平均流をモデル化した(図-3)。速度成分は

$$u - iv = \frac{m\pi}{a} \cdot \frac{(z/a)^{\pi/a}}{z((z/a)^{\pi/a} - a)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

より得られる。ここに、 $z = x + iy$ ($i^2 = -1$)である。先に示した波が無い場合の流れに対応する計算結果を示すと図-4のようになる。

海浜変形モデルとしては前述の二点の効果を容易に取り入れられるものとしてDally and Dean (1984)のモデルをベースにした。このモデルは漂砂帯を水深方向に浮遊した底質が波周期の時間内に底まで沈降する底層とそれより上層の2層に分け(図-5)、浮遊砂が漂砂の主要部をなすものとして漂砂量 Q_{ss} を浮遊砂濃度分布と平均流速ならびに底層では軌道流速を加えた流速との積を水深にわたって積分した形、すなわち、

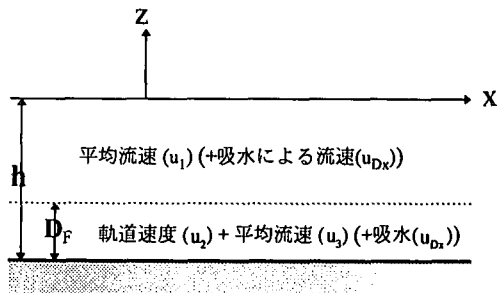


図-5 漂砂帯のモデル

$$\begin{aligned} Q_{ss} &= \int_{-h}^0 u'(z) \cdot C(z) dz \\ &= \int_{D_F-h}^0 \{u_1(z) + u_{Dx}(z)\} \cdot C(z) dz \\ &\quad + \int_{-h}^{D_F-h} \{u_2(z) + u_3(z) + u_{Dx}(z)\} \cdot C(z) dz \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

で与える。ここで、 u' は平均流速、 C は浮遊砂濃度、 h は水深、 D_F は底面から測った下層の高さ、 u_1 は上層の平均流速、 u_2 は底層での水平軌道速度成分、 u_3 は底層の平均流速、 u_{Dx} は吸水によって生じる流れの水平流速成分を表す。

浮遊砂濃度 C は吸水管に向かう平均流の鉛直成分が浮遊砂の沈降速度を増し浮遊砂濃度分布を変化させるものと考え次式で与える。

$$C(z) = C_A \exp[-15w'(z - z_A)/(h\sqrt{\tau/\rho})] \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 C_A は基準点濃度、 w' は吸水がない場合には底質の沈降速度 w で、吸水したときは $w' = w + u_{Dz}$ で与えた。 u_{Dz} は吸水によって生じた流れの鉛直成分である。 τ は剪断応力、 ρ は水の密度を表す。

(2)式に各流速のDallyらによって与えられている表現ならびに(1)による吸水による計算値と(3)式の浮遊砂濃度を代入して漂砂量を求め、漂砂の連続式

$$\frac{dh}{dt} = \lambda \frac{dQ_{ss}}{dx} \quad \dots\dots\dots (4)$$

によって水深の変化を計算する。式中の λ は $\lambda = 1 + e$ (e : 間隙比)で表されるパラメータである。

計算にあたり波の場を計算するわけであるがDally (1980)の波の碎波変形モデルが用いられる。

3.2 結 果

図-6に計算結果の一例として波高9.7 cm、周期1.6秒の場合のものを示した。10秒の時間刻みで100ス

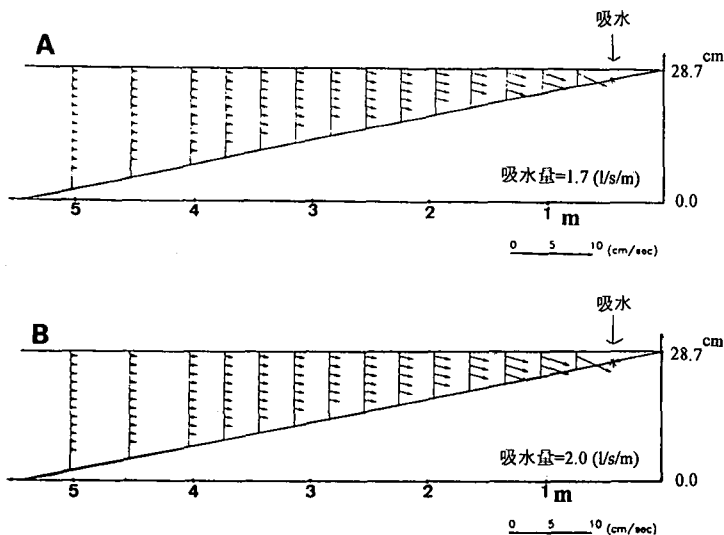


図-4 計算による流れの分布

テップ計算した結果である。さらに1000ステップ程度までさまざま計算してみたが、計算時間が長くなるにつれて吸水した場合、ここで示した図中にも見られる波高変化や地形変化の図の細かいリップル状の変化が増幅されて非現実的な様相を示した。そこでこの程度の時間までの計算にとどめた。

非吸水のとき砕波点前後で冲向きであった漂砂が吸水によって岸向きに転じており、吸水による流れの鉛直成分が浮遊砂の沈降速度を増し下層の濃度を上げ下部の岸向きの流れが強められたことがこのような漂砂の変化をもたらしている。この程度の時間では実験で見られたほどの堆積にはならないものの、吸水位置あたりから岸でかなり堆積が見られる。これは実験結果をある程度反映していると見れる。だが、実験で見られたようなバーが岸のほうに移動してくるような状況は表現されていない。また、例えば図中のA,B,C点における平均流速の計算上の分布を見ると図-7に示すように最も岸よりの部分で計算では上層で冲向きの流れになっているが、前述の流れの測定結果や染料による観察では上層の部分でも弱いながら岸向きとなっており異なった分布を与えている。

こういった計算モデルを実用的なものにしていくにはモデルを構成する素過程について最近の成果を取り込むことにより改良できる部分もあるが、掃流砂ならびにそれに対する吸水の影響を評価していく必要があると考えられる。また、地形変化が生じた後にも初期の楔状の領域の流れの計算結果を用いているが、この点をどうしていくかも検討する必要がある。

4. 結 語

Coastal Drain Systemの効果を調べるための実験で、非吸水時には侵食性と考えられる波浪条件でありながら吸水時にかなりの堆積が見られたケースについて、漂砂帯の流速測定を行ったところ、非吸水のときに生じてい

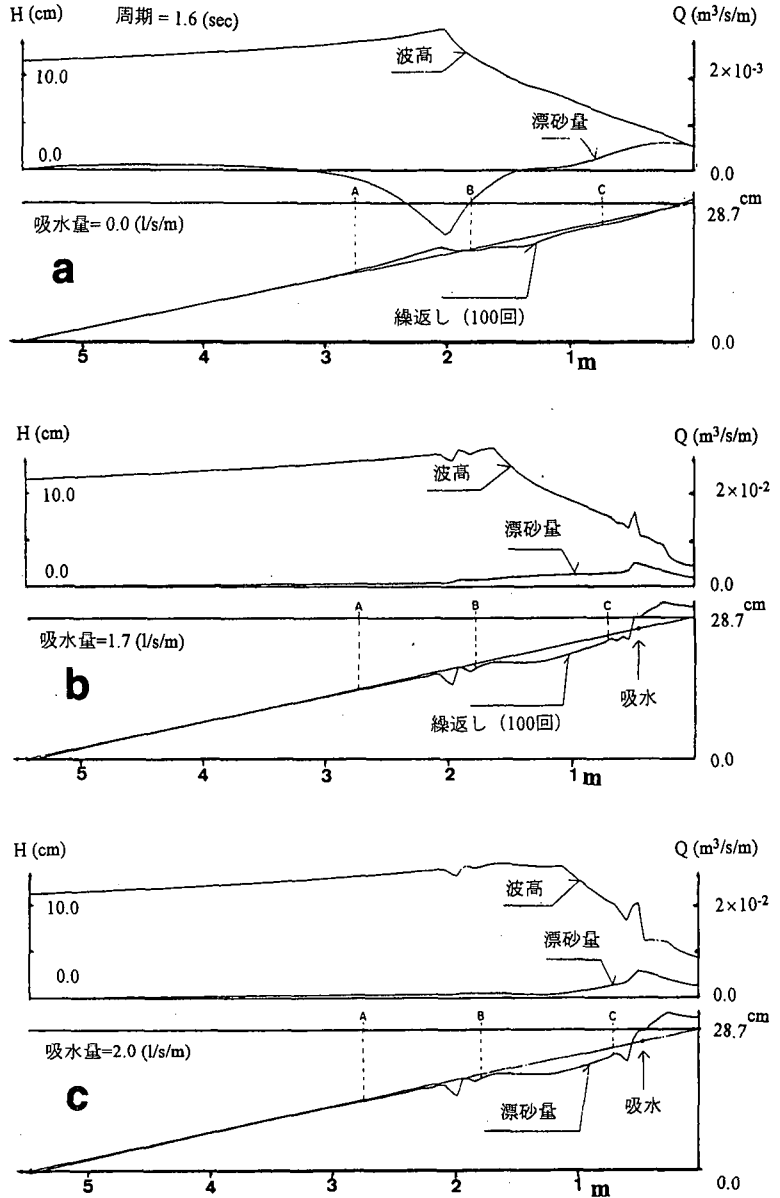


図-6 計算モデルによる漂砂量の岸沖分布と断面変化の例

た冲向きの平均流は砕波点の岸側で吸水により弱められ、吸水管近くでは逆向き、すなわち、吸水管に向かう流れが形成されていた。この流れが、強い波の砕波によって生じた高濃度の底質を吸水管のほうに運び沈殿堆積させたと考えられることができる。

また、モデル計算によって、平均流の冲向きの部分が弱められ、底層の岸向きの部分が強められることと、濃度分布の底層寄りの部分が沈降速度の増加によって大きくなることによって、非吸水では冲向きであった漂砂量が岸向きに転じ、定性的には実験で得られた地形変化の特徴を説明することが示された。

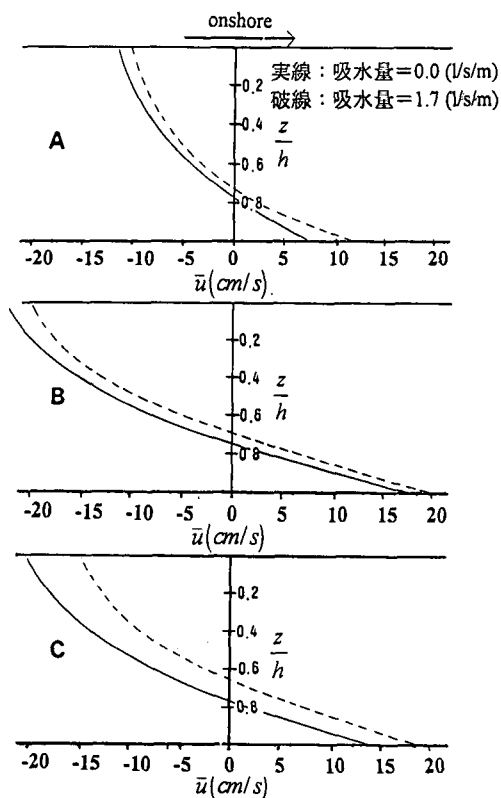


図-7 計算における平均流速の分布

その結果、従来、Coastal Drain System のメカニズムは遡上波の浸透によって説明されてきたが、汀線より海側に設置した場合、吸水によって漂砂帯内に生じる流れの場の変化が重要なことが示された。

Coastal Drain System の所要吸水量の見積もりに堪えるようなものにしていく上でさまざまな課題があり、さらに検討を加えていく必要がある。

参考文献

- 佐藤道郎・秦 禎勝 (1992): 前浜地下水の吸水による海浜変形の実験, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 336-340.
- 佐藤道郎・福島正寛・坂元龍治・中村和夫: 吸水による漂砂制御に関する研究, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 536-540.
- Bruun, P. (1989): The coastal drain: What can it do or not do?, Jour. of Coastal Research, 5-1, pp. 123-125.
- Dally, W. R. (1980): A numerical model for beach profile evolution, A thesis submitted to the Faculty of the University of Delaware in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering.
- Dally, W. R. and R. D. Dean (1984): Suspended sediment transport and beach profile evolution, Jour. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., Vol. 110, No. 1, ASCE, pp. 15-35.
- Parks, J. M. (1989): Beachface dewatering-A new approach to beach stabilization., THE COMPASS, Vol. 66, pp. 65-72.
- Vesterby, H (1991): Coastal Drain System-a new approach to coastal restoration, Proc. of the Int Conf. on Geotech. Eng. for Coastal Development, pp. 651-654.