

光電式浮遊砂濃度分布計の動作特性に関する研究

菅原 亮治*・田中 仁**・山路 弘人***

河川・海岸の接点である河口部及びその周辺においてはその土砂移動について依然不明な点が多い。その理由のひとつとして、種々の外力が複雑に作用していることが挙げられる。このため、実際の河口域における精度の高い漂砂計測法が確立されているとは言い難い。そこで、本研究では漂砂の中でも地形変動への寄与が大きい浮遊砂に注目し、河川や海域での地形変動の観測に近年多く用いられている光電式砂面計を用いて、その受光部の出力電圧から浮遊底質濃度を求め、さらに、流速計データと組み合わせて浮遊砂フラックスまでも測定可能な計測システムの開発を目的としている。

1. はじめに

これまで、各地の沿岸域を対象として数多くの土砂収支評価の試みがなされている(たとえば、井上ら, 2002)。このうち、河川・海岸の接点である河口部及びその周辺においてはその土砂移動について依然不明な点が多い。その理由のひとつとして、河口部及びその周辺では河川・潮汐に起因する流れや様々な向きから来襲するの波といった種々の外力が複雑に作用していることが挙げられる。このため、これまで多くの漂砂計測手法が試みられているものの、実際の河口域における精度の高い漂砂計測法が確立されているとは言い難い。

そこで、本研究では漂砂の中でも地形変動への寄与が大きい浮遊砂に注目し、河川や海域での地形変動の観測に近年多く用いられている光電式砂面計を用いて、その受光部の出力電圧から浮遊底質濃度を求め、また、河口域に作用する他の外力と合わせて検討することで、河口部周辺の浮遊砂濃度分布の計測システムを確立することを目的としている。

2. 光電式砂面計の概要

浮遊砂濃度を測定するためにいくつかの方法が提案されている。それらに関する解説は、たとえば堀川(1985)に詳しい。それらは大きく分けて、(1)時間変動を測定することの出来る非接触型の光学センサーまたは音響センサーを用いたもの(たとえば、Greenwood et al., 1990; Ciavola et al., 1999)、(2)時間平均を測定するための捕砂器タイプのもの(たとえば、Nielsen, 1984; Kraus, 1987)に分類される。前者を用いることにより、小さな時間スケールでの波浪の変化対応した浮遊砂濃度を測定することが出来る。一方、後者のタイプの計器はその様な詳細な時間分解能を有しないものの、システムが比較的シンプルである利点を有する。しかし、いずれのタイプにおいても、センサーのサイズなどの制限により、詳

細な鉛直分布の計測には適していない。

そこで、本研究では、写真-1に示す光電式砂面計((株)三洋測器, SMM-1)を使用することとした。この装置は本来、その名の通り砂面を検出する目的で開発された。この光電式砂面計は4mm幅のくぼみ部分に発光部・受光部を1対とした31対のセンサーを1cm間隔で高さ方向に配置している。そして流れや波の向きにセンサーを平行に配置することによって巻き上げられた底質が砂面計のこのセンサーのくぼみを通過した際、その底質によって遮断される光量の低減の割合を測定することが出来る。この機器を砂面計としての使用する際には、受光部が感知する光量が急激に低減する高さを砂面として検出し、それ以外の高さにおける測定情報をデータとして使用していない。本研究では、この通常使用されることのない砂面高さより上方のデータをも活用し、これから浮遊砂濃度の分布の計測を行おうとするものである。センサー自体は最短で1秒間隔でのサンプリングが可能であり、上述のように鉛直方向に1cm間隔で配置されたセンサーは、高い時空間分解能での浮遊砂濃度の

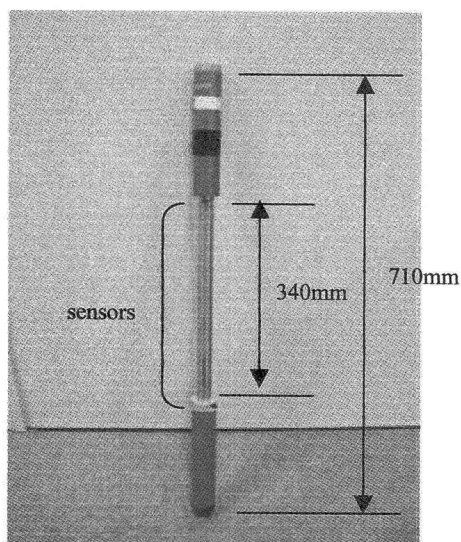


写真-1 光電式砂面計

* 正会員 修(工) 五洋建設株式会社

** 正会員 工 博 東北大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻

*** 正会員 東北大学大学院教務職員 工学研究科土木工学専攻

計測を可能にすると期待される。

3. 室内実験による検討

(1) 実験の目的

今回測定に用いた光電式砂面計はセンサーの特性により外光の影響を受けやすい。これは、本装置の発光光源量が小さいために外光の影響によって、本来観測されるべき濃度が打ち消されてしまうというものである。ここでいう外光とは太陽光や水面の乱反射などの自然光である。このような理由から、図-1に示すようにセンサー部分を遮光するために、砂面計を覆うアタッチメントを作成した。このアタッチメントは塩化ビニル製であり、寸法は長さ500mm、砂面計を覆う面積を変えてその効果を評価するために、図-1に示すようにアタッチメントの弧の長さをType 1からType 5まで順に127mm, 211mm, 286mm, 376mm, 418mmとしている。また、アタッチメントの両面に黒い遮光塗料を吹き付けることで光の乱反射等を防いでいる。このアタッチメントはそれぞれ図-1のように砂面計中心から12.5mmの位置に固定して使用するものである。

これら作成した5種類のアタッチメントを現地で使用する前にそれぞれの特性について、つまり、遮光性能やアタッチメント自体による砂の巻き上がりの妨げ等を評価する必要がある。そのため、その効果を室内実験によって評価した。

なお、今回用いた光電式砂面計のセンサー出力値は濃度として示されるが、本研究で対象とする粒径に合わせた濃度の値ではない。したがって、この出力値を対象粒径の砂の濃度に変換する必要がある。そのため、室内実験においてキャリブレーションを行い、濃度値への変換を試みた。

(2) 測定の概要

前述した目的に合わせ、既往の土砂濃度に関する研究(たとえば、横山, 2002)を参考として、図-2のような実験装置を作成した。この装置はアクリル製であり、円筒形の水槽である。具体的な測定方法としては、水槽の底にスターラーを設置し、このスターラーによって砂を巻き上げるというものである。測定は1秒インターバルで10分間測定を行った。また、側面に砂面計のセンサー3, 7, 15, 23(最下端を1とした番号)の位置に対応したバルブが実験装置の周囲に設けてある。これによって、対応するのセンサー高さからの採水をおこなうことが可能である。

測定に当たっては、アタッチメント無し、アタッチメントType 1, 2, 3, 4, 5そして夜間における砂面計のみでの7回の測定を1セットとした。外光の影響を受けていない夜間の計測を真値とみなし、これとの比較により

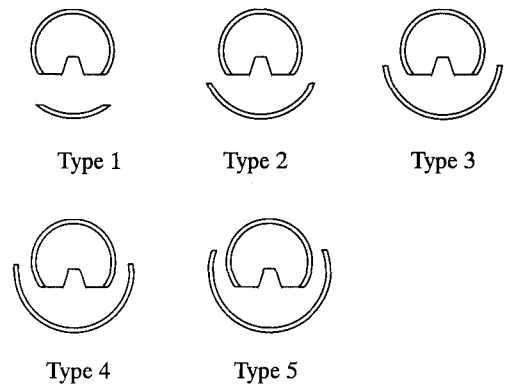


図-1 使用したアタッチメント

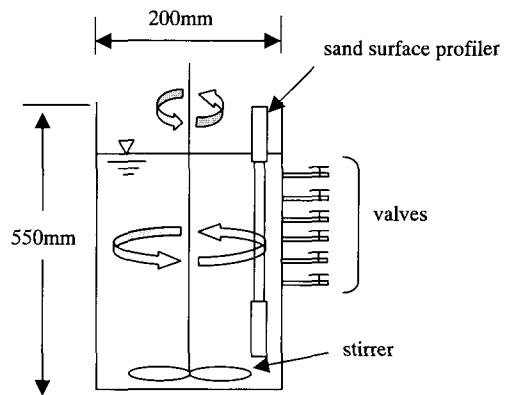


図-2 キャリブレーション用の実験装置

アタッチメントの影響を評価する。さらに測定ごとにバルブからの採水試験も行っている。また、この装置では砂の投入量とスターラーの位置を変えることによって砂の濃度を変えることが可能であり、これらを様々に変化させて実験を行った。

(3) アタッチメント特性に関する検討

図-3はある同一条件で行われた測定での、1セットの1分間の時系列変化である。この図における縦軸の V は出力値を横軸の t は時間を表している。これらの図は最下端のセンサー高さを $z=0$ cmとしたときの高さ $z=3$ cmまでのセンサーの出力値で、それぞれ、(a)アタッチメント無し、(b)アタッチメントType 2、(c)同Type 5、および(d)夜間の測定における出力値の変化を示すものである。これらの図から、アタッチメントを付けずに測定したものは夜間での測定に比べて出力値が低い位置で変化している。また、Type 5でも出力値が夜間に測定したものに比べ、明らかに低く推移していることが伺える。一方、Type 2においては他のケースに比べ、夜間で測定した真値により近いことがわかる。

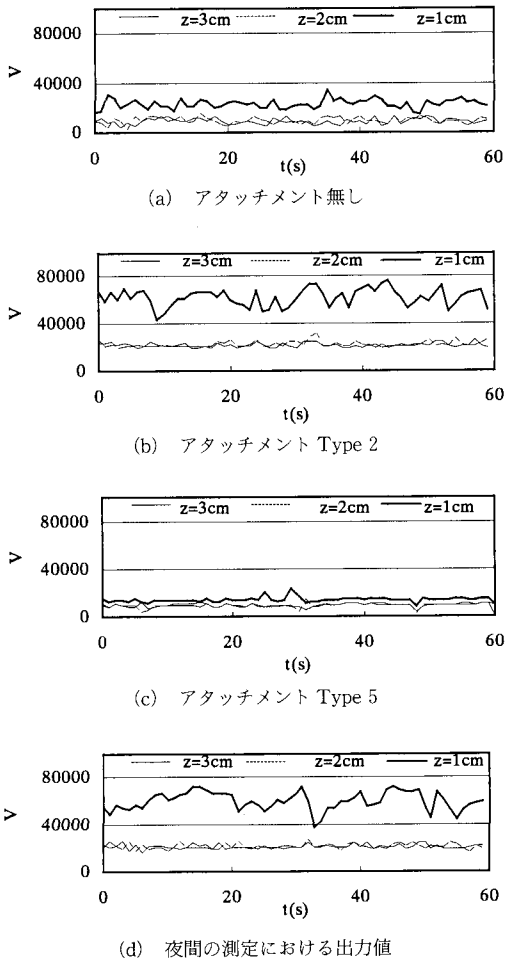


図-3 各アタッチメントによる実験結果

図-4は10分間の測定における出力平均値の関係を表している。この図は対数軸を使用しており、図に記されている V_N , V_0 , V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 は夜間、アタッチメント無し、アタッチメント Type 1, 2, 3, 4, 5 での測定における出力値を表すものである。この図から Type 2 のアタッチメントによる出力が真値 (V_N) と良く一致していることがわかる。これに対して他の測定では真値との誤差がかなり見られる。

浮遊砂の輸送フラックスを論じる際には、濃度の平均値のみならず、その変動特性も重要となる。そこで、図-4と同様な図を濃度変動の標準偏差 σ に関して描いた。結果を図-5に示す。図中における添え字の意味は図-4と同一である。標準偏差に関しても、描いた Type 2 による出力値が夜間の測定値と良く一致しており、このタイプのアタッチメントが最適であると結論することが出来る。

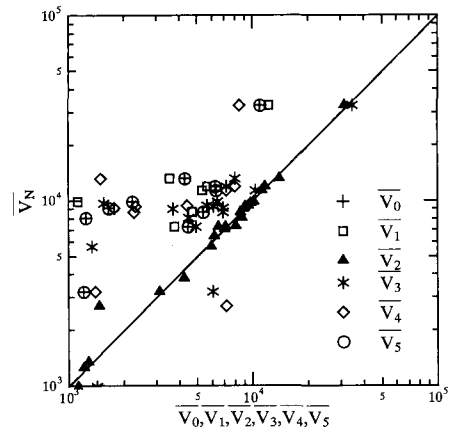


図-4 各条件下での出力値の平均値

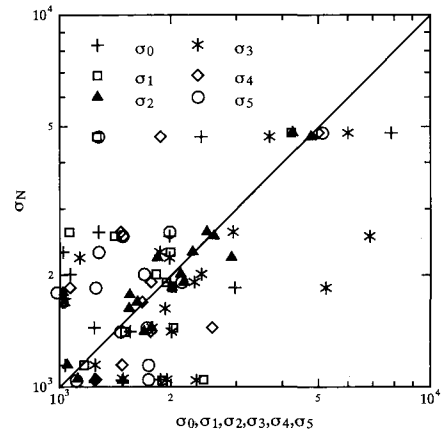


図-5 各条件下での出力値の標準偏差

(4) キャリブレーションの結果

前述の結果をふまえ、アタッチメント Type 2 を用いて、キャリブレーションを行った。図-6は3, 7, 15, 23のセンサー位置における採水試験とその際のセンサーの平均出力値との関係を示したグラフである。この図から、測定結果が近似直線近傍に集中していることがわかる。また、これらの関係から最小二乗法を用いて、次の近似式(1)を求めた。

$$C = 1.96V - 1.34 \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 C は砂の濃度 (mg/l), V はセンサーの出力値である。この関係を用いて、砂面計の出力から濃度を得ることが出来る。

なお、前報 (Sugawara et al., 2003) においてはより簡便なキャリブレーション装置を用いており、このために、濃度と出力の直線性は図-6に示された結果ほど良好ではなかった。

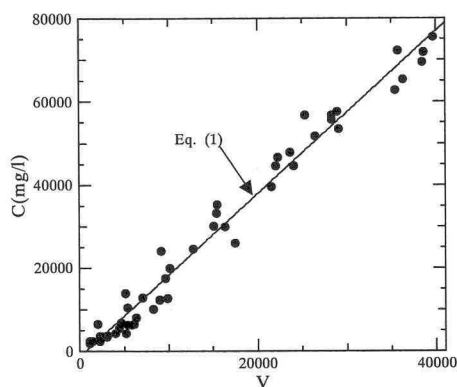


図-6 キャリブレーション結果

4. 現地観測

(1) 現地観測の概要

本研究では、実際の河口域における浮遊漂砂フラックス観測システムを確立することが目的である。そのため現地における対象地域を設定し、観測を行った。観測場所は、河口部周辺が比較的浅いため砂面計を設置するのが容易であることと、河口域やその周辺において土砂の移動が非常に盛んである理由から、図-7 に示す宮城県

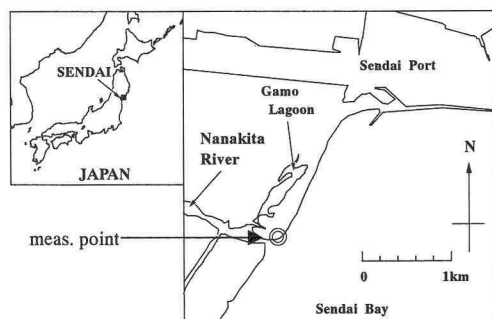


図-7 七北田川河口地形と観測位置

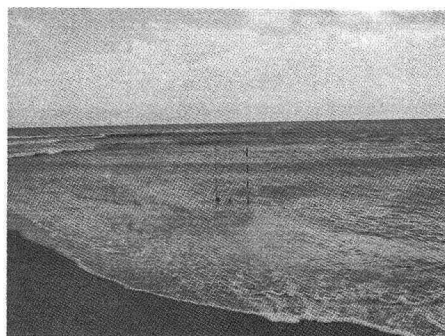


写真-2 計器の設置状況

七北田川河口とその周辺の海岸とした。七北田川は宮城県仙台市を東に流れ、仙台仙台湾の南約2 kmの地点から太平洋へと注いでいる。流域面積が約229 km²、幹線流路延長が約45 kmの2級河川である。七北田川は外洋に面しているため波浪や潮汐の影響を直接受け易く、河口の閉塞や砂州のフラッシュを繰り返している(田中, 1991; 田中, 1995)。

観測に当たっては光量が多い晴天時の昼間を選んで実施した。また、観測は河川流量が平水時の条件の時にを行った。測定器の設置場所としては水面上から見て浮遊砂が巻き上がっている事が確認できる場所を選定した。実際の砂面計による測定においては砂面計を底面と垂直に設置し、さらに下から1～2個のセンサーを砂面下に埋没させて観測を実施した。また、流速と波高も同時に観測を行った。このために、波高計(アレック電子(株), COMPACT-WH)、流速計(アレック電子(株), COMPACT-EM)を使用した。写真-2にこれらの計器の設置状況を示した。

測定に際して、この3つの測定器は砂面計のセンサーと垂直になるような直線上に並べた。測定に際して観測インターバルは砂面計を1秒、流速計を0.5秒、波高計を0.25秒とした。

(2) 観測結果

七北田川の河口周辺で測定した結果を図-8に示す。2分間にわたり水位、浮遊砂濃度、流速 u のデータを得た。上段は水位変動 η を図示したものである。また、浮遊砂濃度、流速のデータを用いて、次式により浮遊砂漂

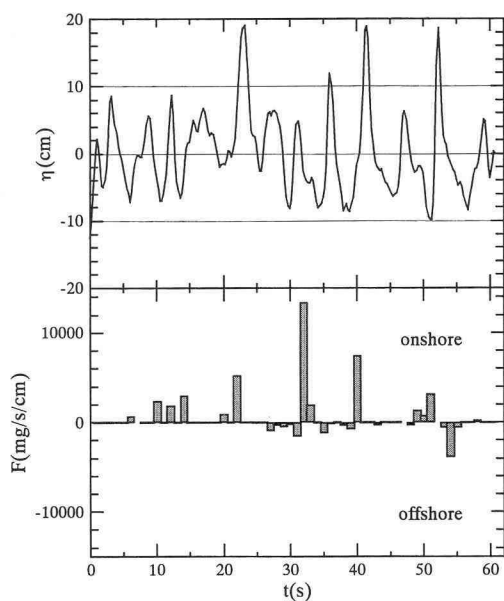


図-8 測定結果

砂フラックス F を評価した。

$$F = \int_0^h Cu \, dz \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 h : 水深である。以下では、1秒毎の瞬間的な浮遊砂フラックスを算出した。結果を図-8(b)に示す。これによれば、波動に伴うフラックスの量・向きの変化が捉えられていることが分かる。

本装置によれば、鉛直方向に1cm、時間間隔1secというきわめて高い時空間分解能での精密な浮遊砂濃度の計測が可能であり、流速計と組み合わせることにより正確な浮遊砂フラックスの計測が可能である。従来の浮遊砂計測機器では、このような詳細な計測がきわめて困難であった。

5. おわりに

光電式砂面計を浮遊砂濃度分布計として使用するために、まず、アタッチメントの効果に関する検討を行った。これにより、光電式砂面計を外光下での測定が可能となった。また、キャリブレーションにより、砂面計の出力値を対象粒径の濃度に変換することが可能となった。これらの成果をもとに現地観測を行い、浮遊砂フラックスの評価を行った。今後、より長期的な現地観測を行う予定である。

謝辞: 本研究に対して河川環境管理財団・河川整備基金の補助を受けた。また、実験に当たっては、三洋測器(株)およびアレック電子(株)より様々な協力を得た。こ

こに記して関係各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- 井上かおり・田中 仁・泉 典洋 (2002): 野蒜海岸を中心とする石巻湾西部沿岸の長期土砂移動量の評価, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 516-520.
- 田中 仁 (1991): 七北田川の河口閉塞と河口砂州フラッシュ, 水工学論文集, 第35巻, pp. 275-280.
- 田中 仁 (1995): 七北田川において観測された中小河川特有の河口現象, 土木学会論文集, 第509号/II-30, pp. 169-181.
- 堀川清司 (1985): 海岸環境工学—海岸過程の理論・観測・予測手法—, 東京大学出版会, pp. 467-469.
- 横山秀勝 (2002): 濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察, 土木工学論文集, No. 698/II-58, pp. 93-98.
- Ciavola, P., R. Taborda, O. Ferreira, and J.M.A. Dias (1999): Sand transport measurement on beaches: an intercomparison between fast response sensor (OBS) and fluorescent tracer disposal, *Proceedings of Coastal Sediments '99*, pp. 955-969.
- Greenwood, B., P.D. Osborne, A.J. Bowen, D.G. Haze, and A.E. Hay (1990): Nearshore sediment flux and bottom boundary dynamics—the Canadian coastal sediment transport program (COAST), *Proceedings of 22nd International Conference on Coastal Engineering*, pp. 2227-2240.
- Kraus, N.C. (1987): Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment rates in the surf zone, *Journal of Coastal Research*, Vol. 3, No. 2.
- Nielsen, P. (1984): Field measurements of time-averaged suspended sediment concentration under waves, *Proceedings of 19th International Conference on Coastal Engineering*, pp. 51-72.
- Sugawara, R., H. Tanaka and H. Yamaji (2003): Development of profiler system for suspended sediment concentration, *Proceedings of 2nd Asian and Pacific Coastal Engineering Conference*. (CD-ROM)