

深浅測量データ解析による平面漂砂量分布 の簡易推定法

A SIMPLE ESTIMATION METHOD FOR SPATIAL DISTRIBUTION OF SEDIMENT TRANSPORT RATE USING DATA OF TOPOGRAPHIC CHANGES

香取完和

Sadakazu KATORI

正会員 工修 (有)ラボコスタ (〒142-0053 東京都品川区中延 2-9-2 北村ビル1階)

To explore the effective countermeasures against erosion of beaches, shoaling of harbors and blocking of river mouths, it is essential to acquire information on the direction and the volume of net sediment movement. However, much difficulty has encountered in field measurements of these physical quantities. So these physical quantities are usually estimated by analyzing data of topographic changes.

This study will present a new simple scheme for estimation of the spatial distribution of net sediment transport rate on the basis of bathymetric survey data. The present method facilitates practical applications.

Key Words : Estimation method, sediment transport rate, topographic change, bathymetric survey data

1. はじめに

海岸侵食対策,あるいは港内堆砂対策等の検討に当っては,土砂の移動経路・移動量の把握が重要であるが,現在の計測技術ではこれらの量を直接測定することが難しく,深浅測量結果から間接的に推定することが多い。しかし,これまでの深浅測量データ解析では,侵食量あるいは堆積量を評価するに留まっている場合が多く,土砂の移動経路・移動量の解析が充分行われていないのが現状である。これは,海域での土砂移動機構が本来的に複雑で,結果である水深変化量だけでは土砂の移動経路・移動量の把握が難しい(既知量に比べ未知量が多い)ことが根本にあるものの,経験的固有関数法¹⁾あるいは漂砂ポテンシャル関数を用いた方法²⁾等の従来の解析手法に扱いの難しさがあることにも起因している。

本解析手法は,土砂量の保存式を基本とした単純なものであり,原理が平易なため扱いも容易である。既知量に比べ未知量が多いという根本的な問題のため,納得できる結果を得るには推測による補完も一部必要となる場合があるが,別途推定される外力,あるいは経験的に想定される土砂移動経路パターン

などの情報が容易に取り込める長所を有する。

2. 解析手法

深浅測量結果から得られる地形変化量の平面分布をメッシュデータ化する。そして図-1に示すように,今番号 i, j のセグメントに注目し,ここでの地形変化量が $\Delta h_{i,j}$ であるとし,この地形変化が他のセ

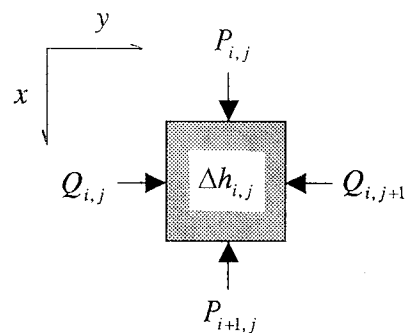


図-1 P, Q の定義

グメントのものと独立に発生したものとす。この場合、番号*i, j*のセグメントに注目する限り、他のセグメントでは地形変化量が0である場が想定できる。

地形変化量 $\Delta h_{i,j}$ が単位幅当りの漂砂量*P, Q*で発生したとすると、式(1)が成り立つ。

$$\frac{\Delta h_{i,j}}{\Delta t} = \frac{P_{i,j} + P_{i+1,j}}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j} + Q_{i,j+1}}{\Delta y} \quad (1)$$

ここで、 Δt は測量時間間隔である。式(1)について若干説明を加えると、右辺の分子が足し算になっているのは、*P, Q*が $\Delta h_{i,j}$ に直接寄与した漂砂量のみを考慮しているためである。つまり、 $\Delta h_{i,j}$ が正の時、*P, Q*は全て正であり、 $\Delta h_{i,j}$ が負の時、*P, Q*は全て負である。注目するセグメントを通過する量まで含むものにするると解は一義的に定まらない。また、通過してしまう土砂は地形変化に寄与せず、土砂の堆積、あるいは侵食問題に直接関係しないことから首肯される扱いと考えられる。

次に、*P, Q*は外力等によって決まる底質の動き易さ関数*Fx, Fy*、係数*K*を用いて、 $P = K Fx$ 、 $Q = K Fy$ と表されるとすれば、式(1)から係数*K*が次式のように得られ、よって注目するセグメント*i, j*での漂砂量*P, Q*が決定される。

$$K = \left(\frac{\Delta h_{i,j}}{\Delta t} \right) / \left(\frac{Fx_{i,j} + Fx_{i+1,j}}{\Delta x} + \frac{Fy_{i,j} + Fy_{i,j+1}}{\Delta y} \right) \quad (2)$$

底質の動き易さ関数としては、一般の漂砂量算定式で良く使われるシールズ数 ψ あるいは ψ^n などが考えられる。底質の動き易さ関数の評価が難しい場合には、 $Fx = 1, Fy = 1$ とすれば良い。その場合、 $\Delta x = \Delta y$ の時には4辺から均等に土砂の供給があったことになる。なお、底質の動き易さ関数*Fx, Fy*の評価は相対的なもので充分であり、平面全体の最大値として1程度の値として良く、基本としている土砂量の保存式が地形変化量を支配的に説明する。

一方、番号*i, j*以外のセグメントでは地形変化量が0を想定しているので以下の関係が成り立つ。なお、*p, q*はそれぞれ*x, y*方向に正とする単位幅当りの漂砂量である。

$$\frac{p_{i,j} - p_{i+1,j}}{\Delta x} + \frac{q_{i,j} - q_{i,j+1}}{\Delta y} + e_{i,j} = 0 \quad (3)$$

式(3)に最小自乗法を適用すると、誤差 $e_{i,j}$ を最小にする $p_{i,j}$ の関係式は

$$p_{i,j} = \frac{1}{2} \left\{ (p_{i-1,j} + p_{i+1,j}) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (q_{i-1,j} - q_{i-1,j+1} - q_{i,j} + q_{i,j+1}) \right\} \quad (4)$$

式(4)にSOR法(逐次過緩和法)を適用し、さらに底質の動き易さ関数*Fx, Fy*を加味すると次式となる。

$$p_{i,j}^{m+1} = p_{i,j}^m + \frac{\alpha Fx_{i,j}}{2} \left\{ (p_{i-1,j}^m - 2p_{i,j}^m + p_{i+1,j}^m) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (q_{i-1,j}^m - q_{i-1,j+1}^m - q_{i,j}^m + q_{i,j+1}^m) \right\} \quad (5)$$

i = 1の時

$$p_{1,j}^{m+1} = p_{1,j}^m - \alpha Fx_{1,j} \left\{ (p_{1,j}^m - p_{2,j}^m) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (q_{1,j}^m - q_{1,j+1}^m) \right\} \quad (6)$$

i = *Nx* + 1の時

$$p_{Nx+1,j}^{m+1} = p_{Nx+1,j}^m + \alpha Fx_{Nx+1,j} \left\{ (p_{Nx,j}^m - p_{Nx+1,j}^m) + \frac{\Delta x}{\Delta y} (q_{Nx,j}^m - q_{Nx,j+1}^m) \right\} \quad (7)$$

同様に、 $q_{i,j}$ に対する関係式は

$$q_{i,j}^{m+1} = q_{i,j}^m + \frac{\alpha Fy_{i,j}}{2} \left\{ (q_{i,j-1}^m - 2q_{i,j}^m + q_{i,j+1}^m) + \frac{\Delta y}{\Delta x} (p_{i,j-1}^m - p_{i+1,j-1}^m - p_{i,j}^m + p_{i+1,j}^m) \right\} \quad (8)$$

j = 1の時

$$q_{i,1}^{m+1} = q_{i,1}^m - \alpha Fy_{i,1} \left\{ (q_{i,1}^m - q_{i,2}^m) + \frac{\Delta y}{\Delta x} (p_{i,1}^m - p_{i+1,1}^m) \right\} \quad (9)$$

j = *Ny* + 1の時

$$q_{i,Ny+1}^{m+1} = q_{i,Ny+1}^m + \alpha Fy_{i,Ny+1} \left\{ (q_{i,Ny}^m - q_{i,Ny+1}^m) + \frac{\Delta y}{\Delta x} (p_{i,Ny}^m - p_{i+1,Ny}^m) \right\} \quad (10)$$

ここで、*m*は繰返し計算ステップ番号、 α は加速係数である。*Nx, Ny*は*x, y*方向のセグメント数で、メッシュ数はそれに1を足した数となる。

以上のように、本解析手法は、注目するセグメントの4辺での漂砂量*P, Q*を設定した後、これを境界条件として他の領域での通過量*p, q*を求めるものである。注目するセグメントを順次替えて*P, Q, p, q*を算定し、それらを地点毎に合計することにより全体としての平面漂砂量分布が評価される。外周境界付近の解は、境界の影響を受け歪んだものになる場合があるが、外周の外側にダミー領域を設けることにより改善される。

3. 基本特性

まず、1次元の場合について説明する。図-2は水路内のような1次元の地形変化に本手法を適用して得られる漂砂量分布である。ここではメッシュ間

隔を1 mとし、 1 m^3 の堆積と侵食があった場合を想定している。図中Aの堆積セグメントに関しては、このセグメントの左側で 0.5 m^3 、右側で -0.5 m^3 の漂砂量が設定される。Bの侵食セグメントに対しては、その左側で -0.5 m^3 、右側で 0.5 m^3 となる。AとBの結果を合計すると、侵食セグメントから堆積セグメントに向かって 1 m^3 の土砂が移動したと計算され、常識的な結果を得る。

図-3は、1次元地形変化でも外力の働く方向が明確な場合である。ここでは図中右から左に向う流れが土砂の移動を起こしている場合である。土砂は流れの下流側に移動するという経験から、堆積・侵食セグメント端での設定は変更され、計算された結果の合計A+Bは図-2の場合と異なるものになる。このように経験的に判断される土砂の移動方向等の

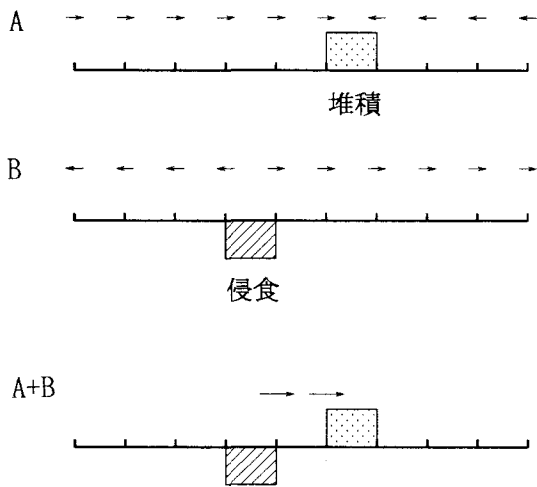


図-2 1次元漂砂量分布

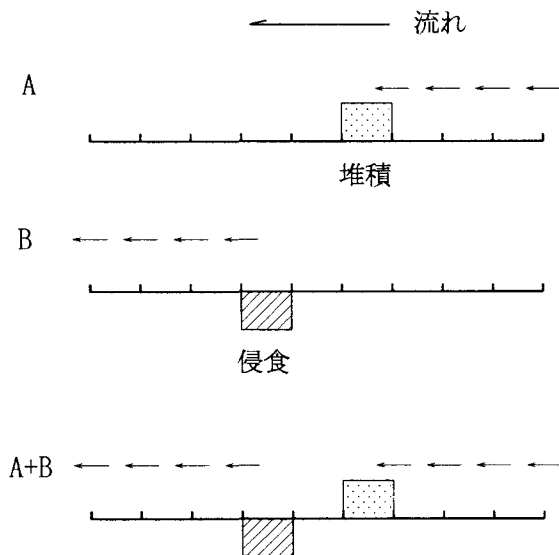


図-3 1次元漂砂量分布（流れあり）

情報を容易に加味できるのが本解析手法の特徴である。先にも述べたように、深浅測量データから漂砂量を算定する場合、既知量に比べ未知量が多いという根本的な問題があるため、別途推定される外力、あるいは経験的に想定される土砂移動経路パターンなどの情報が容易に取り込める必要性が認識される。

図-4は、平面漂砂量分布の一例である。各ケー

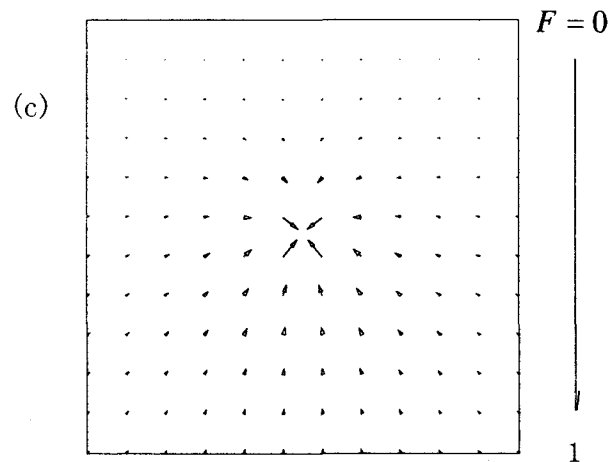
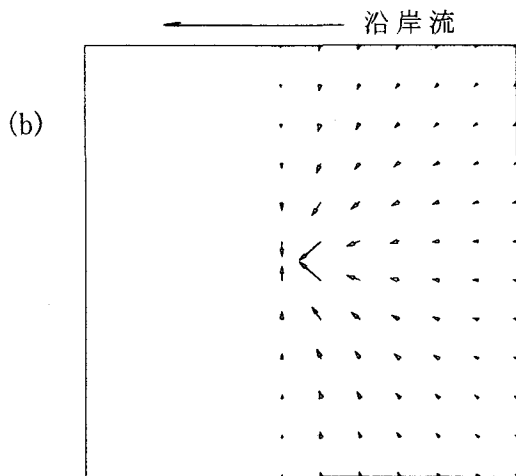
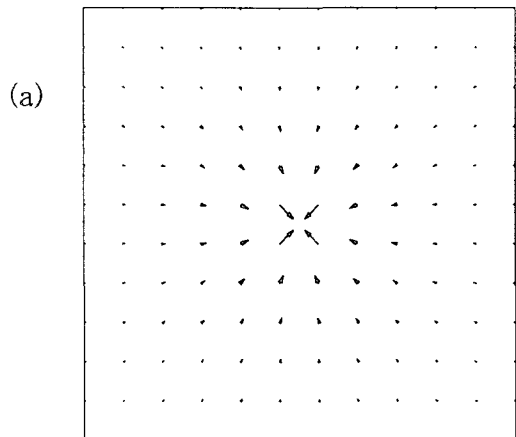


図-4 平面漂砂量分布

スとも、図中中央のセグメントのみに土砂が堆積し、他のセグメントでは地形変化が無い場を想定している。図中の矢印は漂砂量ベクトルで、各セグメントの辺の通過量として計算される漂砂量を用い、格子点の値を内挿して求めたものを表示している。(a)は地形変化の外的要因が明確でなく、四方から均等に土砂が供給されたと判断される場合の計算結果である。これに対し(b)では場全体に右から左に向う沿岸流が卓越し、流下方向への土砂移動のみが可能と判断される場合である。 P 、 Q の設定は、注目する中央のセグメントの左辺での漂砂量を0とし、他の3辺で堆積土砂量の1/3を均等に与える。 p 、 q を求める繰返し計算の中で、右に向う土砂量が計算された場合にそれを0に置き換えつつ計算を進めれば良い。遮蔽物がある場合なども遮蔽境界で同様の操作を行うことになる。(c)は砕波帯内のように岸沖方向で土砂の動き易さが異なると判断される場合である。ここでは底質の動き易さ関数 F を図中上端で0、下端で1とした結果を示している。(a)に比べ下端側からの土砂供給量が多くなっており、底質の動き易さ関数 F を用いることの有効性が認められる。

4. 現地深淺測量データへの適用

本解析手法の適用性を検討するために、現地深淺測量データの解析を行った。用いたデータは、北海道内浦湾内に位置し、我国で最初に建設された島式漁港である国縫漁港周辺で計測されたものである³⁾。

図-5は、(a)漁港が建設される前(1989年8月)、(b)完成直後(1994年11月)と(c)両者を差分して得られる地形変化量分布である。島式漁港は沿岸漂砂を遮断しないように沖合に建設されたが、地形変化に見るように沖合に建設された漁港が離岸堤と同様の効果を示し、周辺汀線域から漁港背後域に大量の土砂を引き込んだことがわかる。港内にも土砂の堆積が見られる。このような地形変化が生じる主要因は、島式漁港背後に形成される循環流であると判断される。

ここで流れのパターンを海浜流の計算をすることなしに簡易に作成する方法を考えてみる。図-6は地形変化の状況から経験的に推測される流れの主要パターン線を示したものである。これに周囲の格子点での流向が合致するようにすれば良いと考えられる。主要パターン線を用いて内捜あるいは外捜から格子点での流向を幾何学的に求めることとし、まず構造物等の不透過境界での流向を求める。不透過境界での流向は壁面に沿う方向に限られ、その向きの正負のみが問題となるが、壁面から最も近い主要パターン線の流向から判断すれば良い。図-6の場合、不透過境界は漁港の他に岸側端の沿岸方向に

1ライン設けている。

主要パターン線の流向および不透過境界でのものを基本流向ベクトルとして、各セグメント辺での流向を内捜あるいは外捜から算定する。この時、最寄りの基本流向ベクトルまでの距離を重みとして、この距離が遠くなるに連れて求まるベクトル長を短くする。つまり、主要パターン線の影響範囲を限定することにより、流れによる土砂移動域とそれ以外の要因による領域が区分される。

図-7は上述の流れベクトル評価手法により、島式漁港背後域の循環流場を求めた結果である。流量は保存されたものではないものの、推測される循環流の流況が良く表現されている。

図-8は、推測した流れのベクトル分布を用い、ベクトル長が有意な領域では土砂移動方向は流向に逆行しないという条件を付加して漂砂量を求めた結果である。底質の動き易さ関数 F_x 、 F_y は、砕波帯内(水深5m以浅とした)では1とし、砕波帯外では水深10mで0となるように水深に比例させて変化させた。図-5から理解されるように、地形変化は外力評価の特に難しい陸域部でも発生しており、底質の動き易さ関数 F_x 、 F_y の設定がこの程度に留まるもので充分と考えられる。図-8の結果を見ると循環流に乗って大量の土砂が漁港背後に移動した様子が明瞭で、その一部は港内へも達している。漂砂量の計測はされていないので解析結果の精度に言及できないが、解析結果は想像される漂砂量分布を良く具現している。

北海道函館土木現業所の調査結果⁴⁾によると、当漁港周辺での波向はSEが約9割の発生頻度を占める。常時波浪時の沿岸流の向きはN寄りであるものの、高波浪時にはS寄りの沿岸流の発生が見られると報告されている。このような現地の流況から判断しても、漁港建設前後の平均的で主要な土砂移動機構としては、図-7、図-8に示した結果は妥当なものと思われる。

なお、現在までのところ加速係数 α は0.4程度の小さな値でないと計算が安定しない。このため解の収束に計算時間を要するが、これに関しては今後の課題としたい。

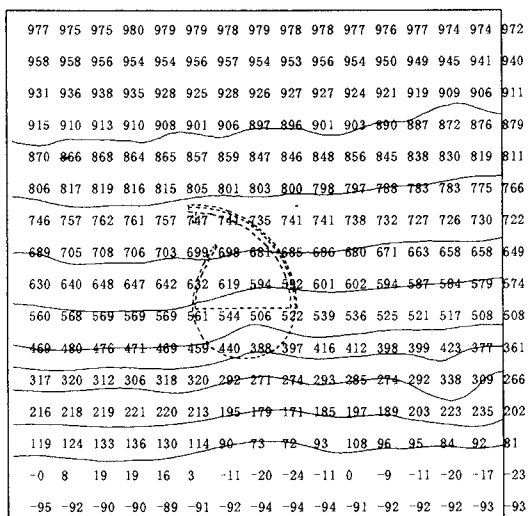
5. おわりに

本解析手法は、土砂の保存式を満たしつつ、土砂移動を励起する外力を容易に取り込むことができる。外力の評価も高い精度を要しないため、実務上有用な解析手法と言える。外力の評価が特に難しい汀線部から陸側のことを考えれば、簡易な解析手法が望まれることが理解される。

解析に人為的判断を要するところもあり、不満を持たれる向きもあると思われるが、経験から得

単位：c m

1 0 0 m



(a) 底面地形 (漁港建設前)

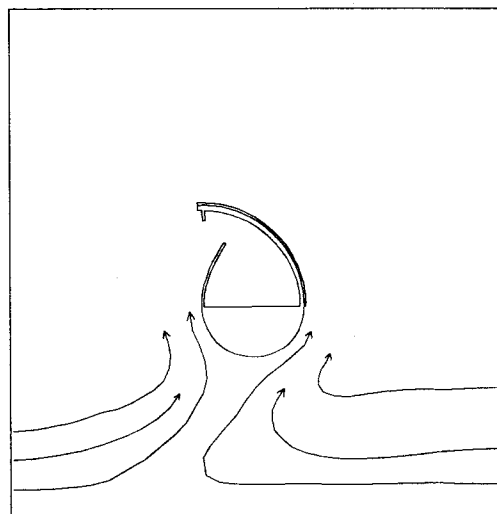
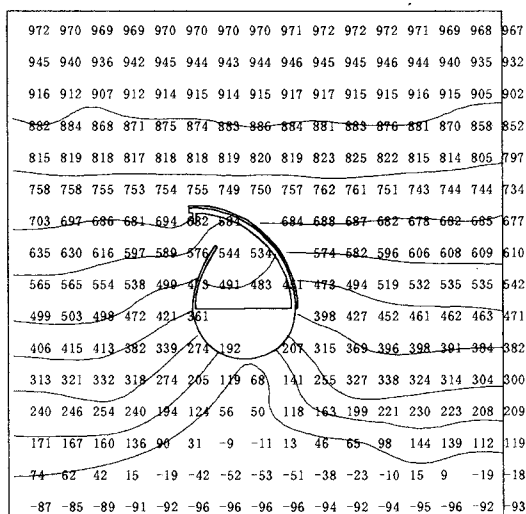


図-6 流れの主要パターン線



(b) 底面地形 (漁港建設後)

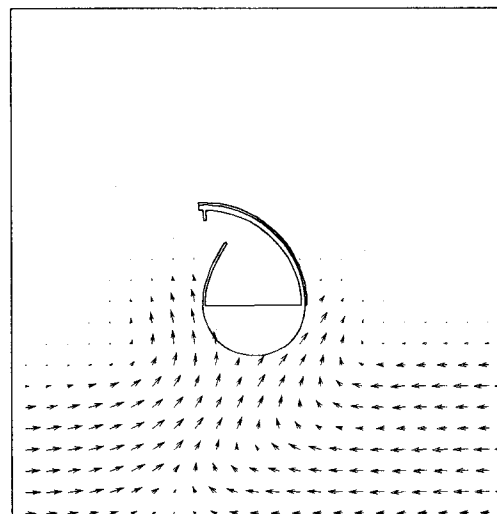
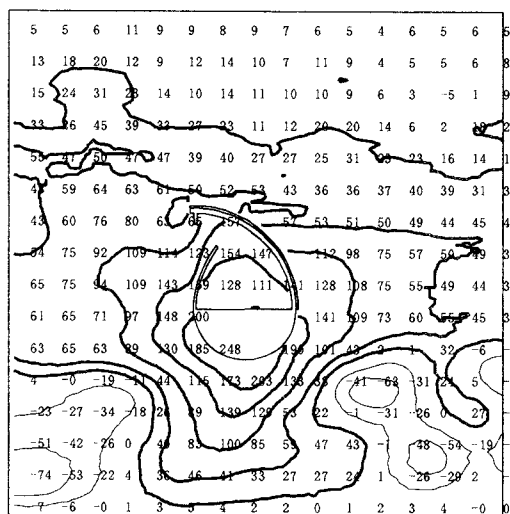


図-7 流れのベクトル分布



(c) 地形変化量分布

図-5 島式漁港周辺での地形変化

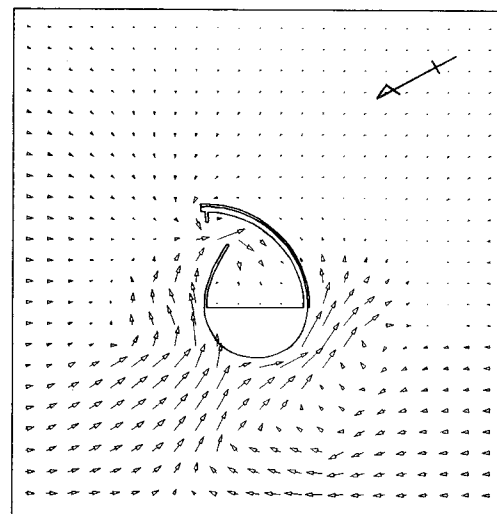


図-8 漂砂量分布

られる知見も高く評価されるべき技術要素であり、それらの知見が容易に解析に反映されるのが本手法の長所である。

謝辞：現地観測資料の閲覧に快くご協力戴いた公立はこだて未来大学長野章教授および北海道函館土木現業所の方々に震撼の謝意を表する。

参考文献

- 1) 加藤一正，吉松晃：三次元の経験的固有関数による深浅図解析法，港研報告，第 23 卷，第 2 号，pp. 27-47，1984.

- 2) 泉谷尊司，内山岳士：漂砂ポテンシャル関数を用いた平面二次元の漂砂量ベクトルの推定法に関する研究，海岸工学論文集，第 39 卷，pp. 321-325，1992.
- 3) 岸弘達，神原一雄，長野章，氏井健一，佐々木崇之：沿岸漂砂系の中に建設された島式漁港とその評価，海岸工学論文集，第 47 卷，pp. 571-575，2000.
- 4) 北海道函館土木現業所，平成 11 年度長万部漁港改修工事漂砂調査解析報告書作成委託報告書，現地観測編，2000.