

周防灘南部沿岸域の発電所港湾におけるシルテーションについて

A Study on Siltation in a Power Plant Basin at the Southern Shore of the Suo-Nada Sea

金山 進¹・水流正人²・佐貫 宏³・半澤一弘⁴・小嶋 浩⁵

Susumu KANAYAMA, Masahito TSURU, Hiroshi SANUKI, Kazuhiro HANZAWA and Hiroshi KOJIMA

The siltation mechanism in power plant basin located at silty coast in southern shore of the Suo-nada sea was investigated by topographic survey and numerical analysis. Two patterns are recognized in annual depth change to characterize the siltation mechanism in this site. One of them is flat silting at navigation and anchorage area mostly occurs in usual wave condition. Another pattern occurs in annual depth change with tough wave condition which characterized with erosion at navigation area and concentrated silting in trench for cooling water intake the innermost area in the basin. These depth change patterns were described by numerical model. In the second pattern, influence of the density current created by suspended sediment with high concentration was suggested.

1. はじめに

周防灘の南岸に位置する九州電力(株)豊前発電所は底泥堆積域に設けられた航路・泊地, 取水塔トレンチを利用している。これらの運用はシルテーションによる地形変化の動向を監視しつつ行われているが, 高波浪の来襲頻度が高かった至近年は過去の深浅測量結果とは様相が異なった地形変化が現れており, 当該地点のシルテーション機構の把握と予測手法の構築は, 効率的な維持浚渫の計画, さらには埋没対策工を検討する上からも重要な課題となっている。

本研究では, 過去十数年におよぶ深浅測量データの解析と数値シミュレーションに基づき, 当該地点のシルテーション機構の解明と地形変化予測手法の構築を試みた。

2. 対象地点

対象地点である九州電力(株)豊前発電所は, 図-1 に示すように福岡県の東部, 周防灘の南岸に位置する火力発電所であり, 近年は電力需要に対応した夏季のみの運転が行われている。冷却水取水塔トレンチおよび燃料運搬船の泊地の一部は発電所用地護岸と地方港湾である宇島港の外郭施設に挟まれた水域に位置しているが, 泊地の一部および航路部は発電所用地よりも沖に及んでおり, 掘り下げられた航路・泊地部に対して法面を形成している水域西側には外郭施設は設けられていない。周辺海域の底質はシル

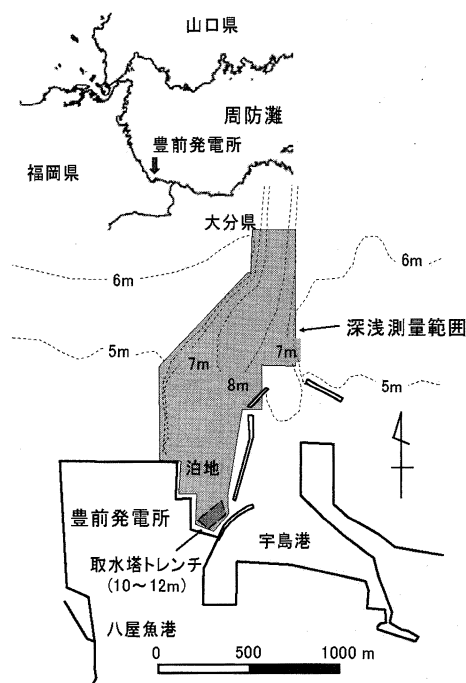


図-1 豊前発電所

ト・粘土成分が主体であり, 発電所用地の南西にあたる八屋漁港周辺の入り江は泥浜干潟である。

3. 地形変化特性

燃料運搬船の安全円滑な運航に資するための深浅測量は図-1 に示す範囲を対象に年 1 回の頻度で実施されているが, 毎年の侵食堆積分布から地形変化の例を示したものが

- | | | |
|---------|------|--------------------|
| 1 正 会 員 | 博(工) | 五洋建設(株)技術研究所 部長 |
| 2 正 会 員 | | 五洋建設(株)土木設計部 設計課長 |
| 3 正 会 員 | 工修 | 五洋建設(株)北陸支店 工事主任 |
| 4 | | 九州電力(株)北九州支店技術部 副長 |
| 5 正 会 員 | | 九州電力(株)北九州支店技術部 |

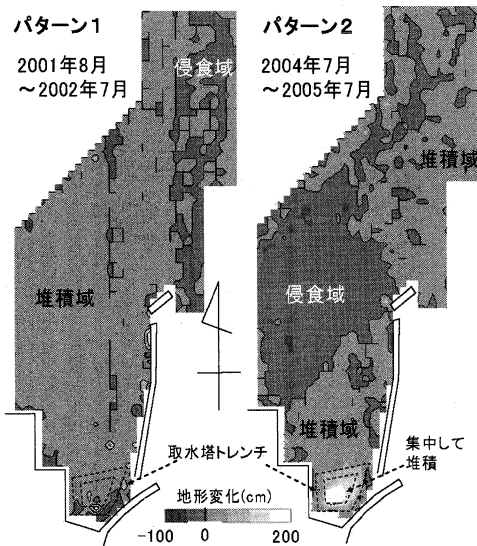


図-2 年間地形変化の代表的パターン

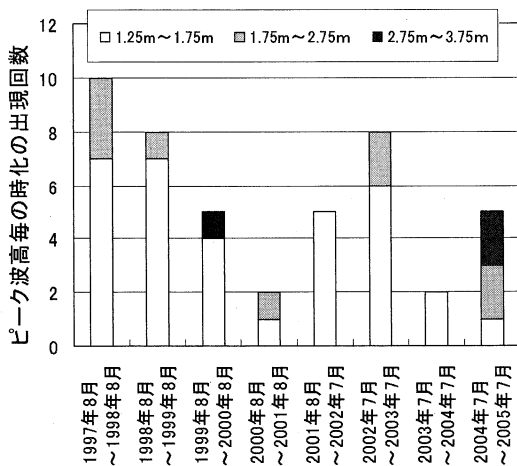


図-3 時化の出現回数

図-2である。

当地点の地形変化は、2001年8月～2002年7月の期間の例にみられるように、周辺海域よりも深く掘り下げられた形となっている航路・泊地域が全般的に堆積傾向を示すもの（パターン1）と2004年7月～2005年7月にみられるように航路区域内に侵食域を伴いつつ取水塔トレンチへ集中して堆積が生じるもの（パターン2）に分類される。なお、パターン2が現れた2004年7月～2005年7月の期間では冷却水の取水が行われている間には顕著な高波浪は来襲していない。

ほとんどの年の地形変化はパターン1に分類され、パターン2に分類されるのは、近隣の荻田地点のナウファスデータが安定して取得されるようになった1997年以降に限れば

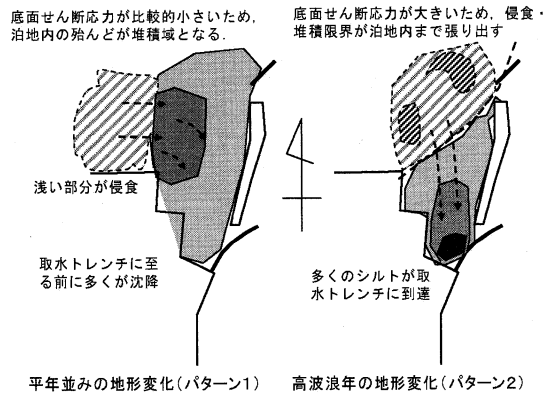


図-4 地形変化パターンの模式図

図に例示された2004年7月～2005年7月の期間のみであり、これ以前では、1989年12月～1990年11月の期間にまで遡って一例のみ認められる。

パターン1の地形変化による航路・泊地の平均堆積厚は数cm/年程度であり、これが続く限りは水深管理を計画的に行うことは困難ではない。しかしながら、パターン2が出現して取水塔トレンチへの埋没が生じた場合には早急な対策が必要となることが多く、パターン2の発生機構を把握することは効率的な維持浚渫の計画、さらには埋没対策工を検討する上からも重要である。

図-3は1997年以降の荻田地点のナウファスデータを対象に年毎の時化の回数を整理したものであるが、パターン2が現れた2004年7月～2005年7月の期間は他と比べてピーク波高の大きな時化の出現回数が多いことがわかる。これらのことから、上記の地形変化パターンに対して図-4の模式図のような機構が推定される。すなわち、比較的穏やかな波浪条件の下では発電所航路区域の西側を始めとする周辺からの埋没が主体となるが、激しい高波浪の下では航路区域に侵食域が現れ、さらに奥の取水塔トレンチに著しい堆積を生じるというものである。

なお、当地点は荻田地点から南東に15Km程度離れているが、両地点の局地波浪推算データベースを比較して良好な相関を有することを確認した上で、当地点の地形変化と波浪特性の関係を論じる際に荻田地点のナウファスデータを用いた。

4. 数値シミュレーションによる検討

当地点の地形変化に対する上記の考察に力学モデルによる裏付けを与えることを目的として数値シミュレーションによる検討を行った。

(1) 数値モデルの概要

数値シミュレーションには3次元の潮流モデルと巻き上げ項と沈降項を有する3次元の移流拡散モデルを用いた。予め計算した屈折・碎波・浅水係数の場にモデル化された波高時系列を乗じて得られる波高・底面せん断応力場の下でシルテーションモデルを駆動させ、一時化単位での地形

変化を計算するものである。

山口県光市と大分県国東市を結ぶラインを潮流計算の境界条件とし、周防灘全域を対象とする広領域（格子間隔10Km）から豊前火力発電所と宇島港を含む2Km×1.6Kmの最狭領域（格子間隔20m）までをネスティングにより離散化した。層分割はレベルモデルを採用し、D.L.+2mを静水面とし、そこから4mの厚さを有する最上層の下に1m間隔で層を配置した。

計算に用いる入射波高時系列は、過去の台風の例を参考に15時間でピーク波高まで上昇した後に10時間で静穏状態（波高25cm）まで低下するようにモデル化した。ピーク波高は、図-3の波高分割の各段階の代表値である1.5m、2.25m および3.25mに1.0mを加えた4段階を設定した。今回の計算では、いずれのケースも波高時系列と潮汐の位相関係は、波高ピーク時に下げ潮、すなわち航路区域西側からの流れが最強となるように設定した。

シルテーションモデルの巻き上げ項Eおよび沈降項Dは、以下に示すように、細川ら(1986)においてOwen型と分類されるタイプのものを用い、各パラメータは深浅測量に対する再現性が得られるように同定を行い、巻き上げ限界掃流力 τ_e は0.2Pa、巻き上げ定数Mは0.2g/m²/s、沈降限界掃流力 τ_d は0.05Paとした。沈降速度 w_s は0.8mm/sとし、浮遊土粒子濃度によらず一定とした。底面濃度 C_k は各地点の最下層における浮遊土粒子濃度を用いた。

$$E = M \left(\frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right) \quad ; \tau \geq \tau_e \\ = 0 \quad ; \tau < \tau_e \quad (1)$$

$$D = w_s C_k \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d} \right) \quad ; \tau \leq \tau_d \\ = 0 \quad ; \tau > \tau_d \quad (2)$$

当地点のような底泥域での航路埋没問題には高濃度浮泥層の挙動が問題となることが知られており、鶴谷ら(1994)のようにビンガム流体としての特性を考慮したfluid mudのモデル（Odd and Cooper；1989）を導入している例があるが、ここでは、ブシネスク近似、静水圧近似に基づく密度流計算において次式によって算定される流体密度を用いる単純な方法を試した。

$$\rho = \rho_w \left\{ 1 + \frac{C}{10^6} \left(\frac{1}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_s} \right) \right\} \quad (3)$$

ここで、 ρ_w は浮遊粒子を含まない場合の流体の密度（1.03に設定）、 ρ_s は浮遊粒子の密度（2.65に設定）であり、浮遊土粒子濃度Cの単位はmg/Lである。

(2) 計算結果

図-5は、波高段階別の一時化あたりの地形変化計算結果を示したものである。ピーク波高1.5m以下では航路区域のほぼ全域が堆積域となっており、平年並の地形変化であるパターン1との対応が推定される。一時化あたりの堆積厚は10cmに達していない。ピーク波高が2.25mおよび3.25mのケースは航路区域内への侵食域の侵入と取水トレ

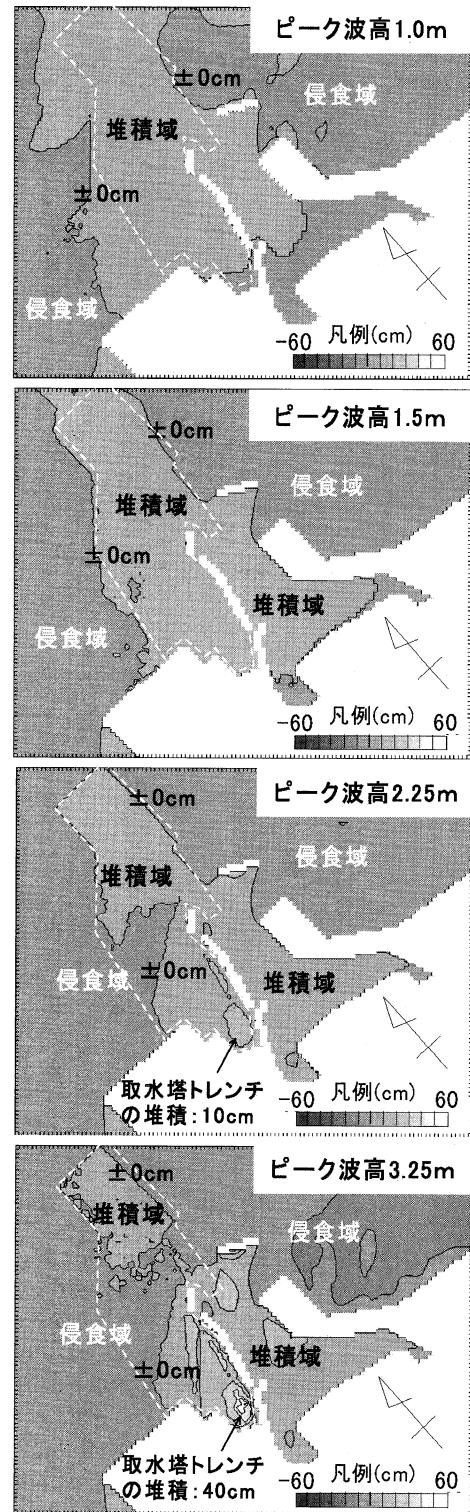


図-5 波高段階別の一時化あたりの地形変化計算結果

ンチへの集中した堆積が認められ、高波浪年にみられる地形変化であるパターン2の特徴を有している。一時化あたりの取水トレンチへの堆積厚はピーク波高2.25mの場合で10cm、ピーク波高3.25mの場合で40cmという計算結果となっている。

図-6は、地形変化パターン2の特徴のうち取水トレンチへの集中的な堆積の発生機構について検討する目的で、ピーク波高3.25mのケースに対して最下層濃度の変化を示したものである。波高最大時を含む5時間の状況を密度流の効果を検討した場合としない場合について比較した。密

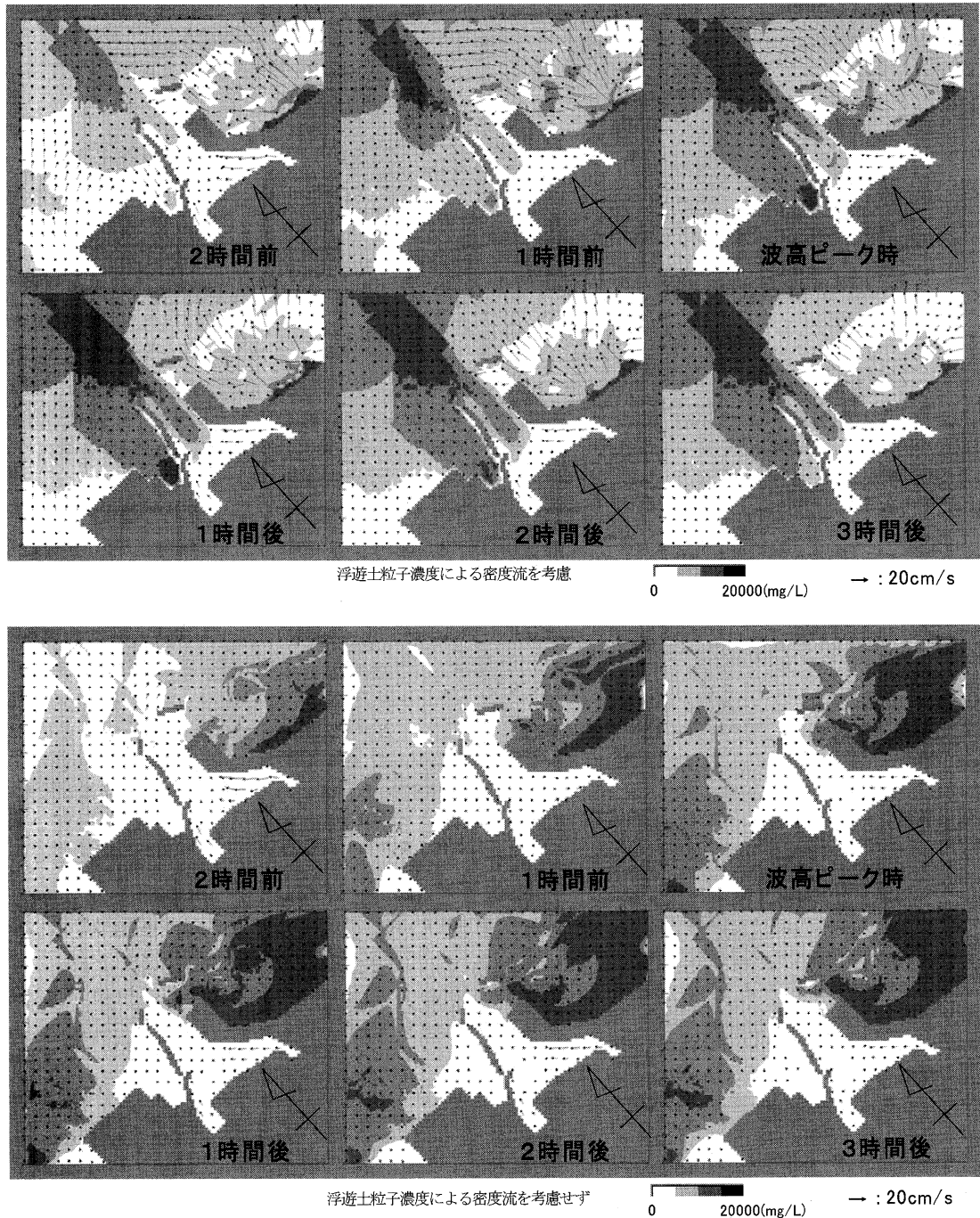


図-6 最下層濃度の変化（ピーク波高3.25mのケース）

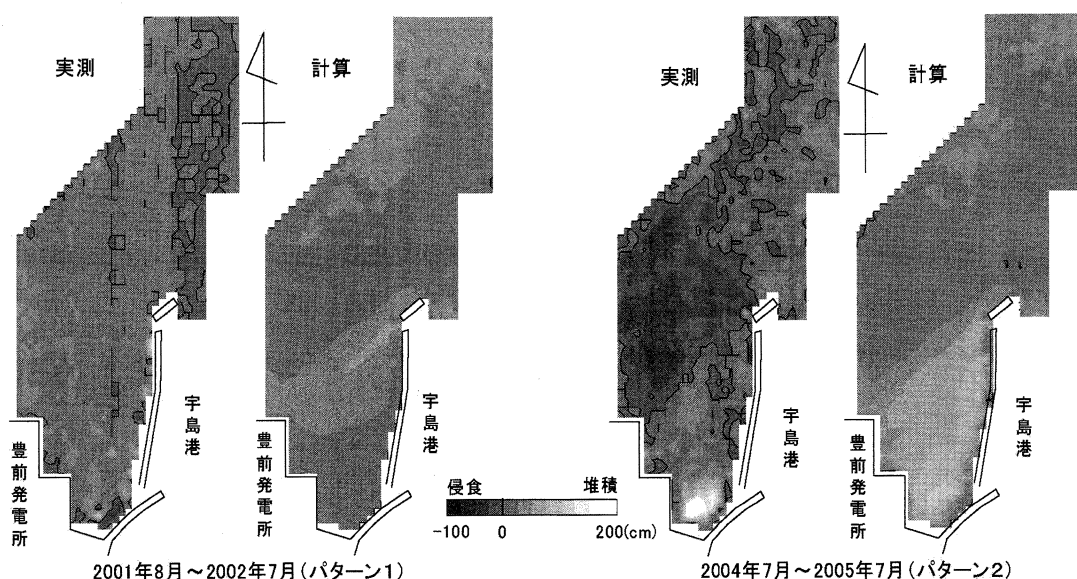


図-7 年間の地形変化に対する再現性

度流を考慮しない場合は、宇島港東側（図の右上）と発電所用地沖側を中心に濃度が上昇しているが泊地や取水トレンチへ高濃度が波及する様子は認められない。これに対して、密度流を考慮した場合は、宇島港東側から航路区域の沖側（図の左上）へ向けて高濃度浮遊泥が流入集積するとともに、これらが航路に沿って取水塔トレンチにまで流れ込んでいる状況を読み取ることができる。取水塔トレンチへの高濃度浮遊泥の流入は波高ピーク時の2時間後には終息に向かっており、この現象は短時間に集中して生じるものと思われる。

当地点においては、このような現象に関する実測データが存在するわけではないが、浮遊土粒子による下層密度流が底質の移動に重要な役割を担うことは広く知られており（例えば、福岡・Parker; 1985）、地形変化パターン2における取水塔トレンチへの集中した堆積は高濃度浮遊泥の密度流としての挙動によるものである可能性が高い。

図-7は、対象期間の波高段階別の時化の来襲回数に応じて図-5の計算結果を重ね合わせて深浅測量による地形変化と比較したものである。地形変化パターンを明瞭にするため侵食・堆積の境界線を実線で示した。

高波浪年の代表例である2004年7月～2005年7月の地形変化については、ピーク波高2.25m以上の一時化あたり地形変化において再現されていた領域西側の侵食域が年間の地形変化では再現されていないものの、泊地・取水塔トレンチでの堆積パターンには概ね良好な再現性がみられる。

平年並の代表例である2001年8月～2002年7月の地形

変化については計算による堆積域が泊地部の沖側、宇島港防波堤の西側に集中し過ぎている感があるが、取水トレンチへの顕著な堆積が生じていないという点では、この年の地形変化の特徴が表現されているといえる。

5. おわりに

比較的穏やかな時化の下では発電所航路西側等からの埋没が卓越し、激しい高波浪時には航路区域に一部侵食域を伴いながら取水塔トレンチ部に集中したシルト堆積が生じるという当地点の特徴的な地形変化機構がシルテーションモデルによって再現・解明された。

取水トレンチへの堆積には、高濃度浮遊泥の密度流的な挙動が大きく影響している可能性が高く、平年並の侵食・堆積傾向から類推することは困難であり、底泥堆積域での航路・泊地の運用・管理において力学モデルに基づく地形変化予測が重要な役割を果たすことを示すものである。

参考文献

- 鶴谷広一・村上和男・入江 功・笹嶋 博・糸井正夫(1994): Fluid mudを考慮した三次元シルテーション予測モデルについて, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.1011-1015.
- 福岡祐介・G.Parker(1985): 自己加速する泥水流に関する研究, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.1011-1015.
- 細川恭史・田中則男・久高将信・佐藤勝弘(1986): トレンチ内に堆積する浮泥量の予測手法と現地への適用例, 第33回海岸工学講演会論文集, pp.312-316.
- Odd, N.V.M and A.J.Cooper(1989): A two-dimensional model of movement of fluid mud in a high energy turbid estuary, Jour. of Coastal Res., Special issue No.5, High Concentration Cohesive sediment Transport, pp.185-193.