

海域における粘土粒子の拡散解析

EXAMINATION OF THE SEDIMENTATION DIFFUSION MODEL OF CLAY PARTICLES IN THE SEA

太田 吉陽¹・和田 明²・賀上 裕二³・三浦 正一⁴
Yoshiharu OTA, Akira WADA, Yuji KAGAMI, Masakazu MIURA

¹学生会員 日本大学大学院 生産工学研究科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町一丁目2-1)

²正会員 工博 日本大学大学院教授 生産工学研究科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町一丁目2-1)

³正会員 株式会社水圏科学コンサルタント (〒145-0064 東京都大田区上池台一丁目14-1)

⁴工修 株式会社日本科学技術研修所 (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷五丁目10-9)

It is well known that colloidal particles, such as clay minerals, which enter into the sea from river inflow, change their sedimentation velocity due to the interaction with other particles as aggregation and disaggregating. These mechanisms are comparable to that of the scavenging effect used for the sedimentation / diffusion analysis of radioactive materials. So, in this research, concentration analysis was conducted on the basis of a soil discharge scenario with considerations given to flow, mixing, scavenging. Using this sedimentation-diffusion model it is possible to predict the amount of clay particles, which reach the seabed near shore or river mouth based on aggregation / disaggregating interactions.

Key Words: clay particle, sedimentation-diffusion model, scavenging, aggregation, sedimentation

1. はじめに

現在, 多量の土砂流入によって引き起こされるダム貯水池内への堆砂は, 水資源開発, 洪水調節などを目的として建設されたダムにとって本来の機能を維持する上で大変深刻な問題となっている^{1), 2)}. また, 下流における河床低下や海岸部の侵食なども上流貯水池における堆砂が一つの原因になっている³⁾. 今後, 水資源の管理と流砂系におけるバランスのとれた総合的な土砂管理を実現させるためには, その要となるダム貯水池の適切な土砂管理が必要不可欠である.

その解決策として, 日本国内の幾つかのダムでは, 貯水池内の堆積土砂量を減少させるために, 排砂ゲートやバイパストンネルの設置を行い, 直接土砂を下流へ排出する方法を採用している. ダムから多量の土砂が排出されると, 高濁度水が下流域だけでなく河口沿岸域にも到達し, 一時的な濁度上昇が起こる. これは, 河口域に達する濁水中に, 微細な粘土粒子が多く含まれていることに起因している. 粘土粒子は, 河川を流下している時はコロイド状態で存在しており殆ど沈降しないが, 河口域に達すると自らの電荷を失って他の微細粒子と凝集する他, 生物遺骸などの有機物との凝集⁴⁾, そして分散を繰

り返し比較的速い速度で海底に沈降すると考えられる. この様に, もともと沈降速度を殆ど持たない物質が, 沈降速度の大きな物質に吸着して鉛直方向に移動する機構は, スキャベンジング^{5), 6)}と呼ばれ, 大洋における放射性物質の濃度解析では良く知られた効果である.

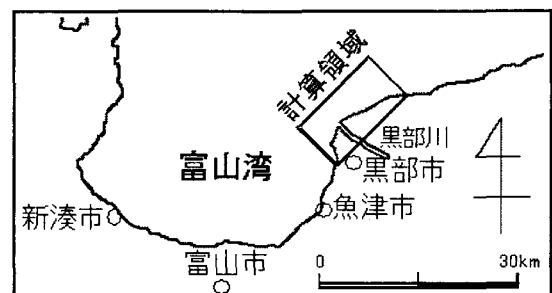


図-1 対象海域

そこで, 本研究では実際に連携排砂 (同一河川の上流側ダムとその下流に位置するダムの排砂ゲートを同時期に開け, 上流側ダムから排砂されたダム堆積物を下流ダム貯水池に再堆積させないために行う操作のこと.) を実施している黒部川の河口前面海域 (図-1) を対象とし, 海域において一時的な濁度上昇を引き起こす要因となる排出土砂の挙動解析にスキャベンジングを考慮した数値モデルを構築し, 海

域における濃度分布、海底堆積量を数値シミュレーションによって検討した。

2. モデルの概要

本研究では、ダム排砂に関するデータやシミュレーション結果などが国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所により公開されている黒部川河口前面海域を計算領域とし、平成13年6月に行われた連携排砂を再現対象として、シミュレーションを行った。

(1) 流動モデル

流動計算では、海域の密度構造と河川流入水を考慮し、以下に示す連続式、運動方程式、水温・塩分の拡散方程式の各方程式による3次元モデルを使用した。なお、コリオリ項は省略した。

連続式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_e} \frac{\partial p}{\partial x} + A_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_e} \frac{\partial p}{\partial y} + A_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = & -\frac{1}{\rho_e} \frac{\partial p}{\partial z} + A_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + A_z \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + g \frac{\rho - \rho_e}{\rho_e} \end{aligned} \quad (4)$$

塩分拡散方程式

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 S}{\partial z^2} \quad (5)$$

水温拡散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (6)$$

ここで、 t は時間、 x, y, z は座標軸、 u, v, w は x, y, z 方向の流速成分、 A_x, A_y, A_z は渦動粘性係数、 ρ は海水密度、 ρ_e は基準密度、 p は圧力、 g は重力加速度、 T は水温、 S は塩分、 K_x, K_y, K_z は渦動拡散係数である。

流動モデルの境界条件は、海底は $u=v=w=0$ とし、海表面の鉛直成分は $w=0$ とした。沖合や側方方向の外海境界で、流れは1階微分=0、水温・塩分の流入時は外海値が流入し、流出時は1階微分=0とした。

(2) 沈降拡散モデルの概要

河川から海域に流入した粘土粒子の挙動をモデル化するために、S. L. Clegg and M. Whitfield (1990, 1991)^{5), 6)}が放射性物質の濃度解析で使用したスキャベンジングモデルを原型に用いた。適用理由としては、半減期項

などを除くと本質的には同様の挙動を示し、両者とも吸・脱着のメカニズムは同じと考えられるためである。よって、放射性物質を粘土粒子に見立てたモデルを構成した。

モデルの構造は式(7)～式(11)に示す通りである。海域に流入した粘土粒子は、殆ど沈降しない有機物小粒子に吸着して小粒子吸着物となり、さらにその小粒子同士が凝集して大粒子吸着物となる。大粒子吸着物になると沈降するため、これにより粘土粒子が下層へと輸送される。なお、海域に流入した粘土粒子以外の土砂粒子はスキャベンジングの機構は考慮せず、沈降するものとした。以下に各粒子濃度の変化量を示し、モデル概念を図-2に示す。

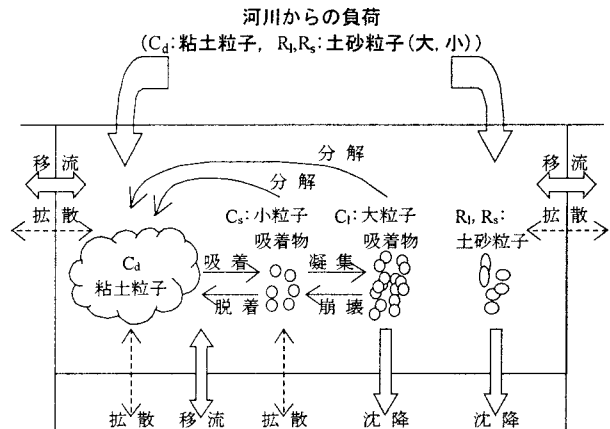


図-2 沈降拡散モデルの概念図

粘土粒子変化量

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_d}{\partial t} + u \frac{\partial C_d}{\partial x} + v \frac{\partial C_d}{\partial y} + w \frac{\partial C_d}{\partial z} = & C_s k_{-1} - C_d k_1 + (C_l + C_s) \gamma \\ & + K_x \frac{\partial^2 C_d}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C_d}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C_d}{\partial z^2} + R_{cd} \end{aligned} \quad (7)$$

小粒子吸着物変化量

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_s}{\partial t} + u \frac{\partial C_s}{\partial x} + v \frac{\partial C_s}{\partial y} + w \frac{\partial C_s}{\partial z} = & C_d k_1 + C_l r_{-1} - C_s (k_{-1} + \gamma + r_1) \\ & + K_x \frac{\partial^2 C_s}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C_s}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C_s}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (8)$$

大粒子吸着物変化量

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_l}{\partial t} + u \frac{\partial C_l}{\partial x} + v \frac{\partial C_l}{\partial y} + w \frac{\partial C_l}{\partial z} = & C_s r_1 - C_l (\gamma + r_{-1}) \\ & + K_x \frac{\partial^2 C_l}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C_l}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C_l}{\partial z^2} - S_v \frac{\partial C_l}{\partial z} \end{aligned} \quad (9)$$

土砂小粒子変化量

$$\begin{aligned} \frac{\partial R_s}{\partial t} + u \frac{\partial R_s}{\partial x} + v \frac{\partial R_s}{\partial y} + w \frac{\partial R_s}{\partial z} = & \\ & + K_x \frac{\partial^2 R_s}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 R_s}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 R_s}{\partial z^2} - S_v \frac{\partial R_s}{\partial z} + R_{ms} \end{aligned} \quad (10)$$

土砂大粒子変化量

$$\begin{aligned} \frac{\partial R_l}{\partial t} + u \frac{\partial R_l}{\partial x} + v \frac{\partial R_l}{\partial y} + w \frac{\partial R_l}{\partial z} = & \\ & + K_x \frac{\partial^2 R_l}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 R_l}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 R_l}{\partial z^2} - S_v \frac{\partial R_l}{\partial z} + R_{ml} \end{aligned} \quad (11)$$

ここで、 t は時間、 C_d は粘土粒子濃度、 C_s は小粒子吸着物濃度、 C_l は大粒子吸着物濃度、 x, y, z は座標軸、

u, v, w は x, y, z 方向の流速成分, k_d は脱着速度, k_a は吸着速度, γ は分解速度, K_x, K_y, K_z は渦動拡散係数, z は水深, R_{cd} は粘土粒子の河川負荷量, r_d は崩壊速度, r_f は凝集速度, S_s は沈降速度, R_s は土砂小粒子濃度, R_{ms} は土砂小粒子の河川負荷量, R_l は土砂大粒子濃度, R_{ml} は土砂大粒子の河川負荷量である。

なお, 式(7)～(11)には有機物小粒子や有機物大粒子が含まれていないが, S. L. Clegg and M. Whitfield (1990, 1991) のモデルでは式(12)および式(13)のように各有機物粒子量の変化を表現し, そして式(14)のように分配係数 K_d を用いて吸着速度を決定する際に利用されている。

有機物小粒子変化量

$$\frac{\partial P_s}{\partial t} + u \frac{\partial P_s}{\partial x} + v \frac{\partial P_s}{\partial y} + w \frac{\partial P_s}{\partial z} = P_r - P_s(\gamma + r_f) + r_d P_l + K_x \frac{\partial^2 P_s}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 P_s}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 P_s}{\partial z^2} \quad (12)$$

有機物大粒子変化量

$$\frac{\partial P_l}{\partial t} + u \frac{\partial P_l}{\partial x} + v \frac{\partial P_l}{\partial y} + w \frac{\partial P_l}{\partial z} = r_f P_s - P_l(\gamma + r_d) + K_x \frac{\partial^2 P_l}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 P_l}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 P_l}{\partial z^2} + S_s \frac{\partial P_l}{\partial z} \quad (13)$$

吸着速度一般式

$$k_i = K_d \cdot P_s \cdot k_{-i} \quad (14)$$

ここで, P_s は有機物小粒子濃度, P_l は有機大粒子濃度, P_d は生物生産による有機物小粒子増加量である。

しかし, 本研究では有機物濃度は定常状態であると仮定し, 有機物濃度には実海域の観測結果⁸⁾を参考に設定するため, 実際には計算を行わない。

3. 河口前面海域の流動場

排出土砂の沈降拡散解析を実施するために, 河口前面海域の流動場を再現する必要がある。そのため, 国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所が公開しているダム排砂時のデータをもとに沿岸流や河川流量などを設定する。また, 排砂は通常大雨による洪水時を利用して行われるため, ある程度の洋上風も予想される。しかし, 未解明な部分が多いため, 本研究では取り扱わないこととする。

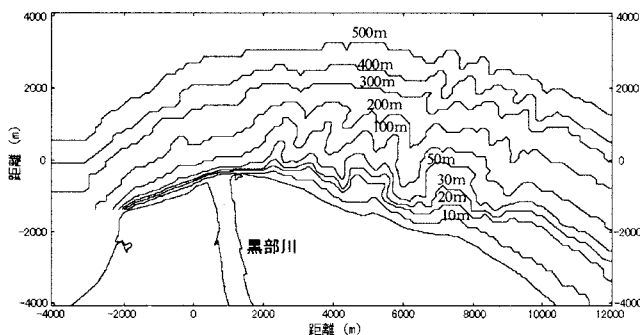


図-3 黒部川河口前面海域水深図

黒部川河口前面海域の海底地形は図-3に示すように急峻な形状を呈しており, 河口部から約1000m沖で水深200mに達する。この海域を対象として, 排出土砂の挙動を検討するために, 沿岸流と流入する河川水の影響(流れ)を考慮した計算を実施する。

(1) 流動計算

(a) 計算条件

格子分割は水平方向が120m×120m～180m×255mの不等間隔格子, 鉛直方向が上層2m～下層100mの層厚で最大23層に分割した。なお, 水温, 塩分の水深別初期分布はJODC所蔵のデータより, 対象海域に最も近い観測点の過去10年間の観測結果を平均したもので設定した。

流動計算では, まず国土交通省の公開資料⁷⁾を基に河川放水のない場合を仮定した沿岸流計算を実施した。境界条件としては, 河口部より北東側海域で流速値を与え, 南西側海域は自由境界とした。

以上の沿岸流計算結果を場の初期値として, 河川水の影響を考慮した河川流計算を実施した。このように本モデルでは, 沿岸流と河川流を分けて計算しているため, 精度上の問題から河口部より南西海域の岸側部分を仮想陸地として取り扱っている。

さらに河川流量は, 連携排砂期間中と連携排砂終了後で大きく異なるため, 分けて河川流計算を実施した。それぞれの設定流量は, 黒部川下流の下黒部橋で連続観測された河川流量より, 流量が急増しているダム連携排砂期間中(計算開始から43時間)は464.0m³/s, 流量が比較的小さくなる連携排砂終了後(43時間から150時間)は181.8m³/sを与えた。その他の計算条件を表-1に示す。

表-1 計算条件

項目	設定値
渦動粘性係数	水平 1.0 m²/s
	鉛直 1.0×10⁻⁴m²/s
渦動拡散係数	水平 1.0 m²/s
	鉛直 1.0×10⁻⁴m²/s
流入河川水	水温 10.88℃
	塩分 11.90PSU
海域の初期値(表層)	水温 19.05℃
	塩分 31.22PSU

(b) 計算結果

河川放水のない場合を仮定した表層における沿岸流計算結果を図-4に示す。沖合では最大約20cm/sで汀線に平行に流れているが, 岸近くの海域では汀線に平行に数cm/s以下の弱い流れとなる。

連携排砂期間中の表層における河川流計算結果を図-5に示す。河口部より南西の海域では最大約20cm/sで汀線に平行に流れているが, 河川からの大量な流入水(464.0m³/s)により, 河口前面では沖合方向に向かう最大約40cm/sの流れがみられた。河口部より北東の海域の岸近くでは数cm/s以下の弱い流れであるが, 沖合では流入河川水の影響により最大約50cm/sの流れもみられた。

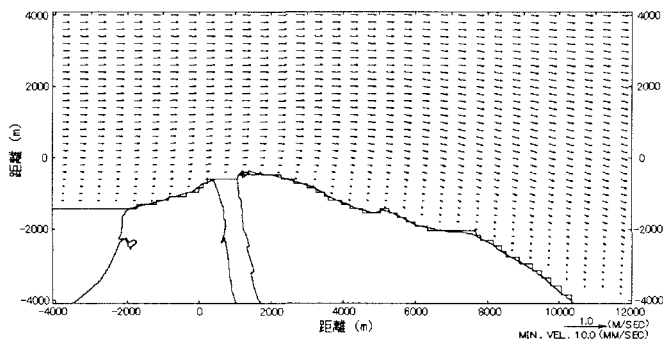


図-4 沿岸流計算結果（表層）

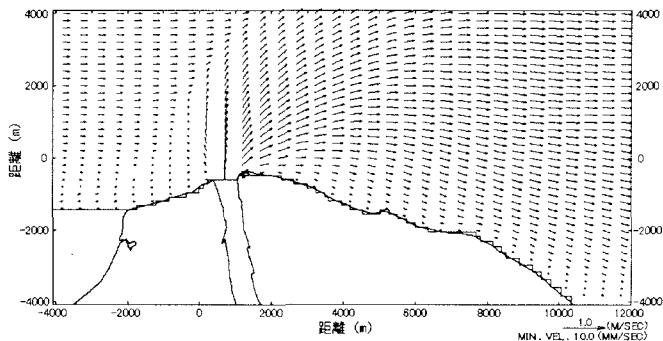


図-5 排砂期間中河川流計算結果（表層）

4. 排出土砂の沈降拡散解析

(1) 沈降拡散計算

(a) 計算条件

河川から流入した土砂粒子の挙動を検討するため、初期条件では海域内に粘土粒子などの懸濁粒子は存在しないものと仮定した。また、海域への土砂流入量は、先に設定した河川流量と同じく黒部川下流の下黒部橋で連続観測されたSS濃度と河川流量から設定した。よって土砂流入量は連携排砂期間中（計算開始から43時間）で388.4kg/s、連携排砂終了後（43時間から150時間）で110.1kg/sと設定した。流入土砂の粒子分配率と各粒子の沈降速度は、国土交通省の公開資料⁷⁾に基づき、粘土粒子：土砂小粒子：土砂大粒子は26：62：12に分類し、沈降速度を大粒子吸着物と土砂小粒子では38.9m/dayとし、土砂大粒子は812.2m/dayと設定した。

その他、表-2に示すようにスキヤベンジング項に含まれる吸着速度(k_a)や脱着速度(k_d)などの設定値はS.L.Clegg and M. Whitfield (1990, 1991) が用いている設定値^{5), 6)}に従った。

表-2 S.L.Clegg and M. Whitfieldの設定値

項目	設定値
吸着速度	0.1 /day (上層)
脱着速度	0.005 /day
凝集速度	0.8 /day (上層)
崩壊速度	16.7 /day (上層)
分解速度	0.1 /day (上層)

なお、国土交通省が平成13年6月の連携排砂後に実施

した観測データ⁸⁾が存在するため、本研究ではその時間に相当する計算開始21時間後と計算終了時となる150時間後の結果について検討する。

(b) 計算結果

連携排砂期間中である計算開始21時間後の表層での総土砂濃度分布を図-6に示す。河口部から約1.0km沖合までの海域が200mg/l以上の高濃度な分布となり、20mg/l以上の分布域は沖合方向に最大約6.0km、汀線方向に約7.0kmもの広範囲に広がる結果となった。また、海底の総土砂堆積量は図-7に示すように、河口部より北東の海域水深100m以浅の海域で50g/m²以上の堆積量となり、河口部に近づくに従い堆積量が増加し、河口前面では2000g/m²を超える量となった。

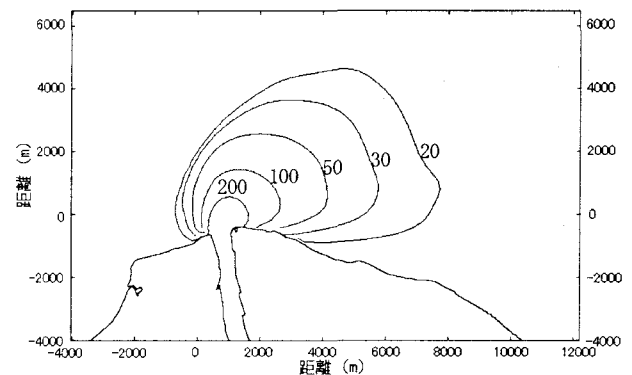


図-6 21時間後の総土砂濃度分布（表層）（mg/l）

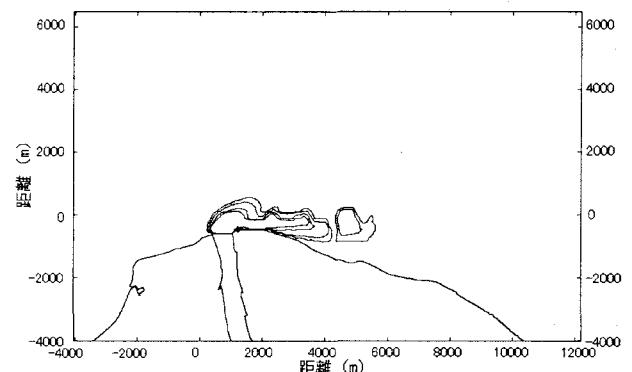


図-7 21時間後の海底総土砂堆積量

※堆積量の等値線は50, 100, 300, 500g/m²で描画

次に、計算終了時である150時間後の表層での総土砂濃度分布を図-8に示す。河川からの土砂流入量が減少したことにより、20mg/l以上の分布域が狭まり、沖合方向に最大約2.0km、汀線方向に最大約4.0kmの範囲となった。しかし、100mg/l以上の高濃度分布域は連携排砂期間中と同様に河口部から約1.0km沖までの海域でみられる結果となった。また、海底の総土砂堆積量は図-9に示すように、21時間後の結果よりも50g/m²以上の堆積範囲は広がり、水深200m以深の海底にもみられる結果となった。さらに500g/m²以上の土砂堆積が河口部より北東の海域へ約11.0kmの海底にまで達する結果となった。

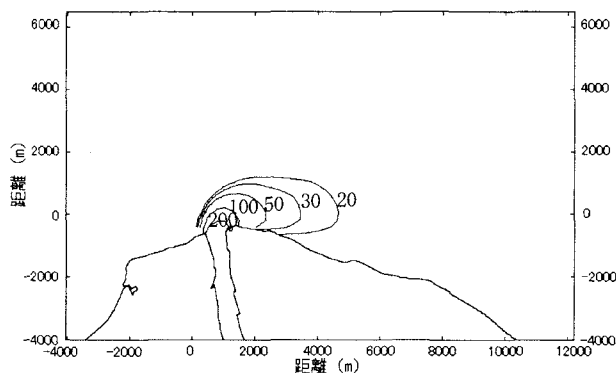


図-8 150時間後の総土砂濃度分布（表層）（mg/l）

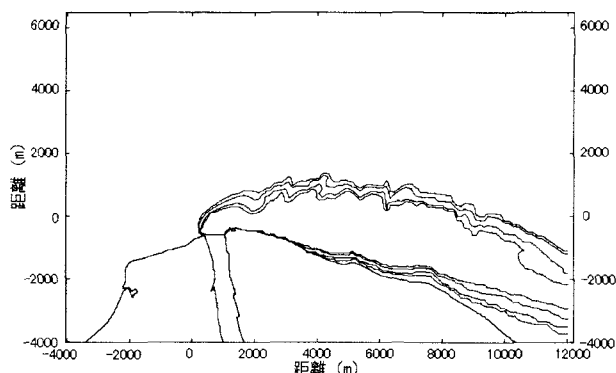


図-9 150時間後の海底総土砂堆積量

※堆積量の等値線は50, 100, 300, 500g/m²で描画

(2) 再現性の検討

本研究で構築した数値モデルの妥当性を検討するために、得られた計算結果より表層におけるSS濃度の再現性の検討を行った。再現対象となるデータは国土交通省が平成13年の連携排砂期間中に黒部川河口前面海域全33点で観測した6月20日午前9時前後の表層におけるSS濃度の観測結果⁸⁾とする。図-10にこの観測値をもとに作成したSS濃度分布図を示す。

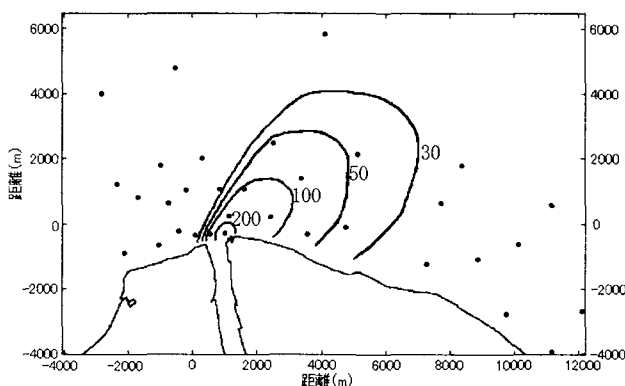


図-10 平成13年6月20日午前9時前後のSS濃度観測結果
（●：観測地点 mg/l）

そこで、国土交通省の観測時刻とほぼ同時刻に相当する計算開始21時間後の計算結果の比較を行った。図-11に観測値と計算値の相関図を示す。

この結果、計算値が観測値よりも一部、高濃度を示す点が存在するものの、両者の相関を計算した結果、 R^2

$=0.80$ と高い値を示し、モデルによる計算値と観測値の整合性が得られる結果となった。

これらのことより、本研究で構築したモデルの妥当性が得られたと思われる。

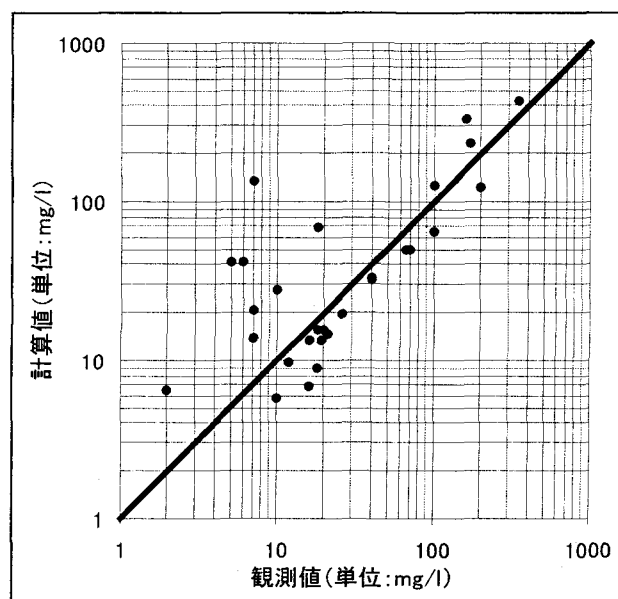


図-11 計算値と観測値の相関図

(3) 粘土粒子の海底堆積量の検討

計算結果より、海底への流入土砂の堆積は非常に広い範囲で起こることが確認され、さらに時間経過とともにその堆積範囲が広がることも確認された。

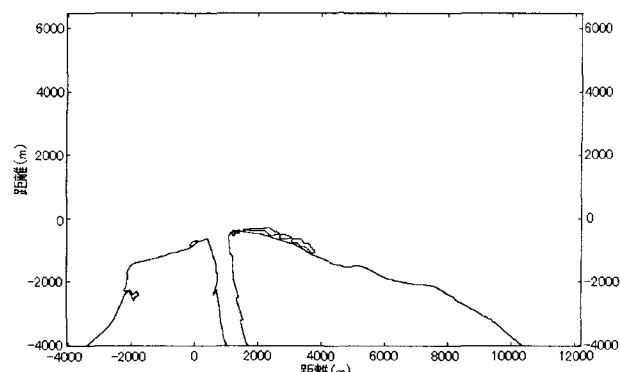


図-12 21時間後の粘土粒子の海底堆積量

※堆積量の等値線は0.2, 0.5, 1.0, 2.0g/m²で描画

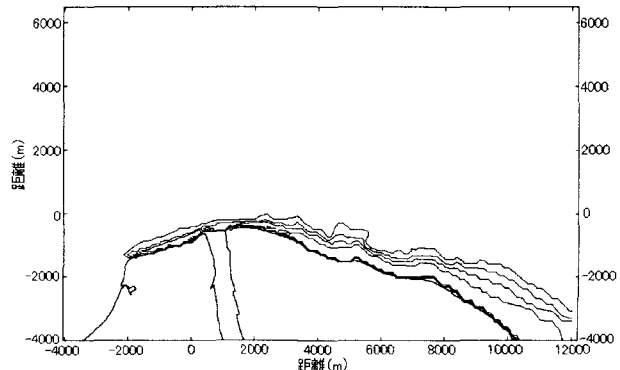


図-13 150時間後の粘土粒子の海底堆積量

※堆積量の等値線は0.2, 0.5, 1.0, 2.0g/m²で描画

また、微細である粘土粒子は通常、海水中に浮遊することとなるが、一部、生物遺骸などの有機懸濁粒子に吸着して海底に沈降するものもある。そこで、海底に堆積する土砂のうち、粘土粒子のみの堆積分布図を図-12、図-13に示す。

計算開始21時間後では河口部より北東の海域水深10m以浅の海底に0.2g/m²以上の堆積が確認された。さらに150時間後になると、河口部より北東の海域水深10m以浅の海底には2.0g/m²以上の堆積が確認され、0.5g/m²以上の堆積範囲は水深20mの海底にまで広がる結果となった。

また、これらの粘土粒子の堆積結果と図-9に示す総土砂堆積結果を比較すると、極めて岸に近い海域において、微量の粘土粒子が堆積することが確認できた。

(4) 考察

海域へ流入する総土砂量は約102,535tonであり、粘土粒子と土砂粒子の内訳は表-3に示すとおりである。

計算終了時の150時間後では大粒子と小粒子を合わせた土砂粒子においては、流入してきた土砂量の約60%が海底に堆積することがわかった。

表-3 土砂収支

	粘土粒子	土砂粒子	総土砂粒子
海域流入量	26659.06	75875.78	102534.84
海底堆積量	21.30	45550.32	45571.62

(ton)

また、粘土粒子に関しては、約21.3tonが海底に堆積することがわかった。この堆積量は流入する粘土粒子量の0.1%に満たない微小な数字ではあるが、堆積する物質が土砂と特性の異なる微細な粘土粒子である所に重要な意味があると考えられる。すなわち、スキヤベンジグの適用により単体では殆ど沈降しない粘土粒子の堆積量の検討が出来るようになったことである。流入土砂の沈降拡散モデルの多くは、粘土粒子の様な微細粒子に極めて小さな沈降速度を設定しており、海域に流入した全ての粒子が一様に沈降すると考えている。しかし、本モデルにより、予測値ではあるが粘土粒子の海底堆積量を検討できるようになったため、今後は実測値との比較検討を行い、モデル利用の可能性を高めたいと思われる。

5. 結論

S.L.Clegg and M.Whitfield (1990, 1991) が放射性物質の濃度解析に用いたスキヤベンジグモデルを用いて、単体では殆ど沈降しない粘土粒子の沈降・拡散の検討を行った。その結果、本数値モデルにおいて再現対象とし

ている、平成13年6月に実施された連携排砂時の20日午前9時前後の表層におけるSS濃度観測結果と高い整合性を現す結果となった。

さらに本モデルによって、河川から流入する排出土砂中の粘土粒子の殆どは浮遊するが、ごく一部が沿岸域の海底に堆積することも確認された。この現象は実際の海域で起きている現象の機構を表したものと考えられる。

このように本モデルで示された結果は、流砂系におけるバランスのとれた総合的な土砂管理を考えたとき、下流に供給するべき土砂の質や量、タイミングなどを議論する上で、工学上大変重要であると思われる。

また、粘土などの微細粒子は、海域における濁度上昇を引き起こす要因とされているため、粘土粒子の挙動をより正確に予測することは有用であると思われる。

本研究では、構築したモデルの適用がこれらを可能にする事を示したと思われる。

謝辞：本研究は「私立大学等経常費補助金特別補助大学院高度化推進特別経費」(平成14, 15年度)の補助を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 角哲也, 村崎充弘, 藤永清和, 名倉裕, 玉置晴郎, : フラッシング排砂時における貯水池堆砂の侵食・堆積過程計測に関する研究, 水工学論文集, 第48巻, pp.1147-1152, 2004.
- 2) 田崎和江, 國峯由貴江, 森川俊和, Chaneru Siti Khodjah, 朝田隆二, 宮田浩志朗, 脇元理恵, 池田頼正, 佐藤一博, 瀬川宏美, 小路奈々絵, 藤沢亜希子, 盛一慎吾: 富山県出し平ダムの排砂ゲートから排出された黒色濁水の特徴, 汽水域研究, 10, pp.1-17, 2003.
- 3) 国土交通省北陸地方整備局河川部: 新しい時代の総合土砂管理ー水系全体でバランスのとれた土砂の管理を目指してー.
- 4) 足立泰久, 岩田進午編著: 土のコロイド現象ー土・水環境の物理化学と工学的基礎, 学会出版センター, 2003.
- 5) S. L. Clegg and Michael Whitfield: A generalized model for the scavenging of trace metals in the open ocean-I. Particle cycling, deep-sea Research., Vol.37, pp.809-832, 1990.
- 6) S. L. Clegg and Michael Whitfield: A generalized model for the scavenging of trace metals in the open ocean-II. Thorium scavenging, deep-sea Research., Vol.38, pp.1.91-120, 1991.
- 7) 国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所: 海域濁り拡散・沈降シミュレーションの概要(速報), 第12回黒部川ダム排砂評価委員会, 資料-5, 2002.
- 8) 国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所: 平成13年度連携排砂及び連携通砂に伴う環境影響調査結果(データ集), 第11回黒部川ダム土砂管理協議会, 資料-4-②, 2002.

(2004.9.30 受付)