

諏訪湖における底泥輸送解析

信州大学大学院 学生員 ○北村聡
 信州大学工学部 正員 富所五郎
 信州大学工学部 正員 豊田政史

1. はじめに

諏訪湖は現在富栄養化問題を抱えている。本研究では、富栄養化対策を行う上で重要視される底泥の輸送メカニズムを数値モデル化し、底泥輸送現象を予測する。モデル化にあたり、水深の浅い部分には特に風波の影響が底泥の巻き上げに大きく作用すると考え、底泥の巻き上げモデルに風波の影響を考慮している。

2. 解析モデル

以下の2段階に分けて底泥輸送解析を行った。

(1) 外力（風、河川からの流入）を与えて湖流を求める。静水圧分布を仮定し、空間変数に Galerkin 有限要素法、時間変数に Runge-kutta 法を用い離散化を行った（富所，1980）。

(2) 求めた湖流をもとに底泥の巻き上げおよび沈降を考慮した SS の移流拡散方程式を解き、底泥輸送現象を予測する。このときの離散化方法は（1）と同様に行った。ここで、巻き上げ量 E (kg/m²/s) および沈降量 D (kg/m²/s) の評価は式（1）で行った（W.van.Leussen.and.J.Dronkers,1988）。なお、土粒子の沈降速度 w_0 (m/s) はストークスの式より求めた。

$$E = M \left(\frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right), D = w_0 C_{bed} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 τ_b (N/m²) : 底面せん断応力, τ_e (N/m²) : 限界底面せん断応力, M (kg/m²/s) : 侵食速度定数, C_{bed}

(kg/m³) : 底層 SS 濃度である。ここで、 τ_b の評価にあたり、水深の浅い諏訪湖では底泥の巻き上げに風波の影響が大きく作用すると考え、湖流によるものと風波によるものとを足し合わせることにした。すなわち、 $\tau_b = \tau_{b,c} + \tau_{b,w} \dots \dots \dots (2)$

である。ここに、 $\tau_{b,c}$ (N/m²) : 湖流による底面せん断応力, $\tau_{b,w}$ (N/m²) : 風波による底面せん断応力で、 $\tau_{b,w}$ は式（3）で求めた。

$$\tau_{b,w} = \rho \frac{f_{cw}}{2} \hat{U}_w^2 \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 ρ (kg/m³) : 水の密度, f_{cw} : 摩擦係数, $\hat{U}_w$ (m/s) : 波速振幅, $\hat{U}_w$ は微小振幅波理論より

$$\hat{U}_w = \frac{\pi H_{1/3}}{T_{1/3}} \frac{\cosh k(z+h)}{\sinh kh} \dots \dots \dots (4)$$

である。ここに、 k (m⁻¹) : 波数, h (m) : 水深, $H_{1/3}$ (m) : 有義波高, $T_{1/3}$ (s) : 有義周期で、 $H_{1/3}$ と $T_{1/3}$ は以下のように井島らの浅水域に対する波浪推算の式で求めた（堀川，1991）。

$$gH_{1/3}/U_{10}^2 = 0.30A \left[1 - \left\{ 1 + 0.004(gF/U_{10}^2)^{1/2}/A \right\}^2 \right]$$

$$gT_{1/3}/(2\pi U_{10}) = 1.37B \left[1 - \left\{ 1 + 0.008(gF/U_{10}^2)^{1/3}/B \right\}^5 \right]$$

$$A = \tanh \left\{ 0.578(gh/U_{10}^2)^{3/4} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

$$B = \tanh \left\{ 0.52(gh/U_{10}^2)^{3/8} \right\}$$

ここに、 g (m/s²) : 重力加速度, U_{10} : 湖面上 10m での風速, F (m) : 吹送距離である。ここで、冬季の卓越風である北西の風による吹送距離をデータ化したものを図-1 に示す。この吹送距離のデータを式（5）に用いることより、波高と周期が計算できることになる。また f_{cw} は田中、首藤らの方法により求めた（土木学会海岸工学委員会，1998）。

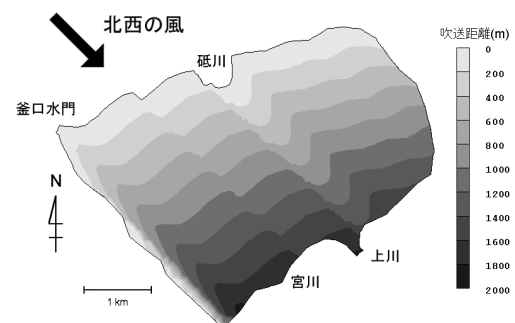


図-1 北西の風による吹送距離

Key words : 底泥の巻き上げ, 風波, 底泥輸送現象

〒380-8553 長野市若里 4-17-1 信州大学工学部社会開発工学科 Tel/Fax 026-269-5299

3. 解析条件

解析対象領域である諏訪湖を図-2に示す。図中には等深線（単位はメートル）も示した。流入河川として流域面積の大きい上川、宮川、砥川を、流出河川として釜口水門から流れ出る天竜川を考慮した。まず、湖流解析において、流出入河川の境界条件として1994年4月～2000年3月までの流量観測値の標本メディアンを、湖内全体の初期条件として静止状態を与え、定常解を求めた。次にSSの移流拡散解析において、流出入河川の境界条件および湖内全域の初期条件として1994年4月～2000年3月までのSS観測値の標本メディアンを与え、解析を行った。湖流およびSS解析の境界条件は、表-1に従う。

4. 解析結果と考察

ここでは、冬季の卓越風である北西の風が10m/sで10時間吹きつづけた場合を想定した解析結果を示す。

図-3に水面下1.0mにおけるSS濃度を、図-4に1日あたりの底泥侵食厚を示す。図-3より、上川と宮川の河口付近の湖岸でSSが200～300 (g/m³) となっていることがわかる。また、図-4より、図-3のSSが大きくなった所と対応して侵食厚が大きな値を示していることがわかる。この場所は吹送距離が大きく水深が浅い部分であり、風波による巻き上げが底泥の輸送に影響した結果であると予想できる。

このことを詳しく見るために、図-2に示す直線AB上における流速とSSの鉛直断面分布図を図-5に示す。これらより、湖岸の水深1m付近で巻き上がった底泥が、鉛直循環流により岸から沖へ輸送されている様子がわかる。

5. おわりに

風波の効果を考慮した底泥輸送解析を行い、底泥輸送現象を予測した。吹送距離が大きく水深が浅い場所では底泥が巻き上がりやすく、それらが鉛直循環流により岸から沖へ輸送されている様子が再現できた。値の妥当性については今後の詳細な検討が必要である。

表-1 湖流およびSS解析の境界条件

	上川	宮川	砥川	釜口水門
流量(m ³ /s)	3.1	1.6	1.7	6.4
SS (g/m ³)	3.0	4.0	4.0	—

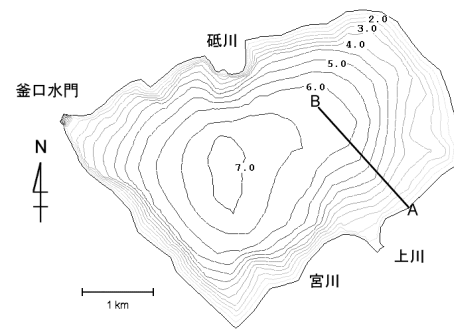


図-2 解析対象領域

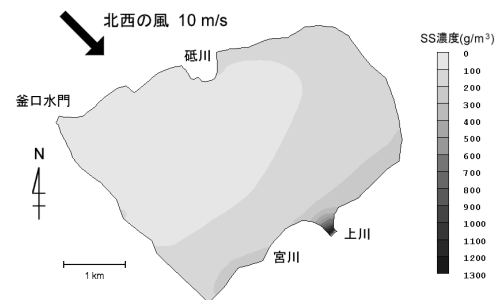


図-3 水面下1.0mにおけるSS濃度

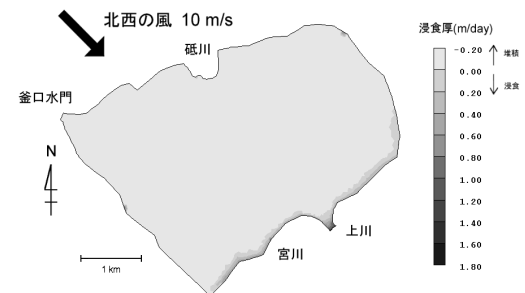


図-4 1日あたりの底泥侵食厚

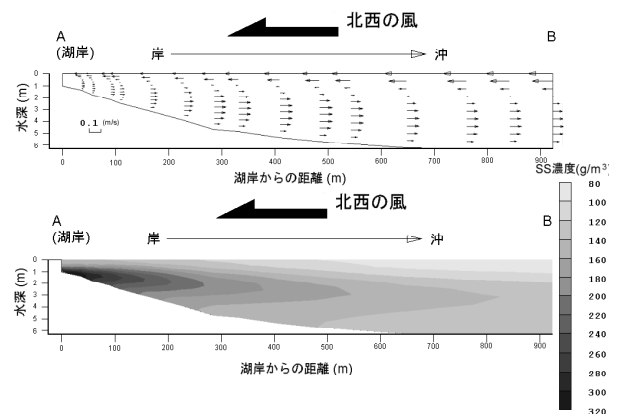


図-5 直線AB上の流速とSSの鉛直断面分布図

参考文献

- 土木学会海岸工学委員会(1998)：漂砂環境の創造にむけて，社団法人土木学会，pp.19～30。
 富所(1980)：FEMによる浅水域における三次元流動解析，第27回海岸工学講演会論文集，pp.453～457。
 堀川(1991)：海岸工学，(財)東京大学出版会，p.86。
 W.van.Leussen.and.J.Dronkers(1988)：Physical Processes in Estuaries，pp.13～14。