

投入土砂による底泥の巻き上げに関する研究

福岡大学工学部 学生員 ○山本泰士

福岡大学工学部 正会員 山崎惟義

福岡大学工学部 正会員 渡辺亮一

福岡大学工学部 正会員 伊豫岡宏樹

福岡大学工学部 正会員 林義晃

1. はじめに

我が国の内湾には、土砂採取による浚渫窪地が多数存在し、その急激な地形変化より海水の鉛直方向の交換が行われにくく、貧酸素水塊や赤潮など、水環境悪化の原因となっている。

博多湾においても例外ではなく、当研究室では、過去7年にわたり博多湾の室見川河口沖に存在する2つの窪地の調査を行っており、底層水質の悪化や夏季に起こる底層無酸素状態の長期化や、夏季に窪地内で発生した貧酸素水塊が周辺海域にも広がることなどを確認している^{1),2)}。

この改善策の一つとして、底質の覆砂が挙げられる。仮に浚渫窪地の埋め戻し施工を行う場合、施工時、施工後に周辺の水環境に対して、投入土砂自体の水中での浮遊や周辺海域への堆積、再浮上のほか、土砂投入の攪乱によって窪地内部に集積していた浮泥の再懸濁や、周辺への拡散、堆積など様々な二次的環境悪化が考えられる。こうした貧酸素水塊の発生防止と、生態系を含めた周辺環境への配慮から施工時に発生する濁りを最小限に抑える必要がある。

2. 目的

本研究では、窪地の埋め戻しにトレミー管工法を想定した。トレミー管工法とは従来のバージによる直投工法と比べ、投入時の土砂自体の拡散が抑制出来るだけでなく、土砂を効率的に埋め戻すことが可能な工法である。

当工法の場合を対象にした数値解析を行い、得られた流速から、底面せん断応力を求め、初期巻き上げの最大影響範囲を知ることが本研究の目的である。

3. 数値解析

格子ごとの流れ方程式の近似解を求め、その計算結果として、各格子の圧力、流速、密度などを求めた。今回の計算ではアンシス・ジャパン株式会社の汎用 CFD ソフトウェア FLUENT6.3.26 を用い、現場海域のシミュレーションを3次元領域で行った。

本 CFD の支配方程式は以下のとおりである。

a) 運動量保存則

(ナビエ・ストークス：非圧縮性の場合)

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \rho u}{\partial t} + u \frac{\partial \rho u}{\partial x} + v \frac{\partial \rho u}{\partial y} + w \frac{\partial \rho u}{\partial z} \right) &= \rho x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \left(\frac{\partial \rho v}{\partial t} + u \frac{\partial \rho v}{\partial x} + v \frac{\partial \rho v}{\partial y} + w \frac{\partial \rho v}{\partial z} \right) &= \rho y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \left(\frac{\partial \rho w}{\partial t} + u \frac{\partial \rho w}{\partial x} + v \frac{\partial \rho w}{\partial y} + w \frac{\partial \rho w}{\partial z} \right) &= \rho z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (式 2)$$

b) 連続の式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (式 2)$$

ここに、 ρ ：密度、 u, v, w ： x, y, z の各方向の流速、 p ：圧力を表している。

4. 境界条件

計算領域は、水深 15m、半径 50m の円柱とし、水面から水深 13mまで延長した内径 1mのトレミー管を円柱の中心に配置した場合を対象に実施した。計算格子は、不均等格子として、トレミー管中心は細かく、外側になるにつれて大きくした。

周辺海域の海水密度を 1030 kg/m^3 、投入土砂の密度を博多湾の底泥の平均湿潤密度 1492 kg/m^3 と仮定して計算した。今回は一度に投入する土砂を $7.85 \text{ m}^3/\text{sec}$ を一秒間投入した場合を対象にした。これは、 1500 m^3 の土砂を 30 秒に一度投入させた時の投入量として仮定している。トレミー管からはこれまでの実績を参考に平均流速 10 m/sec で流出させた。

5. 計算結果

図-1 は、計算より得られた密度のコンター図である。投入後、渦を発生させながら、水平方向の外側に広がっている事が分かる。この時、流出部より上には拡散せず、せん断流が発生している事が分かる。

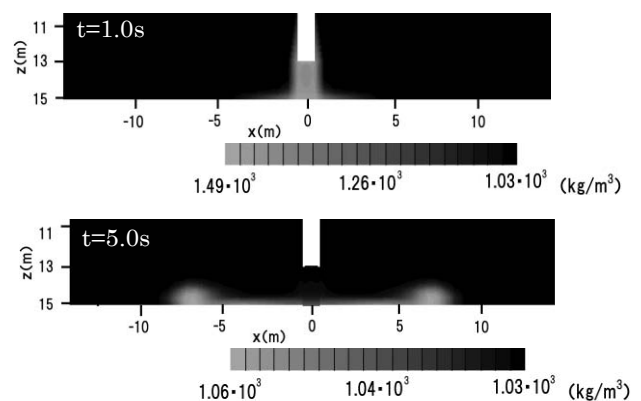


図-1 密度分布

6. 解析的検討

計算結果をもとに、底面中心から水平方向に 1m 間隔で底面から鉛直方向 0.1cm 上方の流速を用いて、そこから底面せん断応力 τ_0 を(式 3)より算出した。

$$\tau_0 = \mu \frac{du}{dz} \quad (\text{式 } 3)$$

ここで、 τ_0 :底面せん断応力、 μ :粘性係数、 u :流速、 z :底面からの距離である。 $\mu=1 \times 10^3$ とした。また、巻き上げの限界せん断応力 τ_{ce} と固体分率 $(1-\varepsilon)$ とは(式4)のような両対数紙上で直線関係にある。³⁾

$$\tau_{ce} = \delta_1 (1-\varepsilon)^n \quad (\text{式 } 4)$$

既存の知見のより、 n は1.5、 δ_1 は $4.3[\text{N/m}^2]$ とした。また、含水比200%、300%、500%と仮定すると、(式4)よりそれぞれ、0.270、0.159、0.08 (N/m^2)となる。この τ_{ce} と、各地点の τ_0 を比較して、 $\tau_{ce} < \tau_0$ となれば巻き上げが起こるとして巻き上げ影響範囲を検討した。

7. 解析的検討結果

図-2に底面せん断応力等高線図を示す。含水比200%時では、40秒以上では投入部中心から半径14mより外側で、限界せん断応力以上の発生はしない。また、含水比500%時では、限界せん断応力を越える範囲が約30mであることが分かった。また、投入後210秒経過時においても τ_{ce} 以上の底面せん断応力が確認出来た。

図-4は時間変化に伴う巻き上げ最大影響半径を示す。

今回の数値計算では、土砂投入後、時間経過に伴い、せん断流が底面で同心円状に広がることが分かった。広がるにつれてエネルギーが拡散し、せん断応力が小さくなり、影響半径が底質の限界せん断応力によって変化する。底面せん断応力と影響半径とは密接な関係があることが分かった。

8. まとめ及び課題

一度の土砂投入後、発生するせん断流によって初期巻き上げが起こり、その最大影響半径は、含水比200%時で14m、300%時で19mとなった。

また今回の数値計算では、投入後40秒まではどの含水比でも同じ巻き上げ過程を示すことが分かった。含水比500%時では、少なくとも210秒までは最大影響半径が30mまで広がっている。

本手法を用いれば現場における土砂投入による底泥の巻き上げを精度よく評価可能である。

今後は、連続投入を対象にした数値解析や、計算格子を浚渫窪地に対応させた数値解析を行っていく必要がある。

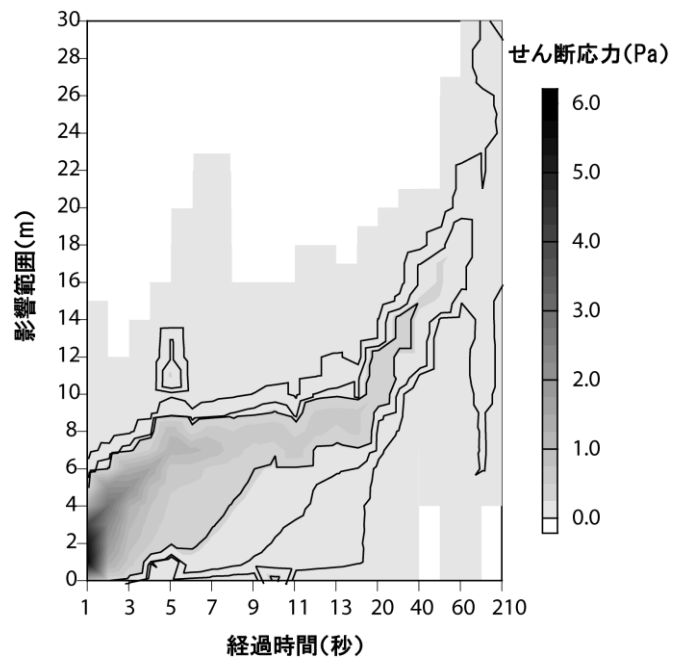


図-2 底面せん断応力等高線図

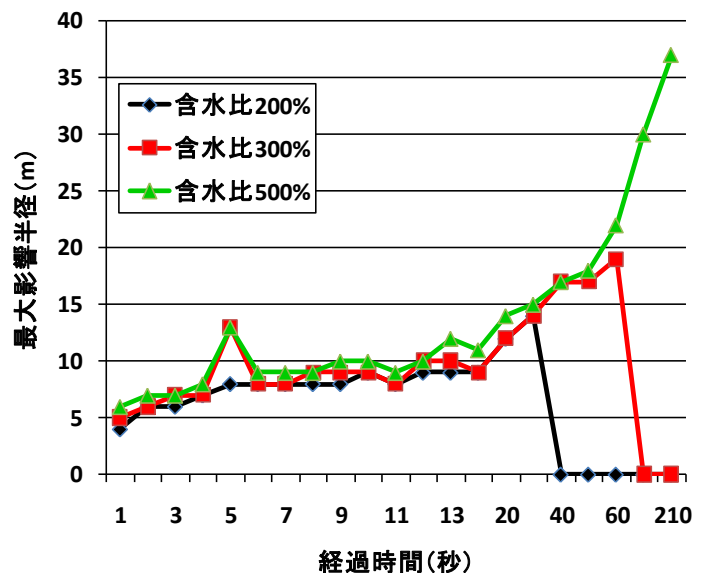


図-3 時間経過に伴う初期巻き上げ最大影響半径

謝辞

この研究は、科学研究費補助金（基盤研究C：21560575、研究代表者：渡辺亮一）の助成を受けて行われたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 山崎惟義他：博多湾室見川沖窪地の貧酸素水塊の挙動に関する研究，海岸工学論文集，第54巻，p1001-1005，2007
- 2) 貞方健志：室見川河口沖窪地の貧酸素水塊の広がりに関する研究，福岡大学工学部卒業論文，2008
- 3) 海田輝之・楠田哲也・二渡了・栗谷揚一：柔らかい底泥の巻き上げ仮定に関する研究，土木学会論文集，第393号，p33-42，1988