博多湾内浚渫窪地における埋戻し工法に関する数値解析的検討

福岡大学大学院工学研究科　学生員　○林建成　福岡大学工学部　正会員　山崎惟義
関東学院大学工学部　正会員　北野義則　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　皆川朋子

1. はじめに

我が国の内湾では，戦後の沿岸域開発の埋め立て材料として，海底の土砂が掘削利用され，浚渫窪地が散見されるようになった[2]．このような窪地は，水塊の停滞や，流況の変化，局所的な水質の悪化，浸食・堆積傾向の変化等を招く．近年，沿岸の環境の修復のためにこれらの窪地等を埋め戻しの必要性が認識されているが，施工時，施工後の影響の評価や軽減方策の検討も未だ不十分な状況である．また，実際に埋め戻しを行う場合，周囲に与える影響がどの程度なのかについての知見は少ない．本研究では，窪地を埋戻す際の，投入土砂の移流・拡散、底質の巻き上げ等を数値解析的に検討し土砂投入工法による特性を明らかにすることを目的としている．

2. 目的

本研究では，窪地の埋め戻し工法としてバージ船(図 1)，単管トレミー管(図 2)，二重トレミー管(図 3)を用いた 3 つの工法を想定した．それぞれの工法で一度に投入する土砂の量を 3 段階変えて計 9 ケース(表 1)を対象にして数値解析を行った．この 9 ケースで，投入土砂の密度コンター図より拡がりについて，傾向を明らかにすることと，底面せん断応力と限界せん断応力を比較検討することで，巻き上げの影響範囲を定量的に明らかにすることを目的としている．

3.解析方法

計算領域を格子に区切り差分化した流れ方程式を解き，各格子の圧力，流速，密度分布などを求めた．今回の計算では ANSYS 社の汎用 CFD ソフトウェア FLUENT6.3.26 を用いた．計算モデルは，FLUENT 混相流セミナーを参考に Mixture モデルを用いた．境界条件は，海面を大気圧，海底を壁面とし，トレミー管を用いる工法では，トレミー管との境界を壁面と設定した．計算領域は，最大水深 15m，最少水深 5m の 2 つの円筒を重ねた形状(図 4)とした．また，格子サイズは$\Delta R \times \Delta Z$=0.1m×0.1m とした．また，周辺海域の海水密度 1030kg/m^3，投入土砂の密度を博多湾の底泥の平均湿潤密度である 1500g/m^3 と仮定して投入した．

4. 計算結果・考察

図 5 はケース B の密度コンター図を示している．投入後，投入土砂が海底に到達するまでの間に，水平方向にも高密度の水塊が拡がっている．海底到達後は，水平方向に高密度の水塊が拡がっていき，投入場所から遠くなるにつれて，水塊の密度は小さくなった．

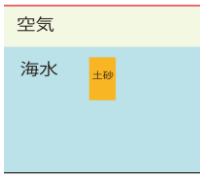

図1 バージ船

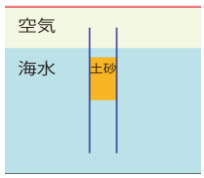

図 2 単管トレミー管

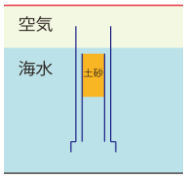

図 3 二重トレミー管

表 1 各ケースの条件

ケース	施工法	土砂投入方法	D_1	D_2	D_3
A	バージ船	自由落下	1.5	－	－
B			2.0	－	－
C			2.5	－	－
D	単管トレミー管	単管トレミー管	1.5	－	1.5
E			2.0	－	2.0
F			2.5	－	2.5
G	二重トレミー管	二重トレミー管	1.5	2.0	1.5
H			2.0	2.5	2.0
I			2.5	3.0	2.5

投入土砂の高さ 5(m)，メッシュの大きさは 0.1×0.1(m×m)における計算は各条件で共通である．

D1:投入土砂の直径(m)
D2:管の外径(m)
D3:管の直径(m)

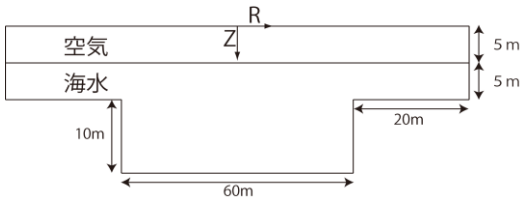

図 4　計算領域

図 6 はケース E の密度コンター図を示している．単管トレミー管では投入後，他の工法に比べ，海底までの到達速度が遅い．また，海底到達後は鉛直方向へ水塊の拡がる様子は見られず，投入場所から遠くなるにつれて，水塊の密度は小さくなった．

図 7 はケース H の密度コンター図を示している．海底到達後は鉛直方向への水塊の拡がる様子は見られず，投入場所から遠くなるにつれて，水塊の密度は小さくなった．

また，巻き上がりの影響範囲について検討するため計算結果をもとに，底面せん断応力τ_0を算出した．

$$\tau_0 = \mu \frac{du}{dz} \qquad (式\ 1)$$

ここに，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，μ=1×10^3 [Pa・s] である．また，底面表層部の巻き上げに関する限界せん断応力

キーワード：浚渫窪地・埋戻し・博多湾・土砂投入・数値解析
連絡先（〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1, TEL092-871-6631,FAX092-865-9460）

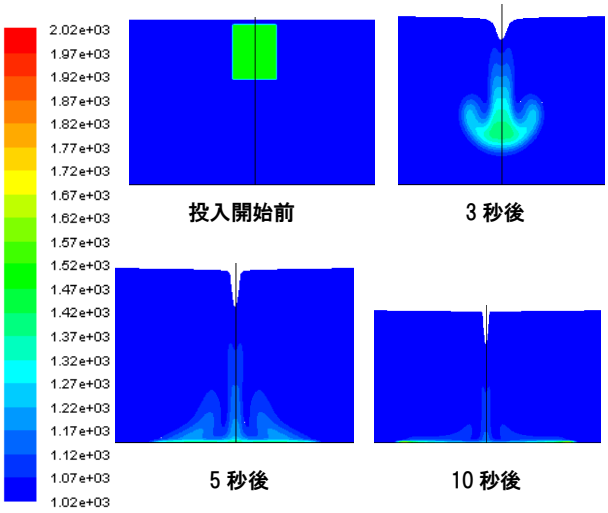

図 5　ケース B の密度コンター図

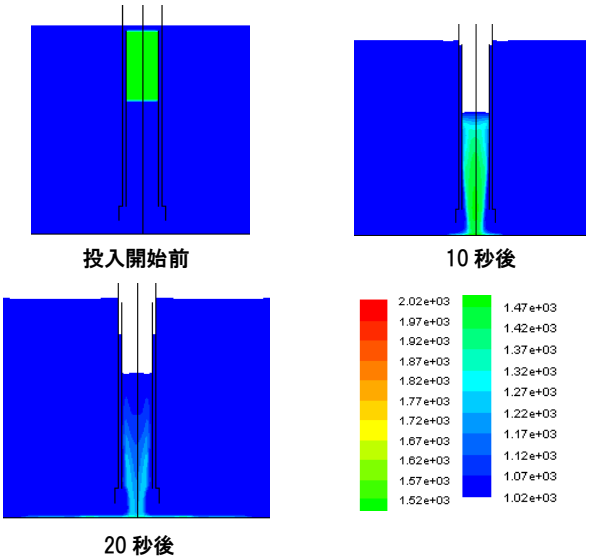

図 7　ケース H の密度コンター図

τ_{ce} は固体分率 $(1-\varepsilon)$ を用いて次のように表される[3]．

$$\tau_{ce} = \delta_1 (1-\varepsilon)^n \qquad (式\ 2)$$

ここで，n は 1.5，δ_1 は 4.3[N/m^2]とした．博多湾窪地内の底泥の含水比（約 300%）を考慮して，限界せん断応力 τ_{ce}=0.179（N/m^2）とし，各計算時間の τ_0 と比較して，τ_0 が τ_{ce} を上回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結果を図 8 に示す．ケース B の影響範囲のピークは 36 秒の時に中心から 19.2m の位置にあり，トレミー管の最大影響半径に比べ大きかった．ケース E の影響範囲ピークは 43 秒の時に中心から 9.9m の位置であった．これは，単管トレミー管の土砂投入は上部から海水の流入がないため質量保存の法則により,他の工法よりも時間がかかる為だと考えられる．ケース H の影響範囲のピークは 40 秒の時に 10.9m の位置であった．影響範囲は，ケース E と大きな違いはなかったが，二重トレミー管は底面流速が単管トレミー管に比べ，小さいので周辺環境に与える影響は少ないと考えられる．

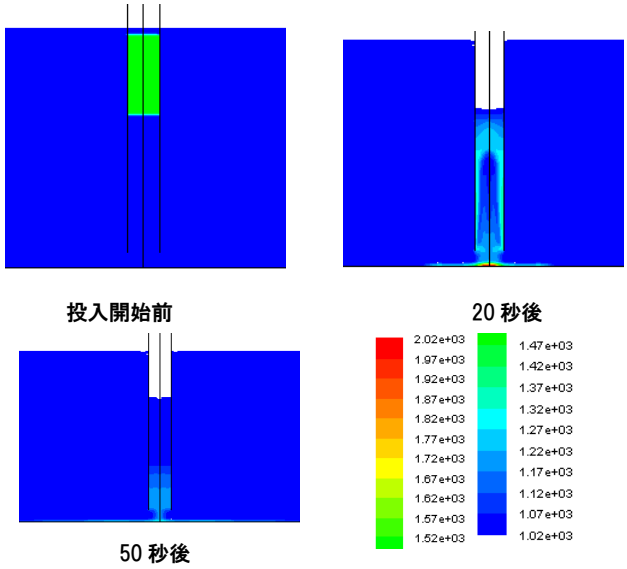

図 6　ケース E の密度コンター図

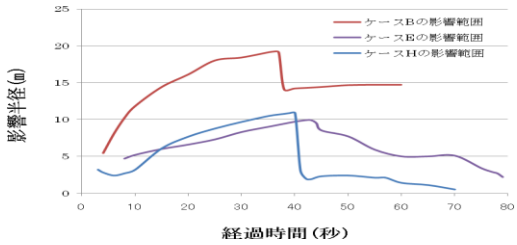

図 8　限界せん断応力と影響範囲

5.結論

今回の結果より，投入土砂の拡がりについてそれぞれの施工法を比較したところ，バージ船工法では投入開始直後から，水平方向への拡散がみられた．単管トレミー管工法，二重トレミー管工法では，土砂が底面到達後に底面を這うように拡散していった．

投入土砂の底面せん断応力を限界せん断応力と比較し巻き上げの影響範囲を定量的に評価したところ，施工法を変えて土砂投入を行うと，影響範囲の挙動にも違いが出ることが確認された．また，一度に投入する土砂量を増加させると，最大影響範囲も増加する．

6.謝辞

この研究の一部は，科学研究費補助金（基盤研究 C：研究番号 21560575，　研究者代表者：渡辺亮一および基盤研究 C：研究番号 21560576，　研究者代表者：山崎惟義）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示す．

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，p p1001-1005，2007

2)中村由行：全国の浚渫窪地の現況と三河湾における埋め戻し修復，水産工学，Vol.46，　p229-233，2010

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，土木学論文集，第 393 号，p33-42，1988