

有限要素法による砂ろ過層中の赤土濁水流解析

琉球大学大学院 学会員 ○江戸 孝昭
 琉球大学 正会員 原 久夫
 琉球大学 正会員 松原 仁

1. はじめに

沖縄県北部地域には、国頭まあじと呼ばれる「赤土」が広く分布している¹⁾が、1972 年ごろから盛んに行われてきた開発により、これらの土壌が侵食され、多くの赤土が周辺海域に流出している。赤土流出は、周辺海域にサンゴ礁等の貴重な海洋生物を有している沖縄県にとって重大な問題となっている。沖縄県は条例を施行し、赤土流出に規制を設けたが、現在でも、赤土流出被害は未だに生じており²⁾、今以上に防止対策を向上させる必要がある。

本研究では、様々な赤土流出防止対策の中でも、ろ過型沈砂池³⁾に着目し、ろ過型沈砂池の機能向上に寄与すべく、有限要素法⁴⁾を用いてろ過型沈砂池の砂層内部のろ過過程の再現を目的とした。本手法の妥当性を検証するために、ろ過型沈砂池の室内ろ過実験(詳細は参考文献⁵⁾を参照)を行い、実験値と解析値との比較を行った。

2. 赤土濁水流解析の支配方程式と解析アルゴリズム

濁水流の支配方程式は次式で仮定した。

$$\nabla v = \nabla(ki) = \nabla^2(kh) = \nabla^2\varphi = 0 \quad (1)$$

ここで、流速： v (mm/s)、透水係数： k (mm/s)、水頭： h (mm)、動水勾配： i 、速度ポテンシャル： φ (mm²/s) である。

本解析のフローチャートを図-1 に示す。本研究で取り扱うろ過型沈砂池の解析においては、式(1)を支配方程式とするが、同図に示すように、濁水の透過流量による砂の透水係数の変化を取り入れるため、これらの影響を考慮できる解析法が必要となる。本研究では、濁水の定水位透水試験⁶⁾により得られた実験結果を参照し、次式のように実験式を導入した。図-2 は透過流量と透水係数の関係を示す

$$k_{900} = 1.2 \exp((-4.0 \times 10^{-6})Q) \quad (2)$$

$$k_{3000} = 1.6 \exp((-10 \times 10^{-6})Q) \quad (3)$$

ここで、単位面積あたりの透過流量： Q (mm³/mm²)、透水係数： k (mm/s) である。また k の右下添え字は、濁

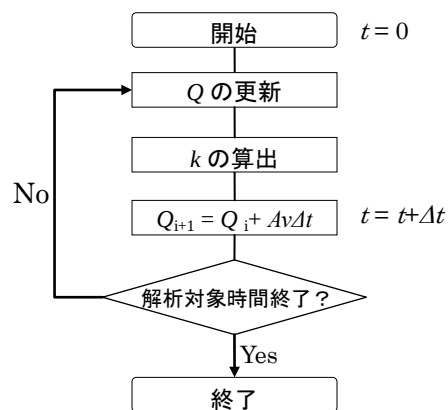


図-1 解析のアルゴリズム

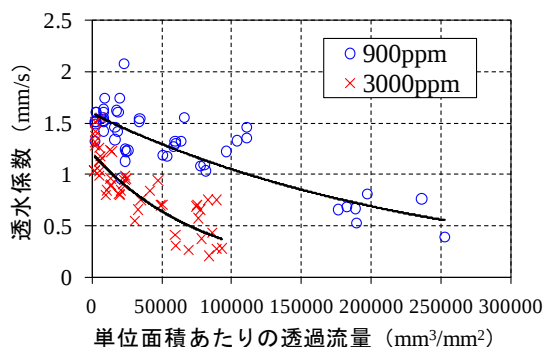


図-2 透過流量と透水係数の関係

水濃度を表わしている。

3. 砂層相対密度のモデル化

ろ過型沈砂池では、ろ過材である砂の相対密度によって、ろ過される透過流量が大きく異なる。これは、ろ過材の相対密度による初期透水係数の変化が大きく影響している。そこで本研究では、各相対密度におけるチービス砂⁷⁾の透水試験を行った。その試験により得られた値をもとに次式にて回帰モデル化し、本解析に組み込むことにした。

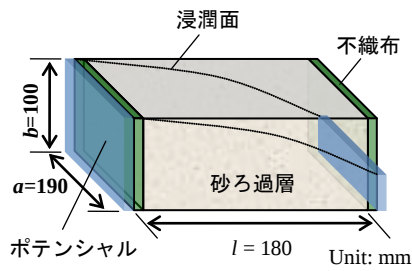
$$k_0 = 0.1556 \exp(-0.0125 Dr) \quad (4)$$

ここで、 k_0 ：初期透水係数(mm/s)、 Dr ：相対密度(%)である。

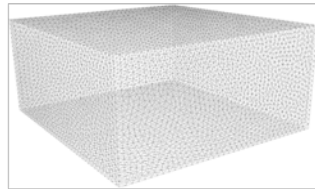
4. 赤土濁水流解析

図-3 は、室内ろ過実験⁵⁾ ($\Delta h = 100$ mm) の境界条件および砂ろ過層をモデル化したものを表わしている。有限要素解析においては、要素を四面体一次要素に仮

定し、要素数は160,921, 節点数は29,385, 要素幅は約5.12mmとした。なお浸潤面は、流出側の下端を焦点とする放物面にて仮定⁸⁾した。



(a) 境界条件



(b) 砂ろ過層の有限要素モデル (四面体一次要素)

図-3 解析モデル

図-4は、各相対密度における室内ろ過実験の実験値と解析値との比較を示しており、図-5には、

$Dr=127\%$ の透過時間270分における砂層内部の x 方向流速の様子を示す。図-4より、本手法によって得られた結果は、砂ろ過層中の透過時間と透過流量の関係を比較的よく再現できている。しかし、相対密度の違いにより、実験値と解析値との乖離の大きさが異なる結果となった。この原因として砂の不均質性の影響や、浸潤面も仮定の影響等、原因の要因は考えられるが明確な原因がはっきりとしていない。

5. まとめ

本解析では、砂層中の赤土濁水流解析の数値シミュレータを開発し、その結果、砂層中の透過時間と透過流量の関係を比較的よく再現できた。しかしながら、砂層中の砂の相対密度が小さい場合、解析値の誤差が大きくなることがわかった。今後は、この乖離の原因を明確にし、より本質的な赤土濁水流解析に近づけることが課題である。

謝辞

本研究は、社団法人沖縄建設弘済会「技術開発支援事業」の補助を受けて行ったものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土質工学会九州支部編：九州・沖縄の特殊土, pp.221-225, 1983.
- 2) 金城孝一, 上原睦男：海域における赤土汚染モニタリング, 平成17年度赤土等流出防止交流集会事例集, 1-9, 2005.
- 3) 沖縄県総合事務開発建設部 赤土等流出防止対策検討会：赤土流出等流出防止対策, 2001.
- 4) O.C.Zienkiewicz, R.L.Taylor : The finite element method – Fourth Edition McGraw-Hill College(UK),1991
- 5) 原久夫, 江戸孝昭：赤土濁水のろ過に関する実験的研究, 平成21年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.339-340, 2010
- 6) 野瀬晴生, 原久夫：砂ろ過層を想定した赤土の目詰まりに関する実験・研究, 第19回沖縄県地盤工学研究発表会, pp.33-36, 2006.
- 7) 原久夫：赤土濁水処理を目的としたろ過型沈砂池の新設計法とその計算例, 研究, 第15回沖縄県地盤工学研究発表会, pp.21-24, 2002.
- 8) 山口柏樹：土質力学(講義と演習), 技術堂, 1969.

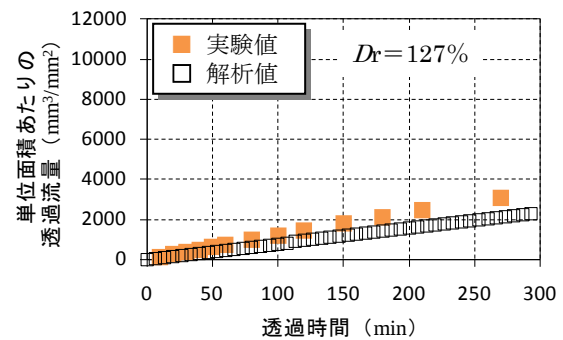
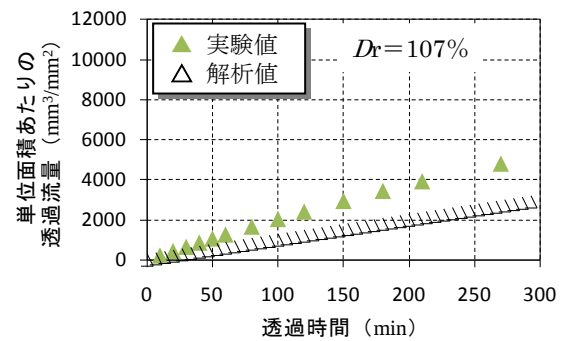
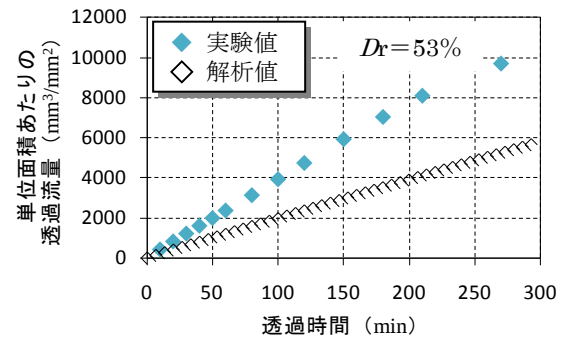
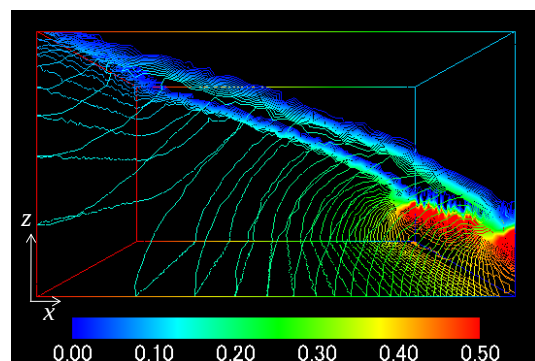


図-4 解析値と実験値との比較

図-5 砂層内部の x 方向流速の様子

(Dr=127%, 270min)