

摩擦損失による浸潤面を考慮した赤土濁水流解析

琉球大学大学院理工学研究科 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

沖縄県では、1972 年ごろから行われてきた開発により土壌が侵食され、多くの赤土が河川を通じ周辺海域に流出し、海洋環境や水産業、観光産業への被害が生じてきた。このような条件下において、1995 年に「沖縄県赤土等流出防止条例」が施行され、赤土の流出防止対策が行われてきたが、赤土被害は未だに生じており、今以上に対策方法を向上させる必要がある。著者らは、前年度より、赤土の流出防止対策の中でも、ろ過型沈砂池に着目し、有限要素法(FEM)¹⁾により、ろ過型沈砂池内における砂層内部の様子の再現を目的とし研究を行ってきた。その結果、実験値と解析値とが比較的よい類似を呈したが、浸潤面位置が固定されているなど改善点が残る解析となっていた。

そこで、本研究では、前年度の研究の次の段階として、赤土粒子による目詰まりと、摩擦による損失水頭、および浸潤面を考慮した赤土濁水流解析の数値シミュレーション手法を確立することを目的とし研究を行った。

2. 赤土濁水流の支配方程式

赤土濁水流の支配方程式は次式で仮定した。

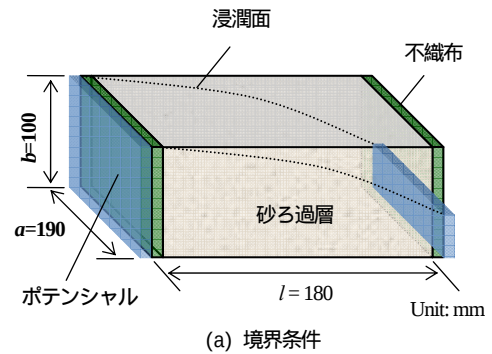
$$\nabla v = \nabla(ki) = \nabla^2(kh) = \nabla^2\phi = 0 \quad (1)$$

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。なお、本解析のアルゴリズム等は参考文献 2)を参照されたい。

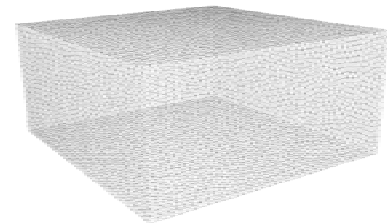
3. 浸潤面位置の仮定

透水現象を数値シミュレーションによって再現する場合、浸潤面の位置が問題となる。そこで、本研究では、流速による損失水頭を用いて浸潤面の位置を決定した。具体的には、流速による損失水頭 h_e は流速に比例するものと仮定し、第 j 要素において式 (2) が成り立つとし、要素の重心を要素の代表点 M とし、代表点 M の座標 (x_m, y_m) が同位置な点の損失水頭を足し合わせる。つまり、座標 (x_m, y_m) における損失水頭の総和を座標 (x_m, y_m) における損失水頭とした (式 (3))。そして、座標 (x_m, y_m) より濁水の流入部に近い座標 (x_{m-1}, y_m) における浸潤面の位置と、座標 (x_m, y_m) における損失水頭との差を、座標 (x_m, y_m) における浸潤面の位置とした (式 (4))。

$$h_e^j = f v^j l^j \quad (2)$$



(a) 境界条件



(b) 砂る過層の有限要素モデル (四面体一次要素)

図-1 解析モデル

$$h_e^m = \sum_n h_e^j \quad (3)$$

$$h_m = h_{m-1} - h_e^m \quad (4)$$

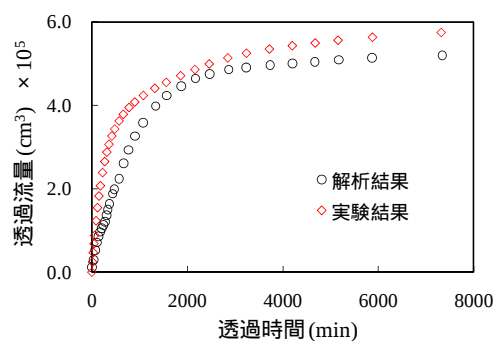
ここで、 h_e^j : 各要素の損失水頭(mm), f : 係数, v^j : 各要素の流速(mm/s), l^j : 各要素の代表長さ(mm), h_e^m : x_m, y_m における損失水頭(mm), h_m : 座標 (x_m, y_m) における浸潤面の位置(mm), h_{m-1} : 座標 (x_m, y_m) より濁水の流入部に近い座標 (x_{m-1}, y_m) における損失水頭(mm)である。

4. 解析結果

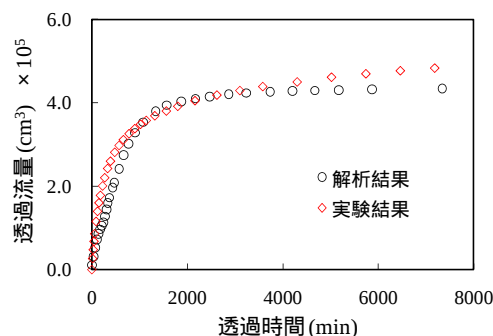
図-1 は、境界条件および砂る過層をモデル化したものを表わしている。有限要素解析においては、要素を四面体一次要素に仮定し、要素数は 160,921、節点数は 29,385、要素幅は 約 5.12mm とした。

図-2 には、時間 - 透過流量の関係の解析値と実験値との比較を示す。解析および実験は濁水流制御板²⁾のない場合と、濁水流制御板なる流量を調節する板を濁水の「流入部」および、ろ過層(砂層)の「中央部」に設けた場合の、計 3 パターン行った。

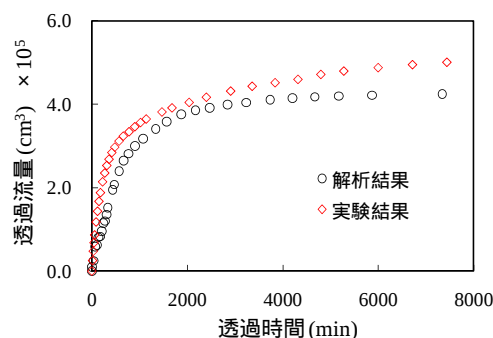
同図より、本解析手法において、時間経過と共にグラフの勾配が小さくなっていくことから、目詰まりを考慮した解析が行えたと考えられる。さらに、各パターンにおいて、解析値は実験値と比較的近い値を呈する結果となり、本解



(a) 濁水流制御板「なし」



(b) 濁水流制御板「流入部」



(c) 濁水流制御板「中央部」

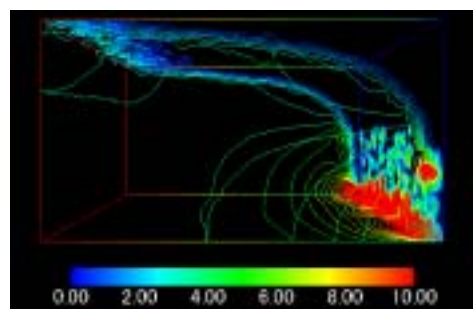
図-2 時間 - 透過流量の関係

析はろ過型沈砂池内の砂層部における時間 - 透過流量の関係を比較的よく再現できる手法であることがわかる。

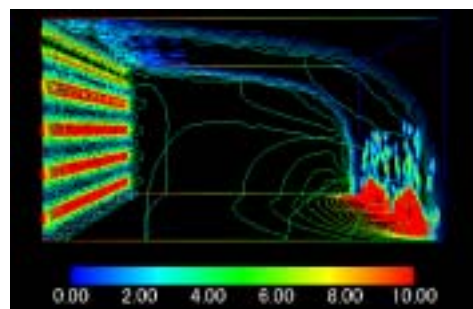
図-3 には、ろ過型沈砂池における砂層内部の様子を示す。図-3(a)には、濁水流制御板²⁾のない場合のろ過型沈砂池内の砂層内部の様子を示し、図-3(b)および図-3(c)には、濁水流制御板なる流量を調節する板を濁水の「流入部」と、ろ過槽（砂層）の「中央部」に設けた場合の砂層内部の様子を示す。

図3より、濁水流制御板を設けた場合と設けない場合では明らかに浸潤面の形状が異なり、さらに濁水流制御板を設けた場合においても、濁水流制御板の位置によって浸潤面の形状が異なる様子が見られる。これは、前年度に行っていた、浸潤面の位置を固定した場合には見られない解析結果である。

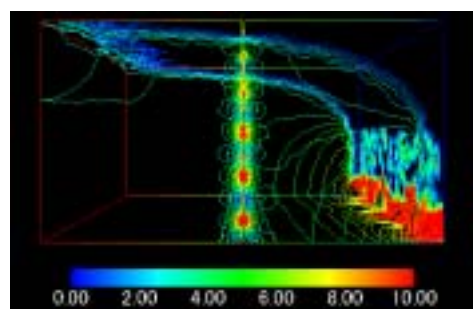
5. おわりに



(a) 濁水流制御板「なし」



(b) 濁水流制御板「流入部」



(c) 濁水流制御板「中央部」

図-3 砂層内部の様子（解析結果）

本研究では、前年度の研究として行った、ろ過型沈砂池における砂層中の濁水流解析の次の段階として、赤土粒子による目詰まりと、摩擦による損失水頭、および浸潤面を考慮した赤土濁水流解析を行った。その結果、浸潤面形状が砂層内部の違いにより異なる形状を見ることができ、前年度の課題の一つでもあった、浸出点の移動現象を考慮する解析を行うことが可能となった。さらに、解析値および実験値も比較的近い値を呈する結果となり、実際のろ過型沈砂池における砂層部内の現象に近い解析を行えることが可能となったと考えられる。以下に今後の展開を列記する。

- ・ 透過流量-透水係数も関係 ($Q-k$ の関係) を、赤土の捕獲量を考慮した関係式等に修正
- ・ ろ過機能を向上できる方法に関して、数値解析的な視点からも検討する

参考文献

- 1) Zienkiewicz, O.C. ・ Taylor, R.L. (共著, 矢川・大坪・三好監訳): マトリックス有限要素法 I, II, 科学技術出版, 1969
- 2) 江戸孝昭, 松原仁, 原久夫: ろ過型沈砂池における赤土濁水流の有限要素解析: 応用力学論文集 Vol.13 2010.8