

B-52 数値シミュレーションを用いた傾斜土槽法 における最適設計の試み

○富田 浩樹^{1*}・米田 稔¹・齊藤 卓弥²・中山 亜紀¹

¹京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 (〒615-8530 京都市西京区京都大学桂)

²アサヒビル株式会社 (〒130-8602 東京都墨田区吾妻橋1-23-1)

* E-mail: tomita@risk.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

アジア諸国における人口増加と産業の発展に伴って水質汚濁が深刻化している。しかし、これらの汚水を処理する下水処理施設の普及には長期間が必要であり、普及するまでの間、簡易的な処理システムが必要となる¹⁾。

現在注目されている土壌浸透処理方法に傾斜土槽法と呼ばれる簡易処理システムがある。

傾斜土槽法は、安価で運転が容易であり、コンパクトであることが利点である。本研究では、処理効率を上げるために、滞留時間の確保を目的とした様々な構造を提案したが期待する効果をえられなかった。このため、傾斜土槽に対し、飽和・不飽和シミュレーションを行うことにより、定常状態における傾斜土槽内の水の流れについて解析を行った。そして、従来の傾斜土槽の構造と比べて条件を変え、滞留時間の確保に有効な設計について検討を行った。

2. 傾斜土槽改良の試み

従来の傾斜土槽の構造に改良を加えた。傾斜土槽法においては、遮水板と呼ばれる壁が傾斜土槽内に設置されている。遮水板は、底部に湛水部を作ること、滞留時間の増加、嫌気性条件の形成と強化、水平方向の偏流防止を行う、などの効果が期待される。この遮水板に着目し、従来の傾斜土槽で用いた遮水板の高さを、6cmから8cmに変え、枚数を3枚から12枚に増やした。さらに、遮水板の下を通った水が、次の遮水板を超えるまでの間において上向流となるように設計を行った。これは脱窒を目的とし、嫌気層が形成されることを期待したものであ

る。この構造を上向き流れ型と呼ぶことにする。

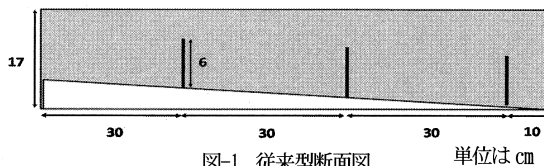


図-1 従来型断面図

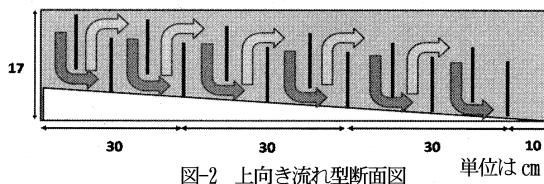


図-2 上向き流れ型断面図

(1) 実験操作

従来型の傾斜土槽、上向き流れ型について傾斜土槽をそれぞれ2段ずつ積み、塩素イオン濃度が30mg/Lとなるように塩化ナトリウムを加え、その処理水を流下させた。流量は0.51ml/secとし、処理水は循環させた。流し始めから1時間ごとに下段流出部において採水し、誘導プラズマ質量分析装置(ICP-MS)を用いて、質量35を測定することにより、塩素イオン濃度を測定した。

(2) 実験結果と考察

実験結果を以下に示す。

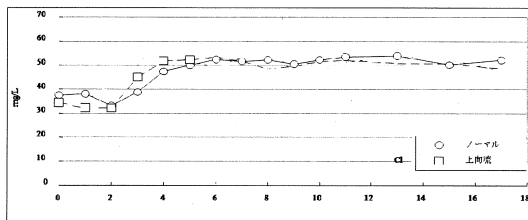


図-3 塩素イオン濃度経時変化

結果を見ると、2つの傾斜土槽において滞留時間はほぼ等しく、4～5時間となっている。上向き流れ型では、流下距離が長くなり、滞留時間が長くなると考えられるが、ほぼ同じ滞留時間しか確保できていない。傾斜土槽内部の水の流れを解明することが、今後の処理効率を上げることにつながると考えられる。

3. 水分移動モデル

(1) 飽和 - 不飽和シミュレーション

傾斜土槽内の水分移動を解析するにあたり、飽和 - 不飽和領域の浸透の方程式として、以下の式を用いた⁹⁾。

$$(\beta \cdot S_s + C_s) \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial (\phi + z)}{\partial z} \right) \quad (1)$$

(2) 物性パラメータ

数値計算を行うにあたって、使用したパラメータの設定方法と、その値について示す。本研究では黒瓦破砕材（径1～2mm）を用いて実験を行ったが、今回の数値計算では米田ら⁹⁾による赤瓦破砕材（径1～2mm）の水分特性曲線と透水係数の式を用いることとする⁹⁾。

(3) 計算条件

解析方法として有限差分法を用い、空間差分幅を $dx=5.0 \times 10^{-3}$ (m)、 $dz=5.0 \times 10^{-3}$ (m) とし、時間差分幅は、 $dt=1.0 \times 10^{-4}$ (sec) とした。

初期条件として重力排水状態を仮定し、傾斜土槽への流入は0.5mL/secとし槽内の各メッシュの含水率変化が5分間シミュレーションで1%以下になるまで計算を行い、収束した結果を定常解とした。

(4) 結果

計算結果と、実測値との比較を行った。実際の傾斜土槽（従来型）において図4に示すA～F地点において体積含水率を測定した。体積含水率の測定にはECH20プローブECH20プローブ、EC-5、メイワフォース株式会社）とデータロガー（デカゴン社製）を用いて測定した。

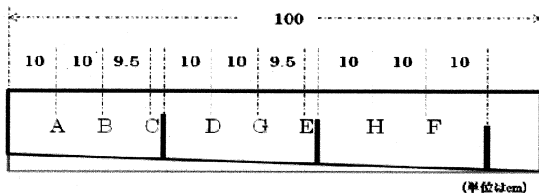


図4 測定地点

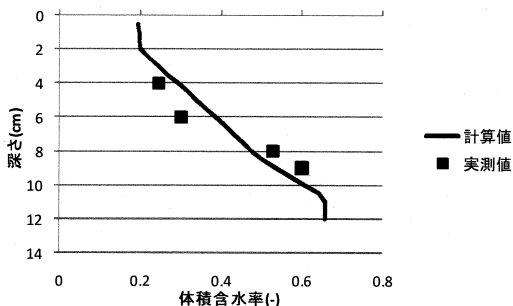


図5 D点における計算値と実測値

(5) 考察

計算結果は良好であるといえる。よって、これらのパラメータを用いて、新たな設計の傾斜土槽についてもこのパラメータを使用した。また、含水率分布から飽和部分が想定していたよりも小さい領域であることがわかる。これは傾斜土槽の流出口が傾斜土槽の後方底部に存在することが原因であると考えられる。流出口は大気圧と接する部分となり、流出口を上部に設置すれば、飽和面（水面）はより上部にできると考えられる。

(6) 傾斜土槽の設計

2. において提案された上向き流れ型に加えて、低壁型、壁一枚型、no slope型についても同条件下にてシミュレーションを行い、傾斜土槽内の水分分布について推測した。

低壁型では、従来型と比べて、遮水板の高さを3cmとした。壁一枚型では傾斜土槽後方の遮水板のみを残した設計とした。no slope型では従来型と比べて傾斜を無くした設計とした。

4. 粒子追跡法による滞留時間の推定

(1) 粒子追跡法と計算条件

粒子追跡法は地下水解析において、移流・分散による汚染物質の濃度分布変化の追跡と流動場の可視化に主に用いられる。無限に小さい多数の仮想粒子の移動を追跡することで、流動状況と濃度変化を解析する手法である。今回の粒子追跡プログラムでは水分移動モデルから水頭分布を受け取り、流速分布を計算し、流動経路をたどった⁴⁾。移流分散方程式における分散のシミュレーションにはランダム・ウォーク法を用いた。3.で得られた水分分布により、仮想の粒子を流入させる。粒子は実流速に従うとする。滞留時間を推定する方法として、流入口に1000個の仮想粒子を投入させ、流出口に到達するまでの時間分布について計算を行った。

(2) 計算結果

各設計における時間毎の排出粒子数を図6に示す。

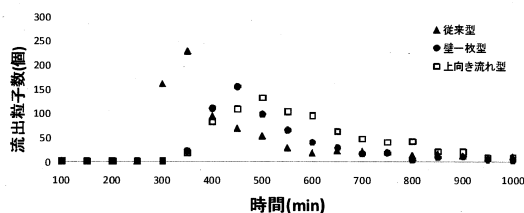


図-6 流出粒子数分布

(3) 考察

計算の結果、no slope型では流出粒子のピークが約100分、低壁型では約300分であった。これらの構造では滞留時間を確保することが出来ないと推測される。壁一枚型と上向き流れ型では従来型より少し長く滞留時間を確保している。

上向き流れ型と従来型では2.での実測値とシミュレーション結果とで一致したと言える。滞留時間に差がない原因として遮水板の効果がある。遮水板の前後で圧力水頭の差が大きくなっており、流速が増大していると考えられる。

5. 検証

シミュレーション結果を受けて、従来型と壁一枚型についての検証実験を行った。

(1) 実験方法

1500mg/Lの塩化ナトリウム水溶液を30L以上用意した。0.5mL/secで純水を流入させつづけ、1日以上放置し定常状態とした。塩化ナトリウム水溶液を純水に変えて流入させ、流し始めた時刻を開始時刻とし、時間ごとに流出口で採水を行った。流出水中の電気伝導度を電気伝導度計CD5021A (CUSTOM社製)を用いて測定することにより、各傾斜土槽の滞留時間を測定した。

(2) 結果

以下に2つの傾斜土槽における流出水中の電気伝導度の経時変化を示す。

(3) 考察

電気伝導率の上がり始めは従来型よりも壁一枚型が速いが、全体としては壁一枚型が従来型より、長く滞留させることが出来ると考えられる。壁一枚型での電気伝導率の上がり始めが速い点は、遮水板を減らしたことにより、水みちが発生する効果などが生じたと考えられる。

この点では、3枚の遮水板を持つ従来型は安定した処理により設計であると考えられる。

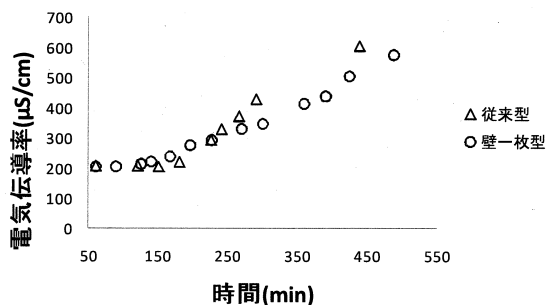


図-7 滞留時間実測値

6. まとめ

改良した傾斜土槽の構造上、上向き流れ型は従来型よりも流下距離が長くなると考えられるが、ほぼ等しい滞留時間であった。傾斜土槽中の水の流れについての解析を行ったところ、遮水板を越流する際に流速が上がり、長い距離を流下させても結果的に従来型とほぼ同じ滞留時間しか確保できていないと考えられる。遮水板を傾斜土槽後方の1枚のみにした壁一枚型について検証を行ったところ、流出までの時間にばらつきがあるが滞留時間の確保に有効と言える。しかし、従来型は傾斜土槽内の水の流れを均一にし、安定した処理にはよい設計であると言える。また、傾斜土槽の最適設計においては、本研究で行ったような数値解析による方法が有効である。今後、3次元のシミュレーションや酸素の溶解、生物反応を考慮したシミュレーションも考慮することにより、傾斜土槽法のより詳細な最適設計が可能になると考えられる。

参考文献

- (1) 生地正人：傾斜土槽法による生活雑排水処理、環境技術Vol31, No12, 2002
- (2) 日本地下水学会：地下水シミュレーション、技法堂出版、P44、P89、2010
- (3) 米田 稔、森澤真輔、安河内健、新井貴史：廃瓦を用いた透水性舗装の温熱特性について、地球環境シンポジウム講演論文集、第14巻、pp.223-228、2006
- (4) Mary P. Anderson, William W. Woessner "APPLIED GROUNDWATER MODELING", 共立出版株式会社、1994、P171
- (5) Jacob Bear, Arnold Verruijt "Modeling Groundwater Flow and Pollution", D. Ridel Publishing Company, 1987