

木曽川感潮域に形成された土砂堆積域における浸透流挙動に関する研究

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○塩之谷仁大
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 戸田 祐嗣
 名古屋大学大学院工学研究科 フェロー 辻本 哲郎

1 はじめに

河川感潮域では潮汐による水位の周期的な変動に伴い陸域と水域の間で水交換が生じる。この過程の中で土中を流れる水は、微生物などの影響を受け、脱窒等の水質浄化機能を持つものと考えられる。

木曽川の感潮域には、水制群が設置されたことで水制間にワンドと呼ばれる死水域ができ、土砂堆積域（以降ワンドと呼ぶ）が形成されている。通常河川に発達する砂州とワンドでは土壌特性や形状の違いから、浸透流の挙動、水分保持特性等に相違が見られ、その結果、水質浄化への寄与も異なっていると考えられる。そこで本研究では砂州とワンドの違いに着目し、それぞれの持つ水質浄化機能を評価する第一歩として、土壌特性と地形の違いが浸透流挙動に与える影響を数値解析に基づいて考察する。

2 数値解析概要

(1) 数値モデル

数値モデルは鉛直 2 次元飽和不飽和浸透流モデルを用いた。基礎方程式は Darcy 則および間隙水の質量保存則より、地下水面と浸透流を一体的に取り扱える Richards の飽和 - 不飽和浸透流式を用いた。基礎式を式(1)に示す。また使用プログラムは岡山地下水研究グループ (1999) より配布されている有限要素法による飽和不飽和浸透流解析プログラム「AC-UNSAF2D」を使用した¹⁾。

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial \psi} + \beta S_s \right) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] \quad (1)$$

ここに、 θ : 体積含水率、 ψ : 圧力ポテンシャル、 S_s : 比貯留係数、 K : 透水係数である。 β は飽和領域で圧力ポテンシャルの変化による空隙率の変化が生じないものと仮定し、0のとき不飽和状態を表し、1のときは飽和状態を表すダミー変数である。

また、Richards の式を解くには、土壌の不飽和特性として、 θ , ψ , K の3つの変数における相互関係が必要となってくる。 ψ - θ 関係については図-1で

示す水分特性試験の結果を用い、 K - θ 関係については一般化 Kozeny 式(2)を用いた。

$$K = K_s S_e^\beta = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\beta \quad (2)$$

ここに、 S_e : 有効飽和度、 θ_s : 飽和体積含水率、 θ_r : 残留体積含水率、 K_s : 飽和透水係数、 β : 係数。空間の離散化には動水勾配一定の三角形有限要素を2つ合わせた四角形状要素を導入し、要素内の内挿水頭値は Galerkin 法によって近似した。時間積分には後退差分法を用い、各時刻における収束計算はガウスの消去法を用いた。所定のタイムステップでの収束判定には繰り返し計算の過程で圧力水頭値を直接比較しており、その許容誤差は 5mm と設定した。

(2) 解析条件

砂州とワンドの違いを明確にするため、本研究では砂州、ワンドそれぞれにおいて土壌は空間的に一様であると仮定し、簡単なモデル地形を用いて評価を行った。砂州とワンドそれぞれの土壌特性は、実際に木曽川感潮域で採取した試料をもとに選定した。これを表-1 に示す。

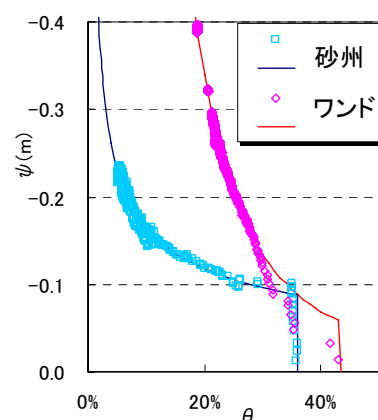


図-1. 水分特性曲線

ここで飽和透水係数 K_s については異方性を考慮せず、同じ底質では一定値を与えている。また、水位変動については振幅 1m の正弦波を与えた。

表-1.砂州・ワンドの土壌特性

	S_s (1/m)	K_s (m/s)	θ_s	θ_r	β
砂州	1.5×10^{-5}	6.29×10^{-4}	0.36	0	3
ワンド	1.9×10^{-5}	1.90×10^{-5}	0.435	0	3

3 解析結果

(1) 土壌特性の違いに対する応答

土壌特性による浸透流挙動の違いを明確にするため、同一の地形で浸透流解析を行った。この結果を図-2に示す。ここで土中の水位は圧力ポテンシャル $\psi=0.0$ となった高さである。

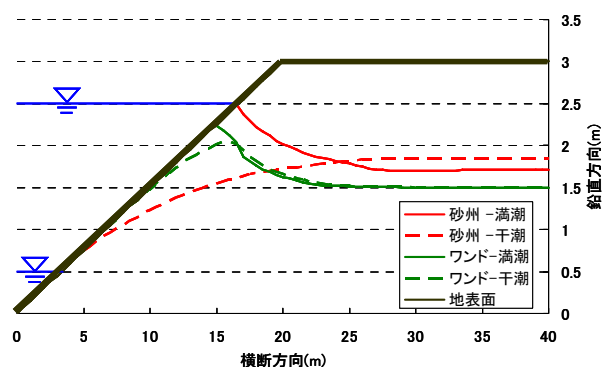


図-2.満潮時・干潮時の地下水位

これより、砂州とワンドで浸透流の挙動に大きな違いが見られる。砂州では表流水位に応答して地下水位が変動し、その応答に位相差が生じている。一方、ワンドでは透水性が低いために表流水位の変動に対する地下水位の応答が遅れ、土壌表層で水位が不連続となっている。この条件では、潮汐1周期あたりの水域と陸域の水交換量は単位幅あたり、砂州で $2.67(\text{m}^3)$ 、ワンドで $0.093(\text{m}^3)$ と大きな違いがみられた。

(2) 地形の違いに対する応答

流水的作用により河床が平坦な砂州に比べて土砂の堆積しやすいワンドは地形の起伏が大きいという特徴がある。そこで、このような地形の特徴を斜面勾配の違いで代表させることにし、図-2のようなモデル地形を与えた。そして、モデル地形の斜面勾配を変化させて解析を行うことで、浸透流の地形の違いに対する応答を考察した。なお、ここでの土壌特性はワンド地形のものをを用いて行った。

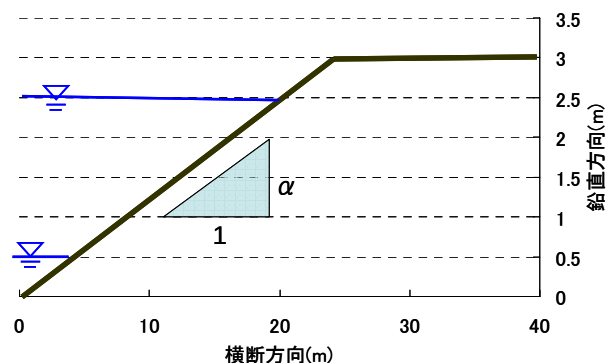


図-3.河床勾配を変化させるモデル地形

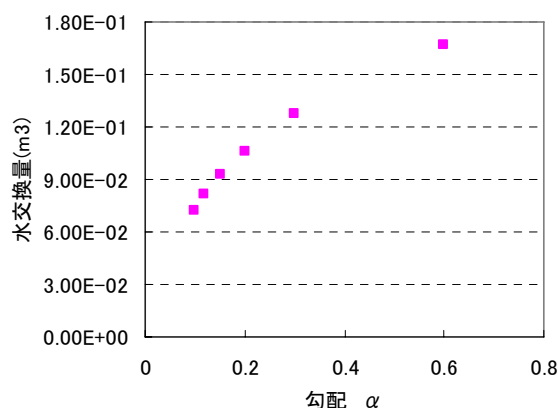


図-4.斜面の勾配と水交換量の関係

この結果を図-3に示した。これより斜面勾配 α が大きくなるにつれて、水交換量が増加していくことが分かる。これは、斜面の勾配が大きくなることで、土壌表層での動水勾配が増加し、その地点での流速が増すためと考えられる。

4 まとめ

数値解析により、土壌特性や地形の異なる砂州・ワンドの基礎的な浸透流挙動の違いを把握することが出来た。今後は、土壌水中に存在する物質の動態を追うことで、ワンド・砂州の持つ水質浄化機能に言及していく予定である。

5 参考文献

1) 西垣誠, 進士喜英, 岡山大学地下水研究グループ (1999): 有限要素による飽和不飽和浸透流解析—AC—UNSAF2D—プログラム解説及びユーザーマニュアル。