

東京大学生産技術研究所 正 員 虫明功臣
 東京大学大学院 ○学生員 内田 滋

1. はじめに

地下水面の位置が浸透地下トレンチからの浸透現象に与える影響を数値実験的に検討し、浸透施設からの浸透現象の評価に対する基礎的知見を得ることを目的とする。トレンチ底面から、10, 110, 210, 310 および 660 cm の各深度に地下水面が存在している場合について、浸透量と時間の関係および飽和領域の拡がり方について考察する。また、飽和領域の拡大により、飽和領域内部の吸引圧勾配が緩やかになる様子を境界要素法を用いて明らかにする。

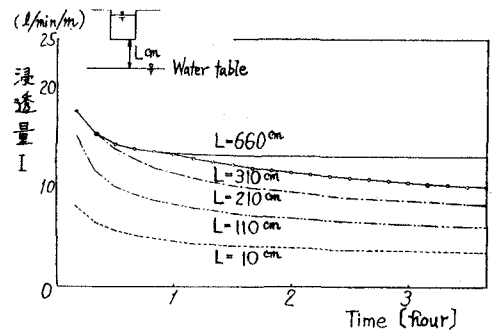


図1. 浸透量と時間との関係

2. 計算方法と土壌パラメータ

支配方程式は Richards の式を用い、トレンチの軸に垂直な断面内での2次元流を考え、透水係数は等方性とし、次式を用いる。ただし、 ψ は吸引圧、 k は不飽和透水係数、 θ は含水率である。

$$f(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right\}, f(\psi) = \frac{d\theta}{d\psi} \quad \text{--- (1) 式}$$

 解析には、有限要素法を用いた。横10m、深度8mまでを解析領域とした。境界条件として、 $x = 10\text{m}$ の境界およびトレンチ周辺を1種境界条件とし、初期値を与え、他の境界は不透水面とした。すなわち、トレンチ中心軸 ($x = 0\text{m}$) では対称流と考え不透水境界とし、かつ比較的短期間の水分変動を対象としているので、地表面 ($z = 0\text{m}$) でも不透水境界とした。トレンチ内水深は70cm一定とした。初期条件としては、地下水面上1mまでは吸引圧が直線的に減少するとし、その上部では、 $\psi = -100\text{cm}$ の一定吸引圧を与える。

Gr. S. Campbell の方法により

$$\theta - \psi \text{ 関係; } \psi = \psi_{cr} (\theta / \theta_0)^{-b}$$

$$k - \psi \text{ 関係; } k = K_0 (\psi_{cr} / \psi)^{2+2/b}$$

ただし、 ψ_{cr} ; エア-エントリーポテンシャル、 K_0 ; 飽和透水係数、 θ_0 ; 飽和含水率、 b ; 定数で表わされることから、解析に用いた土壌パラメータは東大生研千葉実験所内で採取したサンプル値 (深度60cm) より、 $K_0 = 5.5 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$, $\psi_{cr} = -20\text{cm}$, $\theta_0 = 76\%$, $b = 12.5$ である。

3. 計算結果と考察

図1は浸透量の時間変化である。トレンチ底面と地下水面と

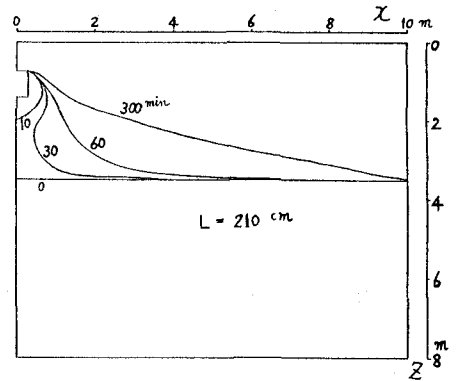


図2. 飽和域の拡がり ($L = 210\text{cm}$)

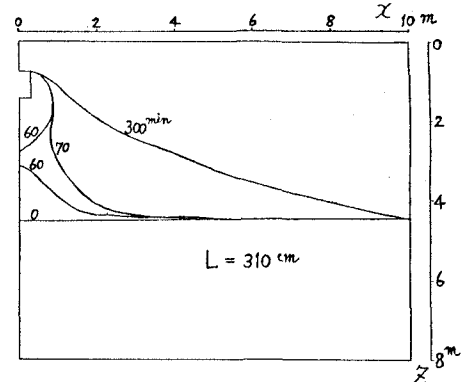


図3. 飽和域の拡がり ($L = 310\text{cm}$)

の距離 L が大きいほど浸透量が大きい。地下水面が解析領域にない場合、即ち $L > 660 \text{ cm}$ の場合は $L = 660 \text{ cm}$ の場合の浸透量の時間変化とほぼ同じである。 $L > 660 \text{ cm}$ の場合の注入開始後5時間後の浸透量は $I = 13.11 \text{ (l/min/m)}$ である。

図2, 図3は飽和域の拡がり方を示している。図3を見ると注入開始後60minと70minの間でトレンチからの飽和域と地下水面からの飽和域とが交わる。図1で、 $L = 310 \text{ cm}$ の浸透量の時間変化が $L = 660 \text{ cm}$ の浸透量の時間変化曲線から、注入開始後60min付近で急に落ちていったのは、飽和域が急に拡大され、トレンチ近辺の吸引圧勾配が緩やかになったためである。図1で、 $L = 210 \text{ cm}$ の浸透量の時間変化曲線が、注入開始後20min付近で、 $L = 660 \text{ cm}$ の浸透量の時間変化曲線から落ちていったのも、同じ理由からである。これは、図2で、注入開始後10minと30minの間でトレンチからの飽和域と地下水面からの飽和域とが交わるからである。(飽和域の拡大とともに、飽和域内部の吸引圧勾配が緩やかになることについては註参照のこと。)

図4は、トレンチ底面から地下水面までの距離 $L(\text{m})$ と注入開始後5時間後の浸透量 $I \text{ (l/min/m)}$ との関係を示している。曲線Aは、東大生産技術研究所内で採取した小サンプル値を用いた場合の結果であり、曲線Bは東京昭島つつじヶ丘ハイイツ内で採取した小サンプル値を用いた場合の結果である。これを見るとわかるように、曲線Aは、 $L = 7 \text{ m}$ 付近まで、地下水の影響を受けるのに対し、曲線Bでは L が約3m以上になると地下水の影響を受けない。このように、土壌特性により、地下水面の影響は異なり、透水性の良い土壌ほど、浸透量が地下水の影響を受けやすくなることがわかる。なお、曲線Bは、第29回水理講演会論文集からの引用である。

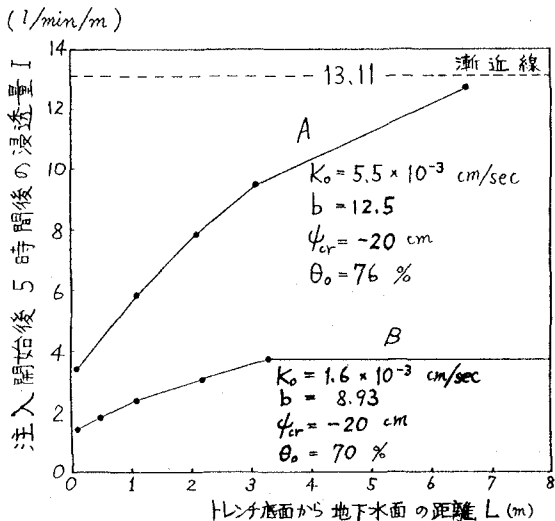


図4. 注入開始後5時間の浸透量

図4は、トレンチ底面から地下水面までの距離 $L(\text{m})$ と注入開始後5時間後の浸透量 $I \text{ (l/min/m)}$ との関係を示している。曲線Aは、東大生産技術研究所内で採取した小サンプル値を用いた場合の結果であり、曲線Bは東京昭島つつじヶ丘ハイイツ内で採取した小サンプル値を用いた場合の結果である。これを見るとわかるように、曲線Aは、 $L = 7 \text{ m}$ 付近まで、地下水の影響を受けるのに対し、曲線Bでは L が約3m以上になると地下水の影響を受けない。このように、土壌特性により、地下水面の影響は異なり、透水性の良い土壌ほど、浸透量が地下水の影響を受けやすくなることがわかる。なお、曲線Bは、第29回水理講演会論文集からの引用である。

註) 飽和領域内部の吸引圧分布について

境界要素法を用いて、飽和域内部の吸引圧分布を求めた。飽和域内部では $\theta = \theta_o$, $k = k_o$ とおけるため、(1)式は、 $\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0$ ——(2)式で表わすことができる。境界条件として、トレンチ中心軸上($x = 0 \text{ m}$)で不透水境界、その他の境界は1種境界とする。注入開始後30minの場合の境界Aは有限要素法で得られた値を用いた。図5は得られた吸引圧分布図である。 $(L = 210 \text{ cm}$ のとき)

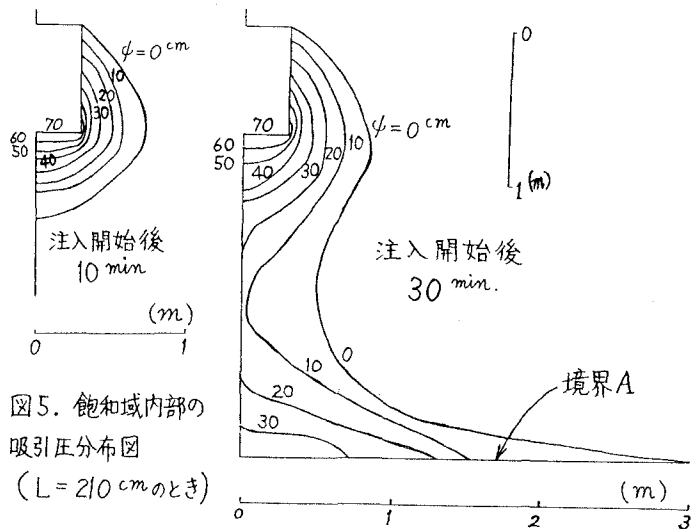


図5. 飽和域内部の吸引圧分布図
($L = 210 \text{ cm}$ のとき)

後10minと30minの図) これを見ると明らかな様に、実験開始後30minの吸引圧勾配は、実験開始後10minの吸引圧勾配より、緩やかであることがわかる。

参考文献 1) 虫明, 岡, 内田, 田村「土壌物理特性が雨水浸透施設の浸透特性に及ぼす影響」第29回水理講演会論文集