

降雨の鉛直かん養機構のモデル化

京都大学工学部 正会員 ○青木一男、嘉門雅史
京都大学大学院 学生会員 村上公一

1. まえがき 降雨による地下水の鉛直かん養機構は、不飽和浸透理論により説明することができる。しかし、不飽和浸透理論に基づく有限要素解析等では、各パラメータ値、非定常解析の初期条件の設定法等が十分に確立されていないのが現状であり、また多くの計算時間も要する。このような問題を解決するため、本論文では、地下水の鉛直かん養機構のモデル化として、修正タンクモデルを提案するとともに、その近似性について検討する。

2. 修正タンクモデルの構造 修正タンクモデルの構造は、図-1に示すように側方の流出孔がない直列2段のタンクモデルで、各タンクの流出率 α_1 、 α_2 が前時間ステップにおける貯留水深 B_1^{n-1} 、 B_2^{n-1} の関数で表されるものである。関数形としては、種々のものが考えられるが、ここでは簡単のため1次式を仮定した。1段目のタンクの流出率は次のように表す。

$$\alpha_1^n = a_{12} \quad (0 \leq B_1^{n-1} < a_{11}) \quad (1)$$

$$\alpha_1^n = a_{13} \times (B_1^{n-1} - a_{11}) + a_{12} \quad (a_{11} \leq B_1^{n-1}) \quad (2)$$

ただし、 $\alpha_1^n \geq 1$ となる場合は、 $\alpha_1^n = 1$ とする。

ここに、 α_1^n ：流出率、 B_1^{n-1} ：前時間ステップにおける貯留水深、 a_{11} 、 a_{12} 、 a_{13} ：定数である。また、2段目についても同様に、次のように表せる。

$$\alpha_2^n = a_{22} \quad (0 \leq B_2^{n-1} < a_{21}) \quad (3)$$

$$\alpha_2^n = a_{23} \times (B_2^{n-1} - a_{21}) + a_{22} \quad (a_{21} \leq B_2^{n-1}) \quad (4)$$

ただし、 $\alpha_2^n \geq 1$ となる場合は、 $\alpha_2^n = 1$ とする。

ここに、 α_2^n ：流出率、 B_2^{n-1} ：前時間ステップにおける貯留水深、 a_{21} 、 a_{22} 、 a_{23} ：定数である。

また、各タンクからの流出量は次式となる。

$$q_1 = \alpha_1^n \times B_1^n \quad (5)$$

$$q_2 = \alpha_2^n \times B_2^n \quad (6)$$

ここに、 q_1 、 q_2 ：流出量、 B_1^n 、 B_2^n ：各時間ステップにおける貯留水深である。

修正タンクモデルは、従来のタンクモデルを拡張したもので、 a_{11} 、 a_{21} の値が大きくなると従来のタンクモデルと等価になる。

3. 修正タンクモデルの鉛直かん養機構の近似性 鉛直かん養機構を修正タンクモデルにより表現することの可能性について議論する。ここでは、Richardsの式を有限要素法を用いて定式化した鉛直1次元不飽和浸透解析により得られた鉛直かん養量を観測値と見なし、修正タンクモデルの各パラメータを同定することにより検討する。不飽和浸透解析に必要な圧力水頭と体積含水率および不飽和透水係数との関係はそれぞれ Brooks & Corey の式、Irmyの式を用いた。

これらの関係を規定する各パラメータ値としては、表-1に示す値を採用した。解析モデルとして100cmの砂柱を考えた。境界条件は、上端からは浸透量を与え、下端は圧力水

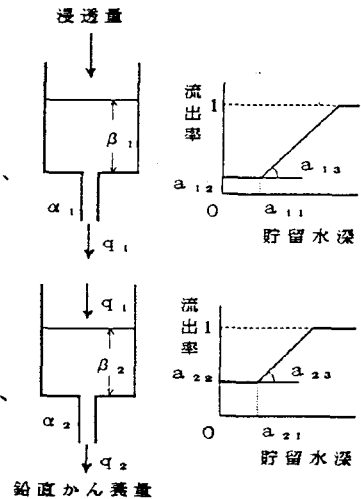


図-1 修正タンクモデルの構造

表-1 不飽和浸透解析のパラメータ

試料番号	No.1	No.2
飽和体積含水率	0.400	0.326
最小含水量	0.015	0.075
飽和透水係数(cm/sec)	5.30×10^{-4}	2.78×10^{-4}
限界毛管水頭(cm)	30.000	13.061
λ	1.322	1.279

Kazuo AOKI, Masashi KAMON and Koichi MURAKAMI

頭を0cmで固定するものである。0.5mm/dayの定常浸透流を流下し得る状態を初期条件として、図-2に示した浸透量により発生する鉛直かん養量を不飽和浸透理論により算出したものが図-2、3の実線に示すものである。ここで得られたかん養量および浸透量を観測値とみなして修正タンクモデルの流出率を規定する各パラメータおよび初期の貯留水深 B_1^0 、 B_2^0 をPowellの共役方向法を用いて同定した結果が表-2である。この値を用いた修正タンクモデルにより算定した鉛直かん養量を図-2、3の破線に示す。さらに、降雨による地下への浸透量が異なる場合に対し、No.1について不飽和浸透解析による鉛直かん養量と表-2の各パラメータを用いた修正タンクモデルによるものとを比較をしたものが図-4である。これによると両者はよく一致しており良好な近似性を示している。

表-2 修正タンクモデルの同定結果

パラメータ	同定結果	
	No.1	No.2
a_{11} (mm)	17.991	20.325
a_{12}	0.0152	0.6152
a_{13} (mm ⁻¹)	0.0126	0.0000
B_1^0 (mm)	14.657	0.0000
a_{21} (mm)	7.5679	0.0001
a_{22}	0.0908	0.5481
a_{23} (mm ⁻¹)	0.0137	0.0286
B_2^0 (mm)	7.5769	0.8962
残差二乗和	4.2227	1.4709

次に表-1に示した試料の中で、No.1は浸透量に対して鉛直かん養の発生の時間的遅れが小さく、不飽和性が弱いものと見なせる。それに対し、No.2は時間的遅れが大きく、不飽和性が強い。この関係が修正タンクモデルの各パラメータにどのような影響を与えているか議論する。

No.1では、第1段のタンクの流出率がほぼ一定となっており、従来のタンクモデルと等価である。しかし、第2段のタンクは明らかに修正タンクモデルとなっている。また、No.2では、第1段、第2段の両者とも修正タンクモデルで表現されている。これより、試料の不飽和性が弱い場合には、従来のタンクモデルで表現できるが、不飽和性が強い場合には、修正タンクモデルで表現しなければ十分に近似できないことがわかる。

4. あとがき 鉛直かん養機構を表現する新しいモデルとして修正タンクモデルを提案した。修正タンクモデルにより得られた鉛直かん養量と不飽和浸透解析より得られた値を比較した結果、良好な近似性を示した。これより、降雨により発生する鉛直かん養機構が修正タンクモデルにより十分表現できることが明らかになった。今後は、実地盤への適用を目指す予定である。なお、本研究に際し多大なご援助、ご指導を頂いた京都大学赤井浩一教授に深く感謝致します。

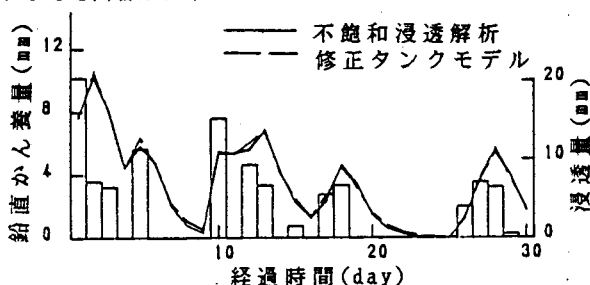


図-2 鉛直かん養量の比較 (No.1)

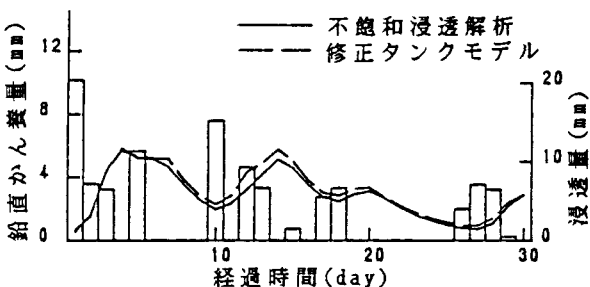


図-3 鉛直かん養量の比較 (No.2)

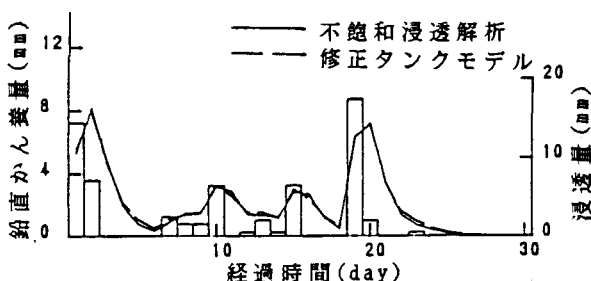


図-4 鉛直かん養量の比較 (No.1)