

表層土壌の特性の違いによる土中浸透量の評価と流出解析

長崎大学工学部 正 員 野口 正人

水資源開発公団 正 員 米倉 広幸

長崎大学工学部 学生員 〇原 宏一

1. まえがき

著者らは、ここ数年都市域での低平地流出解析を行い、豪雨時における水防災のための避難情報の作成を試みているが、そのためには背後地からの流出量を正しく評価せねばならない。ところで、しばしば実用に供される概念的流出解析法では、パラメーターを同定するために、既往の雨に対する降雨量・流出量のデータを必要としたが、実際には水文資料が十分に整っていない地域でも流出解析をせねばならぬのが現状である。このことから物理的流出機構の解明が急がれるが、流出解析の精度向上のために、地表面からの土中浸透量を精度良く見積らねばならない。

上述されたことから本報では、土中浸透水の挙動を表現するモデルとして、3次元有限要素法を用いた数値シミュレーション法を示す。併わせて、観測結果をもととして、表層土壌の湿潤度の違いに応じた土中浸透量の定量的評価を行い、水文資料が乏しい地域での流出解析に役立てようと試みた。

2. 浸透流に対する3次元数値モデル

飽和・不飽和域において、雨水流の基礎方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[D_{ij} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} + K_{ij} \frac{\partial z}{\partial x_j} \right] \quad (1)$$

$$D_{ij} = K_{ij} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad (2)$$

ここに、 θ : 体積含水率、 ψ : 圧力水頭、 K_{ij} : 透水係数、 D_{ij} : 拡散係数、 z : 鉛直上向き座標である。

上式を、Galerkin法を使って、図-1(a)に示すような4節点四面体要素に対する方程式に離散化すれば、形状関数を N_α とし、次式を得る。

$$A_{nn} \frac{\partial \theta_n}{\partial t} + B_{nn} \theta_n = -Q_n - C_n \quad (3)$$

ここに

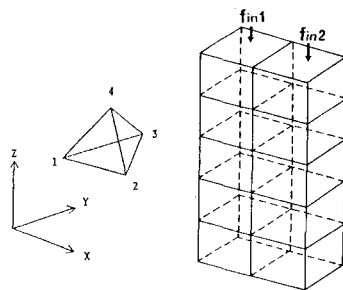
$$A_{nn} = \iiint_{V_n} N_\alpha N_\alpha dV \quad B_{nn} = \iiint_{V_n} \frac{\partial N_\alpha}{\partial x_i} D_{ij} \frac{\partial N_\alpha}{\partial x_j} dV$$

$$C_n = \iiint_{V_n} \frac{\partial N_\alpha}{\partial x_i} K_{ij} dV$$

$$Q_n = - \iint_{S_n} N_\alpha \left\{ D_{ij} \frac{\partial (N_\alpha \theta_n)}{\partial x_j} + K_{ij} \right\} \cos(x_i, m) ds$$

ただし、添字 i, j は軸方向 ($i, j = 1, 2, 3$) を表わしており、 m, n は要素区内の節点番号 ($m, n = 1, 2, 3, 4$) である。また n は境界面 S の外向き法線ベクトルを表している。

ところで、(3)式を用いて具体的に数値計算を行う場合、体積含水率 θ と圧力ポテンシャル ψ あるいは不飽和透水係数 K との間の関係が必要である。一方、3次元計算領域に対する境界条件を考えれば、その一つとして地表面における土中浸透量としてのフラックスが上げられる。当然のことながら境界条件の適合は、そのまゝ土中含水量、延いては中間流出に伴う流出量の予測精度に関係してくる。ここでは、地表面での土中浸透量: f は次式



(a) 四面体要素

(b) 領域モデル

図 - 1

で表されるものとした。

$$f = \begin{cases} r & (r \leq f^*) \\ f^* & (r > f^*) \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 r : 降雨強度、 f^* : 地表面での浸透能であり、後者は Horton の式を用いて評価するものとした。

3. 土中浸透量の評価

前節で示されたモデルを使って土中浸透量を求めるため、昭和60年10月11日に矢野試験流域で観測された強雨を用いて計算した¹⁾。本降雨は、最大時間雨量が58.0 mm、日雨量が、95.8 mm であり、かなりの強度を持つたものである。なお、このときの30分間降雨強度は図-2に示されている。ここで、地表面からの土中浸透量の評価については前述された通りであるが、無降雨状態を含めて降雨強度の違いによる浸透能曲線の評価が正しく行われねばならない。これらについて一般的に論じることは容易でなく、地表面が裸地か緑地かで違っており、とくに後者の場合には保水量と関係して蒸発散現象にも係ってくる。もちろん、上述された問題に対処する

ため有効降雨の概念があり、損失雨量を一括して見積る方法がある。しかし、雨水の挙動を物理的に明らかにするためには、表層土壌の特性の違いによる土中浸透量の合理的評価法を確立せねばならない。そのため、以下では、浸透能曲線が浸透能に等しい浸透量があるときの標準的な曲線と解釈し、無降雨ならびに微少降雨に対する回復を考慮することとした。

ここでは問題を簡単にするため、図-1(b)に示された66節点、120要素からなる2本の四角柱領域に対して、地表面での被覆状態を変えて計算を行った。ただし、一方は裸地を、他方は緑地を想定し、終期浸透能は安藤らの結果を参考にして²⁾それぞれ3 mm/日、200 mm/日とした。図-2には、裸地を対象として用いられた浸透能の時間的変化が示されている。計算は実時間で36時間と短く、その間は降雨が継続したため、図では判別できない程度の回復しかなかった。図-3(a)、(b)には、この計算より求められた各時間毎の体積含水率の鉛直分布が示されている。a)は強雨時を含めてそれ以前のものであり、b)は以後のものである。これらの結果より、表層土壌での雨水の浸透の状況が明らかである。なお、前述されたように、計算に用いるべき水理学的条件が必ずしもすべて明らかにされている訳ではないが、3次元土中浸透水の解析が流出解析に有効なことが示唆された。

4. あとがき

表層土壌の特性の違いによる土中浸透量を評価するため、3次元有限要素法による数値シミュレーションを行った。今後、水文観測資料を整備するとともに、地被状態を巨視的に評価し、実用的流出解析の精度向上に努めたい。

(参考文献)

- 1) 野口正人・米倉宏幸・森尾宣紀：強雨時における土中浸透量の評価に関する研究、第30回水理講演会論文集、1980
- 2) 安藤義久・高橋裕・和泉清・金尾健司：土地利用別の浸透能特性を考慮した都市流域の洪水流出解析、第29回水理講演会論文集、1979

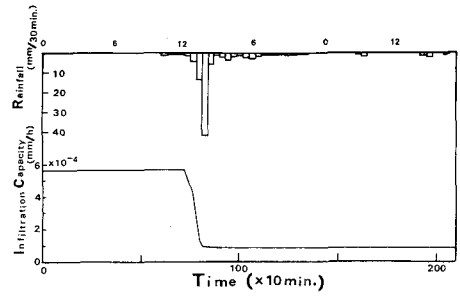


図-2

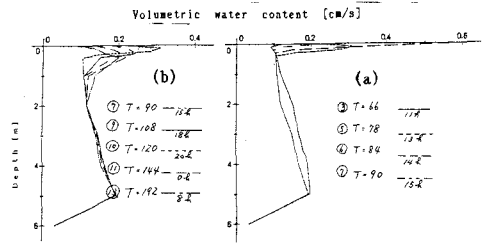


図-3