

目詰りを伴う雨水浸透池の水面降下

第一報 モデル化とシミュレーション

(株)エム・ケー・コンサルタント

正員 堤 敦

(株)建設技術研究所

正員 中山比佐雄

福岡大学

正員 山崎 惟義

〔はじめに〕

都市周辺の開発により雨水の流出が増大している。流出が増大した場合、河川改修などによって流下能力が増大できればよいが、都市域では土地が高価で立ち退きが困難であるため、このような対応は難しいことが多い。また、流下能力を増大させることができたとしても、地下への浸透が減少するため、地下水の枯渇などの問題を生じる。このような場合の対策として、地下浸透の促進も考慮した雨水浸透による流出抑制がある。

雨水浸透施設には種々のものがあるが、雨水の貯留能力が大きく、洪水調節能力が最も大きいと考えられる雨水浸透池について検討する。雨水浸透池では洪水時に雨水が流れ込み、これが地下へ浸透することにより水面が降下し、次の洪水を待つ。従って、二回目の洪水に対しても十分な流出抑制能を持つには、この時点でどの程度の貯留能力があるか、すなわち、どの程度水面が降下しているかが問題となる。ここでは、どのような機構で水面が降下するか、それに影響を及ぼす因子について検討する。更にこれらの因子を考慮して、水面降下をモデル化しそのシミュレーションを試みる。

〔基礎方程式〕

雨水浸透池の水面降下が池底からの浸透のみによる場合、地下浸透に影響を与える因子は、池底面の浸透性と池の水深である。池底面の透水性を一定と考え、底面の浸透性は堆積した土砂の量によって決定されるものと仮定すれば、この場合の浸透は(1)式で表わされる。

$$q = \frac{Q}{A} = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} \Delta h \quad (1)$$

ここに、

 q : 浸透流速 (m/s) Q : 浸透流量 (m³/s) A : 浸透面積 (m²) Δh : 土砂表面と浸透層下

とのピエゾ水頭差

(図-1 参照)

 K_1, K_2 : 透水性 (1/s)尚、 $K_1 = k_1 / l_1$ 、 $K_2 = k_2 / l_2$ k_1, k_2 : 土砂、底面の透水係数 (m/s)、 l_1, l_2 : 土砂、浸透層の厚さ (m)

堆積した土砂の厚さが単位浸透面に堆積した土砂の質量に比例するものと考え、

 $l_1 = \beta m$ で表わされる。ここに、 β : 定数 (m³/kg)、 m : 底面の単位面積に堆積した土砂の質量 (kg/m²)このとき、 $K_1 = k_1 / \beta m$ 、更に $\alpha = \beta / k_1$ とおくと、(1)式は次のようになる。

$$q = \frac{K_2}{1 + \alpha m K_2} \Delta h \quad (2)$$

池の水深を H (m) とし、また、水表面の面積が常に底面積に等しいものと仮定すると、 dH/dt は $-q$ に等しくなる。さらに、浸透層下の圧力水頭を $h_0 = 0$ 、 $H \gg l_1 + l_2$ と仮定すると、 $\Delta h = H$ となるので、

$$\frac{dH}{dt} = -q = -\frac{K_2}{1 + \alpha m K_2} H \quad (3)$$

一方、池の底への土砂の堆積は土粒子の沈降と濾過による土粒子の捕捉によると考える。

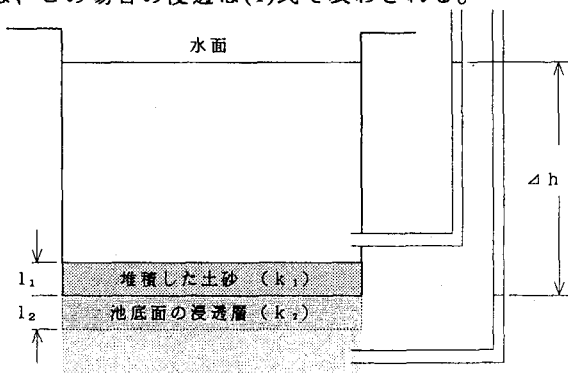


図-1 地下浸透池の模式図

この場合、 d t 時間に単位底面積に堆積する土砂の質量 $d m$ は(4)式で表わされる。

$$d m = \sum (q + v_{s,i}) C_i d t \quad (4)$$

ここに、 $v_{s,i}$: 粒子の沈降速度(m/s)

C_i : 沈降速度 $v_{s,i}$ を持つ粒子の底面直上における濃度(Kg/m³)

凝集などによる粒子の沈降速度分布が変化しないものとする、 C_i は次のように評価される。

$$C_i = \delta_i C_{0i} \quad (5)$$

ここに、 C_{0i} : 沈降速度 $v_{s,i}$ の粒子の初期濃度(Kg/m³)

$v_{s,i} \cdot t < H$ のとき $\delta_i = 1$ 、 $v_{s,i} \cdot t > H$ のとき $\delta_i = 0$

ここで、 t は沈降時間(s)

沈降時間 t では沈降速度が H/t より大きい粒子は存在しないので(4)より次式が得られる、

$$\frac{d m}{d t} = \int_0^{H/t} (q + v) \frac{d C}{d v} d v \quad (6)$$

ここに、 v は土粒子の沈降速度(m/s)、 t は時間(s)、

C は沈降速度 v の土粒子の濃度(kg/m³)

また、 C と v との関係は次式で与えられる。

$$d C / d v = C_0 \phi(v) \quad (7)$$

ここに、 C_0 は均一に混合した時の土粒子の濃度(kg/m³)

$\phi(v)$ は土粒子沈降速度に対する確率密度関数

連立方程式(3)、(4)に対する初期条件は次のとおりである。

$$m(0) = m_0 \quad (8)$$

$$H(0) = H_0 \quad (9)$$

α 、 $\phi(v)$ は実験によって与えられる。尚、 $\phi(v)$ は実験より対数正規分布をなすと考えた。

[数値計算]

m_0 を 0 (kg/m²) として、初期水深 H_0 が 1, 5 (m) の 3 ケースについて、(3)、(6) 式を数値解析し、 H を時間の関数として求めた。微分方程式の数値計算にはオイラー法を用い、式(6)の積分には台形公式を用いた。沈降速度の対数正規分布の平均値を -3 から -7 の範囲で変化させた。尚、そのときの分散は 0.7 で一定とした。比抵抗 α は 34000 (m²s/kg)、初期 S S 濃度 C_0 は 1.0 (kg/m³) とした。計算結果を図-2, 3 に示した。

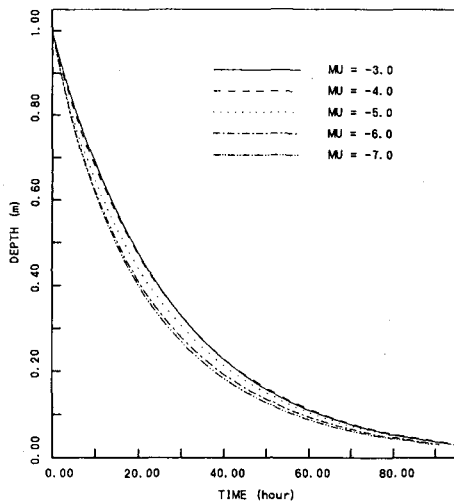


図 - 2 計算結果(初期水深1mの場合)

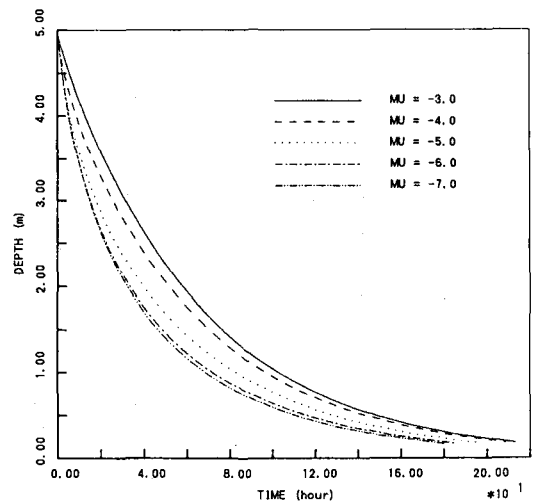


図 - 3 計算結果(初期水深5mの場合)