

Philip モデルに基づく現地地盤の浸透特性の簡易評価法に関する検討

法政大学工学部 学生会員 尾崎 昂嗣
 法政大学大学院 学生会員 飯島 遼
 法政大学工学部 川島 司
 法政大学工学部 正会員 岡 泰道

1. はじめに

雨水浸透施設を設置する場合、表層地盤の浸透能力を事前に把握するために現地定水位浸透試験¹⁾が実施されるが、より安価で簡易な変水位試験による評価手法の確立も期待されている。そこで本稿では、既往の Philip モデルを基礎とし、簡易室内保水透水試験から得られる情報を基礎として、モデルと試験結果との整合性を検証するとともに、変水位試験による浸透性能評価手法について検討を加えた。

2. Philip モデルによる K_s の推定方法

Philip²⁾は浸透面が底面のみの現地変水位浸透試験(いわゆる土研法)に対して、以下の式に示すように、ポアホール内の孔内水位の低下、さらにそれに伴う下方地盤への浸透による飽和バルブの形成を考慮した修正を施している。

$$K_s = \frac{\pi^2 r_0 \tau_{max}}{8\Gamma}, \quad \frac{d\tau}{d\rho} = \frac{3\rho(\rho-1)}{A^3 - \rho^3}$$

$$\rho = \frac{R}{r_0}, \quad A^3 = \frac{3(-H_f + D_0 + \pi^2 r_0 / 8)}{r_0(\theta_s - \theta_{ini})} + 1 \quad (1)$$

ここに、 K_s : 飽和透水係数、 r_0 : 初期の飽和バルブ半径、 τ : 無次元試験時間、 τ_{max} : 無次元試験時間の最大値、 R : 飽和バルブ半径、 T : 試験時間、 H_f : 浸潤前線下端の吸引圧、 D_0 : 湛水深、 θ_s : 飽和含水率、 θ_{ini} : 初期含水率である。

K_s の推定は図 1 に示す関係から試験結果より τ_{max} を決定し、(1)式を用いて行う。なお図中の $t_{(D_0/2)}$ は孔内水位が半分になったときの試験時間である。

3. 飽和透水係数 K_s の推定結果

雨水浸透施設技術指針(案)¹⁾(以下「指針(案)」)では標準的な浸透試験方法として、土研法に加え、浸透面が側面と底面の現地変水位浸透試験(ポアホール法)も採用し、現場では後者が普及しつつある。その理由としては、土研法では水平方向を含んだ平均的な浸透性の把握が困難なこと、掘削土量が多く

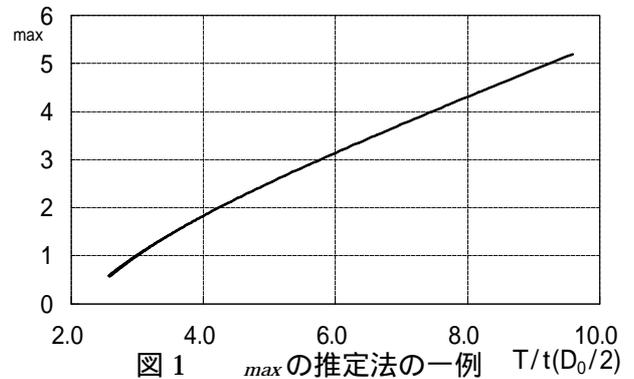


表 1 K_s ($\times 10^{-5}$ m/s) の推定値の比較

試験地点(季節)	Case1	Case2	Case3
菅生第 4 公園(夏)	3.7	13.0	6.6
野津田公園(夏)	1.2	11.0	2.6
菅生第 4 公園(冬)	1.4	7.9	2.6
野津田公園(冬)	0.74	1.6	0.51
柄沢公園(冬)	0.82	4.5	2.1
野川第 3 公園(冬)	4.8	8.9	0.78

表 2 H_f (m) と τ_{max} の推定結果

試験地点(季節)	Case2		Case3	
	H_f	τ_{max}	H_f	τ_{max}
菅生第 4 公園(夏)	0.03	2.71	0.03	2.67
野津田公園(夏)	0.04	2.72	0.02	2.50
菅生第 4 公園(冬)	0.03	2.60	0.02	2.50
野津田公園(冬)	0.03	2.65	0.02	2.50
柄沢公園(冬)	0.03	2.57	0.02	2.50
野川第 3 公園(冬)	0.03	2.62	0.02	2.50

試験時間と経費がかかること、などが挙げられる。本研究でもポアホール法による試験結果を基礎として、Philip モデルの適用性を検討した。

指針(案)の手法を用いた結果を Case1、無降雨が 2,3 日続いた状態(乾燥状態)で行った試験に対して Philip モデルによる推定法を適用した結果を Case2、定水位試験後の湿潤状態で行った試験に対して Philip モデルによる推定法を適用した結果を Case3 とし、それぞれの推定結果を表 1 に示す。なお現地試験は鶴見川流域の関東ローンを対象としている。Case2 がやや過大な評価となっているが、3 者は概ね符合する結果となっている。

キーワード 雨水浸透施設 現地浸透試験 Philip モデル

連絡先 〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学部 TEL 042-387-6114 E-mail oka@hosei.ac.jp

しかし、Philip モデルの問題点として、 max を理論的に評価することが難しいこと、さらに表 2 に示すように H_r が 0 近辺の値を示し、既往の H_r に関する研究成果などと比較してやや不合理な結果となっていること、などが挙げられる。そこで、まず H_r の特性について検討を行う。

4. H_r の特性

H_r は浸潤前線下端の吸引圧として定義されており、定数として扱われることも多い。現地において直接測ることはできないが、既往の研究により物理的意味が解明され、いくつかの理論的な推定法が提案されている。その代表的なものとして、Darcy 則に基づく次の Neuman³⁾ の式が挙げられる。

$$H_r = \int_0^{\psi_{ini}} k_r(\psi) d\psi \quad (2)$$

ここで ini は初期吸引圧、 k_r は相対透水係数である。ただし、試験開始直後では上式は適用できず、ある程度の時間が経過した後に成り立つとしている。水分保持特性($\theta - \psi$ 関係)、透水特性($k - \psi$ 関係)として以下の Haverkamp 式と Irmay 式を用いことにより、土壌の初期条件に対応した H_r が推定できる。

$$\theta - \theta_r : \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{\alpha}{\alpha + [\ln|\psi|]^\beta} \quad (3)$$

$$k - \text{関係} : k_r = \left(\frac{\alpha}{\alpha + [\ln|\psi|]^\beta} \right)^3 \quad (4)$$

上式の r は残留含水率、 α, β は定数である。図 2 に水分特性曲線($\theta - \psi$ 関係)と、土壌の初期含水率に対応する H_r の算定結果を示すが、最小含水量(吸引圧値-1m 程度に対応する含水量)以下の飽和に近い状態であれば、 H_r の推定結果と水分特性曲線がほぼ一致している。また、そのような湿潤状態では、関東ロームやそれに近い土壌特性を持つ土壌(図 3 の「その他」)についてみると、図 3 のように、 H_r を定数とみなしても差し支えないと判断される。

5. Philip モデルの論点

Philip モデルでは飽和バルブを球と仮定し、次の(5)式の P_c と(6)式の P_s (いずれも浸潤前線面に作用する水理ポテンシャルを表す)が等しいとしている。

$$P_c = \frac{\pi^2}{8} \left[\frac{(\theta_s - \theta_{ini})R(R - r_0)}{K_s r_0} \frac{dR}{dt} - r_0 \right] \quad (5)$$

$$P_s = H_f + D \quad (6)$$

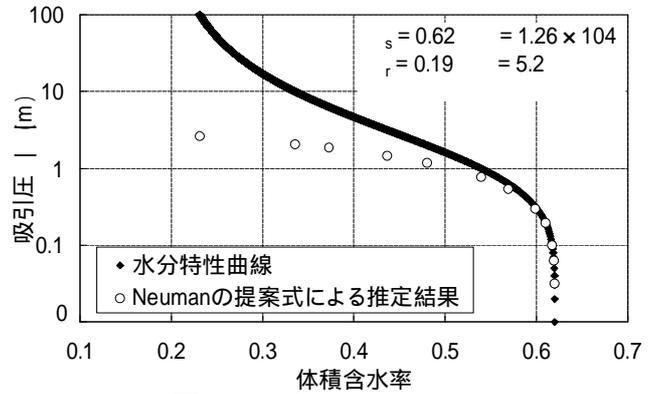


図 2 H_r と水分特性曲線

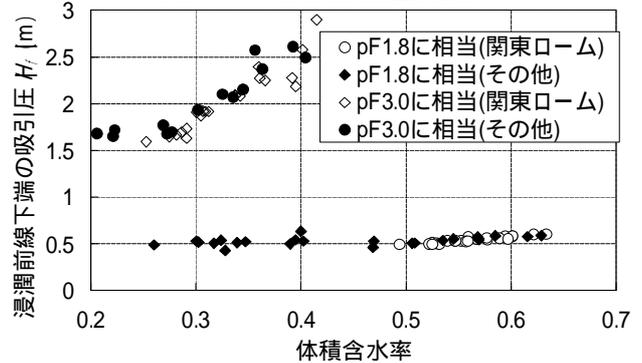


図 3 H_r の推定結果

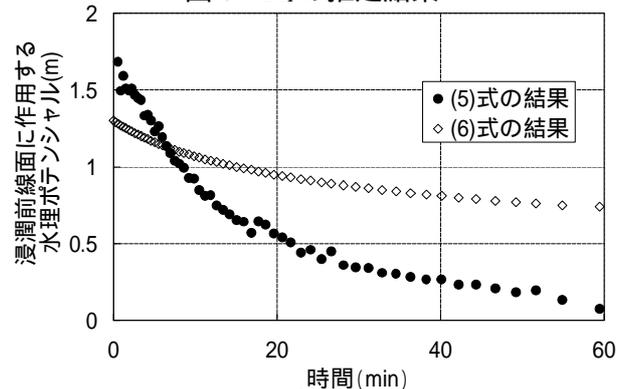


図 4 Philip モデルと試験結果の比較

ここで、 D は孔内水位である。(5)式を離散化することにより図 4 の結果が得られたが、モデル間の整合性が不十分と判断される。両者の乖離の原因としては、 H_r を定数として扱ったこと、また飽和バルブを球と仮定したことなどが考えられる。今後は、簡易な Philip モデルの特性を生かしつつ実現象に即した新たな評価法について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 増補改訂・雨水貯留浸透技術協会編(2006)：雨水浸透施設技術指針(案)調査・計画編, 146p.
- 2) Philip, J.R.(1993): Approximate Analysis of Falling-Head Lined Borehole Permeameter, Water Res. Res., Vol.29, No.11, pp.3763-3768.
- 3) Neuman, S.P.(1976): Wetting Front Pressure Head in the Infiltration Model of Green and Ampt, Water Res. Res., Vol.12, pp.564-566.