

現地ポアホール浸透試験法への Philip モデルの適用性について

法政大学工学部 学生会員 ○岩本 祐生

法政大学工学部 学生会員 尾崎 昂嗣

法政大学デザイン工学部 正会員 岡 泰道

1. はじめに

雨水浸透施設の普及ならびに設計支援のためには、現地で簡易に実施できる変水位浸透試験から地盤の浸透能を評価する手法の確立が望まれている。そこで本稿では、底面のみが浸透面の土研法と、側面も浸透面となっているポアホール法の両者による試験結果の解釈について、既往のモデルの適用性に着目した検討を加えた。

2. Philip モデルの概要

Philip は、土研法タイプの底面浸透(側面をケーシング)の現地変水位試験に対して、以下の式に示すように、孔内水位の低下および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。これより、試験結果から T (所要時間)、 $t_{(D0/2)}$ (初期水位が半減するまでの所要時間)を得ることで、 K_s を推定することができるとしている。

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

ここに、 K_s ：飽和透水係数、 τ ：無次元試験時間、 $\tau_{\max}$ ： T にあたる無次元試験時間、 R ：飽和バルブ半径、 r_0 ：初期飽和バルブ半径、 D_0 ：初期孔内水位、 θ_{ini} ：初期含水率、 θ_s ：飽和含水率、 H_f ：浸潤前線での吸引圧、である。

3. モデルパラメータの選定とポアホール法への適用法

上述のように、Philip モデルによる評価方法には試験終了(孔内水位が0となる)までの所要時間 T が必要とされる。しかし、変水位試験においては、試験終了間際は孔内水位の低下速度がきわめて小さくなるため、 T の正確な測定には意外に多くの時間を要するケースも生じ、また、これが試験結果の解釈に少なからぬ影響を及ぼす。したがって、厳密な意味での T を用いる既往の評価法は必ずしも実用的とはいえない側面を持っている。そこで、本研究では、測定が容易な指標として、前節で導入した $t_{(D0/2)}$ に加えて、試験所要時間の $3/4$, $1/3$, $1/4$ に相当する $t_{(3D0/4)}$, $t_{(D0/3)}$, $t_{(D0/4)}$ を用いた場合のモデルの適用性について検討した。

Philip モデルは、底面のみからの浸透量および飽和バルブ内の水量との間の質量保存則に基づいているため、ポアホール法の適用性を検討するためには、側面からの浸透量の扱いが問題となる。ここでは、ポアホール法による浸透量の測定結果を土研法のものとした場合の仮想半径 r_1 を考え、これを同じ土壌で土研法を実施した場合に底面のみからの浸透が同等となる相当半径 r'_1 に置き換えることで、側面からの浸透量を差し引いた値を補正する(図1)。 r'_1 を決定する際には、側面および底面への浸透量の定量化が必要である。今回は、試験孔の規模により変化し、単位時間当たりの浸透量(Q)と密接な関係のある比浸透量(K_t)の考え方²⁾を利用する。すなわち、ポアホール法および土研法の比浸透量と湛水深の関係と、各地点における変水位試験結果から比浸透量と試験時間の関係を導き(図2)、ある時間内における両者の積分値を比較することで、次式に基づき、底面への浸透量の割合を求めることができるものとした。

$$\int Q(t)dt = K_s \int K_t dt \quad (2)$$

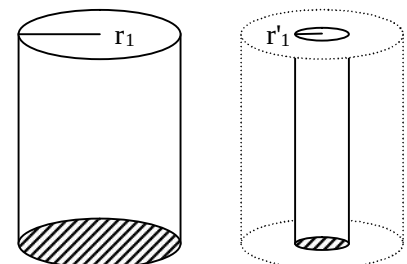


図1 側面浸透量を差し引いた相当半径の評価
(斜線部分は浸透面)

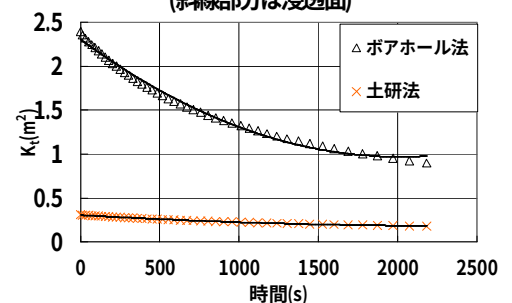


図2 K_t - t 関係の例(孔内水位が $D_0/3$ となる
時間($t=2140$ (s))までの K_t - t 関係)

キーワード 浸透, Philip モデル, 飽和透水係数, 現地ポアホール浸透試験

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市榎町3-7-2 法政大学工学部 TEL 042 (387) 6114 E-Mail oka@hosei.ac.jp

4. ボアホール浸透試験の評価結果

4.1 試験地点とパラメータの決定方法

モデルの適用性、汎用性を確認するため、土壌特性の大きく異なる地点を対象とする方針で、表1に示す箇所の変水位試験結果(2005年3月、9月に実施)を用いた。試験結果には、様々な初期水分状態で行われた結果が含まれるが、同じ地点で続けて行われた2回目以降の試験は同程度の湿潤状態が仮定できる。一方、指針(案)²⁾では、評価法に湿潤状態時の特性値である比浸透量の概念を用いていることから、今回は湿潤状態の試験結果のみを適用した。また、含水率は簡易室内保水透水試験または pF 試験により測定された値を採用した。3月の試験の評価では pF1.8、9月のものでは pF1.5 に相当する含水率を θ_{ini} としている。

4.2 評価結果と考察

各変水位試験結果に対するモデルの適用により推定した飽和透水係数 K_s と、定水位試験結果から指針(案)に基づいて推定した K_s を表1に示す。表中のモデル値①~③は、孔内水位の評価点として $D_0/2$ に加えて、① $3D_0/4$ 、② $D_0/3$ 、③ $D_0/4$ をそれぞれ用いた場合である。また、網掛けの算定値は試験が $D_0/3$ 、 $D_0/4$ まで行われていなかったため、それまでの試験値の傾向から推測して決定した $D-t$ 関係を用いて求めたものに相当している。

全体的にみると、モデルによる算定値は指針(案)の K_s に対して 50~200%の値となっており、特に、透水性のよい地盤でやや過大な評価を与える傾向も見受けられる。また、モデル値②と③では結果の差が小さいが、それに対してモデル値①は両者とは大きく離れている試験地点が多くある。これは、変水位試験と Philip モデルの特性により試験序盤における dR/dt が極めて急勾配となっていること、一方、試験終盤では dR/dt がゼロに近づいていることに原因があり(図3)、試験の序盤を対象とし評価するか、終盤を対象とするかにより算定値は変動するものと考えられる。そして、モデル値①よりもモデル値③の方が指針(案)による算定値に近い傾向があることから、試験終盤を孔内水位の評価点として採用したほうが指針(案)との整合性はよいと推察される。これは、飽和バルブの広がり速さを示す dR/dt がゼロに近づいたときが、定水位試験において K_s を求める場合の条件(浸潤域の拡大速度が低下してほとんど広がりをみせなくなった状況)に符合しているためと考えられる。

5. まとめ

Philip モデルのパラメータとなっている T (試験所要時間)を採用すると、孔内水位が0になる間際にはその時間的な変化がきわめて小さくなるから誤差を発生しやすい。そこで、今回は、水位の時間的な変化が小さくなりすぎる前に、水位-時間の関係式の推測が容易な時点の評価点に選ぶという試みをし、簡易な変水位試験の評価法としての可能性を検討し、従来の技術指針による手法とある程度符合する結果を得た。ただし、その前提条件として用いた、比浸透量と試験時間の関係を用いた浸透量の分離の仮定に関しては、その妥当性について更に検証する必要がある。また、変水位試験のより簡易な評価法の構築のためには、多様な湿潤条件、特に乾燥条件下での変水位試験結果への適用性を確立させることが肝要で、このことが試験時間の短縮と、試験に要するコストの削減にもつながる。

参考文献

- 1) Philip, J.R.(1993): Approximate Analysis of Falling-Head Lined Borehole Permeameter, Water Resources Research, Vol.29, No.11, pp.3763-3766.
- 2) 雨水貯留浸透技術協会(編)(2006): 増補改訂・雨水浸透施設技術指針(案)調査・計画編, 146p.

表-1 指針(案)およびモデルにより算定された K_s の比較 ($\times 10^{-5} \text{m/s}$)

			指針(案) 定水位試験	モデル値		
				①	②	③
鶴見川 流域	菅生第4公園	9月	317	648	647	560
	菅生第4公園	3月	141	214	169	159
	野津田公園	9月	119	246	162	145
	野津田公園	3月	0.476	0.671	0.491	0.417
	柄尺公園	3月	0.744	0.407	0.348	0.304
	野川第3公園	3月	0.824	0.742	0.967	0.925
寝屋川 流域	大宮中公園	9月	0.493	1.26	0.558	0.493
	大宮中公園	3月	843			
	八尾土木事務所	9月	0.824	0.448	0.259	0.243
	八尾土木事務所	3月	0.172	0.434	0.298	0.263
	寝屋川公園	3月	0.401	0.546	0.433	0.426
新川流 域	辻山西公園	9月	110	1.55	1.15	1.09
	辻山西公園	3月	0.928	0.566	0.602	0.650
	道風公園	3月	817		1.07	0.881
	味三・三角公園	3月	193	1.85	2.01	2.01

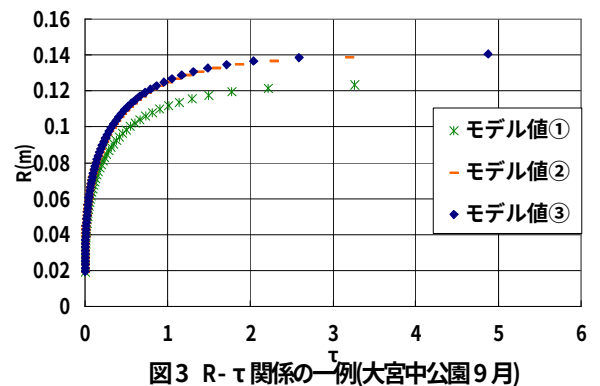


図3 R- t 関係の一例(大宮中公園 9月)