透水性舗装における地下水涵養機構のモデル化

大阪工業大学大学院　学生会員　○並河修平　中村聡司
大阪工業大学　正会員　青木一男　日置和昭
京都大学大学院　正会員　西山　哲　矢野隆夫

1．はじめに

近年，都市型洪水対策ならびにヒートアイランド対策の観点から透水性舗装が持つ雨水浸透貯留機能が注目を集めている．透水性舗装は雨水を舗装内に貯留させると同時に，路床にも浸透させるものである．本研究では，修正タンクモデル[1)]を用いて，透水性舗装における地下水涵養機構のモデル化を試みた．具体的には，透水性舗装が持つ雨水浸透貯留機能を評価するために実施された模型実験結果[2)]に基づいて，修正タンクモデルの構造（パラメータ）を同定するとともに，透水性舗装における地下水涵養機構の再現性を確認した．

2．修正タンクモデルの構造

修正タンクモデルの構造の概念図を**図 1** に示す．修正タンクモデルとは，タンクモデルの貯留高を体積含水率，流出率を不飽和透水係数とみなし，流出率が貯留高の変動に伴って変化する直列 2 段のタンクモデルのことで，各タンクの流出率 α_1^n，α_2^n が前時間ステップにおける貯留高 β_1^{n-1}，β_2^{n-1} の関数で表わされる．関数形としては，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，次のように表せる．

$$\alpha_1^n = a_{12} \quad (0 \leqq \beta_1^{n-1} \leqq a_{11}) \qquad (1)$$

$$\alpha_1^n = a_{13} \times (\beta_1^{n-1} - a_{11}) + a_{12} \quad (a_{11} \leqq \beta_1^{n-1}) \qquad (2)$$

ただし，$\alpha_1^n \geqq 1$ となる場合は，$\alpha_1 = 1$ とする．ここに，α_1^n：流出率，β_1^{n-1}：前時間ステップにおける貯留高，a_{11}，a_{12}，a_{13}：定数である．

2 段目についても同様に，次のように表せる．

$$\alpha_2^n = a_{22} \quad (0 \leqq \beta_2^{n-1} \leqq a_{21}) \qquad (3)$$

$$\alpha_2^n = a_{23} \times (\beta_2^{n-1} - a_{21}) + a_{22} \quad (a_{21} \leqq \beta_2^{n-1}) \qquad (4)$$

ただし，$\alpha_2^n \geqq 1$ となる場合は，$\alpha_2 = 1$ とする．ここに，α_2^n：流出率，β_2^{n-1}：前時間ステップにおける貯留高，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．

$$q_1 = \alpha_1^n \times \beta_1^n \qquad (5)$$

$$q_2 = \alpha_2^n \times \beta_2^n \qquad (6)$$

ここに，q_1，q_2：流出量，β_1^n，β_2^n：各時間ステップにおける貯留高である．

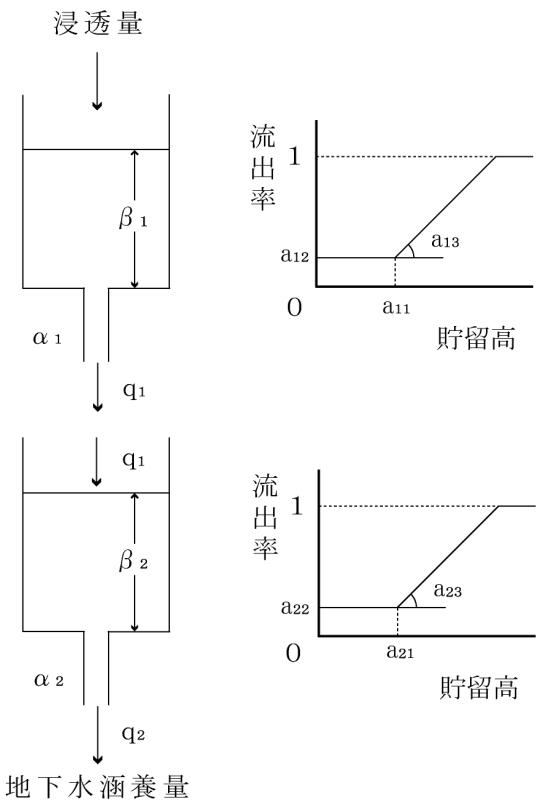

図 1　修正タンクモデルの概念図

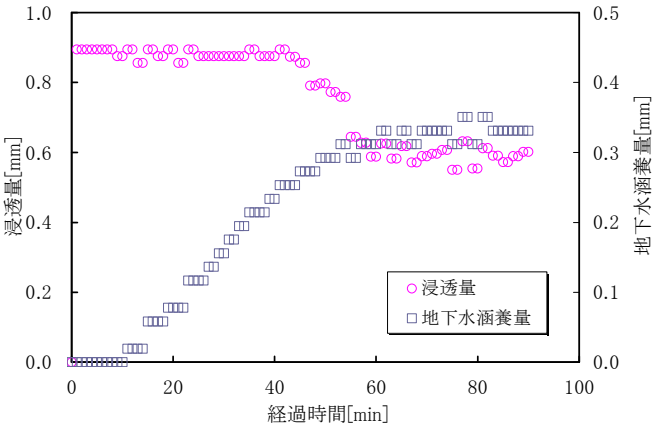

図 2　53.4mm/h における模型実験結果

キーワード　透水性舗装，地下水涵養，修正タンクモデル
連絡先　〒535-8535 大阪市旭区大宮 5 丁目 16 番 1 号　大阪工業大学　工学部　環境工学科　TEL06-6954-4183

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_{12}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．透水性舗装への適用

修正タンクモデルの構造（パラメータ）を同定するにあたり，必要となる観測値は修正タンクモデルへの入力値（透水性舗装内への浸透量）と修正タンクモデルからの出力値（地下水涵養量）である．模型実験から得られた浸透量と地下水涵養量の経時変化（降雨強度が 53.4mm/h の場合）を**図 2** に示す．この結果に基づいて，修正タンクモデルの各パラメータを同定した．同定手法としては，間接法逆問題として捉え，タンクモデルの同定に用いられた実績[3),4)]のある Powell の共役方向法を採用し，未知パラメータを仮定して得られた解析値と実験値との残差二乗和が最小となるパラメータを推定した．

模型実験結果に基づく各パラメータの同定結果を**表 1** に示す．また，同定されたパラメータを用いて順解析を行い求めた地下水涵養量と実験値を比較した結果を**図 3** に示す．これによると，両者は良好な一致を示している．次に，修正タンクモデルによる地下水涵養機構の再現性を評価するため，**表 1** に示したパラメータを用いて，降雨強度を 30.1mm/h とした場合における地下水涵養量の経時変化を算出し，模型実験結果と比較した（**図 4** 参照）．解析値と実験値は良好な一致を示しており，修正タンクモデルによる地下水涵養機構の再現性が確認された．

表 1　各パラメータの同定結果

パラメータ	同定結果
a_{11} [mm]	69.9261
a_{12}	0.0053
a_{13} [mm^{-1}]	0.0000
β_1 [mm]	25.5461
a_{21} [mm]	71.8418
a_{22}	0.0000
a_{23} [mm^{-1}]	0.0012
β_2 [mm]	69.6587

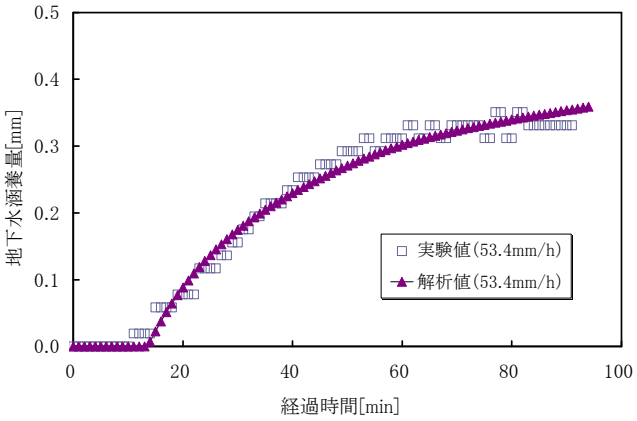

図 3　地下水涵養量の解析値と実験値（53.4mm/h）

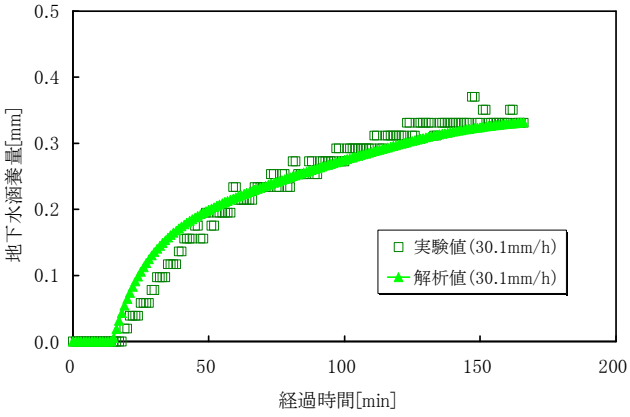

図 4　地下水涵養量の解析値と実験値（30.1mm/h）

４．おわりに

本研究では，修正タンクモデルを用いて，透水性舗装における地下水涵養機構のモデル化を試み，その再現性を確認した．今後は，降雨強度がさらに強くなった場合（93.7mm/h，123.0mm/h）の再現性について検討を行う予定である．

参考文献

1) 例えば，青木一男，日置和昭：地下水かん養のモデル化と推定方法，地下水技術，第 47 巻，第 11 号，pp.23～35，2005.
2) 西山哲，大西有三，矢野隆夫，北山迪也，和田実：透水性舗装の雨水浸透機能に関する研究，土木学会舗装工学論文集，第 12 巻，pp.99～106，2007.
3) 小林慎太郎，丸山利輔：Powell の共役方向法によるタンクモデル定数の探査，農業土木学会論文集，第 65 号，pp.42～47，1976.
4) 永井明博，角屋睦：流出モデル定数の最適化手法，京大防災研究所年報，第 22 号，B2，pp.209～224，1979.