

第Ⅲ部門

飽和—不飽和浸透流解析を用いた地下水位算定モデルにおける  $H/D-S_r$  関係の検討

神戸大学工学部

学生会員 ○大西剛史

神戸大学自然科学系先端融合研究環都市安全研究センター

正会員 沖村 孝

神戸大学自然科学系先端融合研究環都市安全研究センター

正会員 鳥居宣之

1. はじめに

表層崩壊の発生には、地下水位の上昇が大きく関わっていることから、地下水位の算定を精度よく行うことは重要である。本研究では、飽和度と地下水位の関係（以下、 $H/D-S_r$  関係と称する）を用いた地下水位算定モデル<sup>1), 2), 3)</sup>に着目し、このモデルで重要となる  $H/D-S_r$  関係に関する検討を行った。具体的には、初期条件および境界条件が  $H/D-S_r$  関係に及ぼす影響について飽和—不飽和浸透流解析を用いて検討を行った。

2.  $H/D-S_r$  関係を用いた地下水位算定モデル

$H/D-S_r$  関係を用いた地下水位算定モデルは、窪田ら<sup>1)</sup>、寺本ら<sup>2)</sup>、小杉ら<sup>3)</sup>によって提案されている。このモデルで重要となる  $H/D-S_r$  関係について、窪田ら<sup>1)</sup>は、比例関係と仮定し、寺本ら<sup>2)</sup>は、崩壊地より採取した大型不攪乱試料を用いて地下水位上昇実験を行うことにより上に凸の曲線となる  $H/D-S_r$  関係を求めている。また、小杉ら<sup>3)</sup>は、上に凸となる曲線を再現できる関数を導入し、地下水位算定モデルに用いている。このような  $H/D-S_r$  関係を用いた地下水位算定モデルによって、飽和度分布や地下水位の発生が再現されるとしている。

3. 解析条件

解析には AC-UNSAF<sup>4)</sup> を用いた。鉛直浸透流による地下水位の形成を再現するため、土層厚 1m(要素幅・高さ 1cm)の土柱モデルを用い、解析時間刻みを 1 秒として解析を行った。なお、水分特性は van Genuchten 式によって表した。解析に用いたパラメータを表-1に示す。

4. 解析結果および考察

(1) 初期飽和度が異なる場合（解析ケース①）

初期飽和度が 20, 40, 60%である場合の結果を図-1に示す。降雨強度は 14.4mm/hr ( $4.0 \times 10^{-4}$ cm/sec)である。図-1より、初期飽和度によらず  $H/D-S_r$  関係はほぼ一致していることから、初期飽和度が異なっても、 $H/D-S_r$  関係は同一な関係で表せるといえることが分かる。

(2) 土層の厚さが異なる場合（解析ケース②）

土層の厚さを 1.0m, 1.5m, 2.0mである場合の結果を図-2に示す。降雨強度は 14.4mm/hrである。図-2より、土層の厚さによらず  $H/D-S_r$  関係は一致していることから、土層の厚さが異なっても、 $H/D-S_r$  関係は同一な関係で表せるといえることが分かる。

表-1 水分特性に関するパラメータ

変数	解析ケース		
	⑤		④
	①,②,③		
$\alpha$	0.833	1.429	0.0356
$m$	0.301	0.248	0.792
残留体積含水率 $\theta_r$	0.065	0.07	0.04
飽和体積含水率 $\theta_s$	0.405	0.38	0.39
間隙率 $\lambda$	0.34	0.31	0.35

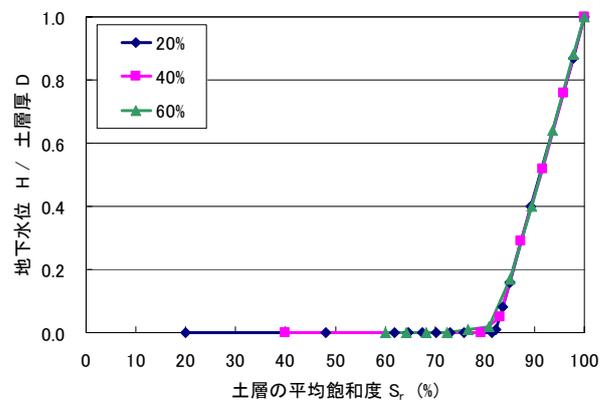


図-1 初期飽和度が異なる場合の  $H/D-S_r$  関係

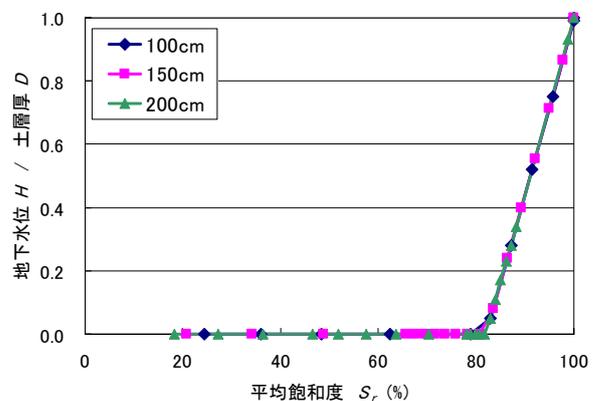


図-2 土層の厚さが異なる場合の  $H/D-S_r$  関係

## (3) 降雨強度が異なる場合 (解析ケース③)

降雨強度が 7.2mm/hr ( $2.0 \times 10^{-4}$ cm/sec), 14.4mm/hr ( $4.0 \times 10^{-4}$ cm/sec), 21.6mm/hr ( $6.0 \times 10^{-4}$ cm/sec) である場合の結果を図-3に示す。これより、降雨強度が大きくなるにつれ、地下水位が発生する飽和度である限界飽和度は大きくなり、地下水位の上昇割合が大きくなっていることが分かる。降雨強度によって  $H/D - S_r$  関係が変化する理由として、降雨による流入と湿潤前線の降下が釣り合う飽和度が、降雨強度によって異なることが考えられる。また、寺本ら<sup>2)</sup>は、降雨強度によらず  $H/D - S_r$  関係は同一であるとしているが、今回の結果がこれと異なっただのは、浸透流解析のような一様な降雨浸透をしていなかったためと考えられる。

## (4) 他の水分特性の場合 (解析ケース④)

平松ら<sup>5)</sup>が使用した水分特性に関するパラメータを用いた場合の  $H/D - S_r$  関係を図-4に示す。これより、ある程度まで直線的に地下水位が上昇したあと、急激に地下水位が上昇している様子がわかる。よって、均一な1層からなる土層であっても、必ずしも  $H/D - S_r$  関係は比例関係にならないことが分かる。

## (5) 2層からなる土層の場合 (解析ケース⑤)

2層からなる土層を想定し、土層上部の間隙率が下部に比べ小さい場合 (CASE1) と、大きい場合 (CASE2) の結果を図-5に示す。CASE1では、土層上部において飽和度に対する地下水位の上昇割合が大きくなるのに対し (下に凸な関係)、CASE2では、地下水位の上昇割合は小さくなっている (上に凸な関係)。このことから、 $H/D - S_r$  関係の形状には土層構造が影響していることといえる。

## 5. まとめ

初期条件および境界条件が  $H/D - S_r$  関係に及ぼす影響について検討した結果、初期飽和度および土層厚の違いによらず  $H/D - S_r$  関係は同一な関係で表せるが、降雨強度によって  $H/D - S_r$  関係は変化することが分かった。また、水分特性条件や土層構造の違いにより、 $H/D - S_r$  関係は比例関係にならないことが分かった。

**参考文献** 1) 窪田順平・福嶋義宏・鈴木雅一：山腹斜面における土壌水分変動の観測とモデル化(II)水収支および地下水位発生域の検討，日林誌，Vol.70，pp.81-389，1988。2) 寺本和子，鈴木立実，成瀬隆弘，松山裕幸，平松晋也：飽和度変化に伴う地下水深の消長を考慮した雨水流動モデルの現地流域への適用について，新砂防，Vol.47，No.6，pp.15-23，1995。3) 小杉賢一朗，水山高久，藤田正治：表層崩壊発生予測モデルによる地下水位の再現精度の検討，新砂防，Vol.55，No.3，pp.21-32，2002。4) 西垣誠，進士喜英：有限要素法による飽和不飽和浸透流解析-AC-UNSAF2D-プログラム解説およびユーザーマニュアル，104p.，1999。5) 平松晋也，水山高久，石川芳治：降雨による一次元鉛直不飽和浸透に関する実験的研究，新砂防，Vol.43，No.2，pp.3-10，1990。

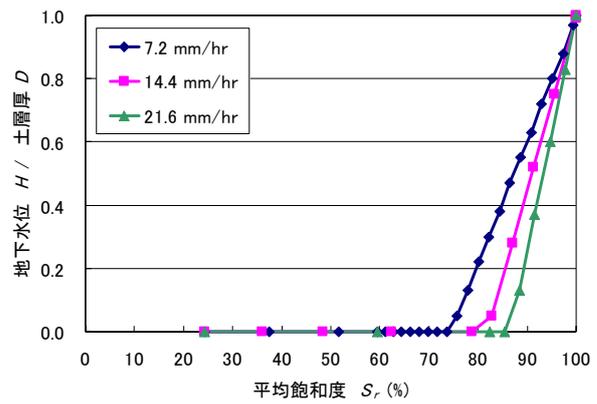


図-3 降雨強度が異なる場合の  $H/D - S_r$  関係

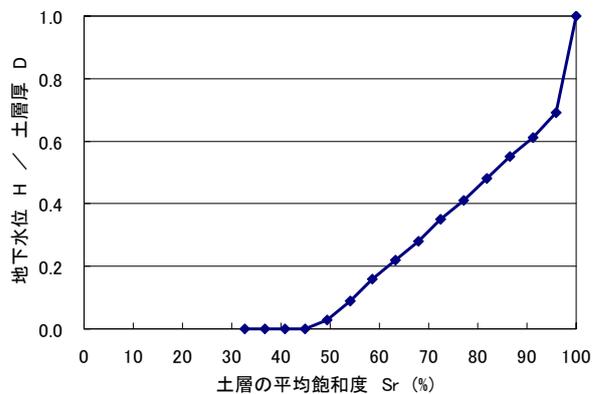


図-4 2層からなる土層とした場合の  $H/D - S_r$  関係

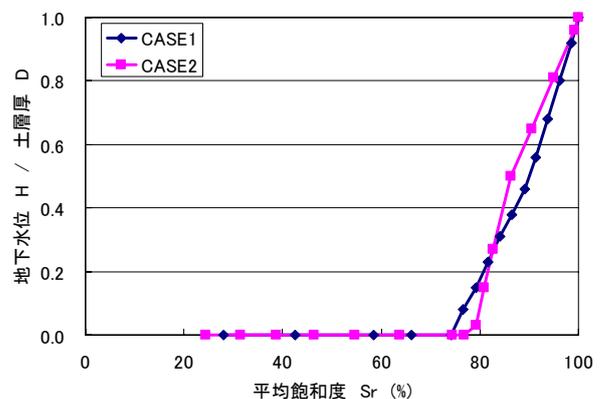


図-5 他の水分特性に関するパラメータを用いた場合の  $H/D - S_r$  関係