

第Ⅲ部門 不飽和地盤への降雨のモデル化

神戸大学工学部大学院自然科学研究科 学生会員 ○杉田美紗子
 (株) 日建ソイルリサーチ 正会員 汪偉川
 神戸大学工学部 国際会員 飯塚敦 河井克之

1. 概要

不飽和地盤の問題のひとつとして、降雨や灌漑などの水の浸透問題がある。本研究では、まず、経験式である Horton の浸入能方程式が不飽和土構成モデルを組み込んだプログラムでの発現の有無を確認し、次に、水の浸入の表現について問題となる地表面の水理境界について検討した。その際、地表面には水頭境界及び流量境界条件を与えシミュレーションを行った。解析には不飽和土/水連成有限要素解析プログラム (DACSAR-U¹) を用いた。

2. 浸透解析

図-1 のような Horton の浸入能方程式の発現をみる。図-2 に示す解析メッシュを用いる。

- ・要素数：10cm×10cm の計6 要素
- ・材料定数：全要素とも表-1 の材料定数を用いる。
- ・変位境界：水平方向固定、鉛直方向は下端のみ固定
- ・初期条件：初期飽和度一定に設定し、水分特性曲線に合う初期サクシオンを一定に決定した。
- ・水理境界：両側面は非排水境界、下端は排水境界とした。上端には、降雨強度の影響を見るために流量境界で降雨を与えた。

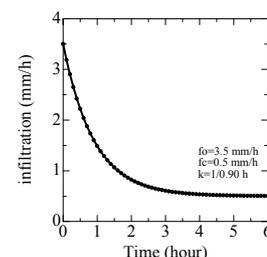


図-1 Horton の浸入能方程式

表-1 材料定数一覧

λ	κ	M	ν	k_x (m/day)	k_y (m/day)	R (m)	m
0.1389	0.0069	1.400	0.3	36.26	36.26	0.00092	0.548
Ad	Bd	Aw	Bw	Sr0	Srf	a	Sw
-1.01	2.213	0.01602	1.532	0.045	1.0	0.05	0.177

(表中の A_d, B_d, A_w, B_w の値はサクシオン s (kPa) に対する値である)

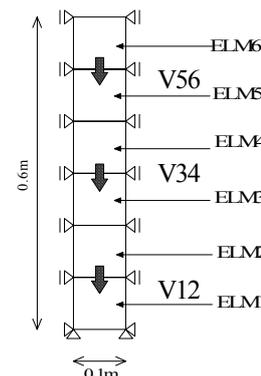


図-2 解析メッシュ図

3. 解析結果と考察

降雨強度 10mm/h で初期飽和度の違いによる流束の変化が、図-3 になる。流束は、図-3 より、ある初期飽和度以上だと減少・収束していき、ある初期飽和度以下だと増加・収束していく。つまり流束の収束値は、初期飽和度に関係なくその地盤独自の最終浸入能に収束していく。次に、初期飽和度 51.2% で降雨強度の違いによる流束の変化をプロットしていくと、図-4 になり、流束は降雨強度によって変化し、一定値に収束していることが確認でき、更に、降雨強度と最終浸入能には比例関係が成立する。

ところで、流束が増加・減少する境目となる初期飽和度の値が必ず一つ存在するはずである。それらを捜してプロットしたものが図-5 である。図-5 より、降雨強度が大きい程、初期飽和度が大きくない

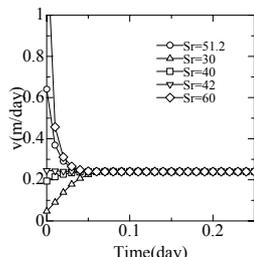


図-3 初期飽和度の違う流速の変化

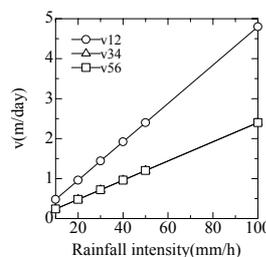


図-4 降雨強度と初期飽和度の関係

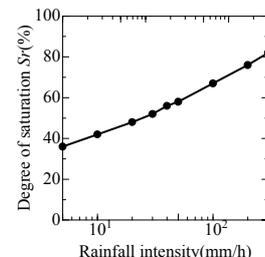


図-5 降雨強度と流束が一定の初期飽和度の関係

と Horton の浸入能方程式が現われてこないことがわかり、そして、降雨強度と流速が増減しない初期飽和度との関係は対数分布になっている。その式は $y = 0.1132 \ln x + 0.1528$ ($R^2 = 0.9892$) となっている。以上より、Horton の浸入能方程式は、水の浸入の一部であり浸入能は必ずしも時間と共に減少せず、また、浸入能の初期挙動には初期飽和度が、ある程度の時間経過後は降雨強度が大きく影響することが確認できた。

4. 仮想谷埋め盛土の浸水シミュレーション

次に、規模を大きくして、盛土の沈下を2つの降雨の表現で比較してみる。図-6の解析メッシュ図を用いる。また、表-3に示す3つの降雨パターンを想定する(斜線が降雨)

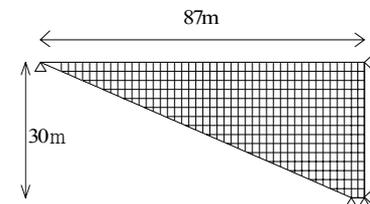


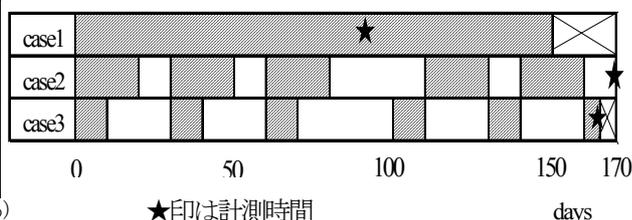
図-6 解析メッシュ図

- ・要素数：388 要素
- ・材料定数：全要素とも表-2 の材料定数を用いる。
- ・変位境界：底面、斜面は水平・鉛直方向とも固定。側面は水平方向のみ固定。
- ・初期条件：初期鉛直応力は各要素の上載荷重分。初期サクション分布は一様で 686.7kPa としている。
- ・水理境界：底面・斜面・側面は非排水境界。上端面は水頭境界と流量境界を与え降雨を表現する。

表-2 材料定数一覧

表-3 降雨パターン

λ	κ	M	ν	k_x (m/day)	k_y (m/day)	R (m)	m
0.160	0.040	1.400	0.3	0.01	0.01	0.0000015	1.3
Ad	Bd	Aw	Bw	Sr0	Srf	a	Sw
-35.30	6.61	-23.30	4.50	0.35	1.0	0.01	484.42



(表中の A_d, B_d, A_w, B_w の値はサクション s (kPa) に対する値である)

5. 解析結果と考察

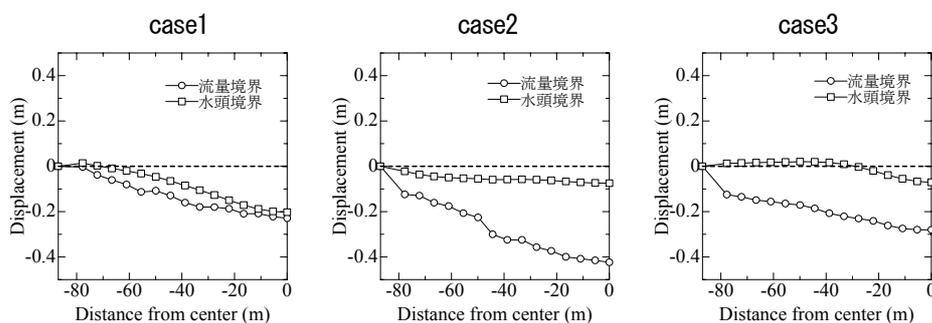


図-7 地表面変位

3つの図を見ると、case1 の沈下量はほぼ同じではあり、水頭境界でも流量境界でも同様に降雨を表現可能に思われるが、case2 と case3 では沈下量に大きな差が見られる。更に、Brandon らの研究から盛土厚の小さな所では膨張が生じるとされているが、膨張はcase1 と case3 の水頭境界でのみ現われている。よって、现阶段では水頭境界と流量境界との対応はまだ困難であるといえる。また、2つの降雨表現には長所と短所が考えられた。水頭境界において、長所は膨張が表現しやすく、短所は降雨強度に相当する水頭が不明なことである。流量境界においては、長所は降雨強度に対応した流量がわかり、短所は膨張が表現しにくいことである。

6. まとめ

まず、浸透解析から、経験式である Horton の浸入能方程式が不飽和浸透理論に基づいたプログラムで発現することがわかり、その発現条件も確認した。次に、盛土の浸水シミュレーションから、水頭境界と流量境界での降雨の表現の対応はまだ困難な部分も多いため、要求する解析内容に合わせて降雨の表現方法を選ばなければならない。

参考文献

1) 河井克之・汪偉川・飯塚敦：既存の不飽和土構成モデルの解釈および水分特性曲線ヒステリシスを考慮したモデルの一般的な表現方法, 応用力学論文集, Vol.7, pp.509-513, 2004.