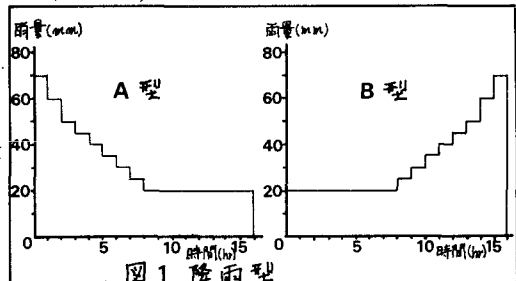


名古屋大学 正会員 松屋 徳
不動産建設 正会員 ○桑原 正彦
名古屋大学 学生会員 上野 誠

はじめに、斜面への降雨の浸透が、その初期には鉛直下方に飽和状態に進むことがよく知られている。降雨による斜面崩壊の機構を明確にするためには、この鉛直浸透の段階での斜面状態の変化についても考慮しなければならない。本研究では、降雨の鉛直浸透による斜面の水合状態の変化に伴って、斜面を構成する土質の強度が低下し、同時に自重が増大することにより斜面の安定性が変化すると考えている。そこで、鉛直浸透は浸潤前線の進行という現象に伴うものであり、前線の通過後の水合状態がほぼ一様となることは、浸透関係の研究によって明らかにされている。よって、斜面安定度の遷移過程を議論する場合、浸潤前線の進行に関する明確な知識が必要となる。そこで本研究では、前線の進行に着目して実験的に浸透現象を解明し、浸透に伴う斜面安定度の変化を明確にしようとした。その際に浸透と関係を与えると思われる要因をいくつか設定し、その要因に対処して浸透がどのように行われるかを明らかにするために要因実験を行なった。実験から得られる情報のうちで最も重要なものは前線の進行に関するものであるので、本研究では設定した要因と前線の進行との関係を定式化し、さらに斜面安定度の経時的変化も各要因によって定式化することを主目的としている。

浸潤前線の進行：鉛直浸透実験は深さ1.0mのアクリル製円筒に土をつめ、上部より市販のノズルによって雨を降らせて実施し、外から前線の進行を観察できるようにした。要因として、土の固さ、降雨型、下部境界条件の3種を考えた。間げき比は0.6, 0.8, 1.0の3レベル、降雨型はA, B型(図-1)の2レベル、下部境界条件は不透水層のある場合とない場合の2レベルを採用した。したがって、各要因の組合せは $3 \times 2 \times 2 = 12$ 種類となる。実験では特に前線の進行に注目した。



Philipによれば、半無限鉛直土柱への累積浸透量は時刻 t で

$$i(t) = \beta x^2 + A x \quad \dots\dots ①$$

となる。ここで β , A は飽和度に依存する係数である。地表面と前線の間の飽和度はほぼ一様になるのをこれを β とし、初期飽和度を β_{in} とすると、時刻 t での前線の深さ x_f は、

$$z_f = i(t) / n \cdot (\beta_{in} - \beta) \quad \dots\dots ②$$

となる。ここに n は間げき率である。①式を②式に代入し式を簡単にすれば、次の③式のようになる。

$$z_f = a x^2 + b x \quad \dots\dots ③$$

実験から得られるのは (z_f, t) の値なので、実験値が③式で表わされる関係を持つと考え、最小二乗法によって

2つの係数 a, b を決定すればよい。各要因の組合せに対応する a, b の値を求めたのが表-1である。次に a, b の値に対する要因の影響を線型式で定式化する場合、間げき比は定量的な要因、降雨型、下部境界条件は定性的な要因なので、解析にはダミー変数法を用いる。この結果、間げき比を R 、降雨型を A 、下部境界条件を B と表示すると、 a, b は次式で表わされるようになる。

$$a = 3.73 + 9.33A + 3.40B - 4.99R \quad \dots\dots ④$$

$$b = -13.60 + 29.18A - 0.18B + 14.0R \quad \dots\dots ⑤$$

表 1					
aの値	間げき比 R	不透水層あり		不透水層なし	
		A 型	B 型	A 型	B 型
	1.0	2.69	27.00	11.83	7.24
bの値	0.8	3.94	19.87	12.30	5.98
	0.6	6.07	12.96	10.53	4.28
bの値	間げき比 R	不透水層あり		不透水層なし	
		A 型	B 型	A 型	B 型
	1.0	22.31	10.84	14.39	22.06
bの値	0.8	18.51	9.24	9.31	7.81
	0.6	6.05	1.22	2.36	6.66

④、⑤式において、 α は値とそのまま代入すればよいが、 R は降雨型がA型のときは $R=1$ 、B型のときは $R=0$ とし、 B についても不連続層があるときは $B=1$ 、ないときは $B=0$ とすればよい。 α の値に関しては各要因の偏相関係数が低い(0.4~0.5)ので、要因の効果が強いとはいえないが、 α の値に関しては各要因とも効果が大きい(偏相関係数は0.8程度)。また④、⑤式によれば、間げき比 α の係数が他の要因に比べて大きいので、斜面への降雨浸透に対し間げき比の影響が顕著であることが分かる。このように、各要因によって α を表示すると、

$$Z_f = (3.73 + 9.33e + 3.40B - 4.99R)\alpha^{\frac{1}{2}} + (-13.60 + 29.18e - 0.18B + 1.40R)\alpha \quad \dots ⑥$$

となる。要因数、要因の水準数が少ないので④式によって前線の進行が完全に記述されると思われるが、さらにデータを増やせばより正確な実験式が得られるであろうし、ある斜面における降雨浸透を考える場合には④式の型の実験式に、関連する要因の値を代入すれば前線の進行が予測できるわけである。

斜面安定度の遷移過程：降雨浸透に伴って斜面の安定度が低下するというこれは十分推察されるが、低下の度合を定量的に表現した例はほとんどない。本研究では、土の強度低下、自重の増大という二つの因子を斜面安定度の低下に関連するものと考えている。実際現象はこの二因子のみで説明されるものではないが、この因子が斜面をどのように関連しているかを考えるのは可能であろう。浸透実験と同じ土を用いて別途に一面地盤試験を実施して、水分状態の変化に対応する土の強度低下の特性を求めている。安定解析には円弧すべり面法を適用する。解析に用いたモデル斜面は図-2に示すように、表層厚1.0m、傾斜角45°、斜面長60mとする。また解析において④式で表わされる $\alpha \sim$ 土質係により、前線と下部では浸透時の飽和度 S_w に対応する土質係を用い、前線より下部では初期の飽和度 S_{wi} に対応する土質係を用いた。安定解析から得られた安全率と時間の関係は次のように整理する。すなわち、時間 t での安全率を $F_s(t)$ 、初期安全率を F_{si} 、表層厚を D として $F_s(t)/F_{si} \sim Z_f/D$ の関係で表わしたものが図-3である。この図より $F_s(t)/F_{si} \sim Z_f/D$ に直線的な関係が見出され、 $t=0$ において $F_s(t) = F_{si}$ だから、 $F_s(t)/F_{si} \sim Z_f/D$ は次のように表わされる。

$$F_s(t)/F_{si} = 1 - \alpha \cdot Z_f/D \quad \dots ⑦$$

係数 α は間げき比の影響を強く受ける。これは土質係数、とくにすべり層の浅い斜面の安定に大きく効いている見かけの粘着力の水分状態による変化が、間げき比によって一様でないためである。すなわち、 $e=1.0$ では浸透前後の強度変化が著しく、 $e=0.6$ でもかなりの強度低下をきたすが、 $e=0.8$ ではそれほど変化しないために、その影響が α の値に反映したのである。そこで α は e の関数になると考えたが、各間げき比における強度の遷移特性を考慮して α を e の二次式で表わした。その結果が次の⑧式である。

$$\alpha = 5.14e^2 - 8.51e + 3.55 \quad \dots ⑧$$

以上、各要因の効果を考慮して表現した斜面安定度の経時的遷移過程は、次の⑨式のようになる。

$$F_s(t) = F_{si} - (5.14e^2 - 8.51e + 3.55) \{ (3.73 + 9.33e + 3.40B - 4.99R)\alpha^{\frac{1}{2}} + (-13.60 + 29.18e - 0.18B + 1.40R)\alpha \} F_{si}/D \quad \dots ⑨$$

したがって、ある斜面に関する各要因と初期安全率が分かれば、時間 t での安全率 $F_s(t)$ が⑨式から推測できる。

あとがき：本研究では3種の要因と、要因水準を2,3レベルにして、斜面安定度の経時的変化を一次式化したわけであるが、要因の数および水準数が少ないので精度的に問題が残る。今後はこの報告の方向で、要因数、水準数を増加させることによって、斜面安定度の経時的変化に関してより正確な式化を試みて行きたい。

参考文献：J. R. Philip ; Theory of Infiltration ; Advances in Hydrosience Vol 5

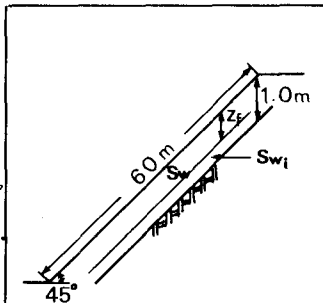


図2 モデル斜面

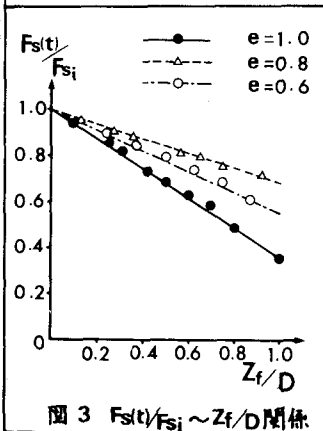


図3 $F_s(t)/F_{si} \sim Z_f/D$ 関係