

パイプ流を組み込んだ斜面流出モデル

名古屋大学工学研究科 ○ 正会員 鷺見 哲也
 大林組 加藤 健治
 名古屋大学工学研究科 正会員 高木 不折
 名古屋大学工学研究科 正会員 辻本 哲郎

1. はじめに 山地斜面において、河道付近の飽和度を素早く高める早い側方流を生む要因の一つとして側方パイプ流の存在が挙げられる。発表者らの研究室の対象としてきた兼平試験地（岐阜県山岡町、小里川流域、閃緑花崗岩）においても多くのパイプの存在が認められるが、その量的寄与については未だ明らかでない。その実際の調査に先立ち、本研究はパイプの流出機構を従来の Richard 浸透モデルに組み込むことによって、どのような応答・寄与が期待されるのかを数値計算によって調べるものである。

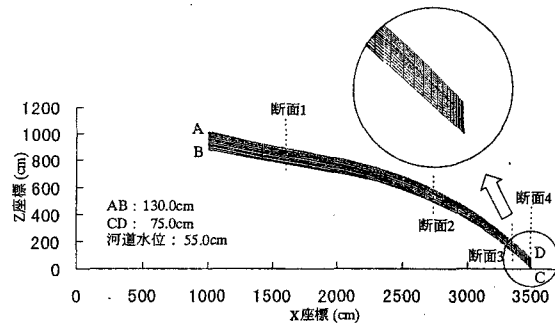
2. 解析モデルと条件 現地に認められた代表的微地形として、発散型斜面と収束型地形に分類し、現地調査に基づき¹⁾その縦断面を図-1のように仮定した。斜面土層は図中の z 軸廻りに断面を回転させて得られる領域である。図中の領域は表層土層（A,B 層）であり、C 層は不透水仮定で、中間流出のみを表現することとする。また、Richards 式は有限要素法を用いて解くが、その際必要となる内部の土壌水分特性及び不飽和透水特性は、現地土壌サンプルを測定した結果を基に、斜面方向 2 分割、鉛直方向に 3~5 層に分けて与えた。土壌水分特性については Brooks-Corey 式で、透水係数は一般化 Kozeny 式で同定されたパラメータを用いた。透水特性パラメータの値の割り振りについて表-1 に示す。境界条件は斜面上端 AB と底部 BC は不透水、地表面 AD は降雨強度を流入させた。流出面 CD では、斜面側が不飽和なら不透水、飽和なら大気圧、もし河道水位以下であればそのポテンシャルを与えた。初期状態は、5.2mm/day（長期流出に寄与する雨量の日平均）を模擬散水し、定常状態になった時の圧力分布とした。

パイプは、斜面下端部に図-2のように節点をつなぐ位置に設定した。Richard 式との間の取り扱いは、その接点が飽和したときにその接点からある流量を抜き出すという方法をとる。その量は、掘り抜き井戸の式 $Q=2\pi K(h_2-h_1)D/\ln(r_2/r_1)$ を援用し、その接点での Richards 式を解く結果の節点圧力値 P を h_2 に、パイプ内圧力として大気圧を h_1 と仮定し、 r_1 をパイプ半径、 r_2 をパラメータとしての影響半径 R を代入する。 D （厚み）はその節点が担当するパイプ長さ L とし、結果、 $Q=2\pi KPL/\ln(R/r)$ となる。 K は節点を構成する要素の透水係数の平均値とする。こうして得た、節点からの吸い出し量は、速やかに斜面下端から流出するとする。ここでは、パイプ半径の標準値を 2mm とした。

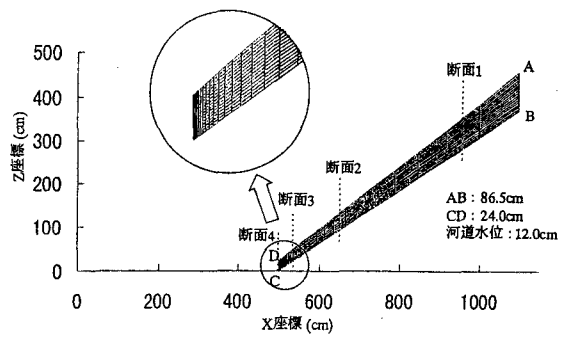
3. 解析結果 以降、3 角形降雨（6 時間、ピーク時 10mm/hr）を与えた場合について議論する。斜面下端でのパイプの密度を変えた場合の違いを見る。パイプ間隔を 20cm から 100cm に変化させた場合、発散型（図-3）は殆ど流出に寄与しないが、間隔の違いは顕著に現れた。収束型（図-4）では、ピーク時で 10% から 30% 程度の寄与があり、間隔によるパイプ流量の変化も大きい。次にパイプ間隔 50cm を標準として、図-5 にパイプ内径を 0.2mm から 2mm まで変化させた場合の違いを収束型について示すが、顕著な差は見られなかった。吸い出し量の式の中では半径は対数でしか効かないからと見られる。よって、現地ではパイプの大きさを気にするよりは、その本数を考慮した方がよいということが言える。また、パイプを考慮した場合としない場合のハイドログラフの違いについて、実降雨を与えた場合について見る（図-5）。発散、収束型ともにマトリクス流れのみのピークよりも後に高いピークを迎えており、それはパイプ流のピークが形成している。また、そこでパイプ付近の水を吐き出してしまうため、その後のハイドログラフの減衰は、マトリクス流れのみの計算よりも速やかである。

4. おわりに 以上の結果は、発表者らがこれから現地調査を行う上で何により着目すべきかという情報を与えてくれる。また、表層土壌中の流出に至るまでの水輸送のあり方について一つの示唆を与えるもので、これを手がかりに輸送形態について調査準備を進めてゆく。

1) 鷺見・佐藤ら：山地森林域における微地形の流出への影響、水工学論文集, Vol.43, pp.1091-1096.



(a)発散型斜面



(b)収束型斜面

図-1 斜面モデル

表-1 透水特性パラメータの入力値

斜面形状		発散型		収束型			
x座標		x=1000~3175		x座標		x=553~1100	
上部	層位 (表層から)	透水係数 K	β	層位 (表層から)	透水係数 K	β	
	1~3	2.00E-02	4.65	1~7	1.29E-02	4.97	
	4.5	7.76E-03	7.82	8~13	7.76E-03	3.9	
	6.7	4.45E-03	10.34	14~16	1.80E-03	4.66	
	8.9	1.13E-03	12.85				
	10~16	8.20E-04	11.01				
x座標		x=3175~3500		x座標		x=500~553	
下部	層位 (表層から)	透水係数 K	β	層位 (表層から)	透水係数 K	β	
	1~3	5.26E-02	6.47	1~7	1.35E-01	2.91	
	4.5	4.21E-03	9.96	8~13	1.85E-02	5.31	
	6~16	1.80E-03	4.66	14~16	3.80E-03	6.96	

透水係数K: (cm/sec)

透水係数K: (cm/sec)

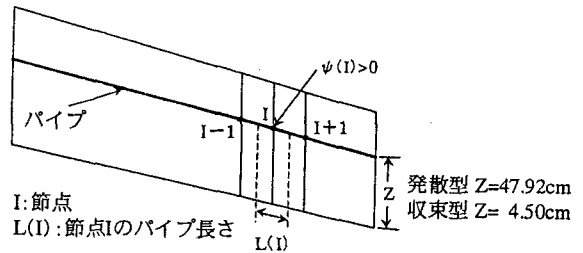


図-2 パイプの配置

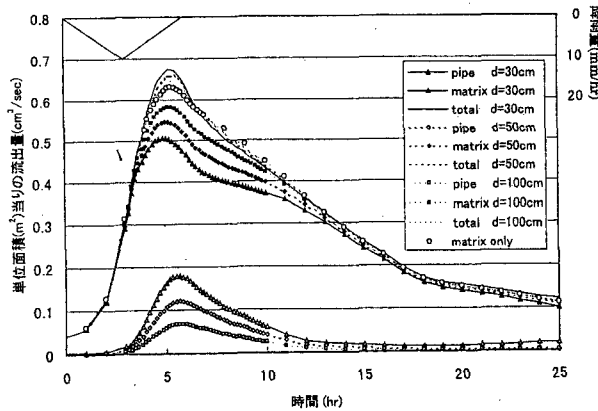


図-3 パイプ密度による違い (発散型斜面)

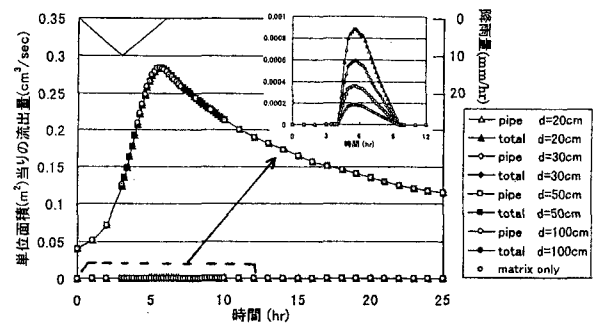


図-4 パイプ密度による違い (収束型斜面)

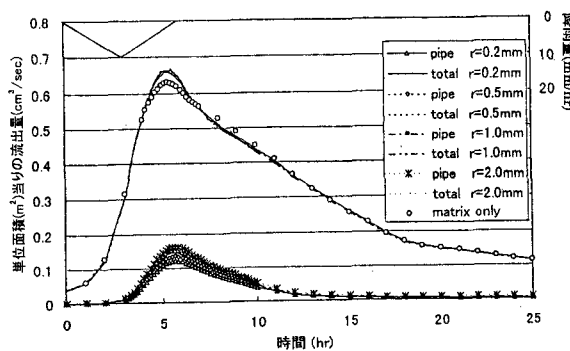


図-5 パイプ内径による違い (収束型斜面)

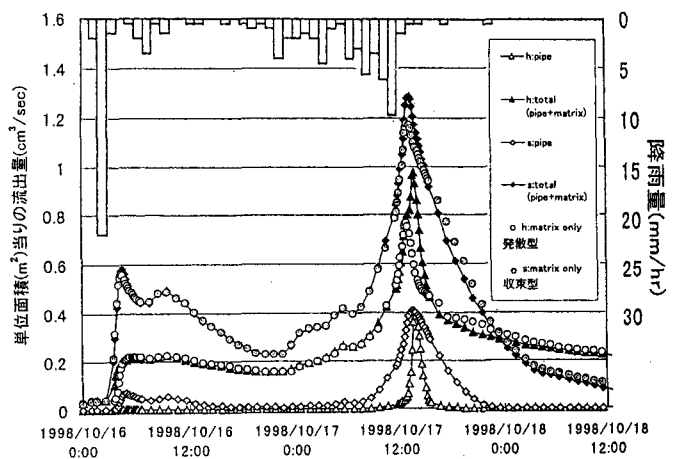


図-6 実降雨によるパイプを考慮したモデルと Richards 式のみモデルの違い