

広島大学 工学部 正員 三島 隆明
 広島大学 工学部 正員 金丸 昭治

1. まえがき 山地流域からの流出は山腹斜面表層部における雨水流動によって特徴付けられるが、利水的な観点からすると比較的遅い中間流出あるいは比較的早い地下水流出を主体とする間接流出の特性を把握することが重要である。

このような間接流出が生起する山腹表層部(表層ならびに表層部滞水層を含む)の構造ならびに流動は、いまだ明確ではなく、単純斜面の飽和浸透流扱い、すなわち、毛管力の影響を無視した取り扱いが広く行われているが、状態によってはその影響が無視できないような流動になる場合も少なくないと考えられる。

そこで、この研究は、単純砂モデル斜面を用いて毛管力が流出に与える影響を実験的に調べた結果について述べる。

2. 実験方法 砂モデル斜面は $100 \times 40 \times 3$ cm³(長さ×高さ×幅)で上流端($x=0$ cm)不透、下流端自由(砂止め用#420 μ m真鍮網付)

矩形断面透明アクリライト製水路に平均粒径 $d_{50}=0.56$ mmの川砂を充填(高さ17.7 cm)したもので、空隙率 $m=0.38$ 、自由水流動時の透水係数 $k=0.1030$ m/s、毛管水の最高上昇高 $h_c=13$ cmであった。また、降雨は斜面上に配置した注射針(内径1.2 mm)から水道水を滴下させたものである。一方、流量は自動重量計(秤量3 kg、感量0.1 g)で測定算出し、貯留量は斜面支持装置を含めた全重量を自動重量計(秤量30 kg、感量1 g)で測定した。さらに、圧力の時間的変化は $x=50, 80$ cmで、 $z=0, 5, 10$ cmの位置に配置した圧力変換器(定格9.8 kPa)で測定し、定常流出時における圧力分布はマノメータ($\Delta x=12.5$ cmで、 $z=0, 5, 10$ cmに設置)で測定した。

実験は、斜面こう配 $\tan\theta$ ならびに降雨強度 r (降雨継続時間 $t_r=2$ h)などを変化させて流出現象の変化を調べた。なお、各実験は状態を変えるごとに同種類の降雨による予備流出をさせた後に本実験を行った。

3. 実験結果および考察 図1は $\tan\theta$ を変化させて行った流出実験のうちの代表のこう配、代表の降雨状態における流出の時間的変化を示したものであり、図2はその時の単位幅流量 q と貯留高 S および有効貯留高 S_e の関係を示したものである。また、図3は代表的な流出($\tan\theta=0.169$, $r=22$ mm/h)における代表点($x=$

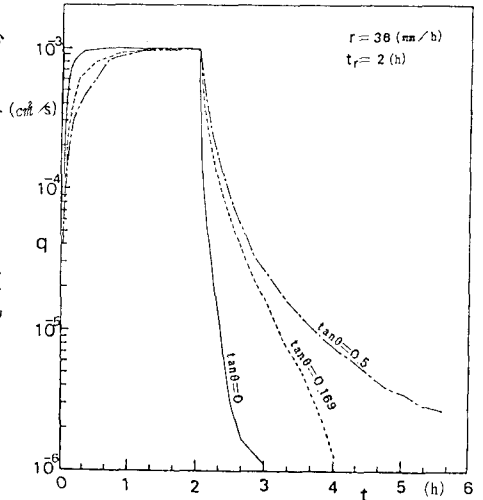


図1 流量の時間的変化

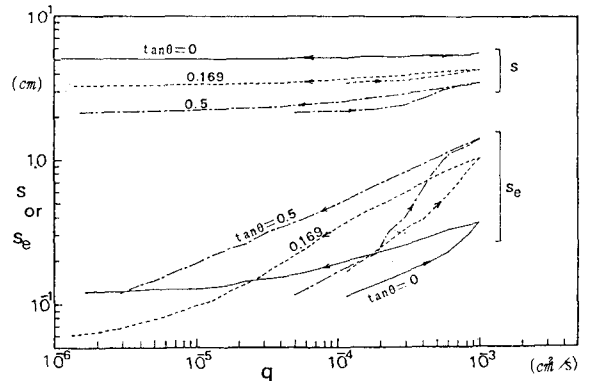


図2 単位幅流量と貯留量 ($r=36$ mm/h, $t_r=2$ h)

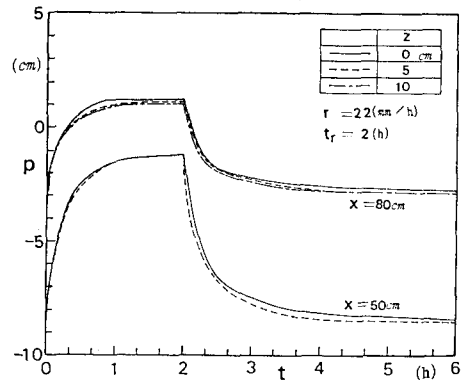


図3 層内の圧力変化 ($\tan\theta=0.169$)

50, 80 cm) のピエゾ水頭(基準面: 斜面底)の時間的变化を示したものである。さらに、図4は各こう配の斜面における圧力分布が明瞭にわかるように降雨強度を大きくした時の定常流出時の圧力(水頭)分布を示したものである。

図4からわかるように、 $\tan\theta$ が小さいものほど比較的小降雨の場合でも斜面全体に自由水が分布する状態になり、飽和度の高い流出になる。逆に、 $\tan\theta$ が大きくなるほど毛管水流動領域が増加するとともに飽和度が小さくなり、層内の負圧分布が一般化する傾向が強くなる。また、図9からわかるように、変換器の位置のうちいにかかわらずPがほぼ一定値になることから $\tan\theta$ が小さいものほど斜面における流動は降雨期から流出が終了するまでのすべての期間で自由水的な流動をする傾向が強いが、時間が経過すると層内全体が毛管水流動するようになり、最終的には下流端面に作用する張力が各 $\tan\theta$ における毛管力と均衡する状態で流動が停止するため、下流端近傍に飽和毛管水を残留させて流出が終了する。さらに、図2に示すように、 $\tan\theta$ が小さいものほどSは大きい、流出終了後に斜面に残留する量も多い。また、 S_e については、一定量の降雨に対しては $\tan\theta$ が大きくなるほど多くなり、 θ と S_e の関係についても $\tan\theta$ が大きくなるほど $S_e = a\theta^b$ のように変化する傾向が強くなるが、既に発表したように毛管力が無視できる飽和浸透流においては θ が小さくなると、 $\tan\theta = 0$ では $b = 1/2$ 、 $\tan\theta > 0$ では $b \rightarrow 1$ になる性質があるのに対して、毛管力の影響がある場合には図からわかるように、 $\tan\theta \rightarrow 0.5$ になると $b \rightarrow 0.4$ 程度になる傾向がある。

また、流量の時間的变化は図1に示したように $\tan\theta$ が大きいものほど流量が多く、しかも長時間にわたって流出するが、この事実、 θ と S_e の関係においてもそうであったように、毛管力の影響を無視し得るような飽和浸透流における θ と θ の変化傾向とは全く逆の傾向である。

このことから、 $\tan\theta$ が大きくて急峻な流域であっても、このような特性が把握されれば、的確な利水計画の立案も可能であろう。もちろん、斜面の規模あるいは構成は $\tan\theta$ とも密接な関係があり、どのような値が各斜面の代表量になるか、あるいは各斜面からの流出水の集合過程などについても検討する必要があるが、例は、図5中に示した山地小流域(流域面積 = 0.19 km^2 、 $\tan\theta = 0.58$)の代表出水(総雨量 = $17 \sim 140 \text{ mm}$ 、 $r_{\text{max}} = 6 \sim 26 \text{ mm/hr}$)の流量減衰期の θ と θ の関係(実線)が図1に示した実験流出($\tan\theta = 0.5$)の θ と θ の関係(破線)の変化とかなり良く類似していることも、この実験でわかった事柄と少なからぬ関連があると思われる。また、前述したように、 $\tan\theta$ が現実の斜面のように大きな値になると、層内流動は不飽和な流出の傾向が強まることから、そのような斜面における流出の解析法としては、その影響をも表現できるような方法を検討する必要がある。なお、これらの点など詳細については講演時に述べる予定である。

参考文献 1) 三島, 全丸: 流域の保水量とその変化(2), 第31回年講。

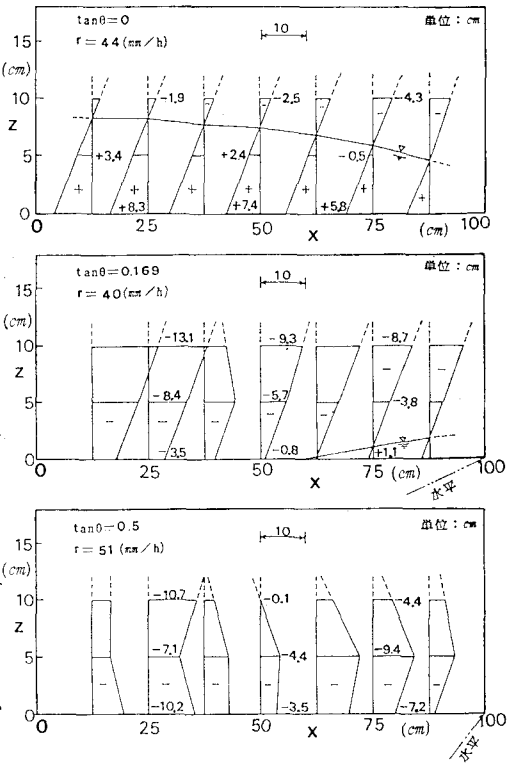


図4 定常時の層内圧力分布

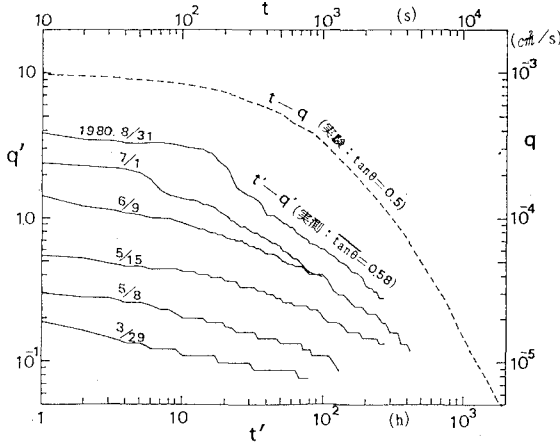


図5 流域の時間的变化の比較