

II-5 丘陵試験地における雨水の流出機構について

室蘭工業大学 学生員 中田 朋樹
 苫小牧工業高等専門学校 正員 嵯峨 浩
 室蘭工業大学 正員 藤間 聡

1. はじめに

降雨一流出系の物理機構を解明するために、各地に小試験地が多く設けられ研究が進められている。しかし、流出現象は局所的な環境要因に支配され、その複雑さのために一般的な特性を述べることは困難である。

本研究は、室蘭地方を対象として流出現象を解明するために、小試験地を設けその観測を行っている。観測を始めてまだ日が浅く、一部の観測結果しか得られていないが、流出特性の定性的傾向、浸透能について若干結果が得られたので、ここに報告を行うものである。

2. 流域の概要及び試験地観測

小試験地は、室蘭工業大学(室蘭市水元町)の北西の方向約500mに位置する東向きの丘陵斜面である。その地形概要を図-1に示す。流域面積0.029km²、流域幅東西300m、南北160m、河道長 55m、河道平均勾配 8度、河道面積90m²程度である。流域内の植生分布は、森林78% ササ85% 雑草 6% コケ 1% シダ 8% 程度であり、コケ、シダは季節によりその分布が変動する。主な分布は森林は南の谷下部を除く山腹斜面全域、ササは山腹斜面と河道近傍、雑草は河道兩岸斜面、コケは谷の合流部、シダは南の谷下部の北向き斜面と堰地点である。河道は堰地点より上流約 80m地点から成り 55mと 46.5m地点に湧水点が存在する。河床の構成材料はレキ、砂が主であり数カ所に直径1m程度の岩石がある左岸側は源流部から堰地点まで30° から40° の急斜面が連続している。右岸側は河道近傍の急斜面のほかは比較的なだらかであり、図-1下に F-F横断面を示す。河道付近の斜面はササ、樹木の根、ザリガニの巣により多孔質な状態である。流域内の土壤は図

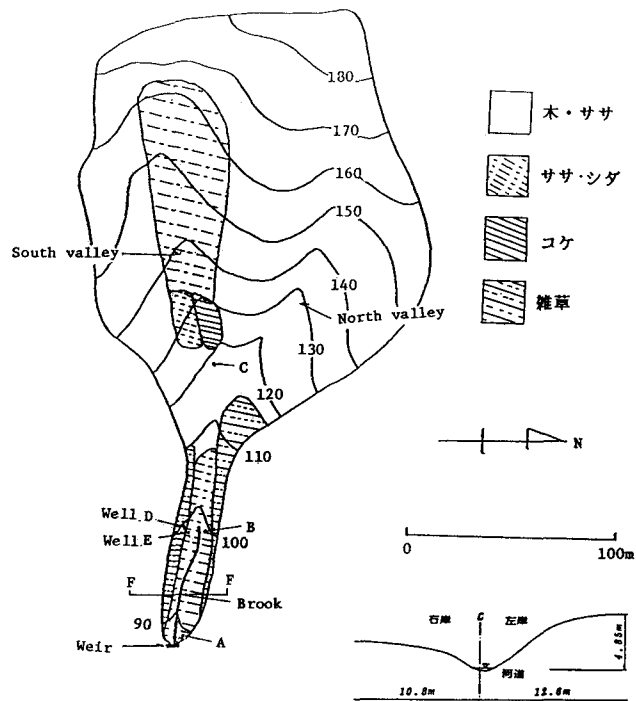


Fig-1

-1 A B C D E地点において調査した。A B C はハンドオーガにより掘削可能な深さまで、D E は地下水観測井掘削の際に地下水面まで調査した。植生は A Dは雑草、B C Eはササである。各掘削深は A-100cm B-100cm C-76cm D-140cm E-100cm である。土壤分布は、C地点を除いて上層が黒土、下層がシルト質砂であり C地点はすべて黒土であった。各地点の黒土の深さは A-35cm B-40cm D-55cm E-90cmであり D E地点では全体に 20~40cm程度のレキが多くまじっていた。また、流域外でも試掘を行なった結果ともあわせ、一般に流域

の黒土の分布は左岸側で薄く、右岸側、河道近傍及び山腹で厚いようである。C地点より南の谷にかけて多くの露岩が見られる。観測方法は、流量観測は標高 88m地点に頂角 60° の鋼製三角堰を設置し、差圧式水位計とフィールドメモリを用いて自動観測を行った。流量係数は現地においてメスシリンダーにより測定した。また、堰地点に流入土砂が多いことより流量係数測定時の状態の保持と落葉の流入を防ぐために、堰手前に沈砂池と金網を設けるとともに 1日 1回は現地に行き精度を保つよう努めた。雨量は室蘭工大キャンパス内と堰地点に、転倒樹型雨量計(1転倒雨量0.5mm)を設置しフィールドメモリにより自動観測を行い、堰地点の雨量計は 45° 以内に障害物が無い場所を選んだ。地下水位は図-1の D E地点に、内径65mmの塩ビ管を埋設し 1日 1回定時に巻尺を用いて観測することを基本とし、降雨時には適時観測した。また、浸透能試験を源流部左岸斜面の雑草地において行なった。

3. 観測結果及び考察

7月 8日から22日までの15日間と 9月 8日から17日までの10日間の観測データを図-2(a)(b)に示す。流量の観測間隔は10分、雨量は10分間の積算量である。7月 8日 8時10分から 9日12時までに総雨量 134.5mm、

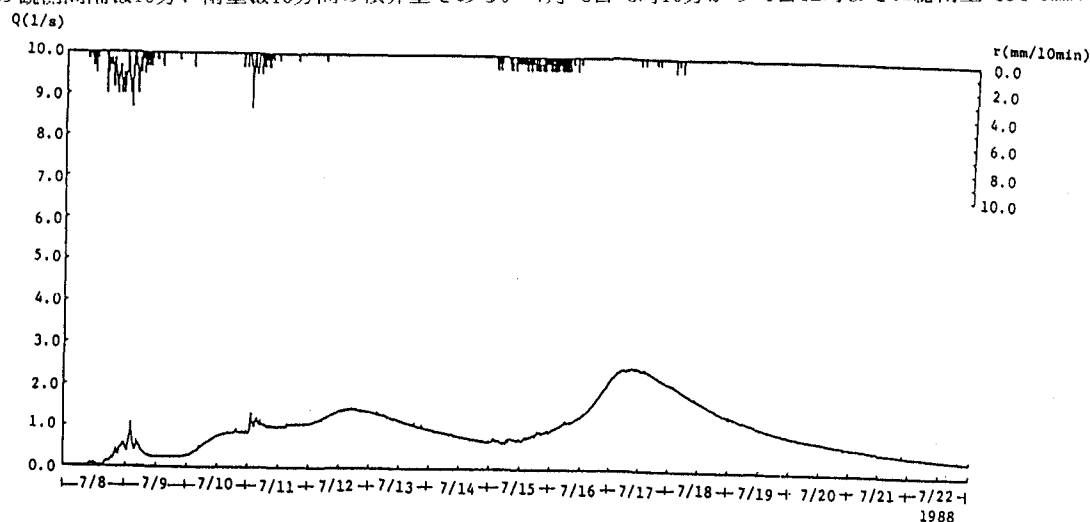


Fig-2(a)

11日 0時30分から12時まで37mm、15日1時30分から16日11時30分まで60mm、9月11日21時50分から12日 9時50分までに79.5mmの降雨があった。各降雨の流出率は7月 8日-0.036、11日-0.171、15日-0.195、9月12日-0.322であり、各遅れ時間は、7月 9日-41時間、11日-40時間、15日-33時間、

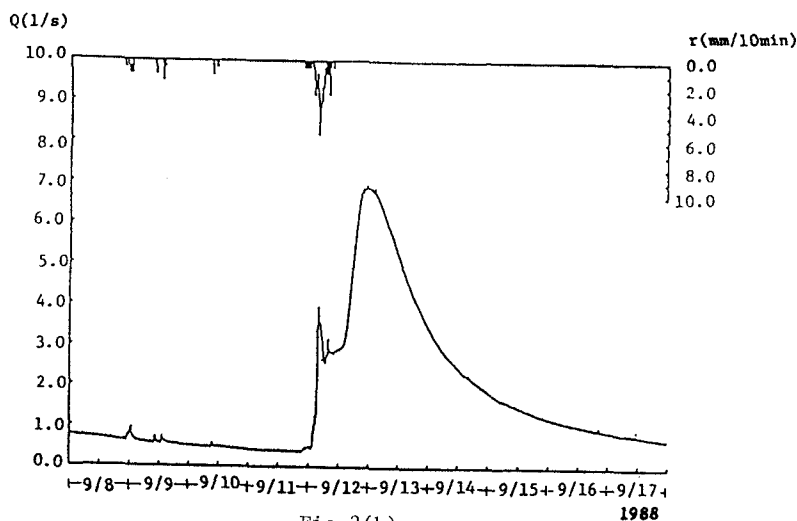


Fig-2(b)

9月12日-18時間である。ここに流出率は減水曲線を片対数にとり、第二変折点より基底流量と分離し算出した。ただし、7月の減水曲線は15日の曲線を平行移動し算出した。遅れ時間は、降雨ピークと流出ピークの時間差であり、降雨ピークのないものは降雨の中間時間とした。これらハイトーハイドログラフより流出特性は、降雨量が約30mm以上のときに流出ピークが明確に2つに分かれ、第一ピークの遅れ時間は10分から30分、第二ピークは約10時間以上となっている。これらピークの原因を考察すると、第一ピークは遅れ時間が短いことより、降雨時河道内及び河道近傍の降雨が流出しているものと思われる。この流出に寄与している等価河道幅を算出すると、河道兩岸より約3m程度となりこれは兩岸斜域内となる。この算出に用いた流量は、第一ピークの始めと終わりを直線で結び分離した。第二ピークは遅れ時間が長く、ピークの勾配が滑かになっていることより地中流によると推測される。以上より、流出特性はハイドログラフと試験地形状とを勘案し、降雨時には河道近傍流出、降雨終了後主要な流出が出現する流出特性を有する。また、流出係数が約0.3以下と小さく、流出継続時間が1週間程度と長いことにより貯留効果が高く降雨の多くは地下水として流下していると思われる。次に総降雨量、総流出量、遅れ時間についての関係を図-3 (a)(b)(c)に示す。図-3

(a)は総降雨量-総流出量図-3 (b)は出水直前流量-遅れ時間図-3 (c)は総降雨量-遅れ時間である。(a) 図より総流出量と総降水量との関係は比例するようであるが比例しないものもありこれらは、出水直前流量が0.1l/s以下と他に比べ非常に小さい場合であり地中水及び地下水の涵養に降雨が使われていると思われる。(b)図より流出の遅れ時間は、40時間で一定している傾向があるが出水直前流量が0.1(l/s)以下の場合に遅れ時間が、40時間でありこれ以上の流量の場合には出水直前流量と遅れ時間との間に比例関係があるようである。(c)図より遅れ時間は総降雨量に関係なく約30時間以上であるが出水直前流量0.1(l/s)以下の場合を除くと総降水量と反比例の傾向がある。以上の項目についてその傾向を述べたが、観測データが少なくまた1年のデータのみであり、その定量的傾向はおろか、確定した定性的傾向をとらえるに至ってはいない。次に、各降雨に対しタンクモデルを同定した。タンクモデルの各定数の定義を図-4に示す。定

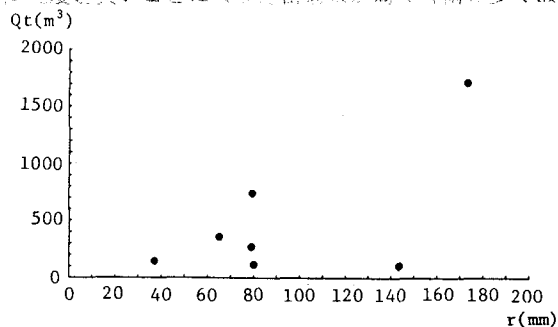


Fig-3(a)

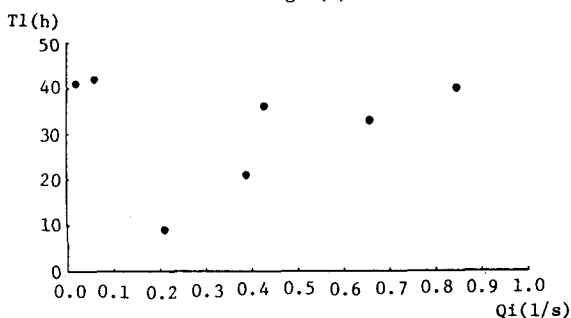


Fig-3(b)

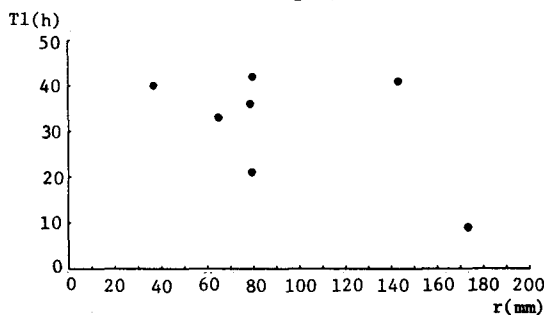


Fig-3(c)

数の同定はPowell探索法を用いた。9月11日からの降雨について計算結果を図-5に示す。同図において実線は観測流量、点は計算値流量である。各定数は $A_{11}=0.11$ 、 $A_{12}=0.0015$ 、 $B_{11}=61.28$ 、 $B_{12}=49.04$ 、 $C_1=0.071$ 、 $H_1=8.74$ 、 $A_{21}=0.012$ 、 $B_{21}=0.30$ 、 $C_2=0.016$ 、 $H_2=2.21$ 、 $A_{31}=0.12$ 、 $B_{31}=3.83$ 、 $C_3=0.50$ 、 $H_3=0.00010$ 、であ

る計算値と観測値を比較すると、時間はピークで一致しピーク流量は第一ピークで一致し、第二ピークは観測値の 86%であり、相対誤差は 11%で計算値は非常に一致している。ここに、相対誤差は次式で計算した。

$$\text{相対誤差} = \sum \{ | \text{観測流量} - \text{計算流量} | / \text{観測流量} \} / n$$

(n=データ数)

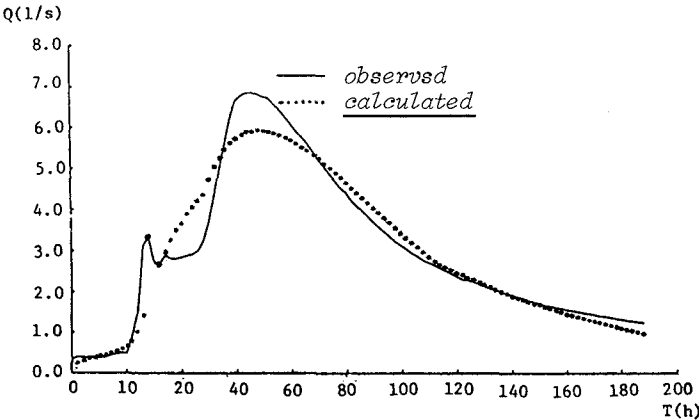


Fig-5

浸透能試験は、流域における表面流の発生の有無を調べるために行なった。実験装置の概要を図-6に示す。目盛り付き円管は、長さ90cm、最大容量400cm³、散水管の内径 0.5cm、最大流下能力 460(mm/h)である。試験は塩ビ管を打ち込み後管内に水を散布し、塩ビ管打設時の土の乱れによる影響を少なくした。管内の雑草は約 1,2cm残して切り地表面が見えるようにした。方法は最初流量調節コックを全開し一様に水を散布し、管内下側壁面に水深 2mm程度の水面が発生するまで続けこのときの水量を初期浸透能とし、次に、この水面を維持しながら一様に散布し10分まで 1分間隔、20分まで 2分間隔、20分以降 5分間隔で測定し20分以降変化量が小さかったので40分で打ち切った。また、流下能力を保つために目盛り付き円管内の水量が200cm³以下にならないようにした。測定結果を図-7に示す。同図中の曲線はHorton式で示したもので、次式である。

$$f = f_0 + (f_c - f_0)e^{-kt}$$

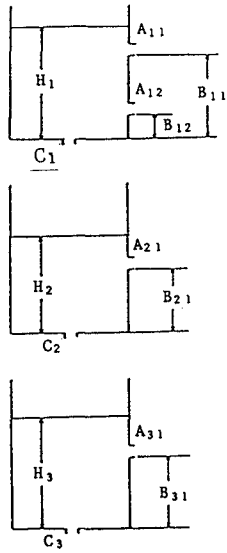


Fig-4

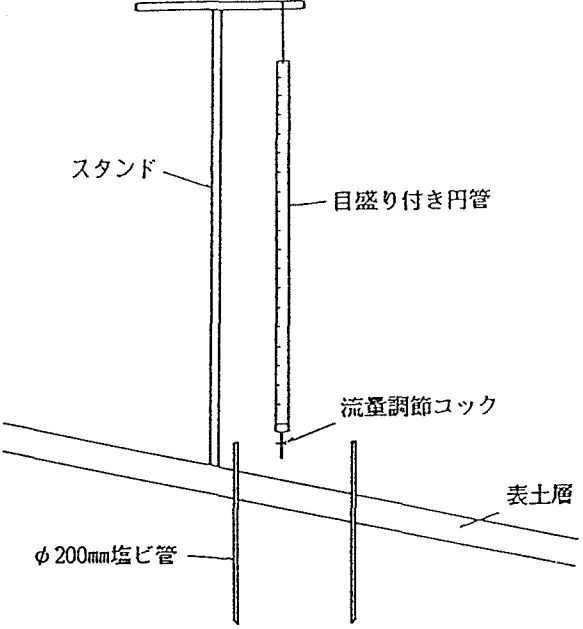


Fig-6

ここに、 $f_0=130.69(\text{mm/h})$ 、 $f_0=9.3(\text{mm/h})$ 、 $k=0.18$ 、である。

浸透能の特徴的傾向は、0分から5分程度まで浸透能が低下し、10分前後まで55(mm/h)程度で一定となりその後また低下し20分までに、ほぼ最終浸透能9.3(mm/h)前後となる。また、一定値となるとき管内の土中より空気の流れが認められ、特に10分前後に激しく噴出してきた。これらの現象は、雑草の根の影響である

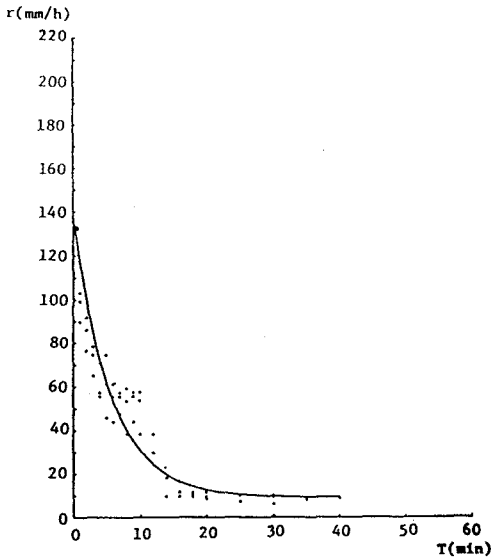


Fig-7

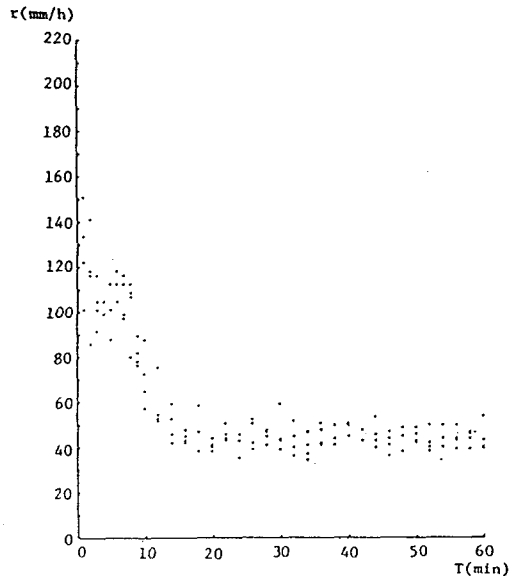


Fig-8

と推定され、根を取り除いた供試体において同一の試験を行いその結果と比較すると、根のある供試体の10分以降と取り除いたものとで、その浸透能はほぼ一致した。これら試験の結果より雑草地においてほとんどの降雨で表面流が発生していることとなるが、降雨時に現地では表面流の発生はみられず、地表に穴をあけると水面が見える程度であり、浸透能の実験結果と降雨時の現象に相違が見られる。これは、流域斜面では浸透水が横方向にのびる根とその下層の黒土の境界面を横方向に流出するためと思われる。また、塩ビ管の径が20cmと小さく側方流が遮断されるためである。従って、実験で得られた値は実際の現象値より過小に算出されていることになる。次に、現地試験で浸透能が途中で一定値を示すことから、その原因を探るために現地より塩ビ管を取りだし、室内試験を行なった。試験方法は現地試験と同一であるが塩ビ管を、台上に固定し流下する流量をメスシリンダーにより測定した。塩ビ管には土砂の流出を防ぐため、径1mmの網を2重に張り付けた。室内試験の結果を図-8に示す。室内試験においても、浸透能は同様な傾向が見られ2分から6分

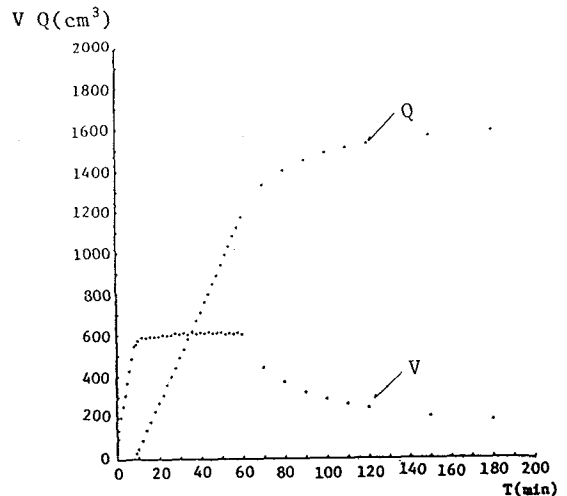


Fig-9

の間で 105(mm/h)前後の浸透能で一定となった。室内試験において、各現象の時間が早まり浸透能の増加は塩ビ管底面に不浸透層が存在しないために供試体 内に自由水面ができず、透過性がよくなったためと現地より取り出す際に壁面において土の乱れにより空隙ができたものと思われる。水収支については、貯留量(V)-流出量(Q)を図-9に示す。貯留量は散布水量より流出量を差し引いたものである。貯留量の変化は、6分前後まで増加し、6分から10分前後までその増加量は小さく、10分以降の増加量は一定となる。流出量は、6分前後より流出し始めその増加量は一定量である。また、貯留量-流出量と浸透能曲線とを比較すると、増加域は最初の曲線域にあたり、増加の鈍化するところは次の曲線に移行するところにあたる。以上より現地試験、室内試験の結果を考察すると、浸透能は降雨初期に根層の空隙の影響を受け、降雨はこれを飽和させるとともに下層の大きい空隙を流下し、根層が飽和した後は10cm程度の水圧を受ける黒土層の浸透能に影響される。

3. まとめ

以上、現地観測、浸透能、室内試験の結果よりわかったことを要約すると、次の様になる。小試験地において、降雨中は河道内及び河道近傍の空隙を流下して第一ピークを形成し、降雨終了後、山腹斜面からの地中流により第二ピークを形成している。また、小さな降雨は、河道近傍の降雨しか流出せず、降雨の多くは土中水の函養あるいは根層に貯留され、蒸発散に用いられていると思われる。

本研究では、観測結果が少なく定量的な特性を把握するに至っていないが今後も観測を続け流出の物理機構を解明する予定である。本研究の遂行に当たり、室蘭工業大学河海工学講座 赤石・及川君の協力を得ことに深謝します。また、文部省科学研究費補助金奨励研究（嵯峨 No.63750539）の補助を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

1. 技術水文学：岡本芳美著 日刊工業新聞社
2. 河川水文学：高瀬信忠著 森北出版
3. 新しい水文学：日野幹雄 山田正 共訳 朝倉書店