



る毛管力による土中負圧を管の上方に付けた圧力センサーで読みとり測定するものである。テンシオメータは斜面方向に法面長 10m 間隔で 5 地点（各測定点を下から ST1~ST5 とした）（写-1）、1 地点あたり 4 深度（鉛直下方向 20cm, 40cm, 70cm, 100cm）に設置した（写-2）。テンシオメータ設置高および設置間隔等については図-2 に示す。この図の黒丸はテンシオメータ設置点、白丸はテンシオメータ設置点近傍の標高測定点である。ST1 から ST5 までは勾配がおおよそ 33° から 39° のほぼ様な急斜面とみなすことが出来、ST1 より下からは緩斜面である。植生は樹木その他 ST1 から ST4 まではほとんど下草が生えておらず、ST5 付近には笹などの草が生えていた。斜面地表部は薄い腐食土層、地表から約 40cm までは樹木や草の根が這う砂礫層で、それより下層は砂礫層である。測定斜面の砂礫層の土質はシルト質礫 (GM) と判別され、粒度分布を表-1、図-3 に示す。



写-1 測定斜面



写-2 テンシオメーター配置



写-3 データ収録用パソコン

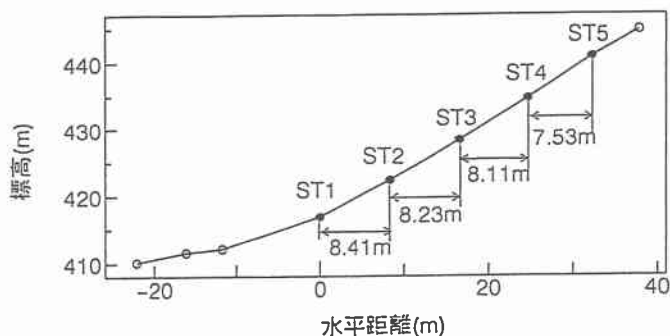


図-2 テンシオメーター設置点図

サクシオンψのデータは10分毎にパソコンのハードディスク（写-3）に自動的に取り込まれる。なお現地で土中水圧の様子やセンサーの調子がモニター出来るようになっている。

降雨強度rはサクシオンψの測定場所近傍において同じく10分間隔でデータをロガーに記録した。

水位・雨量データは、表層土中水圧測定を行う地点に最も近く、ダム湖直上流に位置する小樽内観測所のデータを後日、北海道開発局のデータベースから収集した。

表-1 土質状態表

土質分類名	シルト質礫 (GM)
土粒子密度	2.634 g/cm
最大粒径	26.5 mm
平均粒径 $d_{50}$	3 mm
飽和透水係数	1.35E-02 cm/s

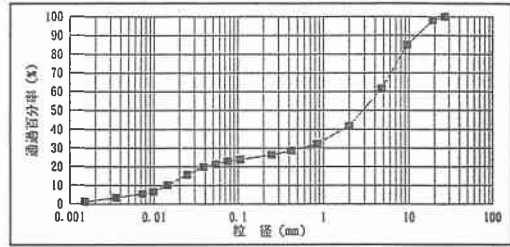


図-3 粒径加積曲線図

### 3. 含水率 $\theta$ への変換

サクシオン $\psi$ と含水率 $\theta$ はたがいに相関関係を持っている。しかしながら土壌の種類により分布形が異なるため流域ごとに調べる必要がある。平成4年度に本研究と同流域内の土壌を採取し、サクシオン $\psi$ ～含水率 $\theta$ の関係特性を調べた。白点が吸水条件、黒点が排水条件で図-4にサクシオン $\psi$ および含水率 $\theta$ の関係図として示す。

一般にサクシオン $\psi$ と含水率 $\theta$ の関係は(1)式の一価関数で示される。図-4を用いて(1)式中のパラメータ $\theta_s, \theta_r, a$ を同定し、 $\theta_s = 0.50, \theta_r = 0.10, a = 50\text{cm}$ を得た。

$$\theta = (\theta_s - \theta_r) \left( \frac{a^2}{a^2 - \psi^2} \right) + \theta_r \quad (1)$$

ここで、 $\theta_s$ は最大含水率、 $\theta_r$ は水の動きがないと思われる最小の含水量、 $a$ はサクシオン変化の大きいと思われる水頭高を表す。

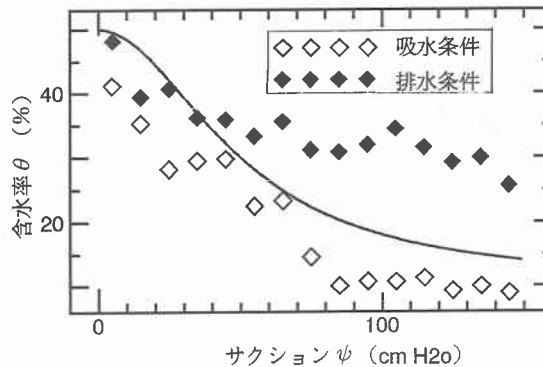


図-4 サクシオン $\psi$ と含水率 $\theta$ の関係図

### 4. 斜面土中水分が河川流出に与える影響

小樽内観測所の水位 $h$ および降雨強度 $r$ を図-5に示す。図-6～10は現地斜面近傍の降雨強度 $r$ および現地斜面の含水率 $\theta$ の変化図である。図-6～10における図中の数字はテンシオメータ設置深さを表す。また同図の降雨強度の一部に計測器の故障による欠測が生じている。欠測部分は図-5の降雨強度を参考値として用いることとする。

図-5より、9月11日頃までは降雨の発生間隔が長く河川の水位が上昇しても降雨の停止後間もなく基底水位に戻り、9月11日以後は降雨間隔が短く一降雨ごとの水位の低下は緩やかになっているのがわかる。

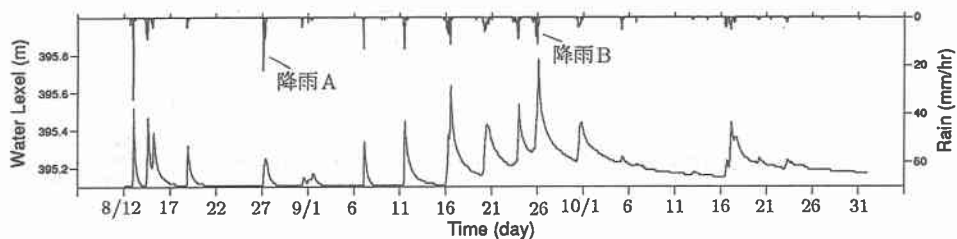


図-5 小樽内観測所の水位 $h$ および降雨強度 $r$ 図

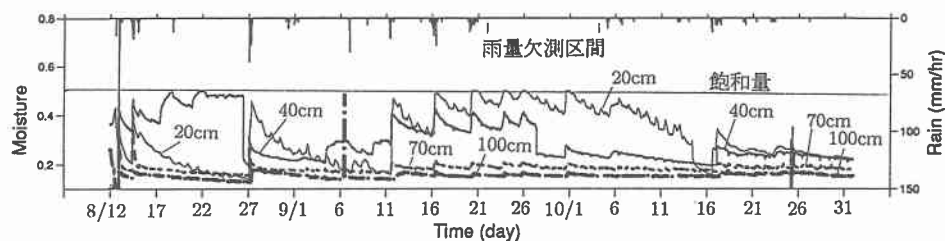


図-6 降雨強度 $r$ および現地斜面の含水量 $\theta$ の変化図 (ST1)

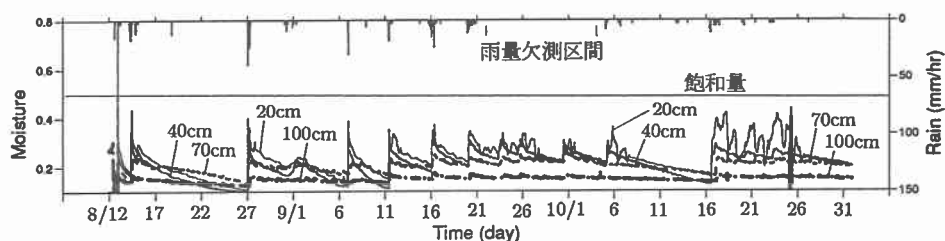


図-7 降雨強度 $r$ および現地斜面の含水量 $\theta$ の変化図 (ST2)

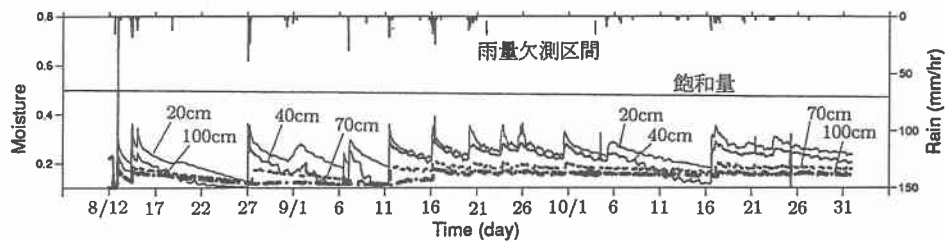


図-8 降雨強度 $r$ および現地斜面の含水量 $\theta$ の変化図 (ST3)

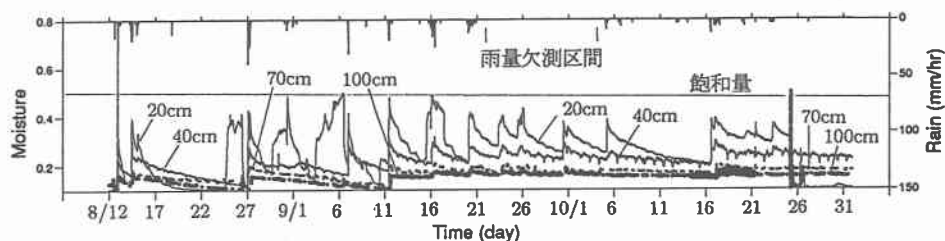


図-9 降雨強度 $r$ および現地斜面の含水量 $\theta$ の変化図 (ST4)

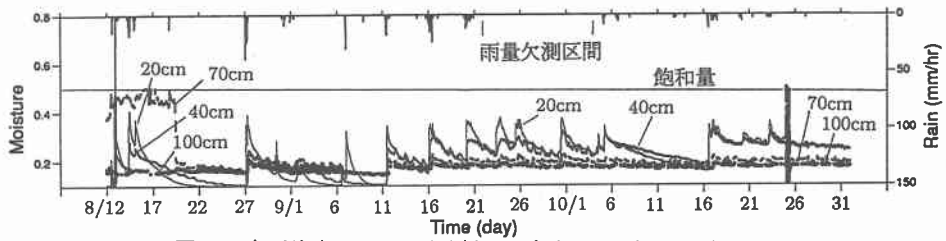


図-10 降雨強度 $r$ および現地斜面の含水量 $\theta$ の変化図 (ST5)

土中の水分変化は図-6～10の現地斜面近傍の降雨強度 $r$ および含水量 $\theta$ の変化図より次のことが言える。降雨が発生するとともに土中の含水量 $\theta$ は増加し一時的に貯留量が増えている。しかしながら流出と蒸発散により含水量 $\theta$ が徐々に低下している。この含水量 $\theta$ の変化は各測定個所とも深度が20cmから40cmに大きく現れ、70cm、100cmではほとんど見られない。また、全体的に深度が浅い方から深い方にかけて含水量 $\theta$ が低い傾向にある。これは土壤が乾いた含水量 $\theta$ の極めて低い状態の時は降雨が発生しても土層の上方から水分を貯留していき下方への供給量が少ないことを示している。また土層の深度が深いほど斜面鉛直下の浸透性が悪くなっているため層の斜面鉛直下方向に浸透せず同深度での斜面側方向に水分が移動していると考えられる。この浸透状態については同地点においてフミン質に着目し土中の水分移動を測定した水戸等<sup>2)</sup>の研究でも同様の結果が示されている。

図-7のST2から図-10のST5までは降雨の発生後間もなく含水量 $\theta$ は上昇し、降雨が止むと含水量 $\theta$ も減衰するほぼ同じ様な波形を示している。しかしながら図-6のST1では波形は同じ様な傾向を示してはいるが含水量 $\theta$ は他のST2からST5に比べ大きい値を示し土中の貯留量の大きいことがわかる。ST1から斜面上方では測定斜面がほぼ一様な勾配で土中の水分の排水もスムーズに行われているが、ST1以下では勾配が緩やかになり排水能力が低下したため貯留量が多くなったと考えられる。ST1においても含水量 $\theta$ の変化は20cm、40cmの深度の浅いところが主な所で、70cm、100cmではほとんど含水量 $\theta$ の変化は見られない。このことから鉛直深度40cmと70cmの間に地層の境界があり、短期的な水分の移動は主にこの境界より上の層で行われていると考えられる。

これらのことより深度が20cmと40cmのデータに着目し、図-5の水位 $h$ および降雨強度 $r$ 図と合わせ検討する。9月11日までの土中の含水量 $\theta$ は降雨間隔が長いことと植生等による蒸発散の影響で増減の幅が大きい。逆に9月11日以降は降雨間隔も短く土中の含水量 $\theta$ も高い値にある。これら2つの期間から図-5に示す降雨A、Bを用いこれら降雨発生時の水位と土中の含水量 $\theta$ を比較する。降雨Aは8月27日に発生し最大降雨強度22(mm/hr)、発生時間は9(hr)、総雨量は44(mm)である。降雨Bは9月25日から26日に発生し最大降雨強度11(mm/hr)、発生時間は18(hr)、総雨量は44(mm)である。降雨A発生時は土中の含水量 $\theta$ は大変低く水位も基底水位であったため降雨Aによるピーク水位は395.25(m)であった。降雨B発生時はそれまで降雨が短期間に連続して発生していたため土中の含水量 $\theta$ が高く流出が続いている状態でもあり降雨Bによる水位は395.78(m)まで上昇した。水位が上昇し始めた時の水位はそれぞれ異なるが降雨が発生し始めてからの水位の上昇量は明らかに土中の含水量 $\theta$ の高い時に発生した降雨Bの方が大きい。このことから例えば降雨量が同じであったとしても土中の含水量 $\theta$ の違いで河川への流出量が違うことが分かる。

## 5. 植生の影響

水位変化の違いや、含水量 $\theta$ データの変動の様子に大きな違いがあったことから9月11日前後で測定期間を2つに分けて考えた。9月11日以前の土中の含水量 $\theta$ 変化は大きく、特に表層から深度40cm位までが活発であった。この深さは樹木の根の範囲とほぼ一致していたことから含水量 $\theta$ の変化に植生が関与していると考えられる。9月11日以後は含水量 $\theta$ に以前ほど大きな変化が見られなくなり、植生が関与していた場

合9月11日頃を境として植生の生活環境に何らかの変化があったと思われる。要因の一つとして気温が考えられる。図-11に定山溪ダムサイトの気温変化図を示す。実線は1時間毎に測定された気温変化を表し、横線は21°を示す。降雨前後で含水率 $\theta$ の変化が大きい時期の気温はおよそ21°Cを境に27°Cから16°C程度の間を振動していた。しかしながら、気温が急激に落ち込んだ時期以降含水率 $\theta$ の変化は以前ほど大きくなかった。降雨間隔が短くなった事によるものとも考えられるが、気温の低下による植生活動の低下も関係しているものと判断できる。

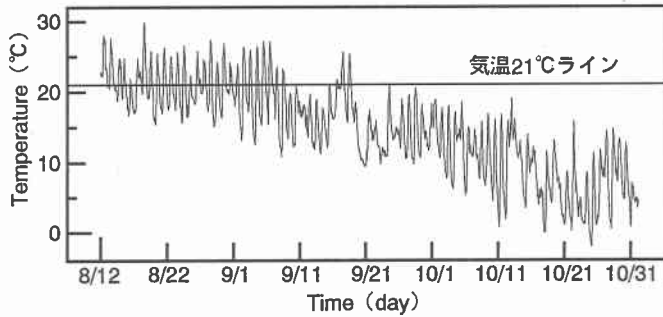


図-10 気温変化図

## 6. 終わりに

観測期間中の小樽内流域における降雨は、降雨継続時間の短いものが多かった。小樽内川の河川流出を見ると降雨のピーク直後に流出のピークが生起している。土中の水分が極めて少ないと思われる時に降雨が発生した場合、水位は降雨の終了後すぐに基底水位に戻ってしまうが湿潤状態の時は土中からの流出量がある分だけ水位が基底流出まで戻る時間が長くなっていることが確認された。本研究で含水率 $\theta$ の値に影響する要因として植生を挙げた。土中の水分変化を測定、また流出モデルを作成する上で無視できないものとする。樹木の生活環境の変化に伴う水分の摂取量など、植生については今後の課題とする。

### 参考文献

- 1) 市川嘉輝, 清水康行, 藤田睦博, 山本太郎: 地下水流を考慮した流出モデルに関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集,49
- 2) 藤田睦博, 亀井 翼, 寺島貴志, 市川嘉輝, 水戸 聡: 山地表層土中における水分と溶質の移動に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集,50
- 3) 日野幹雄, 太田猛彦, 砂田憲吾, 渡辺邦夫: 洪水の数値予報, 森北出版株式会社, 1989