

大藪川森林理水試験地の水文特性(I) : 水位-流量曲線式の検討と水収支について

井倉, 洋二
九州大学農学部附属演習林

久保田, 勝義
九州大学農学部附属宮崎演習林

<https://doi.org/10.15017/10905>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 72, pp.107-116, 1995-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :



大藪川森林理水試験地の水文特性 (I)* 水位-流量曲線式の検討と水収支について

井 倉 洋 二**・久保田 勝 義***

抄 録

1979年に設置された九州大学宮崎演習林内の大藪川森林理水試験地は、変成作用を受けた脆弱な地質と急峻な地形および降水量の多さという立地条件に特徴づけられる試験地である。当試験地は、伐採前後の長期間にわたる水文観測を実施することにより、森林施業が降雨流出に与える影響を明らかにすることを目的としている。本報告では、伐採前の自然林で構成される試験地流域の水文的特性を明らかにすることを目的に、その前段階として、1990年から92年の3年間の観測結果を用いて、水位-流量曲線式と水収支に関する検討をおこなった。

水位-流量曲線式は、流量実測値と水理公式を用いて複数の式を提示し、それぞれの式を適用して求められる年間水収支の値を用いて、比較検討した。その結果、流域外との地下水の出入りの有無に関わらず、水収支上最も妥当と考えられる式が決定された。

キーワード：森林理水試験、量水フルーム、水位-流量曲線式、水収支

1. はじめに

宮崎演習林では、1979年に大藪川流域支流の26林班内に森林理水試験地が設置された。本試験地は、林相の変化や施業方法のあり方が降雨流出に与える影響を明らかにすることを目的とし、天然林で構成される流域において伐採処理を施し、その後の育林過程を含む長期間の水文観測を実施しようとするものである(近藤, 1978)。このような理水試験は、長い歴史を持つ東大愛知演習林や森林総合研究所の各試験流域等とその目的においては同様である。本試験地の特徴は、脆弱な地質と急峻な地形を有する標高の高い山岳地域であることと、降水量が多いという立地条件にあり、これまで国内で実施された森林理水試験では、他に類をみない立地条件といえる。その意味では、特に降雨流出機構の解明のみならず、厳しい立地条件下における森林管理のあり方を探るうえで、本試験地の持つ意義は大きい。

* INOKURA, Y. and KUBOTA, K. : Hydrological Features of the Oyabu Experimental Forest Hydrological Basin in Central Mountain Regions of Kyushu (I) A Study of Stage-Discharge Rating Equation and Water Budget.

** 九州大学農学部附属演習林

University Forests, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Sasaguri, Fukuoka 811-24

*** 九州大学農学部附属宮崎演習林

Miyazaki Branch of University Forests, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Shiiba, Miyazaki 883-04

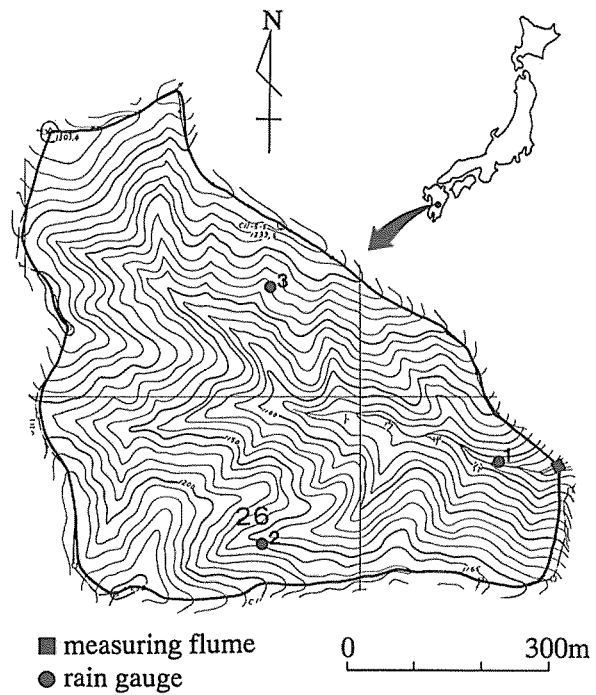


Fig. 1 Topographic map of the Oyabu Experimental Forest Hydrological Basin.

図1 大藪川森林理水試験地の流域地形図

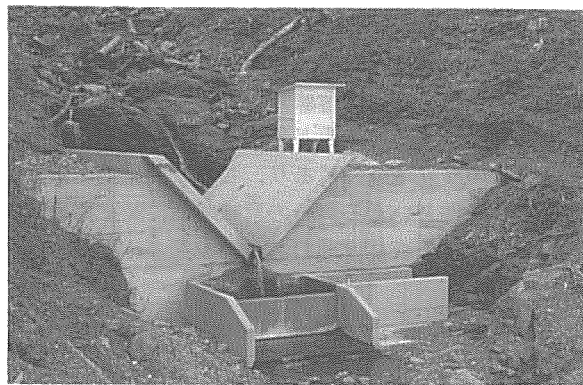


Fig. 2 Picture of the measuring flume.

図2 大藪川森林理水試験地の量水フルーム (設置当時)

本研究は、伐採処理を施す前の、自然林で構成される本試験地流域の水文特性を明らかにしようとするものであるが、本稿では、まず量水施設の水位-流量曲線式の検討と、流域の水収支について報告する。

2. 試験地の概要

本試験地は、九州大学宮崎演習林内の26林班にあり、一ツ瀬川支流の大藪川源流域に位置する(図1)。当地は九州山地のほぼ中央で、標高1500m以上の主稜を有する急峻な山岳地域である。試験地の標高は1000~1300m、流域面積は38.22haで、流域の植生は、シラキーブナ群集を主体とする落葉広葉樹にモミ・ツガ等の針葉樹が混在する自然林である。また、当地は国内でも有数の多雨地帯であり、九州大学宮崎演習林庁舎(標高600m)における観測では、過去20年の平均年降水量は3319mmである(井倉・薛, 1989)。

当地域の地質は、九州四万十帯に属し、中生代白亜紀~新生代古第三紀にかけて形成された四万十層群が基盤をなす。これらは砂岩・頁岩などの堆積岩類を主体とし、広域変成作用により千枚岩もしくは片状岩化しているものが多く(田中・岩松, 1993)、薄く層状に剝がれやすいもろい岩質となっている。試験地流域内には、主に片状砂岩と礫質頁岩が分布する。

本試験地では、渓流水の水位と流域内3ヶ所での雨量を観測している。それぞれの観測地点を図1に示した。量水施設は、直角三角形の断面を持つコンクリート製量水フルーム(流路長6.5m、最大水深2.5m)で、図2のように水平に設置された三角形の水路である。水位は水路と通水管でつながれた量水井戸において、水位計で計測されている。水位計はチャート式自記水位計(横河ウエザック製、W-351型)を用い、雨量計は転倒桁型自記雨量計(小笠原計器製、RR-200型)にデータロガー(コーナシステム製、KADEC-UP)を接続して使用している。

本試験地の観測データについては、これまでに1982年の6~10月分の日データのみが公表されており(宮崎地方演習林, 1982)、研究成果としては、戎(1983)による直接流出および逓減特性に関する解析がある。本稿では、1990年3月から1992年末までの約3年間の観測結果について報告する。

3. データの処理方法

3.1. 雨量データ

雨量は、1990年8月まではチャート式記録計を使用していたので、その期間については1時間単位でデータの読みとりをおこなった。それ以後は、転倒桁をデータロガーに直接接続し、10分単位の自動観測をおこなっている。

本試験地では、3地点での雨量観測をおこなっているが、流域への入力値としての平均雨量(面積雨量)は、3地点のデータを用いて算出した。本試験地では、流域面積が小さいこと、3地点が流域内の谷部、北向き斜面、南向き斜面という地形的に異なった位置に配置されていることおよび計算処理の容易さ等を考慮して、平均雨量は3地点の雨量の算術平均によって求めた。欠測が生じた場合は、観測されたデータのみ(2地点または1地

点) から平均雨量を算出した。

3.2. 水位データ

水位データは、水位計の記録紙をデジタイザーで読みとり、時間と水位の生データから、補間法により 10 分間隔の 0.1mm 単位のデータに変換した。

3.3. 水位データの補正方法

量水施設である三角フルームには、豪雨による出水にともなって土砂が流出し、フルーム上に堆積することがしばしばある。土砂が堆積した場合、その上を流れる水の水位を計測することになるので、水位の補正が必要となる。以下にその補正方法を述べる。

フルーム上の土砂の堆積とその除去によるハイドログラフの変化は、図 3 (1) のようになる。 T_1 から T_2 の期間土砂が堆積すると、 T_2 における除去前 a と除去後 b の水位はそれぞれ図 3 (2) のように、 H_1 、 H_2 となる。水位の補正量は、フルーム上の流下断面における堆積物の断面積をもとに計算した。いま、 T_2 において土砂を除去したとき、水位が H_1 から H_2 へと低下するが、このとき流水の平均流速は変化しないと考える、以下の計算をおこなった。除去された堆積物の断面積 ΔA は、

$$\Delta A = H_1^2 - H_2^2 \quad (1)$$

で表される。 T_1 から T_2 の期間中、断面積 ΔA の土砂が堆積していたと考え、 $T_1 \sim T_2$ 間の任意の水位 H において、補正水位 HS は、

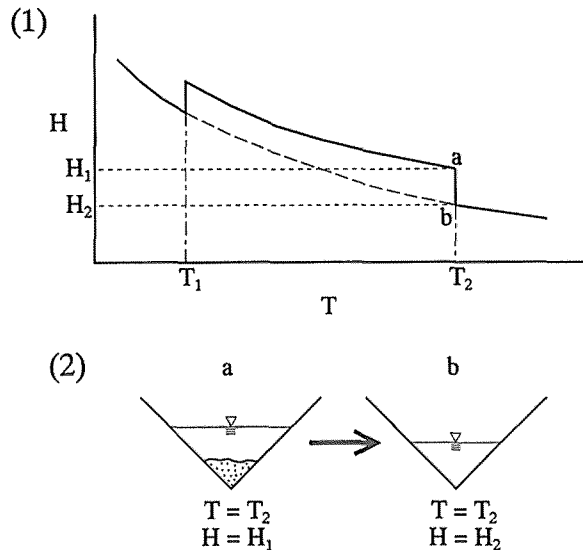


Fig. 3 Water level change on the measuring flume due to deposition and its removal.

図 3 フルーム上の土砂の堆積とその除去による水位の変化

$$HS = \sqrt{H^2 - \Delta A} \quad (2)$$

となる。また、土砂の堆積開始時が特定できない場合や、堆積開始時 T_1 における ΔA が除去時 T_2 の値と異なる場合には、 T_1 から T_2 にかけて ΔA が比例的に変化するものとして、補正量を計算した。

4. 水位－流量曲線式と水収支

量水施設における水位から流量への変換には、水位－流量曲線式の作成が必要である。これには、通常は水理公式をもとにして、流量の実測値からその係数を決めるのが一般的である。本試験地の量水施設である三角フルームには、もととなる水理公式がないので、水位－流量曲線式は、実測の流量値と既存の水理公式を援用することにより求めることとした。本章では考え得るいくつかの水位－流量曲線式を提示し、それぞれの式を適用して求められる水収支の値を用いて比較検討をおこない、最適な水位－流量曲線式を決定する。

流量の測定は、フルームの下端にポリバケツを置き、満水に要する時間を測定した。流量の実測値とその時の水位の値を表1に示す。水位－流量曲線式は、一般に次の式型で表される。

$$Q = a \cdot H^b \quad (3)$$

式中、 Q は流量、 H は水位、 a 、 b は係数である。ここでは、以下の3つの方法により、係数 a 、 b を求めることにする。

- (1) 流量の実測値を用いて最小二乗法により a 、 b を求める。
- (2) 既存の水理公式を援用して b を理論的に決め、流量実測値の最小二乗法により a を求める。
- (3) (1)(2)の方法を併用する。

ここで援用する水理公式は、開水路の等流における平均流速公式で、以下の2つがよく

表1 水位－流量実測値
Table 1 Observed water level and discharge making up the stage-discharge rating equation.

water level (cm)	discharge (l/s)
8.5	3.29
8.4	3.22
11.1	7.11
13.9	14.12
15.4	18.51
16.5	21.91
11.4	8.12
23.3	64.58
21.3	46.62

用いられている。

$$\text{シェジールの式} \quad v = C \cdot R^{1/2} \cdot I^{1/2} \quad (4)$$

$$\text{マンニングの式} \quad v = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (5)$$

式中、 v は平均流速、 R は径深、 I は動水勾配、 C はシェジールの定数、 n はマンニングの粗度係数である。径深 R は、断面積と潤辺（流下断面内の流水と接する辺の長さ）の比で、直角三角形の流下断面では $R = H / 2\sqrt{2}$ となる。流量は平均流速 v に流下断面積 A を乗じて求める。流下断面積 A は H^2 になるので、シェジールの式を用いると流量 Q は、

$$Q = v \cdot A = 0.595 \cdot C \cdot I^{1/2} \cdot H^{5/2} \quad (6)$$

となり、(3)式の水位－流量曲線式にあてはめると、

$$a = 0.595 \cdot C \cdot I^{1/2} \quad b = 5/2 \quad (7)$$

である。また、マンニングの式を用いると流量 Q は、

$$Q = 0.5 \cdot \frac{1}{n} \cdot I^{1/2} \cdot H^{8/3} \quad (8)$$

となり、同様に(3)式にあてはめると、

$$a = 0.5 \cdot \frac{1}{n} \cdot I^{1/2} \quad b = 8/3 \quad (9)$$

である。 a の値は、(7)(9)式のようにシェジールやマンニングの係数と動水勾配によって表されるが、ここでは流量の実測値から最小二乗法によって求める。一方 b の値は、シェジールの式を用いると $5/2$ に、マンニングの式を用いると $8/3$ となる。これらの式は等流状態で成り立つこと、マンニング式は粗面水路の乱流について成立するものであること、また、シェジールの式の定数は厳密には粗度と径深の関数であること（日野，1983）などから、水理学的な厳密性という点では検討の余地が残るが、ここでは上記(2)の方法による b の値として、理論的には $5/2 \sim 8/3$ の範囲を考えることにする。

以上の方法により作成した複数の水位－流量曲線式を以下に示す。

- ① $Q = 0.006654 \cdot H^{2.9035}$
- ② ($H \leq 30$) ①式 ($H > 30$) $Q = 0.01868 \cdot H^{2.5}$
- ③ ($H \leq 25$) ①式 ($H > 25$) $Q = 0.02439 \cdot H^{2.5}$
- ④ $Q = 0.01946 \cdot H^{2.5}$

式中、 Q は流量 (l/s)、 H は水位 (cm) である。

図4は、これら4つの水位－流量曲線を表している。図中の白丸は、実測値である。①式は(1)の方法で求めたものである。④式は(2)の方法で求めたもので、 $b=2.5$ として、 a の値は実測値から最小二乗法で求めた。その際、すべての実測値を用いると曲線と実測値とがうまく適合しないため、高水位になるほど実測値の精度が低くなることを考慮し、高水位時の2点のデータを削除して最小二乗法を適用した。同じ水位値に対する流量の値は、上記(1)～(3)の方法によって導かれる無数の水位－流量曲線式の中で、①式が最も大きく、

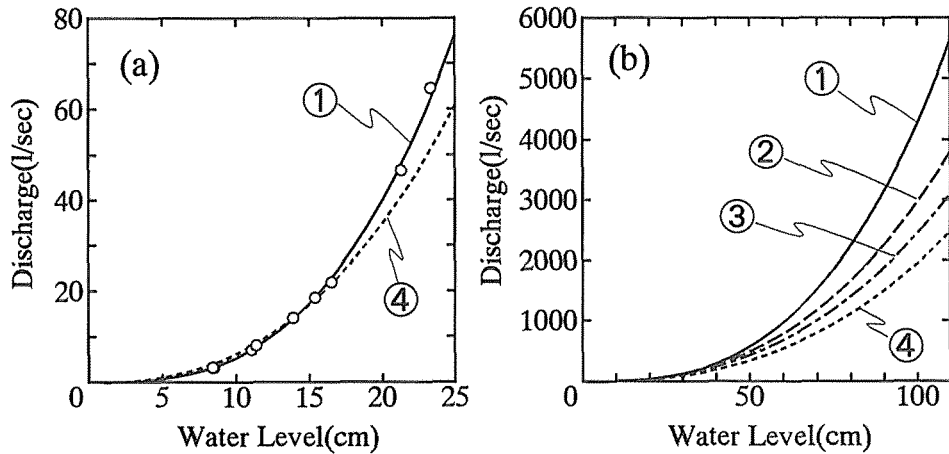


Fig. 4 Stage-discharge rating curves of the measuring flume.

図4 量水フルームの水位-流量曲線

④式が最も小さい。②式および③式は、(3)の方法によるもので、①式と④式間の値をとる。実測値の存在する範囲では①式を用い、実測値が存在しない範囲では b の値には理論値を用いた。②式では境界値を水位30cmとし、それ以上の水位に対しては $b=2.6$ を用い、30cmのときに①式とスムーズに連続するよう a の値を決めた。同様に③式では、境界値を25cmとし、 $b=2.5$ を用いた。

4つの式によって計算される流量の値は、水位が低い場合はそれほど大きな差がないが、図4(b)に示されるように高水位では、その差が大きい。100cmを越えるような水位は、平均すると年に1~2回程度観測されるが、そのような場合には、①式で計算される流量と④式で計算される流量では、およそ2倍の違いがあることがわかる。このことは、年間の水収支にも大きく影響を与える。表2は、4つの式を用いて流量を計算した場合の年間の水収支の値を、1990年から92年の3年分について求めたものである。年流出量は、①、②、③、④の順で大きく、①と④の差は650mmから1648mmにもおよぶ。また、①~③式では、最も降水量が多かった1991年にはいずれも流出量が降水量を上回っている。

いま、一水年の始めと終わりの流域貯留量はほぼ等しく、流域外との地下水の出入りも無視できると仮定すれば、表2の水収支の中で損失量は蒸発散量となる。わが国の森林地域における年間の蒸発散量は、Suzuki (1980)、鈴木 (1985) によると750~1120mmで、特に本試験地と気候的にも近い位置にある森林総合研究所去川試験流域(宮崎県)の値は1000mm前後である。したがって、表2から水収支上最も妥当な値を示すのは④式であり、①~③式は蒸発散量が過少である。

ところで本試験地は、地質的には変成作用を受けたもろい岩質から構成されており、基岩中のき裂を通じて、流域外との地下水の出入りが多いことが推測される。そこで隣接流域からの地下水の流入があるものと仮定すると、流出量が過大であることの説明も可能となる。このように地形的流域界を越えて移動する地下水は、深い基岩中の地下水であるため、その量的変化は少なく、年によってその流入量に大きな違いはないものと考えられる。表2において、年蒸発散量を1000mmと仮定した場合に(1990年は観測期間が短いので

表2 いくつかの水位-流量曲線式で計算された年間水収支
Table 2 Some values of annual water budget calculated using each rating equation.

Year		1990*	1991	1992
	precipitation (mm)	3666.7	5014.1	3273.2
①	runoff (mm)	3508.8	5861.7	3114.6
	loss** (mm)	157.9	-847.6	158.6
	inflow*** (mm)	742.1	1847.6	841.4
②	runoff (mm)	3298.6	5447.4	3006.9
	loss (mm)	368.1	-433.3	266.3
	inflow (mm)	531.9	1433.3	733.7
③	runoff (mm)	3115.1	5088.3	2873.3
	loss (mm)	551.6	-74.2	399.9
	inflow (mm)	348.4	1074.2	600.1
④	runoff (mm)	2637.8	4213.7	2464.4
	loss (mm)	1028.9	800.4	808.8
	inflow (mm)	-128.9	199.6	191.2

* period of observation : Mar. 10-Dec. 31

** calculated by subtraction of runoff from precipitation.

*** groundwater inflow from neighboring basins calculated by subtraction of loss from estimated evapotranspiration, i. e., 900mm in 1990, 1000mm in 1991-92.

900mmとする) 計算された地下水流入量を示しているが、この値の年によるばらつきを比較すると、①、②、③、④の順で大きいことがわかる。したがって、流域外からの地下水の流入があると仮定した場合でも、水収支上はこれら4つの式の中では④式が最も妥当な結果を与えることがわかった。

以上のように水収支の値による検討の結果、流域外からの地下水の流入の有無に関わらず、本試験地の量水施設の水位-流量曲線式として、ここで提示した4つの式の中では、④式が最も妥当であると考えられた。したがって以後の解析では、この式によって流量を算出することとし、本試験地における水収支の値は、表2の④のようになる。

5. おわりに

本報告では、宮崎演習林大藪川森林理水試験地における水文特性を論ずる前段階として、主に観測の技術的な問題である水位-流量曲線式の求め方について論じた。このような内容は、従来論文以前の問題として、表だって取り上げられることが少なかった。これまで比較的安易に求められてきた水位-流量曲線式は、べき乗数が0.1違うだけで、大流量や年間水収支に大きく影響を与えるという事実は、特に直接流出量や水収支を議論するうえでは、きわめて重要な問題点である。本報告では、水収支の値から水位-流量曲線式の検討をおこなったが、これは本来の水文学的立場からは、本末転倒の方法ともいえるもので

ある。しかしながら、水理公式が問題なく使用できるような量水施設以外での観測、特に自然河床に水位計を設置した場合等には、水位－流量曲線式の信頼性と蒸発散量等の推定値の信頼性を比較すれば、水収支の値による検討が有効なことも多いものと思われる。

ただし水位－流量曲線式の検討材料には、年間水収支の値以外に短期出水データ等も有効であると考えられるので、今後の課題としたい。また、本報告における検討は、3年間の観測データのみに基づくものであるため、今後さらにデータが蓄積された段階で、他の検討方法も含めて新たな見直しが必要となろう。次報以降では、直接流出特性や逓減特性等について検討をおこなっていく予定である。

謝 辞

大藪川森林理水試験地は、当時の演習林、林学科、農業工学科による共同研究プロジェクトとしてスタートした。量水施設の設計・建設から観測に到るまで、多くの方々の尽力を得ている。ここに改めて諸先輩方に謝意を表したい。

本報告で使用したデータの観測においては、荒上和利林長をはじめとする宮崎演習林の職員の方々の援助を得た。特に椎葉康喜技官、鍛治清弘技官、右田兼光技術補佐員（現在宮崎県治山林道協会）および故椎葉辰雄技官には、現場の維持・管理業務において多くのご協力をいただいた。水位－流量曲線式の検討においては、東京大学農学部鈴木雅一助教授および九州大学農学部平松和昭助手から有益なご助言をいただいた。また、九州大学農学部丸谷知己助教授には、本稿の校閲をしていただいた。以上の方々に厚くお礼を申し上げる次第である。

引用文献

- 戎 信宏 (1983) : 大藪川理水試験地の流出解析. 日林九支研論 36 : 311-312
- 日野幹雄 (1983) : 明解水理学. 丸善, 東京, pp.140-141
- 井倉洋二・藤 孝夫 (1989) : 九州大学宮崎演習林の気象 (II). 九州大学農学部附属宮崎地方演習林, 281 pp.
- 近藤民雄 (1978) : 「九州大学宮崎地方演習林内 (大藪川) 森林理水試験地」の研究及び運営に関する基本計画. 九州大学農学部附属演習林, 8pp.
- 宮崎地方演習林 (1983) 大藪川森林理水試験地の日雨量・日流出量. 昭和 57 年度演習林年報. 九州大学演習林, pp.40-42
- SUZUKI, M. (1980) : Evapotranspiration from a small catchment in hilly mountains (I) Seasonal variations in evapotranspiration, rainfall, interception and transpiration. J. Jap. For. Soc. 62 : 46-53
- 鈴木雅一 (1985) : 短期水収支法による森林流域からの蒸発散量推定. 日林誌 67 : 115-125
- 田中健一・岩松 暉 (1993) : 九州四万十帯日向大河内地域の地質. 九大演報 69 : 31-53

(1994 年 11 月 4 日受付 ; 1995 年 1 月 4 日受理)

Summary

The Oyabu Experimental Forest Hydrological Basin, which is a part of the Miyazaki Forests of Kyushu University, is located in the central part of the Kyushu Mountains. This basin is characterized by metamorphic flake bedrock, steep slopes and high precipitation. Our aim in the Experimental Basin, is to evaluate the influence of human forest activities on the hydrological cycle. In this paper, a method to determine the stage-discharge rating equation of the measuring flume was studied.

Some rating equations were presented using measured discharge and hydraulic formulas. Annual runoff was calculated by each equation. Taking evapotranspiration and groundwater inflow into consideration, the annual value of water budget was compared and discussed. From the results, the most suitable rating equation was determined.

Key words : forest watershed experiment ; measuring flume ; stage-discharge rating equation ; water budget.