



全流出量解析によるダム流入量の検討

畑, 武志

吉良, 八郎

(Citation)

神戸大学農学部研究報告, 11(1):141-146

(Issue Date)

1973

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00228468>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00228468>



全流出量解析によるダム流入量の検討

畑 武志*・吉良 八郎*

(昭和48年8月10日受理)

INVESTIGATION OF INFLOW TO DAM BY THE ANALYSIS OF TOTAL RUNOFF OF RAINFALL

Takeshi HATA* and Hachiro KIRA*

Abstract

The characteristics of inflow are examined mainly by the analyses of total runoff of rainfall to form the foundation of the plan for construction and management of dam. The following are the results of the analysis of the hydrologic data at the catchment area of Ayuyagawa Dam in Hyogo prefecture.

The volume of groundwater runoff increases in proportion to rainfall to the level of 200 mm and accounts for 50 percent of total runoff. The maximum water loss is 70 to 90 mm, and it closely resembles to the maximum volume of groundwater runoff.

The point rainfall varies in the area, but the best observational station which represents the areal rainfall is decided by the analyses of unit hydrograph and total runoff. It is important to grasp the property of flood runoff and long term runoff for the management of dam, and unit hydrograph is useful for the purpose. The rate of runoff tends to increase by the construction of reservoir.

緒 言

農業用防災ダムの計画、および建設後の維持管理の上で、ダム流入量を正しく把握する必要がある。この種のダムは比較的小面積の流域を対象に計画される場合が多いが、流路等による貯留効果の少ない流域では、流出特性の把握が困難であり、合理的な計画設計法に組み込むことができるだけの流出解析法は未だ確立されていない現状にある。放流管流量調節設備あるいはクレストゲートを有するこの種のダムについて、洪水調節の実態をみると、一般に管理者の経験によっている場合が多く、一貫した水管理方式が確立されていない。このこともまた、小流域における流出特性の把握が十分なされていないことが原因していると考えられる。しかも農業用水源確保が難しくなってきた状況の下で、取水施設を兼備した農業用防災ダム建設の頻度は高くなってきている。

上の現状認識のもとに、筆者らの提案している1,2) 全流出量解析によってこの種のダム流域水文特性の検討を行なった。対象とした鮎屋川ダムは、下流部耕地の干害防止と、洪水被害の予防、ならびに新規造成樹園地の用水確保を目差し、農業経営の総合的な安定向上をはかる

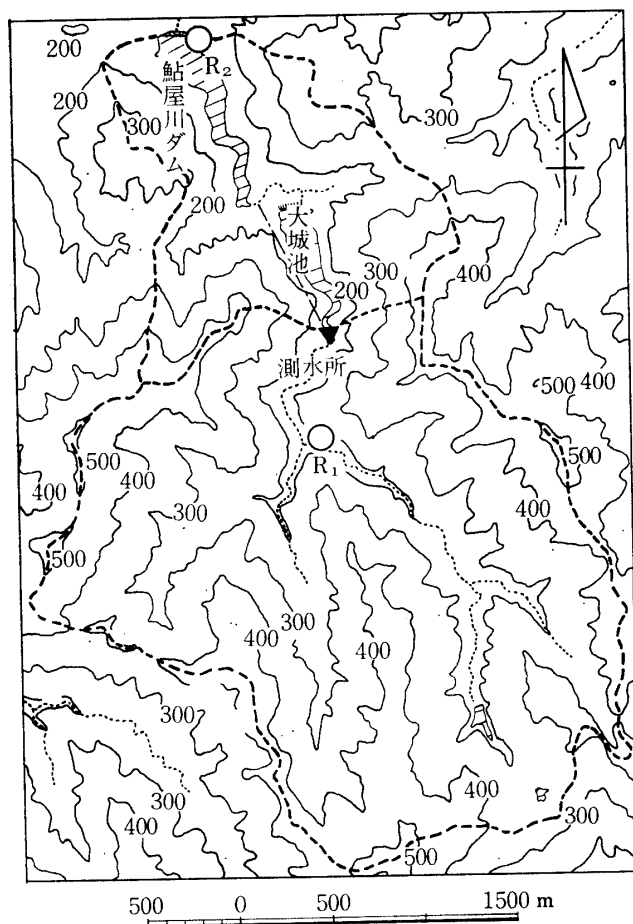
ことを目的に、兵庫県当局によって建設され、現在洲本市において運用されているものである。なお観測および資料の収集にあたって、近畿農政局および兵庫県洲本地改良事務所の関係各位に協力いただいた。ここに厚く感謝の意を表するものである。

試験流域および観測法

鮎屋川ダム流域は淡路島の南東部に位置し、第1図に示すような地形を有する。標高500m内外の諭鶴羽山系に属する山地で、一部松の植林がみられるが、一般に針葉樹を主とした雑木林地帯である。ダム付近の地質は和泉層群の砂岩、頁岩である。貯水地容量は180万 m^3 であり、上流にある貯水量94.6万 m^3 の大城池とともに直列型のダムとして運用されている。

水文観測については図の位置で流量および雨量の測定が行なわれた。流量の測定は大城池上流流入点に設置した圧力変換型の水位計によって行ない、鮎屋川ダムへの導水トンネル取入れ水路入口に設けた、幅2.8mの刃形全幅せきおよび大城池流入点の幅16.2mの台形せき(写真1および2)の越流水深から流量を求めた。この地点での集水面積は6.40 km^2 (ダム集水面積は8.67 km^2)である。雨量については図示地点(R_1 , R_2)の外にダムサイトより北東7kmの海岸近くにある洲本測候所(R_3)に

* 農業土木学研究室



第1図 測定点および鮎屋川ダム流域概況図

における観測記録を用いた。1972年1～9月の観測結果を中心に解析を行ない、雨量測点がR₃のみであった 1971年1～12月期資料³⁾も一部参考に供した。

観測結果の検討および考察

1. 有効雨量の分離と地下水流出量

ダム流入量のような流量の積分値を問題にする場合、まず流域の有効雨量特性を把握する必要がある。これは流量変化を解析する上でも基礎となる事項である。有効雨量として地下水流出量を除いた降雨の直接流出量と、地下水流量をも含めた全流出量について考える。

直接流出量は流量曲線の立ち上がり点と直接流出の終了点とを直線で結んで分離する方法を採用したが、この方法は地下水流出の評価基準が比較的安定している点で、水平分離法に優れているといえる。なお流出終了点は片対数紙上での低減部第2折曲点をもって表わした。流出解析法が洪水を中心に発展してきたため、有効雨量はすなわち直接流出量として分析されており、全流出量に関する検討は従来ほとんど行なわれていない。しかし、河

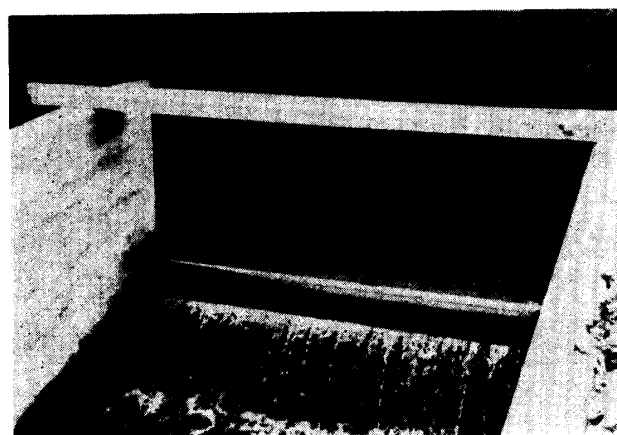


写真1 流量測定用刃形せき（幅2 m）



写真2 台形せき（手前にある刃形せきより越流頂は0.3m高い。中央は角落し。）

川計画において実際の操作対象量を直接的に表現する全流出量の分析は重要であり、ここでは次の方法²⁾によった。

流量曲線を $q(t)$ 、地下水流出の低減曲線を $q_b(t)$ とし、 $q_b(t)$ が $t=t_d$ にて q_d 、あるいは $t=t_0$ にて q_0 なる初期値をもつ関数で表わされるとすると全流出量 V_0 は

$$V_0 = \int_{t_0}^{t_d} q(t) dt + \int_{t_d}^{\infty} q_b(t - t_d) dt - \int_{t_c}^{\infty} q_b(t - t_0) dt$$

となり、右辺2および3項は流域の地下水特性に応じて $(q_d/c' - q_0/c)$ または $(\sqrt{q_d/\alpha'} - \sqrt{q_0/\alpha})$ で表わせる。 c および α は地下水流出関数のてい減係数である。この流域の場合 $q_b = q_0 e^{-ct}$ で近似できるから前者によって計算した。

以上の方法で分析した結果を関係降雨量とともに第1表に示した。これによると低減係数は各洪水を通じて大きな変化はなく、 $0.01 \sim 0.02 (h^{-1})$ で比較的安定した値をとる。全流出量の定義から考えて、直接流出量との差が地下水流出量に相当するが、その値は通常想像される以上に大きいものであることが定量的にとらえられた。

第1表 1972年洪水分析結果

洪水番号	降雨月日	降雨量 (mm)			最大時間 雨量 (mm/h)	直接流出 量 (mm)	全流出量 (mm)	地下水流出 量 (mm)	低減係数 (h ⁻¹)	最大流量 (m ³ /s)	流出係数 (%)
		R ₁	R ₂	R ₃							
A1	2.13	61.0	—	53.0	19.0	16.69	32.40	15.71	0.019	4.33	12.8
A2	2.26	47.0	45.0	44.0	31.0	6.78	14.56	7.78	0.022	0.80	1.4
A3	3.29-31	35.5	26.0	33.5	14.0	8.09	23.66	15.57	0.016	1.41	5.7
A4-1	4.4-8	113.0	—	88.0	8.0	33.08	71.52	38.44	0.017	2.79	19.6
4-2		83.0	—	62.0		25.16	53.31	28.15			
4-3		30.0	27.0	26.0		7.92	18.43	10.51			
A5-1	4.11-15	44.0	54.5	47.0	7.0		50.92		0.018	3.63	29.2
5-2		34.0	44.5	31.5		21.99	44.32	22.33	0.018		
A6	4.26	74.0	46.5	50.5	15.0	29.63	55.86	26.23	0.019	4.57	17.1
A7	6.3-4	51.5	39.5	35.5	10.0	7.17	25.85	18.68	0.018	1.04	5.9
A8-1	6.7-12	182.5	—	131.0	72.0	55.96	120.73	64.77		18.06	14.1
8-2		131.0	—	103.5		43.81	92.73	48.92			
8-3		51.5	—	27.5		12.15	27.40	15.25	0.010		
A9	7.12-17	258.5	216.5	250.0	85.0	171.46	245.84	74.38	0.010	19.27	12.8
A10-1	9.7-10	186.0	206.5	204.0	29.0		172.33			13.12	25.5
10-2		151.0	166.5	172.5		76.98					
10-3		34.5	33.5	30.5		1.46	5.40	3.94			
A11	9.14-16	158.0	134.0	116.0	21.0	70.96	121.94	50.98	0.010	16.09	43.1

(注) R₁=流域内, R₂=ダムサイト, R₃=洲本測候所の各雨量計による。

すなわち平均直接流出率の約30%に対して, 平均全流出率は60%に達し, 直接流出量と同程度の水量が降雨毎に流域帯水層へ補給されているといえる。

直接流出してこない降雨分すなわち損失雨量と降雨量の関係を調べたのが, 第2図である。ここには1971年の測定結果³⁾もあわせて図示しており, 雨量測点は1971年がR₃, 1972年がR₁のものである。図によると損失雨量は, 70~90mmで頭打ちとなり, それ以上の降雨分は直接流出として短期間に流去する傾向が認められる。この流域は斜面勾配が急であり, 岩の露出した部分の多いことが現地踏査でも観察されたが, 70~90mmという値から表土層の比較的薄い流域であると考えられる。第2図には一降雨によって補給される地下水量を第1表に従って打点しているが, 降雨量150~200mmまで直線的に増大し, 以後最大値に漸近することが定性的にとらえられた。この関係は上述の地下水流出量の分析法と合わせて, 地下水流出の推定予測をする上で重要である。最大値付近

はデータ個数の関係で確言はできないが損失雨量の最大値傾向と近似する結果を得たことは地下水流出の実態をとらえる上で示唆に富むものである。

雨量測点はR₁とR₂が2.5km, R₂とR₃が約7kmの距離を隔てるのみであるが, 各観測値には相当差異がある。海岸線に近いR₃が他に比べて小さい値をとる場合が多いが, 詳しくは各降雨毎に雨域の移動等の特性を調べる必要がある。このような小流域においても正しい流域平均雨量を推定することの困難なことがわかる。計算した全流出量と雨量の測定値を比較した場合, A₅, A₆, A₉, A₁₁の降雨のように測点によって全流出量より小さな測定値を示すものがある。これらの測定値を流域平均雨量として採用することは明らかに妥当性を欠くが, 従来行なわれるように単に直接流出量についてのみ検討した場合には見過ごされる問題である。

全流出量はダム流入量の直接表現であり, 河川の長期的な流況予測をする上での有効雨量として重要な量であ

と考える。また全流出量と降雨量との差は河川へ流出してこない純損失分であり、流域表層部の乾湿状態を量的に表現しているといえる。第3図は降雨量と全流出量の関係を概括的に示したものである。

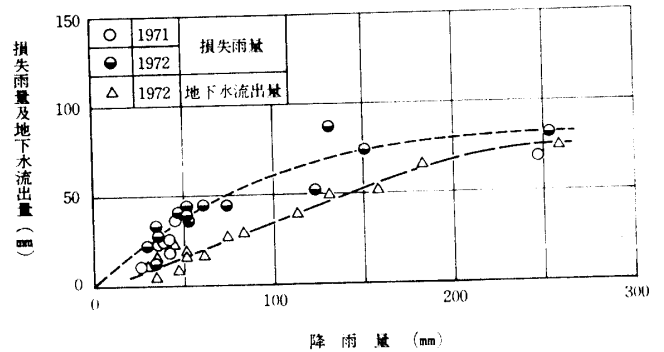
2. 洪水流出および長期流出の解析

有効雨量として流域の全流出量特性が把握されると、降雨量から直接ダム流入総量が求まるから、これによって合理的な利水計画を立てることが可能になる。さらに、取水による貯水量の減少があった場合の補給速度を考慮することによって計画はより現実的なものとなる。洪水調節用のダムではこの流入速度が特に重要である。流入速度をどのように表わすかは問題であるが、降雨に対する流域の応答特性を図式的に表現する単位図は、そのまま単位時間毎の流入量配分率を示すものとなり、その点で優れている。このためここでは単位図による解析を行なった。

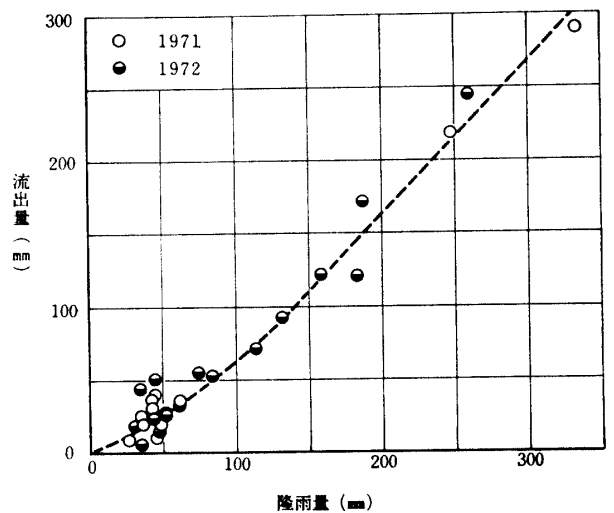
測定降雨、流量関係から単位図を抽出するために、先に報告している方法⁴⁾を用いた。ダム流入量を検討する場合、利水目的では長期的流出が問題となり、洪水調節では短期的流出を扱うことになるが、そのいずれに対しても適用できる点でこの方法は好都合である。単位時間として洪水解析では1時間を、長期流出では1日を考えた。洪水流出時の単位図は、1～16および20, 30, 50時間目の各縦距と解析期間長さに相当する m 時間目縦距の計20個を未知量として計算し、その間は直線的に変化するとみなした。長期流出については8日目までの8個の単位図縦距を未知量とし、その後は指数関数的に減衰するとして計算を行なった。

洪水流出、長期流出のいずれの場合にも有効雨量として全流出量を考え、地下水流出分の分離操作は行っていない。第2図の損失量関係から直接流出量を求めることができるが、その場合には基底流量の増加特性および基底長を調べ、基底流量を後で加えなければならない。ここでは第3図に点線で示した関係曲線を計算機上で折線近似し、時間毎に累加降雨量の有効分を求めて有効雨量の時間配分を行なった。長期流出計算では各日雨量を一降雨として有効分を求めている。

解析結果の一例を第4図に示した。ダム計画に重要なピーク流量は一般に良い精度で推定されるが、図でわかるように、降雨が2, 3日断続的に続く場合、初期低流量時の適合度は良くない。これは有効雨量の推定精度の問題および流出形態の時間的变化の二つが主要な原因であると考えられる。豪雨規模に応じて洪水期間中の平均的流域応答は異なるが、第5図には各洪水の単位図を示している。また第6図に長期流出解析で得られた各測点



第2図 降雨の損失分および地下水流出分

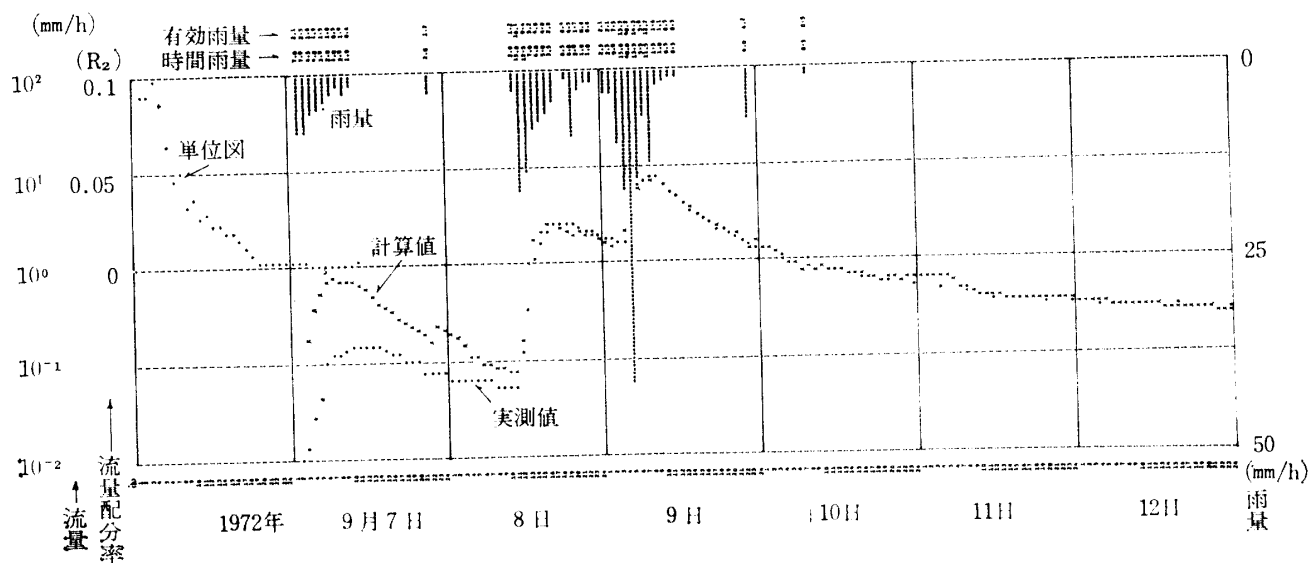
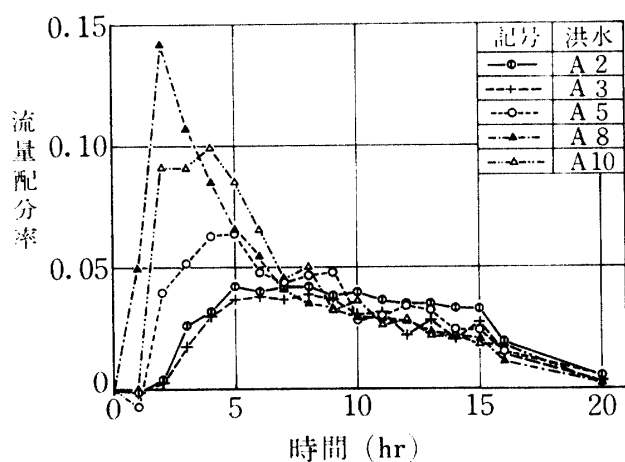


第3図 降雨量、全流出量の関係図

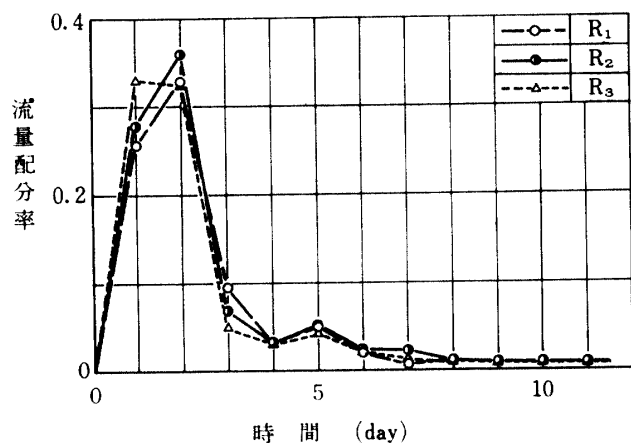
降雨による単位図を示した。

流量推定精度 C_e を $C_e = \sqrt{(Q_0 - Q_c)^2 / n / \bar{Q}_0}$ (ここに Q_0 =測定流量, Q_c =計算流量, $\bar{Q}_0$ =平均測定流量, n =測定値個数) で表わして⁴⁾, 各測点降雨による流量推定結果の比較を行なった。それによると第2表のように R_1, R_2, R_3 の順序で平均推定精度は悪くなり、流域平均降雨の示標としては R_1 雨量を採用するのがよいと考えられる。一方1972年1～9月にわたる長期流出解析の結果では C_e は1.759 (雨量= R_1), 1.669 (同 R_2) および1.632 (同 R_3) となり、 R_3 が最良となった。上の一見矛盾する結果は各測点の降雨観測精度によるもので、欠測の多い R_1, R_2 に対して、 R_3 は観測所のデータであり、均一な観測精度の保たれていることが反映している。したがって、長期流出解析上の流域平均降雨測点とするためには R_1, R_2 観測体制の一層の整備充実が必要である。

小流域では洪水到達時間が短かく、降雨の時間的分布が流出量に強く影響する。そのため日単位で追跡した場合、一日中の降雨分布によって流量配分率が相当変化する。このことが、時間単位の追跡に比べて推定精度の低

第4図 洪水流出解析結果 (洪水A10, R_2 =ダム地点雨量)

第5図 洪水流出単位図



第6図 長期流出単位図

第2表 流量の推定精度

洪水 番号	C_r		
	R_1	R_2	R_3
A 1	0.051	—	0.046
A 2	0.070	0.052	0.042
A 3	0.031	0.036	0.031
A 4	0.235	0.203	0.338
A 5	0.143	0.222	0.211
A 6	0.045	0.110	0.042
A 7	0.048	0.038	0.079
A 8	0.630	0.550	0.554
A 9	0.124	0.236	0.342
A 10	0.182	0.163	0.209
A 11	0.270	0.321	0.510
平均	0.166	0.193	0.219

下する1つの理由であるが、より大きな理由として第5図でも明らかな降雨規模による流出形態の変化があげられる。この点については、種々の洪水について単位図を求め、類別化する以外良い方法は見出せず、単位図法の限界ともなっている。しかし、第1表に付記している合理式による流出係数値の変化の大きさからいっ

ても、流域流出特性のより適切な表現法の開発が重要である。

第6図から、ある降雨があった場合平均的に考えて全流出量の約60%が2日以内に流出し、その後の3日間約15%、以後毎日2.5%以下の流出が続くことがわかる。これが降雨によるダムへの自然流入割合に相当するが、第5図の時間単位の流入割合とともに合理的なダム

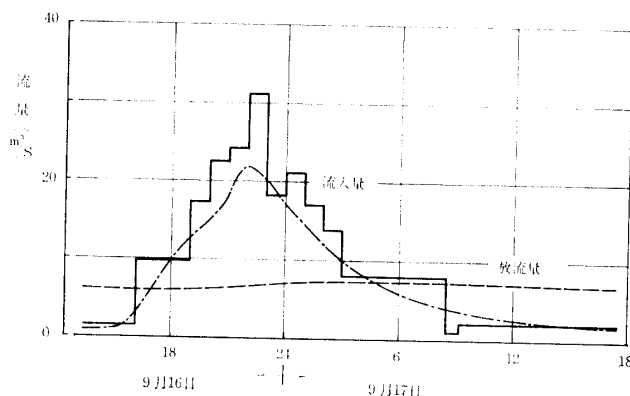
計画、管理をする上で大切な流域特性図として活用することができる。

3. 洪水調節時ダム流入量の解析

洪水時のダム操作記録をもとにして豪雨時の実際の流入特性を調べるために $dV/dt = I - Q$ の連続関係を基礎にした追跡計算を行ない流入量を求めた。すなわち ΔV を貯水量変化、 I および Q を流入量および放流量とし、適当な時間々隔 Δt をはさむ i から $i+1$ 時にかけて流量が直線的に変化するとみなすと、

$$(I_i + I_{i+1})/2 = \Delta V / \Delta t + (Q_i + Q_{i+1})/2$$

となる。ダム水位記録すなわち貯水量の記録とゲート操



第7図 ダム流入量と洪水調節

作記録から放流量 Q と貯水量変化 ΔV が計算できるから上式によって Δt 時間の平均流入量が求まる。

第7図には京都、大阪など近畿の一部で土石流、浸水等の被害を誘発した台風20号による9月16日豪雨(A11)に関する計算例を示している。これによるとダムがなかった場合最大 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ に達したと考えられる洪水が $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下におさえられており、効果的に働いていることがわかる。一方ダムが満水状態となり、クレストゲートの操作が必要となった7月12日の前線性豪雨(A9)時には放流量は最大 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ を越え、下流堤防で一時的に破堤の危険があった。

このダムの場合規定の水位に達した後は流入量に相当する量を放流することになっており、いわばその時点で洪水調節作用は停止することになる。したがってその後さらに豪雨が継続した場合には機能しないことになり、またその後の期間に限っていえば下記の流出率の関係でダムのない自然状態におけるより洪水はし烈になる可能性さえある。このように洪水調節の目的からはダムの満水をいかに遅らせるか、すなわち放流の時期決定が大切であるが、第5図のような単位図の形で流域の降雨流達

時間分布の一般的傾向をとらえておくことによって、より確実なダム操作を行なうことができる。

第7図に鎖線で示したのは前述の流量測定点における測定流量に集水面積比 ($8.67/6.40$) を乗じて推定したダム流入量である。この図から実際のダム流入量はこの推定流入量の約20%増であることが認められる。六甲山西麓において隣接した2流域(一方にはダムがある)における測定結果でも同様に流出係数および直接流出率に差異が認められたが、これはダムによって表層飽和部の面積率が增加することが主要な原因であると考えられた。5) このように地下水位変化および伏流浸透水のシャ断による流量変化についてはさらに詳細に検討することが重要であると考えている。

要 約

農業用ダムの計画および管理に必要なダム流入量を正しくとらえるために、主として全流出量の解析によって流入量の検討を行なった。鮎屋川ダム流域(面積 8.67 km^2) を試験流域として測定値の解析を進めた結果次のことが明らかになった。

- 1) 中規模以上の降雨によるダム流入量のうち地下水流出分の割合は大きく、平均して約50%を占めている。
- 2) 地下水流出量が降雨量とともに直線的に増加する傾向がとらえられたが、今後地下水流出量の分離と推定を行なう上での指針となる。
- 3) 損失雨量の上限は $70 \sim 90 \text{ mm}$ であり、地下水流出量の最大値と近似する結果となった。
- 4) 流域雨量分布には大きな変動がみられたが、単位図法解析によって流域平均降雨指標を示す最良の測点を求めることができる。また全流出量との比較によって測定雨量の妥当性を検討できる。
- 5) ダム管理運営計画に洪水流出および長期流出の両特性把握が重要で、その表現法としての単位図の意義は大きい。
- 6) 自然状態での流出量に比べて、ダム貯水後の降雨の流出率は増大する傾向があり、これはダム計画時に留意すべき事項である。

引 用 文 献

- 1) 畑 武志, 富士岡義一, 農土学会論文集, 34, 17~21, 1970.
- 2) 畑 武志, 吉良八郎, 農土学会大会要旨集, 98~101, 1973.
- 3) 吉良八郎, 昭和46年度計画基準作成調査報告書, 1972.
- 4) 畑 武志, 神大農研報, 9(1.2), 91~95, 1971.
- 5) 畑 武志, 後藤定年, 農土学会大会要旨集, 251~252, 1972.