

水田地帯における流出解析について

豊 国 永 次, 角 屋 睦

RUNOFF ANALYSIS IN PADDY FIELD DISTRICT

By Eiji TOYOKUNI and Mustumi KADOYA

Synopsis

The unit-hydrograph method is generally used to the runoff analysis in the low-lying drainage basin where the many parts of it consist of the paddy field and the other the urban land, but the runoff phenomena may be not physically explained by the method.

In this paper, the effect of inundation on the runoff characters has been discussed using the method of analysis by characteristics of fundamental equation on the flow which contains the lateral inflow. That inundation is caused by the deficiency of section, meander and the local contraction in the drainage channel.

As a result, it has been disclosed that the effect of inundation is the very important factor on the runoff analysis in these basin.

ま え が き

水田地帯を対象とする雨水流出機構の調査研究は、これまでにかなり多く行なわれてきたはずであるが、その多くは単位図法を主体としたものであって¹⁾、流出機構を物理的に十分説明しようとしたのは、わずかに任田の研究²⁾ぐらいである。

本研究は、こうした水田地帯の雨水流出過程をできるだけ忠実に説明しようとする立場から、水路の合流点、弯曲部、道路横断部などで発生しやすい大小のはんらん効果を検討しようとしたもので、これを雨水追跡過程に導入することにより、一層高い精度の追跡結果が得られることを明らかにした。以下その概要を記述する。

1. 水田地帯における雨水の流出特性

水田地帯における雨水の流出過程は、1) 小規模な貯水池の集合体である水田区画から末端排水路への流出。2) 水田欠口またはけいはん越流→末端排水路→支線排水路→幹線排水路という排水路網における流れ。この間の流れは排水路の通水能力に規制され、これを超過する地点ではんらんが発生する。3) 最下流端の排水条件に支配されて発生する流出水のたん水化、に大別できるが、これよりみても山地流域のそれとは著しく貯留効果が卓越する流出の場であることが明白である。

2. 水田地帯の損失特性と base flow

かんがい期間中の水田における主要な損失分はけいはん欠口下に貯留される雨水量で、降雨前のたん水状況によってきまる。こうした考えのもとに、きめて任意性に富む水田地帯の損失を考察すると、Fig. 1 に示すような累加雨量 (ΣR) ~ 累加損失量 (ΣF) の関係が成立する。すなわち、初期たん水位と欠口敷高の差 (h_i) が最小の水田区画が満杯するまでの降雨分 [$\Sigma R = (h_i)_{min}$] はすべて損失 ($f = 0\%$ の OA 線) とな

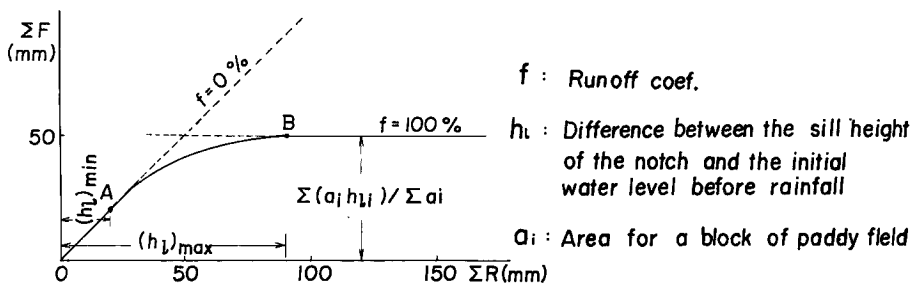


Fig. 1 Schematic diagram illustrating the relation between the accumulated rainfall ΣR and the accumulated lost rainfall ΣF

り、A点にいたり、欠口流出が始まる。A～B間の曲線は水田区画の欠口流出が全区画におよぶまでの過程で、初期たん水位の分布状況によってきまる。さらに降水量が $\Sigma R = (h_l)_{max}$ に達すると、全区画とも欠口流出が始まり ($f=100\%$) 損失はなくなる。このときの累加損失雨量は $\Sigma(a_i h_{li}) / \Sigma a_i$ として表示できる。このことは降雨前のたん水状況を把握すれば、降雨損失特性がわかることを意味する。

これまでの調査事例²⁾をみると、 ΣF に上限値が存在し、 $\Sigma R=100$ mm 前後で一定値に近づく特性がみられるが、この $(h_l)_{max}$ の上限はほぼその地域の水田の欠口敷高に一致することにより、上述の考え方の妥当性が裏付けられる。

次に、水田地帯の base flow は一般にかなり大きな値を示し、出水時の hydrograph に占める割合も大きいので、これの分離精度は直接流出解析の精度に影響する。水田地域における無降雨時の流量は非かんがい期では、地下水、湧水(堤防浸透水、堀抜井戸)、下水などの流出分であり、かんがい期では、さらにけいはん浸透量、降下浸透量、用水の残水などが加わったもので、期別にはほぼ一定した値を示す。これより分離始点の推定はかなり容易であろうが、問題は出水期間内のもので、自然的、人為的に変動する取水量、外水の異常上昇にともない変動する湧水量、地区内の地下水などについて検討し、これらの結果をもとに hydrograph を分離すべきである。

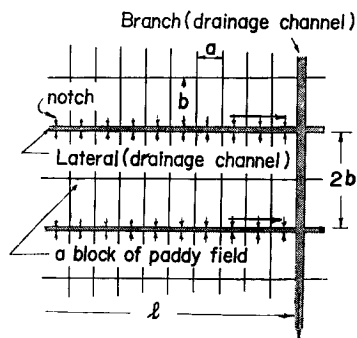


Fig. 2 Model of drainage channel system.

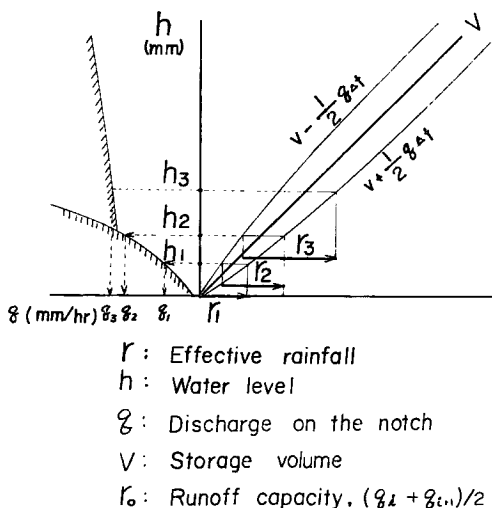


Fig. 3 Relation between the runoff capacity in lateral channel and the storage in the paddy field.

3. 雨水追跡

雨水の流出過程にしたがって追跡方法の要点を述べる。(Fig. 2 参照)

(1) 水田区画から末端排水路への流出

水田内降雨のうち、けいはん欠口以下の損失分を越える雨水は欠口を通じて末端排水路に流出する。この流出は末端排水路水位の低いうちは完全越流の形であるが、排水路の水位上昇にともないもぐり流出の形に移行し、最終的には末端排水路の流下能力に制約される。このような流出量を雨水流出能²⁾ r_0 と呼ぶと、実際の流出量は有効雨量 r_i を流入、そのときの r_0 を流出とするような連続式により計算できる。参考のために任田²⁾ の示した計算図を Fig. 3 に示す。

(2) 末端排水路の流出

排水路内の流れを水田欠口からの流出量を横流入とするような開水路の流れとすると、周知のようにその基礎式は次式で示される。

$$A_m = kQ^p_m, \quad \partial A_m / \partial t + \partial Q_m / \partial x = \alpha(2br_0) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 A_m ; 末端排水路の通水断面積、 Q_m ; 末端排水路下流端の流出量、 b ; 水田区画の長辺の長さ、 k, p ; 末端排水路の特性を示す定数である。実際の計算ではこの式の特性曲線を用いて、末端排水路下流端の hydrograph を求める。

(3) 支線排水路の流出

この排水路の流れは末端排水路からの流出量を横流入とする流れとして扱われ、(1) 式に対して次式が得られる。

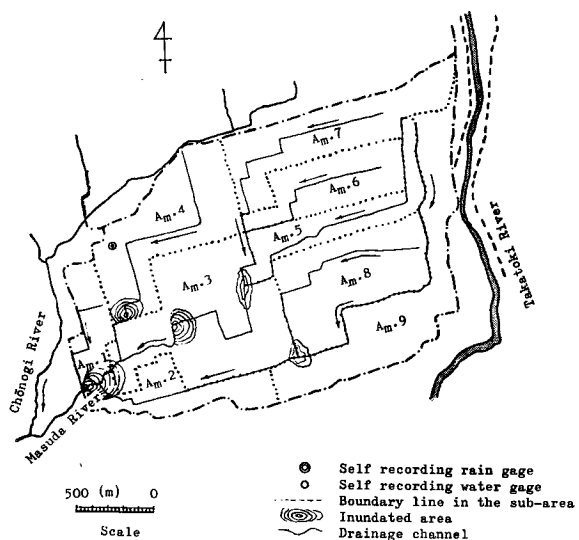


Fig. 4 Plan of the Masuda River basin.

$$A = KQ^p, \quad \partial A / \partial t + \partial Q / \partial x = q_b + Q_m / 2b \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 A ; 支線排水路の通水断面積、 Q ; 支線排水路末端の流出量、 q_b ; 支線排水路支配流域からの base flow、 K, p ; 支線排水路の特性を示す定数である。hydrograph は前同様、特性曲線法により得られる。

(4) はんらんによる貯留効果の導入

一般に低平水田地帯の排水路は通水能力が低く、支線排水路の合流点、彎曲部、水利構造物設置地点、道路横断地点などで大小のはんらんが発生しやすい。このうち道路横断地点でのはんらん規模はかなり大きいものである。こうしたはんらんは低平水田地帯における流出の一つの特質であり、当然雨水追跡の過程に導入さるべきで、排水路の通水能力を検討して、これをこえる流出分のはんらん貯留効果を計算に組み入れる必要がある。

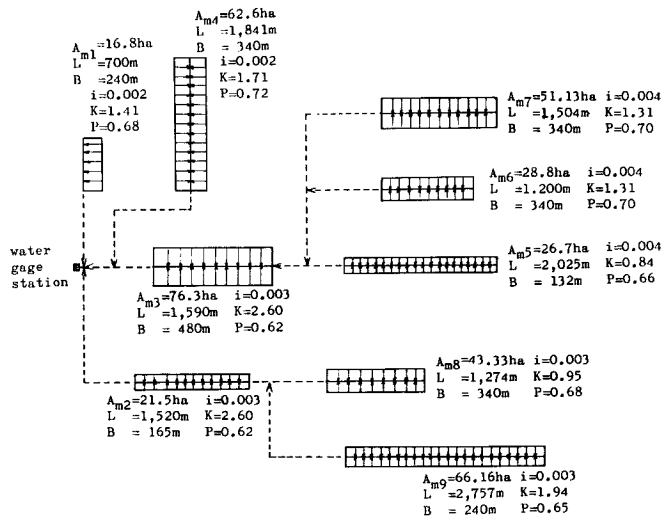


Fig. 5 Model of the Masuda River basin.

4. 適用結果とその考察

上述の解析法を滋賀県丁野木川支流益田川流域に適用し検討した結果を述べる。この地域は余呉川と高時川にはさまれた典型的な低平水田地帯であって、Fig. 4 に示すように、この流域の排水河川である益田川は多数の小排水路を集め、丁野木川に合流する小河川で、流域面積は397ha、流路勾配は $\frac{1}{60} \sim \frac{1}{100}$ であるが、その断面は狭小かつ不整であって、流路の蛇行も多く、出水時には各所ではんらんする現状にある。したがって、上述の雨水追跡法を検討する適当な流域と考え、昭和36年6月の梅雨前線豪雨による出水を解析した。降雨資料は流域内田中地点における自記記録より、流量資料は益田地点の自記水位計記録を出水時直下流のはんらんのない地点で測定した流量観測値をもとに修正した hydrograph を用いた。

流域のモデル化 Fig. 4 に示すように、流域を主要な支線排水路別に9区域に分割し、これをFig. 5 のようにモデル化した。それぞれの区域は、さらにさきのFig. 2 に示した排水系統から成り立っているものとする。

有効雨量 この地域は西部に一部用水路によるかんがい地区が含まれるが、そのほとんどは高時川の湧水(高田, 小倉地先)をかんがい水源とする地域で、出水時高時川の水位上昇にともない地区内湧水はかなり増加する傾向がみられる。したがって、出水期間中の hydrograph は湧水量の実測記録をもとにして分離し、Fig. 1 に示す水田地帯の損失特性を考慮して有効雨量を推定した。

雨水追跡 この地域水田一区画の平均面積は800m² (a = 12.3m, b = 65m)、けいはん欠口は巾0.30m, 高さ0.25m, 末端排水路は巾0.50m, 深さ0.45m(水田区画の欠口数は水路底より0.20m上にある)勾配0.003, Manningの粗度係数0.06m^{-1/3}・secなる諸量をもつ。また支線排水路はFig. 5 に併記したK, P, iの値をとる。

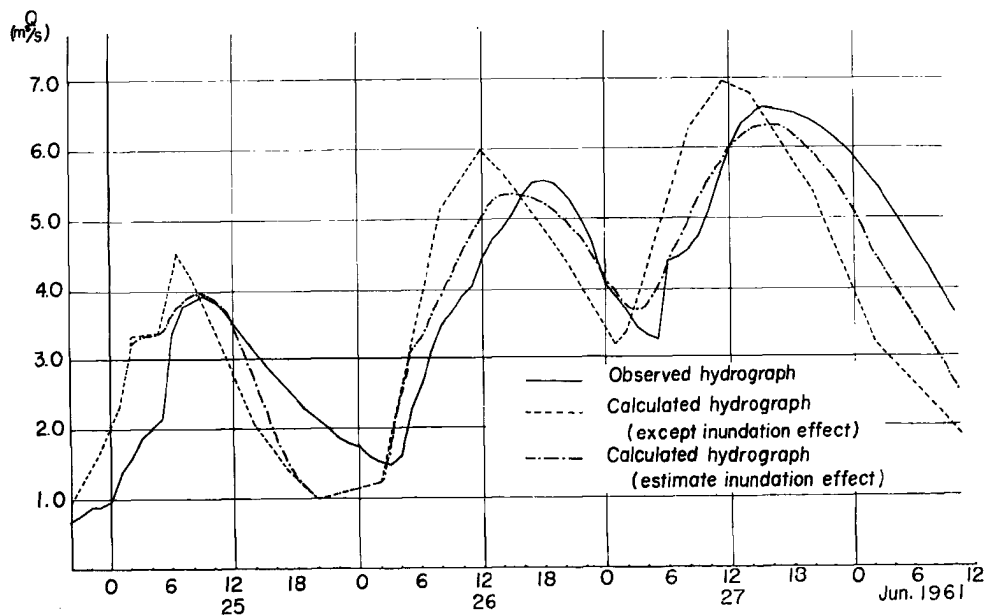


Fig. 6 Runoff analysis of Masuda River at June 24-27, 1961

これらの諸量を与えて前節で述べた雨水追跡を行ない、Fig. 6 に示す流出 hydrograph を得た。これらをもとにこの地区の流出特性について若干の考察を加えたが、その結果を要約すると次のとおりである。

(1) 流下過程の途中でははらんしないとして、最下流端まで追跡して得られた hydrograph は実測 hydrograph に比べ、全般に phase が数時間先行し、かつ peak も $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 程度高くなっているが、これより明らかにはらん貯留効果を受けていることがわかる。しかしこの貯留特性は Fig. 6 にみられるように、単一の貯水池における貯留とは若干様相を異にしている。まず最初の25日の出水では、phase の遅れが顕著で、26日および27日の出水では貯留効果が卓越する性状がみられる。これを出水時に観測した浸水資料をもとに検討すると、25日の出水は規模も小さく若干の小さなはらんが幾つかみられる程度で、こうした小はらんにより、みかけ上粗度が大きくなり、phase の遅れがあらわれたものと思われる。26日の出水はさきに発生した多くの小はらんが次第に発達していくつかの中規模のはらんに統合され、貯留効果がかなり大きくなってくる。さらに27日でははらんの規模も大きくなり貯留効果が卓越する。

(2) つぎにこうしたはらん効果を、この地域でもっともはらん域の大きい最下流端に入れて算定した hydrograph を検討すると、25日の出水に対してはほとんど修正がきかないが、貯留効果の顕著な26日、27日出水に対しては、かなり適合度が高くなることを示している。

(3) 以上の2つの計算結果と実測値とを対比すると、降雨初期の小はらんを考慮することにより全般に実測値とよく合った hydrograph が得られることはさして困難なことではないが、1カ所のはらんをとり入れることによってかなり現象を説明できることがわかる。実際の計算ではどの程度のはらんまで考慮すべきか、あるいはこれをもっと単純化する方法はどうかなどが次の問題になる。

む す び

以上水田地帯の流出解析について簡単な考察を加え、その特性を物理的に説明できることを示した。検討

例では計算結果を実測値に細部まで合わせるためのはんらん計算をしていないが、実際の計算ではどの程度のはんらんまで考慮すべきかあるいはその単純化法が問題となろう。こうした検討の上立って、これまで多く実用にされている単位図法の吟味などを目下実施中であるが、これらについては次の機会で報告する。なお本研究は昭和40年度文部省科学研究費による研究成果の一部であることを付記しておく。

参 考 文 献

- 1) 農林省農地局：流出機構調査報告書，昭39.3.
- 2) 任田新治：木曾三川下流域の排水計画に関する研究，昭36.8,
- 3) 豊国永次，角屋睦，大橋行三：山科川流域の流出特性について，京大防災研究所年報第8号，昭40.3. P. 302.