

水田地帯の機械排水計画における流出解析の精度^{※※}について

田 中 礼 次 郎[※]

Reijiro TANAKA

A Study on the Accuracy of Runoff Analysis for Pumping Drainage in Paddy Field Area

ま え が き

流出解析には、なお未解決の問題が残されているとはいえ、多くの方法が研究開発され、その適用に十分注意すれば実用上かなり精度の高い流出量ハイドログラフが得られるようになってきた。しかしこれらに基づいて排水計画の規模を決定するにあたっては、対象流域の流出特性との関連において合理的な流出解析の精度を選択すべきである。たとえば水田地帯では、大降雨時には貯留、はららん効果があらわれ流出量ハイドログラフが著しく平滑になり偏平化する。したがっていかに高精度の流出解析を行なっても、労力の割にそれから得られる実用上の排水計画の規模決定に対する効果は、それほど精度を高くしない場合とあまり変らない。すなわち排水計画樹立過程において要求される流出解析の合理的な精度に対する吟味が重要な課題となるが、この種の研究は従来からあまりなされていない。そこで、こうした問題について、斐伊川右岸網場川流域（水田主体 3.63km²）の機械排水計画を事例にとり、若干の検討を試みた。

1 流出解析における単位時間

最近流出解析の進歩に伴って精度の高い流出量ハイドログラフを得るような努力が払われる傾向にあるが、低平水田地帯の排水計画を考えると、豪雨時には貯留、はららん効果が大きいために流出量ハイドログラフが著しく偏平化するという特性^{1)~3)}があり、さらに計画上一定のたん水を許容することが多いから、時間ごとの降雨分布に対応する流出量の変化は下流部では一そう緩和されることになり、流出量ハイドログラフの単位時間をいかに短かくとって計算しても、実用上あまり意味のな

いことになりやすい。

たとえば単位図法は、時間的に不規則な分布をしている降雨を単位時間について平均化し、平均化した各降雨に対する流量曲線を重ね合わせて、全降雨に対する流量曲線をつくる方法といえるが、この場合の単位時間は、理論的にはこの時間について平均化した各降雨に対する流量曲線と、実際の変化する降雨に対する流量曲線とがほぼ一致する時間以下であることが必要である。このような単位時間の問題については、雨水流における騒乱伝播時間の観点から特性曲線法を用いて扱った研究^{4)や}、単位時間を $T_L/4$ (T_L : 流域の遅れの時間) とする基準⁵⁾ などもあるが、水田地帯でとくに大きくあらわれる貯留、はららん効果とこれが単位図に及ぼす影響について検討した例はあまり見られない。

一方実用的な立場からいえば、たとえば単位図法による流出解析の場合、単位時間を長くとるほど単位図の配分率の項数が少なく、計算が非常に簡便化される利点があるが、単位時間をあまり長くすると流出量ハイドログラフの図形特性が消失する恐れも出てくる。したがって流出解析における単位時間の扱い方が大事な課題となる。なおこの考え方は、とくに水田地帯では排水改良前と改良後のいかにかわからず、下流端に一時的な貯留を許容する限り成立する。排水改良後の単位図が改良前のそれと異なることは十分予想しうることであり、今後さらに詳細な研究を必要とするが、ここではとりあえず下流部に流入するハイドログラフが一応与えられたものとして論議を進める。すなわち以下においては、一定のたん水を許容する水田の機械排水計画を想定し斐伊川右岸、網場川流域を対象にして、100mm 以上の豪雨に対する流出を、単位図法で解析する場合の単位時間のとり方について検討する。

※ 農業水利工学研究室

※※ 第24回農業土木学会中国四国支部講演会において発表（昭和44年10月）

2 単位時間の流出量ハイドログラフおよび たん水位曲線におよぼす影響

2.1 流出量ハイドログラフと単位時間

水田流域の流出量ハイドログラフ推定におよぼす単位時間の影響を調べるため、100mm以上の降雨から抽出した網場川全流域に対する単位図(図1)を用い、有効雨量推定法としてすでに得られている図2の累加雨量、累加損失雨量曲線を用いたものについて検討する。具体的な降雨として昭和40年7月21~23日の連続3日雨量281.9mm(1日目131.3mm, 2日目109.9mm, 3日目47.9mm)を選び、これに対する流出量ハイドログラフを、単位時間を2, 4, 6, 8時間として求めた結果表1

表-1 3日連続雨量281.9mmに対する
ハイドログラフ諸元

単位時間 (hr)	ピーク流量 (m^3/s)	ピーク発生時刻 (hr)	流出時間 (hr)
2	4.14	55	122
4	4.14	54	124
6	4.11	51	120
8	4.11	52	120

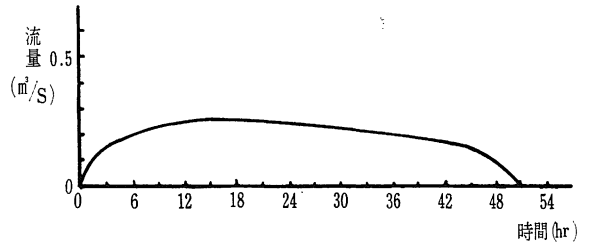


図-1 網場川流域の有効雨量10mmに対する単位図

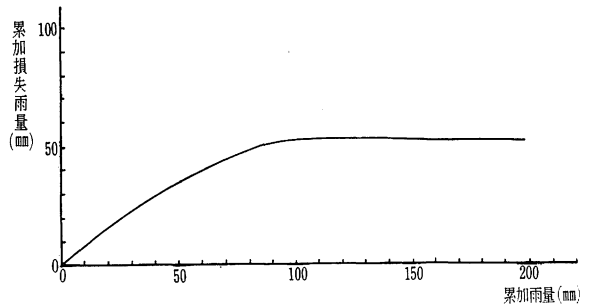


図-2 累加雨量—累加損失雨量関係曲線

を得た。このうち単位時間を2時間, 6時間とした流出量ハイドログラフを例示すると図3のとおりである。これらより, 得られた結果に大差なく, 観測値の精度より考えればいづれがすぐれているか判定できない程の結果となっている。ただ単位図法の計算過程から考えて, 単位時間 t_c , $t_{c'}$ ($t_{c'} < t_c$) の流出量ハイドログラフの間には, 図3のようにおおよそ $(t_{c'}/2 - t_c/2)$ だけ流出時刻のずれができる。

以上の考察から, 排水機の規模決定に使用する流出解析には, か

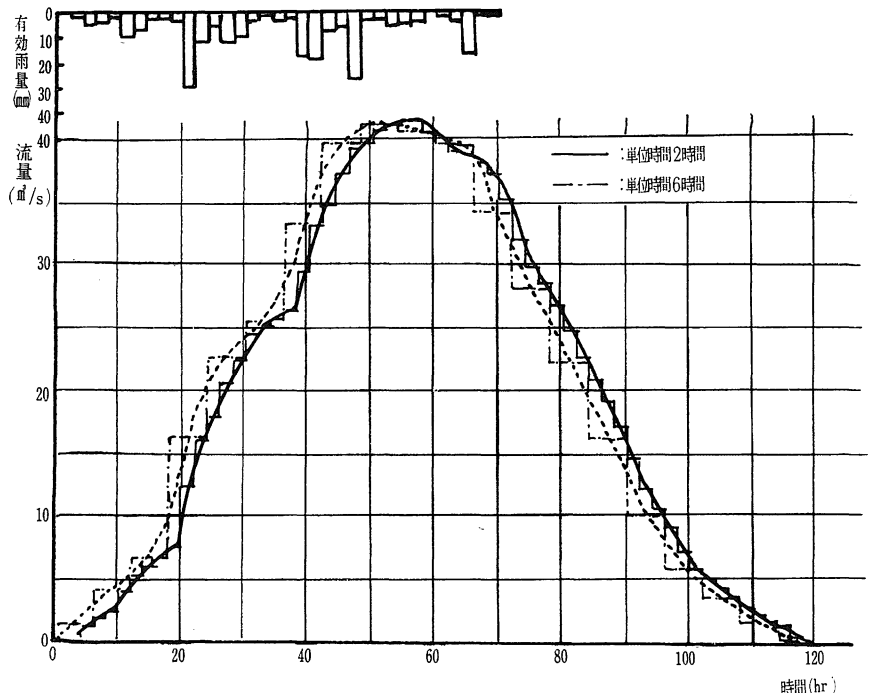


図-3 3日連続雨量(289.1mm, S40.7.21~23)に対する流出量曲線

なり大きな単位時間を採用してもほとんど同じような結果が得られることが予想されるが、次節で述べる結果を考慮すると、単位時間としては6時間ぐらいが適当のようである。

2.2 たん水位曲線と単位時間

2.1 で求めた全流出量が排水路末端低部位にたん水するものとして、単位時間2時間、6時間の流出量ハイドログラフから累加流出量曲線を求め、たん水位 (H) - たん水量曲線 (V) からたん水位曲線を描くと図4

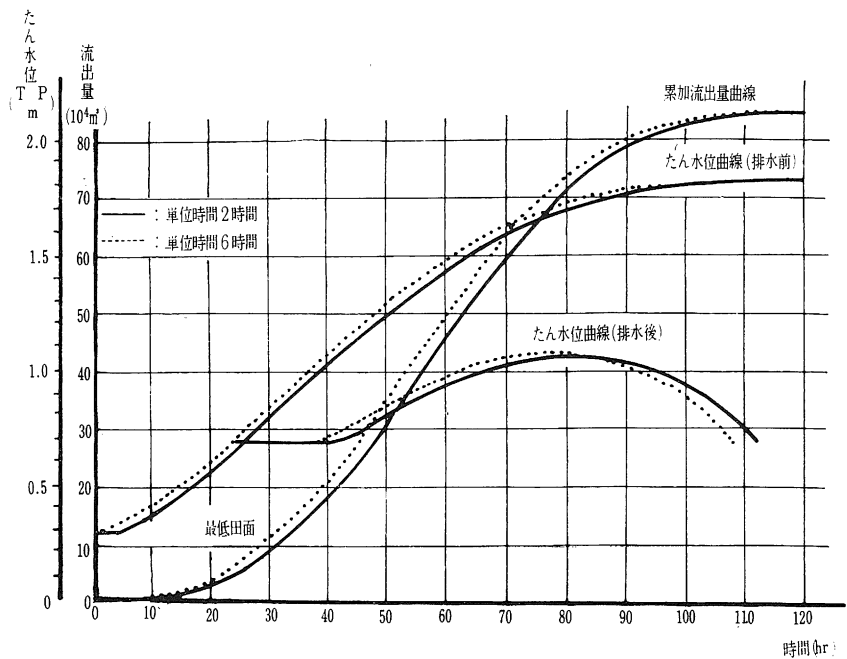


図-4 累加たん水量、たん水位曲線

のとおりで、図3の流出量ハイドログラフよりさらになめらかな曲線になる。厳密には流出量ハイドログラフに対応したたん水位はわずかでも変化しているはずであるが、H-V曲線の実用的精度から考えれば、たん水位の微小変化はH-V曲線を介することによって極度に小さくなり、結果的には無視される程度になっている。この傾向はたん水面積ないしたん水容量が大きいほど助長される。したがって2~8時間の各単位時間に対するたん水位曲線は、流出量ハイドログラフ以上に類似した形となる。ただし流出量ハイドログラフに単位時間ごとの流出時刻のずれがあるから、これに基づいて算出したたん水位曲線も図4のように時刻のずれができる。また機械排水後のたん水位曲線についてもH-V曲線を介するから同じことがいえる。一例を図4に示した。これから最大たん水位についてもほとんど同じ値であることがわかる。

以上から計算の対象とした単位時間2~8時間の範囲では、100mm以上の降雨に対する流出解析の結果は、実用的にはほとんど同一とみなしてよいことがわかる。

3 排水機の規模と流出解析の単位時間

3.1 排水機容量と単位時間

一般に機械排水計画においては条件に適合した排水機の規模決定が重要な目標の1つで、流出量ハイドログラ

フはこのために必要な資料である。したがってハイドログラフは適正な排水機の規模決定に利用しうる精度をもちさえすれば十分であり、それ以上の精度を要求しても、不必要に労力を要するだけで実用上の価値は少ない。このことについて前節で得られた各単位時間の流出量ハイドログラフを用いて、いま少し具体的に検討することにする。

水田地帯の排水計画では、水稻に被害がおよばない程度のたん水を許容することが多い。この場合排水機容量は次式を満足するようにきめればよい。

$$Q_P \geq \frac{1}{T_a} (Q_0 - V_a) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに Q_P は排水機容量、 T_a は許容たん水時間、 Q_0 は許容たん水時間内最大流出量、 V_a は許容たん水量である。

表-2 単位時間ごとの排水機容量と運転時間

単位時間 (hr)	排水機容量 $Q_P (m^3/s)$	ポンプ延運転時間 (hr)
2	3.677	178
4	3.696	176
6	3.722	180
8	3.623	184

いま対象流域において $V_a = 25,200m^3$ (許容たん水 深 30cm) であるから, $T_a = 24$ 時間として, 前節の各 単位時間の流出量ハイドログラフから得られる Q_0 を, (1)式に代入して Q_P を求めると表2のように, いず れも大差のない値となる. また実際に排水機を運転する 場合を考えて, $Q_P = 3.9m^3/s$ としこれを3台 (1台 あたり容量 $Q_P/3 = 1.3m^3/s$) の排水機の組合せで, 許 容条件を満足するように運転したとき, 各単位時間の流 出量ハイドログラフから計算される流出量の排除に要す る排水機の延運転時間を調べると, 表2のように, いず れも約180時間となる. ただし単位時間が8時間以上に なると, 単位時間ごとの流出量および排水量が大きくなり すぎて, たん水量を算定するための出入計算の過程に 無理を生じ, 適正な排水機の組合せ台数や, 運転時間の 計算に不便である. 許容条件を満足するための最大容量 Q_P だけを求めることを目的とする場合には, (1)式に おいていかに単位時間 t_r を短かくとって Q_0 を計算し ても, $t_r \ll T_a$ の場合は実用上あまり意味がなく, $t_r = (1/2) T_a \sim (1/4) T_a$ の程度で十分である. いま $T_a = 24$ 時間とすると $t_r = 6 \sim 12$ 時間となるが, 実用面で Q_P を何台かの排水機の組合せで受持たせる場合の各排水 機の稼動時間の計算を考慮すると, 上述の理由より $t_r = 6$ 時間ぐらいが適当のようである.

3.2 排水機容量と連続雨量の分布

以上の結果は排水機容量を決定する場合に, 短時間の 雨量分布を, それほど厳密に論議する必要がないことを 意味する. むしろ排水機容量 Q_P は許容たん水時間 T_a に大きく支配され, 雨量は1日雨量, 2日雨量などの連 続雨量に密接な関係をもつことが予想される. そこでさ きの連続雨量の第1日目雨量 (131.3mm), 連続2日雨量 (131.3+109.0 = 240.3mm) に対する流出量ハイドロ グラフから流出量を求め, (1)式からそれぞれの雨量に対 する Q_P を計算すると, さきに求めた連続3日雨量に 対する Q_P を含めて表3のとおりある. これによると 予想したとおり, Q_P は1日雨量, 2日雨量, 3日雨量 の順に大きくなる.

3.3 連続雨量と流出時間

(1)式で許容たん水時間 T_a を24時間とすれば許容た ん水量 V_a は, たん水深に応じてきまる流域固有の定 数となるから, 排水機容量 Q_P は最大24時間流出量 Q_0 によってきまる. また単位図法を用いた場合の流出量ハ イドログラフの流出継続時間 T_q は次式で表わされる.

$$T_q = T_B + t_r - t_r \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに T_B は単位図の基底長, t_r は実効降雨の継続 時間, t_r は単位時間である.

(2)式で 100mm 以上の大降雨の場合, 図1の単位図 を用いると, $T_B = 51$ 時間, $t_r = 6$ 時間であるから, $t_r = 24$ 時間 (1日), 48時間 (2日), 72時間 (3日) と仮 定したときの T_q はそれぞれ69, 93, 117時間となり連 続3日雨量の1日目降雨の流出が終了しないうちに, 2 日目, つづいて3日目の流出が始まることになる. すな わちそれぞれの降雨に対する流出が重合する流出期間が 存在し, 4日目になると, はじめて1日目降雨の流出が 終了 (厳密には69時間) するから, 4日目降雨による流 出との重合期間がなくなる. すなわち連続3日雨量では 各日雨量の流出が重合する流出期間がかならず存在す ることになる. この重合する期間の流出量が, 排水機容量 Q_P をきめる(1)式の Q_0 に含まれる可能性もあり, 前述の連続3日雨量 281.9mm の場合がそうである. もちろん Q_0 は降雨分布に大きく支配され, また基底長 T_B , 単位時間 t_r は流域の地形条件や降雨条件によつて 大きく異なるので一概にはいえないが, T_B が50時間程 度になるような低平水田地帯では, Q_P の決定にあたつ て, 連続3日雨量の検討が必要であること, およびそれ 以上の連続雨量はあまり問題にならないことを示唆する ものといえる.

また日雨量 100mm 以上の降雨は, 降雨時間が1日ま たは2日であるような降雨よりも, 3日連続降雨に含ま れる可能性ははるかに大きく⁶⁾, 流出の初期ないし境界 条件を考慮すれば, 洪水排除を目的とする水田地帯の排 水計画では, 一応連続3日雨量を対象にすべきことが推 論できる. さきに行なった調査実績⁷⁾でも, 計画基準雨 量として連続3日雨量を採用している地区が, もっとも 多かったことは興味深い.

4 む す び

以上, 網場川流域の観測資料に基づいて豪雨時 (100 mm以上) の具体例から, 機械排水計画における流出解析 の単位時間について実証的に考察し, 結論として, 単位 時間として6時間ぐらいが適当であり, 降雨の継続時間 としては連続3日雨量を対象にすべきことを示した. が らしい流出現象はきわめて複雑で, 理論的にも未解決の 問題が多いことはすでに述べたとおりである. したがつ てここに示した1事例による検討結果から普遍性のある 結論を得ることは困難である. しかし一般に低平水田地 帯の流出特性には, 共通した類似の傾向が認められる点 も多いから, ここで検討した内容は少なくとも機械排水 計画において, 当然論議されるべき流出解析の取扱い方 について一つの指針を与えたものと考えらる.

引用文献

1. 豊国永次：水理学・水文学における最近の進歩土木学会関西支部大阪 1967, p. 132-148.
2. 福間順・田中礼次郎・白滝山二・未沢慶康：島大農研報 1 : 145-152, 1967.
3. 板津平儀：農業土木研究 25(7) : 1-2, 1958.
4. 上田年比古：降雨流出に関する基礎的研究, 1961.
5. 川畑幸夫：水文気象学 地人書館 東京, 1961, p. 208.
6. 田中礼次郎・角屋睦：農業土木学会論文集 34 : 28-33, 1970.
7. 田中礼次郎・未沢慶康：島大農研報 4 : 125-128, 1970.

Summary

In paddy field area, generally, a runoff hydrograph under rainstorm tends to have the characteristics giving extremely smooth shape and long period of runoff because of storage and flood. Therefore, a unit time and a basic rainfall to be used for runoff analysis of pumping drainage should be decided after general consideration based on these characteristics.

To clarify the runoff mechanism above mentioned, some investigations were carried out in paddy field area of Anba river near Lake Shinji, Shimane Prefecture. Results of them are as follows :

- i) The reasonable unit time for runoff analysis is about 6 hours.
- ii) Three-day storm should be used as the basic rainfall.

Though the results in this paper were obtained by only one example, runoff characteristics everywhere in paddy field area in our country show a similar tendency, so that the results will give a clue to the practical treatment for the runoff analysis which is applied to pumping drainage.