

農地の機械排水計画と実績に関する調査研究

田中礼次郎[※]・末沢慶[※]

Reijiro TANAKA, Yosiyasu SUEZAWA

Investigations on the Drainage Planning by Pump in Paddy Field

1. 農地排水事業の現状

農地排水の初期段階は外水（洪水）対策で築堤，防波堤，樋門などにより外水の浸入を防ぐことを目的とするものが多かったが，しだいに排水機を併用する内水排除へと移行し，最近では機械化営農のための耕地整備にともなう地下排水を含めた計画に進展している．わが国における最近10年間の比較的大規模な農地の排水事業実施面積を農政局別に示すと表1¹⁾のとおりで，295,000haにおよび，北海道が最も多く全体の43%を占め，ついで東北（23%），北陸（16%）の順で九州（0.7%）が最も少ない．また北海道では，畑地排水が昭和40年度以降では排水改良面積の70%を占め新しい傾向として注目すべきであるが，内地における畑地かんがいは各地で実施

表1 農政局別国・県営排水事業面積（単位 千ha）

農政局	年度											計
	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44		
東 北	1		2	2	9	13	13	10	11	7	68	
東 関		6	5		2		2	3	2	0	20	
北 海 道			5	6		1	1	25	8	2	48	
北 東			1		1						4	
近 畿	2	1					1		3	1	8	
中 四				3		1		3	10		17	
九 州							1	1			2	
小 計	3	7	13	11	12	15	19	42	35	10	167	
北 海 道	6	5	6	7	4	10	20	29	19	22	128	
計	9	12	19	18	16	25	39	71	54	32	295	

注 1. 面積は全体実施設計地区に採択された年度のものを集計
2. 国営附帯県営事業は除く

されているが排水についてはほとんど水田を対象としており，排水事業の内容は，ほ場整備の進行にともなう地下排水を含めた排水路の改修と更新時期にきた排水機の統廃合が多いようである．

2. 機械排水地区の計画諸元

最近約10年間に工事を完了した地区，現在工事中および計画中の水田を対象とする約60の機械排水地区を全国からえらび，計画諸元を調査した結果を示し，若干の考察を加えることにする．この場合，地区によって気象条件，地形条件などはもとより計画の精度についてもかなり異なるので多少問題が残る点もあるが，各地区の計画諸元は同一に取扱うことにする．

2.1 計画基準雨量

計画基準雨量の決め方としては，もよりの雨量観測記録から年最大連続雨量の序列をつくり，その第何位かを採用しているものはごく少数（4例）で，あとの地区は年最大連続雨量の確率計算より $\frac{1}{10}$ ～ $\frac{1}{50}$ 年相当の雨量を

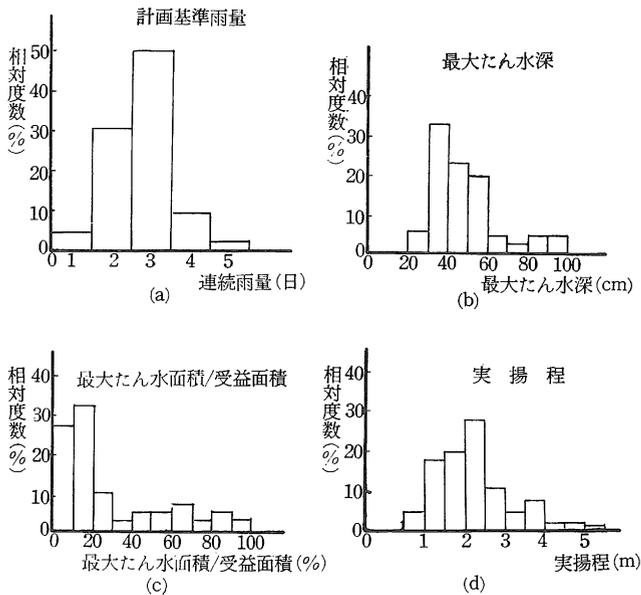


図1 農地の機械排水計画諸元の分布状況

※農業水工学研究室

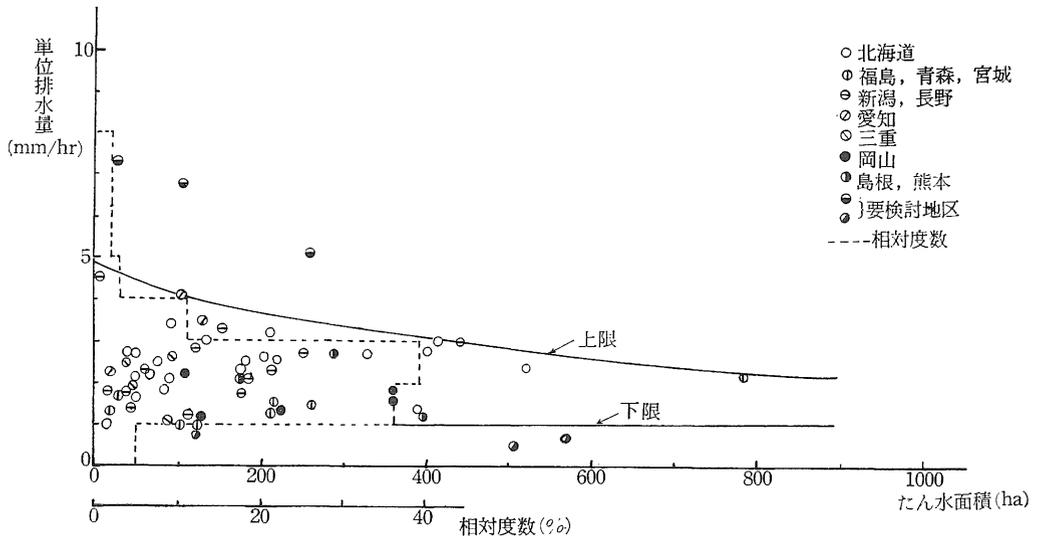


図2 機械排水における単位排水量

採用している。このうち、 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ 年範囲のものが大部分のようである。連続雨量の継続期間については1日～5日連続降雨を対象にしているが、図1(a)に示すとおり3日連続雨量が約半数を占めている。北海道では、かなり面積の大きい地区も多いがほとんど2日連続雨量をとっている(19地区のうち17地区)。この北海道17地区を除くと内地の約70%が3日連続雨量を対象にしていることとなる。

調査結果によると、機械排水地区の平坦部の平均勾配は大体 $\frac{1}{1000}$ 以下のいわゆる低平農地であり、低平水田地帯の流出特性として降雨量が大きくなるにつれて貯留はらん効果が卓越して、単位図のピーク部分がへん平化し流出時間が長くなる。²⁾⁻⁴⁾したがって単位図法により流出ハイドログラフを推定する場合、雨量が大きくなるにつれて基底長の大きな単位図を重合して流出ハイドログラフを求めることになるから、そのピーク流量に関係する連続雨量の継続時間の範囲は雨量が大きくなるにつれて大きくなるはずであり、斐伊川沿岸での実例⁵⁾では連続3日雨量281.9mm(1日目131.3mm, 2日目109.9mm, 3日目47.9mm, 確率 $\frac{1}{20}$)中の各日雨量ともピーク流量に関係していることがたしかめられている。

計画基準雨量の日配分および時間配分については、計画基準雨量に近い実降雨の配分率による地区が多い。1部には、たとえば3日連続雨量中の日、2日雨量を3日連続雨量と同じ確率年に対応する大きさとし、中央山型の日配分に組合わせ、時間分布については周知の $R_t = R_{24} (t/24)^k$ によるなどのくふうをしている地区もあるが、一般に連続雨量の日配分法については短時間降雨分

布ほど研究されていないのが実情である。計画基準雨量としては、単独日雨量よりも、連続雨量を採用すべきことや、連続雨量の日配分法については別の機会に論議する予定である。

2.2 単位排水量

単位排水量は次式で求めた値を使用することにする。

$$h_p = (0.36 \times Q_p / A) \times 10^3, \text{ ここに } h_p: \text{単位排水量 (mm/hr)}, Q_p: \text{排水機排水量 (m}^3/\text{s)}, A: \text{流域面積 (ha)}$$

一般に排水が必要となる地域は、降雨による流出が地区外に排除されずにはらんしやすい地域を意味するから、たとえば受益外の流域面積が大きいとか、地形勾配が平坦で外水位が高いことなどいくつかの要因をあげることにはできるが、単位排水量と関連づけて普遍性のある傾向を見いだすことは、地区ごとに要因が異なり、また関係する要因が多いためきわめてむずかしい。たとえば流域面積で処理すれば、大きさだけで地形要素を含めることは困難であり、受益面積をとるとさらに行政的要素が加わるため意味がなくなる場合も考えられる。そこで排水機能力(単位排水量)とたん水面積の関連性に着目して、計画上のたん水面積をパラメータとすれば、陰に地形要素をも含むものと解せられる。そういう意味で単位排水量とたん水面積の関係を調べると図2のとおりである。これによると、特に単位排水量の大きい3地区(●印)はいずれも愛知県の排水地区で基準雨量が極端に大きい(599mm/4日)か、基準雨量が他地区より比較的大きく(340mm/3日)かつ既設排水機が老朽化(設置年大正15年、昭和14年の排水機を含んでいる)して、排水

能力がいちじるしく低下しているため、新排水機を増設して見かけの排水能力が必要以上に大きい地区である。また単位排水量の小さい3地区(●印)は、いずれも岡山県で基準雨量が大変小さい(151mm/3日, 104mm/日)地区であるため、これら6地区を除くと単位排水量の上限は5mm/hrで、たん水面積が大きくなるにつれて指数関数的に減少し、たん水面積1,000ha附近で2mm/hrに漸近している。また下限についてはだいたい1mm/hrと考えてもよさそうである。その分布状況についてはとくに地域的な傾向は見あたらないが、全体としてはFig. 2の点線のヒストグラムが示すとおり、2~3mm/hrが最も多く(39%)、1~2mm/hr(36%)がこれにつき、1~3mm/hrの範囲で75%と大部分を占めている。以上のような単位排水量の整理方法については、洪水初期、末期の自然排水の程度について、たとえば洪水到達時間が長い場合実際には2~3mm/hrが必要であるが、自然排水が差引かれて1~2mm/hrとなっているようなことも考えられる。しかし、農業土木ハンドブックによる単位排水量基準⁶⁾1.1~4.3mm/hr(0.003~0.012m³/s/ha)と比較しても近似しており、1つの目安と考えてよいようである。また単位排水量の大きさは、排水地区の農作物のたん水被害の程度を重視してきめるべきことはもちろんであるが、このほかに地域の社会、経済的な要因も大きく影響しているようである。

2.3 たん水深、たん水面積、たん水時間

水稻のたん水による被害程度⁷⁾を基本にした許容条件として地区が機械排水の場合は、許容たん水深を0.3m、許容たん水深以上のたん水面積を受益面積の10%以下、たん水時間を24~36時間以内とする地区がほとんどで、大体農林省の⁸⁾計画基準どおり実施されているようである。最大たん水深については図1(b)に示すとおり0.2~1.00mの範囲に分布するが、このうち0.3~0.4mが約1/2で最も多く指数関数的に減して、0.9~1.00は5%となっている。最大たん水面積については、受益面積に対する比率であらわすとこの分布状況は図1(c)のとおりで、20%以下が約1/2となり、これも指数関数的に減して0.9~1.0mが3%となっている。

2.4 排水機の実揚程

洪水排除を目的とする場合には、内水位を地区内最低田面あるいは(最低田面+許容たん水深)としている地区が多い。外水位については、一概にきめがたいが基準雨量の生起確率に対応する外水位を採用している地区が多いようである。内外水位差からきまる排水機の実揚程は、図1(d)に示すとおりで0.5~5.5mの範囲に分布するが、2.0~2.5mが約1/2で最も多く、また2.5m以下が約80%となっている。

2.5 流出解析方法

現在使用されあるいは研究されている流出解析の方法は、i) 単位図法、ii) 貯留法、iii) 特性曲線法に大別できる。単位図法については、周知のごとく流出の線形性を根本仮定とし単位時間の降雨による流量曲線を重ね合わせて任意の降雨に対する流量曲線をうる方法で、L. K. Sherman が Unit Hydrograph Method として1932年に提案して以来、わが国の河川への適用法や単位図の理論的研究がすすめられそのおもなものをあげると石原ら⁹⁾の研究による流出関数法、中安¹⁰⁾、石原ら¹¹⁾の研究による地帯分割法、地帯分割法に河道貯留を考慮した立神¹²⁾の方法などがある。貯留法¹³⁾は、木村の提案によるもので流出の非線形性の導入や、河道貯留およびはんらん現象を考慮した解析法である。特性曲線法は、末石¹⁴⁾¹⁵⁾が提案した方法で、降雨流出に単位図法にはみられない理論的解析を導入したもので、流域をく形モデル化した斜面流域を両側にもつ河道に分割し、その分割単位ごとに等流の運動方程式と連続方程式より流量をもとめ、これらを合成して流域下流端の流出量曲線をうる方法である。任田¹⁶⁾は低平水田流域の流出特性をあらわす雨水流出能の概念を導入して、混成特性曲線法を提案している。

以上流出解析法のおもなものを列挙したが、各方法とも問題点があり合理的な流出解析法が確立されているわけではない。たとえば有効雨量算定法、流出の非線形性を考慮した単位図の適用法、等価粗度係数の決定法および貯留はんらん効果の導入などは今後の研究にまつ大きな課題である。したがっていずれの方法を用いるにしても、当然のことであるが可能なかぎり正確で長期の観測記録(雨量、流量など)にもとづく解析と照査によって、各解析法の問題点を補正する必要があることはいうまでもない。さて単位図法はその取扱いが簡単に適用方法に注意すれば比較的よい適合性を示すことから実用的には高く評価され、本調査でもこの方法による地区が65%で最も多い。また、単位図法にくらべ取扱いにかなり時間と労力を必要とする混成特性曲線法を用いている地区が15%程度みられ、比較的新らしい解析法を実用面にとりいれている努力がうかがわれる。一方依然として、従来から機械排水量の算定に使用されている農林省農地局の設計基準値¹⁷⁾を採用して「総雨量と総流出率」ならびに「単一降雨の流出配分率」から基準雨量に対する総流出量を求め、これを何日間かで均等排除する方式あるいはこれに類似した「何日雨量の何日排除方式」を用いている地区が20%程度もある。

3. むすび

水田地帯の機械排水計画で現在採用している排水量決定にいたるまでのおもな一般の手順は、まず計画基準雨量を確率計算より求め、これに対する地区内流出量曲線を各種算定方式で決定し、基準雨量に対応する外水位曲線と地区内流出量曲線から機械排水時間を推定し、水稻の許容たん水条件を満足するように何回かの試算により単位時間あたりの排水量を求め、排水施設の規模を決定する。ついで排水施設に要する費用（工事費、維持管理費など）とこの施設によってもたらされる効果（被害軽減額、営農労力節減額など）から投資効率を算定し、計画の妥当性を最終的に経済的側面から照査して、計画の良否を判断する一つの基準としている。

多くの場合この手順は1回行なうのに多大の労力と時間が必要なため、最初にきめた基準雨量についてのみ行なわれているにすぎず、多くても基準雨量に近い実際降雨2~3例について、許容たん水条件を満足するかどうかの水文的検証の段階で終わっている。したがって、基準雨量としてたとえば $\frac{1}{10}$ 年確率雨量が、 $\frac{1}{50}$ 年確率雨量を採用するより計画上有利であるという確証のないままに、ただ経験的に大体 $\frac{1}{10}$ 年確率雨量程度が妥当であるとしているのが実情である。すなわち、基準雨量から排水機規模決定までの各段階における個々の技術的な解析法についても、未解決の問題が残されて今後の研究にまたねばならないことはいうまでもないが、これらを組立て総合して得られる排水機の規模が最適規模であるか否かのOR的計画手法による検討も、相当長期間の中規模降雨から豪雨までを対象として当然なされなければならない大事な課題である。これについては、近く一方法を提案する予定である。

おわりに本調査研究に貴重な資料を提供していただいた北海道開発局、各農政局および府県の関係各位に深く謝意を表す。

引用文献

1. 渡会末彦：農業土木学会誌37(4)：47, 1969
2. 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. 145~146
3. 福岡順ほか3：島大農学部研究報告1：145~152, 1967
4. 板津平儀：農業土木研究 25(7)：395~396, 1958
5. 田中礼次郎：第24回農土学会中四国支部講演会要旨農土学会中四国支部岡山 1969, p. 39~40
6. 農業土木学会編：農業土木ハンドブック 丸善 東京 1969, p. 603
7. 農業土木学会編：農業土木ハンドブック 丸善 東京, 1969, p. 171~172
8. 農業土木学会編：農業土木ハンドブック 丸善 東京, 1969, p. 181
9. 石原藤次郎ほか1：土木学会論文集 57：1~6, 1958
10. 中安米蔵：土木学会第1回水理研究会前刷土木学会東京：12~15, 1956
11. 石原藤次郎ほか1：土木学会論文集 32：50~56, 1956
12. 建設省水文研究会編：流出計算例題集アテネ出版東京 1968, p. 13~33
13. 木村俊晃：直轄技術研究会参考資料 建設省 東京 1959
14. 岩垣雄一ほか1：土木学会誌 39(11)：575~583, 1954
15. 末石富太郎：土木学会論文集 29：74~87, 1955
16. 任田新治：木曾川三川下流地域の排水計画に関する基礎的研究 農林省名古屋農地事務局 名古屋, 1961
17. 農林省農地局編：土地改良設計基準第2篇排水 農地局 東京 1954, p. 19

Summary

To establish a better drainage planning by pump in paddy field, inquiries were made as to 60 districts all over the country. The results obtained are as follows:

- (1) In all districts, the pump capacity is in the range of 1~5mm/hr.
- (2) In all districts, the actual pump head is in the range of 0.5~6.0m.
- (3) The basic rainfall used for drainage planning in most districts is a three-day one.
- (4) Generally, the optimal capacity of drainage pump is yet unsolved.