



## 排水計画 (その1)

—— 排水計画序論 ——

緒形博之\*

### I. はしがき

日本の国土利用が今後どのような変貌をとげるか、予断を許さないが、総合的な土地利用がますます高度化することは間違いないであろう。ことに直接に生産に関与する土地に対しては、十分な投資を行なって、生産条件を整備し、高い土地生産性と労働生産性を同時に実現することが要請されるであろう。その際、台風や停滞前線による集中豪雨の襲撃を受けやすい日本の気候・風土から考えて、土地の生産条件の基盤として、排水施設を整え、行き届いた排水管理を行なうことが必要であることは言うまでもない。農業生産の基盤としての農地の排水の重要性については、いまさら言を重ねる必要はないが、最近とくに話題となっている水田の畑地化ということを実現するためにも、排水機能の画期的な改革が必要であり、日本農業の装置化の立役者の一つは排水改良であると言っても過言ではなからう。農地排水計画については、すでに農林省計画基準によって、その要領が示されている。しかし現在の計画基準が作られてから、20年近くも経過しており、ここでもう一度、計画の立て方を整理し、計画作成のための各作業の意味を考え、その位置づけを行なうことは、直接に計画作成に携わる者ばかりでなく、これらに関連したテーマを研究する者にとっても、何らかの参考になるものと考えられる。

排水計画序論はこのような観点から、排水計画を概観し、あとに続いて掲載される各編のガイダンス的役割をつとめるとともに、今後とくに注意を喚起したいと思われるいくつかの問題点を指摘した。

この講座では、引続き、計画作成のために用いられる手法の中で主要なもの、および新しく開発されて役立つと思われるものを紹介し、その内容を解説して、利用の便に供し、さらに、最近関心が高まりつつある排水管理の問題に関連する一、二の事項について、その動向と問題点を述べ、理解を高めることを企てている。

### II. 計画とは

計画は何らかの需要に基づいて作られる。需要とは関係者によって感じとられている不足、不満、要求、希望である。これらを解消するために、何がなされるべきかを決めるのが計画作成である。

計画は目的の設定から始まって、いろいろな解決案を作成し、これらを比較検討し、事業実施に関する最終的な決定に至るまで、事業内容を組み立てるために必要なあらゆる行動を含んでいる。この中には、構造物の細部設計以外の事業設計に関するすべての作業が含まれる。

計画作成者は、目的の設定に続いて、どのような需要があるかを調べ、さらにその需要が生じた原因とその環境条件を探究するために、必要なデータを収集する。次にそのデータに基づいて、環境条件と需要が将来どのように変わるかを予測する。ついで、そのような条件の下で、需要を満たすためには、何をなすべきかについて、できるだけ多くの案を考えてみる。これらの案のうち、実行可能と思われるものを具体的に設計し、経費を概算する。この中から、有利なものをさらに細かく比較検討して、最適なものを選ぶ。この過程は単純な一本すじではなく、試行のくりかえしであり、場合によっては、予測した環境条件や需要と、現実のそれとの食い違いによって生ずる計画のずれを修正するために、途中からある点まで引き返して、もう一度作業をやり直さなければならないこともある。

計画作成に当って、最終決定に至る個々の段階は、量的解析に基づいて進められるべきであるが、重要なポイントは、経験に富んだ技術者の判断によるのがよい。計画上の判断の仕方には、最適計画によるもの、経済性の許す限り安全側をとるもの、安全側と危険側の間の幅のある領域の中から、最も適切と思われるものを選ぶもの



図-1 計画作成のプロセス

\* 東京大学農学部

の等がある。ここで安全側をとるとは、可能性のある条件のうち、最も大きな損失を与える状況を想定して、これを安全に除去しうる対策を講ずることである。

### III. 農地排水の目的と効果

#### 1. 地表の有害なタン水の防除と地表水の制御

これは一般の土地排水にも通ずる普遍的な目的であって、農地の場合にも、水田、畑、草地にかかわらず、常に排水の基本目的となる。

#### 2. 地表付近の地下水の制御

これは農地の排水の場合にとくに重要な意義をもつもので、都市排水、ハイウエイの排水などに比べて、農地排水の特徴といえよう。これをさらに進めると、農地排水における地下水制御のもう一つ先の目的は、土壤水分を制御することであると考えられる。

以上の直接目的を達成することによって、次のような排水の効果を期待することができる。

(1) タン水によって生ずる災害を防除することによって、住民の生活環境がよくなり、土地利用の安定性が増大する。

(2) 地表の有害なタン水を排除することによって、家畜や作物の生活環境が改善されて、農地の生産力が向上する。

(3) 地表水の移動を制御することによって、土壤浸食、流亡が抑制されて、農地の荒廃が防止される。

(4) 地下水を制御することによって、土壤の物理的、化学的性質が改良されて、作物の根の生育環境が良くなるので、土地生産力が増大する。

(5) 同じく土壤の物理的性質が改良されて、農作業労働環境が良くなるので、労働生産性の増大に寄与することができる。

### IV. 排水の分類

#### 1. 排水経路による分類

(1) **地表排水** タン水防除に役立つので、地表排水をタン水防除のための排水の意味に使うことが多い。

(2) **地下排水** 地下水制御に役立つので、地下排水を地下水制御のための排水の意味に使うことが多い。

#### 2. 排水の対象となる空間の広がりによる分類

(1) **地区の排水** ホ場集団を含む地域を対象とした排水。排水路の水位を制御するのが主目的である。これによって、ホ場の排水の境界条件を与えることができる。

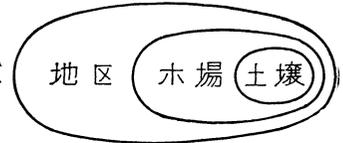
(2) **ホ場の排水** 耕地面のタン水位または地下水位を制御することを目的とする。地下水位の制御によって、土壤の排水の境界条件が与えられる。

(3) **土壤の排水** 土壤水分を制御することを目的とするもので、地下水制御とカンガイと蒸発散によって行なわれる。

土壤の排水はホ場の排水のサブシステムとなり、ホ場の排水は地区の排水のサブシステムとして構成されることが多い。

#### 3. ポンプ

使用による  
流域  
分類



(1) 自然

排水と

(2) 機械排水に分けられる。

図-2

### V. 排水位

排水に関する水の位置水頭を排水位という。排水位は排水の施設計画、管理の最も重要な指標となる。これはカンガイにおいて、流量が最も重要な指標となることと比べてみると特徴的である。すなわち、タン水防除の排水計画は、ある降雨条件の下で、タン水位がある目標水位を超過しないこと、または目標水位を超過している時間が、ある長さ以内におさまることを目途として作られる。また地下水制御の排水計画は、無降雨時に排水路の水位がある目標水位を超過しないこと、またはある時間以内に目標水位まで下げられることを目途として作成される。

排水計画作成の際に考えられる排水位は、主として排水路やポンプなど排水施設(いわゆる hard ware)の規模をきめるためのものである。以下簡単なために、これをハードな排水位(hard ware のための排水位の意味)とよぶことにする。ハードな排水位は従来の計画排水位とよばれていたものと同じ性質のものであり、計画のために考える目標値であって、事業完成後に実際に起こる水位とは別のものである。そしてハードと実際との関係を使って計画が作成される。たとえば機械排水の計画では、実際の水位の予測値がハードな排水位を超過しないように、あるいは超過しても、超過している時間がある長さをこえないように、ポンプの容量がきめられる。

一つの排水計画の中でも、ハードな排水位は、個々の排水施設に対応して、無数に存在することができるが、実際の計画作成に当って考慮されなければならない排水位はその中で重要なものに限定される。ハードな排水位の例をあげると、排水路の水位について、地表排水(タン水防除のため)の排水位と地下排水(地下水制御のため)の排水位が別個に存在する。この場合、幹線排水路と支線排水路の合流点など路線上の要点や、地盤標高が

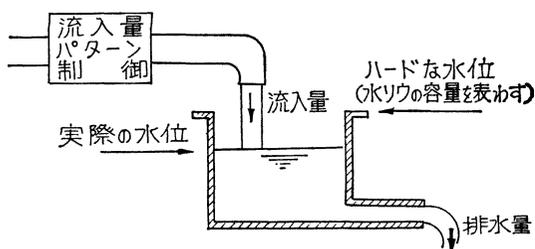


図-3 ハードな水位と実際の水位

低くて排水計画注目すべき場所などが、ハードな排水水位を設定する位置となる。またポンプ場の吸込み水位や吐出し水位も重要なハードな排水水位である。やや特殊であるが、排水路の側壁のある高さまで護岸工をほどこす場合、護岸の高さを表わす水位もハードな排水水位の一種と考えることができる。また従来、水田の排水計画で使われている許容タン水も、ハードな排水水位の一種である。

このようにハードな排水水位は、計画作成の際に、事業の規模や経費に直接影響を与える重要な事項であり、排水計画の基本的な指標であるので、事業の経済性、技術的可能性などから判断して、排水量や排水方法に優先して定められることが多い。

排水水位にはこの他に、管理操作の段階で使うソフトな排水水位 (soft ware すなわち管理組織や操作のルールで扱う排水水位の意味) がある。これはポンプやゲートを現実に操作する際に目標とする排水水位で、たとえば自動運転のポンプの吸水ソウの設定内水位はソフトな排水水位の一種である。実際の水位がソフトな排水水位に一致することを目途として操作が行なわれるが、実際の水位はソフトな水位に必ず一致するとは限らない。

## VI. 排水量

排水水位が排水の直接の指標であるのに対して、排水量は目標水位を実現するための手段としての役割をになっている。しかし手段であるからといっても、排水水位より重要でないというわけではなく、両者は密接な関数関係にあり、ともに重要さにおいて変わりはない。むしろ流量の方が施設の規模を端的に表現できるので、従来排水計画作成に当っては、排水水位より排水量の方が重視される傾向があった。

排水量にも排水水位と同じように、ハード、ソフト、実際の三種類がある。従来の計画排水量という語は、その使い方にあいまいな点があり、地区全体から安全に排除しうる最大排水量を表わすために使われることが多いようである。これは全体の事業規模を表わすハードな排水量とみなすことができる。しかしこれだけでは、この計

画排水量が個々の排水施設の規模とどのような関係にあるか、十分に表現することはできない。個々の排水施設の通水能力を表わすハードな排水量が決定されて、はじめて排水計画が具体的な姿を整えることができる。

ある施設のハードな排水量は、その施設のハードな排水水位と結びついて、はじめて意味をもつ。すなわち、与えられたハードな排水水位を満足するように排水量の値を定める。あるいは排水路の場合のように、ハードな排水量はポンプ容量または降雨から算定した流出量を用いて別に定め、ハードな排水水位を超過しないような断面を求めることもある。いずれにしても、ハードな排水量とハードな排水水位を同時に満足するように、排水施設の規模や構造の大ワクが決められる。

このようにして作られた排水計画が実行に移されて、事業が完成した後、実際の排水量はその時々々の環境条件によってさまざまな値をとる。そして計画時に使った雨量や外水位の条件と同様な状況が起こった場合に、実際の排水量がハードな排水量まで高まっても、その結果、実際の排水水位がハードな排水水位を超過しないで、安全な排水が進行することが期待される。

ハードな排水量の例としては排水路の設計通水量がある。これには地表排水の排水量と地下排水の排水量とがある。後者は排水路の通水能をきめるためのものではなく、地下水水位を制御するために必要な低い水位を確保する排水路の底高をきめるためのものである。その他の例としては、ポンプの総排水量、ポンプの台数や個々の吐出量をきめるためのハードな排水量、ゲートや落差工などを設計するための排水量などがある。

実際の水位 (水量) の推測値とハードな排水水位 (水量) とを明瞭に区別することは、排水計画作成上重要なことである。実際の水位 (水量) の推測値は無数に存在し、その目標値または限界値としてハードな排水水位 (水量) がある。そしてハードな排水水位 (水量) の値をきめることは、排水計画作成のおもな作業の一つである。

従来、計画基準雨量を用いて流出計算を行ない、得られたハイドログラフをもって計画排水量としていることが多い。これは、実際の排水量の推測値を求めたものであり、この値が同時に実際の排水量の限界値であると考え、これをもって計画排水量としたのである。しかしこの計画排水量の性格はあいまいであって、このままでは上に述べたハードな排水量とはいえない。むしろ後述するように、環境条件の一種と考える方が妥当であろう。

## VII. 雨量または流入量

排水計画の環境条件のうち、おもなものは外部からは

いる水量と、外部の水位とであり、そのうちで最も大切なものが雨量と外水位である。雨量は直接に排水地域に降るものの他に、隣接高地に降り、地表、地下を流れて、排水地域に流入するものも含む。排水計画上、問題となるのは、今後どのような度数で雨が降り、それがどのような流量に変換されて、排水の対象となるかということと、これらの雨のうち、どの程度の大きさの雨量まで安全に処理することを考えればよいかということである。この問題は計画基準雨量の決定として取扱われる。

この雨量は排水施設の大きさを左右するもので、ハードな排水位とならんで、排水計画の最も重要な基本事項である。このように、雨量も排水位と同様に、ハード、ソフト、実際の三つの性質をもつことができるが、水位や水量のように特定の施設と結びつくものではなく、全体に關与するものである。

計画基準雨量の大きさは、排水地域の土地利用の程度と密接な関連があり、農耕地域に比べて、住宅地域では基準雨量が大きくなるのが合理的である。大きさの表わし方として、普通はリターンピリオドを使う。これまでの農地排水計画では10~20年のものが多い。これは経験によって定められたものである。

排水計画においては、用水計画と違って計画基準年が使われていなかった。その理由は、地表排水計画の対象となる降雨が、用水計画のそれと違って、比較的短い日時に集中しており、確率統計的な取扱いが可能であるため、基準雨量の度数と大きさをリターンピリオドで割合に正確に表現できるので、具体的な生起年(基準年)で表わすより、客観的に表示することができると考えられたからであろう。

リターンピリオドは降雨の量を表示することはできるが、雨の複雑なパターンを表わすことはまだうまく行かない。ところが排水計画基準雨量のパターンは非常に大切で、これによって施設容量がかなり影響を受けることが多い。計画基準雨量のパターンをどのように定めるか今後の研究課題の一つである。

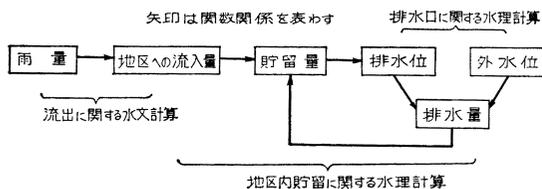


図-4 雨量、外水位、排水量、排水位の結びつき  
計画基準雨量とそのパターンが定まっても、雨を直ちに排水計算に使用することはできない。必ず水文計算に

よって流量に変換しなければならない。水文計算には周知のように、ユニットグラフ法、特性曲線法、タンクモデル法などがある。隣接高地に降った雨量を流量に変換する場合は、従来の方法をそのまま使って差しつかえないが、直接に排水地域に降る雨量を流量に変換する場合には、二つの問題がある。一つは地域内の排水改良によって、雨量から流量への変換のルールが変わることは必然であるので、改良後の変換のルールをどのようにして推定するかということである。もう一つは、排水地域が平坦な低地である場合には、山地からの流出と違って、雨量から流量への変換のルールに不明な部分が多いことである。これらは従来の排水計画では、あいまいなまま残されていた問題であり、今後の研究課題であろう。

計画基準雨量から変換された流量は、承水路などの場合には、ハイドログラフのピーク流量がそのまま直ちに水路のハードな排水量となる。しかし他の多くの場合には、雨量から変換された一連のハイドログラフが内水水理計算の流入量すなわち境界条件として使われる。

計画基準雨量と似た性格のものに、単位排水量または排水強度がある。これは単位面積当りの排水すべき水量を示す値であり、これを基にしてハードな排水量をきめることができる。とくにホ場の排水のハードな排水量は、この表わし方を使うと便利である。将来、地方別(降雨特性をあらわす)、土地利用別(水田、畑、草地)土性別などの区分に応じた全国の標準排水強度表が作られれば、排水計画作成のために役立つであろう。

## VIII. 外水位

外水位は排水地域外部周辺の水位で、その最も普通の例としては、排水本川またはそれに連なる水路の水位があげられる。

外水位は内水水理計算の中で使われる流出量すなわち排水量に直接に影響を与える境界条件である。

計画作成に使う計画基準外水位として大切な性質は、雨量と同様に、その高さパターンである。とくにパターンについては、対応する計画基準雨量の分布との時間的対応が重要である。

計画基準外水位も雨量と同じように、統計的に処理して、リターンピリオドで表現できればよいのであるが、この場合には二つの難点がある。一つは水位の記録は雨量の記録に比べて一般に期間が短い上に、水位の基準となる河床高や断面形が不安定で、その値は同一母集団からの標本とは考えられないことで、他の一つはパターンが統計処理に乗りがたいことである。この難点を避けるために、これまでは外水位のパターンを無視し、最大度

数の水位を使ったりしている。これには後述するようにそれなりの理由はあるが、いつまでもこれですますことはできない。排水計算の境界条件としては、外水位は雨量より影響力が弱い場合が多いので、便宜的な措置が許されることもあるが、外水位の取扱いについては今後研究を要する。

将来どのような方法が考えられるにせよ、結局雨量と外水位に関する信頼できる実測資料に頼ることになるものと考えられる。高い精度の豊富な実測資料に基づく良質な情報は事業経費の節減を可能にする。逆に情報の貧弱さをカバーするためには、余分な経費をつぎ込んで、事業の安全率を十分に高くしなければならない。

## IX. 機械排水

排水現象は主として重力の作用によって行なわれている(粘質土の水田の排水では、蒸発散が重要な役割をはたすこともあるが、排水計画作成の立場からすると、その働きは補助的なものと考えてよい)。そこで重力による水の運動をできるだけ円滑(抑制することもある)にするのが、排水事業の役割であるとの見方もできる。

ポンプは人為的に水にエネルギーを付与して、その水頭を変化させることによって、重力による水の運動を促進するものである。これを巧みに使えば、思うような排水ができることは明らかである。従来、生産性の低い農業にとって、多額の設備費と維持費のかかるポンプを縦横に駆使することは困難であったが、今後、土地利用度が高くなり、農業の生産性が増大するにつれて、ポンプが多く利用されるようになることが予測される。

機械排水の採用について、従来は自然排水が不可能な場合に限り、その地区の一部か、または全部について、機械排水を考えることになっており、機械排水は自然排水に先行すべきではないと考えられていた。しかしこれまで実施された排水事業においても、湖面干拓地あるいは極端な低平地以外では、機械排水と自然排水とを時間的に切り換えて使用することが多い。このことは、自然排水と機械排水とが二者択一の形で、厳然と区分されるべき性格のものではなく、施設についても、操作についても、中間的な段階が沢山あることを示すものである。

排水計画作成に当り、どのような場合に、どのような規模のポンプを採用するかは決定は、それによって期待しうる効果と、それに要する経費(建設費、維持費を含む)とを勘案して行なわれるべきである。この計画諸案の中に、規模零のポンプ案(自然排水)が含まれると考えれば、自然排水先行の原則は必要ではなくなる。

ポンプ利用の機会は今後ますます増大し、規模も大型

化することが予測されるが、ポンプによる強制排水を計画するに当たって、考えておかなければならないことは、排水本川の通水能力である。これまである程度のタン水貯留を許していた広大な地域から、大雨の時に一斉にポンプで排水を始めれば、排水本川が危険にさらされることが考えられる。このような場合に、河川管理者がポンプの運転を抑制するような手段を講ずることは当然である。その結果、せっかくタン水災害を防止するために設置した大規模なポンプも、肝心の場合に使えないということになりかねない。この問題の解決は、広範な地域の排水計画と排水管理にゆだねられなければならない。

## X. 排水不良の原因の探査

過去における排水不良の原因を調べ、これに基づいて対策を立てることは計画の原則である。このため、排水不良による障害の種類、度数およびその原因が調べられ次の事項について原因の探査が行なわれる。

### (1) 過剰水は何に由来したか

(1) 降雨

(2) 地表水として浸入する外水

1) 隣接高地からの表流水 2) カンガイ用水・都市用水 3) 排水本川からの逆流水 4) 海水

(3) 地下水として浸入する外水

1) 周辺からの浸透水 2) 下層からの被圧地下水

### (2) 過剰水はなぜ除去できなかったか

(1) 排水口における排水量が少ない

1) 外水位が高い 2) 排水口の閉鎖または狭く 3) 排水ポンプの能力不足 4) 水利慣行

(2) 地域内部で水が流動しがたい

1) 地形が平たんまたは不整 2) 土壌の通水性が悪い 3) 排水路の不備 4) 用水保持のために人為的に滞水

## XI. 排水計画の基本方略

排水不良の原因を除去する方策は、次の三つの基本方略に従って、立てられる。

(1) **外水の浸入を防止する** 防壁によって防ぐか、内部へはいらないように集めて、安全な場所へ誘導する。

(2) **内水の外部への排水を促進する** 排水口の大きさを拡大し、これを確保する。または内水のポテンシャルを外水のポテンシャルに比べて十分に高くする。

(3) **内水の流動を促進および抑制し、集中を避ける** 排水路のコウ配と通水能を適切に配分する。また必要な排水制御施設を配置して、過剰水が局所的に集中しないように制御する。(つづく)

[1971. 5. 26. 受稿]