

不等流モデルによる内水排除地区の湛水位予測
—北村地区について—

秋野 隆英*・八田 茂実**・磯島 優子***

The Prediction of Ponding Level in the Drainage Regions
by Non-uniform Flow Model
—On the Kitamura Region—

Takahide AKINO, Sigemi HATTA, Yuko ISOJIMA

要 旨

石狩川流域の北村地区は低平地で内水排除が行われ、豪雨時になると内水氾濫が起き、水田や畑が浸・冠水被害を受け易い地域である。そこで、北村地区を対象に既往の降雨波形と外水位のパターンを決め、これらをもとに不等流モデルによる湛水位解析を行い、機械排水の有無による10年確率の降雨に対する排水量および湛水位を推定し、洪水時の湛水位を予測した。

Abstract

Kitamura region in Ishikari river basin is low and flat ,therefore internal drainage is done there. In this study,We determined both the patterns of the wave profile of rainfall and the outside water level on the basis of the data that have ever been obtained in Kitamura region. And we carried out ponding analyses by non-uniform flow model. We estimate both the drainage discharge and ponding level for 10-years rainfall probability by whether pumping drainage is done or not.

1. はじめに

近年になって米の消費需要の減退と稲作の技術進歩による生産性の向上に起因する米の過剰生産に対する稲作調整が行われ、この対策を実行するために稲作転換が町村毎に割り当てされている。

これは水稲作付面積を米の需要に合わせて一定面積で抑え、残りの水田面積を畑作物などの生産に転換しようとするもので、そのためには水田基盤のまま

で稲作をはじめ他用途に汎用しうる汎用農地化が必要となる。汎用農地では、主に水田基盤圃場に水稲と畑作物が混在することになるが、畑作物は湛水が許容されないため、水稲単作対応のための施設のままだでは畑作物は湛水による被害を受け易い状況にあるといえる。とくに内水排除地区においては低平地に位置しており、この傾向が著しく、排水不良となっている。このため目的に応じた合理的な排水計画を樹立しなければならない。

そこで本研究では、10年に1回程度の豪雨が起きた場合の内水排除地区の湛水位を予測し、水稲単作の場合と汎用農地の場合で現在の施設で対応できる

* 教授 環境都市工学科
** 助教授 環境都市工学科
*** 苫小牧工業高等専門学校
環境システム工学専攻

かを検討するものである。

内水排除地区の湛水予測を行うにあたって、本研究では不等流モデルを用い、内水排除地区における排水計画の基準として計画降雨量、計画外水位、計画内水位を決定する必要がある。このうち計画降雨量・外水位は計画上の予想値であるのに対し、計画内水位は目標値である。

計画降雨量は昭和26～56年の31年間の降雨資料を用いて岩井法により求めた10年確率降雨量を採用しているが、実際の洪水は、総降水量が同量でもその降雨の型により大きく変化するので、降雨パターンを想定することが必要となり、このパターンの決定には実測データの特性などを参考にした。

計画外水位は排水方式を決定する上で大きな要素となる。この場合も問題は雨量と同じく外水位と時間との関係を示す外水位パターンである。このためには、実測資料により時間－水位曲線を求め、これを計画基準年に準じてスライドさせ、10年確率外水位とした。

計画内水位は、内水排除地区の北村地区を対象に、雨水流法により内水流集量を推定するとともに、樋門等価断面、湛水位と湛水面積との関係、ポンプ特性曲線などを用い、不等流モデルによる湛水解析を行い、10年確率の排水量および湛水位を推定し、排水計画における目標値である計画内水位と比較し、洪水時の湛水を予測するものである。

2. 不等流モデルについて

2.1 基本的な考え方

不等流モデルの洪水解析^{1) 2)}とは、流域内に存在する多数の水田を区分し、これを水田タンクとし、流域内の排水路を幾つかの区間に分割し、それぞれの区間内を一つの遊水池(河道タンク)とみなし、水田タンクから河道タンクへの流れを堰の式で、河道タンク間の流れを等流・不等流の式で表し、前後左右のタンクの水量と関連づけて表現し、各タンクの水位と流量を計算によって求めようとするものである。

いま図1に例示する河道タンクについて考えると、水の連続式として次式が成立する。

$$\frac{dV_j}{dt} = Q_i - Q_j \quad (1)$$

あるいは、時点 n 、 $n+1$ の平均値で表現すると、

$$\frac{W_j^{n+1} + W_j^n}{2} \cdot \frac{H_j^{n+1} - H_j^n}{\Delta t} = \frac{Q_i^{n+1} + Q_i^n}{2} - \frac{Q_j^{n+1} + Q_j^n}{2}$$

$$Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_j = Q_4 + Q_5$$

・・・(2)

ここに、 V_j 、 W_j ：河道タンク j の貯留量および水面面積、 H_j ：河道タンク j の(代表点)水位、 Q_i ：流入量、 Q_j ：流出量。

また右肩の n 、 $n+1$ はべき指数ではなく慣用記号のひとつであって、単位時間 Δt ごとの時間番号である。上式において Q_i 、 Q_j は上流から下流方向への流れを正と約束した場合の流量であって、現実にはこれが負(逆流)になっても一向に差し支えない。

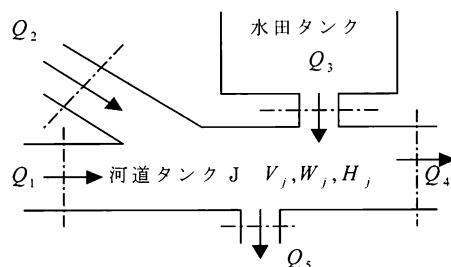


図1 水の流れ

ここでは、流域の最上流・下流端タンクの水位または流入量を既知とするが、途中のタンクは未知である。

各タンクについての流入・流出量を表現する式は、流れの状態に応じた運動の式と連立することによって求められる。

2.2 流域モデル

流域の地形・形状・広狭・土地利用形態によっても多少異なるが、通常は全流域を2次の河道網系、すなわち幹線および支線排水路を水路とし、その両側に長方形の水田区画または斜面が付随するような流域モデルを作成する。

流域内に、流出が下流水位の影響を受けない丘陵山地、高位部農地・宅地域が含まれるときには、これらを非氾濫域と見なし、多少なりとも下流水位の影響を受ける、あるいは氾濫・局部湛水を生じる可能性のある低平地域(氾濫域)とは区別して、両者

の流出解析は別々に行う。不等流モデルの適用対象となるのは後者，すなわち氾濫域であって，前者からの流出量は後者への強制流入量として扱う。

2.3 水田タンクからの流出の基礎式

水田タンクでは，水面積が一定，かつ流入量は有効降雨としてよいから，連続式は次のように表現できる。

$$W \frac{H_i^{n+1} - H_i^n}{\Delta t} = W_r - \frac{Q_i^{n+1} + Q_i^n}{2} \tag{3}$$

あるいは，

$$Q_i^{n+1} = -\frac{2W}{\Delta t} H_i^{n+1} + \frac{2W}{\Delta t} H_i^n - Q_i^n + 2W_r \tag{4}$$

ここに，W：水田タンク面積，Hi：水田タンク水位，Qi：水田タンクからの流入量，n：単位時間Δt ごとの時間番号，r：時点n～n+1の間の有効降雨強度。

水田タンクからの流出量の推定にはセキの公式を用いる。(図2 参照)

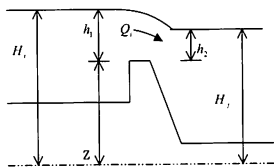


図2 水田タンクからの流出

潜り越流：(h2/h1≥2/3)

$$Q_i = \pm C_2 B h_2 \sqrt{|H_i - H_j|} \tag{5-1}$$

$$= C_2 B h_2 \frac{H_i - H_j}{\sqrt{|H_i - H_j|}} \tag{5-2}$$

完全越流：(h2/h1≤2/3)

$$Q_i = \pm C_1 B h_1^{3/2} \tag{6-1}$$

$$= C_1 B h_1^{3/2} \frac{H_i - H_j}{|H_i - H_j|} \tag{6-2}$$

ここに，B：セキ幅，Hj：水田タンクに接続する河道タンクの水位。C1,C2は流量係数で，越流係数をμ，重力加速度をgとしてm・sec単位で表現すると，

$$C_1 = \mu \sqrt{2g} = 0.35 \sqrt{2 \times 9.8} = 1.5495$$

$$C_2 = 2.5981 C_1 = 2.5981 \times 1.5495 = 4.0258$$

2.4 河道タンク間の流れの基礎式

連続式は(2)式、または次式である。

$$Q_j^{n+1} = -\frac{W_j^{n+1} + W_j^n}{\Delta t} H_j^{n+1} + \frac{W_j^{n+1} + W_j^n}{\Delta t} H_j^n + (Q_i^n - Q_i^n) + Q_i^{n+1} \dots \dots (7)$$

一方下流側河道タンクへの流下量 Qj は，不等流または等流の式で表現する。(図3 参照)

不等流(F< S)：

$$Q_j = \frac{A_j R_j^{2/3}}{N_j \sqrt{X_j}} \frac{H_j - H_k}{\sqrt{|H_j - H_k|}} \tag{8-1}$$

$$= G_j \frac{F_j}{\sqrt{|F_j|}} \tag{8-2}$$

ここに，

$$G_j = \frac{A_j R_j^{2/3}}{N_j} \quad F_j = \frac{H_j - H_k}{X_j}$$

等流(F≥S)：

$$Q_j = \frac{A_j R_j^{2/3}}{N_j} \sqrt{S_j} = G_j \sqrt{S_j} \tag{9}$$

ここに，A j,R j：河道タンク j の流水断面積および径深，Hj,Hk：河道タンク j,k の(代表点)水位，Xj,Nj：河道タンク j,k の間(代表点間)の距離およびマンニングの粗度係数，Sj：河床勾配。

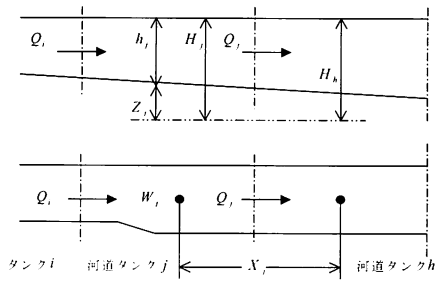


図3 河道タンク間の流れ

現実の流路では、 $S \leq 0$ の区間もありうるが、このような場合には区間長を短くとして、不等流計算を行う。

2.5 特殊な流れ

(1) 機械排水

干拓地など極端な低平地では、流域内に幾つかの排水機場が存在し、ポンプによる2段、3段排水が行われることがある。

いま図4のように、上下流タンクの水位を H_k , H_j と書くと、連続式は(2)または(7)式と全く同形であって、時点 $n+1$ の $m+1$ 次近似に対して、

$$Q_k^{m+1} = -\frac{W_k^m + W_k^n}{\Delta t} (H_k^{m+1} - H_k^n) + Q_j^n - Q_k^n + Q_j^{m+1} \dots \dots (10)$$

一方排出量 Q_k は、上下流水位差 p のみの関数として表現できる。

$$\left. \begin{aligned} Q_k &= f(p) \\ p &= H_j - H_k \geq 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots (11)$$

なお実用上は、上記の Q_k は α を定数として次のような2次式、あるいはさらに高次の式で近似できる。

$$Q_k = \alpha_0 + \alpha_1 p + \alpha_2 p^2 \dots \dots (12)$$

$$\text{ただし、} \alpha_0 > 0 \quad \alpha_1 \leq 0 \quad \alpha_2 < 0$$

(2) 無排水

下流側への排水ポンプが故障停止、あるいは上流側水位がある程度上昇するまで樋門を閉じているような無排水状態では、 $Q_k = 0$ になる。

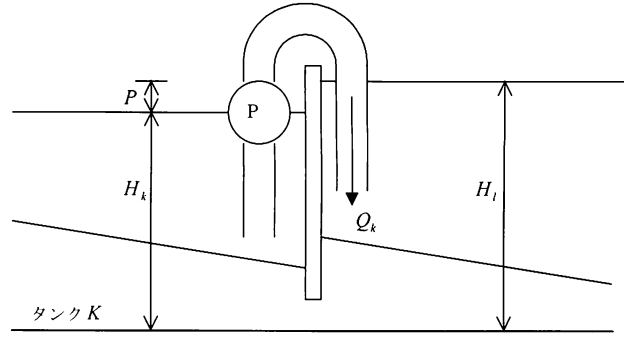


図4 機械排水

3 北村地区の概要

内水排除地区である北村地区は北海道の中央部に位置し、石狩川本流と旧美唄川に囲まれ、この2河川の合流点上流部に南北約5km、東西3km、面積約10.96km²のほぼ三角形の地域で、地形としては約1/1000の緩い勾配となっており、地区内標高は約9~11mでほぼ平坦な地形である。

このように北村地区は低平地流域で、湛水機能を持った水田区画が多数存在し、豪雨時には、内水氾濫により水田や畑作物が浸・冠水被害を受け易い状況にあるため、地区内に機械排水施設があり、洪水時には内水排除を行っている。

排水状況としては、排水本川として石狩川と旧美唄川があり、これに11条の排水路が連なり、当該内水域は伊藤樋門など12の樋門により自然排水される一方、機械排水は、北村排水機場でポンプ排水されている。排水機は口径1100mmのポンプ3台があり、計画排水量8.49m³/secを排水している³⁾。他に三区揚水機場があり、洪水時に排水機として用いられるが、その排水量は小さいので計算では無視する。図5に北村地区の平面図を示す。

4 北村地区の解析結果及び考察

本研究はいままで、北村地区の昭和56年8月の豪雨資料⁴⁾をもとに内水災害⁵⁾を調べ、遊水池モデルによる湛水解析⁶⁾および湛水位予測⁷⁾を行ってきたが、今回は不等流モデルを用いて低平地の洪水解析を行い、計算内水位を推定しようとするものである。

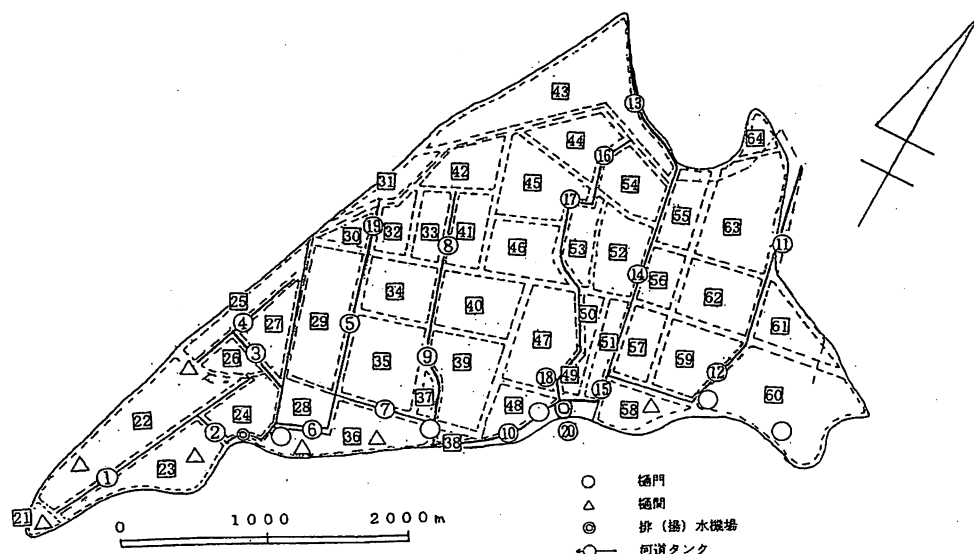


図5 北村地区対象流域分割図

このなかで、実測値と適合のよかった総タンク数64個（河道タンク20個、水田タンク44個）の流域モデルを用いた。この流域モデルの分割図を図5に併示し、その結果を図6に示す。

この結果をもとに、10年確率の湛水位を予測する方法として、10年確率の計画降雨量と計画外水量を推定し、それらを既知として用い、実測値と適合のよかった諸条件（河道底幅、越流水深、堰幅）をいくつか選定して湛水解析を行い、計画内水位を求めた。

計画内水位は機械排水を行った場合（ポンプ3台を運転させた場合）と機械排水を行わない場合について求め、比較検討した。なお、初期河道水深を1.4m、河道法面勾配を1:1に固定し、水田タンクの欠口の堰幅は1haあたり1mを標準とした。

水稻単作の場合、北村地区の標準最低田園標高を9mとした時、許容湛水深30cmを加えた許容湛水位9.30mを越える時間が24時間以上続くと、内水被害が甚だしくなる。このため計算内水位は、機械排水を行わない場合は湛水位が高く、許容湛水位を越える時間が長いため、内水被害が起こり易い。また機械排水を行う場合は許容湛水位9.30mを越える時間が24時間以内になるように設計されている。

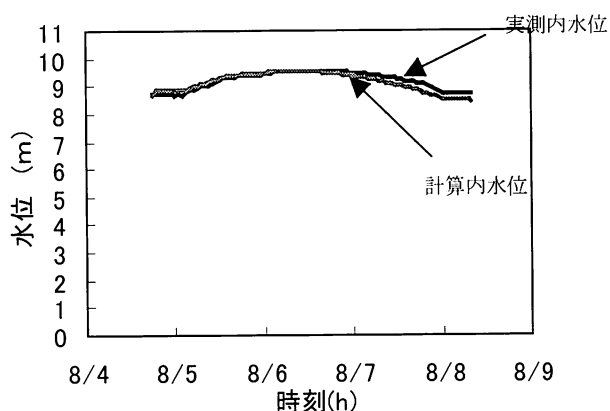


図6 実測内水位と計算内水位
(河道底幅27m、越流水深3cm、堰幅1m)

計画内水位が実測値と最も適合のよかった河道底幅27m、越流水深3cm、欠口の堰幅1mの条件で計算を行った。その結果を図7に示す。これによると、最高内水位は、機械排水を行わない場合は9.73mであるが、機械排水をポンプ3台で行った場合は8.88mであり、ポンプが十分機能しているといえる。

また、これらの条件についてポンプ運転台数を3台から2台、1台と変化させた場合も図7に併示し、表1に示した。

この結果、ポンプ2台以上では最高内水位が許容湛水位 9.30mを越えず、内水は安全側にあり、ポンプ1台の場合、許容湛水位を越える時間が6時間で水稲単作の条件である24時間以内を満たしており、ポンプ1台でも内水は安全側といえる。

しかし、汎用農地の場合について考えると、北村地区の標準最低田面標高 9mを越える時間はポンプ3台の場合は0時間、2台と1台の場合はそれぞれ4時間と30時間となっており、畑作の場合、湛水が認められないため、ポンプ2台以下の場合ではポンプの容量が不足しているといえる。つまり、水稲単作の対応ならば、ポンプ1台以上あれば十分であるが、汎用農地の場合、ポンプ3台を運転させ、無湛水にする必要がある。

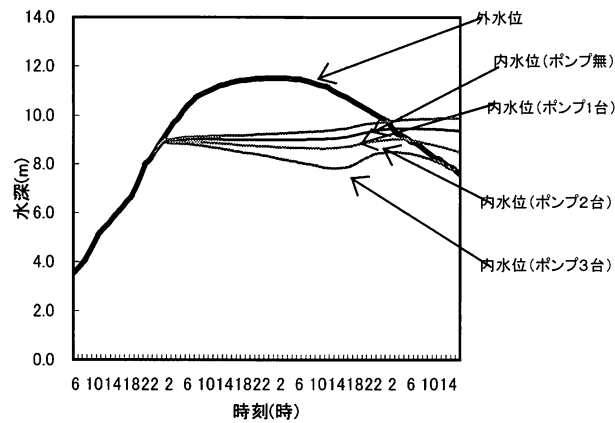


図7 計算内水位
(河道底幅 27m、越流水深 3cm、堰幅 1m)

表1 ポンプ運転台数による許容湛水位を越える時間

ポンプ運転台数 (台)	3	2	1	0
最高内水位(m)	8.88	9.02	9.45	9.73
許容湛水位 9.3mを 越える時間	0	0	6	25
標準最低田面標高 9.0mを越える時間	0	4	30	45

5 まとめ

一般に、畑作物は水稲に比べ、湛水地表水は勿論のこと過剰な土壌水分を嫌い、浸・冠水すると生育・収量は壊滅的被害を受ける。

このように、湛水被害を受け易い畑作物が水田基盤の畑地に栽培され、水田水稲と混在する場合、今までの水稲対応の内水排除対策だけでは農業被害の軽減・防止は困難である。

本研究では、不等流モデルによる内水排除地区の湛水位予測を行ったが、その結果北村地区に10年に1回程度の豪雨が起きた場合、水稲単作でも汎用農地でも、ポンプの運転台数を変化させることにより、現在の施設でも十分に対応できることがわかった。

畑地転換に伴う湛水被害防止のため、既存排水系施設の有効的な活用⁸⁾をさらに発展させ得るものといえる。

参考文献

1) 角屋陸・早瀬吉雄：流出解析手法(その13)，農業土木学会誌，第49巻，第3号，pp37～46，1981.
2) 角屋陸・早瀬吉雄：流出解析手法(その14)，農業土木学会誌，第49巻，第4号，pp45～56，1981.
3) 北海道開発局：国営北村地区土地改良事業計画添付書Ⅰ，p33，1969.
4) 監修北海道開発局：昭和56年洪水報告書(総括編)pp1～336，(資料編)pp1～302，1982.
5) 秋野隆英：昭和56年8月豪雨における内水排除地区の内水災害と降雨の水文統計的評価－既存排水系施設の有効的内水排除(1)－，苫小牧工業高等専門学校紀要第20号，pp119～127，1985.
6) 秋野隆英・嵯峨浩：昭和56年8月豪雨における内水排除地区の湛水解析－既存排水系施設の有効的内水排除(2)－，苫小牧工業高等専門学校紀要第20号，pp129～140，1985.
7) 秋野隆英・嵯峨浩：内水排除地区の洪水時湛水位予測－既存排水系施設の有効的内水排除(3)－，苫小牧工業高等専門学校紀要第21号，pp133～140，1986.
8) 秋野隆英：有効的内水排除とその対策－既存排水系施設の有効的内水排除(4)－，苫小牧工業高等専門学校紀要第22号，pp105～109，1987.

(平成16年12月13日受理)