

大区画水田整備地域における 配水管理手法の検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム
(株) アルファ技研

○古檜山 雅之
中村 和正
櫻庭 主盛

北海道の水田地域の一部では、圃場の大区画化とあわせて、配水系のパイプライン化や地下灌漑システムの整備などが行われている。このような地域では、従来の圃場水管理体系が変化し、用水需要の変動が想定されるため、地域全体での円滑な配水に影響を与える可能性がある。このため著者らは、これら地域での配水管理手法を検討するため、整備後の用水需要を想定した配水シミュレーションを実施した。本研究では、配水シミュレーションの概要と実施結果の一例を報告するとともに、今後の研究方針について述べる。

キーワード：配水シミュレーション、定常流解析、大区画水田

1. 研究の背景と目的

我が国の農業は、農業従事者の高齢化や後継者不足といった厳しい状況に直面している。北海道においても、担い手による離農跡地の継承が進んでおり、大規模水田地域では、近い将来に戸当たり経営面積が30haという大規模経営に移行する地域もあると予測されている¹⁾。このような地域では、大型機械の導入等による農作業の効率化や水田の高度利用が可能となる農業基盤整備が急務とされている。そこで、上川や空知を中心とした水田地帯では、国営農地再編整備事業等による水田の大区画化や排水機能強化のための暗渠整備が進められている。

事業では、配水系のパイプライン化や地下灌漑システムを整備する事例が多く見られる。一般にパイプライン化は、圃場取水口での水管理労力の軽減や水路用地の有効利用などの利便性があり、地下灌漑システムの導入は、水稲直播栽培初期の水管理を容易にするなど、多くのメリットがある。しかし、配水系のパイプライン化によって需要主導型の水管理に変化するため、取水時間帯の集中による不均等配水が生じるなど、管内流量の日内変動が顕著化する。また、水稲直播栽培における特有の水管理や無代かき栽培によって圃場単位用水量の増加が見込まれるなど、地域の用水需要が大きく変動することが想定される。このため、地域全体における安定的な配水管理が課題となる。

そこで著者らは、大区画水田圃場整備地域での円滑な配水管理技術の開発に寄与することを目的として、北海道空知管内の大区画水田整備地域の一部を対象に、整備後の用水需要を想定した配水シミュレーション（以下、

シミュレーション）を実施した。本研究では、シミュレーションの概要と、平成24年度に実施した計算結果の一例を解説し、今後の研究方針を整理した。

2. シミュレーション手法

通常、配水管路系での流況を再現する場合には、定常流解析が用いられる。特に、管網や樹枝状などの複雑な管路系での計算法は、各管路の流量を未知数とした流量補正法や、各管路の交点（以下、節点）のエネルギー位を未知数とする圧力補正法に大別されるが、ここでは、圧力補正法の一つである高桑の節点エネルギー位法²⁾を用いて流況計算を行うこととした。この計算法は、未知数である節点のエネルギー位を仮定して各節点における流量を計算し、その閉合差が収束するまでエネルギー位の仮定値を補正しながら計算を繰り返して、配水管路系の定常流況を算出するものである。

本研究で行うシミュレーションには、この定常流解析を応用したシミュレーションプログラム³⁾を用いた。シミュレーションの計算フローを図-1に示す。配水管路系とその末端にある圃場群から構成される計算モデルを作成し、実際の用水需要を勘案して取水開始時刻と給水栓開度を決め、節点エネルギー法により各給水栓での取水量を計算する。この取水量がある一定時間 Δt 継続すると仮定し、 Δt ごとにそれまでの各圃場の取水量を積算する。ある圃場での取水量が必要水量に到達したらその圃場の給水栓開度をゼロとして再度開閉条件を入力して次の Δt についての計算を行う。最終的に全ての圃場において必要水量となる取水が完了したら計算を終了する。これにより、配水状況の時間的変化を再現すること

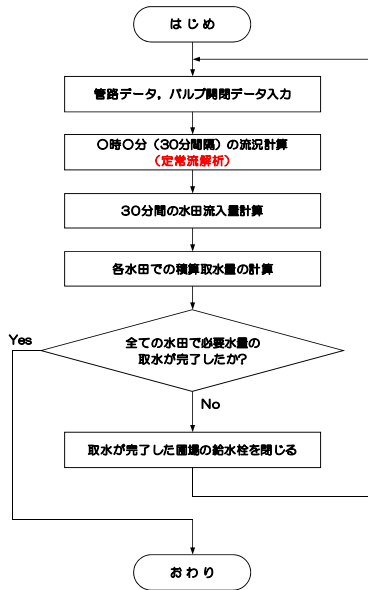


図-1 シミュレーションの計算フロー

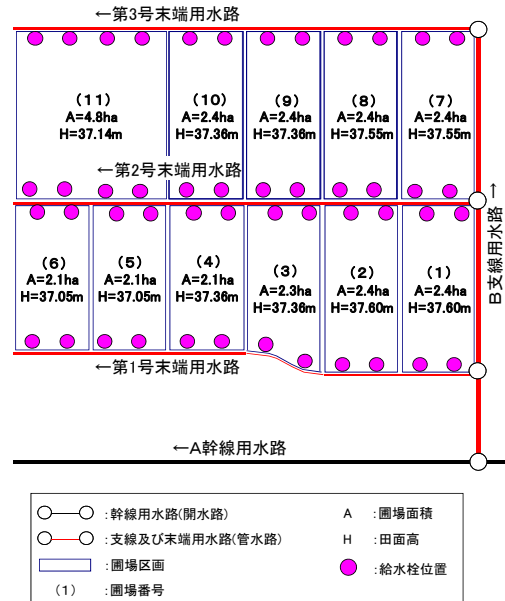


図-2 対象圃場の概要

ができる。なお本研究では、 Δt を30分間とした。

3. 計算モデルの設定

(1) 対象地域の概要

シミュレーションの対象とした圃場群は、北海道空知管内にあり、A幹線用水路から分水するB支線用水路掛かりの水田11筆で、面積は27.9haである。概要を図-2に示す。これら圃場群は、2009年から実施されている国営農地再編整備事業の受益地であり、2010年に区画整理工事が行われた。地区内の配水系はパイプラインで整備されている。また事業では地下灌漑システムの整備も進められており、これを契機として水稻直播栽培に取り組む農家もある。当該地域は、水稻作付面積のうち約4%が水稻直播栽培であり、そのほとんどが湛水直播栽培であるが、近年は代かきを行わない乾田直播栽培も導入され始めており、栽培様式の変化に伴い地域の用水需要も変動していくことが想定される。

(2) 計算モデル

対象圃場群の基礎諸元を表-1に、配水系の配管や給水栓等の節点位置を表した計算モデルを図-3に示す。図-3に示した節点のエネルギー位を仮定して定常流解析を行う。管路系に用いられている管種は塩化ビニル管である。管内の摩擦損失水頭はヘーゼン・ウィリアムズ式で計算した。なお、流速係数Cは土地改良事業設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」による硬質ポリ塩化ビニル管の標準値150を使用した。

表-1 基礎諸元

受益面積	27.90 ha
圃場数	11
計画用水量	
代かき期	0.2025 m ³ /s
普通期	0.1601 m ³ /s
深水期	0.1858 m ³ /s
管路延長	
B支線用水路	405.89 m
第1号分派	551.13 m
第2号分派	546.77 m
第3号分派	811.92 m
管種	塩ビ管(VU)

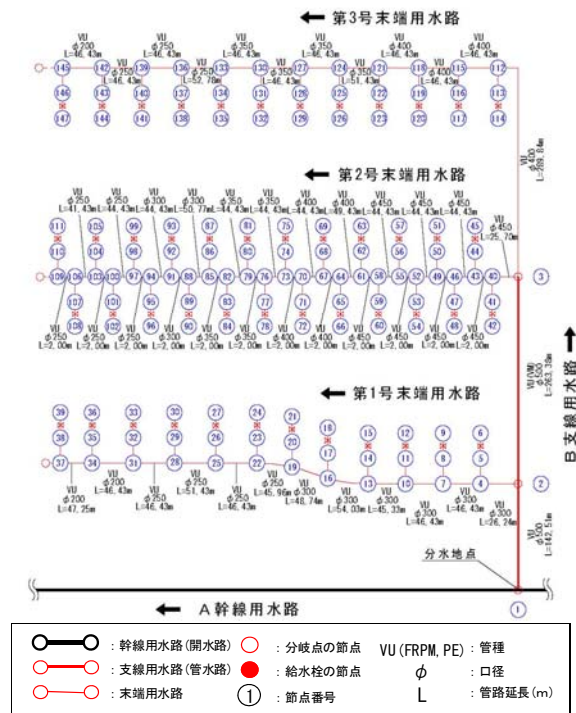


図-3 計算モデル

(3) シミュレーションの条件

シミュレーション実行のために必要な入力条件について、次の3点を設定した。

a) 営農条件

シミュレーションの実施にあたっては、地元関係機関等から聞き取った当該地域の営農実態と将来の営農計画を反映させることとした。水稲作付け率は、地域の現況である75%とし、全11筆中8筆を水稲作付け圃場とした。また、水稲作付けのうち直播栽培の割合は、今後の地域営農計画から50%とした。なお、本研究で対象とした直播栽培は、湛水直播栽培である。

b) 取水圃場の選定条件

同一支線水路掛かりにおいて、代かき取水等の取水作業を全圃場で一斉に行うことは、地域での配水管理を困難にする可能性があり現実的ではない。ここでは、シミュレーションプログラムを用いて分水地点に近い圃場から順番に給水栓開度を全開にする計算を行い、分水地点の流量が計画用水量（代かき期）を超えた時点において取水が完了した圃場の数を同時取水可能圃場数として設定した。計算結果を表-2に示す。圃場数が4筆になったときの合計取水量が0.2456m³/sとなり、代かき期の計画用水量0.2025m³/sを超えることから、本モデルでの同時取水可能圃場数を4筆とした。

次に、取水を行う4筆の圃場を選定した。本シミュレーションの目的は、円滑な配水の可否を検討ことであるため、対象圃場群の中から水理条件に恵まれない圃場を選定する必要がある。このため、1筆ずつで給水栓を全開にしたシミュレーションを全筆で行い、ある水深（ここでは30mmに設定）に到達する時間の遅かった4筆を取水圃場として選定した。計算結果を表-3に示す。

c) 水需要パターン

寒地土木研究所水利基盤チームでは、2011年度より対

象圃場群近傍にある大区画水田圃場において、灌漑期における圃場地下水位や湛水深の現地観測調査を行っており、これらの調査結果から、対象地域で整備された大区画水田圃場における用水需要特性について整理した（表-4）。この調査結果を参考に、シミュレーションに用

表-2 同時取水可能圃場数

圃場名	取水量(m ³ /s)	
	3圃場で取水	4圃場で取水
(1)	0.0666	0.0631
(2)	0.0659	0.0622
(7)	0.0663	0.0603
(8)	-	0.0599
合計	0.1987	0.2456
(計画用水量)	0.2025	

表-3 取水圃場の選定

圃場番号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
水深30mm	300	360	330	360	330	360	360	390	390	420	390
到達時間(分)											
シミュレーション対象とする圃場								○	○	○	○

圃場番号は図-2を参照

表-4 地域の用水需要特性

取水作業項目	取水間隔	取水作業項目1回あたりの取水時間	取水量	
		日	h	mm
代かき	荒かき	-	18.2	58.8
	仕上げ	荒かきの翌日	20.3	44.9
	移植	仕上げの3日後	21.2	29.6
初期入水	-	10.5	46.4	
浅水管理	6	14.9	93.0	
普通期	5	14.8	34.7	

表-5 取水パターン一覧

圃場記号と作付作物		日														
圃場記号	作付作物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a	直播	初						浅水						浅水		
b	直播	初						浅水						浅水		
c	直播	初						浅水						浅水		
d	直播	初						浅水						浅水		
e	移植		荒	仕			移植					普				
f	移植		荒	仕			移植					普				
g	移植		荒	仕			移植					普				
h	移植		荒	仕			移植					普				
i	転作畑															
j	転作畑															
k	転作畑															
合計取水量 (m ³ /s/ha)		0.049	0.036	0.024	0.000	0.000	0.016	0.090	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.090	0.000	0.000

圃場記号と作付作物		日														
圃場記号	作付作物	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a	直播	初						浅水						浅水		
b	直播	初						浅水						浅水		
c	直播		初						浅水						浅水	
d	直播		初						浅水							
e	移植			荒	仕			移植					普			
f	移植			荒	仕			移植					普			
g	移植			荒	仕			移植					普			
h	移植			荒	仕			移植					普			
i	転作畑															
j	転作畑															
k	転作畑															
合計取水量 (m ³ /s/ha)		0.025	0.025	0.018	0.030	0.012	0.000	0.053	0.053	0.000	0.000	0.000	0.012	0.057	0.045	0.000

※初:初期入水 荒:荒かき 仕:仕上げ 移植:移植作業用水 浅水:浅水管理 普:普通期管理
 ※「合計取水量」は、表-4に示す作業項目ごとの取水量をm³/s/ha単位に換算したものの合計値である。

いる取水パターンや必要水量などの水需要を設定した。取水パターンは、地域の標準的な取水作業項目や取水間隔などを踏まえ、各圃場での合計取水量が最大となるものを想定した。すなわち、表-5の太枠で示した2パターンである。また、シミュレーションの対象とした各パターンについて、給水栓開度を全開にした場合と、水需要特性で整理した実態の取水量に合わせた中間開度のそれぞれ2パターンを選定し、合わせて4ケースでシミュレーションを実施した。シミュレーションケースの一覧を表-6に示す。

表-6 シミュレーションケース一覧

シミュレーション ケース名	取水パターン		給水栓の開度
	番号	パターン説明	
ケース1	1	4筆で浅水管理	全開
ケース2	1	4筆で浅水管理	中間開度(H23実態)
ケース3	2	2筆で浅水管理 (8) (10) 2筆で普通期管理 (9) (11)	全開
ケース4	2	2筆で浅水管理 (8) (10) 2筆で普通期管理 (9) (11)	中間開度(H23実態)

4. シミュレーションの実施結果と考察

各ケースにおける取水開始からの経過時間と圃場での取水量の変化を図-4に、分水地点での流量変化を図-5に示す。

4筆全てで浅水管理のための取水を行ったケース1および2では、いずれの圃場でもほぼ同じ取水時間で必要水量に到達しており、圃場間での水理条件に差異はみられなかった。しかし、給水栓を全開とした場合でも取水完了まで約14時間を要した。浅水管理では、田面付近での湛水管理を行うため、目視確認が可能な時間帯で取水を完了しなければならない。今回のシミュレーションでは、1回あたりの取水量が大きくなる浅水管理が集中して行われると水理条件の厳しい圃場では取水時間が長くなることが示唆された。このため、これらの圃場では目視確認可能な時間帯での取水完了が困難となり、農家の水管理にも支障を来すこととなる。したがってこのような期間では、地下灌漑システムの水位調整機能を活用してある程度高い地下水位を保持するにより、取水時間を短縮することが有効的であると考えられる。

ケース3では、普通期取水である2筆 (9)圃場と(11)圃場)が約6時間で取水完了しており、浅水管理においても、ケース1と比較して2時間程度早く取水が完了している。しかし、浅水管理のための取水が2筆の場合でも、ケース3のように給水栓を全開にする圃場水管理を行うと、分水地点での取水量が計画用水量を超過する時間帯がみられた。このため、今後湛水直播栽培が地域で定着する場合には、地域全体で安定した配水管理を行うため、

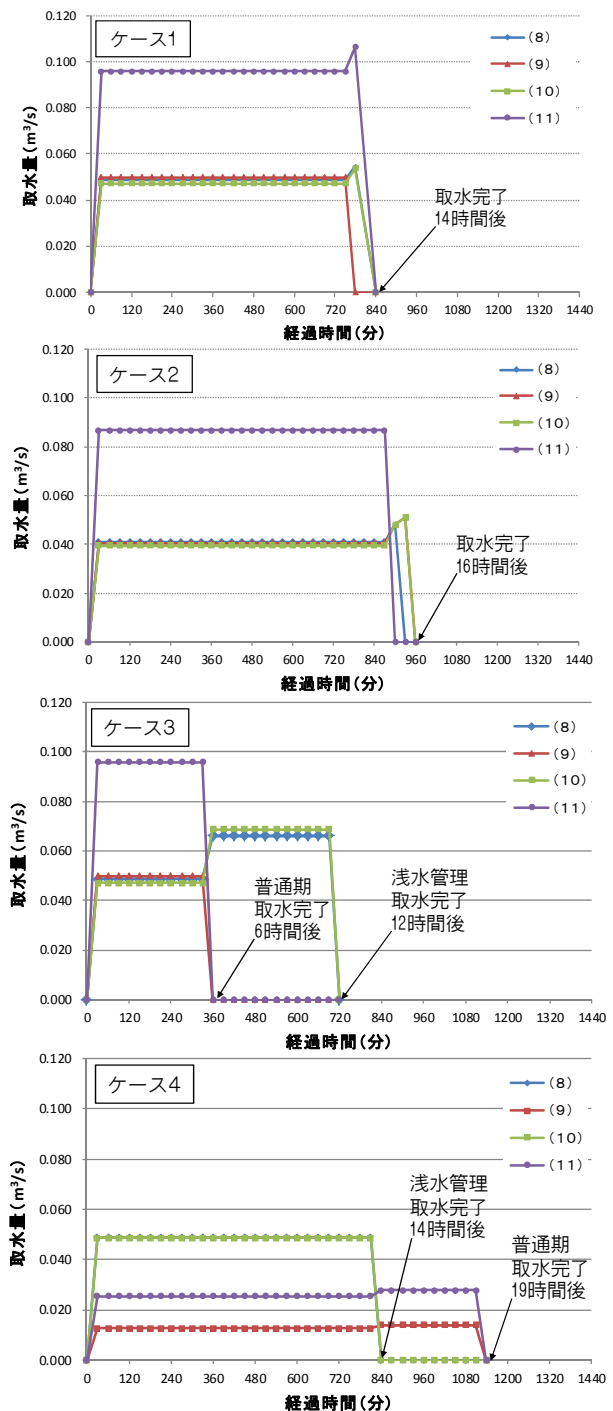


図-4 取水開始からの各圃場での取水量変化

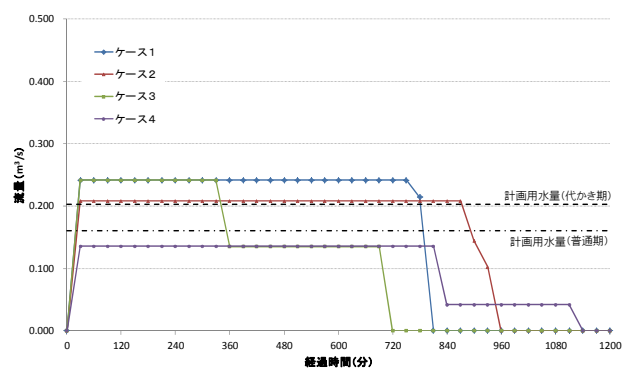


図-5 取水開始からの分水地点での流量変化

浅水管理など直播特有の取水による用水需要の変動を十分把握しておく必要がある。

ケース4では、普通期取水に約19時間を要しており、冷害対策として水温上昇を考慮した夜間取水や早朝取水を行いたい場合でも、目標とする時間までに取水を完了できない可能性がある。ケース4の場合、分水地点での流量には余裕があるため、許容の範囲内において給水栓開度を調整し、冷害対策としての水管理を速やかに行う必要がある。

5. おわりに

大区画水田整備地域を対象として、現況の営農実態および将来の営農計画を踏まえた配水シミュレーションを実施した。北海道の水田地帯における取水の特徴の一つとして、水稻生育初期の冷害危険期対策としての間断灌漑がある。この時期において、水温上昇を図るための早朝一斉取水による水需要の集中による不均等配水が、配水管理上の課題の一つとして報告されている⁹⁾が、今後、水稻直播栽培が北海道の大区画水田整備地域で定着すると、今回のシミュレーションで検討した浅水管理などの特徴的な水管理期間における配水管理が課題となるであろう。浅水管理では、短時間で多くの用水が必要となるため、取水を行う圃場数や各圃場での給水栓開度の調整方法などを検討する必要がある。今後は、これらの時期

に必要な用水量を適切に把握するとともに、現行の用水計画でも安定した取水が可能となるような配水管理を行うことが重要である。

今後の研究方針として、今回実施したシミュレーションを、約80haの大区画水田圃場群を対象として実施することとしている。これについては別報にて報告する。さらに事業が進み、整備圃場の諸元が決まれば、1,000ha程度の規模でのシミュレーションも可能となる。このようなシミュレーションを検討材料の一つとして、大区画水田整備地域における配水管理技術の開発に寄与したいと考えている。

参考文献

- 1) 細山隆生ほか：道央水田地帯における農業構造の変化と将来動向予測—上川支庁、空知支庁を対象として—，北海道農業研究センター研究報告，第181号，pp.15-41(2004)
- 2) 高桑哲男：配水管網流量計算法に関する研究（Ⅲ）—節点エネルギー法を未知数とした計算法—，水道協会雑誌，第423号，p46～p60(1969)
- 3) 長谷川和彦ほか：水田パイプラインでの配水均等性評価手法—節点エネルギー法を応用した配水シミュレーション—，農業土木学会北海道支部研究発表会講演集，p25～p30(2001)
- 4) 古檜山雅之ほか：地下灌漑を行う大区画水田圃場における圃場水管理と用水需要特性，農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集，p46-49(2012)
- 5) 中村和正，島崎昌彦：北海道における水田圃場の取水について，農業土木学会論文集，No.178，pp.137-143(1998)