上下流水位制御ゲートによる水路内貯留量の再配分機能について (II) —貯留量反応型ゲートにおける需給ギャップ発生時のシミュレーションによる検証—

稲垣仁根¹・益田和範²

Redistribution Function of Channel Storage Implemented Using Upstream and Downstream Water Level Control Gates (II)

-Simulation analysis of the supply and demand deficit using level-reactive gates-

Hitone Inagaki¹ and Kazunori Masuda²

Abstract: In a waterway with upstream and downstream water level control gates in ten locations, a water level decrease may occur in the event of a supply and demand deficit. For this reason, field tests were conducted, which found that the drawdown is caused by the water level setting of the water level control gate. Using a water level setting method to control the downstream water levels of level-reactive type gates, simulations were conducted to study the supply and demand deficit of the water quantity and the channel storage redistribution function for 11 pools located between two gates. When the channel storage is insufficient in downstream pools, a supply and demand deficit has occurred. Use of the water level setting method for the level-reactive type gate proved impossible to compensate for the deficit. This is because the level-reactive gate requires time for the upstream transmission of the hydraulic information related to the drawdown of the downstream gate, resulting in ineffective movement of the storage amount.

Keywords: Upstream and downstream water level control gate; Channel storage; Level-reactive gate; Redistribution function

1 はじめに

愛知用水は、幹線総延長が約112kmに達する長大な幹線送水システムであり、取水地点の兼山取水工から佐布里池までの上中流部の約85kmと佐布里池から美浜調整池までの下流部の農業用水専用区間約27kmから構成される。農業用水専用区間においては、長い水路延長に沿って自由水面を有することによる位置エネルギーと水路内貯留量を活用することにより、水管理労力の軽減を図る目的で、上下流水位制御ゲート（益田ら、2007；稲垣ら、2011；益田、2012）を導入した。

上下流水位制御ゲートの実運用を開始したところ、送水量が需要量より少なくなる需給ギャップが発生した場合に、貯留量の移動がスムーズに行われず、通水障害が発生している区間が存在していた。そこで、稲垣ら（2014）は、需給ギャップが発生した場合の現地試験の結果を分析して、この通水障害の原因として、ゲートの下流水位設定をチェック水位より下方に設定する貯留量反応型のゲート設定水位に原因がある可能性を示している。

しかし、貯留量反応型のゲート水位設定において、需給ギャップが発生した場合のチェック間の貯留量の再配分機能と需要量に対する補充状況については、現地試験の結果からは、十分に確認できていない。

そこで、貯留量反応型のゲート水位設定を用いて、シ

ミュレーションを行って、需給ギャップ発生時の貯留量の再配分機能と需要量に対する補充状況について検証を行い、内部構造の詳細について、明らかにした。

2 上下流水位制御ゲートの特徴

2.1 ゲートの作動機構

上下流水位制御ゲートの作動機構を図1に示すが、基本的な構造は、フロート式上流水位一定ゲート（稲垣ら、2002）と同じである。上流水位一定ゲートから変更のあった機構としては、ゲート下流の水槽に水位検知フロート、ゲート上流の水槽にバルブと注水口、両者をワイヤーで結合するフィードバックリンクが追加された点である。

一般的な下流水位制御ゲートは、ゲートの下流水位が設定水位より低い場合は、ゲートを開けて下流へ需要量を送水し、上流水位とは無関係に作動する。本ゲートについては、ゲート上流水位が注水口より高い場合においてのみ、下流水位制御が機能するので、上流水位の過剰な低下を防ぐことができる。

さらに、本ゲートを直列に連続して配置する場合は、下流側の需要量増加等により、ゲート下流側で水位低下が生じた場合、フロートによりこの水位低下を検知して、ゲートが開いて上流側の貯留量を下流に送り出すことになる。これにより上流水位を低下させて、これを順次上流のゲート群へ伝達して、連続的に上流部の貯留量を下流部へ移送することになる。ただし、本ゲートは、上流水位と注水口の間に貯留がある場合に、下流水位制御が限定的に作用することに特徴がある。上下流水位制御ゲートの制御水位と作動原理については、前報

¹ 宮崎大学農学部教授, Professor, Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, 1-1 Gakuen Kibanadai-nishi, Miyazaki 889-2192, Japan (Corresponding Author) E-mail: a03221u@cc.miyazaki-u.ac.jp

² 愛知・豊川用水振興協会副理事長 Vice-president, Waterworks Advancement Association of Aichi and Toyokawa, 1-50 Shirakabe, Higashi-ku, Nagoya-shi, Aichi, 461-0011, Japan

図 1: 上下流水位制御ゲートの概要

(稲垣ら, 2014) に詳しく記述しているので, 参考にされたい。

2.2 ゲート制御水位

貯留量反応型のゲート制御水位を図 2に示すが, 静水位(チェック水位)は二期事業により見直しが行われており, この水位をゲート上流側の上限水位とする。上流側受水槽流入口の高さは, この上限水位に一致しており, ゲート上流側の幹線水位は, 受水槽への流入量と連動したゲートの開閉により上限水位に保たれる。

また, 支線側への分水位を確保するためには, 従来, 運用していたチェック水位をゲート上流側の下限水位として設定し, 幹線水位をそれより上に保持することとした。そこで, 上流側注水口の高さを下限水位に一致させた。下限水位と上限水位の差は, 0.25~0.40m程度であり, この差が貯留水深となって, 水路内貯留量として反映される。

さらに, ゲートの下流側水位検知フロートの設定水位を下流設定水位とする。なお, 貯留量反応型の下流設定水位は, 図 2に示すように, 静水位(チェック水位)以下に設定し, 貯留量の減少に反応させる方法である。

図 2: 貯留量反応型のゲート設定水位

2.3 水路内貯留量と通水時貯留量

初期の水路内貯留量は, 図 2に示すチェック区間下流側ゲートの静水位(チェック水位)と下限水位との間に挟まれた長方形の領域である。また, 通常の通水時は, 静水位と動水位に囲まれた三角形の部分に通水時貯留量が保持されている。

図 3: 需給ギャップ発生時のゲート作動状況

2.4 需給ギャップ発生時のゲート作動

需給ギャップは、実際に取水送水した供給量と実際の分水による需要量との間に差が生じることを意味している（稲垣ら，2014）。

貯留量反応型のゲートを3台直列に設置した場合を想定し、定常状態から分土工の分水量が上流側へ向けて順次増加する場合、ゲートの作動状況を図 3に示す。これは、上流側からの供給量が減少して、需要量に対して下流側から用水が不足する状況が発生する場合にも相当する。図 2の定常状態を①段階とし、図 3に通水停止に至る②～⑥段階を示し、各段階の水位とゲートの作動状況をまとめた。

- ①段階：動水位が静水位（チェック水位）より上にあり、供給量と需要量が均衡している定常状態である。なお、上限水位は、静水位と同じ高さである。
- ②段階：ゲートⅢより下流側の分水量が増加し、通水時貯留量が消費され、動水位が上限水位以下に低下する。
- ③段階：ゲートⅢより下流側については、需要量が多いため、水位が下流設定水位まで低下し、ゲートⅢでは下流水位制御が作動する。その結果、ゲートⅡ～Ⅲ間の通水時貯留量が消費され、動水位が上限水位以下に低下して、さらに、水路内貯留量をゲートⅢの下流側へ放流する。
- ④段階：ゲートⅢより下流側では、過剰分水が継続するため、水位が下限水位まで低下する。ゲートⅡ～Ⅲ間では、分水量が増加するので、ゲートⅡ下流側の水位が下流設定水位まで低下し、ゲートⅡに下流水位制御が作動する。
従って、ゲートⅡ～Ⅲ間の水路内貯留量の大部分を消費した後に、ゲートⅡの下流水位制御が作動する結果となる。ゲートⅡ～Ⅲ間の動水位は、ゲートⅡの下流設定水位とゲートⅢの下限水位の狭い範囲に維持される。
- ゲートⅡに下流水位制御が作動した結果、ゲートⅠ～Ⅱ間の通水時貯留量が消費され、動水位が上限水位以下に低下して、さらに、水路内貯留量をゲートⅡの下流側へ放流する。
- ⑤段階：ゲートⅢより下流側では、水位が下限水位より低下する。ゲートⅡ～Ⅲ間では、水位が下限水位まで低下するため、下流水位制御が停止され、ゲートⅢが閉鎖し、通水が停止する。
- ゲートⅠ～Ⅱ間の分水量が増加するので、ゲートⅠ下流側の水位が下流設定水位まで低下し、ゲートⅠに下流水位制御が作動する。ゲートⅠ～Ⅱ間の動水位は、ゲートⅠの下流設定水位とゲートⅡの上限水位の狭い範囲に維持される。
- ⑥段階：ゲートⅡ～Ⅲ間では、水位が下限水位以下に低下する。ゲートⅠ～Ⅱ間では、水位が下限水位まで低下するため、ゲートⅡの下流水位制御が停止され、ゲートⅡが閉鎖し、同様の機序によりゲートⅠも閉鎖すると、ゲートⅠ～Ⅲの全体の通水が停止する。

なお、実際の水路システムにおいては、水路底標高、チェック間の延長、チェック水位、サイホン、トンネルなどの要因が複雑に関係するので、ゲートの作動状況をシミュレーションにより確認する。

3 設定条件

本報告では、需給ギャップが発生した場合について、貯留量反応型の水位設定を行って、水路内貯留量の再配分をシミュレーションにより再現して、検証を行った。

シミュレーションによる再現と機能検証に必要なゲート制御水位、供給量、分水量について、諸元を整理して示す。

表 1: ゲート設定水位（貯留量反応型）

チェック	水路底高 (EL.m)		上限水位 (EL.m)	下限水位 (EL.m)	下流設定水位 (EL.m)	貯留水深 (m)	下流設定水位低下 (m)
	上流	下流					
北池	29.538	29.509	31.520	30.720	30.970	0.800	0.190
半田	29.060	29.051	31.160	30.910	30.210	0.250	0.012
成岩	28.070	28.015	30.222	29.900	29.122	0.322	0.027
板山	27.078	26.713	29.149	29.000	28.169	0.149	0.211
松原	26.335	26.459	28.380	28.130	27.286	0.250	0.024
大脇	25.463	25.401	27.310	27.110	26.240	0.200	0.130
鶴の池	24.470	24.253	26.370	26.020	25.568	0.350	0.128
菅刈	24.159	24.125	25.696	25.470	24.697	0.226	0.033
河和	23.323	23.236	24.730	24.620	24.390	0.110	0.030
内海	22.860	22.414	24.420	24.170	23.756	0.250	0.084
美浜	22.200		23.840

図 4: チェック地点の累加分水量と供給量の時間変化

3.1 ゲート設定水位

表 1に貯留量反応型の設定水位を示す。最上流の北池と最下流の美浜のチェックゲートについては、実際の運用では、上流水位一定ゲートが設置されている。上流端の桜鐘における流量管理は、桜鐘～北池間の水位を一定範囲に維持するように、桜鐘からの供給量を管理している。従って、北池のチェックゲートについては、上下流水位ゲートと同様の運用が行われているので、シミュレーションにおいては、上下流水位ゲートを適用し、斜体で示した設定水位を使用している。

愛知用水においては、通常の管理では、下流設定水位を下流側のチェック水位より、0.01～0.20m程度下げた貯留量反応型で設定して(図 2, 表 1の下流設定水位低下)、運用している。これにより、夜間などで、通水量がほとんどなくなる場合、設定誤差や波立ちなどにより、

ゲートがわずかに開いて貯留水が流出する可能性を防止できる。

また、表中の下流設定水位低下は、当該チェックの下流設定水位と下流側チェックの上限水位との差を示したものである。ゲートは、需給量のギャップによる水位低下に反応して作動するため、下流設定水位低下の値が大きいほど、ゲート作動において、時間遅れを生じる。

3.2 分水量と供給量

図 4 に各チェック地点における累加の分水量と桜鐘における供給量を示す。最末端の美浜調整池と美浜チェック間の師崎分土工を除く農業用水専用区間の57カ所の分土工における分水量と最上流端の桜鐘からの供給量（0～13時）は、需給ギャップ発生時における実績値を用いた。なお、シミュレーションにおける初期状態の再現のために-1時から供給を開始している。

図 5: チェック地点の水位変化図

3.3 シミュレーション手法

開水路の1次元の不定流については、摩擦損失に Manning 則を適用した場合の運動方程式と連続方程式を中心差分スキーム(白石, 1969)で差分化して、流速と圧力を求める。

さらに、開水路の運動・連続方程式を中心差分スキームで解く過程において、チェックゲートのフロートの作動機構の運動方程式は、4次のルンゲ・クッタ法による数値積分を用いて解き、ゲート流量を算出する(稲垣ら, 2011)。

4 幹線水路の流況

幹線水路の水位と流量について、チェック地点の水位と流量の時間変化を図 5, 7 に示し、2時間目と10時間目水位の縦断面図を図 6 に示した。図 7 については、上流部のチェック流量をマイナス軸で示した。

図 6: 水位縦断面図

4.1 送水開始時の用水到達

桜鐘から-1時間で供給を開始してから3時間目までは、桜鐘の供給量が需要量を上回っており、供給量が約2時間で最下流の美浜に到達している。幹線水路全線においてチェックゲートが上流水位一定制御の作動をして、動水勾配がチェック水位より上の空間に維持され、通常の動水位が形成されている。

本用水路と同じ条件でチェックゲートがない空の水路に流入させた場合は、空虚な状態から水面形を形成する必要がある。桜鐘から美浜までの用水到達時間は8.5時間程度(平均流速に換算して1m/s程度)を要する。

本地区では、チェックゲートを直列に複数配置して、チェック水位以下に静止時の水量を常時確保した状態で、送配水量を管理するので、通水時はチェック間の静水面上に動水勾配を作ることに対応でき、桜鐘から美浜での用水到達は2時間程度(波速に換算して4m/s程度)と短縮されている。

4.2 分水継続時

4時～10時の間は、需要量が桜鐘からの供給量を上回っており、幹線水路の水位が徐々に低下している。貯留量反応型においては下流部の水位低下が顕著である。

上流部(北池～板山)の水位低下は少ないが、桜鐘からの供給量が上流側の分水量に優先的に充当されていることによる。また、中流部(桧原～鶴ノ池)から下流部(菅刈～美浜)では、6～10時間にかけて、水位低下が発生しており、動水勾配が形成されておらず、水面が上下流で平行に低下している。

特に、下流部の菅刈から美浜にかけてのチェック間で、水路水位がチェック水位および下限水位を大きく下回っ

ており、通水障害が発生している。この需給ギャップ時の通水障害の発生は、現地試験においても確認されており（稲垣ら，2015），貯留量の再配分機能が十分に作動していないものと考えられる。

図 7: チェック地点の流量変化図

4.3 分水停止時

10～16時間目にかけて分水が停止され、供給量も減少して、需要量と拮抗するため、水位低下は停止している。しかし、幹線水路内では貯留量の再配分が継続して行われており、中下流部のチェックにおけるゲートの開閉のハンチングに起因する水位と流量の震動が生じている。なお、大脇チェックから下流部におけるゲートのハンチングは、現地試験においても確認している（稲垣ら，2015）。

図 8: 水路内貯留消費量の概念図（貯留量反応型）

5 貯留量の再配分機能を示す指標

5.1 水路内貯留消費量と計画分水量

チェック区間の水量の収支を検証するために、図 8 に示

すように、幹線水路のチェックゲートに挟まれた区間について、上流からの流入量 Q_{in} と下流側への流出量 Q_{out} の差 ΔQ_{io} に時間差分 Δt を乗じて、チェック区間の水路内貯留の消費量 ΔV_{io} と定義した。

また、各チェック区間に配置されている複数の分土工における実績の分水量を累計して、チェック区間分水量 Q_{bun} を求めた。なお、分水量 Q_{bun} は、水路外への流出であるので、マイナスの値となる。さらに、分水量 Q_{bun} に、時間差分 Δt を乗じて、計画分水量 ΔV_{bun} とした。

時間差分毎に求めた消費量と計画分水量を積算して、水路内貯留消費量 ΔV_{io} の積算値 V_{io} と計画分水量 ΔV_{bun} の積算値 V_{bun} を、式(1)、(2)で求めた。

$$V_{io} = \sum \Delta V_{io} = \sum \Delta Q_{io} \Delta t = \sum (Q_{out} - Q_{in}) \Delta t \quad (1)$$

$$V_{bun} = \sum \Delta V_{bun} = \sum Q_{bun} \Delta t \quad (2)$$

5.2 需給ギャップ量

チェック区間への用水の供給量と分土工の需要量の差を需給ギャップ量と定義し、その積算値を求めた。需給ギャップ量の積算値 V_g は、式(1)の水路内貯留消費量 ΔV_{io} の積算値 V_{io} と式(2)の計画分水量 ΔV_{bun} の積算値 V_{bun} を用いて、式(3)により求めた。

$$V_g = V_{io} - V_{bun} = \sum \{(Q_{out} - Q_{in}) - Q_{bun}\} \Delta t \quad (3)$$

需給ギャップ量の積算値 V_g は、水路内に確保した貯留量がどのように消費されたのかを示す指標であり、図 9 に、チェック区間における需給ギャップ量の積算値の時間変化を示す。

なお、需給ギャップ量の積算値 V_g がマイナスの場合は、チェック区間への供給量が下流側と分土工による需要量より多いことを示している。

5.3 需給ギャップ率

水路内貯留消費量の積算値 V_{io} と計画分水量の積算値 V_{bun} の差である需給ギャップ量の積算値 V_g が、 V_{bun} に占める割合を需給ギャップ率 E と定義し、式(4)で求めた。

$$E = \frac{V_{io} - V_{bun}}{|V_{bun}|} = \frac{V_g}{|V_{bun}|} \quad (4)$$

式(4)においては、開水路システム内部のチェック区間の分水量に対して、どの程度、流量配分が行われたかを検証するために、需給ギャップ量の積算値 V_g を計画分水量の積算値 V_{bun} で除している。

水路内貯留消費量の積算値 V_{io} と計画分水量の積算値 V_{bun} の差が、積算値 V_{bun} に占める割合 E の時間変化を図 10 に示した。

$E > 0$ の場合は、計画分水量の積算値 V_{bun} が水路内貯留消費量の積算値 V_{io} より大きい場合、分土工の需要量に対してチェック区間の供給量が不足していることを示している。逆に、 $E < 0$ の場合は、チェック区間の供給量が分土工の需要量に対して過剰であることを示している。また、 $E \approx 0$ の場合は、チェック区間の水量の収支がその時点において均衡しており、計画分水量 ΔV_{bun} と水路内貯留消費量 ΔV_{io} の積算値 V_{bun} と V_{io} が一致することを示している。

5.4 需給ギャップ量が水路内貯留量に占める割合

需給ギャップ量の積算値 V_g の通水開始時点で各チェック間に貯えていた水路内貯留量 V_{ch} に対する割合 F を、式(5)により求めた。

$$F = \frac{V_g}{V_{ch}} \quad (5)$$

図 11に水路内貯留量の消費割合 F の時間変化を示す。なお、需給ギャップ量の積算値 V_g がマイナスの場合は、チェック区間への供給量が需要量より多く、通水時貯留量となって、静水位より上に貯留されているので、ゼロで表示している。

初期の水路内貯留量は、図 8に示すチェック区間下流側ゲートの上限水位と下限水位との間に挟まれた長方形の領域であり、容量は表 2に示している。

6 貯留量の再配分過程

6.1 チェック区間における需給ギャップの発現状況

チェックゲートを介した連続したチェック間の用水の配分について検証する。図 9に貯水路内貯留消費量の積算値 V_g の時間変化を示す。

6.1.1 $V_g < 0$ の領域

通水開始後、0～2時間目までは、チェック区間への供給量が下流側と分土工による需要量を上回り、需給ギャップ量の積算値（以降、需給ギャップ量と呼ぶ）がマイナス側に増加する傾向にある（図9では水色～青色側に表示される）。また、需給ギャップ量がマイナス側に増加する時間は、上流側のチェック間では、1時間程度であるが、下流側では2時間程度と長くなっている。この需給ギャップ量は、静水位より上に貯留されて、動水勾配を形成し、通水時貯留量となる。

6.1.2 $V_g \approx 0$ の領域

需給ギャップ量が2時間目までにピークとなった後は、供給量＜需要量の関係になり、需給ギャップ量（通水時貯留量）が減少する傾向になる。最上流部の桜鐘～半田間においては、9時間目に需給ギャップ量がゼロになるが、中下流部のチェック間では、4時間程度で需給ギャップ量がゼロになっている。

6.1.3 $V_g > 0$ の領域

需給ギャップ量がプラス側に転じた後は、板山～美浜の中下流部については増加傾向が継続し、増加量が大きくなっている。また、最下流の菅刈から美浜チェックまでの3区間については、需給ギャップ量の増減幅が大きくなっている。

特に、幹線水路の中間地点に位置する松原～大脇区間において、最大の需給ギャップ量が発生している。これは、水路システムの間地点は、末端側からの水理情報の伝達が不十分になる傾向があること、さらに上流優先の分水形態となるので、上流側からの用水到達が不足しやすいことなどから、チェック間への供給量が下流側と分土工による需要量に対して不足する状況が継続するためと考えられる。

図 9: チェック間における需給ギャップ量の積算値 V_g の時間変化図

図 10: 計画分水量 V_{burn} に対する水路内貯留消費量 V_{io} の割合 E の時間変化図

図 11: 水路内貯留量 V_{ch} に対する需給ギャップ量積算値 V_g の割合 F の時間変化図

表 2: チェック区間の貯留量

チェック区間			水路内貯留量	
			上限水位－下限水位	
			貯留量 (m3)	比率 (%)
桜鐘	～	北池	13,431	36
北池	～	半田	2,959	8
半田	～	成岩	3,743	10
成岩	～	板山	1,942	5
板山	～	桧原	3,702	10
桧原	～	大脇	3,506	9
大脇	～	鶴ノ池	3,981	11
鶴ノ池	～	管刈	1,536	4
管刈	～	河和	920	2
河和	～	内海	1,846	5
内海	～	美浜		
合 計			37,566	

一方、桜鐘～板山の上流部については、需給ギャップ量の増加は小さく抑えられている。

6.2 チェック区間における水量の収支

各チェック区間の水路内貯留消費量と分水量の積算値の変化傾向は、図 10により以下のように整理できる。

6.2.1 $E < 0$ の領域

通水開始後2～3時間は、チェック間に供給された水量が分水量より多いことが原因で、最下流部を除いた上中流部において $E < 0$ となっている。

その後、水路内貯留消費量の積算値（以降、貯留消費量と略す）と計画分水量の積算値（以降、積算分水量と略す）の差は徐々に小さくなり、4時間目には、両者はほぼ等しくなり、 $E \approx 0$ となる。これは、チェック区間で必要とする分水量の総量を供給量で充足できていることを示している。

6.2.2 $E \approx 0$ の領域

上流部の桜鐘～成岩チェック間では、桜鐘から全体に充当する用水が供給されるため、貯留消費量と積算分水量は、ほぼ一致する傾向を示し、 $E \approx 0$ となる。これは、チェックゲートによる水位低下を介した上流側への水理情報の伝達が行われることにより、上流側からの適切な用水供給が行われ、チェック区間内で需給量が概ね均衡することによる。その結果、水理的には大きな水位低下を生じないこととなる。

6.2.3 $E > 0$ の領域

チェック間において分水の需要量に対する供給量の不足が生じる場合は、 $E > 0$ の関係となり、不足量が多いほど、 E の値が大きくなる。6～16時間において、 $E > 0$ となる領域が発生しており、流入量 Q_{in} が不足する場合と下流側への流出量 Q_{out} が増加している。

全体的な傾向としては、中流から下流部にかけて、 $E > 0$ の関係となっている。これは、上流側からチェック間への流入量 Q_{in} が不足するため、水路内の貯水量が分水需要で消費されることが原因である。

6.3 需給ギャップ量が水路内貯留量に占める割合

需給ギャップ量の積算値が、通水開始時点で各チェック

間に貯えていた水路内貯留量に対する割合 F を求めた。

図 11に水路内貯留量の消費割合 F の時間変化を示す。なお、需給ギャップ量の積算値 V_g がマイナスの場合は、チェック区間への供給量が需要量より多く、通水時貯留量となって、静水位より上に貯留されているので、ゼロで表示している。

需給ギャップ量が水路内貯留量に占める割合は、時間の経過とともに、1.2倍以上の領域が、中流部から下流部にかけて広がる傾向にある。貯留量反応型では、水路内貯留量が下流側に少なく、上流側に多く配置されているので、最下流の管刈～河和間において、需給ギャップ量は水路内貯留量の1.7倍となっている。

7 おわりに

上下流水位制御ゲートを用いた水路システムにおいて、需給ギャップが発生した場合に、通水障害を生じることがあり、その原因として、ゲートの設定水位に問題があることが示唆された。そこで、貯留量反応型のゲート水位設定を用い、チェック間の貯留量の再配分機能と需要量に対する補充状況について、シミュレーションにより検証し、以下の点を明らかにした。

水路システムの下流部においてチェック間の貯留量が不足して、需給量のギャップが生じた場合には、チェックゲートを介して、上流部から貯留量を速やかに下流側に移動して、充当する必要がある。このような状況下において、チェックゲートに貯留量反応型の水位設定を適用している場合、水理情報の伝達に時間が必要なため、中流部から末端部にかけて、チェック下流の水位低下による貯留量の移動が十分に行われず、通水障害が発生する可能性がある。この原因としては、貯留量反応型の水位設定では、ゲートの下流水位が、チェック水位以下に低下しないと、下流水位制御を作動させるための水位低下を検知できないことが考えられる。

さらに、チェックゲートに下流水位制御が作動し、チェック間で流れが維持される範囲は、図 3の④、⑤に示すように、上流側ゲートの下流設定水位と下流側ゲートの下限水位を結ぶ狭い範囲に動水勾配が形成されている場合である。需給量のギャップが生じた場合には、下流水位制御によりチェック間でこの動水勾配を連続的につないで流れを確保する必要があるが、動水勾配が緩く、需給量の僅かな変化により流れが遮断されやすいと考えられる。

上記のように、貯留量反応型のゲート水位設定は、チェック区間の供給量不足を防止するために、チェックゲート上流側の水路内貯留量を分水量に優先的に充当する方法であり、水路内貯留量の下流部へ移動や上流への水理情報の伝達が遅れることに課題がある。

今後、上下流水位制御ゲートのより適切なゲート管理方法と貯留量の配分機能について、詳細を明らかにすることが課題となる。

謝辞

本研究の遂行に当たり、水資源機構愛知用水総合管理所からゲート諸元等のデータの提供を受けるなど、多大なご援助をいただいた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

引用文献

- [1] 稲垣仁根・益田和範・小西邦寿・大塚明克・小倉尚基・秋吉康弘(2002): 数値モデルを用いた開水路チェックゲートの機能評価ーそのⅠ: 間接型フロート式上流水位一定ゲートの場合ー, 日本雨水資源化システム学会誌, 8(1), pp.35-45.
- [2] 稲垣仁根・井爪 宏・益田和範 (2011): 数値モデルを用いた開水路チェックゲートの機能評価ーそのⅡ: フロート式上下流水位一定ゲートの場合ー, 日本雨水資源化システム学会誌, 17(1), pp.33-42.
- [3] 稲垣仁根・益田和範 (2015): 上下流水位制御ゲートによる水路内貯留量の再配分機能について(I)ー貯留量反応型ゲートにおける需給ギャップ発生時の現地検証ー, 日本雨水資源化システム学会誌, 20(2), pp.29-35.
- [4] 益田和範・小西邦寿・大塚明克(2007): 特許4055057号, 下流水位制御装置
- [5] 益田和範 (2012): 農業水利システムと水管理技術(愛知用水二期事業の事例, 土地改良の測量と設計, 76, pp.6-11.
- [6] 白石英彦(1969): 長方形断面水路における不定流解析, 農林研究計算センター報告, A4, pp.217-225.

この論文の公開の質疑または討議は2015年12月31日まで受付けます。