

定流量弁を有するファームポンドの調整機能について

Regulation of Water Flow into Farm Ponds with Flow-Regulating Valves

野田 克裕* 中村 和正**

Katsuhiko NODA and Kazumasa NAKAMURA

道内のY地区を事例として、畑地かんがい用のパイプラインの水利シミュレーションを行った。その結果、ダムから各ファームポンドへの流入流量を抑制する定流量弁により、送水系パイプラインの安定した水管理が可能となっていることを確認した。また、配水系パイプラインの整備が約13%まで進んだ平成3、4年度の水使用データを用いて、施設完了後の水管理では、末端で粗放な水使用が行われないように注意する必要があることを示した。

《パイプライン；ファームポンド；定流量弁；直接差分法》

A hydraulic analysis was conducted of pipelines for irrigation, using “Y” region in Hokkaido as an example. As a result we confirmed that flow-regulating valves adjusting inflow discharges to each farm pond from the dam enable stable water management through the pipelines that convey the water. In addition, by using the data on water usage collected in 1991 and 1992, when the improvement rate of pipelines for water distribution reached approximately 13 percent, we indicated the importance of avoiding reckless use of water by end-users after the completion of the facility.

Keywords: pipeline, farm pond, flow-regulating valve, finite direct method.

1. はじめに

現在、北海道開発局管内のY地区において、畑かん用パイプラインのファームポンドの利用実態調査を行っている。このパイプラインの送水系はセミクローズドタイプであり、8カ所のファームポンドすべてに流入量の上限を設定する定流量弁が設定されている。ここでファームポンドは、供給側の操作管理を簡素化する調整機能を発揮することを求められ、定流量弁はファームポンドの水位低下に伴う流入量の過剰な増大を抑制することが求められている。

Y地区の配水施設は、昭和63年度より部分供

用を開始し、平成4年度現在で約13%までの整備状況である。つまり、現段階では送水施設は完備されているが、配水施設は整備段階にある。

そこで、整備完了後の水管理のためには、

①定流量弁によるファームポンドへの流入量制御機能の効果の確認

②ファームポンド容量の評価

が重要である。そこで、平成3、4年に得られた実測データ¹⁾を用いて、配水施設が整備完了後の水使用を想定するために、直接差分法によるシミュレーションを行い、上の2点について

*農業土木研究室員 **元農業土木研究室研究員 現農林水産省農業工学研究所水工部水路工水理研究室

検討を行った。なお、シミュレーションには、農林水産省農業工学研究所水路工水理研究室で開発されたプログラムを用いた。そこで、実測データを用いて検証した。

2. 解析対象地区の概要

図-1 に、解析対象地区の模式図を示す。

この地区は、Yダムを水源に最大 $0.266\text{m}^3/\text{s}$ を取水し、樹園地を主体とした末端圃場へかんがいするものである。水路はダムよりT導水路（延長約3km）を経て、O分水槽で左岸幹線（延長国営分約4.6km、道営分約3.9km）および右岸幹線（延長国営分約3.0km、道営分約4.1km）に分岐する。パイプラインの総延長は約18.6km、管径600~150mm、管種はダク

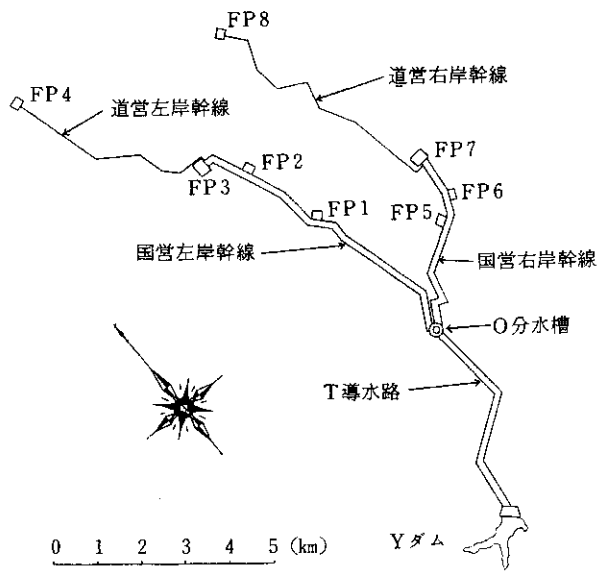


図-1 解析対象地区概要図

タイル鑄鉄管および硬質塩化ビニール管である。

この地区には、合計8カ所のファームポンドが設置されている。それぞれのファームポンドの諸元を、表-1に示す。

計画の受益面積は、約550haである。平成4年度までの配水施設の整備状況は、FP3掛かりが約35ha、FP6掛かりが約36haの合計約71haであり、他のファームポンド掛かりの配水施設は未整備である。

ここでは、間断日数7日に基づくほぼ均等なローテーションブロックが設定されている。また、1日のかんがい時間を3つの時間帯に分

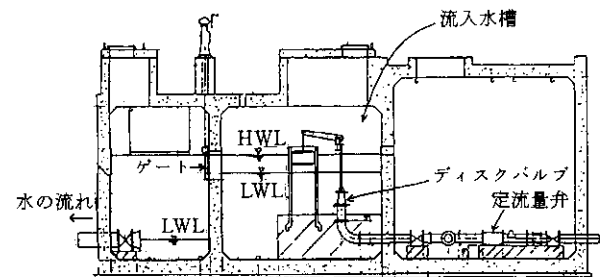


図-2 国営ファームポンドの構造 (FP3)

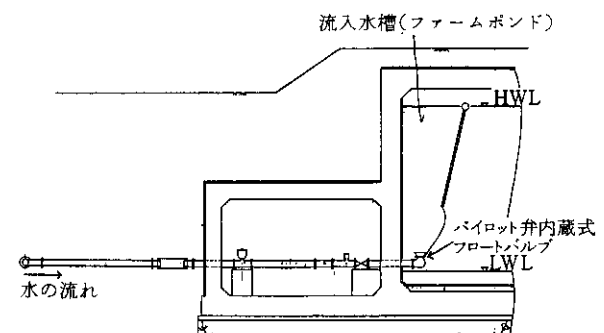


図-3 道営ファームポンドの構造 (FP6)

表-1 ファームポンドの概要

ファームポンド	FP1 (道営)	FP2 (道営)	FP3 (国営)	FP4 (道営)	FP5 (道営)	FP6 (道営)	FP7 (国営)	FP8 (道営)
計画流量 (m^3/s)	0.013	0.029	0.047	0.014	0.010	0.026	0.072	0.039
バルブ種類*	F.	F.	S.D.	F.	F.	F.	S.D.	F.
バルブ口径 (mm)	$\phi 150$	$\phi 200$	$\phi 125$	$\phi 200$	$\phi 150$	$\phi 150$	$\phi 160$	$\phi 250$
水面積 (m^2)	201.0	326.5	330.0	208.67	115.5	290.75	506.7	339.14
バルブストローク								
最高水位(m)	121.50	148.00	138.60	136.00	152.00	144.00	138.00	86.50
最低水位(m)	121.23	147.67	138.15	135.73	151.73	143.73	137.40	86.10

* F. はパイロット弁内蔵式フロートバルブ、S.D. はサブマージドディスクバルブを表している。

け、ほぼ均等な散水ブロックを各時間帯に割りつけている。なお、かんがい方式は主にスプリンクラによる散水かんがいである。

ファームポンドの構造は国営、道営で異なる。それぞれを図－2，3に示す。

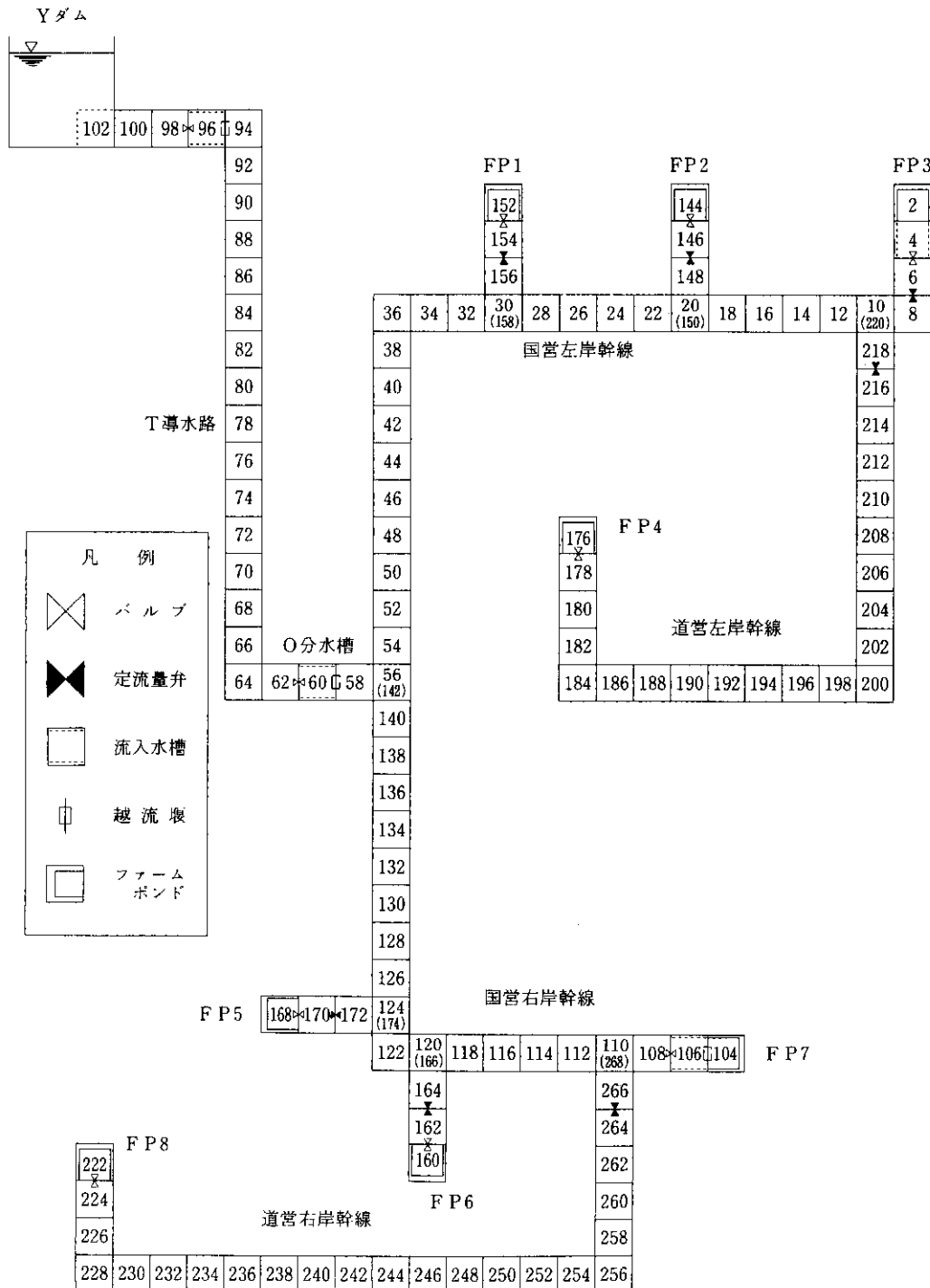
国営のファームポンドでは、用水は管路から流入水槽へバルブを通過して流入する。さらに、流入水槽からファームポンド本体の水槽へ

はせきを越流する構造になっている。

道営のファームポンドは、用水は管路からファームポンド本体の水槽へバルブを通過して流入する構造になっている。国営のような流入水槽やせきはない。

3. 解析方法

今回のように1日程度の水理現象を検討する



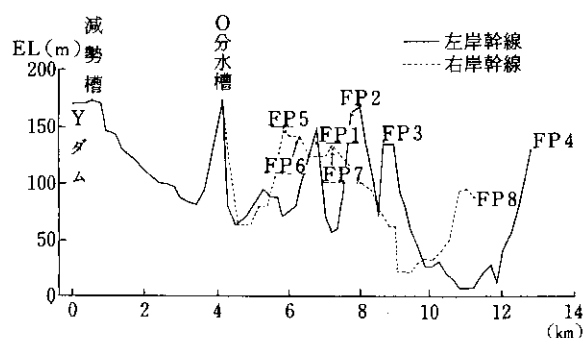
図－4 解析対象地区のメッシュ図

場合は、通常は剛性モデル²⁾が用いられるが、ここでは既存のプログラムの修正利用を考えて弾性モデルを用いることとした。解析の基本的考え方および各種構造物の取扱いは、文献³⁾に従った。その概要は、別途付録に示す。

4. 使用データと計算ケース

(1) バイプライン施設のモデル化

解析対象地区のデータをもとに、 Δx がおおむね200mになるように作成したメッシュ図を図一4に示す。さらに、図一5に管軸標高縦断面



図一5 解析対象地区の縦断面図

図を示す。

なお、施設構造物の配置上、 Δx が200mより短くなる区間がある。そこで、時間差分 Δt は0.05秒を用いた。

ここで、実際の施設に設置されているバルブの内、今回のような1日程度の水理現象のシミュレーションを行う上で省略可能なものはモデル化していない。

(2) 境界条件

今回のシミュレーションでは、Yダムを圧力境界、各ファームポンドを流量境界とする。Yダムの水位は常時LWLとする。各ファームポンドからの取水量は、次節で述べるような計算ケースの考え方に従う。

各ファームポンドと減勢槽、分水槽の初期水位はそれぞれのHWLとする。これは、前日の取水が終了してから数時間を経過し、ファームポンドが満たされている状態を想定したものである。

(3) 計算ケース

シミュレーションは、4ケースについて行

表一2 各ケースでのファームポンドからの取水パターン

	CASE 1 実測データの 最大値	CASE 2 計 画 取 水 量 お よ び 計画かんがい時間	CASE 3 CASE 2で 定測量弁のない 場合	CASE 4 配水施設の整備 が完了した場合 の推定最大量
FP 1 (道営)	—————	0.028m ³ /s	0.028m ³ /s	CASE 3でのFP6 の取水量の1.25倍
FP 2 (道営)	—————	0.061m ³ /s	0.061m ³ /s	CASE 3でのFP6 の取水量の2.72倍
FP 3 (国営)	図一6 で示した取 水量パターン	0.085m ³ /s	0.085m ³ /s	CASE 3でのFP3 の取水量の2.96倍
FP 4 (道営)	—————	0.029m ³ /s	0.029m ³ /s	CASE 3でのFP6 の取水量の1.30倍
FP 5 (道営)	—————	0.021m ³ /s	0.021m ³ /s	CASE 3でのFP6 の取水量の0.96倍
FP 6 (道営)	図一6で示した取 水量パターン	0.054m ³ /s	0.054m ³ /s	CASE 3でのFP6 の取水量の2.42倍
FP 7 (国営)	—————	0.132m ³ /s	0.132m ³ /s	CASE 3でのFP3 の取水量の4.37倍
FP 8 (道営)	—————	0.068m ³ /s	0.068m ³ /s	CASE 3でのFP6 の取水量の3.72倍

CASE 2, 3での流量は、計画どおりの取水パターン（矩形）における最大取水量を示す。
また、CASE 4での倍率とは、面積倍率による補正係数である。

う。各ケースでの各ファームポンドからの取水量を表-2に示す。各ケースでの目的は、以下のとおりである。

(a) CASE 1 (実測データによる検証)

FP 3 (国営) および FP 6 (道営) のファームポンドからの取水量データ (測定期間は、平成3年6月上旬～平成4年10月上旬) の内、最大日取水量を観測した日のデータを用いて、計算値と実測値を比較する。実測データは10分ごとに記録されているが、プログラム入力の際に複雑になるため、図-6に示したように取水パターンを簡略化し、入力することとした。

(b) CASE 2 (完成後の計算取水パターン)

それぞれファームポンドからの計画での取水量およびかんがい時間帯を、図-7に示す。道営ファームポンドは1ブロックに対して3.8時間灌水することとし、これを1日3ブロック行うこととしている。また、各灌水時間に1.4時間の作業時間を取ることにする。これに対し、国営のファームポンドは11.4時間の灌水とされている。

(c) CASE 3 (定流量弁のない場合)

各ファームポンドの上流に、定流量弁を設置

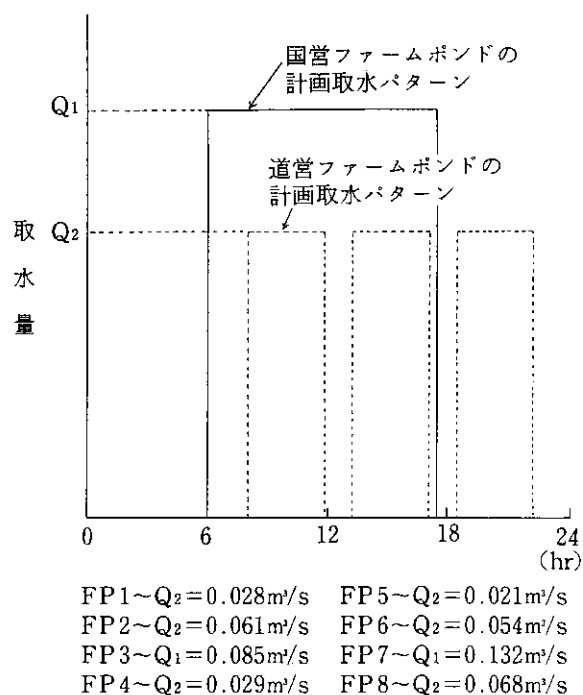


図-6 計画取水量およびかんがい時間帯

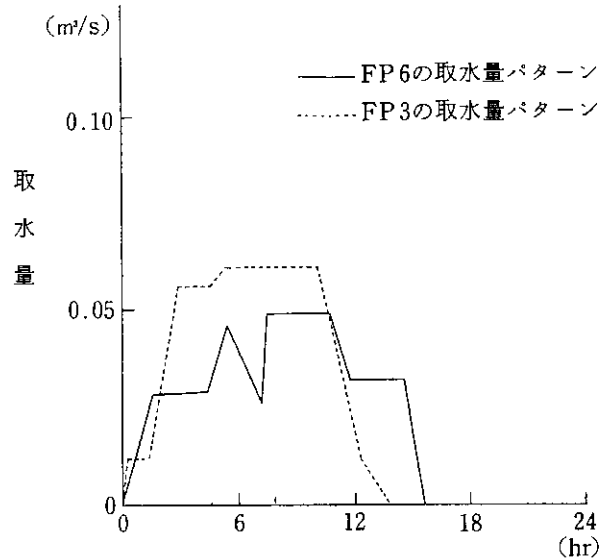


図-7 CASE 1 で用いる取水量パターン
(当日、灌水を開始したと思われる時刻を) 0とした

しない場合の流況を見ることとする。なお、ファームポンドからの取水量はCASE 2と同じく、計画の取水パターンとする。

(d) CASE 4 (整備完了後の最大取水量)

配水施設の整備完了時を想定し、解析する。取水量はCASE 1で用いた実測値に係数(各ファームポンドの整備完了後のかんがい面積/実測時かんがい面積)をかけて求めた。なお、国営ファームポンドと道営ファームポンドでは取水パターンが異なる。そのため、国営ファームポンドはFP 3の取水量実測データを、道営ファームポンドはFP 6の取水量実測データをもとにしている。

5. 解析結果

(1) CASE 1

図-8に、FP 3およびFP 6のファームポンドの水位および流入流量の変化を示す。あわせて、実測データによるファームポンドの水位および流入流量の変化を示す。

実測のファームポンドの水位低下はFP 3で約1.2m、FP 6で約1.9mであった。さらに、最大の水位低下となった時刻は当日の取水を開始したと思われる時点からFP 3で約11時間後、FP 6で約16時間後であった。これに対して、CASE 3の計算結果において、ファームポンドの最大低下水深はFP 3で1.3m、FP 6

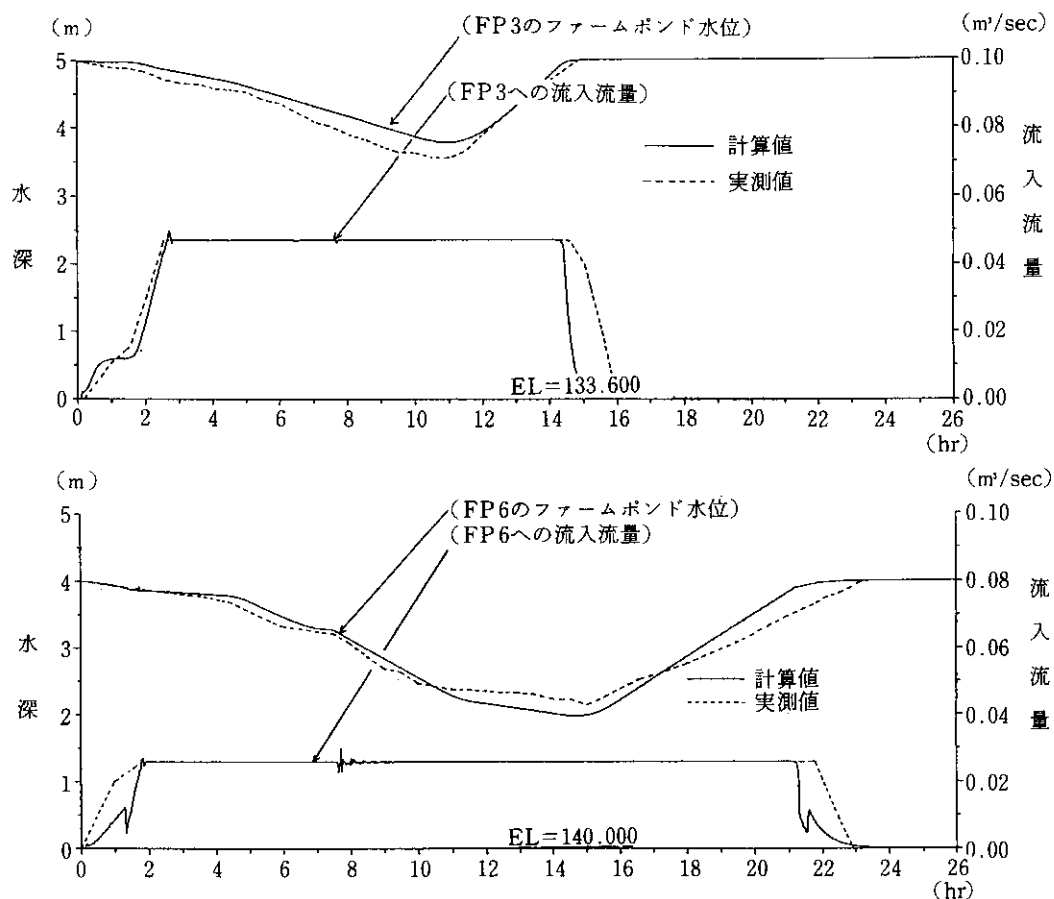


図-8 CASE 1におけるFP 3およびFP 6のファームpond水位の流入流量の変化(実測データ最大値)

で2.0mである。また、最大の水位低下が発生した時刻はFP 3で約11時間後、FP 6で約15時間後であった。このように、計算値は実測値に近い値となった。

(2) CASE 2

図-9に、CASE 2におけるFP 3の水位および流入流量の変化を示す。この計算モデルで

は、定流量弁により流入流量の上限値を最大0.047m³/sに設定した。図より、定流量弁が機能どおり計算されていることが確かめられる。

なお、翌日の灌水開始時刻(図では24時間後に相当)までファームpond水位は最高水位に回復している。

図-10に、CASE 2の計算結果による各

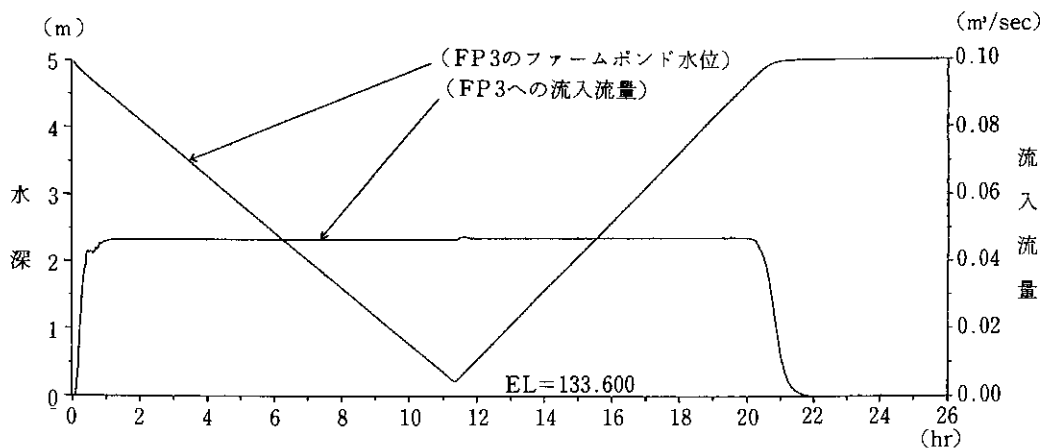


図-9 CASE 3におけるFP 3のファームpond水位および流入流量の変化(計画取水量および計画かんがい時間)

ファームポンドの利用状況を示した。計画の取水量に対し、すべてのファームポンドは空になることはない。計画の取水パターンに対し、国営のファームポンドではほぼ全容量を使っているが、道営のファームポンドでは7割程度までの水位低下であった。

(3) CASE 3

図-11に、CASE 3におけるFP 8の水位および流入流量の変化を示す。この計算モデル

は、定流量弁を設置しない場合を想定して計算を行った。図よりファームポンドへの流入流量は、本来定流量弁により流入流量の上限値（最大 $0.039\text{m}^3/\text{s}$ ）に上まわっており、さらにファームポンドの水位はほとんど低下していなかった。

図-12に、CASE 3の計算による各ファームポンドの利用状況を示す。国営ファームポンドでは、利用率はほぼ100%に近い。これに對

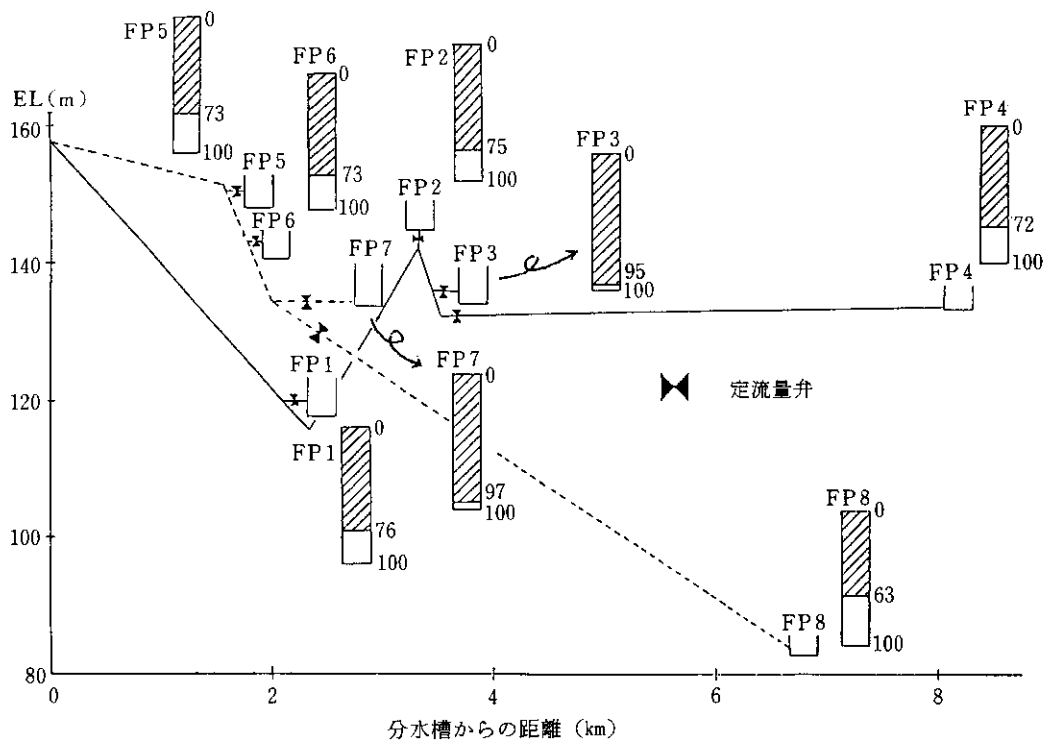


図-10 CASE 2の各ファームポンドの利用状況

(図中の棒グラフのハッチ部分がファームポンドの利用率を示す。)
(ただし、利用率 = (満水位 - 最低水位) / 有効水深)

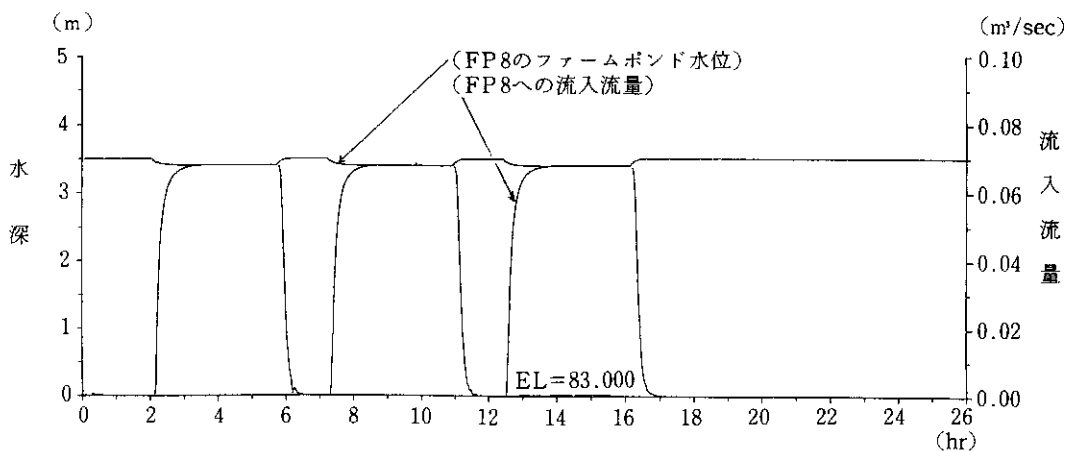


図-11 CASE 3におけるFP 8のファームポンド水位および流入流量の変化
(定流量弁を外した場合)

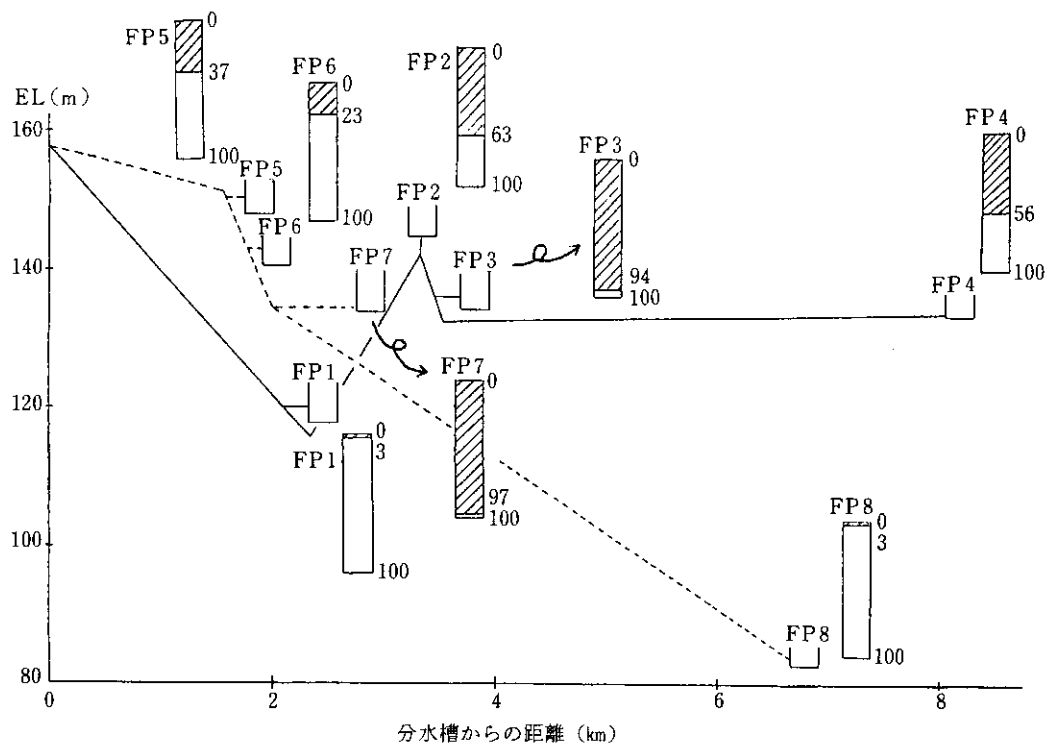


図-12 CASE 3 のファームポンドの利用状況割合
 (図中の棒グラフのハッチ部分がファームポンドの利用率を示す。)
 (ただし、利用率 = (満水位 - 最低水位) / 有効水深)

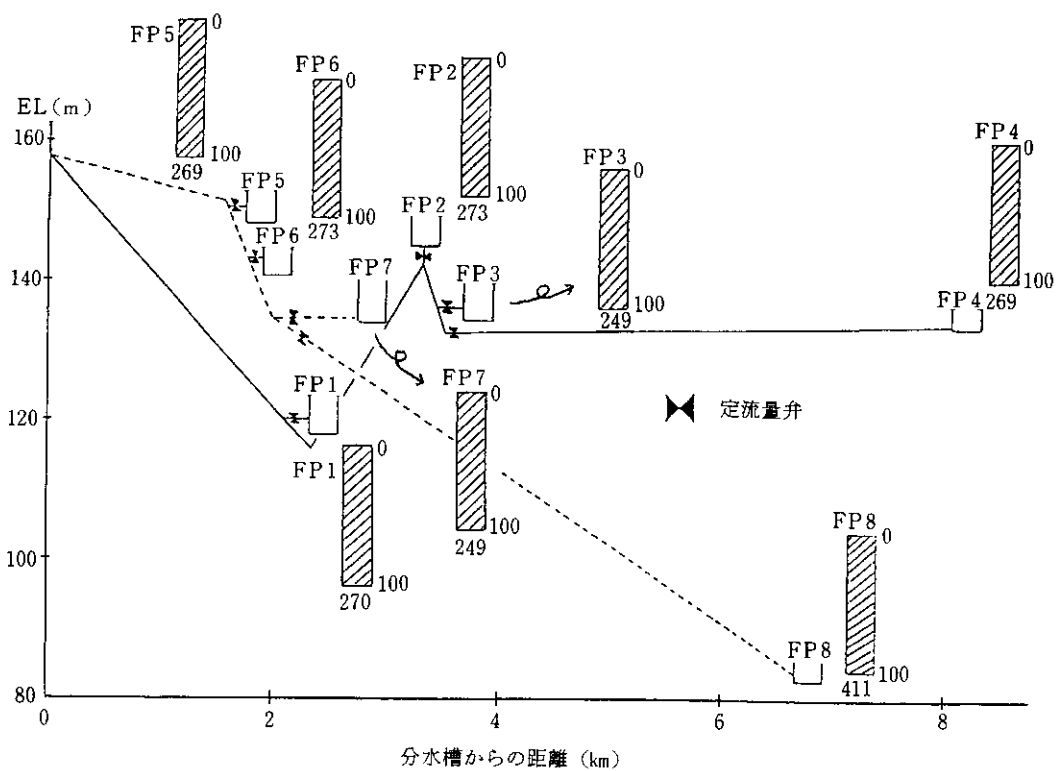


図-13 CASE 4 のファームポンドの利用状況
 (図中の棒グラフのハッチ部分がファームポンドの利用率を示す。)
 (ただし、利用率 = (満水位 - 最低水位) / 有効水深)

して道営ファームポンドでは、ファームポンドの位置が低いものほど、水位の低下が小さいという傾向を示し、FP 1 および FP 8 ではほとんど水位の低下しない状況であった。

(4) CASE 4

図-13に、CASE 4の計算結果による各ファームポンドの利用率を示す。これらの計算結果では、ほとんどのファームポンドは有効水況の約2.5倍、FP 8にいたっては約4倍の水位変化が生じることになる。

6. 考 察

(1) 定流量弁の効果について

CASE 2とCASE 3の結果の比較から、次のようなことがいえる。

定流量弁などの流量制御機構がない場合、標高の低い位置にあるファームポンドほど、取水に有利な条件となりやすい。そのため、定流量弁がないならば低い位置にあるファームポンドでは、水位が若干低下するだけで多量の水が流入し、水の出入が等しくなる。この状態では、ファームポンドの水位変化は小さく、調整機能は発揮されない。また、低い位置のファームポンドへの流量が大きくなると、高い位置のものへの流入量が計画流入量を満たさない状況が生じる。

ところが、定流量弁を設置することにより、ファームポンドの流入量に上限が設定され、送水系パイプラインの流れが計画流量に近いものになる。このとき、ファームポンドは調整機能を発揮し、適度の水位変化が生じる。また、各ファームポンドからの取水が、他のファームポンドへの流入量に悪影響を及ぼすことはなくなり、ダムから各ファームポンドへの送水管理は容易なものとなる。

定流量弁が各ファームポンドへの流入量を制御するという事は、同時に各ファームポンドへの流入量の合計も制御されることになる。定流量弁がなく、各ファームポンドへの流入量の合計が計画に比べて過大になり、分水槽に設置されているバルブの通過可能流量を超えたならば、これらの水槽の下流部で管内に空気が連行されてしまう。定流量弁は、このような空気連

行の発生も防止している。

(2) ファームポンドの容量と水管理について
ファームポンドの容量は、計画の取水パターンに対して空にならないように決定されている。国営のファームポンドは、計画の取水量に対して利用率が高い結果となる。このことは、計画を超えた取水を行うとたちまちファームポンドが空になることを意味している。道営のファームポンドでも、計画を大きく超えた取水に対して同様の現象が生じる。

CASE 4は、実測の取水データの中で最大の日取水量となったものをもとに、整備完了後の最大取水量パターンを想定してシミュレーションしたものである。CASE 4で使用したデータの基本となる実測データを得た時点では、FP 3とFP 6の配水施設の整備状況がどちらも3割程度である。管理者の聞き取りでは、比較的自由な水使いをさせていたことである。これをもとに、整備完了後の取水量を考えると、計画で想定しているよりも大きな取水がなされていることになり、ファームポンドが空になる恐れがある。今後、整備が進むにつれて、現在よりも節約的な水使用が行われる必要がある。

7. おわりに

本報文では、定流量弁の有効性を確認した。実際の施設管理にあたっては、定流量弁の確実な流量制御機能の発揮が求められる。ファームポンドへの流入流量制御は、定流量弁でなく他の構造物、装置によっても可能である³⁾。各々のパイプラインに適したものが選ばれることが望ましい。

最後に、本報文は筆者が平成5年5月中旬から7月中旬までの約2ヵ月間、筑波の農林水産省農業工学研究所において行われた技術管理化システム研修（上級コース）の自主課題演習の成果をまとめたものである。報文の作成にあたり、御指導いただいた農業工学研究所水路工水理研究室の各位、また資料の提供をはじめ、種々御協力いただいた関係各位に対し、厚く御礼申し上げる。

付録 解析方法の基本的考え方および各種構造物の取扱い³⁾

(1) 基礎方程式と解法

管水路における非定常現象は、圧力変化による管の変形がないと仮定した場合、摩擦損失にヘーゼン-ウィリアムスの式を適用した運動方程式(1)と連続方程式(2)で表わされる。なお、これらの式は管水路のみに適用される。

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} + i + \frac{6.81 |v| v^{0.852}}{C^{1.85} \cdot D^{1.167}} = 0 \quad (1)$$

$$w \cdot \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{K}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

ここに、 g ：重力加速度 (m/s^2)、 v ：流速 (m/s)、 t ：時間 (s)、 H ：圧力水頭 (m)、 x ：距離 (m ；下流から上流に向かって正)、 i ：管軸勾配、 C ：流速係数、 D ：管径 (m)、 W ：水の単位体積重量 (t/m^3)、 A ：流積 (m^2)、 K ：水の体積弾性係数 (t/m^2)、 Q ：流過流量 (m^3/s)。

これらの基礎方程式系の解法としては特性曲線法、直接差分法による方法が考えられる。本報では直接差分法により数値解析を行っている⁴⁾。

(2) ファームポンドの取扱い

ファームポンドへの流入部のバルブの取扱いについては、以下のように考慮することとする。

国営のファームポンド、減勢槽および0分水槽には、サブマージドディスクバルブが設置されている。同様に、道営ファームポンドはパイロット弁内蔵式フロートバルブが設置されている。サブマージドディスクバルブとフロートバルブについては、バルブ開度と流量係数の関係をもとに流量係数値を求め、これより損失係数を算出するものとする。そこで一例として、図-14にサブマージドディスクバルブのバルブ開度と流量係数の関係⁵⁾を示す。なお、バルブ開度は(3)式で示すように、バルブの位置する水槽の水位より計算で求めることができる。

$$Op = (H_{HWL} - H_{TAN}) / (H_{HWL} - H_{LWL}) \quad (3)$$

ここに、 Op ：バルブ開度、 H_{TAN} ：水槽水位

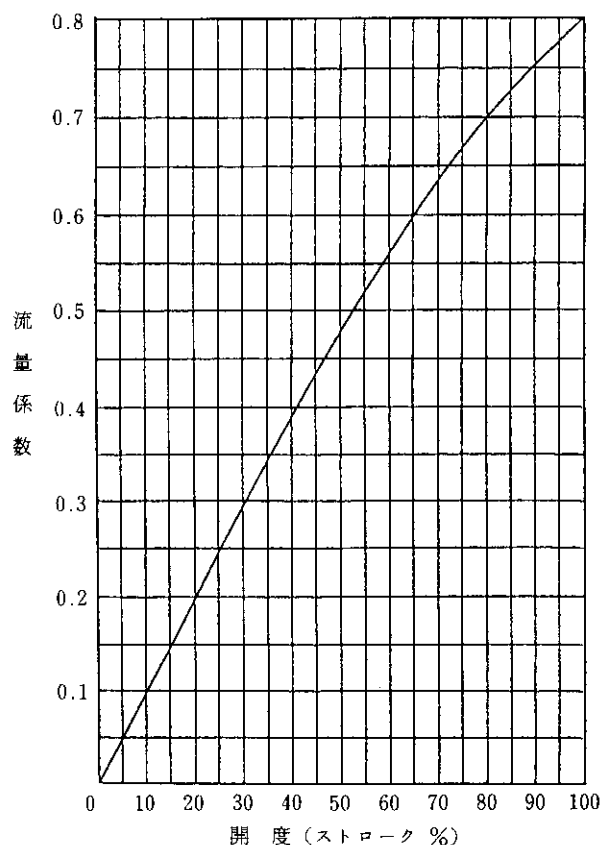


図-14 サブマージドディスクバルブの開度と流量係数⁵⁾

(m)、 H_{HWL} ：最高水位 (m)、 H_{LWL} ：最低水位 (m)。

以上により、計算で求めたバルブ損失係数よりバルブ損失水頭を求める式は(4)式のようなになる。これを(1)式の最終項で考慮して、運動方程式を解く。

$$h_v = f |v| v = f_v \cdot 2g \cdot (A/A_v)^2 |v| v \quad (4)$$

ここに、 v ：上流管の流速 (m/s)、 h_v ：バルブ損失水頭 (m)、 f ：等価損失係数、 f_v ：バルブ損失係数、 A ：上流管通水断面積 (m^2)、 A_v ：バルブ通水断面積 (m^2)。

(3) 水槽の取扱い

末端調整施設であるファームポンドの水槽における連続方程式は(5)式に示しているようにし、これを差分化する。

$$A \frac{\partial H}{\partial t} = Q_{in} - Q_{out} \quad (5)$$

ここに、 A ：水槽水面積 (m^2)、 H ：水槽の変化 (m)、 Q_{in} ：水槽への流入量 (m^3/s)、 Q_{out} ：水槽からの流出量 (m^3/s)。

(5)式を差分化し、 Δt 時間後の水槽水位を求める式を導くと、(6)式ようになる。

$$H_j = H_{j-1} - \frac{Q_{in} - Q_{out}}{A} \Delta t \quad (6)$$

(4) せきの取扱い

国営のファームポンド、減勢槽およびO分水槽は、流入水槽から本体水槽にかけてせきを越流する構造になっている。このような場合において、流量は上下流の水槽の水位差によって決まる。ここでは、長方形断面の本間の越流公式⁶⁾（台形せきにおける長方形断面）を用いて求めることとした。

① 完全越流の場合

$$Q = 1.55B \cdot h_{01}^{1.5} \quad (7)$$

② もぐり越流の場合

$$Q = 4.03B \cdot h_{02} \sqrt{h_{01} - h_{02}} \quad (8)$$

ここに、 Q ：越流量 (m^3/s)、 B ：せき幅 (m)、 h_{01} ：せきを基準とした上流水深 (m)、 h_{02} ：せきを基準とした下流水深 (m)。

(5) 定流量弁の取扱い

定流量弁は、バルブの損失係数を変化させることで、バルブの通過流量を設定した上限値に制御するものとした。すなわち、ある瞬間の定流量弁による損失係数 (H_{SB}) と流量上限の設定値 (Q) から、(9)式を用いて弁開度の目標値 (F_{VALT}) を求める。

$$F_{VALT} = \left\{ \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)^2 / (Q^2) \right\} \cdot H_{SB} \cdot 2g \quad (9)$$

ここに、 F_{VALT} ：目標とする損失係数、 Q ：流量の上限値 (m^3/s)、 H_{SB} ：バルブの損失係

数 (m)。

次に、その瞬間の弁開度と弁開度の目標値から、次のステップの計算に用いる弁開度を(10)式により求める。ただし、 F_{VAL} は負の値をとることはない。

$$F_{VAL} = (F_{VALT} - F_{VAS}) \cdot G + F_{VAS} \quad (10)$$

ここに、 F_{VAL} ：次の瞬間の損失係数、 F_{VAS} ：ある瞬間の弁の損失係数、 G ：弁の敏感さに関する係数、ここでは、0.1を用いている。

参考文献

- 1) 野田克裕、秀島好昭：利用実態からみたファームポンドの調整機能について、開発土木研究所月報 No. 478, pp. 26~33, 1993.
- 2) 鬼塚宏太郎：パイプラインの水理設計（その7）—剛性モデルによる過渡現象解析—、農土誌50（3），pp. 64~76, 1982.
- 3) 吉野秀雄ほか：ポンプ送水系パイプラインシステムの流況解析について、農業工学研究所技報188, pp. 1~23, 1993.
- 4) 岩崎和巳：パイプラインの水理設計（その12）—非定常流計算—、農土誌50（9），pp. 47~56, 1982.
- 5) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準水路工（その2），農業土木学会, p. 47, 1988.
- 6) 土木学会：水理公式集—昭和60年度版—, p. 287, 1985.