

資 料 番 号	2
新技術の名称	パイプライン設計支援ツールの開発 1. 中心差分法による非定常水理解析プログラム 2. かんがい水量設定プログラム 3. 管の構造計算プログラム

1. 中心差分法による非定常水理解析プログラム

1-1. 新技術導入計画概要書

都道府県名		事業名	官民連携新技術研究開発事業	地区名	
事業工期及び新技術導入予定工期	H9.9～H11.3		新技術に係る工事費	万円	
新技術の区分	①先進的技術 2.従来技術の改良 3.その他（ ）				
新技術の概要	圧力管路に取り付けられたバルブを操作すると、管路内に急激な水圧上昇が発生する。また管路の両端が水槽になっている場合に、管路内への水の供給を急激に減少させると慣性力によって水が管路内を往復するサージング現象が起こる。 非定常水理解析プログラムは、中心差分法を用いてこのような過渡的な水理現象をシミュレーションするものである。				
新技術の導入理由	中心差分法とは管路の圧力と流量から作られる運動方程式と連続方程式を、コンピューターで計算できる状態にする変換手法のひとつである。この連続方程式と運動方程式は偏微分方程式なので、このような手法によらずに計算することはできない。 管路設計で水撃圧を推定する場合、土地改良事業計画設計基準は経験則で求まる値の範囲内に水撃圧が収められていることを確認するために、数値解法を用いることを明記しており、また数値計算法には特性曲線法と中心差分法のふたつの方法があることを紹介している。				
必要とする研究項目（追跡調査を含む。）	1. 中心差分法を用いた非定常水理解析理論の検証。 2. 非定常水理解析プログラムの作成。 3. プログラムの検証および従来プログラムとの精度比較				
予想される適用効果（将来展望を含む。）	中心差分法を用いた非定常水理解析プログラムは、管路内で発生する水撃圧やサージング現象などの非定常状態を計算によって推定できる。設計段階にこのプログラムを用いれば管路に発生する水理的安全性を確保しながら、水輸送施設の建設コストを抑えた合理的な設計が可能となる。				
従来技術との比較等	これまでの水撃圧の計算は、経験則による方法が用いられてきた。この方法は管路の形式がわかれば水撃圧を簡単に求められるうえ、水撃圧値には水圧に関する不確定要素が配慮されているため安全性の高い管路が設計できるという利点があった。その反面管路固有の設計条件が考慮されていないため、管路内に設置した仕切弁の開閉速度を変更したり管の材質を変更した場合でも水撃圧の経験値は変わらず、現実の水撃圧を設計に反映しにくいという問題も指摘されていた。 本技術は非定常水理解析プログラムを使用し管路の諸元すなわち材質、バルブの損失特性、開閉時間、管の口径などの条件をモデル化し現実に近い水撃圧値や管路に発生するサージング現象を推定するものである。 パソコンの性能が充分発達した現在では調整水槽やファームボンドの設計、管路内に設置された仕切弁を緊急時に効率よく操作する手法の確立、そのほか多様な用途で解析技術を活用する機会が増えると考えられる。				

1-2. 新技術の解析事例

新技術の名称		中心差分法による非定常水理解析プログラム (パイプライン設計支援ツールの開発)
名 称	概 要	別紙資料番号
解析事例 1	仕切弁の水撃圧解析	1-1
	管路に設置された仕切弁の閉鎖にともない発生する水撃圧を、通常の管路設計に用いられる経験則の範囲内に収めるために必要な仕切弁操作時間を推定する。	
解析事例 2	フロートバルブの水撃圧解析	1-2
	ファームポンドの流入口に設置されたフロートバルブが、水位上昇にともない閉鎖するときが発生する水撃圧を推定する。	
解析事例 3	サージング現象解析	1-3
	サイフォン形式の管路に発生するサージング現象を解析し、その大きさと収束時間を推定する。	
解析事例 4-1	調整水槽の水位解析（上昇）	1-4-1
	上流管路から調整水槽（以下、水槽という）内に水が急激に供給された場合の水槽内の水位変化を解析する。水の供給が急激な場合には、水槽から下流への排水が間に合わず水槽を越流するおそれがある。この解析で求まる標高に余裕高を加えたものが、水槽の壁高として施設設計に用いられる。	
解析事例 4-2	調整水槽の水位解析（低下）	1-4-2
	上流側管路から水槽内に供給される水が、急激に減少した場合の水槽内の水位変化を解析する。上流側管路から水槽へ水の供給が停止しても、水槽の下流管路の水が流れ続けるため水槽内の水位が一時的に低下する恐れがある。この解析で求まる標高に余裕深さを加えたものが水槽の底面高さとして施設設計に用いられる。	

(資料番号 1－1) 仕切弁の水撃圧解析

(1) 概要

仕切弁は電動ギア比やハンドルの回転数によって標準的な操作時間が決まるが、管路によってはこの時間で仕切弁を操作した場合に土地改良事業計画設計基準の経験則に定められた水撃圧（以下、経験則という）を上まわることがある。管路に発生する水撃圧を経験則内に抑え管路の安全を確保するためには、仕切弁の操作時間をどの程度にすべきか推定する必要がある。

(2) 解析

本解析にもちいた仕切弁の標準的な操作時間である 180 秒で仕切弁を閉鎖した場合モデル管路に発生する水撃圧は 10.5MPa 程度となり、経験則の 7.4MPa を大きく上まわる結果になる。

そこで仕切弁の操作時間を段階的に長くして解析をおこなうと、操作時間が 270 秒の場合に発生する水撃圧は 7.3MPa となり経験則内に収まることが確認できる。

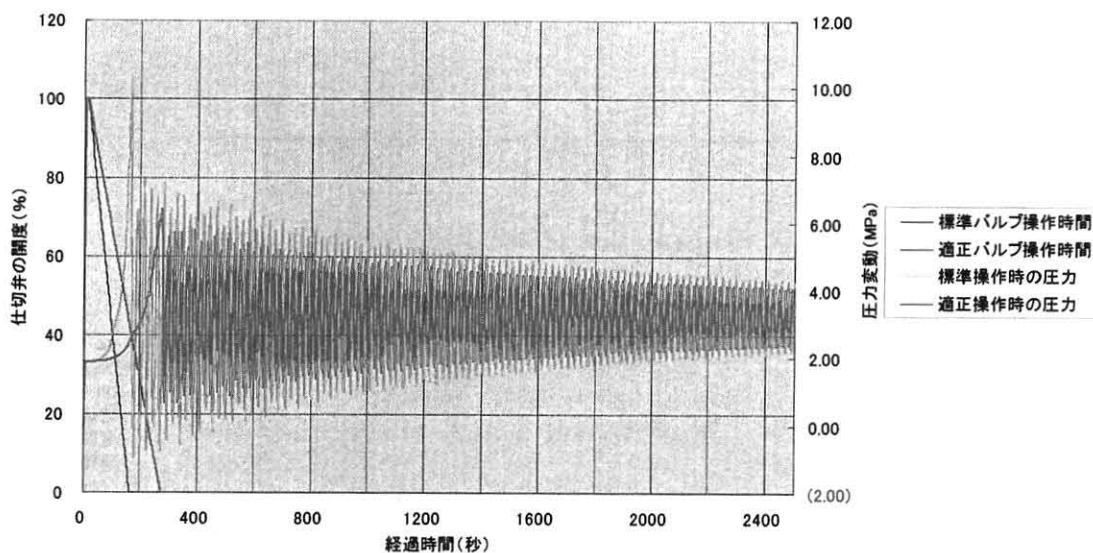


図 1－1 仕切弁の水撃圧解析例

(3) 解析効果

水撃圧は標準的な操作時間で仕切弁を閉めた場合に経験則を上まわったが、仕切弁の操作時間を長くすることで経験則の範囲内に収めることができた。

この結果を生かし管路に設置された電動仕切弁の減速ギア比の変更をおこない仕切弁をゆっくり閉めることで、管路建設コストの縮減が可能となった。

(資料番号 1 - 2) フロートバルブの水撃圧解析

(1) 概要

本解析はセミクローズドタイプの管路の下流側に 3 か所のファームポンドがあり、それぞれの流入口にあらかじめ開度調整されたフロートバルブが取り付けられているという条件で、管路に発生する水撃圧を推定したものである。

3 か所のフロートバルブはファームポンドが満水になるにつれて閉じていくが、タイミングはそれぞれのバルブで異なる。最後に満水になるファームポンドは供給される水量も含めすべてが流入するため、設置されたフロートバルブはほかの 2 つにくらべ急激に閉鎖することになる。

このとき特に大きな水撃圧が発生すると予想された。

(2) 解析

フロートバルブはファームポンドの水位上昇にしたがい満水になった順に閉じていき 3,500 秒後にはすべてが閉じることになる。

一方フロートバルブの位置に発生する圧力水頭は、ファームポンドの水位上昇にしたがいなめらかに増加していく。

このため解析例では、フロートバルブの閉鎖にともなう水撃圧の発生がほとんどないことが明らかになった。

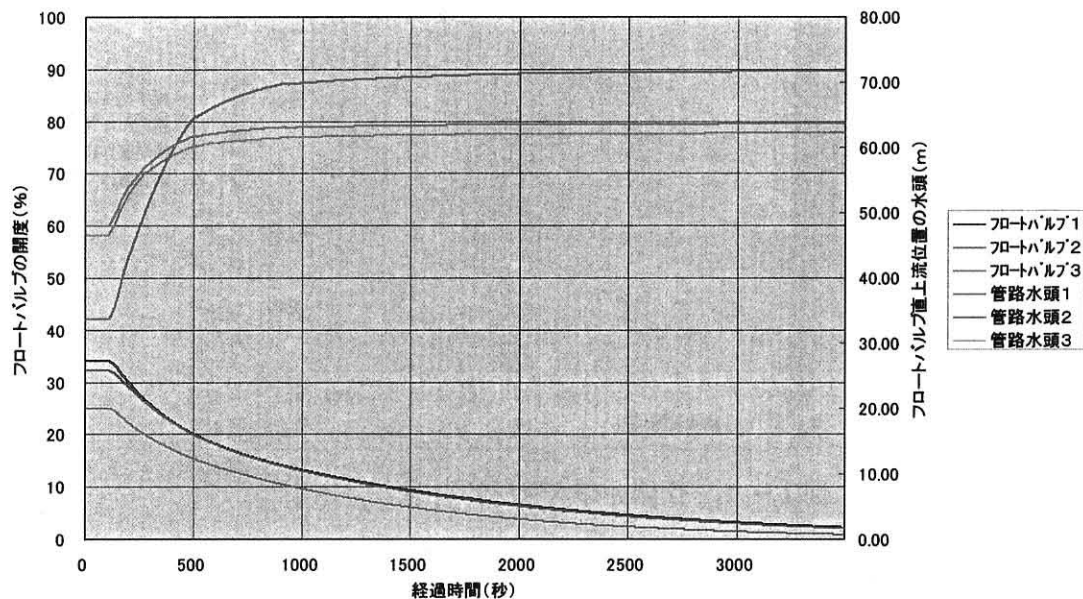


図 1 - 2 フロートバルブの水撃圧例

(3) 解析効果

解析前は、フロートバルブの閉鎖によって大きな水撃圧が発生するため管路施設の強化が必要であると考えられていたが、解析の結果から水撃圧はほとんど発生しないことから、設計に用いる水撃圧は経験則で十分であるという結論を得た。

このため管路施設の強化は必要とせず、このための建設コスト低減が可能となった。

(資料番号 1－3) サージング現象解析

(1) 概要

サイフォン形式の高圧管路に漏水などの事故が発生した場合、早急に漏水を止め管路を補修する必要がある。このとき止水のために事故発生地点の直前に設置された仕切弁を操作するか、ファームpond上流の取水ゲートを操作して管路への水の供給を止めるかは操作マニュアルとして事前に決めておくべき事項である。

高水圧管路の場合には、水撃圧の上昇を回避するために仕切弁の緊急閉鎖時間が非常に長くなる傾向にある。場合によっては直接仕切弁を閉鎖するよりもファームpond上流のゲートを閉め、それによるサージング現象がある程度収束し管路の内圧が静水圧に近くなったのちに仕切弁を閉鎖するほうが、短時間で管の破損箇所に対し水の供給を停止できる可能性がある。

(2) 解析

解析によって管路内のサージング現象が収束する時間を推定した。

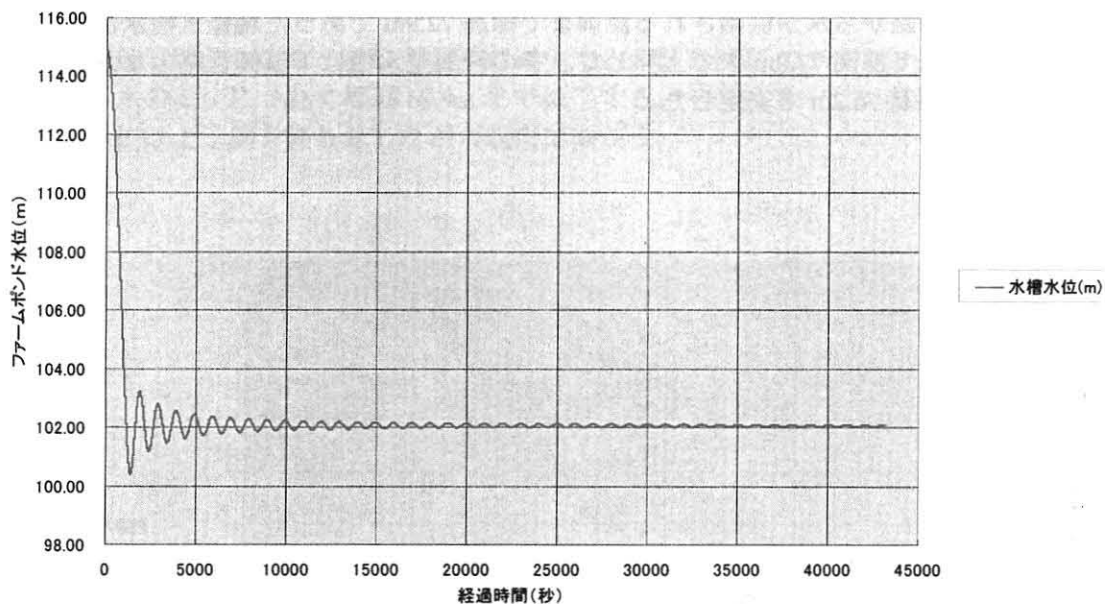


図 1－3 サージング現象解析例

(3) 解析効果

サージング現象による水位変動はファームpond上流の取水ゲートを閉めることで発生し、完全に収束には長時間を要したが、水撃圧で問題となるような大きな圧力の変動は発生しないことがわかった。そこで本解析に用いた管路では取水ゲートを閉鎖したのち仕切弁の操作をおこなうほうが、水の供給を迅速に止められるうえ水撃圧に対する安全性も高いと考えられた。

(資料番号 4 - 1) 調整水槽の水位解析 (水位上昇)

(1) 概要

流れが止まっている管路に対し調整水槽を介して上流側管路から水を急激に供給した場合、管路内の水が完全に動き始めるまでには所定の時間がかかる。この間に調整水槽には上流側管路から供給された水が滞留するために、一時的に調整水槽内の水位上昇が発生する。調整水槽内の水位上昇は一時的なものであるが、調整水槽の壁高が不十分な場合には水があふれるなどの重大な問題を生じることになる。

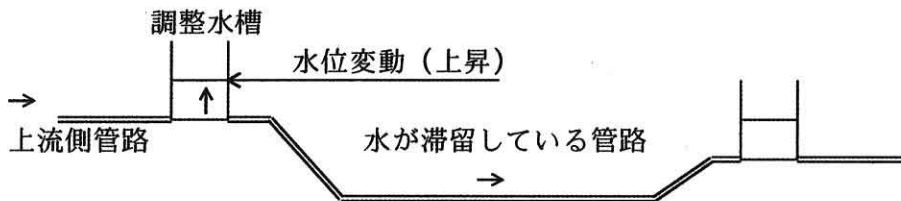


図 1 - 4 解析事例モデル

(2) 解析

上流側管路から水が供給される直前まで標高 72.9m であった調整水槽水位は、水の供給につれて標高 77.0m まで上昇した。その後調整水槽は下流側管路の水が流れ始めるにつれ標高 76.2m で安定した。

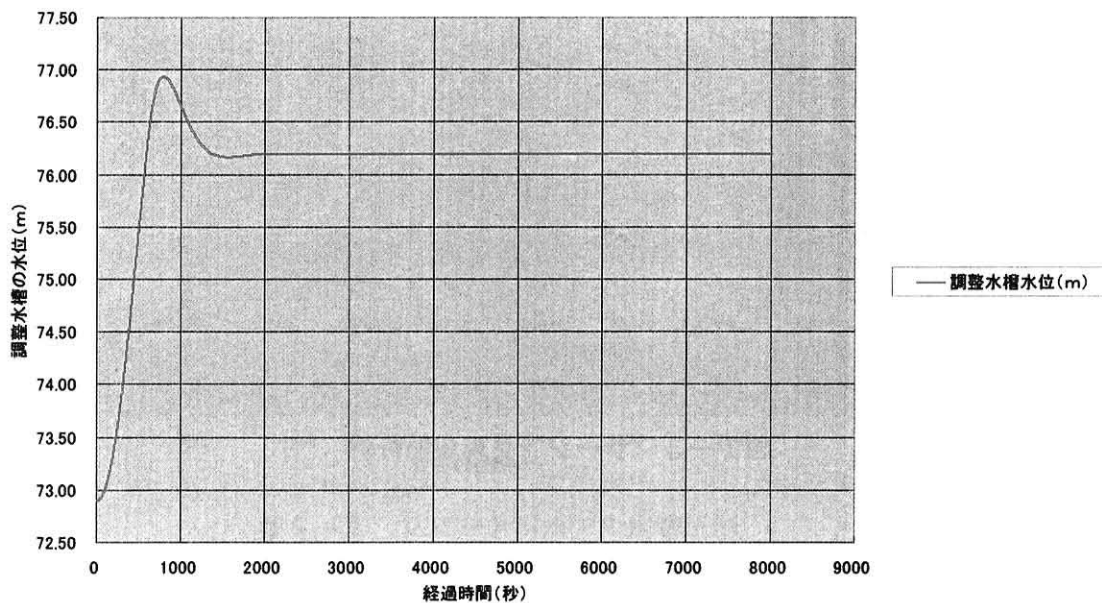


図 1 - 5 調整水槽の水位変化解析事例

(3) 解析効果

調整水槽の壁高は標高 72.6m + 余裕高で設計できた。

(資料番号 4 - 2) 調整水槽の水位解析 (水位低下)

(1) 概要

上流側管路から調整水槽内に供給される水が急激に減少した場合の、調整水槽内の水位変化を解析する。上流側管路から調整水槽内への水の供給が停止しても下流側管路の水が慣性力によってしばらくは流れ続けるため、調整水槽内の水位は一時的に低下する恐れがある。調整水槽の容量が不十分な場合には、水槽内が空になり管路内に空気が混入して通水不能となる可能性もある。

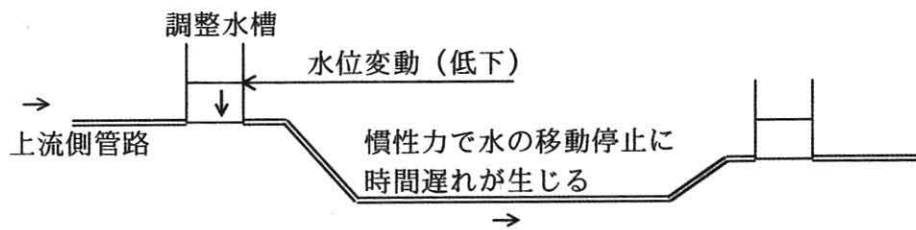


図 1 - 6 解析事例モデル

(2) 解析

上流側管路からの水の供給が急激に減少する直前に標高 72.5m であった調整水槽水位は、水の減少につれて標高 69.9m まで低下する。その後サージング現象が発生し水槽内水位は上下動を繰り返しながら収束に向かう。

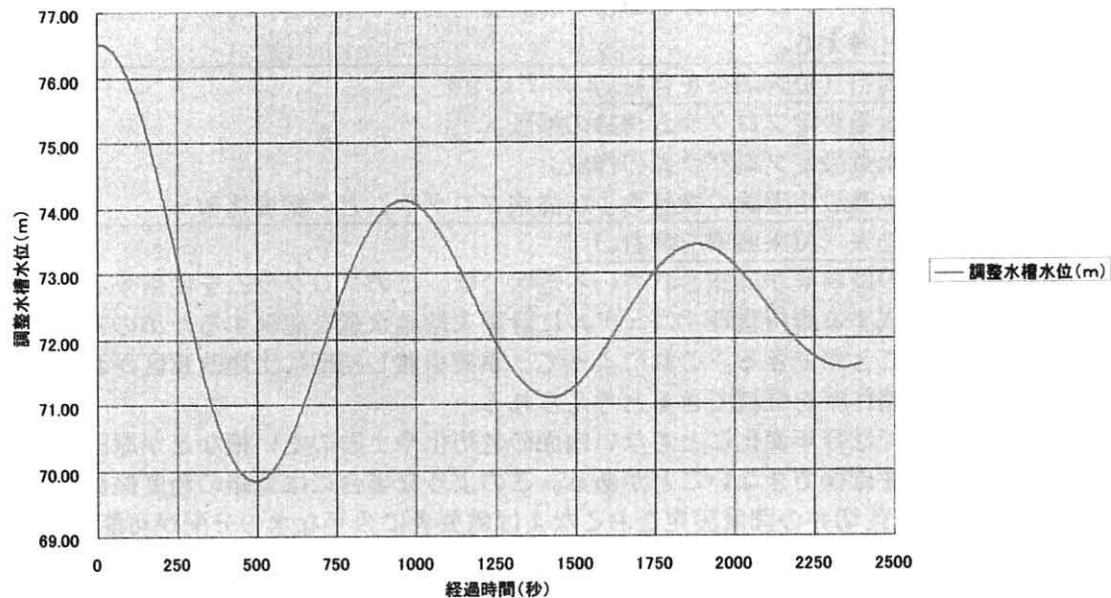


図 1 - 7 調整水槽の水位変化解析事例

(3) 解析効果

調整水槽の底盤高は標高 89.9m + 余裕高で設計できた。

2. かんがい水量設定プログラム

2-1. 新技術導入計画概要書

都道府県名		事業名	官民連携新技術研究開発事業	地区名	
事業工期及び新技術導入予定工期	H9.9～H11.3	新技術に係る工事費	万円		
新技術の区分	①先進的技術 2.従来技術の改良 3.その他（ ）				
新技術の概要	上流にファームポンドを持つ管路の末端に多数の給水口があるような場合、各末端で計画通りの水量を確保するためには各給水口付近に設置された仕切弁の開度を微妙に調整する必要がある。 かんがい水量設定プログラムは管路施設の解析モデルを作成し、末端給水口付近に設置された仕切弁の開度を変化させ、各給水口の流量変動も考慮しながら計画に近い水量を配分できる適正な仕切弁開度を計算するものである。 さらに解析で求められた細かな仕切弁開度を、作業者が現場で設定できる大まかな開度に変更した場合に得られる各給水口での水量も解析できる。				
新技術の導入理由	管路に設置された仕切弁開度による末端給水量の調整作業は、これまで維持管理を受け持つ土地改良区などの作業者が長年の経験をもとにおこなってきた。しかし仕切弁が多数ある場合には1か所を調整すればほかの給水口すべての水量が変化してしまうため、大変根気のいる作業であった。 さらにほ場の計画水量は耕作時期で違うため、1年に何回も開度を変更しなければならず、また仕切弁間の距離が長ければ調整のための移動時間がかかることもあり調整作業には多くの困難がともなった。 このような理由から、仕切弁のおおよその開度を計算で求めるかんがい水量設定プログラムが必要だと考えた。				
必要とする研究項目（追跡調査を含む。）	1. かんがい水量設定プログラム理論の検証。 2. かんがい水量設定プログラムの作成。 3. かんがい水量設定理論の検証および従来プログラムとの精度比較				
予想される適用効果（将来展望を含む。）	かんがい排水整備事業が実施されている地区では、このプログラムを使用することで事業終了後に作成する維持管理マニュアルに計画末端給水量を確保するための各仕切弁開度を記載することができる。これによって、事業引渡し初期に土地改良区がおこなう仕切弁の開度調整作業を軽減できると考えられる。 また既設管路では経年変化にともない内面の老朽化や土砂のたい積などが原因で、計画どおりの流量を確保できないことがある。このような場合には管路の粗度係数を実測し、結果をもとに仕切弁の開度設定をおこなえば需要者に公平な水の分配が可能となる。				
従来技術との比較等	従来のほ場末端の給水量調整作業は、作業者が管路に設置された仕切弁を経験的に開度調整することでおこなってきた。 かんがい水量設定プログラムは管路末端の計画配水量に適した仕切弁の開度を自動的に計算し、試行錯誤によるほ場末端の給水量調整作業を軽減するものである。				

2－2．新技術の解析事例

新技術の名称	かんがい水量設定プログラム (パイプライン設計支援ツールの開発)	
名 称	概 要	別紙資料番号
解析事例 1	仕切弁の開度設定	2－1
	本解析事例は配水系管路末端に流量制御の仕切弁が設置されているかんがい地区を対象に、計画給水量を各管路末端で確保するために仕切弁の適切な開度を設定するものである。	
解析事例 2	仕切弁の開度設定（補正）	2－2
	本解析事例は資料番号2－1の解析結果をもとに、作業者に操作の容易な区切りのいい開度に仕切弁を設定し直し、このときの管路末端流量および必要な水源流量を計算したものである。	

(資料番号 2-1) 仕切弁の開度設定

(1) 概要

本解析事例は配水系管路の末端に仕切弁が6か所設置されているかんがい地区を対象に、管路に設置された仕切弁の開度を調整することで計画給水量を各管路末端で確保するものである。

(2) 解析条件

ファームボンドの標高 : 150 m

仕切弁設置数 : 6 台

設定流量 水源流量 : 3.0 m³/s

計画給水量 : 管路(L5)= 0.5m³/s

管路(L8)=0.5m³/s

管路(L6)= 0.5m³/s

管路(L9)=0.5m³/s

管路(L7)= 0.5m³/s

管路(L10)=0.5m³/s

各仕切弁の標高 : 仕切弁 v5:101.875m

仕切弁 v8:102.331m

仕切弁 v6:101.875m

仕切弁 v9:101.900m

仕切弁 v7:102.331m

仕切弁 v10:101.900m

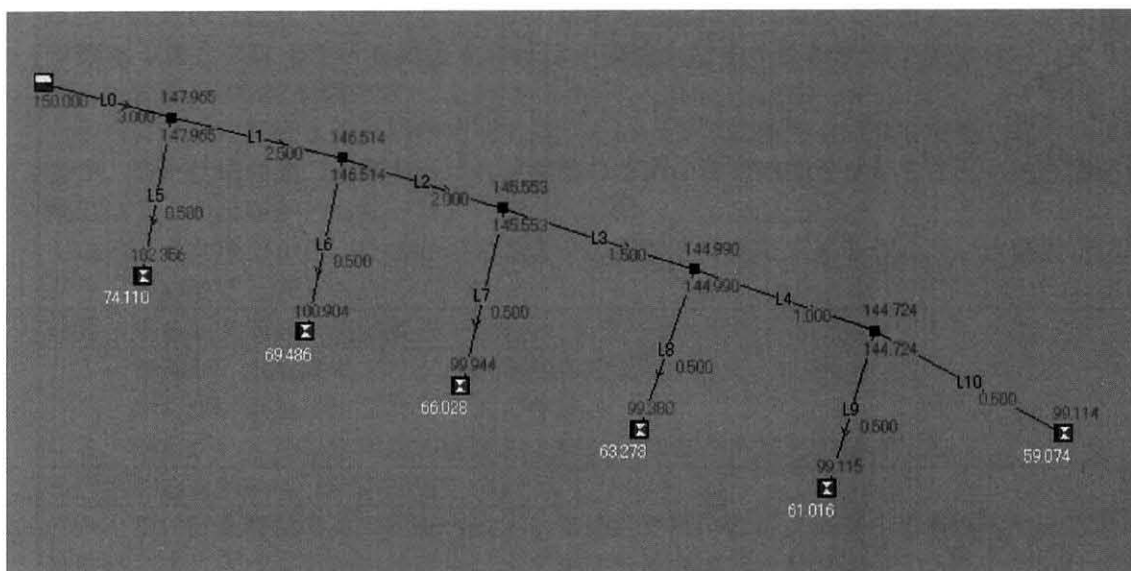


図 2-1 かんがい水量設定解析事例

配水系管路の末端に計画給水量 (0.5m³/s) を均等配分するための各仕切弁開度は、以下のように設定すればよいことが解析できた。

仕切弁 v5 : 74.110 ° 仕切弁 v6 : 69.486 ° 仕切弁 v7 : 66.028 °

仕切弁 v8 : 63.273 ° 仕切弁 v9 : 61.016 ° 仕切弁 v10 : 59.074 °

(3) 解析効果

設計かんがい水量設定プログラムは計画給水量を管路末端で確保するために必要な仕切弁開度を計算する。この結果を整備事業終了後に作成する維持管理マニュアルに記載することは、事業引渡し初期に土地改良区がおこなう仕切弁の開度調整作業を軽減できると考えられる。

(資料番号 2-2) 仕切弁の開度設定 (補正)

(1) 概要

資料番号 2-1 の解析は配水系管路末端に仕切弁が 6 か所設置されているかんがい地区を対象に、管路に設置された仕切弁の開度を調整することで計画給水量を各末端で確保するためのものであった。

本解析は資料番号 1 の解析結果をふまえ、仕切弁の開度を作業者に操作が容易な区切りのいいものに設定し直した場合に、管路末端給水量とこのときに必要な水源流量の変化を計算したものである。

下記に示す解析結果は資料番号 1 のものである。

① 資料番号 2-1 の解析条件 (抜粋)

設定流量

水源流量 : 3.0 m³/s

末端計画給水量 : 管路(L5)= 0.5m³/s 管路(L 8)=0.5m³/s

管路(L6)= 0.5m³/s 管路(L 9)=0.5m³/s

管路(L7)= 0.5m³/s 管路(L10)=0.5m³/s

① 仕切弁開度 (資料番号 1 の解析結果)

仕切弁 v5 : 74.110 ° 仕切弁 v8 : 63.273 °

仕切弁 v6 : 69.486 ° 仕切弁 v9 : 61.016 °

仕切弁 v7 : 66.028 ° 仕切弁 v10 : 59.074 °

(2) 解析

本解析では資料番号 1 の解析で求まる仕切弁開度を作業者に操作の容易な区切りのいいものに設定し直したのちに再入力し、その結果得られる水源流量と管路末端流量を計算する。

① 再設定後の仕切弁開度 (作業開度)

表 2-1 作業開度設定表

単位 : °

仕切弁 No	計算開度 ^{注1)}	作業開度 ^{注2)}	仕切弁 No	計算開度 ^{注1)}	作業開度 ^{注2)}
仕切弁 v5	74.110	75	仕切弁 v8	63.273	60
仕切弁 v6	69.486	70	仕切弁 v9	61.016	60
仕切弁 v7	66.028	70	仕切弁 v10	59.074	60

注 1) 解析開度 : 資料番号 2-1 の解析で求まる仕切弁開度

注 2) 作業開度 : 作業者が容易に設定できる仕切弁開度

②計画給水量と作業流量の比較

管路末端に設置された仕切弁を、作業上操作しやすい開度に設定し直した場合の末端給水量を作業流量として以下に示す。

管路末端における作業流量と計画給水量との差は最大で 0.037 m³/s であり、ファームポンドで必要な水源流量と計画流量との差は 0.008 m³/s であった。

表 2-2 仕切弁開度再設定後の管路末端の流量変化

単位：m³/s

末端 No	計画給水量	作業流量 ^(注1)	末端 No	計画給水量	作業流量 ^(注1)
L5	0.5	0.505	L8	0.5	0.462
L6	0.5	0.504	L9	0.5	0.487
L7	0.5	0.537	L10	0.5	0.512
始点流量：3.008（計画流量に対する誤差：0.008）					

注1）作業流量：作業者が容易に設定できる仕切弁開度で計算した場合の管路末端給水量

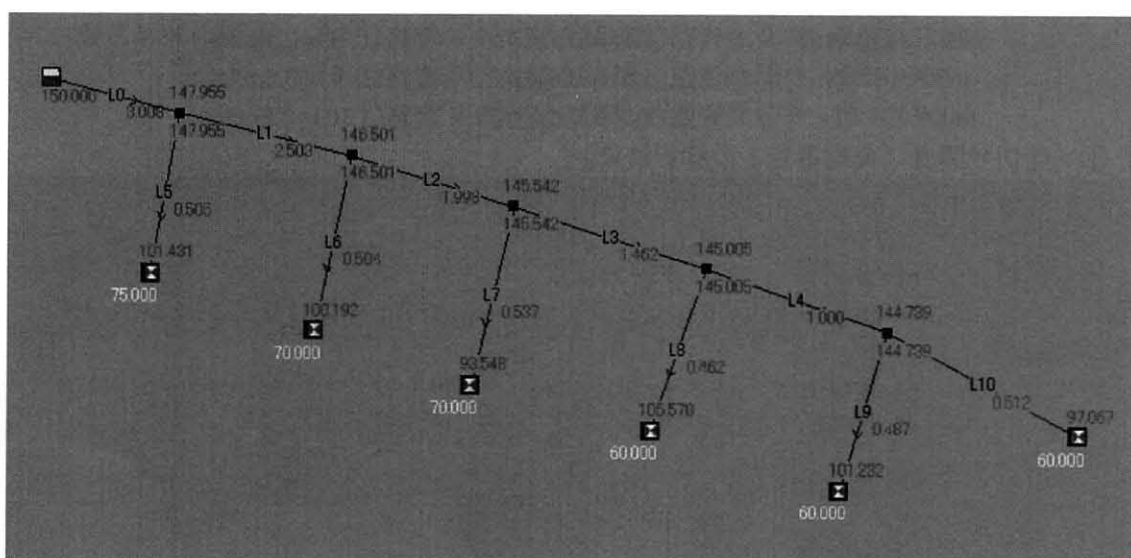


図 2-2 仕切弁を作業開度にした場合の末端給水量、水源流量解析事例

(3) 解析効果

管路の維持管理をおこなう作業者に対し、仕切弁の微妙な開度調整作業を要求することは現実的ではない。

本解析は作業者が現場で設定可能なおおまかな仕切弁開度にした場合の、管路末端給水量およびこのとき必要となる水源流量を試算できる。

3. 管の構造計算プログラム

3-1. 新技術導入計画概要書

都道府県名		事業名	官民連携新技術研究開発事業	地区名	
事業工期及び新技術導入予定工期	H9.9～H11.3		新技術に係る工事費	万円	
新技術の区分	1.先進的技術 ②.従来技術の改良 3.その他 ()				
新技術の概要	管の構造計算プログラムは、平成10年3月に改訂された土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」基準書・技術書の「9.2基礎工法の選定」から「9.4管体の横方向の設計」まで（以下、設計基準という）の管の構造計算手法部分に準拠したものである。 （計算管種）とう性管：強化プラスチック複合管、鋼管 ダクタイル管、塩化ビニル管 不とう性管：コア式プレストレストコンクリート管 また管路設計者に広く活用してもらうために、このプログラムを Internet 上の Web ページに公表した。				
新技術の導入理由	新設計基準にあるかんの構造計算手法を広く農業用水管路設計者に理解してもらうとともに、改訂後の内容を早急に普及させることを目的とした。				
必要とする研究項目（追跡調査を含む。）	1. 設計基準内容の精査 2. 管の構造計算プログラムの作成。 3. プログラムおよび計算結果の検証				
予想される適用効果（将来展望を含む。）	農業用水管路の設計者は、新設計基準に沿った管の構造計算作業が容易かつ確実にこなえる。				
従来技術との比較等	従来のプログラムは、フロッピーディスクなどの媒体を介して普及させるのが一般的であった。この方法ではプログラムに理論上またはプログラム上の変更があった場合、それまでの配布先ひとつ一つを対象にプログラムを書き換える必要があった。 一方本技術はプログラムを Internet 上の Web ページに公表しているため、上記のような問題が発生した場合には、Web サーバーにあるプログラムを書き換えるだけで修正が可能である。 この結果プログラムを変更した場合の周知徹底が容易で確実なものとなる。				

3-2. 新技術の解析事例

新技術の名称	管の構造計算プログラム (パイプライン設計支援ツールの開発)	
名 称	計算条件および結果	別紙資料番号
解析事例 1	強化プラスチック複合管の構造計算 1. 計算条件 管級：5 種管 呼径：600 mm 2. 計算結果 与えられた計算条件で求まる諸数値 ①管の許容内圧：0.23 Mpa ②たわみ率：2.059 %	3-1
解析事例 2	ダクタイル管の構造計算 1. 計算条件 管級：3 種管 呼径：600 mm 2. 計算結果 与えられた計算条件で求まる諸数値 ①管の許容内圧：2.7 Mpa ②たわみ率：1.608 %	3-2
解析事例 3	塩化ビニル管の構造計算 1. 計算条件 管級：V U 呼径：600 mm 2. 計算結果 与えられた計算条件で求まる諸数値 ①管の許容内圧：0.73 Mpa ②たわみ率：2.292 %	3-3

注) 解析事例の共通条件

施工工法	: 矢板施工
土質条件	基礎材料 : 砂質土 (SW.SW-G.SWG)
	現地盤の土質 : 砂質土
	土の内部摩擦角 : 30 °
	埋戻土の単位体積重量 : 18 kN/m ²
	沈下比 : -0.1
	突出比 : 1
	反力係数 : 3,000 kN/m ²
	変形遅れ係数 : 1.1
	設計支持角 : 120 °
作業条件	締め固め : 締め固め I
	締め固め度 : 90 % 平均
活荷重	自動車荷重 : T-20

結果検証のために用いる計算条件

設計水圧	: 0.2 Mpa
設計たわみ率	: 3 %

4. 解析関係資料

「パイプライン設計支援ツールの開発」のプログラムを使用するのに必要なおもな計算条件を下記に示す。

4-1 中心差分法による非定常水理解析プログラム

- 1) 解析の目的 : 仕切弁の水撃圧計算、サージング現象解析など
- 2) 管路データ : 口径、延長、管種、管級、管路標高
- 3) 水源データ : 位置、標高、形式、容量
- 4) 仕切弁データ : 口径、種類、初期状態、操作開始・終了時刻、操作時間
- 5) 流量データ : 流量
- 6) 解析データ : 解析時間、解析位置

4-2 かんがい水量設定プログラム

- 1) 管路データ : 口径、延長、管種、管級、管路標高
管路の流速係数（解析対象が既設管の場合）
- 2) 水源データ : 位置、標高、計画流量
- 3) 仕切弁データ : 口径、種類、標高、仕切弁の摩擦損失特性グラフ
- 4) 水量配分データ : 管5路末端への計画給水量

4-3 管の構造計算プログラム

- 1) 設計対象となる管種、管級 : 強化プラスチック複合管、ダクトイル管、鋼管など
- 2) 施工工法 : 矢板施工、素堀など
- 3) 土質条件 : 基礎材料、現地盤の土質、土の内部摩擦角、埋戻土の単位体積重量
沈下比、突出比、反力係数、変形遅れ係数、設計支持角
- 4) 作業条件 : 締め固め度
- 5) 活荷重 : 自動車荷重、群衆荷重など
- 6) 結果検証のために用いる計算条件 : 設計水圧、設計たわみ率