

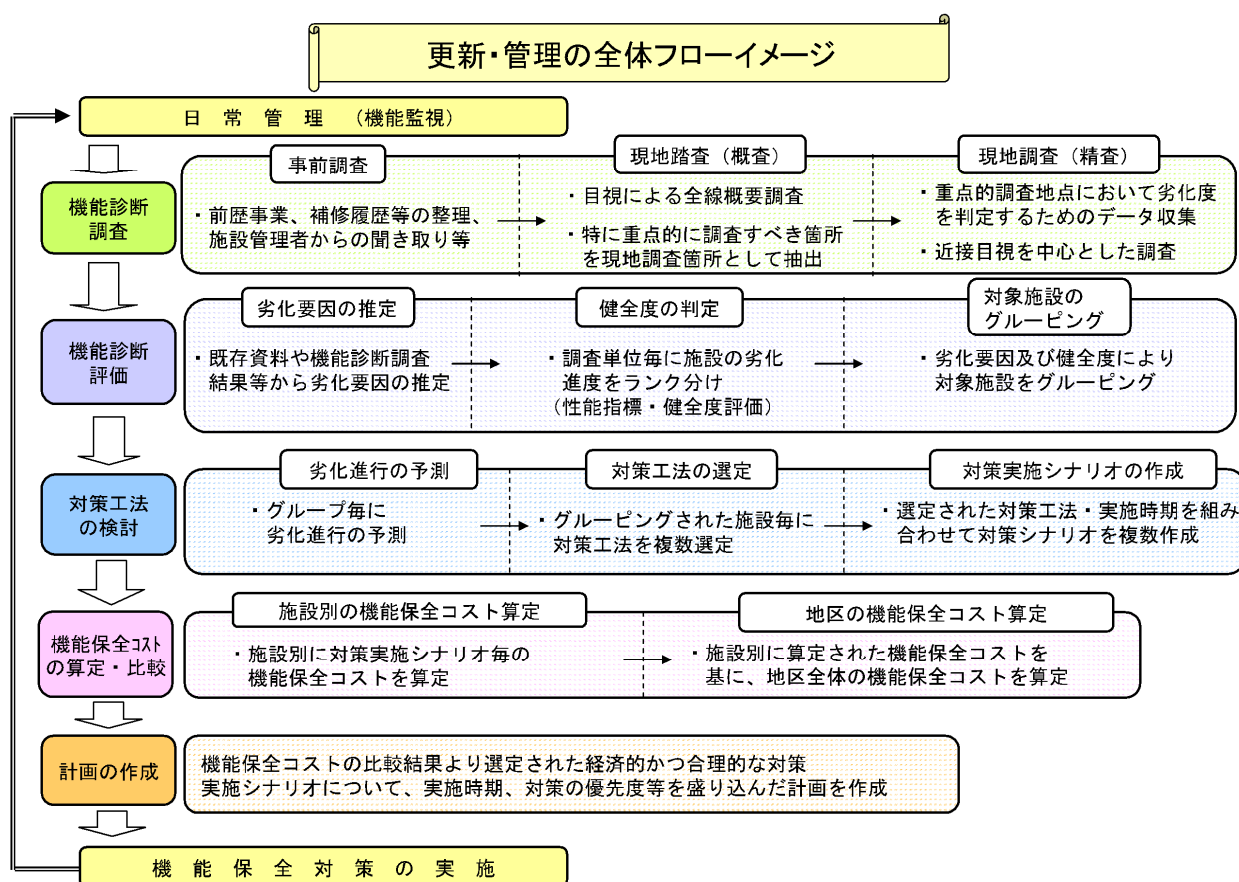
## 研究成果報告書

|         |                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------|
| 研究開発課題名 | 農業水利システムの水利用機能評価・分析・向上・可視化ツール開発                        |
| 研究総括者   | (株)チェリーコンサルタント 本條忠應                                    |
| 研究開発組合  | (株)チェリーコンサルタント、香川用水土地改良区、香川県土地改良事業団体連合会、徳島県土地改良事業団体連合会 |
| 試験研究機関  | 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構<br>農村工学研究所                      |

## 1 事業の実施内容

## 1.1 事業の背景及び目的

農業水利施設の機能保全対策については、開水路、管水路、頭首工等の構造物ごとの機能保全マニュアルが策定され、これらに基づき機能診断や最適整備計画の策定等が行われている。その流れは下図(「農業水利施設の機能保全の手引き」平成19年3月農村振興局)に示すように、機能診断調査を行い劣化度を判定するためのデータ収集を行い、それらによる機能診断評価を行い、劣化要因の推定、健全度の判定等をもとに対象施設のグルーピングを行う。さらに、劣化予測を行い、対策工法と時期の検討を踏まえて対策実施シナリオを作成することとなっている。



【図 3-2 LCCを低減する機能保全計画の策定プロセス】

「農業水利施設の機能保全の手引き」平成19年3月農村振興局 より

これら健全度の判定や劣化予測等のストックマネジメント技術は、構造機能(性能)を中心として検討されたものであり、道路、河川、下水等の土木分野とも共通する技術であるが、農業土木のユニークな、かつ農業水利システムの本来的な性能である農業水利施設の水利用や水理にかかる性能(以下、「水利用性能」および「水理性能」と呼ぶ)の機能診断技術は、現在のところ、確立した手法にまで到達しておらず、実用技術として共有できるまでに至っていない。

一方、昨今の地球温暖化に伴う気象変動や流出形態の変化、地域農業の営農形態の変化等が生じている状況下において、水利システムもこれらの状況変化に対応できる性能を具備することが必要であり、水利システムの水利用性能とそれを支える水理性能の目標性能の設定にむけた検討は、益々重要性を増している。

水利用性能は、施設の利用者の立場から評価される性能であるため、この目標性能の設定は、行政機関だけで行うのでは不十分であり、施設を管理している土地改良区や水管理を行っている農家等を交えて設定する必要がある。その際に、行政機関の認識と施設を管理し水を使っている方々の認識が乖離していれば、目標性能の設定も困難である。

認識の共有を図る上で、合意形成を促進するためのより効果的な手法と、専門的な内容である水利システムの水利用性能をより分かりやすく説明できる手法が必要と言える。

そこで、本研究開発では、水利システムの水利用性能に係る認識をより効果的に行うためのツールと、専門的な水利用性能自体を、可視化によってより分かりやすく表示することの出来るツールを開発し、水利用性能の評価・分析・向上にかかる関係者での理解の促進に寄与するものである。

## 1. 2 事業の内容及び実施方法

### (1) 農業水利システムの水利用機能評価・分析・向上・可視化ツールの開発

#### 1) 水利システム評価ツール開発

農業水利システムの水利用性能の機能診断は、現地調査、施設管理者からの聞き取り等によって行われるが、その結果に基づく客観的なリスク評価方法は確立されていない。本研究開発事業では、機能診断結果に基づき水利システムのリスク評価を行うツールとしてR-map法を適用した。

R-map法とはリスクの「発生頻度」と「危害の程度」からなるマトリクスを作成し、リスクの客観的な評価を行うものであり、特に製造産業部門では代表的なリスク評価手法となっている。水利システムリスク評価の具体的な手法は、これまで提案されていないが、水利システムのリスクについても、問題が発生した場合のリスクの大きさと発生頻度によって評価することが可能である。そこでR-map法を水利用性能のリスク評価に適用し、上述の2つの評価軸からなるマトリクスにおいて、水利システムの水利用性能のリスク評価を行った。

農業水利システムのリスク評価においては、農業水利システムが広域に配置されたものであるため、水利用性能の評価は水理的連続性・一体性、水利用上の施設の重要性などの観点から区分した施設毎に、水利用性能を細区分した水源機能、配水機能、分水機能、需給調整機能等に区分した機能毎に評価することとした。

## 2) 水利システム性能分析ツールの開発

農業水利システムの水利用性能は水理性能によって裏付けされるものであり、水理解析によって検証されるものである。本研究開発では、過渡的な水理現象の解析を中心に不定流解析プログラムを水利解析ツールとして採用した。不定流解析モデルの諸元は、定流の水理解析から同定し、現況の水理現象を不定流水理解析によりシミュレートし、現在の水利システムの性能を分析する手法を取りまとめた。

## 3) 水利システム性能向上ツールの開発

水利用性能の機能診断結果を基に、水利システムの水利用性能を回復・向上を図るためのソフト・ハードの手法の検討手法について取りまとめた。水利用性能の確認は、構築された水理解析モデルを用いて行った。

## 4) GIS利用ツール開発

本研究開発では、GISを利用して、水利用性能の可視化を行った。

### (2) 現地応用

#### 1) 現地モデルの構築

水利システム評価ツール、水利システム性能分析ツールおよび水利システム性能向上ツールについて現地モデルを構築し、適用を行った。

#### 2) 適用性の確認

現地適用の効果について検証した。

## 1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

| 技術的問題点                                                                          | 対応                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水利用システムは施設が組織化されたいわゆるネットワークとしての評価が必要であり、ネットワークの性能規定化の議論はこれまで他の分野でもほとんど行われていないこと | <p>水利システムは水のネットワークシステムであるから、そのエネルギー(水頭)と量の算定は水理解析により可能となる。このため、本研究開発では、水利用性能を評価するうえで、次のように対応した。</p> <p>①水利用性能の診断において、リスクの発生カ所と、その性格およびリスクの大きさから、現在、水利システムが抱えている当該リスクについて評価する手法を策定した。</p> <p>②不定流解析により、水理現象を再現できる解析モデルを構築し、リスク発生の原因を水理解析の結果から明らかにする手法を策定した。</p> <p>③不定流の場合は、刻々と変化する水理現象であり、時間とともに変動する水位や流量を動画やGISマップにより分かりやすく表示する手法を策定した。</p> |
| 水利用の性能は、水管理方法でもカバーすることができ、精緻な水管理システ                                             | <p>農業水利システムの水理挙動をシミュレートできる水理解析モデルを構築すれば、現状の分析や対策を講じた後の水利用性能の状況を予測することも可能となる。施設管理者に</p>                                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                                   |                                                                                                |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ムの導入やマンパワーの増強等によっても性能を補うことができ、それをどう評価するかの整理が難しいこと | よる取水、分水等の操作を伴う水管理は、過渡的な状況として不定流解析を行くことにより評価でき、水管理方法を変更・改良することにより水利用性能がどう変化するか等の評価を行うことが可能となった。 |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 1. 4 事業の実施体制

##### (1) 研究開発組合内の役割分担

| 個別研究テーマ                          | 事業実施主体          |                |               |
|----------------------------------|-----------------|----------------|---------------|
|                                  | チェリー<br>コンサルタント | 香川県土連<br>徳島県土連 | 香川用水<br>土地改良区 |
| 農業水利システムの水利用機能評価・分析・向上・可視化ツールの開発 |                 |                |               |
| ①水利システム評価ツール開発                   | ◎               | ◎              | ○             |
| ②水利システム性能分析ツール開発                 | ◎               | ◎              | ◎             |
| ③水利システム性能向上ツール開発                 | ◎               | ○              | ○             |
| ④GIS利用ツール開発                      | ◎               | ○              | ○             |
| 現地応用                             |                 |                |               |
| ①現地モデルの構築                        | ◎               | ◎              | ○             |
| ②適用性の確認                          | ◎               | ◎              | ○             |

##### (2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

| 個別研究テーマ                          | [研究機関]<br>農村工学研究所 | 事業実施主体          |                |               |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------|---------------|
|                                  |                   | チェリーコン<br>サルタント | 香川県土連<br>徳島県土連 | 香川用水<br>土地改良区 |
| 農業水利システムの水利用機能評価・分析・向上・可視化ツールの開発 |                   |                 |                |               |
| ①水利システム評価ツール開発                   | ◎                 | ◎               | ◎              | ○             |
| ②水利システム性能分析ツール開発                 | ○                 | ◎               | ◎              | ◎             |
| ③水利システム性能向上ツール開発                 | ○                 | ◎               | ○              | ○             |
| ④GIS利用ツール開発                      | ◎                 | ◎               | ○              | ○             |
| 現地応用                             |                   |                 |                |               |
| ①現地モデルの構築                        | ◎                 | ◎               | ◎              | ○             |
| ②適用性の確認                          | ◎                 | ◎               | ◎              | ○             |

## 1.5 事業の年度計画と実績

| 事業内容              | H24年度 | H25年度 |
|-------------------|-------|-------|
| 評価・分析・向上・可視化ツール開発 |       |       |
| 水利システム評価ツール開発     | →     | →     |
| 水利システム性能分析ツール開発   | →     | →     |
| 水利システム性能向上ツール開発   | →     | →     |
| GIS利用ツール開発        | →     | →     |
| 現地応用              |       |       |
| 現地モデルの構築          | →     | →     |
| 適用性の確認            | →     | →     |

注) → は計画 → は実績

## 1.6 研究開発の概要、結果、課題等

### (1) 農業水利システムの水利用機能評価・分析・向上・可視化ツールの開発

#### 1) 水利システム評価ツール開発

本研究開発全体の概要を図1に示す。まず、可視化により認識の共有が可能となる水利システムの水利用性能診断・評価手法を策定した。水利用性能が低下すると、計画通りの用水の供給が困難になってくる。すなわち水利用のリスクが発生することとなる。そこでこのリスクの評価を具体的に行い、それを可視化する手法としてR-map法を適用した。同法は、製造産業部門の生産に係るリスク管理手法として多用される手法であり、リスクの危害の程度(大きさ)と発生頻度との関係からリスク評価を行うものである。

水利用性能のリスク評価についても、性能低下に伴う被害の大きさや、発生頻度から評価することが出来るため、本研究開発ではR-map法をリスク管理手法として採用した。

本研究開発における水利用性能の診断・評価手法を次に示す。

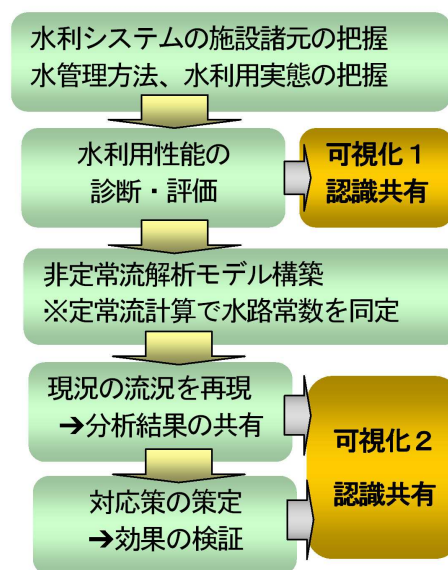


図1 研究開発フロー

図1で、本研究開発の「評価ツール」は可視化1、「分析ツール」および「向上ツール」は可視化2として示した。

#### ① 施設管理者からの聞き取りおよび現地調査

その際、水利用上の問題の内容を、水量不足や到達時間遅れなどの具体的な状況、被害の内容、発生頻度、施設管理者の水管理実態等について把握する。これにもとづき、現地調査を行い、施設の老朽化の状況や水理現象等について把握し、聞き取り内容と関連するデータを収集する。

現在のストックマネジメントにおける土地改良区への問診票(開水路の例)は次のようになっている。

|                                                |       |                                                                                   |  |
|------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|
| 水<br>利<br>用<br>・<br>水<br>理<br>上<br>の<br>異<br>常 | 通水性   | 1. 異常有り<br>①所定の通水量が確保できない<br>②通水量が安定しない(管理が難しい)<br>③漏水が発生している<br>④その他の異常が見られる ( ) |  |
|                                                |       | 2. 異常無し<br>【特記】                                                                   |  |
|                                                | 水位の維持 | 1. 異常有り<br>①水位の異常上昇、溢水がみられる<br>②水位の異常低下がみられる<br>③水位が安定しない<br>④その他の異常が見られる ( )     |  |
|                                                |       | 2. 異常無し<br>【特記】                                                                   |  |

「農業水利施設の機能保全の手引き」平成19年3月農村振興局 より

本研究開発では、水利用に関する機能評価を行うため、土地改良区への問診等によって把握すべき内容を次の様式として取りまとめた。

| 内容                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 備考 |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 水<br>利<br>用<br>上<br>の<br>問<br>題 | 1. 用水量不足の発生(水量不足が常態化している場合)<br>Pl : 用水不足が生じる水路区間または分水地点<br>Ql : 不足用水量(計画水量に対する不足量)<br>Rl : 不足割合(計画用水量に対する割合)<br>Tl : 用水不足の発生時期(しろかき期、普通期、最小流量期など)<br>Fl : 発生頻度(年間の発生確率などで記載)                                                                                                        |    |
|                                 | 2. 用水到達遅れの発生<br>Pd : 用水到達遅れが生じる水路区間<br>td : 到達遅れ時間<br>Td : 用水不足の発生時期(しろかき期、普通期、最小流量期など)<br>Fd : 発生頻度(年間の発生確率などで記載)                                                                                                                                                                  |    |
| 問<br>題<br>の<br>発<br>生<br>原<br>因 | A. 水源機能の低下<br>・ダム等の水源施設の貯水容量の減少、取水・放流施設の機能低下など<br>B. 取水機能の低下<br>・取入口の機能低下など<br>・水路の通水機能低下に対処するための減量取水管理など<br>C. 通水機能の低下<br>・水路の構造的な機能低下、不安定な水理現象の発生による溢水など<br>D. 需給調整機能の低下<br>・調整池の貯水容量不足など<br>E. 分水機能の低下<br>・不安定な水理現象の発生による分水量の低下など<br>F. 管理・操作機能の低下<br>・水管理施設の機能低下などによる管理・操作効率の低下 |    |
|                                 | A. 現行の水管理体制<br>・土地改良区、農家による水管理体制、作業従事時間<br>B. 水管理体制の強化実績<br>・問題に対処するため、水管理体制や操作の変更等の実績<br>C. 取水・配水操作の変更実績<br>・問題に対処するため、取水・配水操作の変更を行った実績                                                                                                                                            |    |
| 水<br>管<br>理<br>の<br>実<br>態      |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |

## ② 聞き取り結果の取りまとめ(表1 : 水利用性能評価マトリクス)

農業水利システムは広域に設置されたネットワークシステムであるので、次に問題を具体的に特定する必要がある。特定事項を次の通り整理した。

| 特定事項            | 内 容                             | 備考 |
|-----------------|---------------------------------|----|
| 1. 性能低下カ所       | 水利システムのなかで、水利用性能が低下しているカ所を特定する。 |    |
| 2. 性能低下が生じている機能 | 水利システムで、性能低下が生じている機能を特定する。      |    |

### i) 性能低下カ所の特定

性能低下カ所を特定するため、ネットワークの上流から下流まで、診断対象施設もしくは区間を設定する必要がある。今回、その基本方針を次のとおりとした。

| 区分         | 内 容                                                       | 備考 |
|------------|-----------------------------------------------------------|----|
| 単独の水利施設    | 水のエネルギーや水量に変化が生じている施設は、当該施設の水利性能を診断する必要がある                |    |
| 連続している線的施設 | 水のエネルギーや水量に変化が生じていない水路等の線的施設は、分土工や調整池などのエネルギーや水量の変化施設で区切る |    |

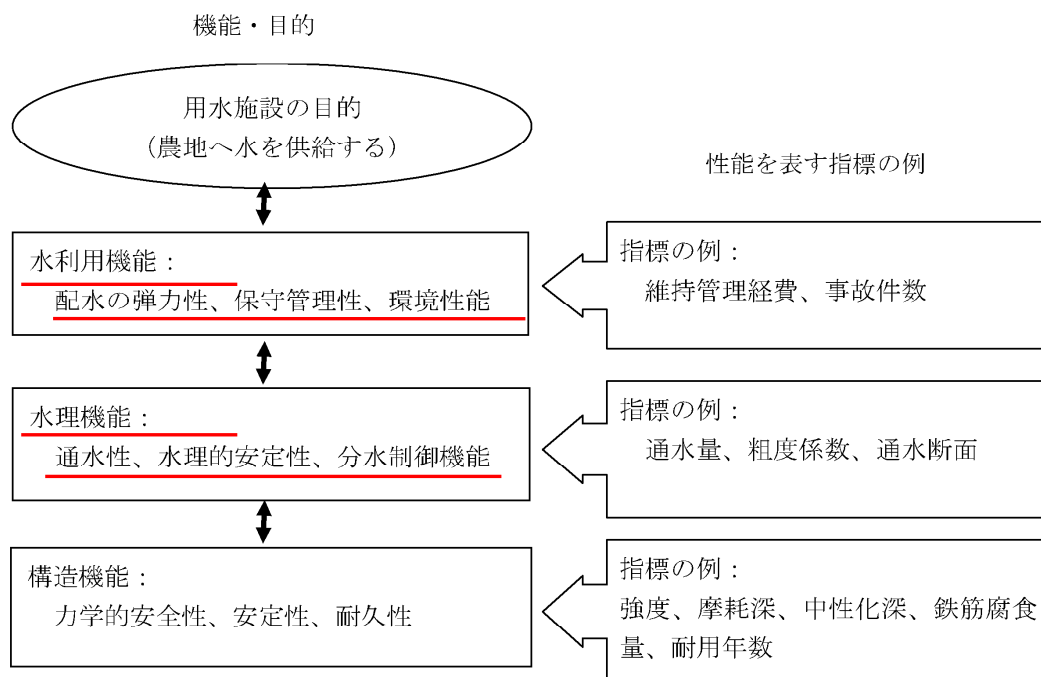
この基本方針に基づき、次の施設もしくは区間を機能診断の対象とした。

| 施設名    | 説 明                                                                                                                | 備考 |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 水源施設   | ダム、ため池等の施設で、水源としての用水供給機能を評価する必要がある施設。                                                                              |    |
| 取水施設   | 頭首工のような水路システムへの取り入れ施設で、水路システムの始点部の水のエネルギーと量を規定するため、取水機能を評価する必要がある施設。                                               |    |
| 水路施設   | 開水路、管水路、サイフォン等の附帯施設で構成される水路施設で、用水のエネルギーと量の損失にかかる通水機能を評価する必要がある施設。<br>水路型式、水管理方法、流下能力、附帯工の設置カ所等の観点から対象とする水路区間を選定する。 |    |
| 需給調整施設 | 調整池、ファームポンド等の貯水施設で、水利システムのネットワークの途中地点で水のエネルギーと量の供給機能を評価する必要がある施設。                                                  |    |
| 分水施設   | 幹線水路から分水する構造物で、用水のエネルギーと量の分水機能を評価する必要がある施設。                                                                        |    |

### ii) 性能低下が生じている機能の特定

これまで、農業水利施設の機能と性能に関して、基準化されたものはないが、前出の「農業水利施設の機能保全の手引き」では、水利用機能として、配水の弾力性、保守管理性、環境性能、水理機能として、通水性、水理的安定性、分水制御機能が記載されている(下図)。





【図 3－4 農業水利施設の機能と性能】

「農業水利施設の機能保全の手引き」平成19年3月農村振興局 より

今回は、水理解析によって性能を分析するので、水利用に係る機能の名称として、水理解析との関係が分かりやすい下記の機能を採用することとした。

| 機能名称    | 内 容                                          | 備考 |
|---------|----------------------------------------------|----|
| 水源機能    | 必要な貯水容量を確保し、必要水量を受益地に供給できる機能                 |    |
| 通水機能    | 受益地に必要な水を通水できる機能                             |    |
| 需給調整機能  | 受益地で必要な需要量と供給水量との時間的なギャップを調整するため必要水量を補給できる機能 |    |
| 分水機能    | 必要な分水量を、安定的に分水できる機能                          |    |
| 管理・操作機能 | 適切な管理・操作が行える機能                               |    |



### iii) 水利用性能評価マトリクスの作成

水利用性能を評価するために、水利施設名を列、水利用機能を行とするマトリクスを作成する。このマトリクスの該当するセルに、水利用性能の問題について聞き取り等で把握した内容を記載することとした。

表1 水利用性能評価マトリクス(今回の事例)

| 水利施設名<br>水利用機能 | 取水口 | ○幹線水路 | 分水工 | △幹線水路 | 調整池 | □幹線水路 |
|----------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 1. 水源機能        |     |       |     |       |     |       |
| 2. 通水機能        |     |       |     |       |     |       |
| 3. 需給調整機能      |     |       |     |       |     |       |
| 4. 分水機能        |     |       |     |       |     |       |
| 5. 管理・操作機能     |     |       |     |       |     |       |

#### (表1の記載における留意事項)

- a) 該当する施設および機能のセルに次の内容を記載する。
  - 水利用における問題  
用水不足、到達時間遅れなどについて、不足水量や遅れ時間を具体的に記載する。また、これにともなう営農上の問題(維持管理への負荷や作物への被害など)について記載する。
  - 問題発生頻度  
かんがい期間中の問題の発生状況について、発生頻度や水管理操作との関係等について記載する。
  - 施設管理者の対応  
問題に対して、施設管理者が講じている水管理上の対策について具体的に記載する。
- b) 施設は、水利システムの上流から下流に従って記載する。
- c) 水利用機能の名称については、水利システムの特色を踏まえて、評価する必要がある機能を記載する。
- d) 施設及び水利用機能の設定に於いては、施設管理者の意見を踏まえて作成する。

(注)ここでは、水利用にかかる機能診断について記載していることから「水利用機能」と表記し、さらにその具体的な機能の名称として「○○機能」と表記した。なお、表1の各セルには、各機能の性能低下の状況を記載するものである。

### ③ R-map法の水利用性能の評価への適用(リスク区分マトリクス)

R-map法では、縦軸を発生頻度、横軸を危害の程度とし、それぞれ数ランクに区分したリスク区分マトリクスを用いている。農業水利システムの水利用性能低下にともなうリスク評価も、発生頻度と問題の程度から評価するのが適切であると考え、同法を適用した。

今回作成した農業水利システムのリスク評価に適用するリスク区分マトリクス(図2)は、次の点を追加し、農業水利分野への適合性を考慮した。

- i) 発生頻度および危害の程度について、R-map法の定性的な表現そのままでは農業水利の分野に適用しにくいので、水利用性能にかかる具体的な記述をあらたに付記した。
- ii) R-map法では、このマトリクスをA, B, Cの3つのリスク領域(A:許容できない領域～C:安全領域)に分類することとしているが、農業水利の分野では、危害が致命的で、頻発すると分類される右上のセルだけは、社会的にも問題が大きく、特に緊急な対応が必要と考えられるため、Aを超えるリスク領域AAとして区分した。
- iii) AA～Cのリスク評価ごとに、必要な対応について同図の左下に記載した。

| 発生頻度                                                                                                                                                                 |          |                                 | リスク領域(対応の緊急性の評価)           |                                               |                                                     |                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 区分                                                                                                                                                                   | 定性的な表現   | 水利用性能にかかる記述                     |                            |                                               |                                                     |                                                                                       |
| 3                                                                                                                                                                    | 頻発する     | 日常的に発生<br>(管理を強化しても<br>常態化している) | C                          | B                                             | A                                                   | AA                                                                                    |
| 2                                                                                                                                                                    | 時々発生する   | 取水・分水操作<br>時等に時々発生する            | C                          | C                                             | B                                                   | A                                                                                     |
| 1                                                                                                                                                                    | 起こりそうにない | 発生する見込みは非常に小さい                  | C                          | C                                             | C                                                   | B                                                                                     |
| 0                                                                                                                                                                    | まず起こり得ない | まず発生することはない                     | C                          | C                                             | C                                                   | C                                                                                     |
| 対応の緊急性の評価<br>AA: 措置を講じるまで通水停止<br>A: 即座に対応が必要<br>B: できるだけ早く改善<br>C: 早急な対応は要しないが適切な対応を検討<br><br><b>【備考】</b><br>B以上は、「水理シミュレーション」を実施し原因究明、Cは、必要に応じ水管理方法の改善等のソフト対応について検討 |          |                                 | 定性的な表現                     |                                               |                                                     |                                                                                       |
|                                                                                                                                                                      |          |                                 | 微小                         | 軽微                                            | 重大                                                  | 致命的                                                                                   |
|                                                                                                                                                                      |          |                                 | 水利用性能にかかる記述                |                                               |                                                     |                                                                                       |
|                                                                                                                                                                      |          |                                 | 施設管理者の管理負担が特段に増大することなく対応可能 | 流量不足、用水到達時間遅れ、分水不良等の発生に対処するため、管理強化することに対応している | 管理を強化しても、流量不足、用水到達時間遅れ、分水不良等が発生し、これら地域の営農に影響を及ぼしている | かなりの受益地で流量不足、用水到達時間遅れ、分水不良等が発生し、これら地域の営農に影響を及ぼしている<br>(共同事業の場合は、他事業への用水供給にも影響を及ぼしている) |
|                                                                                                                                                                      |          |                                 | 0                          | I                                             | II                                                  | III                                                                                   |
|                                                                                                                                                                      |          |                                 | 危害の程度                      |                                               |                                                     |                                                                                       |

図2 水利用性能のリスク区分マトリクス

#### ④ 水利用性能評価マトリクス(表1)のリスク判定

水利用性能評価マトリクスのセルに記載された内容を基に、リスク区分マトリクス(図2)を適用してリスクの判定を行う。AA～Cの判定結果に基づき、AA(赤)、A(薄い赤)、B(黄)、C(無着色)とセルを着色する。

## 2) 水利システム性能分析ツール開発

次に水利システムの性能を次の手順により分析する。

### ① 水理解析対象区間の決定

(表1) 水利用性能評価マトリクスのB評価以上の施設もしくは区間を含む水理解析区間を決定する。

(水理解析区間の決定における留意事項)

- ・ 水管理や施設の操作により、影響が発生すると考えられる範囲を考慮する。
- ・ 水理解析に必要となる、施設諸元や水位・流量データ、取水・分水データ、施設操作データ等の情報取得が可能であることを考慮に入れる。
- ・ 施設管理者の水管理上の問題意識に関連する範囲を考慮に入れる。

### ② 水利システム現況データの収集

- ・ 水理解析に用いるため、水利システムの解析対象区間の現況データを収集する。
- ・ 水理解析モデルのパラメーターは、現況の定常状態の流れを再現することによって同定する。このため、データ精度が再現性に大きく影響することとなるので、できるだけ精度の高いデータ取得を行う必要がある。

収集するデータ内容を次表に示した。また、精度の高い現況データを収集するにあたっての留意事項は下のとおりである。

#### 【現況データ収集における留意事項】

##### i) 観測計画の樹立

定常状態、非定常状態の両方のデータを収集するため、次の観測計画を立てる。

##### 1. 観測期間

定常流観測期間： 月 日 時 ～ 月 日 時

非定常流観測期間：月 日 時 ～ 月 日 時

##### 2. 観測地点

No.1 ○○ No.2 ○○ No.3 ○○

##### 3. 観測データ

データの種類(観測機器)

.....

##### 4. 観測体制

観測者配置計画、通信方法

##### 5. 施設管理者との連絡体制

通信方法

## ii) データ収集における留意事項

- ・観測は、施設管理者の協力を得て行う必要があるため、観測計画の内容について、事前に土地改良区等と調整を図る。
- ・観測データから、時間と観測諸量のマトリクスを構成する解析用データベースを作成する。
- ・観測機械の不備等で欠測が生じたりデータの精度に問題がある場合は、それが水理解析に及ぼす影響を考慮して、必要に応じ再度データ収集を行う。

表 水理解析に使用するデータ一覧(開水路の事例)

| 項 目    | データ名                                                                                                        | 取 得 方 法                                                                                                                                                                                                   | 備考 |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 水理データ  | 水位(水頭)<br>h                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水位観測地点は、水理解析区間の ①始点部付近、②終点部付近、③分水地点等と流量変化地点付近とする</li> <li>・ 測定は、デジタル水位計、もしくは自記水位計を設置して行うが、マニュアルでも計測し観測誤差の有無を確認する</li> <li>・ 測定は、定常状態および非定常状態の流れに対して行う</li> </ul> |    |
|        | 流速 v                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 観測地点は、水位観測地点とする</li> <li>・ 測定は、電磁流速計、もしくはプロペラ式流速計により行う</li> <li>・ 測定は、定常状態の流れに対して行う</li> </ul>                                                                   |    |
|        | 流量 q                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水路の <math>h \sim A</math> 曲線から、<math>q (= A \times v)</math> を算定する</li> </ul>                                                                                    |    |
| 利水データ  | 取水量 i                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 取水施設の取水量記録をもとに整理する</li> </ul>                                                                                                                                    |    |
|        | 分水量 d                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 分水工の水位を計測し、分水量を算定する</li> <li>・ 水位の計測はデジタル水位計またはマニュアルで行う</li> </ul>                                                                                               |    |
|        | 調整施設からの放流量 $q_a$                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 調整施設の放流量記録をもとに整理する</li> </ul>                                                                                                                                    |    |
| 構造データ  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・施設諸元</li> <li>・施設底高</li> <li>・壁高</li> <li>・断面狭窄(変状、堆砂など)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水路縦横断図等から整理するとともに、現地で実測する</li> <li>・ 断面狭窄部等については、施設の変状や堆砂の状況を現地で計測する</li> </ul>                                                                                  |    |
| 水管理データ | 施設管理者の操作内容など                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施設の操作記録及び土地改良区への聞き取り等で整理する</li> </ul>                                                                                                                            |    |

### ③ 水理解析モデルの構築

水理解析モデルを、上で得られたデータを使って構築する。

本研究開発では、非定常流解析を差分法による数値解析で行った。

開水路の非定常流を記述する基礎式は、下流端を  $x$  の原点とすれば、式(1)の運動方程式と式(2)の連続方程式である。なお、差分方法は中心差分法を用いた

(1) 運動方程式

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2g} \frac{\partial V^2}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + S + \frac{n^2 V |V|}{R^{4/3}} = 0$$

(2) 連続方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

ここで、

$g$  : 重力加速度 ( $m/s^2$ )  
 $t$  : 時間 (sec)  
 $V$  : 流速 ( $m/s$ )  
 $x$  : 距離 ( $m$ )  
 $H$  : 水深 ( $m$ )  
 $S$  : 水路勾配 ( $x$  が正の方向へ下る場合に正)  
 $n$  : 粗度係数  
 $R$  : 水路の径深 ( $m$ )  
 $A$  : 流積 ( $m^2$ )  
 $Q$  : 流量 ( $m^3/s$ )  
 $q$  : 単位幅当たりの横流入量 ( $m^3/s$ )

局部的に複雑な流れが生じるところでは、次の 2 次元方程式を解き  $H$  と  $V$  を求める。

(1) 運動方程式

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{g} U \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{g} V \frac{\partial U}{\partial y} + i_x + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 \sqrt{U^2 + V^2}}{h^{4/3}} U = 0$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{g} U \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} V \frac{\partial V}{\partial y} + i_y + \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{n^2 \sqrt{U^2 + V^2}}{h^{4/3}} V = 0$$

(2) 連続方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} - q = 0$$

ここで

$Q_x, Q_y$  :  $X, Y$  方向の単位幅当たりの流量 ( $m^3/s$ )  
 $U, V$  :  $X, Y$  方向の流速 ( $m/s$ )  
 $i_x, i_y$  :  $X, Y$  方向の底勾配  
 $x, y$  :  $X, Y$  座標  
 $q$  : 単位面積 (距離当たり) の流出入流量

#### ④ 現況再現モデルの構築

上の水理解析モデルで、定常状態の流れの再現計算を行い、モデルパラメータを同定し、現況再現モデルを構築する。



#### ⑤ 非定常状態の流れの再現

上の現況再現モデルで、非定常状態の流れをシミュレーションし、観測値と計算値の適合状況をグラフ表示する等で、再現精度について確認する。



#### ⑥ 水利用性能の低下要因の分析

水理解析の結果を見ると、水頭、流量のロスが発生しているカ所が特定され、その低下量が明らかになる。これらをもとに、性能低下の要因を分析する。

##### ○ 水理諸元からの要因分析

再現モデルで採用した粗度係数が、土水路やコンクリート水路の標準値よりも大きな値となっていれば、当該水路区間の粗度が大きくなっており、損失水頭が増大していることが考えられる。これが、設計流量、設計流速に比べて、実際の流量、流速が低下している原因の一つと考えられる。

##### ○ 施設諸元からの要因分析

水頭、流量のロスの発生と、水理解析モデルの施設諸元として与えた、水路築造後の勾配変化、不同沈下、水路壁高不足による溢水、水路狭窄部からの溢水などとの関係が明らかになり、施設の勾配、断面等とロスの要因分析が可能となる。

##### ○ 水管理

取水・分水操作や調整池からの送水などによる水頭、流量の変動状況が明らかになるので、これら操作と性能低下との関係が分析できる。

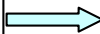


#### ⑦ 現況再現モデルによる解析結果の可視化

上で、水利用性能の低下を生じている施設や区間が特定されるので、以下の手法で当該カ所の解析結果を可視化する。

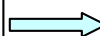


A. パソコンで計算した水理解析結果をリアルタイムでパソコン画面に表示



水位や流量の時間変動がわかりやすく可視化される。

B. 上の解析データをデータベース化し市販の動的3D表示ソフトを使って3D表示する



水位や流量の時間変動が立体的にさらにわかりやすく可視化される。

## 3) 水利システム性能向上ツール開発

## ① 水利用性能向上対策の検討

水利用性能の評価で問題の特定された水利用機能について水理解析を行うことで、水頭と水量ロスの問題の発生カ所とその原因(水の流れ、施設の構造、管理方法)を明らかにすることが出来たので、下記のように性能向上対策を検討する。

| 性能低下機能  | 性能低下の原因                                       | 性能向上対策                               |
|---------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| 水源機能    | 堆砂等による貯水容量の減少、貯水必要量に対して貯水容量自体の不足              | 貯水容量の回復対策、新規水源の確保                    |
| 通水機能    | 水路粗度の増大等による損失水頭の増大、必要な水路構造(勾配、断面、高さ等)が確保できない等 | 粗度の向上等による損失水量の縮減対策、水路構造の改修、新設水路の設置など |
| 需給調整機能  | 需給調整容量の減少、需給調整必要容量に対して需給調整容量自体の不足             | 調整容量の回復対策、新規調整施設の確保                  |
| 分水機能    | 水理的不安定現象の発生や施設構造の問題により、必要な流量の分水が出来ない          | 分水施設構造の改修                            |
| 管理・操作機能 | 現在の管理・操作方法では、流量不足や不安定な水理現象を引き起こしている           | 管理・操作手法の改良                           |

## ② 対策実施後の(予測)解析モデルの構築

水利用性能向上対策実施後の、施設諸元や水管理方法を反映させた(予測)解析モデルを構築する。(注)対策後の施設諸元や水管理方法を反映させる。

## ③ 非定常状態の流れの再現

上の対策後の再現モデルで、非定常状態の流れをシミュレーションし、対策の効果について確認する。

## ④ 対策実施後の(予測)解析モデルによる解析結果の可視化

上で、水利用性能の低下を生じている施設や区間が特定されるので、以下の手法で当該カ所の解析結果を可視化する。



A. パソコンで計算した水理解析結果をリアルタイムでパソコン画面に表示

水位や流量の時間変動がわかりやすく可視化される。

B. 上の解析データをデータベース化し市販の動的3D表示ソフトを使って3D表示する

水位や流量の時間変動が立体的にさらにわかりやすく可視化され対策の効果があらかじめ予測できる。