

# 開水路からパイプラインに移行する 水路システムの放水工改修に関する水理機能診断

藤山 宗\* 樽屋啓之\*\* 中田 達\*\*

\*株式会社三祐コンサルタンツ

\*\*水理工学研究領域水路システム担当

キーワード：水路システム，機能診断，水理機能，開水路，パイプライン

## I 緒 言

我が国の農業水利施設の多くは、長期供用下におかれ更新の時期を迎えている。水利システムにおける構造に関する機能だけではなく、水理、水利用に関する機能も含めた総合的な機能診断の必要性に対応し、これまで数多くの研究成果が得られている。

中島（2003）は、水利システムそのものの機能を明らかにする必要があると考え、用水路系を対象とし、構造、水理、水利用に関する機能毎の機能分析を行う上での着眼点および分析手法を提案している。また、これらの中島・中村（2003）は、中島（2003）の用水路系を対象とした研究成果をもとに、排水路系に拡張している。

中・樽屋（2008）は、用水路系を対象とし、水理および水利用に関する機能と性能の基本的考え方を整理し、各性能に対してはその照査項目と照査指標を提案している。

樽屋・三春（2009）は、用水路系を対象とし、水理および水利用に関する機能・性能に着目し、課題の抽出から対策の検討までが可能な水路カルテの作成事例を紹介している。また、三春ら（2009）は、水路カルテとともに、水利システム内の各施設要素を記号化し、その構造や機能、操作方法等を表現した水利機能図（以降、「水

理機能平面図」と称する）の有効性も併せて整理している。

最近では、樽屋ら（2012）は、既往の研究成果を礎に、用水路系を対象とし、システムの点、線、面の診断の流れでの水理および水利用に関する診断手順の再整理を行うとともに、水路カルテをより視覚的に理解することが可能な水理機能診断カルテの作成事例を紹介している。しかし、樽屋ら（2012）は、調査・診断項目の過不足と現地適用性の検討を行うまでには至っておらず、今後の診断手順の普及を推進していく中で、課題が残されている。

以上のことから、本研究では、樽屋ら（2012）が提唱する水理および水利用に関する機能診断手順の現地適用を行うことを目的とし、開水路からパイプラインに移行する現地水路システムを対象とした水理機能診断を実施し、診断結果をもとに、対策案の提案を行った。

## II 研究の方法

### 2.1 研究対象とする水路システム

Fig.1 は、研究対象とする水路システムの概要を示す。研究対象とする水路システムは、国営 A 用水農業水利事業により更新された、開水路からパイプラインに移行

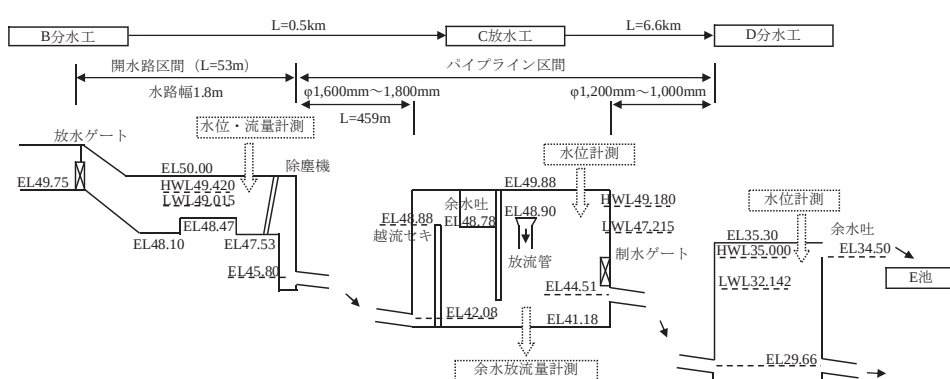


Fig.1 研究対象とする水路システムの概要

Outline of study site

する B 分水工～C 放水工～D 分水工（総延長 L=7.1km）区間とする。

## 2.2 研究の手順

まず、研究対象とする B 分水工～C 放水工～D 分水工における施設更新による水理機能の変遷を水理機能平面図に整理した（Fig.2）。次に、B 分水工、C 放水工および D 分水工の施設毎に、現地調査および聞き取りを実施し、水理上の問題点を踏まえ、これらの分水地点における水理機能診断カルテを作成した（以降、「点の診断」と称する）。次に、点の診断結果を踏まえ、B 分水工、C 放水工および D 分水工の施設間において、TM/TC データ（水位、流量）を用いた分析および診断を行った（以降、「線の診断」と称する）。最後に、点および線の診断結果に基づき、対策案の提案を行った。

## 2.3 調査、分析および診断の方法

### 2.3.1 施設更新による水理機能の変遷と各段階の問題点の整理

施設更新による水理機能の変遷の整理においては、工事図面および施設管理者等からの聞き取りに基づき、事業別に、水理機能平面図を作成した。なお、水理機能平面図における、対象施設の構造、機能および制御方式の記号化にあたっては、既往の研究成果（農村工学研究所、2012）を参考にした。

### 2.3.2 点の診断

Table 1 は、施設毎の点の診断項目を示す。点の診断は、主に Table 1 に示す項目について、対象施設毎に、現地調査および施設管理者からの聞き取りを実施し、水理機能診断カルテを作成した。

本稿では、主に B 分水工における作成事例を紹介する。本分水工においては、非かんがい期、かんがい期の計 2 回の調査を実施した。非かんがい期（平成 24 年 2 月下旬）においては、特に、目視および標尺を用いた手測りでの流況把握、施設管理者からの聞き取りによる日常のゲート操作方法（制御方式）の把握を行った。また、かんがい期（平成 24 年 7 月中旬）においては、Teledyne RD instruments 社製のドップラー式多層流向流速計（ADCP）を用いた流量の把握を行った。なお、計 2 回の調査の時期は、それぞれ C 放水工改修前、改修後に当たる。

### 2.3.3 線の診断

線の診断においては、点の診断にて抽出した問題に対し、TM/TC データ（土地改良区管理）を用いて、対象施設間の水位、流量の関係を整理し、分析および診断を行った。なお、TM/TC データは、C 放水工改修前（平成 23 年）、改修後（平成 24 年）の内、降雨が無く、水位、流量の著しい変化が見られない期間を選定した（Table 2）。降雨の有無は、対象地区近隣観測所の雨量データ（国土交通省水文水質データベース）に基づき判断した。

Table 1 施設毎の点の診断項目  
Function diagnosis indicators for every division work

| 診断項目             | 概 要                                                |
|------------------|----------------------------------------------------|
| (1) 施設状況         | 簡易的な外観目視による施設状況について整理する。                           |
| (2) 水位計形式および設置位置 | 対象施設の上下流における水位計の有無、形式とともに、設置位置について整理する。            |
| (3) 余裕水深         | 主に対象施設上流における水位（痕跡）について、余裕水深確保、溢水の有無について整理する。       |
| (4) ゲート開度        | 調査時のゲート開度について整理する。                                 |
| (5) 流況           | 対象施設上下流における流況（水位痕跡）について整理する。                       |
| (6) 分水位の安定性      | 分水工における分水位を決定する構造（セキ、オリフィス、複合型）および分水位の安定性について整理する。 |
| (7) H-Q 曲線       | H-Q（水位-流量）曲線の作成が可能であるかどうかについて整理する。                 |
| (8) 制御方式         | 用水管理および排水管理における制御方式について整理する。                       |
| (9) 分水比（量）       | TM/TC データ、あるいは必要に応じて現地流量観測結果をもとに、分水比（量）を整理する。      |

Table 2 対象とするデータの概要  
Target data

|                   |                                                  |
|-------------------|--------------------------------------------------|
| 使用するデータ           | TM/TC データ（10 分間隔の計測）                             |
| 対象とする期間           | C 放水工改修前（2011 年）40 日分<br>C 放水工改修後（2012 年）79 日分   |
| 対象とするデータ項目（Fig.1） | B 分水工下流 G 幹線 水位・流量<br>C 放水工 水位・余水放流量<br>D 分水工 水位 |

### Ⅲ 調査結果

#### 3.1 施設更新による水理機能の変遷と各段階の問題点の整理

Fig.2 は、水理機能の変遷を把握するための水理機能平面図を示す。Fig.2 は、施設更新による水理機能の変遷を (a) 事業①、(b) 事業②、(c) 事業③の流れで整理した。なお、本稿では、水位流量制御方式として、上流制御方式（上流からの水位、流量の情報に基づく制御方式）、下流制御方式（下流からの水位、流量の情報に基づく制御方式）という用語を用いるが、解釈は USBR（1991）に準じるものとする。

Fig.2 (a) より、国営 A 用水農業水利事業に着手した事業①では、F 幹線および G 幹線の 2 路線に分水する B 分木工が建設され、当時の G 幹線は開水路にて末端まで送水するシステムを有していた。

Fig.2 (b) より、事業②では、B 分木工下流の G 幹線のパイプライン化とともに、余水吐を有する分水スタンド（C 放木工、D 分木工）を設置し、D 分木工では調整池（E 池）との接続が行われた。なお、事業②におけるパイプライン化の目的は、用水の安定供給と用水路の維持管理労力の軽減などである。

事業②完了後、運用開始したところ、事業①では確認されなかった B 分木工下流における G 幹線の水位・流量不安定、減勢不良および溢水の問題が生じた。それらの問題解決を図るため、水位流量制御を行うゲートの使用を上下流落差が大きな制水ゲート（B 分木工の中央）から、より上下流落差が小さい放水ゲート（同分木工の右岸）に変更したが、抜本的な問題解決には至らなかった。また、パイプライン化による充水維持の必要性より、余水吐（C 放木工、D 分木工）からの常時越流が生じ、余水放流量が増加するといった問題も生じ、G 幹線の水位・流量不安定等の問題と併せた対策が必要となった。

Fig.2 (c) より、事業③では、事業②で生じた問題に対し、C 放木工にて、越流セキの設置および分水スタンドの容量拡大（Fig.3）が実施された。越流セキの設置は、極力、越流セキの上流水位と下流水位の独立性を維持すること（完全ではないが、水位流量制御方式を上流制御方式に移行すること）による、同放木工上流の水位・流量の安定化を図るものである。また、分水スタンドの増設は、需要変動に対する調整容量を増強することによる、同放木工下流の水位・流量の安定化および同放流工における余水放流量の減少を図るものである。なお、本稿では、詳述しないが、事業②および事業③における C 放木工の設計思想は、ともに、同じ設計基準（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」平成 21 年 3 月）に準じている。

以上のように、施設更新による水理機能の変遷を事業①、事業②、事業③の流れで水理機能平面図に整理することにより、C 放木工改修後、G 幹線における水位・流量不安定等の問題が解決できていないことを把握した。

そこで、点および線の診断を行うにあたっては、C 放木工改修前後（事業②、③）の流況変化に着目することとする。

#### 3.2 点の診断

##### 3.2.1 B 分木工

Fig.4 は、B 分木工における水理機能診断カルテ（非かんがい期）を示す。Fig.4 (1) より、非かんがい期にて現地水路における目視および施設管理者からの聞き取りにより、B 分木工下流の G 幹線における水位・流量不安定、減勢不良および溢水の問題が生じていることがわかった。また、それらの問題は、非かんがい期よりもかんがい期の方が顕著に現れることを聞き取りより確認した。Fig.4 (2) より、日常のゲート操作方法等について施設管理者からの聞き取りを行い、用水管理と排水管理における水位流量制御方式は、両者ともに上流制御方式であることを確認した。また、B 分木工下流の水位は、度々、除塵機ゴミ詰まりにより上昇し、その水位が B 分木工上流側に影響を及ぼし、B 分木工下流の水位で流れが決まってしまうこと（水位流量制御方式が下流制御方式に移行すること）を確認した。

Fig.5 は、B 分木工における水理機能診断カルテ（かんがい期）を示す。Fig.5 (1) より、かんがい期にて B 分木工下流の G 幹線において、30 秒間程度で 12cm（平均値）の水位変動が生じている。また、Fig.5 (2) に示すように、ADCP を用いた流量観測を行い、B 分木工における分水比は概ね計画と一致していることを確認した。

##### 3.2.2 C 放木工

Fig.6 は、C 放木工における水理機能診断カルテ（かんがい期）を示す。かんがい期にて、C 放木工の越流セキ上流における水位痕跡より、水位変動量（3cm 程度）を確認し、比較的安定していることがわかった。また、放流管からの余水放流が生じている状況を確認した。なお、本来は、余水吐からの越流により余水放流する計画となっているが、維持管理上の問題から、余水吐は利用されていなかった。

##### 3.2.3 D 分木工

D 分木工においては、かんがい期にて、余水吐からの越流により、E 池への余水放流が生じている状況であった。この余水放流は、シール高の確保とパイプライン化による充水維持の必要性より生じたものであり、年間通じて、余水放流を行っていることを、施設管理者からの聞き取りより確認した。

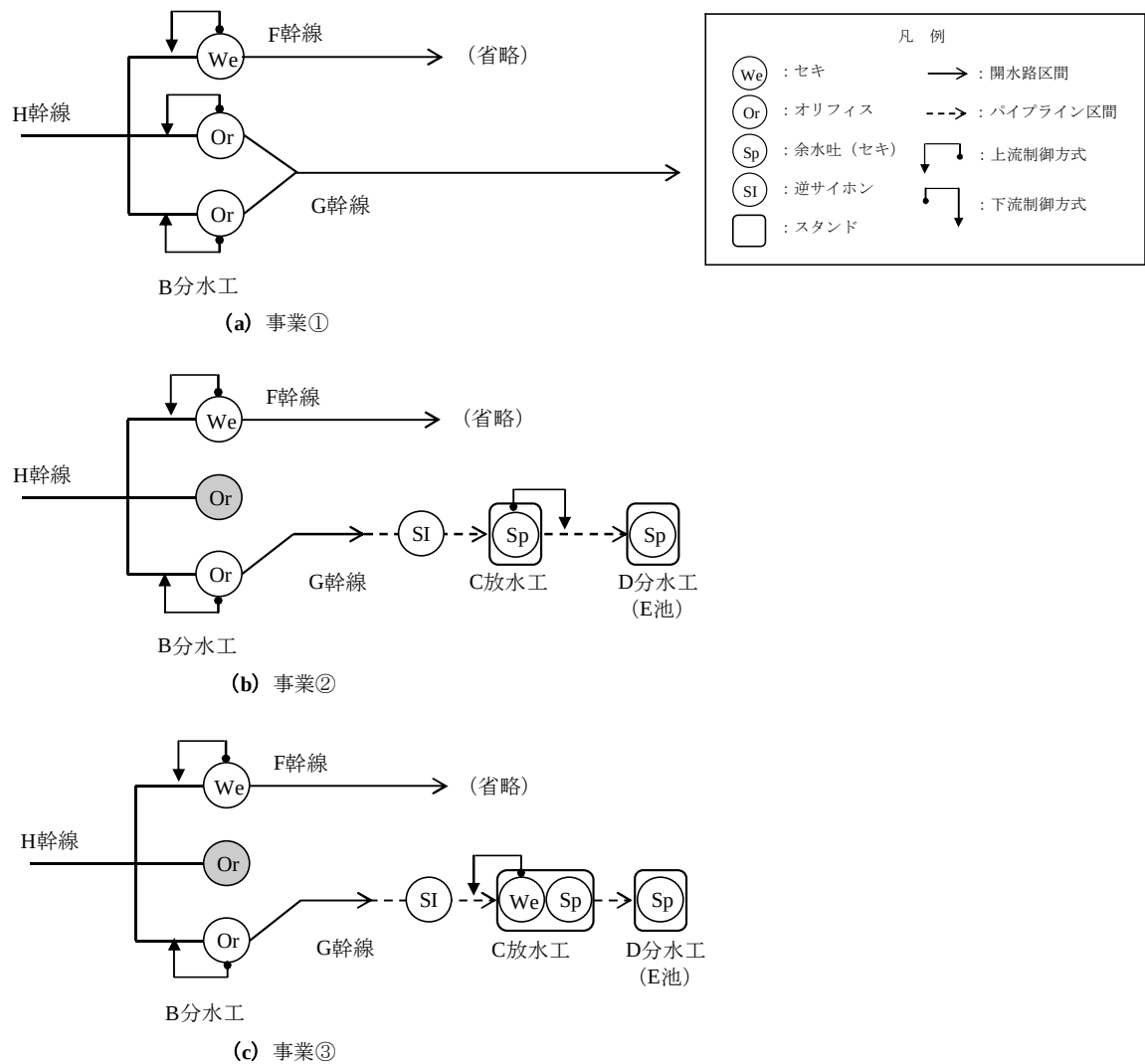


Fig.2 水理機能の変遷を把握するための水理機能平面図

(a) 事業①, (b) 事業②, (c) 事業③

Hydraulic function plan

(a) Enterprise ①, (b) Enterprise ②, (c) Enterprise ③

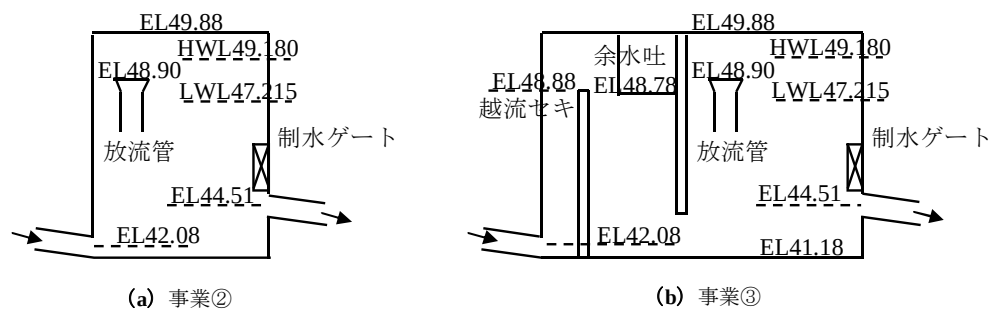


Fig.3 C 放水工の構造

(a) 事業②, (b) 事業③

Structure of wasteway C

(a) Enterprise ②, (b) Enterprise ③

|                |                   |                                                                                                                                                         |                             |
|----------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 施設名称           | B分土工（用水名：H幹線）     | 調査日                                                                                                                                                     | 2011/10/21、2012/2/23（天候：晴れ） |
|                |                   | 所在地                                                                                                                                                     | (位置図)                       |
|                |                   |                                                                                                                                                         | 〇県〇市（マップコード 〇〇）             |
| 管理者            | A土地改良区            | 施工年                                                                                                                                                     | —                           |
| ゲート形式          | スライドゲート（ラック式）×3門  | 操作手順                                                                                                                                                    | 中央制御室にて遠隔操作                 |
| 分岐             | 2:（左岸）F幹線、（右岸）G幹線 | 分水比                                                                                                                                                     | 6：4（左岸：右岸）                  |
| 診断項目           |                   | 調査・診断結果                                                                                                                                                 |                             |
| 施設状況（主にゲートを対象） |                   | 外観目視より、扉体、開閉装置等の著しい劣化は見られない。                                                                                                                            |                             |
| 水位計形式および設置位置   |                   | 分土工上流：電波式水位計<br>分土工下流：（F幹線）電波式水位計、（G幹線）圧力式水位計                                                                                                           |                             |
| ゲート上流側の余裕水深    |                   | 30cm以上確保されており、調査時の水位（水位痕跡）については問題ない。                                                                                                                    |                             |
| ゲート開度          |                   | 左岸→全開、右岸→（制水ゲート）全閉、（放水ゲート）開 ※開度未確認                                                                                                                      |                             |
| 流況（水位痕跡を含む）    |                   | G幹線：運用当初は中央制水ゲートを使用していたが、下流水位の著しい波立ちが見られたことから、右岸放水ゲートの使用に切り替えて、波立ちが軽減された経緯あり。現在の水面変動量30cm～50cm程度。<br>F幹線：除塵機ゴミ詰まりにより、水位上昇するため、水路中壁に嵩上げしている。※G幹線についても同様。 |                             |
| 分水位の安定性        |                   | 越流堰にて上流水位は安定する。ただし、左右岸ともに除塵機ゴミ詰まりにより、堰上げ背水（back water）が発生し、上流水位が不安定になるおそれあり。                                                                            |                             |
| H-Q（水位-流量）性能曲線 |                   | ゲート上下流の水位は、上下流の水位流量制御施設の影響を受けていないものと思われるため、本分土工（実機）によるH-Q性能曲線の作成は可能である。                                                                                 |                             |

Fig.4 (1) B分土工における水理機能診断カルテ（非かんがい期）

Diagnosis chart of hydraulic function in division work B（non-irrigation period）



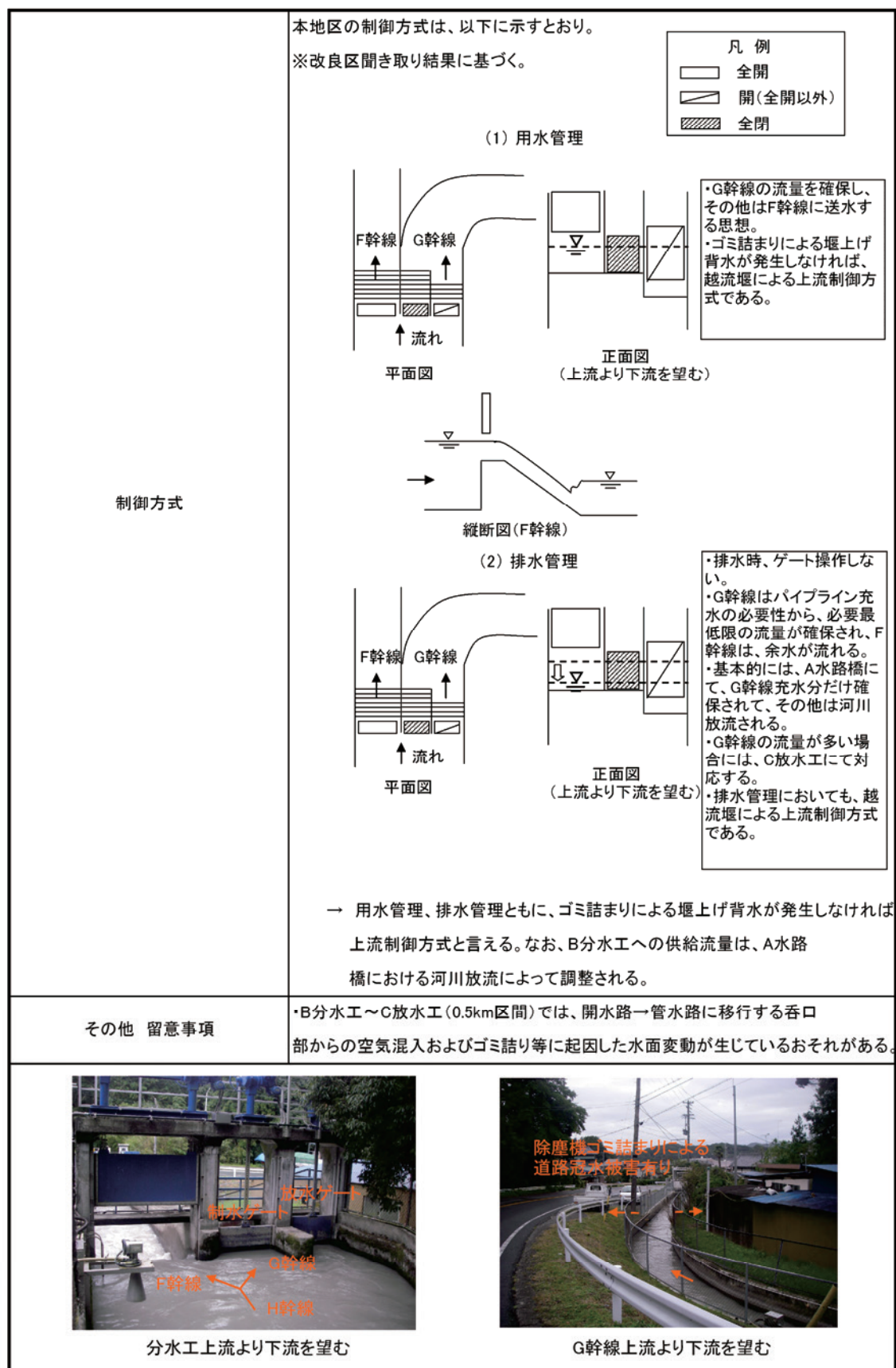


Fig.4 (2) B 分水工における水理機能診断カルテ (非かんがい期)  
Diagnosis chart of hydraulic function in division work B (non-irrigation period)

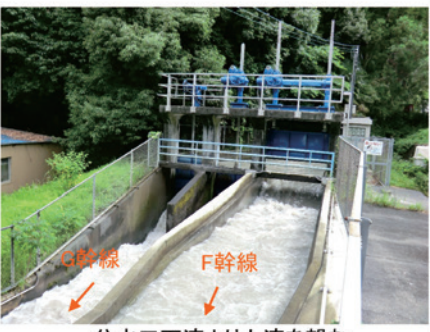
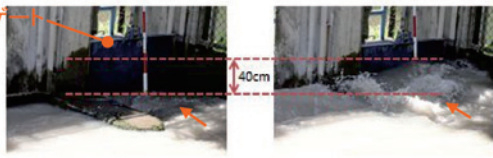
|                |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                  |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 施設名称           | B分土工（用水名：H幹線）                                                                     | 調査日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2012/7/18（天候：晴れ） |
|                |  | 所在地                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | (位置図)            |
|                | 分土工下流より上流を望む                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 〇県〇市（マップコード 〇〇）  |
| 管理者            | A土地改良区                                                                            | 施工年                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 昭和37年            |
| ゲート形式          | スライドゲート（ラック式）×3門                                                                  | 操作手順                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 中央制御室にて遠隔操作      |
| 分岐             | 2:（左岸）F幹線、（右岸）G幹線                                                                 | 分水比                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 6 : 4（左岸：右岸）     |
| 診断項目           |                                                                                   | 調査・診断結果                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                  |
| 施設状況（主にゲートを対象） |                                                                                   | 外観目視より、扉体、開閉装置等の著しい劣化は見られない。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                  |
| 水位計形式および設置位置   |                                                                                   | 分土工上流：電波式水位計<br>分土工下流：（F幹線）電波式水位計、（G幹線）圧力式水位計                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                  |
| ゲート上流側の余裕水深    |                                                                                   | 30cm以上確保されており、調査時の水位（水位痕跡）については問題ない。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                  |
| ゲート開度          |                                                                                   | 左岸→全開（1.5m）、右岸→（制水ゲート）全閉、（放水ゲート）0.4m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                  |
| 流況（水位痕跡を含む）    |                                                                                   | <p>G幹線：2012/2/23改良区聞き取り結果と同様に、著しい波立ちが見られ、放水ゲート吐出し部で40cm程度の水面変動が観察された。<br/>分水後の水路における水面変動量は12cm程度であった。<br/>また、調査当日は、本分土工上流で、一部分水を停止していたため、制水ゲートを越流する状況を確認した。<br/>なお、B分土工下流の水面変動を抑制すること等を目的とし、C放土工の改修を実施していたが、問題解決には至っていない。（要検討事項）</p>  <p>放水ゲート吐出し部における水面変動</p>  <p>G幹線 下流より上流を望む</p> <p>G幹線における水面変動<br/>※写真中に記載の水面変動量は、30秒程度の平均値である。</p> <p>F幹線：G幹線のような波立ちは生じていない。また、水面位置は、中壁天端付近（時折越流する状況）にあることを確認した。</p> |                  |
| 分水位の安定性        |                                                                                   | 越流堰にて上流水位は安定していることを確認した。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  |
| H-Q（水位-流量）性能曲線 |                                                                                   | ゲート上下流の水位は、上下流の水位流量制御施設の影響を受けていないものと思われるため、本分土工（実機）によるH-Q性能曲線の作成は可能である。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                  |
| 制御方式           |                                                                                   | 用水管理、排水管理ともに、ゴミ詰まりによる堰上げ背水が発生しなければ、上流制御方式と言える。（詳細は、水理機能診断_B分土工_2012/2/23参照）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                  |

Fig.5 (1) B分土工における水理機能診断カルテ（かんがい期）  
Diagnosis chart of hydraulic function in division work B（irrigation period）

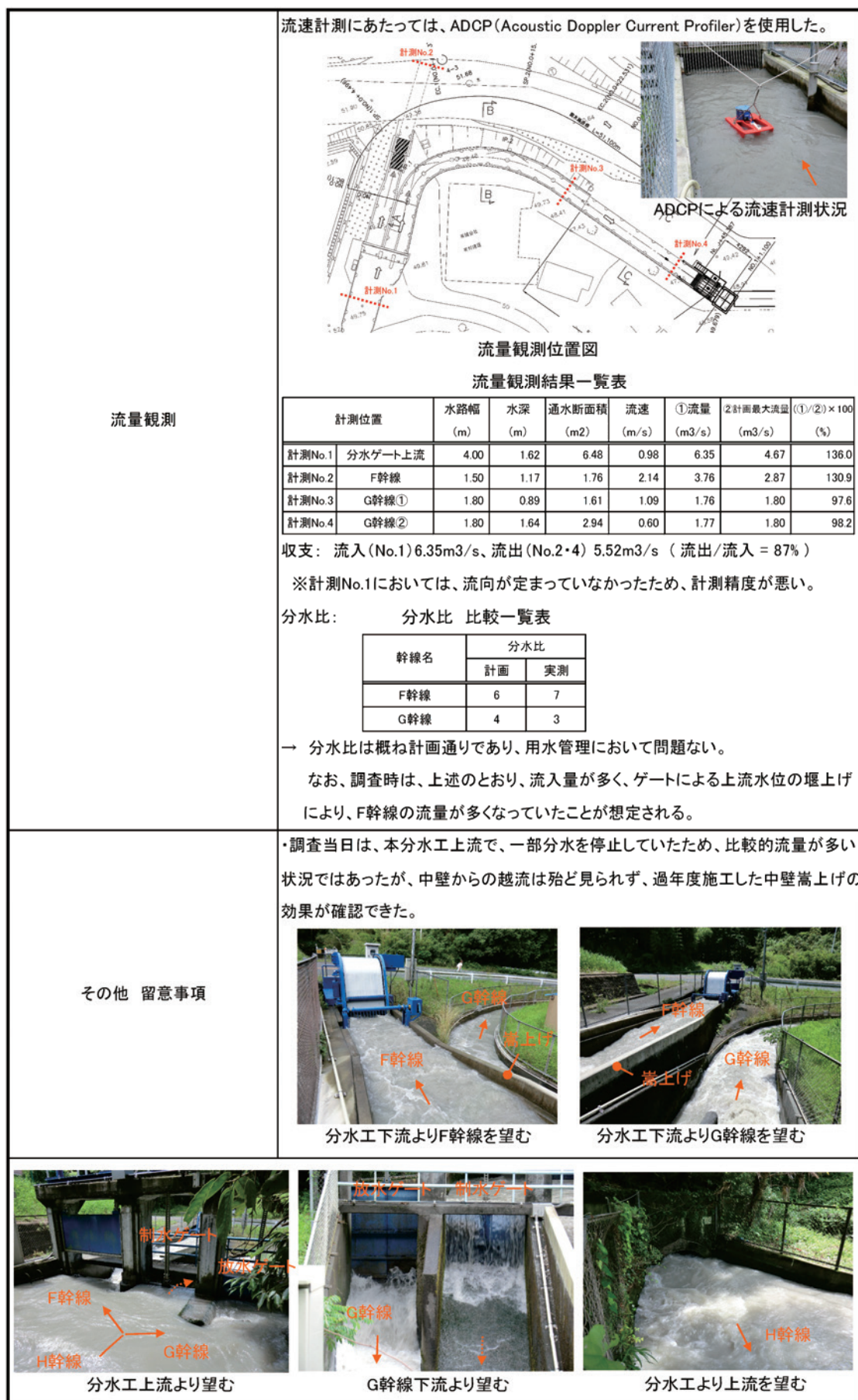


Fig. 5 (2) B 分水工における水理機能診断カルテ (かんがい期)

Diagnosis chart of hydraulic function in division work B (irrigation period)



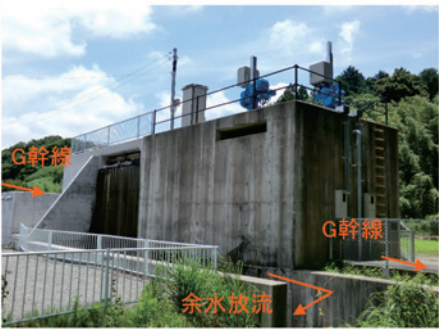
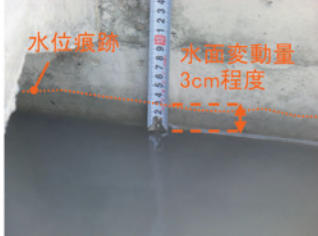
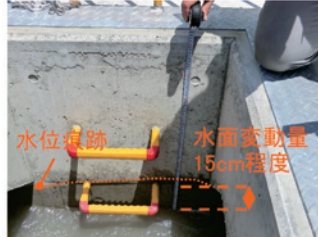
|                |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                  |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 施設名称           | C放水工（用水名：G幹線）                                                                     | 調査日                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2012/7/18（天候：晴れ） |
|                |  | 所在地                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | (位置図)            |
|                |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 〇県〇市(マップコード 〇〇)  |
| 管理者            | A土地改良区                                                                            | 施工年                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 平成24年(増設)        |
| ゲート形式          | スライドゲート(ラック式)×2門                                                                  | 操作手順                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 中央制御室にて遠隔操作      |
| 分岐             | 2:(左岸)G幹線、(右岸)余水放流                                                                | 分水比                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | —                |
| 診断項目           |                                                                                   | 調査・診断結果                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                  |
| 施設状況(主にゲートを対象) |                                                                                   | 外観目視より、扉体、開閉装置等の著しい劣化は見られない。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                  |
| 水位計形式および設置位置   |                                                                                   | 圧力式水位計。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                  |
| ゲート上流側の余裕水深    |                                                                                   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |
| ゲート開度          |                                                                                   | 未確認。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                  |
| 流況(水位痕跡を含む)    |                                                                                   | <p>水位痕跡より判断し、越流堰上流(下流)の水面変動量は、3cm(15cm)程度である。<br/>         本施設における水面変動を見る限り、越流セキ上流の水位は比較的安定しており、<br/>         本施設上流に位置するB分水工における不安定な流況を説明できない。<br/>         (要検討事項B分水工とC放水工の水位変動の相関について)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>越流セキ上流の水面状況①</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>越流セキ上流の水面状況②</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>越流セキ下流の水面状況①</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>越流セキ下流の水面状況②</p> </div> </div> |                  |
| 分水位の安定性        |                                                                                   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |
| H-Q(水位-流量)性能曲線 |                                                                                   | 本施設における無効放流量および施設下流における分水量が安定している状況であれば、制水ゲート、緊急放流ゲートによるH-Q性能曲線の作成は可能である。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                  |

Fig. 6 (1) C放水工における水理機能診断カルテ（かんがい期）

Diagnosis chart of hydraulic function in wasteway C（irrigation period）

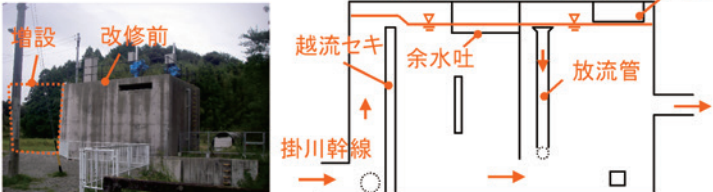
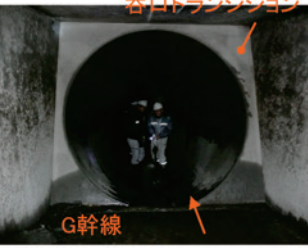
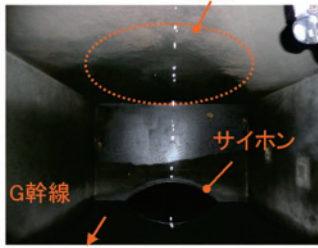
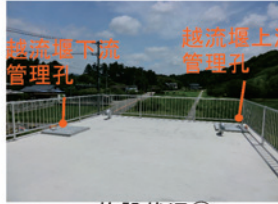
|                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>制御方式</p>                                                                                             | <p>・本施設は、越流セキによる上流水位の安定化および本施設上下流のエネルギーの縁切り、越流堰下流の水面積拡大による脈動現象の低減を期待し、改修(増設)を行った。以下に、改修前、改修後における制御方式について整理する。</p> <p>改修前の制御方式：放流管による放流であり、安定的な放流時には、比較的上流制御方式に近い状況であるが、非放流時には、下流制御方式であり、流入量に応じて制御方式が切り替わる状況にあった。</p> <p>改修後の制御方式：越流セキを境に、上流についてはセキによる上流制御方式、下流については構造上は余水吐による上流制御方式であるが、運用上はオリフィス(制水ゲート)による下流制御方式である。</p> <p>改修後(増設) 改修前 余水吐</p>  <p>改修(増設)前の施設状況 改修イメージ図(水面は推定)</p> <p>・改修後、余水吐からの放流を行ったところ、風の影響を受け、自然な放流を行うことができなかった。現状は、余水吐からの放流は行わず、放流管(EL48.90m)からの放流により、水位制御を行っている。余水吐を塞いだことにより、管理水位は、余水吐の高さよりも高い位置(余水吐EL48.78m)となっている。越流堰の越流高は、EL48.88であり、流入量の変化に伴い、下流水位が上昇し、溺れることも想定される。</p> <p>ベロヤ等により塞いでいる。</p>  <p>余水吐の状況</p>  <p>放流管からの放流状況</p> |
| <p>その他 留意事項</p>                                                                                         | <p>2012/2/13、本施設上流のG幹線パイプライン内の調査を実施した。</p> <p>サイホンからの呑口部の直下流天井において、空気塊?吹き上がり?のような周辺の壁面に見られない痕跡を確認した。</p> <p>呑口トランジション</p>  <p>G幹線 呑口トランジションを望む</p> <p>痕跡</p>  <p>G幹線 サイホン 痕跡を望む</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  <p>本施設上流のG幹線を望む</p> |  <p>施設状況①</p>  <p>施設状況②</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

Fig. 6 (2) C 放水工における水理機能診断カルテ (かんがい期)

Diagnosis chart of hydraulic function in wasteway C (irrigation period)

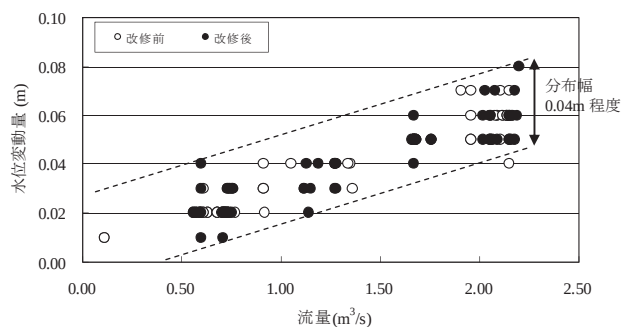
## IV 分析および診断結果

### 4.1 線の診断

#### 4.1.1 B 分土工下流における G 幹線の水位変動量の变化

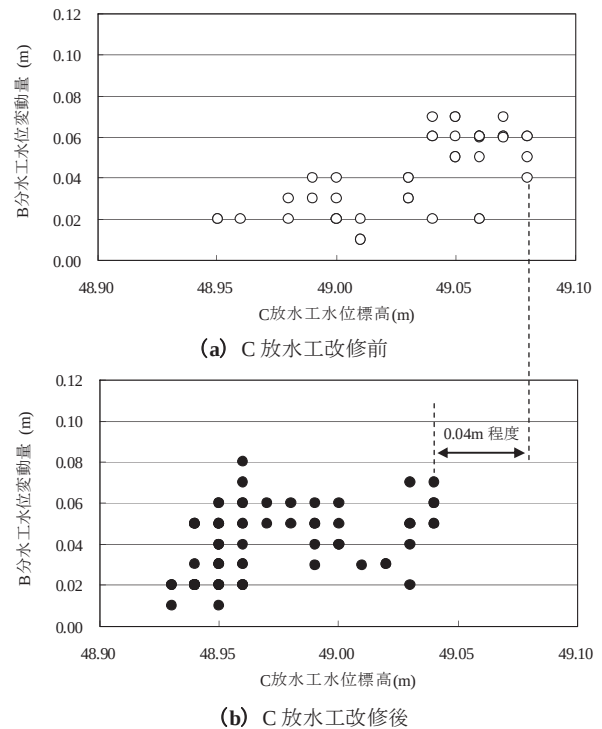
**Fig.7** および **Fig.8** は, B 分土工下流における G 幹線の流量と水位変動量の関係, および G 幹線の水位変動量と C 放土工の水位の関係を示す。図中に示す流量および水位は 1 日における平均値, 水位変動量は 1 日における最大値と最小値の差である。**Fig.7** に示すように, G 幹線流量が増加するにつれて, 水位変動量が大きくなる。また, C 放土工改修前後において, 水位変動量の分布幅 (0.04m 程度) に変化はない。また, **Fig.8** に示すように, G 幹線流量の範囲 (2.5m<sup>3</sup>/s 未満) が概ね同じ条件下において, C 放土工改修後, C 放土工水位が 0.04m 程度低下した。

以上の分析結果より, C 放土工改修前後において, B 分土工下流 G 幹線の水位変動量の分布幅 (**Fig.7**) に変化が生じていないことから, 越流セキの設置が, B 分土工下流の G 幹線における水位・流量不安定等の問題に対する抜本的な解決策となっていないものと考えられる。しかし, 越流セキの設置を含めた C 放土工の改修を行うことにより, 同放土工越流セキ下流水位の低下が見られたことは, 越流セキの上下流水位の独立性を維持することに繋がるため, 水位流量制御方式が, 従前の下流制御方式から, 少なからず上流制御方式に移行しているものと推察される。なお, **Fig.8** で見られた, C 放土工における改修後の水位低下の要因については, 後述する。



**Fig.7** B 分土工下流における G 幹線の流量と水位変動量の関係

Relation between discharge and fluctuations of water level in division work B downstream



**Fig.8** B 分土工下流における G 幹線の水位変動量と C 放土工の水位の関係

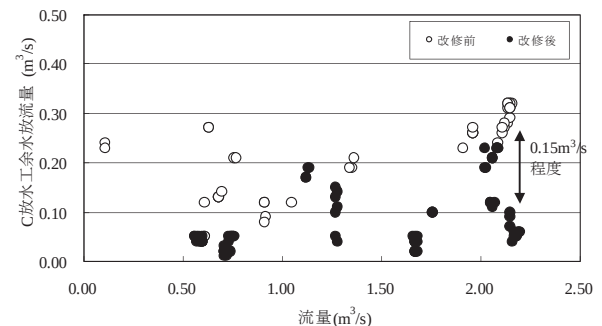
(a) C 放土工改修前, (b) C 放土工改修後

Relation between fluctuations of water level in division work B downstream and wasteway C water level

(a) Before repair of wasteway C, (b) After repair of wasteway C

#### 4.1.2 C 放土工における余水放流量の変化

**Fig.9** は, C 放土工余水放流量と B 分土工下流 G 幹線流量の関係を示す。図中に示すそれぞれの流量は, 1 日における平均値である。C 放土工改修後, B 分土工下流における G 幹線流量に対して, 余水放流量 (0.15m<sup>3</sup>/s 程度) が減少した。この現象は, **Fig.8** で示した, C 放土工の水位低下によるものと推察される。



**Fig.9** C 放土工余水放流量と B 分土工下流 G 幹線流量の関係

Relation between spillway discharge in wasteway C and canal G discharge in division work B downstream



### 4.1.3 B 分水工から D 分水工における水理特性の変化

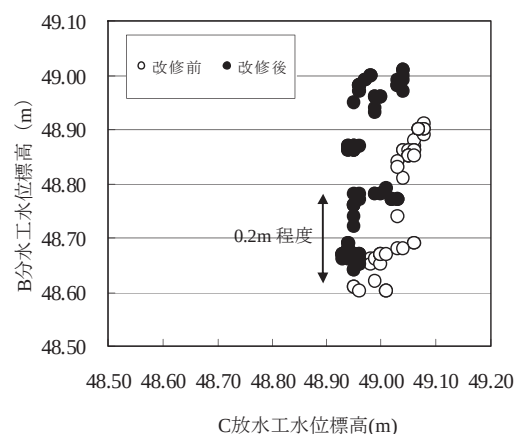
**Fig.10**～**Fig.12** は、それぞれ B 分水工下流 G 幹線水位と C 放水工水位の関係、C 放水工水位と D 分水工水位の関係、B 分水工水位と D 分水工水位の関係を示す。図中に示すそれぞれの水位は、1 日における平均値である。

**Fig.10** より、C 放水工改修後、C 放水工水位に対して、B 分水工下流 G 幹線水位が 0.2m 程度上昇した。この現象は、C 放水工における越流セキ設置による、上流水位の堰上げ効果によるものである。

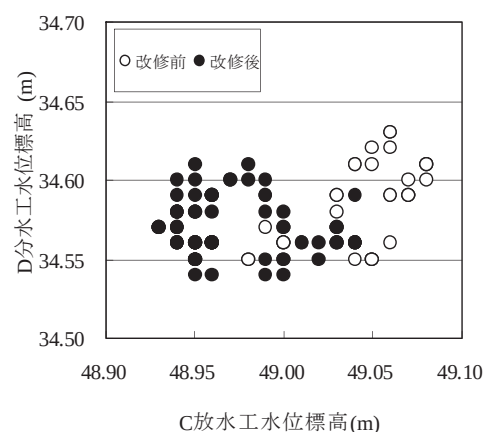
**Fig.11** より、C 放水工改修前後で、水位変化が見られなかった D 分水工水位に対して、C 放水工水位は低下している。この現象は、C 放水工における、越流セキの設置、分水スタンドの増設などによる損失水頭の増大によるもの、また、越流セキの完全越流時、越流セキで流量が規定され、セキ下流の水位低下に応じたセキ上流からの流量の増加が生じないことなどによるものと推察される。

**Fig.12** より、D 分水工水位に対して、B 分水工下流 G 幹線の水位は上昇している。この現象は、**Fig.10** における考察と同じく、越流セキの設置によるものである。

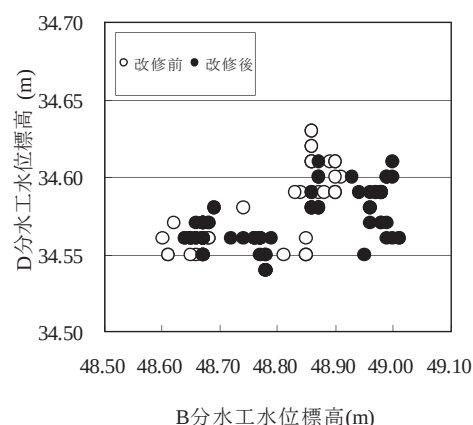
以上のことから、C 放水工にて、越流セキの設置と分水スタンドの増設を含めた改修を行うことにより、B 分水工から D 分水工における水理特性が変化したものと推察される。なお、**Fig.11** の考察では、C 放水工における改修後の水位低下の要因を特定できておらず、継続して本診断結果を踏まえた分析を行う際は、越流セキ直上流水位の計測、C 放水工から D 分水工区間における分水量の計測などを行うことが必要となる。



**Fig.10** B 分水工下流 G 幹線水位と C 放水工水位の関係  
Relation between canal G water level in division work B downstream and wasteway C water level



**Fig.11** C 放水工水位と D 分水工水位の関係  
Relation between wasteway C water level and division work D water level



**Fig.12** B 分水工水位と D 分水工水位の関係  
Relation between division work B water level and division work D water level



#### 4.1.4 C放木工における水位流量制御方式の変遷

上述の点および線の診断結果に示すように、C放木工改修後、B分木工からD分木工における水理特性の変化が生じたが、本来目的とした、B分木工下流のG幹線における水位・流量不安定等の問題解決には至っていない。次章において、B分木工下流のG幹線における水位・流量不安定等の問題に対する対策案について整理するが、ここで上述の点および線の診断結果を踏まえ、C放木工における水位流量制御方式の変遷を再整理した(Fig.13)。

(1) 事業②：C放木工の水位流量制御方式は、同放木工下流の需要変動に依存し、水位流量が変動することから、下流制御方式であった。

(2) 事業③（計画時の想定）：C放木工における越流セ

キの設置により、極力、同放木工越流セキの上下流水位の独立性を維持し、同放木工の水位流量制御方式を、従前の下流制御方式から上流制御方式に変更することを想定した。

(3) 事業③（現状）：越流セキ上下流における水位条件により、上流制御方式と下流制御方式が混在している可能性を有している。

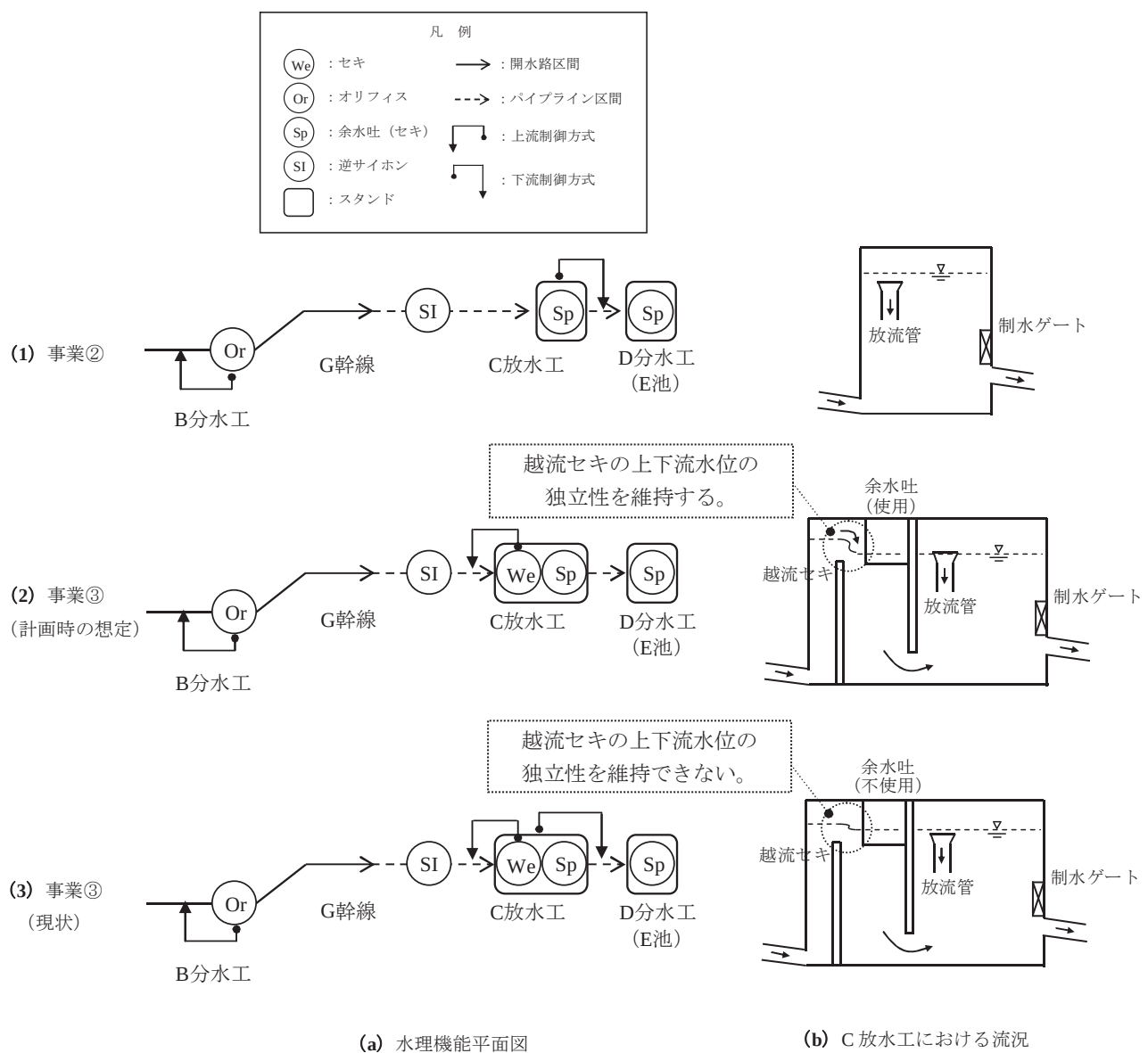


Fig.13 C放木工における水位流量制御方式の変遷

(a) 水理機能平面図，(b) C放木工における流況

Changes of water level and discharge control methods in wasteway C

(a) Hydraulic function plan，(b) Flow behavior in wasteway C

## 4.2 B 分土工下流における G 幹線の水位・流量不安定等の問題に対する対策案の提案

上述の点および線の診断結果を踏まえ、G 幹線の水位・流量不安定等の問題に対する対策案を検討した (Fig.14)。

C 放土工における水位流量制御方式を完全な上流制御方式とすることを目的とした場合、①上流水位の対策、②下流水位の対策の 2 案が考えられ、複合的に対策を講じることが必要である。

また、両対策を講じる際には、以下の 3 点に留意する必要がある。①上流水位の対策は、B 分土工下流における G 幹線の溢水のリスクを高めることにも繋がるため、併せて開水路側壁の嵩上げおよび余水吐の設置が必要となる。②下流水位の対策は、C 放土工下流の水位 (圧力) 低下を引き起こす可能性があるため、C 放土工から D 分土工における水理、水利用についての検討が必要となる。最後に、①上流水位の対策、②下流水位の対策は、一見、個別に考えがちであるが、対策を講じることにより、最低範囲で、B 分土工～C 放土工～D 分土工の水路システムに影響を及ぼすため、水路システムとして捉え、十分な検討を行う必要がある。

|          | B分土工下流 G幹線                                          | C放土工                                                               |
|----------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| ①上流水位の対策 | 対策A：開水路底版コンクリート打設<br>対策B：開水路側壁の嵩上げ<br>対策C：開水路余水吐の設置 | 対策D：越流セキの嵩上げ                                                       |
| ②下流水位の対策 | —                                                   | 対策E：飛散防止対策を講じた<br>上での余水吐の利用<br>対策F：余水放流管の放流量増大<br>対策G：余水放流調整バルブの設置 |

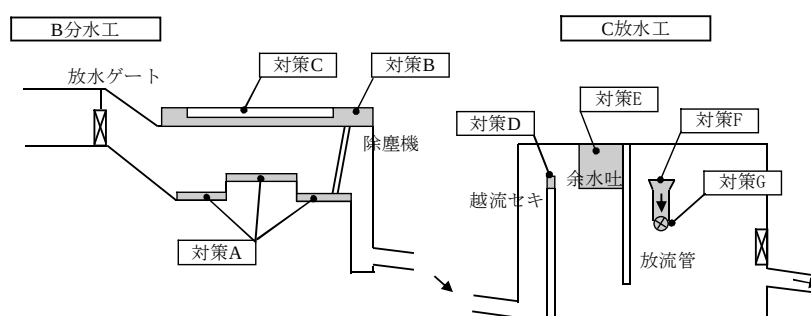


Fig.14 G 幹線の水位・流量不安定等の問題に対する対策案の概要  
Countermeasures for hydraulic problems in canal G

## V 結 言

本研究では、樽屋ら（2012）が提唱する水理および水利用に関する機能診断手順の現地適用を行うことを目的とし、開水路からパイプラインに移行する現地水路システム（G 幹線）を対象とした水理機能診断（点および線の診断）を実施し、以下のような所見が得られた。

- ① 施設更新による水理機能の変遷を水理機能平面図に整理することにより、点および線の診断を行うにあたっての着眼点を把握することができた。
- ② 点の診断においては、施設毎に、現地調査および施設管理者からの聞き取りに基づく水理機能診断を実施し、水位・流量変動等の問題について水理機能診断カルテに整理することにより、問題抽出を行うことができた。
- ③ 線の診断においては、点の診断結果を踏まえ、C 放水路改修前後における水理機能および水理特性の変化について TM/TC データを用いて整理することにより、C 放水路改修の効果について定量的に評価することができた。このことから、既往のモニタリングデータを活用することで、水理機能診断の一助となることがわかった。
- ④ ①～③の診断結果を踏まえ、事業③完了後の C 放水路が有している水理機能を明確にすることにより、B 分水路下流における G 幹線の水位・流量不安定等の問題に対する対策案の提案を行った。

今後も継続して、他地区にて、水理および水利用に関する機能診断手順の適用を試み、手法の汎用化を図る計画である。なお、現段階における、水理および水利用に関する機能診断手順の普及範囲は、検討内容から勘案すると、農業水利技術者（コンサルタント技術者等）に限

られ、土地改良区職員にも取り組めるようにしていくことが、今後の課題として残されている。

**謝辞：**本研究の実施にあたり、現地調査などにご協力を頂きました関係各位に対し、ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 三春浩一・田中良和・向井章恵・樽屋啓之・中 達雄（2009）：用水路システムの水理および水利用に対する機能診断事例，農業農村工学会論文集，260，113-119
- 中 達雄・樽屋啓之（2008）：用水路系に対する水利学的性能の基本的考え方，農業農村工学会論文集，256，9-16
- 中島賢二郎（2003）：用水路系の機能分析－水利システムの性能設計のために－，JIID 研究レポート，24，95-107
- 中島賢二郎・中村博樹（2003）：排水路系の機能分析－水利システムの性能設計のために－，JIID 研究レポート，24，109-114
- 独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所・東京大学大学院農学生命科学研究科・日本大学生物資源科学部（2012）：農業水利施設の機能保全のための研究成果の活用の手引き，農村工学研究所，104-105
- 樽屋啓之・藤山 宗・中田 達（2012）：分水施設機能診断のための基本的調査項目について，平成 24 年度農業農村工学会九州支部大会講演要旨集，94-95
- 樽屋啓之・三春浩一（2009）：用水路系における水理・水利用機能診断のチェックポイント，水土の知，77（4），11-14
- USBR（1991）：Canal Systems Automation Manual，1，9-11

## **Diagnosis of Hydraulic Function for Wasteway Renewal in the Canal System Shifting to Pipelines from Open Canals**

FUJIYAMA So\*, TARUYA Hiroyuki \*\*and NAKADA Toru\*\*

Sanyu Consultants Inc\*

Hydraulic Engineering Division, Canal Systems\*\*

### **Summary**

In this study, for a local application of diagnosis procedure suggested by Taruya et al. for hydraulic and water serviceability functions, the diagnosis of hydraulic function for wasteway renewal in the canal system shifting to pipelines from open canals was performed, and obtained results are as follows. 1) The focus for diagnosing in point and line by arranging changes of hydraulic function in hydraulic plan could be grasped. 2) On the point diagnosis, the diagnosis chart based on results obtained by field survey and facility manager interview revealed hydraulic problems. 3) On the line diagnosis, TM/TC database was available for quantitative evaluation of wasteway C renewal. 4) Based on diagnosis results of hydraulic function for point and line, we could consider countermeasures for hydraulic problems.

**Key words :** canal system, diagnosis of functions, hydraulic function, open canal, pipeline