

排水管理時における用水制御施設の水力機能診断

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，分土工，機能診断，水力機能，流量係数

I 緒言

受益者へ農業用水を送水するための用水路（開水路）は、近年、周辺農地の宅地化に伴い、多量の雨水表面排水の流入を受け、溢水とともに周辺農地、宅地などへの冠水の事例が全国各地で確認されている（たとえば、安田，2011）。昨今、気候変動などの影響を受け、予測が困難な、積乱雲の発生による突発的で局所的な豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）が頻発し、用水路の溢水リスクが増大している状況にある。台風のように、比較的、大雨が発生する地点とその量が想定できるような場合、施設管理者（土地改良区など）は、予め、頭首工からの用水路への送水を停止するとともに、用水路における主要な分土工にてゲート操作を行うことにより、用水路の溢水リスクを低減させることが可能である。しかし、ゲリラ豪雨のように、大雨が発生する地点とその量が予測できない場合、頭首工からの用水路への送水停止や分土工におけるゲート操作が遅れ、用水路への多量の雨水排水の流入に伴い、用水路の溢水リスクが増大する。このように、従来、施設管理者は、おもに農業用水を受益者へ送水する管理（用水管理）を行ってきたが、最近では、周辺農地とともに宅地などの冠水を防止する管理（排水管理）が、従来より増して、施設管理者に求められており、用水路の管理が複雑化している状況にある。

用水路の溢水リスクの低減を図る対策としては、ソフト面では排水管理マニュアルの作成、ハード面では用水路の通水能力の向上、排水バイパスの追加などが挙げられる（たとえば、大谷，2013；翠川ら，2005）。しかし、上述のような対策を検討するにあたって、現況における分土工の分水性能、用水路の通水性能とともに、排水管理時における施設管理者の操作等に関して、水力および水利用の観点で機能診断を行い、その結果を対策検討に反映するまでを検討した事例は少ない。そのため、用水管理時はもとより排水管理時においても、水力および水利用に関して機能診断を行うことが求められている（たとえば、樽屋・三春，2009；中・樽屋，2008）。

最近では、樽屋ら（2012）は、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力および水利用に関する機能診断手順の整理を行っている。また、藤

山ら（2014）は、樽屋ら（2012）が提唱する水力および水利用に関する機能診断手順の現地適用を行っている。

以上のことから、本研究では、樽屋ら（2012）が提唱する水力および水利用に関する機能診断手順を用いて、現地水路システムにおける用水制御施設（分土工、放水工）を対象とした排水管理時の水力機能診断を実施した。なお、本稿は、藤山ら（2014）の研究成果を発展させ、排水管理に重点を置いた取り組みとして位置づけられる。

II 研究の方法

2.1 研究対象とする水路システムおよび分土工

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連結する B 分土工～C 放水工（総延長 L=0.5km）区間である。また、本区間は河川取水口から路線延長 6.2km 下流に位置し、その間、複数箇所の河川放流施設を有する。

Fig.2 は、B 分土工の構造概要を示す。B 分土工は、スライドゲート 3 門（F 幹線 1 門，G 幹線 2 門）を有しており、本分土工より、H 幹線から F 幹線，G 幹線の 2 路線へ分岐する。F 幹線については、基本的に、全開でのゲート管理が行われており、越流セキの形式で分水する。G 幹線については、通常、制水ゲートの利用はなく、放水ゲートが用いられており、オリフィスの形式で分水する。つまり、本分土工は、セキ形式 1 門とオリフィス形式 2 門が複合した分水機構を有している。なお、C 放水工の構造については、**Fig.4** にて後述する。

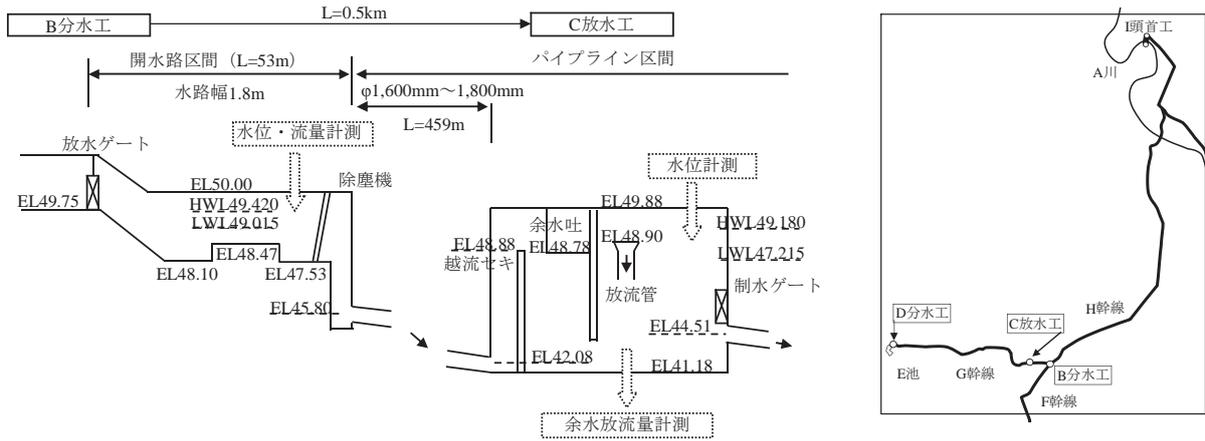


Fig.1 研究対象とする水路システムの概要
Outline of study site

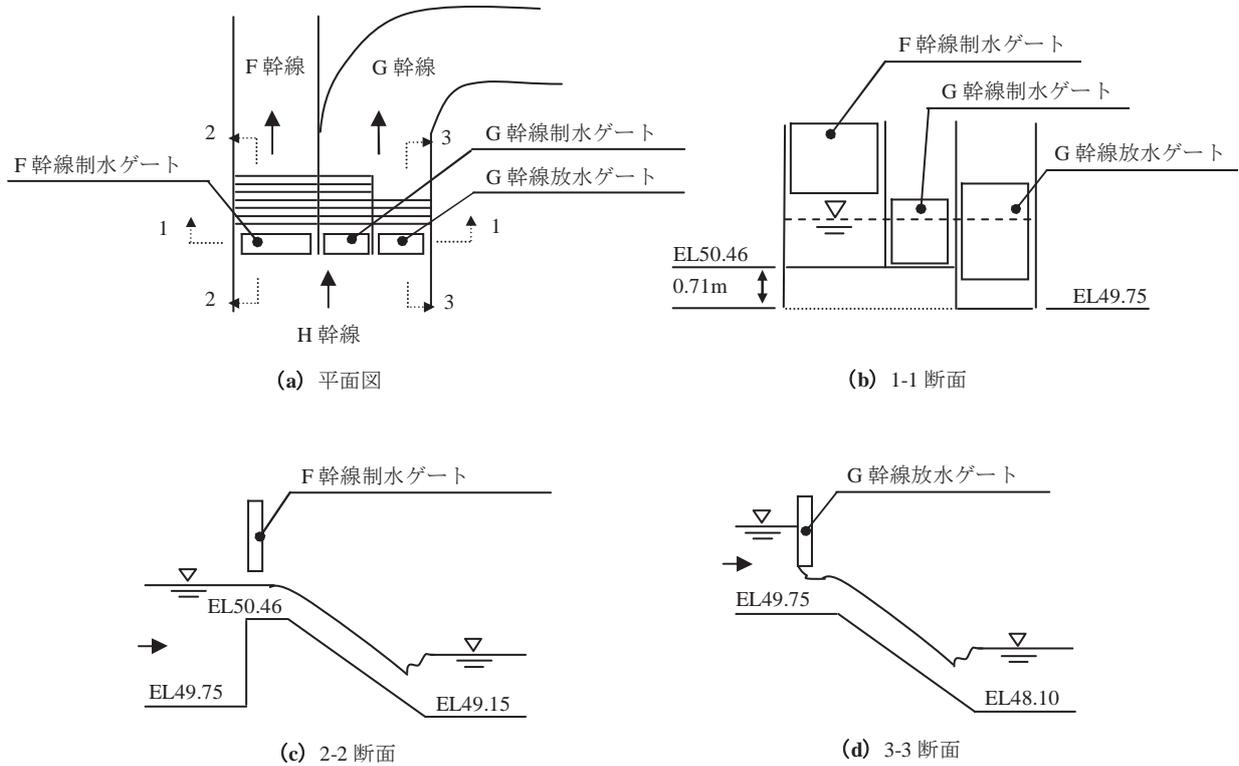


Fig.2 B分土工の構造概要
(a) 平面図, (b) 1-1断面, (c) 2-2断面, (d) 3-3断面
Structure of division work B
(a) Plan, (b) Section 1-1, (c) Section 2-2, (d) Section 3-3

2.2 研究手順および調査方法

2.2.1 研究手順

まず、研究対象とする B 分木工～C 放水工区間において、施設更新による水利機能の変遷を水利機能平面図（三春ら、2009）にて整理するとともに、溢水実績の情報整理を行った。次に、TM/TC データを用いた、B 分木工地点における排水管理の履歴と分水機構の整理を行った（以降、「点の診断」と称する）。最後に、点の診断結果を踏まえ、溢水状況の確認を行うとともに、B 分木工と C 放水工の2地点間における排水管理時の問題点の抽出を行い、対策案の提案を行った（以降、「線の診断」と称する）。

2.2.2 調査方法

2.2.2.1 施設更新による水利機能の変遷の情報整理

施設更新による水利機能の変遷の情報整理は、工事図面および施設管理者等からの聞き取りに基づき、事業による施工年次別に、水利機能平面図を作成した。なお、水利機能平面図における、対象施設の構造、機能および水位・流量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。

2.2.2.2 溢水実績の情報整理

溢水実績の情報整理は、施設管理者からの聞き取りに基づき行った。

2.3 分析および診断の方法

2.3.1 点の診断

2.3.1.1 排水管理の履歴の整理

a 検討に用いる降雨データと施設管理データ

降雨データは、対象地区近傍観測所の観測データ（国土交通省水文水質データベース）を用い、対象とする降雨は、2011年：4ケース、2012年：2ケースの計6ケースとした（Table 1）。また、施設管理データは、土地改良区所有の TM/TC データ（10分間隔）を用いた（Table 2）。

b 整理方法

Table 1 に示す降雨データに対応する施設管理データ（Table 2）を抽出し、それぞれ雨量と流量（F 幹線、G 幹線）の関係とともに、ゲート開度を経時的に整理した。また、それらの整理結果をもとに、降雨パターン（台風、通常降雨、ゲリラ豪雨）を基本とし、排水管理パターンを区分する。

2.3.1.2 分水機構の整理

a 検討に用いる施設管理データ

分水機構の整理を行うにあたっては、土地改良区所有の施設管理データ（2012/1/1～12/31）（Table 3）を用いた。

b 整理方法

(1) G 幹線放水ゲートの流量係数の推定

G 幹線放水ゲートの設定開度（全 15 ケース）毎に、B 分木工（H 幹線）の水深と G 幹線の流量との関係を整理した。次に、スルースゲートからの自由流出の関係式（1）（椿東一郎、1977）に基づき、G 幹線放水ゲートの

開度毎に、流量係数 C を推定する。最後に、G 幹線放水ゲート開度 d と流量係数 C の関係式を推定する。

$$Q = C \times b \times d \times \sqrt{2gh_0} \quad (1)$$

ここで、 Q ：G 幹線流量（ m^3/s ）

C ：流量係数

b ：ゲート幅（ m ）

d ：ゲート開度（ m ）

h_0 ：ゲート上流水深（ m ）

(2) B 分木工水深と流量比の関係の整理

比較的データ数が多い、G 幹線放水ゲート開度 $d=0.16\text{m}$ 、 0.41m の 2 ケースについて、B 分木工水深と流量比（G 幹線流量/F 幹線流量）の関係を整理する。

Table 1 排水管理時の履歴の整理にて対象とする降雨データ
Rainfall data for arrangement of histories of drainage management

年	月日	最大時間雨量 (mm)	降雨パターン による区分
2011	7/26～28	41	ゲリラ豪雨
	8/21～23	51	通常降雨
	9/3～5（台風12号）	48	通常降雨
	9/20～22（台風15号）	30	台風
2012	6/18～20（台風4号）	35	台風
	8/13～15	34	通常降雨

Table 2 排水管理履歴の整理に用いる施設管理データ
Facility management data for arrangement of histories of drainage management

データ期間	2011/1/1～2012/12/31（2ヶ年）
データ項目	F幹線 流量
	G幹線 流量
	F幹線 制水ゲート開度
	G幹線 放水ゲート開度

Table 3 分水機構の整理に用いる施設管理データ
Facility management data for arrangement of the division mechanism

データ期間	2012/1/1～12/31（1ヶ年）
データ項目	B分木工（H幹線）水位
	F幹線 流量
	G幹線 流量
	G幹線 放水ゲート開度

2.3.2 線の診断

B 分木工下流の F 幹線および G 幹線にて、溢水が生じた 2012/8/14 降雨時の TM/TC データを用いて、B 分木工および C 放水工における水位・流量の変化を整理し、溢水状況を確認した。また、水利機能平面図を用いて、B 分木工から C 放水工の 2 地点間における排水管理時の問題点の抽出を行い、対策案の提案を行う。

Ⅲ 調査結果

3.1 施設更新による水理機能の変遷の情報整理

施設更新による水理機能の変遷を把握するため、水理機能平面図を用いて、(a) 事業②時点、(b) 事業③時点の流れで整理した (Fig.3)。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.3 (a) は、事業②時点において、B 分水工下流の G 幹線がパイプライン化されるとともに、余水吐を有する分水スタンド (C 放水工) が設置された時点の水理機能平面図である。なお、事業②時点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等である。

Fig.3 (b) は、事業③時点において、C 放水工にて、越流セキの設置と分水スタンドの容量拡大 (Fig.4) が行われた時点の水理機能平面図である。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、同放水工上流の水位・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、同放水工下流の水位・流量の安定化および同放水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時点および事業③時点における C 放水工の設計思想は、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、事業②時点、事業③時点において、C 放水工における各種の水理機能の変更 (下流制御方式から上流制御方式への変更など) が行われているが、詳細については、藤山ら (2014) を参照されたい。

3.2 溢水実績の情報整理

Fig.5 は、B 分水工下流の現場における溢水状況の写

真 (2012/8/14 9:00 時点) である。2012 年 8 月 14 日 9 時頃、最大時間雨量 34mm を記録し、B 分水工下流の F 幹線および G 幹線の開水路区間にて、溢水が生じ、周辺道路、宅地への冠水被害が生じていたこと、また、同様な被害が、最近年、複数回生じていることを、施設管

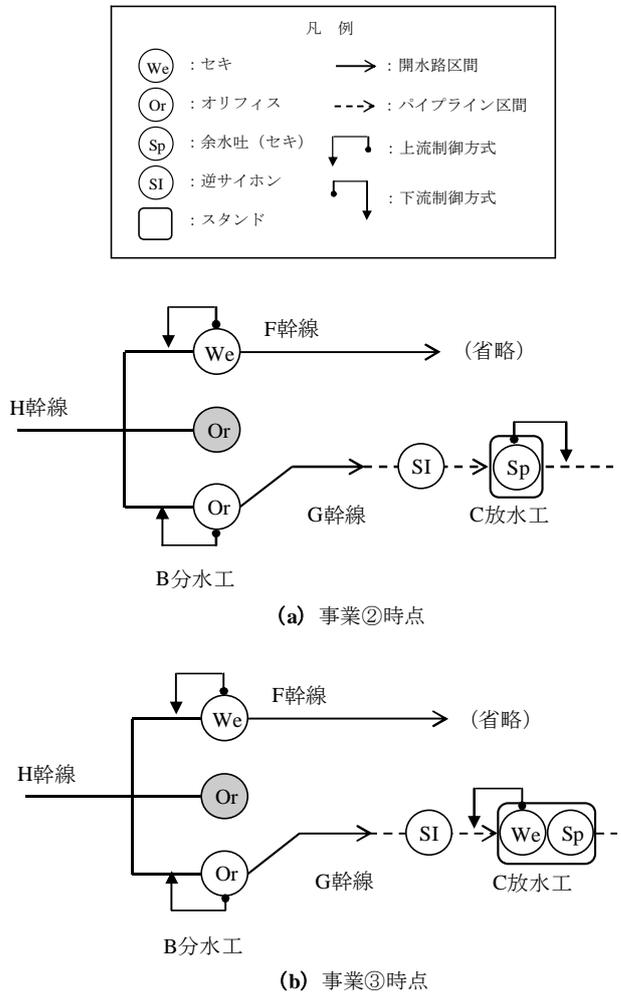


Fig.3 水理機能の変遷を把握するための水理機能平面図

(a) 事業②時点, (b) 事業③時点
 Hydraulic function plan
 (a) Enterprise ②, (b) Enterprise ③

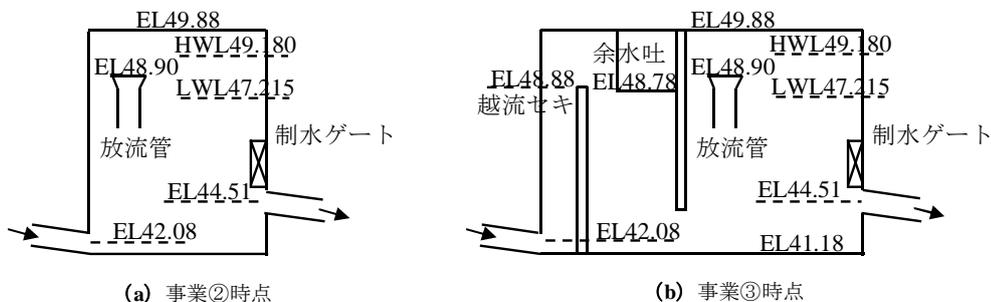


Fig.4 C 放水工の構造

(a) 事業②時点, (b) 事業③時点

Structure of wasteway C

(a) Enterprise ②, (b) Enterprise ③

理者からの聞き取りにより明らかとなった。なお、Fig.5 に示す写真は、施設管理者により撮影されたものである。

IV 分析および診断結果

4.1 点の診断

4.1.1 排水管理の履歴

Fig.6~Fig.11 は、Table 1 に示す降雨イベント毎の幹線流量とゲート開度の時間変化を示す。なお、それぞれの図中には、施設管理者の排水管理に伴う、F 幹線および G 幹線の流量変化点を破線丸囲みにて示す。

Fig.6 および Fig.7 は、それぞれ 2011/9/20~22 (台風 15 号)、2012/6/18~20 (台風 4 号) における降雨時の幹線流量とゲート開度の時間変化を示す。台風 15 号 (2011/9/20~22) および台風 4 号 (2012/6/18~20) は、両者ともに、当初より、対象地区を直撃することが予想されていた。そのため、雨の降りはじめの段階で、H 幹線への送水量を減少させたため、Fig.6 および Fig.7 から読み取れるように、F 幹線および G 幹線における流量増加を抑制することができている。また、両者の降雨時の B 分土工におけるゲート操作は、G 幹線 (放水ゲート) のみで行われており、このゲート操作は、B 分土工下流の G 幹線開水路区間における溢水リスクの低減を目的としたものであることを、施設管理者からの聞き取りにより確認した。

Fig.8~Fig.10 は、それぞれ 2011/8/21~23、2011/9/3~5 (台風 12 号)、2012/8/13~15 における降雨時の幹線流量とゲート開度の時間変化を示す。台風 12 号 (2011/9/3~5) は、発生当初、対象地区を直撃することも予想されたが、同期間において対象地区を直撃しなかったことから、台風の降雨イベントとしては取り扱わなかった。

Fig.8~Fig.10 より、すべての降雨時において、最大時間雨量に達する過程で、F 幹線 (および G 幹線) における

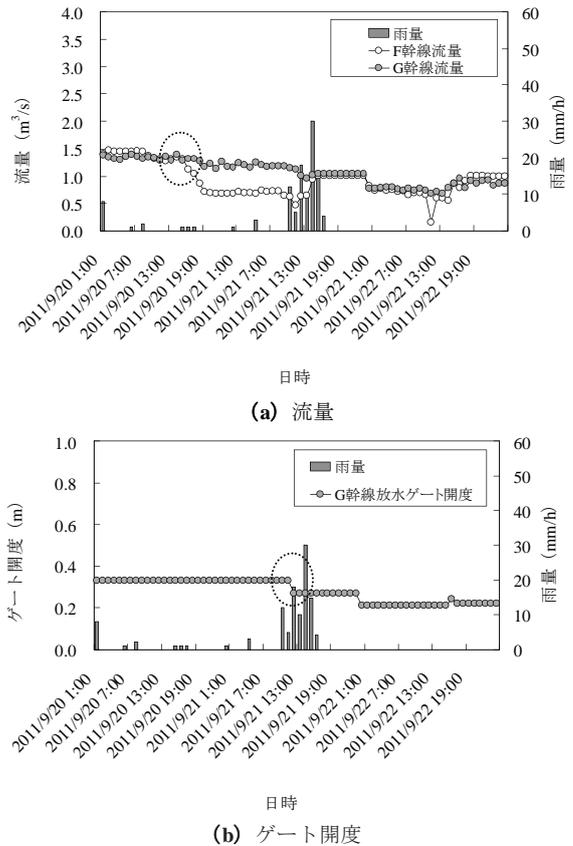


Fig.6 2011/9/20~22 降雨時の幹線流量とゲート開度の変化
(a) 流量, (b) ゲート開度
Discharge and gate opening at the time of the rain of 2011/9/20-22
(a) Discharge, (b) Gate opening



Fig.5 B 分土工下流の現場における溢水状況の写真 (2012/8/14 9:00)
(a) B 分土工の流況, (b) F 幹線の溢水状況, (c) G 幹線の溢水状況
Overflow behavior in division work B downstream
(a) Flow behavior in division work B, (b) Overflow behavior in canal F, (c) Overflow behavior in canal G

流量増加が見られること、また、その間、B 分土工におけるゲート操作は行われていないことが読み取れる。

施設管理者からの聞き取りでは、台風時には、雨の降り始めの段階で、H 幹線への送水量を減少させるが、その他の降雨時には、H 幹線への送水量の減少は、雨の降り方を見ながら経験的に判断することを基本方針としていることを確認した。また、H 幹線への送水量の減少が遅れる、あるいは、遅らせる理由についても、施設管理者に確認したところ、G 幹線のパイプライン化により、維持管理上、極力パイプラインの充水状態を確保することが求められ、できるだけ、H 幹線への送水量の減少を遅らせることを念頭に置いているとのことであった。

以上の点を踏まえると、施設管理労力の軽減等を目的とし、G 幹線をパイプライン化したことが、降雨時、施設管理者による H 幹線への送水量の低減の判断（用水管理から排水管理に切り換える判断）を難しくしていることが推察される。

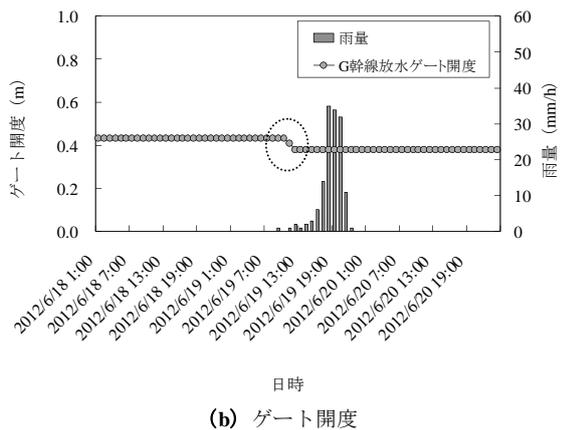
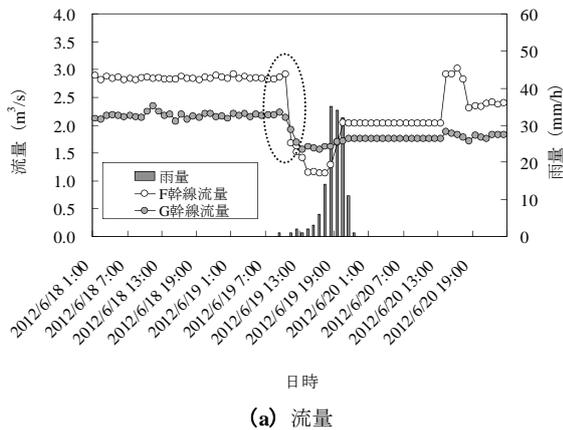


Fig.7 2012/6/18~20 降雨時の幹線流量とゲート開度の変化
(a) 流量, (b) ゲート開度

Discharge and gate opening at the time of the rain of 2012/6/18-20
(a) Discharge, (b) Gate opening

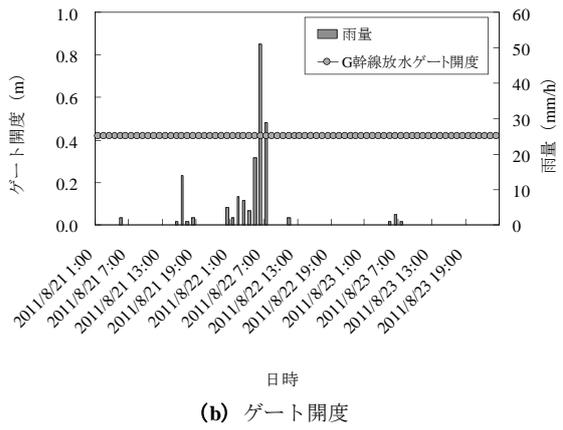
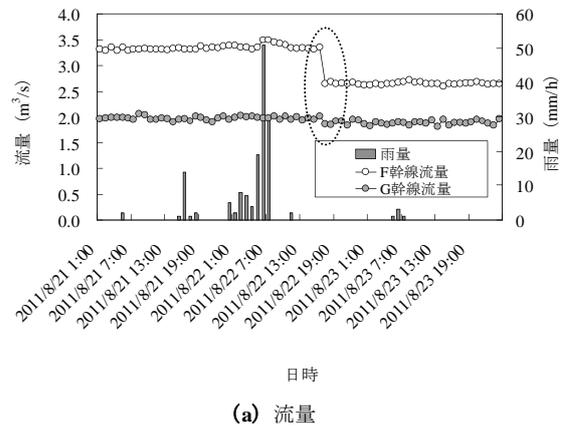
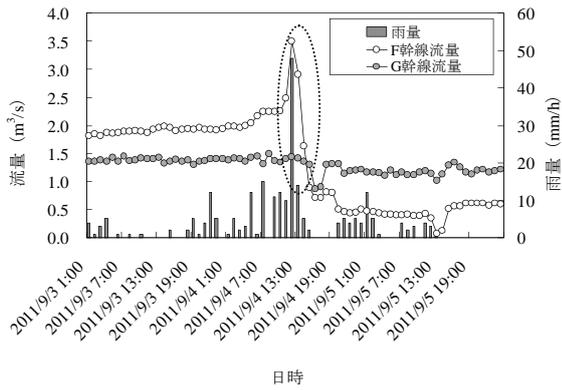
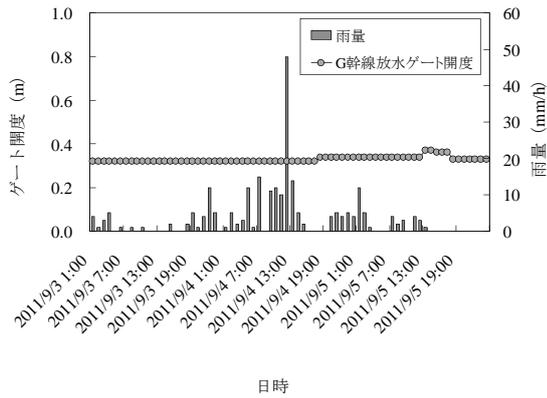


Fig.8 2011/8/21~23 降雨時の幹線流量とゲート開度の変化
(a) 流量, (b) ゲート開度

Discharge and gate opening at the time of the rain of 2011/8/21-23
(a) Discharge, (b) Gate opening

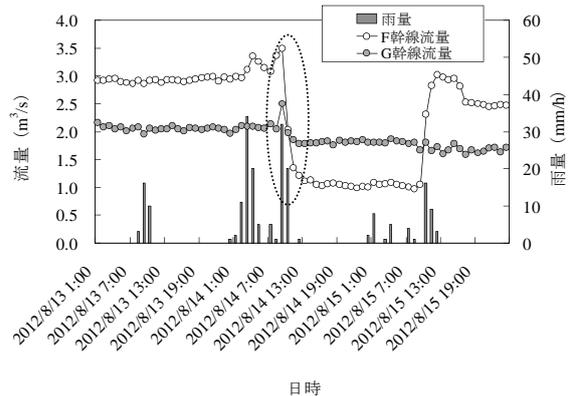


(a) 流量

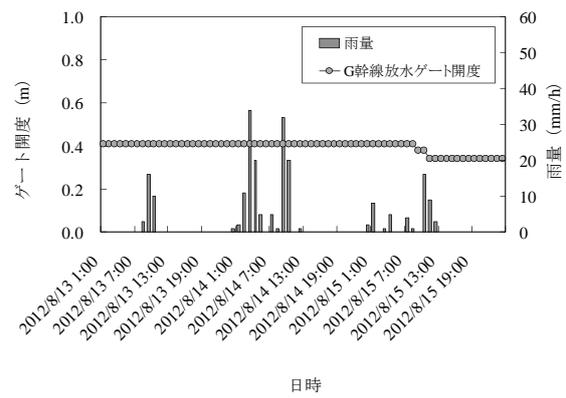


(b) ゲート開度

Fig. 9 2011/9/3～5 降雨時の幹線流量とゲート開度の変化
(a) 流量, (b) ゲート開度
Discharge and gate opening at the time of the rain of 2011/9/3-5
(a) Discharge, (b) Gate opening



(a) 流量



(b) ゲート開度

Fig. 10 2012/8/13～15 降雨時の幹線流量とゲート開度の変化
(a) 流量, (b) ゲート開度
Discharge and gate opening at the time of the rain of 2012/8/13-15
(a) Discharge, (b) Gate opening

Fig.11 は、2011/7/26～28における降雨時の幹線流量とゲート開度の時間変化を示す。本降雨データは、上述の降雨データ（5 ケース）と異なり、連続して降り続く降雨ではなく、突発的な降雨であったことから、ゲリラ豪雨として取り扱うものとした。本降雨時には、突発的な降雨に伴い、F 幹線の流量増加が見られた。施設管理者からの聞き取りによると、本降雨は、予測できないものであったため、H 幹線への送水量の減少および B 分水工におけるゲート操作に遅れが生じたとのことであった。

以上のように、Table 1 に示す降雨イベントにおける幹線流量とゲート開度の時間変化を、台風 (Fig.6, Fig.7)、通常降雨 (Fig.8～Fig.10)、ゲリラ豪雨 (Fig.11) に区分し説明し、それぞれの区分における排水管理に相違が見られることが明らかとなった。そこで、それぞれの区分における排水管理パターンを再整理した (Table 4)。

パターン 1：2011/9/20～22 (台風 15 号)、2012/6/18～20 (台風 4 号) (Fig.6, Fig.7) のように、事前の気象情報により雨量の増加が想定される台風の場合には、雨の降り始めの段階で、H 幹線への送水量の減少を行うとともに、B 分水工におけるゲート操作を行い、G 幹線の溢水リスクを減少する。

パターン 2：2011/8/21～23、2011/9/3～5 (台風 12 号)、2012/8/13～15 (Fig.8～Fig.10) のように、通常降雨の場合には、最大時間雨量に達する過程で、H 幹線への送水量の減少および B 分水工におけるゲート操作の判断を経験的に行っており、場合によっては、判断が遅れ、G 幹線の溢水リスクが高まるおそれがある。

パターン 3：2011/7/26～28 のように、ゲリラ豪雨の場合には、予測できない突発的な降雨であるため、H 幹線への送水量の低減および B 分水工におけるゲート操作が遅れ、G 幹線の溢水リスクが高まる。

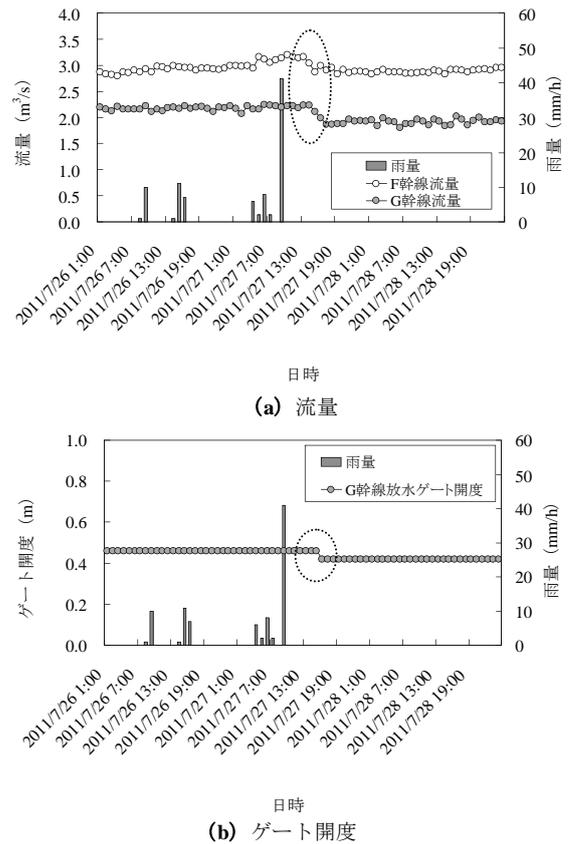


Fig. 11 2011/7/26～28 降雨時の幹線流量とゲート開度の変化
(a) 流量, (b) ゲート開度
Discharge and gate opening at the time of the rain of 2011/7/26-28
(a) Discharge, (b) Gate opening

Table 4 排水管理パターンの区分
Classification of drainage management patterns

排水管理パターン	年	月日	H幹線への送水量の低減の有無 ^{※1}	B分水工におけるゲート操作の有無		備考
				F幹線	G幹線	
パターン1	2011	9/20～22	◎	×	○	台風15号
	2012	6/18～20				台風4号
パターン2	2011	8/21～23	○	×	×	—
		9/3～5				台風12号
パターン3	2012	8/13～15	○	×	○	—
		7/26～28				—

※1_表中の◎, ○は、以下のことを意味する。

◎：最大時間雨量に達する前に、H幹線への送水量の低減を行った。

○：最大時間雨量に達したのち、H幹線への送水量の低減を行った。

4.1.2 分水機構

4.1.2.1 G 幹線放水ゲートの流量係数

Fig.12 は、G 幹線放水ゲート開度と流量係数の関係を示す。G 幹線放水ゲート開度 d と流量係数 C の関係は、一次近似式 ($C=0.23d+0.69$) にて表すことができる。なお、本検討を行う上での参考資料として、各ゲート開度 d における流量係数 C の算出結果を付録に示す。

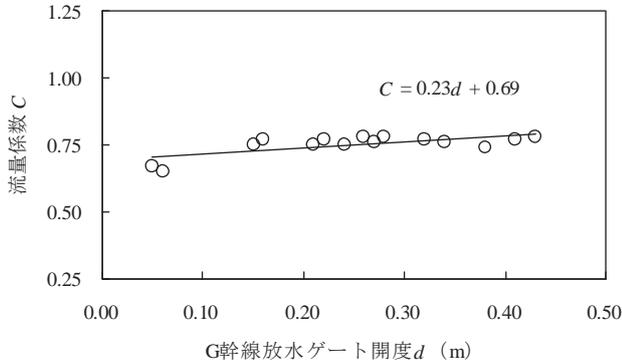


Fig.12 G 幹線放水ゲート開度と流量係数の関係
Relationship between gate opening of canal G and coefficient of discharge

4.1.2.2 B 分土工水深と流量比の関係

G 幹線放水ゲート開度 2 ケース ($d=0.16m, 0.41m$) について、Fig.12 に示した流量係数 C に基づき、B 分土工水深と流量比 (G 幹線流量/F 幹線流量) の関係を整理した (Fig.13)。Fig.13 より、B 分土工水深が大きくなるにつれて、G 幹線および F 幹線の流量は増加すること、また、その流量の変化勾配は、F 幹線の方が大きいことがわかった。また、B 分土工における流量比 (G 幹線流量/F 幹線流量) は、B 分土工水深が大きくなるにつれて、小さくなる。

以上のことから、G 幹線が有するオリフィスの形式よりも、F 幹線が有する越流セキの形式による分水機構の方が、B 分土工水深に対する流量の変化勾配が大きいこと、つまりは、B 分土工の分水機構は、越流セキの形式とオリフィスの形式を用いた分水機構の複合系であることを確認した。なお、オリフィスと越流セキの流量の関係は、スルースゲートからの自由流出の関係式 (1) と完全越流セキの流量の関係式 (2) (樁東一郎, 1977) より、水位に対して、それぞれ $1/2$ 乗、 $3/2$ 乗に比例して流量増加することからも説明できる。

$$Q = C \times B \times \sqrt{2gE^3} \quad (2)$$

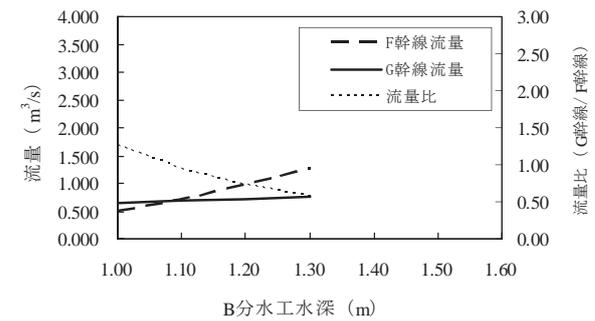
ここで、 Q : F 幹線流量 (m^3/s)
 C : 流量係数
 B : 越流幅 (m)
 E : 越流水頭 (m)

4.2 線の診断

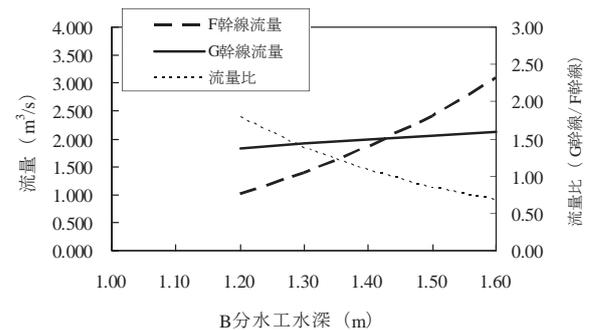
4.2.1 2012/8/14 降雨時の溢水状況の確認

Fig.14 は、2012/8/14 降雨時の B 分土工水深・流量の時間変化を示す。2014/8/14 降雨時、まず F 幹線が同日 8:40 に最大流量 $3.5m^3/s$ に達し、G 幹線は F 幹線が最大流量に達した時点で遅れて反応し、同日 9:00 に最大流量 $2.5m^3/s$ を記録し、同時刻に施設管理者により両幹線の溢水状況が確認された (Fig.5)。この F 幹線および G 幹線の流量変化の関係には、Fig.13 に示した B 分土工が有する分水機構の特徴が現れている。

Fig.15 は、2012/8/14 降雨時の G 幹線水位と C 放水工水位・余水放流量の時間変化を示す。2014/8/14 降雨時、B 分土工下流の G 幹線水位は、最大水位 $49.39m$



(a) ゲート開度 $d=0.16m$



(b) ゲート開度 $d=0.41m$

Fig.13 B 分土工水深と流量比の関係

(a) ゲート開度 $d=0.16m$, (b) ゲート開度 $d=0.41m$

Relationship between water depth of division work B and division discharge ratio

(a) Gate opening of $d=0.16m$, (b) Gate opening of $d=0.41m$

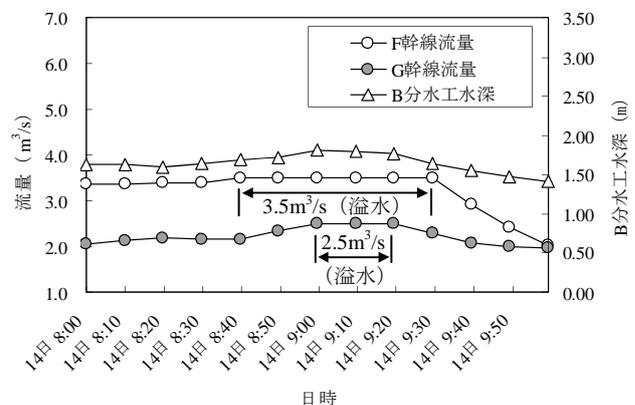


Fig.14 2012/8/14 降雨時の B 分土工水深・流量の時間変化
Fluctuations in water depth of division work B and division discharge at the time of the rain of 2012/8/14

(2012/8/14 9:10) に達し、C 放水工水位および C 放水工余水放流量は、それに追従し、それぞれ最大値 49.16m (HWL.49.18m と概ね同等)、0.59m³/s を記録した。

Fig.16 は、2012/8/14 降雨時の C 放水工水位と越流セキ高の関係を示す。図中には、越流セキ高よりも C 放水工水位が高い場合を正とし、C 放水工水位と越流セキ高の差 (Fig.17) を整理した。C 放水工水位と越流セキ高の差は、2014/8/14 降雨時、最大値 0.28m を記録した。この現象は、G 幹線の流量増加に対し、C 放水工における余水放流能力が不足し、越流セキ下流の水位が上昇し

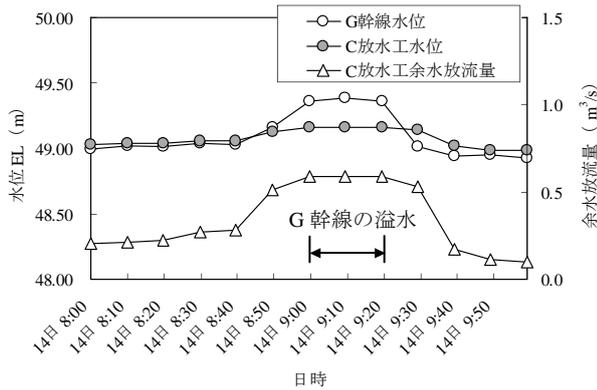


Fig.15 2012/8/14 降雨時の G 幹線水位と C 放水工水位・余水放流量の時間変化

Fluctuations in water level of canal G and spillway discharge and water level of wasteway C

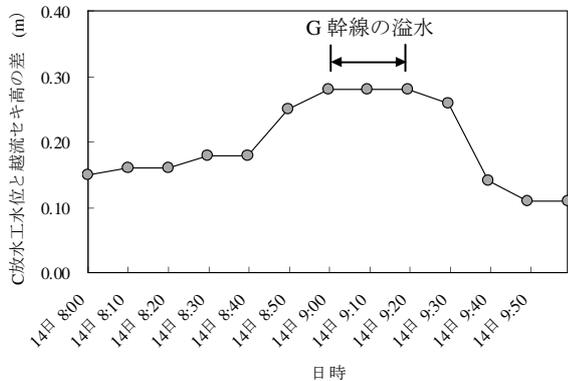


Fig.16 2012/8/14 降雨時の C 放水工水位と越流セキ高の関係

Relationship between water level and height of overflow weir in wasteway C

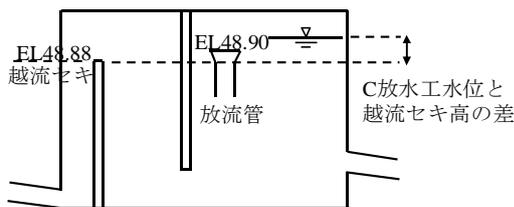


Fig.17 C 放水工水位と越流セキ高の差を示した模式図
Difference of water level and height of overflow weir in wasteway C

たものと推察される。また、越流セキ下流の水位上昇が、B 放水工下流における G 幹線の溢水に寄与していることも考えられる。

以上のことから、2012/8/14 降雨時に発生した溢水の要因としては、H 幹線への送水量の低減が遅れたということはもとより、B 放水工が有する特有の分水機構、C 放水工の構造 (越流セキ、放流管) 等における問題が考えられる。

4.2.2 排水管理時における問題点の抽出および対策案の提案

前項までにおいては、排水管理の履歴の整理、分水機構の整理 (点の診断) を行うとともに、2012/8/14 降雨時の溢水状況の確認 (線の診断) を行い、用水制御施設 (B 放水工、C 放水工) における排水管理の現状を把握した。そこで、本項では、用水・排水管理、分水機構とその水位・流量制御方式の関係を整理するとともに、B 放水工および C 放水工における排水管理時の問題点の抽出と対策案の提案を行う。

Table 5 は、用水・排水管理、分水機構と水位・流量制御方式の関係を示す。なお、分水機構には、背割、オリフィス、セキの形式が挙げられ、水位・流量制御方式には、上流制御方式と下流制御方式が挙げられるが、Table 5 では、B 放水工および C 放水工が有するオリフィスとセキの形式、上流制御方式と下流制御方式を対象とする。

用水管理においては、用水制御施設における用水の配分 (分水均等性) に着目すると、オリフィスの形式よりも、下流水位の影響を受けず定比分水が可能なセキの形式を用いた分水機構の方が、性能を発揮できると言える。オリフィス形式の場合、オリフィス下流水位の上昇により、自由流出からもぐり流出の流れに変化すると、分水均等性が保たれないおそれがある。

一方、排水管理においては、用水制御施設における排水の配分 (用水管理時の分水比から排水管理時の分水比への変更) に着目すると、セキの形式よりも、ゲート開度の調整による排水配分が可能なオリフィスの形式を用いた分水機構の方が、性能を発揮できると言える。セキ形式の場合、上流制御方式での水位・流量制御を余儀なくされ、一方の水路に選択的に排水を集中させる管理ができない。その際、溢水対策として、セキ上流にて余水吐の設置を検討することが必要となる。

つまり、用水制御施設において、用水管理とともに、排水管理も行う必要が生じるか否かによって、分水機構 (セキの形式、オリフィスの形式) の適性を適切に判断することが重要である。

そこで、上述の考え (Table 5) をもとに、B 放水工および C 放水工における分水機構と水位・流量制御方式を再整理し、問題点の抽出を行う。B 放水工に関しては、Fig.2 および Fig.3 (b) に示すように、分水機構はセキの形式とオリフィスの形式の複合系であり、水位・流量制御方式は用水管理、排水管理ともに、上流制御方式で

ある。また、C放水工に関しては、Fig.3 (b) および Fig.4 (b) に示すように、分水機構はセキの形式であり、水位・流量制御方式は用水管理、排水管理ともに、上流制御方式である。上述のとおり、分水機構がセキの形式である場合、状況に応じて、溢水対策としてセキ上流での余水吐の設置が必要となる。しかし、B分水工下流のF幹線およびG幹線の開水路区間にて、溢水が生じている状況で、B分水工およびC放水工のセキ上流には余水吐が設置されていない。ここに、B分水工およびC放水工における、排水管理時の問題が内在する。

Table 5 用水・排水管理、分水機構と水位・流量制御方式の関係

Relationship among management methods of irrigation and drainage, division mechanism, and water level and discharge control methods

分水機構 管理	セキ	オリフィス
	上流制御	下流(上流)制御
用水	◎	○
排水	△	◎

※表中の◎, ○, △は、以下のことを意味する。

- ◎：優れた適正を有する。
- ：適正を有する。
- △：余水吐との併用により適正を有する。

Fig.18 は、水利機能平面図(対策案)を示す。上述の排水管理時の問題を踏まえた、B分水工～C放水工区間における対策案としては、B分水工上流およびB分水工下流のG幹線にて余水吐の設置を行うとともに、C放水工越流セキ下流にて余水吐の能力強化を図ることが挙げられる。また、G幹線開水路区間にて容量(水路幅)の拡大を図ることも対策として挙げられる。

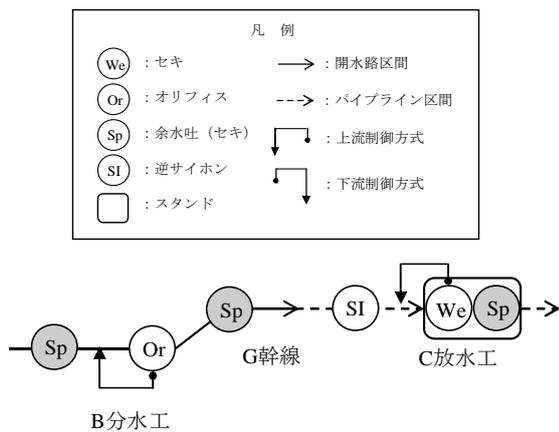


Fig.18 水利機能平面図(対策案)
Hydraulic function plan (Countermeasures)

VI 結 言

本研究では、樽屋ら(2012)が提唱する水利および水

利用に関する機能診断手順を用いて、現地水路システムにおける用水制御施設(分水工、放水工)を対象とした排水管理時の水利機能診断を実施し、以下のような所見が得られた。

- ① 点の診断にて、B分水工における排水管理の履歴を整理することにより、排水管理パターンを三つに区分した。パターン3に区分したゲリラ豪雨のような雨量増加に対しては、施設管理者による排水管理が遅れ、溢水に繋がるおそれがあること、また、パターン2に区分した通常降雨の場合には、G幹線のパイプライン化により、施設管理者による排水管理への変更判断を難しくしていることが推察された。
- ② 点の診断にて、B分水工におけるセキとオリフィスが複合した分水機構を明らかにした。G幹線が有するオリフィスの形式よりも、F幹線が有するセキの形式の分水機構の方が、分水位に対する流量の変化勾配が大きいこと、また、G幹線放水ゲート開度 d と流量係数 C の関係は、一次近似式にて表せることがわかった。
- ③ 線の診断にて、2012/8/14 降雨時の溢水状況を確認した。また、排水管理時の問題点を抽出し、対策として、B分水工～C放水工区間にて、余水吐の設置および能力強化が必要となることを提案した。

謝辞：本研究の実施にあたり、現地調査などにご協力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

藤山 宗・樽屋啓之・中田 達 (2014)：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利機能診断，農村工学研究所技報，215，1-16

翠川恒雄・土方英二・羽田野義勝 (2005)：生まれ変わる愛知用水，農土誌，73(2)，7-10

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利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

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

大谷 寛 (2013)：田園と散居の郷に安心と水土里の環，ARIC 情報，109，47-54

樽屋啓之・三春浩一 (2009)：用水路系における水利・水利用機能診断のチェックポイント，水土の知，77(4)，11-14

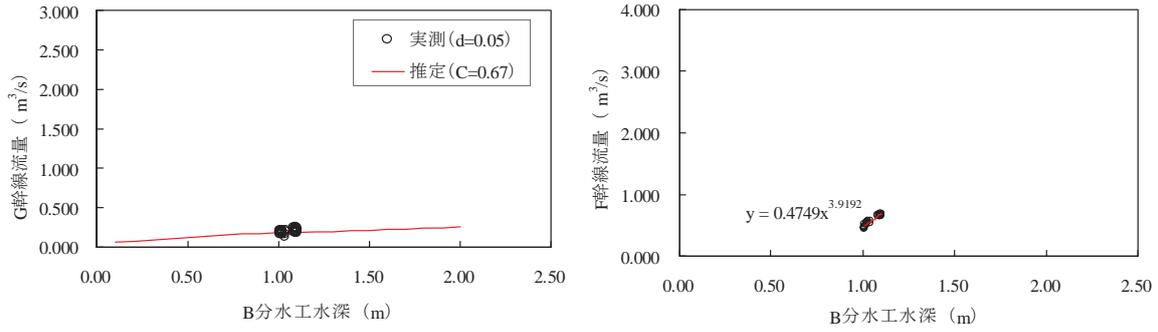
樽屋啓之・藤山 宗・中田 達 (2012)：分水施設機能診断のための基本的調査項目について，平成 24 年度農業農村工学会九州支部大会講演要旨集，94-95

樽東一郎 (1977)：水理学 I，森北出版，197-199

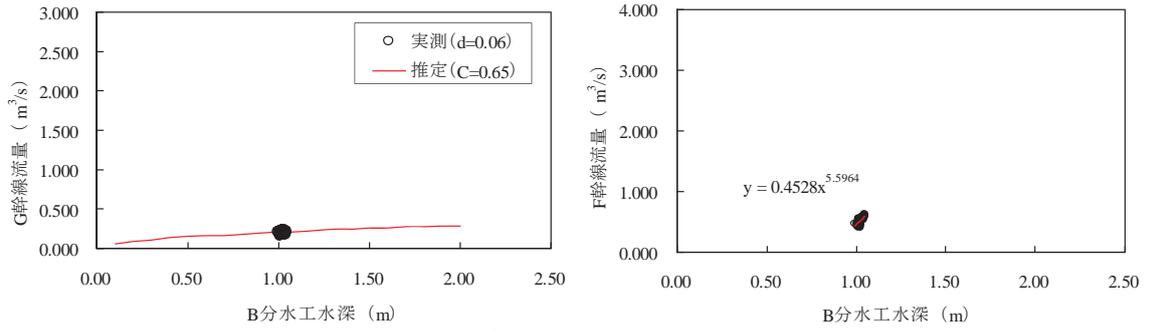
USBR (1991)：Canal Systems Automation Manual，1，9-11

安田克則 (2011) : 射水平野土地改良区の施設・維持管理について, 水と土, 162, 32-37

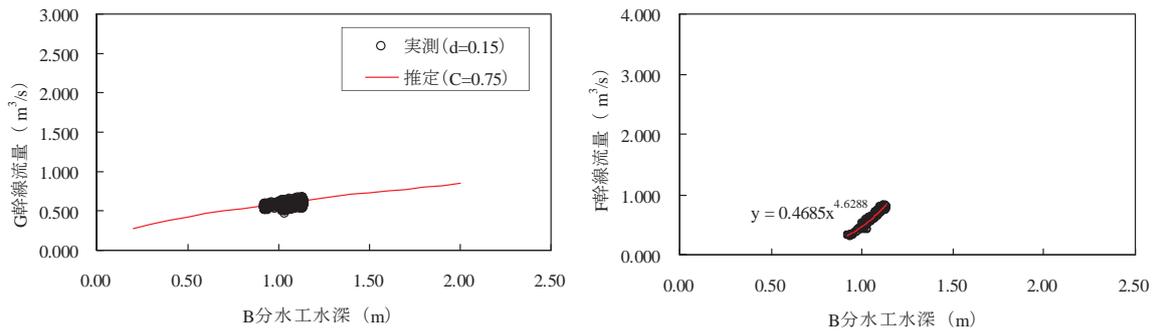
受理年月日 平成 25 年 11 月 6 日



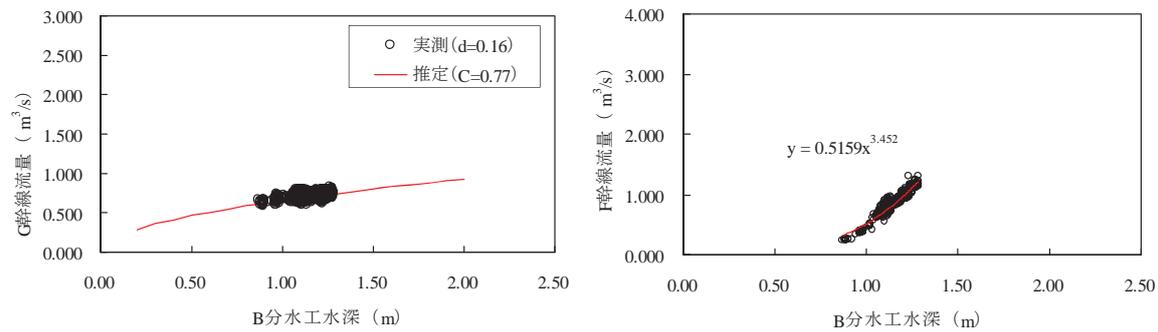
(a) ゲート開度 $d=0.05\text{m}$



(b) ゲート開度 $d=0.06\text{m}$



(c) ゲート開度 $d=0.15\text{m}$



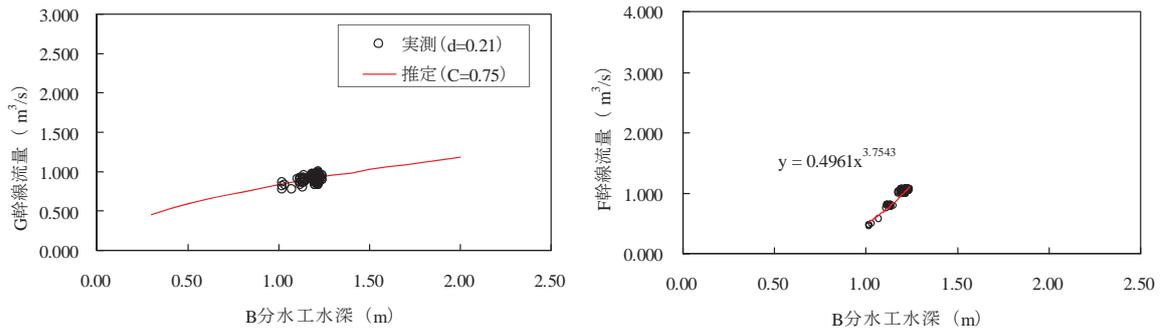
(d) ゲート開度 $d=0.16\text{m}$

付録 B 分土工水深と分水流量の関係 (1/4)

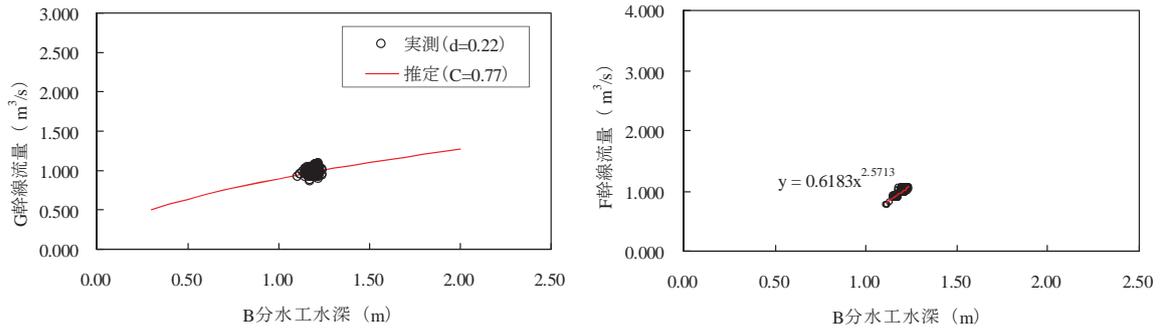
(a) ゲート開度 $d=0.05\text{m}$, (b) ゲート開度 $d=0.06\text{m}$, (c) ゲート開度 $d=0.15\text{m}$, (d) ゲート開度 $d=0.16\text{m}$

Relationship between water depth of division work B and division discharge (1/4)

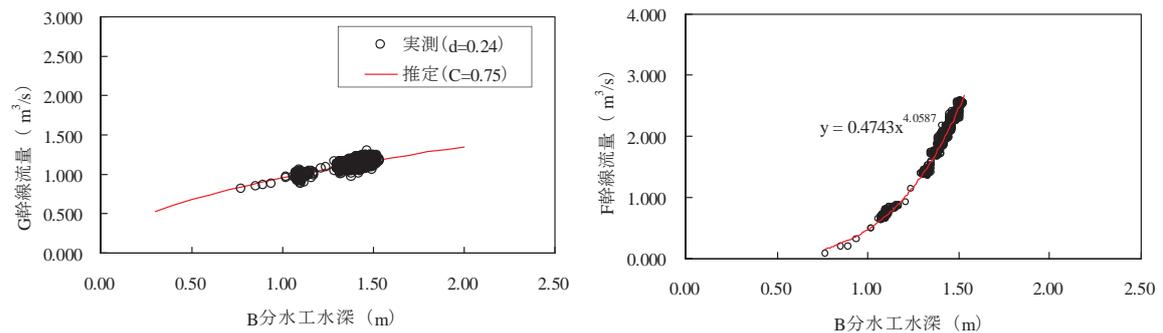
(a) Gate opening of $d=0.05\text{m}$, (b) Gate opening of $d=0.06\text{m}$, (c) Gate opening of $d=0.15\text{m}$, (d) Gate opening of $d=0.16\text{m}$



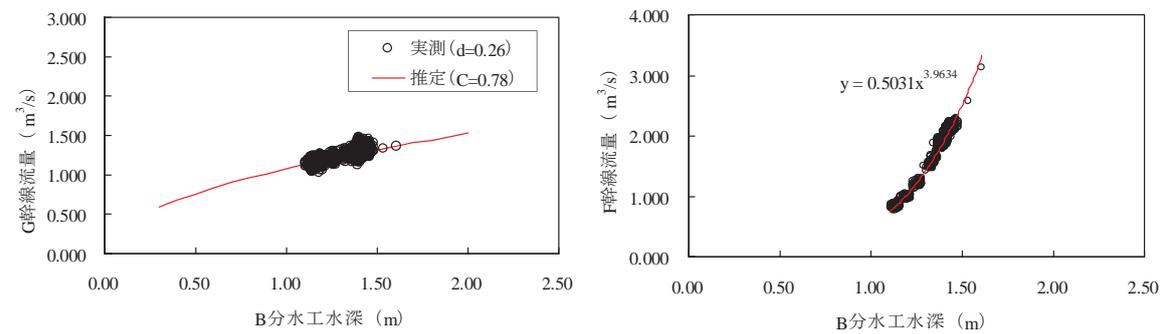
(e) ゲート開度 $d=0.21\text{m}$



(f) ゲート開度 $d=0.22\text{m}$



(g) ゲート開度 $d=0.24\text{m}$



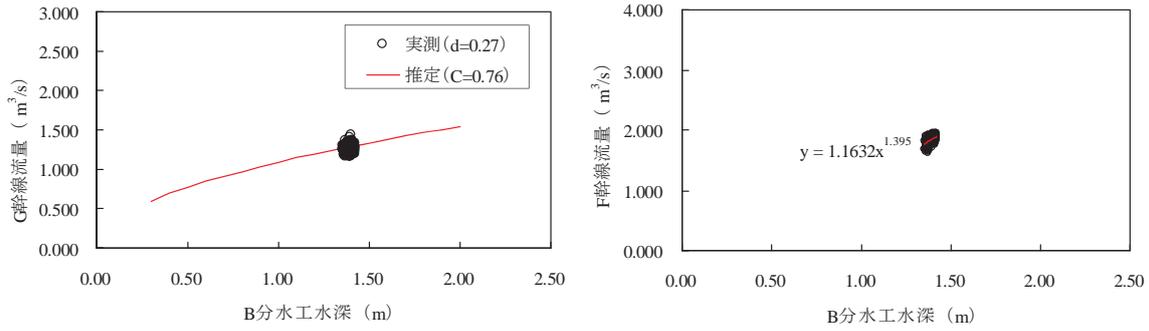
(h) ゲート開度 $d=0.26\text{m}$

付録 B 分水工水深と分水流量の関係 (2/4)

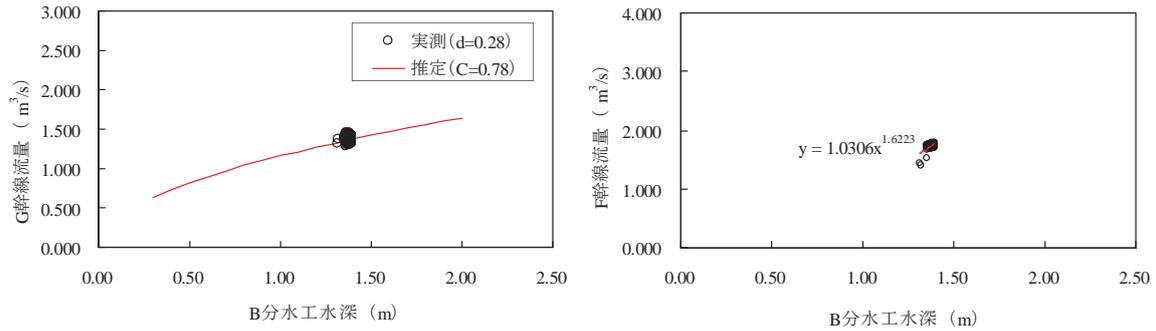
(e) ゲート開度 $d=0.21\text{m}$, (f) ゲート開度 $d=0.22\text{m}$, (g) ゲート開度 $d=0.24\text{m}$, (h) ゲート開度 $d=0.26\text{m}$

Relationship between water depth of division work B and division discharge (2/4)

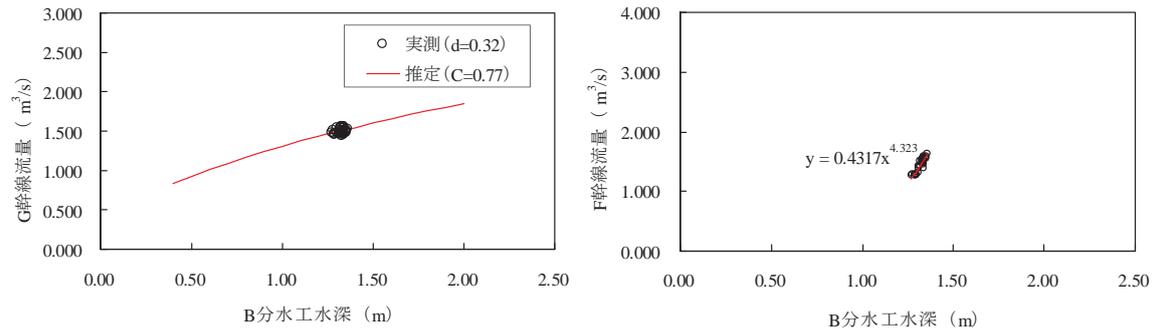
(e) Gate opening of $d=0.21\text{m}$, (f) Gate opening of $d=0.22\text{m}$, (g) Gate opening of $d=0.24\text{m}$, (h) Gate opening of $d=0.26\text{m}$



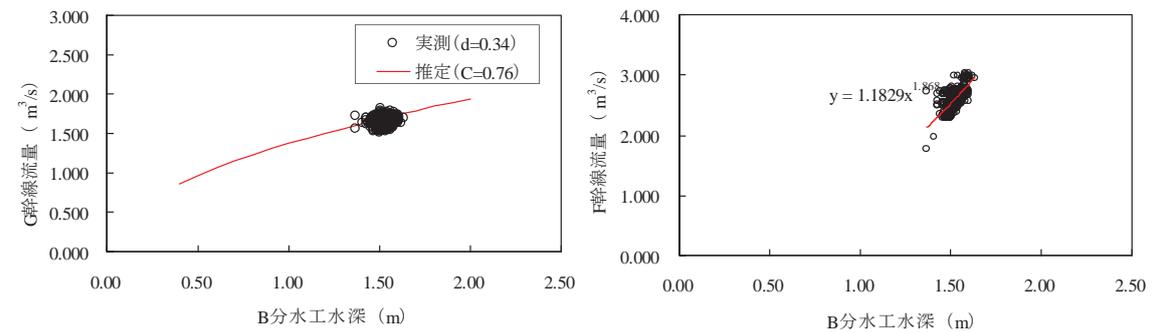
(i) ゲート開度 $d=0.27\text{m}$



(j) ゲート開度 $d=0.28\text{m}$



(k) ゲート開度 $d=0.32\text{m}$



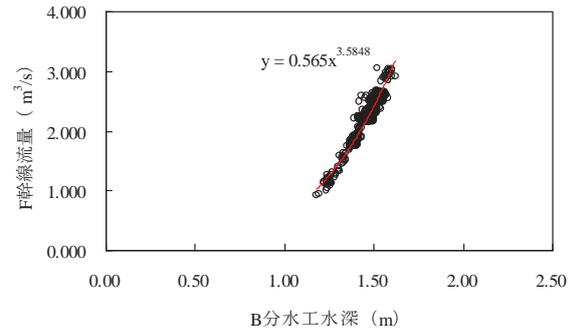
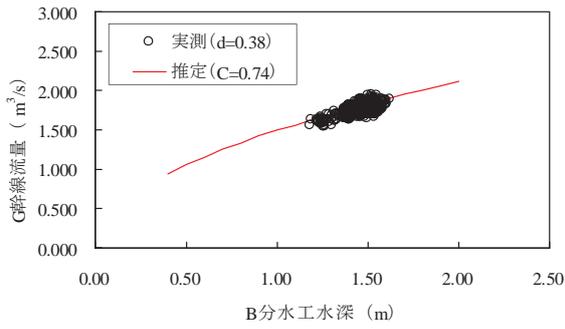
(l) ゲート開度 $d=0.34\text{m}$

付録 B 分水工水深と分水流量の関係 (3/4)

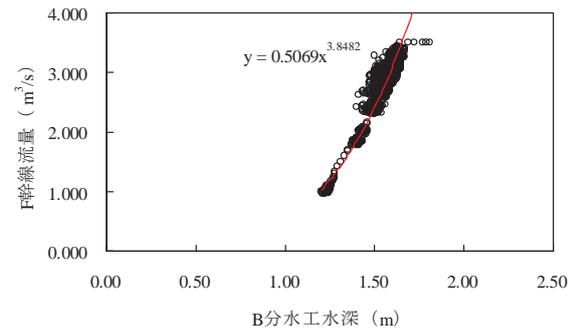
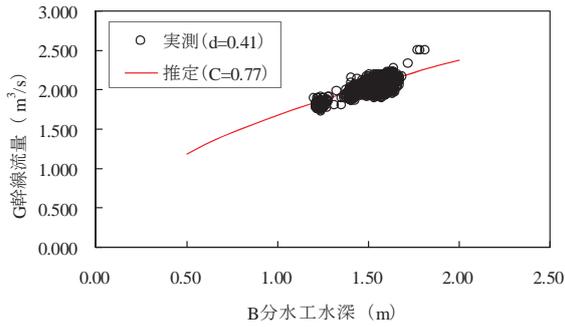
(i) ゲート開度 $d=0.27\text{m}$, (j) ゲート開度 $d=0.28\text{m}$, (k) ゲート開度 $d=0.32\text{m}$, (l) ゲート開度 $d=0.34\text{m}$

Relationship between water depth of division work B and division discharge (3/4)

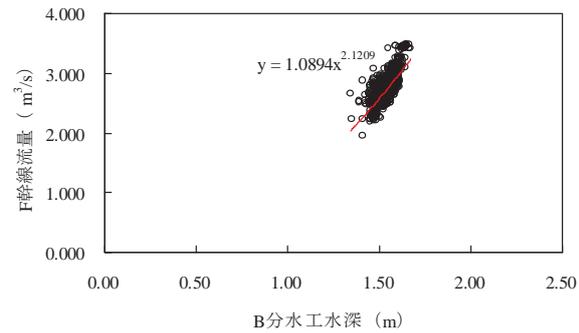
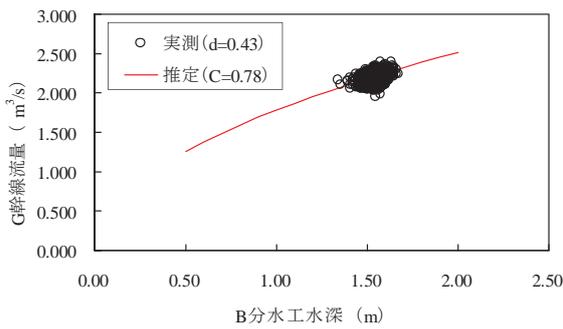
(i) Gate opening of $d=0.27\text{m}$, (j) Gate opening of $d=0.28\text{m}$, (k) Gate opening of $d=0.32\text{m}$, (l) Gate opening of $d=0.34\text{m}$



(m) ゲート開度 $d=0.38\text{m}$



(n) ゲート開度 $d=0.41\text{m}$



(o) ゲート開度 $d=0.43\text{m}$

付録 B 分水工水深と分水流量の関係 (4/4)

(m) ゲート開度 $d=0.38\text{m}$, (n) ゲート開度 $d=0.41\text{m}$, (o) ゲート開度 $d=0.43\text{m}$

Relationship between water depth of division work B and division discharge (4/4)

(m) Gate opening of $d=0.38\text{m}$, (n) Gate opening of $d=0.41\text{m}$, (o) Gate opening of $d=0.43\text{m}$

Diagnosis of Hydraulic Function in Irrigation Control Facilities during Drainage Management Periods

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

Sanyu Consultants Inc*

Hydraulic Engineering Division, Canal Systems**

Summary

In this study, the diagnosis of hydraulic functions was performed in irrigation control facilities during drainage management periods. Target irrigation control facilities are some division works in main canal which has been managed by the government. Obtained results are as follows. 1) On the point diagnosis, drainage management patterns are classifiable into three by arranging histories of drainage management in division work B. At the time of the local severe rain classified into the pattern 3, administrators' operations in drainage management are delayed and overflow behaviors may arise in division work B downstream frequently. 2) On the point diagnosis, the division mechanism of division work B was cleared. Discharge of a weir reacts to division water level change sensitively rather than an orifice. The relation between gate opening of canal G and coefficient of discharge can be denoted by a primary approximate expression. 3) On the line diagnosis, the overflow behavior in division work B downstream at the time of the rain of 2012/8/14 was verified.

Key words : canal system, division work, diagnosis of functions, hydraulic function, coefficient of discharge