

建設省技術事務所における

技術開発

建設省九州地方建設局九州技術事務所長

たなか としひこ
田中 俊彦

建設省九州地方建設局九州技術事務所機械課長

さかい よしはる
坂井 芳晴

大口径導水管内点検ロボット に関する調査検討業務

No. 121

1. はじめに

建設省佐賀導水路は、筑後川、城原川および嘉瀬川を導水路（管路，開水路）で連絡する流況調節河川（総延長：約23km）であり洪水調節，内水排除，流水の正常な機能と増進（河川維持用水の補給および河川水質浄化）ならびに水道用水の補給を行い河川の流水の状況を改善するものである。

そのため，治水および利水の両面を併せもつ流況調整河川であることから，点検時に管内をドライとすることができず，併せて点検期間も制限を受ける等の作業環境の元での維持管理が必要となっている。さらに，導水管の内径は，1.9～3.0mと大口径であるが，点検用マンホールは， $\phi 0.8$ mと小口径であるうえ，設置も400～500mごとに位置するなど佐賀導水路の設備特性を考慮した点検を行う必要がある。したがって，本調査は，満水状態での導水管内の点検を遠隔操作で行うコンパクトな水中点検ロボットを開発するための調査・検討を行っている。

2. 調査概要

(1) 基礎調査

導水施設の特性および現状を把握するために，導水管径と制水口弁，マンホールの形状および設置間隔を調査し，点検対象となる設備の状況から水中ロボットの形状，製作，搬入条件等を明確にする。図 1 に佐賀導水路縦断模式図を示す。

(2) 点検機械およびセンサー調査

既存の点検ロボットの調査を行い，点検運用実績から，点検距離，適用流速，判別機能，表示事例等，佐賀導水路への適用性の検討を行う。

また，各種のセンサー機能と仕様を比較し，既存ロボットの基本形を絞り込む。

(3) 佐賀導水事業への適用性の検討

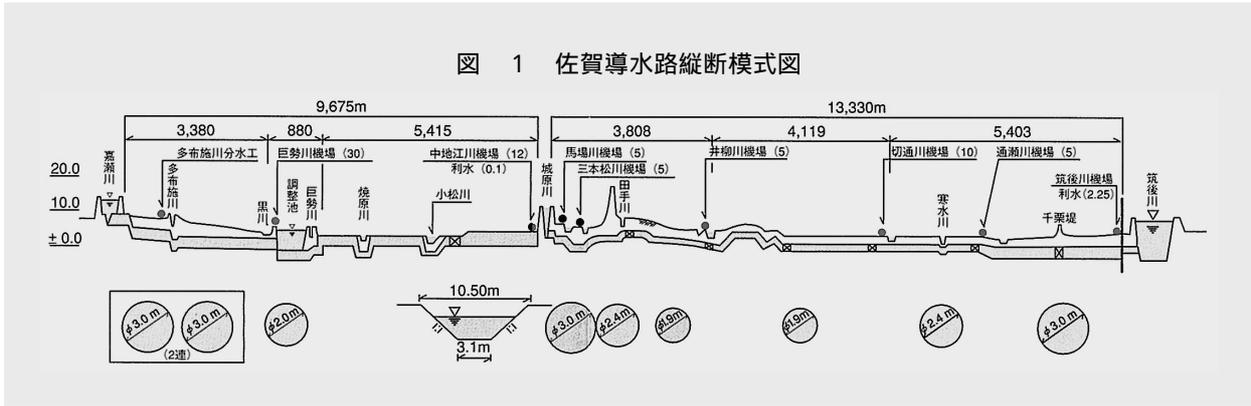
点検にかかる諸問題を整理し，点検条件と作業効率から点検工期を推定し，点検ロボットのアクセス装置も含めた改善案の検討を行う。

(4) 点検ロボットの概略設計

佐賀導水路に必要な点検ロボットの概略設計を行う。設計項目は以下のとおりである。

- ① 推進装置，観察・記録諸装置
- ② 給電・発電装置，データ電送装置

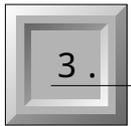
図 1 佐賀導水路縦断模式図



佐賀導水路の管内点検ロボットの実施設計に先立ち、水路の暫定運用区間を利用して、既存の点検ロボットを使った実証試験を行う。

実証試験で得られたデータをもとに、各種センサーの機能について評価を行い、点検ロボットの実施設計に反映させるものである。試験項目は以下のとおりである。

- ① 壁面観察（TV 観察，VTR 撮影）
- ② 土砂堆積厚状況（プロファイラー）
- ③ 亀裂損傷，漏水（電磁流速計および水温計）
- ④ 壁面の凹凸（ソナー）



3. 調査結果

(1) 基礎調査

導水管路各施設の設置間隔を整理し、ロボットによる点検の条件設定の基本となる最大の点検距

離および平面形，縦断勾配に着目して整理を行った。表 1 に管路施設条件，図 2 に水路の特性分析を示す。

- ① 点検口間隔の最大延長は669m。
- ② 点検口間に水路の平面的な曲がりが存在するケースが総延長の52%。
- ③ 点検口の間が存在する平面的な曲がりの数の最大値は5カ所。
- ④ 管路の縦断勾配は5%以内。ただし、一部分15%、10%の区間も存在する。

(2) 点検機械およびセンサー調査

現在開発されている水中点検ロボットの中から、佐賀導水路の点検作業に適用可能な機種を選定する。選定の基本的な条件として、以下の点を考慮した。

- ① 小型で、導水路内での作業に対して十分余裕があること。
- ② φ0.8~1.2mのマンホールから投入可能であること。
- ③ 点検口の最大間隔条件より、ケーブルが700

表 1 管路施設条件（筑後川～城原川）

管 径		φ1.90	φ2.40	φ3.00	備 考
延 長 (m)		6,840 (51%)	3,413 (25%)	3,297 (24%)	総延長 13,550 () 比率
最大流速 (m/s)	治水運用	1.76	2.21	2.12	5.0m³/s ~ 15.0m³/s
	利水運用	0.76	0.50	0.32	最大通水量 2.25m³/s
最大水頭 (m)		15.78 7.88			計画洪水位 EL+11.047 取水 位 EL+ 3.150

図 2 水路の特性分析

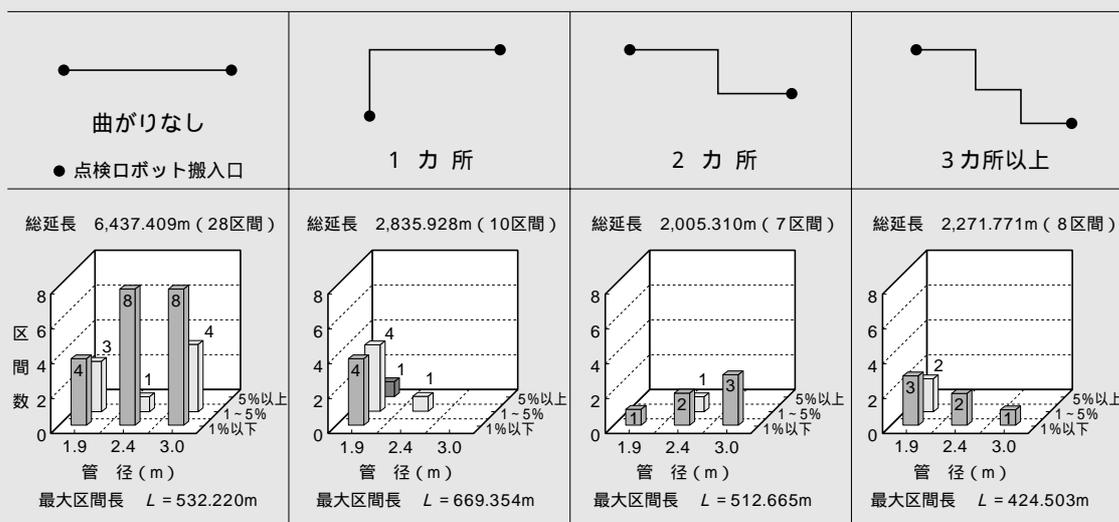


表 2 点検ロボット比較表

No.	①	②	③	④
機種名	RTV-KAM	水路点検用 ROV	HI-ROV・15L	RTV-100MKⅡEX
製造メーカー	M社	H社	H社	M社
最大使用水深	100m	100m	150m	150m
外形寸法(L,B,H)	184×71×54cm	160×81×72cm	91.6×56.3×41cm	94×53×35cm
空中重量	98kg	80kg	37kg	35kg
水中速力	1.5m/s	1.0m/s	1.5m/s	1.5m/s
運動形態	3自由度	3自由度	3自由度	6自由度
水中照明	150W×3灯(前方2,後方1) 150W×6灯(側方用)	150W×4灯	250W×2灯	150W×2灯
水中ケーブル	光・電力複合式	光・電力複合式	電力・同軸複合式	光・電力複合式
ケーブル長さ	800m 1,200m 1,500m	1,000m	200m	150~1,500m
機能	TVカメラ	管壁調査用 1基 前後監視用 3基	前方監視用 広角カラー TV 1基	前方監視用 広角カラー TV 1基
	スチルカメラ		35mm AF	標準装備
	センサー	ソナー, 深度計・方位計, 流速計, 温度計, 濁度センサー, 寸法表示・寸法計測	深度計 方位計	深度計 方位計
価格(千円)	160,000	標準価格なし	13,100	17,800
評価			×	

投資設備を含む

m以上延長可能であること。

- ④ 導水路の変化にあわせて、自航が可能であること。
- ⑤ 水路内の点検用観測機器が充実している、または装備が取付け可能であること。
- ⑥ 機器の信頼性が高いこと（実績があること）

検討の結果、本地点の点検作業に適した機種として4機種（表 2）を選定した。その中から、6自由度の運動形態をもち、軽量コンパクトな④の機種を選定し、佐賀導水路の点検に必要な機能を付加させるための概略設計を行うこととした。表 2 に点検機械比較表を示す。

(3) 佐賀導水事業への適用性の検討

① 問題点の抽出

- 1) 導水路の点検は、水路に動水圧がかかっている場合は機器の投入ができないため、運用時を避けて水位が低い時期に実施する。
- 2) 導水路の特性分析の結果、水路には平面的な

曲がり箇所が多数存在するため、ケーブルを曳航して数箇所の曲がりをクリアできるロボットの推力、ケーブルの耐力が必要となる。

- 3) 導水管は道路に沿って埋設してあるので、仮設は容易であるが、周辺からの動力供給は期待できない。

② 点検計画

佐賀導水路全線（筑後川～城原川、13.5km）の点検を実施する工程について推定した。図 3 に点検作業工程を示す。

- 1) 点検作業は、危険防止のため、制水弁を閉じて実施する。
- 2) 投入地点は、点検区間で比較的標高の高いマンホールを選定して行う。
- 3) 点検作業は、水路内を2往復（4測線）で行う。点検時間を1日5時間とすると、1日に実施可能な点検距離は最大で800mと推定される。
- (4) 点検ロボットの概略設計

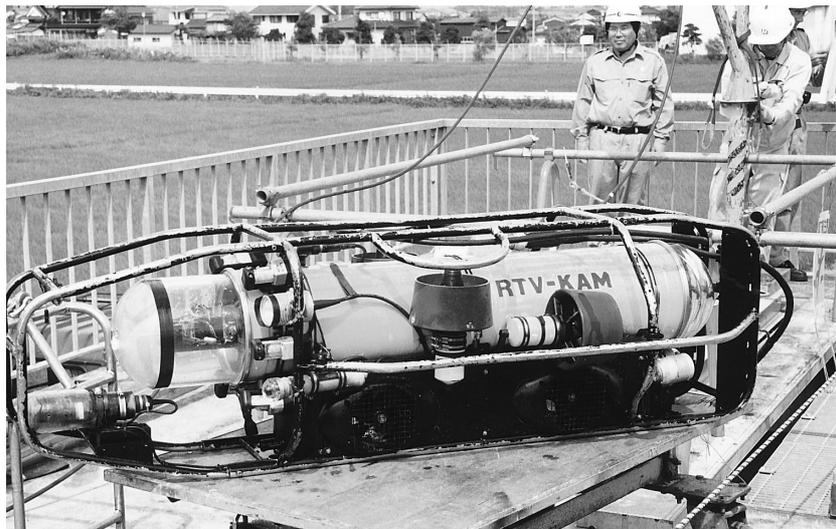
図 3 点検作業工程

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17(時)
機材配置 準備		投入 作業	点 検 作 業				回収 作業	片付け	

表 3 点検ロボットの本体規模および基本性能

項 目	仕 様
耐 水 圧	30m（清水）
ビークル寸法	約1,035（長さ）×600（幅）×665（高さ）mm
ビークル質量	約70kg
浮 力	中性浮力（清水）
速 力	約2.0kt（静水時）
運動制御機能	6自由度 前後進、左右旋回、上下、横移動、ロール運動
計測機能等	<ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 33%;">・水温、流速測定機能 <li style="width: 33%;">・堆積厚測定機能 <li style="width: 33%;">・凹凸検出機能 <li style="width: 33%;">・寸法測定機能 <li style="width: 33%;">・展開図作成機能

写真 点検ロボット



導水路点検ロボットに対する品質要求項目に基づき、概略設計を行った。表 3 に点検ロボットの本体規模および基本性能を示す。

(5) 実験装置による試験

試験に使用した点検ロボットは、(2)の点検機械およびセンサー調査で選定した点検ロボット比較表の④の機種ではなく導水管の点検にどのような機能が必要であるか、試験により明確にするため、④より多くのセンサーを保有している①により試験を行った。写真に試験に使用した点検ロボットを示す。

① 試験手順

水路内上部を0.1～0.2m/secの速度で進み、点検目標地点に達したら、内壁に沿って断面方向に移動し、計測を行う。

その際、前方カメラとVTR、側方カメラとVTRを用いて水路内の撮影と記録を行う。また、流速センサー、水温計によりデータを収集するとともに、断面形状の変化点、土砂の堆積地点ではプロファイラーおよびソナーにより断面の変化を確認する。

② 点検機能の評価方法

撮影した写真・VTRを検証の上、カメラ、VTR、証明機器等の性能を確認する。

電磁流速計、水温計の計測結果や、プロファイラー、ソナーによる水路断面、堆砂厚の計測結果を基にして、センサー類の機能の評価を行う。

水路調査により得られた各種計測データを整理し、点検区間の展開図を作成して調査報告書に取りまとめる。

4. まとめ

本課題では、佐賀導水路の設備特性を考慮し、円滑な点検が行える水中点検ロボットの調査・検討を行い、既存の多機能を保有している点検ロボットにより試験を実施した。今後は、試験結果より佐賀導水路の点検ロボットに必要な機能の不足分の新規開発、能力向上の必要性を明確にして、施設特性に合わせた詳細設計を行う予定である。