

# 小規模樋門樋管の函内及び空洞調査手法の 試験研究について

(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○小宮山 一重  
牧野 正敏  
山崎 貴志

北海道には泥炭性軟弱地盤が広く分布しており、長期にわたり沈下する特性を有している。泥炭性軟弱地盤における河川堤防の樋門・樋管は沈下の影響を受け、函体周辺の空洞化や函体継手部の変形などが生じている。

函内調査は人力で行うが、小規模函体内での作業は苦渋性を伴い、海水が流れ込むような場所では有機物の腐敗などの影響で、酸素欠乏や硫化水素発生の危険性がある。

このため、樋門・樋管の変位計測などにおける新たな調査手法について、検討と現場適合性試験を行ったので報告する。

キーワード：樋門・樋管、調査、計測、トータルステーション

## 1. はじめに

北海道には、極めて軟弱な泥炭性軟弱地盤が広く分布しており、沖積粘土などからなる一般的な軟弱地盤とは大きく性質を異にしている。<sup>1)</sup>

泥炭性軟弱地盤は長期にわたり沈下が発生するため、この地盤上に建設された河川構造物の樋門・樋管では函体周囲に空洞が発生し、水みちとなったり、函体の沈下、函体継手部が変形する原因となっている。

北海道開発局では、杭基礎構造の樋門・樋管に代わり、樋門・樋管が堤体と一体となって地盤沈下に追従する柔構造樋門・樋管を、平成11年から採用している。

現在、北海道開発局が管理している樋門・樋管は1,480箇所<sup>2)</sup>あり、そのうち約800箇所(54.1%)が、高さ・口径0.6~1.5mの小規模な樋門・樋管である(図-1)。

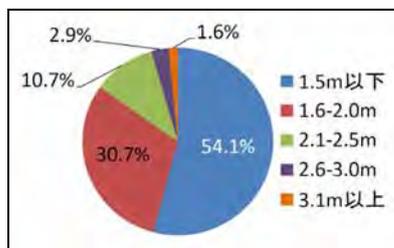


図-1 北海道開発局における樋門函体高さ、樋管口径別割合

## 2. 樋門・樋管の維持管理

Kazushige Komiyama, Masatoshi Makino, Takashi Yamazaki

### (1) 樋門・樋管の函内観察

樋門・樋管の点検は、構造物周辺堤防点検システムフローチャート<sup>3)</sup>(図-2)に基づき外観観察、函内観察、連通試験が行われている。

函内観察は樋門内部から構造物の全体および壁面の個々の部位の変状状況を人力で観察している。

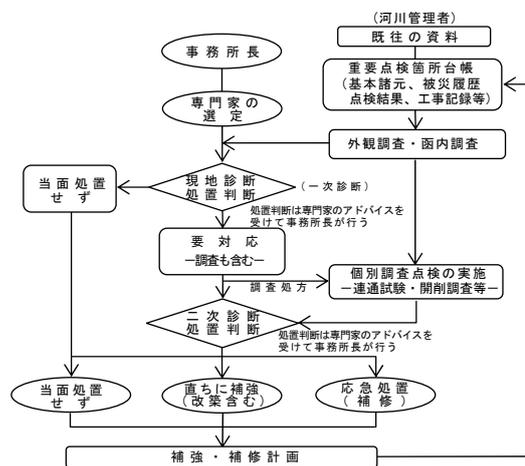


図-2 構造物周辺堤防点検システムフローチャート

### (2) 樋門・樋管周辺の空洞探査

樋門底版下、樋管下の空洞を確認する方法は、連通試験や電磁波レーダー探査がある。

連通試験は、底版および底版周辺を数箇所削孔し、そこに注水管を設置して、水を注入する。注水した水の変動状況から空洞状況、水みちの連続性などを確認する手

法である。なお、削孔前の鉄筋探査や試験後の削孔した底版を復旧する作業も必要であり、連通試験は時間が掛かってしまう。一方、電磁波レーダーは非破壊で探査を行い、空洞が発見されない場合は直ぐに復旧することが可能である。また、電磁波レーダーで空洞を発見した場合は、削孔(口径22mm)を3箇所程度行い、コンベックスなどで空洞を確認する必要があるが、連通試験に比べ早期に現場作業を終了することが可能である。

### (3) 柔構造樋門・樋管の動態観測

柔構造樋門・樋管は、樋門と提体が一体となり地盤沈下に追従する構造で、樋門各部の沈下・変位、周辺地盤の沈下・側方変位、函体の応力の計測などが盛土完了後6ヶ月程度まで人力で行われている。

### (4) 維持管理の効率化

函内観察、空洞探査、柔構造樋門・樋管の動態観測のいずれの作業も、小規模樋門・樋管では腰を屈めながら作業をするため苦渋性を伴い、函内水深が深い場所では函内に立ち入ることが出来ない。

また、海水が流れ込むような場所にある樋門・樋管では、有機物の腐敗などの影響で酸素欠乏症や硫化水素中毒になる恐れがあり、作業には危険が伴う。

このため、小規模樋門・樋管の維持管理を効率化するための函内及び空洞調査手法について検討を行った。

なお、機器等は極力安価な構成になるよう留意した。

## 3. 調査機械の検討

小規模樋門・樋管内の点検における人力作業の軽減と、人が入ることが出来ない状況でも函体内に進入して作業することが可能で、様々な調査機器と組み合わせることが可能な機械について検討を行った。

機械選定条件を、小型であること、防水性を有していること、自走式で無線操作が出来ることとした。

検討の結果、これらの条件を満たしている小型クローラ式自走装置(以下、自走装置)を用いることとし、下記の改造を行った。

- ①計測装置搭載用キャリア取付け(伸縮式)
- ②点検用カメラの移設
- ③走行用カメラの増設
- ④モーターのトルクアップ
- ⑤照明装置の増設

改造後の自走装置の主要諸元を表-1に示す。

表-1 自走装置主要諸元

本体		838mmの状態	
寸法	W350×D452×H588~838mm(伸縮式)		
質量	25.7kg		
積載質量	20.0kg以下		
駆動方式	電気モーター×2個		
走行速度	最高 1.49km/h		
走行用カメラ	カラー 32万画素	588mmの状態	
点検用カメラ	カラー 32万画素 パン(左右)±175度、チルト(上下)0~120度		
照明	LED 6.4W×3灯		
保護等級	IP67(クローラ部)		
操作装置	防水型ノートパソコン コントローラ	防水型ノートPCと コントローラ	
通信方法			
無線LAN	IEEE 802.11g		
有線LAN	防水型LANケーブル100m		

改造後の自走装置は、様々な調査機器と組み合わせることにより、多様な調査に対応した機器として使用することが可能である(図-3)。本研究では、変位計測技術、空洞探査技術に適用可能な機器の検討と開発を行い、現場適合性試験を行った。

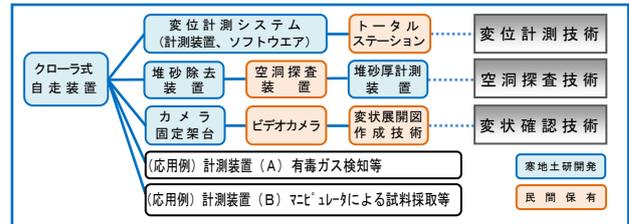


図-3 調査機器ユニット構成図

## 4. 変位計測技術

柔構造樋門・樋管の動態観測のうち、函体の沈下量はレベルとスタッフを用いて沈下測定鉤を計測し、函体継手部の変位については函体双方に取りつけてある継手変位測定鉤の間隔をコンベックスにより計測している。

変位計測技術については、簡素化・効率化の観点から樋門・樋管の呑口または吐口に、測量で一般的に使われているトータルステーション(以下「TS」という。)を設置し、函体内に設置されている各測定鉤の「座標値」を計測する方法について検討した。



写真-1 動態観測実施状況

### (1) TS計測試験

函体内の測定鉤の計測にはTSを用いることから、TS設置時の基準点のとり方やTSの測角精度の性能の違いによる実際の計測値の差を把握するため、平地において50mの樋門を想定したTSの計測試験を行った。

TS設置点の座標を求めるのに、後方交会法における基準点の違いによる計測値の座標差を検証するために、GPSを用いて観測(スタティック法)を行った。図-4にGPS観測位置図を示す。

なお、図-4における、P10～P50はTS設置点から10mおきに設置した樋門の沈下測定鉤に見立てた目標点、T1～T3は後方交会法用基準点である。

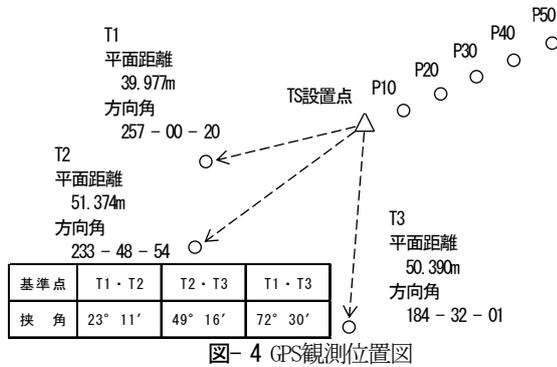


図-4 GPS観測位置図

後方交会法における基準点の点間距離は100m以内、挟角は30°～150°以内<sup>④</sup>とされている。

TS設置点のGPS座標を(0,0)とした時に、後方交会法によりTS設置点座標を求めるための基準点として、T1～T3のうち、どの組み合わせが最も(0,0)に近くなるかを検証した。その結果、(0,0)に最も近いのはT1とT3を基準点に用いた挟角約72°の時であり、挟角は極力広くとることが必要であることを確認した。

また、測量で一般的に使われているTSの測角精度は3秒(3秒器)と5秒(5秒器)のものがあるが、変位計測の検討を進めるにあたり両者でどの程度の違いが生じるかを検証するため、P10～P50をGPSで計測した座標値を真値として、後方交会法で測量した座標値との差を求めた。GPSとの差については3秒器で最大21mm、5秒器で最大19mmであった。また、3秒器と5秒器の差については最大10mmであった。この結果から、計測距離50m程度であれば、どちらのTSを選んでも大差がないことがわかった。

表-2 測角精度の違いによる検証 (GPS測位との差)

計測地点	3秒器			5秒器		
	X	Y	H	X	Y	H
10m地点	-0.001	-0.002	0.008	-0.004	-0.004	0.010
20m地点	0.008	-0.021	-0.001	-0.002	-0.019	0.004
30m地点	0.006	0.004	-0.011	0.005	0.003	-0.011
40m地点	-0.008	-0.019	-0.004	-0.011	-0.018	-0.003
50m地点	0.004	-0.015	-0.006	-0.002	-0.013	-0.008

## (2) 変位計測システムの開発

函体内の測定鉤は、函体の撓みや継ぎ手部の変形により、測定鉤をTSで直接視準することは困難である。このため、TSと自走装置を用いて函体内の沈下測定鉤、継手変位測定鉤を計測する変位計測システムを開発することとした(図-5)。変位計測システムの構成は、自走装置

に搭載する計測部の「変位計測装置」、計測機器を操作するための「変位計測ソフト」、計測したデータを管理する「帳票管理ソフト」とした。

なお、函体内の変位を計測する技術として、他には、3Dレーザースキャナーなどがあるが、高価な機器構成になるため、採用しなかった。

函体内の測定鉤を計測する方法はTSと自走装置間の距離と、自走装置と測定鉤間の距離・方向角から、測定鉤の座標値を算出するものである。

なお、TSと自走装置間の距離・方向角を計測する際、計測箇所が1点では変位計測装置の方向角がわからないため、測定鉤の座標値を算出することが出来ない。

このため、三角測量の原理を応用し、3点を計測して変位計測装置の方向角を求めるシステムとした。

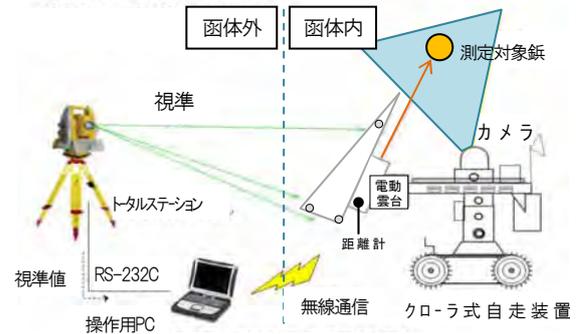


図-5 変位計測システムイメージ図

### a) 変位計測装置

変位計測装置の3点を計測する方法として、三角形の板を用いることとした。また、TSからの視準性を向上させるため、三角形の端部に測量で用いられている反射シールを貼り付けることとした。さらに、計測する3点間の距離は、極力離れた方が計測値の精度向上に繋がるため、函体の断面サイズに応じて三角板のサイズを変更することが出来るようにした。



写真-2 変位計測装置 (三角板)

三角板は、測定鉤までの距離を計測するレーザー距離計と同一の動きをする必要があるため、レーザー距離計に固定する構造とした。なお、三角板とレーザー距離計の水平角、垂直角を制御するため、電動雲台上に搭載する構造とした。変位計測装置の機器構成を写真-3に示す。



写真-3 変位計測装置

b) 変位計測ソフト

変位計測ソフトは、変位計測装置の電動雲台制御と、TSで計測した三角板反射シールの座標値、レーザー距離計から測定対象錐までの距離を取り込み、測定対象錐の座標値を算出するソフトである。

c) 帳票管理ソフト

従来の動態観測で計測した沈下測定錐の変位量と継手変位測定錐の変位量は、別々の帳票で管理されている。

今回作成した帳票管理ソフトは、変位計測システムで計測した座標値を取り込み、沈下測定錐と継手変位測定錐の変位量を座標値で管理するものである。

座標値で管理することにより、函体全体の変位を管理することが出来るものである。

(3) 動作確認試験

変位計測システムの動作確認を行うため、寒地土木研究所構内で試験を行った。試験は断面形状1.2m×1.2m、延長50mの樋門を想定して、0mから50m地点まで10m間隔で測定錐に見立てた反射シールを図-6のように各3箇所ずつ設置し試験を行った(写真-4)。

右側の写真は、レーザー距離計で反射シールを測距している状況である。

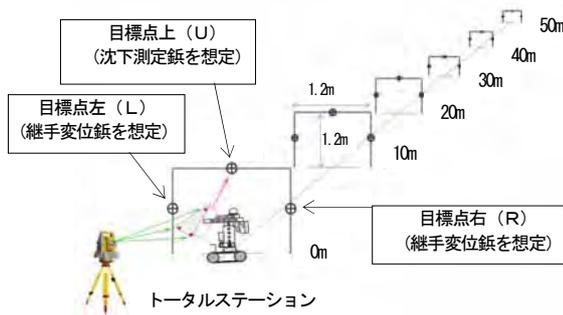


図-6 動作確認試験イメージ図

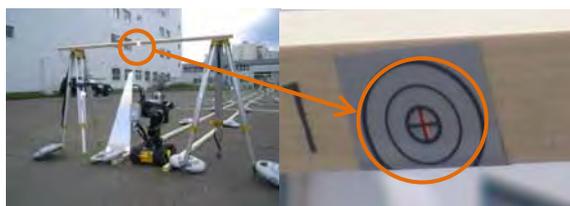


写真-4 反射シール計測状況

動作確認試験では、変位計測システムの計測誤差を確認するため、TSで反射シールを直接視準する計測も行った。測定点別の誤差を表-3に、距離と誤差の関係を図-7に示す。

表-3 変位計測システム計測精度(TS計測との差)

点名	(単位: mm)																	
	0L	0U	0R	10L	10U	10R	20L	20U	20R	30L	30U	30R	40L	40U	40R	50L	50U	50R
X	3.0	2.0	12.0	11.0	4.0	1.0	8.0	4.0	11.0	5.0	2.0	6.0	9.0	3.0	12.0	14.0	2.0	7.0
Y	4.0	1.0	5.0	1.0	4.0	1.0	2.0	0.0	1.0	6.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	3.0
Z	2.0	4.0	2.0	3.0	5.0	2.0	2.0	5.0	0.0	1.0	5.0	1.0	0.0	2.0	1.0	1.0	4.0	2.0
平均	3.9			3.6			3.7			3.3			3.7			3.9		

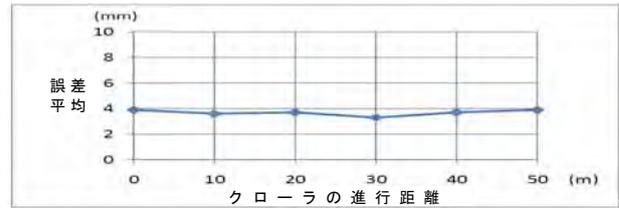


図-7 対象物までの距離と誤差の関係

比較の結果、誤差は最大14mmだったが、全体平均では3.7mmとなった。また、距離と誤差の関数に相関は見られなかった。

誤差の要因として、下記のことが考えられる。

- ①計測システムの誤差
  - ②TSで反射シールを視準する時の照準誤差
  - ③レーザー距離計で対象物中心を計測する時の誤差
- 誤差の改善策として、①、②については三角板に張り付けている反射シールを、測量作業で使われているプリズムに変更することで、TSの自動視準機能が使えるようになるため、精度が向上するものと思われる。

③については、雲台のパン角、チルト角の分解能に依存されるため、自走装置自体の位置を修正しながら測定錐の中心にレーザー光を合わせるようにすれば、誤差を少なくすることが可能と考える。

(4) 実樋門・樋管での性能確認試験

変位計測システムの性能を確認するため、北海道開発局札幌開発建設部で管理している樋門・樋管の4箇所(表-4)で性能確認試験を行った。

性能確認試験では、変位計測システムを用いた計測、TSで測定錐を直接視準する計測、動態観測要領に基づいた従来の計測を行い、計測誤差等の比較を行った。

表-4 性能確認試験を行った樋門・樋管

事務所名	樋門名	断面形状
札幌河川事務所	小沼川樋門	φ1.6m×24.5m~1連
岩見沢河川事務所	昭栄樋門	1.5m×1.5m×92.0m~1連
千歳河川事務所	志文別樋門	3.0m×3.0m×47.0m~2連
	南8号樋門	1.5m×1.5m×62.5m~1連

実樋門・樋管での作業手順は表-5のとおりである。

変位計測の事前作業として、GPSで後方交会用基準点かTS設置点の座標を測量する必要がある。

表-5 変位計測作業手順

1	GPS 測量		3	キャリブ レーション	
2	TS設置		4	測定錐計測	

実樋門・樋管での計測状況から、下記の問題点が判明した。

#### ①高い位置に設置されている測定鈎の計測

翼壁など函体の外の高い位置に設置されている測定鈎（写真-5）は、レーザー距離計との距離が遠くなることと、測定鈎の中心に照準を合わせることが困難となり計測誤差が大きくなる可能性がある。

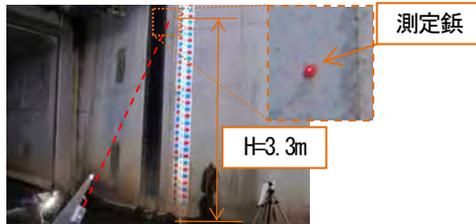


写真-5 高い場所にある測定鈎

#### ②測定鈎の違い

実樋門に設置されている測定鈎は大きさ、形状が異なっていた（写真-6）。また、中心の凹凸の影響で、レーザー距離計のレーザー光が乱反射し、計測出来ない場合があった。



写真-6 実樋門・樋管に使われていた測定鈎

#### ③函体内の段差

自走装置が走行するためには、函体内は平坦であることが望ましいが、実樋門では継手ゴムが変形して段差が生じている場合があり、段差を乗り越える際、人力で走行を補助した場合があった。

①に対する対策方法は現在のところ無いが、②に対しては、測定鈎の表面に凹凸の無い物を用いることと、鈎の規格を統一することにより、計測精度を向上させることが可能と考える。また、③に対しては、現在の自走装置よりも走破性の高い機種を選定することにより、対応が可能と考える。

なお、変位計測システムを用いた計測、TSで測定鈎を直接視準する計測、動態観測要領に基づいた従来計測との比較は、現在解析中である。

### (5) まとめ

計測値の比較は現在解析中であるが、自走装置と変位計測システムを用いた、柔構造樋門・樋管における動態観測作業は、人力に比べ計測時間が長くなってしまいう結果となった。しかし、座標値として計測することにより、函体の全体的な変位を捕らえることが可能である。

## 5. 空洞探査技術

空洞探査技術では、樋門底版下の空洞を対象とした探査技術について検証を行った。

底版下の空洞を確認する技術として、連通試験、電磁波レーダー探査、表面波探査、電気探査などがあるが、本研究では、水中部でも非破壊で空洞を探査することが出来る電磁波レーダーを用いた探査技術について、検証を行った。

### (1) 電磁波レーダーの選定

電磁波レーダーで樋門底版下の空洞を探査するには、下記の条件を満たしている必要がある。

- ①コンクリート（厚さ50cm）を介した探査が可能であること。
- ②鉄筋コンクリート（配筋間隔125mm）を介した探査が可能であること。
- ③防水性能を有していること。
- ④樋門、樋管管内作業に対応出来ること。

この条件から適用技術の検討を行った結果、電磁波のパルス幅などを調整することにより、適用条件に対応可能な電磁波レーダー技術を用いることとした。

電磁波レーダーは、発信した電磁波が電氣的性質の異なる物質の境界面で反射されてくる反射波を計測することにより距離、物質を推定するものである。

電磁波は、水や含水比の高い土に弱く、電磁波エネルギーが減衰してしまい、解析データの質が低下してしまう。また、探査表面に凹凸があると電磁波発射部の接地が不十分となり、電磁波エネルギーが探査対象まで伝達されなくなり、確実な解析が出来なくなる。

このことから、電磁波発射部と底版の間の堆砂は極力、除去する必要がある。

### (2) 空洞探査機器構成

本研究の空洞探査に用いる機器の構成は、堆砂除去装置、自走装置、電磁波レーダー、堆砂厚計測装置、自走装置の走行を補助するアシストウインチとした。機器構成を写真-7に示す。



写真-7 空洞探査装置機器構成

### (3) 模擬空洞探査試験

平成21年度に、空洞探査性能を確認するため、寒地土木研究所の角山実験場において、樋門底版に見立てた鉄筋コンクリートの実験用ブロック（100×200×50cm、配筋間隔125mmと250mm）、空洞モデルに見立てた発泡スチ

ロール(20×20×10cm、20×20×20cm、60×60×10cm、60×60×20cm)、堆砂用の砂及びシルト土を用いて、性能試験を実施した。

また、空洞探査性能向上の可能性を検討するため、防水型の樋門用空洞探査装置よりも装置下盤厚が薄く、周波数が異なる非防水型の陸上用空洞探査装置を用いて試験を実施した。写真-8に試験状況を、表-6に性能試験結果を示す。



写真-8 模擬空洞探査試験状況 (左: 樋門用、右: 陸上用)

表-6 空洞探査装置性能試験結果

装置種別	堆砂材料 (含水比)	配筋間隔 空洞*1	125mm				250mm				
			空洞長20cm		空洞長60cm		空洞長20cm		空洞長60cm		
			空洞厚	空洞厚	空洞厚	空洞厚	空洞厚	空洞厚	空洞厚	空洞厚	
樋門用	砂 (19.7%)	堆砂厚	10cm	20cm	10cm	20cm	10cm	20cm	10cm	20cm	
		0cm	×	×	○	○	×	○	○	○	
		1cm	×	×	×	○	○	×	×	○	
		2cm	×	×	×	×	×	○	○	○	
		3cm	×	×	×	×	×	×	×	○	
		4cm	×	×	×	×	×	×	×	×	
		5cm	×	×	×	×	×	×	×	×	
	6cm	×	×	×	×	×	×	×	×		
	7cm	×	×	×	×	×	×	×	×		
	シルト (31.3%)	1cm	×	×	×	×	×	×	×	×	
		2cm	×	×	×	×	×	×	×	×	
		3cm	×	×	×	×	×	×	×	×	
	陸上用	砂 (19.7%)	0cm	×	×	○	○	×	○	○	○
			1cm	×	×	○	○	×	○	○	○
2cm			×	×	○	○	×	○	○	○	
3cm			×	×	○	○	×	×	○	○	
4cm			×	×	○	○	×	×	○	○	
5cm			×	×	○	○	×	×	○	○	
6cm			×	×	×	×	×	×	○	○	
7cm		×	×	×	×	×	×	×	×		
シルト (31.3%)		1cm	×	×	×	×	×	×	×	×	
		2cm	×	×	×	×	×	×	×	×	
		3cm	×	×	×	×	×	×	×	×	

○: 検出可能、×: 検出不可

砂の場合、配筋間隔250mm、空洞長60cmにおいて樋門用で堆砂厚3cm、陸上用で堆砂厚6cmまで検出出来たが、シルトの場合は堆砂厚1cmでも検出することが出来なかった。試験時の堆砂の含水比は砂が19.7%、シルトが31.3%であり、電磁波が水分により反射して弱くなったことが原因と推定される。

陸上用の空洞探査装置を用いることにより、含水比が20%程度までであれば堆砂厚6cm程度まで探査出来る可能性があるが、含水比が20%程度以上の場合は探査が困難になるため、極力堆砂を除去する必要があることを確認した。

#### (4) 堆砂厚計測試験

電磁波レーダーを自走装置で牽引する空洞探査の場合、探査時の堆砂厚についても把握する必要があるため、堆砂厚計測装置を製作し、上記模擬空洞探査試験時に、砂及びシルトにおいて堆砂厚を変えて試験を実施した結果、

平均で3.8mmの計測誤差であることを確認した。

#### (5) 平成22年度の実施内容

角山実験場において、模擬空洞サイズ、堆砂厚、堆砂の含水比を変えた模擬空洞探査試験、堆砂厚計測試験を実施した。また、3箇所の実樋門で自走装置を用いた空洞探査試験、人力による空洞探査試験を実施した。

探査結果の詳細は現在解析中であるが、下記のことが判明した。

##### ① 函体内に堆砂が有る場合

堆砂が有る場合は、自走装置に堆砂除去装置を装備して走行するが、アシストウインチによる補助が必須であった。

##### ② 函体内の底版に突起物が有る場合

底版に継手部の段差や連通試験後のキャップなどの突起物がある箇所は、人が函体内に入って自走装置を持ち上げるなどの補助が必須であった。

#### (6) まとめ

電磁波レーダーを自走装置で牽引する空洞探査技術は、連通試験に比べ、非破壊で空洞を探査することが出来るため、空洞探査後早期に函体内を開放することが可能である。また、自走装置で牽引するため、小規模な樋門・樋管でも人が入ることなく探査が可能である。しかし、底版の状況によっては、人力の補助が必須となり、全ての樋門に対して対応可能ではない事がわかった。

なお、探査結果の詳細は現在解析中であるが、函体内に堆砂がある場合は、堆砂除去後に空洞探査を実施することで、より精度の高い探査を行うことが出来るものとする。

#### 6. おわりに

本研究では、自走装置と各種調査機器を組み合わせた変位計測技術、空洞探査技術について検証を行った。

詳細は解析中であるが、解析結果をもとに河川管理者に提案し、活用されることにより、河川構造物の維持管理効率化の一助となれば幸いである。

謝辞: 本研究に対し、ご協力していただきました札幌開発建設部の関係各位に心から感謝を表します。

#### 参考文献

- (独)北海道開発土木研究所: 泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル、2002年3月
- 北海道開発局ホームページ
- 国土交通省: 樋門等構造物周辺堤防点検要領、p.2、2001年5月
- 国土交通省: 施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来型管理要領(案) p.32、2008年3月