

# 水中カメラロボットによる長距離水路トンネル内面概略健全度調査

復建調査設計株式会社・岡三リビック株式会社・株式会社ゲット3社共同特許出願中



(社)建設コンサルタンツ協会  
復建調査設計株式会社  
今井田敏宏

## 1. はじめに

水路トンネルは、国民の生活や産業を支える重要な基盤施設の一つであるものの、その存在は、一般にあまり知られていないのが現状である。水路トンネルは、上水・工業用水、農業用水、発電用水等の、導・送・配水を目的として、高度経済成長期と重なる昭和30年代から40年代にかけて築造されたものが多い。そのため、施設の老朽化が徐々に進行しており、段階的に施設の補修・改築・更新が実施されている。一方で、代替の送水ルートが無く断水が許容されないといった社会的制約のほか、水路トンネルの構造的（小断面・長距離）制約など、施設状態の点検調査が困難な施設も多く、施設維持管理上の課題となっている。平成18年8月に発生した広島県の送水トンネル崩落事故を契機に、これら施設の定期点検の重要性が改めて確認され、合理的かつ効率的な点検調査法の確立が望まれている。

水路トンネルの点検調査は、トンネル内を断水して、調査員や調査機材をトンネル内に入れ、目視調査や覆工背面調査などの各種調査を実施するのが基本である。しかし、断水しての点検調査を実施するまでには様々な課題を解決する必要がある。

そこで、水路トンネルを断水して詳細な点検調査を実施する前段階として、長距離の水路トンネルでも、通水した状態のままで、比較的簡単に概略調査が実施可能な機材を開発したので、その概要を発表する。

## 2. 水路トンネルの点検調査

### 2.1 点検調査の概要

図-1に、水路トンネルの維持管理フローを示す。

水路トンネルは、用水のユーザーが水道管理者や工場である場合が多い。水路トンネルを、断水状態として点検するためには、ユーザーの理解を得ることはもとより、

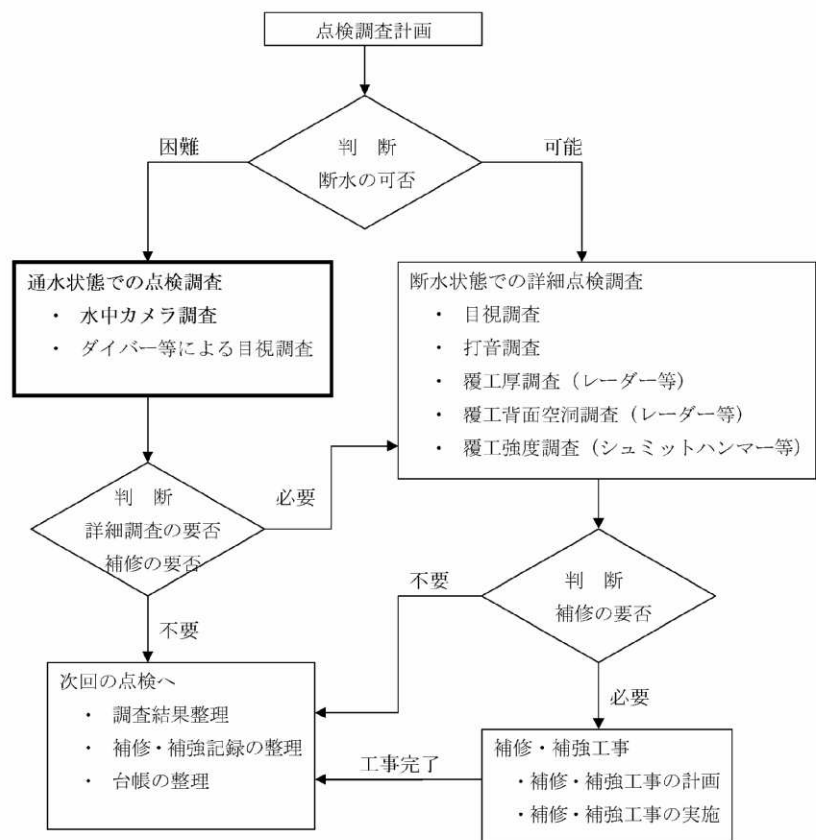


図-1 水路トンネルの維持管理フロー

様々な調整を必要とするため、非常に困難となる場合が多い。そのため、通水状態で実施可能な点検調査法により、トンネル内部の劣化・損傷の状況を点検調査し、その結果に基づいて断水状態としての詳細点検調査を計画・実施することが多い。


通水状態での点検調査法には、ダイバーによる目視もしくはテレビカメラを使用した調査法などがある。これらは、主に、トンネル覆工の劣化・損傷・変状の状態を把握することを目的とした調査となるが、著しい損傷や変状が見られた場合、覆工背面の地山の変状等、トンネルが不安定な状態にあることも推測することができる。

一方、断水状態での点検調査法には、トンネル覆工内面の目視調査や打音調査はもとより、覆工背面の空洞の有無や背面地山の状況調査等、トンネル覆工劣化・トンネル安定にかかる各種調査がある。ただし、断水が可能な時間に制約が有ることも多く、出来る限り短い時間で調査を完了する必要がある。

## 2. 2 通水状態のトンネルの点検調査技術

前述のように、通水状態において水路トンネルの点検を可能にする技術には、水中カメラによる方法とダイバーによる方法の2種類がある。ダイバーによる方法は、水路トンネルの断面の大きさや流速等、制約条件が多く、大きな危険を伴うため、調査範囲は限定される。このため、通水状態での点検調査は、一般に水中カメラによることが多い。水中カメラは、水中カメラへの電力の供給や映像情報の伝達等のためのケーブルが必要で、その長さによって調査可能範囲に制約を受ける。代表的な調査機材を、表-1に示す。

表-1 水中カメラ適用一覧表

機材名	機材写真	調査概要	特徴	主な仕様, 能率等	適用範囲
水中調査ロボット (DELTA-150)		上流側から下流に向かってケーブルで曳航しながらDELTA-150を流し、テレビカメラで撮影、記録する。	水中部(水路底面, 水路側壁)の撮影が可能 水中の上下水平方向への移動が可能	W:0.6m,L:0.9m H:0.6m	適用トンネル断面: 幅1.0m以上 高さ1.0m以上 焦点距離: 25cm 流速 2m以下 水圧 15MPa以下 調査延長 250m以下 直線部のみ
水中調査ロボット (ビーバーシステム)		上流側から下流に向かってケーブルで曳航しながらロボットを流し、テレビカメラで撮影、記録する。	気中部(水路天井, 側壁)の撮影が可能	W:0.5m,L:0.7m H:0.5m	適用トンネル断面: 幅1.0m以上 高さ0.5m以上(水面上) 焦点距離: 25cm 流速 1m以下 調査延長 1000m以下 直線部のみ
水中調査ロボット (RTV-KAM)		上流側から下流に向かってケーブルで曳航しながらロボットを流し、テレビカメラで撮影、記録する。	水中部(水路底面, 水路側壁)の撮影が可能 水中の上下水平方向への移動が可能	W:0.7m,L:1.85m H:0.55m	適用トンネル断面: 幅直径1.0m以上 焦点距離: 流速 2.5m/s以下 調査延長 1500m以下

## 3. 水中カメラ開発の概要

### 3. 1 開発目標

開発目標は、以下のとおりである。

- ① 通水状態にある比較的長距離 (2.0km 以上) の水路トンネルを対象とする。
- ② トンネル内面の状況を、ビデオカメラで安定した連続映像を撮影できる。
- ③ 水中カメラは小型軽量であり、かつ人力にて現場での



写真-1 水中カメラのイメージ

取り扱いが可能である。

④ 安価な調査が可能である。

⑤ トンネル内面を撮影した映像から、トンネル覆工の状態（クラック・浸入水他）を概略診断できる。

### 3. 2 水中カメラの概要

開発した水中カメラの概要・特徴を表-2に示す。

表-2 水中カメラの概要

項目	概要・特徴
調査範囲	水面より上（気中）の、トンネル天井と側壁を主な撮影対象とする。 水中の映像は、水の濁度による影響を受け、鮮明さに欠ける場合もある。
対象とするトンネル諸元	内空断面寸法 幅 1.0m~3.0m, 高 1.0m~3.0m 程度 トンネル延長 概ね 7.0km 程度 (流速 1.0m/s 程度の場合;流速により増減あり)
水中カメラ主要諸元	形状 円筒形 容器材質 SUS304 主要寸法 外径 50cm 長さ 70cm 機材重量 28kg 主要装備 カメラ 4台 (水面上 2台、水中 2台)、バッテリー 照明 (白色 LED)、データ記録装置、他 復建調査設計(株)・岡三リビック(株)・(株)ゲット 3社共同特許出願中

### 3. 3 調査法の概要

調査は、水中カメラを水路トンネル上流側の坑口から投入し、トンネル内を自然流下させて内部映像を撮影した後、トンネル下流側坑口に設置したカメラ捕捉ネットにより捕捉回収する。(図-1)

#### 3. 3. 1 水中カメラの投入

水路トンネルの上流側坑口から水中カメラを投入(写真-2)する。水中カメラの投入は、水中カメラをロープ等で吊り下げ、水面に浮かせる。その状態でトンネル坑口中心位置まで誘導し、水中カメラが流れの中心付近にあることを確認したのち、ロープからリリースする。

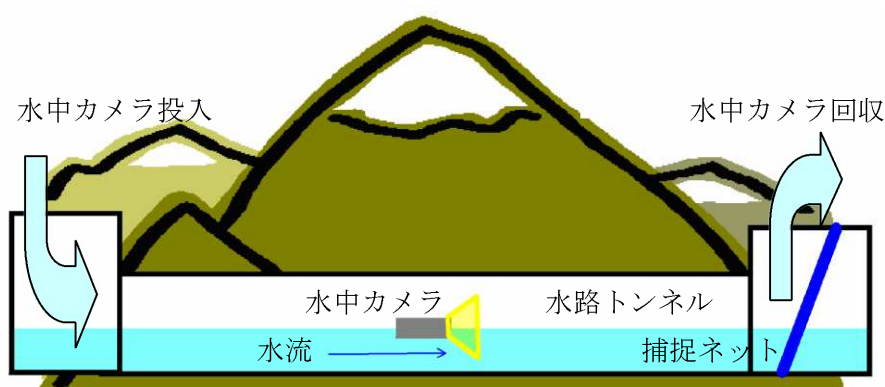


図-1 調査概要図

#### 3. 3. 2 水中カメラ流下・トンネル内面映像撮影

水中カメラは、水路トンネル内の水の流れに乗って流下しながら、トンネル覆工内面（気中部・水中部）の状態を、ビデオカメラによる連続映像（写真-3）として撮影する。撮影する映像は、下流向きの映像で、気中部が左右2画面、水中部も左右2画面としている。カメラ・照明・データ記録装置への電力供給は、水中カメラ容器内に格納したバッテリーから行なう。撮影した映像は、水中カメラ容器内に格納したデータ記録装置に記憶させる。トンネルの曲線箇所においても、水中カメラの姿勢が安定し、良好な映像を撮影できるよう、水中カメラ容器の形状・構造を決定している。

### 3. 3. 3 水中カメラ回収

トンネル下流側の坑口部分に、水中カメラ捕捉用のネットを設置（写真－4）し、流下してくる水中カメラを捕捉・回収する。そして、回収した水中カメラから撮影した映像データを取り出す。

## 4. 適用事例の紹介

開発した水中カメラを使用して、通水した状態の水路トンネル内部を試験的に撮影し、水中カメラの性能について検証した。

### 4. 1 調査対象トンネルの概要

- ・トンネル断面 幅 2.00m 高 2.05m
- ・トンネル延長 約 230m
- ・水 深 約 1.35m  
(水面から天井までの距離 約 0.70m)
- ・流 速 約 1.05m/s  
(トンネル通過所要時間 3分40秒)
- ・用 水 濁 度 約 3.5 度

### 4. 2 調査の概要

水中カメラは、ロープで吊り下げた状態でトンネル坑口に誘導し、水面下に浮かせた状態でロープからリリースした。（写真－2）水中カメラは、水流によってトンネル内部の映像（写真－3）を撮影しながら流下する。撮影した映像は、水中カメラ容器に格納したデータ記録装置に記録される。水路トンネル下流側坑口部で、水中カメラ捕捉用ネット（写真－4）を設置し、流下してきた水中カメラを捕捉・回収した。試験撮影は合計3回おこない、良好な試験結果を得ることが出来た。

### 4. 3 調査結果

撮影した映像から、トンネル覆工内面の劣化損傷の状況を確認した。トンネル覆工の劣化損傷状態は、クラック・浸入水等を、一覧表の形式でまとめるとともに、トンネル内の位置情報とリンクさせ、画像写真（写真－5）の状態でご報告する。映像による劣化損傷の状況から、トンネル覆工の健全度診断もあわせて実施することができる。

また、GISソフトを使用することで、トンネル内部の映像を、トンネル内の水中カメラ位置と同期させて閲覧できるので、見たい箇所の映像をすぐに関連することが可能である。



写真－2 水中カメラ投入



写真－3 撮影した映像  
(上段：気中 下段：水中)



写真－4 下流側捕捉ネット



写真－5 報告書の劣化損傷を示す写真  
(左下：平面位置 右：気中拡大映像)



#### 4. おわりに

水路トンネルの点検・調査を難しくしている要因として、下記のものがある。

- ① 断水が出来ない。もしくは、断水が出来ても短時間しかできない。
- ② 断水しての調査を実施するまでに、多くの協議調整を要する。
- ③ トンネル断面が小さく適当な調査機材がない。
- ④ トンネル延長が比較的長い。
- ⑤ トンネルの坑口が、大型機械や機材を搬入しにくい場所にあることが多い。
- ⑥ トンネル内に照明や電力供給施設がない。
- ⑦ トンネル内換気施設がない。

これに対し、開発した水中カメラを使用することで、下記の大きなメリットがある。

- ① 水路トンネルを断水することなく調査が可能。
- ② 2.0kmを超える長距離の水路トンネルでも全線調査が可能。
- ③ 平面的な曲線のある水路トンネルも調査が可能。
- ④ 小型・軽量のため、調査場所の制約が少ない。
- ⑤ 安全かつ容易（素早く）に点検調査が実施できる。
- ⑥ 調査費が比較的安価である。
- ⑦ 水路トンネル内の著しい劣化・損傷・変状箇所を、早期に発見し、早期の対応が可能となる。
- ⑧ 水路トンネルを断水して実施する詳細調査の計画立案が容易（安心）になる。
- ⑨ 大きな地震の後など、臨時点検にも活用が可能。



写真－6 水中カメラが流下するイメージ

今後、撮影する画像の範囲や鮮明度の向上、画像の見やすさなどを改善して、水中カメラの性能向上、適用範囲の拡大を目指して技術開発を継続したい。