

水中ロボットによる水路トンネル点検調査技術の改良と適用性

復建調査設計株式会社	正会員	○今井田 敏宏
復建調査設計株式会社	フェロー	吉浪 康行
復建調査設計株式会社		松石 成生
株式会社ジオデザイン		菊池 信夫
株式会社ゲット		遠藤 茂

1. はじめに

水路トンネルは、確実かつ安定的な水輸送・供給を使命とする重要なライフラインである。そのため、水路トンネルの断水点検調査は実施困難な事が多く、特に長距離の水路トンネルにおいて定期的な全線調査が実施出来ていない場合が多い。平成18年8月に発生した送水トンネル崩落事故¹⁾を契機として、長距離水路トンネルの定期点検の重要性が再認識され、合理的かつ効率的な点検調査法の確立が望まれている。

筆者らは、通水状態にある長距離水路トンネル覆工内面の全線点検調査が可能となる水中ロボットを平成18年度に共同開発し、平成19年度から実際の点検調査業務に適用した。その結果、水路トンネル断面の大きさや、壁面の湿潤状態により撮影する画像の鮮明度が低下することが分かり、改良を行った。また、撮影した水路トンネル内部映像から劣化損傷の規模を計測し、実測値と比較評価することで水路トンネル健全度診断への適用性を検討した。本稿では、この内容について説明する。

2. 従来型的水中ロボットによる撮影映像の概要

(1) 従来型的水中ロボットの撮影範囲

従来型的水中ロボット²⁾³⁾の撮影範囲は、下流向き気中(左右2画面)、水中(左右2画面)である。(図-1, 図-2)水中映像は濁度の影響で不鮮明のため省略した。気中照明は、LEDタイプ赤外照明(DC12V, $\lambda = 810\text{nm}$)を100個装備している。

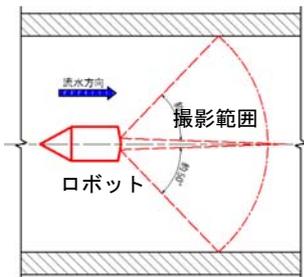


図-1 撮影範囲平面図

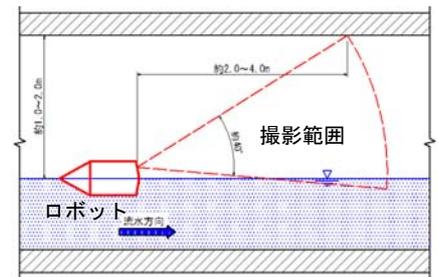


図-2 撮影範囲縦断面図

(2) 従来型的水中ロボットの撮影映像

気中撮影用カメラの有効画素は、1画面当り約38万画素(770H×490V)である。記録映像は気中と水中合わせて4画面の映像を、1画面(約30万画素:640H×480V)に記録している。水面から天井までの距離が約1mの場合(図-3)と約2mの場合(図-4)を例示する。水面から天井までの距離が1mから2mになると、撮影対象となる天井までの距離が2mから4mとなり、壁面の状態(付着物、湿潤状態、色)にもよるが照明が不足気味となり、画像の鮮明度が低下する。図-3は、天井コンクリートの打継目や目地、型枠跡が確認出来る。

図-4は、天井コンクリートの打継目は確認できるが、やや不鮮明となっている。



図-3 気中映像(水路幅 約2m
水面から天井 約1m)



図-4 気中映像(水路幅 約2m
水面から天井 約2m)

キーワード 水中ロボット, 水中カメラ, 水路トンネル, 点検, 調査, 劣化, 損傷

連絡先 〒732-0052 広島市東区光町 2-10-11 復建調査設計株式会社 水工技術部 TEL 082-506-1862

3. 改良型水中ロボットによる撮影映像と劣化損傷計測事例

(1) 改良型水中ロボットの概要

改良型的水中ロボットの撮影範囲は空中を対象とし、下流向(1画面)、天井向(1画面)、左右側面向(各1画面)の合計4画面である。(図-5~図-7) 空中照明は、蛍光灯照明(36w)を2本装備している。水中ロボット主要諸元は、幅0.4m、長0.7m、高0.3m、重量約25kg、主要材質:SUS304, FRP, アクリル。連続撮影時間は、約2時間で従来型的水中ロボットと同等である。

(2) 改良型水中ロボットの撮影映像

カメラの有効画素は、1画面当たり約38万画素(840H×450V)である。記録映像は4画面の映像を、そのまま4画面(各35万画素:720H×480V)と1画面(35万画素)にまとめたものを記録している。

(3) 画像から劣化損傷の抽出

水路トンネル天井映像から、比較的大きいひび割れ幅を計測した結果、 $W1=11mm$

$W2=3mm$ (図-8)となった。ひび割れ幅の実測値は、 $W1=12mm$, $W2=2mm$ なので、比較的精度良くひび割れ幅を計測することが出来た。(カメラから天井までの距離約1.0mの場合の事例)

(4) ひび割れ幅の検出精度

ひび割れ幅の検出精度は、カメラの流速、浸入水、析出物、照明の状況等によって異なるが、画像状況から判断すると、概ね下表の検出精度となる。

カメラから天井までの距離	画像撮影幅 B	水平解像度 n	$b = B/n$	検出精度 $b/2$
1.0m	1,830mm	720dot	2.5mm	1.2mm
2.0m	3,660mm	720dot	5.0mm	2.5mm

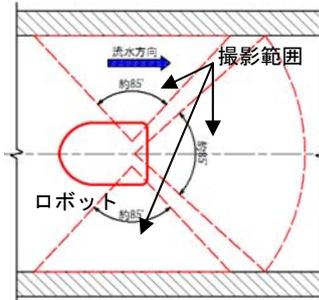


図-5 撮影範囲平面図

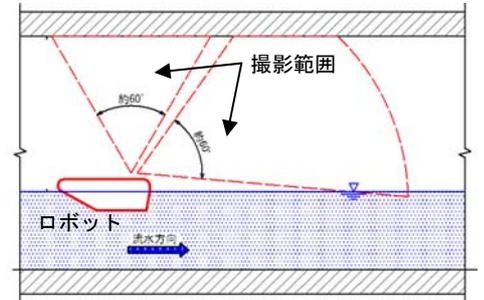


図-6 撮影範囲縦断面図

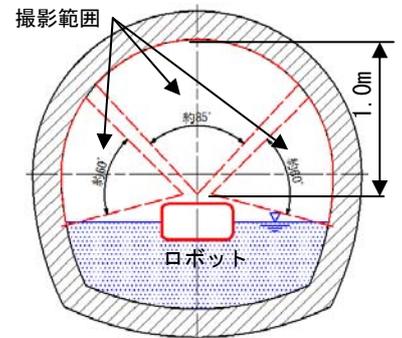


図-7 撮影範囲横断面図

4. まとめ

改良した水中ロボットは、下記の性能を有する。

- ① 水路トンネルを断水することなく、長距離の水路トンネルの全線調査が可能。(約7.0km, 流速1.0m/sの場合)
- ② カメラ配置と映像記録装置の構成を工夫したことで、死角の少ない鮮明な映像を撮影することが可能となった。
- ④ 水路トンネルの大きさによるが、ひび割れの検出精度は1mm~2mm程度で、水路トンネル診断マニュアル⁴⁾に準じた健全度診断の基礎資料を作成することが出来る。

今後も、カメラや映像記録装置の高解像度化や撮影画像のシームレス化等、精度向上と画像処理の高度化、適用範囲の拡大を目指し技術開発を継続したい。

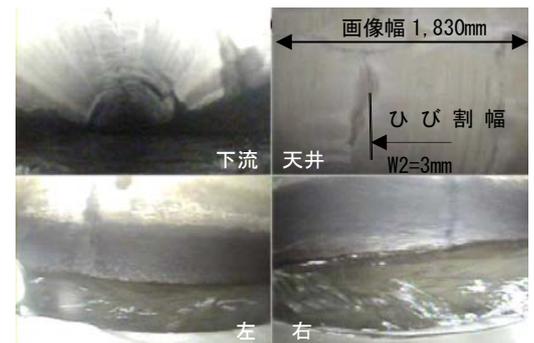


図-8 撮影画像(例)

参考文献

- 1) 2007年度 安全問題研究論文集 (社)土木学会 安全問題研究委員会 Vol.2 2007年11月 pp137-142
- 2) 復建調査設計株式会社ホームページ: <http://www.fukken.co.jp/download/pdf/3-19-01.pdf>
- 3) 平成20年度全国大会第63回年次学術講演会論文集 (社)土木学会 2008年9月 VI-076 水中ロボットによる水路トンネル点検調査技術の開発
- 4) 水路トンネル診断マニュアル(案) 平成5年4月 通商産業省 資源エネルギー庁