

飛行船型水路トンネル調査ロボットの開発

西松建設株式会社 正会員 ○松浦 誠司, 原田 耕司, 西見 宣俊
長崎大学 山本 郁夫

1. はじめに

小規模な水力発電の導水路や農業水路等小断面の水路トンネルは、震災等の災害後の調査では安全性等の理由から無人で被災状況を把握することが重要となる。水路トンネルの調査では狭い水路を長距離調査することが必要となるが、マルチコプターでは電源等の問題があり適用が難しい。そこで、水路トンネル坑内を少ない電力で自律飛行が可能な飛行船型水路トンネル調査ロボット「トンネルマンボウ®」(以下トンネルマンボウと呼ぶ)を開発し、実構造物の水路トンネルにおいて適用性を確認した。

2. トンネルマンボウの概要

トンネルマンボウは、飛行船型ロボットであり、自律飛行し水路トンネル壁面の連続画像を取得することで、震災直後の一次調査等、安全性が確認される前の無人調査での使用を想定している。

片方の坑口から発進させたトンネルマンボウは、壁面の画像を取得しながら自律飛行を行い、反対側の坑口へ到達する。到達後に取得画像を確認することで、顕著なひび割れや壁面の崩壊、その他変状の有無等、坑内の状況を把握できる。また、ヘリウムガスを封入したバルーンによる飛行体とすることで、水路トンネル底面の水等の影響を受けずに、かつ少ない消費電力で水路トンネル内を飛行して調査することができる。

3. トンネルマンボウの仕様

トンネルマンボウ(図1、写真1)は、塩化ビニルシート製のバルーン(設計寸法 直径 1,200mm×長さ 3,700mm)を浮体とし、バルーン下部にはポリスチレンフォーム製のメカデッキモジュールにトンネルマンボウを制御するための一連の機器(電波受信部、制御用マイコン、バッテリー、距離センサ、鉛直方向と水平方向のスラスト等)を搭載する。

バルーン後端に固定した推進スラストにより前進し、距離センサによりトンネル断面での位置を把握して鉛直スラストおよび水平スラストを作動させることでトンネルの線形に追従して水路トンネル内を自律飛行する。飛行中はバルーン前端に固定した360度カメラと54WのLED照明からなるカメラモジュールにより水路トンネルの天端・側壁から底部までの連続画像を取得する。画像はSDカードに保存され、調査終了後にカメラから取り出して確認する。

バルーンがトンネル壁面や壁面に取り付けられた金具等トンネル附属物に接触した場合のバルーンの損傷を防止するとともに、壁面に沿って滑らかにトンネルマンボウを飛行させるため、バルーン表面にガイドフレームを取り付けた。

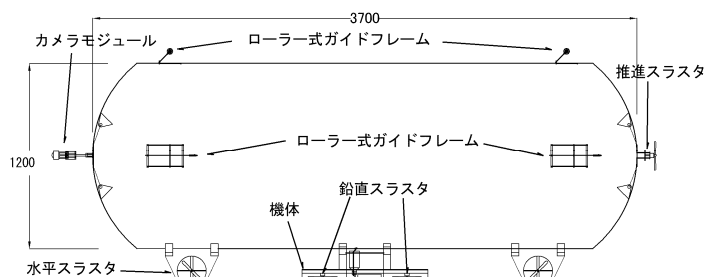


図1 トンネルマンボウの構成



写真1 トンネルマンボウ

キーワード 飛行船, ロボット, 水路, トンネル, 点検, 維持管理

連絡先 〒105-6407 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 西松建設(株) 技術研究所 TEL. 03-3502-0247

バルーンの上面と側面に設置したガイドフレームは、カーボン製のアーム先端にジュラコン製のローラを備え、壁面との接触時の摩擦による飛行船の速度低下を抑制する。

4. 現場実証

実構造物の水路トンネルでトンネルマンボウの現場実証を行った。対象の水路トンネルは単心円（三心円）の馬蹄形断面（図2）である。実験時は、坑内湧水等による最大水深 15 cm 程度の流水があった。

坑口に接続する水槽（作業スペース長さ 8.7m×幅 3.8m×高さ 2.8～4.0m）においてトンネルマンボウの組立て、調整を行った。水槽は地上開口部より水槽床面までタラップで約 5m 降りた位置にあるため、トンネルマンボウは各パーツに分割し、ロープを用いて水槽内まで荷降ろしして水槽内で組み立てた（写真2）。ヘリウムガスボンベは地上に配置し、長さ 10m のホースを用いて水槽内のバルーンへガスを注入した。水槽への資機材の投入開始から飛行準備完了までの所要時間は約 90 分、分解搬出作業は約 50 分だった。

2,500m の距離を自律飛行させ、飛行速度やバッテリーの電圧等の確認を行った。飛行速度は推進スラストの出力設定により変わり、1.5～3.3 km/h であった。

2,500m の長距離飛行におけるバッテリーの電圧を図3に示す。残圧 100% の 12.4V に対して 2,500m 飛行後の電圧は 11.77～11.82V であることから、使用限度の 10.8V に低下するまでの飛行可能距離は 6,000m 以上であり、2,500m の調査に関してバッテリー残量にはかなり余裕がある状態であった。

取得画像の確認のため、トンネル壁面に 1～15 mm の太さを変えた線（線と線の間隔も 1～15 mm）を記入したチェックシートを貼り付け、判別可能な範囲を確認した。

飛行速度が約 1.5 km/h の場合、飛行方向（トンネル軸方向）および飛行と直角方向（トンネル軸と直角方向）ともに 10 mm が判別できた（写真4）が、飛行速度が上がると画像の鮮明度が低下した。

5. おわりに

トンネルマンボウは、災害後の一次調査を対象として水路トンネルの内部の概況を把握することを目的として開発し、2,500m の距離を自律飛行できることを確認した。今後は、撮影画像の高精度化や画像処理の高度化等を行い災害時の応急点検だけでなく、定期点検に適用可能なシステムへの改良を行っていく所存である。

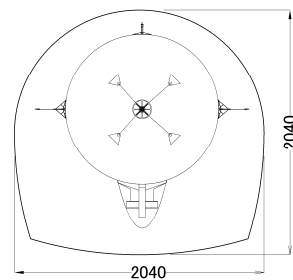


図2 水路トンネル断面



写真2 組立状況



写真3 飛行状況

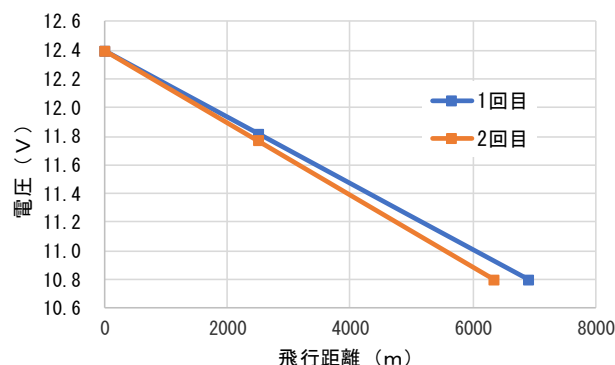


図3 飛行距離とバッテリー電圧の関係

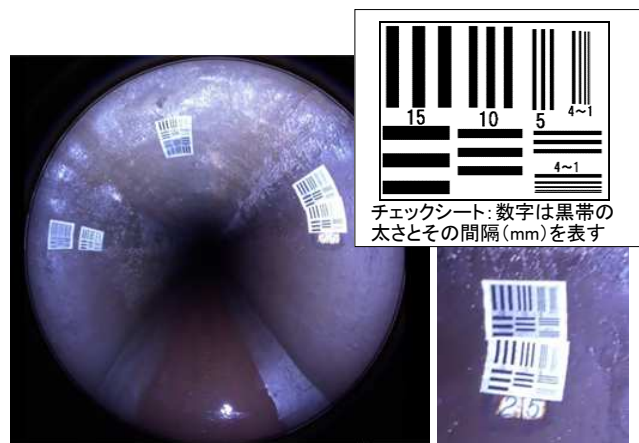


写真4 画像取得状況