

## CMI 報告

## 飛行船を利用した シールドトンネル点検システムの 研究開発

安井 成豊

### 1. はじめに

都市部近郊における都市化の進行と豪雨の頻発により、中小河川の氾濫等に伴う浸水被害が問題となっています。その対策として、地下にトンネル構造による調整池や放水路等の大規模施設が各地域にて建設されています。

首都圏外郭放水路も、これまで頻発していた浸水被害の解消を目的として、国道16号の地下約50mに建設された延長6.3kmの地下放水路です。施設は、各河川から洪水を取入れる流入施設（立坑）、地下で貯水・流下する地下水路（トンネル内空 $\phi$ 10m）、そして地下水路から洪水を排出する排水機場等で構成されています。

施工技術総合研究所では、国土交通省関東技術事務所の委託により、上記放水路（シールドトンネル）を維持管理するうえで必要となる点検作業を安全かつ効率的に実施するために必要とされる点検システムについて、各種実験・検討を行ってきました。今回は、その中から飛行船を利用したシールドトンネル点検システムについて紹介します。

### 2. シールドトンネル点検システムの開発

#### (1) 開発コンセプト

トンネルの点検には、各種点検（詳細点検、定期点検、緊急時点検等）があります。中でも地震発生後や維持点検作業の開始前に、最初に内部の状況を確認する作業（初動点検と呼ぶ）においては、余震による壁面の崩落や危険ガスの発生などの可能性が考えられるため、点検員による点検作業はリスクを伴うものとなります。また、坑内には専用の照明施設がないことと大断面であることから、路面上を歩く点検員が内部全体の状況を効率よく点検する

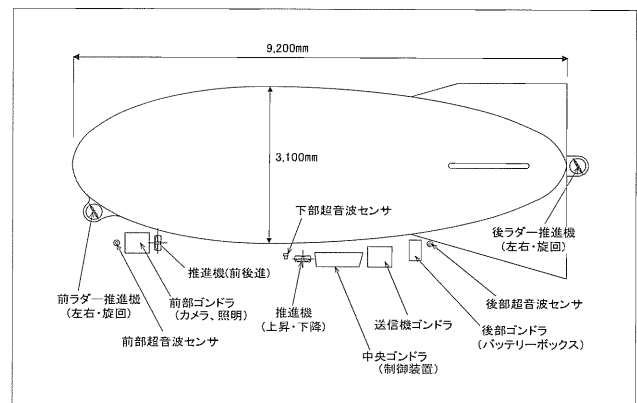
ことは困難な状況にあります。そのため、初動点検に利用する点検システムの開発コンセプトとして、以下の項目を掲げ、開発を行うものとなりました。

- ・内部全体の概略状況が迅速に把握可能であること
- ・無人化システム（坑内に人が入らない）であること
- ・底面状況（堆泥など）に左右されないこと
- ・トンネル壁面に新たな施設を設けないこと
- ・トンネル壁面に損傷を与えないこと
- ・機動性があること（特殊なクレーン等が不要）

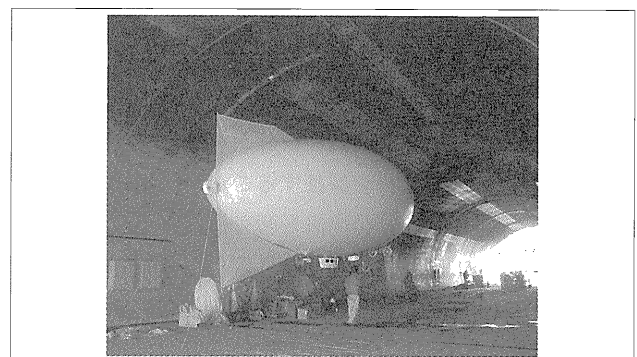
#### (2) 点検用飛行船の概要

(1)節のコンセプトを満足する初動点検用のシステムとして、様々なアイデアを比較検討した結果、飛行船を利用した点検システムを考案しました。

点検システムの開発検討は、平成14年度から平成16年度にかけて実施しました。当初は、飛行船が坑内壁面をガイドにして沿わせながら移動させることを想定して試作機的设计製作と実験を行いました。しかし、壁面と接触しながらの飛行では飛行船の安定性を確保できないことが確認されました。その後、設計の見直しと実験を繰返し、最終的には、超音波距離センサにて壁面との距離を把握しながら、上昇下降、前後進、左右移動、左右旋回の動きを自律制御することで、常にトンネル断面のほぼ中央位置を飛行



図一 飛行船を利用した点検システム概要図



写真一 構内模擬トンネル内での飛行船全景

させるシステムとしました。その飛行船概要図を図—1に示し、当研究所構内の模擬トンネル内にて実施した最終調整時の飛行船全景を写真—1に示します。

### (3) 現地トンネル内における実証実験

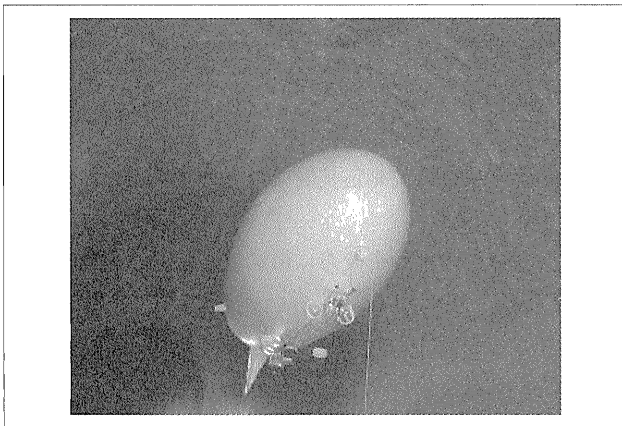
シールドトンネル点検システムに対しては、

- ・立坑内での上昇下降等の操作が容易であること、
- ・曲線区間を含む約2 kmのトンネル中心付近を安定して自律飛行が可能であること、
- ・飛行船に搭載したビデオカメラの画像を地上付近の基地局でリアルタイムに確認可能であること、

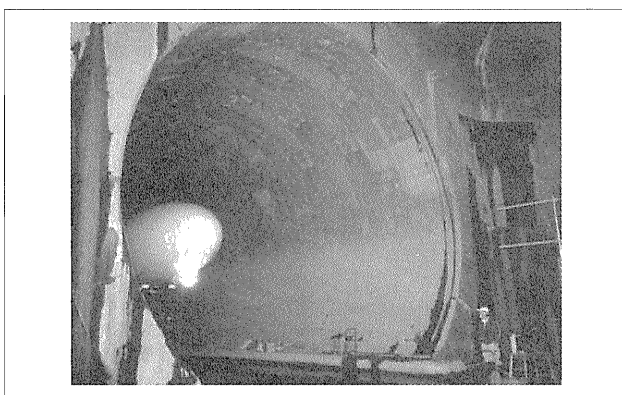
が求められ、その仕様を満たすための改良と能力検証を目的として現地トンネル内にて実証実験を実施しました。以下に実証実験にて確認した各種項目のうち、自律制御飛行と画像通信に関する内容を紹介します。

#### (a) 自律制御飛行性能の検証結果

現地トンネル内において、第3立坑と第2立坑間約2 kmの区間(曲線半径250 mのS字カーブを含む)で自律飛行実験を実施しました。その結果、この立坑間距離約2 kmを、追い風および向かい風0.2~0.5 m/sの条件下において、トンネル中心から上下左右1 m程度の範囲内にて自律制御を行いながら、30分前後にて飛行が可能であ



写真—2 トンネル内自律飛行状況



写真—3 坑内約2 km 自律飛行の状況 (到達立坑側)

ることが実証できました。点検用飛行船の実証実験における飛行状況を写真—2および写真—3に示します。

#### (b) 画像送信性能の検証結果

トンネル内における長距離無線通信を確立する目的で、各種通信機タイプとアンテナ仕様等の組合せにて坑内通信試験を行いました。当該トンネルにて最適となる組合せとして、免許を必要としない特定小電力データ通信2.4 GHzSS無線機(DSS方式)の超長距離無線装置と八木アンテナを搭載し、飛行実験を実施しました。現地実証実験では、飛行船に搭載したビデオカメラ(暗所撮影機能使用:20 Wハロゲンライト×8)で撮影した画像を坑外両立坑に設けた基地局に無線送信を行いました。その結果、各立坑に設けた基地局から約1 km、約1.3 kmの範囲でリアルタイムに画像が受信され、約300 mのラップ区間を確保しつつ、飛行中に撮影したトンネル全線の画像を立坑に設けた基地局でリアルタイムに確認可能なシステムとしました。

地上付近に設けた基地局に無線で送られてきた約1.3 km先のトンネル内撮影画像を写真—4に示します。



写真—4 立坑から約1.3 km離れた地点からの受信画像

## 3. おわりに

平成17年度も台風14号に伴う豪雨によって、東京都内を始め、全国各地で多くの浸水被害が発生しました。このような被害を解消あるいは軽減するための施設は、今後益々その重要性を増すものと考えられます。都市機能を維持するための各種施設を安全かつ効率的に点検するうえで、今回紹介したようなシステム開発の重要度は今後高くなるものと考えられます。

JCMIA

#### 〔筆者紹介〕

安井 成豊 (やすい しげとよ)

社団法人日本建設機械化協会施工技術総合研究所  
研究第三部研究課長