

## 9. 道路トンネル無人調査ユニットの開発

北陸技術事務所 施工調査課長 宮島 実  
 施工調査係長 ○小林 弘朗  
 施工調査係主任 畑山 啓

### 1 はじめに

新潟県中越地震では震源に近い国道17号線の和南津トンネル（延長300m）が被災し、覆工コンクリートのクラウン部で長さ約20m、幅約2m、重量約50tが剥落し、側壁は内側へ押し出され、路側排水溝が変状し、全面通行止を余儀なくされた。また、近くを通る県道も被災したことから交通網が寸断され、災害の復旧・支援に大きな障害となった（写真－1）。



写真－1 コンクリートの剥落

トンネル被害の早期復旧のためには、被災状況を速やかに把握し、適確な復旧活動を実施する必要があります。しかし、本震後にも大きな余震が多発する場合には、更に崩落・崩壊の危険性が高まり、入坑調査は二次災害の恐れがあるため、余震が落ち着くまでは調査に入らず、迅速な被災状況把握や災害復旧活動が困難な状況となる。

本開発は、被災後に二次災害の危険のあるトンネルにおいて、無人で坑内の状況を確認できる映像情報の収集を可能とする装置を開発し、安全で迅速な復旧活動の支援に資することを目的として取り組んだものである。

### 2 開発機が装備すべき機能の調査

道路トンネル無人調査ユニット（以下「本ユニット」という）の開発に当たり、本ユニットが装備すべき機能の抽出を目的として、和南津トンネルの被災後の初動点検から復旧工事までの点検及び調査に関して道路管理者、施工業者にヒヤリング調査を実施した。

2004年10月23日（土）17：56の地震発生後の余震（震度5弱以上）の発生状況は表－1のとおり。また、復旧工事着手に至るまでの点検及び調査の実施者と目的については表－2のとおりである。

表－1 余震発生回数

|        | 7 | 6強 | 6弱 | 5強 | 5弱 |
|--------|---|----|----|----|----|
| 10月23日 | 1 | 2  | 1  | 4  | 3  |
| 10月24日 |   |    |    | 1  |    |
| 10月25日 |   |    |    | 1  | 1  |
| 10月27日 |   |    | 1  |    |    |
| 11月4日  |   |    |    | 1  |    |
| 11月8日  |   |    |    | 1  |    |
| 11月10日 |   |    |    |    | 1  |
| 12月28日 |   |    |    |    | 1  |

表－2 地震発生後の点検及び調査

| 点検調査  | 23<br>土 | 24<br>日 | 25<br>月 | 26<br>火 | 27<br>水 | 28<br>木 | 29<br>金 | 30<br>土 | 31<br>日 | 1<br>月 | 2<br>火 | 実施者                               | 目的                                  |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 被災    | ●       |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        | (17:56 地震発生)                      |                                     |
| パトロール | ◎       |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        | 道路管理者                             | 通行可否の判断<br>被災状況の把握                  |
| 第1回調査 |         |         | ◎       |         |         |         |         |         |         |        |        | 道路管理者<br>専門家<br>(土木研究所)           | 被災状況把握<br>復旧可能か否かの判断<br>大まかな復旧工法の選定 |
| 第2回調査 |         |         |         | ◎       |         |         |         |         |         |        |        | 施工業者                              | 被災範囲と重度の把握<br>復旧箇所と範囲の設定<br>復旧工法の選定 |
| 第3回調査 |         |         |         |         | ◎       |         |         |         |         |        |        | 施工業者                              | 工事数量の把握<br>工法の適正性確認                 |
| 復旧工事  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        | (11/ 2:片側交互通行開始)<br>(11/26:2車線開通) |                                     |

#### 1) パトロール

〔目的〕 通行可否の判断、被災状況の把握。

〔実施内容〕 目視確認、写真撮影。

※地震発生の日には、被災した和南津トンネルには

19:30に到着し、入坑による目視での被災状況の確認を試みたが余震が続いたため入坑を断念した。そのため、トンネル坑外より目視確認のみ実施した。

## 2) 第1回調査

〔目的〕 被災状況の把握、復旧可能か否かの判断、大まかな復旧工法の選定。

〔実施内容〕 目視確認、写真撮影。

※地震発生の当日、翌日と入坑出来ず、この調査で初めて入坑し、被災状況の把握、復旧可能か否かの判断、大まかな復旧工法の選定を行うための目視判断、映像情報の収集を行った。

## 3) 第2回調査

〔目的〕 被災範囲と重度の把握、復旧位置と範囲の設定、復旧工法の選定。

〔実施内容〕 写真撮影、被災位置と範囲の作図。

※復旧工事の位置と範囲の設定、工法選定の判断材料となる映像情報の収集を行った。また、この調査結果を基に復旧工事に着手した。

## 4) 第3回調査

〔目的〕 工事数量の把握、復旧工法の妥当性確認。

〔実施内容〕 被災箇所の寸法把握、亀裂の詳細調査、打音検査、背面目視確認

※復旧工事と並行して、選定した工法が適切に実施できるかを判断するために、寸法計測や打音検査、覆工背面目視確認等を実施した。

## 3 装備すべき機能の抽出

調査の結果より、復旧工法の検討を行うためには最低限第2回調査の内容が必要と判断した。

第2回調査で実施した「写真撮影、被災位置と範囲の作図」であれば動画撮影など既存技術を使い比較的容易に無人化が可能であり、また、「写真撮影」など映像情報取得が可能となれば専門家による「復旧可能か否かの判断、大まかな復旧工法の選定」が行え、更に映像情報を活用した展開写真を作成することで「被災範囲と重度の把握、復旧位置と範囲の設定、復旧工法の選定」が可能となり、復旧工事に着手できるため、本ユニットが装備すべき機能は映像情報取得までとした。

なお、装備すべき機能を満たす機器は、全て既存技術より選定し、技術が陳腐化した場合はその機器だけ

を入れ替えられるようユニット化する構造とした。

各機能と選定した既存技術は以下のとおり。

### 1) 無人走行機能（台車ユニット）

無人での映像情報取得には、遠隔操縦式走行台車に映像情報取得機器を搭載しなければならないが、災害時における迅速な手配、搬入路が被災した場合の輸送の容易性を考慮し、ヘリコプターや道路巡回用パトロールカーに積載可能なサイズで市販されている小型遠隔操縦ロボットを台車として採用。

### 2) 遠隔操縦機能（通信ユニット）

遠隔操縦の方式は、見通しが効く範囲であれば落下物等に操作ケーブルを絡ませる危険が無い無線LAN（2.4GHz帯）を使った無線操縦と、見通しが効かない範囲での確実なデータ送受信が行える光ファイバーケーブル（φ2.5mm）による有線操縦の2系統を装備。

### 3) 映像情報取得機能（撮影ユニット）

映像情報の取得は動画とし、トンネル内全景の様子を見るカメラと、壁面（アーチ、側壁）のひび割れや剥離などの状況と範囲を見るカメラの2種類を装備することとし、カメラはバッテリーと記憶媒体を個別に装備しているデジタルハイビジョンハンディカム（200万画素）を搭載。

### 4) 照明機能（照明ユニット）

災害で照明がダウンした場合でも撮影が可能なように照明にHIDランプ（4300K）を装備。

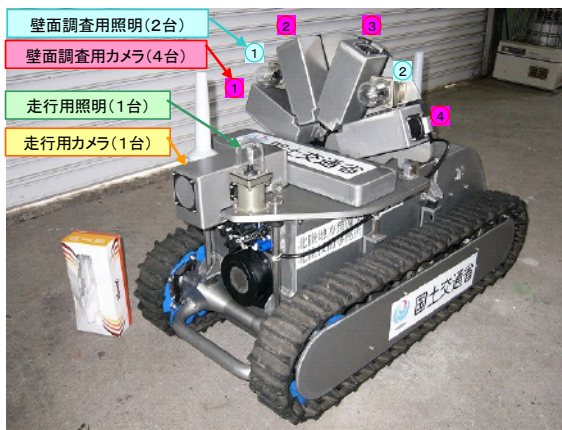
### 5) 位置把握機能（位置計測ユニット）

トンネル内における映像情報取得の位置を把握するため、距離を測るロータリーエンコーダーと方角を計る磁気方位計を装備。

## 4 道路トンネル無人調査ユニットの概要

本ユニットは、トンネル坑内の全景及び壁面の映像情報をリアルタイムに基地局に伝送する「移動局」（写真-2参照）と、坑口付近において移動局の操作と伝送された映像を表示し記録する「基地局」からなり、基地局は、移動局の操作、トンネル内全景の映像の表示と記録、壁面映像の記録を行う「移動局コントローラ」、壁面の映像を表示する「壁面調査モニタ」、無線操縦用のアンテナで構成される（写真-3参照）。

移動局、基地局の仕様は表－3、表－4のとおり。



写真－2 移動局



写真－3 基地局

表－3 移動局の仕様

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| <b>【台車ユニット】</b>            |                        |
| 寸法                         | L975mm×H680mm×W500mm   |
| バッテリー                      | リチウムイオン電池(2時間)         |
| 走行速度                       | 計測時0.96km/h、帰還時1.2km/h |
| <b>【通信ユニット】</b>            |                        |
| [光ファイバーケーブル] L=300m、φ2.5mm |                        |
| [無線] 2.4GHz帯、コーリニア型アンテナ×2本 |                        |
| <b>【撮影ユニット】</b>            |                        |
| デジタルハイビジョンカメラ 200万画素       |                        |
| [走行用(全景)×1台] [壁面調査用×4台]    |                        |
| 記録容量                       | 8GB(メモリースティック)         |
| 記録時間                       | 2時間55分                 |
| <b>【照明ユニット】</b>            |                        |
| HIDランプ(メタルハライド 4300K)      |                        |
| [走行用×1灯] [壁面調査用×2灯]        |                        |

表－4 基地局の仕様

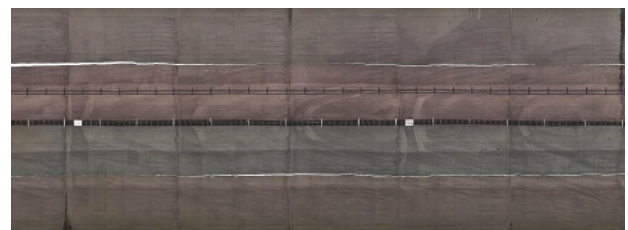
|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| <b>【移動局コントローラ】</b>          |                      |
| 外形寸法                        | L464mm×H442mm×W477mm |
| バッテリー                       | リチウムイオン電池(2時間)       |
| モニター                        | 12.1インチ(80万ドット)      |
| 記録容量                        | 160GB(ハードディスク)       |
| 記録時間                        | 約40時間                |
| [無線] 2.4GHz帯、パッチ型4素子アンテナ×1本 |                      |
| <b>【壁面調査用モニター】</b>          |                      |
| 外形寸法                        | L350mm×H165mm×W450mm |
| モニター                        | 12.1インチ(80万ドット)      |

5 道路トンネル無人調査ユニットとしての機能  
主な機能は以下のとおり。

- ・トンネル内全景と壁面（アーチ、側壁）の状況がリアルタイムに確認でき、映像の録画が可能
- ・遠隔操作は、無線で500m（見通しが効く範囲に有効）、有線で300m（見通しが効かない範囲に有効）での操作が可能
- ・操作可能延長は500m、両坑口からの入坑で延長1kmのトンネル調査が可能（北陸地方整備局管内のトンネルの9割をカバーできる）
- ・走行速度は約1km/h、稼働限界は2時間（片道500mの往復を2回分）
- ・走行走破性は段差10cm程度
- ・防水性能は、降雨程度の中で使用可能
- ・動画映像から展開写真の作成が可能（別途発注）

6 展開写真作成

冬期閉鎖トンネルにおいて取得した壁面調査用カメラの映像データ（50m分）を使い、2社のデータ解析会社へ展開写真作成を依頼した（写真－4、写真－5参照）。



写真－4 A社の展開図



写真－5 B社の展開図

データ送付後の展開写真作成に要した時間は、A社がデータ変換1日＋展開写真作成15時間、B社がデータ変換1日＋展開写真作成8時間であったが、展開写真作成用の連続静止画作成ソフトに合った動画記録形式のカメラを使うことで、データ変換時間は省くことができる。



作成の結果、トンネルの壁面が綺麗であったこともあるが、コンクリートの打ち継ぎ目が判別できる展開写真が出来上がり、被災後の覆工コンクリートの状況も判別できると判断した。

トンネル1km分の映像情報から展開写真作成を想定した場合、壁面調査用カメラ1台のデータ量は約4GB（4台分で約16GB）になるため、インターネットでのデータ送信は不可能である。また、何らかの記憶媒体による郵送では1日か2日を要してしまう。よって、最短での展開写真作成を行う必要がある場合には、本ユニットの出動が決定した時点で、データ解析会社に出向いてもらうなどの事前準備が必要となる。

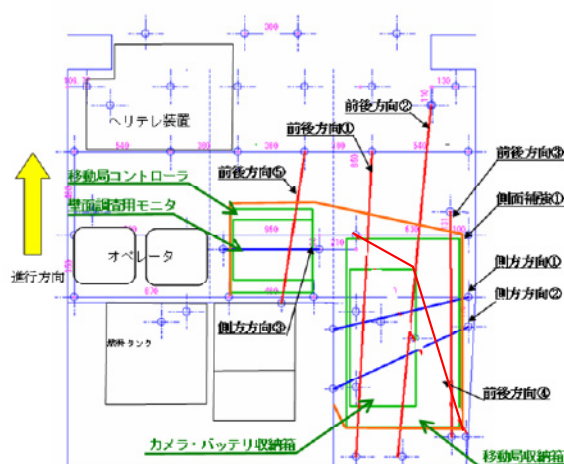


図-1 積載位置と固縛リング位置

## 7 ヘリコプターとパトロールカーへの積載の検証

北陸技術事務所から全国各地への迅速な輸送を考慮して、北陸地方整備局で保有するヘリコプター「ほくりく号」の搭乗スペースに格納できるか検証を行った。検証は床の積載物固定用の固縛用リング位置、積載方法、固縛方法、固縛ベルト本数の検討を行い問題ないことを確認した（写真-6、図-1参照）。

また、道路巡回に使用しているパトロールカーへの積載の検証も行い問題がないことを確認した（写真-7参照）。



写真-7 ユニットの積載状況



写真-6 ユニットの固縛状況

## 8 まとめ

災害時における初動調査に活用できる仕様での試作機は完成したが、今後、共同溝や導水路などトンネル以外の現場において適応性試験を実施し、使い勝手や機能面での不具合を抽出し必要な改造を行い、被災した施設の緊急点検・調査に使用できる機械としての完成度を高める予定である。また、本ユニットは、今後、災害対策用機械としての位置付けを計画して行くことから、出動要請、輸送、点検方法、展開写真作成などの運用のとりまとめも行う予定である。