

# 22. 山岳トンネル工事用ロボットへの 一アプローチ

建設機械化研究所 藤本義二・\*上石修二・横沢圭一郎

## 1. はじめに

産業用ロボットに代表されるようなメカトロニクスの急速な進展と共に、建設工事の分野においても作業能率向上あるいは安全性向上等を目的とした研究開発が行われるようになり、一部では既に実用の域に達したものも出現しつつあるが、更に様々な工種において建設工事の特殊性を考慮した実用機の出現が期待されている。

こうした状況の下で建設機械化研究所が昭和57年度に実施した「建設機械のロボット化研究委員会」(委員長:大林東京理科大教授)の調査研究<sup>1)</sup>において、山岳トンネル工事を検討対象として、ロボット化をめぐる諸問題を整理するとともに概念設計例を示したのでこれを紹介する。

## 2. トンネル工事と安全性

トンネル工事では、土木、機械、電気、化学(含火薬)を始めとし最近ではエレクトロニクスなど他の分野の技術をも総合して活用し、しかも自然を相手にするため、土木工事特有の災害ばかりでなく、非常に多種類の災害が生じる。例えば、異常出水、湧水、ガス爆發、坑内火災、湧出ガス中継、落盤、発破災害など、いったん発生すると大災害になりかねないものから、建設機械による傷害、墜落、崩落・落石による傷害、感電や転倒などのようなものまで、様々な種類の災害が発生する危険性が存在している。

統計資料によると死亡災害の45%程度が土砂崩壊、落盤および建設機械等によるもので、トンネル掘削時の切羽付近の災害防止が特に必要と考えられる。

## 3. 問題領域の検討

本テーマの問題領域を明確にするため、ロボット化を促進する要因と阻害する要因にわけて図-1、2を示す。

## 4. 作業分析

### 1) 施工法

山岳トンネルの工事は、その施工方法により①既設導坑先進工法、②側壁導坑先進工法、③上部半断面先進工法、④全断面掘削工法、⑤NATMに分けられる。これら工法の中で最も新しく誕生したのがNATMである。NATMに対し、①から④の工法

図-1 トンネル工事の自動化促進要因



は総称して在来工法と呼ばれている。

在来工法とNATMの施工順序には大きな違いはなく、両工法の差異が顕著に見られるのは、地山を支保する支保工の内容の違いにおいてである。

## 2) 作業分析

NATMを用いたトンネル工事で行なわれている作業について、大項目、細目別に分け、それぞれの作業前に与えられるべき情報と加工対象物、作業後に発生する情報と物、並びにこれに必要な機械、器具および人の動作に関して分析を行った。

図-2 トンネル工事の自動化阻害要因



## 5. 概念設計例

実際のトンネル工事では、どの工事も同一条件下にはないこととなるが、ここでは施工法としてNATMを用い、①ショートベンチカット工法、②タイヤ方式、③発破工法を考慮し、安全性向上を目的とした山岳トンネル工事用ロボットの概念設計を試みる。本概念設計では、トンネルを作るプロセス(構法)は従来と変わらないものとし、工法は現在の技術の発展の延長線上にあるが、構成要素に対しては高度なメカトロニクス技術を導入する。

### 1) 機能の抽出

トンネルを作るための基本となる機能は、どの工法でもほぼ同じである。ただ異なる点は、ひとつひとつの機能をどのような技術(手段、設備、方法)で満足させているか、また、派生した問題点をどのような方法で解決しているのか、といった2点である。

トンネル工事の基本機能を抽出すると、現段階でのトンネル工事では、

- ①岩をくだす
- ②ザリを運び出す
- ③トンネルを支保する

の3つに分けられる。

### 2) システム構成要素と機能レベル

トンネル工事システムの構成要素の分類は、右図に示すような一般のシステムと同一の要素が考えられる。(図-3)

トンネル工事システムをサブシステムに分けると、図-4のようになる。

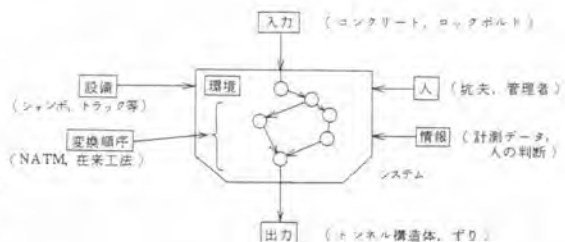


図-3 システムの構成要素

このシステムを構成する機能に対して、レベル1, 2, 3を設定することとする。

レベル1：現在の技術で十分実現が可能

レベル2：現在の要素技術を使用すれば実現可能だが経済的に問題がある

レベル3：ロボットの知能化、自律化の研究、センサ技術が進歩すれば実現可能

また、レベル分けについては観点を變えて、開発するロボットの形態、関係から以下の3つのレベルにも分けることが考えられる。

レベルⅠ：単機能ロボットによる個別作業

各サブシステムごとにロボット化し、他と独立している。つまりサブシステムの種類だけロボットがある。

レベルⅡ：単機能ロボットによる協調作業

各サブシステム間の境界がはっきりと区別できなくなり協調作業・併行作業ができる。

レベルⅢ：多機能ロボットによる協調作業

複数のサブシステムの機能を持ったロボットが協調作業を行う。このレベルが発展すると1台のロボットでトンネル工事の全作業が実行されることになる。

### 3) 概念設計例

#### ① 支保工ロボット (レベル2)

本概念は現状の技術をさらに発展させた実現可能なレベルであり、かつ、ロボットの構成としては機能が少なく単純な作業用のロボット (穿孔ロボット等) をいくつか組み合わせで使用するというものである。(図-5)

- |                 |              |
|-----------------|--------------|
| ① 吹付ノズル         | ⑥ 吹付用ポンプ     |
| ② 手首 (3自由度)     | ⑦ ロックボルト供給装置 |
| ③ アーム           | ⑧ レーザビーム     |
| ④ ロックボルト用ドリルビット | ⑨ レーザビームデテクタ |
| ⑤ ロックボルト        | ⑫ 操作面 (後面)   |
| ⑩ 距離センサ         | ⑬ 距離センサ      |
| ⑪ 材料コンテナ        |              |

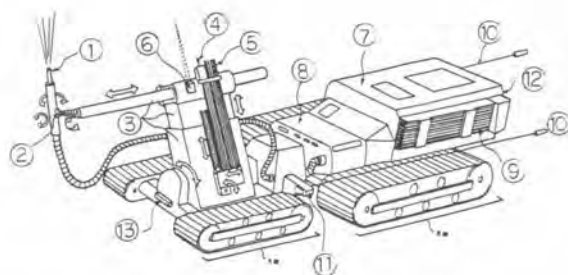
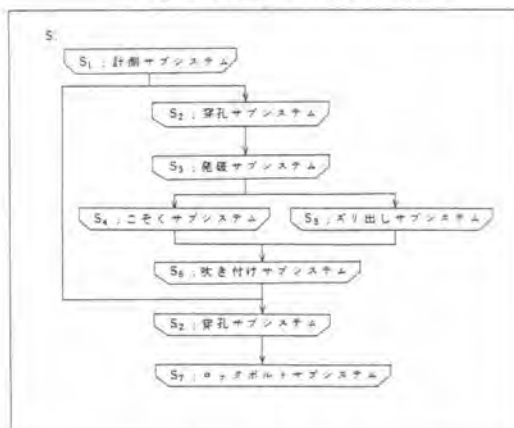


図-5

図-4 トンネル工事のサブシステムへの展開



② 掘削：支保工全自動トンネル施工ロボット（レベルⅢ）

トンネルを掘削するための機器は現在と同一であるが、一台のロボットにすべてを搭載したものが、図-6に示すものである。

- ① ボット
- ② 火薬装填メカ
- ③ ドリル
- ④ 吹付メカ
- ⑤ 吹付メカがリアー
- ⑥ ベンチマーク
- ⑦ タンクバケット
- ⑧ 砂り集めアーム
- ⑨ 砂り出しマタ

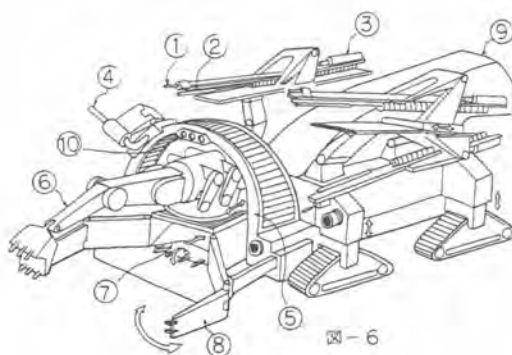


図-6

③ 無人トンネル施工ロボット（レベル3）

図-7は、完全に無人化し、巻破工法を使用しない理想のトンネル施工ロボットの概念設計例である。

- ① 情報収集アンテナ
- ② エネルギー波照射装置
- ③ 超音波センサー
- ④ エネルギー波
- ⑤ 掘込み口
- ⑥ 土の熱処理プラント
- ⑦ エアークーリング発生器
- ⑧ 吹付アーム
- ⑨ 余剰土砂輸送用管
- ⑩ 超音波センサー（巻厚チェック用）
- ⑪ スタビライザー

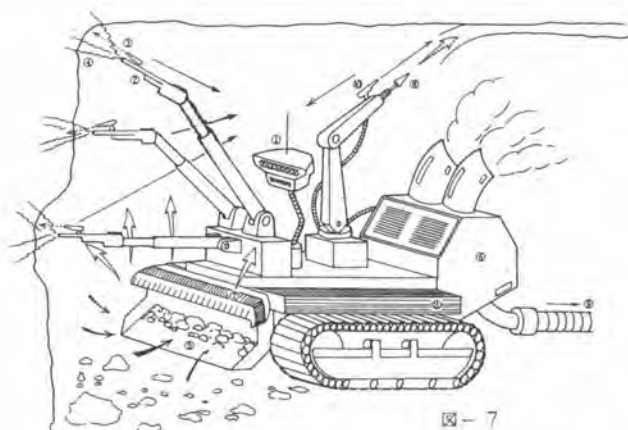


図-7

4. おわりに

以上、山岳トンネル工事を前提とした建設作業の自動化、ロボット化について山岳トンネル工事における施工手順とそれに関連する多くの事項について分析を行うとともに、山岳トンネル工事に用いるロボットの概念設計を試みた。これらの成果を具体化していくためには、未だ多くの問題点があり、ひきつづき調査・研究を行う必要がある。

1) 建設機械化研究所「建設機械へのロボット技術応用による安全性対策に関する調査報告書」(1983.6)