

## 水路トンネル補修ロボット化工法の開発（その1）

ーコンクリートはつりロボットの設計と性能確認ー

東京電力㈱ 工務部 工務土木課 正員 中村 隆幸

東京電力㈱ 工務部 工務土木課 正員 菅沼 康男

鉄建建設㈱ エンジニアリング本部 正員 本間 勉

鉄建建設㈱ エンジニアリング本部 正員 青木 義治

## 1. はじめに

高度化した現代社会の機能を維持するため、電力エネルギーは欠かせないものとなっている。その供給源の一つである水力発電所は、大正末期から昭和初期にかけて建設されたものが多く経年による発電施設の劣化が進んでいる。なかでも水路トンネルは覆工コンクリートの材質劣化、磨耗・洗掘あるいは背面空洞の拡大や塑性地圧によるひび割れ等の変状が徐々に進行している。このような水路トンネルの補修方法の一つとして覆工の巻替え・内巻き・吹付けコンクリートなどの方法があるが、狭隘な作業環境や工期の制約等の条件からいずれも安全性、作業性、経済性等の面で課題を内在していた。

この課題を解決して、トンネル補修工事の作業環境改善・安全性向上・省力化・作業能率向上・覆工の高品質化を図る目的で、コンクリートはつり作業と覆工コンクリート打設作業をロボット化する構想を立案して開発を行った。本件はそのうちのコンクリートはつりロボットの設計と性能確認の概要について述べる。

## 2. はつり工法の基礎研究

## (1) コンクリートはつり作業の現状と工法の選定条件

トンネル補修工事における既設覆工のコンクリートはつり作業は、従来人力作業によるピック又はプレーカーにより行われているが作業能率が低く、また粉塵の発生等により作業環境が悪い。さらにはつり面の精度が悪いため新コンクリートの巻厚が不均質となり覆工の品質低下の原因となっている。このことから ①はつり能力 ②はつり精度 ③粉塵低減 ④振動低減を選定条件とした。そのうちはつり能力についてはTSL工法の覆工との組合せで稼働することを考慮して  $1.0\text{m}^3/\text{hr}$  以上の能力を必要とした。

（※必要はつり能力 =  $7.0\text{m}^3/\text{hr}$  (TSL振動)  $\times 15\text{cm}$  (はつり厚) = 約  $1.0\text{m}^3/\text{hr}$  )

## (2) コンクリートはつり工法の選定

コンクリートはつりロボットの設計に先立ち、現状の技術である①ブームヘッダー ②チップングマシン ③ショットブラスト ④ウォータージェットの4工法について基礎的実験を行ない、ロボット化に適したコンクリートはつり工法の選定を行った。

表-1に示す実験結果から、各々の工法について上記の選定条件に対する現状比較と改善の可能性の検討を行った結果、施工能力及び精度・粉塵・振動に対する改善の可能性からブームヘッダーによる工法が最も適用性があると判断した。

表-1 はつり工法比較検討表

| 項 目<br>種 別    | 施工能力<br>( $\text{m}^3/\text{hr}$ ) | 騒 音<br>(dB) | はつり面の状態                            | 施 工 状 況                                 | 既設コンクリート<br>に与える影響            | 総 合<br>評 価 |
|---------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|------------|
| チップングマシン      | 0.12                               | 110         | ・はつり面はほぼ一様である<br>・浮石は無い            | ・1回のはつり深さは25mm程度が限度である<br>・粉塵は多い        | ・打撃によるはつりのため影響は大きい            | ○          |
| ショットブラスト      | 0.13                               | 74          | ・モルタル分が切削され骨材が残される<br>・はつり深さは一様でない | ・グリットを投射するため天端部のはつりは難しい<br>・集塵機で粉塵の回収可能 | ・ほとんど無い                       | ×          |
| ブームヘッダー       | 1.29                               | 90          | ・はつり面はほぼ一様である<br>・隅角部が一部分残る        | ・1回で所定の深さまで切削する能力は十分である<br>・粉塵は多い       | ・影響は大きいですがカッターヘッドの改良等により軽減は可能 | ◎          |
| ウォーター<br>ジェット | 0.016                              | 105         | ・モルタル分が切削され骨材が残される<br>・はつり深さは一様でない | ・線状の切削には適するが面での切削は難しい<br>・誤噴射での危険度は高い   | ・ほとんど無いが、コンクリートが薄いと地山まで突き抜ける  | △          |

### 3. コンクリートはつりロボットの設計

#### (1) 要求機能

現状のブームヘッダーは新設トンネルの地山掘削機械として設計されているためはつり能力は十分であるが、トンネル補修工事に適用する場合には、はつり精度や粉塵の発生及び切削時の既設コンクリートに与える振動軽減等に対する改善が必要である。このためロボット設計にあたり次の要求機能を設定した。

①. はつり精度：±20mm以内

②. 1回のはつり深さ：0～10cm

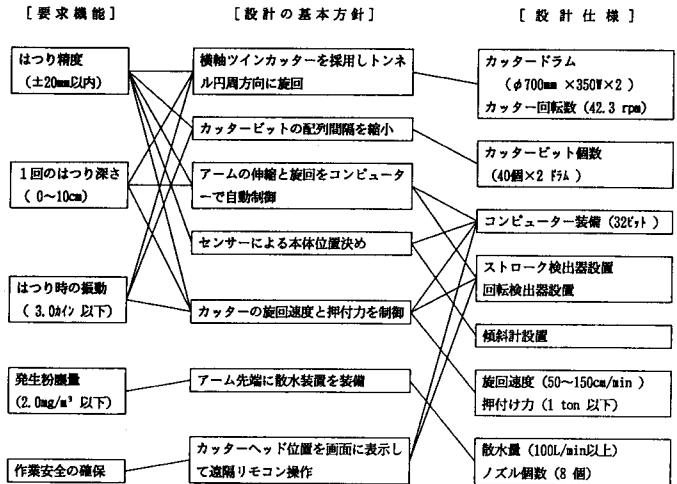
③. はつり時の振動：3.0 $\mu$ 以下

④. 発生粉塵量：2.0 mg/m<sup>3</sup>以下

⑤. 作業安全の確保

#### (2) 設計の基本方針

上記の要求機能を満足させるため各種の予備実験結果等を踏まえ、コンピューター制御による横軸ツインカッター方式をベースにはつりロボットの基本設計を行った。設計で特に配慮した点は図-1のとおりである。



#### (3) 設計仕様と全体概要

図-1 要求機能に対する設計検討内容

コンクリートはつりロボットの設計仕様及び全体概要は及び図-2に示すとおりである。

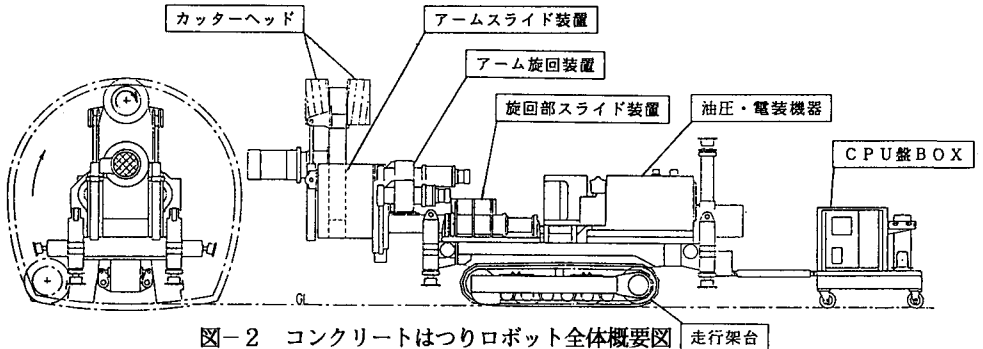


図-2 コンクリートはつりロボット全体概要図

#### 4. 性能確認結果

上記の設計によりコンクリートはつりロボットを試作し、模擬トンネルおよび実水路トンネルで計測を行い性能を確認した。その結果を表-2に示す。

表-2 コンクリートはつりロボットの性能確認結果

| 項目     | 単位                 | 模擬トンネル           | 実水路トンネル          | 備考              |
|--------|--------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 切削能力   | m <sup>3</sup> /hr | 1.0              | 1.3              | はつり深さ 2～10cm    |
| 施工サイクル | min/サイクル           | 90               | 70               | 半径1,863mmの馬蹄形断面 |
| 発生粉塵量  | mg/m <sup>3</sup>  | 1.4              | 1.3～1.8          |                 |
| 切削精度   | mm                 | -10～+15 (平均+4.5) | -20～+25 (平均+6.1) |                 |
| 振動値    | $\mu$              | 2.8              | 0.27             |                 |

#### 5. おわりに

コンクリートはつりロボットの開発により、はつり作業の作業環境・作業効率の改善が可能となり、安全性、省力化、高能率化を図ることができた。今後は、実証試験工事の実績データを基に、より効率化・高速化が可能なロボットとするように改善を重ねていくこととする。