

## 25. コンクリート研りロボット

東京電力(株)： 小林 知幾  
(株)関電工： 矢萩 順一  
(株)熊谷組： \*中西 勉

### 1. まえがき

一般に、塩害をうけたRC構造物の補修は劣化した部分のコンクリートの除去、鉄筋の錆落とし、防錆処理、モルタルなどの充填の手順で行われる。この場合、健全な部分のコンクリートに影響を与えずに、鉄筋周囲のコンクリートを完全に研り取ることが重要である。

また、ケーブルを収容した狭い地中送電用洞道の補修における劣化コンクリートの除去と鉄筋の錆落としの作業は、多大の労力と時間を要し、しばしば作業空間の確保のためにケーブルの移動を必要とし作業効率が悪い。本ロボットは、地中送電用洞道内壁を対象として、研り作業の施工性の向上と苦渋作業の低減を図る目的で開発した。

### 2. 研り工法

研り工法には、土木・建築分野で、コンクリート構造物の切断・解体に使用されている超高压ウォータージェット工法を採用した。

本工法には、以下の特徴がある。

- ① 鉄筋にダメージを与えずに研り出し、鉄筋を露出させ、同時に錆を落とすことができる。
- ② 研り部以外のコンクリートにクラック等の影響を与えない。
- ③ 研り反力が小さく、ノズル部が小型のためロボットの軽量化が可能である。
- ④ 無振動で粉じんが発生しない。

噴射水は、水のみでは噴射後にエアを巻き込み拡散して破壊力が減少する。その対策として、高分子剤を添加して噴射水の集束性を向上する研究を行い、その結果、図1に示すように水に対し重量比で0.1%程度の高分子剤を溶解して噴射すると、水の場合と比較して研り能力が4～5倍となった。

本工法では、複数の噴射ノズルを装着したノズルヘッドを高速で回転し、ロボットのアーム先端部に取り付けて、コンクリート表面に沿って移動、噴射することにより研りを行うものである。

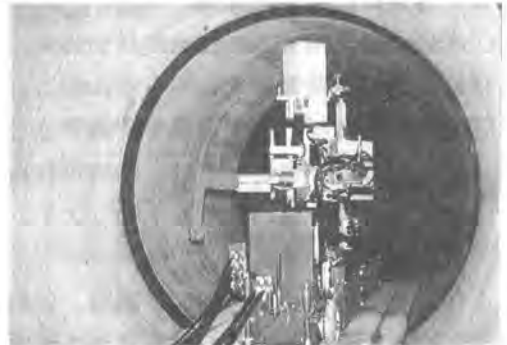


写真1 研りロボット

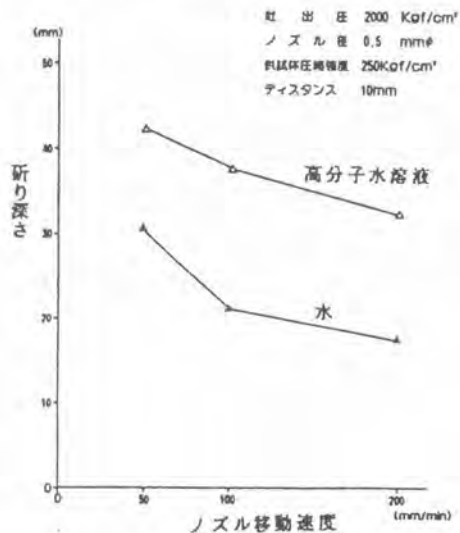


図1 高分子剤溶解液の効果

### 3. ロボットの概要

本システムは、図2 研りシステム図に示すように超高压ウォータージェットポンプと高分子剤溶解装置からなる地上設備、洞道内を移動する研りロボットと操作盤の洞道設備からなり、超高压ウォータージェットホースで接続している。

研りロボットの構成は以下に示す4部である。

- ① 台車部  
ロボット全体の移動と研り作業時の固定を行う。
- ② 本体部  
台車上でアームの昇降、旋回、回転、伸縮、移動を行う。
- ③ ノズル部  
アームの先端でノズルの回転と超高压水の噴射を行う。
- ④ 制御部  
自動・手動の操作およびリモートコントロールによる操作を行う。

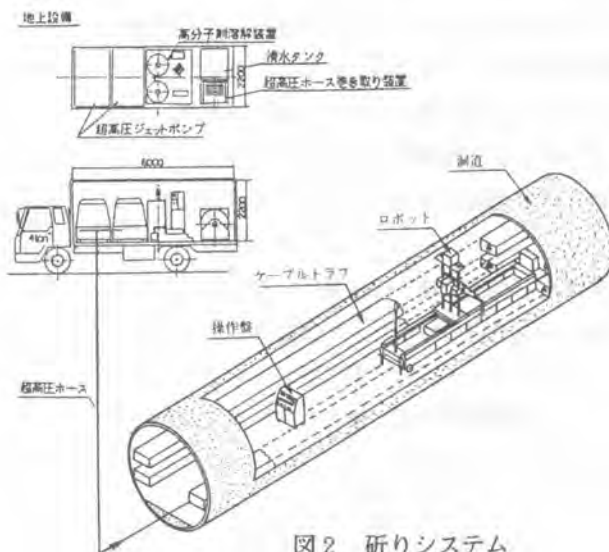


図2 研りシステム

ロボットは電力ケーブルを収容した狭い洞道内での作業による高機能性、長距離の移動による機動性が要求され、更にφ750mmのマンホールから搬入するため、小型・軽量化が要求された。

本ロボットは、内径2mの洞道内壁全周を研り、ケーブルトラフ等の障害物を回避して裏側の壁面を研るため、図3に示すように合計8軸の移動軸を有している。搬入・出時にロボット全体を7分割でき、洞道内で分割・組立が可能、分割後の1ピースが60kg以下である。

操作は、操作盤とハンディタイプの遠隔コントロールボックスから行い、手動・半自動・自動から選択して行う。

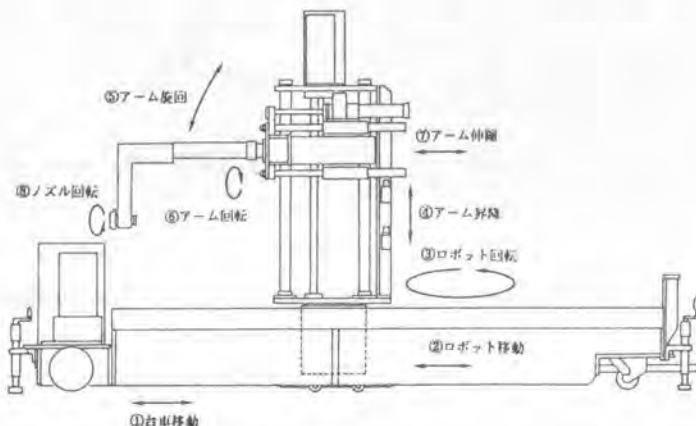


図3 各軸の作動状況

#### 4. ロボットの仕様

超高压ウォータージェットポンプの仕様を表1に示す。実験では使用吐出圧力は2000 kgf/cm<sup>2</sup>、吐出流量は12 l/minで使用した。

研りロボットの仕様を表2に示す。ノズル回転は小型化のためエアモータを使用し、その他の駆動は電動モータを使用、各軸に位置検出用ポテンショメータを設置し、位置と速度を演算・表示するとともに、移動限界点にはリミットスイッチを取付けて制御を行う。また、アーム部にタッチセンサーとして、テープスイッチを張りつけて、作業員及び洞道設備との接触時に緊急停止を行う。

図4に洞道内のロボットの設置状況を示す。ロボットのアームがL字型に折れておりケーブルトラフ等の障害物の間に挿入して、その裏側の壁面を研ることが可能である。

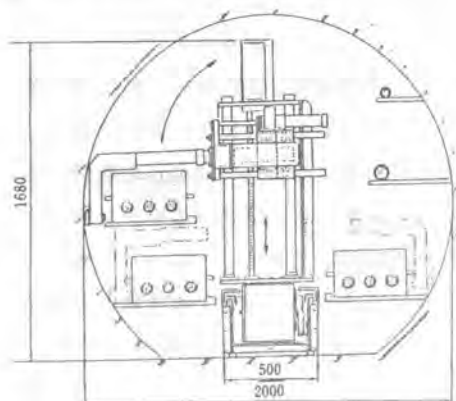


図4 洞道内設置状況

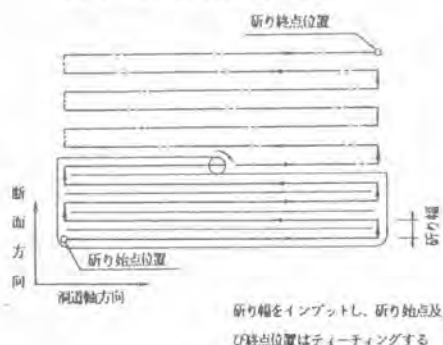


図5 自動研り方法

表1 超高压ウォータージェットポンプの仕様

吐出圧力	Max.3000kgf/cm <sup>2</sup>
吐出流量	Max.14l/min (at. 2500kgf/cm <sup>2</sup> )
所要動力	75kW (400V)
寸法	2400L×1200W×1300H(mm)
重量	3200kg

表2 研りロボットの仕様

項目	仕様	
自由度	7+1 (ノズル回転)	
可搬重量	20kg	
位置決め精度	±5mm	
許容環境条件	温度5~50℃ 湿度100%	
重量	総重量 380kg	
寸法	3100L×500W×1680Hmm	
動力	AC200V	
動作軸	動作範囲	速度
台車移動	動作範囲	37m/min
ロボット移動	1500mm	50~1000mm/min
ロボット回転	200°	20°/sec
アーム昇降	450mm	400mm/min
アーム旋回	150°	0.5~5°/sec
アーム回転	200°	10°/sec
アーム伸縮	150mm	400mm/min
ノズル回転	360°	200rpm

自動での研りは、数値でインプットする数値制御方式と、現場での施工性を考慮してティーチング方式を採用している。

ティーチング方式は、図5に示すようにロボットを手動で操作して、ノズルを研り始点位置に移動し「研り始点」のスイッチを押し位置を記憶する。

次に、手動でノズルを終点位置に移動して「終点位置」のスイッチを押す。

研り開始時に「自動スタート」のスイッチを押すと、記憶した研り始点と研り終点を対角点とする長方形の範囲を自動で研る。その経路は研り幅を考慮して演算する。

## 5. 実証実験

斫りロボットの実験は、内径2mのヒューム管を使用して模擬洞道での機能確認、精度確認、操作性等の工場実験を行い、さらに洞道での現場実験により施工能力、作業環境、施工性等の確認を行った。洞道内には、高圧ケーブルが導電状態にあり、安全には特に対策が要求されたが、ロボット側では、図6に示すように、ハード、ソフトおよびケーブルの保護材の3段階で安全対策を行っている。

特に、ケーブルに直接超高圧ウォータージェットを噴射すると短時間で切断するので、プログラムによりノズルが壁面に対向し、壁面から3cm以下に接近した場合としている。

斫り能力は、超高圧ジェットポンプの能力（吐出圧力、吐出量）によって決まるが、実験に使用したジェットポンプで、斫り深さ3～4cmで時間当たり2㎡程度である。今後、ウォータージェット噴射ノズルと斫り面を非接触で距離計測を行うあいセンサーの開発を行って、自動で距離を一定に保つ機能を付加する予定である。

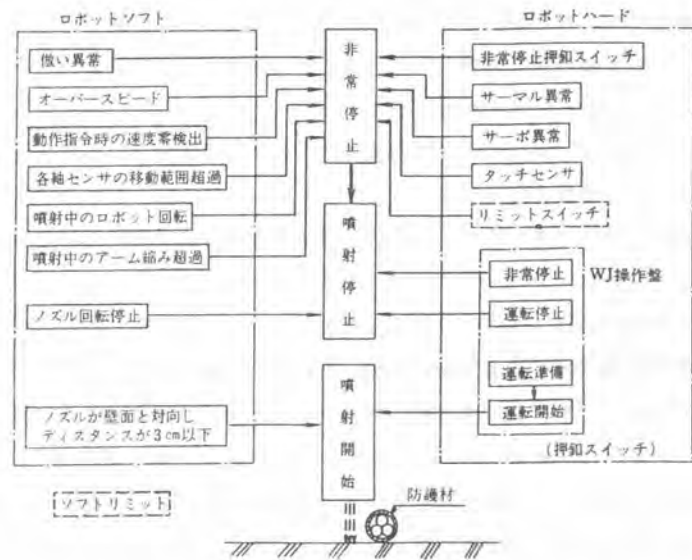


図6 安全対策



写真2 実験中のロボット



写真3 実験中のノズル部

## 6. あとがき

今後、コンクリート構造物に対し、経年変化や塩害等による劣化対策に高効率で施工性の優れた維持補修技術が要求されており、その一環としてコンクリート斫りロボットの開発を行った。

現在の斫りロボットは内径2mの円形洞道用であるが、高さ3.2mまでの矩形洞道が施工可能であるロボットの計画を行っており、実工事への適用を図るとともに、斫り後の修復技術の開発も行う予定である。