

## [173] コンクリート床直仕上げロボットの開発

正会員 ○ 新井 一彦 (鹿島建設技術研究所)  
 正会員 和美 広喜 (鹿島建設技術研究所)  
 斎藤 実 (鹿島建設機械技術部)  
 坂野 弘一 (鹿島建設機械技術部)

### 1. はじめに

建築生産の合理化の一環として各方面で「自動化・ロボット化」の研究が進められている。コンクリート工事に関しては、従来からも合理化への努力が払われており、既に生コン工場におけるコンクリートの製造及び管理システムが自動化され、工事現場でも生コンの垂直及び水平運搬を同時に行なうコンクリートポンプの使用が一般化し、生産性向上に寄与している。<sup>1)</sup>

また、その後に続く作業工程（コンクリートの分配から表面仕上げに至る工程）に関しても近年、自動化しようとする試みがゼネコンを中心として活発化しており、下記に示すような研究開発が進められている。

- a. コンクリート水平分配機<sup>2)</sup>
- b. 分配とクレーン機能を持った複合機械<sup>3), 4)</sup>
- c. コンクリート自動締固め工法<sup>5)</sup>
- d. コンクリート天端ならしロボット<sup>6)</sup>（構想のみ）

本報告で述べるロボットは、コンクリート工事の最終工程である床直仕上げ工程を対象としたものであり、ロボットのタイプは、移動機能を有した数値制御ロボットである。

### 2. コンクリート床直仕上げロボットの概要

本ロボットはジャイロコンパスと走行距離センサを用いた自立航法装置により、無軌道で自分の位置を認識し、走行経路とのずれを自動調整しながら移動するロボットで、ロボット本体には水平関節型アームが接続され、アーム先端部にはコンクリート床面を平滑に仕上げるトロウェル（回転ゴム）が取付いている。

本ロボットは、図-1に示すように①ロボット本体、②ホストコンピュータ、③操作盤及び④電源盤より構成され、その仕様は表-1に示すようである。

#### 2-1 ロボット本体

ロボット本体は、図-1に示すように、走行装置、

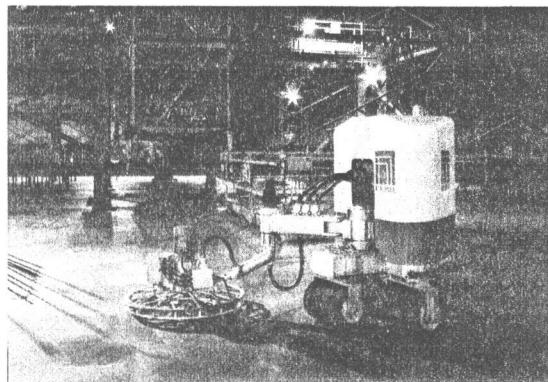


写真-1 コンクリート床直仕上げロボット

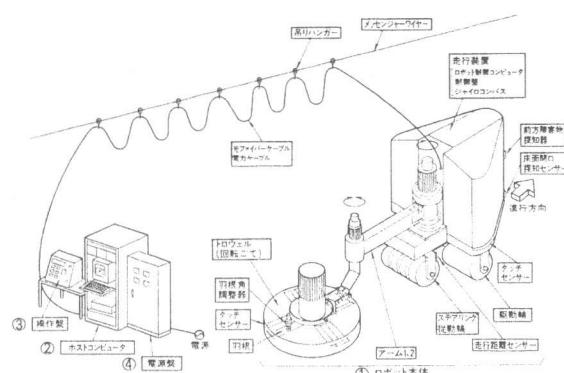


図-1 ロボットシステムの構成

表-1 ロボットの主要仕様

項目	仕様
走行装置	輪式走行装置
車両重量	480kg
走行速度	0~100mm/sec
駆動方式	直接駆動方式
目標回転数	0~80 rpm
目標角度	0~90°
目標回転直達	900 mm
目標直法	最大直350 mm
方角	±5°
回転角度	±10°（内部）、±2°（外部）
接觸検知	センサ（音響センサ）
障害物検知	超音波センサ
開口部検知	ドライブモード（幅×高さ）：300×150 mm
安全装置	走行装置

水平関節型アーム及びトロウェルで構成される。走行装置はローラー型の駆動輪と従動輪各々2個ずつからなる。トロウェルは4枚羽根で、回転数及び羽根角度を無段階で調整できる。今回は最終仕上げまでをロボットで仕上げることを目標としており、打設されたコンクリート床面に滑らかに追従できる機構を水平関節型アームとトロウェルの接続部に装備している。

#### 2-2 ホストコンピュータ

ホストコンピュータは光ファイバー伝送システムによりロボットコンピュータと連結されており、情報授受の他、CRT上にロボットの現在位置及び走行軌跡をグラフィック表示することができる。（写真-2 参照）

#### 2-3 操作盤

作業の特性を加味してロボットの動作は、キーボードまたは操作盤に予じめ用意した走行経路等のパターンを簡易言語で入力し、その命令によって行動させる方式を考案した。この方式によれば、従来のプレイバックロボットで必要なティーチング作業は不要となり、建築作業のように繰り返しの少ない作業には適しているものと思われる。写真-3にアームパターンの一例を示す。

#### 2-4 安全制御

本ロボットは無軌道で移動し、アームも振るため、人間の歩く速度よりもゆっくりした移動速度にするなど安全に対しては十分な配慮を行った。安全装置の内容は表-1に示したとおりである。

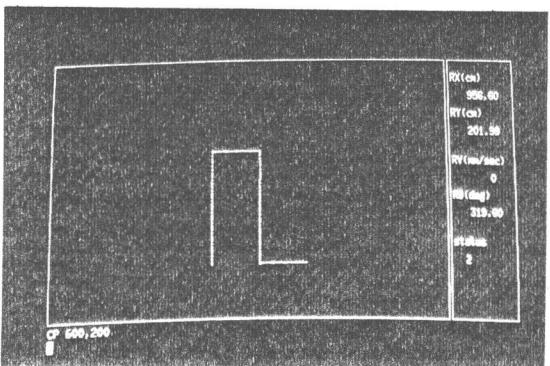


写真-2 ロボットの走行軌跡

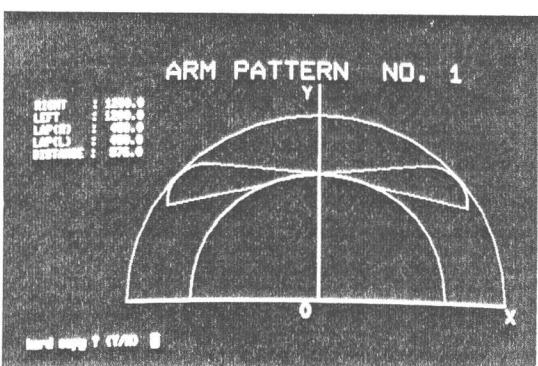


写真-3 アームパターンの一例

### 3. ロボット開発の研究経緯及び要素実験

#### 3-1 ロボット開発の研究経緯

本ロボットの開発にあたっては開発テーマ選定からロボット化仕様の検討、設計、製作、試運転等いくつかの段階があるが、「図-2<sup>7)</sup>」にはそのうちのロボット化仕様作成までのフローを示した。

コンクリート床直仕上げのロボット化というテーマの特性から、施工性、機械化の立場から見たコンクリートの特性値を見い出す必要があり、次に示す各種の要素実験を行った。

- a. コンクリート直仕上げ床の品質特性の定量化に関する調査・実験
- b. コンクリートの表面仕上げ装置（トロウェル、コテ、ローラー、他）に関する実験
- c. トロウェルによる仕上りに関する実験
- d. 走行装置に加わる荷重とコンクリートの沈みに関する実験
- e. 走行装置に付着するセメントノロの付着防止に関する実験

本作業をロボット化するにあたり、上記aでは仕様の定量化を、b及びcでは手先のToolの選定を、d及びeでは人間の足に相当する移動機構の検討をそれぞれの目的として実験を行った。建設工事のロボット化を図る上で最も重要な要素は移動機構であることから、今回は上記dの要素実験について報告することとした。

### 3-2 走行装置に加わる荷重とコンクリートの沈みに関する要素実験

本ロボットはローラーによる走行方式を採用しているので、若令時のコンクリート上を走行する際、ロボット本体全体重量をローラー四輪で支えることになり、そのため、コンクリート表面が沈み、走行障害やコンクリート床の品質を損うことが懸念された。そこで、コンクリート初期状態におけるローラー荷重とコンクリート表面の沈み量との関係を求める目的とした実験を行った。

#### (1) 実験内容

- a. コンクリート供試体寸法：長さ 1 m、幅 70 cm、深さ 15 cm の型わくに普通コンクリート（スランプ 18 cm）を打設した。コンクリートの調合は表-2 に示す。
- b. ローラーの寸法及び重量：ロボットの重量（開発ロボットは 480kg であるが、当初の設計重量は約 200 kg であった。）は、ローラー四輪で分担するものとし、一輪あたりの分担は等重量になるものと仮定した。実験は一輪で行った。  
ローラー寸法： $\phi 30 \text{ cm}$ 、長さ 30 cm  
一輪あたりのローラー重量：30 kg 及び 60 kg
- c. 測定項目：ローラー重量走行荷重によるコンクリートの沈み量（1 時間毎）  
コンクリートの圧縮強度： $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$   
打設されたコンクリートの内部温度：自動温度記録計
- d. 実験方法：一輪のローラーを打設したコンクリート上で走行させ、そのときのコンクリート表面の沈み量を測定した。なお、実験は 20°C, RH 80% の恒温・恒湿室で行った。

#### (2) 実験結果

加水後の経過時間 ( $T : \text{hr}$ ) と仮想養生温度 ( $T^* : \text{°C}$ ) との相乗積 ( $T^* T$ <sup>8)</sup> を積算温度と呼び、積算温度とコンクリート表面の沈み量との関係は、ローラー重量 30 kg の場合を図-3 に、60 kg の場合を図-4 にそれぞれ示す。また、同一積算温度時のローラー重量 30 kg と 60 kg のときの沈み量との関係は図-5 に示すとおりで、ほとんど直線で示される。

この結果を基に、コンクリート床直仕上げにおける仕上げのタイミングとの関係を示すと図-6 のとおり

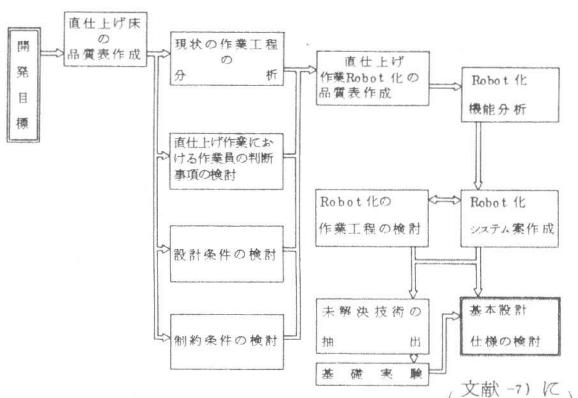


図-2 ロボット化仕様作成までのフロー (文献-7) に一部加筆)

表-2 コンクリートの調合

水セメント比	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	水 (kg/m <sup>3</sup> )	セメント (kg/m <sup>3</sup> )	砂 (kg/m <sup>3</sup> )	砂利 (kg/m <sup>3</sup> )	混和剤
6.0	18±1.5	2±1	40	174	290	752	1,134	1.74

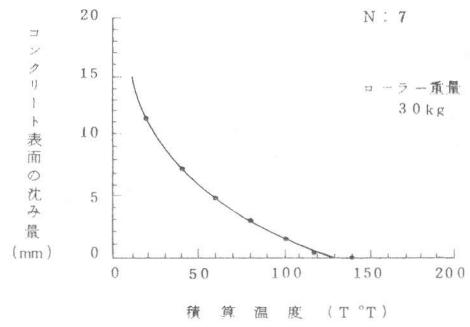


図-3 積算温度とコンクリート表面の沈み量との関係

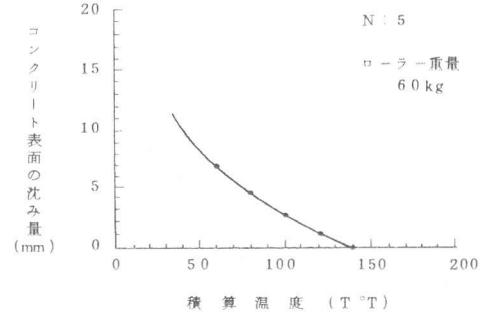


図-4 積算温度とコンクリート表面の沈み量との関係

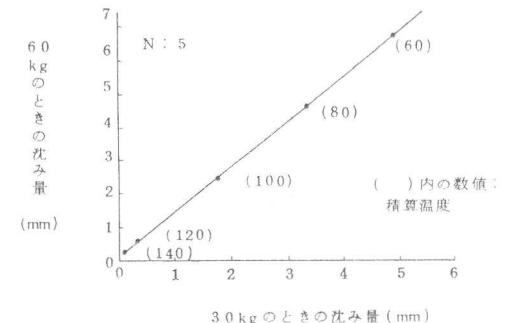


図-5 ローラー重量別沈み量との関係

である。現場調査の結果によると、第1回の仕上げ開始時期は積算温度で100T°T程度、最終仕上げは同様に、200T°T程度で表面仕上げが行われている。また、トロウェルによる仕上げの場合、第1回仕上げにおける4～5mm程度の凹凸はトロウェルの羽根で平滑化し得ることも要素実験の結果から明らかになっている。最終仕上げの段階では図-6でもわかるようにコンクリートの硬化が進んでおり、ローラー重量が60kgの場合でもコンクリート表面の沈みはほとんどなく、走行によるコンクリート表面への影響は少ないと言える。

以上のことから、第1回仕上げ時期におけるローラーによるコンクリート表面の沈み量の許容値を3mmに設定すると、実験によるコンクリート沈み量は、ほぼ許容値内に収まることが判った。このときのローラーの接地圧は、ローラー重量30kgで約0.2kg/cm<sup>2</sup>、同様に60kgで約0.35kg/cm<sup>2</sup>であった。

本ロボット重量は、当初の設計重量を上回ったため、上記接地圧を考慮し、ローラー長さを増加させる等の設計変更を行った。

#### 4. ロボットによる現場施工

##### 4-1 施工場所及び施工条件

本ロボットの現場における施工場所は、地下2階の駐車場で、設計基準強度270kg/cm<sup>2</sup>、スランプ15cmの普通コンクリートを打設した部分である。コンクリートの均し、定規すりまでは従来どおり左官工が行い、それ以後の工程をロボットが担当した。仕上げ回数は3回で、それぞれの仕上げタイミング毎にトロウェルの回転数、羽根角度、移動速度を調整した。

##### 4-2 施工結果

ロボットの構成要素は順調に作動し、計画どおりの走行経路に沿って進み、移動の位置計測精度は3/1000で、施工速度は一時間あたり200～250m<sup>2</sup>であった。仕上り面の精度測定結果は図-7のとおりである。また、表面粗さもロボット仕上げ面で0.1mm以下となっており、熟練工並みの施工品質が確認された。

#### 5. おわりに

本ロボットを現場に適用することにより一応の成果を得ることができたが、本格的な実用化までには改善、改良をすべきことが多い。また、本ロボットの施工範囲はコンクリート工事の中でも一部分の作業であり、今後は機械化を意図したコンクリート工事システムの検討が必要と考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 長谷川、新井：コンクリート工事におけるロボット化、コンクリート工学、Vol.21 No.1 昭和58年1月
- 2) 川村、青柳、佐久田：コンクリート打設における水平ディストリビュータの開発研究、日本建築学会学術講演会梗概集、昭和58年9月
- 3) 重岡、中西：コンディスクレーン「2020」によるコンクリート打設工事、施工、昭和58年12月
- 4) ブレーシングクレーン、三菱重工カタログ、昭和59年11月
- 5) 平賀、篠崎、俞林、荒巻：コンクリートの自動締固め工法に関する研究、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、昭和59年
- 6) 小池道広：コンクリート天端ならしロボット、長谷川工務店技術報、No.1、昭和59年
- 7) 山田文三：総合工事業におけるロボット開発とその開発過程における問題点、研究協議会用テキスト、日本建築学会材料施工委員会、昭和59年10月
- 8) 笠井芳夫：コンクリートの初期強度、初期養生に関する研究、博士論文、昭和43年10月

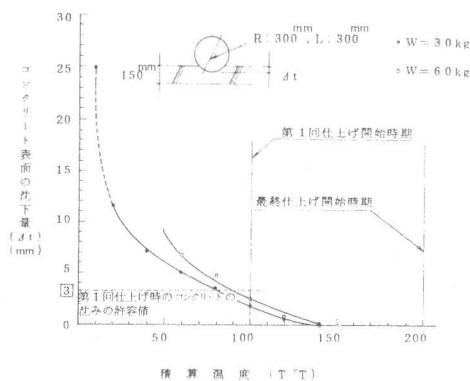


図-6 積算温度とコンクリート表面仕上げ時期との関係

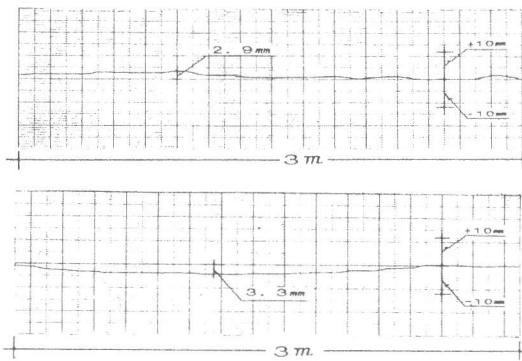


図-7 直仕上げ床面の精度測定結果