

## 技術報告

UDC 681.128.6 : 621.74.047 : 621.746.27

## 電磁測温式モールドレベル計を用いた自動鋳込み

吉原 晃代\*・井出上和夫\*・関口 保明\*<sup>2</sup>鈴木 史郎\*<sup>2</sup>・西村 統\*<sup>2</sup>・佐々木邦政\*<sup>2</sup>

## Automatic Casting System Using Electromagnetic Mold Temperature Detector

Akishiro YOSHIHARA, Kazuo IDEUE, Yasuaki SEKIGUCHI

Shiro SUZUKI, Osamu NISHIMURA, and Kunimasa SASAKI

## Synopsis :

This paper describes the newly developed mold level control system and the ladle valve control system, both of which are greatly contributing to the automatic operation of the continuous casting machine.

## (1) New type of mold level control system

The new type of mold level control system employs the non-contact type thermo-sensors instead of the conventional thermocouples to detect the steel level in the mold. The steel level change in the mold is detected by a permeability change of the thermo-sensitive magnetic materials attached to the mold wall; Easy maintenance of the mold is now possible without taking care of the thermo-couples.

## (2) Withdrawal speed control system

The flow rate of molten steel through the slide valve of the ladle is calculated and controlled by means of micro-computer taking the withdrawal speed of cast strand as an input. Thus, in comparison with the conventional ladle slide valve control, this system can avoid the load cells on the tundish car, and brings about an advantage on both of the maintenance and the cost.

## 1. 緒 言

連続鋳造設備(以下、連鋳設備と略す。)の自動化は省力の効果だけでなく歩留り向上や品質向上の面でも重要な技術であることが広く認識され、近年この需要は増大の一途といえる。

このうち、鋳込床における操業の自動化は省力と事故率低減の効果が特に大きく各種のシステムが採用されている。例えばモールド内容鋼レベル検出には、 $\gamma$ 線方式や熱電対方式が多く用いられている。しかし前者は応答性、精度の点ですぐれているが安全性の点で問題があり、後者は安全性の点ですぐれているが熱電対の埋め込みや取り扱いの面で問題がある。

またレードルバルブの制御は、レードルオペレータによる手動操作か、タンディッシュの荷重をロードセルで検出し注湯流を制御する方式が一般的である。

しかし、ロードセルなどの新たな検出装置が必要であ

り、またタンディッシュ荷重を一定に制御するだけでは、タンディッシュノズルのつまりまたは溶損によつて引き抜き速度は必ずしも一定とならない欠点がある。

本報告は、このような問題点を解消し単純なシステムでかつ安定した操業が得られるような自動鋳込み技術に関しその実施内容と操業結果をまとめたものである。

主な内容は次のとおりである。

(1) モールド内の溶鋼レベル検出には、非接触形の電磁測温方式を採用し、モールド交換を容易にした。

(2) 引き抜き速度を制御信号として用い、マイクロコンピュータ(以下、マイコンと略す。)による演算処理で、設定引き抜き速度に対応してレードルバルブの開度を調整する制御システムとした。

## 2. 自動鋳込みシステム

## 2.1 制御システム概要

自動鋳込みシステムは、Fig. 1 に示すように鋳込み速

昭和 55 年 10 月 29 日受付 (Received Oct. 29, 1980)

\* 三菱重工業(株)広島研究所 (Hiroshima Technical Institute, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 4-6-22 Kanonshinmachi Nishi-ku Hiroshima 733)

\*<sup>2</sup> 三菱重工業(株)広島造船所 (Hiroshima Shipyard and Engine Works, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.)

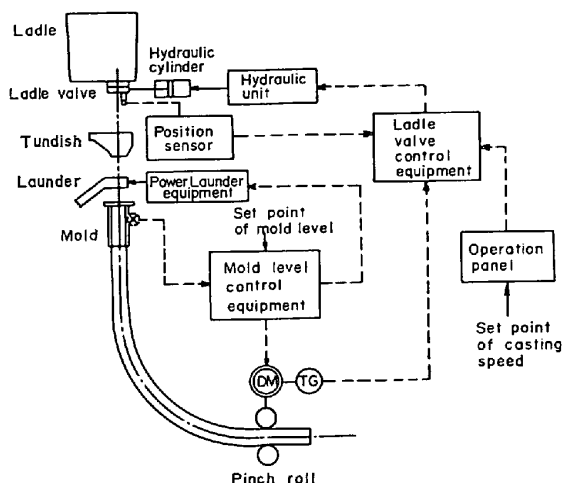


Fig. 1. Automatic casting system.

度を一定にするためのレードルバルブ制御装置、モールド内溶鋼レベルを一定にするためのモールドレベル制御装置、オーバフロー及びブレイクアウトによる被害を最少にいとめるためのパワーラウンダ装置<sup>1)</sup>から構成されている。

## 2.2 レードルバルブ制御装置

### 2.2.1 制御法の概要

連鋳設備において、レードル内の溶鋼はレードルバルブを介してタンディッシュに注入される。タンディッシュにたまつた溶鋼は、タンディッシュ内の溶鋼高さの平方根に比例した速度でタンディッシュノズルからモールドに注入される。この注入量はモールド内溶鋼レベルがモールドレベル制御装置により一定に保持されていれば、引き抜き速度の変化として検出できることに着目し、引き抜き速度を検出してマイコンにて演算処理し、引き抜き速度設定値に対応するレードルバルブの開度を調節する。したがって引き抜き速度が目標値からはずれごとに最適な開度を保つための計算を行い、引き抜き速度を一定に保つものである。

### 2.2.2 機能

#### (1) 引き抜き速度制御

ピンチロールの引き抜き速度信号を1s周期でサンプリングし、引き抜き速度が目標からはずれごとにレードルバルブの最適開度を再計算し、修正する。引き抜き速度設定値は制御開始時の実速度をロックオンして、自動運転への滑らかな移行ができるようになっていいる。なお設定値の変更はオペレーションパネルから任意に行うことができる。

#### (2) 代表ストランド制御

前記制御に用いる引き抜き速度信号は1つのストランドで代表させ、この代表ストランドは自由に選択できる。

またブレイクアウトなどによりモールド内溶鋼レベルに異常が発生すると、自動的に代表ストランドが切り替わるようになっていいる。

タンディッシュノズルのつまりまたは溶損によりストランドごとに引き抜き速度に差が出るが、この場合、操業上注意を要するストランド(たとえば溶鋼温度が高い場合には引き抜き速度が一番速いストランド)を代表ストランドに選択することにより、安定した操業ができる。

### (3) 自動スタート

レードルバルブをスタート指令によつて全開とし、タイマーによつてタンディッシュ内溶鋼量を所定量に設定した後、レードルバルブを使用回数による摩耗を考慮した初期開度までもどすようになっていいる。

### 2.3.3 特徴

一般に、レードルバルブ制御装置はタンディッシュ荷重をロードセルなどにより検出し、レードルバルブを制御する方式がとられている。しかしながら比較的設備投資の少ないピレット連鋳設備においてはこれらロードセルが設置されない場合が多い。ここに、本装置は制御信号として引き抜き速度を採用することによりロードセルの設置されない連鋳設備においてもレードルバルブ制御を可能にした。

本制御では、制御信号として引き抜き速度を採用し、演算装置としてマイコンを導入することにより、以下に示すような性能を向上させることができた。

(1) 従来の手動運転に対し、レードルオペレータが不要となる。

(2) 検出信号として引き抜き速度を採用したため、ロードセルが不要となり、装置の構成が簡単となる。

(3) タンディッシュ荷重によつて制御する方法に比べて引き抜き速度設定値変更が容易である。

(4) マイコン導入によつてレードルバルブの最適開度を求めることが可能となり、レードルバルブの作動回数を最小限に押えることができ、同バルブの長寿命化がはかれる。

(5) 引き抜き速度変動が少ないため、品質向上および操業の安定化がはかれる。

## 2.3 パワーラウンダ装置

### 2.3.1 制御法の概要

本装置はモールドレベル制御装置と併用し、レベル上昇による「レベル上限」、ブレイクアウトによる「レベル下限」の信号によつてエアシリンダーを作動させてラウンダを自動的にそう入し、前記トラブルに対する被害を最少限にいとめるものである。

### 2.3.2 特徴

本装置の特徴としては次のものが挙げられる。

(1) モールドのオーパフローが未然に防止でき、またブレイクアウト事故に対してはその被害を最少限にとどめられ、操業の安定化がはかれる。

(2) モールドオペレータの削減がはかれる。

## 2.4 モールドレベル制御装置

### 2.4.1 レベル検出法

#### (1) 原理および構造

モールド壁温測定からレベルを検出するものであるが本検出法では、モールド壁温を非接触で測定する電磁測温法を用いている<sup>2)</sup>。

その原理は Fig. 2 に示すようにモールド壁の冷却水側表面に感温磁性体を接着し、それと対向して検出コイルを取付ける。この検出コイルに交流電流を流すと電磁誘導作用によつて感温磁性体に渦電流が流れるが、この渦電流が溶鋼レベル変化にともなうモールド壁温変化によつて変化し、結果的に検出コイルのインピーダンス変化となる。したがつて検出コイルのインピーダンスを測定すれば溶鋼レベルを検出することができる。

モールド壁に接着する感温磁性体はモールドの壁温変化範囲、熱伝導性、加工性を考慮して整磁合金「MS-2」<sup>3)</sup>

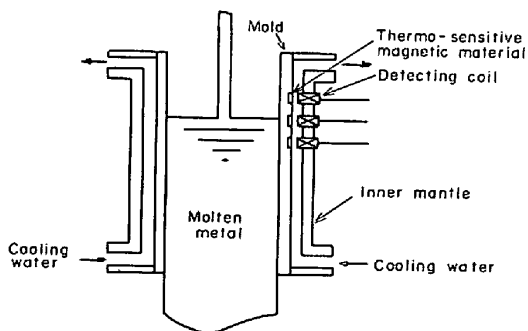


Fig. 2. Principle of electromagnetic temperature measuring method.

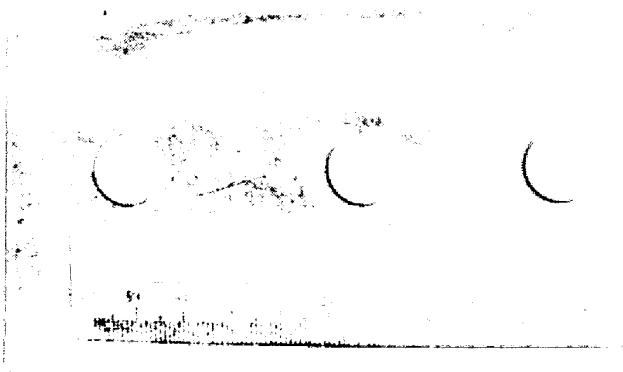


Photo. 1. Adherence of thermo-sensitive magnetic material on mold.

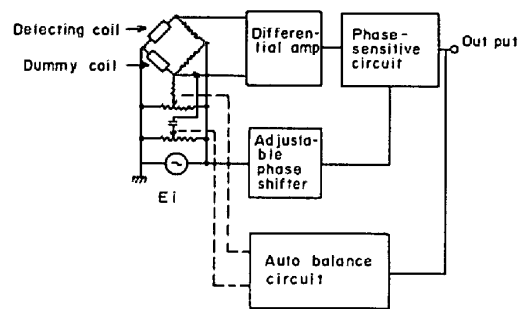


Fig. 3. Block diagram of temperature measurement.

を使用した。

モールド壁への感温磁性体の取付は爆着法を用い、Photo. 1 に取付状況を示す。なお感温磁性体の寸法は  $\phi 15 \times 0.5t$  である。

モールドへ取り付けした感温磁性体は連铸設備の稼動中モード振動およびレベルの変化によつて熱応力を受けるが、前記取り付け法はモールドの寿命まで十分耐えることができる。

#### (2) 信号処理および制御法

検出コイルのインピーダンス変化を電圧信号に変換するために Fig. 3 に示すような回路を用いた。

本回路ではブリッジ回路をバランスさせたあと、検出コイルのインピーダンス変化を測定するようにしているため、モールド内に溶鋼がない状態においてブリッジ回路をバランスさせる必要があるが、この調整を簡単にするため、サーボモータを用いた自動バランス回路を設けている。

以上のようにしてモールド壁温を測定するが、1点の測温で検出できるレベル検出範囲が狭いので上下方向について3点測定し、温度信号を合成している。

この方法は従来の熱電対式と同一でマイコンを用いて行っている<sup>4)</sup>。また制御法も熱電対式と同様に引き抜き速度を調整する方式である。

## 3. 操業結果

### 3.1 レードルバルブ制御

Fig. 4 に実操業結果を示す。結果からわかるように設定値に対し、 $\pm 5\%$ 以内の速度変動幅で制御でき、またレードルバルブの作動回数も少なく、よい結果が得られた。

### 3.2 モールドレベル制御

#### 3.2.1 レベル検出器の信号

Fig. 5 に示すようなコイル信号は安定しており、鑄込み前後の零点移動が非常に少ないことがわかる。

このためコイル信号増幅器のバランス調整はモールド

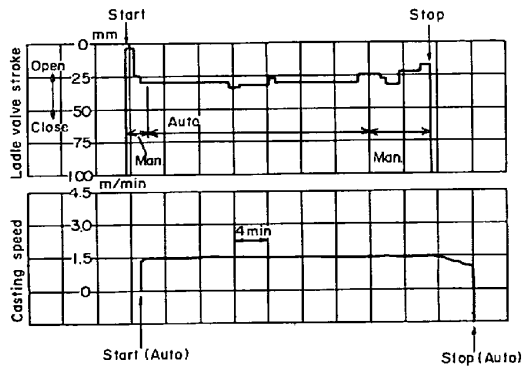


Fig. 4. Ladle valve and casting speed control.

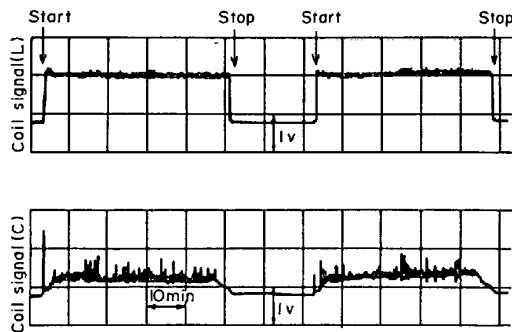


Fig. 5. Record of coil signals.

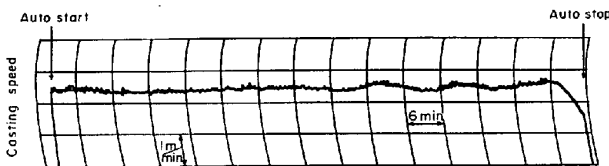


Fig. 6. Record of automatic casting.

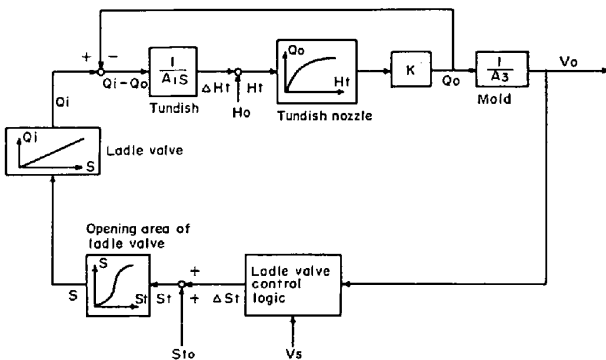


Fig. 7. Simulation diagram of ladle valve control.

交換時を除いては2～3日に1回程度チェックすればよいことがわかった。

3.2.2 モールドレベル制御

Fig. 6 に自動スタートから自動ストップまで制御した結果を示す。

Fig. 6 からわかるように、スタート時の過渡的な変化にも十分追従し、安定性も非常によいことがわかる。

Table 1. Specifications of simulation model for ladle valve control system.

Items	Symbol	Specification
Metal flow rate from ladle to tundish	$Q_i$	
Metal flow rate from tundish to mold	$Q_0$	
Cross sectional area of tundish	$A_1$	1.4m <sup>2</sup>
Initial value of tundish level	$H_0$	400 mm
Tundish level	$H_t$	
Number of operating strands	$K$	1.0 at 4 strands
Mold sectional area	$A_3$	120 mm × 120 mm
Casting speed	$V_0$	
Set value of casting speed	$V_s$	2.8m/min
Initial value of ladle valve position	$S_{t_0}$	25 mm
Ladle valve position	$S_t$	
Opening area of ladle valve	$S$	
Tundish nozzle sectional area		φ 17 mm

4. 考 察

4.1 レードルバルブ制御系の追従性

レードルバルブ制御系における通常鋳込み中での種々の外乱に対する制御性を大型計算機 CDC/CYBER 173 を用いたシミュレーションにより確認した。

Fig. 7 に本シミュレーションに用いたレードルバルブ制御系を示す。シミュレーションでの制御系の各定数は Table 1 に示す値を使用した。

4.1.1 運転ストランド数の変更

ブレイクアウトなどにより、運転ストランド数が減少した場合、タンディッシュからモールドへの溶鋼注湯量が急激に変化するが、この外乱に対する追従性を確認した。

シミュレーションにおいては  $K=1.0$  から  $K=0.5$ 、すなわちストランド数を4から2ストランドに減少させたときの、引き抜き速度の変化を Fig. 8 に示す。Fig. 8 から引き抜き速度のアンダーシュートは不感帯から  $-0.02$  m/min となっているが、速度変化としては非常に小さいといえる。

4.1.2 設定値の変更

通常鋳込み中に引き抜き速度設定値を変化させたときの引き抜き速度の追従性を確認した。

Fig. 9 に  $V_s=2.8$  から  $3.1$  m/min に変化させた

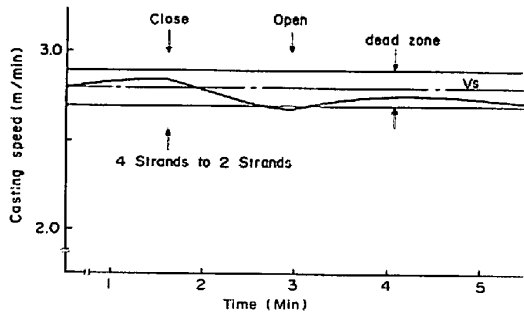


Fig. 8. Influence of operating strand number.

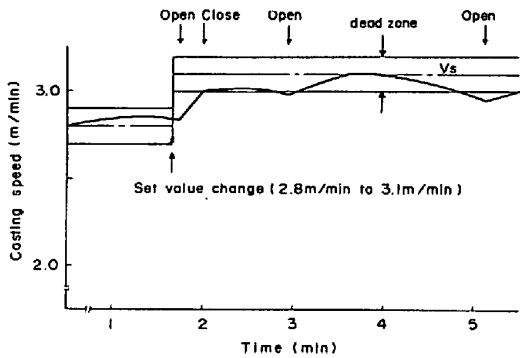


Fig. 9. Influence of set value change.

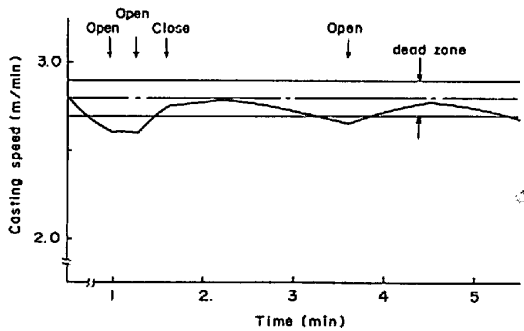


Fig. 10. Influence of ladle valve initial position error.

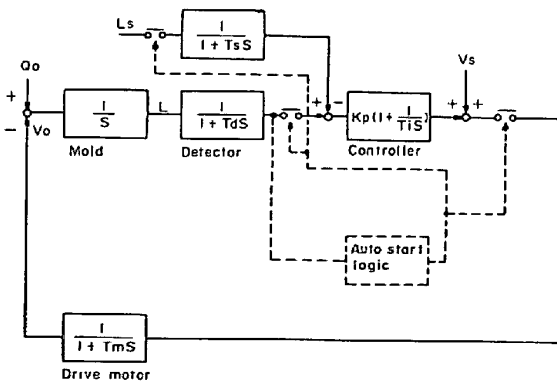


Fig. 11. Simulation diagram of molten metal level control.

きの応答を示す。結果から、約 2 min 後に不感帯に入り、オーバershootもなく安定した速度が得られている

ことがわかる。

4.1.3 初期ノズル開度の誤差

自動運転を開始した際、ノズル開孔面積が引き抜き速度設定値に対して大きくずれていることに対する追従性を確認した。

シミュレーションでは  $S_{v_0}$  を最適ストロークに対して 7 mm 閉めすぎとした。

Fig. 10 に結果を示し、引き抜き速度のアンダーシュートは不感帯  $-0.1$  m/min を越えてから約 3 min で整定していることがわかる。

4.2 モールドレベル制御系の追従性

モールドレベル制御において自動スタート時と通常 casting 込み中でのタンディッシュノズル径変化などによる速度変化が外乱となり、これらの制御性が重要である。そこで、これらの状態における制御性をアナコンを用いてシミュレートした。Fig. 11 にシミュレーションに用いたモールドレベル制御系を示す。またシミュレーションにおいて、制御系の各定数は制御機器の仕様及び実測値をもとにして Table 2 に示す値を用いた。

4.2.1 自動スタート

自動スタートは溶鋼レベルがレベル検出器の下限を越えたところでピンチロールを起動する。この時の引き抜き速度  $V_0$  はタンディッシュからモールドへの注湯量  $Q_0$  の予測値  $V_s$  で決まる。

そこで  $Q_0$  が  $V_s$  と等しくなるようにするのが基本であるが、スタート時のタンディッシュレベル及び溶鋼温度などによつて  $Q_0$  のばらつきが生じて  $Q_0 \neq V_s$  となつたときの状態をシミュレートした。

(1)  $Q_0 = V_s$  のときの制御性

Fig. 12 に示すように  $Q_0$  をステップ的に与えたと

Table 2. Specifications of simulation model for mold level control system.

Items	Symbol	Specification
Set value of casting speed	$V_s$	3 m/min
Level detecting range		50~150 mm from top of mold
Time constant of level detector	$T_d$	1 s
Level set	$L_s$	100 mm from top of mold
Time constant of drive motor	$T_m$	1 s
Drive motor speed limit	$V_{0m}$	5 m/min
Mold level	$L$	
Casting speed	$V_0$	

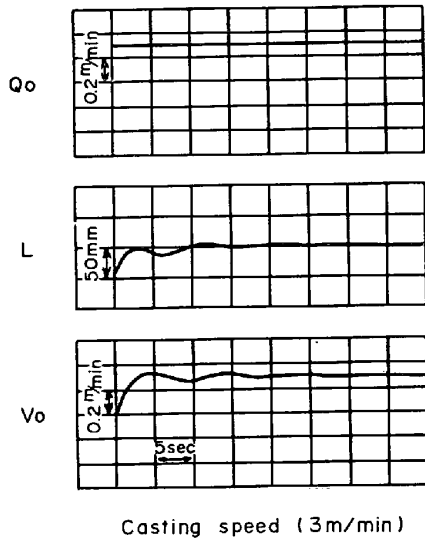


Fig. 12. Results of automatic starting simulation.

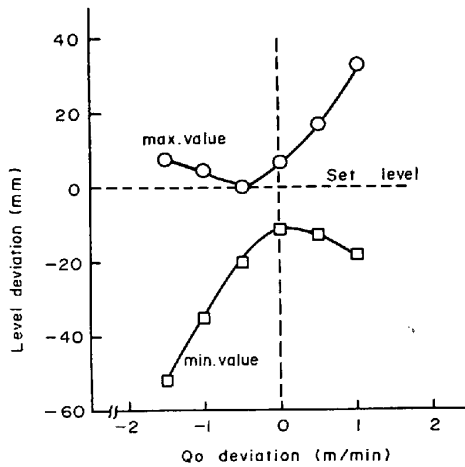


Fig. 13. Effect of  $Q_0$  deviation on level deviation at automatic starting ( $V_s=3\text{m/min}$ ).

き、レベルのオーバシュートは7mmで約15sでレベルが安定し、よいスタートができていることがわかる。

(2)  $Q_0 \approx V_s$  のときの制御性

Fig. 13に、 $V_s=3\text{m/min}$ に設定し、 $Q_0$ が予測からはずれた状態で自動スタートをしたときの過渡的状态でのレベル変化の最大及び最小値をプロットしたものを示す。

この図から、例えば $Q_0$ が予測から $-1\text{m/min}$ ずれた場合の自動スタート時のレベル変動は設定レベルに対し $-35\text{mm} \sim +5\text{mm}$ となることがわかる。

また、 $Q_0$ の変動上限は $+1\text{m/min}$ となつたが、これはレベルが32mmまで上昇した直後、引き抜き速度がモータの上限速度(5m/min)に達したためである。

以上の結果から、 $Q_0$ の予測からのずれが $-1.4 \sim +1\text{m/min}$ の範囲ならば安定した制御が可能であり、実操業に十分適用できることがわかつた。

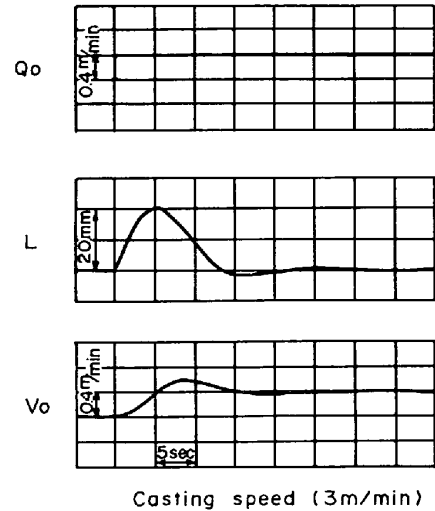


Fig. 14. Results of simulation at time of automatic starting.

4.2.2 通常鋳込み時の制御性

Fig. 14に $Q_0$ のステップ変化に対するレベルの変化を示す。結果から、 $Q_0=0.4\text{m/min}$ のステップの上昇に対して、レベルが20mm上昇していることがわかつる。

したがつて、レベル変化が $\pm 50\text{mm}$ のレベル検出範囲におさまる $Q_0$ の変化幅は $\pm 1\text{m/min}$ である。

5. 結 言

5.1 レードルバルブ制御

(1) 検出信号として引き抜き速度を採用したため、ロードセルが不要となり、装置が簡単となつた。

(2) マイコンの導入によつて、レードルバルブの最適開度を求めることが可能となり、同ノズルの作動回数を最少限に押さえることができた。この結果、レードルバルブの長寿命化がはかれる。

(3) 本装置の採用により、レードルオペレータが不要となる。

5.2 モールドレベル制御

(1) モールド壁に感温磁性体を接着し、その透磁率変化を非接触の検出コイルで測温する方法は $S/N$ 比及び安定性もよく、実用上十分使用できる。

(2) 感温磁性体の接着は爆着法によつてモールドの寿命までの耐久性を得ることができた。

(3) モールド壁からのリード線がでないので、モールド交換が容易である。

(4) 制御性については自動スタート及び通常鋳込み時に予想される外乱に対して十分対応することができると。

以上述べたレードルバルブ制御、モールドレベル制

御, パワーラウンド制御を組み合わせることにより, 鋳込み操業における省力化が一層進み, 無人操業も可能となつている.

文 献

1) 新日鉄実用新案: 実公昭 48-32899

- 2) 藤川安生, 佐々本邦政, 吉原晃代, 井出上和夫, 大屋正志: 三菱重工技報, 14 (1977) 1, p. 128
- 3) 住友特殊金属カタログ: 整磁合金
- 4) 藤井総一郎, 杉田泰伸, 松永有三: 計測技術, 4 (1976) 9, p. 84