

## 技術報告

## 取鍋内張りの流し込み施工法の開発

田口喜代美\*・西 正明\*<sup>2</sup>・森下 紀明\*<sup>3</sup>  
三橋 博\*<sup>4</sup>・吉野 茂雄\*<sup>5</sup>

## Development of Casting Process for Ladle Relining

Kiyomi TAGUCHI, Masaaki NISHI, Noriaki MORISHITA,  
Hiroshi MIHASHI, and Shigeo YOSHINO

## Synopsis :

In recent years, operating conditions of steel making process have become very severe to ladle lining refractories. Meeting with such conditions, a development have been made on a new lining process for ladle, CL-L process (Cast Lining of Ladle). This process has been in regular use in large steel ladles.

It is a process in which materials added with a small amount of water are charged uniformly through a cone chute and revolving chute, given fluidity by a former with vibrators and cast to form a uniform monolithic lining. In order to reduce the curing time, this method equips the heat curing equipment.

Introducing this method, the ladle life has risen by 3 to 45% and the specific refractory consumption has reduced by 11 to 22% in comparison with the slinger process.

## 1. 緒 言

日本鋼管(株)福山製鉄所は、品川白煉瓦(株)と共同で取鍋の内張り施工用に、過去 10 年間実施してきたスリッパ法にかわり、新たに流し込み法を開発した。これを CL-L 工法 (Cast Lining of Ladle) と称し、180 t, 250 t, 320 t の大型取鍋に実施している

以下にこの開発経緯を報告する。

## 2. 流し込み施工導入の背景

Fig. 1 に流し込み施工導入の背景を図示する。取鍋の具備条件として、(1) 長寿命で鍋運用を円滑にし、かつ安定させること、(2) 耐火物単位が低いこと、(3) 施工時間が短く、施工費も安いこと、などが上げられる。しかしながら、今後製鋼プロセスは非常に多様化、複雑化すると考えられる。例えば、(1) 連铸比率、脱ガス比率の増加、(2) 取鍋精錬装置の導入、および (3) 溶鋼輸送、などがあげられる。いずれも出鋼温度の上昇、鍋内溶鋼滞留時間の延長をもたらすので、取鍋耐火物に

とつて苛酷な使用条件になる。そのさいスリッパ法施工で今のような安定した操業、取鍋成績が確保できるかが問題となつた。

過去 10 年のスリッパ法施工における材料、施工技術の改善により現在の取鍋成績はほとんど頂点に達しているので、飛躍的な改善は望めないと考えられた。

それでは今後、どのような施工法で対応してゆくか。取鍋施工には、れんが施工および不定形耐火物施工が考えられるが、れんが施工では、築炉工の整員体制と省力化および省エネルギー化が難しい。

一方、近年、不定形耐火物施工としての流し込み技術の進歩はめざましく、その適用範囲も拡大してきている<sup>1)2)</sup>。福山製鉄所においても、昭和 53 年から取鍋内張りの施工法として、流し込みの基礎研究および実鍋での確認テストを開始した。流し込み法の特徴としては、(1) 高充填の均質な施工体が得られる、(2) 肉盛施工が可能である、(3) 施工時間が短い、などがあげられる。流し込み法は、スリッパ法に比べ、材料選択に制約がなく、寿命延長および耐火物原単位の低減の可能性が大

昭和 56 年 11 月本会講演大会にて発表 昭和 57 年 3 月 15 日受付 (Received Mar. 15, 1982)

\* 日本鋼管(株)京浜製鉄所 (Keihin Works, Nippon Kokan K.K.)

\*<sup>2</sup> 日本鋼管(株)技術研究所福山研究所 (Fukuyama Laboratories, Technical Research Center, Nippon Kokan K.K.)

\*<sup>3</sup> 日本鋼管(株)福山製鉄所(現: 日本鋼管(株)京浜製鉄所) (Fukuyama Works, Now Keihin Works, Nippon Kokan K.K.)

\*<sup>4</sup> 日本鋼管(株)福山製鉄所 (Fukuyama Works, Nippon Kokan K.K., 1 Kokan-cho Fukuyama 721)

\*<sup>5</sup> 品川白煉瓦(株)技術研究所 (Technical Research Center, Shinagawa Fire Brick Co., Ltd.)

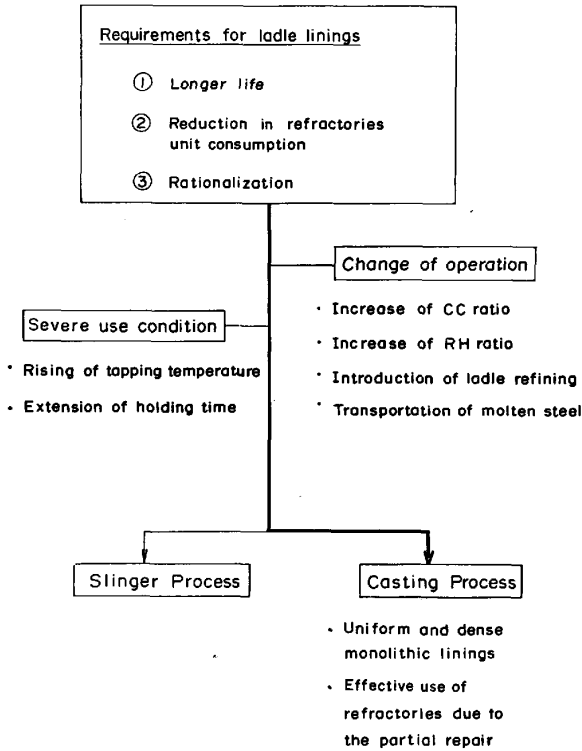


Fig. 1. Background on introduction of casting process.

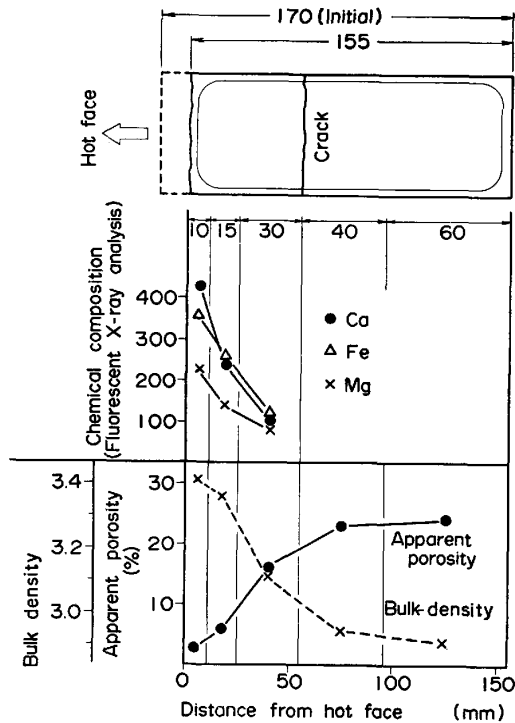


Fig. 2. Properties of cast lining material after use at 250 t ladle middle-side wall.

である。

そこで昭和 55 年から本格的に流し込み法の開発を進めた。

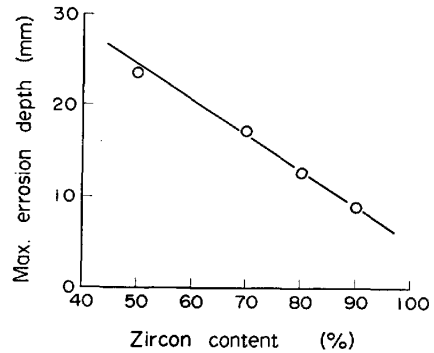


Fig. 3. Effect of zircon content on the erosion of refractories by slag.

### 3. 材 料

操業条件の最も苛酷な 250 t 取鍋用の流し込み材料として、スリンガー法で実績のあるジルコン系材料の開発を行った。

#### 3.1 損傷機構

250 t 取鍋の操業条件は、溶鋼温度 1660~1680°C、溶鋼滞留時間 2~3 h、連铸比率 93%、RH 比率 25% で保温蓋は使用していない。

本取鍋の損傷の主因は；(1) スラグラインにおいてはスラグによる溶損、(2) その他の側壁（以下一般壁と称す）においては剝離である。この剝離損傷は熱負荷の大きい下部より起こり、次第に上部へと移行してくる。この状況および剝離損傷の認められる使用後材料の化学成分、および物性を Fig. 2 に示す。

これより、スラグの侵入は 30 mm 以下と薄く、その量も少ない。また、背部にはき裂を認めない。一方、稼働面から 50 mm 程度までの気孔率が低下しており、背部にき裂の発生を認める。これらの点より損傷の原因は、構造的スポーリングよりむしろ片面加熱後の組織の不均一性に基づく熱的スポーリングである。すなわち 50~60 mm 程度の厚さの焼結層が冷却時に収縮し、その背部の未焼結層との間に発生する引張応力により、加熱面に平行なき裂が発生したと考えられる。

#### 3.2 材料の改善

Fig. 3 に示すようにジルコン含有量の増加とともに耐食性は向上するので、スラグラインの溶損に対しては、ジルコン約 90% のジルコン系流し込み材を開発した。一方、剝離損傷に対する材料改善として、片面加熱での組織の均一化を指向した。高温域での焼結を抑制するには、マトリックス部の不純物の含有量および材料粒度が重要である。すなわち、Fig. 4, Fig. 5 に示すようにマトリックス部の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> および CaO 含有量が増加すると収縮が大きくなり強度が増加する。この CaO の影響は

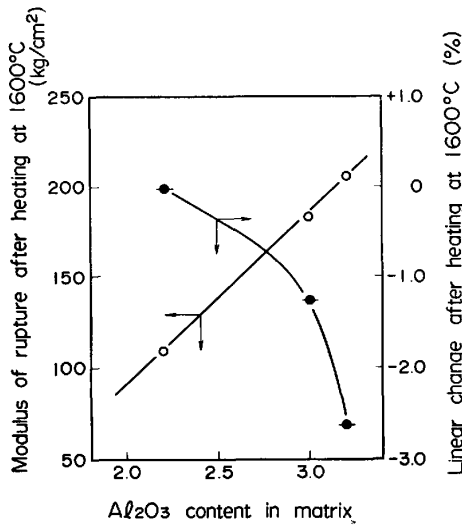


Fig. 4. Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content in matrix on sintering.

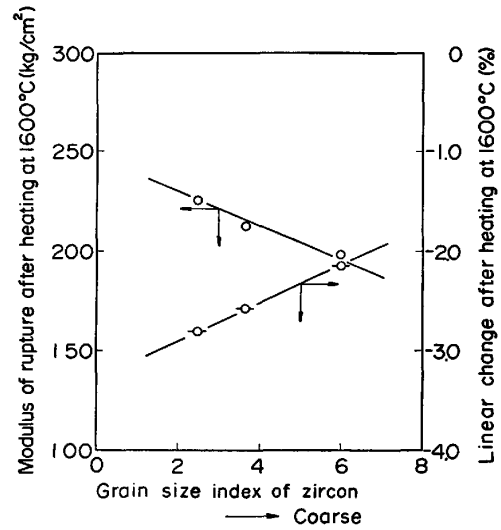


Fig. 6. Effect of grain size of zircon on sintering.

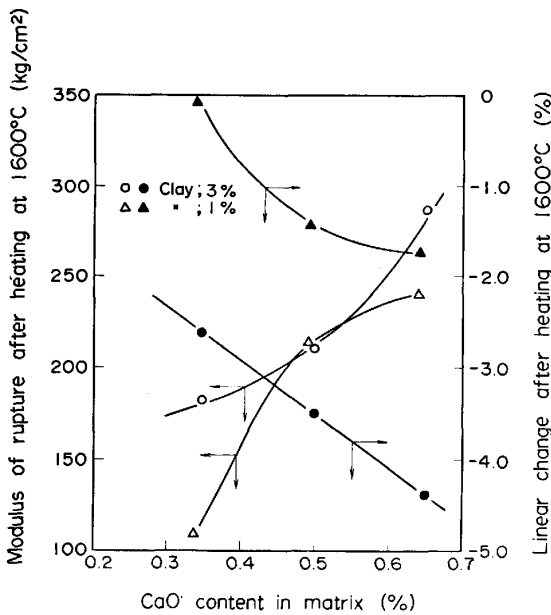


Fig. 5. Effect of CaO content in matrix on sintering.

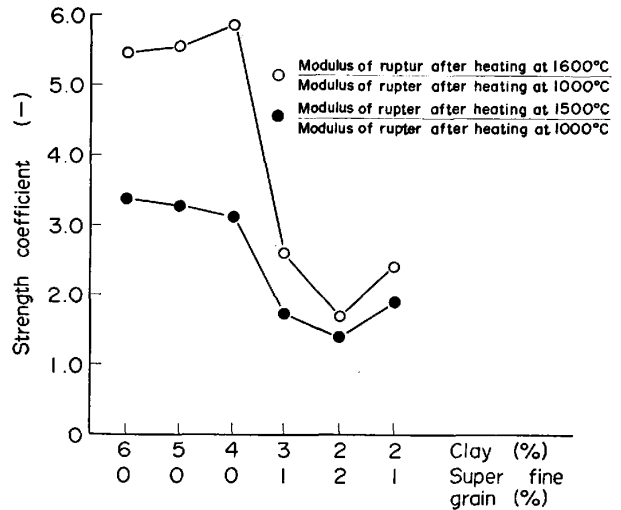


Fig. 7. Effect of clay and super fine grain on strength coefficient.

粘土の多い系で著しい。また Fig. 6 はマトリックス部のジルコン粒度が細かくなると収縮が大きくなり、強度が増加することを示している。このことより流し込み材については、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO 源となるバインダーの粘土およびアルミナセメントの低減が必要である。しかし、これらを低減すると逆に中間温度域の強度劣化を生じ、組織の均一性を損う。これを解決すべく、焼結性におよぼす粘土および SiO<sub>2</sub> 系超微粉の影響を検討した。その結果を Fig. 7 に示す。これより、粘土の一部を SiO<sub>2</sub> 系超微粉で置換すると、曲げ強さ比 (1500°C 加熱後の曲げ強さ/1000°C 加熱後の曲げ強さ) あるいは (1600°C 加熱後曲げ強さ/1000°C 加熱後曲げ強さ) が小さくな

り、組織が均一化した。Table 1 に代表的材料の品質特性を示す。

### 3.3 実用テスト結果

現在常用している材料は、けい石-ジルコン質であり、スラグラインにはジルコン 90% 級を、一般壁にはジルコン 70% 級をゾーンライニングしている。Photo. 1, 2 に 250 t 取鍋の使用後耐火物の切断面組織を示す。

これより (1500°C 加熱後の曲げ強さ/1000°C 加熱後の曲げ強さ) = 1.83 の材料 B は、3.92 の材料 C に比べ稼働面から背面にかけて均一な組織を呈している。またき裂の発生も見られない。さらに、Photo. 3 の顕微鏡写真に示すように、微粉部と粗粒部の結合も強固である。

## 4. 設 備

Fig. 8 に CL-L 工法の設備概要を、Table 2 に主要

設備の仕様を示す。

4.1 ミキサー

取鍋用に比較的多量の流し込み材を短時間に混練し、流し込みを完了するためには、強い攪拌力を有するミキサーが必要であり、上部掻き羽根回転式ミキサー（容量 1 m<sup>3</sup>、約 1.5 t 混練可能、60 t/h）を採用した。Photo. 4 に外観写真を示す。

4.2 材料および混練材の搬送装置

ミキサーと結合して短時間で施工するために、搬送能力 max. 60 t/h、ベルト幅 600 mm のベルトコンベアを採用した。Photo. 5 に材料搬送→ミキサー→混練材搬送、各装置の設置状況を示す。

Table 1. Typical properties of casting materials for 250 t ladles.

Item	Material	A	B	C
Chemical composition (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.1	1.6	5.3
	SiO <sub>2</sub>	35.7	50.2	45.3
	ZrO <sub>2</sub>	60.5	46.6	46.6
Linear change (%)	1000°C x 3hrs	-0.16	+0.63	+0.69
	1500°C x 3hrs	-0.53	+1.81	+1.66
Modulus of rupture (kg/cm <sup>2</sup> )	1000°C x 3hrs	26	23	12
	1500°C x 3hrs	94	42	47
Apparent porosity (%)	1000°C x 3hrs	23.9	23.0	20.8
	1500°C x 3hrs	21.4	24.3	24.4
Strength coefficient (after heating at 1500°C)	"	—	1.83	3.92
	"			
Water content (%)		60	60	67
Remarks	for slag line use	life $\bar{x}$ =100ch no thermal spalling	life $\bar{x}$ =62ch thermal spalling occurred	

4.3 混練材投入装置

混練した材料を取鍋に均一に投入するため、コーンシュートの頂部に旋回シュートを取り付けた連続投入可能な装置を開発した。Photo. 6 に外観写真を示す。

4.4 施工枠

施工体をより均一に、より簡単な操作（省力化）で充

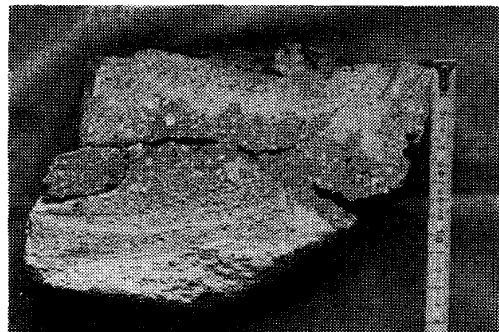


Photo. 1. Cross section of castable C after 62 heat service (Strength coefficient : 3.92).

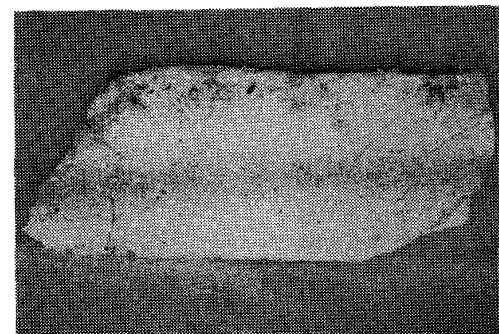


Photo. 2. Cross section of castable B after 63 heat service (Strength coefficient : 1.83).

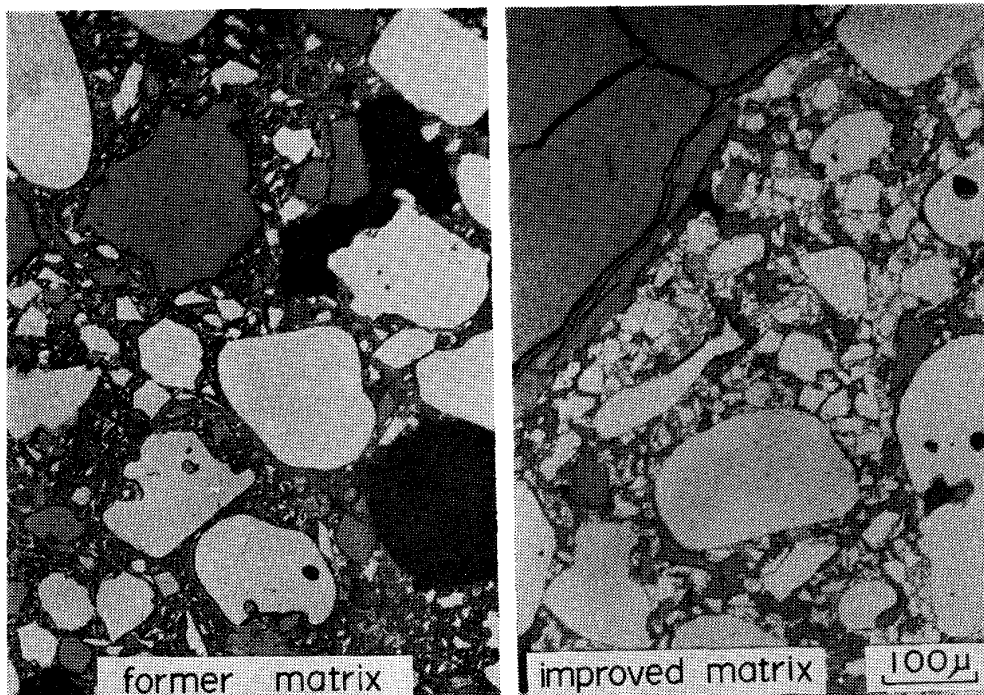


Photo. 3. Microstructure of ladle castable.

Table 2. Specifications of main equipment.

Process	Equipment	Specification	Purpose
Conveying material to mixer	Belt conveyer	Capacity : max. 60t/hr.	Labor saving
Mixing	Mixer	Volume : 1 m <sup>3</sup> Type : rotating scraper	Reinforcement of mixing ability
Conveying mixed material	Belt conveyer	Capacity : max. 60t/hr.	Labor saving
Charging and forming	Revolting chute	Size : 1200 <sup>L</sup> x 800 <sup>W</sup> Revolution : 12 r.p.m	Uniform distribution
	Cone chute	Slope angle : 50°	For easy removal
	Former	Side movable Vibrator equipped Heating equipment for curing	Uniform forming Saving of curing time

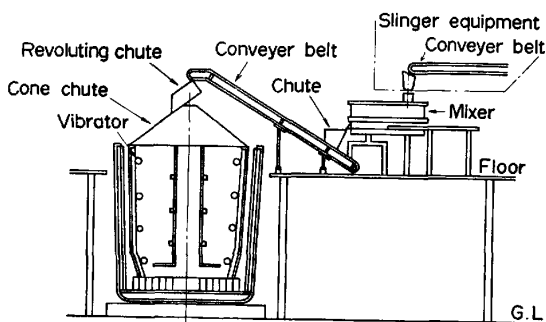


Fig. 8. Outline of CL-L Process.

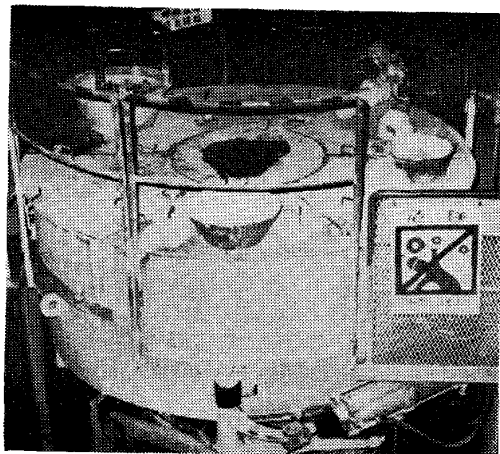


Photo. 4. View of mixer.

填させるために、アンバランス 錘り回転式振動機を 16 台設置し、また早期硬化および乾燥時間短縮のため、熱風誘導機構を内蔵した施工枠を開発した。

## 5. 施工技術

CL-L 工法における施工プロセスは、主として ①枠セット→②材料混練→③混練材投入→④枠振動→⑤加熱養生→⑥脱枠→⑦乾燥から成る。ただし ①短時間施工 ②省力化 ③均一な施工体 ④短時間乾燥が必要である。こ



Photo. 5. Mixer and charging and discharging conveyor for casting materials.

のために重要と考えられる下記の 3 項目について検討した。

### 5.1 コーンシュートの付着性

流し込み材がコーンシュートに付着し、不規則に枠内に落下すると、施工体の組織が不均一になつたり、清掃を要したりするので、流し込み材の付着性は小さい方がよい。

水分量を少なくすることによつて付着性は小となるが逆に材料の流動性および均一な充填性が得られない。この矛盾はコーンシュートの傾斜角度を 45° から 50° に高めると解決できることを見出し、現在傾斜角 50° にて施工している。

Fig. 9 に、一例として、材料の添加水分量と傾斜角がコーンへの材料の付着性におよぼす影響を示す。

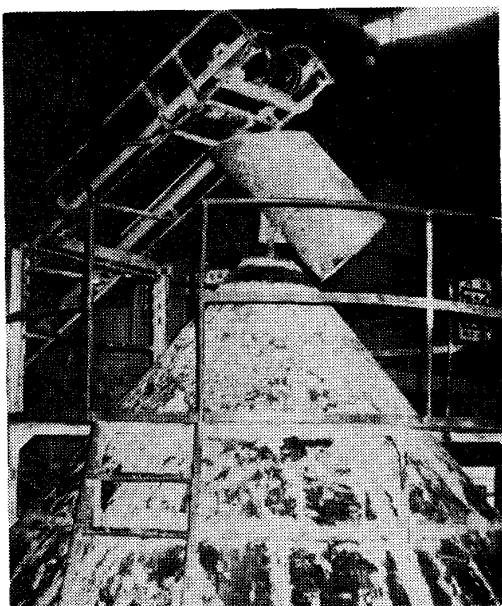


Photo. 6. Revolving and cone chute for material charging.

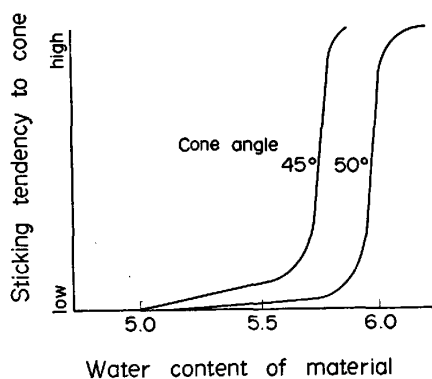


Fig. 9. Effect of water content of mixed material on sticking tendency to cone.

5.2 均一な充填性

流し込み施工で、当初棒状バイブレーターを使用し、ほぼ均一に充填させることができた。次いで施工の省力化および、より均一な組織体を得る目的で、振動機を枠に取り付ける枠振動方式を種々検討した。

枠振動方式により、従来の棒状方式に比べて施工能力は向上し、棒状バイブレーターの操作者3名を削除することが可能となった。

5.3 安定した早期硬化および短時間乾燥

施工時間短縮のためには、①早期硬化、②早期乾燥が必要である。まず早期硬化対策として硬化促進剤の添加を試みたが、硬化時間は気温により大きく左右される。特に冬期の硬化時間は長くなる。Fig. 10 に雰囲気温度7°Cと25°Cでの硬化促進剤を添加および添加しない場合の硬化特性を示した。

冬期での硬化を早めるため、硬化促進剤の増量を試みたが、施工時に凝結現象を生じたり、硬化時間のばら

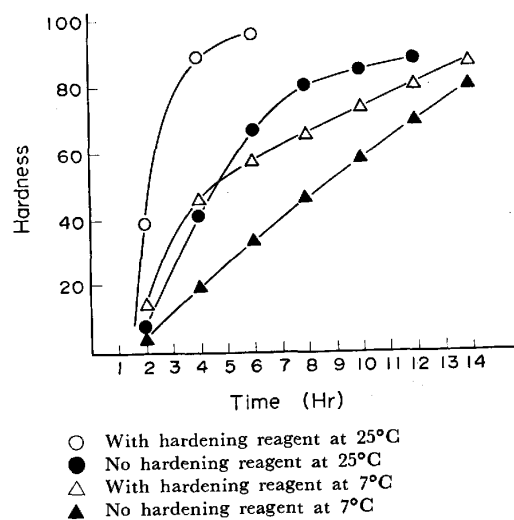


Fig. 10. Effect of hardening reagent and atmospheric temperature on curing time.

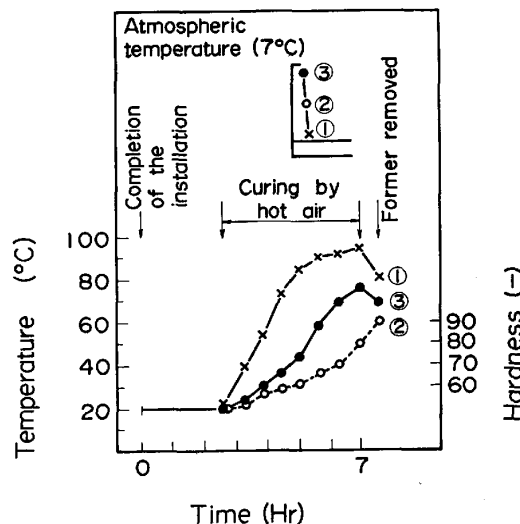


Fig. 11. Effect of curing by hot air on temperature and hardness of lining face.

つきを大きくしたり、また材料の耐食性を低下させる原因となった。

そこで気温の変化に左右されずに、短時間で硬化させる養生方法として熱風養生法を検討した。Fig. 11 に示すように熱風養生により脱枠までの時間は、冬期でも8h以内と大幅に短縮できた。この熱風養生の適用により養生時間の短縮のみならず、材料配合を年間を通して一定にでき、かつ施工は安定し、均一な施工体を得ることが可能となった。

このようにして、硬化促進剤の添加と熱風養生との併用は施工体の強度を高め、爆裂の危険を除去し、冬期の低温域での乾燥時間が短縮でき、夏期と同じ昇熱速度で乾燥できる効果がある。Fig. 12 に熱風養生が乾燥時間に及ぼす効果を示す。

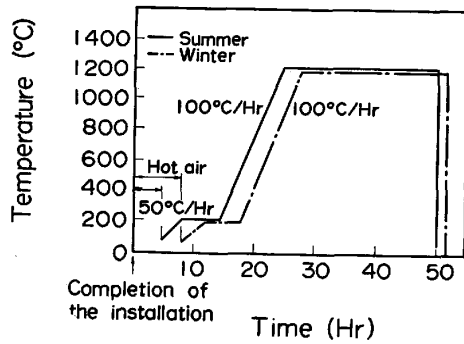


Fig. 12. Effect of curing by hot air on drying time.

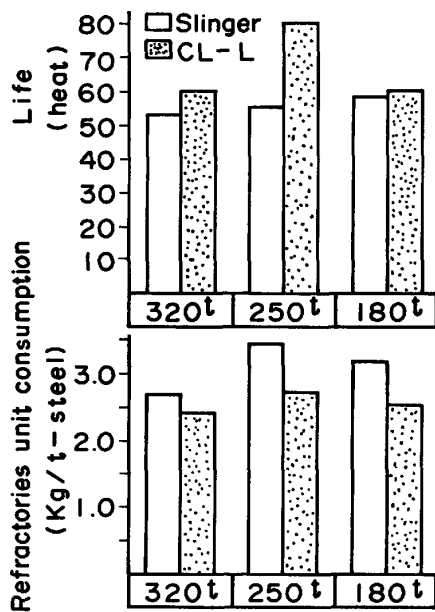


Fig. 13. Life and unit consumption of ladle refractories.

## 6. 使用実績

Fig. 13 に CL-L 工法による取鍋耐火物の寿命および原単位を示す。1, 2, 3 製鋼 (180 t, 250 t, 320 t) いずれもスリンガー法に比べて良い成績を示し、寿命が 3~46% 向上し、原単位は 11~22% 低減した。

## 7. 今後の開発計画

以上のように、ジルコン質については材質面、施工面について開発を完了した。しかしながら、今後高級鋼種および取鍋精錬鋼種は増加する傾向にあり、ジルコン質材料では介在物除去および耐用性延長の点で十分とは言えない。

そこで、高級鋼用として中性および塩基性の流し込み材料の開発を推進している。

## 8. 結 言

当社福山製鉄所では、今後の製鋼プロセスの変化と取鍋耐火物の寿命等について検討した結果、スリンガー法より流し込み法の方が優れているという結論に達し、品川白煉瓦(株)と共同で流し込み施工の開発を進めた。その結果、昭和 56 年 4 月には 180 t, 250 t, 320 t の全鍋について切り替えを完了した。

(1) 材質についてはジルコン 50~90% のものを開発し、250 t 鍋ではスラグラインに 90% のジルコン材、その他の側壁には 70% のジルコン材のゾーンライニングを行つている。

(2) 施工については CL-L 工法 (Cast Lining of Ladle) を開発し、均一施工のためには、コーンシュート旋回シュートの組み合わせおよび枠振動を採用している。夏期には硬化促進剤を、冬期にはそれと熱風との併用によつて養生時間を短縮し、乾燥も昇熱パターンを夏期と同一にすることができる。

(3) 寿命は、スリンガー法より 3~46% 向上し、原単位も 11~22% 低減した。

(4) 高級鋼用鍋に対応できる中性、塩基性の流し込み材料の開発を推進中である。

## 文 献

- 1) 京田 洋, 南波安利, 茅名秀機, 島田文比古: 耐火物, 30 (1978) 4, p. 218
- 2) 田中英雄, 永楽益夫, 古海宏一: 耐火物, 30 (1978) 4, p. 223