

## 技術報告

## 石炭粉の熱履歴による生型砂への影響

上林仁司\* 畝英生\* 黒川 豊\*  
太田英明\*\* 三宅秀和\*\*\*

## Influence of Heat-affected Sea Coal on Green Sand

Hitoshi Kambayashi\*, Hideo Une\*, Yutaka Kurokawa\*,  
Hideaki Ota\*\*, and Hidekazu Miyake\*\*\*

The characteristic of green sand changes as it is heated by pouring. Then, after experimental repeated pouring, the green sand composition, and its properties were measured, and the penetration defect caused in a test casting was detected. As a result, it became evident that the sea coal in green sand changed the condition by the heat influence. That is, the sea coal powder changed to adhere to sand surface as the total clay removal. After heating, the oolitics increased, the specimen density increased, and the scabbing time decreased. The penetration defect became difficult to occur when volatile matter in sea coal was more and ash in sea coal was less.

**Keywords** : sea coal, green sand, oolitics, penetration, scabbing time

## 1. 緒言

生型製造工場の約90%は石炭粉を使用<sup>1)</sup>している。生型砂に石炭粉を添加する目的は、注湯時に気化することで溝型と溶湯界面でガスフィルムあるいはラストラスカーボン<sup>2-4)</sup>を形成して焼付き欠陥を防止するとともに、鑄肌や型ばらし性を改善することである。また、鑄型内を還元雰囲気とすることでピンホール欠陥やドロス欠陥の対策<sup>5,6)</sup>として有効である。これまでに、新砂の生型砂に石炭粉を添加して生型砂特性を調査したものは数多く報告されている。しかしながら、石炭粉は注湯時に熱影響を受けた後、生型砂に残存<sup>7)</sup>し生型砂特性を変化させるが、これに関する詳細な調査はまれである。そこで、本研究では石炭粉を添加した新砂の生型砂に対して、注湯繰返し実験を

行い、順次、生型砂特性がどのように変化するか調査した。また、石炭粉は様々な銘柄が市販されていることから、石炭粉の種類を変化させ、その特性と生型砂特性の関係や石炭粉の代表的な効果である焼付き欠陥に対する影響を評価した。

## 2. 実験方法

Table 1に実験に用いた石炭粉の特性を示す。石炭粉は市販の、よく使用されている、灰分が7.0から10.1 mass%の石炭粉5種を用いた。Table 2, 3にけい砂の化学組成と粒度分布を、Table 4, 5にベントナイトの化学組成と特性を示す。生型砂の混練は、SiO<sub>2</sub> 99.7 mass%のけい砂に、Naベントナイト 8 mass%、5種類の石炭粉を各々5 mass%添加し、CB値が40 vol%となるように水を添加

Table 1 Properties of sea coal.

	Moisture @393K, 2hr mass%	Ash @1273K, 2 hr mass%	Volatile matter @1173K, mass%	Fixed carbon (Calculation mass%)	Total clay mass%	pH	Nitrogen content mass%	Bulk density g/cm <sup>3</sup>	JIS FN
Seacoal-1	3.4	7.0	34.1	55.5	48.3	7.25	1.30	0.845	408
Seacoal-2	3.0	7.6	34.7	54.7	31.2	7.49	1.07	0.881	317
Seacoal-3	3.0	8.9	33.7	54.4	36.6	7.81	1.09	0.898	367
Seacoal-4	3.1	9.9	34.0	53.1	29.0	7.45	1.09	0.908	301
Seacoal-5	3.3	10.1	31.3	55.3	41.6	6.90	1.33	0.884	384

平成14年9月26日 原稿受理

- \* (株)ツチヨシ産業 Tsuchiyoshi Industry Co., Ltd.
- \*\* (元)中部科学技術センター (Former) Chubu Science Technology Center
- \*\*\* 関西大学工学部 Faculty of Engineering, Kansai University

Table 2 Chemical compositions of silica sand (mass%).

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Silica sand	99.7	0.04	0.008

Table 3 Grain size distribution (mass%).

Opening, μm	600	425	300	212	150	106	75	53	Pan	JIS.FN
Silica sand	0.1	1.5	11.3	29.2	43.7	13.5	0.5	0.0	0.2	115.5

Table 5 Properties of Na bentonite.

Moisture mass%	Ignition Loss mass%	(+20μ) Grain mass%	Swelling, ml/2g	0.01N Methylene blue, ml/0.5g	pH
Na-Bt 10.7	6.38	0.47	32	53.2	9.7

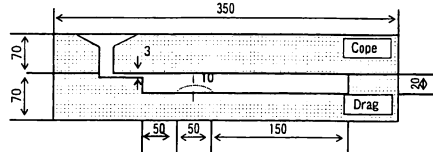


Fig. 1 Assembly of pouring test piece.

し10分間混練して新砂の生型砂とした。鑄込試験は名工試型すくわれ試験片鑄型によった。Fig. 1に鑄込試験片の概略図を示す。すくわれ欠陥は図中の半円部に発生しやすい。また、この半円部には焼付き欠陥も発生しやすいことから実験に用いた。新砂の生型砂を用いて上型と下型を作製し、材質FC250相当の鑄鉄溶湯を鑄込温度1673Kで注湯した。この時のS/M比は3である。注湯・冷却後に生型砂の90mass%を回収し回収砂とした。残りを生型砂特性測定用として保存した。再度、90mass%の回収砂に新砂の生型砂を10mass%、熱劣化したベントナイト及び水分を加え10分間混練し、CB値が40vol%となるように調整して注湯を5回まで繰返した。なお、熱劣化したベントナイト量として、鑄込み前後の生型砂の活性粘土分<sup>9)</sup>をそれぞれ測定し、それらの差(平均添加量として0.73mass%)を補給した。また、熱劣化した石炭粉はその量が不明であるために補給していない。生型砂特性の試験項目はJIS Z 2601に定める水分、全粘土分、湿態抗圧力及び湿態抗圧力試験片の密度、補正X線回折オーリチック試験<sup>9)</sup>に定める炭素質及びオーリチック量等、さらに拘束ばく熱試験器によるばく熱亀裂発生時間(すくわれ発生時間)などを測定した。今回の実験では残存石炭粉量は補正X線回折オーリチック試験における炭素質が相当する。炭素質とはJIS Z 2601に定める強熱減量を基に(1)

Table 4 Chemical compositions of Na bentonite (mass%).

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	CaO	K <sub>2</sub> O
Na-Bt	63.6	21.4	3.8	2.0	2.7	0.7	0.3

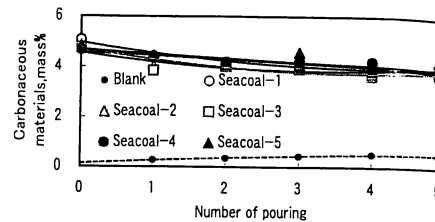


Fig. 2 Carbonaceous materials of green sand repeated by pouring.

式により算出<sup>9)</sup>するもので、生型砂の強熱減量から活性粘土分とけい砂の強熱減量を除いたものである。したがって、生型砂にでん粉や中子粘結剤等の有機物が含まれていない場合は、炭素質を残存石炭粉量とすることができる。  
 $D = C - (E \times L) / 100 + c$  .....(1)

ここに、

- D: 炭素質, mass%
- C: 生型砂の強熱減量, mass%
- E: 活性粘土分(残存ベントナイト量), mass%
- L: ベントナイトの強熱減量, mass%
- c: けい砂の強熱減量, mass%

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 注湯による生型砂の変化

Fig. 2に注湯・繰返しの炭素質の量の変化を示す。いずれの種類石炭粉を添加した生型砂も注湯を繰返すことによって炭素質が減少している。これは新砂の生型砂に最初に含まれていた石炭粉が注湯時の熱によって気化し減少したためである。また、石炭粉を添加しないブランクの生型砂の炭素質が注湯を繰返すことで微増している。ブランクの生型砂には石炭粉が含まれていないことから、炭素質は生型砂以外から混入したと考えられ、鑄鉄溶湯中の炭素の影響を受けた可能性が考えられる。

Fig. 3に注湯を繰返した生型砂の生型砂特性を示す。注湯を繰返すことによって、全粘土分、試験片密度及びすくわれ時間は低下し、オーリチック量と水分は増加し、抗

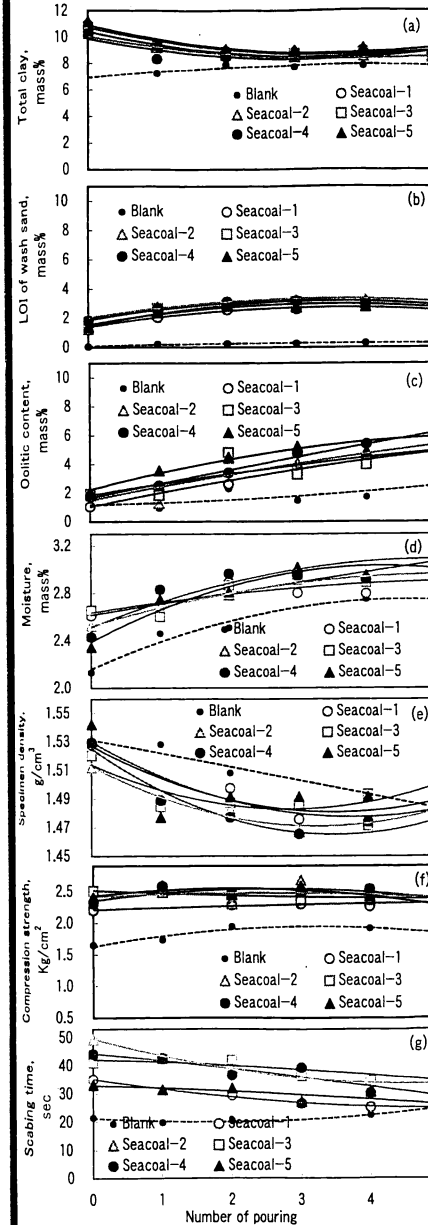


Fig. 3 Composition and properties of green sand repeated by pouring.

圧力は変化が認められない。この傾向はいずれの石炭粉においても同様である。これはブランク生型砂の変化(オーリチック生成による生型砂特性の変化)と、Fig. 2に示した石炭粉添加生型砂ごとに炭素質の値が異なること(石炭粉の熱劣化率の違いなど)の影響を受けていると考えられる。

#### 3.2 単位炭素質当たりの生型砂特性の差

そこでそれぞれの生型砂において炭素質の値が異なること、オーリチック生成による生型砂特性の変化の影響を除くために、単位炭素質当たりのFig. 3に示す生型砂特性の差を求めた。単位炭素質当たりの生型砂特性( $\Delta P_n / \Delta C_n$ )の差は(2)式により算出した。

$$\Delta P_n / \Delta C_n = (P_n - P_{bn}) / (C_n - C_{bn}) \dots\dots\dots(2)$$

ここに、

- $P_n$ : 注湯n回目の石炭粉添加生型砂の特性
- $P_{bn}$ : 注湯n回目のブランク生型砂の特性
- $C_n$ : 注湯n回目の石炭粉添加生型砂の炭素質, mass%
- $C_{bn}$ : 注湯n回目のブランク生型砂の炭素質, mass%

Fig. 4に単位炭素質当たりの生型砂特性の差をまとめて示す。Fig. 4(a)の単位炭素質当たりの全粘土分の差は、注湯を繰返すに下がって低下している。なお、全粘土分の差とは(2)式でブランク生型砂の全粘土分を除いたことから、石炭粉を示すこととなる。これに対してFig. 4(b)の全粘土分除去砂の強熱減量の差及びFig. 4(c)のオーリチック分の差は増加している。注湯を繰返すに従って、これら生型砂特性(生型砂の構成物を示す)がなぜ変化するのかわかるために、Fig. 4(a)からFig. 4(c)をまとめ、各の石炭粉添加生型砂の値を平均してFig. 5とした。注湯前(0回目)では単位炭素質当たりの全粘土分(石炭粉)の差は約0.8%であるが注湯を繰返すに従って0.2%程度に低下した。これに対応して、単位炭素質当たりの全粘土分除去後の強熱減量の差は約0.2%から約0.8%に増加した。したがって、石炭粉は当初、20 μm以下の粒子である全粘土分として多く存在し、注湯によって気化あるいは液化した後、冷却時に固化して全粘土分除去砂中の強熱減量としてその多くが存在していることになる。なお、全粘土分除去砂とは、けい砂、オーリチック分及び強熱減量から構成され、オーリチック分には強熱減量の値は含まれていない。

Fig. 5において、単位炭素質当たりのオーリチック分が注湯の繰返しとともに増加し、注湯5回目では1.0%近くまで増加し、全粘土分除去砂の強熱減量と合わせると約1.8%となる。オーリチックとはベントナイトやけい砂などが変化したものであり、石炭粉はそのほとんどが強熱減量に変化していることから、石炭粉のものが全てオーリチックになっているものではなく、石炭粉の存在がベントナイトやけい砂のオーリチック化を促進させるものと考えられる。

Fig. 4(d)の単位炭素質当たりの水分の差は注湯繰返し

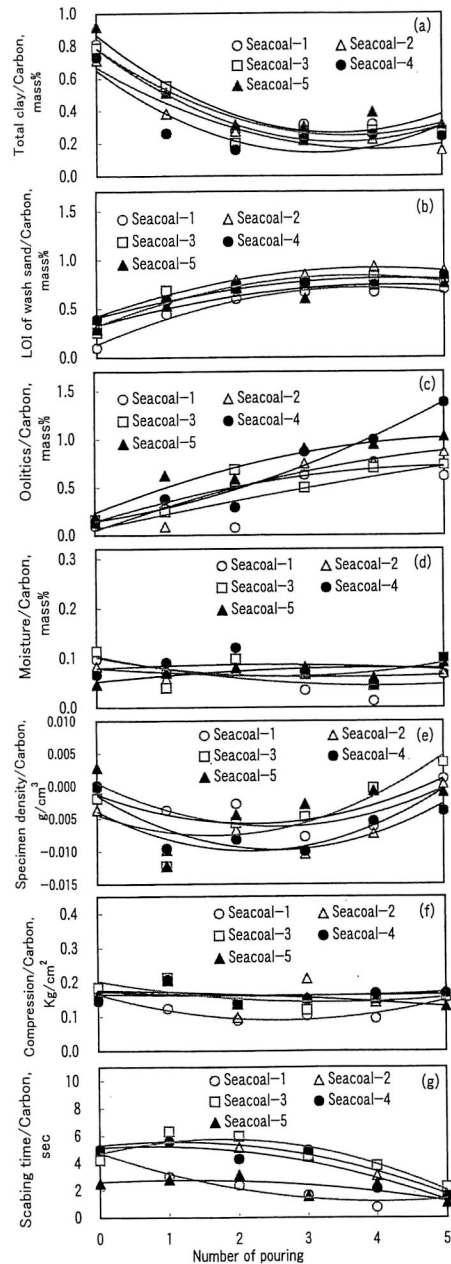


Fig. 4 Difference value of green sand properties for unit carbon of green sand. Green sand properties in figure are difference with green sand of blank.

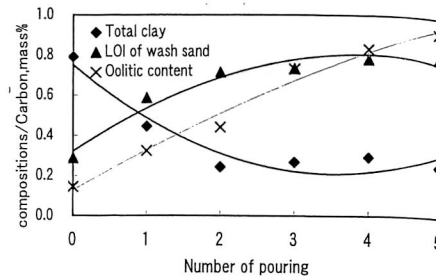


Fig. 5 Difference value of green sand compositions for unit carbon.

によってほとんど変化しない。当初、水分は粒子である石炭粉に吸着し、次いでポーラスなオーリチックに吸着しているといえる。

Fig. 4(e)の単位炭素質当たりの試験片密度の差は注湯繰返しによって一旦低下しその後増加している。石炭粉のかさ比重は Table 1 に示すように小さいことから、生型構成物全体のかさ比重は低下する。しかしながら、石炭粉が全粘土分除去砂の一部となった時はそのかさ比重が変化すること、また、石炭粉は潤滑剤的作用があることなどから、試験片密度に複雑な影響を与えていることが分かる。

Fig. 4(f)の単位炭素質当たりの抗圧力の差は注湯繰返しによってほとんど変化しない。ブランクの生型砂よりも石炭粉を用いた生型砂の抗圧力は増加しているが、単位炭素質当たりで見るとその増加量はほぼ一定である。これは、石炭粉は粘結力を有さないために、潤滑剤としての充てん性増加やオーリチックの形状変化によるベントナイトとの接着性改善<sup>10)</sup>などが理由として考えられる。

Fig. 4(g)の単位炭素質当たりのすくわれ発生時間の差では、石炭粉がオーリチック化するにつれて、すくわれ発生時間が短時間側に移行している。これは石炭粉が粒子である時はクッション材として、けい砂の膨張を吸収してすくわれを減少させるが、オーリチック内の強熱減量となることでその効果が減じるためであると思われる。

3.3 注湯繰返し鑄込試験片と焼付き欠陥

Fig. 6 に注湯繰返し 1 回目と 5 回目の鑄込試験片の外観を示す。試験片の砂落としはワイヤブラシを用いて行った。注湯繰返し 1 回目では石炭粉から発生するガスやカーボンが多いためか、全ての試験片に矢印(実線)で示す残留カーボンが付着し、石炭粉-5 の試験片では矢印(波線)で示す湯じわ欠陥が発生している。注湯繰返しを 5 回行ったものは、オーリチックの増加による耐火度の低下と炭素質の減少などによって、いずれの石炭粉を使ったものも焼付き欠陥が発生している。石炭粉-1, 2, 3 では Fig. 6 の写真中実線で囲った箇所に比較的軽微にけい砂が付着しているが、石炭粉-4, 5 では試験片全体に焼付きが発生し波線で囲った箇所にけい砂が白く融着して付着していた。

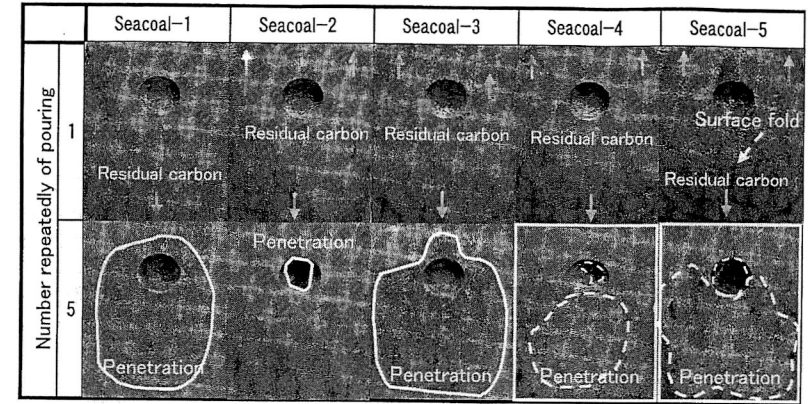


Fig. 6 Casting test piece of pouring first time and the fifth times.

Table 6 Evaluation of penetration defect by point.

	Number repeatedly of pouring					Total
	1	2	3	4	5	
Seacoal-1	0.0	0.5	0.0	1	2	3.5
Seacoal-2	0.0	0.5	0.5	1	1	3
Seacoal-3	0.0	1	0.5	0.5	2	4
Seacoal-4	0.0	0.5	1	2	3	6.5
Seacoal-5	0.0	1	1	2	5	9

Table 6 に焼付き欠陥の程度を点数化して示す。点数化は、最も焼付き欠陥の発生した石炭粉-5 の注湯繰返し 5 回目の焼付き量を 5 点とし、注湯 1 回目の焼付き欠陥の発生していない全鑄込試験片を 0 点とし、焼付きの程度に応じて点数付けをした。いずれの石炭粉を使ったものも注湯の繰返しによって焼付き欠陥が増加している。各石炭粉の焼付き欠陥の点数を合計すると石炭粉の種類により異なる傾向であった。この理由は石炭粉の種類によってその特性や生型砂特性に与える影響が異なることにあると考え、焼付き欠陥の点数の合計と Table 1 の石炭粉特性並びに Fig. 3 の生型砂特性の平均値とに相関分析を行った。

Fig. 7 に焼付き欠陥と相関係数の高い石炭粉の灰分と揮発分及びオーリチック分の関係を示す。灰分やオーリチック分が高いと焼付きが発生し易く、揮発分が高いと焼付きは発生し難い結果を示している。なお、強熱減量や炭素質と焼付き欠陥は相関が認められない。強熱減量や炭素質は大気中で 1273 K での減量であり、揮発分は自己雰囲気(還元雰囲気)で 1173 K での減量である。したがって、還元雰囲気での減量の多い、つまり揮発分の多く含まれる生型砂ほど焼付き欠陥は少なくなると考えられる。

4. 結 言

注湯により熱影響を受けた石炭粉が生型砂構成成分、生

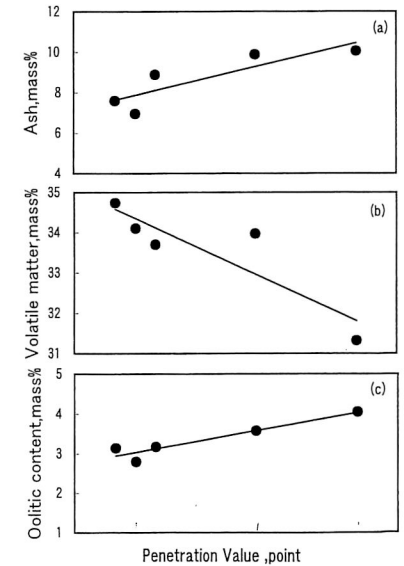


Fig. 7 Relation between penetration defect and properties of sea coal and green sand.

型砂特性及び焼付き欠陥に対する効果を注湯繰返し実験により調査し、以下の知見を得た。

- (1) 石炭粉は熱影響により生型砂中での存在状態が変化し、熱影響前は粉体として存在し、熱影響後は全粘土分除去砂の一部、すなわちオーリチック内に存在する強熱減量として多く存在する。

- (2) 石炭粉が熱影響を受けることで、生型砂のオーリチックの増加、試験片密度の増加、すくわれ発生時間の低下、の傾向が認められる
- (3) 石炭粉の揮発分が多く、灰分の少ないもの程、焼付き欠陥は発生し難い傾向にある。
- 文 献
- 1) Y. Kurokawa, T. Mizuta, J. Yaoi, H. Ota and H. Miyake: J. JFS 72 (2000) 346
  - 2) W. M. Peterson and J. E. Blanke: AFS Trans. 88 (1980) 503
  - 3) Report II of the Mukisunagata section Conference of the Tokai branch of JFS (1982) 61
  - 4) I. Saeda: J. Jpn. Soc. Coke (1995) 15
  - 5) T. Kusakawa: Sougo IMONO 23 (1982) 9, 22
  - 6) Y. Sugiyama, H. Iwahori, H. Kurino, K. Nisidate and T. Sibata: Report of 131 th JFS Meeting 131 (1999) 116
  - 7) Y. Kurokawa, H. Kambayashi, H. Ota and H. Miyake: AFS. Trans. 109 (2001) 799
  - 8) Report II of the Mukisunagata section Conference of the Tokai branch of JFS (1998) 104
  - 9) Y. Kurokawa, J. Yaoi, H. Kambayashi, H. Ota and H. Miyake: J. JFS 73 (2001) 187
  - 10) Y. Kurokawa, M. Ichioka, H. Ota and H. Miyake: J. JFS 71 (1999) 614