

研究論文

オーリチックの付着した生型廃砂の再生
メカニズム

黒川 豊* 上林仁司* 太田英明** 三宅秀和***

Reclamation Mechanism of Waste Green Sand Adhered with
Oolitics

Yutaka Kurokawa, Hitoshi Kambayashi, Hideaki Ota and Hidekazu Miyake

When oolitics adhere to green sand, it becomes waste green sand. Green sand is reclaimed for the purpose of mainly peeling off the oolitics. In this study, we reclaimed oolitics sand by 3 representative processes, calcining + friction reclamation, friction reclamation, and grindstone reclamation. Calcining + friction reclamation is more suitable for the shell mold process, and friction reclamation for the cold box process. The change of waste green sand in calcining + friction reclamation was as follows: the total clay changed to oolitics after calcining. This oolitics and that adhered to the waste green sand from the beginning were removed by friction reclamation. When the respective oolitics were removed, the reclamation sand showed the same strength as the new sand, indicating the end of reclamation can be determined from the oolitics quantity. Also, when the sand is reclaimed by friction reclamation, the strength is higher than the new sand because the sand shape is improved.

Keywords: oolitics, reclamation mechanism of waste green sand, calcining, friction reclamation, grindstone reclamation

1. 緒 言

生型造型法では、主型に生型砂を用い、中子砂に有機鑄型を用いるのが一般的である。また、生型砂の耐火度を一定に保つために常に新砂が添加される。中子砂と新砂の使用で、生型ラインに余剰砂(以下生型廃砂という)が発生する。この生型廃砂は、産業廃棄物として扱われ、環境問題及びけい砂資源枯渇問題から、リサイクル化が鑄造業界の責務であると考えられる。現状の主なリサイクルは、生型廃砂を再生して、再使用することである。生型廃砂の再生は、オーリチック及び微粉を除去¹⁾し、新砂の品質に戻すことである。オーリチックは、主にベントナイトが焼成されて、けい砂に付着した焼結物である。これの除去で、再生砂の耐火度が向上し、ガス発生低下及び鑄型強度改善効果がある。微粉は、全粘土分、活性粘土分及び不活性微粉などであるが、これらを除去することはオーリチックの除去と同様な効果がある。

一方、再生工程においては、オーリチックや微粉の除去と同時に、けい砂の研磨処理が施されている。この工程で研磨処理を長時間行くと、再生砂は粒形改善効果^{2~4)}により新砂以上の品質になる。他方、再生砂の歩留りが低下するため、長時間の研磨処理は過剰な品質処理であり、コスト上昇を招くと考えられている。本研究では、研磨を含む再生処理の最適条件をオーリチック量、微粉そしてその他のけい砂物性の変化から明らかにするとともに、再生のメカニズムについて言及した。

2. 実験方法

2.1 再生方式

Table 1 に 3 種類の再生方式を示す。流動ばい焼再生(以下ばい焼再生という) + 摩擦式研磨再生(以下摩擦再生という)とは、ばい焼炉による約 950 K の熱再生と後述する摩擦再生を組み合わせた方式である。摩擦再生、砥石式研磨再生(以下砥石再生という)は、焼成を伴わない無ばい焼再生である。摩擦再生とは、けい砂ど

平成 11 年 1 月 11 日 原稿受理

* (株)ツチヨシ Tsuchiyoshi Co., Ltd.

** 中部科学技術センター 工博 Chubu Science Technology Center

*** 関西大学工学部 工博 Faculty of Engineering Kansai University

Table 1 Equipment, condition and energy of 3 type reclamation.

equipment	condition	electric power
calcination & friction reclamation	calcine at 950K 5,10,15pass	39.2L/t(heavy oil) 7.2kw/t·hr·1pass
friction reclamation	5,10,15pass	7.2kw/t·hr·1pass
grindstone reclamation	45,60,75min	56.2kw/t·hr

うしのともずりにより、けい砂を研磨する方式⁵⁾である。砥石再生とは、回転する砥石でけい砂を研磨する方式⁵⁾である。Fig. 1 に再生装置の概略図を示す。ばい焼＋摩擦再生は図中の(A)に示したばい焼炉と摩擦式再生機(B)を組み合わせたものであり、摩擦再生及び砥石再生は、摩擦式再生機(B)と砥石式再生機(C)を単独で用いたものである。再生砂の微粉除去は、再生機に付随する微粉除去装置により行われる。

2.2 実験材料

Table 2 に実験に用いた生型廃砂の物性を示す。この生型廃砂は、鑄鉄製造ラインで発生した余剰砂を乾燥し、鉄片を分離後、3 mm 以下に粉碎したものである。表中の2種の新砂(A砂及びB砂)は、再生砂の最適条件を求めるため標準砂として用いた。これらの砂は、新砂補給用及び中子砂用として使用されているものである。

なお、再生砂の評価項目としては、歩留り、しゃく熱減量、全粘土分、比重、粒形及びオーリチックなどとした。歩留りは、生型廃砂とその再生砂の重量比率により求めた。しゃく熱減量は1273 Kの温度で2 h 焼成

後の減量とした。全粘土分はJIS Z 2601により求めた。粒形は砂粒の長径と短径の比率により求めた。オーリチックはX線回折法により石英を測定し計算により算出⁶⁾した。

鑄型特性は、新砂及び再生砂を用いてシェルモールド鑄型(フェノール樹脂2 mass %)とコールドボックス鑄型(フェノール1.2 mass %, ポリイソシアネート1.2 mass %)を作製し、強度により評価した。なお、それぞれの鑄型の強度は、シェルモールド鑄型では曲げ強度を、コールドボックス鑄型では圧縮強度を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 各再生方式と鑄型特性

Fig. 2 に、ばい焼再生＋摩擦再生後の再生砂をシェルモールド鑄型(A)及びコールドボックス鑄型(B)としたときの再生条件と鑄型強度との関係を示す。再生条件とは、摩擦再生では処理回数の変化であり、砥石再生では処理時間の変化である。これらの図には再生砂が新砂の強度と同程度となる再生条件を算出して示した。すなわち、再生条件と鑄型強度の間に近似式を求め、その近似式に2種類の新砂の(A砂及びB砂)の強度範囲の平均値(図中で破線で示した)を代入し、最適再生条件を算出した。

Table 3 に各再生方式において再生砂が新砂と同様の強度になるときの再生条件とそのときの再生砂物性をま

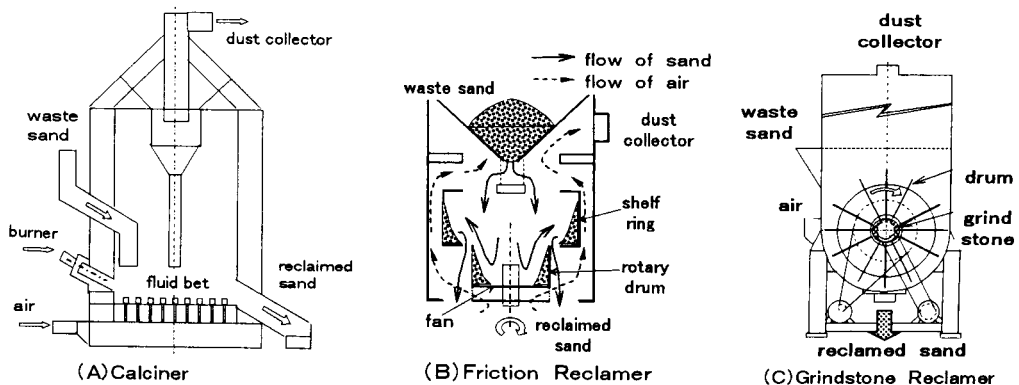


Fig. 1 Outline structure of reclaimer. (A) Calciner, (B) Friction reclaimer, (C) Grindstone reclaimer

Table 2 Properties of waste sand and new sand.

	ignition loss	total clay	active clay	pH	acid demand value	specific gravity	bulk specific gravity	grain shape	grain fineness number	silica content	oolitics content	bending strength by shell	compressive strength by cold box
	mass%	mass%	mass%		ml/50g	g/cm ³	g/cm ³		AFS.FN	mass%	mass%	N/cm ²	N/cm ²
waste sand	2.14	3.86	3.0	8.0	25.2	2.52	1.55	1.38	61.0	67.5	26.3	***	***
new sand-A	0.10	0.50	0.3	7.1	4.2	2.58	1.67	1.40	57.5	71.7	27.2	388	255
new sand-B	0.07	0.48	0.0	6.6	4.6	2.60	1.68	1.34	67.7	76.1	22.9	461	325

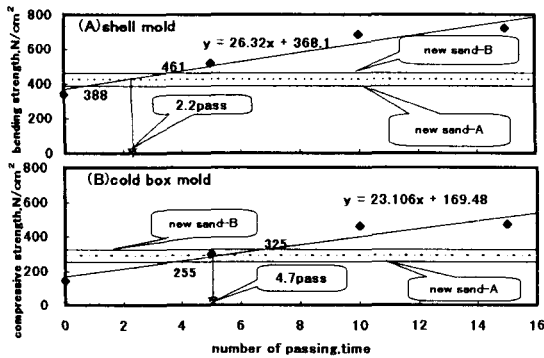


Fig. 2 Relationships between strength and number of passing at calcination + friction reclamation. (A) Shell mold, (B) Cold box mold

とめて示す。表中の物性値は実測値をもとに計算により求めた。新砂と同一強度となるシェルモールド鋳型とコールドボックス鋳型の再生条件は同一ではなく、再生方式で異なる結果が得られた。シェルモールド鋳型では、ばい焼再生 + 摩擦再生において少ない処理回数(パス)で強度が発現する。シェルモールド鋳型は2.2回のパスに対して、コールドボックス鋳型は4.7回のパスである。しかし、摩擦再生と砥石再生では、逆にシェルモールド鋳型の方が再生条件が長くなる。シェルモールド鋳型は摩擦再生10.3回のパス、砥石再生58 minの時間に対して、コールドボックス鋳型は摩擦再生7.7回のパス、砥石再生34 minである。この理由の一つとして、各粘結剤の粘性の違いにより、オーリチックへの粘結剤の浸透状況が異なる点が挙げられる。つまり、ばい焼再生では生型砂中の全粘土分がばい焼中にオーリチックに変化し、元から含まれていたオーリチックに加わる。

このとき、粘性の低いコールドボックス用粘結剤は、オーリチックに浸透されやすく、砂粒に被覆する粘結剤皮膜が薄くなるために強度が低下すると考えられる。無ばい焼の研磨再生では、オーリチックと微粉を順次除去していくために、オーリチックに粘結剤が吸着される割合が相対的に少ない。そのために、コールドボックス鋳型に強度発現が有利になるものと思われる。ばい焼再生 + 摩擦再生と摩擦再生との再生方式の違いを比較すると、ばい焼工程が加わることで、摩擦再生の処理回数は少なくなる。これはばい焼により強度を阻害する微粉がオーリチックになることに起因すると思われる。無ばい焼の摩擦再生と砥石再生を比較すると、再生砂物性に若干の差違はあるが概ね似たような値である。

3.2 再生処理の最適条件と再生砂物性

Fig. 3に、各再生方式の再生砂を用いてシェルモールド鋳型を作製し、それぞれの曲げ強度と歩留り及び再生砂物性の関係をまとめて示す。また、それぞれの図中に新砂を用いた場合の強度範囲(388~461 N/cm^2)を併せて示す。

Fig. 3 (A)の曲げ強度と歩留りの関係では、歩留りが低下するにほぼ比例して強度が大きくなる。再生砂の強度が新砂程度の強度になる時、歩留りは各再生方式ともに約70 mass%前後である。再生処理を続けることで、歩留りは低下し、新砂以上の強度になる。したがって、歩留りの変化曲線から最適再生条件を予測することは難しい。ただし、現場管理用として、新砂強度となる歩留りを目安として最適再生条件とすることは可能であろう。

Fig. 3 (B)に曲げ強度としゃく熱減量の関係を示す。無ばい焼の摩擦再生及び砥石再生とも、処理回数が増加ししゃく熱減量が一定となるときに再生砂は概ね新砂の

Table 3 Properties of reclaimed sand on condition that the strength of reclaimed sand is equal to the strength of new sand.

mold process & method of reclamation	shell mold			cold box mold		
	calcination & friction reclamation	friction reclamation	grindstone reclamation	calcination & friction reclamation	friction reclamation	grindstone reclamation
property						
strength of new sand N/cm^2	388~461 (by bending strength)			255~325 (by compressive strength)		
condition of reclamation	calcine + 2.2pass	10.3pass	58min	calcine + 4.7pass	7.7pass	34min
yield mass%	74.6	72.5	75.3	69.5	79.2	85.1
ignition loss mass%	0.13	0.85	0.82	0.12	1.09	1.37
total clay mass%	0.48	1.45	1.16	0.58	2.05	2.08
active clay mass%	0.70	0.92	0.68	0.57	1.34	1.30
pH	7.4	7.2	7.1	7.4	7.5	7.6
acid demand value ml/50g	6.6	10.2	11.8	6.6	13.1	17.6
specific gravity g/cm^3	2.60	2.59	2.57	2.61	2.58	2.54
bulk specific gravity g/cm^3	1.65	1.66	1.55	1.67	1.64	1.55
grain shape	1.36	1.34	1.30	1.35	1.35	1.36
grain finess number AFS.FN.	60.3	55.5	67.1	63.0	56.1	63.5
silica content mass%	72.5	75.1	74.8	74.0	74.2	71.4
oolitics content mass%	26.2	23.2	22.7	24.7	23.8	24.7
test piece density g/cm^3	1.560	1.591	1.673	***	***	***
heat expansion vol%	1.11	1.18	1.01	***	***	***

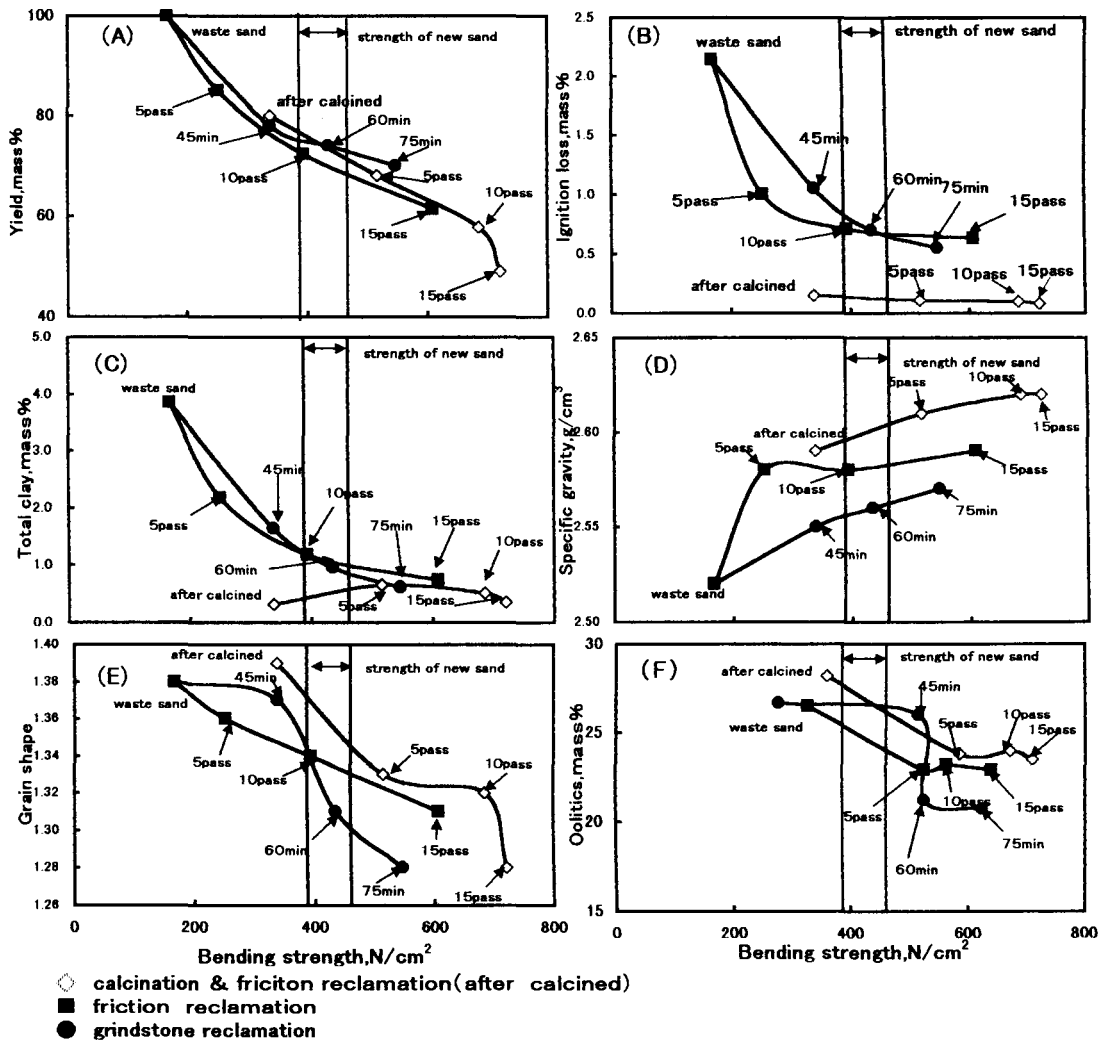


Fig. 3 Relationships between bending strength and properties of reclaimed sand. (A) Yield, (B) Ignition loss, (C) Total clay, (D) Specific gravity, (E) Grain shape, (F) Oolitics (reclaimed sand without total clay)

強度となる。したがって、これらの再生方式では、しゃく熱減量が最適再生条件の目安となる。しかしながら、ばい焼再生のしゃく熱減量は、処理回数に関係なく一定値である。したがって、しゃく熱減量からすべての再生方式の最適再生条件を予測することは難しい。

Fig. 3 (C) に曲げ強度と全粘土分の関係を示す。無ばい焼の摩擦再生及び砥石再生とも、全粘土分が減少するに従って、強度が大きくなる。ばい焼再生では、処理回数に従って強度が増加するが、全粘土分はいったん増加し、その後低下する。すなわち、ばい焼直後は全粘土分が焼結してオーリチックとなり全粘土分が低い値を示す。研磨処理によりオーリチック分がはく離して全粘

土分が一時的に増加するが、更に研磨処理を続けることで減少する。研磨処理により全粘土分が減少するのは、それぞれの研磨再生機に付随する微粉除去装置により、はく離した全粘土分が集じんされて除去されるためである。なお、全粘土分の減少に伴って、強度が発現することから、全粘土分は強度発現に寄与する物性であるといえる。しかし、強度が新砂の範囲内になった後も全粘土分の低下にしたがって強度が上昇することから、全粘土分単独では、最適再生条件を判断できない。

Fig. 3 (D) に曲げ強度と比重の関係を示す。比重の増加につれて強度が大きくなる傾向にある。これは、研磨再生を続けることで粒形が改善されたり、比重の軽いきよ

う雑物が除去されることで、比重が増加するためである。すなわち、新砂程度の強度となった後も比重の増加とともに強度も大きくなることから、比重も最適再生条件を判断する物性ではないといえる。

Fig. 3 (E) に曲げ強度と粒形の関係を示す。粒形が小さくなるにつれて、砂粒は球状になり、強度が大きくなる傾向を示す。新砂の強度以上になっても粒形は改善されるので、この物性も最適再生条件を判断する目安にはならないといえる。

Fig. 3 (F) に全粘土分を除去後の再生砂の曲げ強度とオリチックの関係を示す。全粘土分を除去した理由は、前述 [Fig. 3 (C)] したように曲げ強度が全粘土分の影響を受けるためである。そこで、その要因を除く意味で、全粘土分を除去した再生砂の曲げ強度を測定した。オリチックが一定状態となるとき曲げ強度は、各再生方式ともほぼ同様のおよそ $550 \sim 600 \text{ N/cm}^2$ の値である。これらの値は新砂の強度 $388 \sim 461 \text{ N/cm}^2$ より高いが、新砂に含まれる全粘土分を除去した場合は、この程度の強度を示すものと考えられる。したがって、オリチックが一定状態になり、そのときの強度範囲が狭く、新砂の強度より高いことから、オリチックは最適再生条件を判断する一つの目安になるといえる。

以上のことから、再生処理の管理項目として、オリチック量と全粘土分の物性値に注目して最適再生条件を判定することは可能であると考えられる。

3.3 再生処理と再生砂の状態

再生処理の進行に伴って、再生砂が変化し、最適再生条件となるかを SEM 像及び X 線回折により検討した。Fig. 4 に生型廃砂、ばい焼砂及び各再生砂の SEM 像 (白金蒸着) 及びその視野の EDX (加速電圧: 20 KeV , 照射電流: $10 \mu\text{A}$, 取込時間: 100 s) 点分析結果を示す。生型廃砂の SEM 像には、けい砂表面に付着した全粘土分が観察され、薄層が層状に積み重なった様子である。EDX 点分析では、Si 以外に Al, O, Fe などの元素が存在しきょう雑物が多くなっている。ばい焼砂の SEM 像は、全粘土分はオリチック化していると判断されるが、生型廃砂の場合と同様薄層が積重なった様子が観察される。EDX 点分析は、生型廃砂と比較してきょう雑物の成分が減少している。研磨再生後の各再生砂では、オリチックが除去されて清浄なけい砂表面として観察される。EDX 点分析ではきょう雑物が極めて少ない。各研磨再生砂間での SEM 像及び EDX 点分析には顕著な差がないことから、十分に研磨処理した再生砂はほぼ同一の状態であると考えられる。

Fig. 5 に、ばい焼及び研磨再生による再生砂中のモ

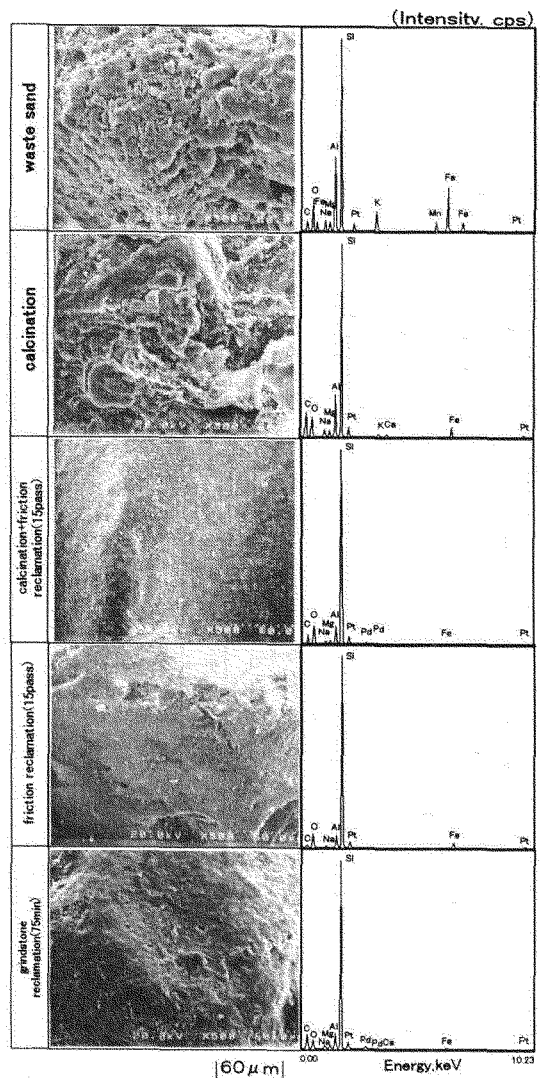


Fig. 4 SEM photograph and EDX spot analysis of reclaimed sand.

ンモリロナイトの X 線回折ピークの変化を示す。モンモリロナイトの回折角 $2\theta = 19.6^\circ$ の回折ピークは、熱影響を受けた場合 1073 K までは検出されるが、 1173 K 以上では結晶構造の崩壊によって検出されなくなる²⁾。生型廃砂では回折角 $2\theta = 19.6^\circ$ にモンモリロナイトのピークが認められるが、生型廃砂を水洗するとこのピークは認められなくなる。したがって、モンモリロナイトは水洗で除去された全粘土分中に含まれていることが分かる。 950 K でばい焼し、水洗した試料には、回折角 $2\theta = 19.6^\circ$ にモンモリロナイトのピークが認められる。水洗した後もこのピークが検出されることから、このピー

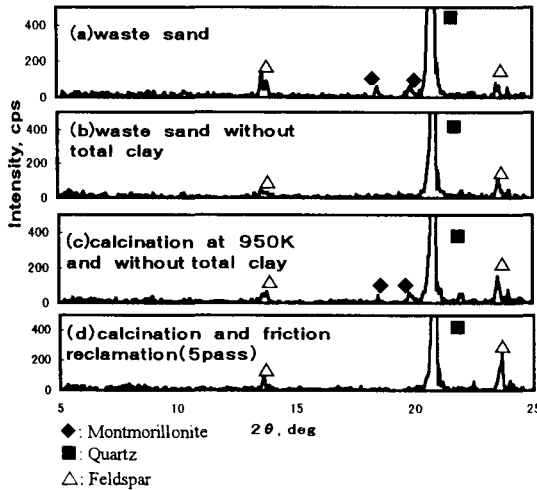


Fig. 5 Change of montmorillonite X-ray diffraction patterns by calcination and friction reclamation.

クはオーリチックとしてけい砂に付着したモンモリロナイトからの回折ピークである。摩擦再生後は、回折角 $2\theta = 19.6^\circ$ にモンモリロナイトに相当する回折ピークが検出されないことから、研磨により除去されたことが分かる。

3.4 再生のメカニズム

筆者らは、従来の研究により加熱したモンモリロナイトはオーリチックとなり、これがけい砂に付着する条件及びはく離する条件を、モンモリロナイトの X 線回折ピークの変化と結びつけて判定した⁸⁾。これによると、673 K から 873 K で付着したオーリチックははく離しやすく、1 073 K 以上でははく離しにくい。さらに、はく離しやすいオーリチックには X 線回折によりピークが検出されるのに対して、はく離しにくいオーリチックでは回折ピークが検出されないことを明らかにしている。

これらの結果を踏まえると、再生のメカニズムには4つのステージがあると考えられる。Fig. 6 にそれらをモデル化した模式図を示す。生型廃砂 (A) では、けい砂にはモンモリロナイトピークのないはく離しにくいオーリチックが付着し、その上に全粘土分が被覆されていると考えられる。また、しゃく熱減量がオーリチック及び全粘土分中に存在する。ばい焼再生後 (B) では、ばい焼再生により全粘土分ははく離しやすいオーリチックに変化し、けい砂にはオーリチックのみが付着する。研磨再生 (D) は過剰に研磨再生した状態をモデル化したものであり、粒形が必要以上に改善された状態を示して

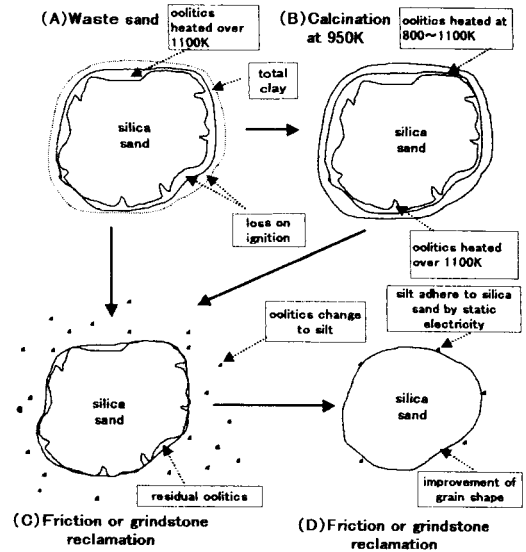


Fig. 6 Reclamation mechanism of waste sand. (A) Waste sand, (B) Calcination at 950 K, (C) Friction or grindstone reclamation, (D) friction of grindstone reclamation (excessive reclamation)

いる。これに対して、研磨再生 (C) は再生の最適状態を模式化したものである。研磨再生によりほとんどすべてのオーリチックがはく離し、微粉となって除去された状態である。このようにすべてのオーリチックが除去されたとき、再生砂は新砂相当の強度となる。

4. 結 言

生型廃砂を3タイプ的方式で再生処理し、シェルモールド鋳型及びコールドボックス鋳型としたときに、それぞれの鋳型に対する最適再生条件と再生のメカニズムを検討した。

- (1) 3タイプ of 再生方式において、再生砂が新砂相当の強度になるときの最適再生条件を、再生砂の特性を評価することで明らかにした。すなわち、シェルモールド鋳型用としては、ばい焼 + 摩擦再生が優れており、コールドボックス用としては、摩擦再生及び砥石再生が優れている。
- (2) 再生砂のオーリチックと全粘土分を測定することで、最適再生条件を判定できることを明らかにした。
- (3) 研磨再生の継続により、再生砂の強度は大きくなる。これは、砂粒の粒形改善と比重の上昇のためである。
- (4) オーリチックの変化から再生メカニズムを明らかにした。オーリチックははく離しやすいものとはく離しにくいものがある。生型砂には、1 100 K 以上

に加熱されたはく離しにくいものが付着している。ばい焼再生により全粘土分ははく離しやすいものに変化する。研磨再生により両者のオーリチックは除去される。

- (5) 以上の結果から、個々の方式ごとにランニングコストや初期投資の償却などを加味することで、工業的に適切な再生方式を判断することが可能である。

文 献

- 1) D. Boenisch : Giesserei, **77** (1990) 602
- 2) 黒川 豊 : こしき **14** (1991) 9
- 3) 野崎佳彦, 加藤清隆, 宮本康彦, 太田英明 : 鑄物 **59** (1987) 580
- 4) 黒川豊, 松村明彦, 太田英明 : 鑄造工学 **70** (1998) 579
- 5) 第4版鑄造型造法(日本鑄造技術協会)(1996)
- 6) 黒川豊, 矢尾井潤, 太田英明, 三宅秀和 : 鑄造工学講演概要集 **132** (1998) 68
- 7) 武司秀夫, 宇野泰章 : 粘土科学 **20** (1980) 67
- 8) 黒川豊, 市岡雅義, 太田英明, 三宅秀和 : 鑄造工学 **70** (1998) 543