

ウレタン樹脂鑄型の残留強度と再生効果の研究

機械金属室 国 吉 和 男
石 原 金 盛

1 緒 言

有機自硬性鑄型は、鑄型強度が高いこと、崩壊性が良いこと、再生が容易なこと、生産性が高いこと、等が評価され、現在では銑鉄鑄物の約20%は有機系鑄型で生産されていると言われる。¹⁾

しかし、有機プロセスの導入となると、設備投資や、レジンの選択、欠陥対策はもちろん、砂の混練、型詰め、抜型から崩壊、再生まで従来のプロセス以上の管理技術が要求される。特に砂が熱影響を受けてから再生されるまでをみると、再生効率が良いと言われながらも、熱影響が少なく崩壊しない部分はむしろ強度は向上し、サンドブレイカー等の処理が増大する。又再生強度は砂表面の残留レジンの熱履歴により変り、処理方法も無機系鑄型の方法とは異なると言われている。²⁾

ここではウレタン樹脂を用いた有機鑄型の熱影響による強度変化と、崩壊性について検討し、さらにレジンのくり返し添加による強度変化と、その再生性についても検討を行なった。

2 残留強度

有機系鑄型は環境因子により硬化挙動が変る。夏期のような気温の高い季節では初期強度は高く、ウレタン樹脂タイプ(P・I)の場合、4~8 Hrで最高強度を発現する。その基本的な強度特性を見たのが(図-1)である。又フランタイプ(酸硬化系)よりウレタン樹脂タイプ(P・I)の方が環境因子や、骨材の影響を受けにくいことが知られている。^{3,4)}

高温特性は酸化雰囲気と非酸化雰囲気ではその強度特性が大きくちがう。ここではアルミニウムはく被覆方法⁵⁾を用いて残留強度を検討した。

2・1 実験方法

試料砂はフリマントル砂、樹脂はフェノール樹脂をトリエチルアミン液を触媒にポリイソシヤネートで硬化させるタイプ(3液タイプ、記号をP・Iとする)を用いた。

混練は万能混合攪拌機(品川工業5 DM-r)を用い、回転数は127 rpmとした。混練順序及び配合比は次のとおりである。

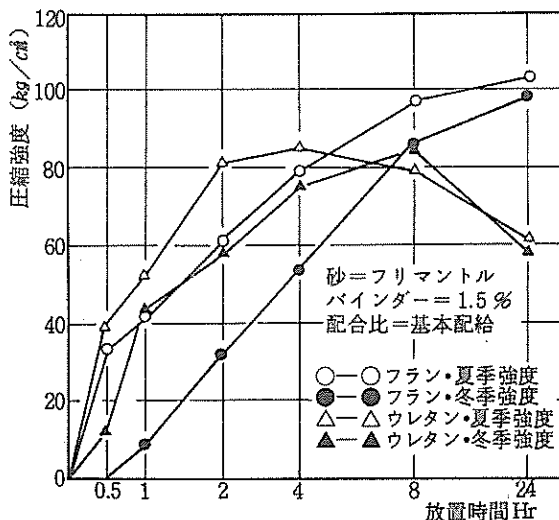
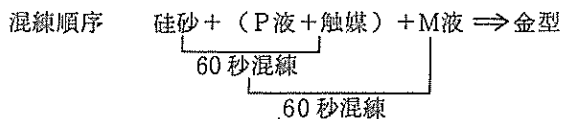


図-1 圧縮強度の経時変化

配合比：P：M：触媒 = 1：1：0.04

試験片は名工試型（50φ×50ℓ×16コ取り）金型にバイブレーターを作動させながら、約7kgの鋼板で押えて充てんし成形を行った。金型内で約1時間放置してから拔型し、空气中で約24時間放置した後試験を行なった。

残留強度は電気炉を用いて試験片を20分間加熱し、空冷後、オートグラフ（島津製作所）で圧縮強度を測定した。非酸化雰囲気にするには、自己発生ガスで空気との接触を遮断するようにアルミニウムはくによる被覆を行い加熱した。

2・2 実験結果と考察

酸化雰囲気と非酸化雰囲気において、残留強度と強熱減量（LOI）の関係を横軸に加熱温度をとって（図-2）に示した。

常温強度で80kg/cm以上発現したものが、酸化雰囲気で加熱すると、200℃まではほとんど変色もせず残留強度の低下もみられないが、400℃を越すと薄くキツネ色に変色し、急激な残留強度劣下がみられる。600℃ではテストピースの原形をとどめない程に燃焼して新砂同様に白くサラサラの状態となる。

一方アルミニウムで被覆した非酸化雰囲気のテストピースは、400℃～600℃でキツネ色から茶色に変色し残留強度は向上する。800℃になると、アルミニウムは融点以上となって、アルミ酸化膜がテストピースを覆っている状態で、一部には破損しているのがみられる。破損箇所は白く酸化しているがほとんどは黒色に変色し、一様テストピースの原形はとどめているが、残留強度はほとんど消失していた。

LOIをみると加熱温度が高くなるにつれ、ゆるやかに減少し、酸化雰囲気の方が非酸化雰囲気に比べて減少割合が大きく、その差は0.1%程度である。

砂粒間の結合に寄与する有効なレジン数は数%と言われることからすると、0.1%前後のLOI低下は強度に大きく影響することはうなずける。

又加熱雰囲気によっては、LOIが低下の傾向であっても、レジンの結合力はむしろ強化され、非酸化雰囲気の200℃～400℃のように残留強度は向上する場合がある。

このようなことから鑄型の崩壊性を考えると、大気から酸素供給可能な鑄型外部は400℃以上で、又自己発生ガス等で非酸化雰囲気となりがちな鑄型内部では600℃以上に加熱されると、崩壊性が良くなると推察される。

3 鑄込み試験

鑄型の熱影響部は、注湯温度や、鑄物重量はもちろん、骨材やレジンのちがいによる熱伝導率の

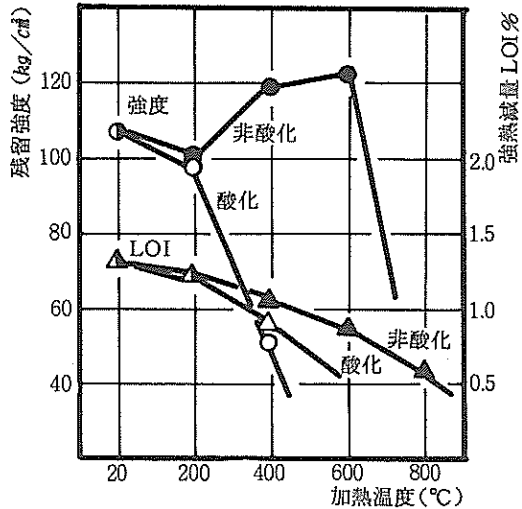


図-2 加熱時間と残留強度
強熱減量の関係

ちがい等により変化すると考えられる。

(図-3)は骨材にフリマントルと県産砂、粘結剤にフランタイプ(酸硬系)及びウレタン樹脂タイプ(P.I)の2種を用いて試験片を作成し、熱伝導率を測定したものである。砂によって充てん密度が異なり、樹脂によっても熱伝導率が異なることがわかる。

生産現場では、熱影響部を多くして崩壊性を良くし、再生効果を上げる努力も、サンドメタル比(S/M)やレジン比を下げて、生産性を上げる努力と平行して行われなければならない。

ここではウレタン樹脂(P.I) 鑄型を用いて、溶湯の熱によりどう加熱され、又どう保温されてどの程度の崩壊性を示すか検討するため、径の異なる棒状鑄物3種を鑄込み実験を行なった。

3・1 実験方法

砂とレジン及び配合方法は(2・1)と同様で、鑄型状及び温度検出位置は(図-4)に示すように、⊕⊕⊕を造型し、約4Hr後に注湯した。

溶解は高周波電気炉(30kg)を用い、FC20を目標に成分調整を行って、1500℃で出湯した。

溶湯温度は鑄型中央部をPR熱電対を用いて検出し、記録計(横河ER100)で記録した。鑄型温度は鑄型内型より5、10、20、30mmの各点をCA熱電対を用いて検出し、高感度記録計(千野EB4900型)で記録して、mvで読み取って℃に換算した。

記号	寸法 A	表面積	鑄物モジュラス (cm ³)
⊕	61φ	428 cm ²	1.73
⊕	41	275	0.86
⊕	32	210	0.55

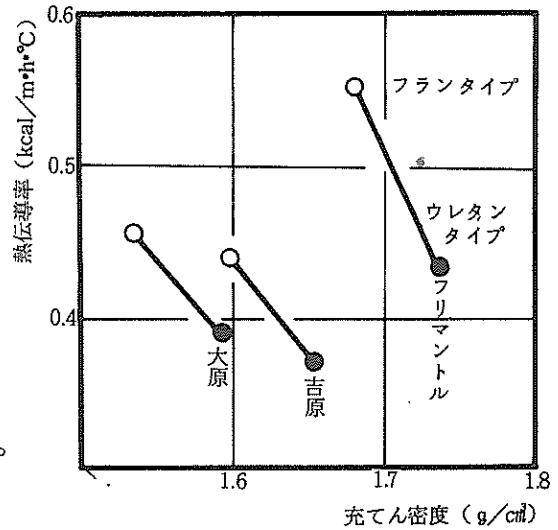


図-3 充てん密度と熱伝導率

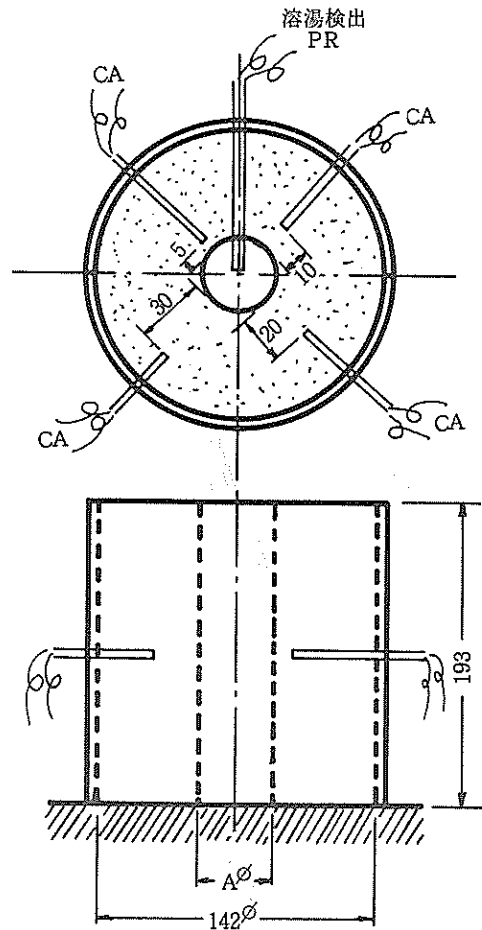


図-4 鑄込試験鑄型

3・2 実験結果と考察

各点の最高到達温度をみると(図-5)のようになる。径が大きく、境界面に近い程高温になり、その温度傾配は $180\text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$ 程度である。又最高温度に到達するまでの時間を各点毎に求めたのが(図-6)で、5~10mmの距離ではいずれも10分以内に最高温度に到達し、30mmの点では約30分で最高温度に到達した。

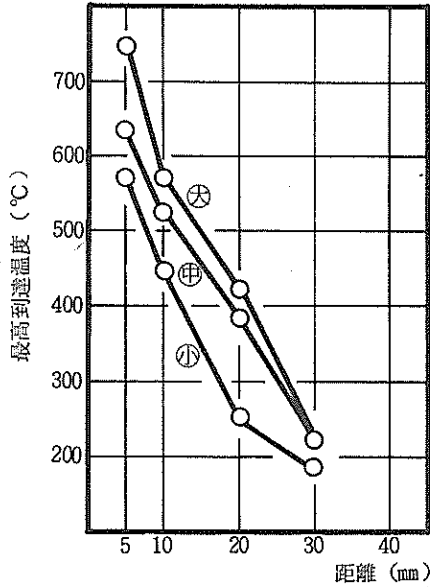


図-5 鋳型内最高到達温度

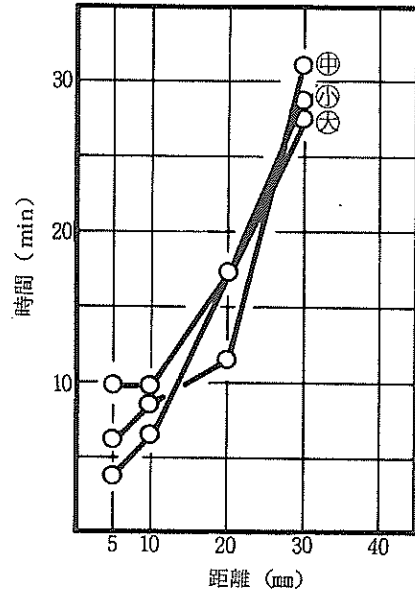


図-6 最高温度到達時間

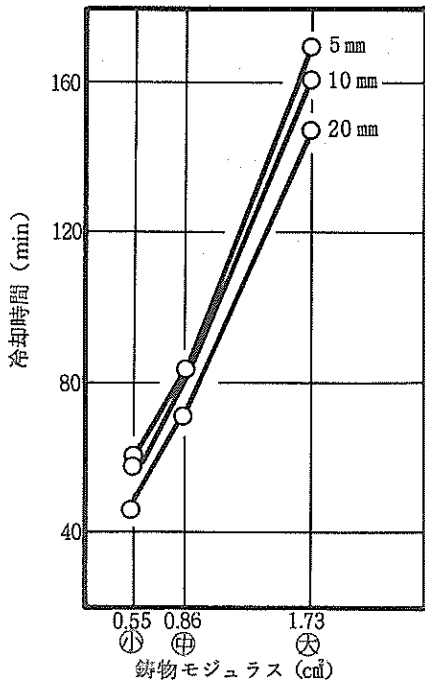


図-7 鋳物モジュラスと $200\text{ }^\circ\text{C}$ 冷却時間の関係

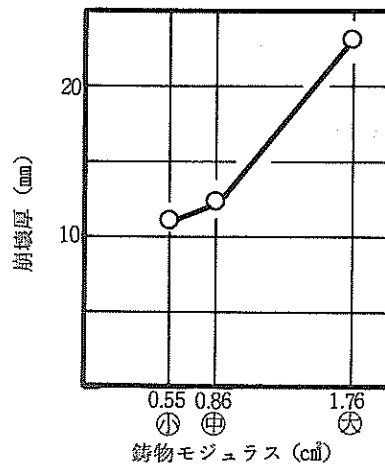


図-8 鋳物モジュラスと崩壊厚さの関係

その後は徐々に冷却して、(図-7)に示すように 200℃以下になるのは④が60分、⑤が80分、⑥が160分程度で、各鑄型とも距離のちがいによる冷却時間の差は15分～25分であった。さらに冷却時間と鑄物モジュラス〔(体積/面積)²=M〕の比を求めると、およそ89分/Mであった。

空冷後鑄物を抜きとり鑄型内部を軽く手で擦り焼けた砂を払い落して、完全に崩壊した鑄型壁厚を測定すると(図-8)のようになる。(図-5)と重ね合わせて見ると④で410℃、⑤で470℃、⑥で370℃以上に加熱された鑄型部が崩壊したことがわかる。

このように約400℃で加熱されると完全に崩壊してしまうが、(2・2)で述べたように、鑄型内部の非酸化雰囲気では400℃～600℃で加熱されると残留強度が向上し、崩壊しにくい部分が出ると考えられたことと矛盾する。しかし注湯後は数秒で鑄型内のガス圧はピークとなり、発生ガスによって非酸化雰囲気になるが、その後15～17分で大気と同圧となり⁶⁾やがて酸化雰囲気となる。従って、高温で長時間保持されている鑄型内部はほとんど結果的に酸化雰囲気での加熱となり、約400℃以上に加熱されて、完全に崩壊してしまうと考えれば理解できる。

4 くり返し加熱と再生

有機系鑄型は再生効率が良いことが大きなメリットとなっているが、再生の際、残留レジンが鑄型強度や、ガス欠陥に与える影響が大きく、その管理には十分注意が必要とされている。ここではウレタン樹脂(P・I)の残留レジンが強度に与える影響とエアースクラビング方式による再生効率を検討した。

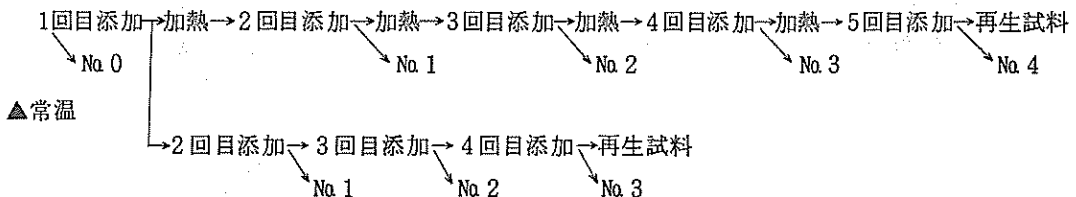
4・1 実験方法

4・1・1 くり返し加熱

砂及レジン(2・1)と同様とし、4kgを混練した。加熱方法は電気炉を用い、酸化雰囲気は鉄製容器(300×300×150)に均一に広げ、所定の温度に20分間保持した。非酸化雰囲気のもの約1.3kgづつをアルミニウムはくで包んで容器内に並べて同様に加熱した。

加熱後空冷してからレジンを追加して(2・1)同様に試験片を作成、24Hr放置して強度を測定した。試験片の採取Noは下記のとおりである。

▲酸化及び非酸化雰囲気



4・1・2 再生試験

試料は(4・1・1)の実験の残砂を用い、十分ほぐしてさらに10#篩を通して供試料とした。

再生処理はエアースリタリング方式を想定した装置(図-9)を用い、先端をショットピーニングマシンの中に入れ集塵を行ないながら再

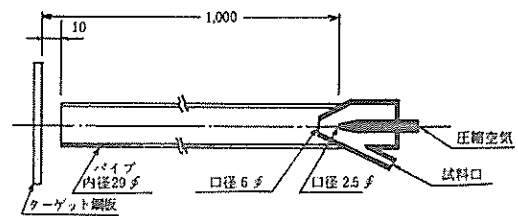


図-9 破砕性試験装置

生処理をくり返した。

4・2 実験結果と考察

(図-10)にくり返し添加と加熱による強度変化を、採取Noを横軸にとり図示し、(図-11)に加熱温度を横軸にとり図示した。

(図-10)は酸化、非酸化雰囲気いずれも添加と加熱をくり返す毎に強度はしだいに劣化していく傾向を示し、4回加熱、5回添加のNo.4で約30 kg/cm²まで強度が劣化した。酸化雰囲気の200℃、600℃と非酸化雰囲気の600℃において強度が回復しているが、これはレジンの特性か、あるいは加熱方法の誤差等によるものか、検討を要すると考えられるが、いずれにせよ添加、加熱を単純にくり返すとしだいに強度は劣化することが明らかとなった。

又(図-11)をみると、酸化雰囲気では、くり返し添加と加熱による強度劣化は温度が高い程少くなり、非酸化雰囲気では、400℃まで同様な強度劣化を示して、400℃を越すと劣化の割合が急に少くなる傾向が明らかになった。

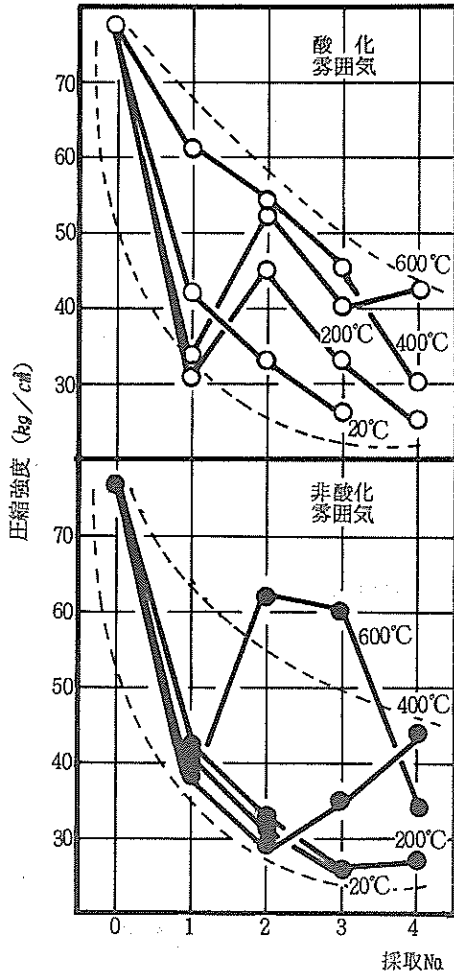


図-10 採取No.と圧縮強度の関係

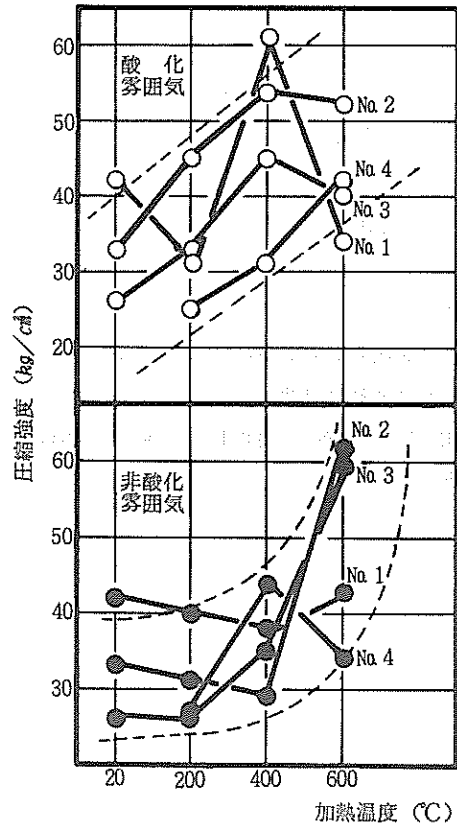


図-11 加熱温度と圧縮強度の関係

さらにLOIをみると(図-12)に示すように、酸化、非酸化雰囲気ともほとんど同様に、およそ200℃で0.9~1.1%、400℃で0.7~0.8%、600℃で0.2~0.3%の割合で増加し、加熱温度が高くなる程にLOI増加割合は少くなる傾向を示した。

従ってくり返し添加、加熱による残留レジンの影響はLOIを確実に高め、強度を劣化させるが、加熱温度と加熱雰囲気によりその劣化度合が異なることが明らかとなった。

(図-13)と(図-14)は熱影響を受けた残留レジンのエアースクラビング方式によりスクラビングを4回した場合の再生効果を示したものである。

4回のスクラビングによりLOIの減少割合をみると(図-13)、酸化雰囲気では200℃以上からしだいに再生効果が出て、600℃で約30%のLOI低下がみられる。しかし非酸化雰囲気では400℃以上でないと大きく再生効果が出てこない。

再生前と再生後の強度変化を比較したのが(図-14)で、再生により全体的に強度は改善されたと言えるが、改善幅は0~43 kg/cm²とかなり差がある。しかもLOIの傾向とは逆に低温部でその効果が大きくなっている。

これは使用した再生装置が、円筒内で砂粒を一方向に噴射し、砂粒間の摩擦で表面を平滑にするよりも衝撃によってレジンをはく離するこ

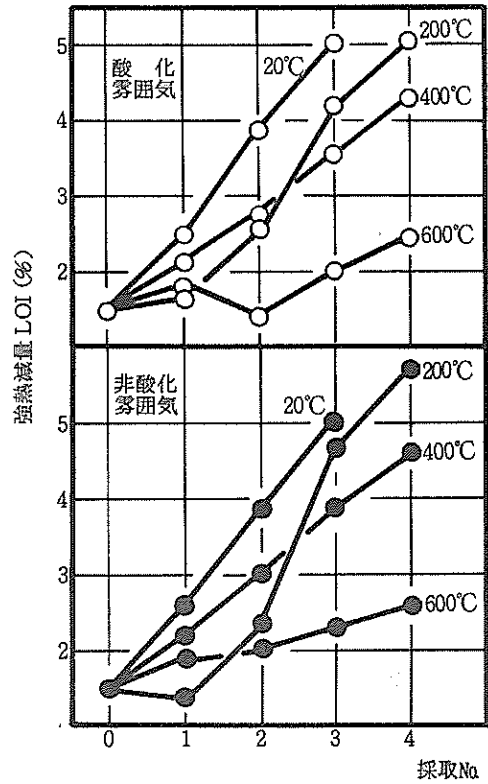


図-12 採取No.と強熱減量

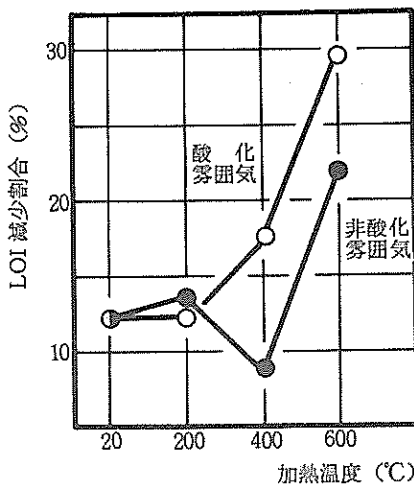


図-13 加熱温度とLOI減少の再生効果

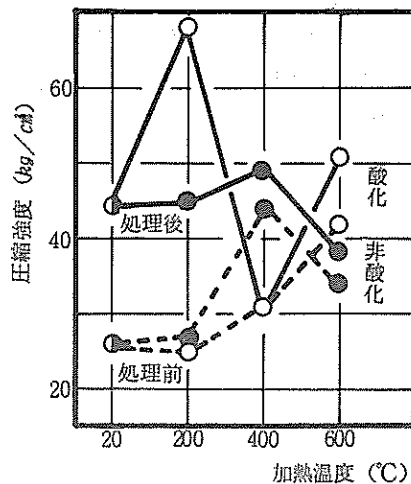


図-14 加熱温度と強度改善の再生効果

とが多いため、LOIが低下してもかならずしも直接的に強度改善にむすびつかなかったと考えられる。

5 結 言

ウレタン樹脂タイプ（P・I）を用いた鋳型の残留強度と崩壊性をテストピースと、鋳込み試験で検討し、さらにP・Iレジンの添加、加熱のくり返しによる強度劣化を検討した結果次のことが明らかとなった。

1) 酸化、非酸化雰囲気をとわずLOIは低下し、残留強度は酸化雰囲気で400℃以上、非酸化雰囲気では600℃以上で消失する。

2) しかし実際の鋳込み試験では鋳型が長時間高温で保持されるため、ほとんど内部まで酸化雰囲気となり、400℃以上に加熱された部分の残留強度は消失し、完全に崩壊する。

3) 単純に添加、加熱をくり返すとLOIは増加し、その割合は加熱温度が高い程少い。

4) くり返し添加、加熱することで強度は劣化し、酸化雰囲気では加熱温度が高い程劣化は少く、非酸化雰囲気では400℃以上から少くなる。

5) エアースクラビング方式による再生効果は酸化雰囲気で加熱された砂は効果が大きく、非酸化雰囲気で加熱された砂は400℃以上から効果が現われる。

6) エアースクラビング方式を想定した本実験装置による再生処理ではLOI低下と強度改善がかならずしも一致しない。

6 あとがき

本研究は昭和55年度技術開発研究費（共同研究）補助事業の成果をふまえ、工場への技術移転研究事業として行なったものである。

その間企業では有機に対する関心が高まり、昭和56年には有機プロセスを導入する段階となったが、本プロセスの技術移転にあたっては、当初、有機鋳型に対する期待や不安を整理することから始め、除々に鋳型特性等について技術指導を行なって来た。

本レポートは、比較的ノーハウの要素が多く、報告の少い、注湯後の砂処理に焦点をあてて実験を行い、その結果をまとめたものである。

参考文献

- 1) 太田：昭和55年度、技術開発研究費補助事業成果普及講習会用テキスト
- 2) 山本他2人：鋳物、50、1、14
- 3) 太田他3人：鋳物、50、11、688
- 4) 国吉、石原：昭和55年度、技術開発研究費補助事業成果普及講習会用テキスト
- 5) 山本、斉藤：鋳物、51、6、351
- 6) 牧口他6人、総合鋳物センター、昭和52年度研究調査報告236

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。