

## 生型砂試験片の成形方法と圧縮強さに関する一考察

名雪 東彦, 戸羽 篤也

## A consideration about the way of forming a green sand test specimen and it's compressive strength

Haruhiko NAYUKI, Atsuya TOBA

## 抄 録

生型砂の性状試験に供するため JIS では、試験片突き固め法（以下 JIS-3RAM 法と表す）を定めている。この方法は、手込め造型などで見られる突き棒やスタンプによる突き固めを想定している。一方、筆者らが開発した生型砂自動解析装置<sup>1)</sup>（商品名「一握の砂」）は、生型造型機械で主流になっているスクィーズ法に基づいた試験片成形法を採用している。ところが、試験片の圧縮強度特性は JIS 法とスクィーズ法では、とくに生型砂の水分変動に対して異なった傾向を示すことが今までに確認されている。そこで、砂試験片成形法の違いが生型砂の圧縮強さやカサ密度にどのように影響するのかを明らかにした。その結果、JIS-3RAM 法による試験片はスクィーズ法による試験片の強度特性と異なり、現在スクィーズ法が主流の造型ラインの砂試験法には適合しないと考えられる。

## 1. はじめに

筆者らは生型砂試験片の圧縮強さに影響する要因として、試験片の成形方法の影響はきわめて大きいことを指摘してきた<sup>2)</sup>。しかし、実際の生産現場では依然として JIS 法による試験片の特性に固執しているようである。

JIS 法による試験片成形方法は、6.5Kg の重錘を 50mm 高さから 3 回落下して 50±1mm になるよう砂重量を加減しながら作製するが、一方、筆者らが開発した砂試験機（GTR-1000「一握の砂」）の試験片成形方法は、一定容量の砂を一定成形圧で製作する。そのため、JIS 法とは異なり試験片の高さは砂の性状によってその高さが変わる。換言すれば、GTR-1000 では現在生産現場で広く常用されている CB 値を測定するための試験片を成形しているわけである。この試験片成形方法の違いにより生砂試験片の圧縮強さは、とくにその水分の多寡との関連でその特徴が大きく異なることが今までに確認されてきた<sup>2)</sup>。この違いは成形方法により砂粒の粘結のメカニズムが変わるためと思われるが、詳しくは不明であった。

本報では、砂水分を変えて成形方法の違いによる圧縮強さ

およびカサ密度の変化を検討し、粘結のメカニズムに関する考察を試みた。

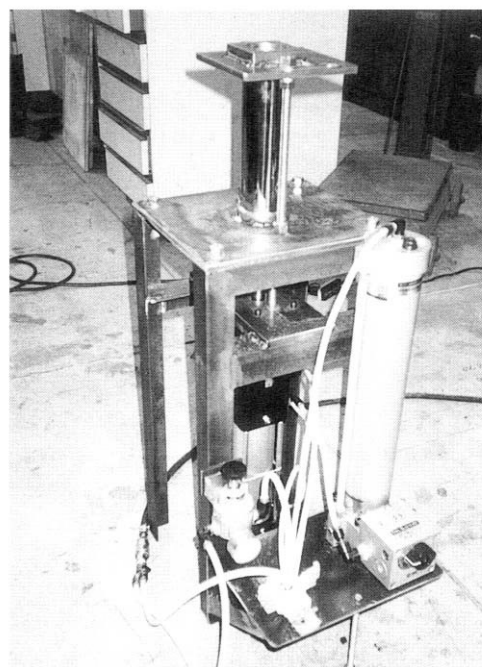


写真1 試作したスクィーズ成形試験機

2. 実験方法

供試したけい砂は「東北けい砂6号」で18メッシュピークの比較的粗めの砂である。ベントナイトはNa系とCa系ミックスベントナイト「クニボンドM7」を使用した。

供試砂の混練は1分空練りした後、水を添加し10分混練した。また、混練後翌日まで密封保存し熟成を考慮した。砂試験片の作製はJIS標準突き固め機及び写真1に示すようなスクィーズ成形用試験機を試作し使用した。

水分量の測定は、絶乾水分測定で島津製モイスターバランスEB3330MOCを使用した。

圧縮強さの測定は、ジョージフィッシャー製万能強度試験機PFG型を用いた。試験片の高さが50mmの場合はそのまま試験したが、スクィーズ成形用試験機で作製した試験片で、高さ寸法が50mmを超えるものはその超えた部分をリングで拘束して試験した。ただし、わずかに数ミリ程度超えたものはリングを装着しながらその部分をナイフで削り落とした。試験片高さが変わると負荷の際の応力分布が変わるため、最初の荷重スパンは50mm一定とした。

かさ密度の測定は、試験片成形後高さをノギスで計測し、さらに重量を測定して算出した。

3. 実験結果と考察

一連の実験の結果で得られたデータを、本報の最後に「参考資料」表1～表5として添付した。

3.1 フルイからの砂投入量のばらつき

実験を進めている中で、フルイからの砂投入量に若干のばらつきが認められた。すなわち、砂投入量に若干の差があり、そのため成形後の試験片高さや砂重量を正確に測定するとばらつきが認められたことである。原因としては、たとえ同一性状の砂であってもフルイを通過する際の砂量の違い、あるいは非画一的な落下の状況によるものと考えられる。このことは種々の局面で考慮しておく必要がある。

3.2 JIS法とスクィーズ法による試験片の圧縮強さの違い

実験に供した砂の水分範囲は砂粒が粗めであったこともあり2.36%から3.33%と僅かに1%しかないが、低水分側でこれ以上低くなると成形不能であり、また高水分側ではCB値が50%を超えておりこれ以上の高水分では成形不能であることを付記しておく。

JIS法による3-RAMで成形した試験片の圧縮強さは、生型砂の水分が増加するにしたがって徐々に強度は減少する傾向を持つことは一般的な常識として定着している。今回行った実験のデータをまとめたものが図1である。今回の実験でも

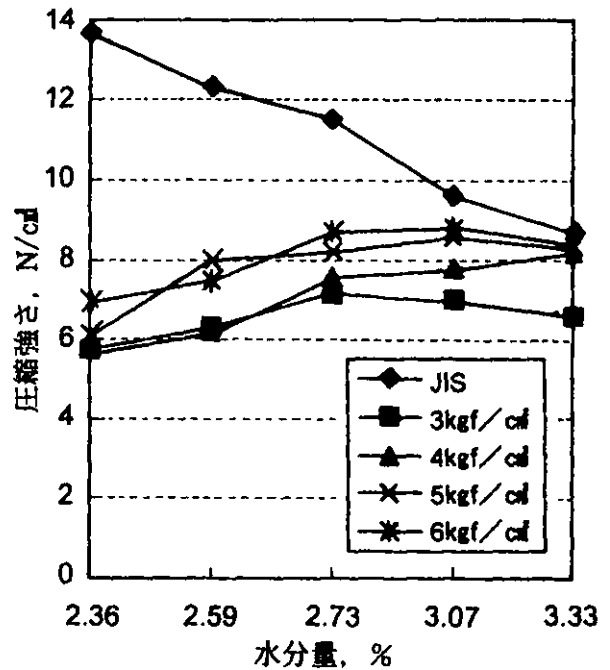


図1 JIS/3-ramとスクィーズ法による試験片の圧縮強さの違い (JIS法は50mm、スクィーズ法CB試験片)

JIS-3RAMではこの傾向を示している。すなわち、水分の増加で急激に圧縮強さは減少している。

一方、スクィーズ法による試験片では上記と明らかに異なる傾向を示している。すなわち、水分増加にともなって低水分側から若干増加傾向を示し、ある極大値を示しそこから減少している。スクィーズ成形圧の違いについては、高圧側が

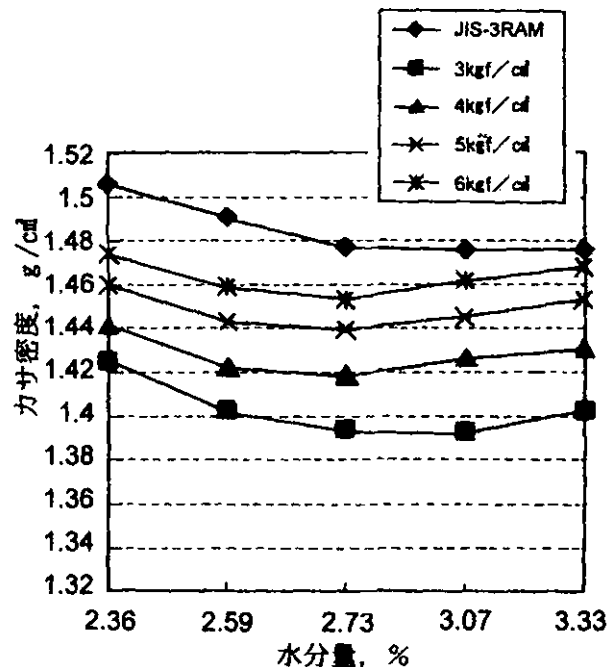


図2 JIS/3-ramとスクィーズ法による試験片のかさ密度

高い値を示すのは常識通りであるが、想像していたよりその差は僅かであり、5kgf/cm<sup>2</sup> 以上あればほとんど同じレベルであることが確認された。

なぜこのような違いが生じるのか、ひとつの影響要因としては、砂量の違いによる砂試験片のカサ密度の違いに注目した。

そこでカサ密度を検討すると、図2に示すようにJIS-3RAM 法の方がスクィーズ法より明らかにカサ密度は大きい。これは砂量、換言すれば成形後の試験片高さを考えると妥当なことである。また、いずれの成形法でも砂水分が増加した場合、カサ密度は減少する傾向にある。このことは水分増加で流動性が悪化し、CB 値が増加することと符合する。

JIS-3RAM 法による試験片では、カサ密度はある水分で飽和する傾向があるが、一方、スクィーズ法による試験片は高水分側で再度増加の傾向が認められた。すなわち、圧縮強さが上に凸に対して、カサ密度は下に凸の傾向を示し JIS 法とは根本的に異なっていた。

このことから結局、JIS-3RAM 法とスクィーズ法では成形時の砂のつまり方に根本的な違いがあるものと推定される。違いがあるとすれば、現在のスクィーズ方式が主流の自動造型機械に供給される生型砂の性状を把握するのに、砂のつまり方が違う突き固めによる JIS-3RAM 法は適していないと言えるのではないだろうか。

次に、成形時の砂重量の違いによりカサ密度が変わり、さらにこの変化が圧縮強さの違いに影響しているのかどうかを検証するため、試験片高さが 50mm になるように砂重量を加減して、スクィーズ法により砂試験片を作製し検討した。

### 3.3 JIS 法とスクィーズ法による試験片の比較

スクィーズ法により砂重量を加減して試験片高さが 50mm になるよう成形し圧縮強さについて JIS-3RAM 法と比較した。データをまとめたのが図3である。

前掲の結果と比較すると、かなり JIS-3RAM による試験片の圧縮強さの傾向に近づいてくるが、しかし水分の増加にともなう変化の傾向は JIS-3RAM のそれほど急激ではない。すなわち、水分増加に対して鈍感である。また成形圧については前述した通り 5kgf/cm<sup>2</sup> 以上でほぼ JIS-3RAM と同じレベルに達するようにみえる。

次に、スクィーズ法による 50mm 試験片のカサ密度を図4に示す。水分増加によるカサ密度の変化傾向は前述の結果と比較すると下に凸のような傾向を示さず、ほぼ直線的に減少している。また、成形圧が 5Kg/cm<sup>2</sup> 以上で JIS-3RAM と同程度のカサ密度を示した。

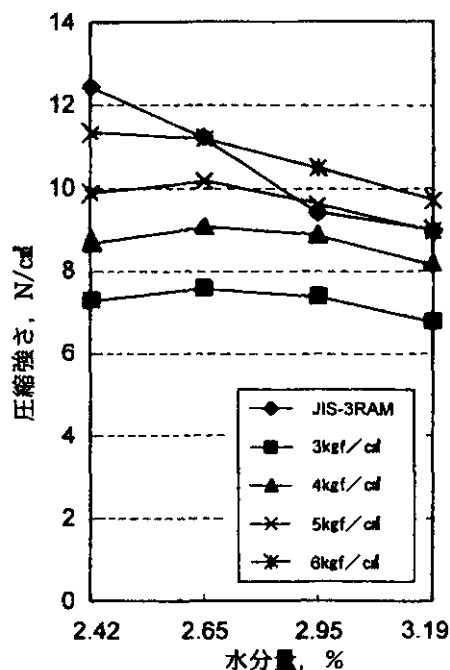


図3 成形法が異なる50mm試験片での比較

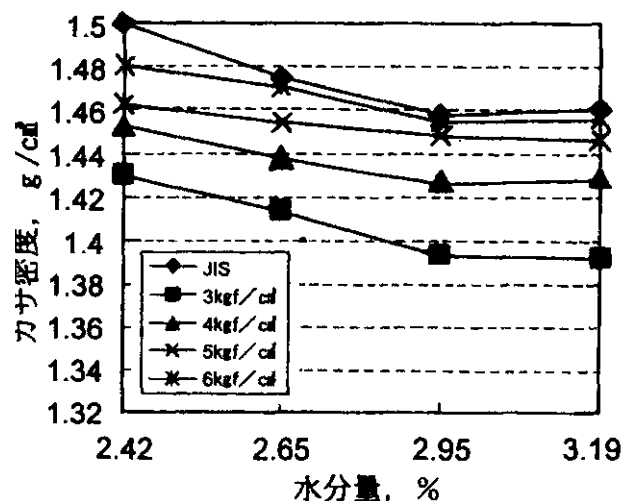


図4 50mm試験片のカサ密度の比較

以上、図1～図4を通して、成形時の試験片高さは圧縮強さおよびカサ密度にかなり影響していることがうかがわれる。すなわち、最終的に 50mm の試験片高さになるように成形前の砂重量を加減する JIS-3RAM 法で作製される試験片の充填の様子は、一定容量の砂を一定荷重で成形して得られる CB 試験片のそれとは大きく異なることが確認できた。

### 3.4 JIS-3RAM による CB 試験片の特性変化

次に、JIS 標準突き固め機を用いて、突き固め回数を 1～3 回と変えて試験片を成形したとき、圧縮強さおよびカサ密度がどう変化するかを調べた。ただし、いずれの場合も試験片高さが 50mm になるように砂重量を加減した。測定結果を図5と図6に示す。

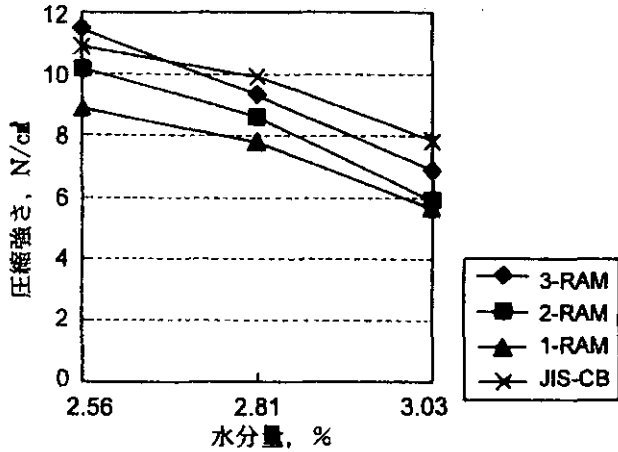


図5 突き固め回数の違いによる圧縮強さの変化

また参考のため、一般によく採用されている JIS-3RAM 法で成形した CB 試験片の測定結果も併記した。CB 試験片は容積一定の砂を突き固めて測定される。

水準数が少ないから確定的なことは言えないまでも、突き固め回数が多いほど高強度を示し、さらに水分の増加で圧縮強さは減少傾向を示した。また JIS-3RAM 法による CB 試験片も似たような傾向を示した。

一方、突き固め回数の違いによるかさ密度の変化は、それほど大きくなかったが、水分増加にともない圧縮強さのときと同じように減少した。ここで注目したいのは JIS-3RAM 法による CB 試験片である。前者と同じ程度の強度があるにもかかわらず、水分変化に対してかさ密度はほとんど変化していない。

このことから、容積一定の供試砂を成形して作製する CB 試験片のかさ密度や強度特性は、試験片高さが 50mm になるよう供試砂を加減して作製する JIS-3RAM 法による試験片の特性とは根本的な違いがあるものと思われる。

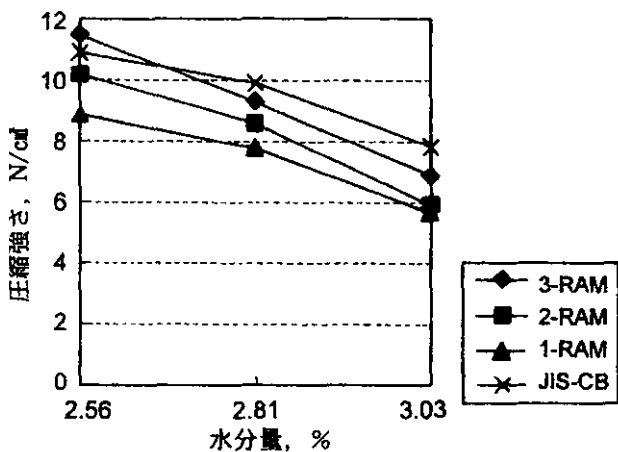


図6 突き固め回数の違いによるかさ密度の変化

### 3.5 試験片成形筒の長さの影響

試験片筒の長さを 100mm にするか 110mm にするか大きな問題ではないが、参考のためどの程度変化するか調査した。

100mm の方が 110mm に比べ CB 値は大きく表示される。また、圧縮強さは若干高く、かさ密度も大きい。生産現場では混練作業で生型砂の水分蒸発を考慮して CB 値は高めに設定されることを考えると CB 値が小さく表示される 110mm の方が良いと判断される。

## 4. まとめ

以上、生型砂の圧縮強さに焦点をあて成形法の違いがどのように影響するのか検討した。得られた知見をまとめると、

- 1) フルイからの砂投入量にばらつきがあり、成形後の試験片高さに若干の変動が確認された。
- 2) 成形圧は 5Kgf/cm<sup>2</sup> 以上であれば JIS-3RAM 法の成形エネルギーに近くなるのが分かった。
- 3) JIS-3RAM 法による 50mm 高さ試験片とスクィーズ法による CB 試験片の圧縮強さは明らかにその傾向は異なる。すなわち、型砂の水分を増加すると、JIS 法では減少するが、一方スクィーズによる CB 試験片では上に凸にやや増加の傾向を示す。
- 4) 圧縮強さに大きく影響すると考えられたかさ密度は、JIS 法では水分増加にともなって圧縮強さと同じように減少傾向を示すが、一方、スクィーズ法では水分増加に対して下に凸の傾向を示し、圧縮強さと逆の相関が認められた。
- 5) スクィーズ法により成形した 50mm 試験片の圧縮強さとかさ密度の傾向は JIS-3RAM 法の結果と符合する。
- 6) 容積一定の供試砂を一定成形条件下で作製する CB 試験片と、試験片高さが 50mm と一定になるように砂重量を加減して作製する JIS-3RAM 法とは根本的に砂のつまり方が異なるため強度特性が異なるものと考えられる。
- 7) このことからスクィーズ法による造型が主流の造型ラインの砂試験法としては、現行の JIS 法の試験片作製法は適合しないと考えられる。
- 8) 以上の観点から JIS 法による試験データに固執するならば、両者の検量線は不可欠であろう。

## 参考文献

- 1) 名雪東彦, 戸羽篤也, 田中勝, 竹内稔: 鑄物 64 (1992)
- 2) 名雪東彦, 戸羽篤也, 田中勝, 竹内稔: 鑄物 65 (1993)

表1 試験片成形法及び成形圧と鑄型特性の変化

試験片成形法	J I S 法	SQUEEZE 法	SQUEEZE 法	SQUEEZE 法	SQUEEZE 法
63mm シリダ <sup>*</sup> 使用	(3RAM)	3kgf/cm <sup>2</sup>	4kgf/cm <sup>2</sup>	5kgf/cm <sup>2</sup>	6kgf/cm <sup>2</sup>
50mm シリダ <sup>*</sup> 換算		4.8kgf/cm <sup>2</sup>	6.4kgf/cm <sup>2</sup>	7.9kgf/cm <sup>2</sup>	9.5kgf/cm <sup>2</sup>
水分 2.36 %	試片重量	148	214	217	217
	CB 値	-	23.3	23.3	24.4
	材密度	1.51	1.43	1.44	1.46
	圧縮強さ	13.7	5.7	5.7	6.1
	硬さ	92/90	72/82	80/84	83/88
水分 2.59 %	試片重量	146	191	193	192
	CB 値	-	30.7	31.0	32.1
	材密度	1.49	1.40	1.42	1.44
	圧縮強さ	12.3	6.3	6.2	8.0
	硬さ	92/90	75/80	80/84	84/88
水分 2.73 %	試片重量	145	172	173	173
	CB 値	-	36.9	37.5	38.9
	材密度	1.48	1.39	1.42	1.44
	圧縮強さ	11.5	7.2	7.6	8.2
	硬さ	92/89	82/83	84/87	87/89
水分 3.07 %	試片重量	144	147	146	147
	CB 値	-	46.4	47.8	48.3
	材密度	1.48	1.39	1.43	1.44
	圧縮強さ	9.6	7.0	7.8	8.6
	硬さ	87/85	82/86	85/86	86/88
水分 3.33 %	試片重量	144	130	130	130
	CB 値	-	52.7	53.8	55.0
	材密度	1.48	1.41	1.43	1.45
	圧縮強さ	8.7	6.6*	8.2*	8.3*
	硬さ	86/83	80/84	85/90	86/90

\* 試験片長さは50mm以下になっている。

表2 JIS-3ram法によるCB試験片の特性変化

水分%	2.56	2.81	3.03
CB 値	32.9	41.4	49.0
かさ密度 g/cm <sup>3</sup>	1.45	1.45	1.46
圧縮強さ N/cm <sup>2</sup>	10.9	9.9	7.8
硬さ (上面/下面)	90/84	88/84	88/84

表3 JIS法の突き固め回数と試験片の特性の関係

(ただし、いずれの場合も試験片高さが50mmになるよう砂重量を加減した)

水分%	2.56	2.81	3.03
<b>3 RAM</b>			
かさ密度 g/cm <sup>3</sup>	1.48	1.48	1.48
圧縮強さ N/cm <sup>2</sup>	11.5	10.2	8.9
硬さ (上面/下面)	91/89	92/90	89/86
<b>2 RAM</b>			
かさ密度 g/cm <sup>3</sup>	1.45	1.45	1.45
圧縮強さ N/cm <sup>2</sup>	9.3	8.6	7.8
硬さ (上面/下面)	92/87	89/85	89/82
<b>1 RAM</b>			
かさ密度 g/cm <sup>3</sup>	1.41	1.40	1.40
圧縮強さ N/cm <sup>2</sup>	6.9	5.9	5.7
硬さ (上面/下面)	85/80	82/77	81/78

表4 SQUEEZE法による試験片の特性

(ただし、いずれの場合も試験片高さが50mmになるよう砂重量を加減した)

SQUEEZE 圧=6kgf/cm <sup>2</sup> (9.5)			
水分%	2.46	2.72	2.96
かさ密度 g/cm <sup>3</sup>	1.46	1.46	1.46
圧縮強さ N/cm <sup>2</sup>	11.5	10.8	9.8
硬さ (上面/下面)	90/89	90/87	90/82

表5 試験片成形法及び成形圧と鑄型特性の変化

(JIS法、SQUEEZE法ともに砂重量を加減して試験片高さが50mmになるように調整)

試験片成形法		JIS 法	SQUEEZE 法			
φ 63 mm シリンダ <sup>*</sup> 使用		(3-ram)	3 kgf/cm <sup>2</sup>	4 kgf/cm <sup>2</sup>	5 kgf/cm <sup>2</sup>	6 kgf/cm <sup>2</sup>
φ 50 mm シリンダ <sup>*</sup> 換算			4.8 kgf/cm <sup>2</sup>	6.4 kgf/cm <sup>2</sup>	7.9 kgf/cm <sup>2</sup>	9.5 kgf/cm <sup>2</sup>
水分 2.42%	試片重量	147	142	143	144	145
	かさ密度	1.50	1.43	1.45	1.47	1.48
	圧縮強さ	12.4	7.3	8.7	9.9	11.3
	硬さ	92/89	78/82	84/82	86/83	90/89
水分 2.65%	試片重量	144	141	142	143	144
	かさ密度	1.47	1.41	1.44	1.46	1.47
	圧縮強さ	11.2	7.6	9.1	10.2	11.2
	硬さ	92/88	83/83	86/85	86/84	90/88
水分 2.95%	試片重量	143	140	141	142	143
	かさ密度	1.46	1.39	1.43	1.45	1.46
	圧縮強さ	9.4	7.4	8.9	9.6	10.5
	硬さ	89/87	86/84	88/85	89/88	92/88
水分 3.19%	試片重量	144	139	141	142	143
	かさ密度	1.46	1.39	1.43	1.45	1.46
	圧縮強さ	9.0	6.8	8.2	9.0	9.7
	硬さ	89/87	82/78	87/87	89/87	90/87