

7. PET ボトル・使い捨てガラスビンの建設資材の 1 つであるタイルへの有効利用

Products of the Practical Tile as Construction Materials by Recycling PET Bottles and One- way Glass Bottles

久保井 利達*・久保井 徳洋**・北野 智法*・西田 一彦***

Yorimichi KUBOI, Norihiro KUBOI, Tomonori KITANO, Kazuhiko NISHIDA

ABSTRACT; This research takes as an object discarded PET bottles and glass bottles. First, the bottles are subdivided. PET flakes are heated and melted, glass is mixed, and test pieces are produced. Next, unconfined compression strength and bending strength of the pieces are obtained. The production method of the tile which is not crystalized white and can be used as construction materials was examined. Furthermore, hardness was examined as one of the intensity measurements. The following conclusions were drawn: (1) Maximum of unconfined compression strength is 8.784N/mm^2 . (2) Maximum of bending strength is 4.672N/mm^2 . (3) The piece particle diameter of glass should be 2.00-9.00mm. (4) A mold is maintained at the same temperature as the melted PET, should be made thin. (5) The thickness of a tile should be about 4-8mm. (6) This tile has the almost same hardness as boards made of vinyl chloride.

Consequently, the standard of the fundamental production method of the practical tile was obtained.

KEYWORDS; PET Bottles, One- way Glass Bottle, Tile, Recycle, Hardness

1. はじめに

持続的な社会を構築するにあたって、ゴミ問題や環境問題に対して社会的に取り組まなければならない時代となっている。ゴミ問題では、生活系一般廃棄物のうち包装容器系の廃棄物の増加が著しい。¹⁾特にゴミ急増の主因である使い捨て型包装容器の廃棄物をいかに減らせるかを考え、ゴミを減量化することがさし迫られている。それらの使い捨て型飲料容器にはガラスビン・缶・PET ボトル・紙パックなどがあるが、一つ一つではリサイクルや再利用という形がなされている。しかし、現状では手間やコストが掛かることによりほとんど一回しか使われず、すべて廃棄物として出てきてしまうところに最大の問題がある。基本的には、家庭や普段の生活からの身近な使い捨て容器から環境問題の解決に取り組む必要があり、いずれ 100%リサイクルすることが求められる。このような背景から、本研究では廃棄された PET ボトルとガラスビンの飲料容器を同時にリサイクルするために、建設材料への有効利用を対象としている。第一に、これらの容積を減量することを考え、これらを細分化する方法を検討する。第二に、細分化した試料である PET ボトル片とガラスビン片を混合して、加熱融合による方法で供試体を作製したものを一軸圧縮強度および曲げ強度について検討し、建設材料として使用できることを明らかにする。その結果を踏まえた上で、有効利用する方法として建設材料の中のタイル作製に注目して実験を行ったものである。その上で、景観性を考慮した実用化に向けてのタイルの作製方法・強度について検討してきた結果を報告する。

2. 試料の種類と性質

研究対象は使い捨て型包装容器の中で、飲料容器の PET ボトルと使い捨て型ガラスビンの 2 種類である。この 2 種類の物質についての材質と物性を以下に示す。

* 和歌山工業高等専門学校環境都市工学科 Department of Civil Engineering, Wakayama National College of Technology, 77 Noshima, Nada, Gobo, Wakayama, 644-0023. ** 和歌山工業高等専門学校機械工学科 Department of Mechanical Engineering.

*** 関西大学工学部土木工学科 Department of Civil Engineering, Kansai University, 3-3-35 Yamate, Suita, Osaka. 564-0073

2. 1. PET ボトル

PET 樹脂は次のような特徴をもっている。²⁾ ①透明性に優れている。②ガスバリア性が良く保香性に優れている。③耐油性に優れ、油分の多い食品容器に適している。④耐薬品性に優れ、酸をはじめとする有機薬品に耐える。⑤無臭で可塑剤を含まず安全である。⑥無臭で内容物の味と香りに影響を与えない。⑦焼却処理の際、有害ガスが発生しない。⑧強度物性に優れている。融点が 260℃と高く、熔融すると急激に粘度低下を起こす。外気の影響を受けやすく成形温度に敏感であり、結晶白化する。

本校の近くの御坊清掃センターで、PET ボトルの回収と細分化を行っている。そこで、清掃センターに協力をいただいて、PET ボトルの細分化試料を提供していただいている。細分化された PET 片を写真-1 に示す。

2. 2. 使い捨てガラスビン

ガラスビンの性質³⁾について以下に示す。①ビン用ガラスの物性：通常のビンは、ソーダ石灰ガラスでつくられている。②ビンの長所と短所³⁾：金属、プラスチック、紙などの他素材容器とビンと比較してみると、表-1 のような長所と短所がある。回収したガラスビンのキャップをはずし、ガラスビンの中を軽く水洗いして、乾燥さす。ガラスビンを炉内温度を 500℃のマントルヒーター炉の中に入れる。各試料が十分その温度になったところで、炉から取り出し、すぐ、冷水槽に投入する。このときの温度差による熱衝撃を利用してガラスビン进行を割る。ガラスビンの細分化した試料を写真-2 に示す。

表-1 ビンの長所と短所³⁾

特性項目	
長 所	1. 透明性 内容物が見える。
	2. 化学的安定性 内容物と反応しない。
	3. 遮断性 通気性がない。内容物を劣化させない。
	4. リサイクル性 回収して、再度、利用できる。
短 所	1. 破損性 柔軟性がなく、割れやすい。
	2. 重量性 他容器にくらべて、重い。 250ml 容器のビンの重量を 1 とした場合、金属缶 0.3、プラスチック容器は 0.1、紙容器は 0.07 となる。

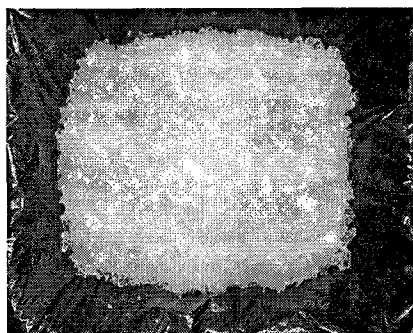
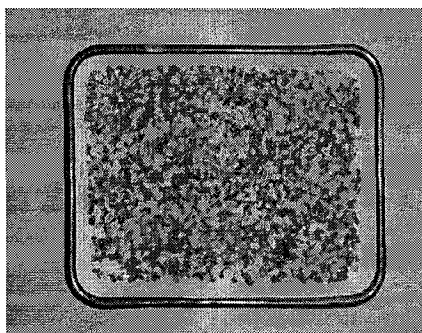
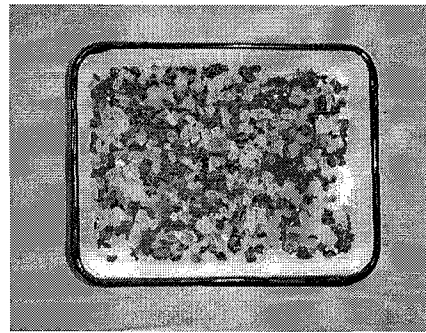


写真-1 細分化した PET ボトル片



ガラス片 (2.00~4.75mm)



ガラス片 (4.75~9.00mm)

写真-2 細分化したガラスビン

2. 3. 試料の配合割合

ガラス片は三段階の粒度 (粒径 A 9.52~15.9 mm B 4.78~9.52 mm C 0.85~4.78 mm) を混ぜ合わせて使用する。No.10 シリーズ (A50% B30% C20%)、No.20 シリーズ (A50% B40% C10%)、No.30 シリーズ (A50% B20% C30%) とする。ガラスの重量 1 に対する PET 片の重量を変化させることにより、各比率 (40%, 50%, 60%, 80%, 100%) の 5 種類で作製し一軸圧縮強度および曲げ強度を測定する。

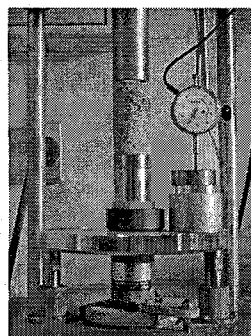


写真-3 一軸圧縮強度
試験

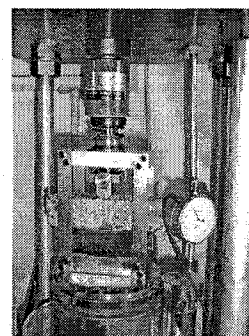


写真-4 曲げ強度
試験

3. 強度試験

3. 1. 供試体

びんの破壊に耐えうる融点が約 600℃、PET の融点が 260℃であるため、びん片と PET 片の混合物を炉にかけ、常温より 250℃まで熱し PET のみを溶解する。それをすばやく鉄製型枠に流し込み、充分冷え固まったのち型枠をはずす。試験規格より一軸圧縮試験に用いる供試体寸法は 50φ—100mm を用いる。曲げ試験に用いる

供試体寸法は、断面 40mm×40mm、写真-3 に一軸圧縮強度試験、写真-4 には曲げ強度試験の様子を示す。

3. 2. 供試体密度と応力の関係について

全供試体の密度と最大一軸圧縮応力を図-1 に示す。

図から、各シリーズとも全体的に右上がりの傾向を示す。

密度が大きくなると一軸圧縮強度の値も大きくなる。

次に、全供試体の密度と最大曲げ応力を図-2 に示す。図より、No. 20 シリーズは密度が大きくなると最大曲げ応力は大きい値を示す傾向にある。No. 10 シリーズと No. 35 を除く No. 30 シリーズは、上に凸を描く傾向にある。密度と最大曲げ応力との相関関係については、ガラス片の配合に大きな影響を受けると考えられる。

3. 3. PET 含有率と応力の関係について

図-3 に配合割合 (PET 含有率) と一軸圧縮強度の関係について図示する。図から、全体的に見ると上に凸の曲線を描いており、それぞれのシリーズで 60%~80% のときが最も大きくなる。この値が PET 含有率の最適配合率であると考えられる。

図-4 に配合割合 (PET 含有率) と曲げ強度の関係について図示する。図より、No. 35 を除いて上に凸の曲線を描いている。つまり、PET 含有量が多すぎても、少なすぎても強い強度は得られないと考えられる。このことは PET 含有率が曲げ強度に大きな影響を与えることを示し、PET/PET の最適な配合量が存在することを示している。No. 35 については特異なパターンであると考えられる。また PET 含有率が低いと、ガラスに溶解 PET が行き渡りにくく供試体の作製が非常に困難であるため、一軸圧縮強度の供試体と同様に、現実的には最低 50% の PET 含有率が必要である。

3. 4. 曲げ応力と一軸圧縮応力の関係について

全供試体の最大曲げ応力と最大一軸圧縮応力の関係を図-5 に示す。図より、最大曲げ応力が大きくなると最大一軸圧縮応力は大きくなる傾向にある。よって曲げ強度と圧縮強度には相関関係があると考えられる。

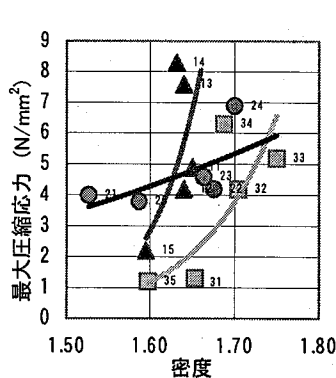


図-1 密度と最大一軸圧縮応力

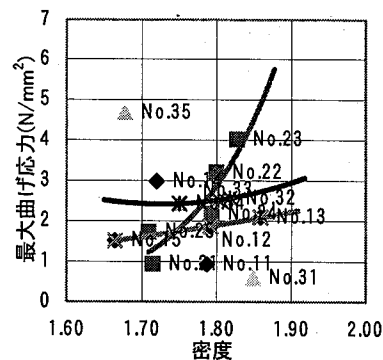


図-2 密度と最大曲げ応力

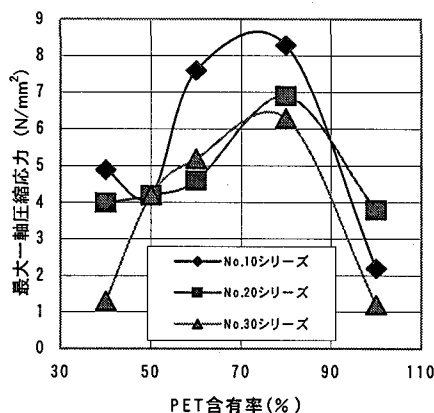


図-3 PET 含有率と最大一軸圧縮応力

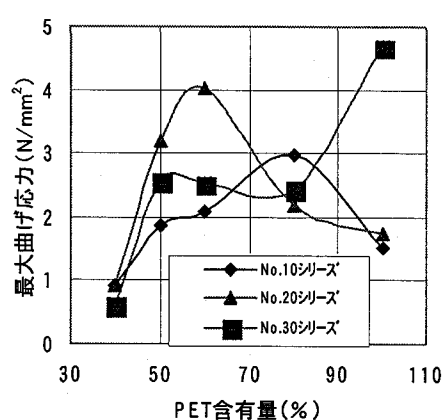


図-4 PET 含有率と最大曲げ応力

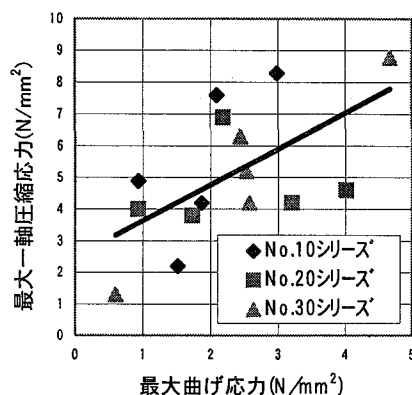


図-5 最大曲げ応力と最大一軸圧縮応力

4. 実用化に向けてのタイル作製の検討について

これまでに行ってきた供試体作製と強度試験の結果を踏まえて、小型で建設資材になるものは床や壁に使用されるタイルが最適であると考えられる。また、PETの結晶化温度領域は、120～220℃で、特に170～180℃付近で最大結晶化速度を示す。⁴⁾ このため、熔融したPETは120～220℃の温度領域を急激に通過することにより白濁化しない性質がある。このPETの性質を利用して、景観性を考慮した実用化に向けてのタイルの作製方法について検討する。

4. 1. 供試体の作製方法

表-2に示すケースでタイルとなる供試体を作製する。作製順序において、以下のような作製方法で行う。

(1)所定の割合になるようにPET片、ガラス片を計量する。

(2)PET片を炉にて260℃まで加熱し、熔融させる。またそれと同時に別の炉に蒸発皿に入れたガラス片を、別に薄形型枠をホットプレート（写真-5）に載せたものを用意し、共に260℃に加熱する。（厚形枠（写真-6）は炉により加熱）

(3)PET片の熔融後、出してきた熔融PETとガラス片を混合し、油を塗った型枠に流し込んで、形を整える。

(4)氷水で急冷し、充分冷え固まったのち型枠からはずす。

4. 2. 実験結果と考察

(1)配合について

PET片に対するガラス片の割合は、各ケース80～120%が適当である。

(2)ガラス片粒径について

あらかじめガラス片とPET片を混合して加熱する場合には、ガラス片粒径についてあまり細かすぎるものを用いると、ガラスの表面積が大きくなり温度を直接受けやすくなることで熔融PETの温度が上がりやすくなり、温度管理が困難になるために、熔融PETが沸騰状態となり溶かしすぎてしまう。（写真-7）PETの熔融程度が供試体の出来に大きく作用するため、細かすぎるものは適当ではない。ガラス粒径は2.00mm～9.00mmが適当である。

(3)使用型枠について

ホットプレートを用いない薄形型枠は、保温力がなく、熔融PETを流し込んでいる最中に放冷され、結晶白化温度域になる。そのために、白濁化すると考えられる。

厚形型枠は、炉から出してもすぐに温度が下がらないので、熔融PETを型枠に流し込んでいる最中も保温される。しかし型枠の熱容量が大きいため、型に接触している部分は急冷されず、氷水に入れても白濁化すると考えられる。ホットプレートを用いた薄形型枠は熔融PETの流し込みの際に保温され、しかも型の熱容量が小さいため透明なタイルを作製できたといえる。（写真-8）

表-2 実験に使用した項目

ケース 各項目		1	2	3	4	5	6	7	8
PET片 に対するガラ ス片の 割合 (%)	0	○	—	—	—	—	—	—	—
	20	○	—	—	—	—	—	—	—
	40	○	○	○	—	—	—	—	—
	50	—	—	○	—	—	○	—	—
	60	○	○	○	○	○	○	○	—
	70	—	—	—	○	—	○	○	—
	80	○	○	—	○	—	—	○	○
	90	—	—	—	—	—	—	—	○
	100	○	○	—	—	—	—	○	○
	120	—	—	—	—	—	—	—	○
ガラ ス片 粒径 (mm)	0～2.0	—	○	—	—	—	—	—	—
	0～4.75	○	—	—	—	—	—	—	—
	2～4.75	—	—	○	○	○	○	○	—
	4.75～9	—	—	—	—	—	—	—	○
厚形型枠		○	○	○	—	—	○	—	—
薄形型枠		—	—	—	○	○	—	○	○
試料を混合加熱		○	○	—	—	○	—	—	—
別々に加熱後混合		—	—	○	○	—	○	○	○
型枠 加熱	加	—	—	○	○	○	○	○	○
	非	○	○	—	—	—	—	—	—

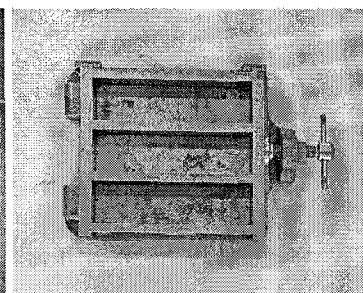
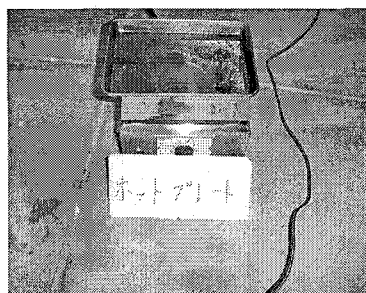


写真-5 薄形型枠パットとホットプレート 写真-6 厚形型枠

(4)加熱方法について

あらかじめガラス片と PET 片を混合しておき、これらを同時に加熱した場合には、ガラス片の粒径や配合により PET 片の温度の上がり方が異なり、温度管理が困難となる。このため、ガラス片と PET 片を別々に加熱後混合する方法が温度管理や、PET 片の熔融の程度等を管理しやすく、こちらの方法が適切である。

(5)型枠の加熱の有無について

型枠の加熱を行わない場合には、型枠に熔融 PET を流し込む際に放冷が始まり、白濁化する。このため、型枠は熔融 PET と同程度の温度まで加熱すべきである。

(6)PET 片の熔融具合について

供試体の出来は PET ボトルの熔融具合に大きく左右される。熔融しすぎると、流し込みの作業がしやすくなる半面、熔融 PET が茶色く色がついてしまう。また、そのときの供試体がもろくなってしまう。あまり熔融しないで硬い状態の熔融 PET であれば、きれいな仕上がりになるが、流し込みにくいことにより、供試体の形がいびつになり整形されない。(写真-9)

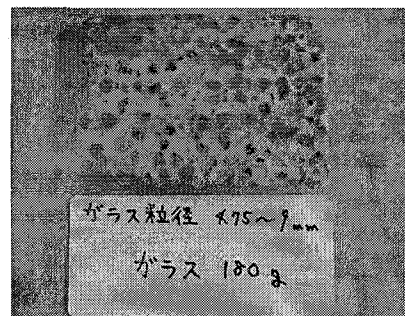
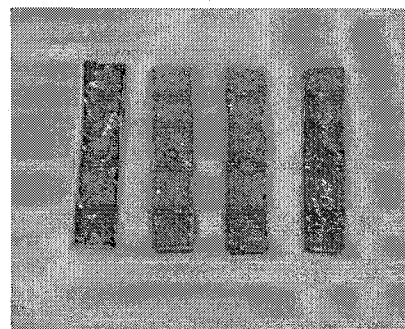


写真-8 ケース8で作製した供試体

5. タイルの硬さ試験

タイルの強度を調べるため、デュロメータ用定圧荷重器(写真-10)を使って、測定する。

デュロメータを試料に押しつける速度は、フリー状態で速度約 1.5 mm/sec に調整されている。測定値の読み取り時間は、デュロメータの加圧面が試料面に密着した直後-デュロメータの指示値で最大値-を読み取ることを原則とする(瞬間値)⁵⁾。

同一試料を数ヶ所測定する場合は、測定点は6mm以上離す。

試料の厚みは型式、規格により異なるが、6mm以上が基本とされている。

測定点は試料端面から12mm以上離れた位置で、測定点の間隔は6mm以上離す。

試験温度、湿度は温度 23 ± 2 °C、湿度 50 ± 5 %が望ましい。

個人差など測定値のばらつきを解消するために一定の荷重をかけることのできる補助装置を用いる。

上記の方法で測定し、さらに個人差などの測定値のばらつきを解消するため、タイルの5ヶ所に押針し硬さを測定する。その5つの平均値をタイルの硬さの値とする。その結果を表-3に示す。

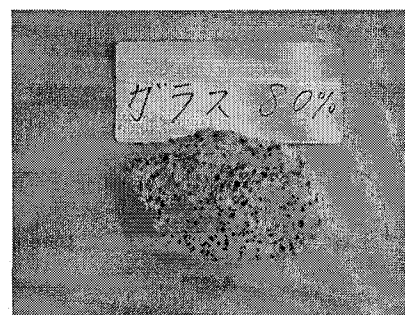


写真-9 ケース7で作製した供試体

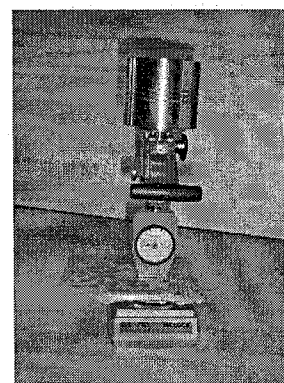


写真-10 デュロメータ用定圧荷重器⁵⁾

表-3 ガラス粒径 (2.00~4.75mm)

番号	ガラス片重量 (g)	割合 (%)	硬さ試験の結果	平均
①	120	60	71、74、69.5、74、70	71.7
②	140	70	70、68、77、77、72	72.8
③	160	80	70、71、76、73、74	72.8
④	180	90	71、70、80、78、75	74.8
⑤	200	100	76、68、77、72、71	72.8

表-3 ガラス粒径 (4.75~9.00mm)

番号	ガラス片重量 (g)	割合 (%)	硬さ試験の結果	平均
⑥	120	60	71、67、71、70、70	69.8
⑦	140	70	74、75、75、72、75	74.2
⑧	160	80	67、78、76、75、68	72.8
⑨	180	90	73、74、73、74、76	74
⑩	200	100	73、81、73、66、78	74.2

ガラス粒径 (2.00~4.75 mm) のタイルについて

- ・ ①~⑤のどのタイルも平均的に同じような値が得られ、特に④のタイルが硬さの最大値を示した。
- ・ 最大値と最小値に大きな差がないので、このガラス粒径でのタイルの硬さはガラス片の配合比には左右されないと考えられる。

ガラス粒径 (4.75~9.00 mm) のタイルについて

- ・ 最大値は⑦と⑩であるが、⑦は平均的な硬さを得られた。

6. おわりに

PET ボトルとガラスビンの建設材料への有効利用について検討してきた結果、明らかになったものを項目ごとに示す。

- ・ 両者を混合し加熱融合による方法で作製した供試体の一軸圧縮強度および曲げ強度について
 - (1) 供試体密度が大きくなると、一軸圧縮強度および曲げ強度は大きくなる。
 - (2) PET 含有率 60~80% のとき一軸圧縮強度および曲げ強度が共に最大値を示す。
 - (3) 曲げ応力と一軸圧縮応力は比例関係にある。
 - (4) 本研究の強度試験で得られた一軸圧縮強度の最大値は、8.784 N/mm² である。
 - (5) 本研究の強度試験で得られた曲げ強度の最大値は、4.672 N/mm² である。
- ・ 景観性を考慮した実用化に向けての白濁化しないタイルの作製方法について
 - (1) PET 片に対するガラス片の割合は 80~120% が良い。
 - (2) ガラス片粒径は 2.00mm~9.00mm が最適である。
 - (3) 使用型枠については、熔融混合させた試料の流し込みに手間取らず、作製したタイル製品を急冷しやすい薄形型枠が良い。ただし、ホットプレートを用いて行う。
 - (4) 加熱方法は、ガラス片と PET 片を別々に加熱後、混合するのが良い。
 - (5) 型枠は熔融 PET と同程度の温度まで加熱すべきである。
 - (6) 4~8mm 程度の厚さになるように試料を流し込み、タイル製品を作製する。
 - (7) 急冷方法については、身近にあるものですぐに用意ができる氷水が最適であると考えられる。
- ・ タイルの硬さ試験による強度について
 - (1) タイルの硬さ結果から多少低い数値のものもあるが、ガラスの粒径、配合比によって硬さに大きな違いはないと推測される。
 - (2) タイルの硬さの違いはそんなに見られないが、ガラスの粒径 2.00~4.75 mm のものと、4.75~9.00 mm のものを混合して用いるほうがより硬いタイルの作製できると考えられる。
 - (3) この硬さ試験で、鉄ではほぼ 100、塩化ビニールで約 70 という値を示すことより、このタイルは塩化ビニール板とほぼ同じ硬さが得られる。

以上のことから、景観性を考慮した、結晶白化しない建設材料の基礎的な作製方法の目安が得られた。

参考文献

- 1) 安田八十五:包装容器と環境問題ーゴミ問題からワンウェイ容器を考え直すー工業材料, 第40巻第7号, pp. 21, (1992)
- 2) 奥村喜美雄:プラスチック・トレイ, 工業材料, 第40巻第7号, pp. 53-54, (1992)
- 3) 佐々木光男, 丸山 滋:びん(瓶), 工業材料, 第40巻第7号, pp. 88-92, (1992)
- 4) 大阪市立工業研究所, プラスチック読本編集委員会, プラスチック技術協会(編):飽和ポリエステル, プラスチック読本, 改訂第18版, pp. 175, (1992)
- 5) 株式会社テクロック, テクロックデュロメータ(ゴム・プラスチック硬度計)GSシリーズ取り扱い説明書