

# 砕石場廃泥の再活用研究

—廃泥を活用した建築・土木資材の開発—

小島 均\* 谷津 公隆\*\*  
長内 伸吉\*\* 諏訪 幸雄\*

## 1. 緒言

岡本興業(株)笠間工場は、道路用骨材やコンクリート用砕砂を主に生産している。このコンクリート用砕砂生産工程中の水洗工程から廃泥が約200(t/日)排出される。

現在の廃泥の処分は、埋め戻しで処理しているが処分地が不足してきている。

このため、廃泥を再利用し何らかの製品化を行う必要性に迫られており、また、発生する廃泥が多量であるため、大量に使用される土木建築材料の開発を計画した。

産業廃棄物を再利用した土木建築材料の製品開発は、図1に示すようにコンクリート用骨材や舗道用タイルなど種々の製品が考えられるが、今後需要が見込める軽量骨材、舗道用タイル及び舗道用透水タイルの開発を行うこととした。

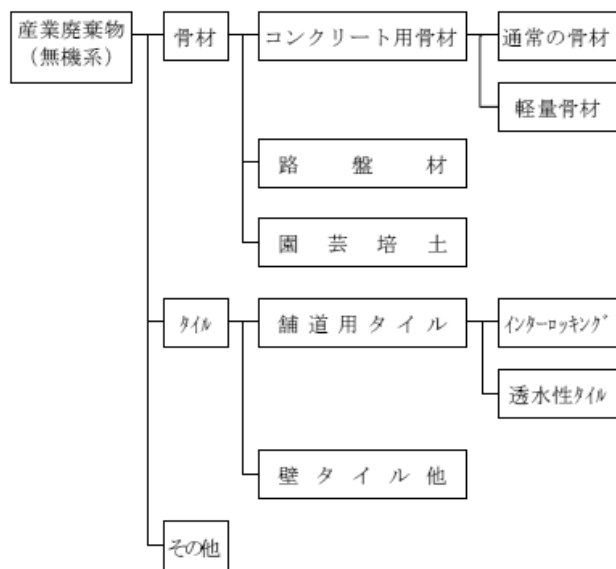


図1 産業廃棄物を活用した土木建築材料等の製品開発

また、各製品の開発目標は下記の通りとした。

- (1) 軽量骨材の開発目標  
J I S規格 M種：比重1.0~1.5
- (2) 舗道用タイル(インターロッキングブロック)の開発目標  
廃泥からの透水タイル製作の可能検討
- (3) 透水タイル開発目標  
廃泥からの透水タイル製作の可能検討

## 2. 試験及び試作

### 2.2 廃泥の性状把握

#### 2.2.1 試験方法

廃泥の性状を把握するため、成分分析及び素地試験を行った。各試験方法は次の示す方法で行った。

- (1) 成分分析：蛍光X線分析(前処理：ガラスビード法)
- (2) 素地試験：半乾式プレス成形テストピースによる焼成試験
  - ・成形方法：サンプル量100g(水4%添加)
  - ・型形状40mmφ
  - ・成形圧239(kg/cm<sup>2</sup>)
  - ・焼成条件：100°C/hr 目標温度で60分間保持後自然冷却
  - ・焼成温度：1050°C~1180°C
  - ・測定項目 煮沸吸水/焼成収縮/焼成状態の目視

#### 2.1.2 廃泥性状の把握試験結果

##### (1) 成分分析結果

蛍光X線による元素組成の分析結果を表1に示す。この廃泥にはシリカ、アルミナ分に対しアルカリ成分が多く含まれている。

表1 砕砂工程廃泥の元素組成分析結果

Ig.loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO
5.39	63.05	13.39	3.89	0.70	0.08
CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3.76	2.18	3.68	2.12	0.11	

また、Rileyの発泡組成範囲(SiO<sub>2</sub>60~70%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>15~25%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>5~10%, CaO+MgO0~6%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O3~4%)に対しFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が若干不足している他は、概ね発泡組成範囲にある。軽量骨材の開発にあたっては鉄分の添加が必要になると考えられる。

##### (2) 素地試験結果

素地試験の結果を表2に示す。各焼成温度毎の収縮率及び吸水率から、この原料は概ね1120°C~1150°Cの間に焼き締まり、以後は熔融した。この結果から焼成温度の範囲が非常に狭く、取り扱いが難しい材料であることがわかった。

表2 素地試験結果：焼成収縮率及び吸水率

温度(°C)	1050	1080	1100
収縮率(%)	0.49	2.99	7.21
吸水率(%)	19.9	13.6	5.4
温度(°C)	1130	1150	1180
収縮率(%)	6.1	6.72	熔融
吸水率(%)	0.2	0.3	1.0

### 2.2 軽量骨材の開発

J I S規格 M種(比重1.0~1.5)の軽量骨材を開発するため原料配合試験(電気炉による)を行った。

#### 2.2.1 試験方法

- ・配合：Rileyの発泡組成範囲を参考にして、表3に示す配合で球状のテストピースを作製した。

- ・焼成方法：図2に示す焼成パターンで電気炉により焼成した。
- ・測定項目：比重 / 吸水率

表3 軽量骨材配合試験：配合表：炭素 / 弁柄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

試料	A-0,1,3,6	B-0,1,3,6
碎石場廃泥	100	100
炭素 添加量(%)	0,1,3,6	0,1,3,6
弁柄(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 添加量(%)	0	1

試料	C-0,1,3,6	D-0,1,3,6
碎石場廃泥	100	100
炭素 添加量(%)	0,1,3,6	0,1,3,6
弁柄(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 添加量(%)	3	5

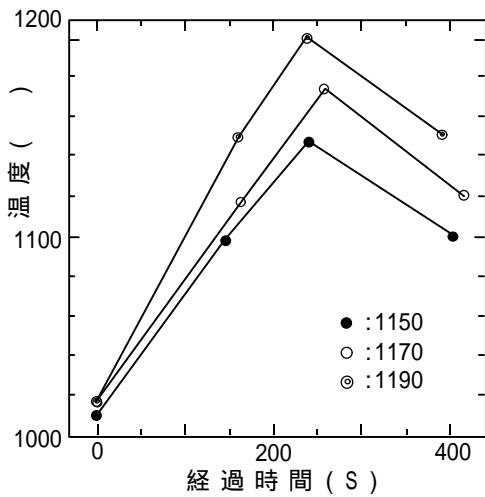


図2 軽量骨材配合試験：焼成パターン

### 2.2.2 軽量骨材配合試験結果

軽量骨材配合試験の結果を図3-1~4に示す。開発目標のJIS規格 M種 (比重1.0~1.5) が製造の可能性がある配合としては、B系列 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 1% , C : 0 ~ 6%) 及びC系列 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 3% , C : 0 ~ 6%) であることがわかった。

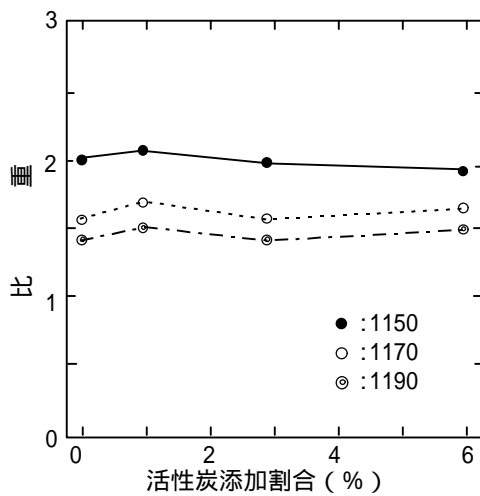


図3-1 軽量骨材配合試験：A系列  
[Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0% , C = 0 ~ 6%]

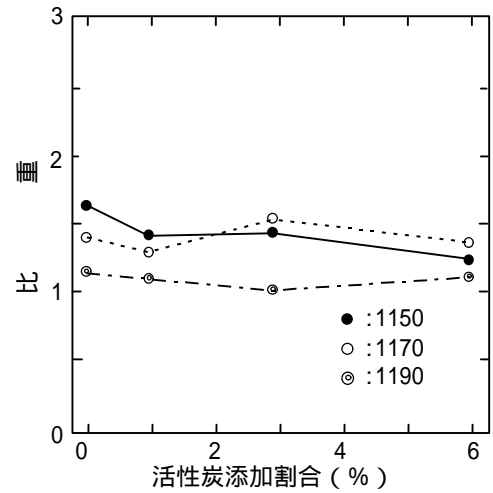


図3-2 軽量骨材配合試験：B系列  
[Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1% , C = 0 ~ 6%]

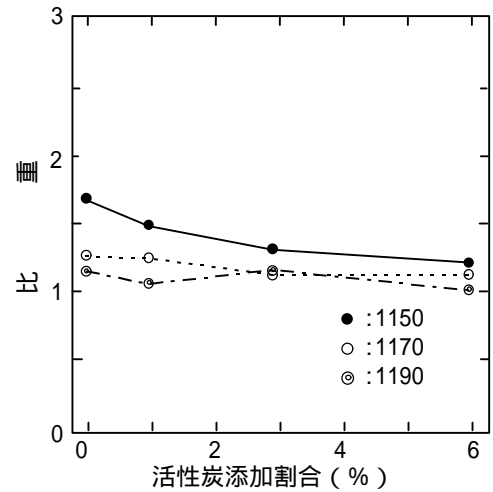


図3-3 軽量骨材配合試験：C系列  
[Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3% , C = 0 ~ 6%]

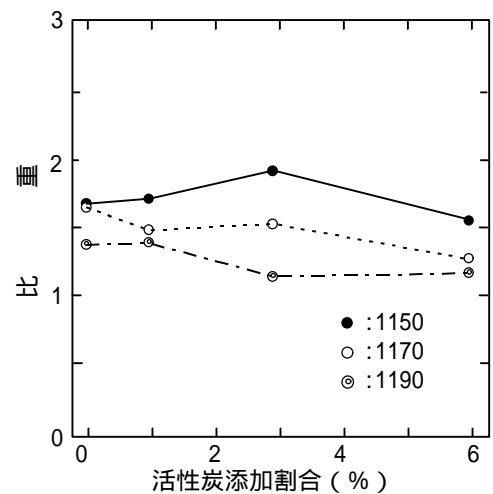


図3-4 軽量骨材配合試験：D系列  
[Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 5% , C = 0 ~ 6%]

また、この廃泥の発泡性は、酸化鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) の含有量の影響が大きいことがわかった。

今後、この配合 (B, C 系列) でロータリーキルンにより焼成試験を行い、最適な配合及び焼成温度を確認する計画である。

### 2.3 舗道用タイル(インターロッキングブロック)の開発

廃泥単味で [ J I S A 5209 ] の床タイル規格 (曲げ強度 / 耐摩耗性) を満足できる舗道用タイルが製作可能かどうかを検討した。

#### 2.3.1 舗道用タイル(インターロッキングブロック)

##### 試験方法

廃泥を乾燥粉碎したものを原料とし、半乾式プレス成型によりテストピースを試作した。試作の条件は次の通りである。

- ・型の寸法：120cm × 120cm
- ・加圧荷重：70/100/140/180(kg/cm<sup>2</sup>)
- ・材 料：碎石廃泥を 110 で乾燥し、混練機により粉碎したものを含水率 8 % に調整し使用

し

た。

- ・焼成条件：100 /hr 1120 120 分間保持(電気炉)
- ・測定項目：曲げ強度：J I S A 5209  
耐摩耗性：J I S A 5209  
吸水率：J I S A 5209

なお、原料廃液粉の水分調整及び成形圧力、焼成条件については、あらかじめ予備試験を行い、タイルが成形できる条件を設定した。

#### 2.2.3 試験結果

試作した舗道用タイルを図 4 に示す。



図 4 試作した舗道用タイル

試作したタイルの吸水率は表 4 に示したように J I S 規格中の分類で磁器質に相当するものであった。

表 4 舗道用タイル試作：吸水率

成形圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	70	100	140	180
吸水率 (%)	0.4	0.4	0.4	0.5

成形圧力による収縮率の変化を図 5 に示す。収縮率は、成形圧力の増加に伴い減少した。また、本試験程度の厚みの場合はほとんど変形が見られなかったが、レンガ状のテストピースによる予備試験では若干の膨張変形が見られた。

耐摩耗性は表 5 に示すように J I S 規格をクリアした。

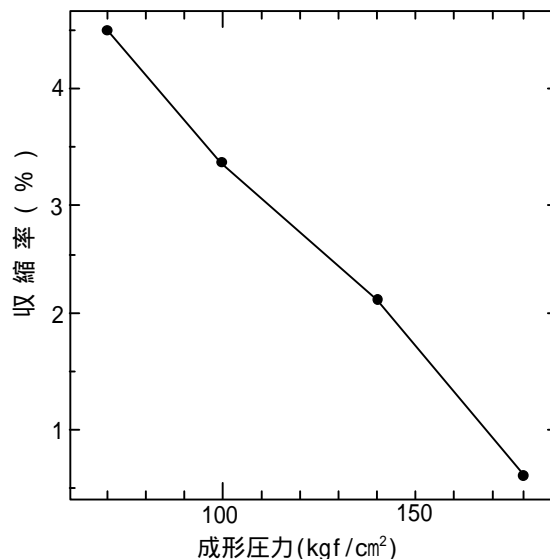


図 5 舗道用タイル試作試験：収縮率

表 5 舗道用タイル試作：耐摩耗性試験結果

成形圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	70	100	140	180
摩耗減量 (g)	0.03	0.05	0.05	0.05

曲げ強度の試験結果を図 6 に示す。

曲げ強度は、成形圧力の増加に伴い減少したが、J I S 規格値 [ 12.24(kgf/cm) 以上 ] を満足している。

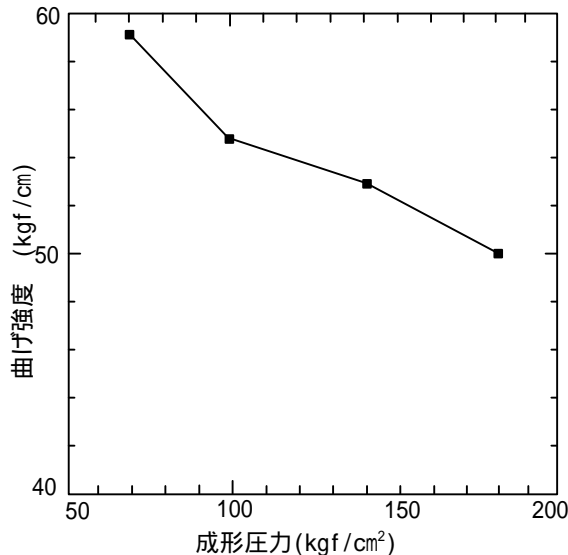


図 6 舗道用タイル試作試験：曲げ強度

廃泥単味で、曲げ強度、耐摩耗性の J I S 規格を満足する舗道タイルが製作できた。

しかし、成形圧が低い場合に焼成時の収縮がやや大きく変形が問題となると考えられる。

#### 2.4 透水タイル開発

廃泥から透水タイルが製作可能かどうかを検討するため、バインダー (廃ガラス) 量について検討した。

2.4.1 試験方法

廃泥を利用した透水タイルを下記により試作した。

- ・型の寸法：120cm×120cm
- ・加圧荷重：106/140/180(kg/cm<sup>2</sup>)
- ・材 料：砕石廃泥をフリクションプレスで加圧成形し、1120 で焼成したレンガを破碎し、4.75~0.85mm の粒度のものを使用した。
- ・助 剤：成形助剤：ベントナイト5%、水8%  
 バインダー：廃ガラス粉5%~15%
- ・焼成条件：100 /hr 1110 60分間保持
- ・測定項目：曲げ強度：J I S A 5209  
 透水性能：2 L (10cm×10cm×20cm)の水柱が通過するのに要する時間を測定した。  
 (図7に示す器具を使用した)



図7 透水性測定器具

なお、成形助剤、水分及び成形圧力については、あらかじめ予備試験を行い、透水タイルが成形できる条件を設定した。

2.4.2 透水タイルの試作試験結果

試作した透水タイルを図8に示す。



図8 試作透水性タイル

試作したタイルは、各配合とも収縮率は約1%であり、反り等の変形はあまり見られなかった。

曲げ強度の測定結果を図9-1に示す。バインダーの添加量の増大に伴い曲げ強度は増加した。これは、粒子を結合しているバインダー（ガラス）量の増加に伴い粒子を結合する部分が増加するためと思われる。

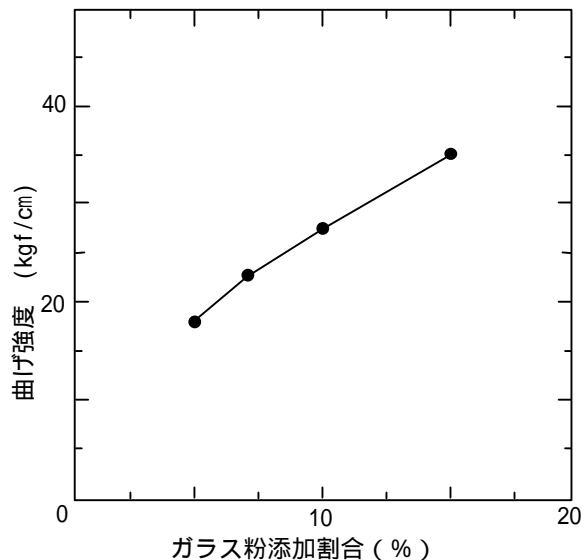


図9-1 透水タイル試作試験：曲げ強度  
 [成形圧：106kgf/cm<sup>2</sup>，ガラス=5~15%]

透水性の測定結果を図9-2に示す。タイルの透水性を透水係数 [ 2 L の水が透水タイル 1 cm<sup>2</sup> 当たり 1 秒間に透過する体積 (m ) ] とした。バインダーの添加量の増大に伴い透水係数は減少した。これは、粒子を結合しているバインダー（ガラス）量の増加に伴い粒子を結合する部分が増加し、粒子の間隙を埋めるためと思われる。

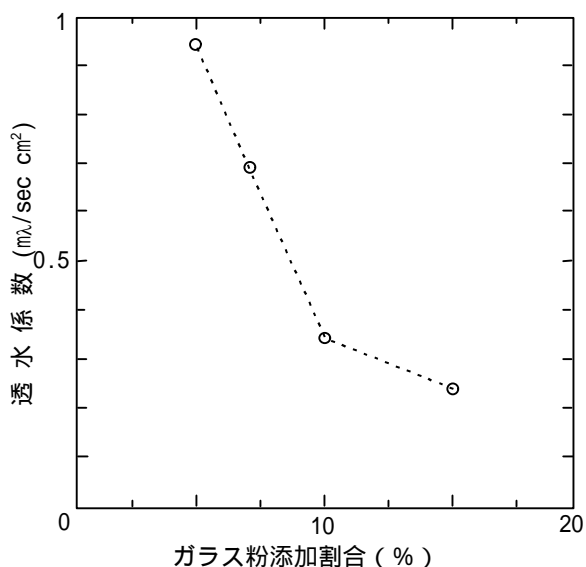


図9-2 透水タイル試作試験：透水係数  
 [成形圧：106kgf/cm<sup>2</sup>，ガラス=5~15%]

### 3. まとめ

(1) 岡本興業(株)笠間工場の廃泥にはシリカ、アルミナに対しアルカリ成分が多く含まれ、また、Rileyの発泡組成範囲にある。

この廃泥は、概ね1120～1150の間に焼き締まり、以後は熔融した。この結果から焼成温度の範囲が非常に狭く、取り扱いが難しい材料である。

(2) 軽量骨材開発目標のJIS規格 M種(比重1.0～1.5)が製造できる配合としては、B系列( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :1%、C:0～6%)及びC系列( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :3%、C:0～6%)である。また、当廃泥の発泡性は、酸化鉄の含有量の影響が大きいことがわかった。

(3) 舗道用タイルは、成形圧の増加に伴い、曲げ強度は低下するということがわかった。試作したテストピースは、いずれもJIS規格を満足するものであり、廃泥から舗道用タイルは製造可能と考えられるが、焼成時の変形をなくすという課題が残った。

(4) 透水タイルは、バインダー(ガラス粉)の添加量の増大に伴い曲げ強度は増加したが、透水性は低下した。また、試作したテストピースの曲げ強度は、床タイルのJIS規格(A5209):12.24(kgf/cm)を十分に充たす強度を得た。

#### 参考文献

- 1) 茨城県工業技術センター研究報告, 19, 54～58 (1991)
- 2) 茨城県工業技術センター研究報告, 20, 110～114 (1992)
- 3) 茨城県工業技術センター研究報告, 21, 152～154 (1993)
- 4) 茨城県工業技術センター研究報告, 17, 71～81 (1989)
- 5) 茨城県工業技術センター研究報告, 18, 49～52 (1990)
- 6) セラミック工学ハンドブック(社)日本セラミックス協会編、技法堂出版(株)(1989)
- 7) セラミック製造プロセス, 素木洋一 著, 技法堂出版(株)(1979)
- 8) 造粒ハンドブック, 日本粉体工業技術協会編, オーム社(1991)
- 9) 成形用有機添加剤, (株)ティー・アイ・シー(1993)