

小粒径ポーラスコンクリートを利用した 環境対応型コンクリートの開発

前川明弘^{*}，増山和晃^{*}，森沢諭^{*}，村上和美^{*}，谷口祐一郎^{**}

Development of Environment-responsive Concrete Using Small Particle Size Porous Concrete

Akihiro MAEGAWA, Kazuaki MASUYAMA, Satoshi MORISAWA,
Kazumi MURAKAMI and Yuichiro TANIGUCHI

1. はじめに

近年，建設業界では，利便性，快適性などの経済効率を優先した構造物の製造・施工方法を見直し，資源循環，環境負荷低減といった「地球環境」を意識した取り組みが強く求められるようになった。このような背景の中，著者らは，これまでに内部に多くの連続した空隙を持ち，植生ブロックや魚礁ブロックなど様々な機能を有するポーラスコンクリートに関する研究を実施してきた。また，新たな取り組みとして小粒径骨材（粒径：0.6～2.5mm）を用いたポーラスコンクリート（以下，小粒径ポーラスコンクリートとする）に関する研究に着手している。

本研究では，小粒径ポーラスコンクリートのさらなる用途開発の可能性を見出すために，リサイクル材料（電気炉酸化スラグ，陶磁器くず）の利用と新たな機能性の付与に関する基礎実験を実施した。新たな機能性としては，近年，建築物の室内環境の改善に関する需要が高まっていることから，電磁シールド性能及びアセトアルデヒド吸着分解性能に着目し，その可能性について検討した。

2. 小粒径ポーラスコンクリートの製造方法

2. 1 使用材料

本研究では，小粒径ポーラスコンクリート用骨材として電気炉酸化スラグ（A，Bの2種類）と陶磁器くずを選定した。使用材料を表1に，骨材のX線回折パターンを図1に示す。図1より，電気炉酸化スラグ（AおよびB）からは主に，Weustite，Kirschsteinite，Gehleniteが，陶磁器くずからはQuartzとMulliteに一致するピークが確認できた。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント： (密度 3.16g/cm ³ ，比表面積 3280cm ² /g)
骨材	電気炉酸化スラグA(粒径1.2～2.5mm)： 表乾密度 3.77g/cm ³ ，吸水率 0.84%，実積率 56.4% 電気炉酸化スラグB(粒径0.6～1.2mm)： 表乾密度 3.76g/cm ³ ，吸水率 0.93%，実積率 55.9% 陶磁器くず(骨材粒径0.6～1.2mm)： 表乾密度 2.31g/cm ³ ，吸水率 4.46%，実積率 52.5%
水	水道水
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

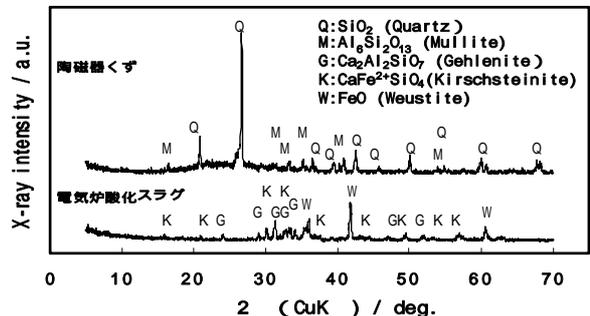


図1 電気炉酸化スラグおよび陶磁器くずのX線回折パターン

* 材料技術研究課

** 元(財)三重県産業支援センター 研究員

2. 2 供試体の製造方法

実験の要因と水準を表2に示す。本実験では、各種廃棄物の小粒径ポーラスコンクリート用骨材としての使用率（置換率）は、すべて100%とした。結合材の水セメント比は25%とし、ペーストのフロー値FL（JIS R 5201に準拠）は、供試体底部に垂れが生じないように高性能AE減水剤で調整した。また、練混ぜ、打設、締固めは、既報¹⁾と同条件でなるように調整した。

3. 分析・評価

3. 1 空隙率および圧縮強度

小粒径ポーラスコンクリートの空隙率測定は、一般的な手法²⁾で行うと測定誤差が生じやすいことが確認されている。そこで本研究では、一定の測定精度を有することが検証できている質量法³⁾を採用し、全空隙率を計測した。

一方、圧縮強度試験はJIS A 1108に準拠して実施し、供試体の圧縮強度－空隙率関係について検討した。供試体は、φ100×200 [mm]の円柱とし、材齢14日目に両面キャッピングと研磨処理を行った。養生方法は標準とし、試験は材齢28日で実施した。

3. 2 保水性・吸水性（揚水性）

保水性・吸水性試験は、インターロッキングブロック舗装設計施工要領⁴⁾に準拠して実施し、供試体は200×100×60 [mm]の直方体とした。養生方法は標準とし、試験は材齢28日で実施した。

3. 3 電磁シールド

ポーラスコンクリートの電磁シールド試験方法は定められていない。そこで本研究では、図2に示すシールド評価試験装置（サイズ：480×440×400 [mm]）を用いて評価した。シールド評価試験装置は金属製の箱形筐体で、上蓋が上下方向に開閉する構造となっている。また、供試体（サイズ：80×80×5 [mm]）は装置中央に固定し、その両サイドには信号を送受信するためのアンテナが設置されている。

試験では、供試体前方の送信アンテナで電磁界を発生させ、後方の受信アンテナで供試体を通過した電波を受信することで反射減衰量[dB]を算出した。データの取得はシールド評価試験装置に接続したスペクトラムアナライザにより行い、測定周波数範囲は100～800 MHzとした。ここでは、

表2 実験の要因水準

要因	水準
W/C (%)	25
使用骨材	電気炉融化スラグA 電気炉融化スラグB 陶磁器くず
設計空隙率 (%)	10、20、30
結合材混合条件	ペースト先練り
使用ミキサ	オムニミキサ（ペースト練混ぜ） モルタルミキサ（ペースト+骨材練混ぜ）
FL	230（電気炉融化スラグA） 270*（電気炉融化スラグB、陶磁器くず） *：0打フロー値
締固め条件	テーブルパイプレータ
加振時間	10s

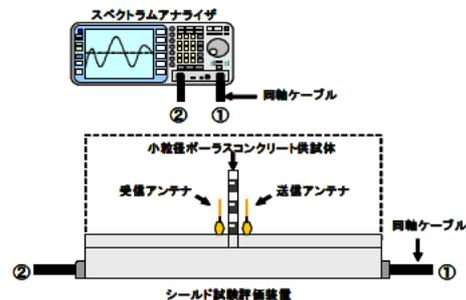
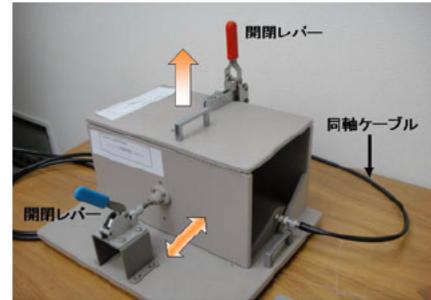


図2 シールド試験評価装置

比較試験として、JISモルタル平板（JIS R 5201に準拠）の反射減衰量も計測した。

3. 4 アセトアルデヒド吸着分解

室内の環境改善などを想定して、小粒径ポーラスコンクリートに光触媒を塗布・担持し、室内揮発性有機化合物（本報告では、アセトアルデヒド）の吸着分解性能を評価した。供試体はφ50×20 [mm]の円柱とし、設計空隙率は10%または30%とした。試験では、材齢28日（標準養生）の供試体を105℃で1週間乾燥させた後、片側表面に光触媒溶液を2 mLずつ塗布し、再び105℃で1週間乾燥したものを光触媒担持ポーラスコンクリートとして使用した。

性能評価では、まず、上記供試体とアセトアルデヒド（初期濃度は1000ppm）を5Lのテドラーバックに封入し、乾燥窒素で希釈し暗室に保存した。2日後、供試体表面の紫外線強度が1mW/cm²となるよう紫外線を照射しながら濃度の変化を測

定した。また、光触媒の塗布および紫外線照射の有無による比較試験も併せて実施した。

3. 5 重金属溶出量

重金属の溶出試験は、環境省告示第 46 号（水銀の測定のみ昭 46 環境省告示第 59 号付表 1）および JIS K 0102 に準拠して実施した。試料は、40×40×160 [mm] の直方体供試体をそれぞれの試験に適合する状態に処理して使用した。

4. 実験結果および考察

4. 1 空隙率－圧縮強度関係

小粒径ポーラスコンクリートの圧縮強度と全空隙率との関係を図 3 に示す。同図には、結合材ペースト強度を全空隙率 0% の強度として示した⁵⁾。図 3 より、陶磁器くずや電気炉酸化スラグを使用した供試体の圧縮強度と全空隙率には高い相関関係があることが確認できた。また、電気炉酸化スラグ A および B の近似式が同一であったことから、スラグの粒径が圧縮強度に及ぼす影響は小さいことが明らかとなった。上記の結果は、著者らがこれまでに実施した碎石を骨材に使用した小粒径ポーラスコンクリートの圧縮強度と全空隙率の近似曲線⁶⁾ともほぼ同等であった。

以上のことから、陶磁器くずや電気炉酸化スラグの骨材としての使用は、圧縮強度には大きな影響を及ぼさないことが確認できた。

4. 2 保水性・吸水性（揚水性）

保水性試験および吸水性試験はすべて、同一の供試体を用いて評価した。保水量と全空隙率との関係を図 4 に示す。図 4 より、小粒径ポーラスコンクリート供試体の保水量は、全空隙率が高くなるほど大きくなる傾向となり、使用する骨材による差はほとんど認められなかった。また、供試体全てのデータを用いた近似式は非常に相関が高い結果となった。このことから、得られた近似式を利用すれば保水量に関する比較的精度の良い調査設計ができる可能性が見出せた。

吸上げ高さとの関係を図 5 に、吸水性試験時の様子（一例）を図 6 に示す。図 5 において、陶磁器くずを用いた設計空隙率 10% の供試体の吸上げ高さは、極端に小さい数値となった。この供試体の底部を確認したところ、締め固め時に結合材の垂れが生じ、それらが空隙を塞いだ状態となっていた。したがって、この原因は結合材量

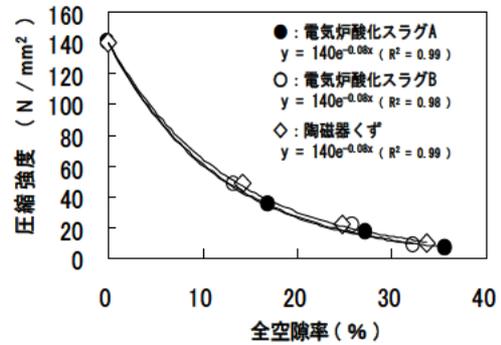


図 3 小粒径ポーラスコンクリートの圧縮強度と空隙率との関係

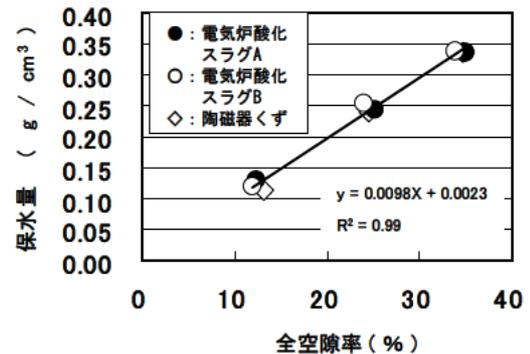


図 4 小粒径ポーラスコンクリートの保水量と全空隙率との関係

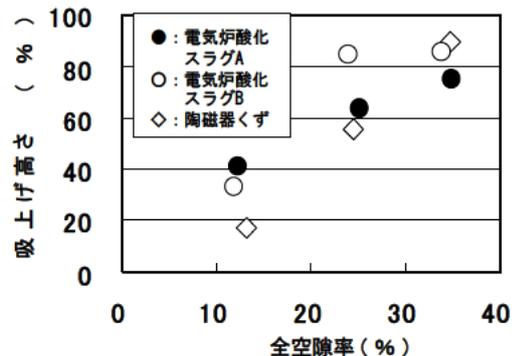


図 5 小粒径ポーラスコンクリートの吸上げ高さとの関係



図 6 吸水性試験の一例（使用骨材：電気炉酸化スラグ B, 設計空隙率：左から, 10, 20, 30%）

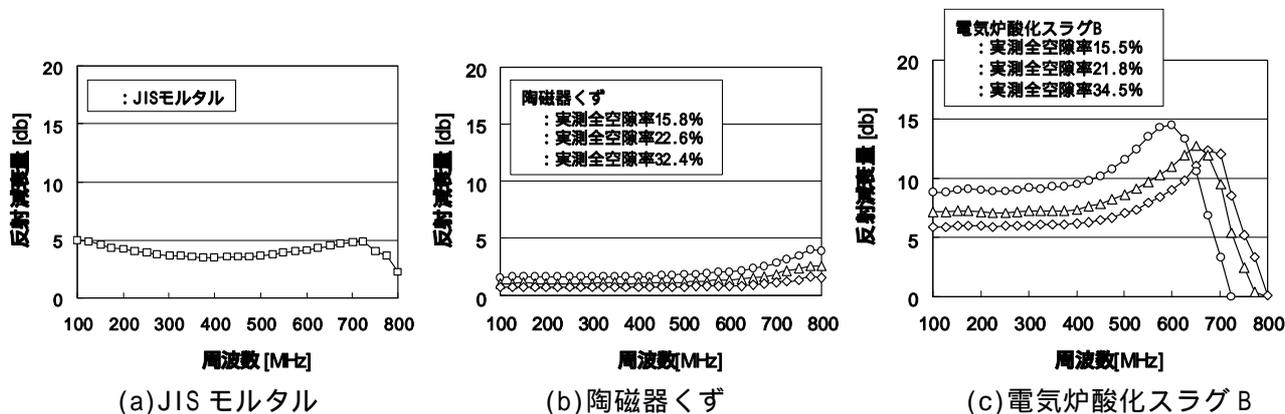


図7 各供試体の反射減衰量の一例

表3 光触媒を塗布した小粒径ポーラスコンクリートのUVランプ照射時におけるアセトアルデヒド吸着分解結果 (アセトアルデヒドの初期濃度: 1000ppm)

Time (h)	アセトアルデヒド濃度 / ppm ()内は暗条件					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
0	100 (100)	90 (90)	100 (100)	340 (340)	110 (110)	51 (51)
2	90	31	90	270	20	13
4	80	10	80	260	0	1.5
8	73	0	75	240	0	0
24	66 (80)	0 (60)	60 (80)	160 (200)	0 (60)	0 (35)

- No. 1: 陶磁器くずを用いたポーラスコンクリート光触媒非塗布 (設計空隙率 10%)
- No. 2: 陶磁器くずを用いたポーラスコンクリート光触媒塗布 (設計空隙率 10%)
- No. 3: 電気炉酸化スラグ A を用いたポーラスコンクリート光触媒非塗布 (設計空隙率 10%)
- No. 4: 電気炉酸化スラグ A を用いたポーラスコンクリート光触媒非塗布 (設計空隙率 30%)
- No. 5: 電気炉酸化スラグ A を用いたポーラスコンクリート光触媒塗布 (設計空隙率 10%)
- No. 6: 電気炉酸化スラグ B を用いたポーラスコンクリート光触媒塗布 (設計空隙率 10%)

が多い設計条件のために供試体底部が閉塞し、それが大きく影響したと推察される。

吸上げ高さとの関係については、ばらつきはあるものの、使用骨材に係わらず全空隙率が高くなるほど吸上げ高さは大きくなる傾向であり、空隙率を制御することにより一定の吸水性能を確保できることが明らかとなった。また、使用骨材の種類にかかわらず、設計空隙率 30%の供試体では、吸水性試験時における供試体上面への揚水時間はすべて 30 秒程度であった(図6)。

4.3 電磁シールド

JIS モルタルおよび陶磁器くず、電気炉酸化スラグ B を使用した小粒径ポーラスコンクリート供試体の反射減衰量を図7に示す。図7より、一般的なモルタルおよび陶磁器くずを使用したポーラスコンクリートの反射減衰量はすべて 5dB 程度以下となることが確認できた。一方、電気炉酸化スラグを使用したポーラスコンクリートの反射減衰量は、上記の供試体よりも明らかに大きな反射減衰量を有しており、電気炉酸化スラグを用いることで、小粒径ポーラス

コンクリートの反射減衰量を大きく増加できることが明らかとなった。

また、ポーラスコンクリートの全空隙率と反射減衰量との関係については、全空隙率が大きくなると反射減衰量が小さくなる傾向となったが、電気炉酸化スラグ B の場合には 600MHz を超えるとその傾向が逆転した。

これらの理由については、電気炉酸化スラグの化学組成や密度などに起因すると思われるが、現時点では明らかにできておらず、今後、詳細な検討を要する。

4.4 アセトアルデヒド吸着分解

電気炉酸化スラグおよび陶磁器くずを骨材に用いた小粒径ポーラスコンクリートのアセトアルデヒド分解試験結果を表3に示す。同表において、No.1 と No.2 および No.3 と No.5 を比較した結果、陶磁器くず、電気炉酸化スラグを用いた小粒径ポーラスコンクリートのいずれも光触媒を塗布することによるアセトアルデヒド吸着分解効果の向上が確認できた。また、No.3 と No.4 の比較より設計空隙率が高くな

表4 重金属の溶出濃度

[mg/l]

骨材名 設計空隙率	六価 クロム	カドミ ウム	シアン 化合物	鉛	ヒ素	水銀	セレン	フッ素	ホウ素
陶磁器 くず	10%	0.044	<0.005	<0.1	<0.005	<0.0005	<0.005	<0.2	<0.1
	20%	0.030	<0.005	<0.1	<0.005	<0.0005	<0.005	<0.2	<0.1
	30%	0.023	<0.005	<0.1	<0.005	<0.0005	<0.005	<0.2	<0.1
電気炉 酸化 スラグ B	10%	0.043	<0.005	<0.1	<0.005	<0.0005	<0.005	<0.2	<0.1
	20%	0.036	<0.005	<0.1	<0.005	<0.0005	<0.005	<0.2	<0.1
	30%	0.028	<0.005	<0.1	<0.005	<0.0005	<0.005	<0.2	<0.1

るほど、光触媒非塗布時の吸着効果が低下した。これは、セメント結合材は強アルカリであるために、弱酸性であるアセトアルデヒドと中和反応が起こりやすく、セメント量が少ない条件となる高空隙なポーラスコンクリートの場合には、低減効果がより小さくなったものと推察される。

4.5 重金属の溶出

電気炉酸化スラグおよび陶磁器くずを使用して作製した小粒径ポーラスコンクリートの重金属の溶出試験結果を表4に示す。表4より、6価クロム以外の重金属の溶出量は検出限界以下であった。また、6価クロムの溶出量はすべて環境基準値以下であったが、骨材の種類にかかわらず設計空隙率が小さい供試体ほど溶出量は大きい数値となった。これは、ポーラスコンクリートで使用する骨材量が設計空隙率に係わらず一定であることから、主に、セメントに起因したものであると考えられる。

5. まとめ

本研究では、小粒径ポーラスコンクリートのリサイクル材料の利用及び新たな機能性の付与に関する基礎実験を実施し、以下に示す知見が得られた。実用化にはさらに詳細な検討を要するが、小粒径ポーラスコンクリートの新たな用途開発の可能性が見出せた。

- 1)電気炉酸化スラグや陶磁器くずの骨材としての利用が、小粒径ポーラスコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響は小さい。
- 2)小粒径ポーラスコンクリートの保水量は、簡単な近似式を利用することで比較的精度良く調合設計ができる可能性がある。
- 3)電気炉酸化スラグを骨材として使用することにより、小粒径ポーラスコンクリートの反射減衰

量を大幅に増加させることができる。

- 4)小粒径ポーラスコンクリートと光触媒との複合化は、アセトアルデヒドの吸着分解に有効である。

謝辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）「シーズ発掘試験A」の下で行われた。また、本実験で使用した電気炉酸化スラグに関して、株式会社星野産商 中村治彦氏にご支援を頂いた。付記して、謝意を表します。

参考文献

- 1)前川明弘，村上和美：環境負荷を軽減する機能性コンクリート製品の開発，三重県工業研究所研究報告，No.33，pp.113-115，2009
- 2)ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，pp.179-181，2003
- 3)前川明弘，山本晃，三島直生，畑中重光：小粒径ポーラスコンクリートの空隙率測定方法に関する研究，第60回セメント技術大会講演要旨，pp.218-219，2006
- 4)インターロッキングブロック舗装設計施工要領インターロッキングブロックの保水性試験方法（JIPEA-TM-7），社団法人インターロッキングブロック舗装技術協会，付25，2007
- 5)湯浅幸久，畑中重光，三島直生，前川明弘，宮本高秀：ポーラスコンクリートの振動締固めに関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，No.552，pp.37-44，2002
- 6)前川明弘，山本晃，三島直生，畑中重光：小粒径ポーラスコンクリートの基礎的特性に関する実験的研究．セメント・コンクリート論文集，No.60，pp.264-269，2006