

# 論文 がいしを粗骨材としたポーラスコンクリートの基礎物性

武田 浩二\*1・村上 聖\*2・牟田口 克洋\*3

**要旨:** 本研究では、破碎したがいし廃材を粗骨材として使用したポーラスコンクリートの基礎物性の検討として、がいしポーラスコンクリートの適切な調合選定及び強度・空隙率等の各種物性試験を行なった。がいしポーラスコンクリートの練り上がり状態の観察等により粒径ごとの適切な目標空隙率及び調合を導き、得られた調合により作製したがいしポーラスコンクリート試験体を用いて強度試験・空隙率測定を行なった結果、粒径小のがいしでは強度が高く空隙率が低い、粒径大のがいしでは強度が低く空隙率が高いことなどが分かった。また、がいしポーラスコンクリートはエコマテリアルとして適用可能であることを考察した。

**キーワード:** がいし (碍子), ポーラスコンクリート, エコマテリアル

## 1. はじめに

電気絶縁体に用いられるがいし (碍子) は、硬度・耐久性・寸法安定性に優れたセラミックス材料である。送電施設の更新時等に発生するがいし廃材や工場での製造時に発生する品質基準に満たないがいしは廃棄されるが、ゼロエミッションの観点から、他の廃棄物と同様にがいし廃材においてもそのリサイクルが望まれている。

そこで、がいし廃材の再利用として、粒子状に破碎してポーラスコンクリートの粗骨材として使用した際の基礎物性について検討した。がいし廃材をコンクリートの材料として使用した研究例は少なく、微粉末化してコンクリートの混和材料として使用する研究<sup>1)</sup>などに限られており、ポーラスコンクリートの粗骨材として使用した場合の物性に関しては不明な点が多い。また、ポーラスコンクリートはその表面形状や内部空隙により高い生物親和性を有することが特徴であり、建築物屋上における植生基盤へ適用する研究<sup>2),3)</sup>や、海中での人工藻礁を形成する藻場復元材料へ適用する研究<sup>4),5)</sup>が報告されており、環境共生型や生物対応型のエコマテリアルとしての活用が期待されている。

本研究では、環境負荷低減型社会の構築を見据え、ゼロエミッションの推進やエコマテリアルの活用を念頭におき、がいし廃材を粗骨材として使用したポーラスコンクリートの基礎物性の検討として、がいしポーラスコンクリートの適切な調合の選定、強度・空隙率等の各種物性試験を行なったので、その結果について報告する。

## 2. シリーズ1 適切な調合選定

### 2.1 シリーズ1 実験方法

実験に使用した各材料の仕様を表-1 に示す。がいしは製造工場において密度 2.57g/cm<sup>3</sup> となるよう調整して

表-1 使用材料

セメント	
高炉セメント B 種	
密度	3.03 g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	
がいし廃材破碎骨材	
密度	2.57 g/cm <sup>3</sup>
吸水率	0 %
〈がいし S〉	粒径 2~5 mm
実積率	50.7 %
〈がいし M〉	粒径 5~10 mm
実積率	51.4 %
〈がいし L〉	粒径 10~20 mm
実積率	50.6 %
混和剤	
高性能 AE 減水剤	

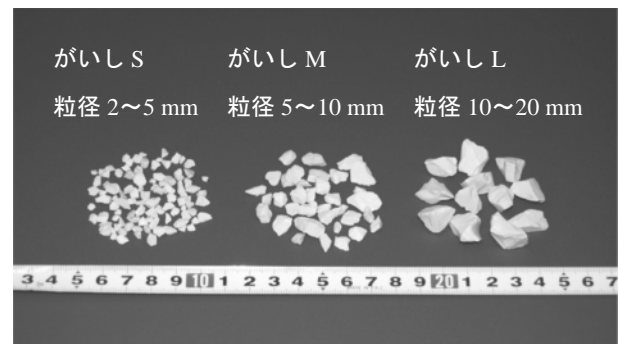


写真-1 破碎したがいし

\*1 熊本大学大学院 自然科学研究科助教 工博 (正会員)  
 \*2 熊本大学大学院 自然科学研究科教授 工博 (正会員)  
 \*3 熊本大学大学院 自然科学研究科大学院生

表-2 シリーズ1 各ポーラスコンクリートの調合

がいし粒径	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/cm <sup>3</sup> )			Sp/C (%)
			C	W	G	
がいし S (2~5 mm)	25	25	437	109	1277	0.5
	25	30	350	88	1277	0.5
がいし M (5~10 mm)	25	30	339	85	1294	0.5
	25	35	253	63	1294	0.5
がいし L (10~20 mm)	25	30	353	88	1273	0.5
	25	35	266	67	1273	0.5
	25	40	180	45	1273	0.5

C : セメント, W : 水, G : 粗骨材, Sp : 高性能 AE 減水剤

製造されたもので、今回、がいし廃材をポーラスコンクリートの粗骨材として使用するため粒子状に破碎して3種類の粒径に調整し、粒径2~5mmに調整したものを「がいし S」、粒径5~10mmに調整したものを「がいし M」、粒径10~20mmに調整したものを「がいし L」として使用した。破碎したがいしを写真-1に示す。がいしは緻密なセラミックス組織のため水分を吸収しない性質を持っており、吸水率はほぼ0%とみなせ、表乾状態と絶乾状態の区別のない材料といえる。セメントは生物対応型のエコマテリアルとして適用することを想定し、低アルカリ性である高炉セメント B 種を選択した。また混和剤として高性能 AE 減水剤を使用し、細骨材及び他の混和材料は使用していない。

ポーラスコンクリートの製造においてはセメントペーストの粘性と量が練り上がり状態に影響する。これらが適切でない場合、ペースト不足による粗骨材の接着力の低下や、ペースト過多による「垂れ」のため底面の閉塞につながる可能性がある。そこで、シリーズ1として、3種類の粒径のがいし廃材を粗骨材としたポーラスコンクリートの適切な調合選定のための試し練りを行なった。

ポーラスコンクリートの調合計算は、目標空隙率を設定して各単位量を決定する方法で行なった。破碎したがいしを用いて一般の粗骨材と同様の方法で単位容積質量試験を行なって実積率・空隙率を測定し、粗骨材のみの場合の空隙量と、セメントペーストを充填して硬化したポーラスコンクリートとなった場合の空隙量の関係が

ら、単位粗骨材量を固定すると目標空隙率に対応するセメントペースト量の算定が可能である。そこで、各粒径ごとに、目標空隙率を変動させて各単位量を計算してがいしポーラスコンクリートを混練し、垂れや閉塞の発生しない適切な練り上がり状態となる調合の選定を行なった。この方法では、目標空隙率を高く設定するとペースト量が少なく、目標空隙率を低く設定するとペースト量が多い調合となる。

シリーズ1で作製した各ポーラスコンクリートの調合を表-2に示す。これまでの製造実績<sup>5)</sup>より、今回は水セメント比25%、高性能 AE 減水剤使用量を対セメント比0.5%で固定し、粗骨材とセメントペーストの割合を変化させる調合とした。各粒径ごとに単位粗骨材量を一定と



写真-2 セメントペーストの垂れ

表-3 シリーズ1 練り上がり状態の観察結果

がいし粒径	目標空隙率 (%)	練り上がり状態の観察結果	摘要
がいし S (2~5 mm)	25	○	良好
	30	△	ペースト不足
がいし M (5~10 mm)	30	○	良好
	35	△	ペースト不足
がいし L (10~20 mm)	30	△	ペースト過多による垂れあり
	35	○	良好
	40	△	ペースト不足

し、目標空隙率を5%刻みの設定として単位セメント量・単位水量を変動させた。最適な水セメント比及び高性能AE減水剤使用量の選定については別途検討予定である。

がいしSは目標空隙率を25%、30%の2種類、がいしMは30%、35%の2種類、がいしLでは30%、35%、40%の3種類の設定とした。

ポーラスコンクリートの混練は容量55Lの強制2軸ミキサーを用いて行ない、セメント及び粗骨材による30秒間の空練りの後、水及び高性能AE減水剤を投入して90秒間の混練を行なった。各調合について、セメントペーストの垂れ具合を確認するためのサンプルを1体、強度

の傾向を確認するための試験体を1体、空隙率の傾向を確認するための試験体を1体作製した。打設は型枠に複数層に分けて行ない、締め固めは木製で羊羹大の角柱を用いて鉛直方向に突き固める方法で行なった。

## 2.2 シリーズ1 実験結果

写真-2はセメントペースト過多のため垂れが生じたサンプルである。ポーラスコンクリートの練り上がり状態の観察として、各粒径においてサンプルによる垂れ具合を確認した結果を表-3に示す。がいしSでは目標空隙率25%のもの、がいしMでは30%のもの、がいしLでは35%のものが良好であった。各調合による圧縮強度

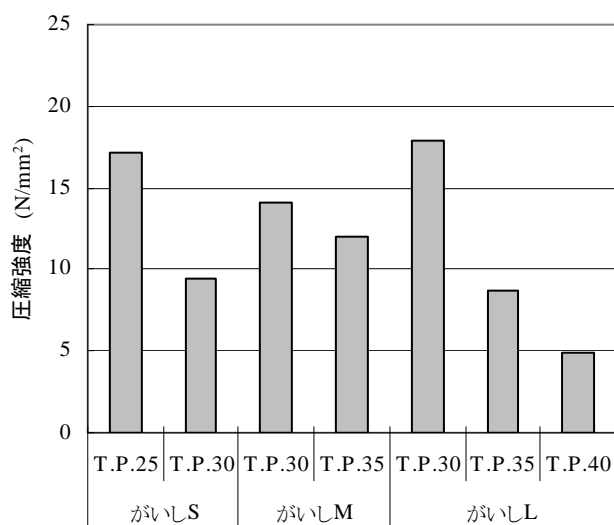


図-1 シリーズ1 圧縮強度試験結果

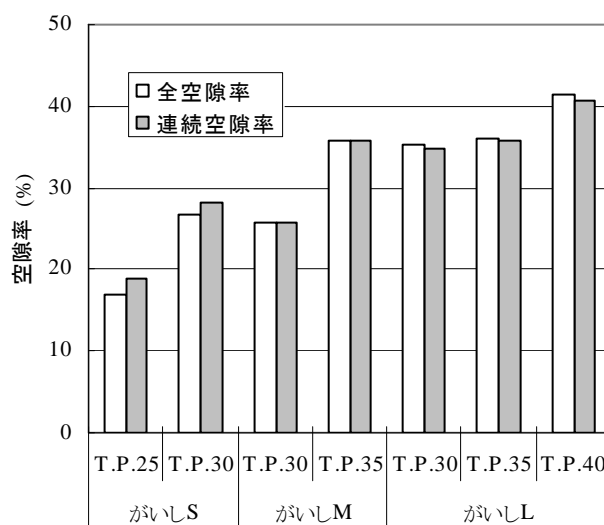


図-2 シリーズ1 空隙率測定結果

表-4 シリーズ2 圧縮強度試験結果, 曲げ強度試験結果, 空隙率測定結果

がいし粒径	No.	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	全空隙率 (%)	連続空隙率 (%)
がいし S (2~5 mm)	1	25.7	2.9	14.4	15.7
	2	23.9	3.4	9.6	9.4
	3	24.4	3.8	8.6	8.4
	平均	24.7	3.4	10.9	11.2
がいし M (5~10 mm)	1	13.9	2.5	25.4	26.3
	2	13.1	2.7	24.6	24.7
	3	14.5	2.8	21.2	21.1
	平均	13.8	2.6	23.7	24.0
がいし L (10~20 mm)	1	6.8	1.6	25.9	24.9
	2	4.1	3.3	32.2	31.4
	3	7.4	1.7	27.5	27.1
	平均	6.1	2.2	28.6	27.8

試験結果を図-1に示す。材齢は14日で各調合1体ずつのため強度の傾向の確認とした。各調合による空隙率測定結果を図-2に示す。これも各調合1体ずつのため、空隙率の傾向の確認とした。

図-1より、例えばがいしLでは目標空隙率30%の試験体の強度が高いが、これはペースト過多による垂れが生じて試験体底面付近を中心にペーストが密実になったためであり、ポーラスコンクリート本体の強度を適正に評価していないものと思われる。適切なポーラスコンクリートの調合は、表-3、図-1、図-2より総合的に評価し、今回の水セメント比25%、高性能AE減水剤使用量を対セメント比0.5%とした条件の下では、がいしSは目標空隙率25%、がいしMは30%、がいしLは35%の調合をそれぞれ選定することとした。

### 3. シリーズ2 がいしポーラスコンクリートの各種物性

シリーズ1によって選定された調合により、各粒径でのがいしポーラスコンクリートの各種物性として、シリーズ1と同一条件で各粒径1調合にてあらためて試験体を作製し、圧縮強度・曲げ強度・空隙率を測定した。使用した材料の仕様はシリーズ1と同一である。圧縮試験は100mmφ×200mmの円柱供試体、また曲げ試験は100mm×100mm×400mmの角柱供試体により、各粒径とも標準養生材齢28日の供試体3体を用いて、それぞれJIS

A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」、JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準拠して行なった。空隙率測定は100mmφ×200mmの円柱供試体により、各粒径とも供試体3体を用いて、JCI-SPO2-1「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)」に準拠して行なった。得られた圧縮強度・曲げ強度・空隙率の全データを表-4に示す。また、粒径ごとの3体の各試験結果の平均値をグラフ化し、圧縮強度の平均値を図-3に、曲げ強度の平均値を図-4に、空隙率の平均値を図-5にそれぞれ示す。

図-3、図-4より、今回の水セメント比25%、高性能AE減水剤使用量を対セメント比0.5%とした条件の下では、がいしの粒径が小さいほど圧縮強度・曲げ強度ともに高いことが分かる。これは、同一体積のポーラスコンクリートにおいて、骨材粒径が小さいと全表面積が大きくなり、適切な練り上がり状態となるためのセメントペースト量が多くなって高強度となること、骨材粒径が大きいと全表面積が小さくなり、適切な練り上がり状態となるためのセメントペースト量が少なくなって低強度となることに起因すると考えられる。また、がいしSのポーラスコンクリートは圧縮強度・曲げ強度ともに高い水準にあり、強度の求められるポーラスコンクリートへの適用が可能であるといえる。

図-5より、各粒径とも、全空隙率・連続空隙率とも

に目標空隙率を下回る傾向があることが分かる。これは、骨材試験において単位容積質量・実積率を測定する際には粗骨材の容器への詰め方・棒突き回数を指定通り行なっても十分に締め固められず空隙率が過大になるが、ポーラスコンクリート混練・打設の際には角柱により十分に締め固めるため空隙率が過小になり、二者の空隙率の間に差が生じたためであると考えられる。また、がいしSとがいしMでは連続空隙率が全空隙率を上回る結果となっている。これは測定誤差であると考えられるが、図-5は3体の平均値であるため表-4により全試験体の結果を再確認してみると複数の試験体において同様の現象がみられるため、この点に関しては再検討の余地があるといえる。いずれにしても連続空隙率と全空隙率はほぼ同一の値であり、このことはがいしが緻密で内部空隙を持たず、吸水率がほぼ0%の粗骨材であることを反映した結果であるといえる。

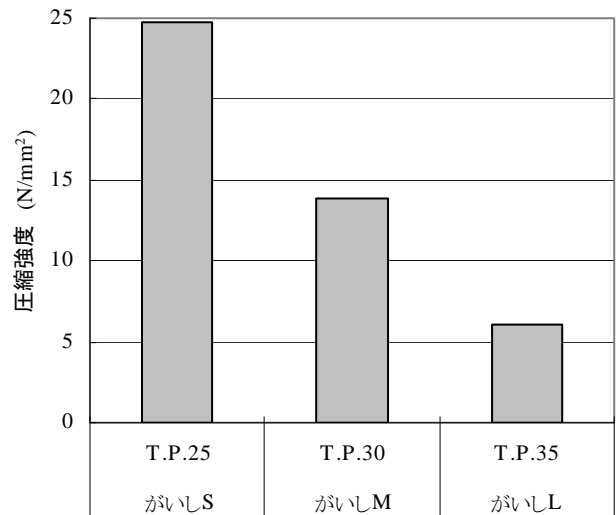
#### 4. エコマテリアルへの適用可能性

今回の実験より、がいしSを粗骨材としたポーラスコンクリートは強度が高く空隙率が低い、がいしLでは強度が低く空隙率が高い、がいしMではその中間的な水準であるという結果が得られた。一般に、ポーラスコンクリートに生物親和性を持たせるためには空隙率が15~30%程度必要であると考えられているが、がいしM及びがいしLを用いたポーラスコンクリートはそれを満たしているため、例えば屋上緑化の植生基盤や海中での藻場復元材料などの生物対応型エコマテリアルへの適用が可能であるといえる。ただしがいしLを用いたポーラスコンクリートは強度水準が低いため適用には注意が必要である。がいしSを用いたポーラスコンクリートは空隙率が比較的低いため十分な生物親和性を発揮できないことが考えられるが、強度水準が高く一定程度の透水性能は有すると思われる、例えば駐車場の透水舗装用ブロックなどの環境共生型エコマテリアルへの適用に向いているといえる。

今後、がいしを粗骨材としたポーラスコンクリートの基礎物性について、水セメント比や混和剤の使用量などのペーストの調合条件についても検討を重ねると同時に、その応用技術の展開として、エコマテリアルへの適用を目指した実証実験等の取り組みを進めていくことが必要であるといえる。また、がいしをコンクリートの粗骨材として使用する際の耐久性についても検討が必要と思われる。

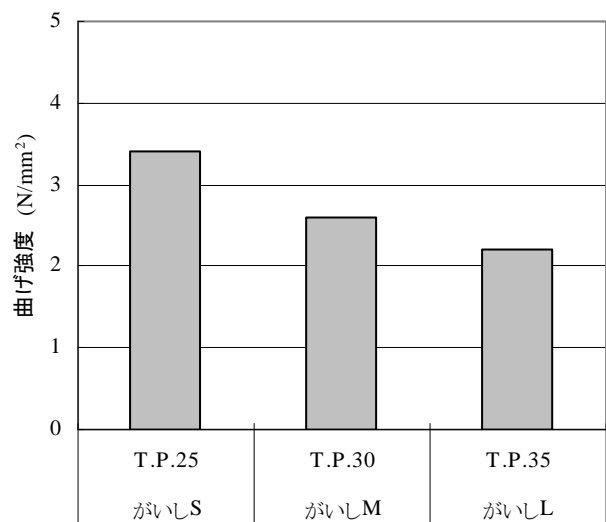
#### 5. まとめ

破碎したがいし廃材を粗骨材として使用したポーラスコンクリートの基礎物性の検討として、がいしポーラス



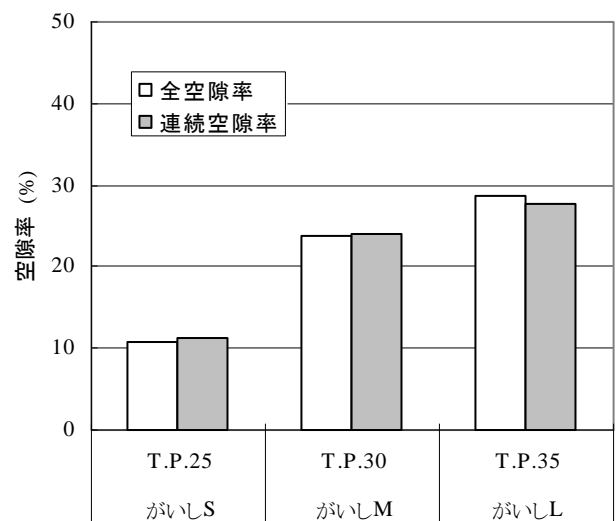
T.P.: 目標空隙率

図-3 シリーズ2 圧縮強度試験結果



T.P.: 目標空隙率

図-4 シリーズ2 曲げ強度試験結果



T.P.: 目標空隙率

図-5 シリーズ2 空隙率測定結果

コンクリートの適切な調合選定及び強度・空隙率等の各種物性試験を行なった。がいし S, がいし M, がいし L の 3 種類の粒径によるがいしポーラスコンクリートの練り上がり状態の観察等により粒径ごとの適切な目標空隙率及び調合を導き、得られた調合により作製したがいしポーラスコンクリート試験体を用いて強度試験・空隙率測定を行なった結果、今回の水セメント比 25%, 高性能 AE 減水剤使用量を対セメント比 0.5%とした条件の下では、がいし S では強度が高く空隙率が低い、がいし L では強度が低く空隙率が高い、がいし M ではその中間的な水準であることなどが分かった。また、がいしポーラスコンクリートの環境共生型・生物対応型エコマテリアルへの適用可能性については、がいしの粒径に応じた適用方法があることを考察した。

#### 謝辞

本研究は光洋電器工業（株）の協力のもとで行ないました。実験の実施にあたっては、熊本大学技術職員 甲斐定夫、戸田善統の両氏ならびに熊本大学学生諸君に協力頂きました。関係各位に深謝します。

#### 参考文献

- 1) 畑治広, 中下明文, 大村剛, 伊藤秀敏: 廃棄碍子微粉末を混入したコンクリートの強度発現性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No.1, pp.1683-1688, 2004.6
- 2) 黒田萌, 三島直生, 松田憲, 畑中重光: 軽量ポーラスコンクリートを用いた水耕栽培による屋上緑化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No.1, pp.1409-1414, 2006.6
- 3) 大友鉄平, 大塚浩司, 北辻政文, 武田三弘: ごみ溶融スラグを用いたポーラスコンクリートの緑化と空隙性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No.1, pp.1741-1746, 2009.6
- 4) 前川明弘, 畑中重光, 三島直生, 湯浅幸久: 大粒径ポーラスコンクリートの製造および魚礁ブロックとしての応用, コンクリート工学, Vol. 46, No.2, pp.24-32, 2008.2
- 5) 武田浩二, 村上聖, 金丸健太郎, 浦野登志雄: 小型魚礁に設置したポーラスコンクリートの藻場還元効果, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No.1, pp.1723-1728, 2009.6