

論文 発泡スチロール骨材ポーラスコンクリートの緑化基盤材への適用に関する研究

角野 嘉則*1・荘所 直哉*2

要旨: 本研究では、緑化基盤材としての利用を想定した骨材に発泡スチロールと鹿沼土を用いたポーラスコンクリートの基礎物性並びに植生試験をおこない、その適用性について実験的検討をおこなった。基礎物性として、密度、吸水率、空隙率、圧縮強度、保水量、pH 試験をおこなった。その結果、発泡スチロールを骨材としたポーラスコンクリートは、圧縮強度は小さいものの、吸水性の増加と大幅な軽量化がはかられることが分かった。また、鹿沼土を混入することにより保水量が向上し、植生の生育効果に有効であることが確認された。

キーワード: 発泡スチロール, 鹿沼土, ポーラスコンクリート, 緑化基盤材

1. はじめに

近年、ヒートアイランド現象などの環境問題に対する関心が高まる中、建築物の屋上緑化が注目を集めている。都市部の建築物の屋上緑化は、ヒートアイランド現象の緩和、大気浄化、ビルの消費エネルギーの負荷を軽減させるなどの環境改善が期待されており、屋上緑化基盤として、ポーラスコンクリートが利用されている。

ポーラスコンクリートとは、コンクリート内部に連続空隙を持つコンクリートのことである。その空隙により、通気性、透水性、吸音性などの機能を持ち、また生物のすみかとしても使うことが可能である環境負荷低減型コンクリートの一種である。ポーラスコンクリートは空隙により一般的なコンクリートより軽量ではあるが、屋上緑化基盤として用いた場合、積載荷重が増加し、既存建築には大きな負担となることが指摘されている。この解決策として骨材の軽量化が挙げられる。¹⁾

本研究では、粗骨材に発泡スチロールであるビーズ法発泡ポリスチレンフォーム (Expanded Poly-Styrene, 以下、EPS と称す) を用いてポーラスコンクリートを作製する。EPS は断熱性を有し、密度が小さく、軽量である。既往研究として、廃発泡スチロールを使用したポーラスコンクリートに関する研究はおこなわれているが²⁾、本研究では、混和材として鹿沼土を用いた発泡スチロール骨材のポーラスコンクリートを作製し、基礎物性について明らかにすることを目的とする。鹿沼土は、関東ローム層で採取される軽石であり、農業や園芸の基本用土として用いられている。pH は 4~5 程度の酸性であり、吸水性・保水性を持つ。緑化の肥料となる窒素成分を有するため、植生試験を行うことで、緑化基盤材への適用性について実験的検討をおこす。

2. 実験方法

2.1 使用材料

表-1 に本実験の使用材料を示す。粗骨材には、EPS 骨材の比較用として砕石 5 号を使用した。混和材として、保水性を期待して鹿沼土を使用している。作製した試験体は、砕石を使用したポーラスコンクリート(以下、砕石 POC と称す)と、EPS を骨材として使用したポーラスコンクリート(以下、EPSPOC と称す)、さらに EPSPOC に

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度: 3.15 g/cm ³
粗骨材	砕石 5 号 表乾密度: 2.54 g/cm ³ 絶乾密度: 2.36 g/cm ³ 吸水率: 0.72% 実積率: 58.9% ビーズ法発泡ポリスチレンフォーム 表乾密度: 0.038 g/cm ³ 絶乾密度: 0.029 g/cm ³ 吸水率: 31.1% 実積率: 49.4% 粒径: 20mm
混和材	鹿沼土 表乾密度: 1.89 g/cm ³ 絶乾密度: 0.998 g/cm ³ 吸水率: 25.4% 粒径: 0.6mm
混和剤	高性能 AE 減水剤 ポリエーテル系ポリカルボン酸

*1 明石工業高等専門学校 建築学科講師 博士 (工学) (正会員)

*2 兵庫県立大学 環境人間学部准教授 博士 (工学)

表-2 使用調合

種類	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)				Sp/C (%)
			W	C	G	Ad	
砕石 POC	30	30	59.7	199	1466		0.5
EPSPOC	30	30	49.1	164	22.8		0.5
鹿沼土 EPSPOC	52	30	85.3+126	164	18.2	142.7	0.5

W/C : 水セメント比, C : セメント, W : 水, G : 粗骨材, Ad : 混和材, Sp : 高性能 AE 減水剤

混和材として鹿沼土を配合したもの(以下, 鹿沼土 EPSPOC と称す)を作製した。EPS については, 20mm にカットしたもの, 鹿沼土については, 粉末状にすりつぶし 0.6mm のふるいにかけたものを使用した。また, 鹿沼土の密度吸水率についてはすりつぶし後の数値である。

2.2 使用調合

表-2 に各種ポーラスコンクリートの使用調合を示す。結合材の水セメント比, 目標空隙率はいずれも 30%とした。混和材は骨材の体積の 20%の量で用いている。なお, 鹿沼土 EPSPOC の加水は, 事前の試し練りの結果, 鹿沼土の吸水によりセメントペーストの流動性低下が見られたため, 垂れを生じない範囲で流動性の確保を調整した結果である。表-2 における W の+126 は調整により加水した量を示す。

各ポーラスコンクリートの混練方法は, 手練りで行い, 砕石 POC に関してはセメントと骨材を空練り後, 水と高性能 AE 減水剤を投入し練り混ぜた。EPSPOC および鹿沼土 EPSPOC については, 骨材である EPS が軽量のため練り混ぜが困難であったため, セメントペースト(鹿沼土 EPSPOC に関しては+鹿沼土)を先練りした後に, EPS を投入し練り混ぜた。

2.3 試験体作製および試験方法

ポーラスコンクリートの密度, 吸水, 圧縮強度および空隙率, 保水量の各試験用には, 直径 100mm, 高さ 200mm の円柱供試体を各 3 体作製した。

養生は, 水中養生とした。ただし, EPS を用いた供試体は水に浮くため, おもりを乗せた状態で養生をおこなう, 各試験は材齢 28 日後に試験に供した。

密度, 吸水, 圧縮強度の各試験は JIS に, 空隙率試験は日本コンクリート工学会の「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)」³⁾の容積法に, 保水性試験は JIPEA の「保水性コンクリートブロックの品質性能規格およびその試験方法」⁴⁾に準拠しておこなった。

植生試験用の試験体寸法を図-1 に示す。生育する植物としてキヌサヤとセイヨウシバを用いた。これは, セイヨウシバは, 屋上緑化に広く利用されている点と, 面的

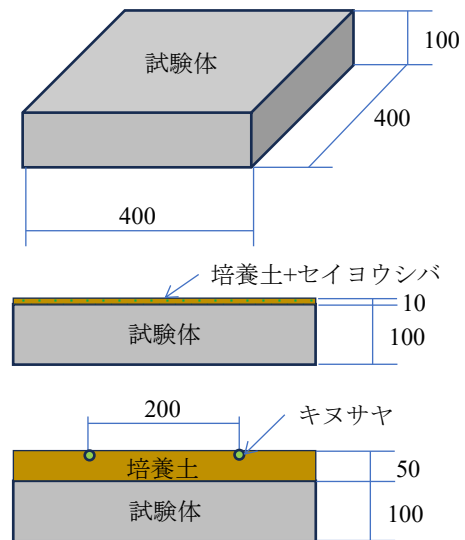


図 1 植生試験体の寸法および植生方法

に植生の生育具合を観察するために, キヌサヤは, 鉛直方向の生育具合とポーラスコンクリートへの根の生育状況を見る目的で選定している。試験体の形状は, 縦横 400mm, 厚み 100mm の板状とし, 各 1 体作製した。試験体の締固めには角材によりタッピングをおこなっている。養生は 1 週間現場湿布養生後 1 週間水中養生とした。養生後, 培養土をセイヨウシバ用として 10mm, キヌサヤ用として 50mm の厚さで盛土した。セイヨウシバは培養土に均一に混ぜ込み盛土をしている。キヌサヤは, 発芽率向上のため, 種を 1 日水に浸けたのちに水切りし, 布に包んで 1 日冷蔵したものを株間 200mm で各試験体に 4 粒植えた。各試験体は, 土壌流出を防ぐために試験体側面を合板で覆い, 発芽後は 2 日に一度の頻度で一定量の灌水をおこなった。植生の生育方法は, 屋上緑化を想定し, 試験体を日当たりがよく風通しの良いコンクリート面に設置した。なお, キヌサヤに関しては, 生育につれて, 蔦を絡ませるための支柱を立てた。なお, 植生試験期間中に虫害が見られたため, 殺虫剤としてマラソン乳剤を 2000 倍に希釈したものを使用した。

緑化基盤材の pH は、植生に影響を与えられ
るため、各試験体本体および土壌の pH 値を計測した。
測定方法は、平面型 pH メーターによっておこなった。
試験体本体は表面を削り取ったものを使用し、土壌に関
しては、土壌表層部分と土壌とポーラスコンクリート試
験体が接する面から採取し計測した。

3. 実験結果

3.1 密度および吸水率試験

表-2 に各ポーラスコンクリートの密度および吸水試
験結果を示す。絶乾密度については、砕石 POC は
2.11g/cm³、EPSPOC は 0.19g/cm³、鹿沼土 EPSPOC は
0.33g/cm³となった。砕石 POC との密度比で EPSPOC は
約 10%、鹿沼土 EPSPOC は約 15%と低密度となり、EPS
を骨材として使用することで大幅な軽量化となった。吸
水率に関しては、砕石 POC は 2.8%、EPSPOC は 5.2%、
鹿沼土 EPSPOC は 11.2%と EPS を骨材として用いるこ
とにより吸水率が増加している。砕石 POC と比較して
EPSPOC は約 180%、鹿沼土 EPSPOC は約 400%となっ
ており、外観上は EPS 骨材の表面を結合材で全面を覆われ
ている様子が観察されているものの EPS および鹿沼土の
吸水性の高さが効果を発揮したものと考えられる。

3.2 空隙率および圧縮強度試験

表-3 に空隙率および圧縮強度試験結果を示す。全空隙
率はすべてのポーラスコンクリートともに目標空隙率の
30%以上となったが、EPS を骨材に用いた場合には、目
標空隙率よりも大きな値となった。これは、骨材自体の
空隙が多い場合は、測定される空隙率に骨材内部の空隙
が含まれるため、植生空間として要求される骨材粒子間
隙の正味の空隙が正確に測定できない可能性が指摘され
ており、本研究で使用した骨材においても影響が出た
ものと考えられる。

圧縮強度に関しては、砕石 POC は 4N/mm²程度であっ
た。EPSPOC、鹿沼土 EPSPOC は、砕石 POC に比べてか
なり低い圧縮強度となったが、鹿沼土を混入した鹿沼土
EPSPOCの方が若干強度の増加が見られた。これは、空
隙率の違いによるものと、鹿沼土が EPS の間隙を充填し
たことにより骨材間の接地面積が大きくなった影響と思
われる。写真-1 に EPSPOC の圧縮試験前後の様子を示
す。骨材に EPS を用いた EPSPOC、鹿沼土 EPSPOC の変
形性状は、荷荷点変位が 5mm 前後で荷重が一定で安定
し、EPS が圧縮されたことにより空隙部分を押しつぶす
ように密に変形する様子が観察された。その後、荷荷点
変位が 50mm を超えても明確な破壊が見られずに非常に
延性的な破壊性状であった。そのため、同表の圧縮強度
は荷荷点変位が 20mm (供試体高さの 1/10) となった時
点のものを採用している。なお、変形については試験後

にある程度復元する様子も観察された。

図-2 に密度および強度試験結果を示す。EPSPOC と
鹿沼土 EPSPOC は、低強度ではあるものの、大幅な軽量
化は大きなメリットであり、緑化基盤材として用いる場
合、メンテナンスで人が歩行できる強度の確保はできて

表-2 密度および吸水率試験結果

	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
砕石 POC	2.11 (1.00)	2.05 (1.00)	2.8 (1.00)
EPSPOC	0.19 (0.09)	0.18 (0.09)	5.2 (1.86)
鹿沼土 EPSPOC	0.33 (0.16)	0.29 (0.14)	11.2 (4.00)

() 内の数値は砕石 POC を 1.00 とした時の比率

表-3 空隙率および圧縮強度試験結果

	全空隙率 (%)	連続空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
砕石 POC	36.9	35.7	4.20
EPSPOC	42.6	41.9	0.11
鹿沼土 EPSPOC	39.9	37.0	0.16

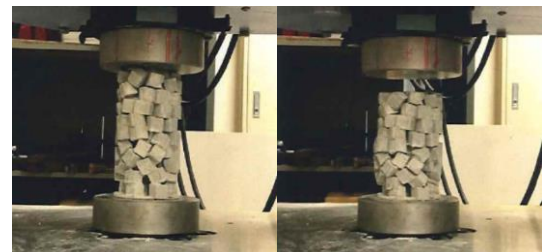


写真-1 EPSPOC の圧縮試験前後の様子

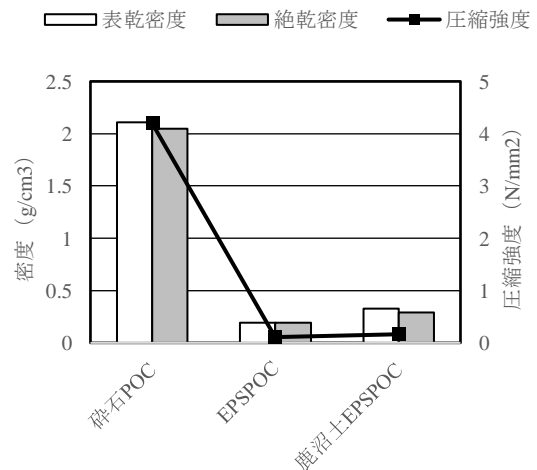


図-2 密度および圧縮強度試験結果

いるため緑化基盤材としての使用に問題はないと考えられる。

3.3 保水性および pH 試験結果

表-4 に保水量試験の結果を示す。砕石 POC の保水量は、 0.065g/cm^3 であったが、この値は保水性コンクリートブロックの品質性能規格で定められた 0.15g/cm^3 を下回っている。EPSPOC は、 0.020g/cm^3 と砕石 POC と比較して約 30% とさらに低い値となった。一方で、鹿沼土 EPSPOC は、 0.870g/cm^3 と砕石 POC と比較して約 13 倍と、鹿沼土の混入により大幅な保水性の増加が見られ、規格値を満たす性能が得られた。

図-3 に吸水率および保水性試験結果を示す。EPSPOC は、吸水率は大きいものの保水量が小さく、鹿沼土 EPSPOC は吸水率・保水量ともに大きいことがわかる。

表-5 に pH 試験結果を示す。砕石 POC と EPSPOC の pH は同程度のアルカリ性であった。一方、鹿沼土 EPSPOC は、pH で 1 程度中性寄りであり、混和材として使用した

表-4 保水量試験結果

	保水量 (g/cm^3)
砕石 POC	0.065 (1.00)
EPSPOC	0.020 (0.31)
鹿沼土 EPSPOC	0.870 (13.4)

() 内の数値は砕石 POC を 1.00 とした時の比率

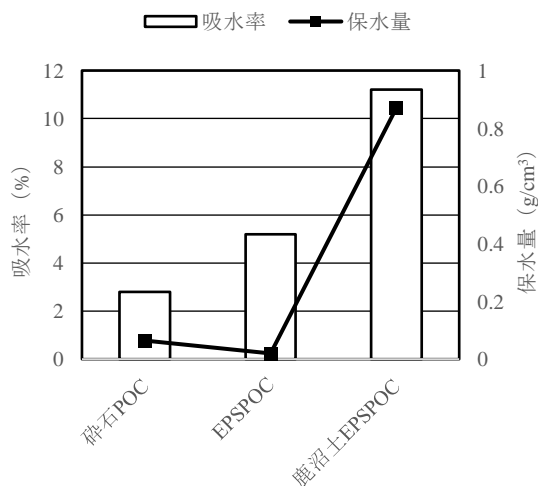


図-3 吸水率および保水量試験結果

表-5 pH 試験結果

	本体	土壌 (表層部)	土壌 (試験体接地部)
砕石 POC	10.5	6.5	6.8
EPSPOC	10.7	6.6	6.8
鹿沼土 EPSPOC	9.6	6.6	6.8

鹿沼土の酸性が影響したものと考えられる。植生した土壌部分については、各試験体により違いは見られなかった。ただし、上面表層部分と試験体と接する部分とでは、若干であるが試験体と接地する方の pH が大きくなっており、試験体の影響を受けていると考えられる。

3.4 植生試験結果

写真-2 に植生の生育状況を示す。各写真は、左から砕石 POC、鹿沼土 EPSPOC、EPSPOC となっており、上半分がキヌサヤ、下半分がセイヨウシバの生育範囲となっている。キヌサヤ、セイヨウシバ共にすべての試験体において、植生開始から約 1 週間で発芽が確認された。

図-4 は、最も生育が良く観察された植生 6 週間における試験体に占めるセイヨウシバの発芽の割合を示したものである。各試験体上面を 8×8 のグリッドに分け、発芽のみを観測できた部分を黄色、発芽し、葉が生育している部分を緑に分けて印をつけた。数値は印をつけた個所が全体に占める割合を表している。この結果により鹿沼土 EPSPOC が発芽の割合が 90.6% と最も大きい割合となり、砕石 POC は 89.0%、EPSPOC は 48.4% と続く結果になった。発芽し、良く生育している部分については鹿沼土 EPSPOC が発芽の割合が 71.9% と最も大きい割合となり、砕石 POC は 65.6%、EPSPOC は 6.3% と続く結果になった。EPSPOC におけるセイヨウシバの生育は、

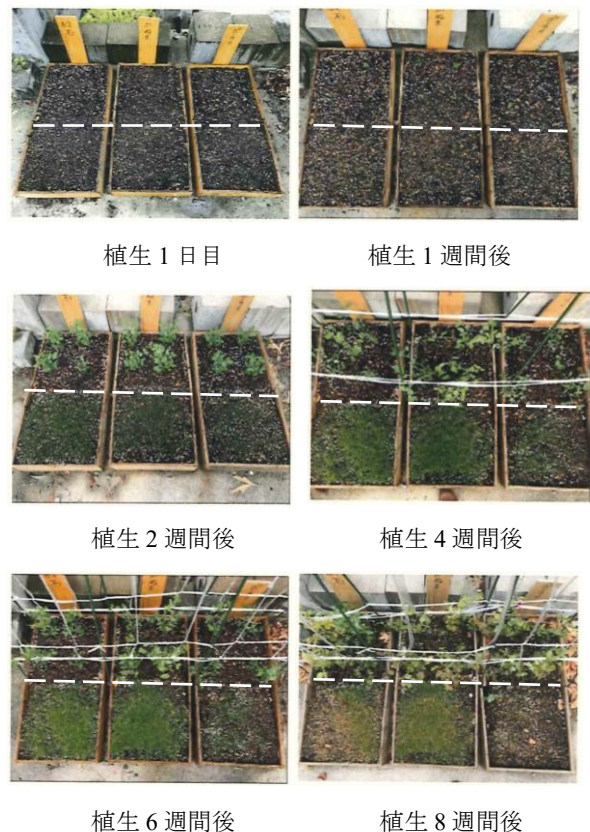


写真-2 植生の生育状況

(左から砕石 POC, 鹿沼土 EPSPOC, EPSPOC)

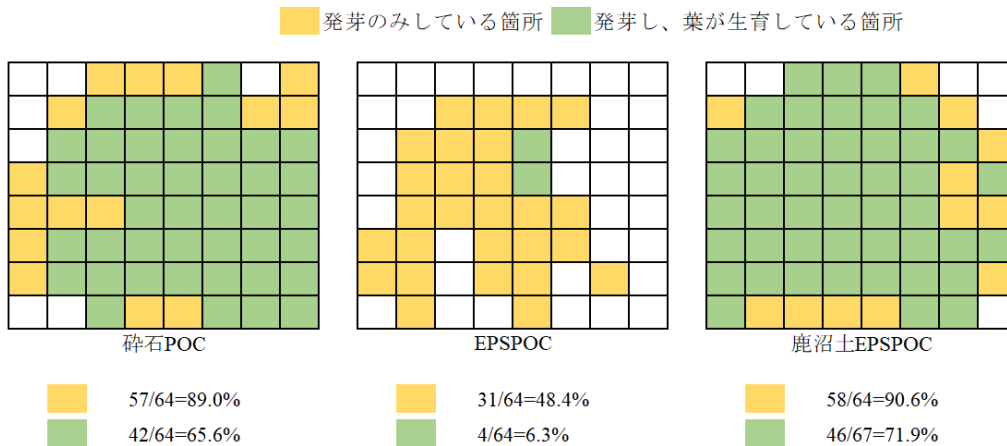


図-4 セイヨウシバの生育状況

あまり良い結果は得られなかった。理由として、EPSPOCは、吸水率は砕石 POC より高いものの、保水量が低く、生育に多くの水分を必要とするセイヨウシバにおいては、保水量が少ないことが生育に大きな差を生んだと考えられる。植生試験終了後、木枠を外してそれぞれの試験体での根の張り具合を比べた。砕石 POC では、根が局所的に広がっており、空隙にも根が伸びていた。EPS POC では根があまり張っておらず、そのため木枠を外すと土壌が崩れ落ちた。鹿沼土 EPSPOC では根が全面的に広がっており、しっかりと土を捕まえているような状態であり、ポーラスコンクリートの空隙部にも根がびっしりと伸びている様子が観察された。

キヌサヤの植生においては、茎の生育状況に試験体による違いは観測されなかった。いくつかの株は葉を虫に食われてしまったが、殺虫剤塗布後は問題なく成長し、植生試験開始から約2か月後に花を咲かせた。植生試験終了後、根の張り具合を比べた。写真-3にキヌサヤの根の状況を示す。すべての試験体においてポーラスコンクリートの持つ空隙部に、強く根を張っており、茎の部分と同様に試験体による違いは見られなかった。各試験体で差異が出なかった理由として、土壌厚を50mmと設定したため、各試験体のもつ性能による影響が少なかったためだと考えられる。



写真-3 砕石 POC のキヌサヤの根

4. まとめ

本研究では骨材に発泡スチロールおよび鹿沼土を使用したポーラスコンクリートを作製し、基礎物性と植生試験をおこない、緑化基盤材としての適用性を検討することを目的とし、実験的検討をおこなった。その結果として以下の知見を得た。

1. 発泡スチロールを骨材に用いたポーラスコンクリートは、大幅な軽量化を図ることが可能である。
2. 発泡スチロールを骨材に用いたポーラスコンクリートは、低強度ではあるが、延性的な破壊性状を示す。
3. 発泡スチロールを骨材に用いたポーラスコンクリートは、吸水性の向上が見られるが保水性は低い。
4. 発泡スチロールを骨材に用いたポーラスコンクリートに混和材として鹿沼土を用いることでアルカリ性の緩和と保水性が改善され、植生試験の結果でもセイヨウシバの生育に効果が見られた。

参考文献

- 1) 村上 聖, 武田浩二, 山口 信, 佐藤あゆみ: 保水性を付与した廃ガラス発泡骨材ポーラスコンクリートの緑化基盤材への適用, セメント・コンクリート論文集, 68 巻 1 号 pp. 516-522, 2014
- 2) 木南香織, 牧角竜憲: 廃発泡スチロール骨材を利用したポーラスコンクリートによる植生利用への検討, 土木学会第 58 回年次学術講演会, pp.1001-1002, 2003. 9
- 3) 日本コンクリート工学協会: 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, 2003
- 4) インターロッキングブロック舗装技術協会: 保水性舗装用コンクリートブロックの品質規格, 2005.7

