

# 植生基盤材料を目指した 牡蠣殻ポーラスコンクリートの開発

堀 口 至

広島県は全国有数の牡蠣の産地として知られているが、その一方では副産物として大量の牡蠣殻が発生している。牡蠣殻の有効利用のために、破碎した牡蠣殻を粗骨材として用いた牡蠣殻ポーラスコンクリートの開発を行っている。牡蠣殻ポーラスコンクリートの基礎特性と緑化性能を確認したところ、碎石ポーラスコンクリートと比較して圧縮強度は非常に小さく、透水係数も小さくなる傾向を示した。一方、植栽試験からは、粒径5mm以下の小粒径の牡蠣殻骨材を用いた牡蠣殻ポーラスコンクリートの緑化性能は高く、植生基盤材料への適用が可能であることがわかった。

キーワード：ポーラスコンクリート、牡蠣殻、植生基盤材料、圧縮強度、透水係数、緑化性能

## 1. はじめに

牡蠣はタンパク質やグリコーゲン、タウリン、ミネラルといったさまざまな栄養素を含み、その身は乳白色をしていることから「海のミルク」と呼ばれている。日本は中国、韓国に次ぐ、世界で3番目の牡蠣生産国である。なかでも、広島県は全国有数の牡蠣の産地として知られ、年間生産量はむき身で約20,000トンを目標としている。広島県がまとめた「平成29年度広島かき生産出荷指針」<sup>1)</sup>の統計資料によると、平成27年の牡蠣生産量は全国で28,360トンであるのに対し、広島県では19,322トンの牡蠣が生産されており、日本で生産されている牡蠣の約7割が広島県で生産されている(図-1参照)。しかし、その一方では、副産物として牡蠣殻が約100,000トン発生しており、その処理に関する問題、例えば保管場所からの異臭や景観への悪影響などが顕在化している。現時点では、牡蠣殻から製造した飼料や肥料の販売が行われているが、その絶対量は非常に少なく、さらなる用途の拡大が必要である。

一方、ポーラスコンクリートとは、粒径をそろえた粗骨材をペーストまたはモルタルで結合した、非常に透水性が高いコンクリートである(写真-1参照)。コンクリート体積の約10~30%は空隙が占めており、その結果0.01~10cm/sの高い透水性を示す<sup>2)</sup>。一般に、ポーラスコンクリートは内部に有する空隙を利用して、道路舗装や河川護岸、植生基盤材料などに適用されている。ポーラスコンクリート舗装は、雨水

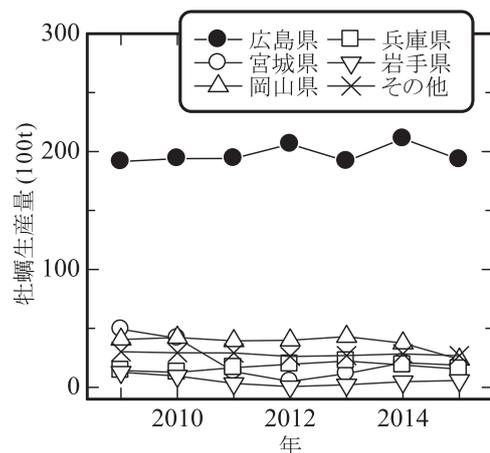


図-1 県別牡蠣生産量



写真-1 ポーラスコンクリート

を路面に溜めることなく路面下に排水ができることから、水はねや、ハイドロプレーニング現象の防止、路面表示の視認性向上など、雨天時の車両運転の安全性

を向上させることができる。河川護岸や植生基盤材料では、内部の空隙に水分や栄養分を保持することで、ポーラスコンクリート上の植物を生育させることができる。ポーラスコンクリートの植生基盤材料は、土質材料と比較して、風雨による基盤材料の飛散や流出、踏圧による圧密などの防止が可能である。一般に、ポーラスコンクリート上で植物を生育する場合、コンクリート内部に根が伸長しやすいように空隙径を大きくするため、粒径の大きな粗骨材を使用する。また、ポーラスコンクリートの保水性を高めるために、空隙内に保水性材料を充てんすることもある。

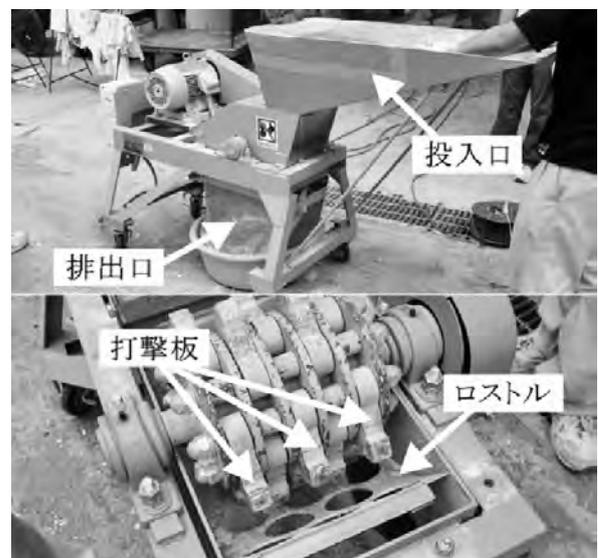
以上の背景より、牡蠣殻の有効利用を目指して、破碎した牡蠣殻を粗骨材として用いた牡蠣殻ポーラスコンクリート (OyPoC : Oyster Shell Porous Concrete) について研究を行っている。牡蠣殻は手や足で割ることができ、OyPoCの強度は低いと予想されたため、強度をあまり必要とされない植生基盤材料への適用について検討している。本稿はこれまで行ってきた研究<sup>3),4)</sup>から得られた知見に新たな知見を加え、OyPoCの圧縮強度や透水係数といった基礎特性と緑化性能について紹介したものである。

## 2. 牡蠣殻骨材

本研究で使用している牡蠣殻は、写真—2に示す広島県呉市の牡蠣殻堆積場より採取したものである。牡蠣殻は、写真—3に示す貝殻破碎機を用いて破碎した。本研究で使用した貝殻破碎機は、投入された牡蠣殻を打撃板により破碎し、排出口に配置されているロストル(一定直径の穴が開いた金属板)を通過して、破碎された牡蠣殻が排出される。そのため、ロストルの穴の直径を変えることで、異なる粒径、粒度を持った牡蠣殻骨材を作製することができる。破碎された牡蠣殻は、破碎した量の7割以上が骨材として用いられた。すなわち、歩留りが悪くならないように最小粒径を決定し、木杵ふるいを用いて所定の粒径範囲となるよう分級した。一般にポーラスコンクリート用粗骨材



写真—2 牡蠣殻堆積場



写真—3 貝殻破碎機

は、コンクリート内部に空隙を形成しやすくするために、粒径をそろえて粒径範囲を狭くするが、本研究で用いた牡蠣殻骨材は上記の理由で広い粒径範囲となっている。

表—1に、直径35, 25, 15, 6 mmの穴が開いたロストルを用いて作製した、牡蠣殻骨材の物理的性質を示す。表には碎石ポーラスコンクリートに一般的に使用される、粒径13~20 mmの5号碎石と粒径5~13 mmの6号碎石の試験データも併記している。表

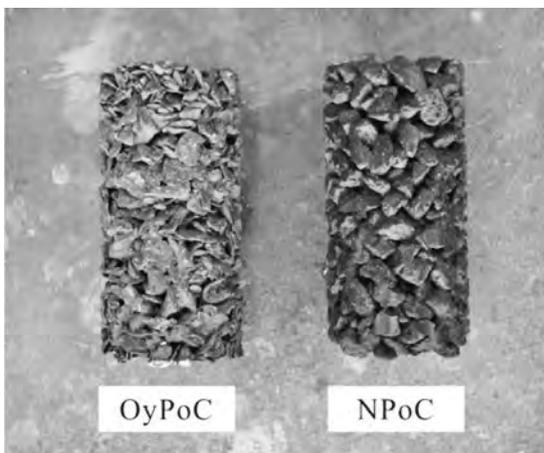
表—1 牡蠣殻骨材の物理的性質

ロストル直径 (mm)	牡蠣殻骨材				碎石	
	35	25	15	6	-	-
粒径 (mm)	5~20	2.5~20	0.6~10	0.3~5	13~20	5~13
表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.86	1.79	1.85	1.97	2.68	2.66
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.44	1.38	1.49	1.57	2.66	2.64
吸水率 (%)	28.8	29.8	24.2	25.2	0.71	0.98
実積率 (%)	43.6	48.3	49.9	50.3	58.6	58.3

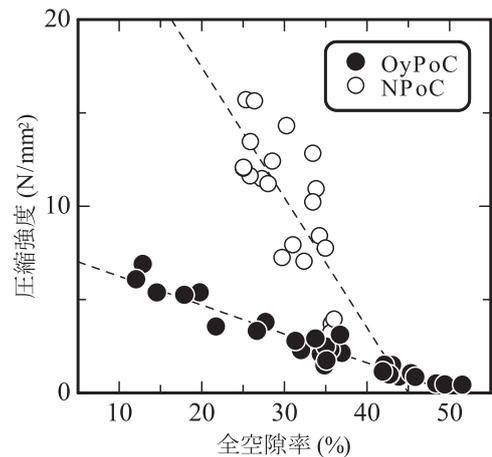
より、牡蠣殻骨材の絶乾密度は  $1.4 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 、吸水率は  $25 \sim 30\%$  の範囲にあり、碎石と比較すると絶乾密度は碎石の  $50 \sim 60\%$  と小さく、吸水率は  $20 \sim 40$  倍と著しく大きいことがわかる。これは牡蠣殻の大部分が、チョーク層と呼ばれる薄い板状の方解石の結晶が組み合わさった、空隙の多い構造で構成されているからである<sup>5)</sup>。また、碎石と比較して牡蠣殻骨材の実積率は小さくなる傾向を示し、骨材粒径が大きいほどその傾向は著しい。これは牡蠣殻骨材の形状に起因しており、骨材粒径が大きいものは湾曲した形状を示すが、粒径が小さくなるにつれて扁平な形状に近づいていくからである。その結果、粒径が大きい牡蠣殻骨材よりも粒径が小さい扁平な骨材の方が互いに重なりやすくなり、骨材間空隙が小さくなって実積率は大きくなる。

### 3. 牡蠣殻ポーラスコンクリートの基礎特性<sup>3),4)</sup>

OyPoC の基礎特性を調べるために、圧縮強度試験および透水試験を行った。試験では、粒径  $5 \sim 20 \text{ mm}$  の牡蠣殻骨材を用いて、全空隙率を変化させた OyPoC を作製し、比較のために粒径  $13 \sim 20 \text{ mm}$  の 5 号碎石を用いて、碎石ポーラスコンクリート (NPoC) を作製した。写真—4 に、作製した OyPoC と NPoC を示す。図—2 に、OyPoC および NPoC の全空隙率と材齢 28 日の圧縮強度の関係を示す。ただし、両者ともセメントには普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比 (W/C) は  $25\%$  とした。図より、全空隙率の低下に伴い、OyPoC、NPoC ともに圧縮強度は増大するが、OyPoC の圧縮強度は同一空隙率の NPoC と比較して小さいことがわかる。また、OyPoC の最大の圧縮強度は約  $6 \text{ N/mm}^2$  という低い値を示し、植生重視の護岸用ポーラスコンクリートの強度基



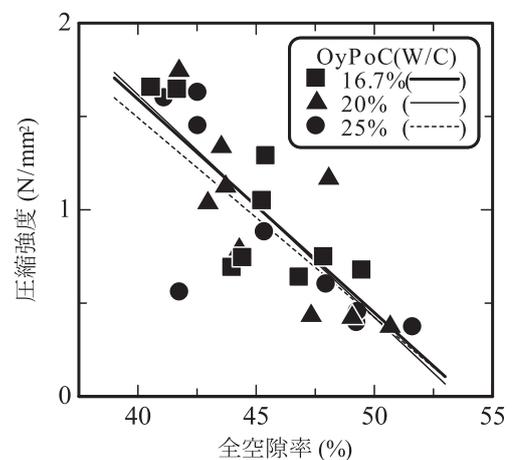
写真—4 OyPoC および NPoC



図—2 OyPoC および NPoC の全空隙率と圧縮強度の関係

準値<sup>6)</sup>である  $10 \text{ N/mm}^2$  を下回った。

ポーラスコンクリートの圧縮強度を増加させるためには、骨材をつなぎとめているペースト強度を高めるのが一般的な手法である。そこで、W/C を  $16.7$ 、 $20$ 、 $25\%$  の 3 水準に設定した OyPoC を作製し、材齢 28 日の圧縮強度試験を行った。図—3 に、OyPoC の全空隙率と圧縮強度の关系到及ぼす W/C の影響を示す。図より、多少データのバラつきがみられるが、OyPoC の圧縮強度に対して W/C の影響はほとんどみられないことがわかる。



図—3 OyPoC の圧縮強度に及ぼす W/C の影響

OyPoC が NPoC よりも強度が低いのは、その破壊メカニズムの違いが原因である。一般的な NPoC が圧縮作用を受けたときに、骨材接点間のペースト部から破壊するのに対して、OyPoC は牡蠣殻骨材から破壊する。前述のように、牡蠣殻骨材は空隙の多い多孔質な構造で構成されている。BS 812 Part 111<sup>7)</sup> に基づき骨材強度の指標である  $10\%$  破壊荷重を測定したところ、碎石が  $349.1 \text{ kN}$  であるのに対し、牡蠣殻骨材は  $29.5 \text{ kN}$  と  $10\%$  以下の値となった。その低い骨材

強度のため、ペースト破壊前に牡蠣殻骨材が割れてしまい、ペースト強度を増加させても OyPoC の強度増進にはつながらなかったと考えられる。

図-4 に、OyPoC および NPoC の連続空隙率と透水係数の関係を示す。図より、連続空隙率の増加に伴い、OyPoC、NPoC とともに透水係数は増大するが、OyPoC の透水係数は同一空隙率の NPoC と比較して小さいことがわかる。これは OyPoC の空隙構造が NPoC と異なるためだと考えられる。一般に、ポーラスコンクリートの空隙構造は、使用する粗骨材の粒径や形状で変化する。本研究の透水試験は、直径 100 mm、高さ 200 mm の円柱供試体を用いて行い、円柱の打設方向と透水試験の水の流れる方向は同じ円柱軸方向である。牡蠣殻骨材は碎石と比較して扁平な形状をしているため、牡蠣殻骨材は供試体底面と水平な方向に重なり合うように層をなして配置されやすい。そのため、牡蠣殻の配列が水の透過を阻害し、OyPoC の透水係数は低くなったと考えられる。そこで、縦打ち型枠と横打ち型枠を用いて、円柱軸方向と打設方向を変化させた円柱供試体を作製し、透水試験を行った。その結果、横打ちの OyPoC の方が縦打ちよりも約 2 倍の透水係数を示し、OyPoC の透水性には異方性があることがわかった。

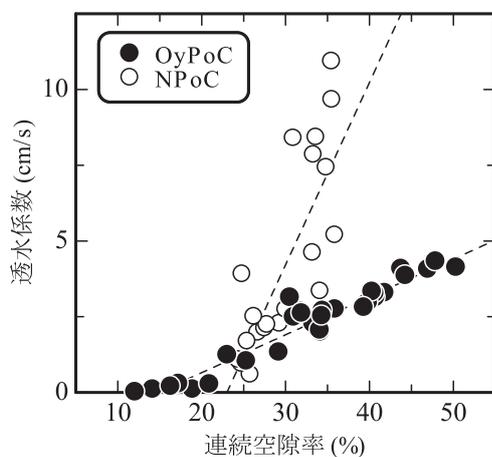


図-4 OyPoC および NPoC の連続空隙率と透水係数の関係

#### 4. 牡蠣殻ポーラスコンクリートの緑化性能

3章で述べたように、OyPoC の圧縮強度は非常に小さく、舗装や護岸材料といった強度が必要となる構造物に適用するのは難しい。そのため、本研究では OyPoC の植生基盤材料への適用を目指し、植栽試験を行って OyPoC の緑化性能について検討を行った。植栽試験は、4階建ての本校環境都市工学科棟屋上で行った。図-5 に植栽試験の概要を示すが、プラスチック

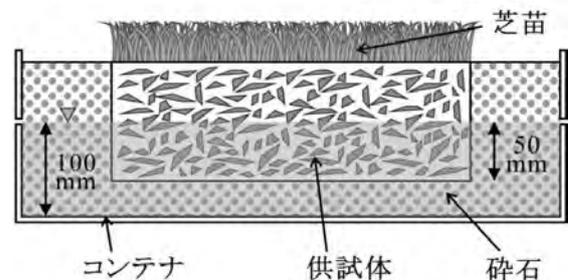
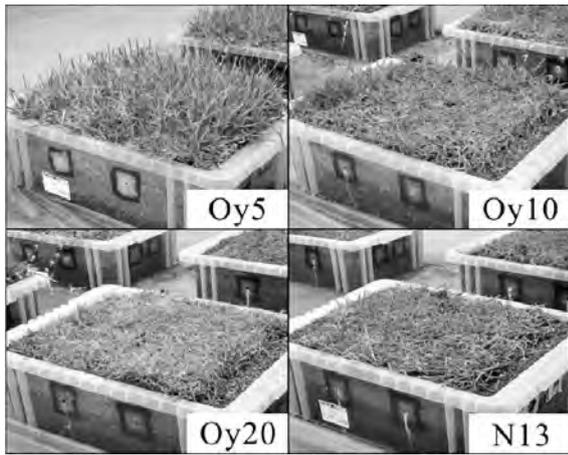


図-5 植栽試験概要

製コンテナに供試体を設置し、覆土を設けずにノシバの芝苗を供試体表面に直接張った。間詰材料として粒径 5 mm 以下の碎石を用い、水抜き孔を供試体の底面から 50 mm の位置に設けた。植栽植物の根付きを考慮して、植栽試験開始 1 週間は毎日水やりを行ったが、その後は一切水やりを行わず、供試体への水分供給は降雨のみとした。OyPoC の緑化性能の評価は、芝の生育状況の目視観察、芝の含水率とコンテナ中の水位測定によって行った。芝の含水率は電気抵抗式の土壤水分測定器（測定範囲 12.1 ~ 58.0%）を用い、コンテナ中の水位はコンテナが半透明であるため、外側からメジャーで底面からの水の高さを測定した。供試体には、粒径の異なる牡蠣殻骨材を用いて 3 種類の OyPoC、Oy20（粒径 2.5 ~ 20 mm）、Oy10（粒径 0.6 ~ 10 mm）、Oy5（粒径 0.3 ~ 5 mm）と、比較のために 6 号碎石を用いた N13（粒径 5 ~ 13 mm）の合計 4 種類を用いた。セメントには植物の生育阻害を防止するために、高炉セメント B 種を用いて供試体のアルカリ低減を行った。全ての供試体の W/C は 25%、ペースト粗骨材容積比は 30% に設定し、供試体には 300 × 300 × 100 mm の平板を用いた。試験期間は平成 26 年 8 月から 11 月までの 104 日間とした。

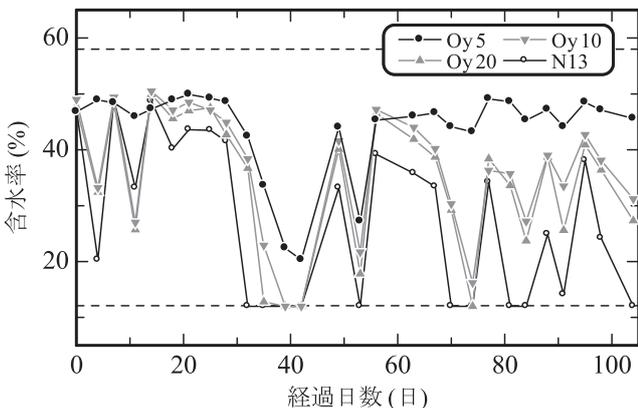
芝の目視観察より、粒径の大きい牡蠣殻骨材を用いた Oy20、Oy10、6 号碎石を用いた N13 上で育成されている芝は、試験開始 7 日後で枯れたことがわかった。一方、Oy5 上の芝は、気温が高い 8 月から 9 月初旬に水分供給を行わなくても枯れることは無く、青々とした芝が生い茂っていた。9 月下旬頃からは、Oy5 上の芝の一部に、緑色の葉の黄緑色、薄茶色への変色が見られ始めた。気温が下がるにつれ、芝の変色部分は全体に広がっていったが、Oy5 上の芝は試



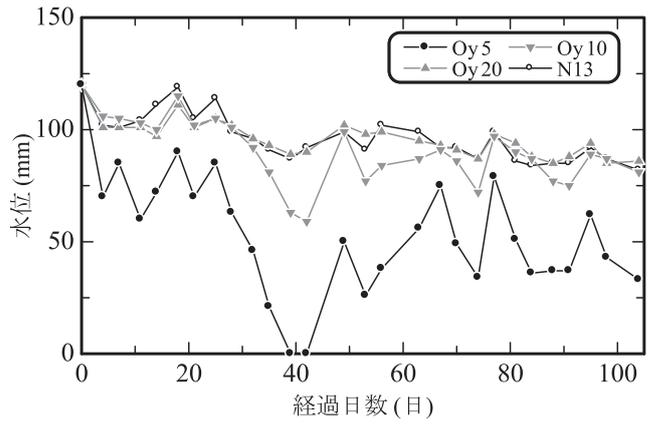
写真一5 芝の生育状況 (試験 104 日目)

試験終了時まで完全に枯れることは無かった。写真一5に、試験開始104日目の試験終了時における、各供試体上の芝の生育状況を示す。試験終了時のOy5上の芝は、全体的に薄茶色に変色しているが部分的に緑色の芝も生えており、写真より、Oy20, Oy10, N13上の芝のように枯れていないことがわかる。

図一6に、各供試体上で育成されている芝の含水率の経時変化を示す。ただし、図中の破線は、本研究で使用した土壤水分測定器の範囲を示しており、図に示す値は、1体の供試体につき6点測定した値の平均値である。なお、芝が乾燥しすぎて測定値が得られない場合は、その測定点の含水率を、測定値の下限値の12.1%として平均値を算出した。図より、降雨によって全ての供試体上の芝の含水率は変動するが、全試験期間を通してOy5上の芝の含水率が最も高いことがわかる。Oy5に次いで、Oy10, Oy20の順に含水率が高かったが、その差は小さく、N13上の芝が最も低い含水率を示した。図一7に、コンテナ水位の経時変化を示す。ただし、図に示す値は、コンテナ側面4ヶ所の測定値の平均を示している。図より、含水率の測定結果同様、降雨のため水位は変動するが、供試体に



図一6 芝の含水率の経時変化



図一7 コンテナ水位の経時変化

Oy5を用いた場合、他の供試体と比較してコンテナ水位が低くなる傾向を示すことがわかる。Oy10のコンテナ水位の変動がやや大きいですが、Oy20, Oy10, N13のコンテナ水位はOy5と比較すると高く、その変動もあまり大きくなかった。

以上の植栽試験結果より、OyPoCの緑化性能を評価すると、Oy5の緑化性能が最も優れているといえる。これは、Oy5に使用した牡蠣殻骨材の粒径が0.3~5mmと小さいため揚水効果に優れ、コンテナ中に蓄積された水分を揚水して、供試体上の芝に水分が供給されたものと考えられる。既往の研究<sup>8)</sup>では、粒径2.5mm以下の小粒径の骨材を用いたポーラスコンクリートは、揚水効果が高くなることが報告されている。優れた揚水効果を持つことから、Oy5では水やりを行わなくても芝を供試体上で育成することができ、一般的に緑化用ポーラスコンクリートに使用される、保水性材料の充てんも必要無かった。試験終了後、供試体を割って芝の根の伸長具合を確認したところ、非常に細かい根が供試体上面から、深さ10~20mm程度まで伸長していた。以上のように、小粒径の牡蠣殻骨材を用いたOyPoCは緑化性能が高く、植生基盤材料への適用が可能である。

## 5. おわりに

本稿では、資源の有効利用を目的として開発した、破碎した牡蠣殻を骨材として用いたOyPoCの基礎特性と緑化性能について紹介した。これまでの研究結果より、OyPoCの圧縮強度は非常に低いが、小粒径の牡蠣殻骨材を用いることで緑化性能が高くなるため、植生基盤材料への適用が可能であることがわかった。ただし、まだ限定的な供試体条件による、4ヶ月程度の植栽試験しか行われていない。ポーラスコンクリートの性能は、その空隙特性に強く影響を受けることか

ら、ペースト量や締固め方法などを変化させて、さまざまな条件の供試体を作製する必要がある。作製した供試体を用いて長期的な緑化性能を検討し、植生基盤材料に最適な配合条件、製造方法について、今後は明らかにしていきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 広島県ホームページ：https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/88/syukkasisin.html
- 2) 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，pp.3-11，2003
- 3) 堀口至，竹村和夫：牡蠣殻骨材を用いたポーラスコンクリートの基礎特性，セメント・コンクリート論文集，No.62，pp.538-543，2008
- 4) 堀口至，竹村和夫：牡蠣殻ポーラスコンクリートの基礎特性に及ぼす異方性および水セメント比の影響，セメント・コンクリート論文集，No.63，pp.577-583，2009

- 5) 奥谷喬司編：貝のミラクル 軟体動物の最新学，東海大学出版，pp.19-38，1997
- 6) 先端建設技術センター：ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き，山海堂，pp.20-50，2001
- 7) BS 812 Part 111: Testing aggregates. Methods for determination of ten per cent fines value (TFV)，1990
- 8) 前川明広，畑中重光，三島直生，山本晃：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.264-270，2006

【筆者紹介】

堀口 至（ほりぐち いたる）  
呉工業高等専門学校 環境都市工学分野  
准教授

