

論文 小型魚礁に設置したポーラスコンクリートの藻場復元効果

武田 浩二^{*1}・村上 聖^{*2}・金丸 健太郎^{*3}・浦野 登志雄^{*4}

要旨：本研究では、産業副産物を活用した藻場復元用ポーラスコンクリートの開発の一環として、沈設方法として有効と考えられる小型魚礁を海底に沈めそこに試験体を固定する方法で海中沈設実験を実施し、海藻の定着効果を検証した。沈設実験において試験体への海藻の定着量調査及び被度調査を実施した結果、小型魚礁を用いる沈設方法は実用を想定した場合十分な効果があることが分かり、試験体の取り付け角度の設定等において注意すべき点もあるが、藻場復元用ポーラスコンクリート開発の今後の展開の可能性が示された。
キーワード：ポーラスコンクリート、エコマテリアル、藻場復元、産業副産物、リサイクル

1. はじめに

近年、赤潮の大量発生やいわゆる「磯焼け」と呼ばれる海洋生態系の衰退現象が問題となっているが、これらの海洋環境の改善には人工藻礁を用いた藻場復元や人工魚礁を用いた魚介生態系の修復などが効果的だと言われている^{1),2)}。

ポーラスコンクリートは生物共生型のエコマテリアルとしての活用が期待されており、建築物屋上における緑化基盤材、河川での植物親和性護岸や生物親和性水質浄化材料など、実用レベルでの開発が各方面で進められている。海中の人工藻礁を形成する藻場復元材料としてポーラスコンクリートを活用することも有効であると考えられており、ポーラスコンクリートによる藻場復元を試みる研究も報告されている^{3),4),5)}。

これらをふまえ、筆者らは、ポーラスコンクリートの藻場復元材料への適用性の検討として、各種産業副産物を使用して作製したポーラスコンクリート試験体を実際に海中に沈設してその藻場復元効果を検証する取り組みを多年にわたって実施してきた。これまでの研究結果より、ポーラスコンクリートの表面及び内部の空隙へ海藻類が良好に定着して自生することが分かり⁶⁾、特に、海底環境が衰退した場所においても藻場復元材料の設置によりその回復がはかれる可能性があることが分かっている⁷⁾。また、藻場復元材料の沈設方法として、ポーラスコンクリート試験体を海底面に直接設置するよりも、例えば海上からロープで吊り下げる方法のように試験体が海中において潮流を受ける形となるように設置する方が海藻の定着が良好であることも分かっている⁸⁾。

ポーラスコンクリートを使用した人工藻礁を実用レベルで考えた場合、ロープで吊り下げる方法では限界があり、人工魚礁等の海底の立体構造物に組み合わせて設置

する方法が現実的であると考えられる。そこで本研究では、そのシミュレーションとして、小型魚礁を海底に設置し、そこに試験体を固定する方法を試み、その方法による藻場復元効果について検証したので、その結果について報告する。

2. 使用材料及び試験体

2.1 使用材料

実験に使用した産業副産物の仕様を表-1に示す。

表-1 使用材料

廃ガラス発泡軽量骨材	
表乾密度	0.90 g/cm ³
吸水率	35.6 %
絶乾密度	0.66 g/cm ³
実積率	56.8 %
廃木材チップ	
木質系産業廃棄物破碎チップ	
パルプスラッジ焼却灰	
密度	2.20 g/cm ³
高炉スラグ碎石	
表乾密度	2.75 g/cm ³
吸水率	1.97 %
絶乾密度	2.70 g/cm ³
実積率	55.7 %
木炭粒子	
表乾密度	0.82 g/cm ³
吸水率	278 %
絶乾密度	0.22 g/cm ³

*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

*4 八代工業高等専門学校 土木建築工学科准教授 工博（正会員）

廃ガラス発泡軽量骨材はガラスびんをリサイクルした粒径 13～20mm 程度の軽石状の材料で、表面及び内部の微生物生息空間が海藻の定着に効果的であると考えられる。これまでの研究結果においても海藻の良好な定着性能が確認されており^{6),7),8)}、本実験においてもポーラスコンクリートの骨材として使用した。

廃木材チップは建築廃木材を 20～50mm 長程度の切片状に破碎したもので、有機栄養分が海藻の定着に効果的であると考えられる。これまでの研究結果においても海藻の良好な定着性能が確認されており^{6),7),8)}、本実験においてもポーラスコンクリートの骨材として使用した。

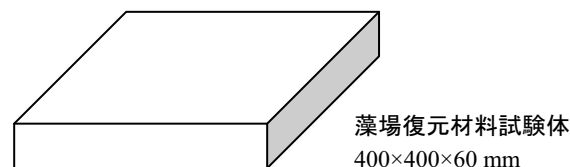


図-1 試験体形状・寸法

パルプスラッジ焼却灰は製紙工場で発生する製紙スラッジを焼却した灰を集めたもので、ポゾランとしての効果⁹⁾を有し、また灰の持つ植物の成長促進作用が海藻の定着に効果的であると考えられる。これまでの研究結果

表-2 廃ガラス発泡軽量骨材ポーラスコンクリートの使用調合

W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)		
		C	W	G
20	20	460	136	367

表-3 廃木材チップポーラスコンクリートの使用調合

廃木材チップ	単位量 (kg/m ³)	
	複合高分子エマルジョン	セメント系コンパウンド
200	273	818

表-4 パルプスラッジ焼却灰混入碎石ポーラスコンクリートの使用調合

W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)				Sp/C (%)	PS/C (%)
		C	W	G	PS		
35	30	158	79	1610	67.8	0.5	30

表-5 高炉スラグ碎石ポーラスコンクリートの使用調合

W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)
		C	W	G	
25	30	266	67	1501	0.5

表-6 木炭粒子混入碎石ポーラスコンクリートの使用調合

W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)				Sp/C (%)	Ch/C (%)
		C	W	G	Ch		
25	30	266	67	1610	26.6	0.5	10

表-7 碎石ポーラスコンクリートの使用調合

W/C (%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m ³)			Sp/C (%)
		C	W	G	
25	30	266	67	1610	0.5

(表-2～7 共通)

C：セメント

W：水

G：粗骨材

PS：パルプスラッジ焼却灰

Ch：木炭粒子

Sp：高性能 AE 減水剤

においても海藻の良好な定着性能が確認されており^{7),8)}、本実験においても碎石を骨材としたポーラスコンクリートの混和材料として使用した。

高炉スラグ碎石は鉄分を含むため、海藻の成長促進作用に効果的であると考えられる。これまでの研究結果においても海藻の良好な定着性能が確認されており⁸⁾、本実験においても碎石 5 号と同程度の粒度に調整し、ポーラスコンクリートの骨材として使用した。

木炭粒子は種々の廃木材から製造した木炭を碎石 6 号程度の粒度に調整したもので、微細孔の生物親和性が海藻の定着に効果的であると考えられる。これまでの研究では沈設実験中の不具合により海藻の定着性能が確認できなかったため⁸⁾、本実験において再検討するため、碎石を骨材としたポーラスコンクリートの混和材料として使用した。

2.2 試験体の調合及び製造

実験に使用した藻場復元材料試験体の形状・寸法を図-1 に示す。400mm×400mm×60mm の版状で、廃ガラス発泡軽量骨材ポーラスコンクリート、廃木材チップポーラスコンクリート、パルプスラッジ焼却灰混入碎石ポーラスコンクリート、高炉スラグ碎石ポーラスコンクリート、木炭粒子混入碎石ポーラスコンクリート及び比較用の碎石ポーラスコンクリートの 6 種類を設定した。

各試験体の使用調合を表-2～7 に示す。廃ガラス発泡軽量骨材ポーラスコンクリート、高炉スラグ碎石ポーラスコンクリートでは結合材として高炉セメント B 種（密度 3.04g/cm³）を、廃木材チップポーラスコンクリートでは結合材としてポリマーセメントモルタルを、パルプスラッジ焼却灰混入碎石ポーラスコンクリート、木炭粒子混入碎石ポーラスコンクリートでは粗骨材に碎石（粒径 13～20mm、表乾密度 2.95g/cm³、吸水率 1.27%、実積率 55.7%）、結合材として高炉セメント B 種をそれぞれ用いた。廃ガラス発泡軽量骨材は材料自体が多孔質でありポーラスコンクリートとした場合の実測空隙率が高くなってしまうため、目標空隙率を他の材料を使用したものより低く設定した。廃木材チップポーラスコンクリートにおいて結合材にポリマーセメントを用いたのは、高炉セメントではセメントペーストと廃木材チップとの付着性能が悪く成型が困難であり、付着性能の良いポリマーセメントを用いることによって固化成型を可能にするため

表-8 各試験体の素材特性

廃ガラス発泡軽量骨材ポーラスコンクリート	
全空隙率	37.4 %
連続空隙率	36.1 %
圧縮強度	2.4 N/mm ²

廃木材チップポーラスコンクリート	
全空隙率	38.2 %
連続空隙率	29.6 %
圧縮強度	0.8 N/mm ²

パルプスラッジ焼却灰混入碎石ポーラスコンクリート	
全空隙率	38.8 %
連続空隙率	37.4 %
圧縮強度	5.3 N/mm ²

高炉スラグ碎石ポーラスコンクリート	
全空隙率	38.9 %
連続空隙率	37.9 %
圧縮強度	7.7 N/mm ²

木炭粒子混入碎石ポーラスコンクリート	
全空隙率	35.5 %
連続空隙率	34.6 %
圧縮強度	3.9 N/mm ²

碎石ポーラスコンクリート	
全空隙率	37.2 %
連続空隙率	36.8 %
圧縮強度	8.2 N/mm ²

である。

打設は木製型枠に練り上がったポーラスコンクリートを少量ずつ投入し、木槌等を用いて締め固めを行なった。

2.3 試験体の素材特性

各試験体の素材特性として、φ 100mm×200mm の円柱供試体を用いて全空隙率、連続空隙率及び圧縮強度を測定した。測定結果を表-8 に示す。目標空隙率に対し実測空隙率がやや高い結果となっているのは、骨材粒径に対し供試体が小径であるため、型枠に接する部分において骨材が充填不足となり空隙が増加する影響が大きく現れたためだと考えられるが、すべての試験体の全空隙率が 35～39%の範囲に収まりばらつきが小さいことから、実験への影響はないものとした。

表-9 試験体沈設方法

魚礁水平	6 体 1 セット	水深 3 メートル	小型魚礁上に水平に固定
魚礁斜め	6 体 1 セット	水深 3 メートル	小型魚礁上に斜め 45° に固定
いかだ吊り下げ	6 体 1 セット	水深 3 メートル	いかだからロープで吊り下げ
海底設置	6 体 1 セット	水深 5 メートル	海底に直接設置

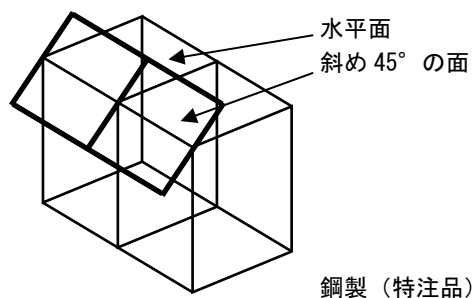


図-2 小型魚礁（イメージ）



写真-1 小型魚礁



写真-2 試験体沈設作業



写真-3 沈設した試験体



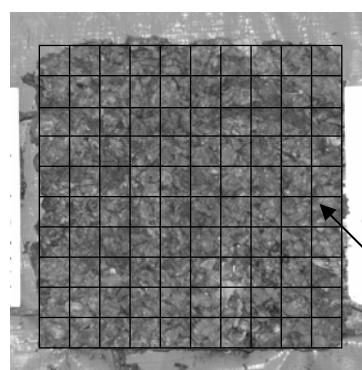
写真-4 引き上げた試験体

3. 海中沈設実験

3.1 海中沈設実験方法

試験体は6種類のポーラスコンクリートを1セットとして、全4セットを沈設した。沈設方法は、熊本県上天草市の有明海沿岸の海域に実験用いかだを設置し、いかだ周囲の海底に小型魚礁を沈めてそこに試験体を固定する方法、いかだから試験体をロープで吊り下げる方法、及びいかだ周囲の海底に試験体を直接設置する方法の3種類とした。試験体の沈設方法を表-9に示す。これまでの研究結果⁸⁾より、試験体を海底に直接設置するよりいかだから吊り下げた方が海藻の定着が良好であることが分かっているが、実用化を考慮するとロープで吊り下げる方法では限界があり、海底から離れた状態で立体的に固定する方法が求められる。そこで今回、図-2及び写真-1に示すような人工魚礁を模した小型の試験体設置台（小型魚礁）を作製してこれを海底に沈め、図に示すように小型魚礁の水平面に試験体1セット6体、斜め45°の面に試験体1セット6体をそれぞれ固定した。これにより試験体を海底から離れた潮通しの良い環境で立体的に固定することを実現した。試験体の取り付け角度として水平と斜め45°の2種類を設定したのは、潮流を受ける角度が海藻の定着性能に影響を及ぼすかどうか検討するためである。

試験体の沈設作業を2007年10月に実施し、2008年5月に試験体の引き上げ作業を実施し、試験体への海藻の定着状況を調査して実験終了とした。沈設作業の状況、沈設した試験体、引き上げた試験体を写真-2~4にそれぞれ示す。



試験体の写真及び
仮想のグリッド

	1	1			1			1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1			1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1		
		1	1	1	1	1			
		1	1	1	1	1	1		1
		1	1	1	1	1			1
		1	1	1				1	1
		1	1	1	1	1			

10×10=100 グリッド

「1」のグリッドに
海藻が定着
1の合計が被度(%)
この図では被度70%

図-3 被度調査方法

3.2 海中沈設実験結果

各試験体への海藻の定着状況の調査は、定着している海藻を採取しての質量測定及び付着生物の個体数の調査を行なう定着量調査と、海藻を採取する前に試験体を撮影してその写真を分析して試験体の表面の海藻の被覆率（被度）を算定する被度調査の2項目を実施した。被度調査は、図-3に示すように試験体の写真に仮想のグリッドを設定し、海藻が定着していると判定されたグリッ

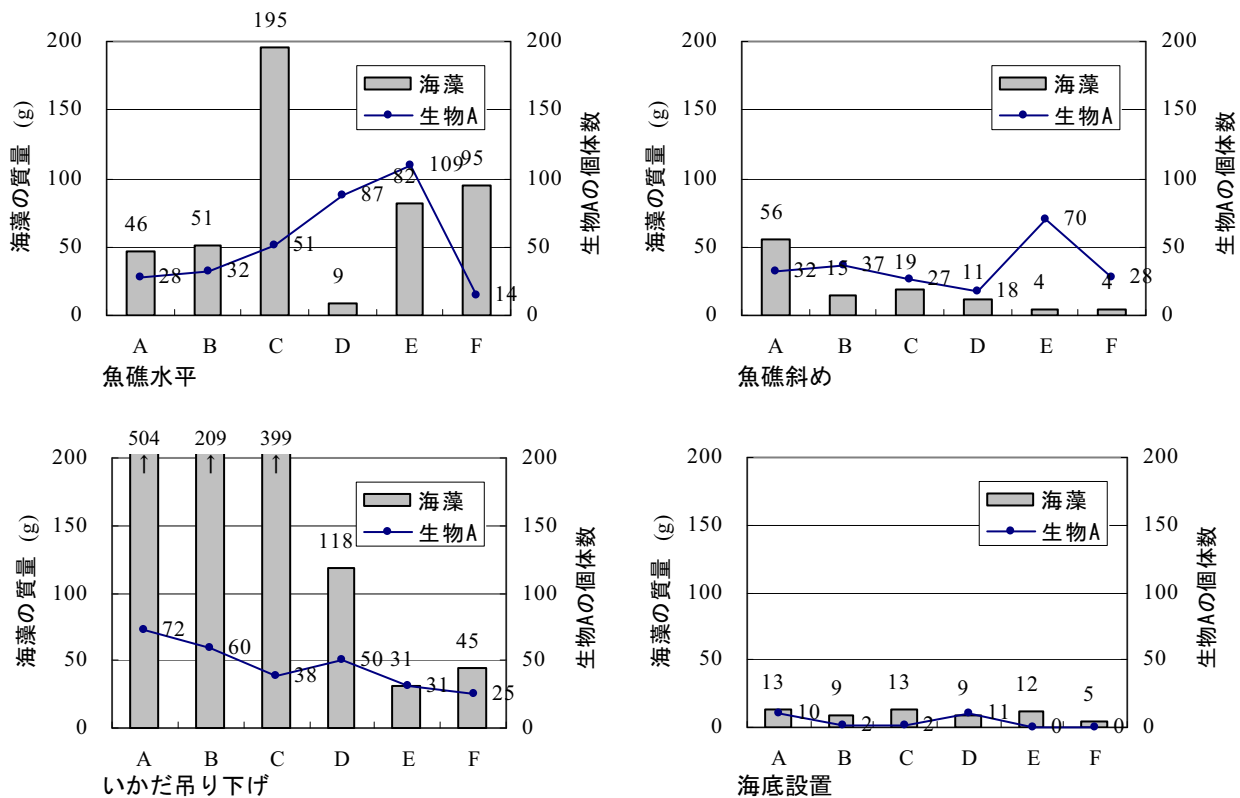


図-4 定着量調査結果

ドの総数が全グリッドに占める比率 (%) を求める方法で算定した。

定着量調査結果として、沈設方法ごとの各試験体の海藻の定着量及び付着生物の個体数を調査した結果を図-4に示す。グラフより、いかだから吊り下げた試験体への海藻の定着が良好で、海底に設置した試験体には海藻はあまり定着していないことが分かる。小型魚礁に固定した試験体では、水平の方が斜めのものよりも定着が良好であることが分かる。斜めのものはいかだ吊り下げ（鉛直）と水平のものの中間的な定着状況が想定されたが、今回の実験では、斜めになった試験体上面の方向と潮流の方向が大きく異なっていたため、その影響であまり定着しない結果になったものと考えられる。これらのことから、小型魚礁の利用は、吊り下げの方法ほどの海藻定着効果は得られないが、実用を想定した場合十分有効な方法であるといえる。また、斜めに設置する際は試験体の方向と潮流の方向との関係に注意が必要であることが分かった。試験体種類ごとに定着性能を比較してみると、沈設方法によって定着量のパターンが異なって結果が一致せず、有意な傾向を見出すことができない。このことは、海中の環境の微小な差異が海藻の生態に大きく影響

することを示していると考えられるが、総じて、比較用の砕石ポーラスコンクリートと比べておおむね同等以上の定着量がみられ、それぞれの産業副産物の使用により良好な定着性能を得られたことが分かる。

被度調査結果として、沈設方法ごとに各試験体の被度を調査した結果を図-5に示す。この方法は、グリッド単位なので精度に限界がある、写真を用いるため判定の確度が落ちる、被覆の程度はつかめるが定着した海藻の密集度を考慮していないため定着総量との整合性がよくない場合がある、等の不十分さがあるが、定着性能を定量的に知る簡便な一手法であるとして、今回この調査を実施した。グラフより、定着量の大きかったいかだ吊り下げのものは被度も高く二者に相関が見られるが、他の沈設方法のものは定着量との相関は見られない。試験体種類ごとの被度の比較では、定着量調査結果と同様に、沈設方法によって結果の傾向が異なることが分かる。被度調査については、その手法及び結果の評価のあり方についてさらなる検討が必要であると思われる。

4. まとめ

産業副産物を活用した藻場復元用ポーラスコンクリート

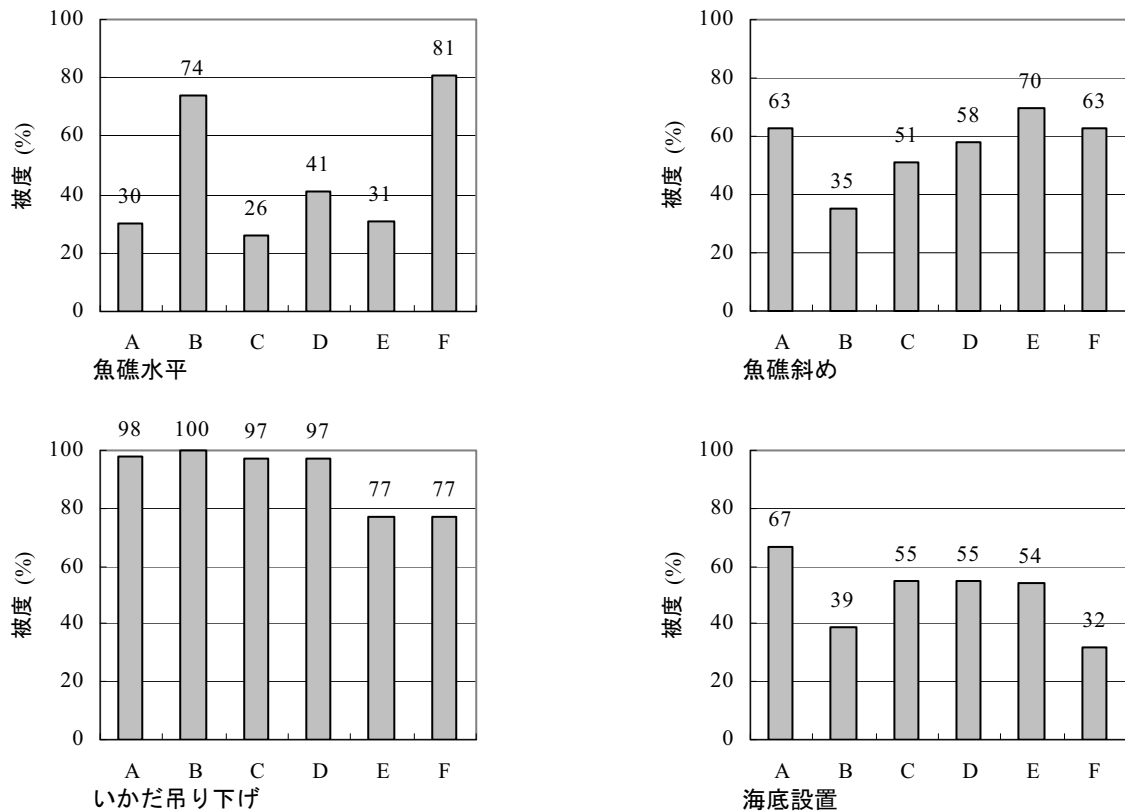


図-5 被度調査結果

A: 廃ガラス発泡軽量骨材ポーラスコンクリート
 B: 廃木材チップポーラスコンクリート
 C: パルプスラッジ焼却灰混入砕石ポーラスコンクリート
 D: 高炉スラグ砕石ポーラスコンクリート
 E: 木炭粒子混入砕石ポーラスコンクリート
 F: 砕石ポーラスコンクリート

トの開発として、小型魚礁上に固定した試験体を用いた沈設実験を行なった結果、この方法は実用を想定した場合十分有効であることが分かった。小型魚礁への試験体の取り付け角度の設定等において注意すべき点もあるが、藻場復元用ポーラスコンクリート開発の今後の展開の可能性が示された。

謝辞

本研究は NPO 法人廃棄物再資源化研究会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 甲斐定夫氏、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) 谷口和也編：磯焼けの機構と藻場修復，恒星社厚生閣，1999
- 2) 能登谷正浩編著：藻場の海藻と造成技術，成山堂書店，2003
- 3) 三島剛ほか：産業副産物を使用した藻場復元用ポーラスコンクリートの開発に関する研究，日本建築学

- 会九州支部研究報告，第 42 号・1，pp.29-32，2003.3
- 4) 大谷俊浩ほか：藻場復元用ポーラスコンクリートへの産業副産物の適用性に関する研究，第 57 回セメント技術大会講演要旨，pp.256-257，2003.4
- 5) 前川明弘ほか：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，第 46 巻 2 号，pp.24-32，2008.2
- 6) 武田浩二，村上聖：産業副産物を活用した藻場復元用ポーラスコンクリートの開発，セメント・コンクリート論文集，No.60，pp.541-546，2007.2
- 7) 武田浩二ほか：産業副産物を活用したポーラスコンクリートの藻場復元材料への応用，セメント・コンクリート論文集，No.61，pp.523-528，2008.2
- 8) 武田浩二ほか：産業副産物を活用した藻場復元用ポーラスコンクリートの開発—沈設方法の影響—，2008 年度日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），A-1，pp.583-584，2008.7
- 9) 浦野登志雄ほか：製紙スラッジ焼却灰の混和材への有効利用に関する実験的研究，第 59 回セメント技術大会講演要旨，pp.292-293，2005.4