

## 論文 水辺環境に及ぼすポーラスコンクリートの影響に関する研究

Abderrazak ZOUAGHI\*1・熊谷 守晃\*2

**要旨:** ポーラスコンクリート(以下「POC」と略記する。)を水辺環境に適用するにあたっては、必要な強度および耐久性を満たすだけでなく、エココンクリートとしての生態系を維持する機能も必要である。本研究は POC 技術指針作成の基礎資料とするために行った実験・調査について報告するものである。今回の実験・調査では POC が河川の水質および水辺植物の成長に悪影響を及ぼさないこと、また水生昆虫等にとって良いハビタット(棲息の場)となりうることが確認された。

**キーワード:** エココンクリート, 配合, 生態系, 水質, 水辺植物, 藻類, 水生昆虫

### 1. はじめに

近年、環境問題は多様化しており、様々な分野において研究が進められている。重要な建設材料として幅広く用いられているコンクリートも例外ではなく、エココンクリートの可能性について既に議論が始められている。エココンクリートとしての可能性を有する、従来にはないコンクリートの形態の一つとして、POCがある。

現在日本において、護岸コンクリートブロックは年間 300 万 ton 生産されている。今後護岸コンクリートブロックは、従来からの「防災」の機能ばかりでなく、生態系にも十分配慮する必要があることから、近年「雷おこし」のような外観をした POC が注目を浴びるようになってきた<sup>1~5)</sup>。POC をエココンクリートとして水辺環境に適用する場合、必要な強度と耐久性<sup>3~9)</sup>だけを満足すればよいわけではなく、植物が自由に根付くことができる機能や生物の生息空間が確保できるように配合設計および施工を行うことが必要であると考えられる。これらの条件を満たす生態系に配慮した POC 技術指針作成の基礎資料とするため本研究を行った。

### 2. 実験・調査の概要

#### 2.1 使用材料および実験に用いた配合

本実験に用いたコンクリートは、表-1に示すようにコンクリートの種類、骨材粒径分布、セメントの種類を変えて作製した。

生物の出現状態を調べるため、 $\varnothing 15 \times 20 \text{cm}$ の供試体をT川の水深約 50cm のところに沈漬した。一回の測定につき 3 本の供試体とし、POC 供試体をT川に沈漬した結果をもとにして、重量 3ton のH形 POC 根固めブロック(主要部寸法:長さ 228cm, 幅 171cm, 厚さ 68.4cm)を施工し、T川での効果調査を約 3 年間行うこととした。

さらに、POC と水辺植物との共存性を調べるため、幅 33cm, 長さ 38cm, 厚さ 5cm もしくは 10cm の 2 種類 POC ブロックを使用した。水辺には、サトイモ科ショウブ属の植物が多数生育するが、その内大群落を作るセキショウ(*Acorus gramineus Soland*)を使って、POC との共存性を調べた。

#### 2.2 調査項目

1) 河川の水質への影響: BOD, DO, SS, pH および水温の測定を行った。

2) 藻類の付着: 藻類の採集は、供試体またはブロックに付着した藻類のうち 5cm x 5cm 分をブラシで剥ぎ取りながら、蒸留水でバットに流し込んでサンプル瓶に移した後、3%ホルマリン液を加え

\*1 科学技術振興事業団 科学技術特別研究員(北海道開発土木研究所 材料研究室) 工博(正会員)

\*2 北海道開発局 技術管理課 防災対策室長(前 開発土木研究所 材料研究室長)(正会員)

表-1 実験に用いた配合および POC の空隙径

配合 No.	セメントの種類	骨材寸法 (mm)	単位骨材量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	目標空隙率または空気量 (%)	目標スランブ (cm)	空隙径 (mm)	
供試体	POC 1	OP	20-40	1506	28	25.0	8±2.5	11.8~19.1	
	POC 3	BB		315					
	POC 2	OP	2.5-5	1455	309			1.8~2.2	
	POC 4	BB		367					
	NC 5	OP	Max. 25	2004	275			52	4.5
根固めブロック	POC b1	OP	20-40	1506	315	28	25.0		
	POC b2		2.5-5	1455	367				
	NC 6		Max. 40	1978	280	45.4	5.5	5±1.5	
植栽	7	OP	5-20	1623	239	25		25.7	3.02
	8		10-15	1583	233			27.6	2.64
	9		15-20	1569	231			28.2	3.44
	10		20-25	1561	232			28.8	5.06

\* 高性能減水剤と増粘剤使用,OP:普通セメント,BB:高炉セメントB種,W/C:水セメント比

表-2 T川の水質

調査時期	95年2月	95年3月	95年4月	95年6月	95年8月	95年11月	96年2月	97年2月	A類型基準値 <sup>10)</sup>
pH	6.4	7.4	7.2	6.9	7.2	7.5	6.9	7.0	6.5 < x < 8.5
BOD	0.8	---	1.8	1.3	1.3	---	1.0	1.0	x < 2mg/l
SS	7	15	10	5	2	2	21	2	x < 25mg/l
DO	13.6	14.2	12.9	10.8	9.8	12.5	13.8	13.7	x > 7.5mg/l

て藻類を固定し、実体顕微鏡によりその種類を調べた。

3) 水生昆虫の出現: 供試体の付着物をすべてバットに洗い流した後、ろ過した残留固形物をポリ瓶に移し、10%ホルマリン液で固定し、実体顕微鏡によりその中の水生昆虫の種類と個体数を調べた。さらにブロックについては、ブロック表面の直径30cmの円内から、吸引装置を用いて吸引し、付着した生物を調査した。

4) 藻類および昆虫などについて、定点観測および写真撮影をするとともに、付近の自然石についても調査し比較検討を行った。

5) セキショウの繁殖状態と根の長さの経時的変化を調査した。

### 3. 実験・調査の結果および考察

#### 3.1 水質

実験・調査の開始日から、T川のコンクリート沈着した個所における水質変化の測定結果を表-2示す。得られた結果は水質汚濁に係る環境基準<sup>10)</sup>に記載されているA類型河川の基準値を満足して

おり、本実験の範囲内において、使用したコンクリートは水質に特段の影響を及ぼさなかったと言える。

#### 3.2 POCと生物との共存性

##### (1) 供試体の場合

2年間の調査を通じて、藍藻 11種類、珪藻 80種類、緑藻 7種類の計 98種類が付着した。図-1に示すように、付着種類数を調査時期別にみると、供試体を沈着してから1箇月後には36種、2箇月後には34種、4箇月後には49種、6箇月後には48種、9箇月後には74種、12箇月後には54種、24箇月後には50種と多種多様な藻類が付着した。しかし、調査時期とコンクリートの種類によっては付着した藻類と付着しなかった藻類があったため、各種コンクリートにおける付着種類数は、その時期の付着全種類数より少ない結果となった。コンクリートの種類に関わらず、藻類の付着種類数にはそれほど差異がなかった。

また、水生昆虫については、試験開始1箇月目からすべての供試体についてその出現が確認できた。2年間の調査を通じて出現した水生昆虫科数

と個体数をコンクリート種類別に図-2 と図-3 に示す。コンクリートのアルカリ度は経時的に低下し<sup>5)</sup>、それに従い昆虫科数は増加したが、昆虫個体数について同様な変化は認められなかった。瑞慶山ら<sup>2)</sup>と横井ら<sup>3)</sup>によると POC に出現した昆虫科数と個体数は普通コンクリートを上回っている。今回の調査においても、全体的に POC に出現した昆虫科数と個体数は普通コンクリートを上回っていた。特に、大きな空隙径を有する POC (20-40mm 骨材を用いた POC) に出現した昆虫個体数は多かった。写真-1 は、河川で広く生息するヒゲナガカワトビゲラ (*Stenopsychidae marmorata* Navas) がコンクリートの内部に侵入するところを撮影したものである。6 箇月目からは供試体を水中から取り出した直後に割裂し、水生昆虫の内部侵入の状況を調べた。6 箇月目には 20-40mm 骨材を用いた POC の内部 20mm の位置にヒゲナガカワトビゲラ 1 個体、チラカゲロウ (*Isonychiidae*) 1 個体を確認した。9,12,24 箇月目には、20-40mm 骨材を用いた POC 供試体だけの深奥部にもヒゲナガカワトビゲラ数個体が確認でき、表面ばかりでなく内部空隙も水生昆虫に利用されていることを確認した。しかし、ヒゲナガカワトビゲラのような水生昆虫は、その成長過程において大きさや形が変化するため、ある時期になると POC の内部空隙を利用しなくなるものと思われる。

(2) 根固めブロックの場合

供試体のケースでは、セメント種類による藻類

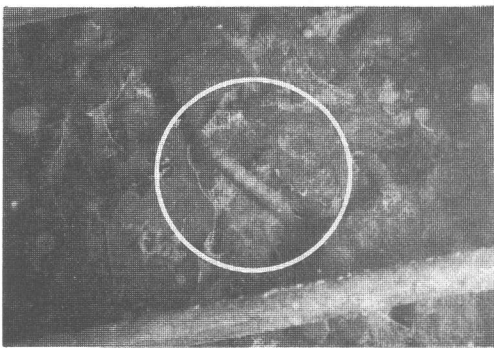


写真-1 ヒゲナガカワトビゲラがコンクリートの内部に侵入するところ

の付着および昆虫の出現の程度に差は認められなかったため、POC 根固めブロックの施工にあつては普通ポルトランドセメントのみを使用した。

1996 年 2 月において河床の付着藻類数は 40 種であった。根固めブロックの沈漬 3, 5, 7, 9, 11,

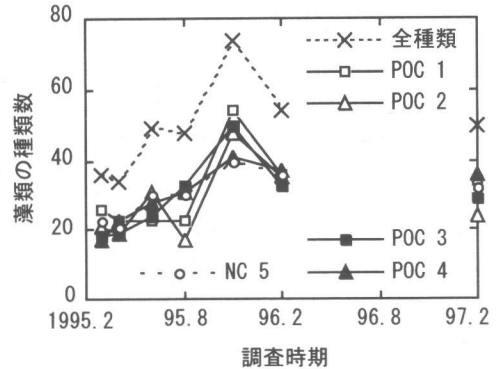


図-1 付着藻類の種類経時変化

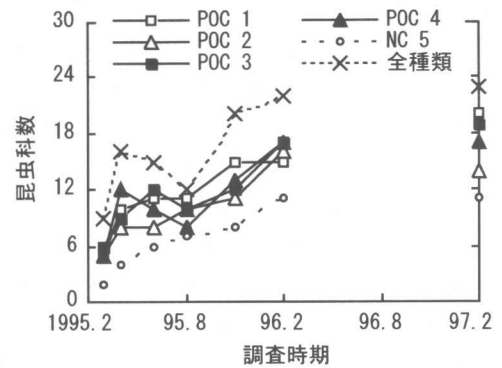


図-2 水生昆虫科数の経時変化

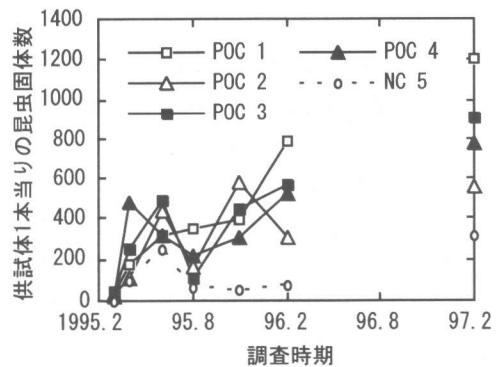


図-3 水生昆虫個体数の経時変化

15, 21 箇月後 (1997 年 12 月) に調査を行い, 得られた結果を図-4 に示す。付着種類数を調査時期別に見ると, 3 箇月後には 19 種, 5 箇月後には 33 種, 7 箇月後には 51 種, 9 箇月後には 53 種, 11 箇月後には 50 種, 15 箇月後には 50 種, 21 箇月後には 38 種と多種多様な藻類が付着した。約 2 年間の調査を通じて, ブロックおよび河床への付着種類はその時期の付着全種類より少なかった。付着種類数だけから考えると, コンクリートの種類は藻類の付着に影響を与えないといえる。ただし, POC は表面に凹凸があるので, 表面が平滑な普通コンクリートに比べて藻類の付着量は一般に多いとの報告<sup>11)</sup>がある。

1996 年 2 月に河床の昆虫の調査を行った。根固めブロックの沈漬 3, 5, 7, 9, 11, 15, 21, 33 箇月後 (1999 年 6 月) に調査を行った。その結果を図-5 と図-6 に示す。図-5 は, ブロックおよび河床で確認できた昆虫科数の経時変化である。ブロックおよび河床の昆虫科数を高い順に並べると, 河床, 大きな空隙径を有する POC, 小さな空隙径を持つ POC と普通コンクリートの順番となっていた。しかし, POC と河床に出現した科類を比較したところ, POC に出現せず河床にのみ出現していたのは, クロカワゲラ科とヘビトンボ科 2 科だけであったことが分かった。この 2 科の個体数は 1 個体ずつにすぎず, 図-6 に示すように POC に出現した昆虫個体数は普通コンクリートおよび河床より大幅に上回っているため, POC は水生昆虫にハビタットを提供し, 生態系を豊かにすることができると思われる。しかし, 水生昆虫は種類によって世代数や生活史が様々であるため, POC の内部空隙の他に水生昆虫と魚類のハビタットとして十分な大きさの空間を別に作っておく必要があると思われる。

図から, 水温が高くなるにつれて, 昆虫個体数は多くなる傾向がみられるが, それは昆虫のライフサイクルの一般的な特徴であり, 毎年同様な変化が起きていると考えられる。

### 3.3 POC とセキショウとの共存性

写真-2 は, POC に移植したサトイモ科の牧草,

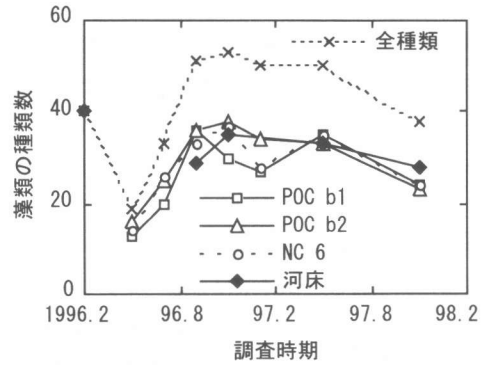


図-4 各ハビタットに付着した藻類の種類の時変化

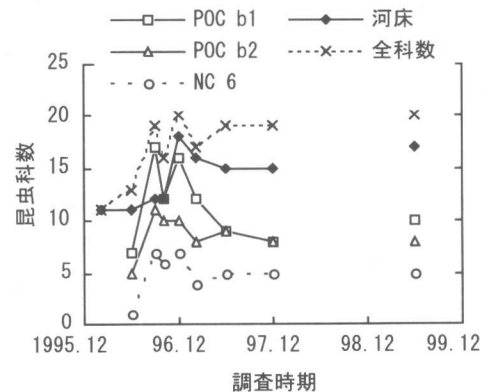


図-5 ブロックおよび河床中の昆虫科数の経時変化

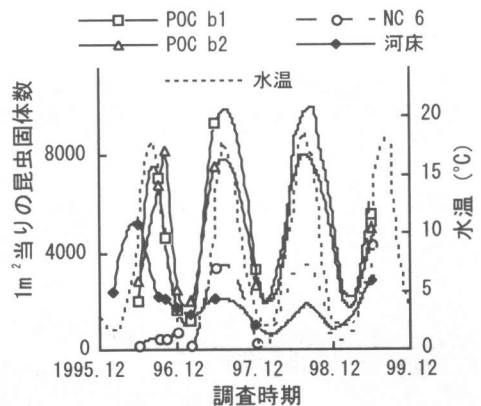
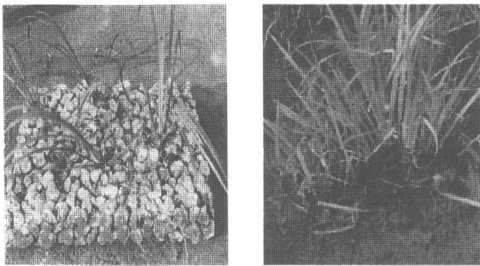


図-6 ブロックおよび河床中の昆虫個体数の経時変化

セキショウの写真である。最初に移植を行ったのは6個であるが(写真-2 (a)), 写真-2 (b) から分かるように十分に繁殖して, 密性群落を成した。その結果, POC上にサトイモ科牧草の栽培が可能であることが分かった。ただし, 図-7 の成



(a) (b)  
写真-2 セキショウの生育状態

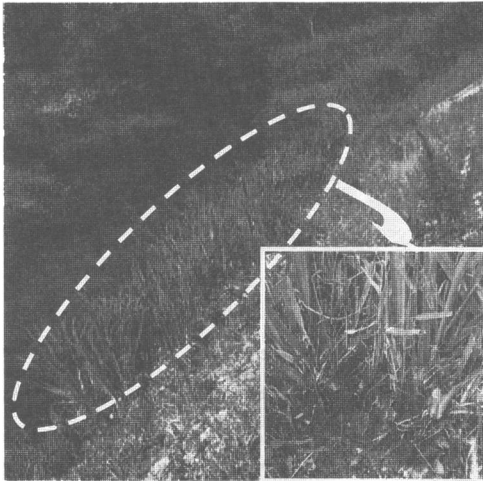
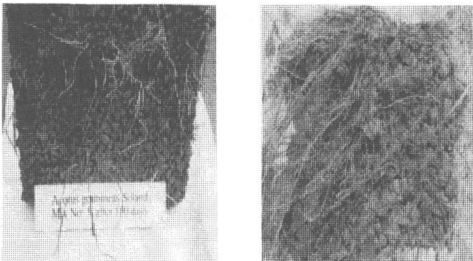


写真-3 POC とショウブと実河川での共存例



(a) 180 日経過 (b) 710 日経過  
写真-4 POC 貫通後, セキショウの根の状態

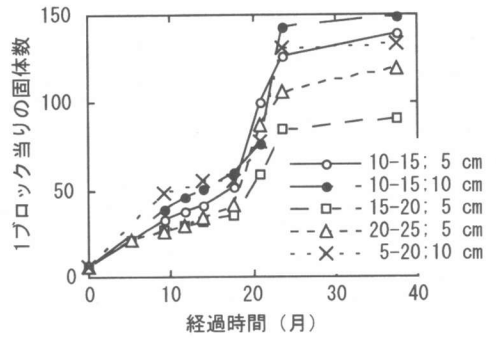


図-7 POCに移植したセキショウの成長曲線

表-3 セキショウの根の長さの経時変化および骨材粒径との関係\*

経過 (日)	骨材粒径 (mm)		
	10-15	15-20	20-25
90	50 ± 16	87 ± 18	102 ± 21
160	70 ± 39	94 ± 64	98 ± 64
190	105 ± 40	144 ± 60	138 ± 65
492	300 ≤	300 ≤	300 ≤

\*根の長さ(mm)

長曲線が示すように, このような環境下におけるセキショウの成長は, 始めの18箇月においてはかなり遅かったが, この期間内でセキショウの個体数(密度)は約7倍になっていた。さらに, 18箇月後には, セキショウの個体数は急増し, 根の密度(写真-4 (b))も高くなり, POCを貫通し土中に深く侵入していた。さらに, その後約3年でセキショウの個体数の増加は頭打ちとなった。それは過密化による個体間の競争, 肥料の不足, および環境悪化により一定数を超えるとそれに応じた環境抵抗を受けたためと思われる。また, 写真-3は, 空知川支流 Y 川の改修工事において5-13mm骨材を用いたPOC製護岸に植られえたショウブ(*Acorus calamus* L.)の写真である。最初に植えたのは5箇所のみであったが, 写真-3で分かるように十分に増殖し, 密性群落を形成するとともに, 根の一部は周囲のポーラスコンクリートの空隙にも入り込んでいた。写真-4は, セキショウの根がPOCの空隙を通過した後のPOC裏面の写真である。セキショウの根の長さや時間および骨材粒径との関係については, 表-3に示したよう

に、時間が経つにつれて根がよく発達し、根の長さが300mmを越えていた。また、その成長にPOCの骨材粒径分布は約1年半以降において影響を与えなかったことが分かった。さらに、植生が繁茂した河岸は多くの魚が休息したり、越冬する環境になると考えられる<sup>12)</sup>ため、川や池などにPOCと一緒にセキショウのような水辺植物を利用すれば、豊かな自然を回復するのに有効と考えられる。

#### 4. 結論

今回の論文における水辺環境に及ぼすPOCの影響についての検討結果は、下記ようになる。

- (1) POCは河川の水質および水辺植物の成長に悪影響を及ぼさないことが確認された。
- (2) コンクリートの種類に関わらず、藻類の付着種類数にはそれほど差異がなかったが、コンクリートのテクスチャーは、水生昆虫の出現に重大な影響を及ぼす。空隙径の大きなPOC(20-40mm骨材を用いたPOC)に出現した昆虫固体数は多かった。
- (3) POCは水生昆虫にハビタットを提供し、生態系を豊かにすることができると考えられる。
- (4) 骨材の粒径分布、POCブロックの厚さは、水辺植物のセキショウの繁殖には影響を及ぼさない。

#### 謝辞

本研究を実施するにあたり、御協力頂いた共和コンクリート工業(株)技術研究所の進藤邦雄所長には、ここに深甚の謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) Zouaghi, A., et al.: Experimental Study on Greening Porous Concrete, Proceedings of JCI, Vol.21, No.1, pp.265-270, 1999
- 2) 瑞慶山 良延ほか: 亜熱帯海域に設置したポーラスコンクリートに棲息する小動物に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.21, No.1, pp.271-276, 1999
- 3) 横井克則, 天羽和夫, 河野 清: フライアッ

シュを用いたポーラスコンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.1, pp.345-350, 1996

- 4) Zouaghi, A., Kumagai, M. and Nakazawa, T.: Laboratory Research on Some Properties of Pervious Concrete and Its Applicability to Control Stormwater Run-off, Proceedings of JCI, Vol.22, No.2, pp.1243-1248, 2000
- 5) 堺 孝司ほか: 河川沈積多孔質コンクリートの生物付着, JCI エココンクリート研究委員会, 「自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望に関するシンポジウム」, 論文報告集, pp.103-110, 1995.11
- 6) Zouaghi, A., 中澤隆雄, 新西成男: ポーラスコンクリートの骨材粒形および配合が透水性および強度に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.882-887, 1997
- 7) Zouaghi, A., et al.: Permeability of No-Fines Concrete, Transactions of JCI, Vol.20, pp.31-38, 1998
- 8) Tamai, M. and Tanaka, M.: Dynamic Modulus of Elasticity and Durability of No-fines Concrete, Proceedings of the International Conference on Concrete Under Severe Conditions, Vol.2, pp.1358-1367, Aug. 1995
- 9) Tamai, M.: Properties of No-Fines Concrete Containing Silica Fume, ACI, SP-114, pp.799-814, 1989
- 10) 建設省河川局: 河川水質試験方法(案), 技報堂出版, pp.284, 1997
- 11) 寒冷港湾技術研究センター: 寒冷地における自然環境調和型沿岸構造物の設計マニュアル-藻場・産卵機能編-北海道開発局, pp.30-32, 1998.11
- 12) 斎藤 大作ほか: 後志利別川の魚類調査に基づく生息環境の分類, 土木学会, 水工学論文集, Vol.43, pp.953-958, 1999