

ポーラスコンクリートを用いた水辺環境 の復元に関する研究

RESTORATION OF WATERSIDE ENVIRONMENT USING POROUS CONCRETE

ズワギ アブドゥアラゼク¹・田口史雄²・井出康郎³

Abderrazak ZOUAGHI, Fumio TAGUCHI and Yasuro IDE

¹正会員 工博 科学技術特別研究員 科学技術振興事業団 (〒062-8062 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

²正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 材料研究室 (〒062-8062 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

³正会員 工修 独立行政法人北海道開発土木研究所 河川研究室 (〒062-8062 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

The present study was carried out to investigate the feasibility of restoring the ecosystem in waterside environment using porous concrete. Briefly, several specimens and foot protection concrete blocks of different concrete types were placed in T River. The effects of such operation on water quality, the adhesion of algae to concrete and the inhabitation of aquatic insects in concrete were inspected for about 3 years. Moreover, an out door survey was done to examine the growth of a transplanted aquatic plants in porous concrete. Results show that porous concrete can offer aquatic organisms an adequate habitat, can coexist with plants and hence can be successfully used to restore the ecosystem in waterside environment.

Key Words: Waterside environment, Ecosystem, Water quality, pH, Porous concrete, Environmentally friendly concrete

1. はじめに

近年, 様々な環境問題が発生してきたことから, 環境問題は多くの研究分野において新しい研究対象として注目され, 環境についての知識の必要性が急速に高まっている。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し, 従来にはないコンクリートの形態の一つとして, 「雷おこし」のような外観をしたポーラスコンクリート (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。河川の河岸整備においては「防災」の機能を優先しコンクリート性のブロックを用いた工法が一般的であったが, 近年地球規模での環境保全が求められており, 平成9年には河川法が改正され, 従来の治水・利水に加え環境の整備・保全が河川事業の目的になってきた。このため, 護岸コンクリートブロック

についても, 生態系にも十分配慮する必要があることから, POC が注目を浴びるようになってきた^{1~4)}。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^{3~8)}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ことが極めて重要である。本研究は, POC を用いた水辺環境の復元について実験・調査を行った。

2. 試験に用いた試験体および配合

本実験に用いたコンクリート試験体は, 生物の出現状態を調べるため, 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を行った。

(1) 供試体

Ø150x200mm の供試体を T 川の水深約 50cm の所に沈漬し, 測定は一回につき 3 本の供試体について行った。

表-1 実験に用いた配合およびPOCの空隙径

試験体	配合 No. *	セメントの種類	骨材寸法 (mm)	単位骨材量 (kg/m ³)	単位セメント量 (kg/m ³)	W/C (%)	目標空隙率または空気量 (%)	目標スランプ (cm)	空隙径 (mm)
供試体	POC 1	OP	20-40	1506	315	28	25.0		11.8~19.1
	POC 3	BB			309				
	POC 2	OP	2.5-5	1455	367				1.8~2.2
	POC 4	BB			360				
	NC 5	OP	Max. 25	2004	275	52	4.5	8±2.5	
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	
植栽ブロック	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, POC : ポーラスコンクリート, NC : 普通コンクリート, OP : 普通セメント, BB : 高炉セメントB種, W/C : 水セメント

(2) 根固めブロック

POC 供試体をT川に沈漬した結果をもとにして, 図-1 に示す H 形 POC 根固めブロック (主要諸元: 長さ 2280mm, 幅 1710mm, 厚さ 684mm, 重量 3ton) を施工し, T川での効果調査を約3年間行った。

(3) 植栽ブロック

長さ 380mm, 幅 330mm, 厚さ 50mm もしくは 100mm の2種類 POC ブロックを作製し, 水辺多数生育しているサトイモ科ショウブ属植物の内大群落を作るセキシウ (*Acorus gramineus* Soland) を使って, POC との共存性について実験・調査を行った。

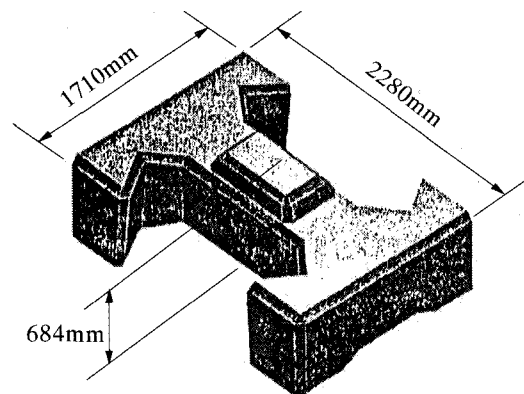


図-1 根固めブロックの形状

3. 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) コンクリートのアルカリ度

引き上げた供試体を水道水で洗浄後 4.5ℓの淡水の入った密閉容器に1日間沈漬した後, ガラス電極法によるコンパクト pH メーターで pH の測定を行った。

(3) POC と生物との共存性

a) 藻類の付着

藻類の採集は, 供試体または根固めブロックに付着した藻類のうち 50mm x 50mm 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て藻類を固定し, 実体顕微鏡によりその種類を調べた。

b) 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を行い, 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。さらに根固めブロックについては, ブロック表面の直径 300mm の円内から, 吸引装置を用いて吸引・付着した生物を調査した。

また, 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の調査と比較検討を行った。

c) セキシウの成長状況

セキシウの繁殖状態と根の長さの経時的変化を調査した。

4. 結果および考察

(1) 水質

実験・調査は供試体を川に沈漬した日から, コンクリート沈漬箇所における水質変化の測定結果を表-2 示す。

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 ⁹⁾
経過 (月)	投入日	1	2	4	6	9	12	24	
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	$x < 2\text{mg/l}$
SS	7	15	10	5	2	2	21	2	$x < 25\text{mg/l}$
DO	13.6	14.2	12.9	10.8	9.8	12.5	13.8	13.7	$x > 7.5\text{mg/l}$

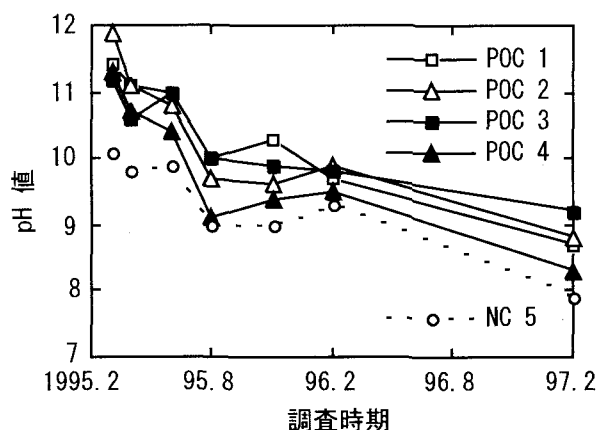


図-2 pH 値とコンクリートの沈漬時間との関係

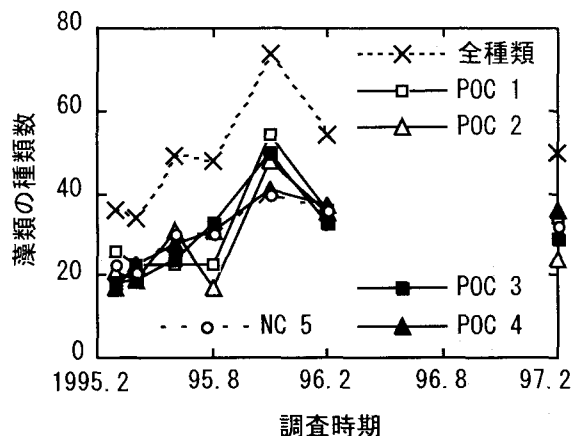


図-3 付着藻類の種類経時変化

得られた結果は水質汚濁に係る環境基準⁹⁾に記載されている A 類型河川の基準値を満足しており、本実験においては、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。

(2) コンクリートのアルカリ度

図-2 に pH 値とコンクリートの沈漬時間との関係を示す。沈漬時間が長くなるにつれて、アルカリ成分が溶出したため pH 値は減少し、経時的にコンクリートのアルカリ度が低下したことがわかる。

(3) POC と生物との共存性

a) 供試体の場合

藻類は、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-3 に示すように、付着種類数を調査時期別にみると、供試体を沈漬してから 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。付着種類数だけを考えると、コンクリートの種類は藻類の付着に与える影響が小さいといえる。

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

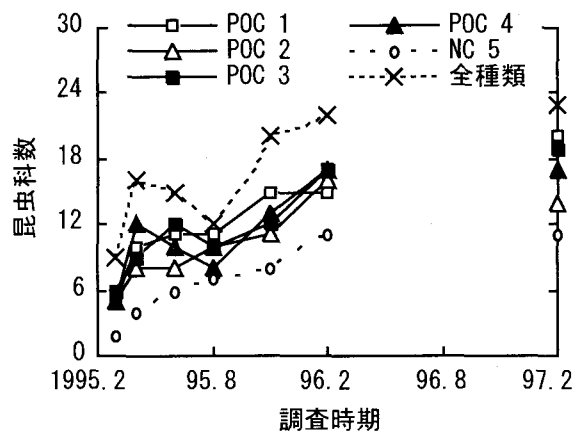


図-4 水生昆虫科数の経時変化

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-4 と図-5 に示す。経時的にはコンクリートのアルカリ度が低下し、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。

なお、瑞慶山ら³⁾と横井ら⁴⁾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たが、今回の調査においても、同様に全体的に 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ガラ (Stenopsychidae marmorata Navas)¹⁰⁾ がコンクリート

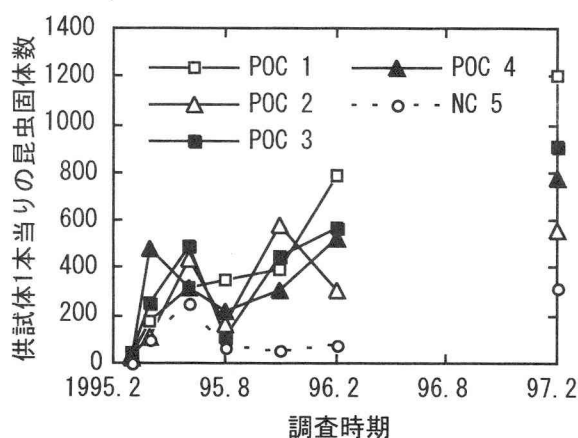


図-5 水生昆虫個体数の経時変化

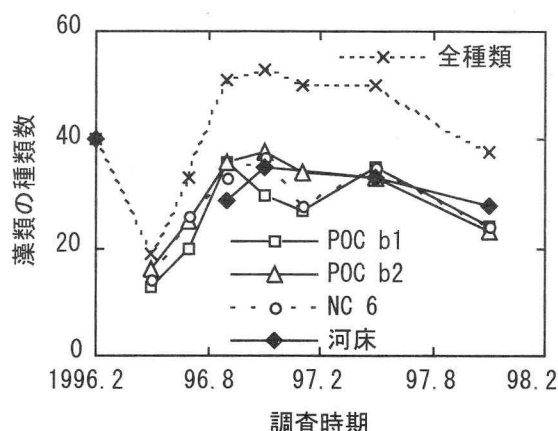


図-6 各ハビタットに付着した藻類の種類数の経時変化

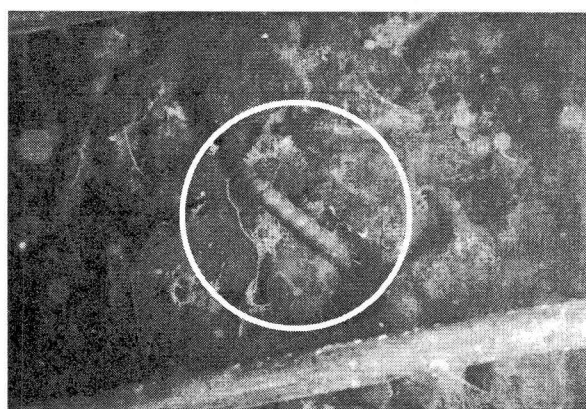


写真-1 ヒゲナガカワトビゲラがコンクリートの内部に侵入するところ

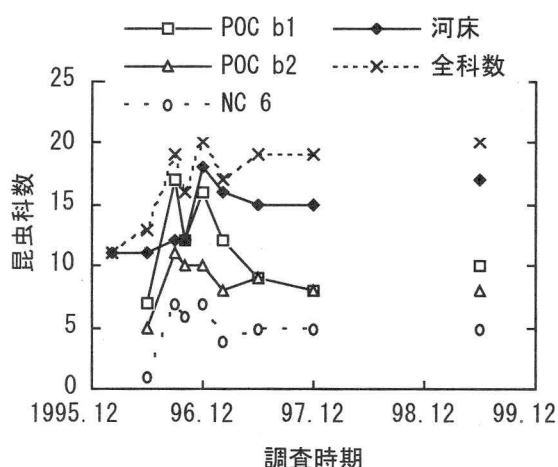


図-7 根固めブロックおよび河床中の昆虫科数の経時変化

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*)¹⁰⁾ 1 個体を確認した。また、9, 12, 24 箇月目には、20-40mm 骨材を用いた POC 供試体のみ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 (体長約 40mm) のような水生昆虫は、それぞれの段階で必要とするハビタットが異なるため、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。

b) 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っては普通ポルトランドセメントのみを使用した。

藻類は、1996 年 2 月において河床に付着したものは 40 種であり、根固めブロックについては沈漬 3, 5, 7, 9, 11, 15, 21 箇月後 (1997 年 12 月) の調査結果を図-6 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¹¹⁾がある。

水生昆虫は、1996 年 2 月に河床に出現したものおよび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) の調査を行った。その結果を図-7 と図-8 に示す。図-7 は、ブロックおよび河床で確認できた昆虫科数の経時的変化である。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。なお、POC と河床に出現した科類を比較したところ、クロカワゲラ科とヘビトンボ科¹⁰⁾ 2 科が POC に出現せず河床にのみ出現していたが、2 科の個体数は

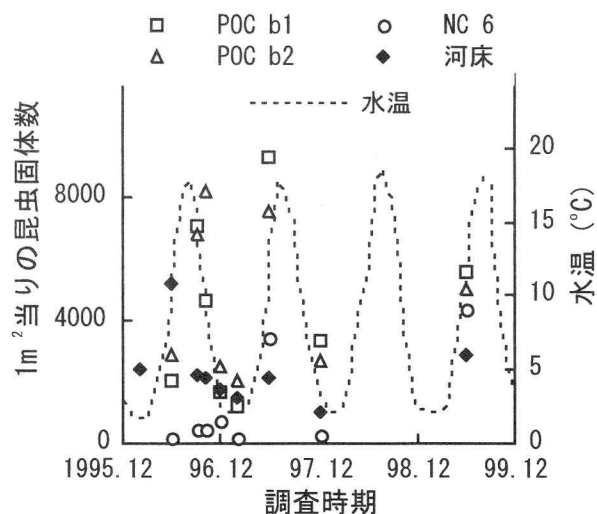


図-8 根固めブロック、河床中の昆虫個体数および水温の経時変化

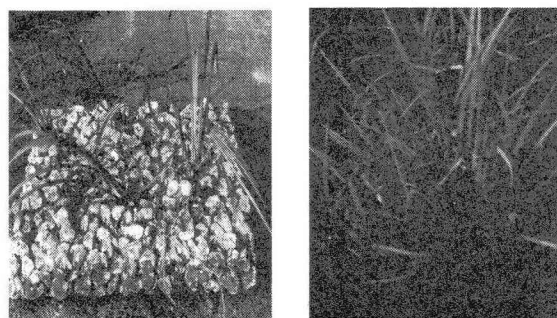
1 個体づつにすぎず、図-8 に示すように POC に出現した昆虫個体数は普通コンクリートおよび河床より大幅に上回っているため、POC は水生昆虫にハビタットを提供することができると考えられる。しかし、水生昆虫は種類によって世代数や生活史が様々であるため、POC の内部空隙の他に水生昆虫と魚類のハビタットとして十分な大きさの空間を別に作っておく必要があると考えられる。

図-8 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。

(4) 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、セキショウの写真である。最初に写真-2 (a) のような 6 個の移植を行ったが、写真-2 (b) からわ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わかった。なお、図-9 の成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。また、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。この原因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。なお、骨材の粒径分布すなわち POC の空隙径および POC ブロックの厚さはセキショウの成長への明らかな影響は見られなかった。

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



(a) (b)

写真-2 セキショウの生育状態

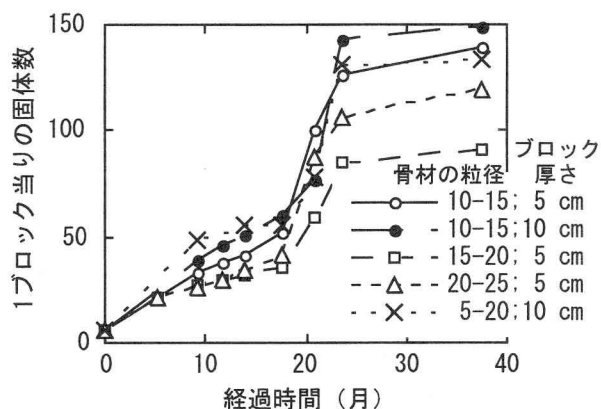


図-9 POC に移植したセキショウの成長曲線

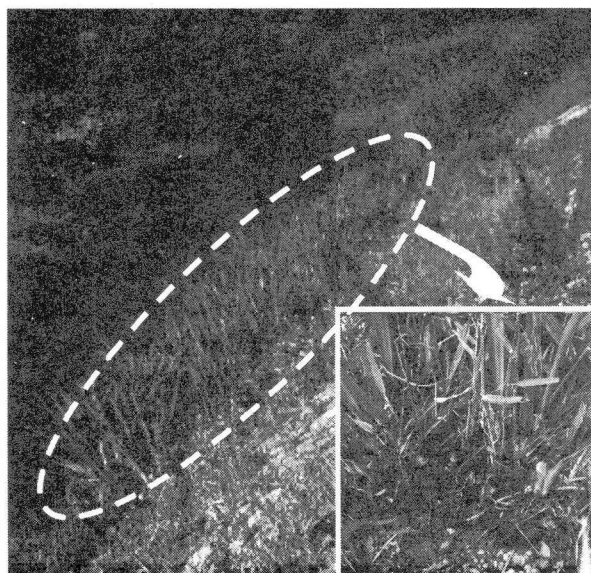
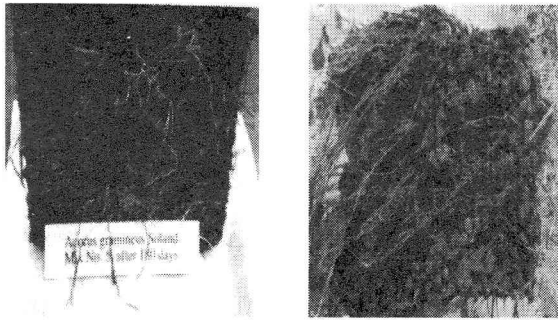


写真-3 POC とショウブと実河川での共存例

(*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 でわ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。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



(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

表-3 セキショウの根の長さ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)

越えていた。また、POCの骨材粒径分布は、その成長に約1年半以降において影響を与えなかったことがわかった。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¹²⁾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

今回の報告におけるポーラスコンクリートを用いた水辺環境の復元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は藻類の付着に影響を及ぼさないが、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し、空隙径の大きなPOCに出現した昆虫固体数は多かった。
- 3) 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。
- 4) 水辺環境の保全・回復には、生物対応型エココンクリートとしてはPOCを適用できると考えられる。
- 5) 水生昆虫と魚類の棲息の場として、POCの内部空隙に加えて別な空間を作っておくことが有効であると考えられるため、今後検討する必要がある。

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., Kumagai, M. and Nakazawa, T.: Fundamental Study on Some Properties of Pervious Concrete and Its Applicability to Control Stormwater Run-off, Transactions of JCI, Vol.22, pp.43-50, 2000
- 2) Zouaghi, A., et al.: Experimental Study on Greening Porous Concrete, Proceedings of JCI, Vol.21, No.1, pp.265-270, 1999
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) Zouaghi, A., et al.: Permeability of No-Fines Concrete, Transactions of JCI, Vol.20, pp.31-38, 1998
- 7) 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
- 8) Tamai, M.: Properties of No-Fines Concrete Containing Silica Fume, ACI, SP-114, pp.799-814, 1989
- 9) 建設省河川局：河川水質試験方法（案），技報堂出版，p.284, 1997
- 10) 川合禎次：日本産水生昆虫検索図説，東海大学出版会，1985
- 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ー藻場・産卵機能編ー北海道開発局，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

(2001. 4. 16 受付)