

論文 人工水路に設置したポーラスコンクリートが水路の生態環境に与える影響

張 日紅^{*1}・三井 光彦^{*2}・衣川 直紀^{*3}・金丸 和生^{*4}

要旨：本研究では、直径 25cm の球形ポーラスコンクリート単体から構成されるユニット内の容積の変化に富んだ空間特性に着目し、その空間特性がもたらす微生物、植物、水生生物など総合的な生物多様性に対する効果を、人工水路を用いて評価した。人工水路に各種生物を投入し、ポーラスコンクリートが水路の生態環境に与える影響を評価すると共に、ポーラスコンクリートの設置および生物投入を行われていない「対照水路」を設けて、二つの水路における生物の生息状況および水質の比較を行った。

キーワード：ポーラスコンクリート、人工水路、生態環境、生物調査、水生動物、水生植物

1. はじめに

近年、水辺環境における環境改善が求められ、各種の試みが行われている。これらの中でも、環境負荷低減あるいは生物対応型エココンクリートとして多孔質構造をもつポーラスコンクリート（以下 PoC）が注目され、植栽基盤（緑化）、微生物担持体（水質浄化）、魚巢等としての機能に着目した研究が多く報告され、利用が進められている¹⁾。

本実験では、球状 PoC 単体から構成された PoC ユニットのもつ容積の変化に富んだ空間特性の確保、保持機能に着目し、その機能がもたらす微生物、植物、水生生物など総合的な生物多様性に対する効果を、人工水路を用いて評価した。また、合わせて生態系を含む水路環境が水質に与える影響を確認した。

2. 実験概要

2.1 実験施設、使用材料諸元

(1) 使用施設

滋賀県草津市琵琶湖湖畔にある琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター内の水路型浄化実験施設（幅 2m、長さ 24m）の 2 レーンを「実験水路」、「対照水路」（上流側 17.5m 地点まで）とし

て利用した。なお、この施設の原水は葉山川から採水を行っている。

(2) 実験区分

「実験水路」および「対照水路」の諸元および水路内の区分を図-1 および表-1 に示す。

「対照水路」は生物生息状況の比較と水質変化の対比を目的として設けられたので、PoC 設置および生物投入は行っていない。「実験水路」は、調査目的別に 3 つの区域（実験区 A、B、C）に分画し、実験を行った。実験区 A では空間に変化を与えるために PoC 設置密度を変化させた（図-1, A-i(大)→iii(小))。また、実験区 B、C は、水路を流れ方向に同幅で区切って、一方には「PoC」を、もう一方には「川砂」を設置し両者を比較した。

なお、1mm 以上の種子や卵、幼生以外の生物の移動が遮断されるよう、両水路の流入、流出部および「実験水路」の各区域の境界部を 1mm メッシュのスクリーンで仕切りした。

(3) 使用材料諸元

水路内に設置した PoC は、球状（φ 25cm）のものを縦・横に連結したユニット（写真-1）を用い、φ 25cm×1 段～3 段となるように設置した（写真-2）。ユニット内には、PoC 本来の空隙

*1 和光コンクリート工業(株) 製品開発部 博士(工学) (正会員)

*2 (財)琵琶湖・淀川水質保全機構

*3 ケイコン(株) 技術部研究開発課

*4 和光コンクリート工業(株) 製品開発部 工修

に加え、PoC 球状単体間の空隙より容積の変化に富んだ空間を形成された。

本実験で用いた PoC の配合を表-2 に示す。ポ

ーラスコンクリートの空隙率の平均実測値は 25.0%，透水係数の平均実測値は 1.9cm/s，平均圧縮強度は 14.0N/mm² となっている。

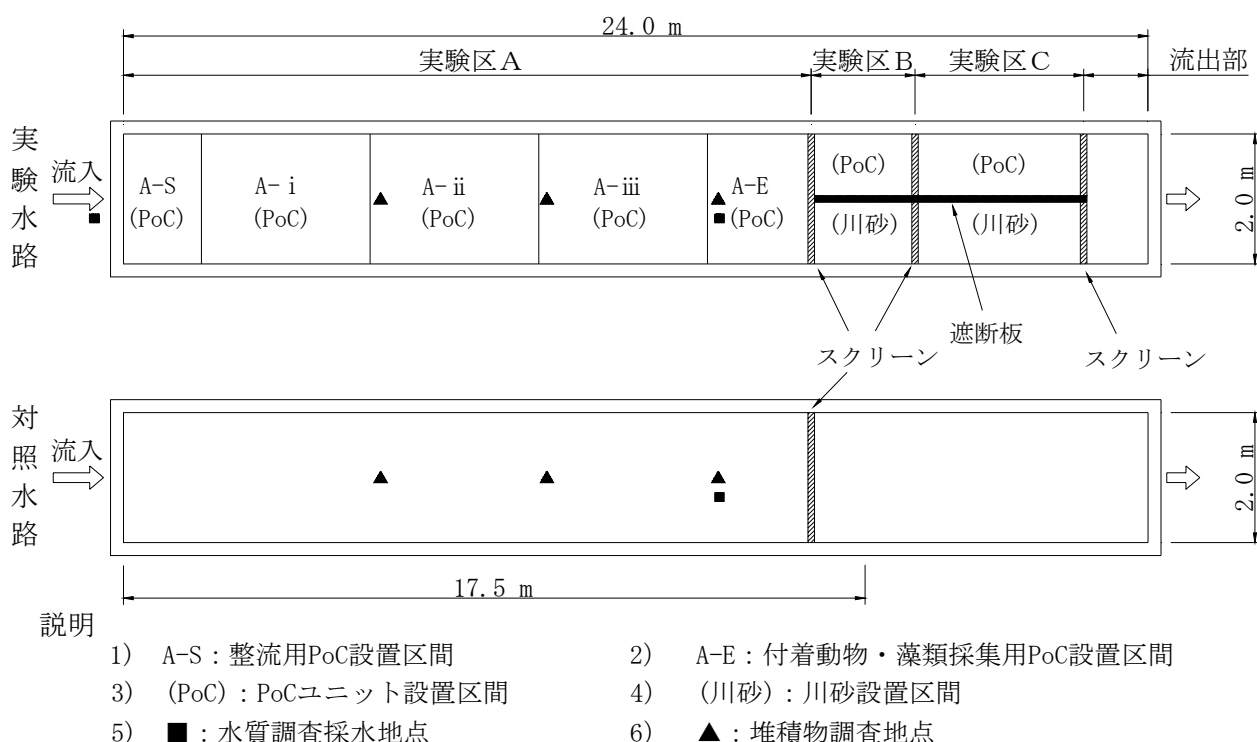


図-1 「実験水路・対照水路概略図」

表-1 「実験水路概略表」

項目	実験区 A					実験区 B		実験区 C		その他 (区画スペース等)	合計
	A-S	A- i	A- ii	A- iii	A-E						
長さ (m)	1.5	4.0	4.0	4.0	2.0	2.0		4.0		2.5	24.0
水深 (m)	0.7										
施設容積 (m ³)	2.1	5.6	5.6	5.6	2.8	1.05	1.05	2.1	2.1	3.5	31.5
施設面積 (m ²)	3.0	8.0	8.0	8.0	4.0	1.5	1.5	3.0	3.0	5.0	45.0
充填材	PoC					PoC	川砂	PoC	川砂	—	—
充填率 (%)	26.7 (20.0)	34.3 (25.7)	28.3 (21.2)	22.3 (16.8)	30.0 (22.5)	36.5 (27.4)	64.3 (42.2)	32.0 (24.0)	64.3 (42.2)	—	—
通水量(m ³ /日)	150 (対照水路は 200)										
滞留時間	流入後 14m地点で 2hr20min (対照水路も同一)										

注 1) 充填率：水深 0.7m において，水面から突出している部分は含んでいない。() 内の数字は PoC の空隙も考慮した充填率である。実験区Aの採水地点までの平均充填率は，27.1%となる。
2) 実験区B，Cでは，充填材の支配体積をあわせて設置している。さらに実験区Bでは川砂を PoC とほぼ同じ傾斜になるように設置した。

表-2 PoC の配合

単位量 (kg/m ³)				
W	HC	Pm	S	G
46	156	52	210	1485

注 Pm：ポーラスコンクリート用混和材
S：珪砂 (0.3mm 以下)
HC：早強ポルトランドセメント
G：碎石 (粒径 10~20mm)



写真-1 使用した PoC および PoC ユニット



写真-2 PoC ユニットの設置

2.2 実験内容

(1) 実験区 A

本実験区(写真-3)は、PoC ユニットが生態系全体に与える影響を総合的な評価するために設置され、以下の3項目について調査を行い、PoC 設置、生物投入を行なわない「対照水路」と比較した。



写真-3 「実験区A」(左)と「対照水路」(右)

【生物生息状況調査】

河川、湖沼に生息、生育する水生植物を植栽すると共に在来魚、貝類の放流を行い、それらの生物の PoC 環境における活着や定着の度合を調査した。

また、投入生物以外にどのような生物が生息しているかを確かめるため、実験全過程終了後に水路内の水を抜いて PoC を撤去した後に、水路内にいる水生生物を回収し、全数調査を行っ

た。「対照水路」でも生物全数調査を実施し、両者の生態系構成種について比較した²⁾。

【水質調査】

PoC を用いた人工生態系の水質への影響を確認するため、「実験水路」の入水地点、入水後 14m 地点、「対照水路」の入水後 14m地点の 3 地点において、水温、pH、SS (浮遊物質量)、BOD (生物化学的酸素要求量)、D-T-N (溶存態全窒素)、D-T-P (溶存態全リン)、T-N (全窒素)、T-P (全リン) の計測を行なった。なお、「対照水路」に流入する水は「実験水路」と同じ配管より分流したものであり、両水路の入水地点の水質が同じと考えられる。

【堆積物調査】

実験終了時に「対照水路」と「実験水路」の両方で堆積物調査を行い、その結果を比較し、堆積物と水質の関連、特に有機物が水質に与える影響を確認した³⁾。

(2) 実験区 B

本実験区では水生植物の植栽実験を行った(写真-4)。水生植物に関する影響を評価するため、河川、湖沼に生育する水生植物を「PoC



写真-4 実験区B

区域」と「川砂区域」にそれぞれ植栽を同条件にて行い、植栽後の生育状況などを比較した。PoC への植栽方法は、各区共に植物の根にヤシ繊維を巻きつけて、これを PoC ユニットの隙間に押入れ、固定した。川砂区域も同様に植栽を行った。

また、どのような動物が進入したかを確認す

るため、生物全数調査も実施し、「PoC 区域」と「川砂区域」を比較した。

(3) 実験区 C

本実験区では、魚類の投入実験を行った（写真－5）。魚類の生息環境としての評価をするため、河川、湖沼に生息・生育する水生植物の植栽及び在来魚の投入を「PoC 区域」と「川砂区



写真－5 実験区 C

域」に行い、魚類の生息環境としての適性を確認した。また、両区域に投入生物以外にどのような生物が生息しているかを確かめるため、A、Bと同様に生物全数調査も実施し「PoC 区域」と「川砂区域」を比較した。

3. 調査結果

3.1 水生植物調査結果

実験区 A において、植栽した植物 5 種の 4 ヶ月後の活着率を表－3 に示す。

植栽した植物については、抽水性植物（カキツバタ、ミクリ）、沈水性植物（クロモ、ホザキノフサモ、ササバモ、エビモ）ともに、土壌が無いにも関わらず全ての種において約 70% 以上

の活着が認められた。また、7 ヶ月目までに水面より上のポーラスコンクリートを中心に 22 種類の自然活着が認められた。

実験区 B における植栽植物の 2 ヶ月目（8 月）と 4 ヶ月目（10 月）の生存率を表－4 に示す。4 ヶ月目には、PoC 区域では抽水性植物は全て生存していたが、砂地においてはミクリ一種のみが繁茂する結果となった。

また、沈水性植物は、2 ヶ月目の調査では PoC 区域では 3 種全てに生存株が確認されたが、砂地区では 1 種類が確認されたのみであった。

4 ヶ月目には、PoC 区域においても沈水性植物は全て枯死したが、これは実験区 A の調査結果では高い生存率を示したことから 2 m²に 19 株の植栽を行なったため、植物体の成長につれて過密状態となったことによる水中の日照不足が原因と思われる⁴⁾。

表－3 水生植物調査結果

実験区	種名	投入数	10 月調査結果 (4 ヶ月目)	
			生存数	生存率 (%)
A	カキツバタ	19	15	79
	ミクリ	19	19	100
	クロモ	54	38	70
	ホザキノフサモ	18	15	83
	ササバモ	18	15	83

3.2 水生動物調査結果

実験区 A 及び対照水路における水生動物の調査結果を、表－5 に示す。全工程終了後（7 ヶ月目）に行なった全数調査では、投入種以外に多

表－4 実験区 B における植栽植物の生存率

	種名	投入数		8 月調査結果 (2 ヶ月目)				生存率 (%)		10 月調査結果 (4 ヶ月目)				生存率 (%)	
実験区 B	種名	PoC	砂地	PoC		砂地		PoC	砂地	PoC		砂地		PoC	砂地
				生	枯	生	枯			生	枯	生	枯		
	カキツバタ	4	4	4	0	0	4	100	0	4	0	0	0	100	0
	ミクリ	4	4	4	0	4	0	100	100	4	0	4	0	100	100
	ホザキノフサモ	2	2	2	0	0	2	100	0	0	2	0	0	0	0
	ササバモ	2	2	1	1	1	1	50	50	0	1	0	1	0	0
	エビモ	9	9	2	7	0	9	20	0	0	2	0	0	0	0

表－５ 水生動物調査結果一覧

実験区名	実験区 A				対照水路		実験区 B			実験区 C			
出現種	投入生物数(6月)	8月調査	10月調査	全数調査(1月)	投入生物数(6月)	全数調査(1月)	投入生物数	全数調査		投入生物数		全数調査	
								PoC	川砂	PoC	川砂	PoC	川砂
アモンイトンボ 幼虫	0	(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ユスリカ亜科の一種	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
カマナ	10	6	9	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ヒメタニシ	10	79	152	622	0	137	0	158	1	0	0	56	26
サカキガイ	0	1	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
モノアラガイ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
タテホシガイ	10	1	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ドブガイ	10	4	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
シジミ属の一種	0	0	0	7	0	11	0	0	0	0	0	0	0
ミズムシ	0	0	0	5	0	0	0	5	3	0	0	2	0
テナガエビ	0	++	0	232	0	22	0	156	30	0	0	152	0
スジエビ	0	5	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
アメリカザリガニ	0	0	2	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0
オイカワ	10	3	0	9	0	1	0	1	0	5	5	2	0
カワムツA型	10	0	0	11	0	5	0	1	0	5	5	2	0
カマツカ	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0
ゼゼラ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
タモロコ	0	+	3	24	0	23	0	10	0	0	0	24	0
コイ	0	0	+	3	0	7	0	0	0	0	0	1	0
ギンブナ	0	+	0	259	0	147	0	32	0	0	0	25	0
ゲンゴロウブナ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
カサヒラ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8	0
タイリクバラタナゴ	0	0	0	15	0	74	0	14	0	0	0	8	0
マナマス	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
メダカ	10	+	+	7	0	0	0	0	0	5	5	0	0
キンギョ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ブルーギル	0	0	0	11	0	7	0	6	0	0	0	1	0
ヌマチチブ	10	2	3	3	0	4	0	2	0	5	5	2	0
トウヨシホリ	10	+	0	58	0	12	0	16	2	5	5	35	0
ガシガエル	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	—	0	0
ガシガエル幼生	0	0	0	28	0	15	0	13	6	0	—	8	1
総出現種数	10	13	10	23	0	18	0	16	5	6	6	14	2

* +は、1～10 個体、++は、10～100 個体

くの種類の侵入、繁殖が認められた。PoC を設置した実験区 A では、テナガエビやギンブナの個体数が多く、初期導入生物種が繁殖したと考えるよりも環境に適した種が定着したと思われる。また、これらの種は、動物の導入を行ってない実験区 B の PoC 区域でも繁殖が認められた。実験区 C においては、川砂区域に導入した魚類は全て死滅し、2 種類が確認されたのみであるが、PoC 区域では導入魚類 6 種中 4 種の生息と 7 種の魚類、4 種の底生生物の進入が確認

された。

3.3 水質調査結果

実験区 A と対照水路で行なった水質調査 5 回の平均値を表－6 に示す。流入水の汚濁負荷が低いと各項目の除去率は低いレベルとなっているが、当初懸念された有機物の生産による BOD の上昇は無かった。両水路の比較では、SS において実験区 A の除去率が高いことが認められる。これはポーラスコンクリートの存在による接触沈殿効果のためと思われる。T-N、T-P に

についても実験区Aの除去率が高いが、これらの溶存態（D-T-N，D-T-P）に対しては、対象水路の方が高くなっている。これは生物相の豊かな実験区Aにおいては、沈殿した有機物の分解能が促進されたためと思われる。また、二つの水路のpH測定結果には、ほとんど差がなかった。

表－6 水質調査結果一覧

項目	流入水平均値 (mg/l)	平均除去率（％）	
		実験区A	対照水路
BOD	2.5	11.1	9.6
SS	18.4	27.4	19.8
T-N	1.38	3.9	2.6
D-T-N	1.25	2.6	2.9
T-P	0.141	12.9	2.1
D-T-P	0.040	6.9	12.6

3.4 堆積物調査結果

実験前に水路内にサンプリング容器（底面積54.1cm²）を設置し、その容器に実験期間放置して溜まった堆積物の質量を計測した結果、堆積物量の乾燥質量が対照水路に比べ、実験区Aは半分の値を示した。また、この試料を用いて強熱減量試験（600±25℃，30分間）を行った。実験区Aの堆積物の強熱減量も対照水路の強熱減量の約半分であった（表－7）。これは、生物相の豊かな実験区Aの沈殿有機物が分解され、堆積物中の有機物は対照水路より少なくなったことによる結果と思われる。

表－7 堆積物の乾燥質量と強熱減量

項目		乾燥質量 (g)	強熱減量 (g)
6.0m地点	実験区A	32.1	4.05
	対照水路	71.5	8.45
10.0m地点	実験区A	24.5	3.91
	対照水路	59.7	8.06
14.0m地点	実験区A	15.9	2.51
	対照水路	37.2	5.06

4. まとめ

河川水の流入する屋外の試験用水路において、ポーラスコンクリートを設置した場合の水路生

態系の調査結果を以下にまとめる。

- (1) ポーラスコンクリートを用いて、空間に多様性を与えた水路には、何も入れない水路や川砂を敷設した水路に比べて、付着性生物以外に高次の動植物も含めた豊かな生物相が早期から現れる。
- (2) 水路内の生物種・量が豊かになり、適切な生態系が形成された場合、その食物連鎖により物質循環が活発になり、水質改善につながる。さらに沈殿有機物の分解も促進され、堆積物が減少する。

本研究の実施期間は2001年6月～2002年1月までの短い期間で、水路に安定した生態系が形成されているとはいえない。今後さらにポーラスコンクリートユニットの内部空間形状と出現生物相との関連および植栽や各種生物投入後の水質浄化機能について検討を行う必要があると思われる。

【謝辞】

本研究は、（財）琵琶湖・淀川水質保全機構ならびに全国ポラカブル工業会の御指導・御協力により実施されたものであり、ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 玉井元治ほか：エココンクリート研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，1995.11
- 2) 鷺谷 いづみ・森本 信生著：日本の帰化生物，保育社，1993
- 3) 渡辺仁治・浅井一視：陸水有機汚濁の生物学的数量判定，関西外語大学研究論集52号，NO.52，pp.99-139，1990
- 4) 琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター：実験センターにおける生物調査（水域）（陸域）その2，琵琶湖・淀川水質浄化共同実験センター年報，第2号，1999