

平成20年9月修了

博士学位論文

「ポーラスコンクリートの製造方法および生物生息の特性」

Method of Porous Concrete and Property of Habitat

平成20年9月30日

岩手大学大学院連合農学研究科

生物環境科学専攻 地域資源工学連合講座

学籍番号 80304012

佐藤健司

Kenji Sato

## 目次

<b>第1章 序論</b>	
1.1 研究の背景と目的	1
1.2 ポーラスコンクリートの既往研究	3
<b>第2章 製造方法および素材特性</b>	
2.1 配合および強度	5
2.2 フレッシュ時の品質管理手法の開発	9
2.3 乾湿の繰り返しに対する耐久性	11
2.4 凍結融解に対する耐久性	15
2.5 火入れに対する耐久性	15
2.6 アルカリおよび重金属の溶出	17
2.7 空隙の特性	18
2.8 現場内リサイクルシステム	22
<b>第3章 施工方法</b>	
3.1 現場打設法	33
3.2 パネル敷設法	36
<b>第4章 室内試験による植物生育特性の検証</b>	
4.1 試験方法	39
4.2 試験結果	41
<b>第5章 野外実験による生物生息環境の検証</b>	
5.1 実験水路による検証	49
5.2 圃場水路による検証	55
5.3 充填材の検討	66
<b>第6章 結論</b>	70
【参考文献】	71
【謝辞】	72

## 第1章 序論

### 1.1 研究の背景と目的

1992年の「国連環境会議」における生物多様性保全条約の署名により、生態系・生物種・遺伝子の多様性保全に取り組む姿勢が明確化されている中、河川環境においては、コンクリート三面張水路などがもたらす生態系の貧化が批判されている。農村地域に広がるため池や用排水路などの農業水利施設についても、本来の農業利用を目的とした機能のみでなく、地域環境保全用の水辺空間としての機能を求められている。特に、農村域の生態系創出・保全にはため池と水路のネットワークは大きな意義を持つが、コンクリート護岸では形成される生態系が貧弱となり、ネットワークの幹線としての機能を果たすことが困難である。そこで、河川護岸や水路を対象とした多くの多自然化護岸工法の開発や、木杭や石積みなどによる従来型護岸工法の見直しが行われている<sup>1)</sup>。

一方、これらの多自然化を念頭においた護岸工法は一般に高価であり、また、繁茂する植物は草刈りなどの管理負担を増大させる。農村域における主な植生管理は、農家や土地改良組合などに任せられているのが現状であり、管理負担の増大を伴う多自然化護岸工法の導入は親水公園などに限られることが多い。

ポーラスコンクリート（以下、POC）は、写真 1-1 のような骨材とセメントペーストで構成される「おこし状」コンクリートで、内部に 25～30% の連続空隙を持つことが特徴である。この空隙に土壌を充填することで、護岸適用素材としての強度を保有しつつ、動植物の生息も可能となる<sup>2)</sup>。また、根域が物理的に制限されることから植物の過剰繁茂を抑制し、省管理型の多自然型護岸となり得ると考えられる。これらの効果を模式的に図 1-1 に示す。

また、既存コンクリート護岸・水路を多自然化護岸・水路に改修する際にはコンクリート廃材が大量に発生する。これらの多くは道路用骨材（路盤材）として活用が進められているが、図 1-2 に示すようにコンクリート廃材の発生量は増加傾向にあり、道路用骨材としての需要量も 2020 年頃には飽和すると予測されている<sup>3)</sup>。したがって、POC 用骨材として再生骨材を利用し、新たなリサイクル需要を生み出す手法の開発は今後の重要な課題になると考えられる。

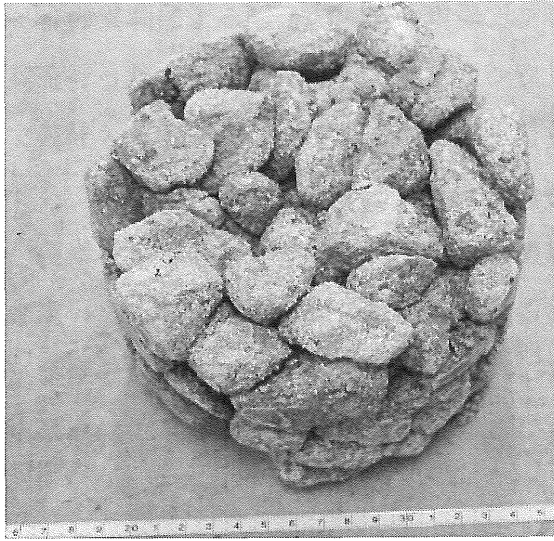


写真 1-1 POC 外観

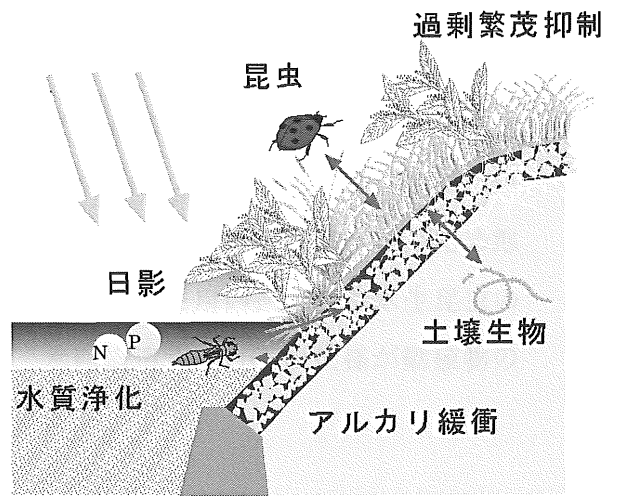


図 1-1 POC の生物生息環境

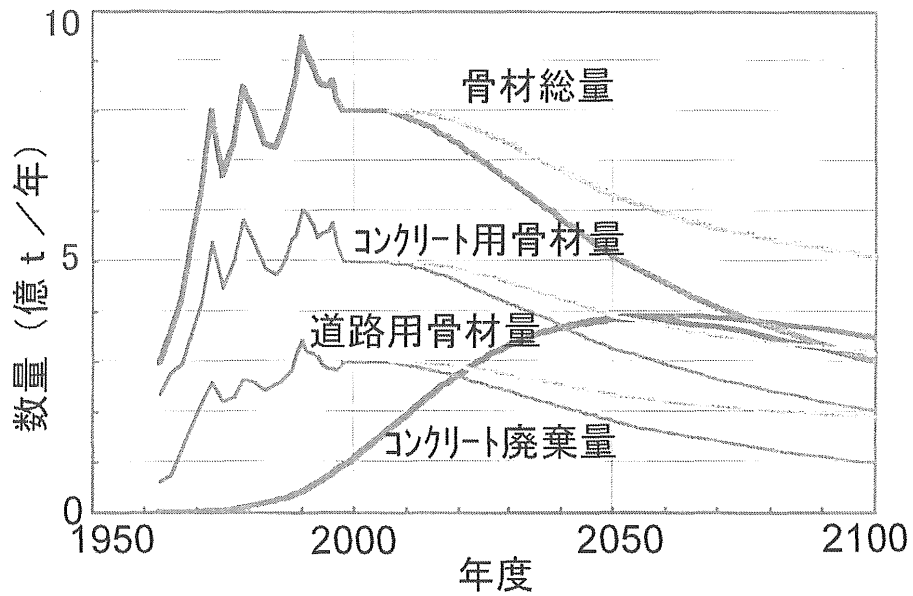


図 1-2 コンクリート廃棄量と骨材需要量の将来予測

本研究では大粒径 (20-40mm) の骨材を用いた POC (以下, 環境配慮型 POC) およびリサイクルポーラスコンクリート (以下, RePOC) の仕様や施工法などの製造方

法と、護岸として適用した場合の生物生息環境の検証を目的とした。

室内実験による配合の検証や現場でフレッシュ性状を簡易に評価する評価方法の考案を行った。施工法については、コンクリート廃材の有効利用の手段として、現場内で破碎・分級することで得られた再生骨材と、プラントにて製造したセメントペーストをアジテータ車で混練するステージミキシング工法<sup>4)</sup>について検討を行った。

護岸として適用した場合の生物生息環境の検証については、実験用の水路とため池を用いた比較実験と実際に圃場で用いられている用排水路を用い、植生や水生昆虫の生息数の違いを調査・検証した。これによって、水路構造や POC の仕様が動植物の生息環境に与える影響を明らかにすることを試みた。

## 1.2 ポーラスコンクリートの既往研究と課題

POC の強度や製造方法については多くの研究がなされ、財団法人先端建設技術センターはこれらの研究の成果をまとめ、「ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き」として整理した<sup>5)</sup>。しかしながら、形成される生物生息環境について定量的に調査した事例は少なく、ポーラスコンクリート護岸の導入による効果および特性は明らかにされているとはいえない。

また、「ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き」で主に扱われている緑化型ポーラスコンクリート（以下、緑化型 POC）の骨材粒径は 20mm 以下であるため、内部に形成される空隙径は 3mm 以下の小さなものとなる<sup>6)</sup>。このため、空隙内部に充填する土壌は特殊な材料を必要とし、ミミズなどの大型土壌生物の生息空間を確保することができないことや高価な特殊充填資材を用いる必要があるなどの課題も残る<sup>7)</sup>。

RePOC については、コンクリート用骨材の利用手法の一つとして、コンクリート廃材から得られた再生骨材をポーラスコンクリート用粗骨材として用いる研究が各方面にて進められている<sup>8)</sup>。リサイクルポーラスコンクリートに用いる再生骨材は、必ずしも通常のコンクリートに用いられる高品位再生骨材であることが必要ではないため、骨材表面のモルタル除去に伴う微粒分の除去工程が不要であり、リサイクル効率および生産効率が高いものとして注目されている。

しかしながら、従来の施工法では現地で発生したコンクリート廃材を一度プラントにて再生骨材に加工し、これを生コンクリートプラントで混練するという工程が必要

であった。このため、運搬費や特殊骨材を用いることによる生コンクリートプラントへの負担が問題となり、これまでに本施工で採用された事例はなかった。

## 第2章 製造方法および素材特性

### 2.1 配合および強度

#### 2.1.1 目的

「ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き」によると、植生を重視した護岸におけるポーラスコンクリートの構造仕様は次のようになっている。

強度：10N/mm<sup>2</sup>以上

空隙率：21～30%（特に植生を重視する箇所や植生に対する気象条件が厳しい箇所は25%以上とする）

そこで、粒径20～40mmを使用した環境配慮型POCにおいてもこれらの仕様を満足する配合を選定することを目的とした。

#### 2.1.2 使用材料

実験に使用した材料を次頁の表2-1に示す。

#### 2.1.3 ペーストフロー（軟度）の選定

W/C25%のペーストフローと環境配慮型POC（空隙率30%）の材齢28日圧縮強度の関係を図2-1に示す。本実験の範囲においては、ペーストフローが大きくなるほど圧縮強度は高くなる傾向を示したが、ペーストフローが220mmを超えるとペーストのダレ落ちが顕著に認められるようになった。

したがって、ペーストのフローは220mmを標準とした。

表 2-1 使用材料

種類	仕様等	製造・産地
セメント (C)	高炉セメント B 種 密度 : 3.04g/cm <sup>3</sup> 、比表面積 : 3、900cm <sup>2</sup> /g	住友大阪セメント(株)
混和材	シリカヒューム (SF) Elkem Microsilica Grade940 密度 : 2.24g/cm <sup>3</sup>	Elkem Materials
	ファイバー (BF) ユニチカビニロン AA1.6D×6mm	ユニチカ (株)
	分級フライアッシュ (FA) ファイナッシュ FA20 密度 : 2.36g/cm <sup>3</sup> 、比表面積 : 5、610cm <sup>2</sup> /g	テクノ・リソース(株)
細骨材 (S)	川砂 表乾密度 : 2.60g/cm <sup>3</sup> 、FM : 3.04	滋賀県野洲川産
	砕砂 表乾密度 : 2.60g/cm <sup>3</sup> 、FM : 2.76	小松島市前原町産
	スラグ (水砕砂) 表乾密度 : 2.80g/cm <sup>3</sup>	住金和歌山鉱化 (株)
	銅スラグ (混合品) 表乾密度 : 3.49g/cm <sup>3</sup>	住友金属鉱山 (株)
粗骨材 (G)	3号砕石 (粒径 20~40mm) 表乾密度 : 2.65g/cm <sup>3</sup> 、実積率 : 57.8%	京都府城陽産
混和剤 (SP)	SP-8S X2	(株) エヌエムビー
水 (W)	上水道	大阪市

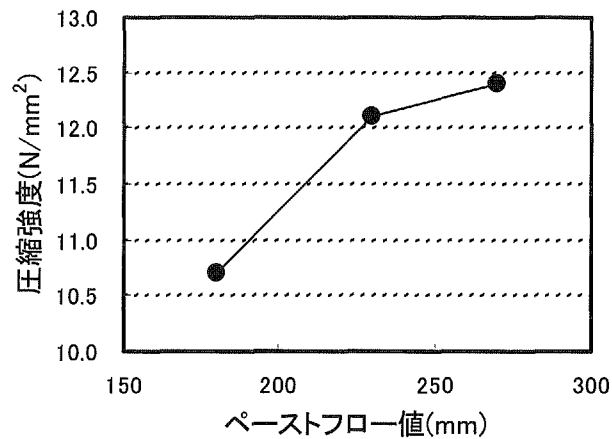


図 2-1 ペーストフローと圧縮強度の関係



#### 2.1.4 水セメント比(W/C)の選定

フロー220mm程度に調整したペーストの水セメント比と環境配慮型 POC（空隙率30%）の材齢28日圧縮強度の関係を図2-2に示す。圧縮強度はペーストの水セメント比が28%程度で最大となる傾向を示したが、水セメント比28%以上では粘性が低くなるためフローが220mm程度であってもダレ落ちが認められた。

したがって、水セメント比はダレ落ちが顕著に減少する25%を標準とした。

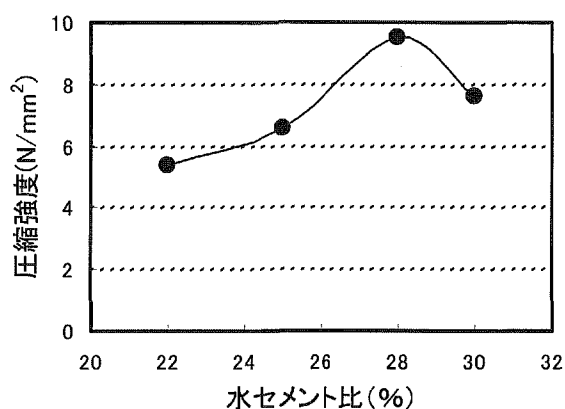


図 2-2 水セメント比と圧縮強度の関係

#### 2.1.5 空隙率の選定

W/C25%, フロー220mm程度のペーストを用いた環境配慮型 POC の空隙率と材齢7日圧縮強度の関係を図2-3に示す。目標値である圧縮強度10N/mm<sup>2</sup>以上は空隙率が30%以下であれば満足すると考えられたため、空隙率は30%を標準とした。

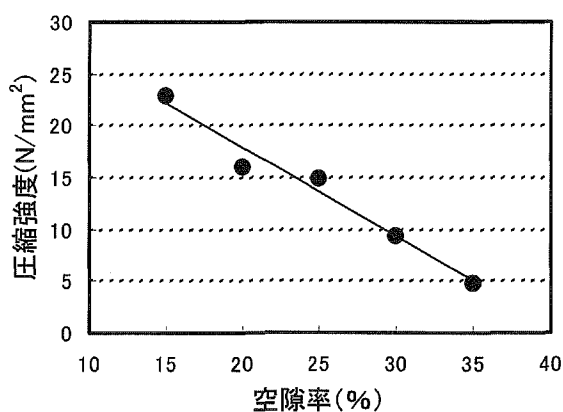


図 2-3 空隙率と圧縮強度の関係

## 2.1.6 バインダーの選定

環境配慮型 POC においても空隙率 30% で目標値である  $10\text{N/mm}^2$  以上の強度発現が期待できるが、変動を考慮した場合、強度発現性を改善する必要があると考えられた。そこで、環境配慮型 POC に使用するバインダーの検討を行った。

検討したバインダーの種類とその結果をまとめて表 2-2 に示す。これより、バインダーとしてモルタルを使用することにより、作業性に優れ、 $10\text{N/mm}^2$  以上の強度を安定して発現する環境配慮型 POC が得られること明らかになった。

表 2-2 バインダーの種類と検討結果

バインダーの種類		期待される効果	圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )		備考	総合 評価
			7日	28日		
混和材 混入	シカユーム	バインダーの 強度改善	6.5	6.7	チクソ性低下に よるダレ懸念	×
	分級フライアッシュ		7.6	12.6		○
ファイバー混入		ダレ落ち防止 バインダー厚増加 せん断耐力改善	7.9	9.2	ファイバーの分 散に難あり → ばらつき大	△
モルタル化* <sup>1</sup>		バインダー厚増加	11.7	14.1	作業性良好	◎

\*1：モルタルのみ作業性を確保するために水セメント比を 30% に変更

## 2.1.7 細骨材／セメント比(S/C)の検討

バインダーをモルタルとした場合、細骨材／セメント比が作業性および強度発現性に影響を及ぼすと考えられた。そこで、細骨材／セメント比が強度およびダレ落ち具合に及ぼす影響を調べた。なお、モルタルの水セメント比 (W/C) は 30% とし、フロー値の調整 (目標：220mm) は混和剤の添加量で行った。また、空隙率は 30% とした。

環境配慮型 POC の配合および試験結果を表 2-3 に示す。これより、細骨材／セメント比は 1.0 を標準とした。

表 2-3 環境配慮型 POC の配合および試験結果（砕砂使用）

S/C	W/C (%)	空隙率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)	70-値 (mm)	28日強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ダレ落ち
			W	C	S	G				
0.5	30	30	73	244	122	1325	0.3	208	11.6	◎
1.0			59	197	197	1325	0.7	218	13.7	◎
1.5			50	166	249	1325	1.2	211	9.9	○

### 2.1.8 細骨材種類の影響の検討

使用する細骨材の種類が強度に及ぼす影響について検討を行った。その結果、表 2-4 に示すように、細骨材の種類が環境配慮型 POC の強度に及ぼす影響は比較的小さいことが明らかになった。

表 2-4 各種細骨材を用いた 3 号ポーラスコンクリートの配合および強度

種類	W/C (%)	S/C (%)	空隙率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)	70-値 (mm)	28日強度 (N/mm <sup>2</sup> )
				W	C	S	G			
砕砂	30	1.0	30	59	197	197	1325	0.70	218	11.4
川砂				59	197	197	1325	0.70	215	11.6
スラグ				61	203	203	1325	0.50	216	12.2
銅スラグ				65	218	218	1325	0.35	214	12.7

## 2.2 フレッシュ時の品質管理手法の開発

### 2.2.1 目的

現在、ポーラスコンクリートのフレッシュ性状を評価する方法として規格化されたものはないが、(独)土木研究所が試験方法を提案している<sup>9)</sup>。この方法は、丸フルイ

に量り取った試料に直接外面バイブレータにより振動を与え、フルイを落下するパイ  
ンダー量によりフレッシュ性状を評価するもので、簡便かつ迅速に評価できる方法で  
あると考えられる。

しかしながら、バイブレータを直接試料に接触させるため、試料との接触状況（位  
置、圧力等）により誤差が生じやすくなるとも考えられる。そこで、この誤差を極力  
無くすために、写真 2-1 に示すようにバイブレータを直接試料に接触させずに、かつ  
一定の振動条件を確保するための治具を考案した。

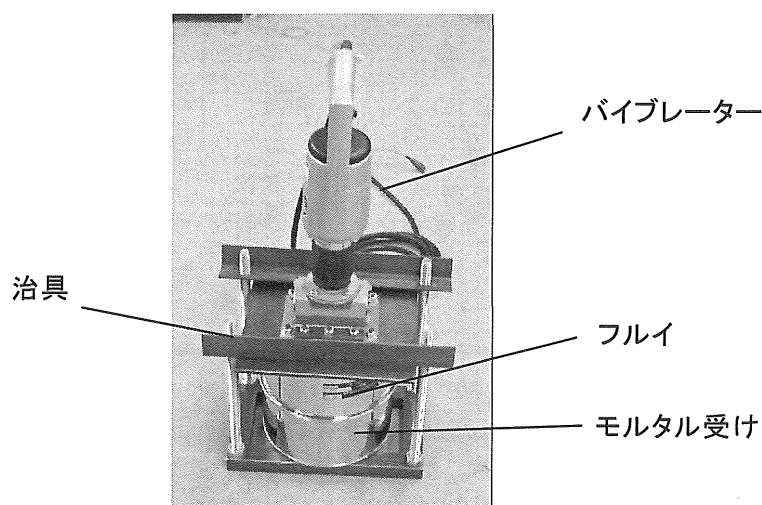


写真 2-1 バイブレータおよびフルイ固定用治具

### 2.2.2 実験結果

採取する試料質量は 2000g とし、モルタルのフロー値および振動時間を変化させて  
5 mm フルイを通過するモルタル質量を測定した。

試験結果を図 2-4 に、モルタルのフロー値と落下率の関係で示す。ここで、落下率と  
は 5 mm フルイを通過したモルタル質量から次式により求めたものである。

$$Dm = Vm / (Am \times (B / T)) \times 100 \quad (\%)$$

ここに、Vm：5 mm フルイを通過したモルタル質量(kg)

Am：採取した試料の質量(kg)

B：単位モルタル量(kg/m<sup>3</sup>)

T：3号ポーラスコンクリートの単位容積質量(kg/m<sup>3</sup>)

試験の結果、振動時間が 30 秒と 60 秒においてフロー値と落下率の関係に高い相関が認められたが、環境配慮型 POC のフロー値として適性と考えられる範囲  $200 \pm 25 \text{mm}$  においては振動時間 30 秒で最も高い相関が認められた。また、振動時間を 30 秒とした場合の判定基準は、落下率 20~30% の範囲であると考えられる。

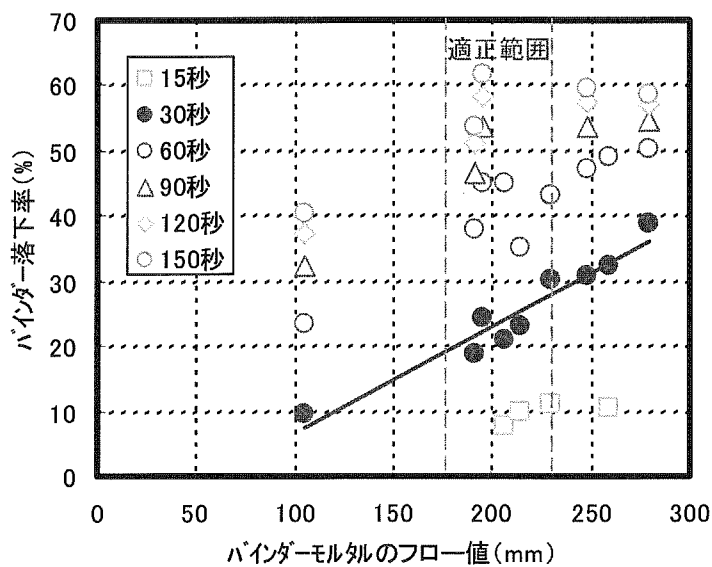


図 2-4 モルタルのフロー値と落下率の関係

## 2.3 乾湿の繰り返しに対する耐久性

### 2.3.1 目的

ポーラスコンクリートは比較的高い強度を有し、かつ空隙部に植生基盤材を充填することで緑化や微小生物の棲息が可能となるため、多自然型護岸への適応に期待が高まっている。しかしながら、耐久性に対しては不明な点が多く残されている。特に、通常のコンクリートとは異なり空隙を多く有することから、乾湿の繰り返しに対する抵抗性が必要と考えられた。

ここでは、空隙径の大きい環境配慮型 POC の乾湿繰り返しに対する抵抗性に関して、バインダーの種類の影響を検討した。

### 2.3.2 使用材料

使用材料および特性値を表 2-5 に示す。セメントには、高炉セメント B 種を使用した。細骨材には、最大粒径および粒度の異なる 3 種類を使用した。なお S 2 は、S 1 から 2.5mm 未満の粒子を採取したものである。

表 2-5 モルタルのフロー値と落下率の関係

セメント(C)	高炉セメント B 種	密度 3.15g/cm <sup>3</sup> ブレン 3,900cm <sup>2</sup> /g
細骨材 (S)	S 1	川砂
	S 2	
	S 3	5号珪砂
粗骨材(G)	碎石 4 0 2 0	表乾密度 2.65g/cm <sup>3</sup> 実積率 57.8%
混和剤(S P)	高性能 A E 減水剤	ポリカルボン酸系

### 2.3.3 配合

配合および材齢 28 日圧縮強度を表 2-6 に示す。バインダーに用いたモルタルの細骨材セメント比は 1 : 1 とした。水セメント比は、25%一定とし、バインダーの流動性はフロー値 (JIS R 5201「セメントの物理試験方法」) が 200mm 程度となるように混和剤添加量で調整した。

表 2-6 モルタルのフロー値と落下率の関係

種類※	W/C (%)	目標空隙率 (%)	単 位 量(kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
			W	C	S	G		
P	25.0	30.0	60	242	—	1484	0.50	6.1
S 1	25.0	30.0	36	145	145	1484	1.30	13.2
S 2	25.0	30.0	36	145	145	1484	1.45	11.1
S 3	25.0	30.0	35	143	143	1484	1.00	14.8

※Pはバインダーをペーストとしたもの、S 1、S 2、S 3は、それぞれ表 2-1 に示す細骨材を使用したもの

### 2.3.4 試験方法

乾湿繰り返しに対する抵抗性は、たわみ振動の一次共鳴振動数から求めた相対動弾性係数の変化により評価した。練混ぜには 55L の二軸強制練りミキサを使用し、1 バッチあたりの練混ぜ量は 30L として 2 分間練り混ぜた。各配合について 10×10×40cm の角柱供試体 6 本およびφ12.5×25.0cm の円柱供試体 9 本を作製し、翌日脱型後、材齢 28 日まで水中 (20℃) で前養生を行った。前養生終了後の角柱供試体 3 本と円柱供試体 6 本について乾湿繰り返し試験を実施した。養生条件およびサイクルタイムを図 2-5 に示す。試験は 30 サイクルまで行うこととし、2～4 サイクルごとに角柱供試体を用いて動弾性係数を測定した。角柱供試体の残り各 3 本については、室内(20℃, RH60%)で気中養生し、乾湿繰り返し試験と同じ日に動弾性係数を測定した。円柱供試体については、21 サイクル終了時に各 3 本ずつ圧縮強度を測定した。

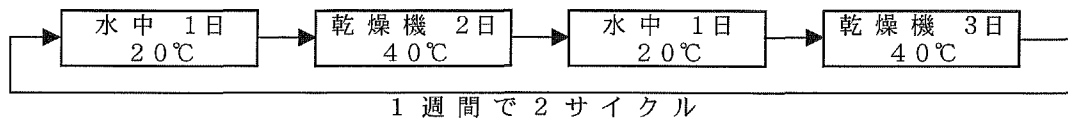


図 2-5 養生条件およびサイクルタイム

### 2.3.5 相対動弾性係数

乾湿繰り返し試験から得られた相対動弾性係数の変化を図 2-6、気中養生した供試体の相対動弾性係数の変化を図 2-7 に示す。ペーストを用いた POC は乾湿繰り返し 5 サイクル以降から徐々に低下し、10 サイクル以降からは大きく低下したのに対し、細骨材として S 1, S 2 および S 3 を用いた POC は、相対動弾性係数の低下が僅少であった。また、モルタルを用いた POC においては細骨材の最大粒径や粒度の影響は認められなかった。一方、気中養生したものは、いずれの配合も低下割合が僅少であった。このことから、モルタルを用いた POC は、細骨材の種類に関係なくペーストに比べて乾湿繰り返しに対する抵抗性が高いと判断される。このようにバインダーの種類、すなわちペーストとモルタルで差が生じた理由としては、ペーストとモルタル

ルの乾燥収縮量や熱膨張係数の差などの影響が考えられる。

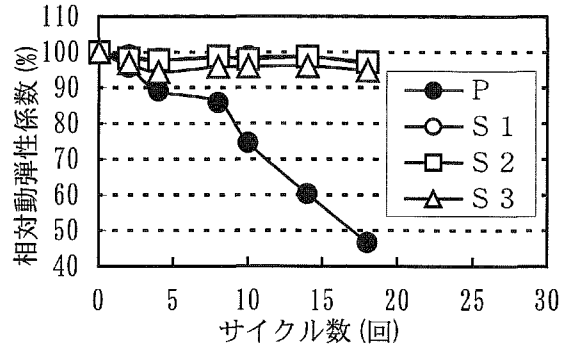


図 2-6 相対動弾性係数の変化（乾湿繰り返し）

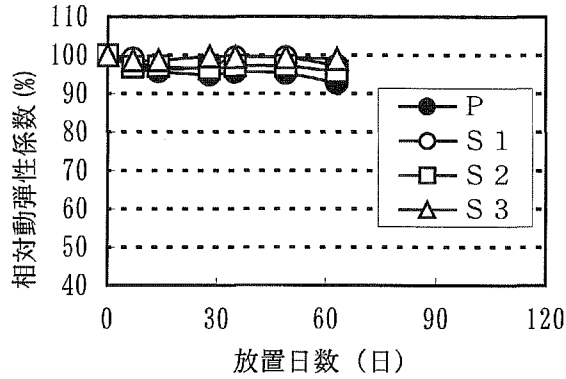


図 2-7 相対動弾性係数の変化（気中養生）

### 2.3.6 圧縮強度

圧縮強度の結果を表 2-7 に示す。いずれの配合も前養生終了時点とほぼ同等な値を示しており、現時点では、乾湿繰り返しによる影響が明確に表れなかった。

表 2-7 圧縮強度

種類	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	0 サイクル	21 サイクル
P	6.1	7.6
S1	13.2	11.2
S2	11.1	9.1
S3	14.8	13.0



## 2.4 凍結融解に対する耐久性

一般的なコンクリートの凍結融解試験をポーラスコンクリートに適用した結果、気中の供試体は健全性を保ったが、水中・半水中の供試体は大きな損傷を受けた(表 2-8)。しかしながら、本実験方法は空隙が著しく少ないコンクリートを対象とした実験であるため、凍結の膨張圧を逃がさないようになっている。このため、ポーラスコンクリートの適用場面となる護岸などにおける、徐々に一面方向から凍結していく状況を再現しているとは言い難く、護岸の凍結パターンを模した凍結融解実験を新たに考案する必要があると報告されている<sup>10)</sup>。同報告では、凍結圧を逃すことができる工夫をしたところ、ポーラスコンクリートの健全性は保たれるという結果が示されている。

今後、護岸の凍結パターンを模した凍結融解実験についての検証も必要と思われる。

表 2-8 凍結融解試験結果

	No.	測定項目	水中			半水中			気中		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
2/13基長	供試体質量	重量 (g)	7356.1	6973.8	7546.4	7292.6	7311.8	7465.3	7398.6	7282	7154.5
		平均値 (g)	7292			7357			7278		
	一次共鳴振動数	測定値 (Hz)	1646	1750	1332	1665	1280	1282	1778	1257	1665
		$f_0^2$ (Hz) <sup>2</sup>	2709316	3062500	1774224	2772225	1638400	1643524	3161284	1580049	2772225
2/21【30】サイクル	供試体質量	重量 (g)	全壊	全壊	全壊	半壊	7200.5	7387.8	7328.9	7262.3	7131.4
		平均値 (g)	-			-	7294		7241		
		質量減少率 (%)	-			-	0.848448325		0.515225486		
	一次共鳴振動数	測定値 (Hz)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	1211	1250	1729	1241	1656
		$f_n^2$ (Hz) <sup>2</sup>	-	-	-	-	1466521	1562500	2989441	1540081	2742336
	相対動弾性係数	相対動弾性係数 (%)	-	-	-	-	89.5	95.1	94.6	97.5	98.9
		平均 (%)	-			-	92.3		97.0		
2/28【60】サイクル	供試体質量	重量 (g)	全壊	全壊	全壊	半壊	半壊	半壊	7327.0	7261.8	7127.5
		平均値 (g)	-			-			7238.8		
		質量減少率 (%)	-			-			0.544078113		
	一次共鳴振動数	測定値 (Hz)	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	測定不可	1728	1239	1660
		$f_n^2$ (Hz) <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	2985984	1535121	2755600
	相対動弾性係数	相対動弾性係数 (%)	-	-	-	-	-	-	94.5	97.2	99.4
		平均 (%)	-			-			97.0		

## 2.5 火入れに対する耐久性

ポーラスコンクリートを水路に適用した場合、植生管理に火入れを行う可能性がある。ここでは、熱を加えた環境下でのポーラスコンクリートの健全性について検討を

行った。

実験は、ポーラスコンクリートの円柱供試体の上面に固形燃料をおき、加熱時間を10・30・60分とした供試体の圧縮強度から、健全性の検討を行った。実験に用いたポーラスコンクリートの配合を表2-9、圧縮強度を表2-1、実験状況を写真2-2に示す。実験の結果、圧縮強度にバラツキは見られたものの、火入れによると思われる強度低下は認められなかった。

表 2-9 配合

使用 セメント	W/C (%)	空隙率 (%)	粗骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			A 剤 (C×%)	B 剤 (C×%)
				水	セメント	粗骨材		
BB	28	30	56	66	234	1484	1.5	1.5

表 2-10 圧縮強度

No.	火入れ時間 (min)	材齢 (day)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )					平均
			1	2	3	4	5	
1	0	28	13.7	12.3	11.5	11.3	8.28	11.4
2	10	28	10.3	9.35	9.12	9.18	9.53	9.50
3	30	28	10.5	9.95	9.66	12.6	12.9	11.1
4	60	28	10.7	10.0	14.9	12.1	12.8	12.1
5	60 (土壌充填)	28	7.86	11.9	9.04	7.24	10.8	9.36

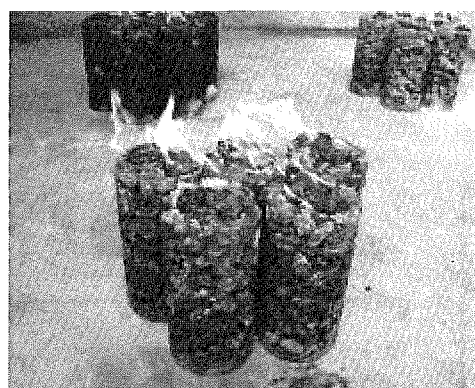


写真 2-2 火入れ状況

## 2.6 アルカリおよび重金属の溶出

POCはコンクリート製品であるため、現場に適用した際にセメントに由来するアルカリが溶出することが予想された。そのため、POCから溶出するアルカリの総量を量ることを目的として、打設後7日目のPOC（容積3.53L）を5L/dayのイオン交換水で洗い出す実験を行った。溶出水は約5ヶ月で環境基準値を下回るpH8以下まで低下した。この間に溶出した総アルカリ溶液量は約222Lで、この溶液を中和することでPOCから溶出するアルカリが適用現場周辺の環境に影響を及ぼすことを回避できると考えられた。

中和実験では0週目～6週目のアルカリ溶液に充填材として用いる黒ボク土（表2-11）を加え、pH8以下になる添加量を測定した。最もアルカリ度が高い溶液でも、0.2%の土壌添加によりpH8以下になることが確認された（図2-8）。この中和に必要な土壌量は、最大でも $222 \times 0.005 = 0.44 \text{kg/L}$ となった。これは、空隙率30%のPOCに充填される黒ボク土量（約0.3kg）および覆土（ $t=3\text{cm}$ 、約0.15kg）の合計とほぼ等しい。

以上のことから、止水域となるため池や希少種の存在が確認された水路など、アルカリの溶出を回避しなければならない場面において、黒土による充填工および覆土工が有効であることが明らかとなった。また、アルカリ溶出液から環境基準で規定される重金属は検出されなかった（表2-12）。

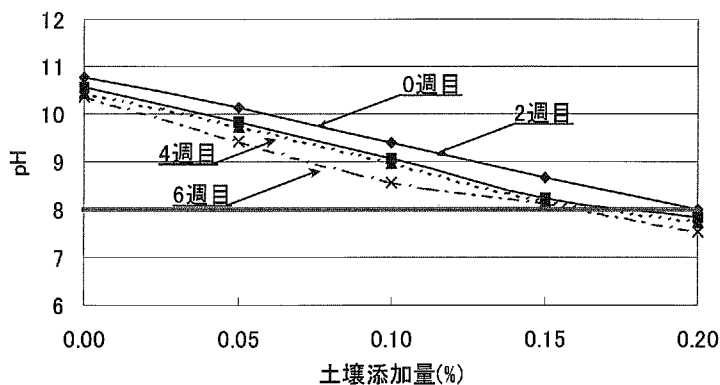


図2-8 土壌によるアルカリ溶液の中和効果

表2-11 土壌の化学性

分析項目	単位	測定値
CEC	cmol/kg	35.2
CaO	cmol/kg	7.1
MgO	cmol/kg	1.7
K <sub>2</sub> O	cmol/kg	2.0
Na <sub>2</sub> O	cmol/kg	0.6
塩基飽和度	%	32.4

表 2-12 水質分析結果

カルシウム Ca <sup>2+</sup> mg/L	六価クロム Cr <sup>6+</sup> mg/L	カドミウム Cd mg/L	鉛 Pb mg/L	ヒ素 As mg/L	総水銀 Hg mg/L
22.44	0.01>	0.001>	0.005>	0.005>	0.0005>

## 2.7 空隙の特性

### 2.7.1 目的

POC の空隙率は、円筒容器内で製作した POC の連続空隙を水で置換することによって求めることが一般的である<sup>4)</sup>。しかしながら、円筒容器を型枠として作成した供試体（以下、円柱供試体）では、骨材に囲まれた空隙と比較して型枠面に接する空隙径がより大きくなる傾向がある。これによって、円柱供試体は型枠に影響を受けないコア抜き供試体と比較し、空隙率が大きく評価されることを越ら<sup>11)</sup>が指摘している。また、空隙の性状を評価する項目として空隙の最大内接円直径が挙げられるが、円柱供試体では型枠面に接する空隙において内接円が最大となる場合が考えられた。

本研究では、環境配慮型 POC と緑化型 POC の断面を同心円状に 5mm ピッチで区割りし、型枠から 50mm までの空隙の分布特性を比較した。

### 2.7.2 実験方法

使用材料を表 2-13 に、配合および強度を表 2-14 に示す。環境配慮型 POC の製造方法は、セメント (C)、細骨材 (S)、水 (W)、混和剤 (Sp) をオムニミキサで混練したモルタルを作成し、その後、モルタルと粗骨材 (G) を二軸強制練りミキサを用いて混練した。打込みは 30% の空隙率を満足するために必要なコンクリートを計量し、所定体積になるまでバイブレータで締固めを行った。6 号碎石を粗骨材とした緑化用のポーラスコンクリート（以下、緑化型 POC）では、セメント、水、混和剤、粗骨材を一括で二軸強制練りミキサを用いて混練し、打込みについては環境配慮型 POC と同様の工程で行った。圧縮強度試験は、環境配慮型 POC を  $\phi 125 \times 250\text{mm}$ 、緑化型 POC を  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  の供試体を用いて JIS A1108 に準拠して行った。

表 2-13 使用材料

C	高炉セメントB種, 密度 $3.04\text{g}/\text{cm}^3$ ブレン比表面積 $3,900\text{cm}^2/\text{g}$
S	珪砂5号, 密度 $2.50\text{g}/\text{cm}^3$
G(3号)	実績率57.8%, 密度 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$
G(6号)	実績率58.1%, 密度 $2.68\text{g}/\text{cm}^3$
Sp	高性能AE減水剤
W	水道水

表 2-14 配合および強度

名称	G	W/C (%)	空隙率 (%)	単位量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				Sp (C×%)	圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
				W	C	S	G		
環境配慮型POC	3号砕石	30	30	49	163	244	1325	0.70	10.7
緑化型POC	6号砕石	25	30	69	276	-	1447	0.55	11.4

φ125×250mm の POC 供試体に樹脂（ショーボンド社製：BLグラウトW）を注入し、硬化後にカッターを用いて四等分した。これらの横断面を、画像解析システム（ネクサス社製：New Qube）を用いて解析を行った。解析値は、1 供試体 4 断面についての平均値を用いた。

### 2.7.3 型枠が空隙におよぼす影響について

空隙の測定区を図 2-9 に示す。画像解析より得られた空隙の分布を図 2-10 に示す。型枠の影響範囲は、環境配慮型 POC で 0~10mm、緑化型 POC で 0~5mm であった。よって、空隙率や空隙内接円直径などの空隙性状を測定する場合、ここで求められた型枠の影響範囲外において測定する必要があると考えられる。

一般に、POC の配合設計は、円柱供試体による各種試験値を参考とするが、この供試体半径は粗骨材の最大寸法の 3 倍以上という目安を用いることが多い。この目安は、通常のコングリート試験で用いられてきたものを参考としたものである。本研究においても、φ125mm の円柱供試体に対して、環境配慮型 POC の最大粗骨材寸法は 40mm であり、この目安を満たしている。

ところが、型枠の影響を受けると考えられる範囲は環境配慮型 POC で 0~10mm であり、これは断面積の 29.4% に相当する。また、最大粗骨材寸法が 15mm であり、

φ125mmの円柱供試体に対して十分小さな骨材を用いた緑化型POCでも、断面積の15.4%が型枠の影響を受けることになる。粗骨材間の空隙をバインダーで満たしている通常のコンクリートと異なり、力学性や物理性に大きな影響を与える空隙をもつPOCでは、そのままこの目安を用いることは妥当ではないと考えられる。よって、正確な空隙率の測定を必要とする場合は、円柱型枠を用いた供試体ではなく、コア抜きによる供試体で測定する必要がある。また、本研究では補正方法の提案には至らなかったが、円柱型枠を用いる場合の補正值を求めることも有効と考えられる。

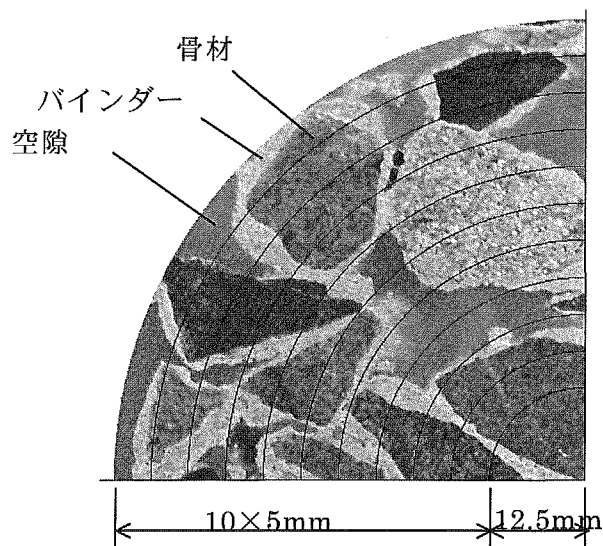


図 2-9 空隙測定区

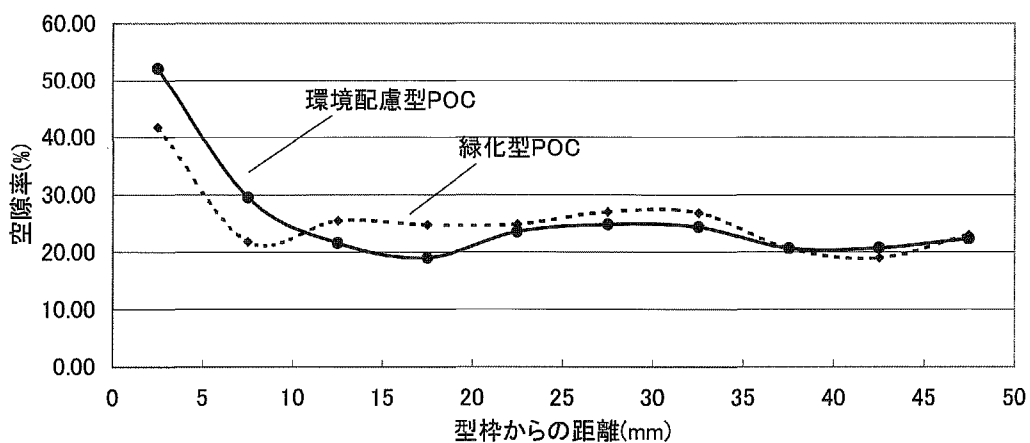


図 2-10 空隙の分布

## 2.7.4 空隙性状

2.7.3の結果に従い、型枠面から環境配慮型 POC で0~10mm、緑化型 POC で0~5mmの範囲を除く断面について、画像解析を行った。代表的な POC 断面を図 2-11 に示す。緑化型 POC と比較し、粘性の高いバインダーを用いている環境配慮型 POC では粗骨材にバインダーが厚く付着し、粗骨材の接点面積を大きくしている様子が分かる。また、緑化型 POC では個々の空隙が細かく分散しているのに対し、環境配慮型 POC では連続した大きな空隙となって存在する傾向がある。

最大内接円直径は、図 2-12 に示すように空隙に内接する円を描写し、このうちの最大直径から値を得た。連続空隙面積は断面方向に連続した空隙として測定されたもので、複雑な形状を持つ空隙の広がり程度を示す。

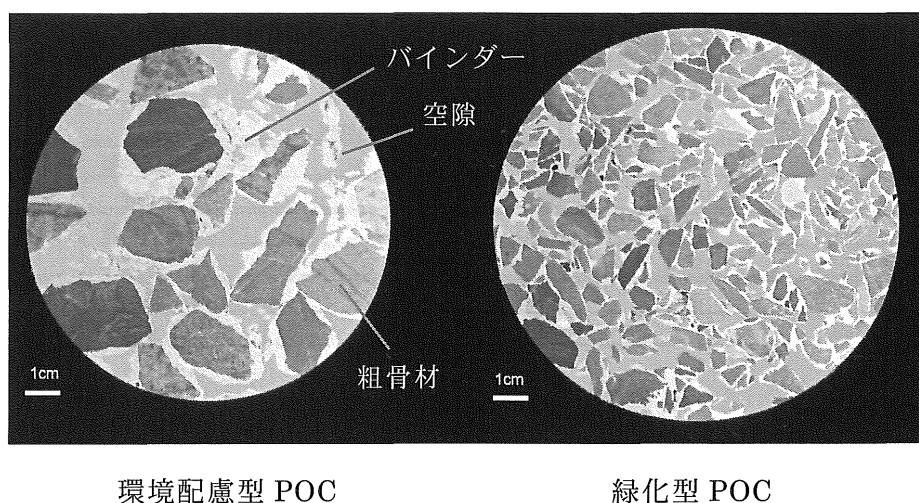


図 2-11 POC の断面

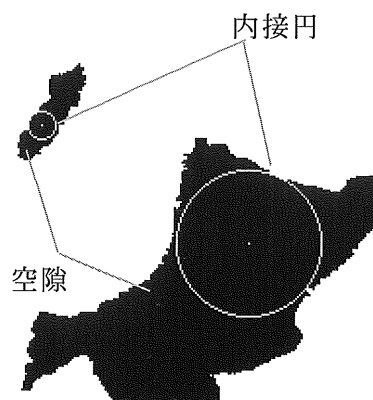


図 2-12 POC 空隙の最大内接円

表 2-15 に画像解析値を示す。型枠影響範囲を含む解析値に対して、型枠影響範囲を除いた解析値は、一部を除いて減少傾向を示し、特に粗骨材の大きい環境配慮型 POC の減少率が高い結果となった。空隙率では、環境配慮型 POC で 25% の差が生まれているが、このことは粗骨材の最大寸法の 3 倍程度の円柱供試体で得られるサンプリングデータと、最大寸法に対して十分な大きさで製造された POC では、25% 前後の誤差が生じる可能性があることを示す。

よって、POC の空隙性状に関する評価においても、2.7.3 同様にコア抜き供試体を用いることが最も適していると考えられる。ただし、空隙率と圧縮強度に関しては、締固めエネルギーを一定にすることで、円柱供試体と実際に適用される POC に整合性ができるとの研究報告<sup>5)</sup>もあり、今後の検証を必要とする。

表 2-15 画像解析値

		最大内接円 直径 (mm)	最大連続 空隙面積 (mm <sup>2</sup> )	空隙個数 (個/m <sup>2</sup> )	空隙率 (%)	平均連続 空隙面積 (mm <sup>2</sup> )
型枠影響範囲を 除いた解析値(a)	環境配慮型POC	10.7	1030	2050	21.9	107
	緑化型POC	5.3	289	7678	23.9	31
型枠影響範囲を 含む解析値(b)	環境配慮型POC	14.6	2289	1874	28.8	153
	緑化型POC	7.4	386	8352	27.1	32
(a)/(b)	環境配慮型POC	0.74	0.45	1.09	0.76	0.70
	緑化型POC	0.72	0.75	0.92	0.88	0.96

## 2.8 現場内リサイクルシステム

### 2.8.1 概要

コンクリート廃材を現場内で POC としてリサイクルするシステムの工程を図 2-13 に示す。再生骨材の製造から混練まで全ての工程を現場内で行うことが特徴であり、①骨材製造工程、②混練工程、③打設工程の 3 工程で構成される。場外のプラントを用いて再生骨材を製造する工法と比較して運搬工程のコストや工期の自由度が高い。大型のミキサーを現場内に設置することが困難であるため、混練はステージミキシング工法を採用した。同工法は生コンクリートプラントにて製造したセメントペースト



をアジテータ車で搬送し、現地で骨材を投入・混練するもので、セメントペースト製造以外の全ての工程を現場で行うことが可能である。

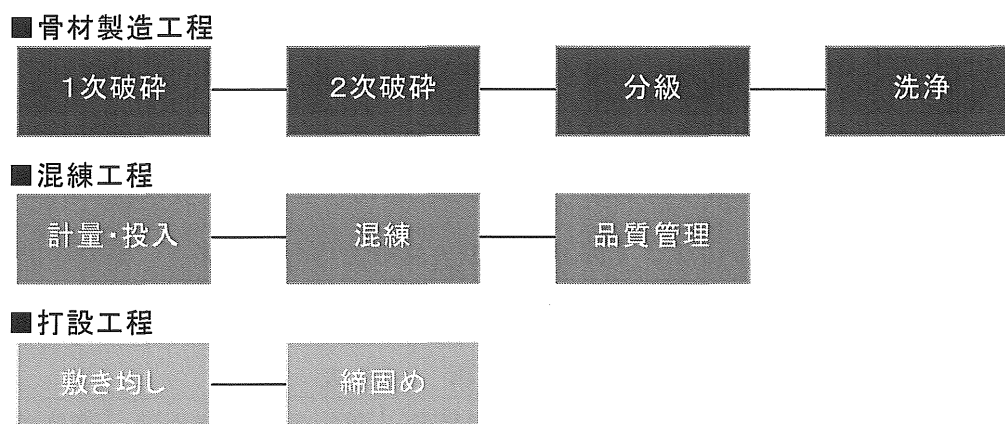


図 2-13 現場内リサイクルシステムの工程

## 2.8.2 骨材製造工程

### i) 破碎および分級

1次破碎はブレイカーを用いて、コンクリート躯体を 200～300mm 程度まで破碎した。2次破碎はジョークラッシャー（写真 2-3）を用いて 40mm 以下に破碎し、同時に鉄筋などの異物を除去した。分級には移動式スクリーンを用いた。植生用ポーラスコンクリートとしての空隙を確保しつつ、高いリサイクル率を確保するため、5～40mm（以下、R40）を粗骨材として用いた。このため、分級は、0～5mm・5～40mm・40mm 以上の3水準でおこなった（写真 2-4）。



写真 2-3 ジョークラッシャー



写真 2-4 移動式スクリーン

本工程で得られた再生骨材の物理的性状を表 2-16 に、破碎・分級工程で得られた粒径区分毎の再生骨材割合を図 2-14 に示す。再生骨材は吸水率が大きいいため、水分管理に十分な配慮をすべき骨材であることがわかった。

R 40 は、5～20mm 再生骨材（以下、R 20）と比較して破碎程度が低く、破碎効率やリサイクル率の点で有利となるが、本実験での収率は 50%強にとどまった。これに対し、ほぼ同じ行程でコンクリートの破碎・分級を行った依田ら<sup>4)</sup>の研究では、R 40 の収率は 73%であったと報告している。この差は、本実験で用いた原コンクリートの強度や劣化の程度、1 次破碎時の土砂混入などに起因するものと考えられる。

表 2-16 再生骨材の物理的性状

表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	単位容積 質量 (kg/L)	実積率 (%)	粒度分布（残留百分率の累計 (%)）						
				60 mm	50 mm	40 mm	30 mm	20 mm	10 mm	5 mm
2.26	7.2	1.34	60.9	0	1	5	33	57	98	100

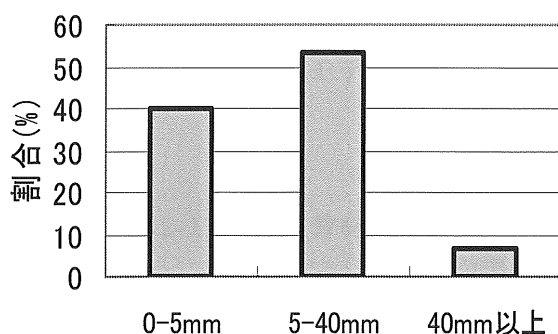


図 2-14 再生骨材割合

## ii) 洗浄

コンクリート再生骨材には破碎時に発生する微粉や泥分などが付着しており、バインダーとの付着強度低下による品質悪化（圧縮強度の低下など）が懸念される。現場で骨材を洗浄する方法としてトロンメル型洗浄機の導入があるが、機器が日本に数台しかないため、調達が容易ではない。そこで、本実験ではアジテータ車による骨材洗浄効果について検証した。

アジテータ車モデルによる室内実験状況を写真 2-5 に、実験結果を表 2-17 に示す。

【アジテータ車モデルによる室内実験】

- ・材料 再生骨材（2005）：水＝20L：20L，30L：30L，40L：40L
- ・ドラム回転 投入時は低回転，洗浄時は高速回転（6秒／回転）
- ・洗浄時間 5分間
- ・骨材採取 5mm篩により水切り

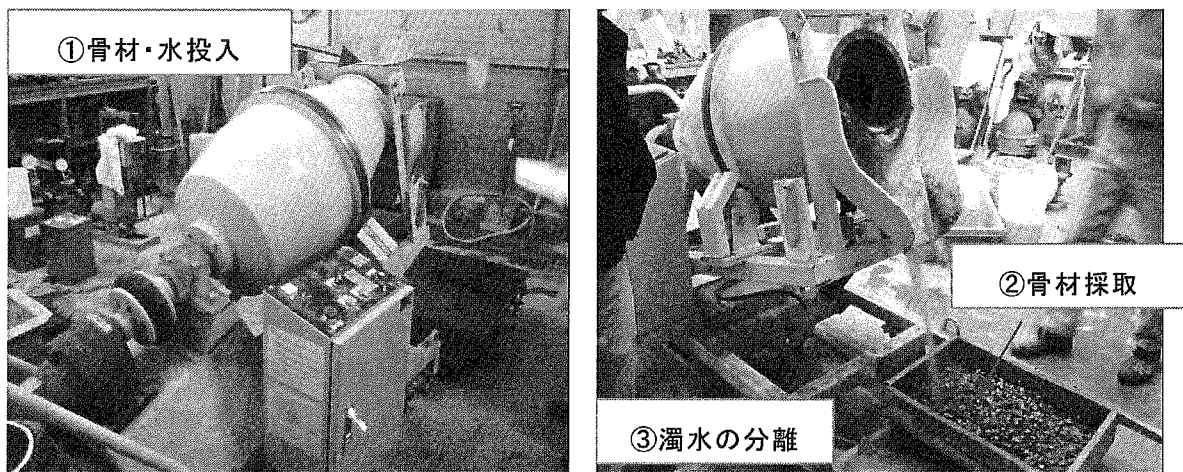


写真 2-5 アジテータ車モデルによる実験状況

表 2-17 再生骨材の洗浄効果

試料採取	洗浄前重量(g)	洗浄後重量(g)	微粒分量(g)	微粒分率(%)	規格値(%)	洗浄効果(%)	備考
洗浄前	2550.1	2518.4	31.70	1.243	1.0	-	-
排出初期	1377.55	1376	1.55	0.113	1.0	90.9	総容積の50%で洗浄
排出中期	1388.15	1386.05	2.10	0.151	1.0	87.8	
排出後期	1369.95	1365.9	4.05	0.296	1.0	76.2	
排出初期	1373.1	1368.35	4.75	0.346	1.0	72.2	総容積の75%で洗浄
排出中期	1379.95	1376.2	3.75	0.272	1.0	78.1	
排出後期	1364	1361.3	2.70	0.198	1.0	84.1	
排出初期	1377.75	1375.5	2.25	0.163	1.0	86.9	総容積の100%で洗浄
排出中期	1406.7	1403	3.70	0.263	1.0	78.8	
排出後期	1376.25	1371.35	4.90	0.356	1.0	71.4	

70～90%の骨材洗浄効果があること、骨材の微粒分付着量が規格値 1.0%未満に適合しており、ポーラスコンクリート用粗骨材としての利用に問題ないことが確認された。、微粒分の付着量も規格値を満足した。試料採取時期（排出初期～後期）によってパラツキは見られるが、全て所定の品質は満足した。また、骨材洗浄量の多少が洗浄効果に与える影響も小さいことが確認された。

このモデル実験の効果を確認するため、実機実験を行った。実験状況を写真 2-6 に、実験結果を表 2-18 に示す

【アジテータ車による実機実験】

- ・材料 再生骨材（4010）：水＝4m<sup>3</sup>：4m<sup>3</sup>
- ・ドラム回転 投入時は低回転、洗浄時は高速回転（6秒／回転）
- ・洗浄時間 5分間
- ・骨材採取 スケルトンバケットに5mmメッシュを取り付けて水切り

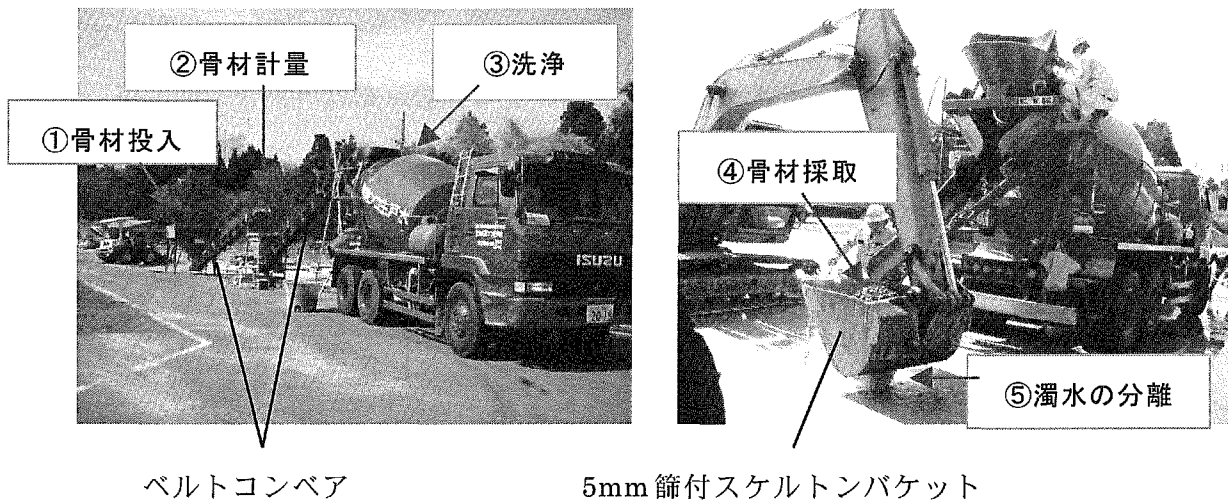


写真 2-6 アジテータ車による実機試験状況

表 2-18 アジテータ車による実機試験結果

試料採取	洗浄前重量(g)	洗浄後重量(g)	微粒分量(g)	微粒分率(%)	規格値(%)	洗浄効果(%)
洗浄前	1957.11	1936.68	20.43	1.044	1.0	-
排出初期	2124.00	2115.42	8.58	0.404	1.0	61.3
排出中期	2744.74	2742.44	2.30	0.084	1.0	92.0
排出後期	2960.05	2957.87	2.18	0.074	1.0	92.9

実験試験でも 60～90% の高い骨材洗浄効果があること、骨材の微粒分付着量が規格値 1.0% 未満に適合しており、ポーラスコンクリート用粗骨材としての利用に問題ないことが確認された。よって、再生骨材の洗浄方法として、アジテータ車を利用可能であることが明らかとなった。

### 2.8.3 混練

混練にはステージミキシングを採用した。セメントペーストは生コンクリートプラントにて製造（混和剤 A を混合）し、アジテータ車によって打設現場まで搬送した。配合を表 2-19 に示す。空隙率は 25% を目標とした。W/C は、強度に与える影響を評価するため 2 水準とした。打設現場においてセメントペーストのフロー値を確認した後、計量ホッパーにて再生骨材を計量し、ベルトコンベアでアジテータ車に投入した。低速で攪拌しながら徐々に混和剤 B を投入し、投入終了後に高速攪拌によるミキシングを行った。

排出時に骨材の粒度に偏りが見られたため、強度試験用の供試体は排出の前半、後半の 2 回に分けて採取した。モールドは  $\phi 150 \times 300$  を用い、打込みは所定空隙（25%）になる量のポーラスコンクリートを計量し、これを突き棒により締固めた。骨材投入前のセメントペーストをアジテータ車からサンプリングし、フロー試験による品質管理を行った。

表 2-19 配合

種別	W/C (%)	空隙率 (%)	粗骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )			A 剤	B 剤
				水	セメント	粗骨材		
配合①	30.0	25	59	76	253	1394	1.5	1.5
配合②	28.5	25	59	74	259	1394	1.5	1.5

骨材の投入および混練に関しては良好な作業性を確認できたが、アジテータ車からの排出において、初期に比較的大きな粒径の骨材が排出され、徐々に粒径が小さくなっていく傾向がみられた。

圧縮強度試験の結果を表 2-20 に示す。W/C が 30%である配合①は、供試体製作時にペーストの粘性不足による若干のダレが観察された。また、排出時の骨材粒度の偏向に影響を受けたと思われる強度のバラツキがみられた。

一方、W/C が 28.5%である配合②のペーストは良好な粘性を示し、供試体にダレも認められず、圧縮強度も河川護岸に用いるポーラスコンクリートの指針とされる  $10\text{N/mm}^2$  を満足した。また、排出時の骨材粒度の偏りも、強度には影響を及ぼさない結果となった。

また、「ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き」<sup>4)</sup>に準じて実施した空隙率測定結果を表 2-21 に示す。目標空隙（25%）に比べ若干小さな値となっているが、植性を重視した護岸タイプに必要とされる 21%は満足していた。

表 2-20 圧縮強度試験結果

種 別		材齡 (day)	圧 縮 強 度 ( $\text{N/mm}^2$ )					平均
			1	2	3	4	5	
配合①	前半	28	8.62	8.32	9.10	8.59	9.46	8.8
	後半	28	9.68	9.59	9.50	10.50	10.45	9.9
配合②	前半	28	10.71	10.04	10.09	10.61	10.19	10.3
	後半	28	10.71	10.00	10.19	9.81	10.38	10.2

表 2-21 圧縮強度試験結果

種 別		容積 (cc)	気乾質量 (g)	水中質量 (g)	全空隙率 (%)
配合①	前半	4539	7994	4490	22.8
	後半	4529	7866	4320	21.7
配合②	前半	4541	7904	4403	22.9
	後半	4529	8136	4590	21.7

## 2.8.4 細粒分の植栽基盤への利用

### i) コンクリート細粒分を混合した土壌の比較

骨材として利用することが困難な細粒分（0-5m）の利用方法として、通気性や排水性の改善を目的とした土壌改良材に用いることを検討した。しかしながら、コンクリート細粒分は表面積が大きいため、アルカリや六価クロムの溶出が顕著となる。よって、実験では各種土壌とコンクリート細粒分を1：1で混合し、六価クロム・pH・電気伝導度（以下、EC）の溶出量の把握を試みた。試験区を表 2-22 に示す。また、六価クロムの還元化には土壌中の微生物の関与も想定されたため、オートクレーブによる滅菌を実施しない試験区をA～Dとし、実施した試験区をE～Gとして比較した。

表 2-22 試験区および土壌の化学性

試験区	A	B	C	D	E	F	G	H
配合土	林床土	バーク堆肥	ゼオライト	黒土	A-林床土	A-バーク堆肥	A-黒土	コンクリート
pH	8.27	8.16	7.72	7.27	8.3	8.23	7.58	8.82
EC	316	1207	422	428	446	367	1215	468
Cr <sup>6+</sup>	0.018	0.020	0.018	0.011	0.016	0.013	0.010	0.042

六価クロム溶出の実験結果を図 2-15 に示す。黒土が最も効果が高く、溶出低減効果は約 50%程度あった。また、オートクレーブをした試験区でもその効果は変わらないか、むしろ増加傾向にある。よって、還元化・吸着の効果は微生物の存在よりも、他の要因（火山灰土に特有な粘土鉱物への吸着や有機物の酸化に伴うクロムの還元化など）の影響が強いものと考えられる。

pH の実験結果を図 2-16 に示す。黒土が最も pH の低減効果が高い。溶出した Ca が土壌に吸着されることによって、H<sup>+</sup>が放出され、溶液中の OH<sup>-</sup>が中和されたためと考えられる。

EC の実験結果を図 2-17 に示す。バーク堆肥が高いが、植物生育を阻害されるといわれる 2000  $\mu$  S/cm は超えていない。他の試験区は植生基盤としての正常な値を示している。

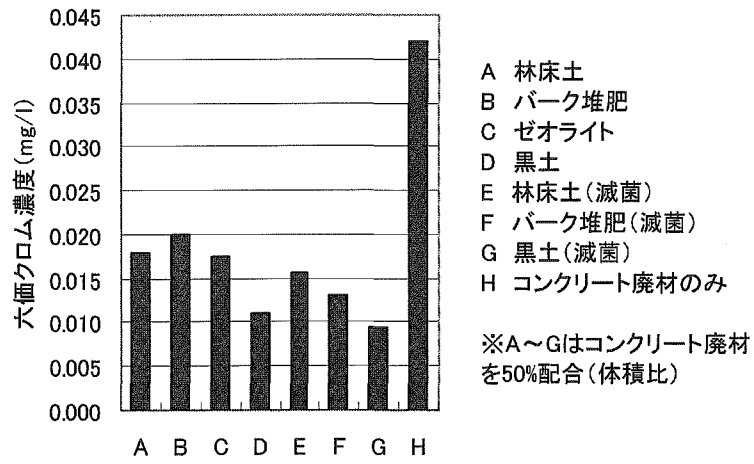


図 2-15 混合土の六価クロム溶出

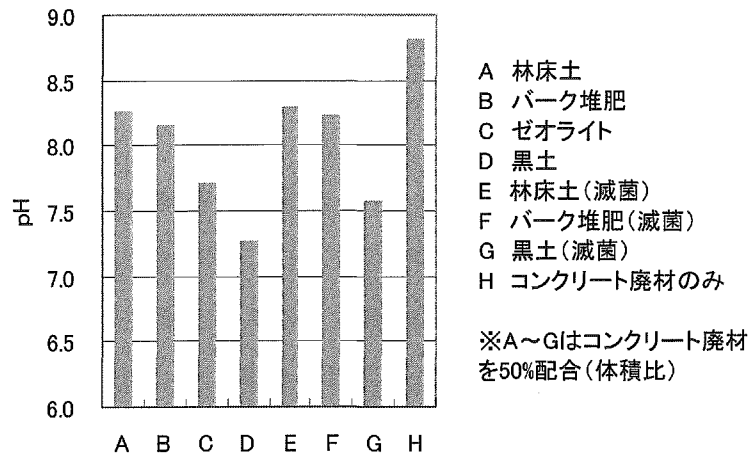


図 2-16 混合土の pH

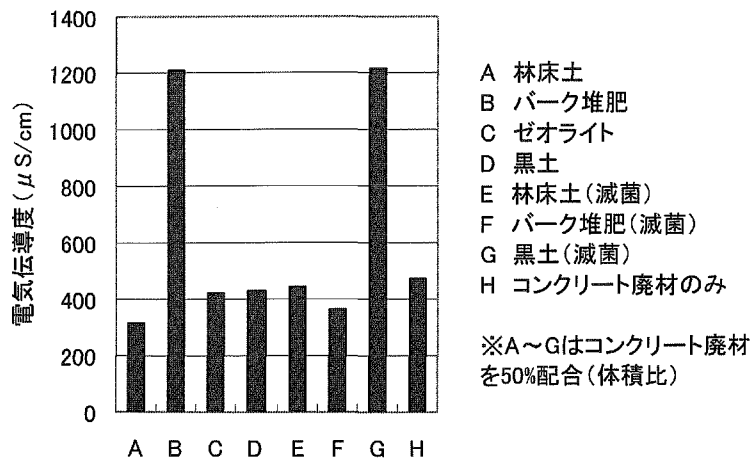


図 2-17 混合土の EC



ii)黒土混合土の溶出水の経時変化

i)の試験において、もっとも六価クロムや pH の抑制効果の高かった黒土とコンクリート細粒分の混合土について、リーチングによる溶出水の経時変化を比較した。試験区を表 2-23、供試体を図 2-18 に示す。測定項目は六価クロム・pH・EC とした。

表 2-23 試験区

試験区	A	B	C	D
黒土(%)	40	60	80	0
コンクリート細粒分(%)	60	40	20	100

※配合割合は体積比

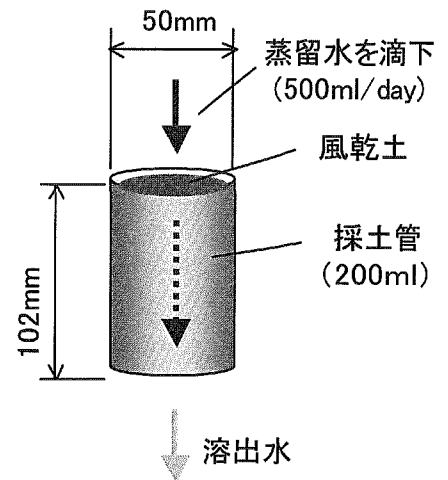


図 2-18 供試体

溶出液中の六価クロム濃度の経時変化を図 2-19, 溶出液の EC の経時変化を図 2-20, 溶出液の pH の経時変化を図 2-21 に示す。六価クロムの初期溶出量が土壤環境基準を超えている。EC については全域をとおして、植物生育基盤として利用できる範囲である。pH はやや高い傾向にあるが、植物生育基盤として利用できる範囲である。

初期の六価クロムの溶出濃度が高いが、時間を経て安定化してくるので、実際に適用する場合は、配合量が 20% 未満にする、コンクリート廃材を事前に洗い流すなどの対応が必要になる。

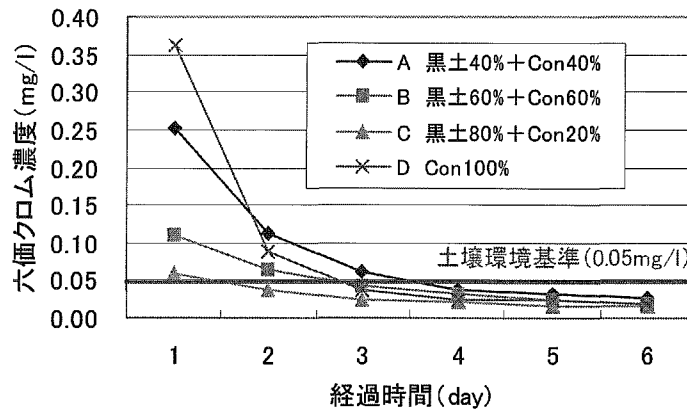


図 2-19 溶出液中の六価クロム濃度の経時変化

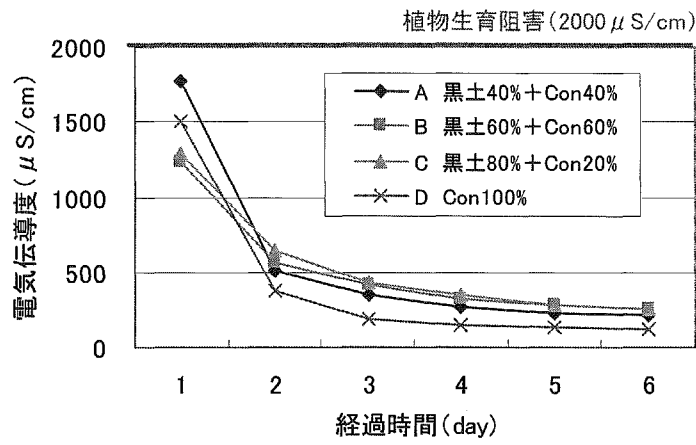


図 2-20 溶出液の EC の経時変化

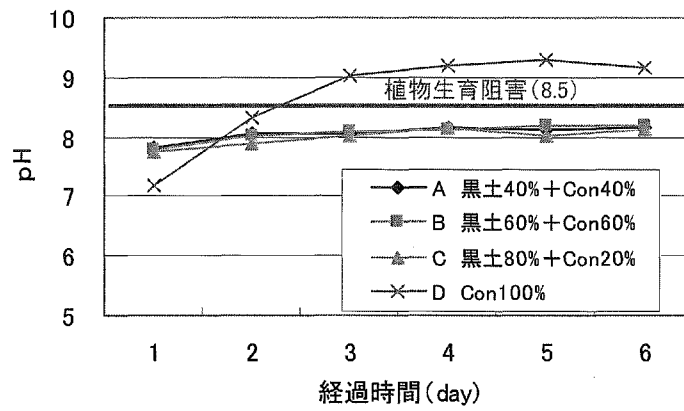


図 2-21 溶出液の pH の経時変化

### 第3章 施工方法

#### 3.1 現場打設法

##### 3.1.1 背景

POCの施工方法は現場打設と2次製品ブロック敷設の2つに大きく分類される。現場打設にはバックホウを用いた施工が多いが、投入・敷均し・締固めをバケットにより行うため、締固め強度のバラツキや不陸が形成されるなど、施工精度に課題があった。また、投入に時間を要するため、長大法面では適用が困難であった。

このため、環境配慮型POC工法(図3-1)では投入・敷均し・締固めを専用の施工機械で行い、施工効率と施工精度の向上を図った。

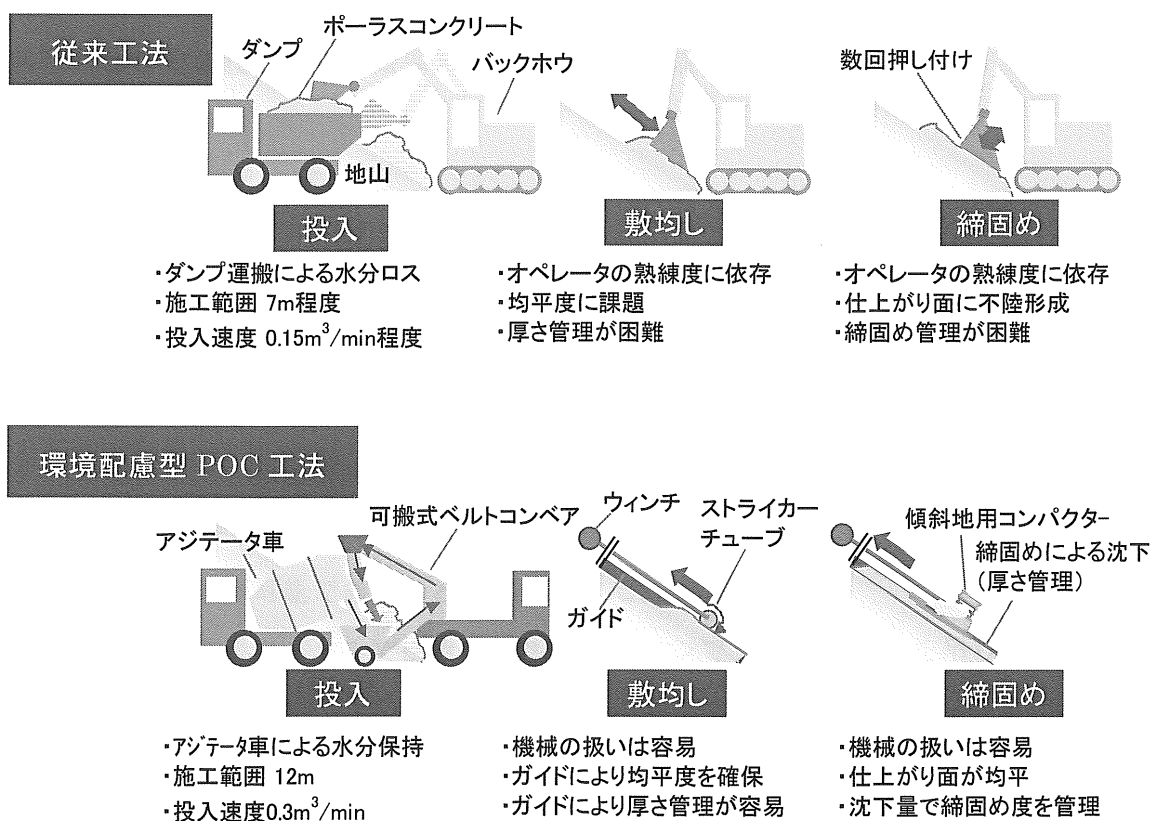


図 3-1 環境配慮型 POC 工法の概要

### 3.1.2 投入

POC 投入は碎石場で用いられる可搬式ベルトコンベアを用いた（写真 3-1）。連続投入が可能になるため、施工速度は従来工法の 2 倍（0.3m<sup>3</sup>/min）となった。また伸縮可能なブームにより、施工範囲は 12m であることが確認された。

### 3.1.3 敷き均し

従来工法では敷き均しの管理は行わず、バックホウのオペレータが目視によって判断していた。このため、オペレータの熟練度によって厚さや均平度にばらつきができ、仕上がり面の凹凸形成や強度のばらつきに強い影響を与えた。本工法では、舗装工事で用いられるストライカーチューブと一定高さで固定したガイドを導入することによって、敷き均しの厚さや不陸の管理を行った（写真 3-2）。なお、実験により、締固め終了後に所定の仕上り厚を確保するためには、余盛を仕上り厚の 1 割とする必要があることがわかった。

### 3.1.4 締固め

舗装工事などで用いられるコンパクターに 1m×1.5m のプレートを取り付け、法面上部に設置したウィンチにより引き上げながら締固めを行った（写真 3-3）。コンパクターの姿勢は重心位置を無線コントローラーで制御した。敷き均し厚を 1 割増しにすることで、所定仕上り高を確保することが確認された。15m の長大法面でも誤差 1cm の精度で締固めが可能であることが確認された。

しかしながら、ウィンチで引き上げ後はクレーンでコンパクターを吊り上げて法面下部まで移動しなければならず、少なからず作業効率の低下を招いた。自走で法面下部まで移動できるような仕組みの開発が必要と思われる。

可搬式ベルトコンベア

アジテータ車



写真 3-1 投入

ガイド

ストライカーチューブ



写真 3-2 敷き均し

コンパクター



写真 3-3 締固め

### 3.1.5 土壌充填

黒ボク土：水＝1：1をソイルシーダで混合し、スラリー化した土壌をかけ流して充填を行った。Jロート試験により、流下時間11秒以下であること確認した。

### 3.1.6 覆土

土壌と堆肥を混合した表層基盤材をソイルシーダでミキシングする。この際、早期に緑被することを目的とする場合は種子を配合し、周辺からの種子散布による植生を期待する場合は種子配合を行わない。圧送された基盤材をポーラスコンクリート表面に3cm前後吹き付ける。POC面に垂直に近い角度で吹き付けるようにし、充填土壌と境界面ができないように注意する必要がある。

## 3.2 パネル敷設法

### 3.2.1 工法概要

水路幅が数m規模の場合は現場打設の施工効率が悪く、コンクリート2次製品のU字溝などを用いることが多い。しかしながら、緑化を目的としたPOCの2次製品ではU字溝型の販売はないため、POCパネルを用いた施工法を考案した。斜部をPOCパネルとし、底部はコストが低い現場打設を採用し、施工コストの縮減を図った。準備時間を除く実施工時間は約80m<sup>2</sup>/dayであった。施工手順を写真3-4に示す。

### 3.2.2 凍上防止層に対する検討

寒冷地の水路には碎石を用いた凍上防止層を設けるのが一般的である。しかしながら、プレート状の2次製品であるPOCパネルや現場打設のPOCにおいては、碎石による凍上防止層を設けることは困難である。そこで、断熱材（EPSパネル）をPOCプレートの下部に敷設し、地山の温度低下を防ぐことを試みた。

実験は4.2で実験を行った岩手県胆沢郡胆沢町の排水路とし、温度計測位置を図3-2

に、計測結果を図 3-3、3-4 に示す。

外気が急激に氷点下になった場合でも、EPS 下部は地中温度に近い値を示すことが確認された。このため、日変動よりも月変動のレンジでの温度変化の影響が大きい、最も低温になる 1 月下旬～3 月上旬にかけても、地中温度は 3℃ 以上を維持しており、地盤が凍結することはなかった。また、水の入熱がある下部の方が、若干温度が高い傾向が見られた。



写真 3-4 施工手順

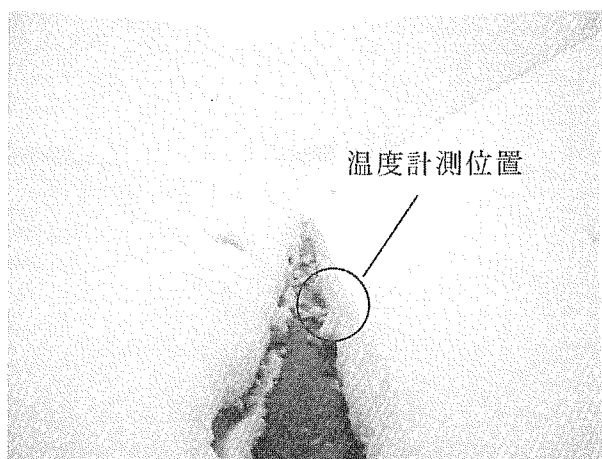


写真 3-5 水路状況(2005.1)

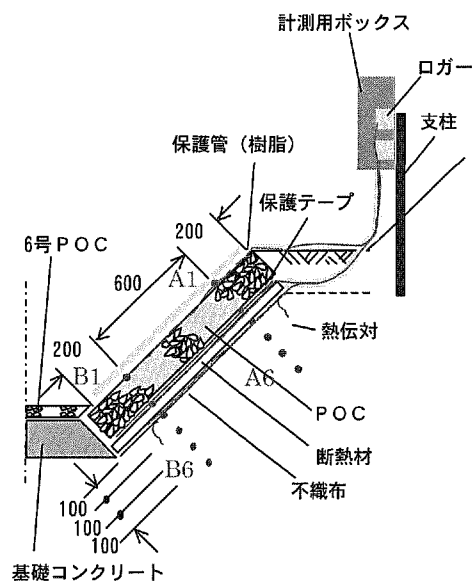


図 3-2 温度計測位置

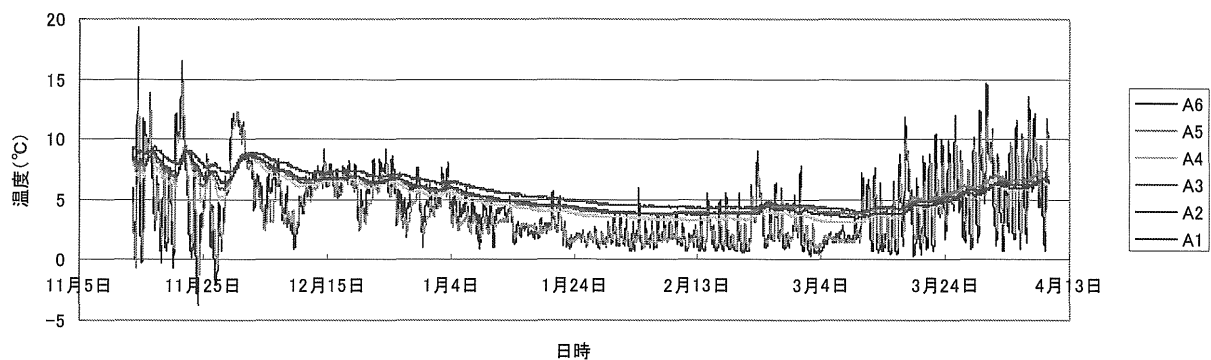


図 3-3 温度計測結果 (上部)

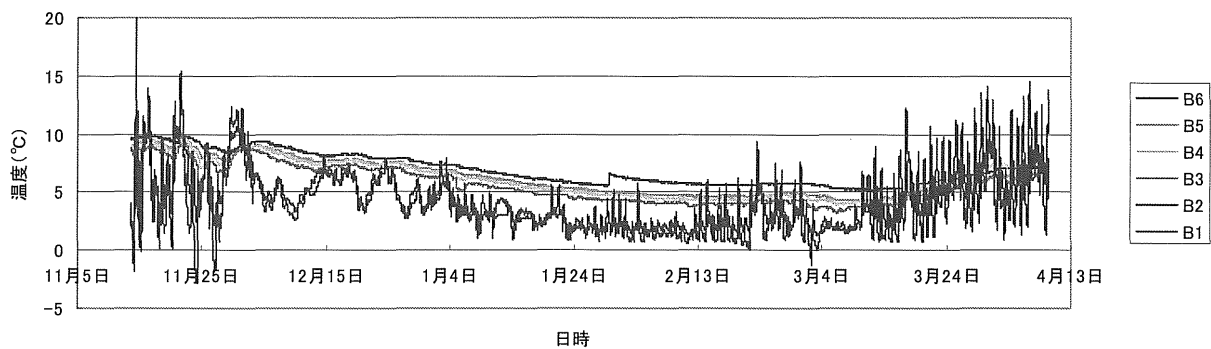


図 3-4 温度計測結果 (下部)



## 第4章 室内試験による植物生育特性の検証

### 4.1 試験方法

#### 4.1.1 試験条件

供試体を図 4-1, 試験条件を表 4-1 に示す。POC の配合および仕様は 2.7.2 に準じた。試験結果は, 供試体 3 反復の測定データの平均値より求めた。

供試体 A は POC 空隙への充填は行わず, 供試体 B は風乾状態の粒状ピートモス(1mm 篩通過)を充填材とし, 供試体 C は水でスラリー状にした黒土を充填材として用いた。充填材量は空隙体積と等しい量としたが, 粒状ピートモス, 黒土共に良好な充填性を示した (写真 4-1)。また, 供試体 D は対照区として黒土のみを用いた。

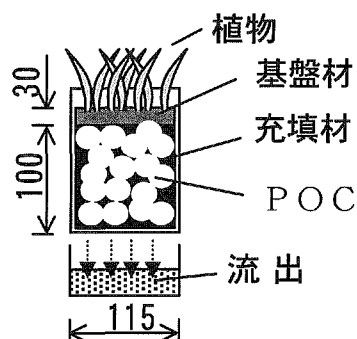


図 4-1 供試体

表 4-1 試験条件

試験期間	1ヶ月	
湿度(%)	70	
照度 (lx)	14hr	18000
	10hr	0
温度 (°C)	14hr	25.0
	10hr	18.0
POC	環境配慮型POC	
充填材	A	—
	B	粒状ピートモス
	C	黒土
	D	黒土(POCなし)
基盤材	パーク堆肥	
植物 (播種量)	クリーピングレット フesk(0.005g/cm <sup>2</sup> )	
基盤材肥料 (施肥量)	化成肥料8-8-8 (2.5g/L)	

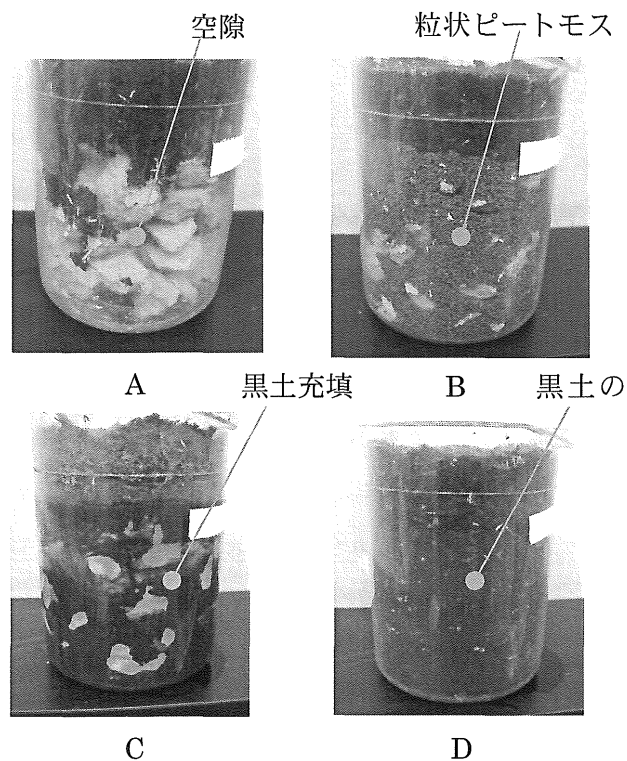


写真 4-1 充填状況

#### 4.1.2 植物試験方法および分析方法

試験期間は1か月間とし、生育環境は人工気象室内で湿度・照度・温度を管理し、水管理は植物の萎れなどから灌水時期を判断し、底面から約200mL流出するまで灌水した。植物の生育条件を一定とするための灌水方法は様々検討されているが、本研究では、POCの植栽基盤利用に関する化学性の検討を行うため、保水性や排水性などの物理性の影響が極力小さくなるような管理を目的とし、萎れを灌水時期の指標とした。

土壌に関する化学分析は、試験前に基盤材と充填材のCEC（陽イオン交換容量）をショーレンベルガー法、交換性陽イオンを酢酸アンモニウム液抽出ーフレイム原子吸光法、pHをガラス電極法、EC（電気伝導度）を白金電極法で測定した。試験中は、基盤材と流出水のpHをガラス電極法により測定した。また、試験後は、交換性陽イオン、pH、ECを実験前と同様の測定法で測定した。

試験中に灌水量と供試体重量を測定し、生育量の目安としての蒸発散量を求めた。試験終了後は、刈り取った茎葉部を90℃で48時間炉乾燥し、乾燥重量を計量するこ

とで植物の生育量を得た。

## 4.2 試験結果

### 4.2.1 土壌のアルカリ緩衝性

POC を植物の生育基盤として用いる場合は、コンクリートから溶出する  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  による pH の上昇が問題となる。一般に、pH が 9 を超えるような土壌では、植物に Fe, Mn などの微量元素の吸収阻害が起きる可能性があるためである。

粘土や腐植などは、pH の急激な変化を抑止する緩衝性をもつ。この緩衝性は、陰イオン交換や微生物活動によるものもあるが、主に以下のような陽イオンの交換によるものと考えられる。



陽イオンと結合していない土壌交換基は、主に水素イオンによって満たされているため、土壌交換基が陽イオンにより飽和しない状態では pH の低減効果があると考えられる。また、この土壌交換基の大きさを示すものが CEC (交換性陽イオン交換容量) である。

試験後の土壌の化学的性質を表 4-2 に示す。基盤材に pH の上昇は見られなかった。また、CaO の増加は POC 試験区の対照区となる D においても一律に認められるため、CaO の由来は肥料分からの溶出など、POC 以外のものと考えられる。充填材には pH の上昇が認められたが、その値は pH7 以下であり、植物の生育環境としては良好なものであった。

流出水 pH の経時変化を図 4-2 に示す。pH の緩やかな上昇傾向がみられたが、対照区 D も同様であり、POC からのアルカリ溶出量の増大や緩衝能力低下の影響とは考えにくい。しかしながら、全体的に対照区 D に対し POC を用いた供試体では pH が高く、アルカリ溶出の影響がみられた。また、C の充填材において塩基飽和度は 7.3 から 61.4 に上昇しており、この傾向が続いた場合は塩基飽和によって、アルカリの緩衝性が減少することが考えられる。

表 4-2 土壌の化学的性質

土壌種	分析項目※	試験前	試験後			
			A	B	C	D
基盤材 (ハーク堆肥)	pH(H <sub>2</sub> O)	7.3	7.0	6.8	6.9	7.0
	EC	2.47	1.76	1.82	2.44	1.55
	CaO	36.3	45.9	44.4	44.5	48.3
	MgO	20.1	21.3	20.1	20.7	20.3
	K <sub>2</sub> O	24.5	12.3	10.4	12.0	10.2
	Na <sub>2</sub> O	4.6	5.2	3.9	5.4	3.4
	CEC	83.6				
	塩基飽和度	102.3	101.3	94.3	98.8	98.3
充填材 (黒土)	pH(H <sub>2</sub> O)	5.3	—	—	6.4	5.5
	EC	0.12	—	—	0.44	0.19
	CaO	2.1	—	—	16.8	2.7
	MgO	0.3	—	—	1.2	0.6
	K <sub>2</sub> O	0.1	—	—	2.4	0.6
	Na <sub>2</sub> O	0.1	—	—	1.4	0.3
	CEC	35.5				
	塩基飽和度	7.3	—	—	61.4	11.8
充填材 (ピートモス)	pH(H <sub>2</sub> O)	5.7	—	6.7	—	—
	EC	1.08	—	0.39	—	—
	CaO	12.7	—	23.8	—	—
	MgO	6.8	—	6.0	—	—
	K <sub>2</sub> O	2.0	—	3.4	—	—
	Na <sub>2</sub> O	5.2	—	2.7	—	—
	CEC	52.8				
	塩基飽和度	50.6	—	68.0	—	—

※各分析項目の単位: EC(dS/m), CaO(cmol(+)/kg), MgO(cmol(+)/kg), K<sub>2</sub>O(cmol(+)/kg), Na<sub>2</sub>O(cmol(+)/kg), CEC(cmol(+)/kg), 塩基飽和度(%)

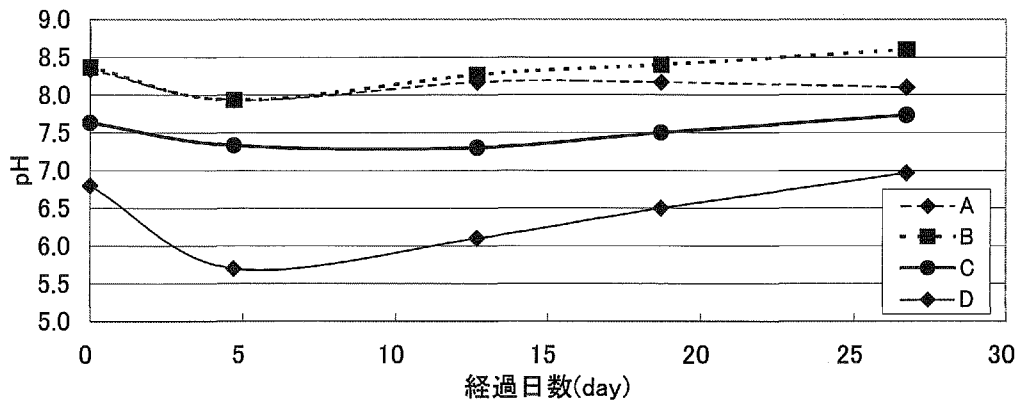


図 4-2 流出水 pH の経時変化

よって、土壌の緩衝性を維持するためには、コンクリートからのアルカリ溶出速度と植物による吸収や降雨による溶脱が、塩基飽和する前に平衡に達する必要がある。土壌に必要とされる CEC 量は、この平衡時のアルカリ量を上回ることであり、今後さらに検討する必要がある。

#### 4.2.2 土壌の塩基バランス

土壌の塩基組成を表 4-3 に示す。前述のように、土壌は POC から溶出するカルシウム分などの塩基を吸着する働きがあるが、土壌中の塩基バランスに大きな偏りが出た場合、相対的に過少となる塩類の吸収率が落ち、植物の生育に影響を及ぼす可能性がある。このバランスは対象とする植物によって異なるので一概には目安を設定できないが、日本の一般的な耕地土壌の交換性塩基の割合は、CaO:Mg:K:Na=69.6:11.1:7.5:11.8 である<sup>12)</sup>。この値と比較すると、カルシウムの増加による塩基バランスの崩れは認められない。基盤材は POC の影響が小さい上に、もともとの塩基含有量が多いためと考えられる。また、充填材については、POC からカルシウムが溶出すると同時に、基盤材からも他の塩基が溶出したことが原因と考えられる。

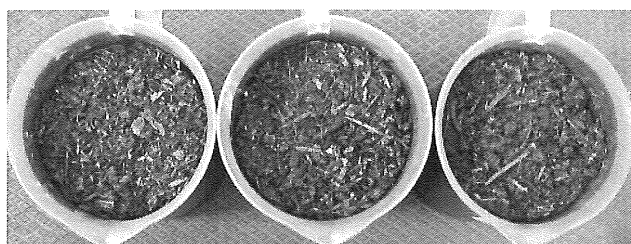
表 4-3 土壌中の塩基組成

土壌種	分析項目*	初期値	A	B	C	D
基盤材 (パーク堆肥)	CaO	37	52	55	52	58
	MgO	15	18	18	17	17
	K <sub>2</sub> O	42	24	22	24	20
	Na <sub>2</sub> O	5	7	5	7	5
充填材 (黒土)	CaO	78	—	—	72	61
	MgO	9	—	—	4	9
	K <sub>2</sub> O	9	—	—	17	21
	Na <sub>2</sub> O	4	—	—	6	9
充填材 (ピートモス)	CaO	47	—	65	—	—
	MgO	18	—	12	—	—
	K <sub>2</sub> O	13	—	16	—	—
	Na <sub>2</sub> O	22	—	8	—	—

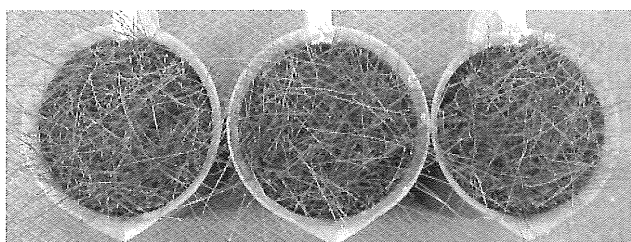
※各分析項目の単位：％  
ただし、CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>Oの重量の和を1とする。

### 4.2.3 植物生育

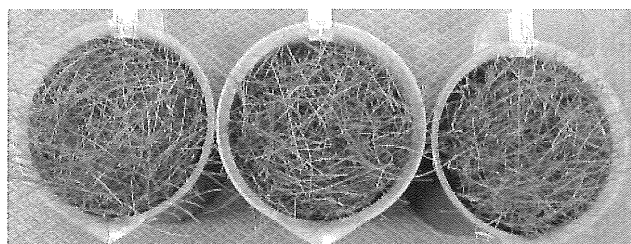
試験終了時の植物生育状況を写真 4-2 に、茎葉部乾燥重量を図 4-3 に示す。POC を用いない対照区 D を 100%とした場合、A=2.2%、B=64.9%、C=62.7%となり、POC 基盤による植物生育量の抑制が認められた。



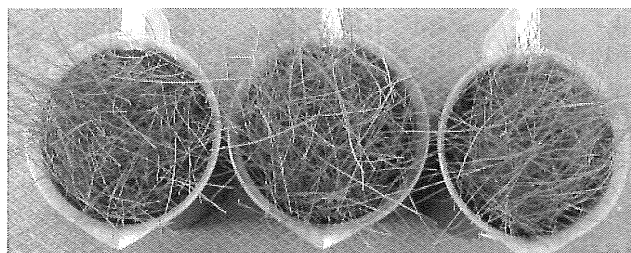
A



B



C



D

写真 4-2 植物生育状況

対照区Dに対してPOCの充填材量は約30%であり、水分保持量が少ないため、過剰な繁茂による蒸散量増大によって急速に水分を失い乾燥化が進むよりも、植物生育量を抑制することで健全な生育をすることの方がむしろ望ましい。また、植物生育量の抑制は、植生管理を必要とする場面においては有利となる可能性がある。

POCに充填材を用いない試験区であるAに植物生育がわずかにしか認められなかったことは、充填材がPOCの植栽基盤としての機能向上に対して有効であることを示す。

ピートモスを充填材として用いたBと黒土を充填材として用いたCは、生育量ではほぼ同等であるが、図4-4の蒸発散量曲線に示すような蒸発散量の違いがみられた。ほぼ植物の生育がなかったAの蒸発散量を、基盤からの蒸発量に近似すると、BとCのそれぞれ蒸散量は、493gと220gとなり、倍近い開きができる。この理由として、粘土やシルトを多く含む黒土と比べてピートモスの粒子間の接触面積が小さいために、毛管水連絡による基盤表面からの蒸発量が小さくなった可能性や、充填材の水分保持ポテンシャルの特性などが考えられるが、本研究では明らかにできなかった。

植物による被覆は、Aがほぼ基盤が剥きだしの状態であるのに対し、B、C、Dではほぼ全面が被覆された。よって、Dに対しB・Cは生長量で60~70%程度であるものの、被覆率には問題がないといえる。

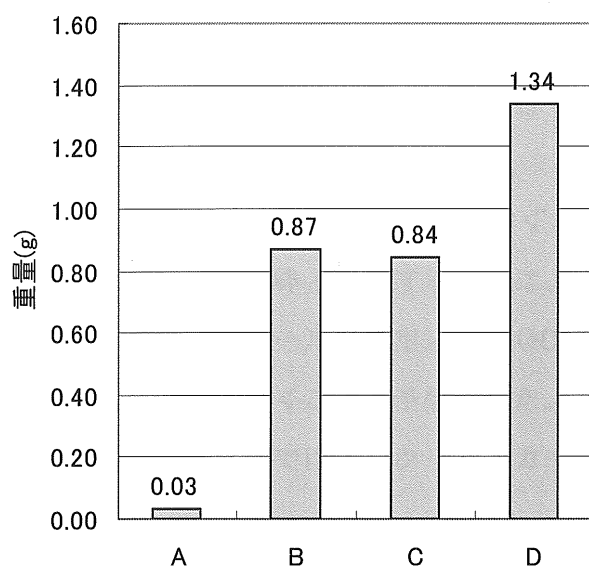


図 4-3 茎葉部乾燥重量

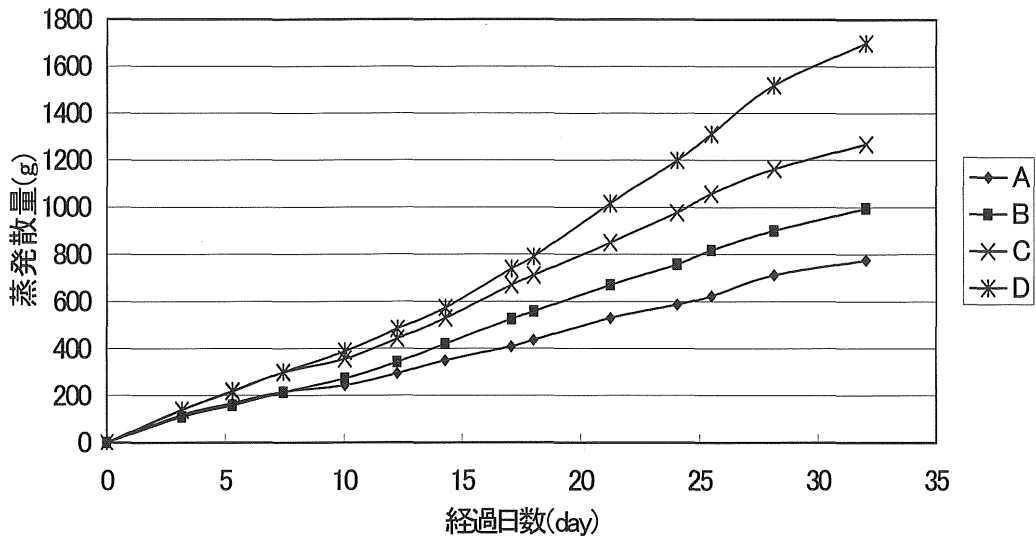


図 4-4 蒸発散量曲線

#### 4.2.4 空隙系による植物生育の抑制効果

POC の粒径径が植物の生育に与える影響を検証するため、粒径の異なる骨材を用いた POC による植物実験を行った。配合および仕様は 2.7.2 に準じ、試験区は 3 号 POC (骨材粒径:20-40mm), 5 号 POC(13-20mm), 6 号 POC(5-13mm), 対照区(黒土のみ)とした。

自然光型人工気象室を用い、昼 25℃ - 夜 18℃ の温度環境でススキとイタチハギを対象とした植物生育実験を行った。灌水は 40mL/day の割合で、週 2 回のペースで行った。供試体を図 4-5、試験状況を写真 4-3 に示す。

POC は、せき板効果による側部からの根の回りこみを防ぐため、コアカットしたものを用いた。せき板効果とは、骨材が型枠と干渉することによって、型枠周辺の空隙が大きくなる現象を指す。このため、モールドを用いた POC 供試体で植物実験を行った場合、根が外縁を中心に伸張していくことが予想された。また、せき板効果は骨材が大きいほど顕著になるため、本試験ではコンクリートカッターでコア抜きした供試体を作製した(写真 4-4, 4-5)。



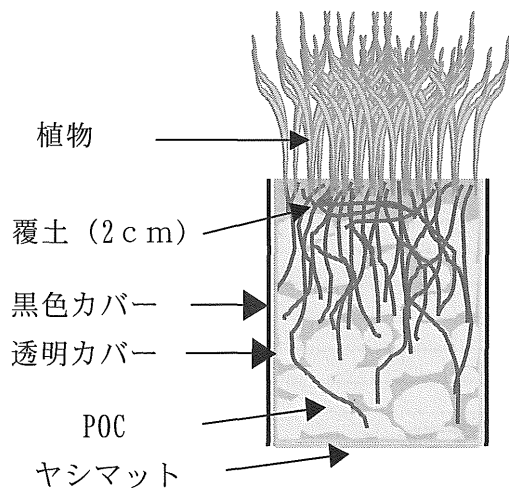


図 4-5 供試体

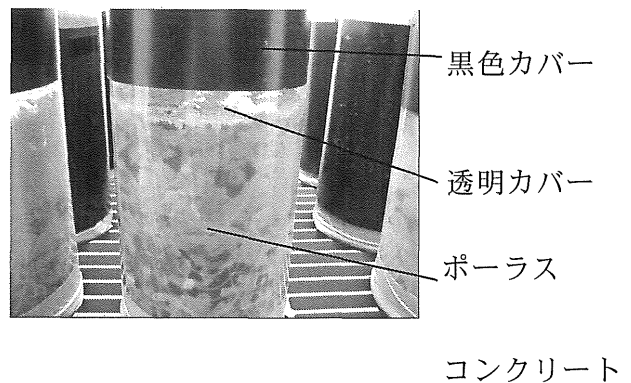


写真 4-3 実験状況

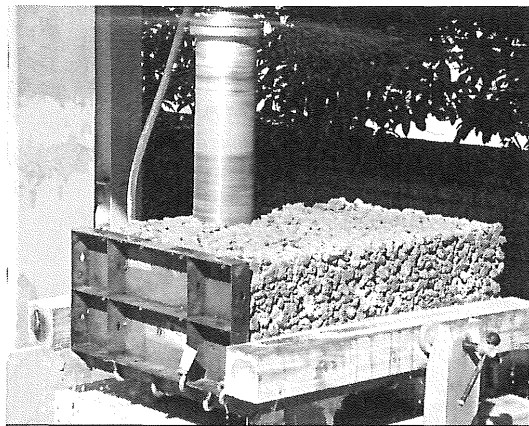


写真 4-4 コアカットの状況

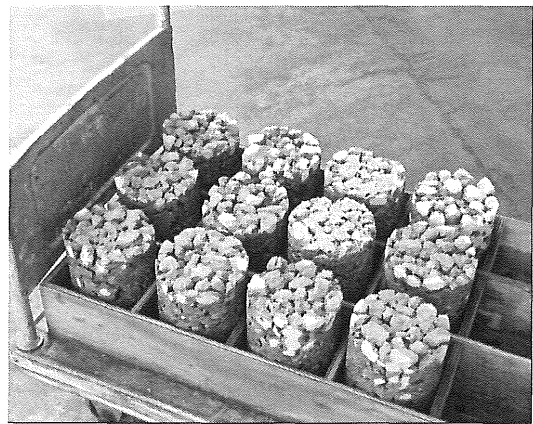


写真 4-5 コアカット供試体

実験の結果を図 4-6, 4-7 に示す。ススキ・イタチハギ共に、空隙径が大きくなるに従って成長量も増加する傾向が見られ、対照区に対し 3 号 POC では 60%程度、5 号 POC は 30~60%程度、6 号 POC では 10~20%の成長量という結果となった。植被率の計測はしていないため目視による判断となるが、6 号 POC の生育が特に悪く、大型の草本や木本の生育には困難な環境であると思われる。このような生育量の差は、①空隙径の大小による物理的な拘束、②空隙内に充填される土壌の充填効率、③POC に根が接触することによるアルカリ阻害などが考えられる。

農業水利施設への適用においては、草刈りなどの管理の関係から植物の繁茂を制限する必要がある場面が想定される。実験結果から、空隙性状をコントロールによって、ある一定の植生制御ができる可能性が見出された。長期的な植生の遷移については今

後のデータが必要と思われる。

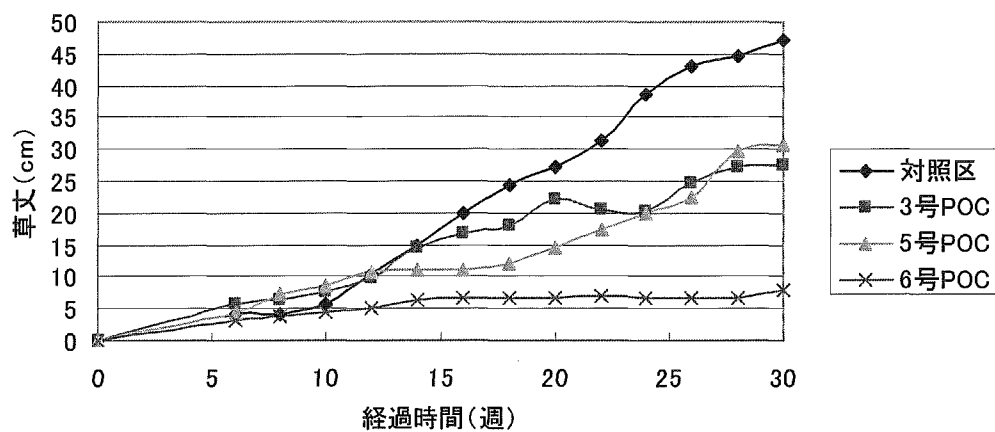


図 4-6 ススキの生育量の経時変化

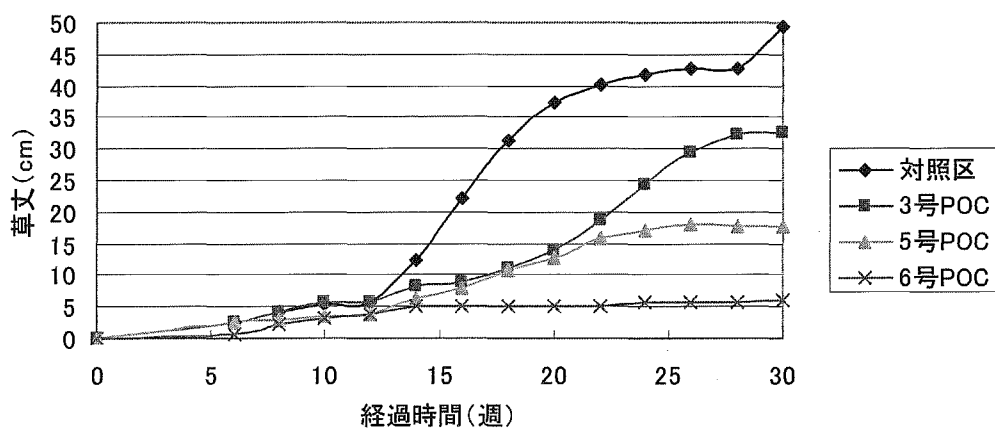


図 4-7 イタチハギの生育量の経時変化

## 第5章 野外実験による生物生息環境の検証

### 5.1 実験水路による検証

#### 5.1.1 目的

植生工を施した POC 水路と鉄筋コンクリート矩形水路（以下，RC 水路）についての動植物調査を行うことによって，両試験水路に形成される生物生息環境の比較を行うことを目的とした。

#### 5.1.2 実験水路仕様および調査方法

試験は茨城県つくば市の農業工学研究所敷地内で行った。水路断面を図 5-1，平面を図 5-2 に示す。2002 年 3 月に POC-G 水路および RC 水路を隣接して構築し，水の供給は 2002 年 5 月から開始した。水は農業用水路から導水したものを同一ポンプで循環させ，蒸発などで減少した分に関しては適宜補給した。各水路は水深 30 cm，流量 0.02 m<sup>3</sup>/s の一定としたが，断面形状が異なるため，流速は POC-G 水路が 0.15 m/s，RC 水路が 0.04 m/s であった。POC-G 水路と地盤の境界には，保水性不織布と漏水防止の遮水シートを底面より 50 cm の高さの範囲で敷設した。POC は骨材粒径 20～40 mm，空隙率 25%，圧縮強度 10 N/mm<sup>2</sup> 以上であった。空隙には混合してスラリー化させた黒ボク土を充填し，法面にはトールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb)，ベントグラス (*Agrostis palustris* Huds)，クリーピングレッドフェスク (*Festuca rubra*.L.var.genuina Hack) の種子を配合したバーク堆肥を厚さ 3 cm の表層基盤として吹き付けた。

通水後，底部には表層基盤や充填材に由来する泥分や，落ち葉や藻類などの植物遺骸によって，厚さ 0.5～1 cm 程度の底泥層が形成された。RC 水路には，落ち葉や藻類などの植物遺骸に由来する厚さ 0.1 cm 程度の底泥層が形成された。

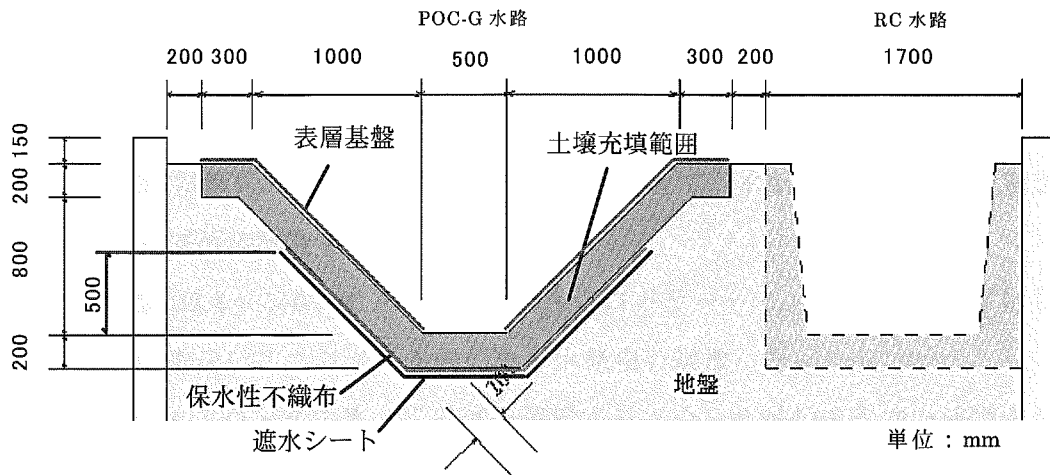


図 5-1 水路断面図

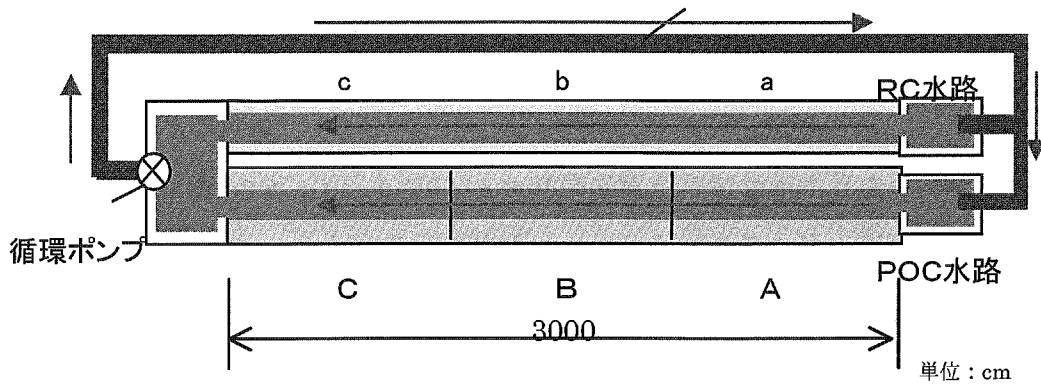


図 5-2 水路平面図

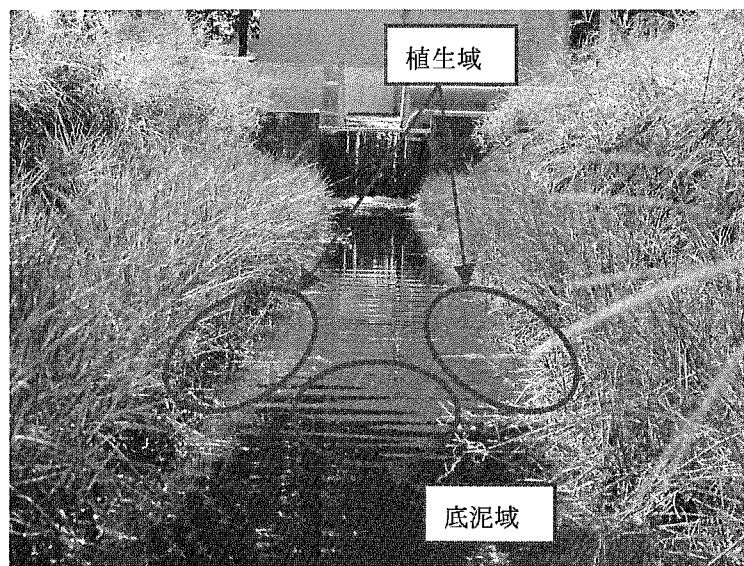


写真 5-1 生物調査位置

RC水路の水生昆虫の調査地点は、上流(試験区:a)、中流(試験区:b)、下流(試験区:c)の3箇所の中流部とした。POC水路はRC水路と異なり、水際部に植生が形成されているため(写真5-1)、生物相に違いが見られた。よって、上流(試験区:A)、中流(試験区:B)、下流(試験区:C)の中流部(底泥域)に加えて、水際部(植生域)も調査対象とし、合計6箇所の調査を行った。

調査期間は2002.5~2003.10とし、一ヶ月毎にコドラート(0.1m<sup>2</sup>)を2反復設定し、サーバーネットを用いてコドラート内の全水生昆虫を採取した。

また、植物の生育量と植生管理の程度を把握するため、2種類の草刈方法で水路内の植物を刈り込み、一年間あたりで生育する単位面積あたりの植物重量と作業時間を計測した。

### 5.1.3 結果および考察

#### i) 水生昆虫の生息状況

2002年5月から2003年10月までの18ヶ月間で採取された水生昆虫の平均出現種数を表5-1に示す。また、各生物の出現数には大きな差があるため、出現数の大小で生息環境の嗜好性を直接比較することは困難である。よって、ある試験区において採取された個体数を出現総数で割った値を存在率(%)として算出し、各生物が生息する試験区の傾向を比較した。植生域および底泥域に選択的に生息する代表的な種の存在率を図5-3に示す。

ギンヤンマ(*Anax parthenope julius* Brauer)とアオモンイトトンボ(*Ischnura senegalensis* Rambur)の存在率はPOC-G植生域の総計でそれぞれ78.5%と69.5%であるのに対し、RC水路では4.0%と6.1%と著しく少なかった。これらの生物は水際の植物に産卵するため、試験開始から2ヶ月を経過した時点で草丈20cm前後の植生が成立していたPOC-G水路は、生息環境として好適であったと考えられる。また、孵化した後は植物などにしがみつこうとする生活形態であるため、POC-G水路の中でも特に植生域に生息する個体が多かったと考えられる。

一方、シオカラトンボ(*Orthetrum albistylum speciosum*)は産卵時に水際の植生を必要とせず、また、孵化後も底泥に潜む生活形態であることから、POC-G水路の底泥域に生息する個体の存在率の総計は55.0%と最も多く、RC水路でも16.0%が確認された。同様にホソバトビケラ(*Molanna moesta* Banks)はPOC-G底泥域で56.2%、

RC 水路で 23.3% 確認された。また、営巣や餌となる枝葉の堆積が多い上流ほど存在率も高いことから、ホソバトビケラなどの水生昆虫の生息数は、水際の植生の有無よりも植物遺骸の存在に強く影響を受けると考えられる。

表 5-1 水生昆虫の平均出現種数

和名	学名	POC-G植生域			POC-G底泥域			RC		
		A	B	C	A	B	C	a	b	c
トンボ目	ギンヤンマ <i>Anax panybeus</i>	10	10	11	4	5	2	-	2	1
	ショウジョウトンボ <i>Crocothemis servilia</i>	6	4	4	3	-	3	-	1	-
	シオカラトンボ <i>Orthetrum albistylum</i>	37	20	26	71	37	49	20	16	10
	アオモンイトトンボ <i>Ischnura senegalensis</i>	39	34	34	7	5	11	-	1	5
トビケラ目	ホソバトビケラ <i>Molanna moesta</i>	64	43	54	266	129	47	110	47	26
	ムネカクトビケラ <i>Ecnomus tenellus</i>	49	70	19	20	110	16	1	2	1
	シマトビケラ属の一種 <i>Hydropsyche</i> sp.	1	5	3	4	3	2	3	1	-
カゲロウ目	コカゲロウ属の一種 <i>Baetis</i> sp.	100	76	55	28	62	42	13	50	78
コウチュウ目	ガムシ科の一種 <i>Hydrophilidae</i> gen sp.	1	2	2	1	2	5	1	-	-

※1m<sup>2</sup>あたりの平均出現数

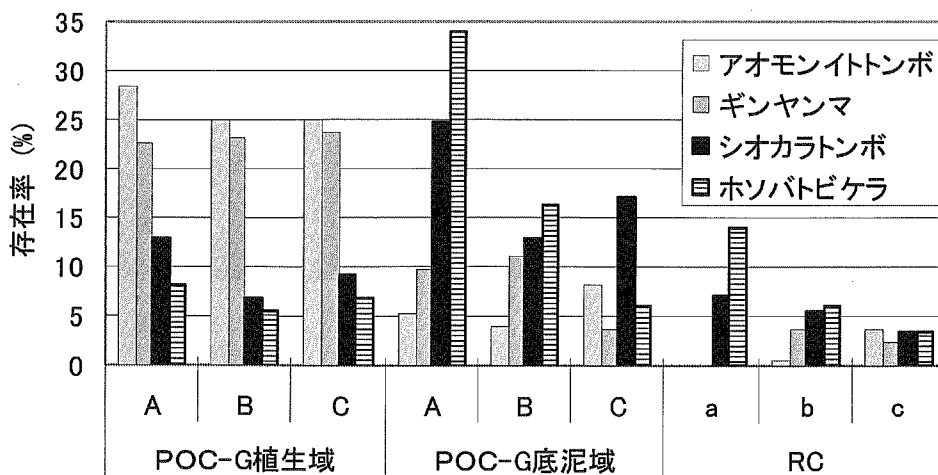


図 5-3 水生昆虫の存在率

生物の個体数や種数だけでなく、生息生物のバランスを評価するため、多様度につ

いても検討を行った。指標は、以下の式で定義される Shannon-Weaver の式を用いた。これは種類数と個体数のバランスを見るもので、各種が平均的に出現している地点が高く、特定の種が卓越している地点は低い値となる。

$$H' = - \sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

ここに、 $n_i$  はある群集での  $i$  番目の種の個体数、 $N$  は総個体数

結果を図 5-4 に示す。多様度指数は POC-G 植生域が高く、RC 水路は低い値を示した。特に、ホソバトビケラが優占する上流部が最も低い値となった。また、時間経過とともに POC-G 水路は植生域と底泥域の全域に渡って多様度指数が向上するのに対し、RC 水路は一部で低下する状況も見られた。このことは、POC-G 水路は試験開始当初から比較的良好な生物生息環境が形成され、時間経過とともにその傾向が強まっていくのに対し、RC 水路は良好な生物生息環境の形成が困難であり、時間経過による改善も期待できないことを示している。

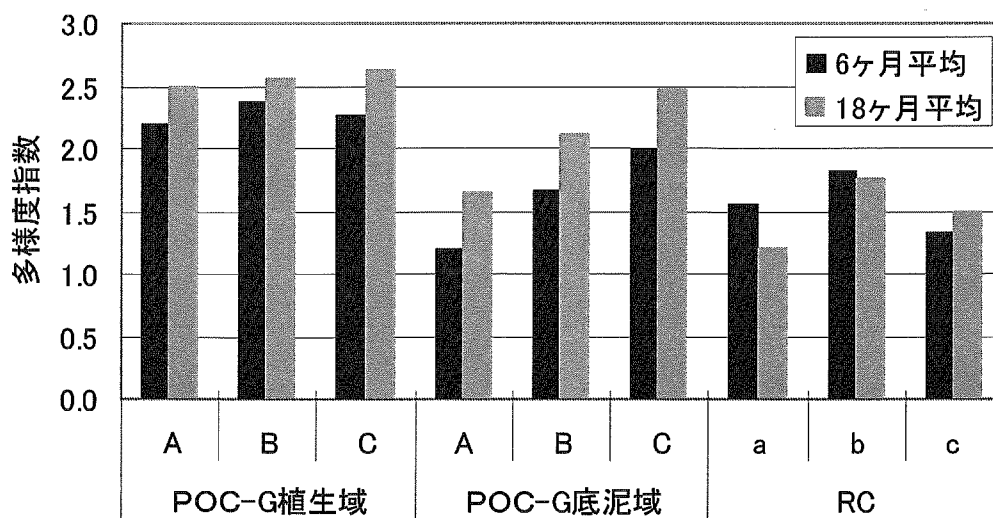


図 5-4 水生昆虫の多様度指数

## ii) 植物の生育量と植生管理

草刈は自動草刈機を用い、法面上部から屈む体勢で作業する場合と、水路内で作業する場合を比較した（表 5.2, 写真 5.2, 5.3）。作業者の負担や作業効率を考慮す

ると、水路内での作業が望ましいという結果となった。また、作業効率  $12.6s/m^2$  は平地での作業効率と遜色なく、多自然型護岸の作業効率としては良好といえる。これは、一般的な多自然型護岸である石組みやブロック護岸と比較し、POCの表面は凹凸が少ないため、草刈機の刃こぼれや足場確保の面で有利であったことが主な原因と考えられる。なお、草刈で生じた植物量は30m水路で約85kg（1回/年）であった。これを水路外に搬出することで、相応の水質浄化効果を期待することも可能である。

表 5.2 草刈手法の比較

	法面上部	水路内
作業時間	$17.3s/m^2$	$12.6s/m^2$
作業条件	法面長さは1mが限界	法面長さは1mが限界
作業姿勢	腰に負担、長時間の作業は困難	容易であるが、水深や流速によっては支障がある
備考	足場の確保が困難	三面張りであるため、足場が良好。水路内へのアプローチがあると便利



写真 5.2 法面上部からの草刈



写真 5.3 水路内からの草刈



## 5.2 圃場水路による検証

### 5.2.1 目的

実際に適用された POC 水路では、砂礫の形成によって定着する生物相に変化が見られた。そこで、砂礫の形成されている箇所を POC-G 水路，形成されていない箇所を POC 水路として比較を行った。また，圃場整備前に存在した既設水路の（素堀水路および RC 水路）についても動植物調査を行い，圃場整備後の調査結果との比較を行った。

### 5.2.2 調査位置および仕様

調査水路は岩手県胆沢郡胆沢町にある排水路で，年間を通して通水がある。水路整備は 2003 年 6 月から 10 月の間に行われた。調査地点の水路構造および周辺状況を表 5-3 に，圃場整備前の状況を写真 5-4 と図 5-5 に示す。

上流は西風堰と呼ばれる素堀水路（調査区：G）で，圃場内の水路とは管渠で接続されていた。圃場整備前は落差が小さかったため，生物の行き来は可能と思われた。また，圃場内は RC 水路（調査区：I-C）と素堀水路（調査区：I-G）が交互に存在していた。

表 5-3 水路構造および周辺状況

名称	構造	水路床	幅(cm)	水深(cm)	周辺状況	
整備前	G	素堀	砂礫	70~130	5~10	林内で暗い
	I-C	RC	堆積物なし	65	5~15	日差しを遮るものはない
	I-G	素堀	泥, 砂礫	50~70	10~25	水路脇に植物が繁茂
整備後	II-P	POC	堆積物なし	50	5~10	日差しを遮るものはない
	II-PG	POC	砂礫	50	5~10	日差しを遮るものはない
	II-C	RC	堆積物なし	60	3~7	日差しを遮るものはない

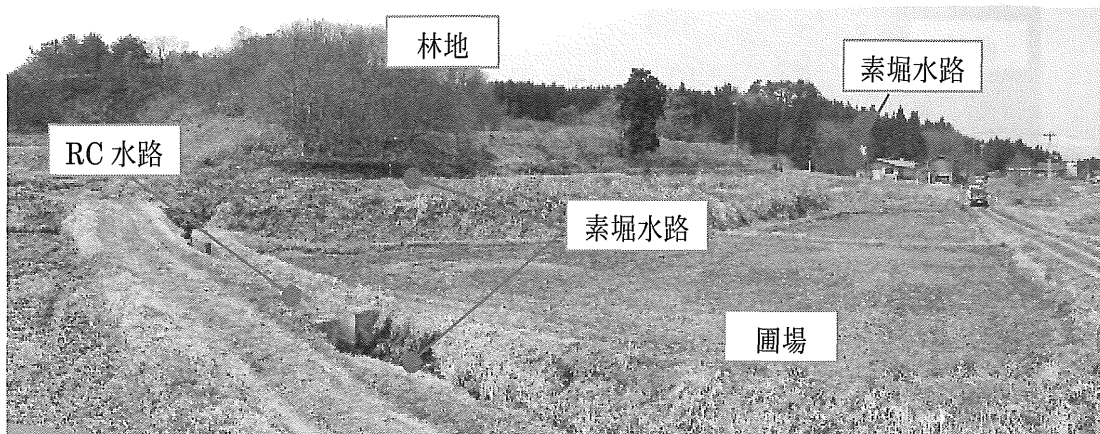


写真 5-4 圃場整備前の状況

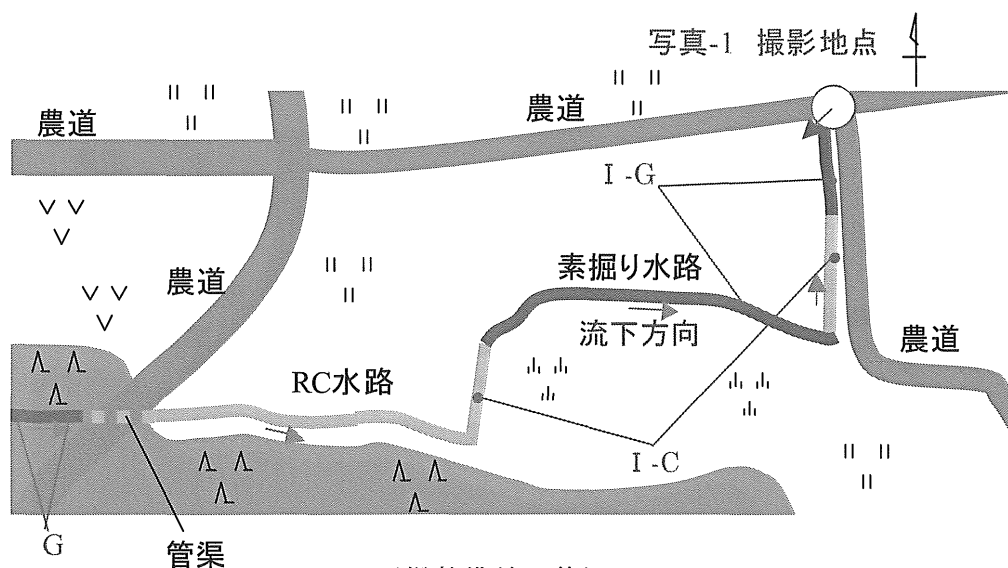


図 5-5 圃場整備前の状況

圃場整備後の状況を写真 5-5 と図 5-6 に示す。圃場整備後も上流の素堀水路（調査区：G）は保存しているが、圃場内の水路との接続は落差のある管渠に変更されたため、生物の遡上は不可能と思われた。圃場整備によって、圃場内には POC 水路（調査区：II-P）と、下流の底面幅・側面高とも 60 cm の RC 水路（調査区：II-C）が構築された。POC 水路と林地の境に大断面の切土が露出し、浸食による土砂の流入が認められた。このため、POC 水路には水路床に堆積する砂礫の有無が明確にあり、これが生物相に与える影響は大きいと考えられた。よって、砂礫が堆積している地点を調査区：II-PG とした。

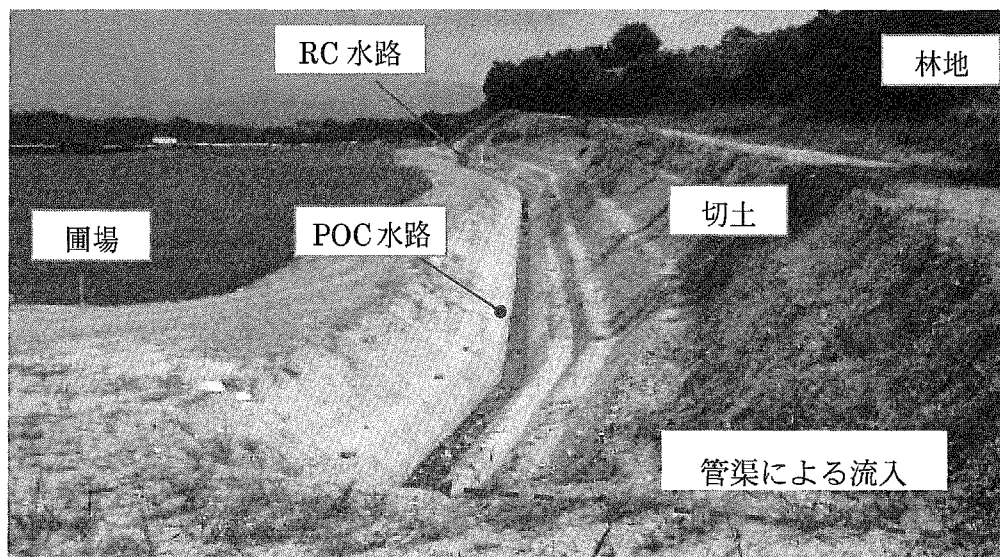


写真 5-5 圃場整備後の状況

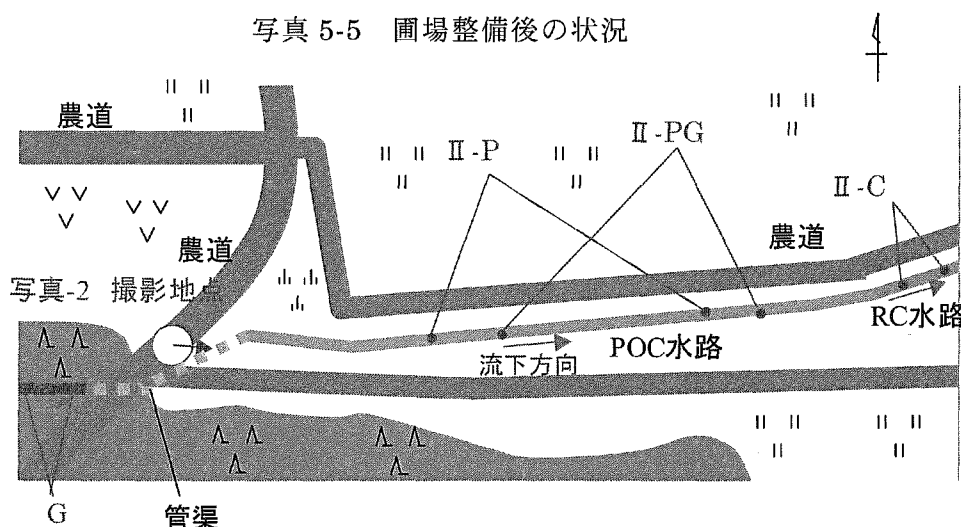


図 5-6 圃場整備後の状況

圃場に導入された POC 水路の断面を図 5-7 に示す。植物の根張りや種子の定着を容易にするため、側面の POC には粒径 20~40 mm の粗骨材を用い、空隙径を大きくした。底面には一般的な POC に用いられる 5~13 mm の粗骨材を用いた。空隙率は 25%、圧縮強度は 10 N/mm<sup>2</sup> 以上とした。早期の緑化を図る場合には POC 内部への土壌充填や表層基盤の吹き付けが有効であるが、本水路では長期的な緑化を目指しているため、工事費全体の 30% 以上を占める植生工を省略することによるコスト縮減を図った。側面の POC の背後には、凍上防止用の 50 mm の透水性発泡ポリスチレンと吸出し防止シートを敷設している。POC 水路延長は 100 m あり、途中 2 箇所にて緩い屈曲を設けている。POC 水路、RC 水路とも、水路勾配は 1/200 である。護岸上部は

勾配 1 : 1.0 の切土法面で、種子吹き付けなどの植生工は用いられていない。

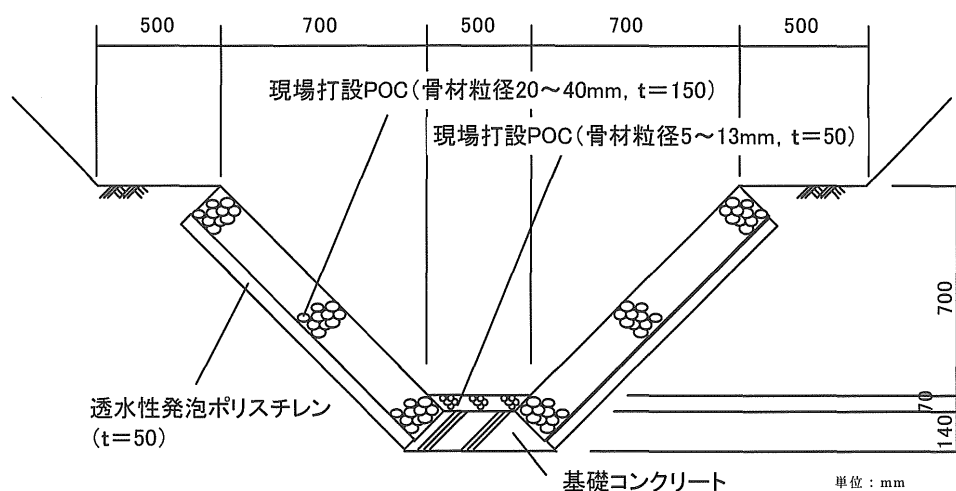


図 5-7 POC 水路の断面

### 5.2.3 調査方法

水生昆虫の調査は、調査地点の水路幅などに応じて  $0.24\sim 0.80\text{m}^2$  のコドラートを設定し、サーバネットを用いて採取した。それぞれの水路毎に 2 反復調査し、結果はその平均値とした。調査時期は羽化などによる変動の少ない秋～春とし、整備前の 2 回(2002.12.12, 2003.4.11)と整備後の 3 回 (2004.10.2, 2005.1.12, 2005.10.5) 実施した。

植生調査は、POC 水路に定着した植物種を施工後 1 年ごとに 2 回 (2004.10.2, 2005.10.5) 実施し、一定の植生が形成されはじめた 2 年目 (2005.10.5) には種数に加えて個体数も調査した。試験区は水路長方向に対して 10m 間隔に設定し、上流から下流に向けて A～J 区とした。各試験区では左岸・右岸それぞれに  $1\times 0.5\text{m}$  のコドラートを垂直方向に 2 段設定した。

### 5.2.4 結果および考察

#### i)水生昆虫の生息状況

圃場整備前の 2002 年 12 月と 2003 年 4 月と、圃場整備後の 2004 年 10 月、2005 年 1 月、2005 年 10 月に採取された水生昆虫の平均出現種数を表 5-4 に示す。

表 5-4 平均出現種数

和名	学名	整備前			整備後				
		I-C	I-G	G	II-C	II-P	II-PG	G	
トンボ目	オニヤンマ	<i>Anotogaster siedoldii</i>	-	1.7	2.8	-	5.2	1.9	-
	ギンヤンマ	<i>Anax panybeus</i>	-	0.8	0.6	-	-	-	-
	ミルンヤンマ	<i>Planaeschna milnei</i>	-	-	2.5	-	-	0.9	-
トビケラ目	ニンギョウトビケラ	<i>Goera japonica</i>	-	-	-	-	3.5	19.1	5.2
	マルバネトビケラ	<i>Phryganopsyche latipen.</i>	-	0.3	-	-	-	0.5	-
	シマトビケラ属の一種	<i>Hydropsyche</i> sp.	0.5	4.7	0.6	-	1.9	57.2	1.0
	クロツトビケラ	<i>Uenoia tokunagai</i>	-	-	-	-	-	0.5	-
	ナガレトビケラ属の一種	<i>Rhyacophila</i> sp.	-	10.0	4.4	-	3.1	-	1.4
	ムラサキトビケラ	<i>Eubasilissa regina</i>	-	0.7	0.3	-	-	-	-
	ホソバトビケラ	<i>Molanna moesta</i>	-	0.3	0.6	-	-	1.4	-
	ヒゲナガカワトビケラ	<i>Stenopsyche marmorata</i>	-	-	-	-	-	3.3	-
カゲロウ目	モンカゲロウ	<i>Ephemera strigata</i>	0.5	5.7	2.5	-	0.9	15.0	1.0
	トビロカゲロウ属の一種	<i>Paraleptophlebia</i> sp.	-	3.3	-	-	1.6	1.6	-
	オニヒメタニガワカゲロウ	<i>Ecdyonurus bajkovae</i>	-	-	-	-	-	0.5	-
	トヨウマダラカゲロウ属の一種	<i>Cincticostella</i> sp.	-	1.0	-	-	0.5	0.5	-
	コカゲロウ属の一種	<i>Baetis</i> sp.	102.2	13.1	55.0	25.3	15.3	7.8	20.3
	ヒラタカゲロウ属の一種	<i>Epeorus</i> sp.	-	0.0	0.3	-	-	0.5	-
カワゲラ目	オナシカワゲラ属の一種	<i>Nemoura</i> sp.	12.0	67.8	15.9	-	2.1	4.7	-
	フタツメカワゲラ属の一種	<i>Neoperla</i> sp.	-	-	-	-	3.3	3.3	8.8
	フサオナシカワゲラ属の一種	<i>Amphinemura</i> sp.	-	11.0	2.5	-	1.0	-	-
	コウノアメカワゲラ属の一種	<i>Tadamus</i> sp.	-	-	-	-	9.4	-	-
	クロカワゲラ科の一種	<i>Capniidae</i> sp.	-	-	-	-	0.5	-	-
ハエ目	ウスバヒメガガンボ属の一種	<i>Antocha</i> sp.	-	1.6	7.5	-	-	3.5	1.0
	ユスリカ科の一種	<i>Chironomidae</i> sp.	6.5	0.3	13.2	-	-	2.1	8.3
	チョウバエ科の一種	<i>Psychodidae</i> sp.	-	1.9	0.2	-	0.5	-	-
コウチュウ目	ヒメドロムシ	<i>Elmidae</i> sp.	-	-	-	-	-	6.3	2.1
	ヒメドロムシ(幼虫)	<i>Elmidae</i> sp(larva).	-	0.3	0.3	-	0.5	35.2	1.4
	ヒラタドロムシ	<i>Psephenidae</i> sp.	-	-	-	-	-	1.4	1.0
カメムシ目	ミズムシ	<i>Corixidae</i> sp.	2.0	2.5	8.2	-	0.5	-	1.0
アミメカゲロウ目	ヘビトンボ	<i>Protohermes grandis</i>	-	0.6	-	-	-	-	-

※1m<sup>2</sup>あたりの平均出現数

POC水路はトビケラ目、カワゲラ目、カゲロウ目をはじめとする多くの種が採取されたが、試験水路と異なりトンボ目が著しく少ない傾向が見られた。特に、イトトンボなどが含まれる均翅亜目は全く採取されなかった。流速を2005年7月に計測したところ0.5~0.9m/s程度あり、洪水時には掃流もあることが分かった。このため、流速を低下させる抽水植物などの水際の植生が存在しない本水路では、遊泳能力が低い均翅亜目の幼虫の生育環境としては不適であったと考えられる。

POC水路の砂礫部（II-PG）からは体長40mm前後のオニヤンマ（*Anotogaster sieboldii* Selys）が採取された。三輪らの調査<sup>2)</sup>によれば、本水路は2005年には1/2確率程度の出水があり、堆砂形状の変化や表面を覆っていた砂やシルトの掃流が確認された。このような出水の前後においても、オニヤンマのヤゴをはじめとする多くの水生昆虫が確認されることから、堆砂内部は出水時の退避場所として機能していると考えられる。また、砂礫の隙間には落葉・落枝が挟みこまれている様子がよく観察され、そのような箇所では藻類食・雑食性の水生昆虫が多く採取された。

RC水路は出現種数が少なく、整備後はその傾向が顕著になったが、コカゲロウ属の一種(*Baetis* sp.)については多くの個体が採取された。POC水路と同様に流速を測定したところ、1.3~1.6m/sであった。洪水時の掃流もあるため、砂礫や枝葉の堆積はなく、RC試験水路で採取されたトビケラ目などは見られなかった。

存在率（%）を算出した結果を図5-8に示す。

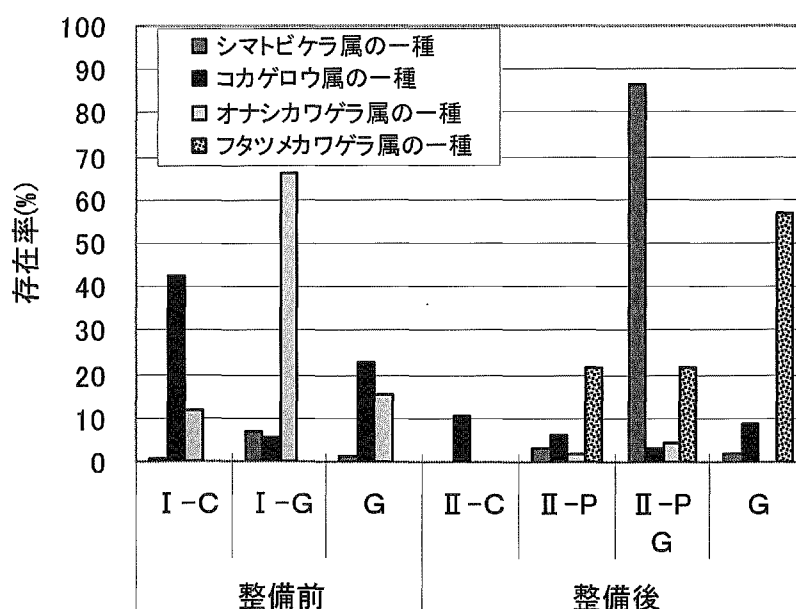


図 5-8 存在率

オナシカワゲラ属の一種(Nemoura sp.)のように、整備前の素堀水路の砂礫部（I-G）に67.8%生息し、整備後に生息数が著しく減少した生物もいれば、シマトビケラ属の一種(Hydropsyche sp.)のように整備後のPOC砂礫部（II-PG）に57.8%も生息する生物も存在する。この他、コカゲロウ属の一種のように比較的場所を選ばず生息するものや、フタツメカワゲラ属の一種(Neoperla sp.)のように整備後の素堀水路（G）に多く生息するものがあった。多くの水生昆虫で素堀・砂礫・RC・POCのそれぞれの環境に選択的に生息する傾向が見られた。営巣の方法や採餌の手段など、それぞれの生活形態に合わせているためと考えられる。

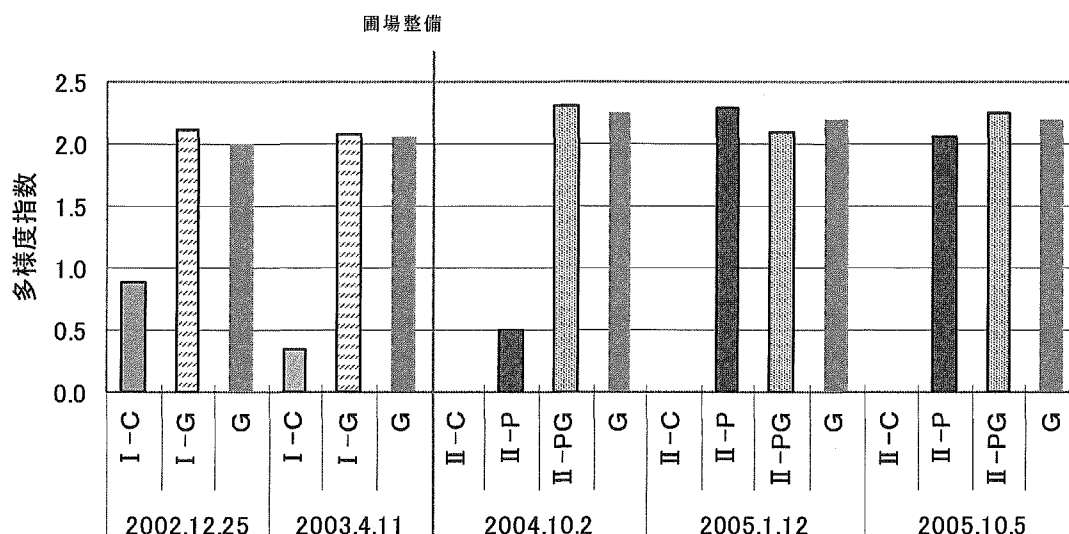


図 5-9 多様度指数

多様度について検討を行った結果を、図 5-9 に示す。整備前は素堀水路（I-G, G）の多様度指数は 2.0 以上の値であったのに対し、RC 水路（I-C）は 0.5 前後であった。整備後の RC 水路（II-C）はコカゲロウ属の一種以外には生息が認められなかったため、算定できなかった。POC 水路の砂礫部（II-PG）は施工直後から 2.0 以上の値を示し、整備の影響を受けていない素堀水路（G）と同程度であった。砂礫の堆積がない POC 水路（II-P）は整備直後に 0.5 程度の低い値を示したが、1 年 3 ヶ月後（2005.1）には素堀水路（G）と同様、2.0 以上の値を示した。

ii)植物の定着状況

POC水路に定着した植物種を表5-5に示す。

表5-5 POC水路に定着した植物種

和名	学名	調査日	
		2004.10	2005.10
アカサ <sup>°</sup>	<i>Chenopodium album</i>	-	●
アキノウナキツカミ	<i>Polygonum sieboldii</i>	-	●
イヌタデ <sup>°</sup>	<i>Persicaria longiseta</i>	●	●
サナエタデ <sup>°</sup>	<i>Persicaria lapathifolium</i>	●	●
ミヅツバ <sup>°</sup>	<i>Persicaria thunbergii</i>	●	-
キシキシ	<i>Rumex japonicus</i>	-	●
アキメヒシハ <sup>°</sup>	<i>Digitaria ciliaris</i>	●	●
アシボソ	<i>Microstegium vimineum</i>	●	●
エノコログサ	<i>Setaria viridis</i>	-	●
オヒシハ <sup>°</sup>	<i>Eleusine indica</i>	●	●
コフナクサ	<i>Arthraxon hispidus</i>	●	●
タイヌビエ	<i>Echinochloa oryzoides</i>	-	●
ヌカキビ <sup>°</sup>	<i>Panicum bisulcatum</i>	-	●
ススキ	<i>Miscanthus sinensis</i>	●	●
アメリカセンダングサ <sup>°</sup>	<i>Bidens frondosa</i>	●	●
ヒメムカシヨモギ <sup>°</sup>	<i>Erigeron canadensis</i>	-	●
メナモミ	<i>Siegesbeckia pubescens</i>	●	●
ノゲシ	<i>Sonchus oleraceus</i>	-	●
コウゾリナ	<i>Hieracium japonicum</i>	●	●
ノコンキク	<i>Aster ageratoides</i>	●	●
フキ	<i>Petasites japonicus</i>	●	●
ヨモギ <sup>°</sup>	<i>Artemisia princeps</i>	●	●
コケオトキリ	<i>Hypericum laxum</i>	-	●
シソ	<i>Perilla frutescens</i>	-	●
ナキナタコウゾユ	<i>Elcholtzia ciliata</i>	●	●
トウバナ	<i>Clinopodium gracile</i>	●	●
セリ	<i>Oenanthe javanica</i>	●	-
ツユクサ	<i>Commelina communis</i>	●	-
ヘビイチコ <sup>°</sup>	<i>Duchesnea chrysantha</i>	●	-
タネツケバナ	<i>Cardamine flexuosa</i>	●	-
スベリヒユ	<i>Portulaca oleracea</i>	●	-
イグサ	<i>Juncus effusus</i>	-	●
オオバコ	<i>Plantago asiatica</i>	●	●
ゲンノショウコ	<i>Geranium thunbergii</i>	●	●
シロツメクサ	<i>Trifolium repens</i>	-	●
ヤマハギ <sup>°</sup>	<i>Lespedeza bicolor</i>	-	●
ヒメクグ <sup>°</sup>	<i>Cyperus brevifolius</i>	-	●
イワアカバナ	<i>Epilobium cephalostigma</i>	-	●
ヤマグワ	<i>Morus bombycis</i>	-	●
ヤマネコヤナギ <sup>°</sup>	<i>Salix bakko</i>	●	●
クマヤナギ	<i>Berchemia racemosa</i>	-	●
タニウツキ <sup>°</sup>	<i>Weigela hortensis</i>	●	●
	計	25	36



整備後 0.5 年で 25 種，1.5 年で 36 種が確認された。畑地雑草が多いことや，POC 水路や周辺の切土法面に植生工が施されていないことから，種子の供給源は周辺圃場であると推測される。一度定着した後に衰退する種も見られたが，総種数としては増加傾向にある。科別にみると，イネ科とキク科が 8 種と最も多く，タデ科が 5 種でそれに次いだ。これらの科では衰退する種が少なく，定着種も増加していることから，POC への適応性が高いと考えられる。定着植物は主に草本類が中心であるが，ヤナギ科をはじめとする木本類の定着も 4 種確認された。一般的に，POC への木本類の定着は困難とされているが，今回用いられた骨材粒径は通常の 2 倍以上あり，種子の定着やその後の根の伸長に有利に働いたためと考えられる。

表 5-6 POC 水路に定着した種数

試験区	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均	
左岸	上	3	3	2	2	0	1	1	6	2	4	2.4
	下	10	9	12	7	9	10	10	5	8	16	9.6
右岸	上	2	5	4	2	4	5	2	1	4	2	3.1
	下	9	10	11	4	6	8	5	7	5	8	7.3

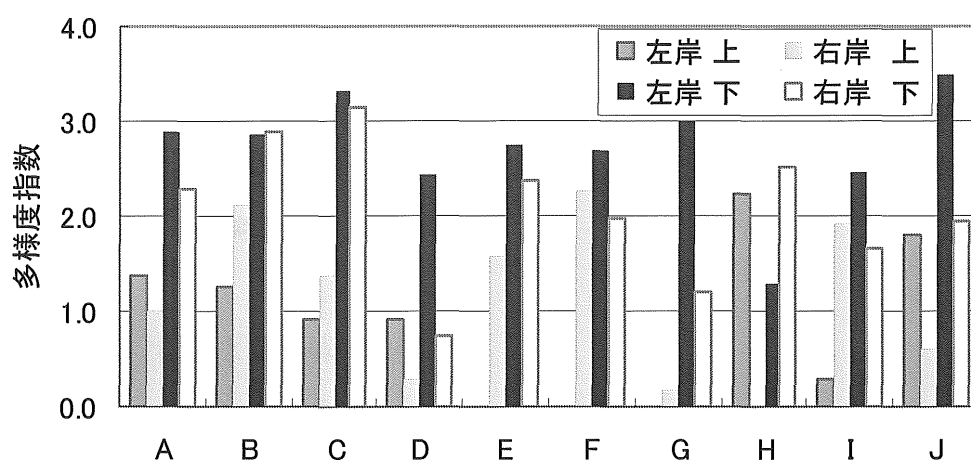


図 5-10 POC 水路に定着した植物の多様度指数

整備後 1.5 年経過時（2005.10）に，A～J の試験区ごとに植生調査を実施した。定着種数を表 5-6 に示す。左岸右岸ともに，試験区の下部で多くなる傾向がみられた。本水路の POC は土壌を充填していないため保水能力が低く，水が常時供給される水際部に比べて上部は乾燥傾向がより顕著となる。このため，上部の生育環境では生育

可能な種が限定される結果となったと考えられる。また、水路の整備は圃場整備と同一時期に行われているため、周辺に種子の供給源となる植生は形成されておらず、種子の供給は主に風散布や水散布であると考えられた。特に、出水時に濁水が流れた水位に沿って発芽している様子が確認されていることから、水散布による種子の供給と濁水による泥分の充填が植物の定着に寄与していると考えられる。

図 5-10 に各試験区の多様度指数を示す。下部の値が全域で高く、良好な植生が形成されていることが示されている。上部は全体的に低い値を示し、試験区ごとのばらつきも大きいことから、植生の形成段階であると考えられる。

水際の植生や堆砂は、水路内に生息する水生昆虫の多様度を高める上で重要な役割を果たしていることが明らかとなった。また、水生昆虫はそれぞれに適した環境に選択的に生息する傾向が見られることから、水路内の生物多様性を高めるためには、植生や砂礫だけでなく、底泥なども複合的に組み合わせられた環境を形成することが効果的と考えられる。砂礫や底泥の堆積は RC 水路でも適切な水理条件を満たすことで形成することは可能であると考えられるが、植生の形成は困難であるため、生物生息環境の形成は限定的である。よって、POC-G 水路や POC 水路は、RC 水路と比較して水際の植生まで含めた多様な生物生息環境の形成に優れているといえる。

また、植生工を施した POC-G 水路は早期に水生昆虫の生息環境を形成することに優れるが、植生は種子配合によって決定されるため、周辺環境とは異なったものになる。よって、長期的な自然植生の形成を目的とするのであれば、植生工を行わない POC 水路の導入によって移入種の定着を促すことが適しており、また施工費縮減の面においても有利になると考えられる。

#### 5.2.5 POC の粒径と定着植物種数

ため池護岸に POC の空隙径の異なる 3 試験区を設け、自然に定着する植物種数を比較した。実験場所は千葉県千葉市にビオトープ池として造られたため池で、施工後 2 年経過していた。充填材はスラリー化させた有機質土壌をかけ流す程度とし、覆土工は行わなかった。試験区は A (粗骨材粒径 20~40mmPOC)、B (粗骨材粒径 13~20mmPOC)、C (粗骨材粒径 5~13mmPOC) とし、空隙率は全て 30%とした。試験開始時の試験区を写真 5-6、開始後を写真 5-7 に示す。試験期間は 18 ヶ月とし、試験終了時に植物種

を測定した。

調査結果を表 5-7 に示す。骨材粒径が大きくなるにつれて移入植物の種類が増加する傾向が見られた。特に、5-13mm の POC においてタデ科植物の定着数が少ない。これはタデ科植物の種子が比較的大きいため、空隙径の小さい POC の空隙内には入り込めないためと考えられる。管理上、大型の草本や木本の定着が好ましくないといった適用場面においては、POC の骨材粒径を小さくすることで形成される植生を一定の範囲で制御することも可能であると考えられる。



写真 5-6 試験区（試験開始時）

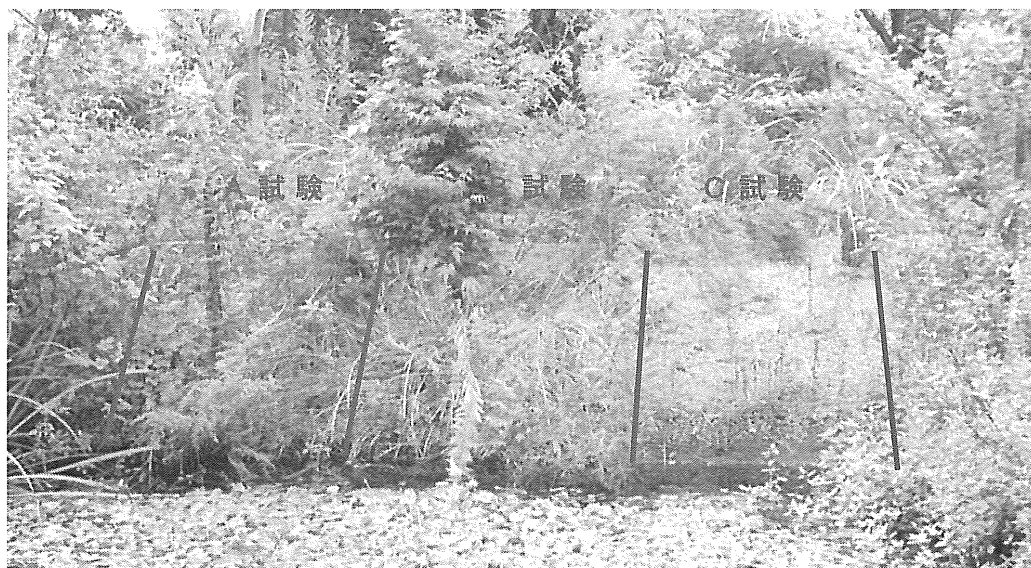


写真 5-7 試験区（試験終了時）

表 5-7 定着植物

種名	学名	POC骨材粒径		
		20-40mm	13-20mm	5-13mm
メヒシバ	<i>Digitaria adscendens</i>	●	●	●
アメリカセンダングサ	<i>Bidens frondosa</i>	●	●	●
コセンダングサ	<i>Bidens Pilosa</i>	●	●	-
ヒメムカシヨモギ	<i>Erigeron canadensis</i>	●	●	●
セイタカアワダチソウ	<i>Solidago altissima</i>	●	●	-
ヨモギ	<i>Artemisia princeps</i>	-	●	-
アキノノゲシ	<i>Lactuca indica</i>	●	-	-
イヌタデ	<i>Persicaria longiseta</i>	●	-	-
ギシギシ	<i>Rumex japonicus</i>	●	-	-
スギナ	<i>Equisetum arvense</i>	●	●	-
アレチギシギシ	<i>Rumex conglomeratus</i>	●	●	-
エゾノギシギシ	<i>Rumex obtusifolius</i>	●	●	-
オオイヌタデ	<i>lapathifolium</i>	●	●	●
エノコログサ	<i>Setaria viridis</i>	●	-	●
ハルジオン	<i>philadelphicus</i>	●	●	●
ツユクサ	<i>Commelina communis</i>	●	●	●
セイヨウタンポポ	<i>Taraxacum officinale</i>	-	●	-
ヤブガラシ	<i>Cayratia japonica</i>	●	●	-
カタバミ	<i>Oxalis corniculata</i>	●	●	●
ノゲシ	<i>Sonchus oleraceus</i>	●	-	●
出現種数		18	15	9

### 5.3 充填材の検討

#### 5.3.1 目的

水際などの水分供給が容易な場合を除き、POC に良好な植生を形成させるためには空隙に土壌を充填する必要がある。ただし、POC の空隙の内接円半径は最大でも数 mm 程度なので、20cm 程度の厚みの部材に充填材を注入するためには、充填材に高い流動性が求められる。そのため、充填材は容積比で土壌：水＝1：1 程度のスラリーにすることが一般的であるが、水分量が多いため、完全に充填された場合でも時間経過とともに失われる水の分だけ充填率は下がる。そこで、充填材の保水能力を高め

るために、高吸水性樹脂（KASAP：昭和電工製）を配合する工法（P工法）について検討を行った。

P工法の概要を図5-11に示す。従来工法では脱水による充填率の低下は避けられなかったが、P工法では想定される脱水量分を保持可能な高吸水性樹脂の量を配合する。しかしながら、単に高吸水性樹脂を配合しただけでは充填材の流動性が低下するため、充填時には膨張せず、充填完了後に内部で膨張することが望ましい。化学的に高吸水性樹脂の膨張を遅延させることは困難であるため、土壌溶液の濃度を高め、膨張倍率を低く抑えることを試みた。

### 5.3.2 実験方法および結果

#### i) 膨張抑制効果

高吸水性樹脂を添加した場合、充填材の粘度が高まることによって充填不良となる場合がある。硫酸・硫酸カリウムなどの電解質と尿素を加えることによって得られる膨張抑制効果について比較実験を行った（図5-12）。

実験の結果、硫酸・硫酸カリウムの膨張抑制効果が高く、必要水量の約2%濃度で、75%の抑制効果を得ることができた結果となった。尿素については、膨張抑制効果は見られなかった。高吸水性樹脂の架橋構造に電解質が影響を与えたためと考えられる。

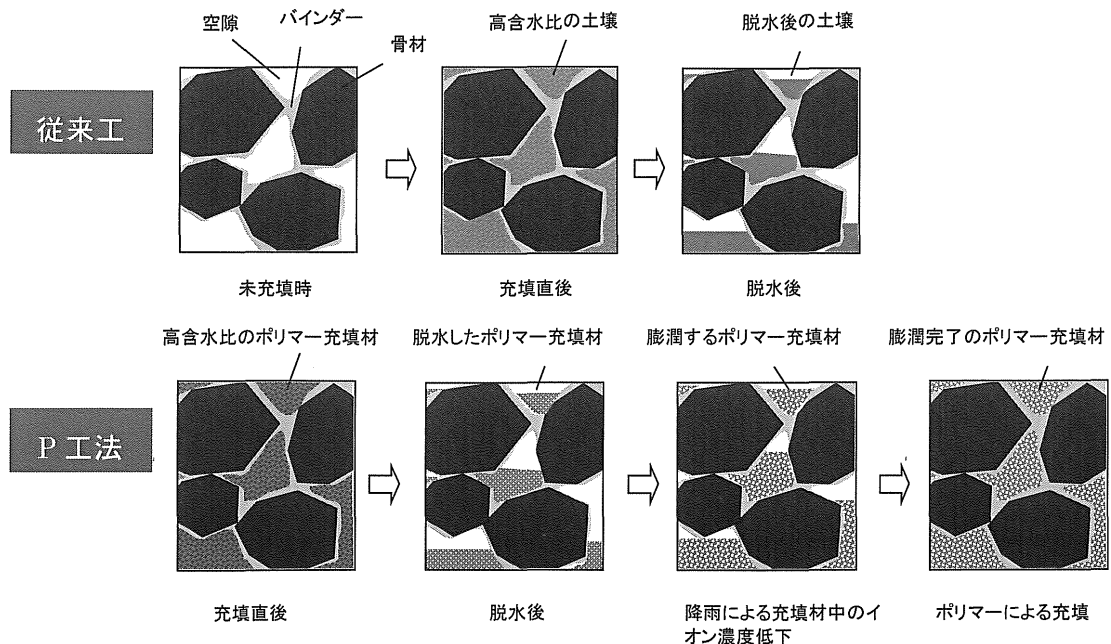


図 5-11 P工法概要

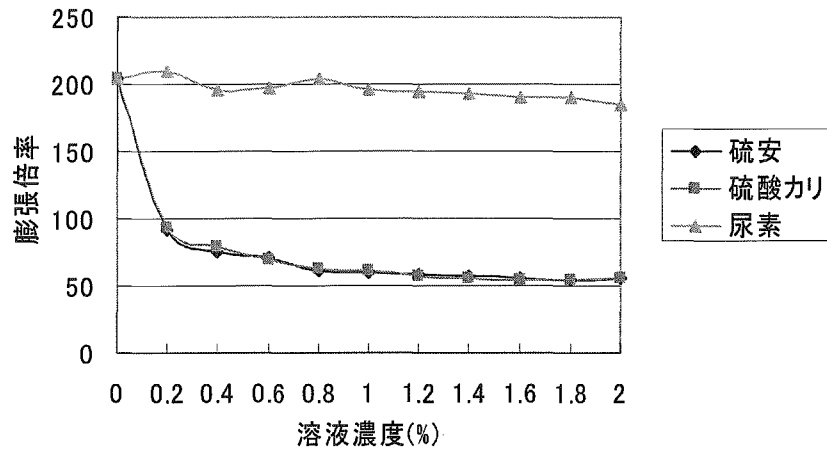


図 5-12 膨張抑制効果

ii)流動性の比較実験

硫安を加えることによって得られる流動性について、Jロート試験による比較実験を行った（表 5-9）。

20～40mmの粗骨材を用いた空隙率25%のPOCは充填に必要な流動性はJロート試験で11秒以内であるが、高吸水性樹脂のみを添加した充填材では0.1%の配合量でも粘性が高く、11秒以内になることはなかった。これに対し、硫安を0.12%加えた充填材では、高吸水性樹脂を0.5%配合した場合でも充填に適した流動性が確保されることが明らかとなった。

表 5-8 充填材の流動性比較

・高吸水性樹脂の添加なし

黒ボク土	ml	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
水	ml	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Jロート	s	9.64	9.75	9.85	10.21	10.33	10.76	11.45	12.34	13.79	17.60

・高吸水性樹脂の添加

黒ボク土	ml	1000	1000	1000	1000	1000
水	ml	1000	1000	1000	1000	1000
ポリマー	g	1	2	3	4	5
Jロート	s	11.53	13.91	19.13	不能	不能

・高吸水性樹脂+硫安の添加

黒ボク土	ml	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
水	ml	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
ポリマー	g	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
硫安	g	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Jロート	s	36.83	14.28	12.16	11.72	11.16	10.92	10.83	10.67	10.55	10.54

iii)植物実験

充填材の有無と電解質添加による効果を実証するための野外実験を行った。POCは粗骨材 20~40mm, 空隙率 25%とした。試験区を表 5-8 に示す。

表 5-9 試験区

	覆土	充填材	高吸水性樹脂	硫酸
A	○			
B	○	○	○	
C	○	○	○	○

覆土：パーク堆肥と黒ボク土の客土吹き (t=3cm)

充填材：黒ボク土 50%+水 50% (体積比)

高吸水性樹脂：水の 0.5%

硫酸：水の 1%

実験開始から 1 年を経た試験区を写真 5-8 に示す。P 工法を用いた試験区 C の植被率が高く、高吸水性樹脂と硫酸の添加が植生の成立に効果があることが確認された。



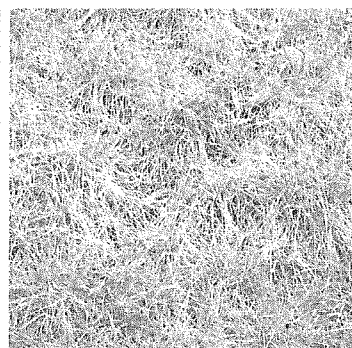
A

(植被率：10%)



B

(植被率：40%)



C

(植被率：90%)

写真 5-8 試験区の状況

## 第6章 結論

POCは環境保全を目的としたコンクリート製品であるため、検討項目は多岐にわたる。本研究では、POCの製造方法と生物生息環境特性について幅広く検証を行った。得られた知見は以下のとおり。

### ■ 製造方法および素材特性

20-40mm 骨材を用いた POC に適したペーストのフローは 220mm

最適な W/C は 25%

10N/mm<sup>2</sup> の圧縮強度を確保した場合の最大空隙率は 30%

圧縮強度を高めるためにはモルタルの採用が有効である

細骨材／セメント比は 1.0 が適している

細骨材の種類は圧縮強度に大きな影響は与えない

フレッシュ性状の評価にはバイブレータおよびフルイ固定用治具が有効である

乾湿の繰り返しにはモルタルの採用が有効

凍結融解の耐久性評価には試験方法の見直しが必要

火入れに対しては圧縮強度に大きな影響を与えない

アルカリの中和には黒土が適している

重金属の溶出量は環境基準を満たしている

空隙の評価手法はせき板効果を配慮した見直しが必要

現場内リサイクルシステムでは、骨材洗浄効果、混練方法が確立

### ■ 室内実験による植物生育特性の検証

充填材にはアルカリ緩衝効が高い果土が有効

20-40mm 骨材を用いた POC は、対照区に対して 60-70%の植物生育量がある

同じ空隙量でも空隙径を変えることで植物生育量は異なる

### ■ 野外実験による生物生息環境の検証

水際の植生域に良好な生物生息環境が形成される

RC水路と異なり、POC水路は経時的に生物生息環境が向上する



砂礫の堆積によって、生物相の多様化が生まれる  
POC の空隙径が大きいほど定着する植物種が増加する

#### ■ 施工方法

現場打設の効率化には、コンパクターやストライカーチューブが有効  
パネル敷設方法では EPS を用いた凍上防止層の有効性を確認

実用化に残された課題としては、経年劣化の検証や植生の遷移などの機能性に関するものと、低コスト化や施工の簡素化などの製造に関するものが挙げられる。POC の開発に必要な要素は幅広く複雑であるため、総合的な視点をもつことが重要であるといえる。

#### 【参考文献】

- 1) 奥田重俊, 佐々木寧(1996): 河川環境と水辺植物, (株)ソフトサイエンス, 東京: pp.242-255.
- 2) 佐藤健司, 奥島修二, 小野芳(2004): ポーラスコンクリートの動植物特性, 鹿島技術研究所年報 52: pp.193-196
- 3) 長瀧重義: ライフサイクルを考慮した建設材料の新しいリサイクル方法の開発, 日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業研究成果報告書, 2002.4
- 4) 依田和久, 原田実, 黒沼出(2001): ステージミキシング方式により製造した再生コンクリートの実用性の検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 548 号, pp.1-7
- 5) 財団法人 先端建設技術センター(2001): ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き, (株)山海堂
- 6) 松川徹, 玉井元治, 杉野守, 芦田馨(1996): 緑化コンクリートの空隙性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18., pp.999-1004.
- 7) (社) 日本コンクリート工学協会(1995): エココンクリート研究委員会 報告書
- 8) 月岡, 牧(2002): 再生骨材の緑化コンクリートへの利用に関する研究, コンクリー

ト工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1125-1130

- 9) 片平博, 河野広隆(1999): ポーラスコンクリートのフレッシュ性状判定法の検討, 土木技術資料, Vol.3765, pp.56-61
- 10) 片平博, 河野広隆(2002): 実環境を考慮したポーラスコンクリートの凍結融解・乾湿繰り返し耐久性の検討, セメント技術大会講演要旨 pp.354-355
- 11) 越健, 島崎馨, 国枝稔, 六郷恵哲(1999): ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, pp.259-264
- 12) 松坂泰明, 栗原淳(1994): 土壌・植物栄養・環境辞典, 博友社

#### 【謝辞】

本研究の遂行にあたっては, 岩手大学教授 三輪弼博士より多くのご指導を賜りました。深甚な感謝の意を表し上げます。また, 有益なご助言を頂いた弘前大学教授 万木正弘博士, 岩手大学准教授 小林幹佳博士に厚く謝意を申し述べます。

また, 農林水産省農業工学研究所の奥島修二室長, 技術開発を共同で行った鹿島建設(株)の水谷仁次長, 澤田裕樹課長, 小野芳研究員, 住友大阪セメント(株)の長岡誠一主任研究員, 小林隆芳研究員, ケミカルグラウト(株)の増岡臣一課長をはじめ, 各方面の関係諸氏にご助力頂きました。記して感謝の意を表します。