

ポーラスコンクリート河川護岸における生態系復元に関する調査・分析

RESEARCH AND ANALYSIS ON THE ECOSYSTEM RESTORATION USING REVETMENTS MADE OF POROUS CONCRETE

宇田川義夫¹・中村敏一²・玉井元治³・寺川 陽⁴・阿部 徹⁵

Yoshio UDAGAWA, Toshikazu NAKAMURA, Motoharu TAMAI, Akira TERAKAWA, Toru ABE

¹正会員 理博 財団法人先端建設技術センター 研究第二部 (〒112-0012 東京都文京区大塚二丁目 15-6)

²正会員 財団法人先端建設技術センター 研究第二部 (〒112-0012 東京都文京区大塚二丁目 15-6)

³正会員 工博 近畿大学教授 理工学部土木工学科 (〒577-8502 大阪府東大阪市小若江三丁目 4-1)

⁴正会員 工修 国土交通省中部地方整備局中部技術事務所 (〒461-0047 名古屋市東区大幸南一丁目 1-15)

⁵正会員 工修 国土交通省九州地方整備局武雄工事事務所 (〒843-0023 佐賀県武雄市大字昭和 745)

This study aims at the relevance of relationship between the ecosystem such as vegetation and the constituent elements of the porous concrete river revetment. It is based on a construction case follow-up survey that was done on all 62 existing porous concrete river revetments under the control of the *Ministry of Construction* in Japan, and the on-site investigation concern about ecosystem restriction at both pre-cast and cast-in-place porous concrete river revetment.

In conclusion, it is obvious that the more lacunas rate of porous concrete the bigger covering rate of vegetation we obtain. Moreover it is desirable that the continuous lacuna rate of the porous concrete be equal to or more than 21% so that the plants can take place into the lacunas.

Key Words: Porous concrete, river revetment, ecosystem

1. はじめに

河川護岸の計画では、河川に生息、繁茂する動植物からなる自然の生態系や、河川の景観、河川と人との係わり合いにおける環境の保全に十分配慮する必要がある。平成9年12月には新河川法が施行され、河川管理の目的として従来の治水・利水に、新たに環境が加えられた。このような背景のもと、治水・利水対策だけでなく魚類・昆虫類といった動物から植物にいたるまでの、河川空間における多様な生物生息環境に配慮した多自然型川づくりが、近年、全国的に展開されてきている。

多自然型工法の一つであるポーラスコンクリート河川護岸工法¹⁾は、従来のコンクリートブロック護岸に類似する構造体としての機能に植生機能を付加できる新工法・新技術であり、植物等自然生態系の保全、河川景観の向上等、多自然型川づくりの一工法として有効と期待

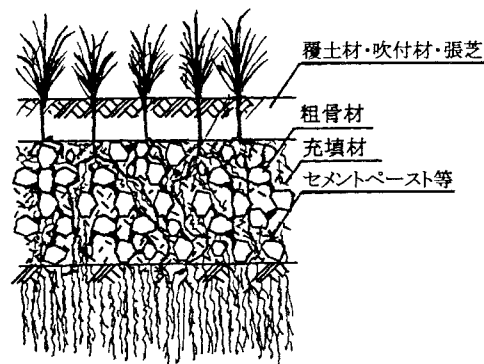
される。

本研究の目的は、ポーラスコンクリート河川護岸工法の適用において、生態系復元にとって望ましい構造仕様(空隙率、強度)ならびに護岸構成諸要素について、施工事例の追跡調査ならびに現地調査結果の分析により明らかとすることである。また、現地調査の主目的は、ポーラスコンクリート河川護岸の生態系復元に対する有効性の検証にある。本論文では、これらの調査・分析により得られた知見について述べる。

現地調査は、中部地方整備局管内の現場打ちによるポーラスコンクリート試験施工護岸(平成10年12月施工)ならびに九州地方整備局管内のプレキャストブロックによるポーラスコンクリート試験施工護岸(平成7年10月施工)において、主として植生と昆虫類について調査を実施し、生態系の復元度と護岸の諸要素との関係等について分析をおこなった。

2. ポーラスコンクリート河川護岸工法の概要

ポーラスコンクリート河川護岸工法は、従来のコンクリートブロック護岸に類似する構造体としての機能に植生機能等を付加できる新素材を用いた工法である。ポーラスコンクリートは、粗骨材と結合材（セメントペースト、モルタルなど）から成るコンクリートで、連続した空隙を多く有するコンクリートである（図-1 参照）。このポーラスコンクリートは、護岸としての必要な強度を確保するとともに、連続した空隙に、植物の生育に必要な水分、養分などを有した植生基盤を形成しようとするものである。このポーラスコンクリートには、プレキャストブロックと現場打ちポーラスコンクリートがある。

図-1 ポーラスコンクリート河川護岸の基本構成¹⁾

3. 既往施工事例調査

(1) 調査概要

ポーラスコンクリート河川護岸の設計においては、護岸の構造・構成と達成される植生状況の関係は重要である。このため、建設省の直轄管理河川における施工事例の追跡調査をおこない、植生状況と各種の護岸構成要素との関係を分析した。

調査は、建設省における既設のポーラスコンクリート河川護岸全 62 件（低水護岸 34 件、高水護岸 28 件、うち現場打ち 10 件）を対象に、平成 9 年度、平成 10 年度、および平成 11 年度におこなった。

調査項目は、①施工場所（河道セグメント、経過年数）、②ポーラスコンクリートの構造特性（空隙率、圧縮強度等）、③護岸構造（裏込め材、吸出し防止材、遮水シート）、④植生への配慮（充填材、覆土材、種子・苗の手当て等）、⑤現在の植生状況（植被率、種類）の各項目について実施した。

(2) 調査結果

追跡調査結果から、ポーラスコンクリートの構造（空隙率）ならびに構成各要素（充填材・覆土・客土・種子等の有無）の植生状況への影響度分析を行った結果、以下のことが明らかとなった¹⁾（表-1 参照）。

- ①高い植被率が得られているケースは、おおむね連続空隙率 21%程度以上のケースであり、充填材もしくは覆土を行うケースで特に高い植被率を示している。
- ②中長期的には放置していても植生が期待できる場合もあるが、早期に目的に応じた植生を発現させるためには、覆土（現地発生材等）、播種客土、充填材などの植栽工が必要である。
- ③施工時の種子・苗の手段により、植栽種を繁茂させることができるが、護岸竣工後、約3年以上経過した時点で、繁殖力の強い在来種が侵入し、置き換わっていく傾向が認められた。

表-1 植生の植被率と護岸構造・構成要素との関係¹⁾[illegible]

4. 現地調査

現場打ちならびにプレキャストブロックによるポーラスコンクリート試験施工護岸において、おもに植生と昆虫類の生態系に関する現地調査を実施した。これらの調査結果から生態系の復元度と護岸の諸要素との関係等について分析し、ポーラスコンクリート河川護岸による生態系復元に対する有効性を検証した。

(1) 現場打ちによる試験施工護岸²⁾

平成10年に、建設省中部地方建設局（現 国土交通省中部地方整備局）は、現場打ちポーラスコンクリート河川護岸の試験施工を実施した。生態系調査は植生・土壌厚調査を平成11年4月および平成11年11月、平成12年5月、8月、10月（それぞれ施工後3ヶ月、10ヶ月、1年4ヶ月、1年7ヶ月、1年9ヶ月経過時）におこなった。また、昆虫類調査を平成11年11月、平成12年5月、8月、10月（それぞれ施工後10ヶ月、1年4ヶ月、1年7ヶ月、1年9ヶ月経過時）におこなった。以下にその生態系調査結果ならびに分析結果について述べる。

a)河道諸元・護岸諸元

試験施工位置は、木曽川左岸 33.4km 付近、起地先の低水護岸である。河床勾配は $I=1/4840$ 、セグメント 2 に位置する。護岸勾配は 1:2.0、ポーラスコンクリートの厚さは 20cm、覆土厚は 10cm である。

b) 護岸構成要素の組合せ

試験施工におけるポーラスコンクリート護岸の構成要素の組み合わせパターンを表-2と図-2に示す。

ポーラスコンクリート護岸の構成は、厚さを20cm、連続空隙率を25%、強度を10N/mm²としたものを標準的な構成とし、連続空隙率を30%としたもの、覆土・充填材・裏込め材・吸出し防止材・播種・吹付けの有無などの条件を変えた10実験区とした。

c) 植生・土壌厚調査結果

① 土壌厚の経年変化

斜面上部と斜面下部における土壌厚の経年変化を図-3および図-4に示す。平成11年11月から平成12年8月にかけては、土壌厚はほぼ変わらないが、全体に土壌厚は増加の傾向にある。また、平成12年9月の東海豪雨では高水敷まで冠水しているが、その後、土壌厚は急激に増大している。この傾向は斜面下部において著しい。

実験区4~10の斜面上部の土壌厚は16~27cm、斜面下部では18~43cmとなっている。特に下流側の実験区8,9,10の斜面下部では、土壌厚は40cm程度と非常に厚くなっている。また、覆土を施工していない実験区1,2では、東海豪雨での冠水により2cm程度の土砂の堆積が見られた。

② 植被率の経年変化

斜面上部と斜面下部における植被率の経年変化を図-5および図-6に示す。植被率の経年変化は全体に増加の傾向を示している。覆土を施工していない実験区1,2では、土壌厚の微増に伴い、植被率は徐々に増大し、斜面上部では40~50%、斜面下部では20~30%となっている。特に、斜面上部では東海豪雨での冠水後に、10%程度から40~50%にまで急増している。実験区3~10では、斜面上部では60%程度以上、斜面下部では実験区3の60%程度を除き、80%以上の高い植被率を示している。

また、施工後早い段階から植被率は高い状態にある。特に、客土と播種を施した実験区3,7,8にその傾向が顕著である。また、充填材を施工していない実験区5では、植被率60%程度と、他の実験区（実験区1,2を除く）と比較して植被率が低めの傾向にある。

植物種に関しては、斜面中・下部にタデ科植物が種類数多く、斜面上・中部にイネ科植物が数多いといった特徴がある。また、ヨモギ、セイタカアワダチソウといったキク科植物も比較的多く斜面上部に見られた。護岸周辺には、水際から高水敷まで多様な植生が分布しており、これらの周辺植生が侵入したものであると考えられる。また、川の流れや風により運ばれた種子もあると考えられる。

d) 昆虫類調査

① 調査方法

地表を徘徊するゴミムシ類は、飛行能力を持たない種が多く、移動性も比較的低いため、環境評価の指標とし

表-2 試験施工における要素の組合せ

実験区 (調査区)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ポーラスコンクリート	厚さ	20cm	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	空隙率	25%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	強度	10N/mm ²	○	○	○	○	○	○	○	○	○
覆土工		—	—	○※1	○	○	○	○	○	○	○
裏込め材	15cm	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—
吸出し防止材	10mm	○	○	—	—	○	○	○	○	○	○
植生工	播種	—	—	○※2	—	—	—	○	○	—	—
	充填材	—	○	○	○	—	○	—	○	○	○

※1 客土を施工 ※2 吹付けによる植生工

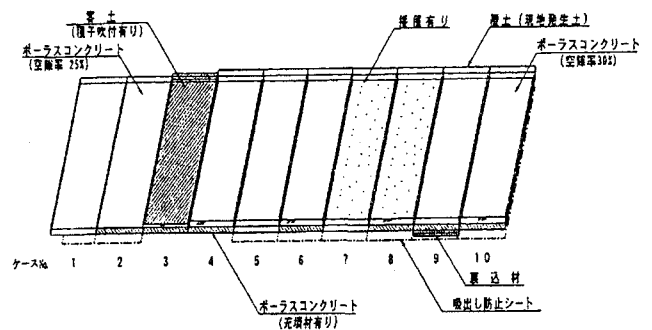


図-2 護岸の各実験区における構成要素の組合せ模式図

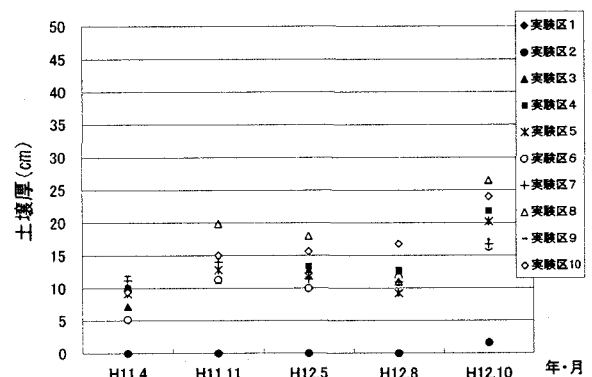


図-3 土壌厚経年変化(斜面上部)

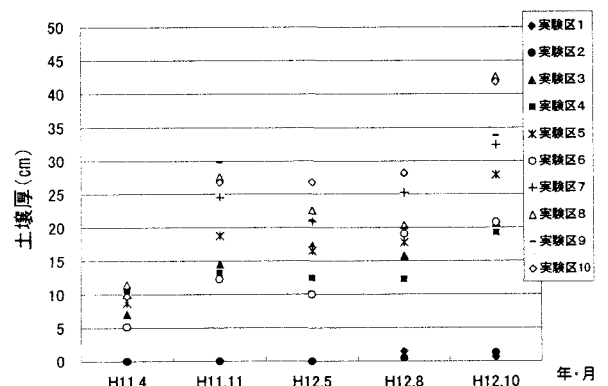


図-4 土壌厚経年変化(斜面下部)

では最適であると考えられる。したがって、ゴミムシ類を対象とするピットホールトラップ法による調査を行った。ここでピットホールトラップ法とは、一般的に地表徘徊性の昆虫類を採集する方法で、河川水辺の国勢調査では中に各種の餌を入れて放置する（ベイトトラップ法）が、今回は昆虫種の餌への嗜好性による偏りの原因を少なくするために餌を入れないで放置した。

ピットホールトラップを、実験区3～10と周辺の対照区1～3にそれぞれ設置した。実験区では5m幅の中心に縦に5個で1列配置した。対照区では代表的な環境に3カ所配置した。また、ゴミムシ類の採集結果には気温や降雨等の気象条件により幅が出ることが予想されるため、誤差をなるべく少なくするために、約3週間放置した後回収した。

② 調査地点

昆虫類調査では、周辺の生物環境との比較のために、植生・立地条件等を考慮して、周辺から対照区を3箇所選定した。対照区の環境状況は以下のとおりである。

- ・対照区1：セイダカアワダチソウが優占している乾性草地、立地は平坦。
- ・対照区2：イネ科草本類が優占している乾性草地、立地は平坦。
- ・対照区3：ヤナギ林の林床の湿性草地、立地は斜面（勾配30度程度）

③ 分析評価

環境の復元度を見るため、ピットホールトラップによる実験区別の種類と個体数から、Shannon-Wienerの情報理論にもとづく多様度指数 H' ³⁾を算出した。多様度指数は種類数と個体数の両方を加味して算出する数字なので、客観的判断での環境の復元度合いを考察するのに有効である。多様度指数 H' は以下の式で定義される。

$$H' = - \frac{n_i}{N} \sum \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

ここで、 n_i はS種からなる群集でi番目の種の個体数、 N は総個体数である。

ピットホールトラップ調査結果での多様度指数を図-7と図-8に示す。

平成11年と平成12年の比較では、各実験区とも確認種数は増加しており、それに伴い多様度指数も高い値になっている。また、実験区が多様度指数が対照区と同程度の値になっていることが確認された。このことから、ポーラスコンクリート河川護岸が周辺の自然環境と連続性のある状態となっており、生態系復元が達成されているといえる。

e) まとめ

この調査で、ポーラスコンクリート河川護岸での土壌の形成、植生の繁茂、昆虫類の生息という一連の流れのなかで生態系の復元について確認された。

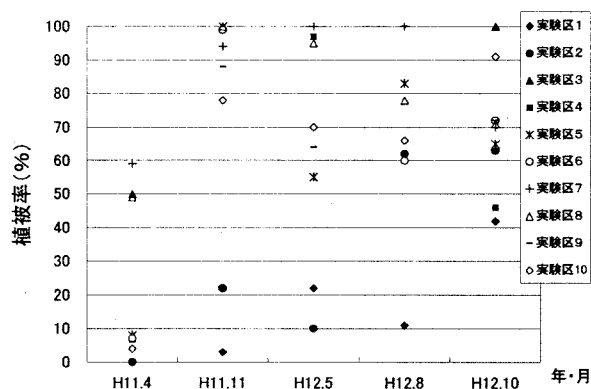


図-5 植被率経年変化(斜面上部)

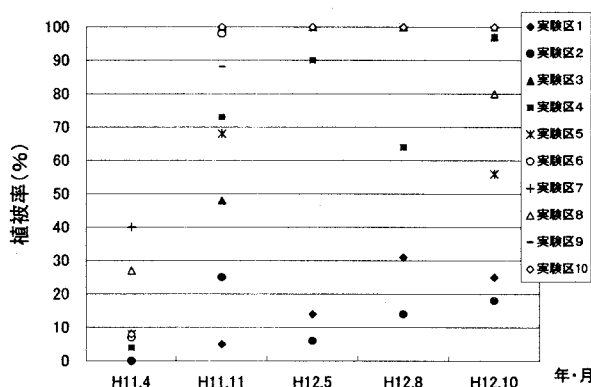


図-6 植被率経年変化(斜面下部)

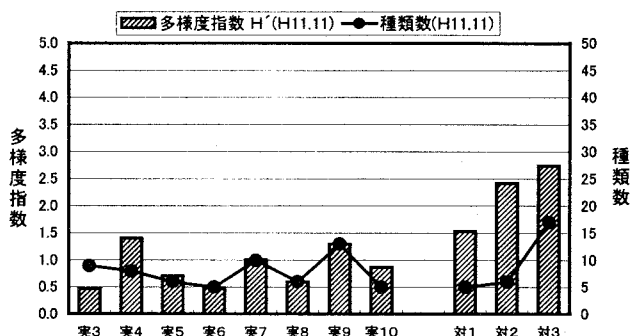


図-7 多様度指数と確認種類数(平成11年11月)

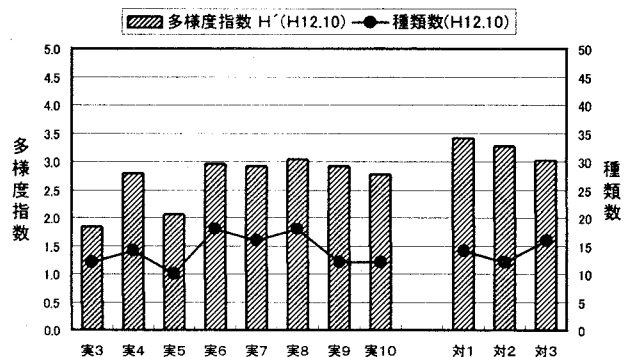


図-8 多様度指数と確認種類数(平成12年10月)

(2) プレキャストブロックによる試験施工護岸

平成7年10月に、建設省九州地方建設局は、プレキャストブロックによるポーラスコンクリート河川護岸の施工を実施した。生態系調査は植生・土壌厚調査および昆虫類調査を平成12年8月、10月（それぞれ施工後、4年10ヶ月、5年経過時）におこなった。以下にその生態系調査結果ならびに分析結果について述べる。

a) 河道諸元・護岸諸元

施工位置は、六角川水系石原川の佐賀県多久市牟田辺地先の低水護岸である。河床勾配は $I=1/300$ 、河道セグメントはセグメント1に分類される。ポーラスコンクリートの厚さは22cmで、客土は25cmである。使用されたポーラスコンクリートブロックは普通コンクリートの枠付きで、5号碎石、連続空隙率22%、強度18N/mm²である。

b) 植生調査結果

① 調査地点

調査は、ポーラスコンクリート河川護岸の吸出し防止材ありの区間から3地点、吸出し防止材なしの区間から3地点を選定し、各地点とも上部と下部で調査を実施した（合計12地点）。また、周辺の対照区として、ポーラスコンクリート河川護岸の近接（高水護岸の天端部）1地点、土護岸1地点、コンクリート護岸1地点の3地点を選定し、調査を行った。

② 調査結果

各地点の植被率および種数は、図-9～図-12に示すとおりである。各地点では2～11種が確認された。これらの種は河川や路傍などで普通に確認できるものであり、ジュズダマなどのイネ科やオオアレチノギクなどのキク科が多い。ポーラスコンクリート河川護岸で確認される種のタイプは土護岸とほとんど共通するものであり、ポーラスコンクリート河川護岸の近接ではシバ属の一種（施工で張り付けられたものと考えられる）が優占しており多少異なる。ポーラスコンクリート河川護岸での出現種数は1地点を除いた11地点で対照区の土護岸よりも多く、コンクリート護岸と比較すると、全地点で上回っている。植被率はポーラスコンクリート河川護岸で50～95%であり、土護岸の95%と比べると低いものの、コンクリート護岸の10%に比べると明らかに高くなっている。

根の進入状況調査はポーラスコンクリート護岸から約10cm径のコアを抜き取り、根のサイズをコアの上面・側面・下面で計測した。コアはポーラスコンクリート河川護岸の各地点（6地点）で、護岸上部および護岸下部の2サンプル、合計12サンプルを採取した。

ポーラスコンクリート河川護岸への植物根の進入状況は、表-3に示すとおりである。吸出し防止材の有無による根の進入・貫通状況には差がみられ、コア上面・側面・下面とも吸出し防止材なしのポーラスコンクリート河川護岸の方が根の進入・貫通本数は多い傾向にある。ただし、植物種による進入・貫通本数の大小の差異は認められなかった。

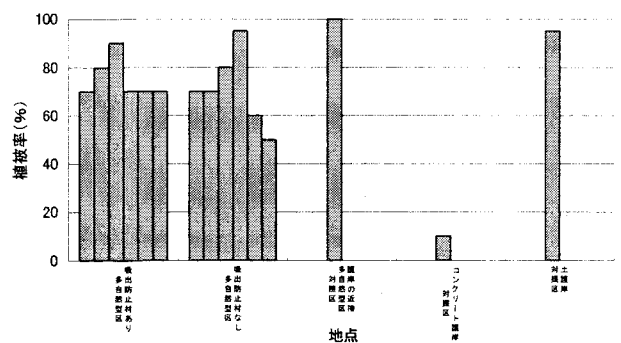


図-9 地点ごとの植被率(夏季)

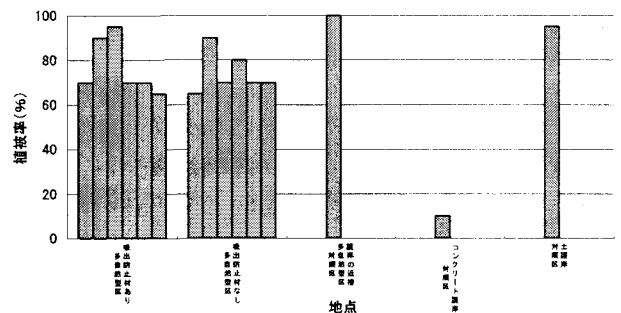


図-10 地点ごとの植被率(秋季)

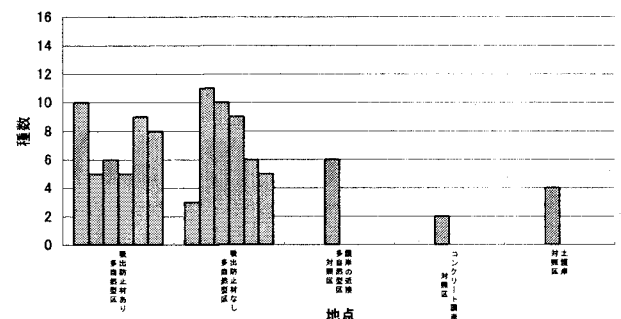


図-11 地点ごとの植物の出現種数(夏季)

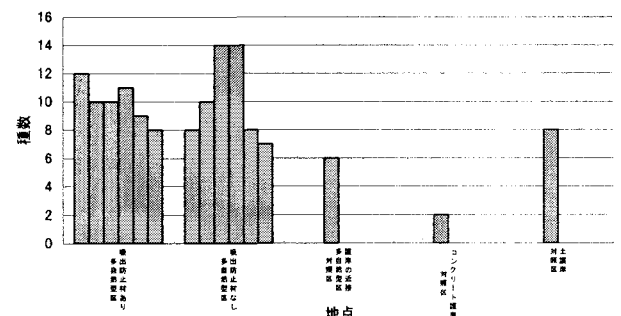


図-12 地点ごとの植物の出現種数(秋季)

表-3 根の進入・貫通状況

吸出し防止材の有無	上面			側面			下面		
	根の本数			根の本数			根の本数		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
あり	1	28	11.2	1	14	5.7	0	2	0.8
なし	5	40	15.8	2	28	11	0	6	3.2
全体	1	40	13.5	1	28	8.4	0	6	2.0

c) 昆虫類調査

現場打ち試験施工護岸と同様な調査をおこない、調査区別の種類と個体数から、Shannon-Wiener の多様度指数 H' を算出した。

図-13 に任意採集法（スィーピング法）による多様度指数を示す。また、ビットホールトラップ法による多様度指数も周辺の土護岸や近接の高水護岸と同等の多様度指数を示した。これらの多様度指数より、ポーラスコンクリート河川護岸は周辺と同等の多様度指数を有しており、生態系の復元効果が見られる。

また、昆虫類の調査結果より以下のことが明らかとなった。

- ①ポーラスコンクリート護岸部の昆虫群集は、科数及び種数及び個体数において土護岸部のそれとほぼ同等であった。
- ②施工から約5年が経過し、ポーラスコンクリート護岸部にはある程度固有性のある昆虫群集を形成させることに成功しているといえる。
- ③ポーラスコンクリート護岸部の中で、吸出し防止材を施した部分とそうでない部分では昆虫群集の構成や個体数に顕著な相違は見られなかった。

d) まとめ

施工後5年以上を経過していることから、ポーラスコンクリート部での丈の低い草本が優占する状況は継続しているものと思われ、ポーラスコンクリート護岸の基礎構造が植物の乾性遷移を低丈の草本段階に保っていると考えられる。ポーラスコンクリート護岸部の昆虫群集は、科数、種数および個体数、また多様度指数も周辺区の土護岸部のそれとほぼ同等であり、ポーラスコンクリート護岸工法による生態系復元効果が認められた。

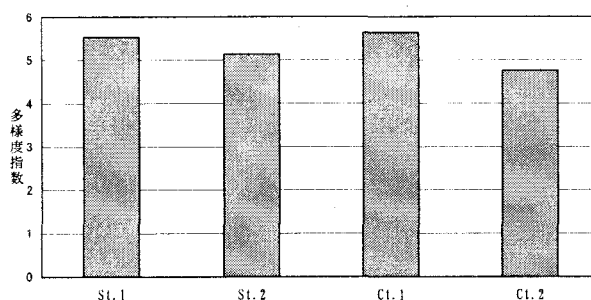
また、吸出し防止材の有無では、植被率、植物種数、昆虫群集の構成や個体数に顕著な相違は見られなかった。ただし、根張り状況調査では、吸出し防止材なしの箇所の方が、吸出し防止材ありの箇所よりも、根の進入・貫通状況は良好であった。

ポーラスコンクリート護岸では、周辺の土護岸部に比較すると、丈の低い草本が卓越し、たとえ丈の高い草本や灌木が生育しても、群生状態にならなかった。このような状況は、本工法がセイタカアワダチソウなどの地下茎を走行させて群生するタイプの草本や根部が肥大する多年生草本または木本にとって、根系を十分に発達させるために構造上適当でないことに原因がある。これらはポーラスコンクリートの空隙率を調整することにより、セイタカアワダチソウなどの丈の高い草本を制御できるものであると考えられ、空隙率 22% でその効果が十分現れているものと考えられる。

5. 総括

以下に得られた知見について総括する。

- ① 高い植被率を得るためには、連続空隙率 21% 程度



(St. 1: ポーラスコンクリート護岸・吸出し防止材あり
St. 2: ポーラスコンクリート護岸・吸出し防止材なし
Ct. 1: 近接の高水護岸・張芝, Ct. 2: 近接の土護岸)

図-13 任意採集法による多様度指数

以上が望ましく、充填材もしくは覆土を行えば、より効果が期待できる。

- ② ポーラスコンクリート河川護岸では、施工後の経年変化についてみると、土壌の堆積、植生の繁茂に従い、植生群落も周辺にみられる植生群落へと遷移し、昆虫類の多様度指数も周辺の値に近づいていく。すなわち、生態系復元効果が確認された。
- ③ 通常、時間とともに植生環境は遷移が進み、環境および生息種は変化していく。昆虫類の中には、その植生遷移の過程の一時期を利用する種も多い。ポーラスコンクリートは従来のコンクリートに比べ、植生の侵入生育が期待できることから、空隙率を調整することで、植生遷移の途中段階を保つ目的で利用できる。したがって、河川護岸の他に、海岸の護岸工事、道路わきの崖地の崩落防止、さらに自然公園などでの草原性生態系の創出など、ビオトープへの活用が可能であると考えられる。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、国土交通省中部地方整備局ならびに九州地方整備局の関係各位には、調査の便宜を図っていただきました。この場を借りて、深謝申し上げます。

参考文献

- 1) ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き、財団法人先端建設技術センター編、山海堂、156p、2001。
- 2) 宇田川義夫、中村敏一、大嶋英実、塩屋俊一、佐合純造、寺川 陽、玉井元治：植生環境に配慮したポーラスコンクリート河川護岸工法について、地盤工学における生態系を考慮した環境評価に関するフォーラム(第3回)、発表論文集、地盤工学会、pp.17-24、2000。
- 3) 今井長兵衛、石井 実(監修)：チョウの調べ方、日本環境動物昆虫学会 編、文教出版、pp.77-78、1998。

(2001. 4. 16 受付)