

26. 生物対応型エココンクリート

ORGANISM ADAPTABLE CONCRETE

玉井 元治^{*1}・水口 裕之^{*2}・岡本 享久^{*3}

Motoharu TAMAI, Hiroyuki MIZUGUCHI, Takahisa OKAMOTO

ABSTRACT; The purpose of this study was to search for ecologically acceptable ways to stimulate the natural self-purification activities in the civil engineering construction fields. Porous concrete, through which water and/or air can pass freely, is assumed to be organism adaptable concrete, as planting and water purifying concrete. This paper discussed on the properties of porous concrete and its applications used for environmental field. As the results, porous concrete is thought to be useful in the establishment of well-balanced biological environment.

KEYWORDS; Ecological Concrete, Organism Adaptable Concrete, Planting, Water Purifying

1. はじめに

本論文は、生物対応が可能なエココンクリートの概念と連続空隙を有する多孔質コンクリートの物性につき述べ、それが緑化や水質浄化用コンクリートとして利用可能なることを示す。従来のコンクリートは自然破壊の元凶とされていたが、連続空隙を形成させ多孔質化すると水や空気を自由に通すため、植物の植生が可能となるばかりでなく、自然の水域または水際域に設置すると、表面の凹凸部のみならず内部空隙にバクテリアをはじめ微小動植物が付着棲息し早期に生物環境を良好にし、多様性生物の棲息場を提供することができる。かくして、この種のコンクリートの利用は、地域環境の創造のみならず、延いては地球環境の保全に適したコンクリートとして提供するものである。なお、この内容は(社)日本コンクリート工学協会「エココンクリート研究委員会報告書」¹⁾ [上記の委員を含む以下の関係委員により、エココンクリートに関し次の各課題を取り纏めた。

- 1) 定義とフィロソフィー(概念) (水口 裕之・堺 孝司・河合 研至・有富 範伊)
- 2) エココンクリートの用途と要求条件の検討 (出村 克宣・金子 文夫・大久保 隆昭・親林 和生・島谷 幸宏・田淵 博・福手 勤)
- 3) ポーラスコンクリートの適用に関する検討 (岡本 享久・安田 登・天羽 和夫・佐藤 文則・島田 裕康・古沢 靖彦・増井 直樹・丸山 久一・柳橋 邦生)

(社)日本コンクリート工学協会エココンクリート研究委員会, The Committee on the Ecological Concrete of Japan Concrete Institute

*1 委員長(Chairman), 近畿大学理工学部土木工学科 Dept. of Civil Engr. Kinki Univ.

*2 副委員長(Vice-chairman), 徳島大学工学部建設工学科 Dept. of Civil Engr., The Univ. of Tokushima,

*3 幹事(Secretary), 日本セメント中央研究所 Center Institute, Nihon Cement, Co. Ltd.

および「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集」²⁾を基にして作成した。

2. 生物対応型エココンクリートの概念

生態系との調和あるいは共生を図ることができるコンクリートであり、生物の棲息場を確保したり、生物へ悪影響を与えないように工夫したコンクリートである。これらは構造物の形態、配置場所等の構造レベルの工夫や、構成物質に関わる材料レベルでの工夫がなされている。具体的には、生物の棲息場の確保として水生生物にたいして多量の付着面や棲息空間を与えたり、草本植物の根系が侵入し成長と固定化する連続空隙を有するコンクリートがこれらに該当する。また、生物の棲息に悪影響を与えないものとして、アルカリ分の溶出を低減したり、内部に水分や気体輸送を円滑にし、生物の棲息を補助した構造形態もこれに相当する。これらの概念を模式的に示すと図1のようになる。

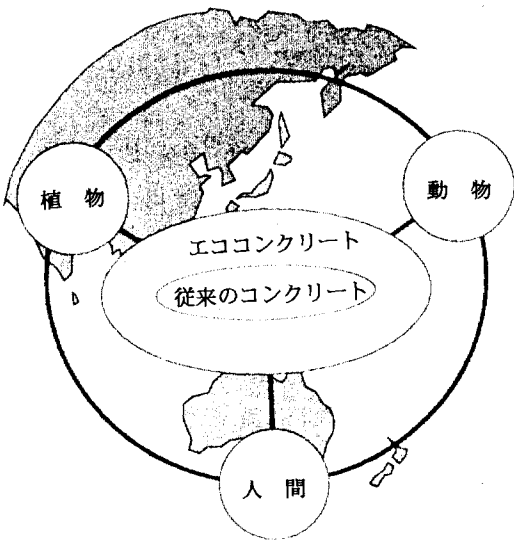


図1 エココンクリートの概念

3. ポーラスコンクリートの物性

生物の棲息環境に適するポーラスコンクリートの設計上の位置づけは、岩盤、構造用コンクリート、砂礫地盤等の複合的な領域に属し、強度と透水性の二次元で表現すると各材料の概念は図2のように示すことができる。それら材料を使用するに当たっては用途や要求される機能に応じた性能を特定する設計項目を定める必要がある。ここでは基本的な利用形態と設計上の要求項目の内、代表的な試験項目である空隙率、透水性および強度を示す。一般に試験項目は、用途・目的に対する性能を評価するために行うもので、水質浄化コンクリートには、透水係数、全空隙率、連続空隙率の試験を、緑化コンクリートでは、空隙径、連続空隙率、pH等の試験を行う必要がある。

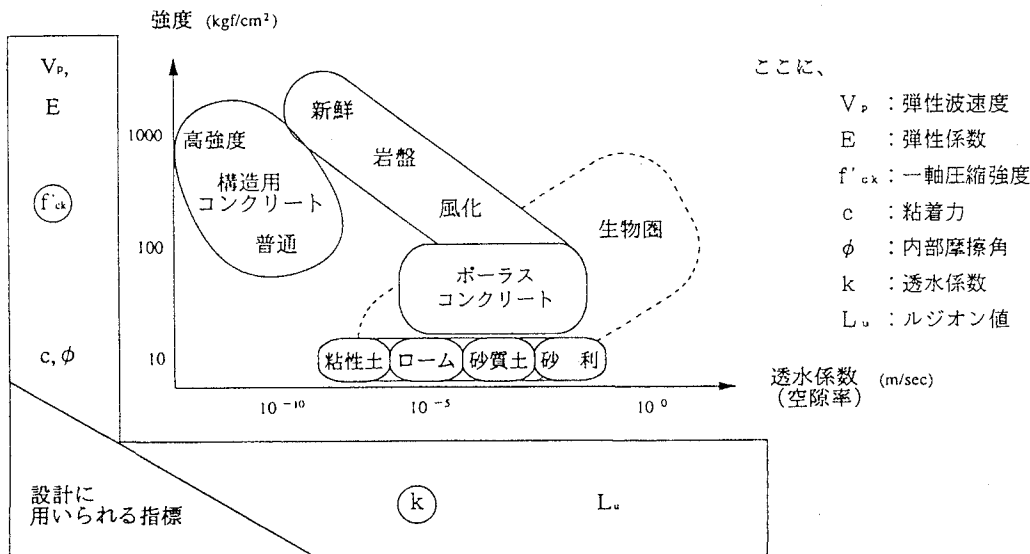


図2 ポーラスコンクリートの物性に関する概念

3. 1 全空隙率と連続空隙率

ポーラスコンクリートの空隙には独立空隙と連続空隙があり、生物対応型エココンクリートでは連続空隙率が重要な要素である。緑化や生物棲息用または水質浄化用コンクリートに対しては、できるだけ大きな空隙率と空隙径が望ましいが、強度との相関性があるため限界がある。これらを考慮した実用的な連続空隙率の値は20-30%、空隙径は1-5mmと見做して差支えない。

3. 2 透水性

ポーラスコンクリートの透水性は、骨材粒径、即ち空隙径と連続空隙率の大小に依存し、水頭差の影響が大きいため注意が必要である。透水係数（K）の値は、緑化コンクリートに対しては根系の侵入を考慮すると、水頭差を5cmとして、2cm/s以上が望ましい。生物棲息用または水質浄化用コンクリートでは、バクテリアや小動物の棲息空間と、それらが持続して棲息するためには、酸素を含んだ水の供給が必要であることから、（K）は水頭差を5cmとして、1.5cm/s以上が望ましい。

3. 3 圧縮強度

部材の製造、運搬、据付け過程で損傷を防止するには、適切な強度が必要であり、また持続して使用に耐えるためには耐久性が必要である。ポーラスコンクリートの強度は、使用箇所や利用目的・方法によって相違するが、一般に緑化コンクリートに対しては15-20N/mm²程度が必要であり、生物棲息用または水質浄化用コンクリートでも20N/mm²程度以上の強度が望ましい。

本委員会の物性試験方法（案）¹⁾に従って5研究機関が独自の製造方法によって製造した供試体の全空隙率、連続空隙率、透水係数、圧縮強度の評価試験を行い以下の結論を得た。

- 1) 透水係数は、ダルシーの法則に基づくが、空隙性状や連続空隙率の値によっては水頭差（動水勾配）の影響を受けるため、透水係数は動水勾配の値も同時に表示することとした。
- 2) 動水勾配 0.2～0.3 に相当する水頭差での透水係数で示すと実用上差支えない。
- 3) 圧縮強度は結合材の単位量と強度に比例し、骨材粒径に反比例の関係を示すようである。
- 4) 本委員会が提案する「ポーラスコンクリートの物性試験方法（案）」に基づき試験を行うと、その物性をほぼ把握できる。

4. 利用形態と要求性能

4. 1 利用形態

エココンクリートは普通コンクリートと同様に、所要の強度・耐久性を備え、エコマテリアルとしての特殊な機能を有する必要がある。例えば強度や耐久性状に関しても、普通コンクリートとの複合化や繊維質材を混入して改良する方法もあるが、植物の植生や水質浄化及び環境保全等のそれぞれの利用形態によって、物理的な性質のうち空隙径、全空隙率、連続空隙率、透水性等、および化学的な性質として遊離石灰の溶出の有無が、内部要因の相違によって変化するため所望の要求に合うものを提供することが望ましい。

4. 2 要求性能を満足するための物性管理

ポーラスコンクリートの空隙率は20-30%を目安として、結合材の特性、独立空隙、連続空隙の大きさや形状とその量等、要求される因子は多い。それらの要求性能に対する材料計画のフローの一例を表1に示す。

表1 要求性能に対する材料計画のフローの一例

用途・目的の設定	緑化，水質浄化，動植物の棲息場を創造し自然環境の回復・復元，再生，景観，漁礁等
使用場所の設定	緑化・自然環境の回復・復元・再生：山，河川，宅地の法面や平面 水質浄化・自然環境の回復：ビルの周辺や屋上緑化等 河川，湖沼，海浜等
使用方法の設定	植物：芝，雑草，花卉類か灌木か，また1年草か，多年草か，または藻類か？ 動物：微生物，原生動物，甲殻類，多毛類，貝類，昆虫類か？
使用形態の設定	ポーラスコンクリートだけで製造可能か，RCにするか，板かブロック化するか，その形状は，普通コンクリートと複合化するか，繊維質素材やポリマー等の有機質材料を利用するか？
耐用年数の設定	例えば， 2～3年：灌木によって法面保護する基盤 10～20年：短期自然環境の回復・復元する場合等 20～30年：漁礁用コンクリートは30年以上としている 30～50年：海洋に利用する鋼材は50年以上としている
材料計画	用途・目的に応じて物性の目標値を設定し，これを満足するための使用材料の選定，配合等を決定する．例えば，強度，空隙率と空隙径，透水係数，耐水性，遊離石灰の溶出等 強度：使用する骨材の粒径にも関係するが，主として結合材の強度と，その単位量に依存する． 空隙率と空隙径：使用する骨材の種類（粒径と空隙率等）と結合材の量による． 耐久性：水中における凍結融解の抵抗性は弱いが生空空中では普通コンクリートよりもやや弱い程度であり，使用する場所によって大きく相違する． 強度，耐久性，空隙量などポーラスコンクリートの基本的な性能以外にエコマテリアルとして必要な物性値を設定し，これを得るため使用材料・配合の選定を行う．例えば， 透水係数：使用する骨材の種類（粒径と空隙率等）と結合材の量による．また水頭や水の温度にも影響される． 遊離石灰の溶出：水際や水中では初期において遊離石灰の溶出が大きく，生物への影響と結合材の耐久性も低下させるため注意する必要がある
物性値の管理	必ず設定 強度の設定 空隙量の設定 耐久性の設定 必要に応じ設定 その他の性能の設定 ○内部組織・空隙等の管理物性値 細孔径分布（独立空隙量，連続空隙量），吸水率，含水率，透水係数，透気係数，透湿係数，比熱，熱電導率，遮音率， ○表面性状の管理物性値 熱伝達率，吸音率，表面硬度，摩耗抵抗性 ○強度性上の管理物性値 圧縮強度，曲げ強度，引張強度，せん断強度，弾性係数 ○耐久性性上の管理物性値 中性化，耐久性指数，乾燥収縮率，電気伝導率，pH
施工・維持管理	

4. 3 化学的物質からの要求項目

コンクリートを構成する材料は化学混和剤を除外すると殆どが無機物であり、硬化体から溶出する水質汚濁防止法に定められた無機の有害物質は、ppbオーダー以下かまたは検出されない。

化学混和剤についても土木学会基準によって有害物質質量およびマウス・ラットに対するLD50の上限が規定されており、生物に対しては安全であると考えられる。ただ、ポーラスコンクリートからの遊離石灰の溶出は水域において材令初期に大きく、強度低下にも繋がるので注意が必要である。材令初期に水中や水際域に設置する場合、周辺の生物に悪影響を与えることがあるため、表面を中性化してから使用するか、遊離石灰と反応するポゾラン質やポリマーエマルジョン等の混和材料を混入する等の対策が望ましい。

5. ポーラスコンクリートの適応

5. 1 陸上環境への適用

陸生生物がコンクリートの表面や内部に棲息するには、コンクリートを多孔質化する必要があり、しかも微生物、小動物、植物等の棲息または植生する生物に悪影響を与えないものでなければならない。連続空隙を有するポーラスコンクリートを写真1に示す。

1) 植物が生えるためのコンクリート：土壌が持つ機能を人工的に造る必要があり、根系が伸長するための空間、アルカリ成分や塩類の溶出防止及び保肥性、保水性、透水性の付与が要求される。

実施工した緑化コンクリートの一例を写真2に示す。

2) 微生物や小動物の棲息のためのコンクリート：細菌や糸状菌等の土壌微生物、線虫昆虫、蜘蛛、ミミズ、トビムシ等の土壌小動物の棲息のためには、適当な空隙、保水性、透水性及び腐食土等の餌となる有機物が必要である。

4. 2 水域環境への適用

1) 河川・湖沼環境とエココンクリート

河川・湖沼は水そして岸、底、構造物等から構成されている。これらの空間と水が一体となって生物が棲息する住み家（ハビタット）を形成する。これは各生物の生活段階で利用する場所であり、また生活史の中で必要となるハビタット間の連続性を保つことが必要である。

ポーラスコンクリートは、連続空隙を形成しており、通気性、透水性、水分の保持、表面の肌理等に特徴がある。水中や水際域に設置すると藻類の付着や原生動物等、小動物の住み家が形成され昆虫類や魚類に対しても良い環境が創造されるものと考えられる（写真3参照）。

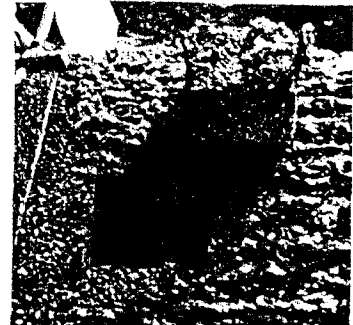
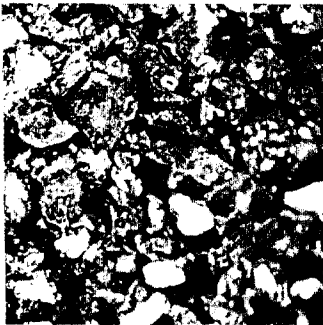


写真1 ポーラスコンクリート、 写真2 植栽への適応、 写真3 生物付着の状態

2) 海洋環境とエココンクリート

海洋におけるエココンクリートの用途について考察する場合、コンクリートの生態的特性をポーラスコンクリートなど「エココンクリート材」としての材料面から検討する方法と、コンクリート材およびコンクリート構造が創出する生態的空間としての「エココンクリート空間」として検討する方法等がある。コンクリートは、その材料特性上、微細空間やポーラスコンクリートのような空隙空間、及びコンクリート構造物の創出するマクロな空間まで幅広い空間的スケールを持っている（図3参照）。一方、生態系のスケールもミクロからマクロなものまで多重の階層構造を成しており、更に距離スケールから時間スケールまで極めて幅が広い。

ポーラスコンクリートの連続空隙径は、使用する骨材と結合材量によっても相違するが、一般の値は、0.01~10mmであり、その空間に棲息する生物は、バクテリア、原生動物、小型動物等が考えられる。しかし、表面性状が凹凸であり、通気性や透水性があることから付着生物が多様化するものと思われる。

空隙の大きさ	μ	mm	cm	m	km	機 能
材料 (人工) (自然)	コンクリート	砂浜	繊維、ポーラスコンクリート	消波ブロック	岩礁	
生 物	バクテリア.....	原生動物.....	環形動物 (多毛類)	軟体動物.....	魚類.....	生物の棲みか (空隙)
利用形態 (生物共生)		ハビタット.....	ハビタット.....	ハビタット.....	ハビタット.....	
		ピオトープ.....	ピオトープ.....	ピオトープ.....	ピオトープ.....	
			ミチゲーション.....			
ろ 過 (透明度)						透水性
光 (透過、反射)	光合成細菌.....	褐藻・藍藻.....	海藻 (藻) 類.....			N、P の除去 付着基盤の粗度 (腐蝕性、藻類増殖)
集 積		餌のトラップ (栄養塩類)				
流 速		滞留時間、渦の形成 (生物の集積)、剥離				透水性、 表面粗度 形状 (配置)

図3 空隙性状と棲息生物及び水質浄化に関与する項目

3) 水質浄化

ポーラスコンクリートの水質浄化機能は、コンクリート表面に形成された生物膜の作用による。生物膜にはバクテリアから単細胞藻類、小動物、大型藻類、貝類、そして大型動物まで種々の生物が環境条件に応じて棲息しており、生物膜上では一種の生態系が形成されていると考えられている。生物膜による水質浄化を行うものに直径20-30cmの自然石やコンクリート塊を用いた礫間接触酸化法がある。ポーラスコンクリートは内部空隙を有するので微生物が棲息しやすく生物膜の形成状態も複雑で、生態系も空隙性状に依存して多様であると考えられる。ポーラスコンクリートを用いて沿岸域や河川の護岸等を構築すると、自然の水質浄化能力はこれまで以上に向上するものと予測される。

微生物による水質浄化の原理は汚染物質の生物的固定と代謝分解である。ポーラスコンクリートの浄化能力は棲みつく微生物の量と種類、微生物の代謝機能を働かせる培養条件としての周辺的环境条件に依存する。ポーラスコンクリートの特徴である空隙性状と棲息生物及び水質浄化に関与する項目との関係を図3に示す。

6 結 び

従来、コンクリートは構造材料に利用することを目的に緻密にして、高強度、高耐久性等、高性能化を図るため研究されてきた。J C Iエココンクリート研究委員会では、地球環境の現況に鑑み、人類の持続可能な開発と発展を図る目的で、生物が適応できるエココンクリートにつき研究を進めてきた。そのうち特に生物環境との接点のあるポーラスコンクリートの物性と種々な環境への応用につき調査・検討した。その結果、自然環境破壊の元凶とされてきたコンクリートも多孔質化や表面性状の変化等、色々な工夫をすることによって、植物の植栽が可能となったり、微生物をはじめ小動物類の棲息が可能となる等、過去に見られない陸域や水域の環境創造用材料として、利用可能なることを示唆した。

〔参考文献〕

- 1) エココンクリート研究委員会報告書、(社)日本コンクリート工学協会、1995.11.
- 2) 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集 (社)日本コンクリート工学協会、1995.11.