

エココンクリートについて

徳島大学工学部 正会員 水口 裕之

1. はじめに

「地球宇宙船」という言葉は、1964年の国連総会で当時のアメリカ国連大使スティーンソンが初めて使ったといわれている[1]。これは、地球は有限であるということを世界的に意識し始めた最初であろう。また、1971年のローマクラブの「成長の限界」、1972年の第1回国連人間環境会議、1992年6月リオネジャネイロの地球環境サミットなどを経て、世界は地球環境時代にふさわしい努力を約束し、我が国では、1993年11月環境基本法が公布された[2]。環境基本法の基本理念は、「健全で恵み豊かな環境の恵沢を現在及び将来の世代が享受できるようにするとともに、人類の存続の基盤である環境が将来にわたって維持されるようにする」とし、「環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築」がうたわれ、多様な生物たちと環境を分かちあうことが求められている[2]。

「持続可能な開発」を実現するために必要なものの一つに、この要請に応えられる材料の開発が考えられる。このような材料を「エコマテリアル」と名付け、未踏科学技術協会レアメタル研究会では、①人類の活動圏を拡張、活動環境を拡張する(フロンティア性)、②人類の活動圏と外部環境との調和をはかる(環境調和性)、③活動圏の中で生活環境に豊かさを与える(アメニティ性)の3条件を満足するものとしている[3]。これらには、相互に対立する内容を含んでいるが、今後、材料として求められる条件である。主要建設材料の一つであるコンクリートの主素材であるセメントは、それを1t製造する際に約800kgの二酸化炭素を排出し[4, 5]、また、従来の緻密なコンクリート構造物は生物との共生が困難で、必ずしも環境に調和しているものばかりとはいえず、コンクリートをエコマテリアルとはいえない。

しかし、コンクリートは主要な建設材料であり、「持続可能な発展」を実現するためには、建設活動が必要との視点から、地球環境への負荷の少ないコンクリート、生物との接点を持つことができるコンクリートについて検討することが求められる。地球環境とコンクリートとの関係には、セメント、骨材などの原材料の採取、セメントの製造、産業副産物の利用、コンクリート構造物の建設、リサイクルなどを通して、地形改変、エネルギー消費、不要物質や熱の排出などによる大気汚染、水質汚染、廃熱、廃棄物などによる環境への負荷と、生物とコンクリートとの共生のあり方などが考えられる。

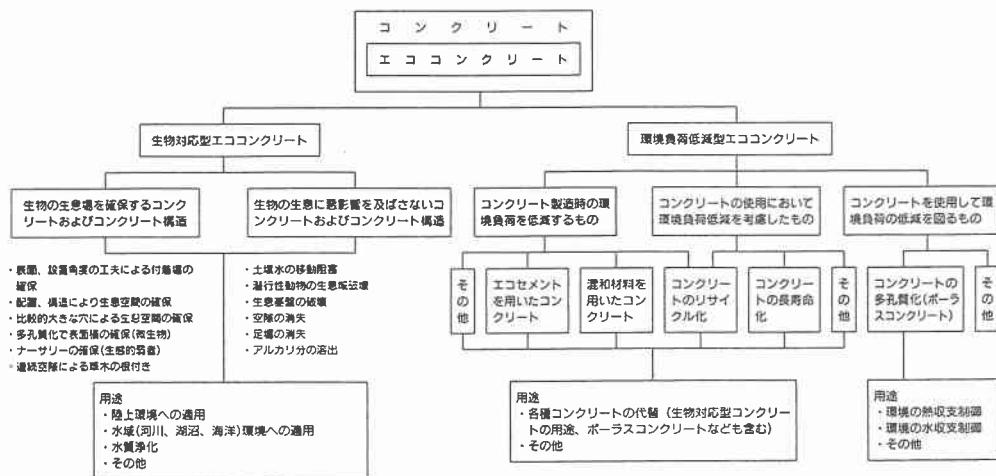


図-1 日本コンクリート工学協会のエココンクリートの概念[6]

そこで、これらの配慮をしたコンクリートを、日本コンクリート工学協会(以下「JCI」と書く)では「エココンクリート」と定義し、図-1を提案している[6]。ここでは、この提案をもとに、エココンクリートの現状について述べることにする。

2 エココンクリートの分類[7]

JCIの研究委員会が提案したエココンクリートでは、図-1に示すように①生物対応型エココンクリートと②環境負荷低減型エココンクリートとに分けている。

①の生物対応型エココンクリートは、生態系と調和あるいは共存を図るもので、凹凸や空隙を設け生物の生息場を確保したものであり、従来のコンクリートを用いて実現できる場合や、生物の生息に悪影響を及ぼさないよう従来のコンクリートの性質を改良したものである。

②の環境負荷低減型エココンクリートは、廃棄物、資源枯渇、汚染、エネルギーなどによる環境負荷の低減に効果があるものであり、コンクリートの製造時、コンクリートの使用時においてあるいはコンクリートを使用して環境負荷を低減させるものであり、エコセメント・産業副産物などの利用、リサイクル、長寿命化、多孔質化などがある(図-1参照)。

表-1 植物を生育させるためのコンクリートの改善[8]

項 目	目 的	具 体 的 方 策
根の伸長	伸長空間の確保	空間の確保
養分の吸収	C E C 確保 p H の適性化 E C の適性化	高 C E C 物質の添加 低アルカリセメントの使用 中和 緩衝物質の添加 吸着物質の添加 樹脂コーティング
透水性	根の呼吸	連続空隙の確保
微生物・ 小型動物	植物遺体の分解	空間の確保

3 生物対応型エココンクリート[8]

3.1 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で生息できるようにするためには、生物が棲息できる環境とすることが必要である。すなわち、コンクリート構造物の表面を凹凸にしたり、表面や内部に空隙を設けたり、生物が棲息するのに必要な養分、水分、空気などが供給され、しかも、コンクリート自身が微生物、小動物、植物など棲息や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。

(1) 微生物や小動物が棲息できるコンクリート：細菌や糸状菌などの土壌微生物、線虫昆虫、蜘蛛、ミミズ、トビムシなどの土壌に棲息する小動物が棲息するためには、適当な空隙、保水性、透水性、餌となる腐植土などの有機物が必要である。

(2) 植物が生えるコンク

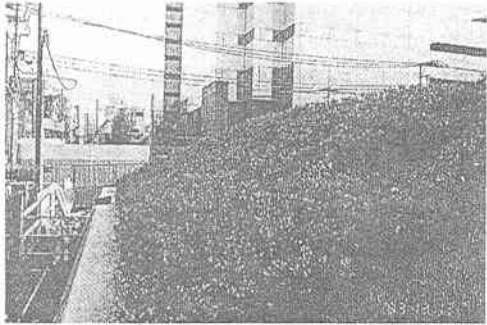


図-2 緑化コンクリートの一例[9]

表-2 緑化コンクリートの事例[8]

名 称	緑化コンクリート	植栽コンクリート	ラ・ボラ	植生コンクリート
開発者名	竹中工務店 他	秩父小野田 他	グリーンモメント	三井建設
圧縮強度*	100~150	100~140	45	20~100
骨材径	15~25mm程度	10~15mm程度		15~20mm程度
空隙率	30%以上	30%	任意	20~35%
充填材	ピート土、肥料	有	大鋸屑、活性炭	無
客 土	2~4cm厚	無	無	5cm厚
植 物	芝、低木	芝、花	芝	芝
施工方法	打設→充填→客土	培養土投入→7'ロック設置	打設→充填材配置→打設	7'ロック設置→客土
実 績	隅田川 他	東関東自動車道 那珂川 他		利根川 原野谷川

(注)*: (kgf/cm²)

空隙の大きさ					機能
μ	mm	cm	m	km	
材料 (人工) (自然)	コンクリート	繊維、ポーラスコンクリート	消波ブロック		
生 物	バクテリア.....	原生動物.....菌形動物 (多毛類).....節足動物.....	魚類.....鳥類.....		生物の棲みか (空棲)
利用形態 (生物共生)	ハビタット.....ビオトープ.....	ハビタット.....ビオトープ.....	ハビタット.....ビオトープ.....		
ろ 過 (透明度)		ミチゲーション.....			透水性
光 (透過、反射)	光合成藻類.....浮遊プランクトン.....	海藻(葉)類.....			N、Pの除去 付着基質の粗度 (凹凸性、表面組成)
集 積	餌のトラップ (栄養塩類)				透水性、 表面組成 形状 (配置)
流 速	滞留時間、渦の形成 (生物の捕食)、剥離				

図-3 空隙特性と生物および水質浄化との指標項目[10]

リート：土壌が持つ機能を人工的に造る必要があり、根系が伸張するための空間、アルカリ成分や塩類の溶出防止、保肥性、保水性、透水性を付与することが要求され、微生物などが棲息できることも求められる。これらの要求を満たす方策等を表-1[8]に示す。

連続空隙を持たせたポーラスコンクリートは、このような要求を満たすものとしていくつかの適用例がある。表-2[8]は、植生をしたポーラスコンクリートの事例であり、図-2[9]はその一例を示す。

3.2 水域環境への適用[10]

水域環境では岸、底、構造物と水とが一体となって生物が棲息する住みか(ハビタット)を形成している。これは、各生物の生活段階で利用する場所であり、生物によって適する空間スケールが異なり(図-3[10]参照)、また、各生物の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も要求される。

また、生物による水質浄化は物体表面に形成された生物膜の作用によって行われる。生物膜には、バクテリアから比較的大型の動物まで種々の生物が環境条件に応じて棲息しており、生物膜では一種の生態系が形成されていると考えられている。連続空隙を持った多孔質コンクリートではその表面積が大きく、また、空隙特性の異なる空隙を持ち、好気的環境と嫌気的環境とを同時に持つこともでき、生物膜が発達しやすく、吸着性能もあり、水質浄化機能を持つことが考えられる。図-4[10]は、連続空隙を持つポーラスコンクリートの海水浄化機能を調べた一例であり、砕石や天然石に比べて高い浄化機能を持つことが示されている。

水中のコンクリート構造物へ水草、海藻などが付着しやすくなったこともエココンクリートの要件を満たしたものの一つであり、図-5[11]のようにポーラスコンクリートは海藻の着生が良いことが得られている。

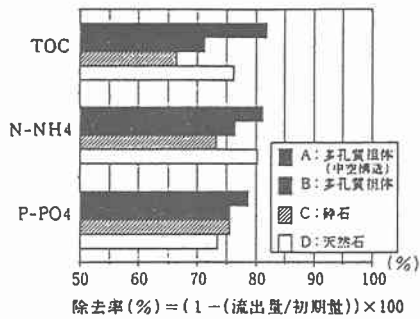


図-4 多孔質担体による海水浄化(98日後)[10]

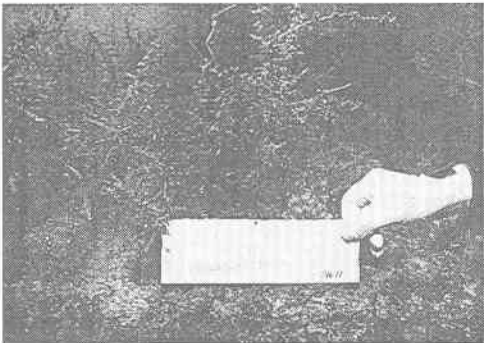


図-5 ポーラスコンクリートへの海藻の着生状況 (1年後)[11]

4 環境負荷低減型エココンクリート[12]

4.1 熱収支の改善

普通のコンクリートの熱伝導率は $1.2 \sim 1.3 \text{ kcal/m/h} \cdot ^\circ\text{C}$ 程度で、夏期には熱くなり、ヒートアイランド現象を起こす要因の一つとなり、逆に、冬期には底冷え現象を起こすこととなる。ポーラスコンクリートは、多孔質体であるため、一般に熱伝導率は $0.8 \text{ kcal/m/h} \cdot ^\circ\text{C}$ 程度以下であり、夏は温度上昇を抑制し、冬は保温効果がある。

ポーラスコンクリートを基盤として、植栽した緑化コンクリートとすると、植物が含む水分や、構成される空気層などの断熱効果によって、コンクリート構造物の温度変化を抑制し、微気象の調節機能がある。また、緑によって景観向上にも貢献している(図-2参照)。連続空隙を持つポーラスコンクリートなど透水性のあるコンクリートを用いた舗装によっても、水分の移動、蒸発などによって同様の効果が期待される(図-6参照[13])。

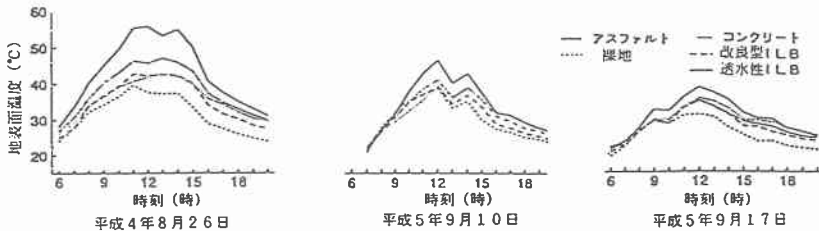


図-6 各種舗装材による地表温度[13]

4.2 水収支の改善

透水性のあるコンクリートを用いた舗装、透水性を持たせたブロック舗装、浸透樹、浸透トレンチ、浸透側溝などを設けた舗装などでは、雨水を地下に浸透させることができ、図-7[12]に示すようにピーク流量を大幅に低減できるとともに、水収支を自然地盤に近づけることができる。

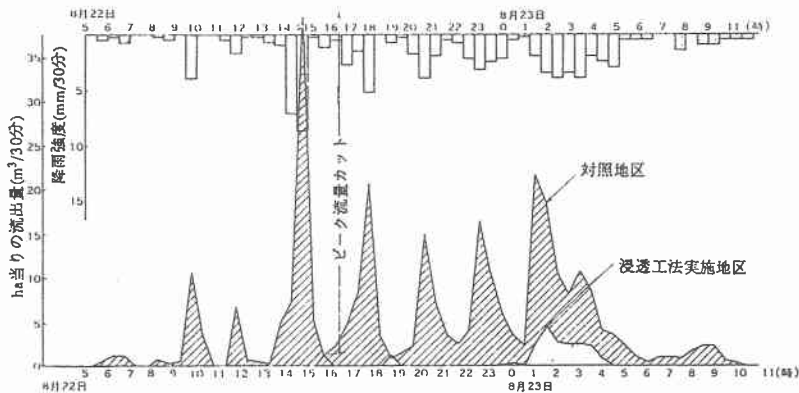


図-7 地下浸透工法を適用した地域の降雨量とピーク流量[12]

4.3 吸音、消音およびその他

ポーラスコンクリートを用いることによって、反射音を減らす吸音と、舗装面における走行車両のタイヤからの発生音を減少させる消音効果とがある。吸音性は空隙率、空隙形状・分布状況、厚さなどによって影響される[13]。タイヤによる発生音は図-8[14]に示すように減少できる。また、舗装面や壁に多孔質コンクリートを用いると乱反射によって眩惑の解消も期待される。さらに、多孔質としたコンクリートは、緻密

な一般のコンクリートよりも早く二酸化炭素を吸収する能力がある[15]。これらも広い意味でのエココンクリートといえよう。

4.4 使用資源やエネルギーの削減

使用資源やエネルギーを減少させる手段に廃棄物の有効利用、リサイクル、コンクリート構造物の長寿命化などが考えられる。都市ゴミと下水汚泥を主原料として製造したエコセメント[16]、骨材にすべて石灰石を使用し、使用後はこれを再びセメントおよびコンクリートの原料として用いる完全リサイクルコンクリート[17]、高炉スラグ微粉末、フライアッシュを用いた混合セメントの利用、廃棄コンクリートのリサイクル[18]などが行われている。しかし、これらの方法によって使用する資源やエネルギーの削減量については、ほとんど明らかにされていない。混合セメントの利用による使用エネルギーの削減量に関する試算として、表-3[5]がある。

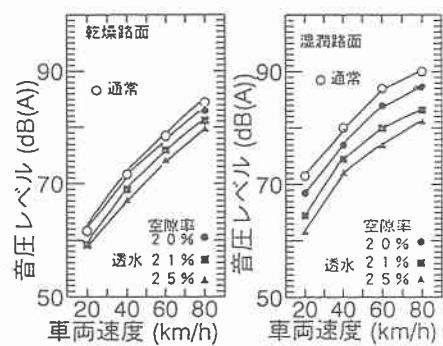


図-8 車両速度と音圧レベルとの関係[14]

表-3 混合セメントの使用による廃ガス、エネルギーの削減量[5]

	セメントの種類	セメント生産量, Mt/年 (構成比, %)	電力使用量, Pwh/年	エネルギー使用量(1次), Tcal/年	二酸化炭素排出量, Mt/年
現 状 19 89 年	普通ポルトランド (クリンカー)	60.35 (80.3)	6.22	64.2	44.5
	高炉* (スラグ50%)	14.04 (18.7)	1.24	9.2	5.8
	フライアッシュ** (7477720%)	0.62 (0.8)	0.05	0.3	0.4
	合 計	75.01 (100)	7.51	73.7	50.7
全 量 転 換	普通ポルトランド (クリンカー)	28.44 (37.9)	2.93	30.3	21.1
	高炉* (スラグ50%)	29.80 (39.7)	2.62	19.5	12.2
	フライアッシュ** (7477720%)	16.77 (22.4)	1.39	14.3	9.9
	合 計	75.01 (100)	6.94	64.1	43.2
	削 減 量 (削 減 率, %)	—	0.57 (7.6)	9.6 (13.0)	7.5 (14.8)

5 おわりに

エココンクリートに関する日本コンクリート工学協会の研究成果を中心に紹介してきたが、エココンクリートそのものの定義も検討する余地があるかも知れない。また、図-1に示すエココンクリートについては、未検討の分野が残っており、このようなコンクリートやコンクリート構造物を実現させるためには、更に検討しなければならない問題点も多く、今後多数の研究者、技術者の努力を期待したい。

なお、本文の基本は、(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(平成6、7年度)の成果によるものであり、委員各位には委員会での議論を通して多くのことをご示唆いただいたことに深く感謝致します。

参考文献

- [1] 地球環境工学ハンドブック編集委員会編；地球環境工学ハンドブック，オーム社，p. 1，1991.
- [2] 増原義剛；図でみる環境基本法，中央法規，pp. 16-33，1994.
- [3] 八木晃一，山本良一；エコマテリアル開発の現状と展望，新素材マニュアル93，Vol. 10，pp. 27-31，1993.
- [4] Sersale, R.; Advances in Portland and Blended Cements, 8th International Congress on the Chemistry of Cement, Vol. 1, pp. 261-302, 1992.
- [5] 水口裕之，斉藤寛之；エネルギー量および二酸化炭素排出量に注目した混合セメントの環境負荷低減効果に関する検討，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報告集，日本コンクリート工学協会，pp. 9-14，1995.
- [6] 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.
- [7] 6] と同じ，pp. 16-23.
- [8] 6] と同じ，pp. 24-26.
- [9] 玉井元治；第270回コンクリートセミナー資料集，セメント協会，p. 57，1996.
- [10] 6] と同じ，pp. 27-37.
- [11] 天羽和夫，河野清；ポーラスコンクリートの耐海水性と海藻の着生，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報告集，日本コンクリート工学協会，p. 121，1995.
- [12] 6] と同じ，pp. 38-41.
- [13] 須田重雄；ポーラスコンクリートの新しい用途，無機マテリアル，Vol. 3，p. 136，1996.
- [14] 松尾伸二，丸山久一，清水敬二，江本佑橘；透水コンクリートの透水・透湿・吸音特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 15，No. 1，pp. 525-530，1993.
- [15] 小川洋二，河野清，島弘；炭酸ガスを吸うポーラスコンクリート，セメントコンクリート，No. 568，pp. 12-16，1995.
- [16] 小野義徳，大森啓至，田熊靖久；都市ゴミ焼却灰から製造されるエコセメント，セメントコンクリート，No. 586，pp. 1-8，1995.
- [17] 友澤史紀；コンクリートの完全リサイクル化に向けて，セメントコンクリート，No. 578，pp. 1-8，1995.
- [18] 阿部道彦；再生骨材を用いたコンクリート，コンクリート工学，Vol. 33，No. 12，pp. 110-116，1995.