

委員会報告 環境対応型コンクリートの環境影響評価手法の構築研究 委員会の活動と成果の概要

国枝稔*1・堀口剛*2・岡本享久*3・石川嘉崇*4

要旨:「環境対応型コンクリートの環境影響評価手法の構築研究委員会」は、平成17年度より『環境対応型』コンクリートや普通コンクリート、その他耐久消費財を対象とした環境負荷低減に関する取組みを調査・整理したうえで、環境対応型コンクリートの「経時的に発揮される効果」を適切に評価するための指標や総合評価方法の提案をまとめた。この評価指針は環境対応型コンクリートを実際の施工に採用する際のガイドラインとなり、普及がすすむことが期待される。本報告では、委員会での活動成果の概要を報告する。

キーワード: 環境対応型コンクリート、環境影響評価手法、環境改善度、経年比較指数

1. はじめに

コンクリートは強度・耐久性に優れ、設計上の自由度も大きく、経済的な材料であるため構造用の材料として広く用いられている。

しかし、コンクリートは自然環境に対して環境共生できる材料となりうるかという観点からは、コンクリートの各ライフサイクルの段階において、多くの課題を含んでいる材料であると言える。現在、コンクリートの業界では様々な分野で『環境対応型』などをキーワードとするコンクリートが開発されている。

具体的には副産物の混入、水質浄化や緑化などの機能付加、長寿命化、環境影響物質削減（六価クロム等の溶出）、低環境負荷資源の利用（エコセメントなどの利用）、低環境負荷プロセス（設備等での環境負荷低減）、高リサイクル性、使用時の高生産性（高耐久）、環境浄化性（水質浄化等）などである。環境に積極的に配慮したコンクリートが数多く提案されている中、『環境対応型』コンクリートの現状を調査し、「環境対応型コンクリートと称するために満足すべき事項を明確に提示すること」を目的に J C I に

おいて、環境対応型コンクリートの環境影響評価手法の構築研究委員会（委員長・国枝稔名古屋大学助教授）が設立された。

同研究委員会は、現状調査 WG (WG1)、評価項目・手法構築 WG (WG2)、他分野調査・応用 WG (WG3) に分かれている。同研究委員会の委員構成を表-1に示す。

表-1 「環境対応型コンクリートの環境影響評価手法の構築研究委員会」構成

委員長	国枝 稔	名古屋大学大学院
幹事長	堀口 剛	ネオジャグラス
幹 事	梅干野晃	東京工業大学大学院
	半田真理子	都市緑化技術開発機構
	岡本享久	立命館大学
	石川嘉崇	電源開発
委 員		
W G 1	氏家 勲	愛媛大学
	梶尾 聡	太平洋セメント
	金子文夫	大成建設
	高澤浩二	共和コンクリート工業
	松岡 智	ランダス
W G 2	小澤徹三	中日本高速道路
	杉山隆文	北海道大学大学院
	田村雅紀	首都大学東京
	堀内澄夫	清水建設
	湯浅幸久	三重県科学技術振興センター
W G 3	佐伯秀雄	日本建材・住宅設備産業協会
	高野智宏	共和コンクリート工業
	久田 真	東北大学大学院
	増井直樹	大林組
	渡辺弘子	月の泉技術士事務所

*1 名古屋大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 助教授 (正会員)

*2 ネオジャグラス(株) 代表取締役 (正会員)

*3 立命館大学 理工学部環境システム工学科 教授 (正会員)

*4 電源開発(株) 茅ヶ崎研究所 上席研究員 (正会員)

同研究委員会は、普通コンクリートやその他耐久消費財を対象とした環境負荷低減に関する取組みの現状を調査・整理したうえで、環境対応型コンクリートの「経時的に発揮される効果（環境への対応）」を適切に評価するための指標や総合評価方法の提案を試みる点が、大きな特徴といえる。

2005年度から以下の項目を目指して、約2年間の活動を実施した。

- ① 環境対応型コンクリートの定義の明確化と環境影響評価指標の作成
- ② 環境への取組みを促すシステムの提案とコンクリート分野への適用の可能性の検証

「環境対応型コンクリートの定義の明確化と環境影響評価指標の作成」では、環境対応型コンクリートを評価するためのチェックリストまたは指針案の作成が目標である。

このため、環境対応型コンクリートの現状の調査、環境対応型コンクリートと称するために満足すべき事項の提案を行った。

「環境への取組みを促すシステムの提案とコンクリート分野への適用の可能性の検証」では、自動車業界の動き（低排出ガス認定制度、使用者が環境への取組みを認識し、その取組みに対する努力が報われるシステム作り）を中心としたその他産業界の仕組みの調査を行い、コンクリート分野への適用の可能性を探った。

本稿では、上記研究委員会の活動成果の中、主として①の成果について、環境対応型コンクリートの持つ環境に対する要素の位置づけを述べるとともに、環境対応型コンクリートが環境改善を実現する材料として用いられている河川護岸の事例と総合的な評価方法について報告するものである。

表-2に委員会報告書目次(案)を示す。全体は7章で構成されており、1～3章で環境対応とコンクリートに関する社会的背景を整理し、4～6章で環境対応型コンクリートの総合評価手法について取りまとめた。

表-2 委員会報告書—目次(案)

まえがき
1章 環境対応の意味するものとその背景
1.1 環境の基礎的枠組み/1.2 環境の意識化プロセス/1.3 環境と社会システム/1.4 環境への対応
2章 環境に関わる政策・技術的施策と環境影響評価手法
2.1 概要/2.2 環境に関わる政策の現状/2.3 環境に関わる技術的施策/2.4 環境影響評価手法とその問題点
3章 他分野での環境に対する取組みとコンクリート分野への応用の可能性
3.1 概要
3.2 各企業の取組みの特徴
3.3 コンクリート分野への応用の可能性
4章 環境対応型コンクリートの定義
4.1 環境対応型コンクリートの定義
4.2 環境対応型コンクリートの事例
4.3 環境対応型コンクリートの環境影響の必要性
5章 環境対応型コンクリートの要求性能と評価
5.1 環境対応型コンクリートの要求性能とは
5.2 緑化・植生性能
5.3 水質浄化性能
5.4 温熱調和性能
5.5 調湿性能
5.6 吸音・遮音性能
5.7 生物多様性能
5.8 景観性能
5.9 要求性能についてのまとめと評価手法への展開
6章 環境対応型コンクリートの構造物への適用事例とその評価項目
6.1 概要
6.2 適用事例・河川
6.3 適用事例・道路/橋梁
6.4 適用事例・海岸/海洋/湖沼
6.5 適用事例・法面/斜面
6.6 適用事例・建物
6.7 環境対応型コンクリートの構造物への総合評価について
7章 総論
7.1 環境対応型コンクリートの評価手法と総合評価
7.2 今後の課題
7.3 おわりに

2. 環境対応型コンクリートの定義とその要求性能

2.1 環境対応型コンクリートの定義

「環境対応型コンクリート」を環境保全・改善を目指すコンクリート技術として捉え、環境側面から定義してみると次のようにいうことができる。

自然環境が本来有する性質や機能を保つため必要となる材料的性能を予め備えることにより、「環境」の劣化を緩和・低減、更にはその質を改善・向上させ、時間経過とともにその全部・一部が自然環境と一体となることを目指すコンクリートである。

言い換えれば、図-1に示すとおり、「環境対応型コンクリート」は、製造時には従来のコン

クリート構造物を持っている強度、耐久性、経済性等の良い特性を持ちつつも、供用期間が経過することにより積極的に環境に寄与し周囲の環境を向上させていく材料であると言える。

時には、それ自体が機能転化し（進化し）環境に共生していく、これが「環境対応型コンクリート」の持つ大きな特徴と考えられる。コンクリートのライフサイクルで見るとコンクリート構造物の供用期間においてその特徴を発揮するものである。

本研究委員会においては、周囲の環境を考えた時に、「環境対応型コンクリート」が周囲の環境に作用しそれが向上していく（自然環境からは要求されている）要素を「環境対応型コンクリート」の要求性能と定義した。

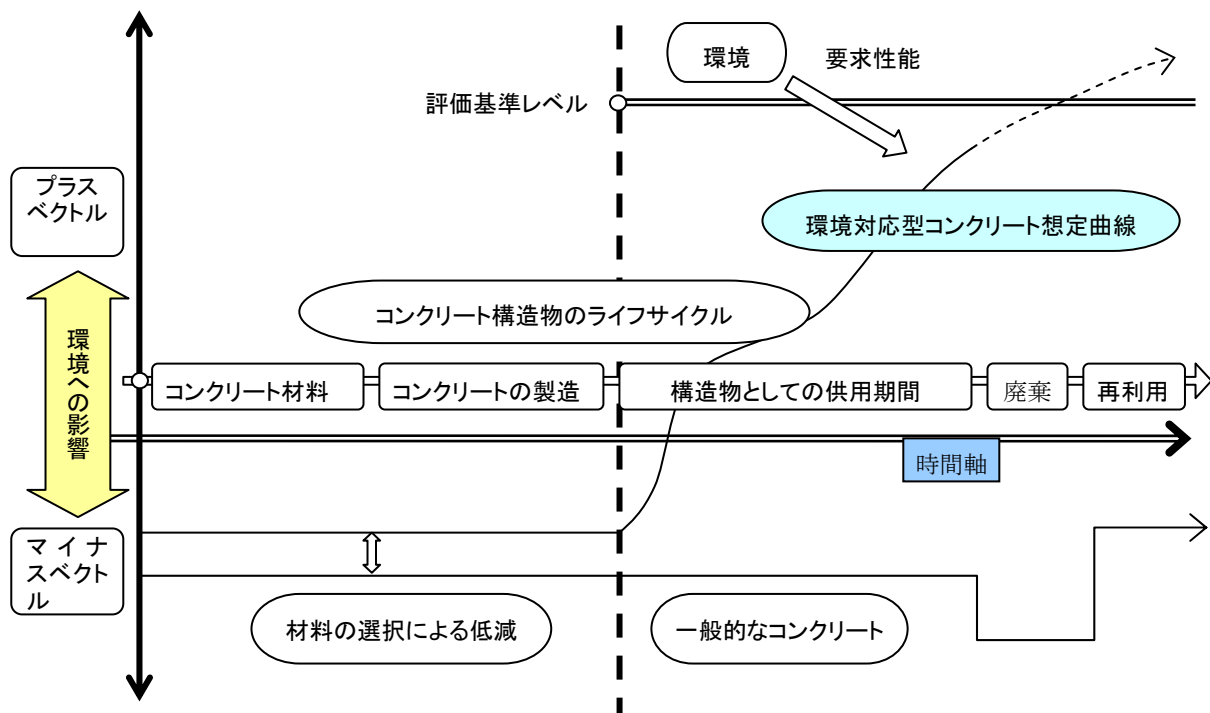


図-1 「環境保全・改善を目指すコンクリート技術」としての環境対応型コンクリートの概念

2.2 環境対応型コンクリートの要求性能とは

「環境対応型コンクリート」に対しての自然環境からの要求性能としてはさまざまなものが考えられる。

ここで取り上げた「環境対応型コンクリート」に対しての自然環境からの要求性能は、それぞれ環境性能の要求領域から考えると、図-2に示すさまざまなレベル・区分での基本的な要求性能であると考えられることができる。

図-2に示すように、それぞれの要求性能については、同じレベルでの要求性能で重なる場合あり、ひとつの要求性能が地域・都市レベル、建物・構造体レベル、室内レベルといろいろなレベルで同時に考えられる場合もあると考えら

れる。

本研究委員会では、環境側面に対して影響が大きく重要なものとして図-2に示す要求性能のなかで、図-3に示す次の7つの要求性能を重点的にとりあげ具体的な評価手法を提案した。

(その他の性能についても議論された。)

- ①緑化・植生性能
- ②水質浄化性能
- ③温熱調和性能
- ④調湿性能
- ⑤吸音・遮音性能
- ⑥生物多様性能
- ⑦景観性能
- ⑧その他の要求性能

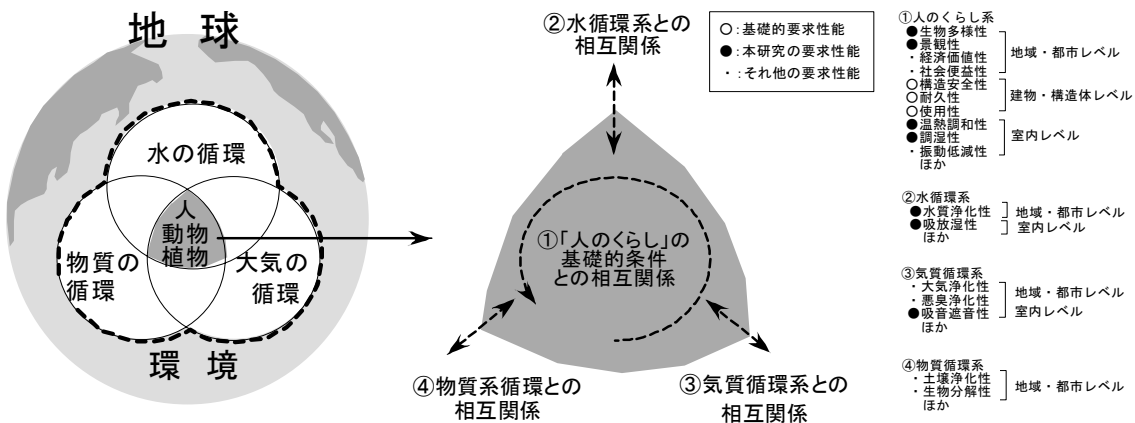


図-2 本研究における環境性能の区分

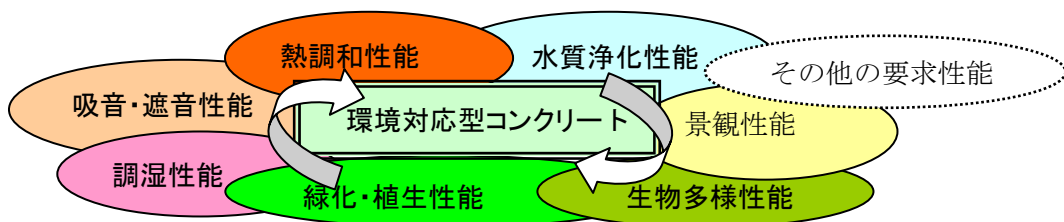


図-3 「環境対応型コンクリート」の要求性能

3. 「環境対応型コンクリート」に関する総合的評価(案)の提案

2章で取り上げた「環境対応型コンクリート」の各要求性能の評価を踏まえて、環境対応型コンクリートの性能評価を総合的に行うにはどのように考えていくべきかについて、「環境対応型コンクリート」の総合的評価(案)を提案する。

3.1 対象構造物と要求性能

環境対応型コンクリートへの要求性能は、対象構造物により異なり、2.2節で取り上げた7つの要求性能については、河川を例にとると、重点評価する要求性能としている緑化植生、生物多様性、景観があり、通常評価するものとしては、水質浄化、温熱調和がある。これらの対象構造物についてこれ以外の要求性能が求められる場合についても議論されたが、総合的評価(案)の作成に重点を置き、本委員会では要求性能を限定して検討を行った。評価対象となる対象構造物によって表-3に示すように、重点的に評価できる要素、通常評価する要素、評価が難しい要素に分類される。

3.2 性能評価と評価項目の決定

評価対象の構造物が決定し、「環境対応型コンクリート」の要求性能に関する総合的評価を行う場合の重要なポイントについて以下に述べる。

(1) 時間軸設定の重要性

環境対応型コンクリートに関する評価は、時間的な観点からの評価軸が重要な要素である。河川護岸での構造物を例にとると、その環境保全効果は、時間軸での開始点では、材料的な面での緑化基盤材として有効な形状材質であることが評価の大きなポイントになる。その後は、どのくらいの年月が経過後、目標となる自然を復元ができるかという時間軸評価が重要になってくる。

(2) 要求性能と評価項目の選定

要求性能とその評価項目については、3.1

節で述べたように対象構造物により大きく異なる。同様な構造物でも詳細に見ると、その設置条件等で変わってくるものが考えられそれらを考慮して評価項目を設定していかなくてはならない。

(3) 評価対象区域と評価基準区域の設定

目標となる評価対象区域を、対象構造物の各要求性能に関して、周辺の状況に応じて設定する。また、評価の基準となる区域として評価基準区域をあらかじめ設定するものとする。河川護岸構造物を例とすれば、評価対象区域の周辺で、人為的作用が比較的少ない区域やその中でも自然の形態が類似する区域などを評価基準区域として設定する。また評価対象区域とは別に、評価対象区域と比較できる区域を比較対象区域として別に選定する。比較対象区域の設定については、施工後の経過年数の違いを比較する場合、施工方式の違いを比較する場合等、種々の設定が考えられる。

表-3 対象構造物と要求性能

(◎：重点評価，○：通常評価，－：評価が難しい)

要求性能 \ 対象構造物	河川(護岸)	道路(舗装)	橋梁	海岸・海洋・湖沼	法面・斜面	建物
緑化・植生	◎	○	○	－	◎	○
水質浄化	○	－	－	◎	－	－
温熱調和	○	◎	－	－	○	◎
調湿	－	－	－	－	－	◎
吸音・遮音	－	◎	○	－	○	◎
生物多様性	◎	－	－	◎	◎	－
景観	◎	◎	◎	◎	◎	◎

3.3 環境対応に関する性能評価の定義

ー環境改善度と経年比較指数

環境対応に関する性能評価は、本来のコンクリート構造物として要求されている性能（安全性、使用性、耐久性など）を維持しつつ環境に同化する間、周囲の自然環境（あるいは設定された環境）に対してどの程度対応していたかを明らかにすることである。

目標値として想定した自然状態（あるいはあらかじめ設定された環境）に対して、「環境対応型コンクリート」を施工し、その施工後に時間経過とともに回復した自然状態（あるいは設定された環境のその時の状態）との対比で評価する。これを環境改善度、**EI-index** (environmental improvement index) と定義する。各要求性能を項目毎に調査し、それらを総合的に考慮することにより、環境対応型コンクリートの性能を評価するものである。EI-index は[評価対象区域／評価基準区域]、[比較対象区域／評価基準区域]で算出される。

また、経年で環境改善度を評価することを基本とした場合に、環境改善速度とその持続性についてn年目の評価とm年目の評価を比較する経年比較指数、**AC-factor (n-m)** (age comparing factor)を別に定義する。AC-factor は[評価対象区域／比較対象区域]で算出される。

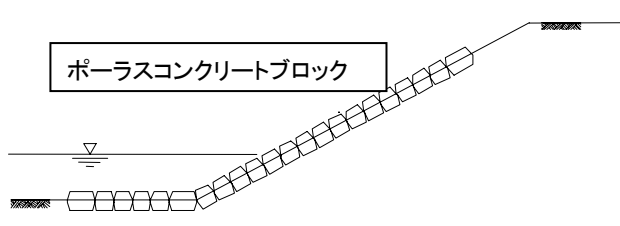
4. 環境対応型コンクリートに関する

総合評価

3.3節を踏まえて、具体的な例題を用いて、環境対応型コンクリートに関する総合評価の提案手法を解説する。

4.1 評価対象構造物と評価項目および評価基準の設定

(1) 評価対象構造物とその特性

環境対応型コンクリートの性能評価の事例としての評価対象構造物として、に示すポーラスコンクリート河川護岸をとりあげる。ポーラスコンクリート河川護岸は、コンクリート護岸の構造体に植生機能を付加できる多孔質な素材を用いた河川護岸工法であり、治水のみならず微生物を含んだ動植物の生息・生育場所としての機能が注目され、自然生態系の保全、河川景観の向上などをねらいとする多自然型の川作りの工法として有効なものである。

(2) 対象区域と評価項目

評価対象構造物に関連する要求性能は、3章で述べたとおり「緑化・植生性能」、「生物多様性能」、「景観性能」、「水質浄化性能」である。また前節で述べたとおり対象区域の設置環境により、その評価項目は異なり表-4のように整理される。

施工後 10 年経過

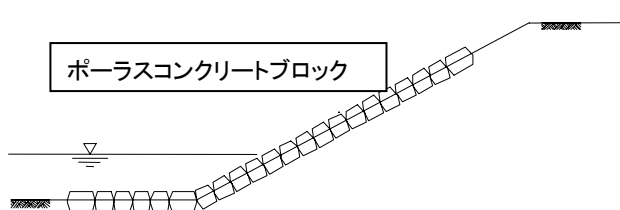
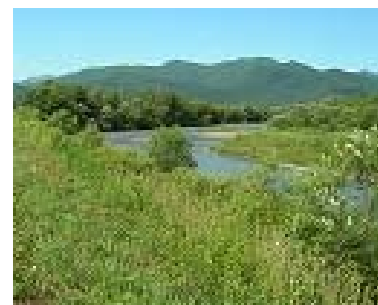


図-4 対象構造物と施工後の現況写真（例題）

表-4 対象区域ごとの評価項目(緑化・植生性能, 生物多様性能, 水質浄化性能)

性能分類	評価項目		対象区域			
			陸域	水際域	水域	
緑化・植生性能	草本類	密度評価	○			
		植物体評価	○			
	木本類	植物体評価(活力指標)	○			
生物多様性能	植物	陸生	水辺林・冠水地草本	○	○	
		水生(水中・水際)	抽水植物・沈水植物		○	○
	動物	陸生	鳥類	○		
			哺乳類・爬虫類	○		
			陸生昆虫類	○		
	水生	魚介類		○	○	
		底生動物		○	○	
両生類			○	○		
水質浄化性能	水質指数	基本項目	水温・PH・DO			○
		浮遊物項目	透視度 or 透明度			○
		有機物項目	BODorCOD			○
		富栄養化項目	T-N・T-P			○
	生物指標	付着生物種・生物量				○

(3) 評価基準区域と評価対象区域

この例では、評価基準としては、周辺の自然現況を基準としたため、「評価基準区域」は近辺にある自然河岸の区域を設定した。

「評価対象区域」としては10年前に施工された区域とする。また、時系列比較のため「比較対象区域」として同ブロックが5年前に施工された区域を選定する。

4.2 要求性能についての評価

(1) 緑化・植生性能に関する評価

緑化性能に関しては、草本類と木本類の両方が生育しており、それぞれ密度評価(被覆率)および活力度のランク評価を実施する。例として木本類の評価結果を表-5に示す。

(2) 生物多様性能に関する評価

現地調査から出現が明らかとなった生物種、生物種数、生物個体数を抽出する。陸生植物、陸生動物(哺乳類、陸生昆虫類、鳥類、爬虫類)を対象として調査する。

例として哺乳類・爬虫類についての調査結果を表-6に示す。

表-5 木本類活力度のランク評価結果

項目	評価対象区域	比較対象区域	評価基準区域
樹勢	3	2	4
樹形	3	1	4
枝の伸張量	4	1	4
梢端の枯損	4	2	4
枝葉の密度	3	2	4
葉形	4	1	4
葉の大きさ	3	2	4
葉色	3	2	4
ネクロシス	3	1	4
萌芽期	3	2	4
落葉状況	4	2	4
紅(黄)葉状況	4	2	4
開花状況	3	1	4
平均	3.4	1.6	4.0

表-6 哺乳類・爬虫類調査結果

種名	評価対象区域	比較対象区域	評価基準区域
イタチ類	2		
ヌートリア		2	
ヒグマ			
キツネ			1
タヌキ	2		1
コウモリ	3		3
ヤマカガシ	2		2
シマヘビ		1	
アオダイショウ			1
種数 : S	4	2	5
個体数 : n	9	3	8

(3) 景観性能に関する評価

景観性能に関しては、各評価項目についてアンケート調査等でランク評価を実施する。

表-7に評価結果を示す。

4.3 生物多様性に関する調査データの

解析評価

4.2節に示した生物多様性調査データを用い、出現種数、個体数、多様度指数を算出し比較するとともに生態学的構造評価を行う。

(1) 出現種数、個体数

出現種数(S)、個体数(n)についての比較データ表を表-8に示す。

(2) 多様度指数

前述のとおり、多様度指数については、種の豊富さに加え、種間の均衡性を評価する場合多様度評価指数が用いられる。

一般に Shannon-Wiener 指数や Simpson 指数が利用されているおり、それらの指数についての解析結果を表-9に示す。

Shannon-Wiener 指数 H'

$$H' = - \sum pi \ln(pi) \quad (i=1 \sim s)$$

s : 群集中の種類

pi : 群集中の全種の個体数のうちで種 i が占める割合 (相対優先度)

また、これをもとに均衡度 (種組成の均等さ) で評価する。

$$J' = H' / H' \max$$

Simpson 指数 D'

$$D' = 1 / \sum pi^2 \quad (i=1 \sim s)$$

(3) 生態系構造

生態系の多様性を保全するには、(2)の評価に加え特定の地域または特定の環境にのみに分布、生息・生育する地域の固有種に特に着目する必要がある。生態系の上位に位置する上位性、生態系の特徴を現す典型性、特殊な環境等を指標する特殊性などの視点から、注目される生物種の出現が明らかとなった種の

豊富さで評価する。

上位性：食物連鎖の上位に位置する種、たとえば河川の場合、魚類を主食とする種(魚食性)の中から上位性の種を選定する。

特殊性 (貴重性)：学術上または希少性の観点から地域固有で重要な種を選定する

典型性：貴重種にはあたらぬが、種の出現が良好な環境、保全すべき環境を指標するような種を選定する。

環境悪化指標種：種の出現が良好な環境の悪化を指標する種を選定する。たとえば地域固有の在来種の生育生息を攪乱する帰化種などがある。解析結果を表-9に示す。

表-7 景観性能の評価結果

性能分類	評価項目	評価対象区域	比較対象区域	評価基準区域
景観性能	自然の営力による川らしさ	2	1	3
	堤防・高水敷・水際部の連続性	3	1	3
	背後地周辺との一体性	3	1	3
	固有の生態系を有する景観	3	1	3
平均		2.8	1.0	3.0

評価基準：3点(松)、2点(竹)、1点(梅)

表-8 生物出現種数、個体数の比較

生物分類	項目	評価対象区域	比較対象区域	評価基準区域
植物	出現種数 : S	11	9	12
	出現種数 : S	13	9	15
陸生昆虫	個体数 : n	80	23	90
	出現種数 : S	14	7	19
鳥類	個体数 : n	33	12	37
	出現種数 : S	4	2	5
哺乳類・爬虫類	個体数 : n	9	3	8

表-9 生物多様度指数解析結果

生物分類	項目	評価対象区域	比較対象区域	評価基準区域
陸生昆虫	シャノン指数 : H'	2.35	2.08	2.43
	均衡度指数 : J'	0.92	0.95	0.90
	シンプソン指数 : $1-D$	0.89	0.86	0.89
鳥類	シャノン指数 : H'	2.46	1.86	2.79
	均衡度指数 : J'	0.93	0.96	0.95
	シンプソン指数 : $1-D$	0.90	0.83	0.93
哺乳類・爬虫類	シャノン指数 : H'	1.37	0.64	1.49
	均衡度指数 : J'	0.99	0.92	0.93
	シンプソン指数 : $1-D$	0.74	0.44	0.75
生態学的構造	出現種数 : S	31	15	49

4.4 環境対応型コンクリートの総合評価

4.2 節および 4.3 節で算出した値を項目毎に、環境改善度 EI-index (environmental improvement index) として表-10に整理し総合評価を行う。

環境改善度は、それぞれの項目において、[評価対象区域/評価基準区域]、[比較対象区域/評価対象区域]より求めることができる。

また経年比較指数 AC-factor (10-5) (age comparing factor)は経過年数による環境改善度の比を表し、5年経過後と10年経過後の比較をするものである。

10年経過後の EI-index を5年経過後の EI-index で除して算出する。

5年後(比較対象区域)、10年後(評価対象区域)の環境改善度の総合評価チャートを図-9に

示す。

図-5で示す総合評価チャートで各項目を表示すると、各項目の環境改善度がどの項目で満たされ、どの項目で満たされていないのかを明確に捉えることができる。

この例題からは、10年経過後の EI-index が1.0に近づいており、ほぼ10年経過することにより周辺の自然状態とほぼ同様の状態になっていることが推察できる。

また経年比較指数から、5年経過時点と10年経過時点と比較すると、緑化・植生性能については約2倍の性能向上を示し、生物多様性能については、植物についてはあまり変化がないが、その他の生物については大幅な性能向上が認められることなどが推察できる。

表-10 環境改善度 EI-index 算定表

分類	項目	評価対象区域 / 評価基準区域	比較対象区域 / 評価基準区域	経年比較 指数 (ACf)	
緑化・植生性能	草本類密度比	0.869	0.452	1.923	
	木本類活力比	0.846	0.404	2.095	
生物多様性能	植物	出現種数比	0.917	0.750	1.222
	陸生昆虫	出現種数比	0.867	0.600	1.444
		個体数比	0.889	0.256	3.478
		シャノン指数比	0.970	0.856	1.134
		均衡度指数比	1.024	1.055	0.971
		シンプソン指数比	1.006	0.974	1.033
	鳥類	出現種数比	0.737	0.368	2.000
		個体数比	0.892	0.324	2.750
		シャノン指数比	0.881	0.667	1.321
		均衡度指数比	0.983	1.009	0.974
		シンプソン指数比	0.971	0.897	1.082
	哺乳類・爬虫類	出現種数比	0.800	0.400	2.000
		個体数比	1.125	0.375	3.000
		シャノン指数比	0.916	0.426	2.151
		均衡度指数比	1.064	0.989	1.075
		シンプソン指数比	0.988	0.593	1.667
	生態系的構造	出現種数比	0.633	0.306	2.067
	景観性能	景観性能	0.917	0.333	2.750

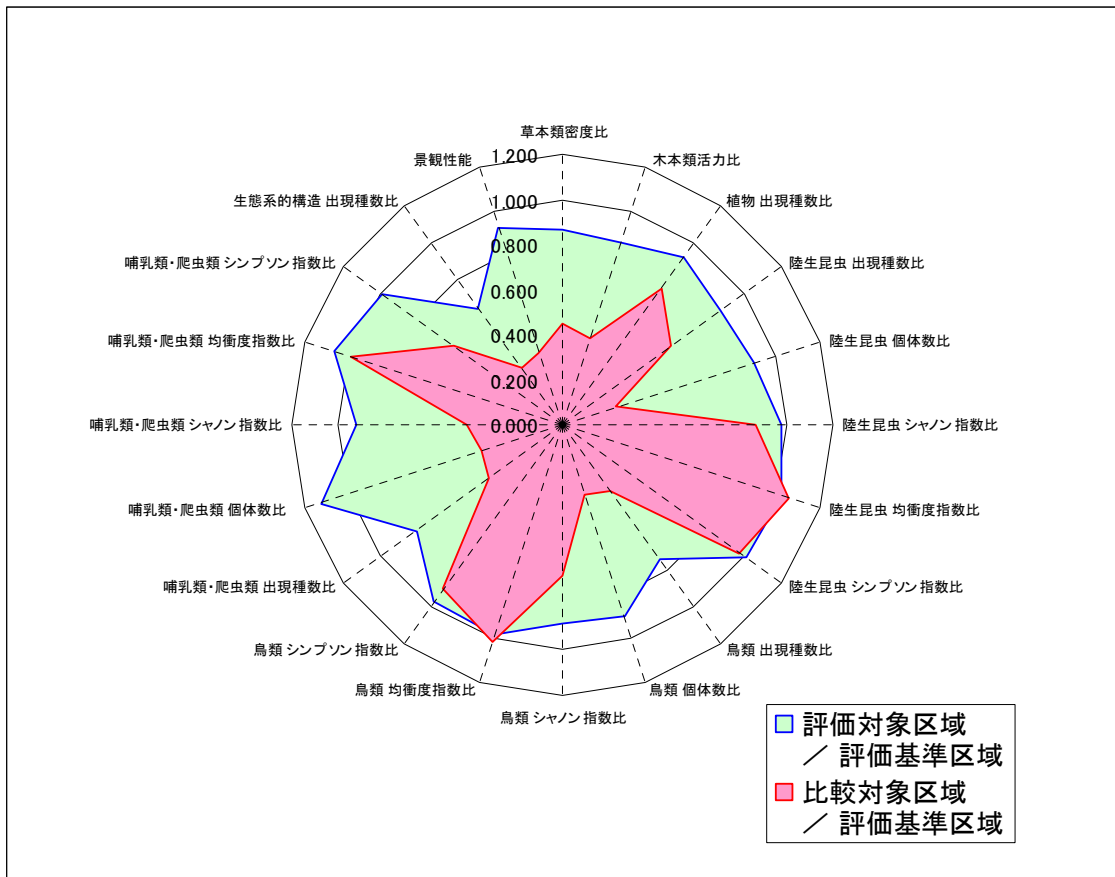


図-5 環境改善度 EI-index 総合評価チャート

5. おわりに

環境対応型コンクリートに限らず、コンクリート分野における環境問題への取組みは、他分野に比べて大きく遅れていることは否めない。その理由の一つに、現状を認識するための定量化、それに基づく将来の目標設定、さらには消費者への周知という基本的なフレームワークが構築されていないことが考えられる。環境対応型コンクリートの場合、未だ明確になっていない性能やその評価のための指標など、様々な問題点が残っているにせよ、まずは現状を評価、分析できるきっかけとしての評価手法が提案され、試評価が始められたことは大きな意義があると思われる。

今後さまざまな事例のデータを蓄積していくとともに、多様なコンクリート構造物それぞれに適した環境要求性能の評価方法、さらにそれ

らを統合化した総合評価手法の構築をしていくことが必要であると言える。

参考文献

- 1) 環境庁自然保護局[監修]：自然公園における法面緑化基準の解説，pp.188～194，(株)道路緑化保全協会，1982
- 2) 木村充：生態学研究法講座 8—陸上植物群落の生産量測定法，p.1～55，共立出版(株)，1978
- 3) 小橋澄治・村井宏・亀山章：環境緑化学，pp.82～89，(株)朝倉書店，1992
- 4) 宮下直，野田隆史：群集生態学，p72-79，2003
- 5) 鷲谷いづみ：生物保全の生態学，1999
- 6) 日本コンクリート工学協会：ポーラスコンクリートの設計・施行方法の確立に関する研究委員会報告書，2005.5