

コンクリートの環境負荷評価

河合 研至*

1. はじめに

環境問題が社会の重要な関心事として取りざたされて久しい。昨今では、省エネやリサイクルは、当然のこととして行われている。環境問題は非常に身近な問題として捉えられてきているが、その一方で十分な環境負荷低減の効果が現れていないのも、また事実である。

気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議(COP3)で採択された京都議定書は、昨年11月にロシアが批准したことによって、本年2月に発効することとなった。これに伴い、1990年を基準として、2008年～2012年に、日本は温室効果ガスを6%削減しなければならない。しかし、2003年度の国内の温室効果ガス排出量は、1990年と比較して8.3%増となっている。この現状を鑑みるとき、環境問題とはいかに困難な問題であるかが実感される。

建設業界においても、環境問題への取り組みは数多く行われている。高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフェームなど産業副産物の混和材としての利用は、古くから行われているリサイクルであり、セメントの焼成燃料としての廃タイヤ、廃プラスチックなどの利用も、サーマルリサイクルとして重要な役割を果たしている。再生骨材の利用が推進され、建設現場においてはゼロエミッション化が進められるなど、環境を意識した取り組みは徐々に広がりを見せている。

環境問題を考える際にもっとも重要なことは、環境負荷低減を行う意識の向上と思われる。しかし、この意識の向上がなかなか容易ではないように察せられる。それは、環境負荷低減を行うことにインセンティブ(動機付け)が見つけにくいからである。製品においては、技術開発が行なわれ、高性能化や効率化、省力化を図ることが可能となれば、それらの成果はコスト削減につながり会社に利益をもたらすこととなる。しかし、環境問題に関しては、環境負荷低減に努めたとしても、直接的にはコストに反映されにくく、場合によってはコスト増をもたらすことも十分にあ

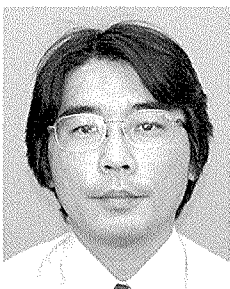
り得る。また、リサイクルなどの環境負荷低減に資する行為が、具体的にどれほどの環境負荷低減に貢献しているかが、明確にわからないままに行動がとられていることも、意識向上を難しくしている側面ではないかと考える。

コンクリート構造物の建造において、セメントにグリーン調達品目である高炉セメントを使用することによって環境への配慮を行ったとしても、それが具体的にどの程度の環境負荷低減をもたらすこととなるかが明確ではない。セメントを普通ポルトランドセメントから高炉セメントに変更することによって、CO₂排出量〇〇tの低減をもたらし、工事全体としてCO₂排出量〇〇%の低減を達成できる、と数値で示すことができれば、環境負荷低減の効果はより具体的となり、第三者に対しても環境配慮を今よりさらに明確に説明ができることとなる。現行の入札制度がコスト重視であることは否めないが、上記のように環境への配慮が数値として明示することができ、その効果が明らかとなれば、たとえ若干のコスト増となったとしても、総合評価落札方式等コスト以外の要素を考慮する制度であれば、十分に採用される可能性は出てくるものと思われる。

従来環境問題への取り組み方は、どちらかといえば環境負荷低減への定性的な取り組みであり、さらにもっと定量的な取り組みを行っていく必要があるのではないと思われる。環境を定量的に取り扱うことが可能となれば、コンクリート標準示方書における安全性能や耐久性性能と同じように、環境をある種のコンクリートの性能として捉え、評価していくことが可能なのではないだろうか。

資源の有効利用を推進する方法の一つとして環境負荷の観点からコンクリートの性能を評価する手法について調査・研究を行うことを目的として、土木学会コンクリート委員会に第3種小委員会としてコンクリートの環境負荷評価研究小委員会が1999年12月に設置された。第1期目の2年間の活動を経て、将来において環境に対し負荷を及ぼす程度がコンクリートの有する一性能として位置づけられ、環境性能として性能照査の対象となることを踏まえて、環境性能の内容と照査・検査方法を具体化する手法についてさらに調査・研究を行うことを目的として、第2期目の活動が2002年8月から2年間にわたって行われた。第1期目、第2期目の成果は、それぞれコンクリート技術シリーズ44「コンクリートの環境負荷評価」¹⁾、コンクリート技術シリーズ62「コンクリートの環境負荷評価(その2)」²⁾として取りまとめられた。

本稿では、筆者が委員長を務めた上記小委員会における成果の概要を紹介することにより、コンクリートの環境負荷評価について概説する。



* Kenji KAWAI

広島大学大学院 工学研究科
社会環境システム専攻 助教授

2. 環境負荷

環境問題、環境負荷などの用語は、昨今ではあまりに一般的となっているが、環境負荷で表現される内容は非常に幅広い。

環境負荷として、一般的に思い浮かべられるものは、CO₂、NO_x、SO_x、廃棄物、地球温暖化、酸性化、砂漠化、生態系の変化、…などであろうか。ただし、ここに挙げたものはすべて同列で比較できるものではない。地球温暖化はCO₂などの温室効果ガスの濃度の上昇によってもたらされるものであり、酸性化もNO_x、SO_xの濃度上昇が原因となる。また、地球温暖化などに伴う気候変動が砂漠化をもたらし、生態系の変化へとつながる。生態系の変化は、森林伐採など土地利用の変化によってもたらされる。このように、環境負荷として考えられるものの中には、さまざまな因果関係をもつものが含まれている。環境負荷の問題を考える場合には、環境負荷に影響を及ぼす上記のような要因の整理をまず正しく行うことが必要となる。複数の要因をあわせて環境負荷を議論するとき、ある一つの要因の影響を二重、三重にもカウントして誤った評価を行わないためである。

環境負荷に関連するさまざまな要因の因果関係を表した例を図-1に示す。これは、産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センターによって開発された環境負荷の評価手法であるLIME（日本版被害算定型影響評価手法：Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling）の場合であるが、ここに示されるように、環境負荷として考えられる要因にはどのようなものがあり、それらがどのように関連しているか、またどのレベルの環境

負荷を評価しようとしているのかを、まず正しく認識しておかなければならない。

最終的には、環境負荷に影響をもたらす要因によってわれわれの健康はどのように害されるのか、あるいは生態系はどのように変わってしまうのかなどの被害量が知りたいところであり、図-1の保護対象に相当する部分である。しかし、図からも明らかなように、これらを知るためには非常に多岐にわたる要因の量（図-1に示される各インベントリの量）を知らなければならない。そのため、それらの要因の中から代表的なもののみを抽出して、それらの量の大きさによって評価を行うこともしばしばある。

いずれの場合であっても、環境負荷に関連する複数の要因が数値として表され、それらの数値を用いて環境負荷の程度を評価することとなる。それぞれの要因が環境負荷に及ぼす影響の大きさは異なるため、複数の要因の数値を単純に足しあわせて評価することはできない。影響の程度を重み付けして足し合わせるが必要となってくる。この時用いられる重み付けの数値が重み付け係数と呼ばれ、重み付けによって数値を一つに足し合わせることを統合化と呼んでいる。

インベントリのいくつかを収集して、それによって環境負荷を評価しようとした場合、インベントリの段階で重み付けが行われ統合化される。一方、図-1に示す人間の健康や生物多様性などを考慮して環境負荷を評価しようとした場合には、インベントリが収集された後、環境中濃度、影響領域、領域終端、保護対象が計算され、各保護対象間での重み付けがなされて統合化が行われる。前者のように、インベントリに直接重み付けをして統合化する手法はスターティングポイントアプローチと呼ばれている。インベン

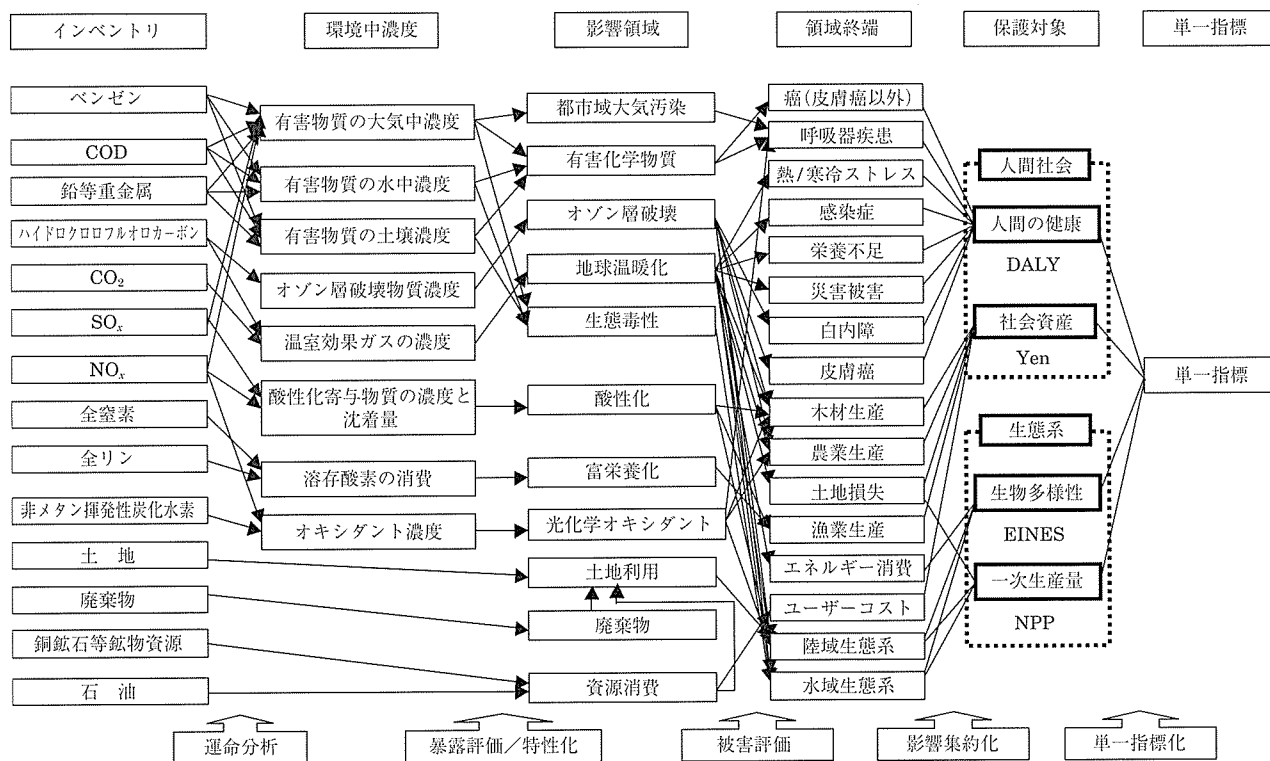


図-1 LIMEによる統合化までの流れ³⁾

トリから直接計算できるため、理解は容易であるが、得られた結果の科学的根拠がわかりにくい。これに対して、後者のように被害の程度を算定する段階で統合化が行われる手法はエンドポイントアプローチと呼ばれ、これによって直接的な被害量を知ることができるが、計算過程には種々の仮定を含むこととなるため不確実性は高くなる。そのため、上記の中間的なアプローチとして、影響領域のカテゴリで統合化を行う手法も場合によっては用いられ、これをミッドポイントアプローチと呼んでいる。それぞれに一長一短があり、いずれの手法を用いるかは、環境負荷の評価を行う目的とも密接に関わってくる。

3. コンクリートの環境負荷

3.1 インベントリデータ

コンクリートの環境負荷を考える場合にも、CO₂、NO_x、SO_x、廃棄物などのインベントリ分析のみによって評価を行う方法やインベントリ分析結果をもとに保護対象までを算出し被害量を評価する方法など、種々の手法が考えられる。いずれの手法も有効であり、環境負荷評価を行う目的に沿う手法を用いればよいと考えられるが、どの手法を用いるにせよ、もっとも困難なのがインベントリデータの収集であろう。概して、コンクリート構造物に関しては、インベントリデータが十分に整備されていないのが現状である。

このことを踏まえ、前記のコンクリートの環境負荷評価研究小委員会では、文献調査や実務者へのヒヤリング等を通じてインベントリデータの収集を実施した。第1期目ではCO₂排出量、廃棄物発生量、廃棄物リサイクル量について行い、第2期目では第1期目のデータの更新を行うとともに、新たにエネルギー資源（石炭・石油・天然ガス起源）消費量、鉱物資源（非金属・鉄）消費量、SO_x排出量、NO_x排出量、ばいじん排出量に関するインベントリデータを追加した。その結果、コンクリート構造物の構成材料、施工、解体、廃棄・リサイクルに関わる91項目、輸送に関わる16項目、各種エネルギーに関する13項目のインベントリデータを整備することができた。その一例として、構成材料のインベントリデータを表-1に示す。

環境負荷の評価を行いたいプロセスに関して、インベントリデータの整備が行われていれば、積算を行うのと同じように、それぞれの工程に関連するインベントリデータを足し合わせていくことによってインベントリ分析は行うことができる。

ただし、ここで注意しなければならないことは、インベントリデータとして不足するものがあつた場合に、そのインベントリデータを得ることができる別の情報源からその部分だけの値を取ってきて補充をすればよいというものではないことである。

インベントリデータの収集方法には、産業連関法と積上げ法がある。産業連関法とは、国内400業種以上の産業間および消費者等との経済取引を行列で表した統計表である産業連関表を利用し、各産業部門に投入あるいは各産業部門から排出されるエネルギーや物質量を基に環境負荷量を

求める方法であり、マクロ的な評価に優れる反面、個々の製品またはプロセスごとの評価が困難であること、産業連関表の発行が5年ごとであることから必ずしも現時点の環境負荷を評価しているものではないことなどのデメリットがある。一方、積上げ法は、一つ一つの単位プロセスごとに環境負荷量を積上げていく方法であり、製品やプロセスごとの評価に優れ最新のデータを反映できる反面、正確さを求めれば求めるほど収集すべきデータが膨大となるデメリットがある。

このように産業連関法と積上げ法では算出根拠がまったく異なるため、両者のインベントリデータを組み合わせる利用するのは適切ではない。なお、先のコンクリートの環境負荷評価研究小委員会にて収集したインベントリデータは、ほとんどが積上げ法によるものである。

3.2 評価方法

コンクリート構造物の環境負荷量がどれくらいになるかを知る目的であれば、前節のインベントリ分析を行うことによって、その目的は達成することができる。

ただしここで、本来、環境負荷の評価はコンクリート構造物のライフサイクルで行うべきものであることに留意しなければならない。初期建設時の環境負荷が小さくとも、長期間にわたるメンテナンスでの環境負荷が大きかったり、解体・廃棄時に多大なエネルギーを要するものであっては、結果としてその構造物は非常に大きな環境負荷をもたらすこととなる。土木構造物は一般に供用期間が非常に長いという特徴を有するため、ライフサイクルで評価することが容易でないことは誰もが理解するところであるが、一側面だけの評価では片手落ちとなることは十分に認識しておく必要がある。

コンクリート構造物において、環境負荷量の把握にとどまらず、さらに、環境負荷量をコンクリートの性能の一部としてとらえるならば、安全性能や耐久性能と同じような評価が可能にもなるであろう。たとえば、発注者や設計者が、構造物のライフサイクル環境負荷の量がある値以下に抑える、あるいは標準的な材料や工法を用いた場合と比較してある環境負荷低減率以上を確保するといった内容を要求性能として設定し、その要求性能を満足することを計画段階で照査し、実施段階で検査するといった評価である。

先述のように、環境負荷を配慮する場合にはインセンティブに乏しく、また上記のように環境負荷を性能として捉えた場合にこれを満足しなかったとしても構造物が壊れるわけではないことから、他の性能とはきわめて異なる性格の性能であることは否めない。しかしながら、もし環境税や炭素税に類するものが導入されることとなれば、状況は一変する。環境負荷低減への配慮がコストに直結することとなるからである。環境税や炭素税などの導入に関わらず、環境問題がきわめて重要であることは誰もが認めるところであり、コストに直結しない性能であっても欠くことのできない性能であることを、社会全体が認知してくれる環境を作り出していくことが必要であろう。

環境負荷をコンクリートの性能の一部として評価する場合、もっとも単純な方法は、安全性能や耐久性能の照査方

表-1 コンクリート構造物構成材料のインベントリデータ²⁾

大分類	中分類	小分類	細目分類	単位 (*)	投入量 (GJ)	石油 換算 (kg)	石炭 換算 (kg)	天然 ガス (kg)	購入 電力 (kWh)	非金属 鉱物 (kg)	鉄資 源 (kg)	リサイ クル (wetkg)	廃棄物 発生量 (wetkg)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /*)	SO _x 排出量 (kg-SO _x /*)	NO _x 排出量 (kg-NO _x /*)	ばいじん 排出量 (kg-PM/*)		
構成 材料	セメント	ポルトランドセメント		t	3.40	16.24	93.84	—	31.2	1 236	-	148	-	765.5	1.22E-01	1.55E+00	3.58E-02		
		高炉セメント B 種		t	2.28	13.13	56.80	—	30.1	715	—	85	—	—	457.7	8.09E-02	9.19E-01	2.18E-02	
		フライアッシュセメント B 種		t	3.02	18.25	75.71	—	34.0	998	—	120	—	—	622.8	9.84E-02	1.25E+00	2.89E-02	
		普通エコセメント		t	6.4	108.67	—	—	250.9	829	—	765	—	—	774.9	1.52E-01	3.19E-01	6.52E-03	
	骨材	天然粗骨材		砕石	t	0.05	0.37	—	—	4.3	1 000	—	—	—	2.8	6.07E-03	4.15E-03	1.41E-03	
		天然細骨材		砕砂	t	0.07	0.37	—	—	6.2	1 000	—	—	—	3.4	8.60E-03	5.86E-03	1.99E-03	
		石灰石骨材			t	0.05	0.37	—	—	4.3	1 000	—	—	—	2.8	6.07E-03	4.15E-03	1.41E-03	
		ごみスラグ骨材(燃料式)		燃料式灰溶融	t	29.71	721.86	—	—	240.0	—	—	1 238	141	2284.9	3.09E-02	3.76E-02	6.24E-03	
		ごみスラグ骨材(電気式)		電気式灰溶融	t	9.13	13.09	—	—	959.3	—	—	1 238	141	395.7	1.23E-01	1.50E-01	2.49E-02	
		Ⅲ種再生骨材			t	0.06	0.21	—	—	5.9	—	—	1 000	—	—	2.8	1.27E-03	1.08E-02	6.55E-04
		I 種再生骨材 (一軸高度処理)		一軸高度処理	t	0.38	0.49	—	—	39.8	—	—	1 000	—	—	16.3	6.28E-03	2.89E-02	2.18E-03
	混和材	高炉スラグ微粉末			t	0.58	—	—	—	65.0	—	—	—	—	24.1	8.36E-03	1.02E-02	1.69E-03	
		フライアッシュ			t	0.43	—	—	—	48.2	—	—	—	—	17.9	6.20E-03	7.54E-03	1.25E-03	
		石灰石微粉末			t	0.35	0.37	—	—	36.8	1 000	—	—	—	14.8	1.12E-02	1.03E-02	2.44E-03	
		石炭灰			t	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	
	鉄筋鉄骨	電気炉鋼		(鉄筋等)	t	4.24	3.60	71.79	—	337.7	33	93	—	7	755.3	1.34E-01	1.24E-01	1.01E-02	
		高炉鋼(一貫製鉄)	形鋼	t	18.54	7.29	728.45	—	260.5	65	1 028	—	7	1246.6	1.18E+00	1.80E+00	7.81E-03		
			棒鋼	t	18.40	7.29	728.45	—	253.2	65	1 028	—	7	1203.9	1.18E+00	1.80E+00	7.59E-03		
			線鋼 (鋼繊維,ピアノ線など)	t	18.98	7.29	728.45	—	299.4	65	1 028	—	7	1311.1	1.18E+00	1.81E+00	8.98E-03		

※空欄は不明

—はゼロ

イタリックは電力起源しか考慮していないもの(プロセス起源は不明)

法を準拠することである。先に少し触れたように、発注者や設計者が要求性能を設定し、計画段階でそれを照査し、実施段階で検査する方法である。

これに経済性を考慮することを加えた場合には、図-2や図-3に示す評価方法も考えられる。ここでは、通常の性能照査型設計における照査の部分に定量照査と選定で構成されている。これは、定量照査か選定のいずれかの方法を採用すればよいことを示している。

定量照査とは、性能照査型設計でいう照査と同義である。選定とは、複数の案の中から選び出すプロセスを指す。環境を性能の一部として捉えた設計を行うとき、場合によっては具体的な環境負荷が定量値として与えられないことも想定される。すなわち、CO₂排出量を可能な限り低く抑える、あるいは廃棄物リサイクル量を可能な限り高めるなどの定性的な要求性能が提示された場合である。この場合には、安全性能や耐久性能を満足したうえで、環境性能を満足しうる可能性のある案を比較検討して決定することとなる。これをここでは選定と呼んでいる。

図-2、図-3ともに、基本的な考え方は同じであるが、定量評価または選定を行う時期が異なる。本来は、図-2に示されるライフサイクル設計を行うべきであろうが、現実的なのは図-3に示すフローかもしれない。

定量照査、選定について、さらに具体的に示したのが、それぞれ図-4、図-5である。なお、ここで必須照査とは、環境関連の法規準に照らして遵守しなければならない項目について、それらが守られていることを確認することを指

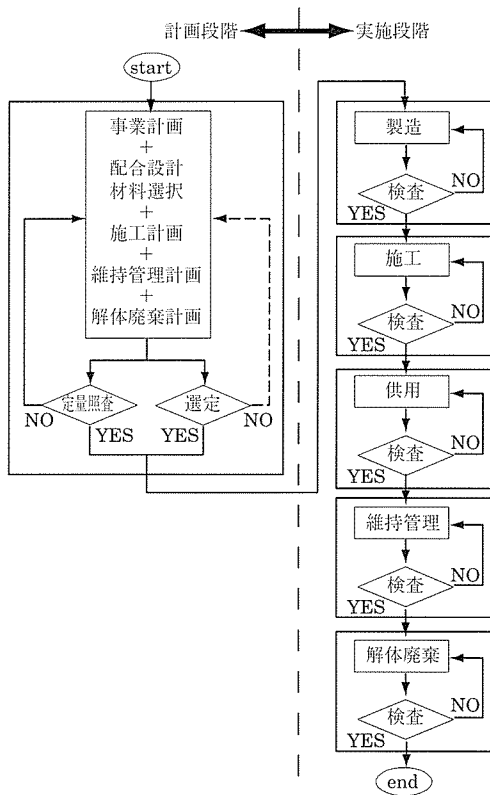


図-2 ライフサイクルを通じた環境配慮型設計を行なう場合の評価フローの例

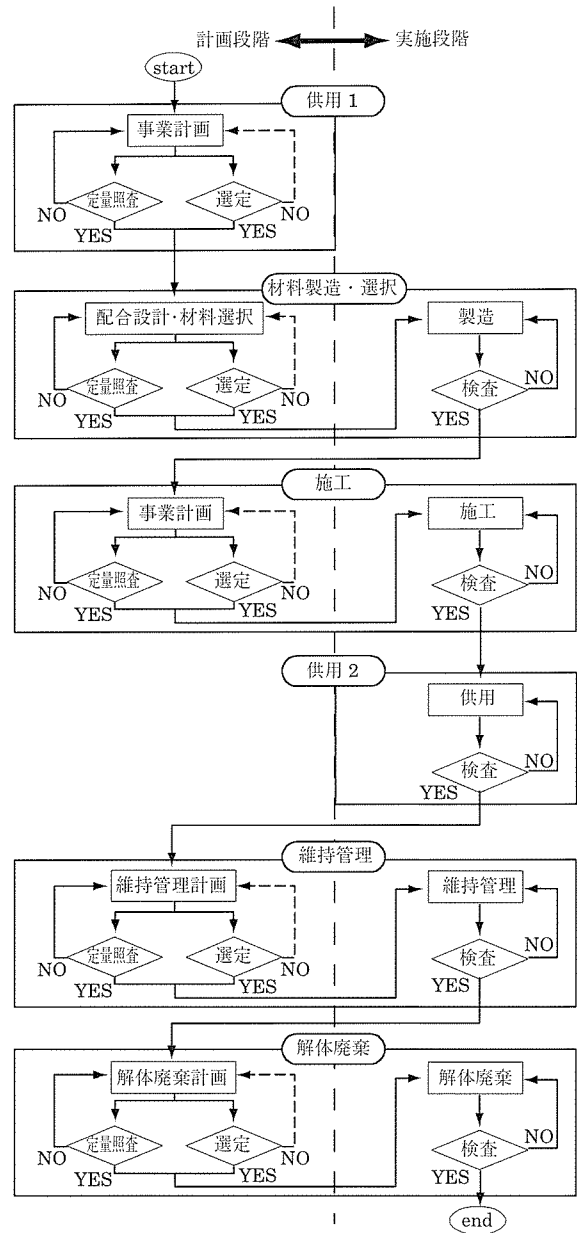


図-3 ライフサイクルの各ステージ別に環境配慮型設計を行なう場合の評価フローの例

す。また定性照査とは、環境問題に関連する要素のなかで、現状においては数量的な取扱いがきわめて難しいものについて、何らかの基準に基づいて判断を行うことを指す。たとえば、景観、ヒートアイランド現象、動植物生息環境の減少などがこれに該当するものと思われる。

図-4に示す定量照査の場合、建造物の材料製造、建造物の施工、供用、維持管理、解体・廃棄などが計画されれば、インベントリ分析によって環境負荷量が計算される。もし環境性能がインベントリに関する数値として要求されていれば、計算された環境負荷量と要求値との大小を比較することによって定量照査が行われる。また、要求性能が影響領域であればそこまでの計算を行ったうえで、領域終端、単一指標の場合にも、必要なレベルまでの計算を行ったうえで要求値との比較が行われ、照査することとなる。

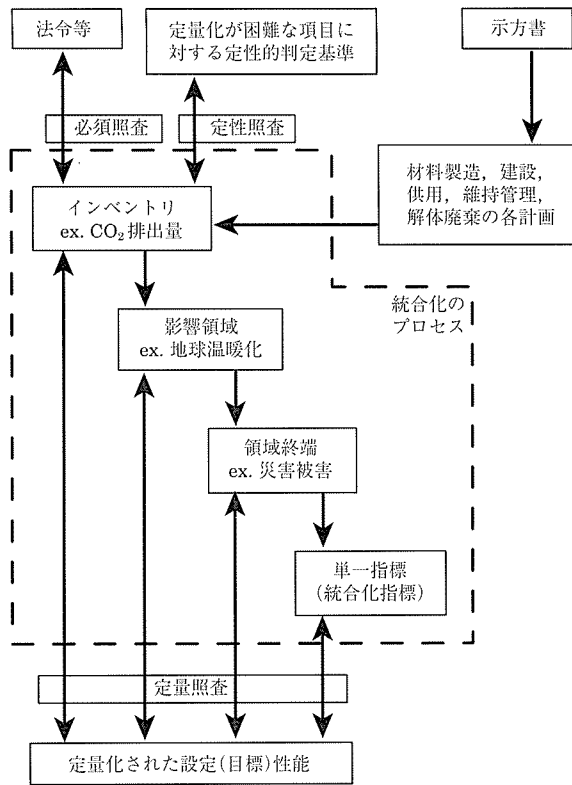


図 - 4 目標性能が存在する場合の評価の具体的手順

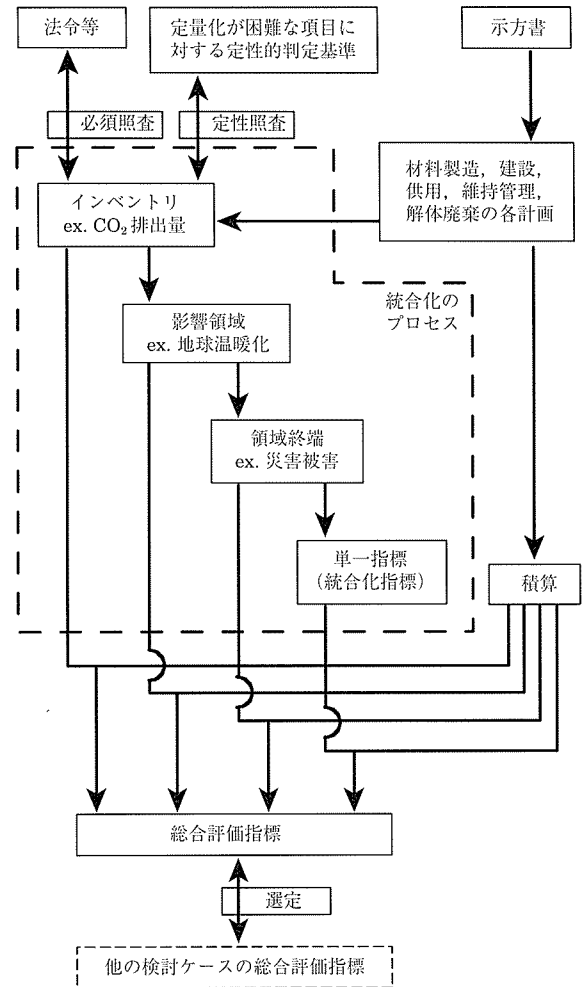


図 - 5 目標性能が存在しない場合の評価の具体的手順

図 - 5 に示す選定の場合には、定量照査の場合と同様に、環境負荷量（あるいは被害量）の計算は行うことができる。この環境負荷量（あるいは被害量）については、安全性能や耐久性能を満足する複数の候補があがってくる。これにさらに、各候補における積算を考慮して、総合的に比較検討を行い、環境負荷低減の視点ならびに経済性の観点から要求を満足する候補を選択することになると考える。選定の評価方法においては、積算を手順の中に明記していることが特徴である。

4. おわりに

コンクリートの環境負荷が数値として表され、また環境負荷評価の系統だてた仕組みが示され始めたのは、つい最近のことである。コンクリートの環境負荷評価を行おうという動きは、まだ緒につく段階までにも達していない。したがって、ここで示した評価方法についても、これはコンクリートの環境負荷評価研究小委員会で議論され、現状を踏まえたたたき台として提示されたものに過ぎない。

安全性能や耐久性能のように、環境負荷の程度がコンクリートの性能の一部として認識され、示方書などに取り入れられていくのは、まだまだ先のこともかもしれない。しか

しながら、環境負荷の低減が十分に功を奏していない現状を考えれば、完成された評価方法が世に出てくるのを待つのではなく、それぞれの企業や機関が独自にでも評価方法を作りだし、明示的な形で環境負荷低減への取組みをアピールしていくことが重要であり、そのような動きが徐々にでも高まっていくことを切に願う次第である。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート技術シリーズ44 コンクリートの環境負荷評価，土木学会，2002.5
- 2) 土木学会：コンクリート技術シリーズ62 コンクリートの環境負荷評価（その2），土木学会，2004.9
- 3) 産業環境管理協会：平成14年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書，p.727，2003.3

【2005年9月7日受付】