

# 論文 環境負荷低減型コンクリートのための材料評価システム

三木浩司\*1 · 小澤一雅\*2

要旨：廃棄物をコンクリート材料として有効利用した環境負荷低減型コンクリートを従来のコンクリート体系に新たに位置付け、その材料として廃棄物を受け入れる際の材料評価システムを作成した。材料評価システムは大きく2段階に分かれ、第Ⅰ段階ではコンクリートとしての利用可能性を施工性、環境汚染の可能性により評価し、第Ⅱ段階ではコンクリートの性能評価を行うことで適用可能な箇所を具体的に検討する。さらに技術開発の可能性も評価システムに取り込むことで現段階で利用不可能と判断された廃棄物に対しても今後の研究・開発の方向性とその効果を示すことが可能になった。

キーワード：環境負荷低減型コンクリート、資源の有効利用、廃棄物、性能評価

## 1. はじめに

廃棄物最終処分場の不足、天然資源の枯渇といった環境問題が大きく取り上げられる中で、コンクリート工学においても資源・エネルギーの有効利用を積極的に検討していく必要がある。コンクリートでは従来から高炉スラグ微粉末やフライアッシュといった他の産業から排出される廃棄物を材料として利用し、他産業をも取り込んでリサイクルの推進に役立ってきた。これらはその材料の持つ欠点を最小限に抑え、優れた点を積極的に利用することでコンクリートの性能向上を狙ったものである。しかしコンクリートが適用される対象を考えると、その性能が比較的低いものでも十分にその機能を果たす事のできる箇所はかなり存在し、必ずしも性能を向上させられない廃棄物でも利用可能性は充分にある。従来の材料レベルにおける基準体系では新たな廃棄物の利用は困難であるため、本研究では新たにコンクリートの性能評価に基づいて廃棄物の利用可能性、さらには用途を検討できるような材料評価システムを構築することを目標としている。これは資源のリサイクルの観点から社会的意義が大きいだけでなく、コンクリート技術の将来に大きく貢献するものである。

## 2. 環境負荷低減型コンクリートの定義と位置付け

### 2.1 定義

「コンクリートの製造・使用の過程において再資源化の可能性がある廃棄物を有効利用することにより、環境負荷を低減することを目標として作られるコンクリート」  
を環境負荷低減型コンクリート（通称エココンクリート: Ecological Concrete）と定義する。

### 2.2 位置付け

現在のコンクリートは普通コンクリートと高性能コンクリートから成り、主に強度によって分類されている。従来から利用されてきたスラグやフライアッシュを用いたコンクリートは性能の向上を狙ったものであり、高性能コンクリートに分類される。一方、本研究で提案する環境負荷低減型

\*1 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻（正会員）

\*2 東京大学助教授 工学系研究科社会基盤工学専攻，工博（正会員）

コンクリートは性能の向上を目的とはせず、資源の有効利用を目的としているため、比較的性能の低い箇所に主に利用されることを想定している。そのため現在のコンクリートの枠組みを拡張、環境負荷低減型のコンクリートを新たに位置付ける必要がある。また、将来は全てのコンクリートに何らかの形で資源の有効利用が求められ、コンクリートは本研究で提案する環境負荷低減型コンクリートと従来からの高性能コンクリートがコンクリートの大部分を占めると考えられる。

### 3. 材料評価システム

#### 3. 1 コンセプト

環境負荷低減型コンクリートの実用化のために考慮すべきことは図一1に示す通りである。本研究では特にコンクリート工学の立場から①および②に着目し、廃棄物を受け入れる際の材料評価システムについて検討した。

信頼性のあるコンクリート構造物を建設するためにはその構造物が持つ社会的価値や目的に応じた要求性能レベルを適切に設定し、それを満足させるような設計・施工を行うことが必要である。しかし、設計(材料、施工、構造設計)の段階においてコンクリート構造物の性能を直接照査することは現段階では技術的に困難であるため、示方書や施工指針においては材料・配合レベルで基準や方法を設定し、それを満足させることでコンクリートの品質、さらに構造物の品質までを保証しようとしている。そ

のため、新たな材料として廃棄物を利用しようとする際には、材料の段階で基準に達していないものが多いために利用が困難な状況になっている。そのため、本研究は材料レベルで新たな廃棄物利用基準を作成するのではなく、コンクリートを強度、耐久性といった性能レベルによって適切に分類することで、廃棄物を利用したコンクリートの品質を評価し、利用可能性や用途を検討することにしたのである。つまり、コンクリートの性能照査型の評価システムであると言える(図一2)

#### 3. 2 評価システムの特徴

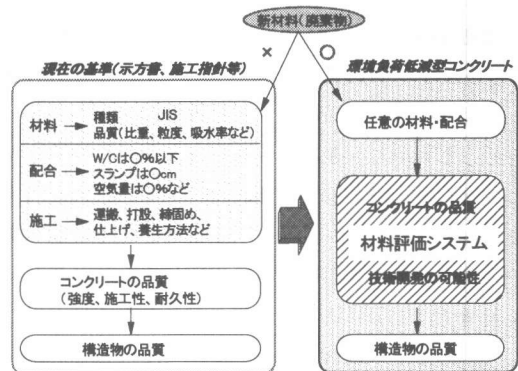
評価対象となる廃棄物が到着するとまずその物理的性質・化学的性質を調査し、利用形態(粉体、細骨材、粗骨材等)を決定する。これは評価システムでは材料調査の段階にあたる。ただし、その後、その材料を用いて実際に実験を行って評価を開始する。以下に評価手法の特徴を述べる。

(1) 評価を大きく2段階に分けて行うこと

「施工性の評価」、「環境への影響の評価」、「性能の評価」の順番で評価を行い、最初の2つの評価を第I段階としてコンクリート材料としての利用可能性を決定し、3番目の性能の評価を第II段階として利用可能と判定されたものに対して適切な用途を検討する。(図一3)

- ①コンクリートの品質に悪影響を与えないこと
  - ②新たな環境汚染を起こさないこと
  - ③経済性(処理コストや輸送費)
  - ④安定した需給体制を確立できるか

図一1 実用化のための方策



図一2 コンセプト(性能照査型)

(2) 今後の技術開発の可能性を考慮すること

現段階で利用可能な廃棄物の量はそれ程多くないかも知れないが、どの点を改良すれば利用可能となるのかを明確に示すことにより、今後の技術開発の方向性を示すことができる。

(3) 資源の有効利用を念頭においたできるだけ簡易な評価手法とすること

評価実験におけるセメントや骨材等の資源の消費を最小限に抑え、また可能な限り実験により生じる廃棄物を少なくすることを念頭において簡易な評価にすることが資源の有効利用の観点からも大切である。もちろん、利用に問題があればこれをできる限り Check できるようにしておく必要がある

### 3. 3 各評価段階の内容

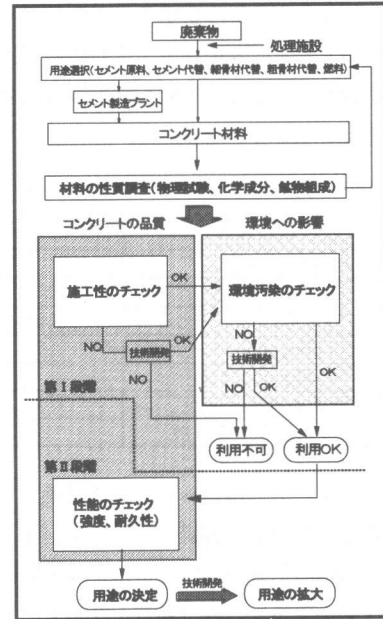
#### 3. 3. 1 施工性の評価

施工性の評価においては、利用を検討する廃棄物を混入したコンクリートがコンクリートとしての基本性能を有していて建設材料としての利用が可能かどうかを判定する。まず、どのような箇所に適用したいのかを仮定し、その場合の配筋条件、施工方法を想定し、その条件に応じた各評価レベルを設定する。そして図一4に示す方法で評価を行う。その結果、全ての評価項目(表一1)を満足する場合にはOKとし、環境への影響の評価へと進む。しかし、1つでも満足しない場合は適切な混和剤を加えるなど技術的改良を加え、再び最初の段階に戻って評価をやり直すのである。

粉体や細骨材として廃棄物を利用する場合には簡単のため、モルタルを用いた評価を行うこととした。変数をできるだけ少なくしつつ、廃棄物利用量をできるだけ多くするよう考慮し、粉体としての利用を検討する場合には骨材量を一定とした配合、細骨材の場合は水粉体比一定とした配合を採用することにした。

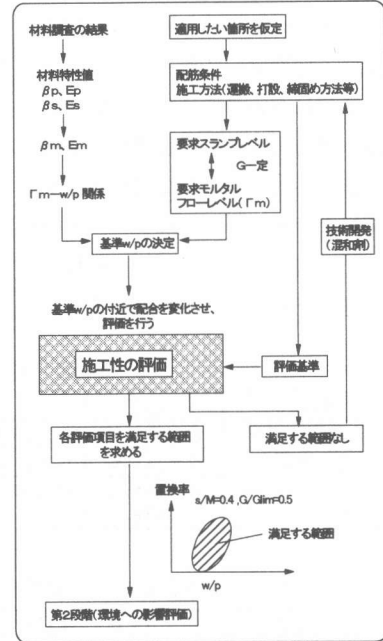
粉体の場合は、材料特性値として拘束水比( $\beta p$ )と変形係数( $E p$ )を求めることで、既値である細骨材の特性値( $\beta s, E s$ )とセメントの特性値( $\beta c, E c$ )を用いて任意の置換率に対してモルタルの特性値( $\beta m, E m$ )を求めることができる。[1]

細骨材量一定を仮定すると、 $\beta m, E m$ より任意の置換率における相対フロー面積比と水粉体比の関係が直線的に表される。また、粗骨材量も一定であるから、コンクリートのスランプとモルタルフローの間に一定の相関関係が存在すると考えられ



図一3 評価システムの全体像

る。まず、どのような箇所に適用したい



図一4 施工性の評価の例

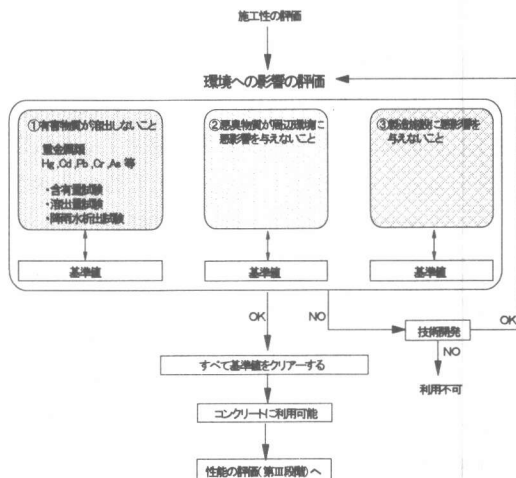
る。以上のことから要求スランプレベルを満たすような水粉体比が任意の置換率において算出することができることになる。この時の置換率と水粉体比を基本配合として、その近傍の配合でモルタルを練り、施工性の評価を満足する配合の範囲を決定し、この範囲が存在すれば、施工性の評価は合格ということになる。

表一 施工性の評価項目

評価項目	具体的な評価内容
練混ぜ可能か	ミキサーでの練混ぜに支障ないか
運搬が可能か	凝結速度は適切か
打設、締固め作業を行えるか	流動性はどうか。材料分離を起こしたり、硬すぎたりしないか
凝結するか	凝結するかどうか
打継ぎは可能か	キャッピングが可能か
表面処理は可能か	打設後1日後の表面の硬さ
強度発現性はどうか	型枠脱型時の表面硬さ

### 3. 3. 2 環境への影響の評価

施工性の評価を通過した後に検討するのが環境への影響の評価である。廃棄物の中には重金属類等の有害物質を含むものも多く存在し、これらの物質は基本的には溶融や焼却という高温処理段階において廃棄物中に固定される場合が多いが、コンクリートに使用した場合に溶出する危険性は皆無とは言えない。この危険性は安全面からも事前に十分検討しておく必要がある。また、製造工程において悪臭物質を発生させる危険性及び製造施設への悪影響の可能性といった問題も併せて検討しておく必要がある。施工性の評価とこの環境への影響の評価を通過して初めてコンクリート材料として利用可能であると判定されるのである。



図一 5 環境への影響の評価

表一 2 環境への影響の評価内容例 [ 2 ]

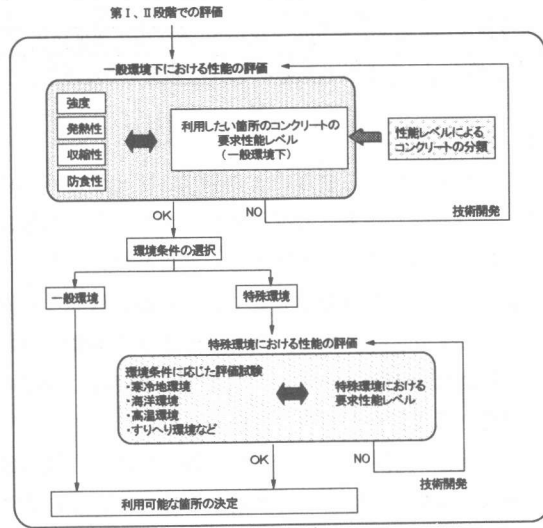
評価項目	評価試験	内容
有害物質の溶出 重金属類 (Hg,Pb,Cd,As, Cr,等)	含有量試験	供試体中の有害物質含有量の試験
	溶出量試験	供試体中から溶出した有害物質の量の測定試験
	降雨水析出試験	供試体に降った雨水を回収し、そこに含まれる有害物質量を測定する試験

表一 3 重金属類の溶出規制・基準値で最も厳しい値の一覧 (mg/l) [ 2 ]

溶出量	Cd	CN	Pb	Cr <sup>6+</sup>	T-Hg	Cu	As	Se	Cl	O-P
	0.01	ND	0.01	0.05	0.0005	1	0.01	0.01	200	ND
	PCB	A-Hg	F	Zn	Fe	T-Cr	Mn	Na	Ca+Mg	Ni
溶出量	ND	ND	0.8	1	0.3	2	0.05	200	300	2

### 3. 3. 3 性能の評価

施工性の評価、環境への影響の評価を通過するとコンクリート材料として利用可能であると判定される。次に、その廃棄物を利用したコンクリートの性能を調査し、どのような箇所への適用が可能かを評価するのが性能の評価である。コンクリートに要求される性能としてここでは強度と耐久性を取り上げたが、耐久性評価項目は環境条件、使用条件により異なるため、評価の最初の段階においては一般環境下を想定することにした。まず、一般環境下においてコンクリートを要求性能レベルによって分類することから始め、検討対象とする廃棄物を用いたコンクリートに対して性能評価実験を行い、その結果と利用しようと思う箇所のコンクリートの要求性能レベルとを比較する。次に環境条件や使用条件の厳しいところ（特殊環境下）に利用しようと思う場合は、その環境条件を満足するかどうかを評価する。評価時の配合は、最初は施工性の評価を行う際に得られた施工性を満足する範囲で最も施工性の良い配合を選択する。その配合のモルタルが性能の評価においてもし要求レベルを満たしていなければ、施工性を満足させる範囲内で配合を変化させて評価を行う。



図一六 性能の評価

表一四 評価方法と評価基準目安の例 [ 3 ]

評価項目	評価方法		評価基準の目安		
			◎	○	—
強度	28日圧縮強度	モルタル	40N/mm <sup>2</sup>	20N/mm <sup>2</sup>	10N/mm <sup>2</sup>
発熱性	断熱温度上昇量	モルタル	40℃	60℃	80℃
収縮性	真空乾燥収縮ひずみ	モルタル	500 μ	1000 μ	1500 μ
防食性	促進中性化係数	モルタル	—	10mm/√ week 以下	—
	塩化物イオン量	モルタル	—	1.5kg/m <sup>3</sup> 以下	--

表一五 一般環境下におけるコンクリートの分類 [ 4 ]

コンクリートに要求される性能	コンクリート構造物の分類								
	RC				無筋				
	高強度* <sub>1</sub>	薄断面* <sub>2</sub>	マスコン	一般* <sub>4</sub>	マスコン	舗装* <sub>6</sub>	一般* <sub>7</sub>	重さのみ	捨てコン
強度	◎	○	○	○	—	◎	○	—	—
収縮性	○	◎	○	○	—	○	—	—	—
発熱性	○	○	◎	○	◎	—	—	—	—
防食性	○	○	○	○	—	—	—	—	—

表一6 特殊環境におけるコンクリートの性能評価の例 [5]

項目	環境の定義	性能	評価方法	評価基準 (案)
海洋環境	海岸から 200 m 以内	塩化物浸透抵抗性	塩化物浸透深さ	$h \leq$ かぶり厚
寒冷地	凍害危険度 3 以上	凍結融解抵抗性	相対動弾性係数	80%以上

#### 4. まとめ

コンクリートによる資源の有効利用を実現するために、廃棄物を利用したコンクリートを環境負荷低減型コンクリートとして従来のコンクリート体系に位置付け、その材料としての廃棄物を受け入れる際の評価システムを提案した。これはコンクリートの要求性能に基づいた性能照査型の評価システムであり、従来の示方書や JIS 規格とは異なる観点で材料を評価したものである。この評価システムにより、これまで困難とされてきた廃棄物を始めとする新たな利用可能性のある材料について体系的に評価することが可能となると同時に今後の廃棄物処理技術、コンクリート技術の開発の方向性を示すことができると思われる。

環境負荷低減型コンクリートの実現に向けて今後検討すべき課題として、廃棄物の品質のばらつきの問題、環境への影響の評価基準の検討、さらには経済性、需給関係等のソフト面での問題があり、これら全ての問題を評価できるようなシステムの確立が望まれる。

#### 5. 参考文献

- [1] 枝松良展：モルタルの変形性を表す細骨材・粉体の材料特性の定量化、東京大学学位論文、1994.6
- [2] 尾花博：「エコセメントの品質と環境保全について」、第 20 回セメント若手の会テキスト、セメント若手の会主催、1996
- [3] 岡村甫、前川宏一、小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、1993.9
- [4] 辻幸和、小澤一雅：コンクリートの性能評価と品質保証、コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集、日本コンクリート工学協会、1992.5
- [5] 土木学会、コンクリート標準示方書をめぐる環境・施工技術の動向・設計施工照査システム、コンクリート技術シリーズ 11、1996.5
- [6] 日本コンクリート工学協会、コンクリート技士研修テキスト平成 5 年版、1993.6
- [7] 前川宏一、岸利治、岡村甫：セメント・コンクリートの要求性能と設計法の変遷、セメント・コンクリート、No.594,pp.2-9,1996.8
- [8] 田澤栄一：従来と異なる材料を用いたコンクリートの性能評価、コンクリート工学、Vol.34,No.9,pp.51-57,1996.9
- [9] 土木学会、コンクリート標準示方書 平成 8 年版 規準編、施工編、1996.8
- [10] 玉井元治、水口裕之、出村克宣、岡本享久：エココンクリート研究委員会報告、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18 ,No.1 ,pp.19-28 ,1996

#### 【謝辞】

本研究は平成 8 年度文部省科学研究補助金（総合研究(A)(1)No.0730505）に基づいて実施されたものであり、貴重なご示唆を頂いた岡村甫教授（東京大学）を始めとする諸先生方に御礼を申し上げます。