委員会報告　「廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会報告」

大濱 嘉彦[*1]・田中 礼治[*2]・北辻 政文[*3]・小出 英夫[*4]・江成 敬次郎[*5]

委員長	大濱嘉彦	日本大学	
副委員長	田中礼治	東北工業大学	(WG1 主査)
幹　事	北辻政文	宮城県農業短期大学	(WG2 主査)
	小出英夫	東北工業大学	(WG3 主査)
	江成敬次郎	東北工業大学	(WG4 主査)
委　員	尾崎　滋	発泡スチロール再資源化協会	
	笠井哲郎	東海大学	
	川上　洵	秋田大学	
	河野広隆	独立行政法人土木研究所	
	川村政史	日本大学	
	斉藤　直	中国電力(株)	
	佐々木肇	(株)間組	
	高田龍一	松江工業高等専門学校	
	成田　健	東北電力(株)	
	西浦範昭	西松建設(株)	
	野間口兼政	プラスチックリサイクリング学会	
委　員	橋本孝一	福島工業高等専門学校	
	福士憲一	八戸工業大学	
	松井　淳	太平洋セメント(株)	
	山田　優	大阪市立大学	
	吉兼　亨	大有建設(株)	
協力委員	石黒　覚	三重大学	
	小林　猛	(株)安部工業所	
	桜田智之	日本大学	
	中嶋　勇	独立行政法人農業工学研究所	
	西原　寛	安藤建設(株)	
	飛坂基夫	飛坂技術士事務所	
	三浦誠司	オデッサ・テクノス(株)	
	柳橋邦生	(株)竹中工務店	
	山崎順二	(株)淺沼組	
	和田一朗	エコサイエンス	

他　通信委員　10 名

1.　はじめに

20 世紀における科学技術の発展は，我々に豊かな工業化社会をもたらしたが，その反面，自然破壊と大量の廃棄物の発生という地球環境問題を引き起こすこととなった。そのため，廃棄物の減量，リサイクルを含めた廃棄物の適正処理，すなわち「使い捨て社会から循環型社会への転換」は，今日，環境問題を考える上できわめて重要な課題となっている。

一方，コンクリート関連産業は，その市場規模の大きさと，有効に廃棄物を活用できる可能性を持つ産業として，廃棄物の大量の受け入れを社会から期待されており，資源循環型社会の構築の中で，21 世紀には大きな役割を担うと考えられる。

このような社会的背景から，「廃棄物のコンクリート材料への再資源化研究委員会」が，2 年間の活動予定で，平成 13 年 4 月に発足した。本委員会の活動目的は，各種廃棄物をリサイクル材として再利用する上でコンクリート工学がどのように貢献できるかを検討して取りまとめ，そのうち，ある程度の研究レベルにあり，コンクリート材料への使用の普及が早急に望まれるものに関しては，コンクリート材料としての使用法，および当該リサイクル材を使用したコンクリートの使用法に関するガイドラインを提案することである。

本委員会では，委員会内に，

- 構造用再生コンクリート　(WG1)
- 無機系廃棄物等の適用　(WG2)
- 有機系廃棄物等の適用　(WG3)
- 環境安全性評価　(WG4)

の４つのワーキンググループ（WG）を設置した。ここでは，各 WG の活動・検討内容を中心

*1 日本大学教授　工学部建築学科　工博　(正会員)
*2 東北工業大学教授　工学部建築学科　工博　(正会員)
*3 宮城県農業短期大学助教授　農業土木科　博(農学)　(正会員)
*4 東北工業大学助教授　工学部建設システム工学科　工博　(正会員)
*5 東北工業大学教授　工学部環境情報工学科　工博

に報告する。

2. 資源循環型社会の構築の必要性とコンクリート産業の役割

わが国では，現在，約 8,000 万トンの各種廃棄物が最終埋立て処分されている。最終処分場の建設も環境問題と絡み，地域住民からの反対が多く，新たな建設には困難が伴っている。現在の処分場の残余年数も短く，産業廃棄物処分場が 2 年以下,一般廃棄物処分場が 10 年以下という状況である。この廃棄物を適正に，かつ，早急に処理することは，われわれに課せられた大きな課題である。

一方，コンクリート産業をはじめとした建設業においては，最も利用される資材である骨材が,毎年 8～9 億トンという他の資材では例を見ない量を消費している [1)]。また，コンクリートは，レディーミクストコンクリートの年間出荷量 1.4 億 m^3，工場製品の 0.2 億トンを合わせると，年間約 3.4 億トンが利用されている。そして，数十年後には，これとほぼ同量のコンクリート廃棄物が排出されると予想されており，現在の排出量の 10 倍に相当する [2)]。

このように，建設業は環境に対して負のイメージが大きいが，循環型社会への転換において大きな役割も兼ね備えている。すなわち，建設業は，現在，最終処分されている 8,000 万トンの各種廃棄物を，量的に処理することができる可能性をもつ唯一の産業なのである。当然，廃棄物を無条件に受け入れようというのではない。コンクリート用材料として利用できるかどうかを十分に吟味し，さらに，例えば，利用できるような何らかの加工処理をした後に受け入れるのである。

これまでも，コンクリート産業は，多くの廃棄物を受け入れてきている。例えば，高炉スラグやフライアッシュなどは，他産業の副産物であり，最近では，フェロニッケルや銅スラグも骨材として利用されている。さらに，セメント工場は，焼却灰，下水汚泥などを原料とし，廃タイヤや廃油を燃料として受け入れている。今では，年間約 2,500 万トンの他産業の廃棄物などを活用している [3)]。

コンクリート関連産業は，社会資本整備において，その技術を発揮し，今後も資源循環型社会の構築のために，多くの廃棄物を受け入れるべく，研究を進めなければならない。

3. 構造用再生コンクリート（ＷＧ１報告）

3.1 活動概要

コンクリート系建設物の解体時に発生する建設廃棄物の一つであるコンクリート塊は,現在,その多くが再生路盤材とされ，道路，駐車場などの舗装の路盤材に利用されている。しかし，国土基盤整備がある程度整った我が国では，道路事業などの需要が減退し，従来の路盤材を含めて供給過剰の兆しが見え始めている。その解決のためには，コンクリート再生骨材の用途拡大を計っておく必要がある。その点からすると，標準情報（TR）A0006（再生骨材を用いたコンクリート）の社会的影響は大きく，解決への第一歩を踏み出したといえる。しかしながら，TR A0006 では，再生骨材コンクリートを，建設構造物の上部構造などの鉄筋コンクリート構造物へ利用することを許容していない。したがって，これらへの利用が可能になれば，より一層の，再生骨材の需要拡大につながり，また，自然破壊につながる天然骨材資源開発の抑制ならびに自然環境の保全に貢献すると考えられる。

そこで，本 WG では，再生骨材コンクリートを，コンクリート構造物の上部構造に使用する場合のガイドラインとして，「再生骨材を用いた構造用コンクリートのガイドライン（試案)」（以下，ガイドライン）を作成した。以下に，その概要を示す。

3.2 ガイドライン

本ガイドラインは，TR A 0006 の適用範囲を超え，再生骨材コンクリートを構造用コンクリートとして利用する場合の一助となるべく作成された。旧建設省暫定品質基準(案)に示される

再生粗骨材II種程度および同再生骨材I種程度の品質の再生骨材を有効に利用するための一手法について，骨材品質が再生骨材コンクリートの特性に及ぼす影響，再生骨材コンクリートの特性，品質改善のための調（配）合計画手法などを，現時点での最新の技術や研究成果を基にとりまとめた。

本ガイドラインでは，構造用再生コンクリートを，使用部位や環境条件の違いによって3種類に分類し，それぞれの再生コンクリートが備えるべき性能を規定している。さらに，それらの構造用再生コンクリートに適用できる再生骨材の品質に制限を設けている。

本来の性能型の規定であれば，コンクリートとして所要の性能を満足させることが確認できておれば，再生骨材の品質に制限を設ける必要はなく，どのような品質の再生骨材を使用しても良いことになる。しかし，TR A 0006に示されている程度の低品質の再生骨材を用いて，構造体に使用するコンクリートとしての所要の性能を満足させることは，現時点では困難と考えられる。したがって，本ガイドラインでは，低品質の再生骨材を排除し，最低限の骨材品質を確保することを目的として，それぞれの構造用再生コンクリートに適用できる再生骨材の品質に制限を設けた。

本ガイドラインの主な特徴は，以下の2点である。

1）再生骨材の原料となる原コンクリートの品質を的確に評価し，ある一定の条件を満たすもののみを選択的に再生骨材製造のための原料として取り入れることを原則とすることにより，それを用いた再生コンクリートの品質確保と性能改善につなげるよう配慮している。

2）凍結融解作用およびひび割れに対しては，コンクリートの調（配）合計画による対策または施工面での対策などの緩和対策を容認し，対策を講じた場合には，対策を講じない場合と異なった再生コンクリートを使用してよいとし，再生コンクリートの使用区分に幅を持たせた。

4.　無機系廃棄物等の適用（ＷＧ２報告）

4.1　活動概要

無機系廃棄物は，材料の変質や腐敗が懸念される有機系廃棄物と異なり，環境安全性が確保されれば，利用の可能性は高いと考えられる。これまでも，無機系廃棄物のいくつかは，研究が行われ，JISあるいはTRとして認知されている。

本WGでは，コンクリート材料として規格化されていない無機系廃棄物の調査を行い，廃ガラス，クリンカアッシュ，もみ殻灰，フライアッシュ原粉，下水汚泥焼却灰，廃せっこう，製鋼スラグについて，技術資料としてまとめた。さらに，廃ガラスおよびクリンカアッシュについては，細骨材としてのガイドライン（試案）をまとめた。

4.2　対象とした主な廃棄物

以下に，個々の廃棄物に関する取りまとめの概要を示す。

(1) 廃ガラス

「プレキャスト無筋コンクリート製品用ガラス細骨材」として，ガイドライン（試案）を作成した。本ガイドライン（試案）では，廃ガラスを破砕し，整粒されたガラスを細骨材として舗装用平板，インターロッキングブロックなどのプレキャスト無筋コンクリート製品に用いる場合について，一般の標準を示した。ただし，ガラス細骨材はアルカリシリカ反応性が高いため，適用にあたっては，部材厚の厚いコンクリート製品は除くものとした。

(2) クリンカアッシュ

「プレキャスト無筋コンクリート製品用クリンカアッシュ細骨材」として，ガイドライン(試案）を作成した。本ガイドライン（試案）では，設計基準強度 21 N/mm^2 以下のプレキャスト無筋コンクリート製品の細骨材として用いるクリンカアッシュについて規定した。ただし，耐凍害性が要求される場所は除くものとした。

(3) もみ殻灰

もみ殻灰の研究は，数多く行われており，その活性は高く，コンクリート用混和材として利

用可能であると判断された。しかし，わが国ではもみ殻は，大量に発生するが，専用の焼却炉がないため，活用ができない。今後，専用の焼却炉ができた段階で，ガイドラインを検討することになり，本報告では，技術資料にとどめた。

(4) フライアッシュ原粉

フライアッシュ原粉をコンクリート混和材として活用する場合，有効利用の拡大を目的としてJIS A 6201（コンクリート用フライアッシュ）によりI～IV種まで規格が拡大されたが，現状としてはII種より劣る品質のフライアッシュ原粉はそのほとんどが活用されていない現状がある。そこで，集じんされたままの状態のフライアッシュ原粉を有効に活用する手法とその適合品質について紹介した。

フライアッシュ原粉の用途としては，混和材，アルカリ骨材反応抑制材，骨材および膨張抑制材への利用があり，また，これらの組合せによって新しい工法の硬化体（FSコンクリート，Neo Ashクリート，アッシュクリートおよびFSG固化体）が開発されている。

(5) 下水汚泥焼却灰

下水汚泥焼却灰は，石灰系焼却灰と高分子系焼却灰に大別される。2種類の焼却灰のうち，高分子系焼却灰は，コンクリート材料への利用の事例が比較的多いため，本WGでは，主として，高分子系焼却灰について取りまとめた。

下水汚泥焼却灰の細骨材・混和材への利用は，現時点では実用化に向けたデータ蓄積や実績が十分とはいえなが，ヒューム管や道路用側溝などのプレキャスト製品への利用が実用化されている。

(6) 廃せっこう

脱硫せっこうは，セメント生産量の低下や中国などからの安価なせっこうの輸入などによって，その需要も伸び悩み，余剰せっこうが発生しつつある。二水せっこうをリサイクルする際，余分な熱源を加えず，安定形である二水せっこうの状態のまま活用される技術が望まれている。本WGでは，副産物として発生するせっこうとして火力発電所の脱硫せっこうなどの二水せっこうを対象とする技術についてまとめた。

(7) 製鋼スラグ

鉄鋼スラグは，高炉スラグと製鋼スラグに大別される。前者は，コンクリート用骨材および混和材としてJIS化されている。そこで，本WGでは，後者の製鋼スラグについてまとめた。

コンクリート材料への製鋼スラグの活用を考える場合，骨材への活用が主な活用法となるが，その膨張性を抑制する対策が最も重要となる。製鋼スラグは，遊離石灰を多く含み，エージング処理による膨張性の低減や石炭灰などの配合など，膨張抑制対策が十分に取られないと，コンクリート骨材として活用することができない。エージング処理をした製鋼スラグの利用方法としては，鉄鋼スラグ水和固化体およびNeo Ashクリートがある。

5. 有機系廃棄物等の適用（ＷＧ３報告）

5.1 活動概要

廃木材，廃FRP，廃EPSおよび廃PETを中心に，コンクリート材料への適用における具体的手法を調査した。そのうち，後述する利用方法については，当該廃棄物のコンクリートへの利用方法（製造方法，活用方法など），当該廃棄物を利用したコンクリートの諸性質などを詳細にまとめた。

- 「廃木材の木片コンクリートへの利用方法」
- 「廃FRP二次処理分級繊維の短繊維補強モルタルへの利用方法」
- 「廃EPSインゴットのコンクリート用粗骨材への利用方法」
- 「廃EPSを結合材としたポリマーモルタルへの利用方法」
- 「廃EPSを結合材とした木質系複合体への利用方法」
- 「廃PET製骨材のコンクリートへの利用方法」

本WGでは，上述の利用方法を中心に取りまとめを行い，有機系廃棄物などのコンクリート

材料への適用性の検討を行い，その有効性を見いだすことができた。

5.2　主な利用方法の紹介など

(1) 廃木材の木片コンクリートへの利用方法

この方法は，建設発生木材から生産した木片を型枠に詰め込み，その木片同士の隙間にセメントペーストを流し込み,製造するものである。木片コンクリートの性質は，木片の充填率によって変化するが，その密度 0.92～1.25g/cm^3，熱伝導率 0.25～0.38W/mK，圧縮強度 4.0～7.5N/mm^2 で靭性が大きい。

(2) 廃 FRP 二次処理分級繊維の短繊維補強モルタルへの利用方法

この方法は，廃 FRP から回収されたガラス繊維（二次処理分級繊維）をモルタル用補強材として利用するものである。短繊維補強モルタルの性質は，二次処理分級繊維の混入量などによって変化するが，その曲げ強度は，プレーンモルタルのそれの 2 倍，曲げ靭性（曲げ破壊時のたわみ量）は，プレーンモルタルのそれの 10 倍程度となる。

(3) 廃 EPS インゴットのコンクリート用粗骨材への利用方法

この方法は，廃 EPS を熱減容したインゴットを粉砕し，軽量コンクリート用粗骨材として利用するものである。軽量コンクリートの性質は，当該骨材自体の性質，単位粗骨材容積比などの配合要因によって変化するが，その密度 1.7～1.9g/cm^3，熱伝導率 0.8～1.0W/mK，圧縮強度 15～35N/mm^2，曲げ強度 3.0～5.5N/mm^2 およびヤング係数 5～15kN/mm^2 となる。

(4) 廃 EPS を結合材としたポリマーモルタルへの利用方法，および廃 EPS を結合材とした木質系複合体への利用方法

この方法は，廃 EPS を減容剤兼結合材用モノマーとしてのスチレンに溶解し，それに各種の添加剤を加えて結合材として利用するものであり，従来の廃 EPS のマテリアルリサイクルの工程を大幅に短縮できる。当該ポリマーモルタルの性質は，養生条件，添加剤の添加率，EPS 溶液の濃度などによって大きく変化するが，圧縮強度 100N/mm^2 および曲げ強度 25N/mm^2 を示すものも製造可能である。また，木質系複合体は，上述の結合材と木材チップ（これも廃木材から製造）などを用いてホットプレス成形法を適用して製造され，主に，建築材料への活用が期待され，その密度 0.92～1.54g/cm^3 および曲げ強度 12～30N/mm^2 で，優れた耐水性を与える。

(5) 廃 PET 製骨材のコンクリートへの利用方法

この方法は，廃 PET を約 80%前後含む廃プラスチックから製造される軽量骨材をコンクリートに利用するものであり，配合，当該骨材の粒径などの諸条件によって，コンクリートの性質は異なるものの，密度 1.80～1.90g/cm^3，圧縮強度 20N/mm^2 およびヤング係数約 10kN/mm^2 を示すコンクリートが製造できる。

6.　環境安全性評価（ＷＧ４報告）

6.1　環境安全性評価の基本的な考え方

従来，廃棄物を利用したコンクリートの環境安全性は，構造物または製品の利用時だけを想定し評価されてきた。しかし，廃棄物の利用が本格化した場合，これでは不十分であり，製品などへの利用前をも含む，廃棄物に対するフロー全体を対象に環境安全性を評価する必要がある。すなわち，廃棄物の発生・収集から使用時までの長期的な環境安全性を評価の対象とすべきであり,多数回リサイクルも視野に入れると，ライフサイクルアセスメント（LCA）に似た考え方も必要となろう。

各段階における安全性評価の視点から注意すべき点は，次のように考えられる。

1）廃棄物の発生・収集の段階

ダイオキシン，有害ガス，粉じんなどによる作業上の危険性,これらの飛散などによる大気，水質および土壌の汚染，騒音，振動など

2）廃棄物の保管・運搬の段階

前述のもののほか，事故，漏出などによる水質，土壌の汚染など

3）廃棄物の処理・再資源化の段階

大気，水質および土壌の汚染や作業上の危険性など

4）製品化・施工の段階

コンクリート製品の製造や構造物の施工中に発生する粉じんの飛散などによる大気，水質および土壌の汚染など

5）製品または構造物として実際に使用される段階

屋内・屋外の使用状況でかなり異なるが，溶出や滲出などによって発生する，大気，水質および土壌の汚染など。また，短期だけではなく，長期的な安全性も考慮する必要性もあり，酸性雨による影響，シックハウス症候群の可能性など，想定されるすべての使用環境

6）再利用の段階

将来，廃棄物を利用したコンクリートを再度解体して利用する場合には，前述した事項に関する安全性再評価の必要性

6.2　現行の溶出試験法に関する現状と課題

これまでは，主に，産業廃棄物に含まれる有害物質の検定方法として環境庁告示第 13 号によって，また，土壌汚染とのかかわりでは，環境庁告示 46 号に定める試験法に則って評価されてきている。しかしながら，現行公定法の問題点として，以下のような点が考えられる。

- バッチ式の試験で十分か
- pH の設定範囲は適切か
- 溶媒の種類と濃度をどう設定すべきか
- 液体と固形分との比（L/S）は，どの程度がよいか
- 最大溶出可能量で評価すべきではないか
- 試験に用いる試料は，細かく粉砕して行う必要があるのか
- 溶出時間の設定は，どのようにすべきか
- 溶出濃度で有害性を判定しているが，廃棄物からの最終的な溶出量や将来的な危険性を判断するためには，不十分ではないか

6.3　今後の展望

今後の溶出試験のあり方を検討する上で，前述の課題を解決すると共に，次のようなことも考慮すべきと考えられる。

1）構造物の使用年限によって，一次処分と最終処分とを分離して扱う必要がある。

2）複数の試験法を採用する必要がある。

3）廃棄物からの有害物質の溶出挙動に影響する因子からの情報の収集が求められる。

4）世界的に統一した評価法を採用する方向にある。

5）モニタリングによって，試験法を評価し得る態勢も整えておく必要がある。

7.　おわりに

本研究委員会では，委員会活動 1 年目の平成 14 年 9 月 6 日，活動の中間的な位置付けとして，廃棄物のコンクリート材料への適用に関する最新情報を広く収集することを目的に，日本大学会館（東京都千代田区）において，「廃棄物のコンクリート材料への再資源化に関するシンポジウム」を開催した。このシンポジウムには，203 名の参加があり，研究から実用レベルの幅広い内容の 33 件の論文発表，24 件のパネル展示が行われ，「廃棄物のコンクリート材料への再資源化に関するシンポジウム論文集」[4)]を出版した。

また，本委員会の成果は，平成 15 年 6 月 17 日に建築会館（東京都港区）で開催予定の「循環型社会構築におけるコンクリート産業の役割と廃棄物のリサイクル」に関するシンポジウムにおいて報告する予定である。このシンポジウムでは，委員会報告の他，基調講演，パネル展示，パネルディスカッションも行われる予定である。

参考文献

1）工藤勝弘：骨材産業の現状と今後の課題，セメント・コンクリート，No.618，pp.14～27，1998

2）藤田賢二：国土デザインとしての廃棄物対策，土木学会誌，Vol.85，No.3，pp.31-33，2000

3）セメント協会：セメントの常識，pp.51-52，1997

4）日本コンクリート工学協会：廃棄物のコンクリート材料への再資源化に関するシンポジウム論文集，2002.9