

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 06 月 18 日現在

機関番号：12601
 研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21246086
 研究課題名（和文）セメント・コンクリート系建築材料の次世代持続的完全循環システムの開発
 研究課題名（英文）Development of building materials and sustainable completely recycling system related to cementitious materials for next generation
 研究代表者
 野口 貴文（NOGUCHI TAKAFUMI）
 東京大学・大学院工学系研究科・准教授
 研究者番号：80208321

研究成果の概要（和文）：本申請研究では、セメント・コンクリート系建築材料の生産・製造・建設・解体・リサイクルという建設活動において発生する環境負荷を大幅に削減できる要素技術および資源循環システムを構築することを目的とし、特に、CO₂ 排出量および廃棄物量の大幅削減を実現する下記の技術開発を実現した。

- (1) 既存コンクリート構造物を対象とした高周波電磁誘導加熱・電磁波誘電加熱の利用による省エネ・低環境負荷解体工法の開発
- (2) CO₂ 排出量および廃棄物発生量を最小化でき無機表面改質コンクリートを用いた完全リサイクルコンクリートの調合とリサイクル技術の開発
- (3) 資源循環シミュレータを用いた既存コンクリート構造物、新規コンクリート構造物の建築・解体を考慮した CO₂ およびリサイクルシナリオ導入による環境負荷削減効果の検証

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop the techniques for reducing environmental loads in various processes of construction activities, such as material production, construction, demolition, and recycling. The developed techniques to reduce large amount of CO₂ and industrial wastes are described as follows.

- (1) Demolition method with low energy emission by induction heating
- (2) Completely recycling aggregate and concrete by inorganic coating to reduce CO₂ emission and industrial waste
- (3) Resource flow simulator to investigate and evaluate effect of CO₂ emission reduction and waste reduction by introducing environmental techniques and policies

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	18,200,000	5,460,000	23,660,000
2010 年度	13,900,000	4,170,000	18,070,000
2011 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
総計	36,900,000	11,070,000	47,970,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：コンクリート，資源循環，リサイクル

1. 研究開始当初の背景

コンクリートおよびセメント系建材は、現代社会において、建築物および土木構造物を構築するために非常に重要な建設材料である。年々、廃棄物の最終処分場の残余容量が減少傾向にある中、コンクリートは、我が国の総物質投入量の 20~25%程度（水に次いで多い）を占め、我が国の廃棄物総量の 10%程度を解体コンクリート塊が占めている。現在、解体コンクリート塊のほとんどは路盤材として再生利用されているが、年々減少しつつある道路建設量の影響を受け、再生利用できないが廃棄物が発生しつつあり、今後の道路建設量の更なる減少に鑑み、解体コンクリート塊の他用途へのリサイクルが緊要課題となっている。また、大都市においては、高度経済成長期に建設された大量のコンクリート構造物が寿命を迎えて解体される時期にさしかかろうとしているが、従来の重機による解体工法では、解体工事に伴う騒音・振動・粉塵問題が発生し、都市においては近隣への環境問題を引き起こしつつあり、近隣環境問題の解決に資する解体工法が求められるようになってきた。一方、地球温暖化防止に向けて CO2 排出量の削減は全産業に課せられた重要課題となっており、全排出量の 40%が建築物・土木構造物の建設活動・供用に伴うものであり、セメント生産およびコンクリート製造に関連するものは全体の 7~8%程度を占めており、その削減も緊要課題となっている。

このような社会的背景の下、我が国では 1990 年代後半から現在に至るまで、解体コンクリート塊をコンクリート用骨材としてリサイクルするための実用的開発研究が盛んに実施され、コンクリート用再生骨材の JIS が制定されるなど、単純破碎技術を主とする他国を数歩リードしている状況にある。しかしながら、易解体設計・易リサイクル設計が導入されていない既存構造物においては、高品質の再生骨材を得るためには相当量のエネルギーが必要であり、逆にエネルギーをかけなければ高品質の再生骨材が得られない、というジレンマが最近まで存在していた。そこで、我々は、原骨材の高回収率（90%以上）を保ちながら、エネルギーをそれほどかけずに高品質の再生骨材を製造できる技術のプロトタイプを 2008 年 1 月に開発して特許申請を行い、同年 9 月の日本建築学会大会において発表した。この技術は、元々は新設構造物で用いられる骨材への適用を意図したものであるが、誘電材料および電磁波の利用がキーポイントであり、その転用および発展的な研究開発によって既存コンクリート構造物の解体およびリサイクルにも適用できるようになれば、今後発生するコンクリ

ート廃棄物問題の大幅な解決につながるものと考えられる。また、環境問題を引き起こしにくいコンクリート構造物の解体工法に関しては、今春、我々が研究に着手したところであり、他機関での研究は実施されていないものと考えられる。一方、セメント生産およびコンクリート製造に伴う CO2 排出量の削減に関しては、世界的に、セメントクリンカーの代替としてフライアッシュや高炉スラグ微粉末を利用する方策が進められているが、この方策では初期強度が出にくく長期間の養生を必要とするため工期遅延や耐久性不足に陥る可能性が高く、この方策の合理的で最適な利用体系も整備されていないため、CO2 排出量削減の万全の解決策にはなり得ていない。また、解体コンクリート塊に CO2 を吸収させようという方策も検討されているが、リサイクルとの関係が不明確であり、体系化されるまでには至っていない。

以上のように、現在はほとんど問題なく循環しているコンクリートも、数年後には大きな問題が待ち受けていることは必定であり、コンクリートを完全かつ持続的に循環させることのできる技術開発が我が国の緊要課題であると言える。また、中国、インド、ブラジル、ロシアのような経済発展の著しい諸外国においては、膨大な数のコンクリート構造物が建設されており、今後ますます増加することが予想されており、セメント生産およびコンクリート製造に伴う CO2 排出量およびコンクリート構造物の解体に伴う廃棄物発生量を削減できる資源循環システムの構築は、世界的にも緊要課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、セメント・コンクリート系建築材料の生産・製造・建設・解体・リサイクルという建設活動において発生する環境負荷を大幅に削減できる要素技術および資源循環システムを構築することを目的とし、この目的・目標を達成するために、具体的には、下記の項目について、調査・研究を実施する。

(1) 既存コンクリート構造物を対象とした高周波電磁誘導加熱・電磁波誘電加熱の利用による省エネ・低環境負荷解体工法の開発

(2) CO2 排出量および廃棄物発生量を最小化でき無機表面改質コンクリートを用いた完全リサイクルコンクリートの調合とリサイクル技術の開発

(3) 資源循環シミュレータを用いた既存コンクリート構造物、新規コンクリート構造物の建築・解体を考慮した CO2 およびリサイクルシナリオ導入による環境負荷削減効果の検証

3. 研究の方法

文献調査による理論構築およびデータ取得を実施した後、実験室において、既存コンクリート構造物の低環境負荷解体技術および完全リサイクル技術、ならびに新設コンクリート構造物への易解体・易リサイクル手法の導入技術のプロトタイプを開発するとともに、セメント系建築材料の完全リサイクル技術も併せて開発する。また、環境負荷最小化支援システムを構築し、セメント・コンクリート系建築材料の製造・施工・解体・リサイクル段階における環境負荷を最小化する要素技術の組合せを見出し、模擬部材・実大部材において検証実験を行う。

4. 研究成果

(1) 既存コンクリート構造物を対象とした高周波電磁誘導加熱・電磁波誘電加熱の利用による省エネ・低環境負荷解体工法の開発

鉄筋コンクリート構造物を容易に切断するためには、鉄筋を切断することが必要である。しかし、かぶりコンクリートが邪魔をするために、解体を困難にしている。

そこで、鉄筋コンクリート構造物の内部鉄筋を外部から誘導加熱することで急速に熱膨張を起こさせ、ひび割れを生じさせることで、かぶりコンクリートを剥離させる。

これによって、内部鉄筋の切断が容易にできるようにする。

本研究では、このために試験体を作成し、その技術開発を行った。

下図1, 2に概要を示すとともに、誘導加熱前後の鉄筋の付着強度を図3のように得た結果以下の結論を得た。

(1) 誘導加熱方式を用いて望む部位の鉄筋を一定距離と出力で局部加熱させることが可能である。

(2) 誘導加熱を分解性メカニズムとして用いた場合、鉄筋コンクリート部材の脆弱化特性において出力6kWで鉄筋20mm以下・被覆厚さ30mm以下の部材の場合は鉄筋付着強度を30%以上脆弱化させることが可能であった。

(3) 誘導加熱を用いたコンクリート脆弱化において鉄筋の種類及び加熱距離の選定が分解効率の側面で重要であると判断された。

また、本実験の結果として、誘導加熱の出力を高めた場合、既存部材に適用が可能であると考えられる。

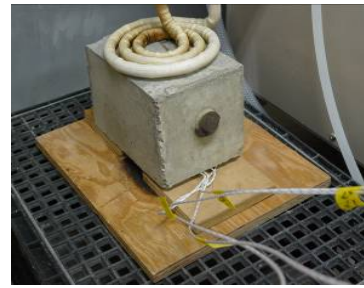


図1 誘導加熱実験概要



図2 誘導加熱後、試験体のひび割れ状態

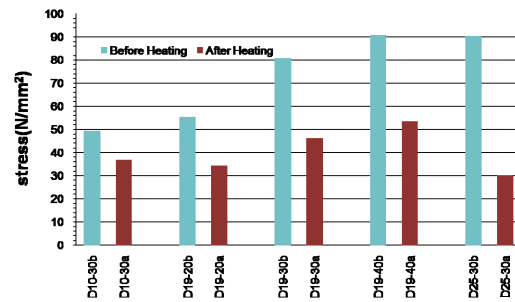


図3 押抜き実験による鉄筋付着強度

(D00-000:D 鉄筋種類-距離 mm, 加熱有無)

(2) CO₂ 排出量および廃棄物発生量を最小化でき無機表面改質コンクリートを用いた完全リサイクルコンクリートの調合とリサイクル技術の開発

無機質系材料を用いた骨材表面改質技術開発することで、省エネルギーで骨材回収性能が高く、かつ供用時のコンクリートの力学特性が向上するコンクリートを開発した。まず、改質骨材の質量増加率およびコンクリートの圧縮強度の評価を行い、無機質結合材料を使った骨材の改質の可能性を確認した。改質骨材とモルタル間を想定した表面改質層の付着力測定のために1面せん断と圧縮せん断試験を行い、セメント系の改質材料の選定を行った。その結果に基づき、改質骨材を製作した後、圧縮強度、改質骨材の表面性質と状態、吸水率、被覆剥離挙動などの特性

を評価し、改質骨材および改質骨材コンクリートの基礎的な力学性能を検証した。マイクロ波による骨材分離のメカニズムを図4に表す。

表1, 表2に基づき、改質骨材を用いたコンクリートと一般骨材コンクリートの空気量測定結果とスランプフローの結果を図5に示す。また、圧縮強度試験の結果を図6に示し、それぞれのコンクリートの破断面を図7に示す。

スランプフローの測定結果、混和剤の量を調整することでワーカビリティの調整が可能であることを確認した。また、強度実験の結果、改質骨材を使うことでコンクリートの強度の飛躍的な向上が確認された。また、図7に示されるように、改質骨材コンクリートは高強度コンクリートのように骨材そのものが割れながら破壊している様子が破断面から確認された。

強度の増加は材齢日数に比例する傾向があり、材令28日の湿潤状態では約18%の強度増加を記録した。また、骨材の状態に対する強度結果では興味深い傾向が観測された。一般コンクリートが表乾状態で高強度を示したに対し、改質コンクリートは湿潤状態で高強度を示した。

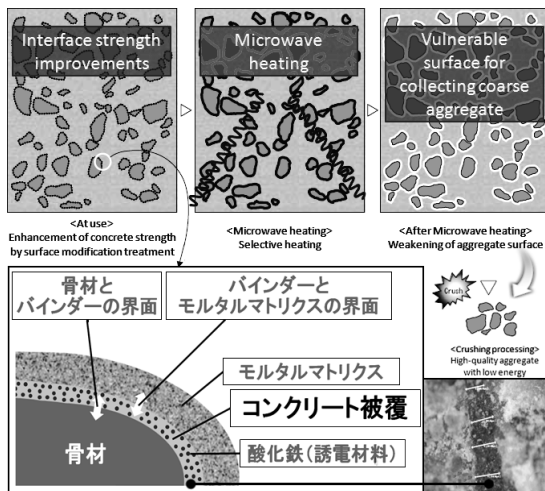


図4 マイクロ波による骨材分離メカニズム

表1 表面被覆材の調合表

W/C (%)	セメント (g)	混和剤 (%)	スランプフロー (cm)	酸化鉄 (g)
30%	230g	C x 1.9%	30cm	230g

表2 コンクリート実験体の調合表

種類		一般骨材	
		湿潤	表乾
W/C	(%)	30	
骨材最大直径	(mm)	20	
空気量	(%)	3.0±1.5	
細骨材率	(%)	41	
構成要素別 質量 (kg/m ³)	W	170	
	C	566.7	
	S	666	
	G	1003.23	973
	混和剤 (SP8HU)	C*0.5%	
種類		改質骨材	
		湿潤	表乾
W/C	(%)	30	
骨材最大直径	(mm)	20	
空気量	(%)	3.0±1.5	
細骨材率	(%)	41	
構成要素別 質量 (kg/m ³)	W	149.5	
	C	504.75	
	S	666	
	G	1109.84	1080
	混和剤 (SP8HU)	C*0.7%	

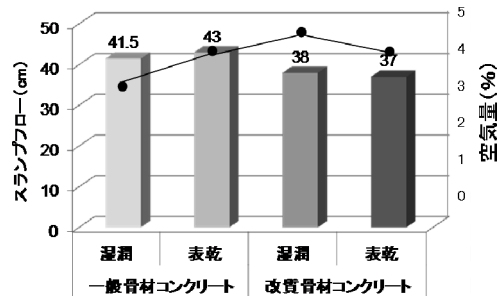


図5 スランプフローと空気量測定結果

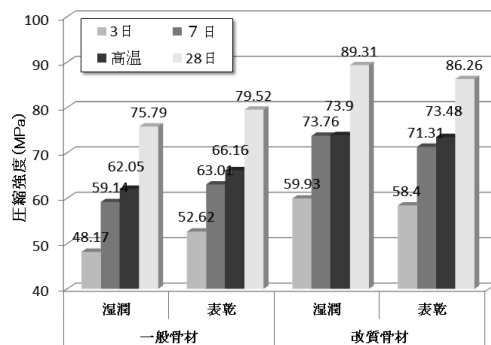
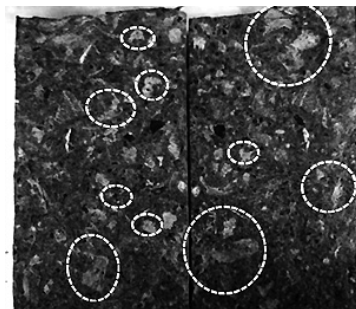
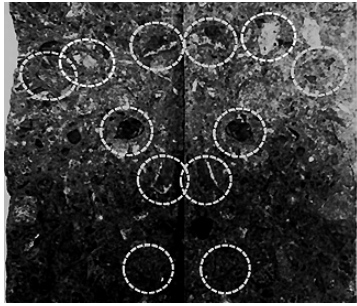


図6 圧縮強度実験の結果グラフ



一般骨材



改質骨材

図7 コンクリートの破断面の比較

(3) 資源循環シミュレータを用いた既存コンクリート構造物、新規コンクリート構造物の建築・解体を考慮した CO₂ およびリサイクルシナリオ導入による環境負荷削減効果の検証

本研究では、環境負荷シミュレーションツール ecoMA を開発し、国の現行法規制・産業誘導施策、産業業態・商習慣の地域特性、地理的条件、建設構造物の寿命を考慮した廃コンクリートの排出、生産物の時間的変動（過去・現在・未来）、生産活動における投入資源・エネルギー、排出物について建設産業に関連する各企業、団体にヒアリング、アンケートを行い、これらの情報を、行政、施主、ゼネコン、生産工場、中間処理場、最終処分場といった関係者を想定した個体エージェントに実装した。

その上で、(1) (2) で検討したセメント・コンクリート系建築材料の次世代技術と既存技術を含め、広域に流通した場合の CO₂ 排出量の変化を検討した。図 8 Case1~Case3 はこのうち、関東一都三県に対して、既存技術である、生コンクリートの製造を、品質が高まるかわりに、製造時 CO₂ が増える PCa 製品に置換し、さらに CO₂ を可能な限り削減するために、セメントをフライアッシュで置換した場合の CO₂ 排出量を比較したものである。

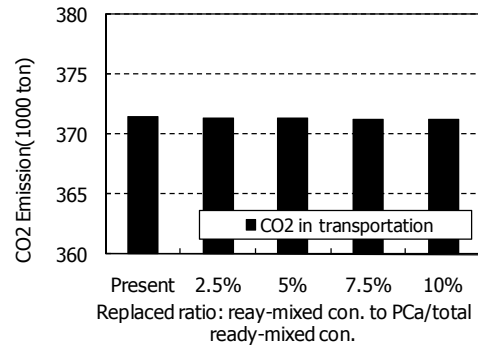
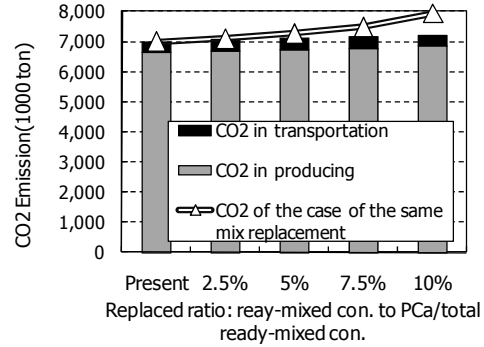
その結果、フライアッシュへの置換率を高めることで、製造時のエネルギーがより多く消費される場合であっても、CO₂ 削減が可能である事がわかったと同時に、10~15%程度の僅かな置換率であればあまり効果がないことが明らかになった。

本研究を通じて、セメント・コンクリート産業における環境政策は、小さく導入すると効果がないものが多く、実際にどの程度実行すればよいのかということの効果とともに明示的に提案することができた。

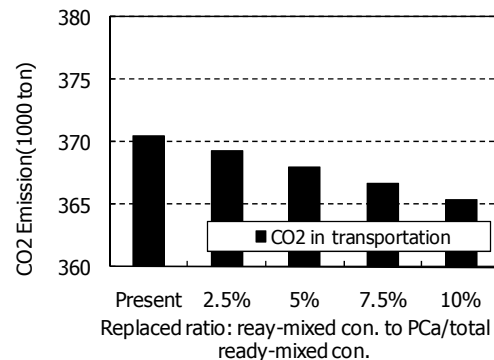
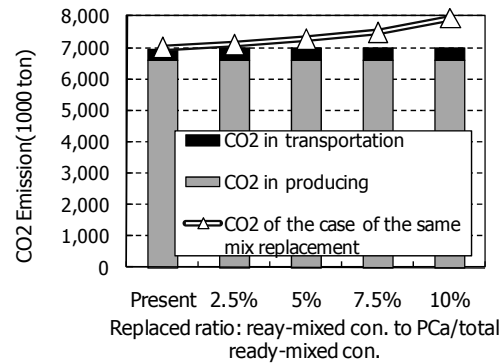
(4) まとめ

(1) ~ (3) の研究業績を通じて、既存コンクリート構造物の省エネ高効率解体技術、

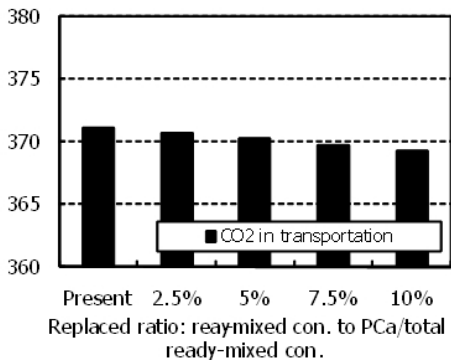
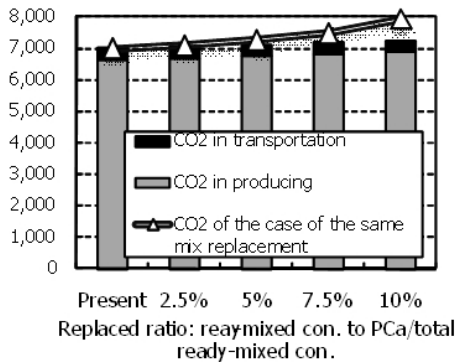
新規コンクリート構造物の完全リサイクル省エネ循環技術、これらの既存技術、新技術の導入効果を実証といった、ステップを通じて、いくつかのシナリオについてその効果を提案し、コンクリート産業に対する環境評価、環境技術の統合を達成した。



Case 1 : RMC factories supplying PCa



Case 2 : Case1+PCa with FBS replacing ratio 45%



Case 3 : Case1+Pca with fly ash
replacing ration 15%

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Wonjun Park, Takafumi Noguchi, Hironori Nagai: INFLUENCE OF ALUMINUM IMPURITY ON RECYCLED CONCRETE AND INSPECTION METHOD, International Conference on Sustainable Urbanization, 2010
- ② 朴元俊, 野口貴文, 長井宏憲: 再生コンクリートの品質に対するアルミニウム不純物の影響および検査方法, 日本建築学会構造系論文集, No. 656, 2010, pp. 1765-1772

[学会発表] (計5件)

- ① 林昇俊, 金翰湜, 野口貴文, 長井宏憲: 副産細粒を用いた高強度コンクリートの収縮低減特性に関する研究, (その1 モデル副産細粒の水分放出性状に関する実験), 日本建築学会, 2010. 09. 09
- ② 山岸英輝, 山田耕平, 三谷卓摩, 北垣亮

馬、長井宏憲、野口貴文: 無機系建材の成分分析建材完全リサイクル確立のための基礎的研究, 日本 LCA 学会, 2011. 03. 03

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計◇件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://bme.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野口 貴文 (NOGUCHI TAKAFUMI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号: 80208321

(2) 研究分担者

兼松 学 (KANEMATSU MANABU)

東京理科大学・理工学部・准教授

研究者番号: 00362976