

## 脆弱部除去による再生細骨材の品質改善法

## 学位論文内容の要旨

コンクリート構造物の解体により発生するコンクリート廃棄物は年間 3,500 万トンに達している。コンクリート廃棄物は、建設リサイクル法において再資源化を推進すべき廃棄物の一つとされ、現在、約 94% が道路用砕石や埋め戻し材としてリサイクルされている。しかし、近年では再生砕石の需要量が減少しており、余剰する可能性が指摘されている。このため、国内では道路用砕石や埋め戻し材とは別の利用法の道筋を付けておく必要があるとの認識が高まり、コンクリート廃棄物から骨材を回収してコンクリート用再生骨材として使用する利用法が推進されるようになった。

2005 年に付着モルタルを限りなく除去したコンクリート再生骨材 H の JIS 規格が制定され、限定的ではあるが再生粗骨材が構造用コンクリートに用いられてきている。しかし、クラス H のような、いわゆる“高品質”と言われる再生骨材は、製造コストが増加し、また副産微粉の利用や処分にも費用がかかる。一方、破碎処理及び粒度調整だけを施したいわゆる“低品質”再生骨材は、上記の欠点は有さないものの、その使用は高い性能を要求されない構造物に限定されている。

著者らは、このような現状を鑑みて、製造コストや発生する副産微粉を減少させ、かつ普通骨材コンクリートと同等の品質が得られる再生骨材の製造法の確立を目指している。注目したのは、再生骨材中には空隙、クラック、気泡等の脆弱な欠陥部が散在していることである。これらの欠陥部はコンクリート廃棄物の最初の処理過程で施している破碎時に生じたと考えられる。本論文は、この再生骨材中の主に旧ペースト部の中にあるクラック、空隙部、気泡等の脆弱な欠陥部を選択的に除去する方法 (Defect Removal method、以下 DR 法と呼ぶ) により、上記の再生骨材の製造方法を構築することを目指したものである。DR 法と従来の高品質処理法の違いは、前者が脆弱部を選択的に除去するのに対し、後者は選択性がないため健全なペースト部まで除去することである。その結果、DR 法ではペーストの残余付着量は前者のほうがかなり多く副産される微粉量を最小限にとどめることができ、さらに消費エネルギーの減少という二次的効果も期待できる。

本研究は、a) 欠陥部を選択的に分離する再生細骨材の製造法について研究し、b) 再生細骨材モルタルの性状を評価して欠陥部を選択的に除去する製造法が有効であることを検証した。また、再生細骨材はコンクリート用骨材として用いて普及することが望ましいの

で、c)再生細骨材コンクリートを製造及び評価して、DR法が有効であることを確認するとともに再生細骨材のコンクリートへの適用を検討した。

第1章は緒言であり、本研究の背景及び既往研究について概観し、本研究の目的について述べるとともに、本論文の構成を述べた。

第2章では、“破碎”及び“磨砕”作用の異なる3種類の破碎機を用い、試製した再生細骨材のキャラクターを評価して、粉碎機の作用と再生細骨材の品質の関係を調べた。また、磨砕作用により、骨材中の欠陥率を低減できることを確認した。

第3章では再生細骨材を用いたモルタルの流動性及び力学特性を実験で評価し、再生細骨材のキャラクターと再生細骨材モルタルとの間の関係を多変量解析により調べ、流動性、力学特性にそれぞれ影響する骨材のキャラクターを特定した。また、再生モルタル中の骨材及び界面の破壊形態を観察し、再生骨材のキャラクターとの関連を考察した。

第4章では、別のコンクリート廃棄物から新たに再生細骨材を試製して、DR法により欠陥部が除去できること、及び再生細骨材モルタルの性状が改善されることを確認し、本製造理論の再現性を検証した。また、再生細骨材がモルタルの耐久性へ及びばす影響を考慮して、再生細骨材を用いるとことで低下すると報告されている塩化物イオン浸透性を評価し、再生モルタルの微細組織との関連を考察した。さらに、再生細骨材の製造に伴う二酸化炭素の発生量と、再生細骨材モルタルの品質改善の効果の関係より、環境負荷について考察を加えた。

第5章では、本研究で示した再生細骨材モルタルの結果をもとに、モルタルに利用するための再生細骨材の品質規案を示した。

第6章では、再生細骨材の天然骨材への置換率及び水セメント比を実験パラメータに加えて再生細骨材コンクリートを製造及び評価して、DR法により製造した再生細骨材がコンクリート用骨材としても有効であることを確認した。

第7章は総括であり、本研究で得られた成果を総括し、DR法による再生細骨材の製造及びその利用について述べるとともに、今後の課題について示した。

以上のように、本研究では再生細骨材の微細組織を基礎的に調べ、磨砕作用を活かして欠陥部を選択的に除去する再生骨材の製造法のコンセプトを示した。このコンセプトは特定の粉碎機に限定されるものではなく、既に実用が始まっている多くのタイプの骨材製造機に対しても適用できるものである。本研究で示した骨材中の脆弱な欠陥部だけを選択的に分離するDR法は、再生骨材の製造コストを削減し、かつ微粉発生量を抑制できるため、我が国における再生骨材の普及に対し多に貢献できる有益な技術であると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主査	教授	名和豊春
副査	教授	佐藤努
副査	教授	杉山隆文
副査	准教授	胡桃澤清文

学位論文題名

## 脆弱部除去による再生細骨材の品質改善法

廃コンクリート塊のリサイクルの研究開発は古く 1973 年頃から始まり、現在再利用率は 96% 以上に達しているが、その用途のほとんどは舗装用路盤材や埋戻し・裏込め材である。しかし、2020 年度には廃コンクリート塊は現在の約 1.5 倍の 5,000 万 t という膨大な量に達すると推定されており、一方で、コンクリート再生路盤材の需要にも道路整備の伸びが鈍化し始めたため、一部地域においては廃コンクリート塊が余剰する可能性が指摘されている。このため、国内では道路用砕石や埋め戻し材とは別の利用法の道筋を付けておく必要があるとの認識が高まり、コンクリート廃棄物から骨材を回収してコンクリート用再生骨材として使用する利用法が推進されるようになった。このため、再生コンクリートの利用促進を図るための JIS 規格化が進められた。すでに 2005 年には付着モルタルを限りなく除去し、普通骨材と同等な品質を有する再生骨材 H の JIS 規格が制定され限定的ではあるが再生粗骨材が構造用コンクリートに用いられてきている。続いて 2006, 2007 年には簡易コンクリート用の再生骨材 L および再生骨材 H と L の中間の品質を有し構造用コンクリートに使用できる再生骨材 M の JIS 規格が制定された。しかしながら、現在までの再生骨材の研究の中心をなしてきたのは 5mm 以上の粗骨材であり、コンクリート用骨材の半数を占める細骨材の再生化の研究や実用化はあまり進展していない。真の意味で再生骨材コンクリートの技術を完成するためには、再生細骨材の実用化技術の確立が求められている。

理想的にはすべてのペースト分を細骨材表面から除去すれば、バージン骨材と遜色のないものが製造できるが、コスト、製造工程で発生する微粉の処理、消費エネルギーなど実用化への障害が生じる。本研究は、このような現状を鑑みて、製造コストや発生する副産微粉を減少させ、かつ普通骨材コンクリートと同等の品質が得られる再生骨材の製造法の確立を目指したものである。主たる成果は以下に列挙される。

第一の成果として、再生骨材を用いた再生コンクリートの性能低下は再生骨材中の欠陥部の存在率に依存すると考え、欠陥部を選択的に分離できる再生細骨材の製造法について検討を行い Defect Removal method(以下 DR 法と呼ぶ) という方法を提案したことが挙げられる。DR 法は選択性があるため健全なペースト部まで除去されず細骨材周りのペーストの残余付着量が増すため、副産される微粉量を最小限にとどめることができ、さらに消費エネルギーを削減できるという二次的効果ももたらす。このように、廃コンクリート塊から細骨材をリサイクルする実用的な手法を確立した

点は高く評価される。

第二点の成果は、上記の DR 法の製造方法を確立するために、再生細骨材のキャラクタリゼーションに関して精緻な手法を提案し、これを用いて粉砕機の粉砕機構の相違や粉砕回数が再生細骨材の品質に及ぼす影響を定量的に評価し、摩砕作用により骨材中の欠陥部を選択的に除去できることを明らかにしている点である。具体的には、作用の異なる 3 種類の粉砕機で各種再生細骨材を試製し、再生細骨材の品質を示す各種の特性値と再生モルタルの流動性および強度特性の間の関係を多変量解析で評価している。その結果、従来の再生骨材の品質指標として提案されていた吸水率や絶乾密度はあまり高い相関を示さず、流動性は再生細骨材の実積率が最も影響し、強度では骨材中欠陥率や表面平滑度と高い負の相関があることを明らかにし、欠陥部の除去を優先する DR 法による再生細骨材の製造理論が妥当であることを実験データに基づき定量的に示している。特に、磨砕処理を繰り返すと、再生骨材の絶乾密度や吸水率の値からは高品質な再生骨材 H の規格内にできるが、モルタル強度の改善には限界があることを示し、過度の処理は品質改善には貢献しないことを明瞭に示したことは、再生骨材の処理と性能改善に対する基本概念を示しており秀逸である。

第三の成果は、本研究で示した再生細骨材の品質やモルタル・コンクリートの物性への影響を検討して、再生細骨材の品質基準および環境を考慮した再生モルタル・コンクリートの材料設計の試案を提示し、再生細骨材の実用化に対して大いなる貢献をしている点である。具体的には、再生細骨材の規定すべき品質項目を選定し、推奨する品質基準を提案するとともに、再生細骨材の製造に伴う二酸化炭素の発生量と再生細骨材モルタルの品質改善の効果の関係より、環境負荷係数という新たな指標を創出し環境負荷低減を考慮した製造設計の考え方を示している。また、限られた範囲ではあるが、天然骨材への置換率及び水セメント比を実験パラメータに加えて再生細骨材を使用した再生コンクリートの検討も行い、DR 法により製造した再生細骨材がコンクリート用骨材としても有効であることを明らかにしており、今後の展開が期待される。

これを要するに、著者は廃コンクリート塊の再生細骨材への有効利用を促進するため、再生細骨材のキャラクタリゼーション手法を開発するとともに、その手法を用いて磨砕作用による選択的な欠陥部除去を可能とする再生細骨材の製造法を構築したものであり、資源工学およびコンクリート工学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。