

令和元年5月9日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06494

研究課題名(和文)地盤材料としての破碎コンクリートの高度化利用方法の提案

研究課題名(英文) Proposal of utilization method of crushed concrete aggregate as a recycled geomaterial

研究代表者

平川 大貴 (Hirakawa, Daiki)

中央大学・理工学部・准教授

研究者番号：40372990

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本課題は、排出量が最も多い建設副産物である破碎コンクリート(コンクリート塊)を地盤材料として活用する方法を検討・提案するものである。破碎コンクリートを盛土材として用いるためには、六価クロムCr(VI)の溶出抑制と力学的なばらつきへの対応が求められる。本課題ではこれら2つの問題の原因を科学的および地盤工学的に調べ、その対応方法を検討した。この結果、再生方法は現状での粉碎～粒度調整のみで、高炉セメントB種を混合することで上記の二つの問題を解決できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

成果の学術的意義としては、1)破碎コンクリートの再生化は粉碎～粒度調整という従来の方法が妥当であること、2)固化作用のある微粉末の混合による封じ込め対策は破碎コンクリートからのCr(VI)の溶出抑制として有効であり、同時に強度変形特性の改善も実現できること、3)混合する固化剤としては、地盤改良で一般的な普通ポルトランドセメントよりも高炉セメントの方が効果が高いこと、に関する知見を得たことが挙げられる。また、社会的意義としては、盛土材として活用できる用途を得たことにある。これは、今後予想される破碎コンクリートの排出量の増加に対して、リサイクル率の保持につながる。

研究成果の概要(英文)：Crushed concrete aggregate is one of major construction byproducts. The purpose of this research project is to examine and propose a utilization method of crushed concrete aggregate as a recycled geomaterial as a fill or backfill material for typical soil structures such as embankment. For this purpose, it is necessary to control the elution of hexavalent chromium Cr(VI) and maintain stable mechanical properties. This research project investigated the causes of these two problems and examined treatment method for them. As a result of examination, it was confirmed that the above two problems can be solved by mixing solidified material such as blast-furnace slag cement type B into Crushed concrete aggregate.

研究分野：地盤工学

キーワード：破碎コンクリート リサイクル材料 土構造物 物理化学的特性 六価クロム 強度変形特性 封じ込め 固化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我が国は循環型経済社会システムの構築を目指しており、建設業界においても建設副産物の利用に関する社会的な要求が高まっている。本課題で対象とする破砕コンクリート(コンクリート塊)は建設副産物の中で最も排出量が多いもので、「資源としての可能性があるもの」と位置付けられている。破砕コンクリートの再資源率は今日までは 98%前後と高い比率で推移してきたが、その用途は路盤材としての利用が主体的で、盛土材としての利用は限定的な状態にある。今後、社会共通資本等の高度経済成長長期に構築された膨大なコンクリート構造物の更新時期を迎えるにあたって破砕コンクリートの排出量はさらに増加していくと予想され、新たな用途を確立しなければ現状と同程度の高い再資源率を保持することは困難になる恐れがある。

破砕コンクリート粒子はそれ自体がペーストと骨材で構成された複合構造体であり、ペーストには毒性のある Cr(VI)も含有している。したがって、破砕コンクリートを盛土材に用いるためには、粒度等の物理的特性、締固め後の乾燥密度～強度変形特性の相関性の把握だけでなく、化学的特性や環境性能を含めて総合的に考慮する必要がある。地盤工学分野においてこのような系統的な検討は少なく、地盤材料としての破砕コンクリートの活用方法を検討するうえで必要な基礎情報が不足していた。

### 2. 研究の目的

本課題の目的は、材料科学の視点に基づいて「地盤材料としての破砕コンクリートの物理化学的特性、力学特性および環境性能」を把握し、1)盛土材としての適否の判定、2)盛土材として用いるための Cr(VI)の溶出抑制方法及力学物性の安定化の方法、3)工場製品、構造部材としての材料の品質保持の観点における現状での再生化方法の妥当性、を検討することにある。このような基礎的知見を蓄積することで、破砕コンクリートを地盤材料として広く用いるための検討を行う目途を得る。

### 3. 研究の方法

市販の破砕コンクリートを用い、状態(粒子構造や粒子形状、スレーキング特性、取り得る含水比の幅など)～力学的特性(締固め特性と強度変形特性)～化学的特性(未水和のセメント粒子の残存の有無、残存している場合は養生特性)～環境性能(Cr(VI)の溶出特性と溶出量)を種々の土質試験や科学分析を実施して調べた。具体的な試験法としては、土粒子の密度試験、土の粒度試験、突固めによる土の締固め試験、土の三軸圧縮試験、蛍光 X 線分析および粉末 X 線回折分析、走査型電子顕微鏡による粒子観察、EPMA による破砕コンクリート硬化体の状態把握、Cr(VI)の溶出試験等である。本課題を遂行するにあたり、求められた状態～力学的特性～化学的特性～環境性能の一般性を得るために、複数の破砕コンクリートに対して実施した。

得られた破砕コンクリートの工学的特性を踏まえ、上記 1)～3)の項目について検討を行った。

### 4. 研究成果

(1)盛土材としての適否 (雑誌論文, 学会発表)

2 種類の破砕コンクリートを用いて物理化学的性質、環境性能および強度変形特性を系統的に検討するとともに、力学の性質に関しては同粒度の粒度調整砕石と比較して構造部材としての活用の適否を検討した。得られた重要な知見を以下にまとめる；

破砕コンクリート粒子に付着しているセメント硬化体に起因して a)Cr(VI)の溶出の可能性、b)再固化の有無、c)締固め後においても乾燥密度値が低い、という固有の特性が出てくる。これらは破砕コンクリートに共通した特性である。また、c)の特性から破砕コンクリートは軽量土の一面を持つと言える。

破砕コンクリートにはスレーキング特性はないものの、締固めに際しては少なからず粒度が変わる。これは破砕コンクリート粒子に付着しているセメント硬化体の粉砕が原因であるが、礫分が砂分に変化する程度で、細粒分含有率が大きく増えるような顕著な粒子破砕特性ではない。

破砕コンクリートの締固め曲線は、自然由来の同粒度の地盤材料と比べて上に凸型の特性を示しにくい傾向がある。このような材料であっても、締固め曲線を基にしつつ粒子の保水性に注目して施工管理値(含水比、乾燥密度)を設定すれば、地盤内での含水比の分布の影響を受けず均質な締固めができると考えられる。

破砕コンクリートからは少なからず Cr(VI)の溶出がある。Cr(VI)の含有量は微量であるが、Cr(VI)は水溶性であるため溶出しやすい。溶出濃度は通水量に強く依存し、含有量は微量であっても一時的に高濃度の溶出が生じる場合がある。

セメント硬化体内に未水和セメント粒子

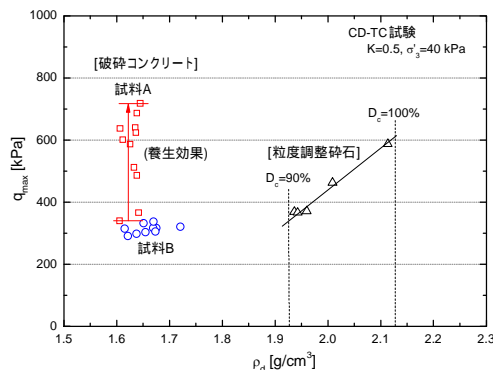


図-1 乾燥密度 - 最大偏差応力の関係；  
粒度調整砕石(安山岩砕石)との比較

が残存していない状態でも、締め固めた破碎コンクリートは自然由来の粒度調整砕石と同程度のせん断強さを有する。未水和セメント粒子が残存している場合は更に高いせん断強度を有する(図-1)。すなわち、未水和セメント粒子が残存している場合は破碎コンクリートは固化土の特性も有している。

上記より、破碎コンクリートにおいても現状と同様な施工管理の方法を用いることができ、力学的にも同粒度の天然砕石と大差はないことから、Cr(VI)の溶出抑制への対応が求められるものの、基本的には破碎コンクリートは盛土材として用いることが出来ると判断される。

## (2) 盛土材として用いるための Cr(VI)の溶出抑制方法と力学的物性の安定化の方法 (学会発表)

破碎コンクリートからのCr(VI)の溶出抑制、および力学的物性の安定化を同時に満たす方法として、固化作用のある微粉末の混合の効果を検討した。これは、微粉末の硬化物で被膜することでCr(VI)を破碎コンクリート粒子内に封じ込めつつ、被膜の固化作用によって破碎コンクリート粒子同士を接着させることでマスとしての破碎コンクリートのせん断強度を向上させることを期待している。微粉末には普通ポルトランドセメント(N)と高炉セメントB種(BB)、および酸化マグネシウムと酸化カルシウムを主材とした重金属類の不溶化材(Mg/Ca 不溶化材)を用い、その効果を比較した。

この結果、Cr(VI)の溶出抑制については検討した3材料いずれにおいても効果があった。定量的にはBB、Mg/Ca 不溶化材、Nの順番で効果が高く、特にBBとMg/Ca 不溶化材で高い溶出抑制効果が確認された(図-2)。一方、固化材/不溶化材の混合による破碎コンクリートの強度の改善効果はBBとNで顕著であった(図-3)。これらの結果を総合すると、BBが最も効果的であることが明らかとなった。これは、BBの硬化物によって破碎コンクリート粒子を囲い込むことによる物理的封じ込めの効果に加え、含有するスラグ粉末による還元作用が複合的に発揮された結果であると考えられる。

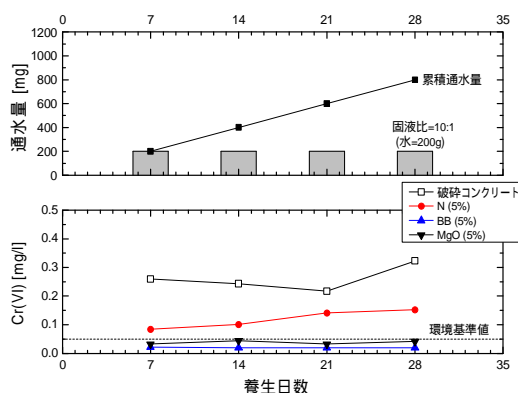


図-2 Cr(VI)の溶出抑制効果の比較

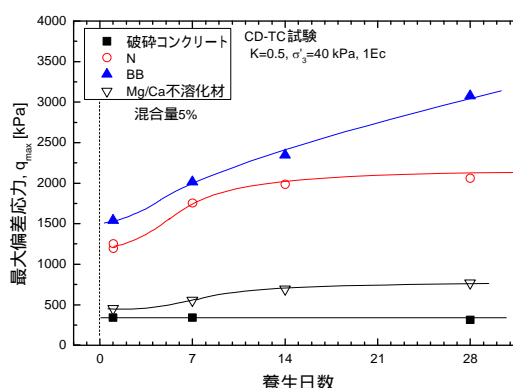


図-3 強度の改善効果の比較

## (3) 工場製品 構造部材としての材料の品質保持の観点における現状での再生化方法の妥当性 (学会発表)

破碎コンクリートは、原コンクリートを粉砕して粒度調整を行うのが一般的な再生化の方法である。一方、コンクリート工学分野では粉砕後にセメント硬化物の脆弱部を除去することによる再生骨材の品質改善の検討がなされている。このような検討は地盤工学分野ではなされていないため、本課題においてもセメント硬化物脆弱部の除去の有無によるCr(VI)溶出量と強度変形特性の差異を調べて破碎コンクリートの再生化方法について考察した。

市販の破碎コンクリートの一部を、粒子同士を擦り合せてセメント硬化物脆弱部を除去した材料を作成した。セメント硬化物脆弱部を除去の有無の違いはあるものの、粒度および原コンクリートが同じ条件で比較を行った。セメント硬化物脆弱部を除去していない従来の破碎コンクリートは角張った粒子形状をしているのに対し、脆弱部を除去は角が取れて丸い粒子形状となる。

検討の結果、破碎コンクリート粒子に付着するセメント硬化物を取り除くことでCr(VI)の溶出量は少なからず抑制できるものの、強度変形特性には大差はなかった。破碎コンクリートに含まれるセメント硬化物を完全に取り除くことは現実的に困難であり、さらに再生化に要する経済的負担を考慮すると、再生地盤材料としての用途では従来の粉砕・粒度調整の再生化方法が妥当であると考えられる。Cr(VI)の溶出対策および力学的物性の安定化に対しては、使用する破碎コンクリートに応じて個別の対応を行う必要があると考えられる。この方法としては、上記(2)に示したBBの混合がある。

平川大貴, 荒木裕行, 再生地盤材料としての破砕コンクリートの工学的性質, 土木学会論文集 C(地盤工学), Vol. 74, No. 2, 2018, pp. 192-201

〔学会発表〕(計 5 件)

三橋斎, 平川大貴, 破砕コンクリートの再利用におけるトレーサビリティの必要性, 土木学会関東支部技術研究発表会, 2017, pp. 47-48

三橋斎, 平川大貴, 破砕コンクリートの締固め特性とせん断強さ, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017, pp. 443-444

平川大貴, 荒木裕行, 大橋貴志, Mg/Ca 不溶化材混合による破砕コンクリートの安定化, 第 53 回地盤工学研究発表会, 2018, pp. 531-532

平川大貴, 荒木裕行, 大橋貴志, 地盤材料としての破砕コンクリートの再生化方法に関する考察, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018, pp. 1005-1006

平川大貴, 荒木裕行, 大橋貴志, 固化材/不溶化材の混合による破砕コンクリートの工学的特性の改善, 土木学会第 74 回年次学術講演会, 2019(投稿中)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 荒木裕行

ローマ字氏名: Araki Hiroyuki

所属研究機関名: 中央大学

部局名: 理工学部

職名: 助教

研究者番号 (8 桁): 30780837

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。