

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月12日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26420435

研究課題名(和文)クリンカー骨材コンクリートの自己治癒性に関する研究

研究課題名(英文) Self healing property of mortar and concrete using aggregate of clinker include by-products

研究代表者

丸岡 正知 (Masanori, Maruoka)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・准教授

研究者番号：50323316

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：セメント製造時の中間生成物であるクリンカーをモルタルおよびコンクリートの骨材として利用することで、天然骨材の枯渇に対する対応策およびモルタルおよびコンクリートの品質向上、適用性の確認、用途探査について研究した。クリンカー細骨材を用いると、特に中性化および乾燥収縮に対する抵抗性が向上すること、未水和状態で存在するクリンカー骨材の周辺に微細なひび割れが生じた場合、侵入した水分による水和が進み良好な自己治癒性を示すことがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリート用骨材は再生利用が進んでいるが、天然原料を主に利用しており、採取を続けるには問題がある。また、廃棄物処理を適切に進めるために多量にセメント原料として循環利用している。資源循環を維持・継続するためには現状の仕組みを維持する必要がある。しかしセメント需要は減少傾向にあるのでセメント以外のクリンカーの用途開発が必要となる。本研究からクリンカー骨材を含むコンクリートは、耐久生および自己治癒性に富むことから、長期間使用される公共性の高い土木構造物に適用した場合に大規模なメンテナンスを必要としない可能性が示され、ヒトの社会活動を持続する為に寄与する可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：We researched concerning the quality improvement of the mortar and the concrete which include the clinker aggregate, the aptitude to the mortar and concrete of the clinker aggregate, and the use of the mortar and concrete which includes the clinker aggregate.

We discovered properties of the mortar and concrete including the clinker aggregate are shown as follows;

the resistance for carbonation and dry shrinkage is higher than without the clinker aggregate, shows high self healing property when the minute crack occurs near the particle of clinker aggregate, and the water soaks from the opening of crack, it causes to be hydrated with the clinker and the water.

研究分野：土木工学，セメント・コンクリート

キーワード：クリンカー 廃棄物 耐久性 自己治癒性

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

#### 1. 研究開始当初の背景

セメント産業は、種々の廃棄物を積極的に資源化し、資源循環への寄与度は高いが、セメントクリンカーを継続的に生産する必要がある。しかし、社会基盤整備におけるセメント需要は減少傾向にあり、最終製品のセメントにする必要のないクリンカーが増大する可能性がある。

クリンカーは原料を高温で焼成・造粒したものであり、比較的堅固である。また、水分との接触によりセメントと同様の水和反応が期待できる。これらの特性を生かし、自己治癒性を有するコンクリート用骨材(クリンカー細骨材, CLS)とすることを考案した。

#### 2. 研究の目的

本研究は、クリンカーの水和反応性を活用し、コンクリート構造物の長期供用中に生じる種々のひび割れを自己治癒するコンクリートに関するものである。この自己治癒性能について、クリンカー骨材の混合方法やコンクリートの配合条件、フレッシュおよび硬化性状、生じるひび割れに対する治癒の程度などに関する関係を明確にし、自己治癒性の定量的評価を目指す。

また、当初は普通セメント用クリンカーを元にした細骨材(NCL)のみであったが、セメント需要と資源循環のバランスを考慮すると、従来より原料として使用する廃棄物量の多いクリンカーの製造も検討する必要がある。よって、この方法で製造したビーライト・ゲーレナイト系クリンカーの細骨材(GCL)についてもNCLと同様に検討することとした。

#### 3. 研究の方法

CLS使用モルタル・コンクリートの配合条件とフレッシュ性状および硬化性状に及ぼす影響に関する検討: 予備試験の結果から、細骨材として利用可能な寸法・粒度に破碎したクリンカーは、天然骨材の砕砂・砕石と同様に、粒子が角張るなど、形状がいびつとなりやすい。これがコンクリート骨材として利用した場合のフレッシュ性状に及ぼす影響について、作業性やフレッシュ性状の経時変化などを中心に検討する。

また、硬化体のひび割れ発生状況は、骨材とペーストの強度の大小関係にも依存すると考えられる。このため、水セメント比が硬化体のひび割れ状況や自己治癒性への影響を検討し、自己治癒性が向上する条件を見いだす。

自己治癒性能の定量的評価方法の検討: 自己治癒性の定量的評価方法として提案している、模擬ひび割れ供試体による評価について、現状では供試体個々の透水試験結果のばらつきが大きく改善を要する。主原因は割裂による損傷は本検討において損傷の程度が大きすぎることが考えられるため、損傷の程度をやや低くすることで、数値的に明確に自己治癒の進行の程度を比較・評価することが可能な試験方法について検討する。

#### 4. 研究成果

フレッシュ性状: 普通細骨材に対するCLS置換割合が大きくなると流動性が低下し、所定の流動性を得るために必要な混和剤添加率は大きくなる。また、ブリーディングが増加した。

硬化性状: 普通細骨材に対するCLS置換割合が大きくなると圧縮強度は増加する傾向があった。また、GCLを使用すると、高温履歴を受けると強度発現性は大幅に向上した。

耐久性: 普通細骨材のみに対し、CLSで置換すると乾燥収縮ひずみは小さくなるが、モルタルとコンクリートで傾向が異なった。促進中性化試験では、含有するCLSによりアルカリ度が高くなるため、CLSの割合が大きくなると中性化速度係数は大幅に小さくなった。凍結融解抵抗性においてはGCLを使用しても無置換と同様に十分な耐凍害性を示した。

自己治癒性: 硬化体を割裂して0.3mmの模擬ひび割れを形成する方法では、極めて低い水圧を

加えた場合でも完全に漏水が止まる程の自己治癒性能を示さず、13 週の修復期間を経ると初期の漏水量に対して最大で 90%程度までに抑制可能であった。また、GCL を使用すると、高温履歴を受けると、高置換率では漏水停止に至る程度までの自己治癒性を発現することがわかった。凍結融解作用により一次共鳴振動数が測定出来ない程度の内部損傷を与えた供試体を水中浸漬にて修復養生を行うと、全量を NCL もしくは GCL で置換した場合、一次共鳴振動数も損傷前のレベルまで回復し、さらに圧縮強度も損傷前と同程度まで回復することがわかった。従って自己治癒性の評価方法としては、本研究の対象を考慮すると、内部損傷の修復程度を数値化して評価する方法が簡易であり、かつ適切な方法ではないかと思われる。

適用可能性について：前述の高温履歴を受けた場合の強度発現性の向上を元に、プレキャスト製品製造への適用性を検討した。縁石ブロック、小型ボックスカルバートや U 型側溝の製造を実製造施設を用いて製造した。製造については概ね問題となることはなく、蒸気養生についても最高温度の設定値が 50 程度と低めであっても十分な強度発現性を示し、各種製品の品質試験においてひび割れ発生荷重や破壊荷重は GCL を 50vol.%置換した配合の方が無置換より高く、品質において問題ないことがわかった。また、ひび割れを導入した製品を屋外暴露し自己治癒性を評価した結果、例えば U 型側溝の内側に水が溜まるようにしておくと、数ヶ月後にはひび割れからの漏水が無くなり自己治癒性を示したことから、プレキャスト製品製造にも適用可能であることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

渡邊郁尋、藤原浩已、丸岡正知、伊藤駿之介、林建佑：THE STUDY ON FUNDAMENTAL PROPERTIES AND SELFHEALING PERFORMANCE OF CONCRETE USING BELITEGEHLENITE CLINKER AS FINE AGGREGATE, Proceedings of the International Conference on Sustainable Materials, Systems and Structures (SMSS2019), pp.255-262, 2019.3. 査読有り

伊藤駿之介、藤原浩已、丸岡正知、林建佑：各種クリンカーを細骨材として用いたコンクリート自己治癒性能評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.55-60, 2019.7.(掲載決定) 査読有り

川戸陸也、藤原浩已、丸岡正知、林建佑：ピーライト・ゲーレナイト系クリンカー骨材を用いたモルタルの各種性状とコンクリートの自己治癒性能に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.87-92, 2018.7. 査読有り

川戸陸也、藤原浩已、丸岡正知、林建佑：ピーライトゲーレナイト系クリンカーを骨材として用いたモルタルおよびコンクリートの基本性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.55-60, 2017.7. 査読有り

根本雅俊、藤原浩已、丸岡正知、小早川真：クリンカー骨材を用いたモルタル及びコンクリートの基本性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.351-356, 2016.7 査読有り

〔学会発表〕(計 2 件)

伊藤駿之介：各種クリンカーを細骨材として用いたコンクリート自己治癒性能評価に関する研究, コンクリート工学年次大会, 2019.7.(発表決定) 査読有り

渡邊郁尋、藤原浩已、丸岡正知、伊藤駿之介、林建佑：THE STUDY ON FUNDAMENTAL PROPERTIES AND SELFHEALING PERFORMANCE OF CONCRETE USING BELITEGEHLENITE CLINKER AS FINE AGGREGATE, Proceedings of the International Conference on Sustainable Materials, Systems and

Structures (SMSS2019), pp.255-262, 2019.3. 査読有り

大和田瑞樹: クリンカー細骨材を使用したコンクリートの自己治癒性能およびプレキャストコンクリートへの適用性, 第46回土木学会関東支部技術研究発表会, 2019.3. 査読無し

川戸陸也: ビーライト・ゲーレナイト系クリンカー骨材を用いたモルタルの各種性状とコンクリートの自己治癒性能に関する研究, コンクリート工学年次大会, 2018.7. 査読有り

伊藤駿之介: クリンカーを細骨材として用いたコンクリートの自己治癒性能, 第45回土木学会関東支部技術研究発表会, 2018.3. 査読無し

川戸陸也: ビーライトゲーレナイト系クリンカーを骨材として用いたモルタルおよびコンクリートの基本性状, コンクリート工学年次大会, 2017.7. 査読有り

高橋洋基: クリンカー細骨材を用いたモルタルの硬化性状に関する実験的研究, 日本コンクリート工学会関東支部栃木地区研究発表会, 2017.3. 査読無し

根本雅俊: クリンカー骨材を用いたモルタル及びコンクリートの基本性状, コンクリート工学年次大会, 2016.7. 査読有り

根本雅俊, クリンカー骨材を用いたモルタルの基本性状, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会, 2016.3. 査読無し

根本雅俊: クリンカー骨材を用いたモルタルの自己治癒性を中心とした硬化性状に関する研究, 土木学会第70回学術講演会, 2015.9. 査読無し

根本雅俊, クリンカー骨材を用いたモルタルの自己治癒性に関する研究, 第42回土木学会関東支部技術研究発表会, 2015.3. 査読無し

丸岡正知, クリンカー細骨材混和モルタルの自己治癒性能に関する研究, 第68回セメント技術大会, 2014.5. 査読無し

#### 〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 人工骨材, およびセメント質硬化体

発明者: 小早川真, 内田俊一郎, 細川佳史, 林健佑, 曾我亮太, 藤原浩己, 丸岡正知

権利者: 太平洋セメント/宇都宮大学

種類: 特許

番号: 特願 2017-029923

出願年: 2017年(平成29年)

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 藤原 浩己

ローマ字氏名: (FUJIWARA, hiromi)

所属研究機関名: 宇都宮大学

部局名: 地域デザイン科学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 30323314

(2)研究協力者

研究協力者氏名：小早川 真，

ローマ字氏名： (KOBAYAKAWA , makoto )，

研究協力者氏名：二戸 信和

ローマ字氏名： (NITO , nobukazu )

研究協力者氏名：根本 雅俊

ローマ字氏名： (NEMOTO , masatoshi )

研究協力者氏名：川戸 陸也

ローマ字氏名： (KAWATO , takaya )

研究協力者氏名：伊藤 駿之介

ローマ字氏名： (NITO , nobukazu )

研究協力者氏名：大和田瑞樹

ローマ字氏名： (OWADA , mizuki )

研究協力者氏名：渡邊郁尋

ローマ字氏名： (WATANABE , fumihiro )

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。