

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 5月31日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510099

研究課題名（和文） 水中パルス放電によるコンクリート骨材再生技術に関する研究

研究課題名（英文） Technology for Recycled Aggregate Production Using Pulsed High Voltage Electric Discharge Underwater

研究代表者

重石 光弘（SHIGEISHI MITSUHIRO）

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：50253761

研究成果の概要（和文）：コンクリート構造物の取壊しで生じる大量がれきの多くはコンクリートが占め、その処分量には限りがある。一方、建替えに必要なコンクリート用の砂利（骨材）も必要で、しかし高品質骨材の大量入手は困難である。本研究は、水中高電圧パルス放電を用いて廃コンクリートから骨材を取り出して再利用する技術を提案し、室内実験によりコンクリート破碎と骨材再生が可能であり、コンクリート廃棄量の70%を減量化できることを示した。

研究成果の概要（英文）：When the concrete structures are demolished, huge amount of waste, that contains much concrete should be disposed. However, the site for reclamation becomes little. To solve this problem, pulsed power technology has been applied to crushing concrete and reclaiming aggregate from waste concrete lump. From the results of laboratory, the principle of crushing concrete and delamination aggregate from concrete mass and treatment of aggregate surface is effective to reproducing high quality aggregate by high voltage pulsed electric discharge into concrete underwater was clarified. Further, the 70% of reducing concrete waste has been estimated by reusing of recycled aggregate.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：コンクリート，解体，再生骨材，リサイクル，パルスパワー，水中放電，プラズマ，衝撃波

1. 研究開始当初の背景

産業廃棄物として廃出される大量の廃コンクリート塊から、骨材の部分を分離回収して再利用するための研究、技術開発、規格化が進められている。しかしながら、国内外の廃コンクリートのリサイクル技術に関する再生骨材としての利用に関する研究・技術開

発動向をみると、その多くは、再生骨材の製造技術については通常の機械的破碎処理をただけの骨材やそれを利用したコンクリートの品質評価を行ったものが多く、その利用用途を示唆し、品質管理上の提案をしたものである。そうした中、コンクリートの破碎によって得られた再生骨材を、品質別に等級化

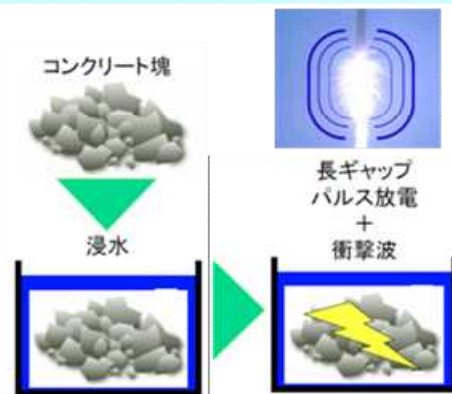
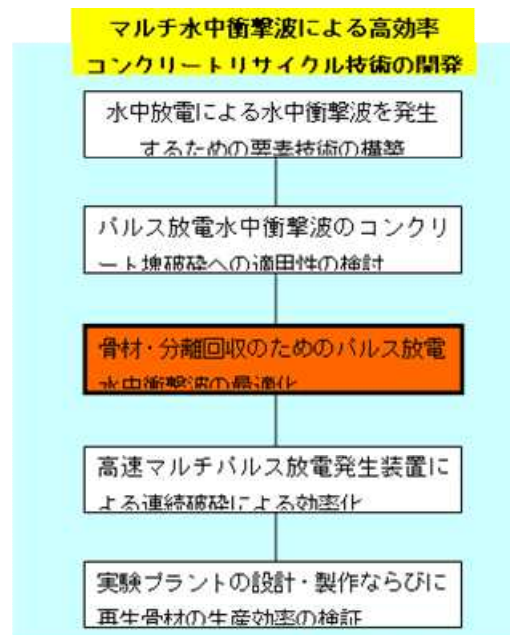
した上で配合設計によって品質を確保しようという手法が一般的である。また、低品質および中品質の骨材に対し、薬液の塗布による表面改質をおこない、再生骨材の品質向上を図る研究も一部進んでいる。国内においては、廃コンクリートから可能な限り品質の良い粗骨材を分離回収するための高度処理技術の研究がおこなわれている。コンクリート用骨材として再生骨材Hの製造技術については、従来の方法では、大量に発生する2次廃棄物となる微粉末、あるいは製造コストを考慮するために巨大な生産拠点が必要で、廃コンクリートと再生済み骨材の運搬コストが環境負荷として大きくのしかかる。そのため、今後は微粉末を可能な限り発生させずに、廃コンクリート塊より良質で骨材の回収分別を行う技術、そしてその一連の再生作業が排出現場でも可能なコンパクトな設備を構築することが望まれるものと考えられる。

2. 研究の目的

そこでこれまで実施してきた「水中放電の衝撃波によるコンクリートからの骨材の回収技術の開発」研究では、コンクリートの再生処理に高電圧の水中放電によるパルスパワーを利用した制御破壊技術によって、本来の品質を損なわないままに骨材を分離、回収できる技術を確認し、廃コンクリートからの経済的な再生骨材のマスマジケーションを実現する事を最終的な目標としている。工学的に有効となるべきプロセスを次の図に示す。

このように、①水中放電による水中衝撃波を発生するための要素技術の構築（原理ならびに再現性の確認）、②パルス放電水中衝撃波のコンクリート塊破砕への適用性の検討（適用可能性の検討）、③骨材・分離回収のためのパルス放電水中衝撃波の最適化（工学的合理性の向上）、④高速マルチパルス放電発生装置による連続破砕による効率化（コストパフォーマンスの向上）および、⑤実験プラントの設計・製作ならびに再生骨材の生産（プロトタイプによる実用化の実証）といった5段階の過程を経る。

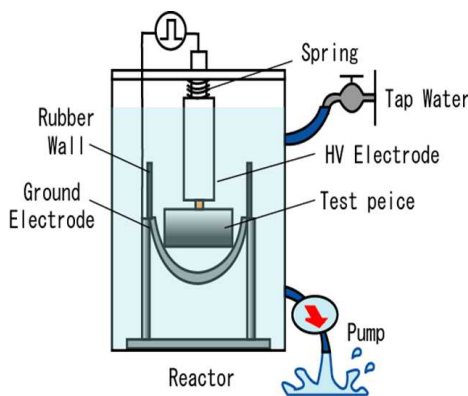
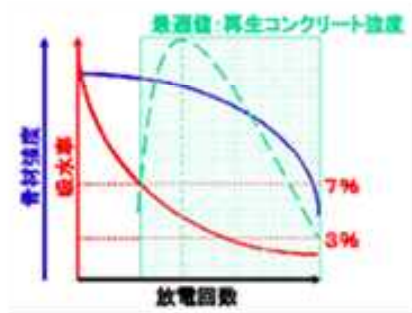
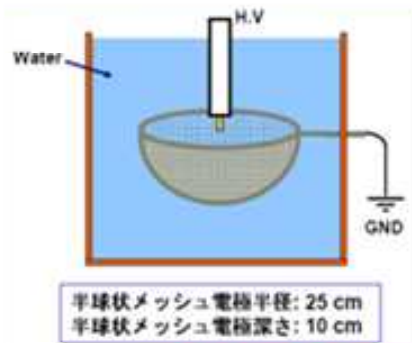
既に基盤技術となる水中放電によって水中衝撃波を励起させる要素技術を活用して、水中衝撃波による衝撃力（パルスパワー）がコンクリートを破砕させることが可能であることと、それにより良質な粗骨材が分離・回収できることが確認されている。したがって本研究は、研究全体構想の中の間点にあたる、骨材・分離回収のためのパルス放電水中衝撃波の最適化（工学的合理性の向上）として、廃コンクリートから粗骨材を高品質な（原骨材の品質を損なわない）状態で分離させるような最適な水中放電の条件を検討することが目的となる。



3. 研究の方法

水中へ設置された対点電極間へ高電圧パルスを印加すると、その電極間において一方の電極（正極）から放電が形成される。このとき電極間には瞬時に大電流が流れ、この大電流は電極間を満たす水を一気に加熱して、気化・プラズマ化させる。このプロセスにより生じる水の体積膨張が水中衝撃波を励起させる。

最終的にはこの生成された衝撃波がコンクリート塊へ作用して、骨材とセメントの分離を促すこととなる。本技術は、電気放電による生成衝撃波であるため、再現性に優れ、繰り返し運転が可能で、負荷（出力）制御も可能である。これまでにこの水中放電にともなう衝撃波による骨材再生技術により、高品質な再生骨材を分離回収できる可能性を確認している。そこで、本研究課題ではこの骨材再生技術の更なる高効率化を目指し、エネルギー効率向上の鍵となる水中放電条件の最適化について研究を実施した。



4. 研究成果

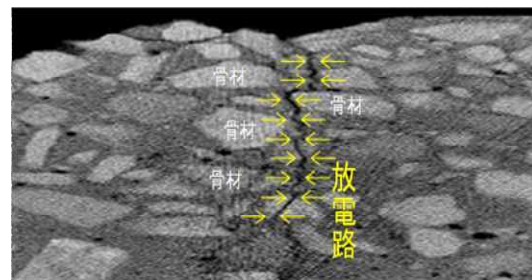
産業廃棄物として廃出される大量の廃コンクリート塊から、骨材の部分分離回収して再利用するための研究、技術開発を行う。本研究では、高電圧の水中放電によるパルスパワーを利用した制御破壊技術によって、廃

コンクリートからの経済的な再生骨材をマスマスプロダクション化することを目的としている。そこで骨材・分離回収のためのパルス放電水中衝撃波の最適化（工学的有理性の向上）について検討を実施した。その結果、以下のようなことが判明した

(1) 水中パルス放電による破碎・分離

水中に浸漬したコンクリートに高電圧パルス放電の繰返し印加によってコンクリートが破碎され、骨材を分離できる原理が物理的に解明された。すなわち、

① パルス電流は絶縁破壊強度の最も弱いコンクリート内空隙中の気相を伝って流れ、結果として空気の絶縁破壊の後に大電流が生じて空気のプラズマ化による大膨張がコンクリート内に亀裂を生成すること。



② 次に、高電圧パルス放電による極短時間における空気のプラズマ化、および水の気化によって励起された水中衝撃波がコンクリートに作用すると、その伝播における骨材とその周囲との境界面で透過・反射が発生し、境界面に作用する引張力によって密度（音響インピーダンス）の相違する物質の剥離を促す。

③ 本手法によって製造された再生骨材のコンクリート用骨材品質の公的試験機関によって JIS に定める再生粗骨材 H の基準を満たすことが確かめられ、ならびにこれによる再生コンクリートをコンクリート二次製品ブロックへ適用した結果、地先コンクリートブロック A の JIS に定める基準を満たすことが確かめられた。

④ 本手法によって製造された再生細骨材を地盤改良のための代替砂として適用する場合、公的試験機関によってこれより溶出する六価クロムは検出されず、また比重分離により軽量分を取り除いた再生細骨材をもちいたアサリのバイオアッセイ試験の結果、アサリが生息できることが確かめられた。

(2) 優位な放電パラメータの検討

より工学的な検討として、必要十分な放電エネルギーの最適化について検討した結果次のようなことが判明した。

① キャパシタ容量と充電電圧、ならびに放電回数をそれぞれ変化させることによって、

骨材自体には損傷を殆ど与えず、コンクリート塊から分離させるように負荷の制御が可能である。

② 既存の機械的破碎方法では困難とされていた骨材に残存するモルタル付着分を大幅に低減でき、JIS に定められた最高品質の骨材として利用可能な再生骨材を得ることが出来る。

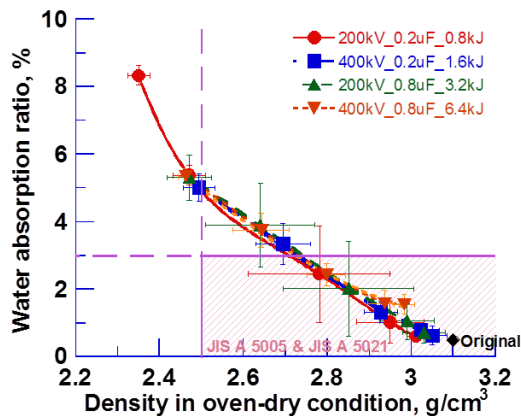
③ 処理において微粉末を殆ど排出せず、二次廃棄物処理のためのコストが激減させることが出来る。

④ 最も少ない消費エネルギーによってコンクリート塊より高品質骨材として分離回収するためのキャパシタ容量と充電電圧、ならびに放電回数が存在する。

⑤ より少ない消費エネルギーによってコンクリート塊より高品質骨材として分離回収するための高電圧棒電極と低電圧かご電極との相対位置関係が存在する。

⑥ 処理を行うための水槽中の水質が繰り返される放電によって変化するとともに、処理に要する消費エネルギーも変化する。

⑦ 上記により得られた再生骨材を使用した再生コンクリートを作製し、その力学的性質は原粗骨材を用いたコンクリートに対してほぼ同等である。



(3) 骨材種の相違による影響パラメータ

以上の実験的考察により得られた本手法の原理をより明確にするため、モルタル部分は一定の性質を持ちながら、粗骨材種を変えたいくつかのコンクリート供試体を用いて破碎実験を繰り返した。その結果、密度・吸水率ならびにこれらに伴って変化する音響インピーダンスの異なる粗骨材を用いたコンクリートでは、破碎の進行過程において、モルタルの持つ音響インピーダンスとの相対的差異が大であるほどモルタルと粗骨材との剥離は顕著であることが確認された。また、破碎過程の初期においては、この粗骨材の対モルタル相対音響インピーダンスの影響がみられることに加え、さらに粗骨材の粗密性もまた破碎

進行性に影響していることが推察された。

これらの実験から、粗骨材の対モルタル相対音響インピーダンスはプラズマ膨張による水中衝撃波の伝播形態に影響しており、モルタルと粗骨材との境界面反射がその剥離を促すものとほぼ断定できる。一方、粗骨材の微細空隙中に存在する空気や水の絶縁破壊の頻度に直結するものと考えられる。つまり、空隙が多いほど、高電圧により絶縁破壊を生じる確率は高くなることを意味すると考えられる。

3 年間の研究活動を通じ、沢山の報道機関から興味を示され、多くの取材、新聞掲載、テレビ番組での紹介がなされた。こうした環境技術が社会からいかに強く囑望されているかを知ることができた。

また、今後の展望としては、先に発生した東北関東大地震・大津波による被災地のがれき処理、および高品質再生骨材の供給による復興支援にも活用できるようなより実用化のための技術的な研究開発を進める必要がある。

さらに骨材とセメント質硬化体との分離は、放射性汚染コンクリートの除染ならびに減容化技術に直結するものである。コンクリートに限らず、細孔部内に侵入した放射性核種煤塵の除去効果を調べる必要がある。

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 10 件)

① KENCANAWATI Ni Nyoman, SHIGEISHI Mitsuhiro, Acoustic Emission Sources of Breakdown Failure Due to Pulsed-Electric Discharge in Concrete, Construction Building and Material, 査読有, Vol. 25(4), 2011, 1691-1698

② 飯笹真也、重石光弘、浪平隆男、再生粗骨材への圧縮裁可時における破碎値とアコースティック・エミッションのワイブル解析コンクリート工学年次論文集、査読有、33 巻、2011、1251-1256

③ KENCANAWATI Ni Nyoman, SHIGEISHI Mitsuhiro, Weibull Analysis of Acoustic Emission Hits Behavior for Evaluation of Deteriorated Concrete Due to Freezing and Thawing, International Journal of Earth Science and Engineering, 査読有, Vol. 4(5), 2011, 191-195

④ 増田龍哉、御園生敏治、榎本麻菜美、重石光弘、浪平隆男、滝川清、パルス再生骨材の覆砂材への適用に関する研究、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、67 巻(2)、2011、463-468

⑤ S. Iizasa, M. Shigeishi, Quality

Evaluation of Concrete Aggregate by Weibull-Distribution Analysis of AE, Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, 査読有, Vol. 7, 2010, 1117-1122

- ⑥ 飯笹真也, 重石光弘, 石松宏一, 浪平隆男, モルタル部の性質がパルス放電法によるコンクリートの破砕過程に及ぼす影響, コンクリート工学論文集, 査読有, 32 巻, 2010, 1559-1564
- ⑦ 重石光弘, 浪平隆男, 溝田一義, 矢野正, 骨材再生プラントの設計と製作を通じた環境経営工学的実用化研究教育プロジェクト, 工学・工業教育研究講演会講演論文集, 査読有, 65 巻, 2010, 508-509
- ⑧ 飯笹真也, 重石光弘, 首藤親哉, 月岡美佳, 圧縮载荷による骨材の破砕過程のワイブル解析による品質評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 31 巻, 2009, 121-126
- ⑨ 前田誠司, 高木基志, 重石光弘, 浪平隆男, パルスパワー放電法における電極位置が骨材再生時の消費エネルギーに及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, 査読有, 31 巻, 2009, 1909-1914
- ⑩ IIZASA S., TAKAKI M., SHIGEISHI M., NAMIHIRA T., OHTSU M., AKIYAMA H. Recovery of aggregate from concrete waste by the electric Pulsed Power Technology, Construction Materials, 査読有, Vol. 4, 2009, 1261-1266

[学会発表] (計 28 件)

- ① 阿南雄大, 飯笹真也, 重石光弘, 浪平隆男, 粗骨材種がコンクリートのパルス放電による破砕過程に及ぼす影響, 平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会, 2012. 2. 20, 鹿児島大学 (鹿児島市)
- ② 中尾健太郎, 飯笹真也, 重石光弘, 浪平隆男, パルス放電式コンクリート水中はつりにおける放電パラメータの決定, 平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会, 2012. 2. 20, 鹿児島大学 (鹿児島市)
- ③ 石松宏一, 重石光弘, 飯笹真也, 浪平隆男, モルタル部の物性がパルス放電によるコンクリート破砕過程に及ぼす影響, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 2011. 9. 7, 愛媛大学 (松山市)
- ④ 酒井啓旭, 重石光弘, 飯笹真也, 浪平隆男, パルスパワーによる再生骨材製造における最適放電パラメータの検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 2011. 9. 7, 愛媛大学 (松山市)
- ⑤ 樫本麻菜美, 御園生敏治, 増田龍哉, 浪平隆男, 重石光弘, パルス再生細骨材の覆砂工への適用に関する研究, 土木学会西部支部平成 22 年度研究発表会, 2011. 3. 5, 九州

工業大学 (北九州市)

- ⑥ 小林大介, 溝田一義, 前田誠司, 重石光弘, パルスパワー技術を用いたコンクリート製品再生システムの構築, 土木学会西部支部平成 22 年度研究発表会, 2011. 3. 5, 九州工業大学 (北九州市)

[その他]

- ① 日本コンクリート工学会コンクリート工学年次大会 2011 (大阪), コンクリートテクノプラザ 2011 への技術展示, 2011. 7. 12-14, グランキューブ大阪・大阪国際会議場 (大阪市)
- ② コンクリート内パルスパワー放電方式再生骨材製造装置, コンクリート技術大会 (会津) 併設展示会, 2011. 10. 07
- ③ 日本コンクリート工学協会コンクリート工学年次大会 2010 (埼玉), コンクリートテクノプラザ 2010 への技術展示, 2010. 7. 7-9, 大宮ソニックシティ (さいたま市)
- ④ コンクリート内パルスパワー放電による骨材再生, 第 19 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム技術展示, 2010
- ⑤ プラズマ膨張圧で破砕, 骨材情報誌アグリゲイト (7 面), 2010
- ⑥ プラズマ膨張圧で破砕 微粉末発生量を低減, セメント新聞 (4 面) 2010
- ⑦ 熊本大「パルス技術」廃コンクリートの砂利再利用, 熊本日日新聞 (10 面), 2010
- ⑧ 雷パワーでコンクリート再生, 熊本日日新聞 (28 面), 2010
- ⑨ 高電圧使ってコンクリート材料再生, 毎日新聞 (19 面), 2010
- ⑩ 世界初! コンクリート骨材再生処理装置, 熊本放送 総力報道!, NEWS LIVE くまもと, 2010
- ⑪ 人工雷「パルスパワー」でコンクリート再生, 熊本朝日放送, NEWS TRAIN, 2010
- ⑫ 熊本大学が開発 コンクリート“瞬間分離”装置, 日本放送協会熊本放送局 ニュース 845 くまもと, 2010
- ⑬ 熊本大学の新開発 ビジネス展開と可能性, テレビ熊本 TKUスーパーニュースぴゅあピュア, 2010
- ⑭ プラズマ膨張圧でコンクリート破砕, 骨材情報誌アグリゲイト (3 面), 2010
- ⑮ プラズマ膨張圧でコンクリート破砕, セメント新聞 (11 面), 2010

6. 研究組織

(1) 研究代表者

重石 光弘 (SHIGEISHI MITSUHIRO)
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号: 50253761