

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：21301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25292146

研究課題名(和文) 震災復興資材としてのプレキャストコンクリート製品の開発

研究課題名(英文) Development of the pre-cast concrete product as the earthquake disaster revival material

研究代表者

北辻 政文 (KITATSUJ, Masafumi)

宮城大学・食産業学部・教授

研究者番号：30195268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、次の二つの研究を行った。震災コンクリートがらから製造した再生粗骨材Mとそれを用いたプレキャストコンクリートを開発と 土壌からのセシウム抽出方法の開発および放射線廃棄物の保管BOXの開発である。

研究の結果、では再生粗骨材Mおよびそれを用いたプレキャストコンクリートは、JIS規格の強度および耐久性を満足したので、宮城県および福島県の公共工事において施工した。では土壌からのセシウム抽出方法として硝酸アンモニウムが有効であることが分かった。さらに放射線遮蔽BOXの開発では、CRTガラスや銅スラグなどの密度の重い骨材を用いた場合、遮蔽率が高かった。

研究成果の概要(英文)： In this study, I performed two next studies. The first it is development with reproduction rough aggregate M and the pre-cast concrete using it which it produced from an earthquake disaster concrete pattern. The next is the development of the cesium extracting method from the soil and development of storage BOX of the radiation waste.

As a result of study, the pre-cast concrete using reproduction rough aggregate M and it satisfied strength of the Japanese Industrial Standards and the durability in the former, I constructed it in public construction of Miyagi and Fukushima.

On the other hand, it was revealed that ammonium nitrate was effective by the latter as a cesium extracting method from the soil. Furthermore, a cover rate was high when I used heavy aggregate of density such as CRT glass or the copper slag by the development of radiation cover BOX.

研究分野：農業農村工学における建設材料学

キーワード：震災コンクリートがら 再生粗骨材M プレキャストコンクリート製品 強度および耐久性 放射線 セシウム 濃縮 遮蔽BOX

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災は、地震、津波、放射能汚染と3重の被害をもたらし、人類が経験したことのない大惨事となり、大量の震災廃棄物（がれきなど）が発生した。とくに被害の大きかった岩手、宮城、福島3県では、がれきの量が2,500万トン以上と推計されている。被災地では集積場の確保が難しく、復旧・復興を進める上で震災廃棄物の処理は大きな課題となっており、迅速な対応が求められている。一方、復興資材が不足しており、生コンが供給不足となっていることから、PCa製品の利用に期待が寄せられている。申請者らは、「再生粗骨材Mを用いたプレキャストコンクリート製品のガイドライン試案」を作成し（文献1,2）、その技術は確立したものであり、これを震災コンクリートガラに応用するものである。

本研究では、再生粗骨材M（JIS A 5022）を製造し、PCa製品へ利用するものであり、震災廃棄物が土木資材として有効利用することが出来れば、震災廃棄物の減容化が可能となると同時に、復旧・復興に必要な土木資材を供給することができる。しかし、課題として東日本大震災特有の津波による塩化物および放射能汚染についても検討を加えなければならない。

いまひとつは除染された放射能汚染物質の濃縮・保管容器の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、プレキャストコンクリート製品（以下PCa製品）を用いて東日本大震災で発生した震災コンクリートガラを、復旧・復興工事に活用するためのリサイクル技術を確認すること、および放射能汚染物質の保管容器を開発すること目的とする。PCa製品は、リサイクル材の利用および工期の短縮が可能のため、復興に大きな期待がもたれている。本研究は以下のように分けられる。

（1）再生粗骨材Mの製造方法および再生粗骨材Mを用いたコンクリートの製造方法

（2）放射能汚染物質保管容器の開発

（1）では再生粗骨材Mの規格値を満足できる低コストな破碎方法を検証する。現状では、1次破碎（ロールクラッシャー）+2次破碎2回（インパクトクラッシャー）で対応しているが、現位置で製造可能な他の破碎機械や受け入れるコンクリートガラの違いによる品質の変動を検証する。また、再生粗骨材M+フライアッシュセメントの組合せにおいては、ある程度のデータが得られている。

（2）では環境省の報告では、平成24年3月現在、8,000Bq/kg以上の指定放射性廃棄物は、8都県で5,700トンが確認されているものの今後も増加されると見込まれ、その範囲も広がると考えられる。震災廃棄物には放射能汚染材料が多く含まれている場合もあり、立入り制限区域解除の拡大により、住民が被曝する危険性が高くなる。このため、これらの放

射性廃棄物の保管が重要な課題となる。保管方法は、各地域に3年以内に中間処理施設の建設が計画され、それまでは現地に保管することとなる。しかし中間処理施設の建設には地元の同意が必要となることや建設工事期間が長いことを考慮すると広範囲に多数の施設を建設することは難しい。このため当面の間は、現地における仮保管となる。現在仮保管方法として、フレコンパック保管が大半であるが、これらは紫外線による劣化や積み上げ倒壊による破損などが危惧されており、堅牢な保管BOXが求められる。その点コンクリートBOXは有効な保管器である。しかし既存のコンクリートBOXの場合、運搬や保管時に大型のクレーンが必要となり、施工性が悪いこと、およびコストが大きいことがネックとなっている。

一方、試作した鉛ガラスコンクリートBOXは、アナログ放送の終了に伴い、大量のブラウン管ガラスが保管されていることに着目したものである。この鉛ガラスは約20%の鉛を含有しており、放射線の遮蔽材として利用できれば、遮蔽率が高くなり、コンクリート断面を小さくでき、かつ鉛ガラスが低下価格で供給されることから、普通コンクリートに比べ製品のコストを大きく下げられる。

さらに、セシウムは粘土鉱物に強く吸着されており、脱着させることは困難であるため、除染作業等で発生した土壌はそのまま処分することになり、最終処分場には膨大な敷地が必要となる。このため、セシウムを粘土から効率的に脱着させ、除染作業で発生した汚染土壌を減容化する方法が求められる。セシウムを効率的に脱着させることができれば、最終処分に必要な敷地を大幅に減らし、市民への放射線被曝の可能性を抑えることが可能になる。この研究の新しい点は、セシウムの脱着材として有機陽イオンを用いることである。通常は、アルカリ金属の陽イオンやオキソニウムイオン（水素イオン）が用いられているが、吸着に対するセシウムの選択性が強いので、脱着は困難である。今回着目する有機陽イオンが吸着する機構には、イオン交換に加えて分子サイズが大きいことによるファンデルワールス力加わる。従って、セシウムを効果的に脱着することが期待されるものである。

3. 研究の方法

本研究は以下のように2種類の研究から構成される。

（1）再生粗骨材Mの規格値を満足する骨材製造方法として、二次破碎機の性能とコンクリートガラの変動を検証し、安定的で回収率の高い再生粗骨材の製造方法を見出すとともに震災由来の塩分、および放射能汚染の影響も確認する。また、再生粗骨材Mを用いたコンクリートの製造方法を検証する。さらに、PCa製品工場における実機試験を実施し、製造コスト、LCAの観点からも評価する。

(2)放射能汚染物質保管容器の開発。具体的には100Bq/kg以下あるいは健康被害の基準値である1.0msv/年以下に抑えるためのコンクリートを製作する。遮蔽率,運搬能,保管能の観点からBOX形状の選定し,コスト,強度,耐久性から最適なコンクリートの配合を決定する。さらに鉛ガラスの取扱および廃棄物の処理方法を決定する。この際の目標値は普通コンクリートと同等の性能を有すること。また,BOXの放射線量の測定を行うとともに,保管および運搬方法を決定する。目標値は保管時の遮蔽率90%以上である。

4. 研究成果

(1) 再生粗骨材 M の製造方法および再生粗骨材 M を用いたコンクリートの製造方法

再生骨材 M の製造

仙台市の仮置き場に集積されたコンクリートガラを原料として用いた。再生骨材 M の製造は,ジョークラッシャー等による一次破碎に加え,インパクトクラッシャー等による複数回の二次破碎により製造可能である。これらの破碎機は,既存の中間処理工場に有しており,低コストで製造可能である。製造した再生骨材 M の外観を写真-1 に,品質を表-1 に示す。



写真-1 再生骨材 M の外観

表-1 再生骨材の品質

		試験値	JIS 規格値
ふるい分け(FM)		6.69	-
密度	表乾	g/cm ³ 2.50	-
	絶乾	g/cm ³ 2.40	2.3 以上
吸水率		% 4.20	5.0 以下
微粒分量		% 0.58	1.5 以下
塩化物量		% 0.0038	0.04 以下
不純物量		% 0.69	3.0 以下
単位容積質量		kg/l 1.42	-
実積率		% 59.1	-
簡易凍結融解		% 1.9	5.0 以下

製造した再生骨材 M は JIS 規格値 (JIS A

5022) を満たしていることがわかる。また,津波を受けたコンクリートガラは塩化物量が多いと考えられたが,塩化物量は 0.004% と規格値を満たしていた。

再生骨材 M を用いたコンクリート性能試験

コンクリートは3か所のPCa製品工場で作製した。これらの配合を表-2に示す。BBC(N)は普通コンクリートから製造した再生骨材 M を, BBC および FAC は震災コンクリートガラより製造した再生骨材 M を用いた配合である。いずれもアルカリシリカ反応対策として,高炉セメントあるいはフライアッシュ (FA) を用いた。また, FAC の配合ではプレフォーム型 AE 剤を用いた。

表-2 コンクリートの配合

	W/C (%)	s/a (%)	単用量 (kg/m ³)			
			W	C	S	F G
BBC(N)	40	38	158	375	671	- 1058
BBC	43	45	160	381	800	- 973
FAC	43	47	170	395	780	85 813
R	40	42	160	340	702	60 939

圧縮強度試験結果を図-1に示す。圧縮強度は脱型に必要な12N/mm²および出荷材齢(14日)において,目標とした設計基準強度30N/mm²をいずれも上回った。

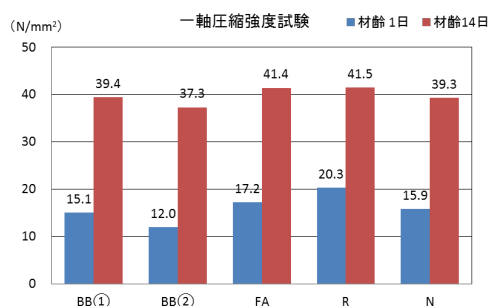


図-1 圧縮強度試験結果

凍結融解試験結果を図-2に示す。相対動弾性係数は, BBC(N)が270サイクル終了時に劣化判定基準の85%を下回る結果となったが,その他は300サイクル終了時においても劣化判定基準を満足しており耐凍害性があると判断できる。

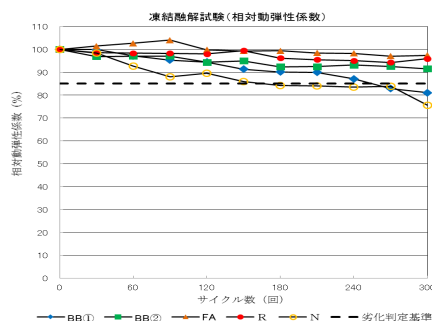


図-2 凍結融解試験結果

PCa 製品の試作

コンクリートガラから製造した再生骨材 M を用いて PCa 製品を製造した。PCa 製品の外観を写真-3 に示す。配合は表-2 の FAC と同一である。写真-3 から、ジャンカなども見られず、外観上良好であった。製品の曲げ強度はいずれも基準値を満足した。



写真-2 試作した PCa 製品の外観

以上のことから、再生骨材 M を用いたプレキャストコンクリート製品は利用可能である。

工事現場への設置

再生骨材 M を用いた PCa 製品は宮城県および福島県内の工事現場に敷設した。

ここで、再生骨材を用いたプレキャストコンクリート製品の製造方法のポイントを以下に示す。

- ・耐凍害抵抗性試験（土木研究所法）において合格した再生粗骨材 M を利用する。
- ・ASR 対策として混合セメントを利用する。
- ・普通コンクリートに比べ W/C を 3% 小さくする。



写真-3-1 敷設した PCa 製品(宮城県)



写真-3-2 敷設した PCa 製品(福島県)



写真-3-3 敷設した PCa 製品(福島県)

(2) 放射能汚染物質保管容器の開発

保管容器に求められる性能として以下を提案した。

遮蔽率を高める技術

コンクリートの密度を高めることが遮蔽率を高めるのに効果的である。現在、検討されているものは、コンクリートに用いる骨材に密度の高い材料を用いることである。鉄鉱石、鉄粉、砂鉄、銅スラグ、フェロニッケルスラグ、鉛ガラス等が用いられている。これにより、普通コンクリートの密度が $2.3\text{g}/\text{m}^3$ に対し、 $2.5\sim 4.0\text{g}/\text{m}^3$ 程度まで高めており、極めて高い遮蔽率が確保されている。鉛ガラスを用いた保管容器の一例を写真-4 に示す。



写真-4 鉛ガラスを用いた保管容器の一例

遮水技術およびひび割れ防止

汚染土壤に含まれているセシウムは、粘土鉱物に強く吸着されて安定しているため溶出する危険性は少なくなっている。しかし、可燃性震災廃棄物、家庭ごみおよび山間部リッターは、減容化のために焼却される計画である。セシウムは約 700°C で気化するので、焼却飛灰へ濃縮、移行する。飛灰は同時に塩素を含有するので、セシウムは水溶性の塩化セシウムとして含まれ、水の介入があれば、溶け出すことになる。このため、飛灰を保管する容器には、遮水技術が求められる。高分子材の塗布、ペントナイトシート、ビニルシートなどが施すことが必要である。

同時に、コンクリートひび割れ対策は不可欠である。

トレサビリティー

汚染物質の適正な運搬・管理のためにトレサビリティが検討されている。一般的な手法として、IC タグを埋め込む方法が取られている（写真-5）。IT 技術の発展により、スマートフォン等によりデータの読み取りが可能で、容易に管理できるようになった。



写真-5 トレサビリティ管理

保管する期間中の耐久性

一般の鉄筋コンクリートの場合、100 年程度の実績はあるが、それ以上の期間コンクリートが健全であることの保証は難しい。100,000Bq/kg の特定放射性廃棄物は約 110 年で 8000Bq/kg 以下になり、対象から外れるため、その間は保管容器が健全でなければならない。さらに高濃度の場合、数百年、数千年の間、健全である必要があるものの鉄筋コンクリートの供用実績はなく、コンクリートが中性化し、中の鉄筋が腐食、膨張することによってコンクリートを破壊する危険性が高くなる。同様に、遮水材として用いられる高分子材料の供用実績は短く、かつコンクリート中では高アルカリ環境下となるため、さらに厳しい環境下となるため、耐久性の担保が難しくなる。

これらのことから、長期耐久性をどのように保証するか、とくに 100 年以上半永久的に保管することを前提とした保管容器では検証が必要である。

一方、セシウムの抽出試験結果の一例を図-3 に示す。第四級アンモニウムイオンによるセシウムの脱着効果試験では 15 種の薬品を試みた。その結果、硝酸アンモニウムないし硝酸アンモニウムと硝酸ナトリウムの効果が高く、テトラメチルアンモニウムの 2 倍の抽出率であった。

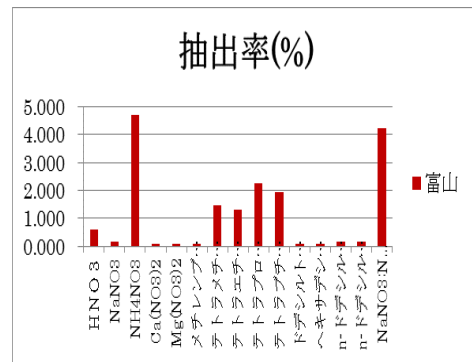


図-3 セシウムの抽出試験結果の一例

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 5 件)

開米浩久, 北辻政文, 澤田達哉, 遠藤孝夫; 震災コンクリートがらから製造した再生粗骨材 M のプレキャストコンクリート製品への利用, 日本コンクリート工学年次論文集, 査読有, 2015, Vol. 37, 415-420

北辻政文, 金子 修, 鈴木清美, 新田裕之, 阿部善信, 遠藤孝夫; 多種類のリサイクル材を用いた PCa コンクリート製品の品質, 第 5 回コンクリート技術大会技術講演会発表論文集, 査読無, 2015, 179-182

北辻政文, 東日本大震災のがれきはどのように処理されたか ~ リサイクルを考える ~, 土地改良の測量と設計, 査読無, 2015, Vol. 82, 1-6

北辻政文, 再生粗骨材 M を用いた PCa コンクリート製品, 建設リサイクル, 査読無, 2015, Vol. 73, 10-14

北辻政文, 放射性廃棄物の保管技術の動向, コンクリートテクノ, 査読有, 32 巻 10 号, 2013, 70-75

〔学会発表〕(計 5 件)

開米浩久, 北辻政文, 澤田達哉, 遠藤孝夫; 震災コンクリートがらから製造した再生粗骨材 M のプレキャストコンクリート製品への利用, 日本コンクリート工学年次大会, 2015 年 7 月 14 日, 幕張メッセ(千葉県千葉市)

開米浩久, 北辻政文; 震災コンクリート殻のプレキャストコンクリート製品への利用に関する研究, 平成 26 年度土木学会研究発表会, 2014 年 9 月 11 日, 大阪大学(大阪府豊中市)

北辻政文, 安藤桂子, 震災廃棄物溶融スラグを用いたプレキャストコンクリート製品の特性, 平成 26 年度農業農村工学会大会, 2014 年 8 月 28 日, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)

北辻政文, 蘇武恭兵, 開米浩久, ブラウン管ガラスカレットを用いた遮蔽コンク

リートBOXの開発,平成25年度農業農村工学会大会,2013年9月4日、東京農業大学世田谷キャンパス(東京都世田谷区)阿部孝行,北辻政文,小野知馬,津波堆積物洗浄砂のプレキャストコンクリート用細骨材としての利用に関する研究,平成25年度農業農村工学会大会,2013年9月4日、東京農業大学世田谷キャンパス(東京都世田谷区)

〔図書〕(計1件)

北辻政文他,(公社)土木学会,142コンクリートライブラリー,震災がれきの処分と有効利用 - 東日本大震災の記録と教訓 -,2014,総ページ232(127-129,156-160)

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北辻 政文(KITATSUJI Masafumi)
宮城大学・食産業学部・教授
研究者番号:30195268

(2) 研究分担者

木村 和彦(KIMURA Kazuhiko)
宮城大学・食産業学部・教授
研究者番号:10183302

(3) 連携研究者

()

研究者番号: