

コンクリートがれきを用いたセメント固化体の災害廃棄物処理工事への適用

堀口賢一，萩原純一，山本哲，丸屋剛

大成建設株式会社 土木技術研究所 土木構工法研究室

(連絡先：045-814-7228, kenichi.horiguchi@sakura.taisei.co.jp)

1. セメント固化体技術の概要

東日本大震災では、300 万トンを超えるコンクリートがれき（軽量ブロック，レンガ，タイル，瓦などの無機質がれきを含む。）が発生している。その一方で，震災からの復興に必要な建設資材，特にコンクリートの需要が高く，供給が追いついていない。このようなことから，破碎したコンクリートがれきにセメントと水を混合したセメント固化体の製造・施工，ならびに品質管理方法を確立した^{1),2),3)}。

セメント固化体の製造・施工方法は，以下のとおりである。

- ・津波堆積物を含むコンクリートがれきを最大寸法 80mm 程度に破碎する。破碎には自走式破碎機を使用する（写真-1）。
- ・破碎したコンクリートがれきは，基本的に粒度分布を調整しない。また，津波堆積物も分級しないでセメントと水を混合する。ただし，細粒分が不足する場合は津波堆積物を積極的に加えることができる。混合には自走式混合機を使用する（写真-2）。
- ・破碎したコンクリートがれきとセメント・水を混合したセメント混合物は，スランプゼロの超硬練り仕様でダンプトラックにて施工場所に運搬し，ブルドーザによる敷均し，振動ローラーによる転圧締固めにより施工する（写真-3，写真-4）。

また，本開発技術は以下のような特徴を有している。

- ・コンクリートがれきと津波堆積物を分別し，さらにコンクリートがれきを細かく破碎してふるい分け・再混合する必要がないため，破碎処理工程が大幅に簡略化できる。
- ・超硬練りコンクリートを転圧締固めにより施工する従来技術に RCD 工法や CSG 工法などのダム施工技術があるが，これらの工法では骨材粒度分布の大きな変動がないため，適切な転圧締固め性が得られる単位セメント量と単位水量はほぼ一定となる。これに対し，津波堆積物を含む破碎したコンクリートがれきは粒度分布が大きく変動するため，適切な転圧締固め性が得られる単位セメント量と単位水量が変動する。そのため，本開発技術では，適切な転圧締固め性が得られるように，破碎したコンクリートがれきの細骨材質量率に合わせて単位セメント量と単位水量を調整する配合選定方法を採用した。
- ・上述の配合選定方法を採るためには，津波堆積物を含む破碎したコンクリートがれきの粒度分布をリアルタイムで把握する必要があるため，画像解析処理技術を用いた粒度分布推定手法を新たに開発した（図-1）。
- ・セメント固化体は，水セメント比を調整することで， 15N/mm^2 程度以下の範囲で圧縮強度を調整することができる。
- ・作業はすべて自走式重機を用いて行えるため，特別な設備を施工場所に設ける必要がない。

本稿では，このセメント固化体技術を，宮城県気仙沼処理区における震災廃棄物処理工事で適用した事例について報告する。

キーワード：東日本大震災，コンクリートがれき，セメント固化体，資源循環，リサイクル

連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）土木技術研究所土木構工法研究室



写真-1 破碎したコンクリートがれき



写真-2 セメント・水との混合



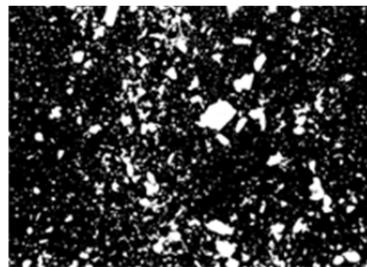
写真-3 ブルドーザによる敷均し



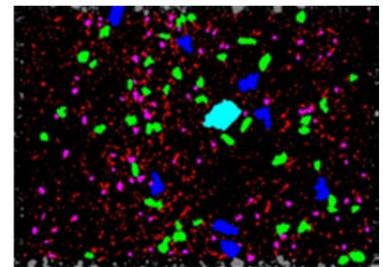
写真-4 振動ローラーによる転圧締め



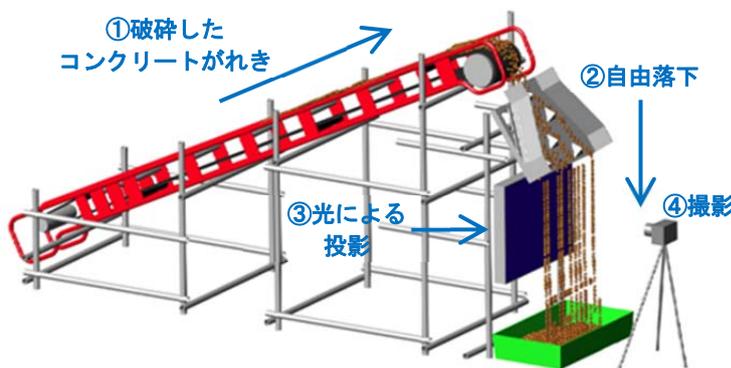
撮影画像



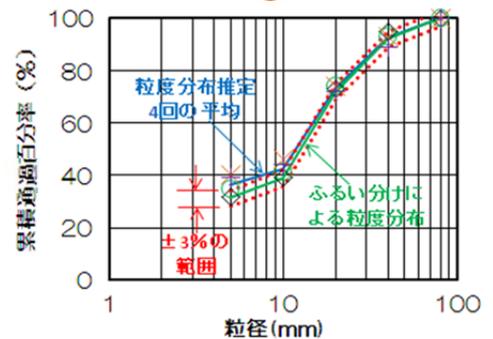
二値化画像



面積算出処理画像



ベルトコンベアを用いた画像撮影システム



粒度分布の推定結果

図-1 画像解析処理技術による破碎したコンクリートがれきの粒度分布推定方法

2. 気仙沼処理区での適用事例

本技術によるセメント固化体を、写真-5 に示す宮城県気仙沼市の災害廃棄物処理作業所内における、焼却炉解体用大型仮設テントの基礎部分へ適用した。このテントは、焼却炉解体時にダイオキシン類等の汚染物質が一般大気に飛散するのを防止するために3ヶ月間程度必要なものであり、使用後は速やかに解体・撤去されるものであった。また、必要な圧縮強度が十分な余裕を見ても 1.0N/mm^2 程度であったことから、基礎コンクリートの代替材料として本技術によるセメント固化体を適用した。適用した面積は 500m^2 、厚さは $0.10\sim 0.20\text{m}$ で、合計 68m^3 を 2013 年 11 月に施工した。施工の状況を写真-6、写真-7 に示す。また、大型仮設テントの組立て状況を写真-8 に示す。このセメント固化体は、大型仮設テントの解体とともに撤去され、2014 年 2 月に再破碎処理し、このときは再生砕石としてリサイクル利用された。気仙沼処理区での施工時に計測した破碎したコンクリートがれきの物性や、セメント固化体の圧縮強度などについて、以下に述べる。

表-1 に破碎したコンクリートがれきの物性測定結果を示す。測定項目はそれぞれ、JIS で定めるコンクリート用骨材の試験方法に従って測定した。ただし、作業現場で直ちに測定結果を得る必要があったことから、現地計測では破碎したコンクリートがれきをガスコンロとフライパンを用いて強制的に乾燥させて試料を作製した。一方、室内計測では乾燥炉で乾燥させて試料を作製した。現地計測と室内計測のデータについて比較すると、粗骨材相当（粒径 5mm 超）についてはほとんど差がないが、細骨材相当（粒径 5mm 以下）については、室内計測の単位容積質量と表乾密度、絶乾密度がやや小さいことから、乾燥方法の違いが影響したと考えられる。

表-2 にセメント固化体の配合と圧縮強度を示す。転圧締固めの施工には、2種類の配合を試した。いずれも水セメント比は 105% 、細骨材質量率 (S/A) は 20.4% で、単位セメント量が 150kg/m^3 の配合 1 と、 100kg/m^3 の配合 2 である。既往の実験での知見によれば、加振締固め性の観点から、破碎したコンクリートがれきの S/A ごとに必要最小単位ペースト量が存在することがわかっている^{1),3)}。また、充填性や材料分離抵抗性の観点から、これらに関する指標 α 、 β (表-2 脚注に説明) にも適切な範囲が存在することもわかっており、その範囲は $1.0 \leq \alpha \leq 1.4$ 、 $1.3 \leq \beta \leq 1.7$ である¹⁾。なお、ここでの加振締固めは、テーブルバイブレータ上で加振しながら鋼製型枠へ試料を充填する方法である。今回使用した破碎後のコンクリートがれきの S/A は 20.4% であるので、加振締固めで完全充填するのに必要な単位ペースト量は、既往の知見から 277kg/m^3 (W/C= 105% のとき $C=135\text{kg/m}^3$ 、 $W=142\text{kg/m}^3$) となるが、このとき $\alpha=1.62$ 、 $\beta=0.80$ となり、 α が過大で β が過小であった。このような場合は、粒径 5mm 以下の細骨材相当の成分として津波堆積物を混合し、S/A を 30% 程度まで高めることが有効であるが、作業所内での設備の都合からこれが困難であったため、加振締固めに加えてタンピングによる締固めを併用する方法を採った。本技術でのセメント混合物の締固め性は、土木学会規準 JSCE-F508「超硬練りコンクリートの締固め性試験方法(案)」の充填率で評価することを基本としている。しかしこの試験方法で良好な充填率を得るためには、単位セメント量が比較的多い富配合となる。そのため、今回のように必要な圧縮強度が 1N/mm^2 程度と低く、貧配合でよい場合にはこの評価方法では十分に締固め性を評価できないため、このような場合はタンピングによる締固め充填で評価することとしている。このようなことから、配合 1 は加振締固めのみで可能な限り充填率を高くすることを目的に選定した配合で、配合 2 は単位セメント量を可能な限り低減させることを目的とし、テーブルバイブレータによる加振に加えて、人によるタンピングを行って締固め充填した配合である。この結果、配合 2 の 2 回の計測の平均充填率は 81.2% と、配合 1 の 96.0% に比べて充填率は低いものの、圧縮強度は平均 10.6N/mm^2 と十分な強度が得られた。また、転圧締固めにおいて、配合 1 は振動ローラーにモルタルが付着し、締固めがやや困難であったのに対し、配合 2 はモルタルの付着のない良好な締固めが行えた。



写真-5 セメント固化体の適用位置



写真-6 セメント混合後の状態



写真-7 振動ローラーによる転圧締め



写真-8 大型仮設テント組立て状況

表-1 破碎したコンクリートがれきの物性測定結果

測定項目	現地計測		室内計測	
	G (5mm超)	S (5mm以下)	G (5mm超)	S (5mm以下)
単位容積質量 (kg/l)	1.51	1.44	1.48	1.30
含水率 (%)	3.63	13.3	3.76	13.0
吸水率 (%)	2.67	10.3	2.64	12.0
表乾密度 (g/cm ³)	2.59	2.40	2.58	2.29
絶乾密度 (g/cm ³)	2.52	2.18	2.51	2.04
微粒分量 (%)	—	—	3.05	23.9

計測値は2回の測定の平均

表-2 セメント固化体の配合と圧縮強度

配合 No.	W/C (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m ³)				α	β	充填率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
			C	W	S	G				
No.1	105	20.4	150	158	404	1578	1.85	0.86	96.0	13.3
No.2-1	105	20.4	100	105	440	1719	1.13	0.68	83.9	10.6
No.2-2									78.4	10.5

α：粒径5mm以下の細骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙体積とそれを充填するのに必要なセメントペースト量の比率

β：粒径5mmを超える粗骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙体積とそれを充填するのに必要なモルタル量の比率

充填率：配合1はテーブルバイブレータ上での加振のみによるもの。配合2はテーブルバイブレータ上での加振に加え、人によるタンピングを行ったもの。

3. まとめ

テント基礎に使用したセメント固化体は、仮設テントの使用後に解体され、再度、破碎処理して建設資材として活用された。図-2に本技術によるコンクリートがれきの流れを示す。このように、コンクリートがれきの集積、破碎、セメント混合、転圧施工、ならびに解体が循環している。セメント固化体として利用後に再び破碎して、再セメント固化体としても活用できることから、本技術はコンクリートがれきのリサイクル技術、骨材資源の循環・省資源化技術としても有望と考えられる。

気仙沼処理区での適用を通じて、本技術によるセメント固化体の有用性が、以下のとおり確認できた。

- ・復興に必要とされるコンクリートの一部を代替する材料として、コンクリートがれきのセメント固化体を適用することで、良質な天然骨材の使用量を抑制し、省資源化が図れる。
- ・コンクリートがれきや津波堆積物の建設資材としての用途を拡大し、資源の良好なリサイクル循環を構築できる。
- ・震災で発生したコンクリートがれきや津波堆積物の処理を加速し、被災地の環境を早期に回復することができる。
- ・コンクリートがれきの破碎、セメント・水との混合、ならびに転圧施工などの一連の作業が、自走式重機を用いてすべて施工場所で行えるため、資機材の運搬や新たな固定設備を設けた場合に生じる環境への負荷がほとんどない。
- ・津波堆積物中の重金属の量に応じてセメント固化体の配合を調整することで、津波堆積物の浄化や改質をせずとも重金属の溶出を抑制することができる。
- ・震災により発生したコンクリートがれき以外にも、通常の鉄筋コンクリート構造物の解体などで生じるコンクリートがれきでも適用できる汎用性を有している。



図-2 本技術によるコンクリートがれきの流れ

【謝 辞】

本技術開発は、国土交通省が主管する平成 23 年度建設技術研究開発助成制度【震災対応型技術開発公募】に応募し、課題採択されて実施したものです。同制度のもとに設立した産学官テーマ推進委員会においては、宇治公隆委員長（首都大学東京 大学院都市環境科学研究科 教授）をはじめ、各委員から適切な助言と評価をいただきました。ここに厚く感謝申し上げます。また、実験に際しては、釜石市のご厚意によりコンクリートがれきと実験ヤードをご提供いただきましたことに、さらに気仙沼処理区での施工に際しましては、宮城県にご尽力いただきましたことに重ねて御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 松元淳一，堀口賢一，片山三郎，丸屋剛：コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の配合選定に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.1597-1602，2013.07
- 2) 古田敦，堀口賢一，松元淳一，丸屋剛：コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の物性および施工性の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.1603-1608，2013.07
- 3) 松元淳一，堀口賢一，坂本淳，丸屋剛：コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の配合選定方法について，土木学会第 68 回年次学術講演会，CS5-012，pp.23-24，2013.09