

廃棄物のリサイクル製品化に関する研究

宮城雄二、花城可英、前堂正志¹、金城和幸¹

沖縄県において管理型産業廃棄物最終処分場は非常に逼迫しており、県内全産業へ悪影響を及ぼす可能性がある。そのため最終処分場の延命化策として、搬入される焼却灰等の廃棄物を原料として造粒物の製造を行った。造粒物についてその製造コストを念頭に置き、薬剤、セメント量等の適正量を求め、その安全性、品質などを確認し、造粒物の路盤材、コンクリート骨材などへの利用を検討した。

路盤材は平成18年11月付けで「造粒再生砕石（RC-40）」の名称にて、沖縄県リサイクル資材認定制度の認定を取得した。

1 はじめに

昨今の廃棄物問題は管理型産業廃棄物最終処分場の逼迫している現況はいうまでもなく、最終処分場の残容量の減少は廃棄物処理業者として死活問題に直面しているのが現状である。そのため最終処分場の延命化策として平成15年度から行った島しょ型ゼロエミッション推進実証事業でのリサイクル製品化実証の成果を生かし、搬入される焼却灰等の廃棄物を原料として造粒物の製造を行った。廃棄物のリサイクル製品化により最終処分場への埋め立て量を減少させることができ、管理型産業廃棄物最終処分場の延命化が期待される。

本共同研究では造粒物についてその製造コストを念頭に置き、薬剤、セメント量等の適正量を求め、その安全性、品質などを確認し、造粒物の路盤材、コンクリート骨材などへの利用を検討した。そして沖縄県リサイクル資材認定制度への認定取得に向けた再生資源含有路盤材 RC-40の製造工程及び品質管理等の確立を進めた。又、認定取得と平行して、造粒物を骨材として混入したコンクリート二次製品の作製を検討した。

2 実験方法

2-1 前処理方法の検討

搬入される焼却灰などは造粒に不適な金属くずや燃え残りの紙などが含まれているためそれらを取り除くための方法を検討した。また造粒に適した粒度に調整するために土砂選別機による分級を行った。

2-2 造粒物の無機系特殊溶出防止剤、固化補助剤等の配合割合の検討

無機系特殊溶出防止剤としてグリーンワールド社製「MGLスーパ」(以後「MGL」)を使用し、これまでの研究結果を基に安全性を確保するため1%に固定した。固化

補助剤を使用しない配合では一部重金属の溶出量が土壌環境基準をオーバーしたためこれまで同様固化補助剤を使用した。しかしこれまで使用していた薬剤の価格が高いため、コスト削減を目的としてより価格の安い製品について造粒物の強度、安全性(土壌環境基準)を確認しながら、その配合割合を検討した。

2-3 再生資源含有路盤材 RC-40の製造工程の確立

検討した原料の前処理方法や配合割合を基本に、再生資源含有路盤材 RC-40の製造工程を実施・確認し、確立を目指した。また、製造した路盤材は沖縄県リサイクル資材認定制度の再生資源含有路盤材(RC-40)の「その他の再生路盤材」規格に該当する。その該当規格の試験項目について測定し、確認した。

2-4 コンクリート二次製品への利用検討

作製した造粒物(MZMIX)を、骨材として配合したコンクリート二次製品(インターロッキングブロック等)を試作し、その試作品の物性評価を行い、利用への検討を行った。

3 実験結果および考察

3-1 前処理方法の検討

受け入れた焼却灰には造粒に不適な金属くずの他燃え残りの紙類が含まれている。また塊状に固まったものもあり、そのままでは造粒することはできない。このためまず焼却灰の搬入状況、その熱しゃく減量、含水率等を調査した。受け入れる「焼却灰」は事前に{熱しゃく減量・埋込に係る環境基準・含水率・数量}の提示を求め受入判定を行った。その結果、既存の排出事業者からの焼却灰は判定基準を満足するものであった。

焼却灰の粒度は予備試験においてふるい目が大きいと造粒しづらく、造粒物の圧壊強度のバラツキが大きくなり

¹ 沖縄県環境管理センター協同組合

強度の低いものがあった。このため、ふるい目「20mm以下」とし、また金属類の含有率は磁力選別機による前処理を加えることにより「1%以下」に設定した。

前処理は1次2次と段階的に行い、分級・不純物の除去が可能な機械を使用した。1次2次での前処理の際に飛散防止対策として焼却灰にある程度の含水量を持たせる対策を講じる必要があり、前処理後に天日乾燥棟にて自然乾燥が必要である。また、前処理した焼却灰を均一化させるため棟内にて時折、攪拌混合を行った。

3-2 造粒物の無機系特殊溶出防止剤、固化補助剤等の配合割合の検討

前処理した焼却灰を主原料にセメントと固化補助剤を配合し、「MLG」を添加し、造粒体を造り無害化、安定化を図った。

これまで使用していた固化補助剤(G)に替えてコスト削減を図るために同等な性質を持つ安価な製品(S)について土壤環境基準を満足し、同等な強度を持つ配合割合を検討した。「MLG」とセメント量を一定にし、固化補助剤(G)を(S)に変えた配合において土壤環境基準のうち焼却灰を原料とした場合溶出量が問題になると思われる六価クロム、鉛、カドミウムについて測定した。その結果、固化補助剤(S)を15%以上配合した造粒物は重金属類の溶出量に関して土壤環境基準を満足した。また、補助剤の添加量が増えるに従い若干強度は増加した。補助剤添加量と六価クロム溶出量、1週強度を表1に示す。

表1 固化補助剤の添加量の違いによるCr溶出量と圧縮強度の変化

No.	補助剤 (S)	Cr 溶出量	圧縮強度
1	10%	0.07 mg/l	5.8 Mpa
2	15%	0.02<	6.5 Mpa
3	20%	0.02<	8.6 Mpa

以上の結果を受け、固化補助剤(S)の配合量を決定した。これにより安全性の確保とともにコスト削減が図られた。

3-3 再生資源含有路盤材 RC-40の製造工程の確立

前述の原料の前処理方法や配合割合を基本に実施した再生資源含有路盤材 RC-40の製造工程を図1に示す。又、原料である焼却灰の元である燃え殻の受入フロー、判定基準を図2、表2に示す。

図1の工程中に製造される焼却灰造粒物を造粒物MZMIXと呼称する。造粒物 MZMIXは基本的に固化剤の固着効果及び水素イオン濃度 (pH値) の安定を図るうえで製造から約27日の養生が望ましいが、保管施設の容量又は製品生産能力・需要量などを考慮し最短造粒後14日を目安に出荷する工程を実施する。なお、環境基準・土質試験において安全性・安定性は確認済みである。表3に土壤溶出試験の結

果を示す。

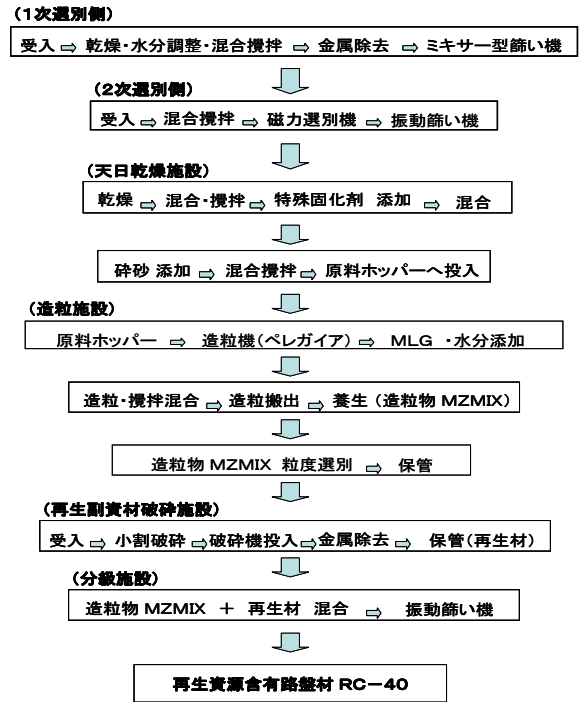


図1 再生資源含有路盤材の製造工程

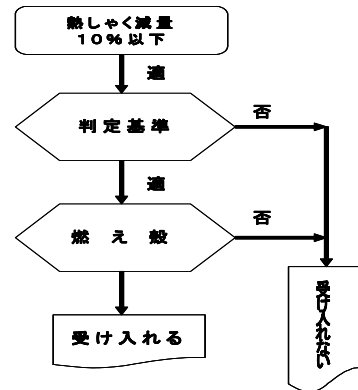


図2 燃え殻の受入フロー

表2 燃え殻若しくはばいじんを処分するために処理したものに係る判定基準

判定基準項目	基準
アルキル水銀化合物	アルキル水銀化合物につき検出されないこと
水銀又はその化合物	検液1リットルにつき水銀0.005mg以下
カドミウム及びその化合物	検液1リットルにつきカドミウム0.3mg以下
鉛又はその化合物	検液1リットルにつき鉛0.3mg以下
六価クロム化合物	検液1リットルにつき六価クロム1.5mg以下
砒素又はその化合物	検液1リットルにつき砒素0.3mg以下
セレン又はその化合物	検液1リットルにつきセレン0.3mg以下

表3 造粒物 MZMIXの土壤溶出試験結果

項目	試料名	造粒物	土壤環境基準
カドミウム		0.001未満	0.01以下
シアン化合物		不検出	不検出
有機リン化合物		不検出	不検出
鉛		0.005未満	0.01以下
六価クロム		0.01未満	0.05以下
ヒ素		0.005未満	0.01以下
水銀		0.0005未満	0.0005以下
アルキル水銀化合物		不検出	不検出
PCB		不検出	不検出
ジクロロメタン 他13項目有機化合物		検出限界以下	
セレン		0.002	0.01以下
フッ素及びその化合物		0.22	0.8以下
ホウ素及びその化合物		0.36	1以下

この造粒物MZMIXの捌け口として(株)久和建創既製品である再生路盤材の工法が適しており、沖縄県リサイクル資材認定申請に向けて「再生資源含有路盤材RC-40」の製造に取り組んだ。

造粒物 MZMIXは概ね20mmから10mm粒度が主流であり、単体によるすり減り試験では基準値をやや越える強度である。そのため再生副資材を混合することにより規格に適した製品を安定的に生産することができる。

当該製品規格は、沖縄県リサイクル資材認定制度において、再生資源含有路盤材 (RC-40) の「その他の再生路盤材」規格に該当する。下層路盤に使用する粒状路盤材は、粘土塊、有機物、ごみ等を有害量含まず下記の表4の規格に適合するものである。

表4 再生資源含有路盤材 (RC-40) の「その他の再生路盤材」規格

工法	種別	試験項目	規格値
粒状路盤	再生クラッシャーラン	PI(液性、塑性限界試験)	6以下
		修正CBR(%)	20以上(30以上)
		すり減り減量(%)	50以下
		粒度分布	曲線範囲内

「土木工事等共通仕様書」(沖縄県土木建築部)第1章第6節の『3-6-2アスファルト舗装の材料』より

上記、表4の試験項目について、表5 に製造した再生資源含有路盤材RC-40 の試験結果を示す。修正CBR、すりへり減量、粒度分布試験においては全て規格値をクリアし、適合している。前述の土壤環境基準も適合しているので再生資源含有路盤材として使用できる製品である。

表5 再生資源含有路盤材RC-40 の試験結果

項目	RC-40	下層路盤材の規格
ふるい分け試験	C-40の粒度範囲に適合	
すりへり減量	38.90%	50%以下
最大乾燥密度	1.707g/cm ³	
最適含水比	12.20%	
土粒子の密度	2.643g/cm ³	
修正CBR値	57.90%	20%以上

(*PI試験は液性限界試験、塑性限界試験ともに試験不可)

3-4 コンクリート二次製品への利用検討

作製した造粒物MZMIXを、骨材として混入したコンクリート二次製品(透水タイプのインターロッキングブロック)を試作した。その外観を図3に示す。



図3 試作したインターロッキングブロック

試作インターロッキングブロックについて、(社)インターロッキングブロック舗装技術協会 保水性舗装用インターロッキングブロック品質規格(暫定版)を参考に、保水性、吸水性試験を行った。また、JIS A 5371 プレキャスト無筋コンクリート製品 附属書2を参考に曲げ強度試験を行った。

1回目の試作品の物性測定結果を表6に示す。保水性試験以外は基準値よりも若干下回る数値を示した。但し、今回の試作品は造粒物MZMIXのみを既存の透水性インターロッキングブロックに配合した試作品であり、試作結果をみて配合条件等を検討していくことにした。

表6 1回目試作品物性値

試験項目	1回目試作品	基準値
曲げ強度 (N/mm ²)	2.71	3.0
保水量 (g/cm ³)	0.24	0.15
吸い上げ高さ (%)	48.14	70

吸水性を向上させる添加剤を混入した2回目の試作品の物性測定結果を表7に示す。1回目よりも曲げ強度、吸い上げ高さ(吸水性)は向上したが、基準値よりも下回る値であった。保水性は前回同様、基準値以上であった。

表7 2回目試作品物性値

試験項目	2回目試作品	基準値
曲げ強度 (N/mm ²)	2.78	3.0
保水量 (g/cm ³)	0.24	0.15
吸い上げ高さ (%)	57.80	70

曲げ強度を優先させる方向でセメントの配合量を増加した3回目の試作品の物性測定結果を表8に示す。曲げ強度は改善され、基準値をクリアした。保水性も基準値以上を示した。しかし、吸い上げ高さ(吸水性)は基準値を下回る結果であった。

表8 3回目試作品物性値

試験項目	3回目試作品	基準値
曲げ強度 (N/mm ²)	3.22	3.0
保水量 (g/cm ³)	0.25	0.15
吸い上げ高さ (%)	48.04	70

曲げ試験後の破断面を観察すると、骨材として混入した造粒物自体が破壊されていた。このことから、原料同士の結合力の改善のみではなく、原料の一つである造粒物自体の改善も必要と考えられる。そこで、骨材として混入している造粒物自体の強度向上、粒径等を検討することにした。

3-4-1 造粒物 MZMIX の改善

造粒物MZMIXを骨材として用いているインターロッキングブロックの物性値改善のために造粒体強度の検討を行った。

造粒物MZMIXは焼却灰に市販の砕砂を配合して造粒する。しかし、砕砂はコストが掛かるので、代替品を配合し、尚かつ造粒体強度を向上させたい。そこで、砕砂の代わりに株式会社久和建創が製造している再生砂を使用し造粒体を試作し、圧壊強度試験を行った。その結果を表9に示す。

表9 造粒体の圧壊強度試験結果

試料名	圧壊強度(N)
砕砂混合	168.9
再生砂混合	137.6

再生砂を使用した造粒体の圧壊強度は、砕砂使用造粒体より低い値を示した。そこで配合原料の粒径に着目し、細かい原料に変更して造粒体を試作し、圧壊強度試験を行った。その結果を表10に示す。

表10 造粒体(細原料混合)の圧壊強度試験結果

試料名	圧壊強度(N)
細原料混合	185.4

細原料を使用した造粒体の圧壊強度は、砕砂使用造粒体より高い値を示した。原料の粒径が小さくなった分、粒子同士の結合が密になり強度向上に繋がったものと考えられる。

3-4-2 コンクリート二次製品骨材用造粒物の評価

前述の改善造粒方法にて製造した造粒物(以下骨材用造粒物と呼称)を図4に示す。又、「JIS A 1109 細骨材の密度及び吸水率試験方法」にて測定した骨材用造粒物の密度と吸水率の結果を表11に示す。



φ 12mm以下 φ 5mm以下

図4 作製した骨材用造粒物

表11 骨材用造粒物の密度と吸水率

試験項目	骨材用造粒体	造粒物MZMIX
表乾密度 (g/cm ³)	1.96	1.92
絶乾密度 (g/cm ³)	1.56	1.56
吸水率 (%)	25.78	22.8

造粒物MZMIXより、表乾密度及び吸水率が若干増えており、これまでの造粒体より水を吸いやすくなっていると思われる。圧壊強度は向上しているため、「強くて水を吸う」保水性インターロッキングブロック用骨材としての特性が向上していると思われる。

3-4-3 骨材用造粒物を使用したコンクリート二次製品の作製

密度等の測定結果を基に各材料の配合量を算出し、骨材用造粒物を使用したコンクリート二次製品(保水性舗装用インターロッキングブロック、保水性舗装用300mm角平板)を試作した。その外観を図5、6に示す。



図5 試作した保水性舗装用インターロッキングブロック



図6 試作した保水性舗装用300mm角平板

上記の試作インターロッキングブロック及び300mm角平板について、保水性、吸水性、曲げ強度試験を行った。試作品の物性測定結果を表12、13 に示す。

表 1 2 保水性舗装用インターロッキングブロック
試作品物性値

試験項目	測定結果	基準値
曲げ強度 (N/mm ²)	4.59	3.0
保水量 (g/cm ³)	0.21	0.15
吸い上げ高さ (%)	48.73	70

表 1 3 保水性舗装用300mm角平板試作品物性値

試験項目	測定結果	基準値
曲げ強度 (N/mm ²)	3.72	3.0
保水量 (g/cm ³)	0.19	0.15
吸い上げ高さ (%)	55.01	70

造粒物MZMIX使用のインターロッキングブロック試験体の測定値は、「曲げ強度3.22 (N/mm²)」、「保水量0.25 (g/cm³)」、「吸い上げ高さ48.04 (%)」であった。骨材用造粒物使用の試験体の測定結果は、「曲げ強度4.59 (N/mm²)」、「保水量0.21 (g/cm³)」、「吸い上げ高さ48.73 (%)」となった。曲げ強度値の改善が大きく、保水量も若干値が下がっているが基準値 (0.15以上) をクリアしている。しかし、吸い上げ高さはほとんど改善されていない状況である。

300mm角平板試験体の測定結果は、曲げ強度は3.72 (N/mm²) と基準値3.0をクリア、保水量はインターよりやや下がるが0.19 (g/cm³) と基準値をクリアしている。吸い上げ高さは55.01 (%) とインターより高い値だが基準値70 (%) に達していない状況である。

両試作品において吸い上げ高さが基準値に達していないので、吸い上げ高さの改善のため、300mm角平板の検体の内、吸い上げ高さ最高値(61.71%)と最低値(48.98%)の曲げ破壊断面について、断面を1cm幅で区切ってスケッチしていく方法にて観察した。結果、吸い上げ高さが良い試験体の方が、造粒体が少ないことが観察された。特に中間層において差があるように感じられる。(但し、破壊断面部分における比較においてである。)

今後は、骨材容積率を、現状よりも低く基準値よりも高い範囲に設定するなどの改善策を検討し、試験体を作製し評価していく予定である。

4 まとめ

本共同研究では造粒物についてその製造コストを念頭に置き、薬剤、セメント量等の適正量を求め、その安全性、品質などを確認し、造粒物の路盤材などへの利用を検討し

た。そして沖縄県リサイクル資材認定制度への認定取得に向けた再生資源含有路盤材 RC-40の製造工程及び品質管理等の確立を進めた。又、認定取得と平行して、造粒物を骨材として混入したコンクリート二次製品の作製を検討した。

その結果、焼却灰を原料とした造粒物についてコスト削減とともに安全性を確保し、下層路盤材の規格を満足する品質を得ることができた。

搬入管理から選別精度の向上、「燃え殻」の無害化を基本に高品質の「再生資源含有路盤材」を製造する技術は、確立したと思われる。なお、本再生資源含有路盤材 RC-40は平成18年11月付けで「造粒再生砕石 (RC-40)」の名称にて、沖縄県リサイクル資材認定制度の認定を取得した。

原料の前処理方法や配合割合を検討し改善が見出せた造粒方法にてコンクリート二次製品の骨材用造粒物を製造し、コンクリート二次製品を試作した。評価項目の一つである「吸い上げ高さ」が基準値に達しなかった。今後は、骨材容積率を、現状よりも低く基準値よりも高い範囲に設定するなどの改善策を検討し、試験体を作製・評価し、リサイクル認定資材取得を目指していく計画である。

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターにご連絡ください。