

技術開発報告概要書

補助金事業名（事業番号）：一般廃棄物と産業廃棄物を融合した高度利用技術の開発（J1511）

補助金事業者名：間組

1. 技術開発担当・照会先

株式会社間組 技術・環境本部 技術研究所 技術研究部 先端研究室 佐々木 肇

〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1

TEL：029-858-8815 FAX：029-858-8829 E-mail：hsasa@hazama.co.jp

2. 技術開発の目的と開発内容

2.1 技術開発の目的

(1) 技術開発の概要

一般廃棄物などの溶融スラグの年間発生量は約 15 万 t（1998 年度）に対して、そのリサイクル率は 22%と低水準であり、リサイクル率を高めることが重要である。その用途として、年間約 5～6 億 t も消費されているコンクリート用骨材が期待されている。しかし、溶融スラグをコンクリート用骨材として使用した場合、コンクリートのスランプ（フレッシュ状態のコンクリートの流動性を示す指標）強度、耐久性が低下する。このため、天然骨材と混合使用（一般的な溶融スラグの置換率は 30～50%）されており、溶融スラグ使用量は限定的なものになっている。

本事業においては、産業廃棄物の最終処分量の約 5%を占める石炭灰・ペーパースラッジ焼却灰（以下、PS 灰）・汚泥焼却灰等の粉体系廃棄物（以下、粉体廃棄物）を溶融球状化パウダー（以下、溶融パウダー）化し、溶融スラグと合わせたコンクリート用骨材（以下、リサイクル骨材）、建設発生土や建設汚泥の流動化処理土等の建設資材として再資源化する技術を開発する。

(2) 技術開発の最終目標

最適溶融パウダー化条件（目標球状化率：90%以上）の把握と、溶融パウダーのリサイクル技術を確立する。リサイクル骨材及び流動化処理土の品質目標は、従来製品と同等の品質とする。

2.2 開発内容

(1) フレーム溶融炉による粉体廃棄物溶融パウダー化技術の確立（担当：中外炉工業）

- 1) 試験設備の規模及び設置基数：溶融パウダー化実証炉（フレーム溶融炉、処理能力約 20kg/h）1 基（平成 14 年度建設済み）。
- 2) 処理対象廃棄物の種類：石炭灰・PS 灰・下水汚泥焼却灰等の粉体廃棄物。
- 3) 試験条件：各粉体廃棄物に対する試料の供給量、燃焼空気の供給量、燃焼条件を把握し、溶融パウダー化による重金属類の含有・溶出量の変化を確認した。
- 4) 試験回数：粉体廃棄物を 36 種類収集し、最適溶融パウダー化条件を把握した。

(2) 溶融パウダーのリサイクル技術の開発（担当：間組）

溶融パウダーのリサイクル技術であるリサイクル骨材、流動化処理土について次の検討を行った。

- 1) 溶融条件を変えた溶融パウダー 5 種類及び原料の異なる溶融パウダー 36 種類を使用したコンクリートのスランプ、強度（42 配合）、耐久性（25 配合）改善効果の確認。
- 2) コンクリート二次製品 2 種類を試作し、製品性状及び強度、施工性を確認。
- 3) 溶融パウダーを使用した流動化処理土の配合、土質試験（192 種類）の実施。
- 4) 溶融パウダーを使用した改良コラムの配合、土質試験（50 種類）の実施。

(3) リサイクル製品の安全性評価方法の研究

リサイクル製品の長期安全性の検討するため、重金属類の溶出状況の確認を行った（10 配合）。

(4) 事業化採算性の検討（担当：間組、協力：中外炉工業）

リサイクル製品の事業化方法を検討しビジネスモデルの構築を行った。

3 . 技術開発の成果

3.1 溶融パウダー化技術の確立

(1) 粉体廃棄物の溶融パウダー化技術の確立

試料供給量を 10kg/h、15kg/h、20kg/h に変化させ溶融パウダー化処理を行った場合の球状化率の変化を表 - 1 に示す。

表 - 1 試料供給量を変化させた場合の溶融パウダー球状化率

試料名	球状化率 (%)				試料名	球状化率 (%)			
	処理前	10kg/h	15kg/h	20kg/h		処理前	10kg/h	15kg/h	20kg/h
SS0201	0	55.1	45.1	28.9	FA0101	15.2	57.3	52.5	46.2
SS0301	0	89.2	89.9	90.1	FA0201	51.4	73.1	77.3	80.0
SS0401	0	94.8	90.2	89.9	FA0301	43.4	57.1	64.6	52.8
SS0501	0	98.9	64.8	63.0	FA0401	43.6	62.4	67.7	59.2
SS0601	0	94.1	91.5	88.9	FA0403	2.8	76.5	62.5	41.3
SS0701	0	91.3	91.0	54.0	FA0501	43.6	74.7	66.7	72.5
SS0801	0	95.9	76.3	55.8	FA0701	58.1	68.6	59.6	58.8

下水污泥焼却灰では多くの試料において目標の球状化率 90% 以上となる最適条件が得られたが、石炭灰では得られなかった。これは、石炭灰は下水污泥焼却灰と比較して融点が高いため、今回の実証炉では火炎長が不足しているものと推定される。

最適球状化条件における溶融パウダーの物理的性状を表 - 2 に示す。溶融パウダー化処理により粒子形状が良くなり密になるため、かさ密度が増加し、比表面積が大きくなる傾向が見られた。

表 - 2 物理的性状確認試験結果

試料名	溶融前 (粉体系廃棄物)				溶融後 (溶融パウダー)			
	密度	かさ密度	比表面積	平均粒径	密度	かさ密度	比表面積	平均粒径
	g/cm ³	g/cm ³	m ² /g	μm	g/cm ³	g/cm ³	m ² /g	μm
SS0201	2 . 5 1	0 . 5 2	6 . 3 0	25.079	2 . 0 9	0 . 9 0	0 . 3 3	46.124
SS0301	2 . 5 3	0 . 5 3	4 . 9 9	29.735	2 . 2 6	1 . 1 6	0 . 3 3	46.601
SS0401	2 . 4 7	0 . 6 4	6 . 2 2	16.604	2 . 2 3	1 . 0 8	0 . 3 3	23.884
SS0501	1 . 9 4	0 . 4 9	3 . 8 8	14.832	2 . 2 9	0 . 7 5	0 . 5 6	25.393
SS0601	2 . 4 5	0 . 6 2	6 . 4 2	15.801	2 . 3 4	1 . 1 3	0 . 6 6	19.462
SS0701	2 . 7 6	0 . 7 2	7 . 6 2	34.964	2 . 9 7	0 . 5 7	3 . 0 1	41.074
SS0801	2 . 7 4	0 . 6 0	2 . 7 5	45.852	2 . 4 7	0 . 8 5	1 . 3 3	68.669
SS0901	2 . 7 4	0 . 6 1	2 . 6 9	31.193	2 . 6 7	1 . 2 3	0 . 6 6	60.640
SS1001	2 . 5 8	0 . 5 0	1 0 . 1 0	11.781	2 . 3 4	0 . 9 2	0 . 6 6	27.728
FA0101	2 . 2 2	0 . 6 7	1 . 9 8	12.775	2 . 2 0	0 . 6 8	0 . 3 3	16.195
FA0201	2 . 2 3	1 . 0 1	2 . 6 5	15.180	2 . 2 4	0 . 7 4	0 . 8 5	16.890
FA0301	2 . 2 1	0 . 8 5	0 . 9 4	14.046	2 . 1 8	0 . 7 5	0 . 3 3	16.602
FA0401	2 . 1 5	0 . 7 5	2 . 8 9	22.388	2 . 1 2	0 . 7 5	0 . 6 6	21.571
FA0403	2 . 5 1	0 . 7 2	4 . 3 4	15.431	2 . 2 5	1 . 0 2	1 . 4 1	38.507
FA0501	2 . 1 2	0 . 7 2	1 8 . 5	20.849	2 . 1 8	0 . 7 5	1 . 3 1	21.446
FA0701	2 . 1 6	0 . 9 1	1 . 6 2	16.893	2 . 1 5	0 . 7 8	0 . 2 8	23.198

溶融パウダー化処理前後の試料の走査型電子顕微鏡写真を写真 - 1、2 に示す。

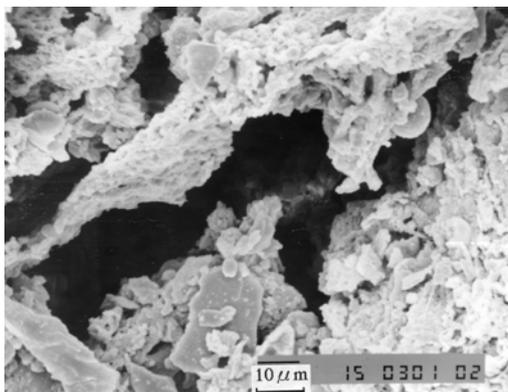


写真 - 1 処理前の下水污泥焼却灰 (SS0301)

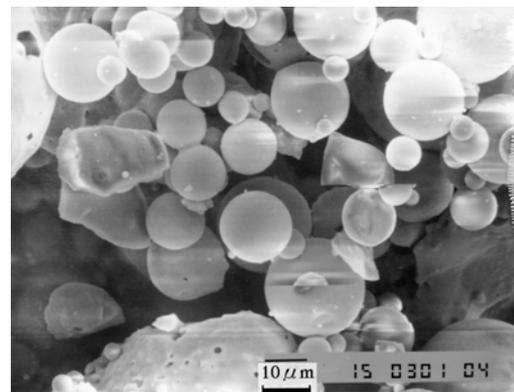


写真 - 2 処理後の下水污泥焼却灰 (SS0301H)

3.2 溶融パウダーのリサイクル技術の開発

(1) フレッシュコンクリートの特性

溶融スラグを変えた試験の結果、最適置換率は溶融スラグにより決まり、B01スラグの場合、最適置換率は8%であった。また、溶融条件の異なる溶融パウダーを用いて同様の試験結果から、試料供給量の影響は受けるが溶融温度には影響を受けていなかった。最適置換率を8%とし、異なる原料から製造した溶融パウダーで置換した場合のスランプと空気量の確認を行った結果を表-3に示す。

表-3 異なる原料から製造した溶融パウダーとスランプと空気量

配合	スランプ (cm)	空気量 (%)	配合	スランプ (cm)	空気量 (%)
SS0102	7.6	4.6	FA0101	2.7	3.0
SS0201	8.0	4.3	FA0201	7.2	4.6
SS0401	12.8	4.8	FA0301	7.2	3.8
SS0501	15.6	4.6	FA0302	4.0	3.3
SS0601	8.5	4.3	FA0401	4.8	3.3
SS0801	4.2	4.2	FA0403	4.9	3.3
SS0901	6.0	3.2	FA0501	3.7	2.3
SS1001	8.2	4.0	FA0701	5.2	2.8

(2) 硬化コンクリートの特性

コンクリートの強度試験結果を表-4に示す。

表-4 コンクリートの強度試験結果

配合	圧縮強度 (N/mm ²)			配合	圧縮強度 (N/mm ²)		
	7日	28日	91日		7日	28日	91日
天然	32.9	42.6	50.1	SS0801	30.0	34.0	41.6
B01P0	27.2	29.9	37.4	SS0901	30.8	34.8	44.3
SS0201-754	28.0	33.7	40.7	SS1001	31.9	37.7	45.3
SS0201-705	29.1	35.7	41.3	FA0101	31.6	37.8	50.8
SS0102	26.9	32.3	39.0	FA0201	31.2	37.7	50.1
SS0401	28.1	32.3	41.0	FA0401	34.4	39.8	53.2
SS0501	28.8	32.9	41.6	FA0403	34.3	40.9	52.5
SS0601	30.7	34.8	44.4	FA0501	34.1	40.9	52.3
SS0701	30.0	35.8	45.6	FA0701	34.1	40.5	49.7

(3) 流動化処理土の配合

石炭灰の一部を溶融パウダーに置換することにより流動性は向上し6~7%の減水効果が確認され、セメント量が削減できるためコストダウンとなる。図-1にブリーディング率とフロー値の関係を示す。溶融パウダーを配合した場合、高流動で同程度のブリーディング率を確保でき、3%未満を確保するにはフロー値を約280mm以下に設定する必要がある。

室内試験結果によって、高流動低高強度が満足できる配合を選定し、実規模の圧送試験を実施し現場適用性を検証した。試験にはピストン式のコンクリートポンプを使用し、

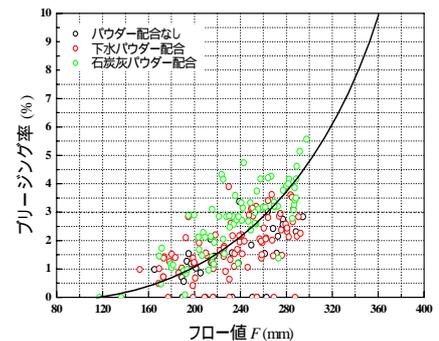


図-1 ブリーディング率とフロー値



写真-3 圧送試験フィールド



写真-4 充填性試験の様子

125mm×約 500m の圧送管を設置した（写真 - 3）。圧送前後の試料の品質と、管内圧力を計測し圧送性について確認した。圧送した材料は、内径 75mm の塩ビ管を密に配置した木箱（写真 - 4）に打設して充填性を確認した。

（４）改良コラムへの適用

振動を加えることで均質な改良体を築造する新工法（改良コラム工法）を模擬し、振動テーブルで 50Hz の振動を加えて供試体を作成した。強度試験結果を図 - 2 に示す。溶融パウダーの有無による強度差はほとんど確認されなかったが、溶融パウダーを添加すると、材料が均質な状態になるまでの加振時間が 10%程度短縮でき、施工時間の短縮の可能性が確認された。

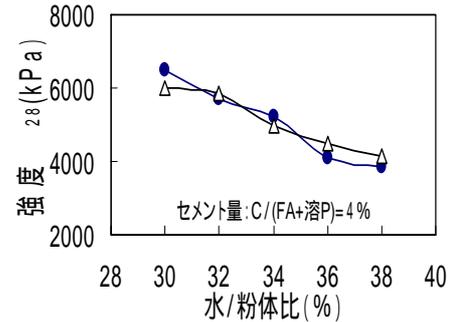


図 - 2 一軸圧縮試験結果の

3.3 リサイクル製品の安全性評価方法の研究

コンクリート製品の安全性を確認するため、環境省告示 46 号に基づく溶出試験を実施したが、今回試験に用いた試料からは重金属類は検出されなかった。しかし、長期的な安全性を確認するため溶出試験を行った結果、重金属類の溶出は確認されなかった。

3.4 事業化採算性の検討

人口 20～30 万人規模の地方都市において、関連する行政が協力しリサイクル化を行った場合、リサイクルを行わずに最終埋立処分を行うよりも 20～25%のコストダウンが可能であることが予想された。

しかし、PFI等の手法により独立した事業として実施した場合、行政からの支援がなければ事業成立は困難であった。この原因は、初期の設備投資（今回の検討では補助金なし）と運営人件費、粉体系廃棄物の運搬費などの増加によるものである。

4. まとめ

4.1 成果

本事業による成果を以下にまとめる。

（１）溶融パウダー化技術

下水汚泥焼却灰の球状化率は目標値の 90%以上となったが、石炭灰・PS 灰は 90%に到達しなかった。また、溶融条件によってはヒ素、セレン等の重金属類が溶出することがある。

（２）溶融パウダーのリサイクル技術

リサイクル骨材、流動化処理土として有効に利用できることが確認された。改良コラム工への適用性では品質には有意差はなかったが、施工性が向上するものと考えられる。

（３）リサイクル製品の安全性

長期的な安全性には問題はない。

（４）事業採算性

行政が実施する場合 20～25%のコストダウンになるが、民間事業では支援が必要になる。

5. 成果の事業化の見通し

下水汚泥をすべて溶融パウダー化した場合、溶融スラグのリサイクル率を現状の 3.3 万 t（発生量の 22%）から 100 万 t（2010 年の発生予想量の 100%）に増加することは可能と思われる。

また、電力会社の石炭灰は現状では処分コストが安いいため、溶融パウダー化はコスト的に不利になるが、民間発電所などでは低品質の石炭灰を排出し、高コストで処分しているため、有効な手法になりうるものと考えられる。