

FRP 廃船のセメント焼成リサイクル実証試験

輸送高度化研究領域 インテリジェント加工法研究G *秋山繁、林慎也、勝又健一

1. まえがき

近年増加傾向にあるFRP(fiber reinforced plastic : 繊維強化プラスチック(ガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂の積層複合材))船の海洋投棄、河川での放置艇の沈没船化等の社会的問題に対処し、循環型社会の構築や資源の有効活用等の社会的要請に応える必要が生じている。

そのため、FRP廃船の破砕片をセメント焼成用原・燃料として利用するリサイクル技術の確立を目的とするプロジェクトが、平成12年度から国土交通省海事局船用工業課により開始された。平成14年度は、以下の要素技術開発を試み、開発した装置を使用して総合実証試験(図1)を実施した。

(1)要素技術開発

- 自動発泡材分別装置の開発
- 自動油混合装置の開発
- 破砕機回転刃の最適材質の選定

(2)総合実証試験

効率的な廃船収集：瀬戸内海西部(広島県、岡山県、山口県)、静岡県(浜名湖)及び神奈川県(横浜市)で廃船を収集した。
解体実証実験：広島、因島、浜名湖及び横浜の4ヶ所で各自自治体の協力のもと実施した。
破砕～焼成実証試験：破砕～分別～混合工程を自動化するため、分別機及び混合機を開発製作した。また、実証試験は、ハンドリング、セメント炉への影響等を調べるため、麻生セメント田川工場に破砕機、分別機、油混合機を設置して、破砕～分別～混合～焼成までの工程の長時間実証試験を実施した。

2. 要素技術開発(破砕・混合)

2.1 自動発泡材分別装置の開発

(1)概要

FRP船にはウレタン等の発泡材が、FRPサンドイッチ材や断熱材として使用されているが、これらの塩素濃度は高い。セメント会社のFRP廃材受入れ条件として低塩素濃度が要求されているため、これらの分離を行う必要がある。しかし、人力に頼ることは経済的に問題があり、自動分別機の開発を試みた。開発した自動発泡材分別装置を図2に示す。

(2)分別原理

破砕したFRPをふるい(2mm)で大小に分ける。

小は主に樹脂で、振動フィーダでFRP粉砕物として回収する。

大はガラス繊維と発泡材で、振動フィーダで空気分別部に送る。

空気分別部で発泡材を吸引し、ガラス繊維と分別し、発泡材は収納箱に導く。

ガラス繊維は、振動フィーダによりFRP破砕物として回収する。

(3)自動発泡材分別装置の仕様

(a) 排出ベルトコンベヤ：1台

電動機：1.5kW、220V、60Hz、直入起動
主仕様：平ベルト450幅、機長：10m

(b) 振動ふるい機：1台

スクリーン目：2mm
電動機：振動モーター 1.1kW×2台、
220V、60Hz、直入起動
主仕様：振動数 850、能力：3ton/h
ふるい目面積：2.28m²

(c) 発泡ウレタン吸引装置：1台

型式：サイクロン式、容量：2.7m³

FRP 廃船リサイクルシステム総合実証試験

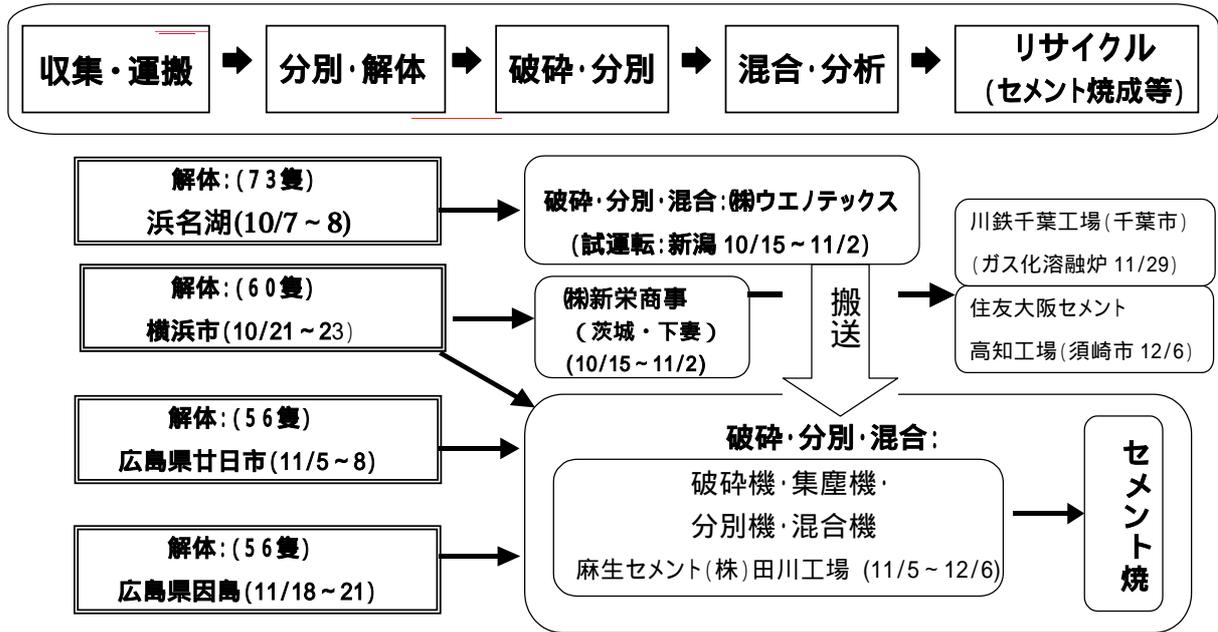


図1 FRP 廃船リサイクルシステム総合実証試験

2.2 自動油混合装置の開発

2.2.1 概要

平成12, 13年度においては、FRP 破碎物と混合する廃油をオープンスペースにおいて予備混合したあと、混合機内において混合した。その結果、予備混合時に大量に粉塵が発生した。この対策として、破碎物を装置内で直接油混合できる装置（図3）の開発を試みた。

2.2.2 混合原理

送られてくるFRP 破碎物量を自動計量する。破碎物量が定量に達すると油を放出し、油量は混合比率一定で自動制御する。混合機内において供給された破碎物と混合用油を1軸の螺旋状の羽根で混合する。

2.2.3 自動油混合装置の仕様

(1) 混練機 1台

型式：リボンスクリュー式（600）
電動機：全閉外扇 屋内形、5.5kW、



図2 自動発泡材分別装置

220V、60Hz、直入起動

主仕様：スクリュウピッチ、250mm

処理能力：FRP:3ton/h、重油:600kg/h

(2) 廃油タンク 1台

容積：3m³

材質：SS400

(3) 供給ポンプ 1台

型式：高粘・高濃度・スラリー・微粉体用
電動機：全閉外扇 屋内形、0.75kW、

220V、60Hz、直入起動
 主仕様：吐出量 1.0～17.0 L/min

3. 破碎機回転刃の最適材質の選定

3.1 概要

FRPは、ガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂との複合材料であり、FRP船のFRPには金属類が取り付けられている。船用のガラス繊維はチョップドストランドマット及びロービングクロスが用いられており、特にロービングクロスは強固で、破碎機の刃の摩耗が激しい。

刃を硬い材料にすると軟らかいものより摩耗は少なくなるが、材料は硬くなるほど脆くなり、金属等との衝撃で欠損する可能性が高くなる。また、硬い材料ほど価格も高くなる。

当プロジェクトを開始した時点では船用FRP専用の破碎機及び刃はなかった。そこで、平成13年度より、最適材質を選定するため4種類の材質により製作した刃をウエノテックス製一軸破碎機UC-130に取り付けてFRPの破碎を実施し、刃の摩耗量を調査している。

3.2 実験方法

平成13年度に用いた材料は、DC53、S55C、SCM440及びSKH51の4種類である。FRP破碎量が十分でなかったため、SCM440の摩耗量が大きかった以外はその他に顕著な差はでなかった。そこで、平成14年度も調査を継続することとし、SCM440の代替えとして超硬合金(JIS V50)を新たに加え、破碎実験を行った。破碎終了後、刃の重量変化等により消耗量(表1)を測定し、破損状況を加味して最適材質を選定した。

4. 解体

4.1 解体の概要

平成12、13年度の解体実験では、重機による解体が最も効率的であった。平成14年度も、重機(アタッチメント：フォークグリッパ等)で解体



図3 自動油混合装置

表1 破碎刃の摩耗量

材質	平成14年度 破碎刃取付数	平均摩耗量 (g / 個)
DC53	18	5.06
S55C	17	12.19
SKH51	16	7.60
超硬合金	15	4.70

を行った。解体場所は廃船発生場所とし、次工程の破碎機の投入口に合わせて1m角程度に解体した。解体時に発生する金属、木材等はセメント焼成には適していないので、人力等により分別した。

4.2 解体実施場所

解体実証実験は、静岡県(浜名湖)横浜市、広島市及び因島市の4カ所において実施した。使用した代表的な重機を図4に示す

4.3 解体スクラップ

得られたFRPスクラップ及び発生した金属等の量は、表2のとおりである。なお、造船所から工場内発生FRP廃材を得た。

非FRP材の素材毎の分別量が地域で大きく異なる理由として、解体事業者による分別能力、船種、船の状態が影響していると考えられる。なお、FRPと非FRP材は、ほぼ同量排出された。

5. 「破碎～分別～混合」試験

5.1 概要

供試材として使用したFRPスクラップは62.14トンである。その内2.54トンは、造船所の工場内発生FRP廃材である。試験の実施月日は、平成14年11月18日～29日の土日を除く10日間で、機器の実稼働時間は、約50時間であった。

5.2 実証試験場所への装置の設置

開発した油混合装置、分別機及びレンタルした一軸破碎機（ウレックス製UC-130、処理能力3ton/h）を麻生セメント田川工場に設置し、破碎～分別～混合試験（図5）を実施した。その試験システムを図6に示す。

5.3 破碎の実施

(1)実施概要

破碎機に20mmのスクリーンを装着し破碎した。なお、破碎時に発生する粉塵は集塵装置で回収し、最終的には破碎物と混合した。

(2)破碎結果

62.14トンのFRP破碎物を10日間で破碎した。破碎は、FRPスクラップの総量と分別以降の処理能力に合わせて断続的に破碎した。解体スクラップの金属分別が十分でなく、破碎機への投入前に投入用重機で分別した。

(3)考察

破碎物の輸送ベルトコンベア及び混合機の不具合等により、効率的な破碎機器の使用及び検証ができなかった。

混入金属による破碎機固定刃の欠損が生じたが、作業上支障はなかった。

超硬刃の摩耗量は少ないが、欠損が生じたため、DC53、SKH51が最適と判断した。

5.4 発泡材の分別

(1)実施概要

塩素濃度の制限に対処するため、塩素が多量に含有されている可能性のある発泡材を新たに開発した分別機により分別した。



図4 使用した代表的な重機

表2 解体スクラップの重量

(単位：重量トン)

	浜名湖	横浜	広島	因島	合計	造船所
FRP材（用途別）	10.46	22.69	19.14	17.16	69.45(44%)	2.54
総合実証試験	6.64	16.76	19.14	17.16		2.54
要素技術開発	3.82					
その他手法		5.93				
非FRP材（製品別）	17.06	28.2	19.71	17.22	89.19(56%)	
金属（ステン、アルミ、鉄）	1.74	13.50	4.73	5.90	15.87	
木くず	1.60	1.40	13.78	8.80	25.38	
その他（内装品、ウレタン、バッテリー、オイル）	13.72	13.30	1.20	2.52	30.74	
合計	27.52	30.89	28.85	34.38	158.64	



破砕機への投入（破砕機及び重機）



FRPとウレタンの分別（分別機）

FRPと廃油の混合（混合機）



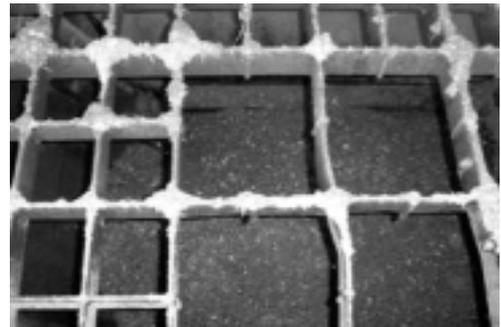
混合物の搬出



仮貯蔵状況



混合物のホッパー投入状況



混合物のホッパー内の状況

図5 麻生セメント工場での実験状況

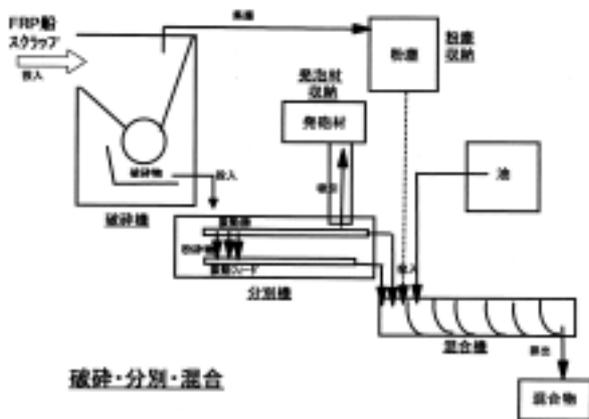


図6 破砕 - 分別 - 混合試験システム

表3 再生油及び混合物の塩素量及び発熱量

	油混合比率				再生油
	0 %	7 %	12 %	17 %	
発熱量 (kcal/kg)	4,322	4,494	5,195	5,035	9,846
塩素濃度 (ppm)	230	418	485	427	870
水分 (%)	4.6	7.2	10.1	9.8	-

セメント会社が常時使用している再生油を使用した。

(2)結果

試料送り速度が一定で調整が不可能であったので、下流能力以上に送ることがあった。吸引力が大き過ぎたために発泡材吸引時に多量の粉塵を吸引してしまった。この点を解決するには、機構の改良が必要であり、今回の実験での使用は実験半ばで中止し、重機及び手動による分別に切り替えた。篩の目詰まり対策が必要である。

5.5 廃油との混合

(1)実施概要

FRP破砕物の粉塵防止と発熱量の増加を目的に、FRP破砕物と再生油を混合した。再生油の混合量は、FRP破砕物の15-20%である。分別機を経て送られてくるFRP破砕物量を自動計量し、定量に達すると予めセットした油量を放出し、混合機内に送給された破砕物と混合用油を1軸の螺旋状の羽根で混合した。混合した再生油及び混合物の塩素量及び発熱量は、表3の通りである。

今回、麻生セメント田川工場では、目標とする混合物のカロリーは5,000kcal以上、塩素濃度は1,500ppm以下とした。

(2)結果

油供給量が順調に行われた場合は、混合比率17%で順調に混合が行われた。しかし、以下に示す油供給が一定しない状況が生じ、十分な混合ができないリスクを避けるため、混合比率を適宜微調整した。

油供給用のセンサー部の汚染による油供給スイッチの作動不良が発生した。

外気温が低い場合、油の供給困難が生じた。使用した再生油のロットにより粘度等物性に差が出たため、再生油供給量の不安定が生じた。

6. セメント焼成

6.1 概要

麻生セメント田川工場において、混合物約73.5トンプレヒータ用の燃料として使用した。

6.2 評価項目

混合物の連続処理を実証することを目的に下記の項目について調査した。

セメント代替燃料としての基礎物性評価
防塵性を中心とした作業性評価
特性評価
安定燃焼評価
残さ成分のセメント品質への影響評価

6.3 結果

試験的に製造した混合物は、油配合が10%以上では、ほぼ発熱量及び塩素濃度の条件を満たし、粉塵は発生しなかった。

抽出サンプル中に塩素濃度がきわめて大きいものがあった。

本試験で製造されたクリンカは、通常の製品として仕上げ工程で粉砕された。

投入直後に燃焼が発生し、残さがダクト内に付着する現象がみられた。

混合物はFRP単独製品に比べ防塵性は格段に向上していたが、局所的な若干の発塵がみられた。

7. まとめ

平成14年度は、FRPとウレタンとの分別装置とFRPと油の混合装置を開発し、FRP廃船(245隻)の収集から混合物(約73.5トン)のセメント焼成に渡る総合実証試験を行った。その結果、FRP廃船のリサイクルシステムとしてほぼ満足の行く結果が得られた。

また、油配合が約10~20%の混合物は、基本的物性及び実験から判断して、セメント代替の原・燃料として利用可能であることが分かった。

なお、平成15年度は、全国的レベルでの総合実証試験を行う予定である。