

77 FRP 廃船のセメント燃料へのリサイクルの試み

材料加工部 * 林 慎也、松岡一祥
高田篤志、古谷典子

1 まえがき

繊維強化プラスチック (FRP) が小型船舶の構造材の主力になって 40 年が経過し、FRP 廃船の処理・リサイクルが社会的な課題になってきている。本報告では、FRP 廃船のセメント焼成用燃料へのリサイクル技術の検討結果について述べる。

船舶用 FRP は、不飽和ポリエステル樹脂 60 % とガラス繊維 40 % の複合材料であり、約 4500kcal/kg の十分燃料に使用できる発熱量を持っている。また、ガラス繊維の主成分は Si、Ca、及び Al であり、これはセメントの主成分の 5 元素のうちの 3 元素 (その他の 2 元素は Fe、Mg) である。

従来 FRP のリサイクル方法は樹脂あるいはガラス繊維のいずれかをリサイクルする方法が試みられてきたが、セメント焼成用に利用した場合には、樹脂は燃料として、ガラス繊維は原料として同時にかつ残渣のない完全な再利用ができるため、FRP 廃船のリサイクル方法として極めて優れている。

なお、当研究は国土交通省からの委託研究として実施した。

2 セメント焼成用燃料としての必要条件

現在、我が国では年間 7000 ～ 8000 万トンのセメントが製造されているが、その製造に約 2500 万トンの廃棄物が原料あるいは燃料として使われている。セメント会社が廃棄物を受け入れる場合の条件の目安は以下のとおりである。

- ① 寸法が 20mm 角以下であること。
- ② 塩素濃度および重金属等有害成分濃度が低いこと。
- ③ 異物 (金属、石等) が混入しないこと。
- ④ 燃料として使用するためには発熱量が

5000kcal/kg 以上であること。

- ⑤ 粉塵 (特にガラス繊維の浮遊) が発生しないこと。

従来、FRP については、ガラス繊維の浮遊や粉塵の発生が現場担当者から嫌われ、セメント会社から受け入れ拒否をされていた。

3 セメント焼成用燃料の製造手順

以下の手順でセメント焼成用燃料を製造した。

① 供試 FRP

プレジャーボート、小型漁船等実廃船を用いた。

② 解体

次工程の破砕機への投入が可能な大きさ (1m 角以内) に建設機械により解体した。

③ 破砕

20mm ϕ のスクリーンを取り付けた一軸破砕機を使用して解体スクラップを破砕した。

④ 異物選別

解体時および破砕時に、人力により、FRP と金属、木材、発泡材等の選別を行った。

⑤ 成分分析

FRP 廃船の破砕物の塩素濃度、有害成分及び発熱量を調査した。また、基礎データを得るため船体付着の貝殻、FRP 単板、およびサンドイッチ用ウレタンフォームについても同様の調査をおこなった。調査結果を表 1 に示す。

⑥ 混合廃棄物の選択

セメント会社の受け入れ条件の 5000kcal/kg 以上の発熱量と粉塵 (ガラス繊維の浮遊) の無発生を満足するために、破砕物に高カロリーの重油系廃棄物を混合する方法を選択した。混合する廃棄物とし SPS ペレット (未燃カーボンと重油の混合物) を高発熱量 (6888kcal/kg) および

低塩素濃度(41ppm)の観点から選んだ。(分析結果 表 1)

⑦混合

FRP破砕物とSPSペレットをブレンダーで混合した。セメント炉投入を2回実施したが、1回10トンの投入量になるよう混合した。混合量および発熱量、塩素濃度、水分、L.O.Iの分析結果を表2に示す。

4 製造混合物の特性

①寸法

破砕物を20mm○のスクリーンを通して回収した。40mm程度のものが少量混在したが大部分は20mm角以下であった。

②発熱量

FRP廃船破砕物の発熱量は3000 - 4000 kcal/kgであった。本来FRP単板は4500kcal/kg弱であるので、破砕時に樹脂が飛散した結果ではないかと推察される。破砕物の発熱量が予定より低い値であったので、6888kcal/kgと高発熱量のSPSペレットと混合せざるをえなかった。その結果、要求値5000kcal/kg以上を得た。

③成分

重金属や塩素以外の成分濃度については問題にならないことが判明した。

セメント中の塩素の許容含有量はJISで200ppmと規定されている。持ち込み廃棄物の塩素濃度制限値はセメント会社により異なるが、ほぼ600ppmである。

FRP自体は塩素濃度は20ppmと低く問題はないが、構造材や保温材のサンドイッチ材に使用されるウレタンフォームにかなり含有されている。また、貝殻等付着物および木材には海水の影響で塩素濃度が高い。貝殻等の塩素は、水洗浄で1桁少なくなることを確かめたので、野積み等で風雨にさらされると塩素の問題は少なくなる。発泡材や木材は分別除去をする必要がある。

FRP廃船の破砕物のうち、表1のA、B、Cでは十分な分別後に破砕を行ったが、D、Eは海水付着のまま、かつ、発泡材や木材の分別も行わないで破砕した結果である。

高塩素濃度になったEについてはセメント炉投入実験から除外した。

④異物混入

人力による分別で金属等の混入はなかった。

⑤粉塵

重油系廃棄物との混合により、粉塵の発生に関して非常に満足できる結果が得られた。

5 セメント焼成実証試験

FRP破砕物とSPSペレットとの混合物をセメント会社二社に持ち込み、会社側による分析結果と混合物のチェックを受けた。受け入れ許諾により、持ち込み混合物とセメント工場所所有の汚泥類をホイールローダバケットにより十分混合し、セメント炉の予備燃焼炉の燃料として投入した。

セメント会社から以下の評価を得た。

①塩素濃度については許容範囲である。(第1回投入分は1200ppmと高塩素濃度であったが、投入セメント会社の許容範囲内であった。)

②粉塵の発生がほとんど観察されず、極めて良好である。

③粒度に関しては、少量混ざっている40mm程度のものは問題はない。

④他の汚泥類との混合作業も容易で、ハンドリングが良好である。

⑤臭気の発生に関しても問題はない。

6 あとがき

FRP廃船をセメント焼成用燃料としてリサイクルする技術を開発を試みた。従来、セメント会社が受け入れを拒否していた主な原因である粉塵を防止するため、重油系廃棄物との混合を試み、セメント会社の受け入れ条件に合格した。今後、セメント炉への長時間の投入実験を実施し、炉への影響等を明らかにし、セメント燃料へのリサイクルの実用化を目指したい。

最後に、実験にご協力いただいた、大協(株)、(有)新栄商事、ウエノテックス(株)、(株)佐野マルカ、(株)イタクラシッパード、日化スミエイト(株)、太平洋セメント(株)および住友大阪セメント(株)に謝意を表します。

表1 成分分析結果-12年度

分析項目	単位	FRP廃船A	FRP廃船B	FRP廃船C	FRP廃船D	FRP廃船E	FRP単板	ウレタンフォーム	付着物(貝)	SPSペレット
発熱量	Kcal/Kg	3,838	3,692	3750	2965	2882	4,481	5,413	105	6,888
塩素濃度	ppm	192	253	192	1700	4900	20	1,500	7,600	41
水分	%	2.0	1.9	16.4	25.6	27.5	1.5	74.0	1.7	23.0
L. O. I	%	61.8	61.8	62.0	59.2	61.1	65.5	99.7	45.2	51.5
SO ₃	%	0.48	0.18	0.05	0.25	0.20	0.75	0.2	0.23	2.52
Na ₂ O	%	0.39	0.45	0.12	0.31	0.31	0.11	<0.01	1.46	0.02
K ₂ O	%	0.23	0.26	0.21	0.23	0.17	0.2	<0.01	0.51	0.02
R-Hg	%	<0.000001	<0.000001	<0.02	<0.02	<0.02	<0.000001	<0.000001	<0.000001	<0.02
T-Hg	%	<0.00001	<0.00001	<0.02	0.08	0.03	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.02
有機P	%	<0.00004	<0.00004	<1	<1	<1	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<1
CN	%	0.00018	0.00062	<1	<1	<1	<0.00001	0.00017	0.0011	<1
PCB	%	<0.000004	<0.000004	<0.003	<0.003	<0.003	<0.000004	<0.000004	<0.000004	<0.003
トリクロロエチレン	%	<0.00004	<0.00004	<0.3	<0.3	<0.3	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.3
テトラクロロエチレン	%	<0.00004	<0.00004	<0.1	<0.1	<0.1	<0.00004	<0.00004	<0.00004	<0.1
Cd	%	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Pb	%	<0.01	<0.01	0.03	0.14	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
As	%	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zn	%	<0.01	<0.01	0.03	0.05	0.04	0.05	<0.01	<0.01	<0.01
Cu	%	0.02	0.02	0.03	0.03	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
T-Cr	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.66
F	%	0.17	0.20	0.21	0.10	0.15	0.16	0.03	<0.01	0.02
Br	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sb	%	<0.001	<0.001	0.33	0.010	0.005	<0.001	0.001	<0.001	0.026
Ti	%	0.13	0.11	0.40	0.31	0.25	0.78	<0.01	0.01	0.01
Se	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ni	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.39
B	%	0.62	0.77	0.67	0.40	0.39	0.49	<0.01	0.59	<0.01
Sn	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Zr	%	0.01	0.02	0.03	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
W	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Mo	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表2 廃FRP船破砕物とSPSペレットとの混合結果

<12年度第1回>

混 合 品 内 訳	混合重量 (Kg)	備 考
廃FRP船破砕品	4, 910	風袋(フロン重量を含む)
SPSペレット	5, 580	
配合量合計	10, 490	
出荷量合計	10, 160	

サンプルNO.	分析項目 (単位)				備 考
	発熱量 (Kcal/Kg)	塩素濃度 (ppm)	水分 (%)	L. O. I (%)	
NO. 1	5,435	1,200	19.4	61.0	混合開始後約 2ト目で採取
NO. 2	5,989	1,100	21.2	57.6	混合開始後約 8ト目で採取

<12年度第2回>

混 合 品 内 訳	混合重量 (Kg)	備 考
廃FRP船破砕品	4, 060	風袋(フロン重量)を含む
SPSペレット	6, 400	
配合量合計	10, 460	
出荷量合計	10, 460	

サンプルNO.	分析項目 (単位)				備 考
	発熱量 (Kcal/Kg)	塩素濃度 (ppm)	水分 (%)	lg. Loss (%)	
NO. 1	5,894	672	17.0	59.5	ブレンダーによる 混合開始後15分 毎にサンプリング。
NO. 2	5,886	534	17.0	54.1	
NO. 3	6,022	548	17.7	52.0	
NO. 4	5,799	701	14.4	50.2	
NO. 5	5,775	590	15.5	47.3	
NO. 6	5,891	370	17.0	46.3	
NO. 7	5,548	747	15.9	50.7	
平 均	5,831	595	16.4	51.4	