

リサイクル FRP の防雪柵への応用

Development of recycled FRP for snow fence

岩崎洋一*, 齋藤一志*, 小笠原大二*, 市川友博*, 對馬弘海**, 柴田勝司***

Youichi Iwasaki, Hitoshi Saitou, Daiji Ogasawara, Tomohiro Ichikawa, Hiromi Tsushima, Katsuji Shibata

*株式会社国土社 (〒039-3361 青森県東津軽郡平内町藤沢字竹達 1-1)

**北星レジン工業株式会社 (〒030-1303 青森県東津軽郡外ヶ浜町字蟹田姥ヶ沢 25-26)

***日立化成工業株式会社 新材料応用開発研究所 (〒308-8521 茨城県筑西市小川 1500)

Fiber reinforced plastics (FRPs) - light, high-strength and durable materials - are used for a variety of items, including bathtubs, automotive parts, railway vehicle parts and small vessels. However, FRP raw materials such as thermosetting resins (unsaturated polyester resins, etc.) make FRP difficult to recycle because they do not degrade after being molded. Therefore, almost FRP is disposed of by simple incineration and the reclaiming. The Hitachi Chemical industry developed "Normal pressure dissolution method" in such a social background. FRP is dissolved, processed under the normal pressure, and thermosetting resins and the glass fiber are separated. It recycles the FRP waste low-cost. In this research, the examination to produce the snow fence was done by using the glass fiber collected from the FRP waste by this technology.

Key Words: FRP, waste, recycling, snow fence

キーワード: FRP, 廃棄物, リサイクル, 防雪柵

1. 緒言

ガラス繊維強化不飽和ポリエステル樹脂 (Fiber Reinforced Plastic, 以下: FRP) は、高強度で耐環境性に優れかつ大型の機材に適し、生産性が高い¹⁾等の特徴を有する材料である。その用途および出荷量は、平成 20 年において住宅機材 (10.1 万トン)、建設資材 (3.9 万トン)、自動車車両 (3.8 万トン)、工業機材 (3.6 万トン)、タンク・容器 (2.3 万トン)、舟艇・船舶 (0.9 万トン) 等、総計 31.2 万トン²⁾となっている。FRP 協会の試算によると、FRP 廃棄物の廃棄量は、平成 22 年で約 42.6 万トン (住宅機材 17.7

万トン、建設資材 4.2 万トン、自動車車両 2.6 万トン、工業機材 5.0 万トン、タンク・容器 4.3 万トン、舟艇・船舶 3.9 万トン) と見込まれ³⁾、その大部分はリサイクルされずに単純焼却や埋立て処分されているのが現状である。しかし、これらの処理方法は、単純焼却の場合、ダイオキシンの発生や高カロリーによる焼却炉への負担⁴⁾、埋め立ての場合、体積がかさみ、耐久性があるため地中で腐敗せず、環境影響が大きい⁴⁾等の問題があり、その他、マテリアルリサイクルが検討されているものの、コスト上の問題で、普及していない⁴⁾。

このような社会背景の中、FRP 廃棄物をリサイクルすることを目的として、日立化成工業株式会社が常圧溶解法を開発した⁵⁾。この方法は常圧下で FRP を溶解処理し、不飽和ポリエステル樹脂分解物およびガラス繊維を分離・回収する。この方法の特徴は、設備面として、常圧下で処理できるため耐圧容器が不要、予備加工不要であるため破碎・粉碎の装置が不要等であり、これによって設備費用の削減による低コスト化が可能⁶⁾と考えられる。また物性面として、粉碎を必要としないためガラス繊維を不織布化可能な繊維長で得ることが可能、200℃以下の処理温度であるためガラス繊維が劣化しない等の特徴があり、回収したガラス繊維は再びFRPの原料として利用することが可能と考えられる。

一方、防雪柵は青森県の県管理道路において、平成18年度までの実績で約262kmが設置されている⁷⁾。地吹雪による視程障害を解消するために、年間約10km程度が継続して設置され、冬期間の交通安全の向上が図られている⁷⁾。しかし、設置作業や解体作業時、鉄鋼製の防雪柵の重量が重いことから作業員が巻き込まれる事故も少なくない。また、設置から年数が経過したものや海沿いなどの立地環境の厳しい場所では、防雪柵は腐食の進行が早い等の問題がある。これらの問題を解決する方法として、防雪柵の材料にFRPを適用することを考えた。

本研究では、リサイクル技術開発の急務な廃棄物であるFRPから得たガラス繊維を活用し、吹雪や吹きだまり防止を目的とした防雪柵へ応用するため、軽量かつ耐環境性に優れた防雪板の検討を行った。

2. 実験方法

ガラス繊維の原料であるFRP廃棄物は浴槽を製造する際に発生したSMC (Sheet Molding Compound) シートの端材を用いた。SMCシートの溶解は、株式会社国土社の溶解装置(溶解槽容積3,000L 日化設備エンジニアリング社製)を用いた。溶解装置を図-1に示す。SMCシートの端材を約400mm角に切断し、溶解籠に敷き詰め、溶解槽中に浸漬した後、表-1の条件で処理した。溶解処理で得られたガラス繊維(以下：リサイクルガラス繊維)を図-2に示す。

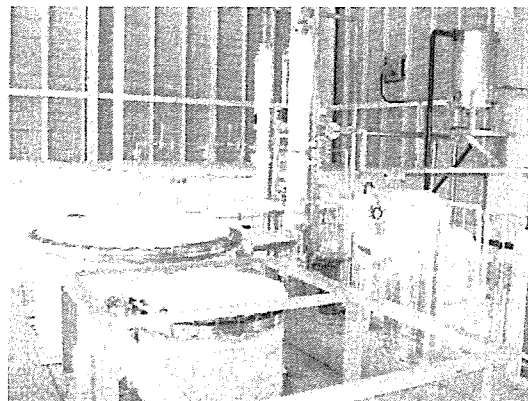


図-1 溶解装置

表-1 溶解処理条件

項目	条件
SMC シート(kg)	100
溶媒(kg)	2,000
触媒(kg)	61
溶解温度(℃)	60
溶解時間(h)	6

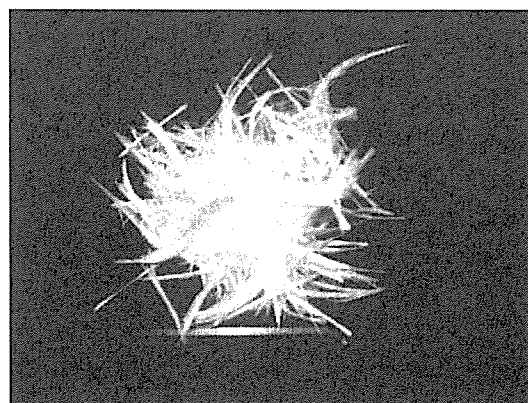


図-2 FRP 廃棄物から回収したガラス繊維

リサイクルガラス繊維は株式会社国土社のガラス繊維不織布製造装置を用い、不織布状(以下：リサイクルガラス繊維不織布)に成形した。リサイクルガラス繊維不織布の製作工程を以下に示す。

- a. リサイクルガラス繊維と熱融着繊維(ユニチカファイバー株式会社製メルティ 4080)をブレンダー機(池上機械株式会社製 NDS-G-G-25)で繊維をほぐし混合。

- b. 混合したリサイクルガラス繊維と熱融着繊維をカード機（池上機械株式会社製 48MF）でシート状（以下：リサイクルガラス繊維シート）に成形.
- c. リサイクルガラス繊維シートをクロスレイヤー機（池上機械株式会社製 2.0-60-IS）で積層し、目付け（単位面積あたりの質量）を調整.
- d. 積層、目付け調整したリサイクルガラス繊維シートを熱プレス機（河中産業株式会社製 CP-1600KN）で 1MPa（製品圧）、140℃・3 分の条件にて成形.

製作したリサイクルガラス繊維不織布の外観を図-3に示す.

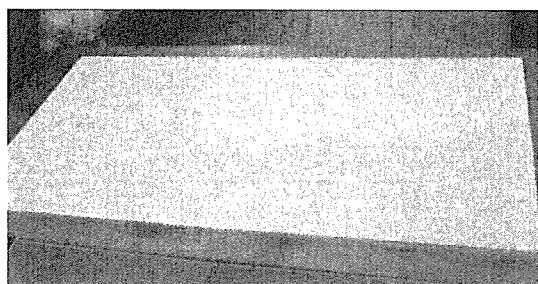


図-3 製作したリサイクルガラス繊維不織布

製作したリサイクルガラス繊維不織布を用いた FRP について、厚さの測定および強度試験を行った. 試験条件について、リサイクルガラス繊維不織布の製作条件は、目付けを 150g/m²、300g/m²、450g/m²、前記目付けそれぞれの熱融着繊維混合率を 5%、10%、15%、20%、25%、30%とした. また、FRP の成形構成を、以下の 3 通りとした.

- ① リサイクルガラス繊維不織布を 3 枚積層
（以下：リサイクル FRP）
- ② リサイクルガラス繊維不織布 1 枚を既存のチョップドストランドマット 2 枚でサンド
（以下：リサイクルサンド FRP）
- ③ チョップドストランドマットを 3 枚積層
（以下：既存 FRP）

FRP の成形構成を図-4 に示す.

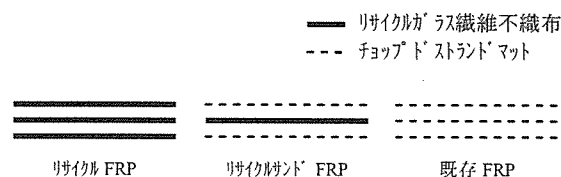


図-4 FRP の成形構成

FRP 試験片の成形は、材料としてリサイクルガラス繊維不織布、チョップドストランドマット（エヌエスジー・ヴェトロテックス株式会社製 目付け 450g/m²）、不飽和ポリエステル樹脂（昭和高分子株式会社製リゴラック）および硬化剤（日油社製パーメック（対樹脂混合率 1%））を用い、ハンドレイアップ法にて行った.

厚さの測定はマイクロメータ（株式会社ミットヨ製 MDC-25SB）を用いて行った. リサイクル FRP の厚さ測定結果を図-5 に、リサイクルサンド FRP の厚さ測定結果を図-6 に示す.

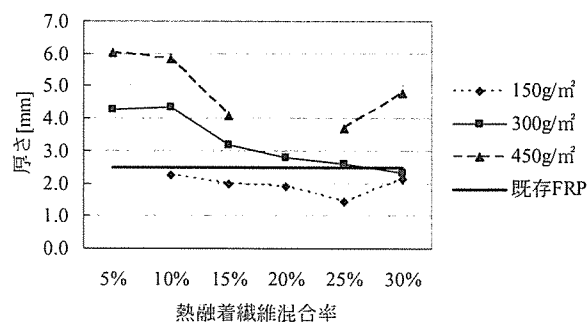


図-5 リサイクル FRP の厚さ

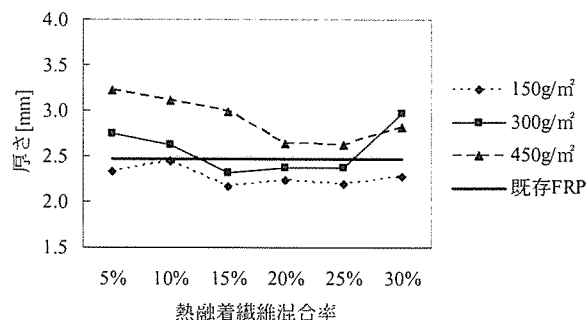


図-6 リサイクルサンド FRP の厚さ

リサイクル FRP は目付け 450g/m² および 300g/m² のリサイクルガラス繊維不織布を使用したものは既存 FRP よりも厚くなる傾向を示したが、150g/m² を

使用したものは薄くなる傾向を示した。また、リサイクルサンド FRP は 450g/m^2 を使用したものは既存 FRP よりも厚くなる傾向を示したが、 300g/m^2 および 150g/m^2 を使用したものは概ね同等か薄くなる傾向を示した。熱融着繊維が厚さに与える影響については、リサイクル FRP およびリサイクルサンド FRP ともに熱融着繊維混合率が増えるに従って薄くなる傾向を示したが、明白な結果は得られなかった。

厚さの測定結果からは、目付け 300g/m^2 のリサイクルガラス繊維不織布を使用したリサイクルサンド FRP が最も既存 FRP の厚さに近くなることが示唆された。

強度試験は強度試験機（島津製作所製 AGS-10kNG）を用い、曲げ強度および曲げ弾性率を JIS K 7171 に準じクロスヘッドスピード 2.0mm/min にて、引張強度を JIS K 7054 に準じてクロスヘッドスピード 5.0mm/min にて測定した。強度の測定結果について、リサイクル FRP の曲げ強度を図-7、曲げ弾性率を図-8、引張強度を図-9 に、また、リサイクルサンド FRP の曲げ強度を図-10、曲げ弾性率を図-11、引張強度を図-12 に示す。

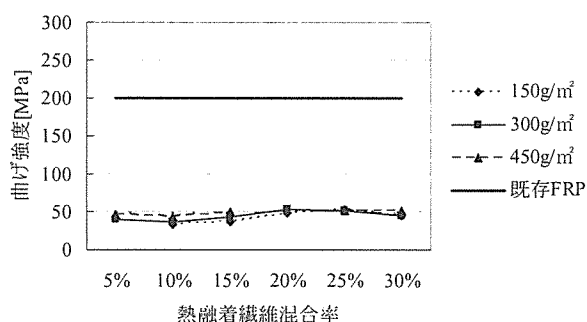


図-7 リサイクル FRP の曲げ強度

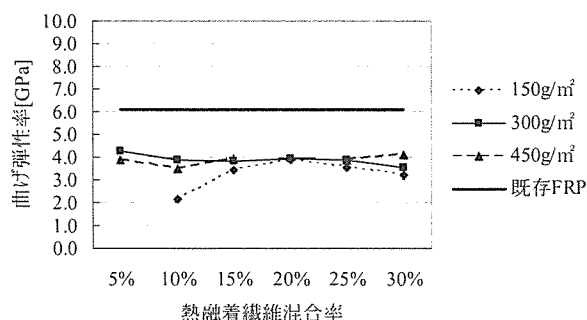


図-8 リサイクル FRP の曲げ弾性率

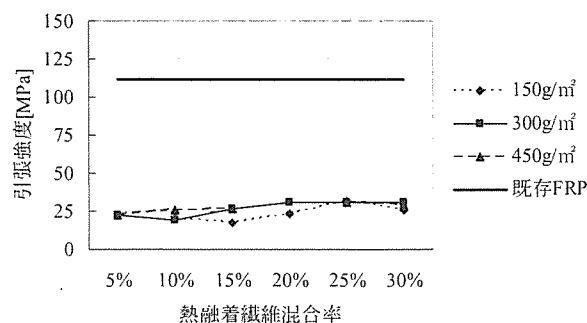


図-9 リサイクル FRP の引張強度

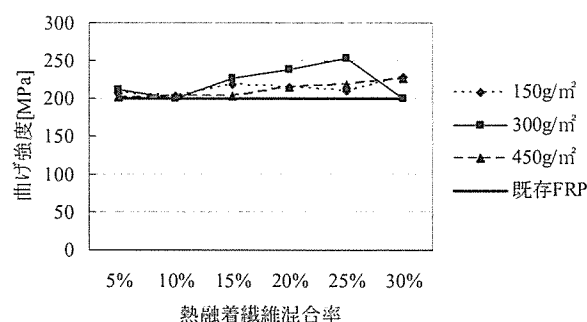


図-10 リサイクルサンド FRP の曲げ強度

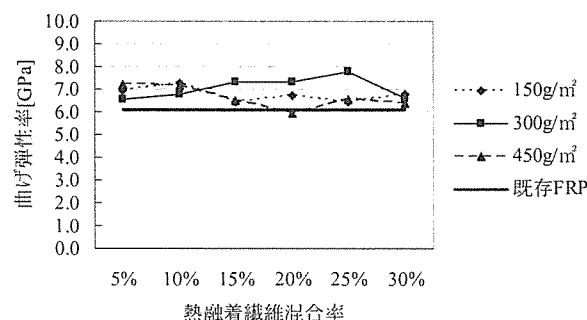


図-11 リサイクルサンド FRP の曲げ弾性率

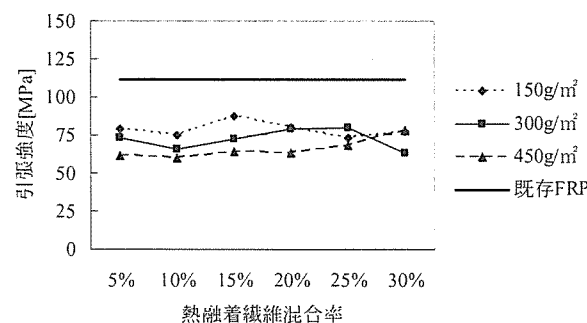


図-12 リサイクルサンド FRP の引張強度

リサイクル FRP の曲げ強度は既存 FRP の 25%程度、曲げ弾性率は 65%程度、引張強度は 23%程度の強度を示した。また、リサイクルサンド FRP の曲げ強度および曲げ弾性率は全ての目付けにおいて概ね既存 FRP よりも高い値を示し、引張強度は既存 FRP の 70%程度の強度を示した。熱融着繊維が強度に与える影響については、リサイクル FRP およびリサイクルサンド FRP とともに熱融着繊維混合率が増えるに従って強くなる傾向を示したが、明白な結果は得られなかった。

強度試験結果からは、FRP の成形構成をリサイクルサンド FRP とすることにより、既存 FRP と同程度の曲げ強度を有する FRP を製作できることが示唆された。

以上の結果より、防雪板の試作は、目付け 300g/m² のリサイクルガラス繊維不織布を使用し、FRP の成形構成をリサイクルサンド FRP で行うこととした。また、リサイクルガラス繊維不織布の熱融着繊維混合率については、前述の通り良い結果が得られなかったことから、今回は FRP に対するリサイクルガラス繊維の密度を上げることを考慮し 5%とした。

防雪板の試作は、材料としてリサイクルガラス繊維不織布（目付け 300g/m²、熱融着繊維混合率 5%）、チョップドストランドマット（エヌエスジー・ヴェトロテックス株式会社製 目付け 450g/m²）、不飽和ポリエステル樹脂（昭和高分子株式会社製リゴラック）および硬化剤（日油社製パーメック（対樹脂混合率 1%））を用い、ハンドレイアップ法にて行った。防雪板の形状は強度の向上、成形効率、収納時の省スペース化を考慮し円弧状とした。サイズは既存の防雪柵のフレームサイズ（幅 4000mm×高さ 3800mm）を参考にし、長さ 4000mm×幅 520mm とした。試作した防雪板を図-13 に、設置イメージを図-14 に示す。

成形後、防雪板の重さを測定した。測定結果は 15.5kg であった。既存の鉄鋼製防雪板の重さ約 36kg に対し、約 43%の重さとなった。

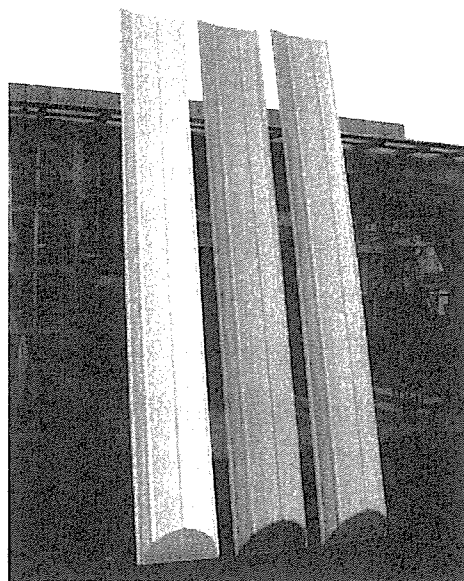


図-13 試作した防雪板

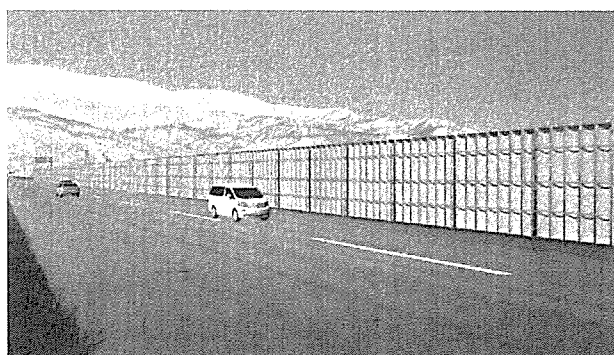


図-14 防雪板設置イメージ

3. 結果および考察

FRP 廃棄物から回収したリサイクルガラス繊維は、不織布化および FRP 化することが可能であり、防雪板の成形を行うことができた。リサイクルガラス繊維を利用した FRP の強度は、リサイクルガラス繊維不織布をチョップドストランドマットでサンドすることにより、既存の FRP と同程度の曲げ強度となった。重量は既存の鉄鋼製防雪板の約 43%であるため、設置および解体時、作業者のリスク軽減に繋がることが予想され、防雪柵への応用も可能であると考えられる。

今後、既存の防雪板との比較、防雪板の風洞実験、強度試験および耐環境性試験等を行い、来冬には実設置試験を行う予定である。また、熱融着繊維がFRPの厚さおよび強度に与える影響について再度試験を行い、リサイクルガラス繊維不織布およびリサイクルFRPのさらなる品質向上を目指した研究を行っていく。

謝辞

本研究の一部は、平成19年度中小企業新事業活動支援補助金「使用済みFRPから回収したガラス繊維のマテリアルリサイクルに関する研究開発」内で得た成果であり、ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

1) フィラー研究会：複合材料とフィラー，シーエムシー出版，p.256，1994.

- 2) 社団法人 強化プラスチック協会：FRP 用途別出荷量，ホームページ，<http://www.jrps.or.jp/frpd/b/sizyou.html>.
- 3) 社団法人 強化プラスチック協会：FRP 廃棄物の現状，ホームページ，http://www.jrps.or.jp/frpcenter/st1_genjyou.html.
- 4) 辺吾一：資源循環型FRP複合材料，機械の研究，Vol.57 No.5，pp.544-550，2005.
- 5) 柴田勝司他：常圧溶解法によるFRPリサイクル技術，日立化成テクニカルレポート，No.42，pp.21-24，2004.
- 6) 前川一誠：常圧溶解法によるFRPリサイクル技術，強化プラスチック，Vol.52 No.6，pp.251-254，2006.
- 7) 青森県：平成19年度 事業評価調書，ホームページ，http://www.pref.aomori.lg.jp/seisaku_hyoka/19result/hyoka19/jigyo/5410B756.htm.