

(株) 間組技術研究所 正会員 下村嘉平衛

〇 泰 隆次郎

〇 福岡 隆志

1. 目的

FRPやガラス繊維補強レジコンクリート等の複合材料を使用した低温物容器における部材接合部の構造について、熱収縮を吸収する形式を提案し、その特性を実験によって検討した。

2. 実験内容

ガラス繊維補強レジコンクリート部材をFRPで接合する方法を想定し、図1に示す2種類の継手構造の試体を作成した。図1の平形継手は熱収縮に対して力で抵抗するものであり、波形継手は波形FRPの変形によって熱収縮を吸収するものである。

実験では波形FRPの変形特性を調査するための引張試験、および試体を拘束して接合部を冷却し低温時における接合部の挙動や部材に発生する熱応力を調査するための冷却試験を行なった。冷却試験装置を図2に示す。

冷却試験の試体は幅20cm、厚さ1cm、全長1.4m、自由長1.1mであり、引張試験の試体は幅8cm、厚さ1cmである。接合部のFRPは3plyと5plyの2種類があり、平形継手では現場成形、波形継手では波形FRPを別途製作し二次接着した。

3. 実験結果

(1) 引張試験

引張試験結果を図3に示す。

図3によると3plyの波形FRPは変形量が10mmになったところから急激に勾配が変化しており、波形の変形によって10mm程度までは熱収縮を吸収できると推定される。一方、5plyの波形FRPはほぼ直線的に変化しており、変形による熱収縮の吸収はあまり期待できないと考えられる。

強度は3ply、5plyとも約140kg/cmとなっており、FRPの厚さから応力度を求めると3plyで約700kg/cm²、5plyで約400kg/cm²となり、一般のFRPの引張強度2,000~4,000kg/cm²よりかなり小さくなっている。これは波形FRPが引張荷重で曲げ変形を受けたためによると考えられる。

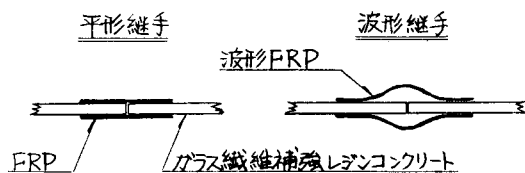


図1 継手構造

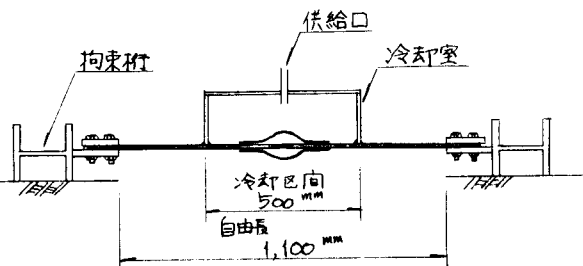


図2 冷却試験装置

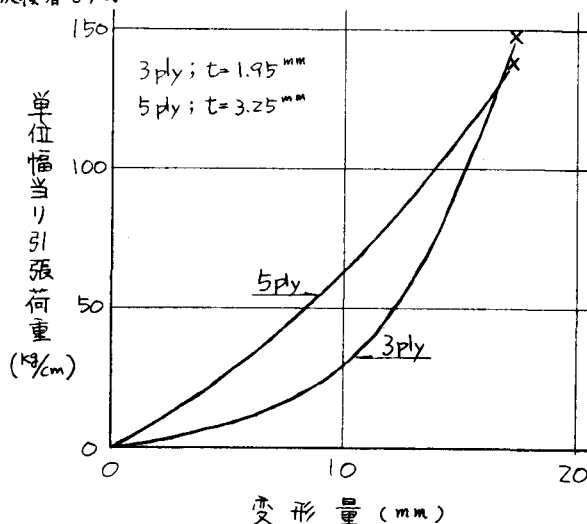
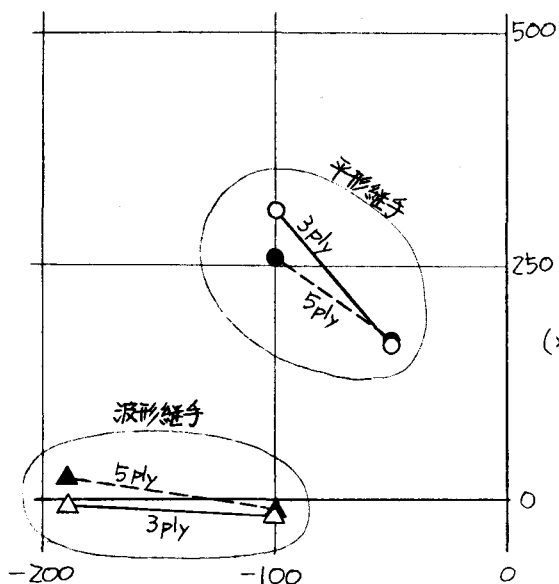


図3 変形特性(引張試験)



冷却部平均温度 (°C)

図4 冷却部温度とひずみの関係

平形継手の炭試体の冷却部の温度が液体窒素の温度近くになったときひずみの計測結果によると、一筋に大きなひずみ(数 1000×10^{-6})が発生しており、熱応力によってクラックが発生したと考えられる。

また、炭試体の温度分布から自由収縮量を計算で求めると、冷却部が -100°C のとき 0.8mm 、 -190°C のとき 1.4mm となり、波形継手の炭試体に発生しているひずみがひじょうに小さいことから、波形FRPの変形によって 1mm 以上の熱収縮を吸収したことが推定された。実験終了後の観察によると、平形継手の炭試体では一筋にクラックの発生が認められたが、波形継手の炭試体には何らの異常も見えなかった。

4. 二次元波形FRP

これまでの実験は一方向にのみ熱収縮を吸収する構造であるが、実際の低温物容器では二方向に熱収縮を吸収

する必要がある。このため、図5に示すような二方向に波形があり、熱収縮を吸収できる二次元波形FRPを製作し、一次元と同様に引張試験、冷却試験を行なってその特性を調査した。その結果、引張試験による変形特性を一次元と比較してみると、変形の小さい間のply同志はほぼ同じ値を示していたが、その他の場合は異なった値となっていた。一方、冷却試験では一次元と同様に 1mm 程度の熱収縮を二方向について吸収したことが推定された。

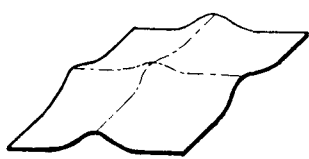


図5 二次元波形FRP

5. まとめと今後の課題

以上の結果から、波形FRPを使うことによって低温物容器に発生する熱応力を一方向だけでなく二方向に小さくできることが確認されたことになる。しかし、波形の大きさやピッチ、許容変形量の設定などの設計方法や単純かつ確実な施工法については問題が残されており、FRPやガラス繊維補強レジンコンクリートによる低温物容器の実現にはさらに詳細な検討が必要となろう。

なお、この研究は(株)日本海洋開発産業協会が日本小型自動車振興会より補助金をうけて行なっている「低温エネルギーの海洋輸送・備蓄一貫システムの研究補助事業」のうち共同組が担当したもの的一部であり、研究にあたり御指導、御協力をいただいた中央大学をはじめとする作業部会各位に謝意を表する。

(2) 冷却試験

冷却は低温窒素ガスおよび液体窒素を使用して約4時間かけて行なった。

温度の計測結果によると、冷却区間では液体窒素の温度(-196°C)まで冷却されていたが、その他の部分はあまり低温になっておらず、拘束部ではほとんど常温であり、冷却室から 5cm 離れたところで数 10°C であった。

平均ひずみ(× 10^{-6}) ひずみの計測結果を図4に示す。図4の平均ひずみとは炭試体の124所の計測値の平均を意味している。図4から、平形継手の炭試体では冷却部が -50°C のとき約 150×10^{-6} 、 -100°C のとき約 300×10^{-6} のひずみ(熱応力による)が発生しているが、波形継手の炭試体ではほとんどひずみが発生していないことがわかる。また、波形継手では3plyよりも5plyの炭試体の方がやや大きなひずみが発生していることがわかる。