

FRP船のリユース技術の確立

1. 標準化船の開発研究

平成12年度：概念設計及び基本計画策定

平成13年度：要素技術開発、詳細設計（構造解析含む）

平成14年度：実験船を建造し、安全性評価試験等を実施



2. ブロック化及び接合技術の開発研究

平成12年度：概念設計、接合方法の開発及び試験片による強度試験、性能試験

平成13年度：箱形模型による強度試験等

平成14年度：実験船を建造し、強度試験等を実施



3. FRP船の劣化診断技術の開発

平成12年度：FRPの剥離による強度低下を超音波で推定する手法の開発研究

平成13年度：FRPの含水率を超音波で測定する手法の検討

平成14年度：劣化診断実証器を試作し、含水率の定量化及び剥離材の強度低下度の調査を実施

（参考：単年度事業）

平成13年度実施内容

加水分解（FRPゲルコート表面劣化）抑制に関する調査・研究
FRP船の補修技術の標準化に関する研究

平成12年度実施内容

FRP船の実態に関する基礎調査及びリユース技術の現状調査
塗装技術の開発研究

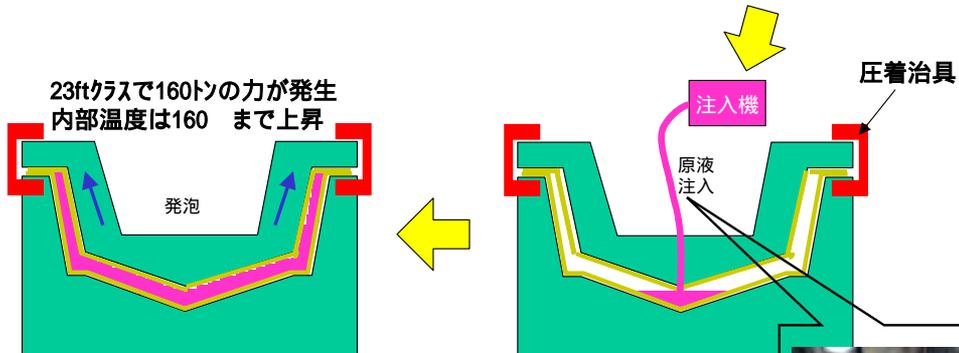
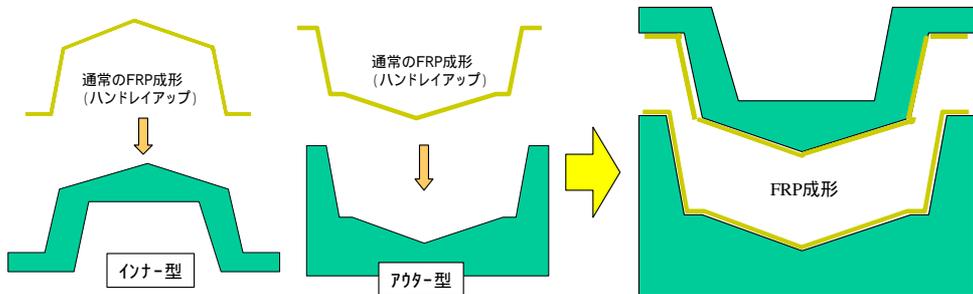
1. 標準化船の開発研究

1 - 1. 実艇注入試験

概要

- 実物大の発泡型を用いて、注入条件（注入量、エア抜き仕様、硬化時間等）を変え、9回のウレタン注入試験を実施。
- 発泡圧力、発熱温度、ウレタンの伸展距離密度分布等を計測し、発泡構造艇建造に必要な設計要件、工程要件、設備要件を分析。

船殻をアウターとインナーより構成し、中にウレタン発泡体を充填する工法



考察

- 伸展距離やウレタン密度を確立。
- ウレタン内にVoidが発生しないエア抜きの位置確認。
- 冬季には型温度調整が必要となることが今後の課題。
- 発泡構造艇建造に必要な、型、船体及び工程設計要件等の整理。

1 - 2 . 実験艇の建造

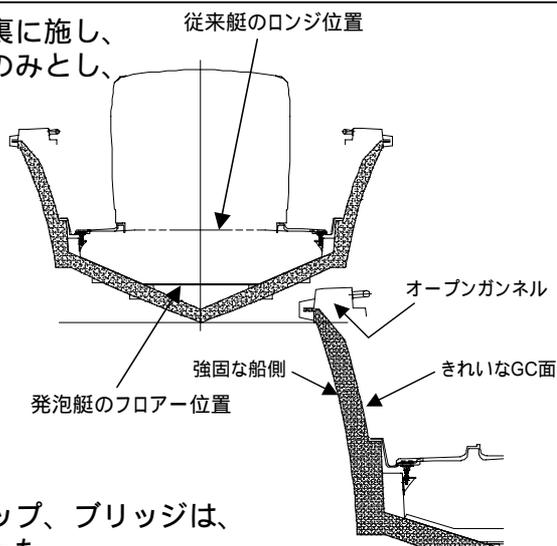
概要

- 組合せ構造検証のため、発泡構造船体を用いて、デッキ、ブリッジなど大型FRP部品の締結及び各種艀装部品（推進・操舵・電装・配管など）の組み付け。
- 使用する部品は、新規技術開発部分を除き、十分汎用性があり入手容易な物を選択。

船内艀装：船内艀装は、全てデッキ裏に施し、船体への搭載に際しては、端末の接続のみとし、分解・組立性の向上を図った。



操船席裏側：配管・配線集中接続部



組合せ構造：デッキ、ブルワークトップ、ブリッジは、全て機械締結方式を採用し、検証を行った。



デッキ搭載状態



ブルワークトップ搭載状態



ブリッジ搭載状態



デッキ受金具
(新規技術開発部品)



ブルワークトップは
ボルト締結



ブリッジはボルト締結

考察

- 組合せ構造の造り込みとその有効性を確認。

1 - 3 . 安全性評価試験

概要

- 開発された標準化船が、一般ユーザーによる通常の使用（航走）状態に於いて、その性能と安全性が確保されているかを評価することを目的とした。

評価項目		結果			備考
		軽荷(1674Kg)	中荷(1824Kg)	重荷(2124Kg)	
通常航走評価	速性能試験	31.3kt/5795rpm	31.3kt/5776rpm	29.0kt/5711rpm	MAX速度/回転数
	航走PIA (対静止PIA)	2.2deg	1.7deg	2.8deg	
	加速性能試験 (0~200m)	18.8sec		24.2sec	
	頭下げ試験	5.8sec		10.2sec	
	急停止性能試験	78m/9.34sec		76m/9.76sec	停止距離/停止までの時間
	後進性能試験	・転舵にてS字航走でき問題なし ・目標とする方向に到達でき問題なし			軽荷にて評価
	視界試験	9.9m 航走上問題なし	10.1m 航走上問題なし	10.2m 航走上問題なし	視認できる前方海面までの最低距離
	旋回性能試験 (軽荷3/4出力時)	右 旋回径35m 旋回タイム14.1sec 旋回傾斜角19.0deg 左 旋回径30m 旋回タイム14.0sec 旋回傾斜角19.2deg			
	復原力試験	GM = 1.09m (排水量1804Kg) 問題なし			
強度評価	耐久航走試験	評価は終了、解析中			
	縦曲げ試験	JCI規格を満足し、且つ従来艇同等であり問題なし			
射水評価	射水試験	JCI規格を満足している (水密設定力所からの水漏れはなし)			
不沈評価	浮力試験	十分な浮力が確保できており、且つ浸水状態において復原力を有している			



不沈評価



耐久走行試験

考察

- 従来艇と同等の性能・安全性を確認。
- 浮力性能については、定員状態（満載状態）に於いても、十分な浮力を有し、且つ復原力も有していることを確認。
- デッキ水密仕様についても、射水試験の結果は良好。

1 - 4 . 環境影響評価

概要

- 環境負荷低減に寄与する要因（船体の長寿命化、分解・組立の容易性、廃棄にあたっての運搬の経済性等）を評価するため、以下項目について、作業難易度・作業時間を評価した。

評価項目		設定条件	作業時間	備考	
再補修性評価	補修作業性評価試験	標準化船	外板損傷	290分	裏板当てが不要なため、作業性は良好、板厚が薄いため、積層工程が1回で済み、時間短縮につながる。
		標準化船	外板貫通	300分	裏板当てが不要なため、作業性は良好、板厚が薄いため、積層工程が1回で済み、時間短縮につながる。
		従来船	外板損傷	505分	裏板当てや、面だしなどの難易度の高い作業が標準化船に対して増える傾向にある。また、板厚が厚いため、積層の回数や硬化待ちの時間が多くなり、全体の時間に影響している。
運搬性評価	スタッキング評価試験	標準化船	トレーラー輸送	3隻 50分	道交法上の地上高さ(3.8m)を前提とすると、3隻分の船体を搭載できる。搭載状態での安定性も良好である。
		従来船	トレーラー輸送	1隻 25分	時間は、標準化船に対して短い、1隻のみの搭載である。
分解性評価	分解作業性評価試験	標準化船	汎用工具のみ使用	225分	一般的な工具のみで分解が可能である。また、切ったり削ったりする必要がないため、作業環境、作業時間の両面で効果が大きい。
		従来船	汎用工具のみ使用	分解できない (切断、破壊が必要)	切断を伴う分解しかできず、再利用には多大な補修費用と補修時間を要する。
再組立性評価	再組立作業性評価	標準化船	汎用工具のみ使用	240分	分解後24hr以上放置して組み立てを実施したが、各パーツ同士の精度は非常によく保たれていた。また、一般的な工具のみで組み立てが可能のため、作業性も良好である。
		従来船	汎用工具のみ使用	再組立できない (接着が必要)	-

完成船体



結果

- 分解・再組立作業性の評価では、特殊な工具を必要とせず、全て汎用の工具のみで工事が可能。
- 全工程において、粉塵や有機化合物の発生がないことが確認された。

2. ブロック化接合技術の開発研究

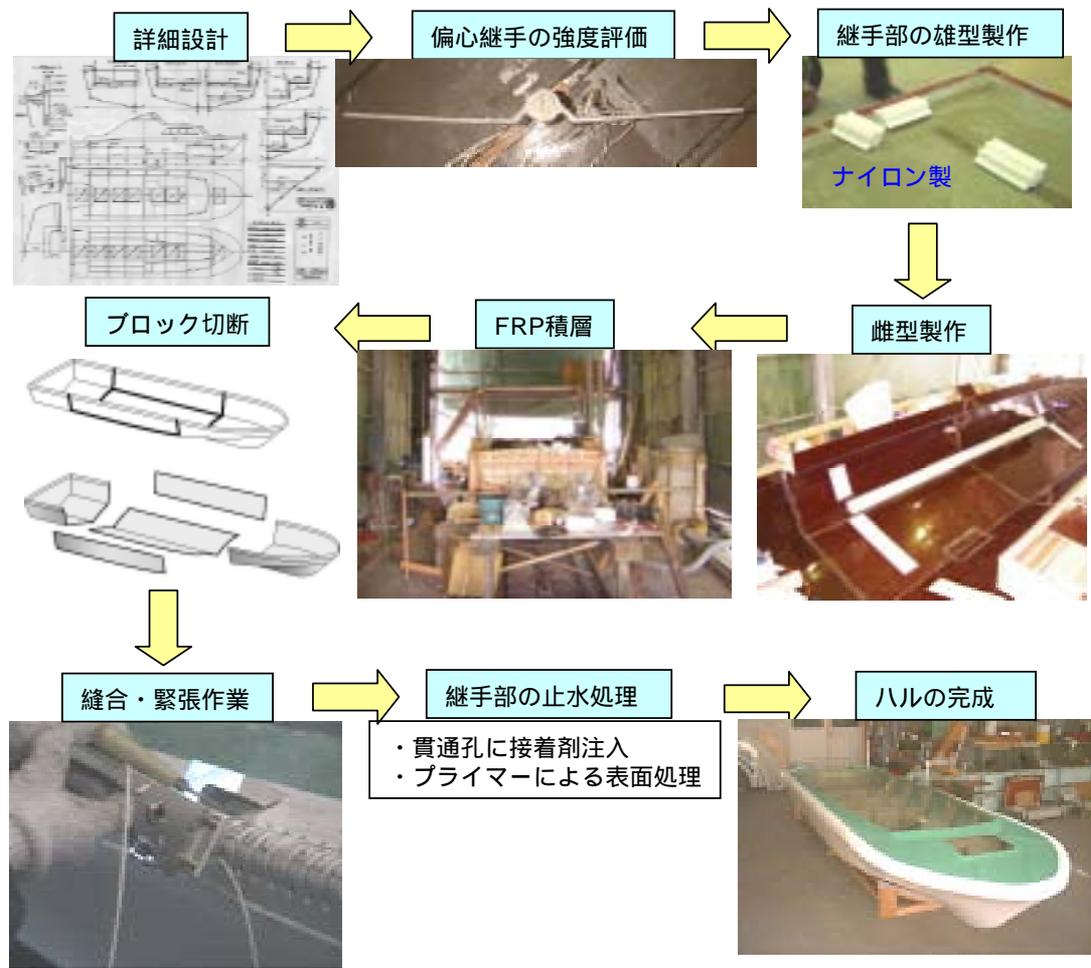
2-1. FRPブロック接合船の設計・建造

概要

- FRPブロック接合法による基礎継手および箱桁構造試験体の強度試験の結果、十分な強度を有することが確認されたため、ブロック接合技術を利用したFRPプレジャーボートの設計・建造を実証した。

建造手順

以下の手順によりFRPブロック接合船を建造した。



考察

- 船首及び船尾ブロックと船速及び船底ブロックの接合部は、剪断コアが船体表面から突出しないよう偏心。
- 偏心させた継手の引張強度は、約22%低下したため、継手部の板厚を増厚。
- 縫合・緊張作業に要した工数は、約25人日。

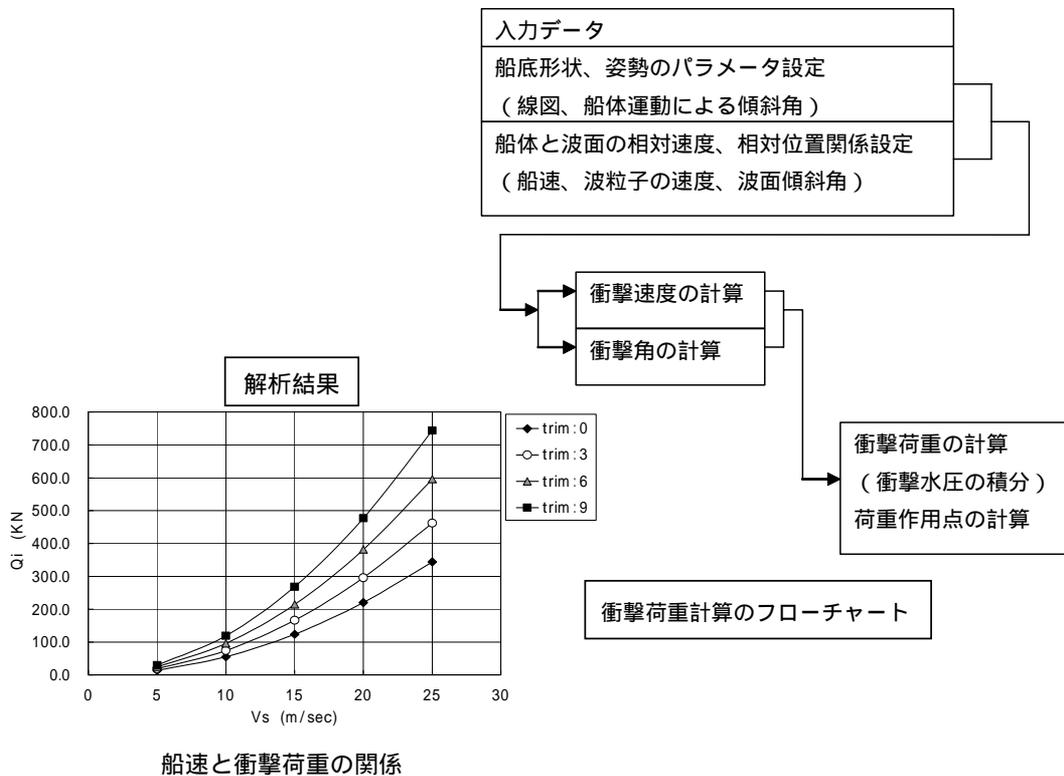
2-2. FRPブロック接合船の衝撃荷重解析

概要

- ブロック接合船の安全性を検証するために、ハル（外板模型）を用いた**載荷試験及び落下試験結果**を総合的に評価し、安全性を検証するため、建造したブロック接合船に作用する**衝撃荷重を高精度で解析する。**

解析方法

波浪中を航行するボートは、船首部船底に非常に大きい衝撃荷重を受けることが知られている。これは船体運動と波の相対運動に船の前進速度に起因する衝撃速度が重畳するためと考えられる。このような現象を考慮して導かれた3次元衝撃圧計算法により建造したブロック接合船に作用する衝撃荷重を計算する。



考察

- 設計船速20ノットで航行する場合の衝撃荷重を本解析結果から求め、作用する曲げモーメントを、後述する外板模型の載荷試験（曲げ試験）の結果と照合した結果、本船の安全性が確認された。

2 - 3 . FRPブロック接合船の載荷試験

概要

- ブロック接合船のハル（外板模型）を製作し、海上技術安全研究所内の5000kN大型構造物試験装置を用いて3点曲げ試験を行い、外板模型の荷重 - 変位関係、および、荷重 - ひずみ関係の計測を行った。

外板模型の形状

ハル（外板模型）の形状は下図のとおりである。



全景

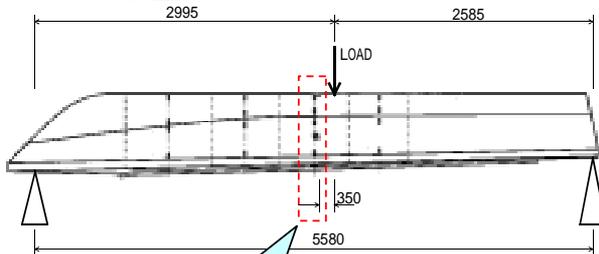


船内の継手



船底部（キール、隔壁は2次接合）

ハルの設置方法

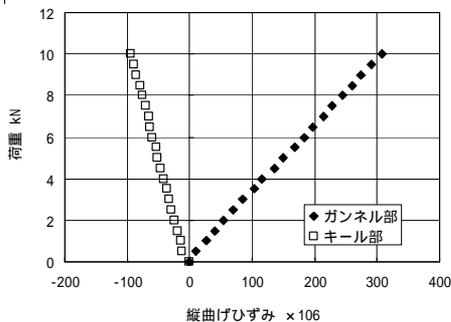


主計測断面



ハルの設置方法

試験結果



10 kN 載荷時、主計測断面に作用する縦曲げモーメント：12.26 kN・m

したがって、ハルの断面剛性EIは、
21800 kN・m²

(190 mm角の鋼製中実角柱に等しい)

考察

- ブロック接合船の強度試験として、載荷試験のみ実施した。

3 . FRP船の劣化診断技術の開発

3 - 1 . FRP劣化診断装置の開発

概要

- FRP船体の外面から超音波を発信し、その反射波を演算評価することにより、FRPの劣化度を診断する可搬の剥離損傷を検知する装置を作成した。

剥離の評価演算式

FRPの剥離の評価演算式は以下のとおりである。

$$E_{Bf} / E_f = \frac{S_g \cdot \exp(-2\alpha X_B)}{S_g \cdot r_{if} \cdot \exp(-2\alpha X_f) + (S - S_g) \cdot \exp(-2\alpha X_f)}$$

ここに、

E_{Bf} : 底面エコー高さ

E_f : 界面エコー高さ

S : 振動子面積

α : 減衰係数

X_B : 底面エコーの時間的位置

X_f : 界面エコーの時間的位置

S_g : における健全面積

r_{if} : 界面反射率

装置の形状



劣化診断装置

FRP劣化診断装置の実証試験

修繕中FRP船の劣化診断およびFRP劣化診断装置の操作性確認のための実証試験を行った結果、多くの剥離が検出された。



修繕船の診断

考察

- 約11kgと重量があるため、持ち運びに不便。
- プローブの操作と装置の操作に二人必要。
- 初期設定に熟練がいる。
- FRPの厚さが異なる箇所を診断するために、何度も初期設定が必要。
- 図面を基に厚さを設定しても、厚さが異なると測定することができない。
- 装置の小型化と操作性の向上が課題。

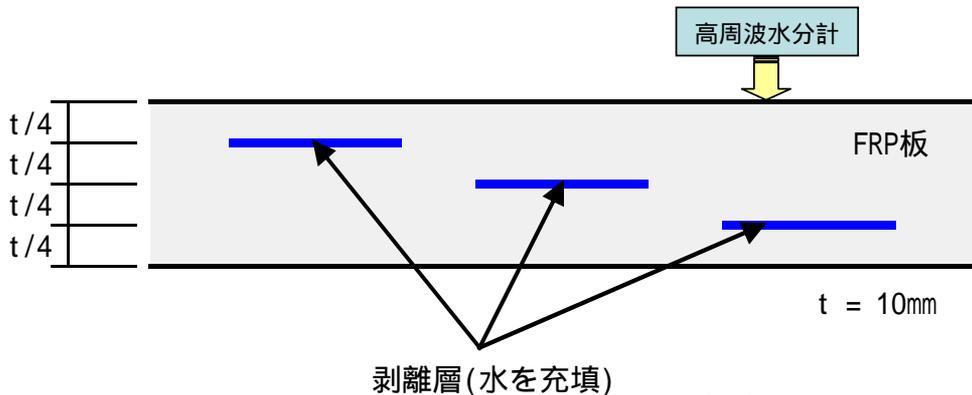
3 - 2 . FRP含水の定量化の検討

概要

- 高周波水分計を用いる方法が最も実用的であることから、剥離層内に含水させたFRP試験片を用いて、高周波水分計による測定試験を実施し、含水率の定量的評価の可能性を検討した。

試験方法

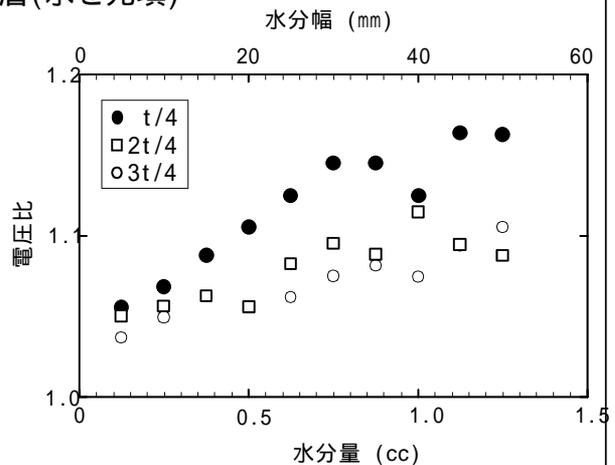
図に示すように板厚10mmのFRP板内部に機械的に剥離層(幅5~50mm、高さは一定)を設け、剥離層内に水を満たした試験片(含水試験片)を作成した(ただし、剥離箇所は1本の試験片に1箇所)。これらの試験片と健全なFRP板に対して、高周波水分計により板表面から水分量を計測し、出力電圧について検討する。



試験結果

含水試験片の出力電圧と健全なFRP板の出力電圧の比を、水分幅(水分量)に対して示すと右図になる。

実験結果より、出力電圧比は測定表面からの水分の距離に逆比例して小さくなるものの、水分量と出力電圧比には良い相関関係があることがわかる。この関係を用いて出力電圧比から水分量を定量的に評価することができる。



水分量と出力電圧比の関係

考察

- 出力電圧比は水分までの距離に反比例して減少するため、剥離面がFRP板の測定表面から10mm位置の水分が検出限界。
- 5mm以内の薄板であれば、感度は高い。

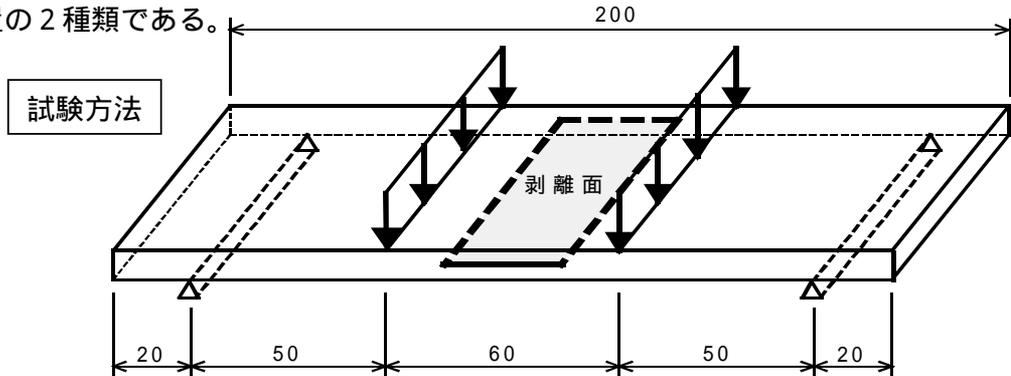
3 - 3 . FRP剥離材の強度低下度の検証

概要

- 剥離試験片を用いて4点曲げ試験を実施し、FRP板に存在する剥離位置および剥離幅と破断強度との関係を検討した。

試験方法

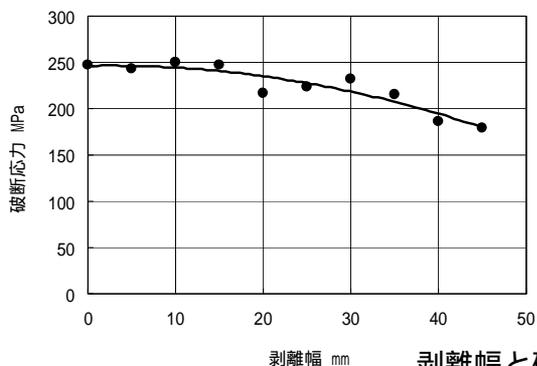
図に示す方法で4点曲げ試験（支持点間距離160mm、荷重間距離60mm）を実施した。剥離面の板厚方向の位置は、表面から $3t/4$ および $2t/4$ （板厚中央）位置の2種類である。



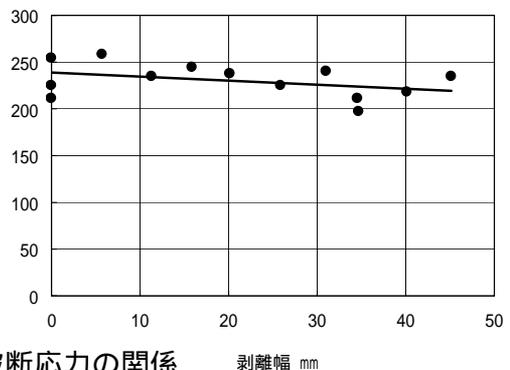
試験結果

剥離位置 $3t/4$ および $2t/4$ の場合の破断応力を剥離幅に対して下図に示す。両図から明らかなように、剥離面の位置が板厚中央の場合には、破断応力の大きな低下は見られない。引張の曲げ応力が作用する領域に剥離面が位置する場合には、破断応力の低下が顕著であり、剥離幅45mmの場合で約25%低下した。

剥離位置 $3t/4$



剥離位置 $2t/4$



剥離幅と破断応力の関係

考察

- 劣化診断装置の実証試験では、稼働中のFRP船に多くの剥離が検出された。
- 剥離材の強度低下量は、剥離幅45mmの試験片の破断強度低下率が25%程度であり、実船で検出された剥離が、強度的にすぐに問題にはならないことが確認された。