



Title	FRP漁船構造の強度特性に関する研究(Ⅰ)：フレームの役割とノンフレーム構造への考察
Author(s)	守村, 慎次; MORIMURA, Shinji
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 22(2), 143-150
Issue Date	1971-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23446
Type	departmental bulletin paper
File Information	22(2)_P143-150.pdf



FRP 漁船構造の強度特性に関する研究 (I)
フレームの役割とノンフレーム構造への考察

守村 慎次

Studies on Strength Properties of FRP Ships Structure (I)
Concerning role of frame and non frame construction

Shinji MORIMURA

Abstract

One of the numerous defects of the FRP boat is its elasticity. This is an obstacle causing the FRP boats to swell just like its plastic operation method.

Generally speaking, in case of the solid boat structure the FRP boat is strengthened by frames, stiffeners and suitable girders. As to the sandwich structure, it is kept a certain stiffness by the structure itself in compliance with its core.

And yet as a ship measures 10 meters long and over it is difficult to build the boat to bear up against the enforced bending moment by FRP only and it will spoil the merit of FRP if woods and the like are being used in its fabrication.

The development of FRP boats has attracted special interest recently due to the decrease of timber and skilled carpenters, and the solidification of rigidity becomes a matter of great concern for making larger progress.

In this paper, we describe an experimental study of the role of the frame in order to rationalize construction, and further more, we discuss the practicality of non frame constructions in sandwich methods.

As a result of our experiments, it can be ascertained that the strength of structure pieces is in inverse proportion to the strain of the fixed part of the frame in the event that the frame makes secondary adherence. Consequently the hull construction has a limitation of strength in a common frame plan, and accordingly, the shell plating has to be stiffened after all so as to swell the FRP boats.

On the other hand, the sandwich structure prepared from the balsa core strengthens itself considerably, as is generally known. And, moreover, this experiment shows that even the structure prepared from vinyl form core, which does not count as a strength member, is remarkably fortified as a result of the connection together with FRP on the way.

It has amounted to no more than an expression of the early experiment so that several arrangements, we hope following this kind of study, will continue to be made because the sandwich structure may possibly contribute to make FRP boats larger.

ま え が き

現実に多くの生産実績が示すように、小型 FRP 漁船は、これまでの造船基材である木材、鋼、軽金属などに損色なく十分な強度を持ち、かなりすぐれた特徴を有していることが認められている。

しかしながら、その特殊な成形法と最大の欠陥の一つである低剛性は、FRP 船大型化の進展に決定的な障害を与え、この魅力的な建材による中型漁船への応用をそ止している。

FRP 船は大きく単板構造と複合板構造（おもに心材と FRP、からなるサンドイッチ構造）に分けられ、おのおの剛性の強化は、フレーム、スチフナおよび適当な縦通材によってなされるが、サンドイッチ構造の場合は、心材の選択によって複合平板のみである程度の硬さを保有することができる。

実際には、船の長さが十数米をこえるようになると FRP のみで外力のモーメントに耐え得る船を設計することが困難になり、結局、木材その他の併用によってプラスチックの長所を損じ、更に異種材料の接合に関するあらたな問題を提起している。

造船用木材と船大工の減少ともなう木船生産の退潮に処し、FRP 船の発展がきわめて注目されるが、その大型化におよび、建造工数の合理化と成形材の剛性強化が重要な課題となった。これは高弾性を特徴として普及した小型 FRP 舟艇に反する漁船の固有の要求になりつつある。

この論文は、船殻の硬さに対するフレームの役割を実験的に検討し、更にサンドイッチ工法におけるノンフレーム構造の実用性について報じている。

すなわち、一般の FRP 船は、その外殻構造が単板であれ複合材であれ、種々の形式によるフレームによって強化されているが、小型船殻が多様な曲率によって複雑化している上、FRP が樹脂の状態変化によって成形されるため、フレームは、鋼船のように既成の材料によって組立てられず、ほとんど、木やプラスチック成形発泡材を介して船殻に二次的に接着される。したがって FRP 船のフレーム強度は、その形状のほか船殻との接着力に支配されると言える。

フレームの形状による強度解析は、剛体力学上の理論といくつかの基礎実験によって学ぶことができるので、この実験では、はじめにフレームの形状変化による二次接着の固着強度を確かめたが、次に、これらのフレームが、かなり安定した強度を有するサンドイッチ構造においても、単にその剛性を保有するために使用されることに注目し、複雑なフレームの使用を最小限に止めることを目的として、サンドイッチ平板の剛性を飛躍的に高めるため、心材の選択と複合板施工を検討した。

なお、実験に供した試験片はすべて、函館市の服部造船所のご好意によって試作されましたが、その他実際的な構造片の取扱いについても種々のご指導を賜りましたことをあわせて感謝の意を表します。

実 験 方 法

前述のように、今回はフレームの二次接着部の剝離強度とサンドイッチ板の曲げ剛性が別々に試験されているが、それぞれは Fig. 1 および Fig. 3 のような装置によつて実験された。すなわち Fig. 1 はフレームの強制剝離装置で、剝離荷重は Fig. 2 のようにフレームを強制的に横倒して、それが接着面で原型を保とうとする抵抗に比例した分力の作用によって与えられる。このとき、作用点に球あるいは丸棒を使用することによってフレームに対する集中ならびに分布荷重の概念を適用した。力の方向から接着面での剪断破壊を想像できる接着面を実用的な接着幅（片側約 12cm）としたため、実験結果は予測どおり荷重側での接着部剝離破断の形式でのみ与えられた。この方法では、外力の剝離荷重成分の測定が難かしいので、試験片のフレーム破断に対する基準は接着面での最大ひずみあるいはフレーム荷重点のたわみによって考慮されている。

実験されたフレームは Fig. 4 のような横断面からなり、すべて 750mm の長さを有し、同じ寸法

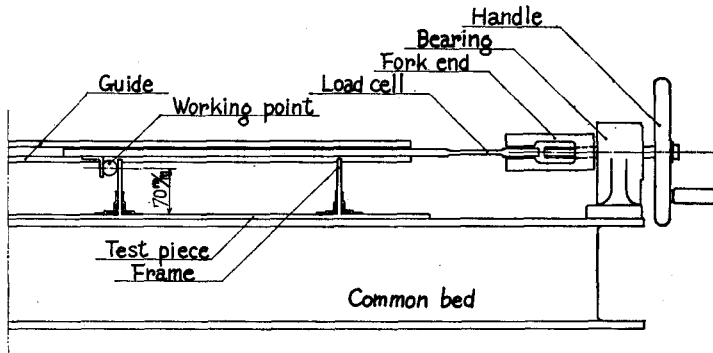


Fig. 1. Rough drawing of the equipment for ripping experiment of frames

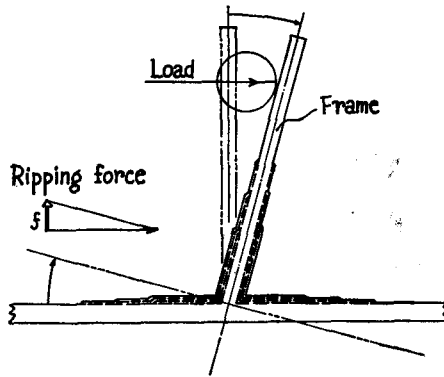


Fig. 2. Schematic figure for the component of the tensile force

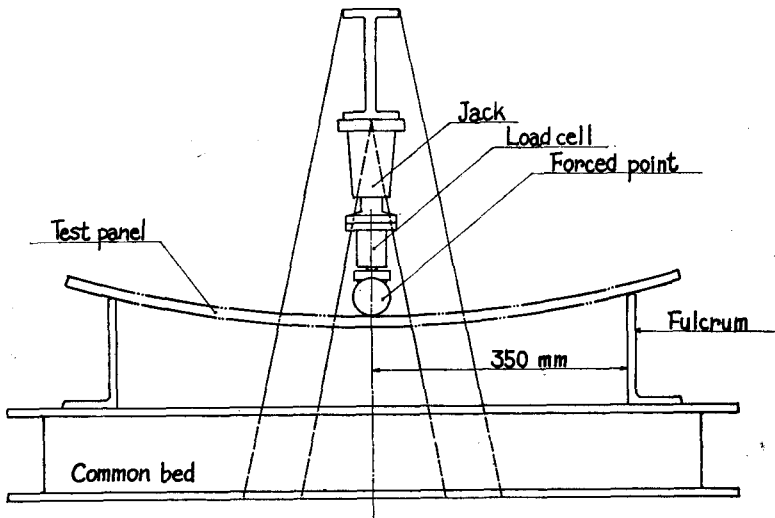


Fig. 3. Rough drawing of the equipment for the bending test

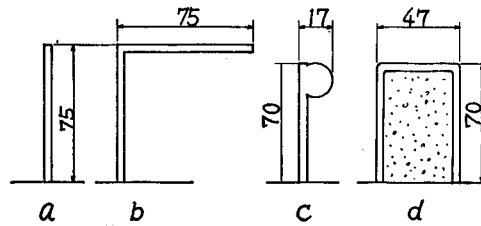


Fig. 4. Frame sections of the ripping test panel. Numerical unit is mm and each frame is 750 mm long
 a, flat bar frame b, reverse angle frame c, roving column frame d, containing vinyl form core

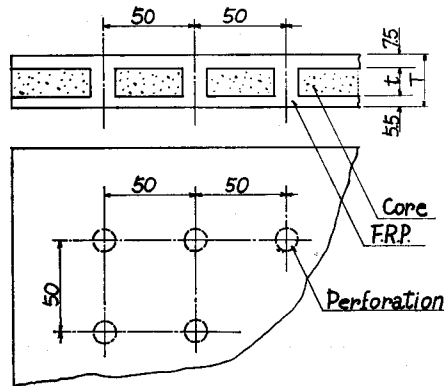


Fig. 5. FRP sandwich consist of perforated core. Numerical unit is mm
 t, thickness of core T, thickness of sandwich panel.

幅の FRP 板 (MRMMRM 構成) に接着されている。二次接着の部分の長さは、おのおのフレームをはさんで両側に) 120mmである。このような試作断面を選んだのは、いわゆる鋼船における平板型、半丸鋼付板型および逆山型鋼型フレームに対応したものと実用的な心材成形とを比較するためである。

Fig. 3 はサンドイッチ板の曲げ試験装置で、曲げモーメントは二定間でローラー支持された試験片を、上部からロードセルを介しジャッキで押しつけることによって与えられる。一般に FRP 板の曲げ試験は、二点荷重によって試験板測定部はなるべく等しい曲げモーメントを得るようにはかられているが、今回は、特に各供試片の特徴の差がわかりやすいように荷重を集中させたものである。支点間距離は 700mm に統一しジャッキ荷重は試験片幅 600mm に等しい鋼管を経て与えられた。

サンドイッチ構造における穿孔心材

サンドイッチ工法による FRP 船構造はわが国で 1964 年頃より出現し、今日では定型化し得ない比較的大型の FRP 船に多少普及している。これは心材をはさんだ FRP 断面の二次モーメント増加が期待できるばかりでなく、バルサのように縦剛性の高い心材の使用によってかなり容易に実用的強度を保持させることができるからであるが、バルサのような特殊木材を持たないわが国では、サンドイッチ構造のほとんどを、発泡プラスチック心材によつて成形するため、この複合板のみに実用剛さ

Table 1. Summary of the properties for the sandwich construction

Type of core		Binyl form core					Balsa core			
Core thickness (mm)		10		15			9.5		12.7	
Diameter of perforation (mm)			9		9	15		9		9
Mean thickness of test panels (mm)		20	21	27	27	28	20	21	24	24
Moment of inertia (cm ⁴)	FRP only	35	42	82	84	98	36	43	55	64
	Whole	41	46	99	99	110	40	46	65	72
Mark of test panel		a	a'	b	b'	b''	c	c'	d	d'

Note; FRP skins is made up 3450^g/m² glass mat (upper side), and 2700^g/m² (down side)

を保有させるに至らず、比較的大型船においても、なおフレームやスチフナで固めた単板構造が支配的である。

しかしながら、本実験のごとく、フレームの二次接着工法に実用上の強度限界があるとすれば、FRP船が飛躍的に大型化したとき、この欠点を補うため船殻縦通材などへの負担は極端に増大しかねない。

今回実験された穿孔心材によるサンドイッチ板は、斯様な情勢を考慮して、板自身の剛性強化によって、フレーム縦通材への負担を軽減し、FRP船の大型化に寄与しようとする構想に基づいている。試験板は Fig. 5 に示したように、心材に 50mm ピッチで孔列を設け、孔内にガラスマットを樹脂とともに侵せきさせて表裏の FRP 層を連結したものである。破断後の検査によると今回の試験板の試作に当つては、必ずしも期待どおりガラスが孔内に混入しなかったようであるが、現実の船殻成形ではオールマットの吹きつけ成形法によってその完全を期するべきである。

Table 1. は試験の諸要素を一覧表にしたものである。おのおのの板は 900×600 mm² の面積を有している。ガラスはいずれもチョップド、ストランド、マットを使用し、それぞれ荷重面は 3450g/m² (300g/m² マット 1 枚および 450g/m² マット 7 枚)、下面は 2700g/m² (450g/m² マット 6 枚) が積層されている。もちろん実用に際してはロービング等の併用が考慮されることになるであろう。使用した樹脂は不飽和ポリエステルである。

実験の結果並びに考察

フレーム二次接着の剝離破断試験は、Fig. 4 に与えられたフレームについて各 6 枚、合計 24 枚実施されたが、それらの平均的代表的例を Fig. 6, 7 に示した。Fig. 6 は荷重に対応する最大ひずみの変化であり Fig. 7 の外力に対する荷重点のたわみ同様、降伏点と思われる変形の境界を過ぎてもかなりの抵抗を保持し、突然の破壊と言う形で終了している。分布荷重に対するひずみ (Fig. 6) は比較的可らい a, b, c のフレームが大体同じような性格を示しながら、心材で補足成形した d と全く異質な変化率を示しているが、いずれの場合も、接着面 (FRP 上面、引張り側) のひずみが同程度で破断剝離が生じている。

この現象はすべての試験片にあらわれ、これを Fig. 7 のように荷重たわみ曲線に置換しても同様の結果を示した。Fig. 7 では断面二次モーメントの小さい a 型フレームが比較的軽荷重で破断変形に到達するが、その変形量は b, c 型に等しい。ここで d 型が示されていないのは、d の剛性が高く集中

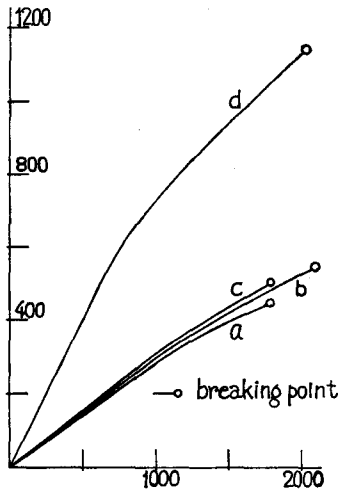


Fig. 6. The maximum strain of fixing part of frames in distributed load

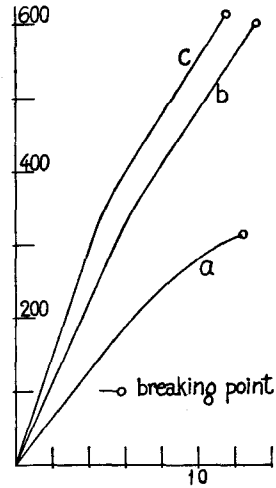


Fig. 7. The maximum deflection of frames in concentrated load

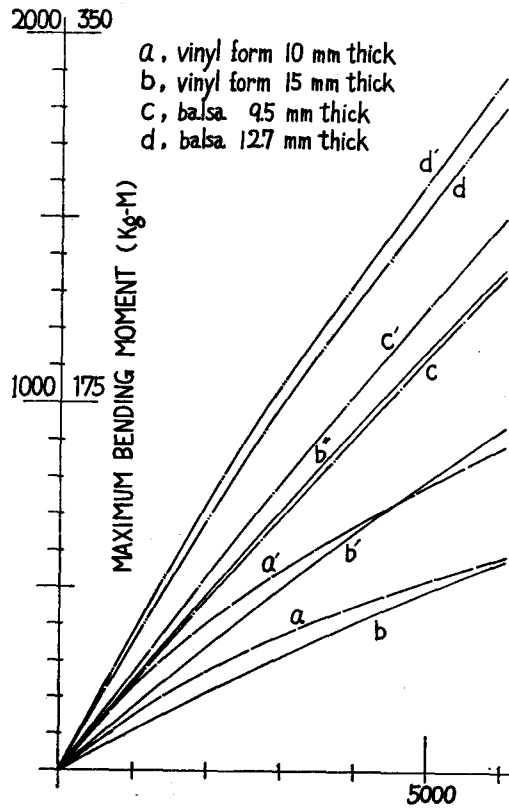


Fig. 8. The maximum strain of sandwich panels

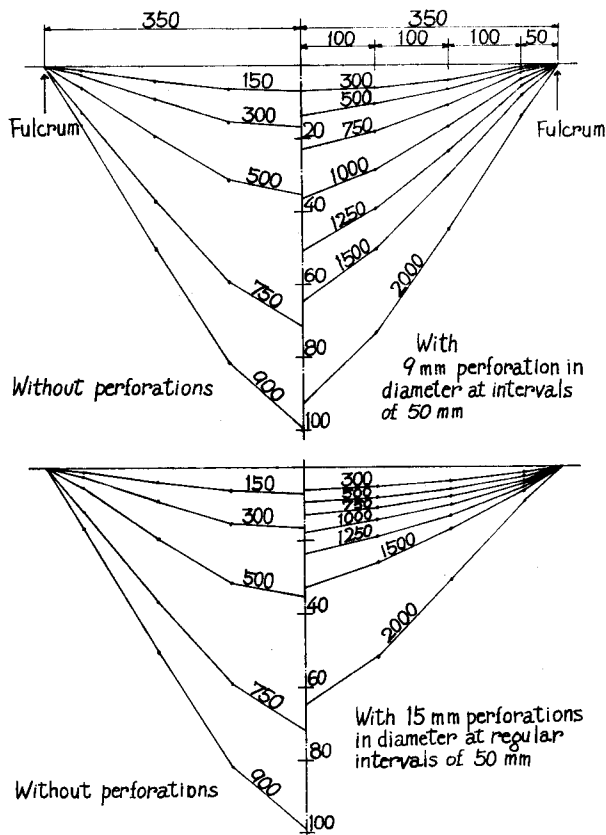


Fig. 9. The deflection (mm) of sandwich panels of vinyl form core as 15 mm in thickness in each concentrated load (kg) Ordinate is deflection (mm in length) Abscissa is distance (mm) to measure point on panels

荷重を与えると剝離点に達する前に荷重点の部分破壊が発生し実験を中断させてしまうからであった。

実験の結果、フレームの剝離を構造片の強度限界として着目すれば、一般に変形量の小さい硬いフレームが良効で、心材を含むフレームはその断面形質によって都合良くこの長所を有していると言える。

一方、Table 1 にあげられたいくつかのサンドイッチ板の曲げ試験のうち、それぞれ荷重点下面の引張りひずみ変化を Fig. 8 に、また厚さ 15 mm のビニルフォームを心材としたサンドイッチ板の荷重に対するたわみ分布を Fig. 9 に示す。試験片のガラス構成は、長さ 10 m 程度の船を想定して作られたものであるが、このような船の場合、最大曲げモーメントはたかだか 5 t-m と考えられ、実船の 1/10 にも満たない断面形状の試験片に対して与えた荷重が過酷であつたかも知れない。

Fig. 8 によると穿孔心材の効果は、柔らかい心材ほど明確で、本来 9.5 mm バルサの 1/3 にしかならないビニルフォームコアであっても、試験片のように直径 15 mm の孔列を施すことによってほとんど等しい剛性をもたらすことがわかる。孔内に十分ガラスの侵せきを保証すればこの効果は更に増大することであろう。

バルサコアの場合、孔列の効果が顕著でないが、FRPでバルサの横変化を封ずるとすでに十分な剛さを有するためと思わる。

発泡プラスチックコアサンドイッチ板に対する孔列の効果は Fig. 9 のたわみ曲線図においても明瞭で、この場合、9 mm 径の孔列によって、1/2, 15 mm 径の孔列によっては 1/3 ほど全体のたわみ変位が減少している。なお、今回破断強度を比較しなかったのは、実験荷重が3トンを限度とし、この範囲ですべての試験片の破壊を認めなかったためである。

結 び

フレームの剝離破断が、その接着部分のひずみ、たわみ等の一定限界で発生し、フレームの断面形状に直接関係しないが、変形を与えるフレームの形状に有意の差があつた。このことは設計段階で船殻に予想される荷重に対応してフレーム等構造部材の形状に十分留意せねばならないが、同時に長い魚艙などを有する大型 FRP 船は外殻自身の強化が要求される。この試験ではビニルフォームコアのみを強調して論じたが、もし発泡プラスチックの発泡倍率の変化などによって更に心材の剛性強化が期待できるならば、たとえば、ポリスチレン系のプラスチックであっても、エポキシ樹脂の併用その他の方法によって溶解等成形時の支障を除くことができれば、船殻用心材として多くの適合材を選択できると思われる。

漁船の場合、機関室、魚艙、船首尾などの隔壁と縦通材の結合によってかなり強固にかためられるため軟構造への期待は矛盾し、おのずから建造技術者は船殻の剛性強化に最大の関心を示して来たが、その結果フレーム、スチフナの施工に、実船の建造工数をかなり消耗している現状であるので、このようなサンドイッチ構造の再検討によつて、隔壁、外板のみによるノンフレーム構造を考慮する必要があるらう。

文 献

- Brandl, K. (1969). Cellular plastics of pure PVC as a sandwich core for large FRP boat hulls. *Canadian fisheries report* 12, 177-208.
- Lippay, A. & Levine R.S. (1969). End grain balsa cored reinforced plastic as a fishing vessel construction materials. *Ibid.*, 209-225.
- Cobb, B. Jr. (1969). Design construction and economic consideration in fiberglass trawler construction. *Ibid.*, 163-175.