



Title	FRP積層板の物性：Ⅰ．疲労試験における剛性と硬さの低下について
Author(s)	浅野, 一彦; ASANO, Kazuhiko
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 31(3), 246-251
Issue Date	1980-08
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/23723">https://hdl.handle.net/2115/23723</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	31(3)_P246-251.pdf



## FRP 積層板の物性

### I. 疲労試験における剛性と硬さの低下について

浅野 一彦\*

## The Properties of an FRP Board

### I. Relation between stiffness and hardness of a flexural fatigue test

Kazuhiko ASANO\*

#### Abstract

I investigated the relation between stiffness and hardness of the flexural fatigue test of an FRP board by plane bending.

The test board was  $(M+R) \times 2$ , and its thickness was about 4.2~4.7 mm. Dimensions of the test piece for the flexural fatigue test are shown in Fig. 1. Stresses of the flexural fatigue test were 4.0 kg/mm<sup>2</sup> and 4.4 kg/mm<sup>2</sup>.

As for this flexural fatigue test, after the stiffness fall was given an essentially straight line at about 90% stiffness, the stiffness fall did not change very much.

It is difficult to find a certain relation between stiffness and hardness of this flexural fatigue test because the scatter in measured values of the hardness was larger than my expectation. The means and standard deviations of the hardness by Rockwell and Barcol are shown Table 3, 4.

The cause and explanation of the scatters in measured values of the properties that are include in my measures has not been sufficiently clarified and such information will depend upon future multilateral studies.

#### 緒 言

FRP が漁船に使用されて十数年になり、年々、小型漁船の FRP 化が進み、さらに大型化されている。しかし、FRP 積層板の物性の研究は実用化に比べ遅れており、試験方法の確立されていないものが多い<sup>1)</sup>。また、研究の遅れから、FRP 積層板の物性に関する資料も少なく、さらに、それらの物性値もバラツキが大きい<sup>2,3,4)</sup>。FRP 積層板の物性測定値のバラツキの大きなことは、FRP 漁船の研究を進める上での重大な障害となっており、このために資料不足、研究の遅れにつながるという悪循環となっている。

漁船のように海洋という未知の要素の多い条件下で過酷に使用される場合には、FRP 積層板の物性のバラツキや強度試験方法が確立されていないことは FRP 漁船の安全性に対する不安につながり、現実に大きな破損事故につながったこともある。

FRP 積層板の物性のバラツキは FRP が複合材であるという大きな要因のほか、FRP 積層板の積層環境、技術などの人意的要因が影響することが多く、それらが複雑に影響し合い、個々の要因の解析を困難にしている<sup>5)</sup>。

\* 北海道大学水産学部漁船工学講座  
(Laboratory of Engineering of Fishing Boat, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

著者はこのようなFRP積層板の物性とバラツキの解明のために、FRP積層板の積層方法の違いによる物性値の比較を中心に、各種FRP積層板の物性の測定を試みる。

この論文では、FRP積層板の疲労試験における剛性の低下と硬さの低下との関係について実験を行った結果を報告する。

材料の硬さと剛性、強度の関係については、金属などではかなりの精度で認められているが、FRPでは明確な関係が示されていない。ただ、ある幅をもてば、剛性などと硬さには一定の相関性が認められており、FRP漁船の建造時の検査では硬さの測定がなされている<sup>6)</sup>。

また、FRPの非破壊試験が確立されていない現在、硬さの測定はFRPの非破壊試験として有効な手段と考えられている。(厳密には、硬さ試験は非破壊試験と言えない)

今、FRP積層板の疲労試験における剛性の低下と硬さの低下に相関性が認められると、FRP漁船の強度、耐久性などの判定に硬さ試験は有効な手段となりうる。

### 実験方法

実験では次の試験機器を使用した。

平面曲げねじり疲労試験機 PWO型 (株)東京衡機製造所

ロックウェル硬度計 3R型 "

バーコル硬度計 GYZJ 934~1型 BARBER-COLMAN CO.

試験材は函館の(有)服部造船所で積層したもので、FRP積層板の基材構成は、(M+R)×2で厚さは約4.2~4.7mmである。また、使用材料は次のとおりである。

ガラス繊維 日本硝子繊維(株) チョップストランドマット (M) EM 600-G-1 600g/m<sup>2</sup>

ロングクロス (R) EWR-80 810g/m<sup>2</sup>

樹脂 昭和高分子(株) 157 BQTN, 6ポイズ

疲労試験用試験片の寸法は Fig. 1 に示す。

疲労試験は両振り応力による平面曲げ疲労試験で応力は4.0 kg/mm<sup>2</sup>と4.4 kg/mm<sup>2</sup>の2種類で行なった。疲労試験機の荷重繰返し速度は毎分1,500~1,800回の間で行なった。また、試験初期に試験片の取り付けボルトがゆるむために荷重繰返し回数10<sup>4</sup>で試験機を止めてボルトをしめなおした。剛性保持率はこれまでに行なってきた疲労試験において剛性回復という現象がみられたので、応力4.0 kg/mm<sup>2</sup>では疲労試験直後と放置後の2回、測定を行なった。

ロックウェル硬さはスケールR(試験荷重60kg, 圧力子1/2inch)を使用した。試験方法は試験荷重を15秒間、負荷して試験荷重を減じ始めて15秒後の値を読みとった。(JIS K-7202を参考にしして試験を行なった。)<sup>7)</sup>

疲労試験終了後の硬さの測定は試験片が小さいため、中央部にてロックウェル硬度計で2箇所、バーコル硬度計で3箇所だけの測定となった。

また、硬さの測定は温度等の影響を除くために、まとめて同一時間内に行なった。

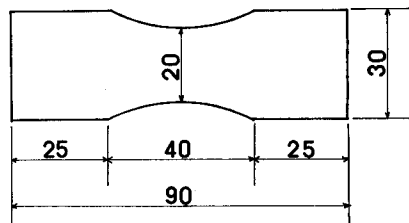


Fig. 1. Dimensions of test piece. (mm)

### 測定結果と考察

応力4.0 kg/mm<sup>2</sup>の疲労試験の結果を Table 1, Fig. 2 に、応力4.4 kg/mm<sup>2</sup>の結果を Table 2,

Table 1. Result of flexural fatigue test. Stress was 4.0 kg/mm<sup>2</sup>.

Tast piece No.	Stress (kg/mm <sup>2</sup> )	Number of load times	Stiffness (%)	Stand time (hours)	Stiffness (%)
A- 1	4.1	1×10 <sup>5</sup>	95	22	95
2	4.0	3.7×10 <sup>5</sup>	96	120	97
3	4.0	5×10 <sup>5</sup>	94	42	96
4	4.0	5.5×10 <sup>5</sup>	93	19	95
5	4.0	2×10 <sup>6</sup>	91	7	91
6	4.0	5×10 <sup>6</sup>	93	142	93
7	4.0	7×10 <sup>6</sup>	91	17	94
8	4.0	9×10 <sup>6</sup>	92	20	93
9	4.0	1.1×10 <sup>7</sup>	72	48	72
10	4.0	1.6×10 <sup>7</sup>	91	—	—

Table 2. Result of flexural fatigue test. Stress was 4.4 kg/mm<sup>2</sup>.

Tast piece No.	Stress (kg/mm <sup>2</sup> )	Number of load times	Stiffness (%)
B-1	4.3	4×10 <sup>5</sup>	91
2	4.4	1.5×10 <sup>6</sup>	89
3	4.3	2×10 <sup>6</sup>	92
4	4.4	2.5×10 <sup>6</sup>	89
5	4.4	4×10 <sup>6</sup>	89
6	4.4	7×10 <sup>6</sup>	87
7	4.2	1.1×10 <sup>7</sup>	91
8	4.4	1.13×10 <sup>7</sup>	91
9	4.4	1.17×10 <sup>7</sup>	89

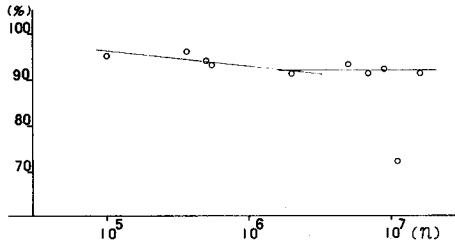


Fig. 2. Result of flexural fatigue test. Stress was 4.0 kg/mm<sup>2</sup>.

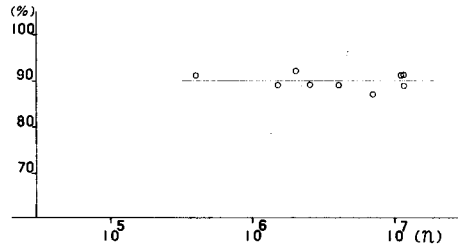


Fig. 3. Result of flexural fatigue test. Stress was 4.4 kg/mm<sup>2</sup>.

Fig. 3 に示す。Fig. 2 の剛性保持率は疲労試験直後に測定した値である。

応力 4.0 kg/mm<sup>2</sup> 時の荷重繰返し回数 (n) と剛性保持率 (T) の関係を回帰直線で求めると、

$$T = -0.3 \log n + 111.3 \quad \text{相関係数 } R = -0.82$$

となり、かなり高い相関性を示す。ただし、試験片 A~9 は剛性保持率が 72% であり、破壊したとみなし計算対象から除いている。(JIS K-7119 では剛性保持率 80% で破壊とみなしている。)<sup>7)</sup> 次に、放置後の剛性保持率と荷重繰返し回数の関係は、

$$T = -4.3 \log n + 120.5 \quad \text{相関係数 } R = -0.63$$

となり、試験直後の値に比べ相関性が低くなっている。これについては、放置時間などの違いにより、剛性回復にバラツキが出たためと考えられる。

応力  $4.4 \text{ kg/mm}^2$  時における剛性の低下については、Fig. 3 に示すように、荷重繰返し回数に関係なくほぼ 90% と一定になっている。このような現象は、著者が行なっている他の FRP 積層板の疲労試験においても応力が比較的小さい時に生じている。Fig. 4 と Fig. 5 に一例を示す。Fig. 4, 5 の試験片は  $(M+R) \times 4$  で今回の試験片の約 2 倍の厚さのものである。Fig. 4, 5 に示す様に応力が小

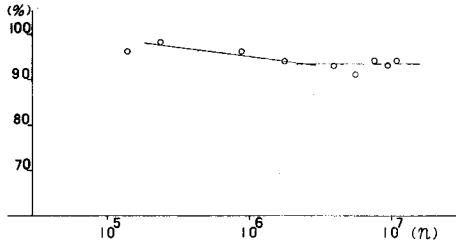


Fig. 4. Reference figure.  
FRP board was  $(M+R) \times 4$ ,  
stress was  $4.1 \text{ kg/mm}^2$ .

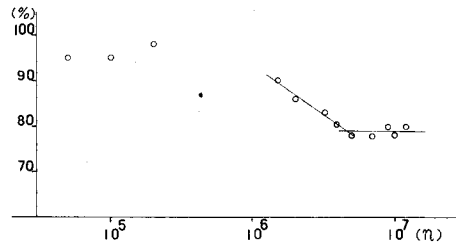


Fig. 5. Reference figure.  
FRP board was  $(M+R) \times 4$ ,  
stress was  $4.9 \text{ kg/mm}^2$ .

さい時は、ある一定の剛性の低下以後、剛性保持率は荷重繰返し回数に関係なく一定となる。これから応力  $4.4 \text{ kg/mm}^2$  では、荷重繰返し回数が  $4 \times 10^5$  以前にはほぼ直線的に剛性保持率約 90% まで低下して以後、剛性保持率が一定となっていると考える。また、同様に応力  $4.0 \text{ kg/mm}^2$  においても、Fig. 2 中に示す直線の様荷重繰返し回数  $2 \times 10^6$  までは直線的に剛性低下が生じ、以後は 91% 位で一定となっていると考える方が先に求めた回帰直線よりも妥当であろう。

これらの疲労試験における剛性の低下、破壊、また、剛性の回復等について述べるには、今回の測定結果だけでは不足で、著者が行なっている他の疲労試験の方で考察する予定である。

疲労試験における剛性の低下と硬さの関係については、Table 3 にロックウェル硬度計、Table 4 にバーコル硬度計による母材の硬さを示す。Table 5 には応力  $4.0 \text{ kg/mm}^2$ 、Table 6 には応力  $4.4 \text{ kg/mm}^2$  の疲労試験後の硬さの測定値と低下率を示す。ただし、ロックウェル、バーコル硬度計の硬さの表示は整数で表わすのが普通であるが、今回の実験では剛性の低下と硬さの低下の相関性をさぐるのが目的のため、平均値の表示を小数点以下 1 位までとして、この値を基に Table 5, 6 の硬さの低下率を求めている。

疲労試験後の硬さは中には 100% を超えるものもあり、バラツキが大きいのがほぼ低下している。し

Table 3. Result of Rockwell hardness test.  
(scale R)

1	24.5	6	24.5
2	20.0	7	24.5
3	23.5	8	26.0
4	25.0	9	24.0
5	25.5	10	25.0
Mean			24.3
Standard deviation			1.65

Table 4. Result of Barcol hardness test.

1	39	6	44
2	46	7	40
3	34	8	44
4	41	9	43
5	32	10	50
Mean			41.3
Standard deviation			5.40

Table 5. Fall of hardness after flexural fatigue test. Stress was 4.0 kg/mm<sup>2</sup>.

Tast piece No.	Stiffness (%)	Rockwell				Barcol				
		1	2	mean	fall (%)	1	2	3	mean	fall (%)
A- 1	95	22.0	21.5	21.8	90	39	35	45	39.7	96
2	96	22.0	20.5	21.3	88	33	24	41	32.7	79
3	94	23.0	22.0	22.5	93	47	38	35	40.0	97
4	93	22.5		22.5	93	36	32	36	34.7	84
5	91	21.5	23.0	22.3	92	27	32	32	30.3	73
6	93	24.5	25.5	25.0	103	36	34	33	34.3	83
7	91	24.0	23.5	23.8	98	38	39	41	39.3	95
8	92	25.0		25.0	103	34	39	38	37.0	90
9	72	22.0	18.5	20.3	84	37	36	30	34.3	83
10	91	23.5	24.5	24.0	99	33	40	41	38.0	92

Table 6. Fall of hardness after flexural fatigue test. Stress was 4.4 kg/mm<sup>2</sup>.

Tast piece No.	Stiffness (%)	Rockwell				Barcol				
		1	2	mean	fall (%)	1	2	3	mean	fall (%)
B-1	91	22.5	21.0	21.8	90	32	38	37	35.7	86
2	89	21.5	23.0	22.3	92	38	35	44	39.0	94
3	92	23.5	23.5	23.5	97	37	44	46	42.3	102
4	89	23.0	23.5	23.3	96	41	37	44	40.7	99
5	89	21.5	23.0	23.3	92	32	38	32	34.0	82
6	87	22.5	23.5	23.0	95	44	38	39	40.3	98
7	91	21.0	23.0	22.0	91	41	28	40	36.3	88
8	91	22.0	20.0	21.0	86	37	46	41	41.3	100
9	89	20.0	21.5	20.8	86	27	35	42	34.7	84

かし、剛性の低下との相関性については、母材自体の硬さの測定値のバラツキが大きいのと、疲労試験後の硬さの測定個所が少ないために、剛性保持率との明確な相関性を見いだせない。

硬さの測定において、特にバーコル硬度計では表面にキズ、気泡などがある場合、極端に低い値を示す。今回の母材の硬さの測定では、これらの極端に低い測定値を除いて10点としてあり、厳密には硬さの測定値がバラツキは大きなものとなる。

これらのFRPの硬さのバラツキについて具体的に発表されているものがなく論じたいが、実際に強度測定などにバーコル硬度計が使用されている現在、なんらかの対応が必要であろう。

### 結 言

今回の測定では疲労試験の応力が小さく、剛性の低下も小さいため、硬さと剛性の低下の関係については測定値のバラツキ内に含まれてしまった。これに対応するには、疲労試験の応力を大きなものにするのが考えられるが、JISでは80%剛性保持率で破壊とみなしていることや、著者の他の実験などでも剛性保持率が80%以下になると白化や表面の破壊など硬さ測定以前の問題が生じているため、剛性を低下させることにも限度がある。

著者は、疲労試験における剛性と硬さの低下の測定をシリーズ化する計画であったが、疲労試験における剛性保持率80%の範囲では今回の測定と同様に測定値のバラツキの範囲内になると考えられるので、わずか2種類の応力による測定で中止した。

## 浅野：疲労試験における剛性と硬さの低下

いずれにしても、FRP 積層板の物性測定値のバラツキを解明することは急務である。現在、著者はこれまでに行なってきた、曲げ試験、疲労試験や今回の試験より、これらの FRP 積層板の物性測定値のバラツキに FRP 積層板の硬さ、板厚のバラツキが大きく影響しているように考えられ、この方面からの実験、解析を行なっている。

### 謝 辞

試験用 FRP 積層板の製作では(有)服部造船所の協力を得た。特に、(有)服部造船所の吉田悟郎氏には、各種 FRP 積層板の製作のみならず、助言や資料を提供していただき感謝する。

また、疲労試験では講座学生であった、高橋章嗣、南場隆也、両君の協力が大きいことを記して謝辞とする。

### 文 献

- 1) 竹鼻三雄 (1979). FRP 船舶に関する最近の研究の概観. FRP 漁船 64, 16-21.
- 2) 丹羽誠一 (1977~1980). FRP 船講座. 船舶 553-584.
- 3) 田中 勤 (1976). 強化プラスチック船の工法と応用. 237 p. 舵社, 東京.
- 4) 強化プラスチック技術協会編 (1967). 強化プラスチックハンドブック. 463 p. 日刊工業新聞社, 東京.
- 5) 金原 勲・竹鼻三雄 (1979). 船舶用 FRP の強度問題. 日本造船学会誌 595, 2-11.
- 6) 運輸省船舶局 (1977). 強化プラスチック船 (FRP 船) の特殊基準.
- 7) 日本規格協会 (1978). JIS ハンドブック. プラスチック. 1214 p. 日本規格協会, 東京.