HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	FRP積層板の物性：III．板厚と硬さのバラツキについて
Author(s)	浅野，一彦
Citation	北海道大學水産學部研究彙報，32(4)，409-416
Issue Date	1981-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23777
Type	departmental bulletin paper
File Information	32(4)_P409-416.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
32(4), 409-416. 1981.

FRP 積層板の物性
III. 板厚と硬さのバラツキについて

浅野一彦*

The Properties of an FRP Board
III. The dispersions of thickness and hardness

Kazuhiko ASANO*

Abstract

The dispersions of thickness and hardness of the FRP boards that were formed by the bending test were measured. The hardness was measured by Rockwell and Barcol.

The mean and the standard deviation of each measurement are shown in Tables 2, 3, 4 and the histogram of each measurement is shown in Figs. 2, 3, 4.

Regarding the measurements of the thickness, it was problem to divide the measure points into two groups. But, it has become clear by the problem that the FRP boards have ups and downs regarding thickness. The differences of the thickness between Max. and Min. were 0.7~1.5 mm each.

Concerning the hardness by Barcol, the standard deviations were about 6.0 ±0.5 without the extreme low measured values.

Concerning the hardness by Rockwell, the relation between the mean (M) and the standard deviation (D) is

$$D = -0.69\,M + 18.48 \qquad R = -0.76$$

when the extreme low measured values are excluded

$$D = -0.46\,M + 12.54 \qquad R = -0.89$$

where R is a coefficient of correlation.

緒　　言

FRP 積層板の物性研究において測定値のバラツキが大きな障害となっている。第1報で報告した様に著者が行なった測定においても FRP 積層板の硬さのバラツキのために当初の目的が果せなかった[1]。また，第2報では FRP 積層板において積層方法よりも板厚の差やバラツキの方が曲げ弾性率に大きく影響していることを報告している[2]。

これらの実験を通じて FRP 積層板の物性測定値のバラツキは FRP 積層板が複合材であるという基本的問題のほかに，FRP 積層板表面の不均一性が大きく影響している様に感じられた。しかし，FRP 積層板の板厚や硬さなどのバラツキと物性の関係について広く報告されているものが見あたらない。

この論文では曲げ試験で使用した試験材の板厚と硬さの測定を行い，FRP 積層板の板厚と硬さのバラツキを解明している。

* 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*)

測 定 方 法

板 厚

図1に示す様な試験材両端の 1cm 間隔に区切られた 1～100 番の点をマイクロメーターで計測した。

この様な測定では中央部の広い範囲を計測すべきであるが，試験材の幅が広いために中央部を予測できるマイクロメーターでは計測技術が難しく，さらにマイクロメーターの接着面も大きなため誤差が生じやすいと考えて図1の様な試験材両端の2ケ所に分けての計測となった。

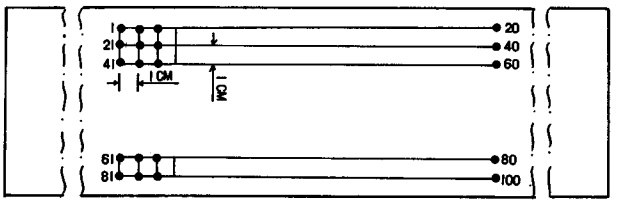

Fig. 1. Measured points of thickness.

硬 さ

硬さはロックウエル硬度計とバーコル硬度計を使用して計測した。

ロックウエル硬さはスケール R（試験荷重 60kg，圧力子 1/2inch）を使用し，JIS k-7202 に基づき計測を行なった。

計測個所はロックウエル硬さ，バーコル硬さ共に試験材の中央部に 1cm×1～1.5cm のます目を 100 点引いて行なった。

計測時の室温はバーコル硬さで 22°C，ロックウエル硬さで 24～26°C である。

試験材

表1に試験材の要目を示す。各試験材に使用されているガラス基材，樹脂は同一製品であり，詳細については第2報を参照されたい[2]。

Table 1. *Glass formation of test boards.*

Test board No.			Glass Formation	L×B (mm)
Thickness	Rockwell	Barcol		
T- 1	R- 1	B- 1	MR×8	600×300
2	2	2	MR×4+MR×4	〃
3	3	3	MR×8	〃
4	4	4	MR×4	600×100
5	5	5	MR×2+MR×2	〃
6	6	6	MR+MR+MR+MR	〃
7	7	7	MRMRM	〃
8	8	8	M+RMR+M	〃
9	9	9	MR+M+RM	〃
10	10	10	M+R+M+R+M	〃

使用計器

マイクロメーター	YUAN 01-M, 0～25mm	NSK
ロックウェル硬度計	3R	(株) 東京衡機製造所
バーコル硬度計	GYZJ 934-1	BARBER-COLMAN CO.

測定結果と考察

板　厚

板厚の測定結果を表2と図2に示す。

板厚の計測値の分布は試験材 T-1, 4, 7, 8, 9 ではほぼ正規分布をしている様である。他の試験材の計測値は山が2ケ所あるヒストグラムとなり，当然ながら正規分布をしている試験材に比べ標準偏差は大きくなっている。

次に，計測値のヒストグラムの山が2ケ所に分かれた原因を試験材毎に述べる。

試験材 T-2, 3 では計測点 (1～60) と (61～100) の間に板厚の差があり，計測個所を2ケ所に分けた欠陥が表われている。

試験材 T-5, 6 では計測点の左側より右側に行くにしたがい薄くなる傾向を示した。特に T-5 では

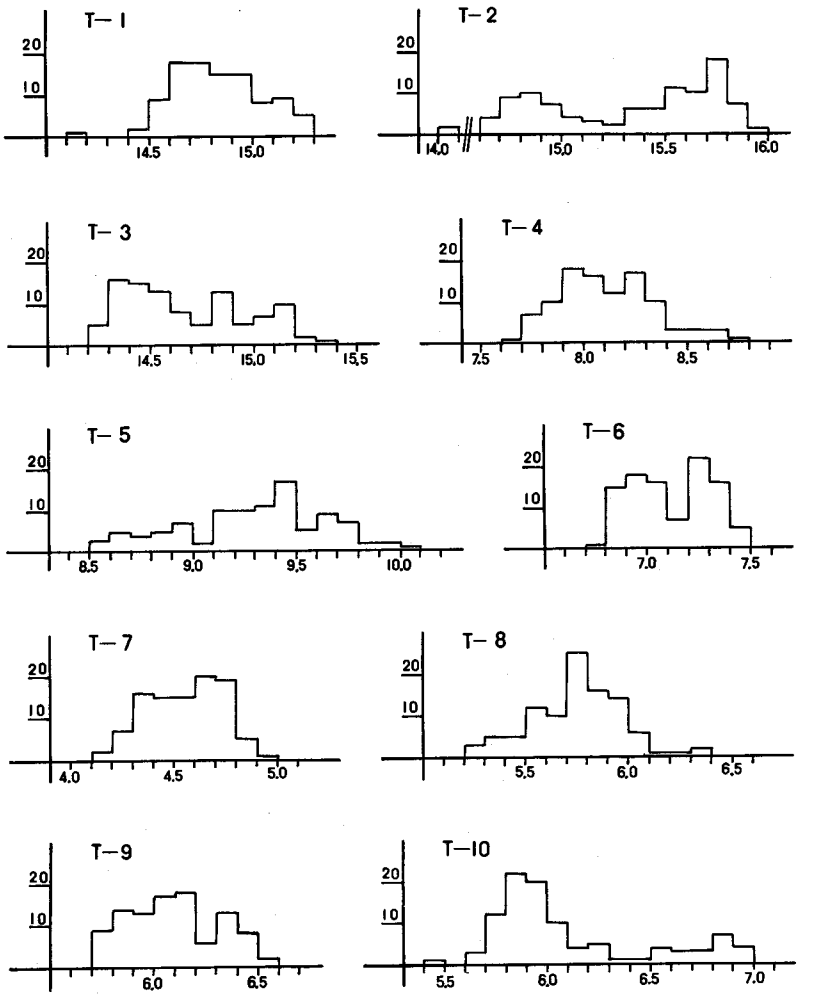

Fig. 2. Histogram of thickness.

Table 2. *Result of thickness measurement.*

Test board No.	Mean (cm)	Standard deviation	Max. (cm)	Min. (cm)	Difference (Max. – Min.)
T- 1	14.833	0.211	15.232	14.155	1.077
2	15.318	0.436	15.905	14.060	1.845
3	14.675	0.297	15.335	14.232	1.103
4	8.114	0.228	8.705	7.682	1.023
5	9.288	0.359	10.085	8.570	1.515
6	7.136	0.286	7.487	6.789	0.698
7	4.551	0.185	4.920	4.172	0.748
8	5.747	0.222	6.327	5.248	1.079
9	6.089	0.215	6.533	5.709	0.824
10	6.100	0.389	6.962	5.480	1.482

左右の差が大きく標準偏差も大きくなっている。

試験材 T-10 では計測点の左側から右側に行く間に中央部を谷とする起伏が見られ，その起伏の差は 1mm 以上となっている。

これらの正規分布とならなかった試験材の板厚計測を通じ，FRP 積層板の板厚にある周期を持つ起伏がある様に感じられた。

さらに，表 2 より正規分布をしている試験材では板厚の最大値と最小値の差は 0.7～1.0mm，標準偏差は 0.2 前後と一定になっている。また，他の試験材においても板厚の最大値と最小値の差は試験材 T-2 を除くと 0.7～1.5mm と小さく，標準偏差も計測点を板全体に広げるならばかなり低下するであろう。

以上より，今回の板厚測定では板厚のバラツキは積層方法，板厚に関係なくほぼ一定と考えられる。今，各試験材の板厚のバラツキが一定であるとすれば，その原因は試験材の表面上の問題により生じたものであろう。

今回の各試験材はハンドレイアップ法で積層されており，この方法では樹脂を含浸させる際に表面の樹脂付着量を均一化することは難しい。また，積層にはローラーが使用されており，この影響のために試験材表面に周期的な起伏が生じていると考えられる。

さらに，今回の試験材は各々一枚の FRP 積層板を切断して作製された板であり，正規分布となった試験材も元の大きな FRP 積層板では他の試験材と同様に起伏や凹凸がある様に考えるのが妥当であろう。

Table 3. *Result of hardness measurement by Rockwell.*

Test board No.	Mean 1	Standard deviation 1	Mean 2 & (Number of points)	Standard deviation 2
R- 1	23.3	3.11	24.0(92)	1.43
2	25.2	1.73	25.5(97)	0.98
3	23.9	2.84	24.2(97)	1.65
4	22.6	2.36	22.8(97)	2.13
5	24.4	1.72	24.6(98)	1.21
6	24.2	1.31	24.2(100)	1.31
7	24.2	1.29	24.3(98)	0.99
8	22.7	3.19	23.2(96)	2.02
9	22.9	2.72	23.3(96)	1.57
10	24.9	0.92	25.0(99)	0.87

Table 4. *Result of hardness measurement by Barcol.*

Test board No.	Mean 1	Standard deviation 1	Mean 2 & (Number of points)	Standard Deviation 2
B- 1	49.2	7.69	49.6(96)	6.62
2	50.1	5.89	50.4(99)	5.30
3	47.4	12.50	50.2(93)	6.89
4	42.3	6.39	42.7(98)	5.75
5	46.6	6.81	46.8(99)	6.45
6	41.5	6.10	41.5(100)	6.10
7	48.6	6.56	48.9(99)	5.76
8	45.2	5.88	45.2(100)	5.88
9	38.3	7.01	38.8(98)	5.65
10	37.8	7.55	38.9(95)	5.64

硬 さ

ロックウエル硬さの測定結果を表3, バーコル硬さの測定結果を表4に示す。

表3のロックウエル硬さにおいて100点全ての平均値, 標準偏差を Mean 1, Standard deviation 1, 硬さ計測時に圧力子の加重により白化した個所の値を除いた時の平均値, 標準偏差を Mean 2, Standard deviation 2 として示している。

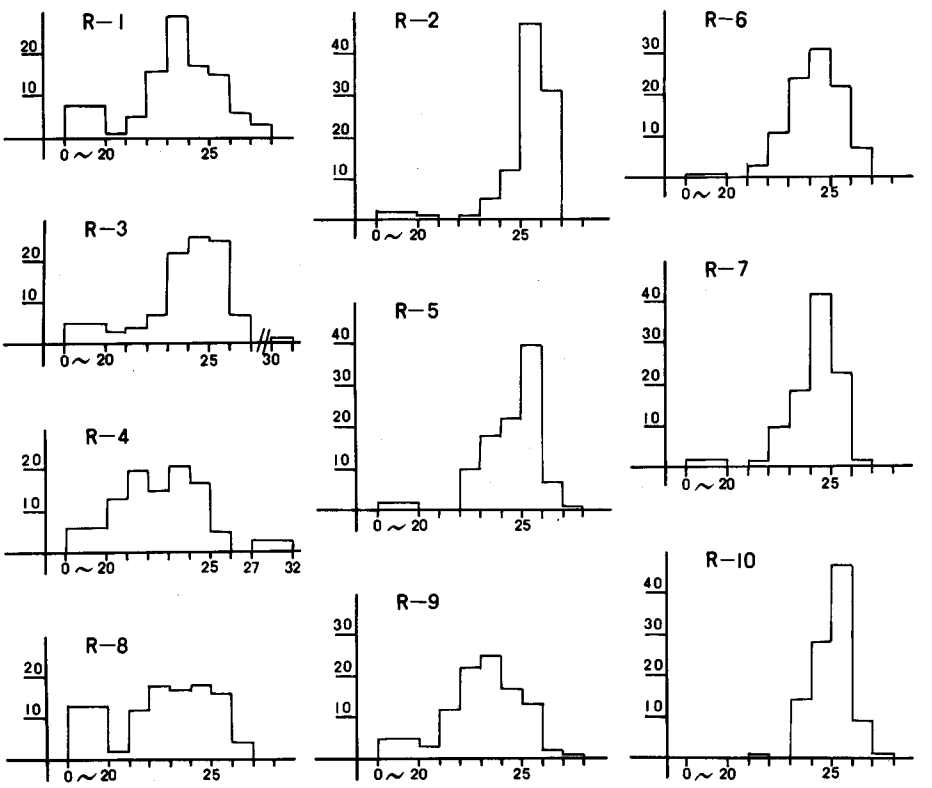

Fig. 3. Histogram of hardness by Rockwell.

表4のバーコル硬さにおいても100点全ての平均値，標準偏差を Mean 1, Standard deviation 1, 計測値の極端に低い値（25未満）を除いた時の平均値，標準偏差を Mean 2, Standard deviation 2 として示している。

これら白化個所や極端に低い値は主に FRP 積層板表面の気泡の個所で生じている。特に試験材 R-1, B-3 では目視で多量の気泡が観察されており，硬さの計測においても極端に低い値が多くなっている。

また，ロックウエル硬さの計測値のヒストグラムを図3，バーコル硬さの計測値のヒストグラムを図4に示す。硬さの計測値の分布はロックウエル，バーコル硬さともにほぼ正規分布となる様である。ただ，ロックウエル，バーコル硬さともに低い値の方に広がる傾向があり，平均値がヒストグラムの山頂部より低い値となることが多い。

今回の硬さの測定において，各々の平均値と標準偏差の間に相関性が見られる。

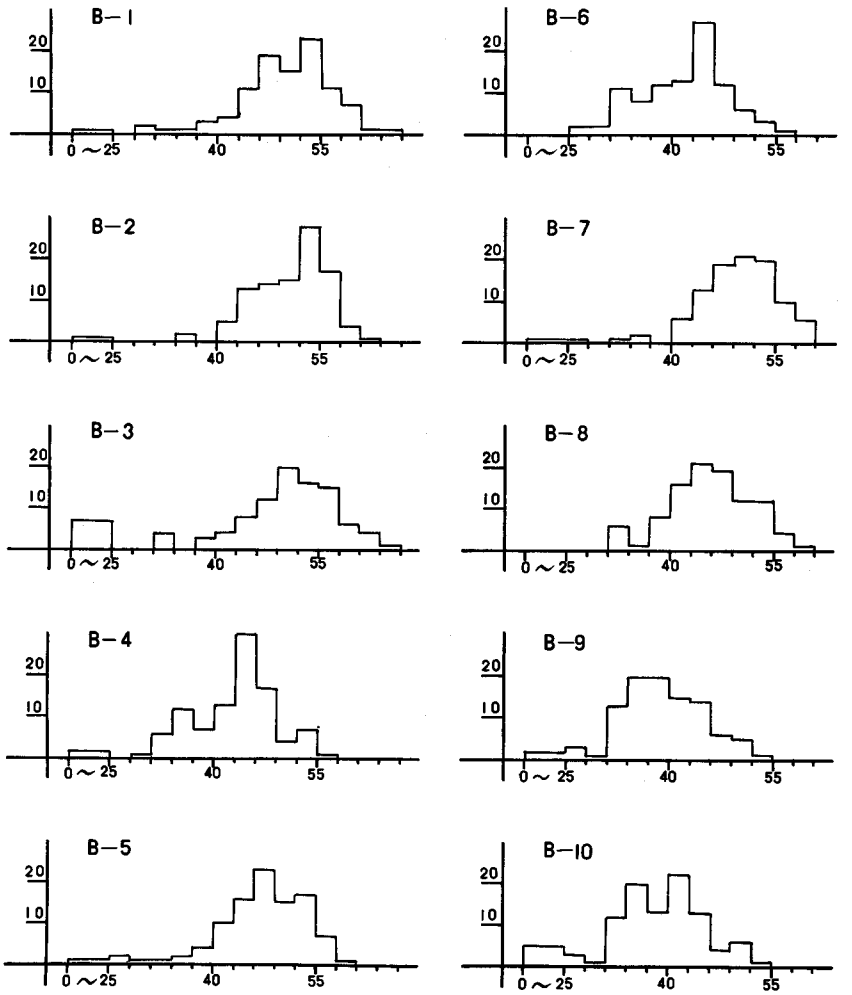

Fig. 4. Histogram of hardness by Barcol.

ロックウエル硬さでは硬さの平均値が高くなるほど標準偏差が小さくなるという関係が見られる。図5に白化個所を除いた時のロックウエル硬さの平均値と標準偏差の関係を示す。さらに，硬さの平均値を M，標準偏差を D とおくと，

100 点全ての時

$D_1=-0.69M_1+18.48$　　$R_1=-0.76$

白化個所を除いた時

$D_2=-0.46M_2+12.54$　　$R_2=-0.89$

なる関係が得られる。白化個所を除いた時の相関係数は -0.89 と硬さの平均値と標準偏差の間に高い相関性を示している。また，100 点全ての時も相関係数は -0.76 と高い値を示している。

次に，バーコル硬さでの極端に低い値を除いた時の平均値と標準偏差の関係を図6に示す。バーコル硬さでは標準偏差は平均値の高低に関係なく 6.0 ± 0.5 と一定の様である。

さらに，バーコル硬さの計測値はロックウエル硬さに比べバラツキが大きい。これは，バーコル硬度計の圧力子がロックウエル硬度計の圧力子に比べ接着面が小さなために生じたと考える。ロックウエル硬度計の大きな圧力子接着面では硬さは接着面全体の平均値的に表わされるのに対し，バーコル硬度計の針の様な圧力子では FRP 積層板表面の詳細な硬さを計測するためにバラツキも大きくなると考える。

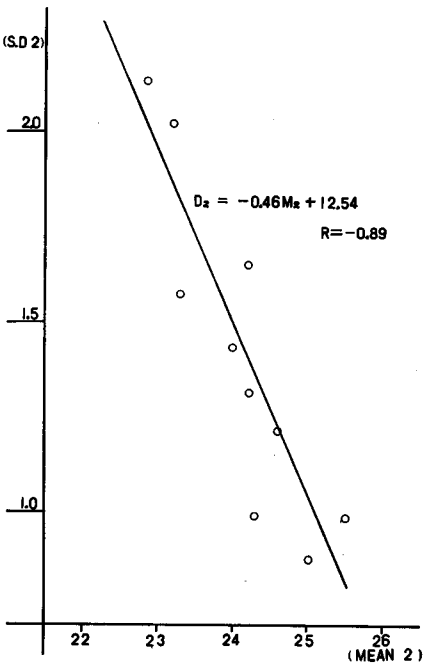

Fig. 5. Relation of hardness by Rockwell without extreme low measured values between mean and standard deviation.

また，今回の測定ではロックウエル硬さとバーコル硬さの間には相関性は認められないようである。

結　　言

今回の板厚測定では計測点の設定に問題があった。しかし，今回の板厚測定では板厚に大きな起伏

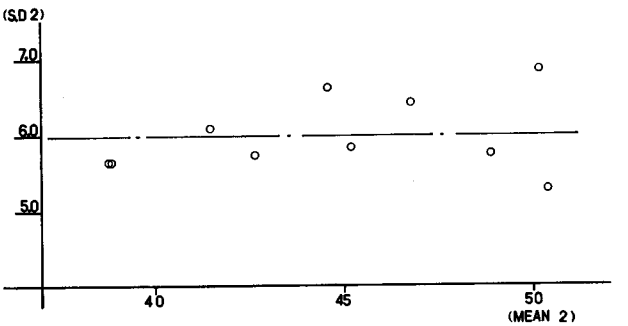

Fig. 6. Relation of hardness by Barcol without extreme low measured values between mean and standard deviation.

が計測され，FRP 積層板の板厚を考える上でかえって良い結果が得られたと思う。

今回の測定結果をまとめると次の様になる。

板 厚

1. 板厚のバラツキは厚さに関係なくほぼ一定の様である。
2. ローラーを使用して積層する時は表面に周期的起伏が生じやすい。

硬 さ

1. ロックウエル，バーコル硬さともに極端に低い値は主に表面上の気泡個所で生じる。
2. ロックウエル，バーコル硬さの計測値はほぼ正規分布となる様である。
3. ロックウエル硬さでは硬さとバラツキの間に反比例の関係が見られる。
4. バーコル硬さではバラツキは硬さに関係なくほぼ一定の様である。
5. ロックウエル硬さとバーコル硬さの間には相関性は見られなかった。
6. バーコル硬さのバラツキはロックウエル硬さに比べ大きい。

今回の各試験材は物性測定用に作製した FRP 積層板であり，積層作業は最良の条件下で行なわれており実際の FRP 船体などでは板厚や硬さのバラツキは今回の測定値以上になると考えられる。

現在，FRP 船の強度試験として船体より切り出された試験片で各種強度，弾性率等が求められる。これらの試験において今回の測定の様に船体板厚に大きなバラツキがあるとすれば，試験片は船体全体を代表したものとは言えなくなる。特に，4～5mm 程度の FRP 積層板においても 1mm 前後のバラツキがあることは小型 FRP 船の強度上に大きな問題となろう。

硬さでは，バーコル硬さで極端に低い値を 25 未満として処理しているが実際上この値が妥当か否かは検討の必要がある。

また，今回の硬さの測定においてもロックウエル，バーコル硬さとともにバラツキは大きく，他の物性との相関性を求めることは困難であろう。しかし，ロックウエル硬さの測定において硬さの平均値と標準偏差の間に高い相関性が示されたことは注目すべきことと考える。

最後に，今回の計測やデータ整理に協力してくれた半田幸清君（現剣淵町役場）と助言を得た（有）服部造船所の吉田悟郎氏に感謝します。

文 献

1) 浅野一彦 (1980). 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. 北大水産彙報 **31**, 246-251.
2) 浅野一彦 (1981). FRP 積層板の物性 II. 曲げ試験における板厚の影響について. 北大水産彙報 **32**, 176-181.