

FRP防水層 / 下地間の接着メカニズム  
(その3 防水層の熱応力が界面に及ぼす影響)

正会員 宇野良紀\*  
正会員 大野博文\*\*

FRP防水 硬化収縮 残留応力  
ポリエステル樹脂 熱応力 せん断接着強度

1. はじめに

FRP (Fiber Reinforced Plastics) 防水層とコンクリートなどの下地との接着力は防水層に用いる樹脂の硬化収縮、外気温変化による防水層の膨張・収縮が少なからず影響すると考えられる。筆者らは、それらがどの程度影響しているかをその1, 2で考察した。その1で下地に拘束された防水材の硬化収縮は接着面方向より厚み方向の方が遙かに大きい事が判った。その2では防水材 / 下地界面のせん断接着力を実測し、硬化収縮による歪みから求めた残留応力とを比較した。その結果、せん断接着力は歪みとヤング率の積から求めた残留応力を下回らない事を確認した。また、熱膨張・収縮から発生する熱応力についても防水材の線膨張率から歪み量を求め、同様にせん断接着力と比較し、伸び率の高い軟質樹脂を用いた場合熱応力が比較的小さく、下地との接着に有利である事が判った。

本報ではその2で求めた熱応力が無拘束状態を想定したものであったため、下地拘束された状態(モデル)での温度変化による熱応力を実測し、せん断接着力と比較したので、以下に報告する。

2. 供試樹脂の種類

本試験に供した樹脂は軟質系の防水用不飽和ポリエステル樹脂 A、B、注型用軟質 C および硬質系の成形用不飽和ポリエステル樹脂 D の4種である。これら樹脂を3mm厚になるようにガラスケース内に注入、硬化させたもの(注型板)を以降の実験に用いた。

表1 供試樹脂硬化物の強度特性値(20℃)

特性値項目	A 軟質	B 軟質	C 軟質	D 硬質
引張り強度 (N/mm <sup>2</sup> )	22	34	59	74
ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )	450	1690	3120	4200
伸び率 (%)	90	45	12	1.8

3. 実験

3-1 熱応力の測定(下地拘束モデル)

図1のように恒温ボックス付き引張強度測定機を用い、雰囲気温度、試験片を60℃とした後、試験片を引張強度測定治具に固定させた。チャック間距離を保持させたまま、雰囲気

温度を20℃まで冷却、そのまま10時間放置した。ロードセルに伝わった供試片の熱収縮(60→20℃)力を読み取り、試験片の断面積で除した値を下地拘束状態での熱応力とした。同様に、試験片に掛かる荷重を開放した後、再度固定し、雰囲気温度を20℃から-20℃に冷却し、その温度領域の熱応力とした。

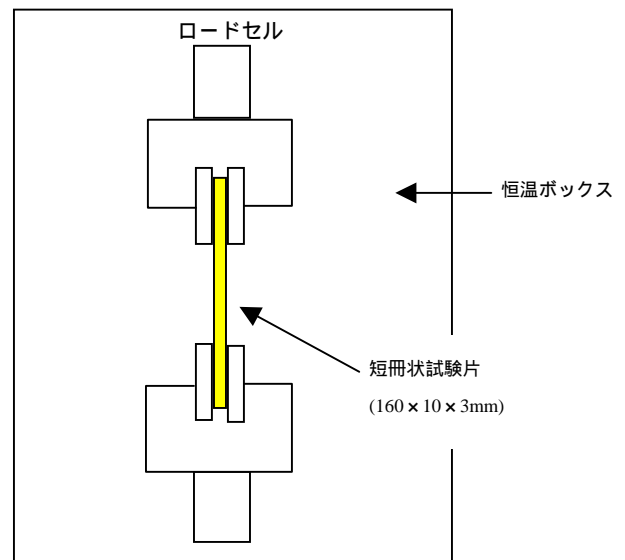


図1 引張強度測定機による熱応力測定

3-2 樹脂 / モルタル間せん断接着強度測定

今回用いた、せん断強度測定用の試験片を図2に示す。

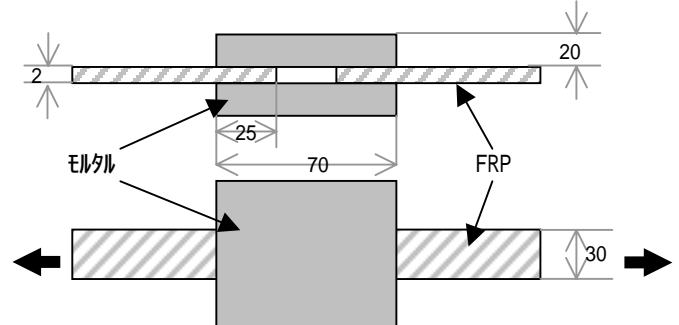


図2 せん断強度測定用供試片

図2のように20℃下で、モルタル板上に各樹脂を塗布し、ガラスマットを用いて短冊状に積層し、更にモルタル板で挟み込むようにして、FRPとモルタル板を接着した。次に矢印方向に引張り試験を行う事によってFRP / モルタル間のせん断強度を測定した。

#### 4. 結果と考察

##### 4-1. 熱応力

3-1で測定した熱応力結果を表2に示す。これら結果より以下の事が判った。

- ・ 温度変化幅が同じ40℃であっても低温側(20℃ - 20℃)より高温側(60℃ - 20℃)の方が発生する熱応力は小さい。
- ・ 硬化物の伸び率は高い方が発生する熱応力は小さい。

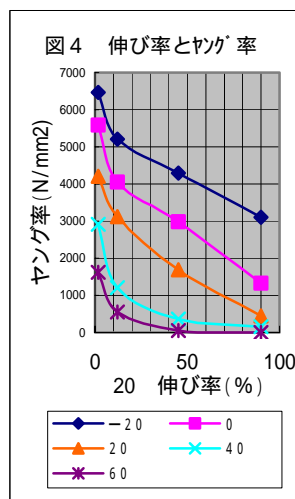
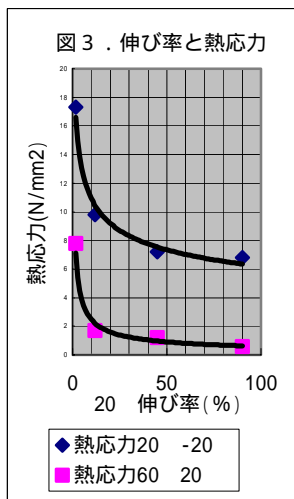
表2 各温度変化による樹脂硬化物の熱応力

樹脂	20℃ 伸び率 (%)	熱応力 (N/mm <sup>2</sup> )	
		60℃ - 20℃	20℃ - 20℃
A	9.0	0.6	6.8
B	4.5	1.2	7.2
C	1.2	1.7	9.8
D	1.8	7.8	17.3

- ・ また、20℃ 伸び率を横軸に各熱応力をプロットすると(図3)、15%付近で変曲点を持ち、それ以上の伸びがあれば、熱応力に大きな変化はない。

これら結果は、樹脂硬化物が高温であるほど、また伸び率の高い樹脂ほど、そのヤング率が低くなり、歪みとの積で求められる熱応力が低くなるという理屈とよく合致している。

20℃ 伸び率10~15%付近に変曲点が見られるのは、20℃ 伸び率を横軸に、各温度におけるヤング率をプロットした場合(図4)でも、図3と同様に10~15%付近で変曲点があることと関係しているものと思われる。



##### 4-2. せん断接着強度と熱応力との比較

表3に3-2の方法で求めたせん断接着強度を示す。

せん断接着強度は樹脂、温度の違いによる大幅な変化は認められない。これは剥離界面の破壊形態がモルタルの母材破壊

であることが影響しているものと思われる。

表3 各温度におけるせん断接着強度 (単位: N/mm<sup>2</sup>)

温度 ( )	A	B	C	D
-20	8.0	7.9	6.9	6.9
0	8.0	7.2	7.5	7.3
20	7.3	7.1	7.3	7.2
40	6.6	6.9	7.2	7.0
60	5.3	6.0	6.8	6.6

これらせん断接着強度と先に求めた熱応力を表4で比較した。高温側の温度変化による熱応力は殆どの樹脂でせん断接着強度より小さく、熱応力による界面剥離は起こらないが、低温側の温度変化では樹脂C、Dの熱応力が高く、せん断接着強度を上回り、界面の接着に不安を残す結果となった。

表4 せん断接着強度と熱応力の比較 (単位: N/mm<sup>2</sup>)

温度変化	樹脂	せん断接着強度	熱応力	-
60 20	A	5.3~7.3	0.6	4.7~6.7
	B	6.0~7.1	1.2	4.8~5.9
	C	6.8~7.3	1.7	5.1~5.6
	D	6.6~7.2	7.8	-1.2~-0.6
20 -20	A	7.3~8.0	6.8	0.5~1.2
	B	7.1~7.9	7.2	-0.1~0.7
	C	6.9~7.5	9.8	-2.9~-2.3
	D	6.9~7.3	17.3	-10.4~-10.0

#### 5. まとめ

- ・ 硬化物が下地拘束された状態の熱膨張、収縮を想定したモデル実験として、恒温ボックス付き引張強度測定機を用い、硬化物の熱応力を測定した。
- ・ 熱応力は硬化物の伸び率が高いほど小さく、高伸び率の樹脂A、Bは下地界面の接着保持に有利に働く。
- ・ 下地接着力の観点から、熱応力が小さくなる領域(少なくとも20℃ 伸び率15%超、好ましくは同40%超)の樹脂を選択する事が望ましいと思われる。
- ・ 伸びの低い樹脂C(12%)、D(1.8%)の熱応力は低温領域でせん断接着強度を上回り、下地界面との接着に不安を残す結果となった。

#### 6. 今後

今回、本来であればFRPを用い熱応力を測定すべきところであったが、条件設定など安定化が困難であったため、注型板を用いた。今後、より実態に近い構成で同様の比較を行い、防水材が下地に強固に接着するための樹脂組成、ガラス構成など見いだしていきたい。