

FRP防水層 / 下地間の接着メカニズム  
(その2 FRP防水層の残留応力の界面に及ぼす影響)

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) 防水層はマトリックスとなる不飽和ポリエステル樹脂と補強材であるガラス繊維で形成されている。マトリックスである不飽和ポリエステル樹脂は液相から固相への硬化反応過程で、およそ7~9%という大きな体積収縮を生じる。この収縮はコンクリートなどの基材に接着した防水層では、その接着界面にストレスを与える。また、気温の変化(-20~60)によるFRP防水層の膨張・収縮も同様である。これらのストレスはその大きさ如何によっては防水層の膨れや剥離の原因となる。筆者らはFRP防水層 / 基材間の接着界面の挙動を観察し、その接着メカニズムについて考察した。

その1(硬化収縮の測定)では防水層の硬化過程における体積収縮挙動の観察を行った。不飽和ポリエステル樹脂の硬化収縮は無拘束の状態においては等方向に均一に収縮すると考えられるが、防水層が下地に拘束された状態では、面方向(XY方向)の収縮はその拘束により抑制され、収縮の殆どが厚さ方向(Z方向)に集中することが判った。本報ではその1で得られたFRP防水層の収縮率を用いて、その収縮による防水層の残留応力を求め、モルタル / 防水層間のせん断接着強度(実測)と比較した。また、FRP防水層の線膨張率を測定し、温度変化による接着界面の影響についても考察したので結果を以下に報告する。

2. 供試樹脂の種類

本試験に供した樹脂はその1と同様、軟質系の防水用不飽和ポリエステル樹脂および硬質系の成形用不飽和ポリエステル樹脂の2種である。

表1 供試樹脂の特性値(25)

特性値項目		防水用樹脂	成形用樹脂
樹脂 注型板	引張り強度(N/mm <sup>2</sup> )	22.0	57.5
	引張り弾性率(μ)	900	3760
	伸び率(%)	70	1.8
FRP板	引張り強度(N/mm <sup>2</sup> )	73.0	82.0
	引張り弾性率(μ)	3600	6300
	伸び率(%)	2.8	1.5

\*FRP板は樹脂 / ガラス繊維=77/23 重量比(ガラス繊維 23%)

3. 硬化収縮によるFRPの残留応力の計算

下地に拘束されたFRPの面方向の収縮率と用いた樹脂の引張り弾性率とから接着界面の残留応力を計算した。

下地に拘束されたFRPの硬化収縮による面方向収縮率はその1で測定した値を用いた。(表2)

表2 FRP板の面方向線収縮率(N=3)

	線収縮率(%)
防水用樹脂	0.05
成形用樹脂	0.16

硬化収縮による接着界面の残留応力(N/mm<sup>2</sup>)は計算式(1)で表され、上記数値を用い、20℃で成形した防水用樹脂、成形用樹脂の残留応力を求めた(表3)

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (1)$$

は硬化収縮による歪み、Eは樹脂引張り弾性率(N/mm<sup>2</sup>)<sup>注1)</sup>

注1) 接着界面に残留する応力計算は界面に接する樹脂に依存すると考え、ここではEに樹脂の引張り弾性率を用いた。

表3 FRP防水層の残留応力

		E(20℃)	
防水用樹脂	0.0005	1380	0.7
成形用樹脂	0.0016	4200	6.7

4. FRP / モルタル間せん断接着強度と残留応力との比較

4-1. FRP / モルタル間せん断接着強度の測定

今回用いた、せん断強度測定用の供試片を図1に示す。

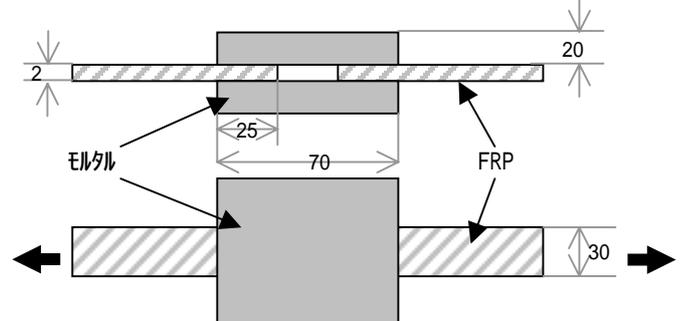


図1 せん断強度測定用供試片

図1のように20℃で、モルタル板上に短冊状のFRPを

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 - 2 . 残留応力 とせん断強度 の比較

3で求めた残留応力と4 - 1で測定したせん断強度の比較結果を表4に示す。FRP /モルタル層間接着力(せん断強度)は硬化収縮によるFRPの残留応力より大きい事から、防水層の硬化収縮による下地からの剥離が起こらない事がこれら結果から証明された。

表4 との比較(20)

	せん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )	残留応力 (N/mm <sup>2</sup> )
防水用樹脂	7.3	0.7
成形用樹脂	7.2	6.7

#### 5 . 温度変化による接着界面の影響

防水材は主に屋外施工であるため、常に外気に晒される。よって、夏に防水材表面が60 超、冬に - 20 になることがしばしばある。層間接着メカニズムを考える上で、これら温度変化による影響は無視できない。前述の硬化収縮と同様に温度変化をもたらす熱応力 とせん断強度 の比較を行った。表5に各温度における樹脂の引張り弾性率とFRP /モルタル間のせん断接着強度、表6に各材の線膨張係数を示す。

表5 各温度における引張り弾性率とせん断接着強度

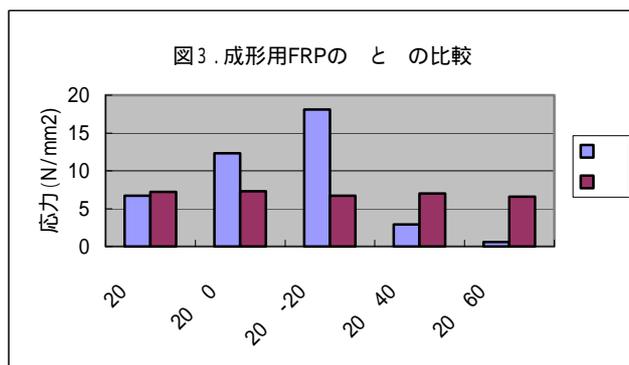
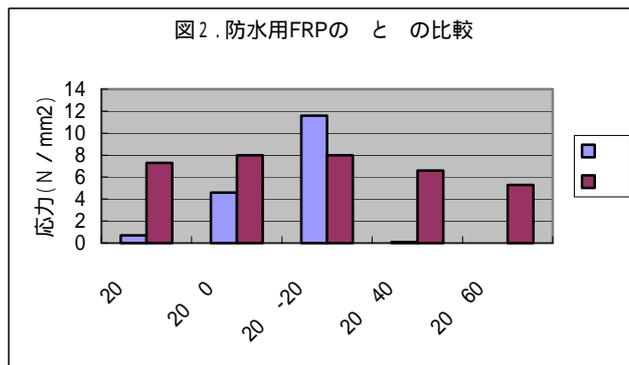
測定温度 ( )	樹脂の引張り弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )		FRP/モルタル間のせん断 接着強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	防水用 樹脂	成形用 樹脂	防水用 樹脂	成形用 樹脂
- 20	5080	6470	8.0	6.9
0	2920	5590	8.0	7.3
<b>20</b>	<b>1380</b>	<b>4200</b>	<b>7.3</b>	<b>7.2</b>
40	200	2910	6.6	7.0
60	5	1620	5.3	6.6

表6 各材料の線膨張係数( × 10<sup>-6</sup> )

温度 T( )	防水用 FRP	成形用 FRP	モルタル
T < 0	4.5	3.8	1.0
0 < T < 60	6.4	3.8	1.0
T > 60	6.4	5.1	1.0

これらの測定値を用いて、各材料を20 から0 、 - 20 に冷却した場合、あるいは20 から40 、 60 に加温した場合における各材料の残留応力+熱応力( )を求め、表5に示すせん断接着強度( )と比較した。結果を図

2、3に示す。



#### 6 . 結果

- 1) 不飽和ポリエステル樹脂の硬化収縮によるFRPの残留応力はモルタルとの接着力を上回る事はなく、硬化収縮によりFRP /モルタル間が剥離することは無いと考えられる。
- 2) 防水用樹脂を用いたFRPは20 ~ - 20 への温度変化を除き、 > であり、想定した殆どの温度変化においてもモルタルとの接着は保たれると推測できる。一方成形用FRPは冷却側では < であり、モルタルとの接着に不安が残る。

#### 7 . まとめ

今回、FRP 防水層の硬化収縮、熱膨張、熱収縮量より、その内部応力を求め、基材との接着力と比較した。その結果、防水用樹脂を用いた防水層は成形用樹脂のそれに比べて、残留応力、熱応力が小さく、基材モルタルとの剥離が起こりにくい事が解った。

しかし、一部の環境ではFRP /モルタル間が剥離してもおかしくない結果となった。この実際とは異なる結果はせん断強度 の測定に用いた供試片自体、既にストレスを持った状態である事や防水用樹脂についてはガラス転移点(0 付近)以上の環境でクリープ現象が起こり、ストレスが解放されていく事など、その他様々な要因が考えられ、今後のメカニズム解明の課題としたい。

\* ジャパンコンポジット株式会社

\*\*大泰化工株式会社

\* JAPAN COMPOSITE Co.,Ltd.

\*\* DAITAI CHEMICAL corp