

FRP防水層 / 下地間の接着メカニズム
(その1 硬化収縮測定)正会員 大野博文*
正会員 宇野良紀**FRP防水 硬化収縮 硬化収縮残留応力
ポリエステル樹脂 レザ-変位計

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。マトリックスとな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8%という大きな体積収縮を生じる。硬化収縮によって生じる残留応力の大きさによっては防水層の剥離原因となる恐れがある。防水層 / 下地間のせん断接着強度以上の残留応力が発生した場合、施工後の早い段階で防水層の剥離が生じる。

今回、下地接着時の防水層 / 下地界面における防水層の線収縮率を測定し、残留応力とせん断接着強度の関係を考察した。また、防水層形成後の寒熱繰り返し時の熱膨張収縮により発生する熱膨張収縮応力を測定し、せん断接着強度との関係を考察した。

本報では下地接着時における下地界面の線硬化収縮率を測定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 (伸び率70%) および硬質系のFRP成形用不飽和ポリエステル樹脂 (伸び率1.8%) の2種である。それぞれの樹脂注型板およびFRP板 (樹脂 / ガラスマット = 77 / 23重量比) の機械的特性値を表1に示した。

表1 供試樹脂の特性値

	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 ²)	22.0	57.5
	引張り弾性率(″)	900	3760
	伸び率 (%)	70	1.8
FRP板	引張り強度(N/mm ²)	73.0	82.0
	引張り弾性率(″)	4430	7610
	伸び率 (%)	2.8	1.5

* FRP板は樹脂 / ガラスマット=77/23重量比(ガラスコンテント 23%)

3. 下地界面における線収縮率測定

下地界面に生じる線収縮率の測定方法は、約200mm幅に刻印した鋼板 (あらかじめ離型剤処理したもの) に樹脂注入及びFRPライニングし、硬化した後に鋼板から引き剥が

して硬化物の刻印 (転写) 間の寸法を測長し、元の鋼板刻印間寸法と硬化物刻印間寸法との寸法変化率から下地界面に生じる線収縮率を求めた。試験方法の詳細を以下に述べる。

3.1 樹脂注型板の線収縮率測定

図1のごとく予め約200mm幅に刻印したSUS鋼板 (300×75×5mm厚、鏡面仕上) を下地材として準備した。表面を離型剤処理したのち、樹脂の流出を防ぐ為に周囲に3mm厚の型枠を貼り付け、25 雰囲気中にセットした。

硬化剤1%を調合した供試樹脂を2mm厚まで流し込み、25 雰囲気中で3時間硬化させたのち、60にて16時間加熱硬化させた。更に、25で24時間養生したのちに鋼板から樹脂注型板を引き剥がし、表面に転写された刻印間距離を測長機で計測した。

線収縮率は元の鋼板の刻印間距離と引き剥がし後の樹脂注型板刻印間距離より算出した。

3.2 FRPの線収縮率測定

樹脂単体と同様の刻印したSUS鋼板 (型枠なし) を準備した。

予め300×75mmサイズに切断した目付量380g/m²のガラスマット2枚を準備しておき、硬化剤1%を調合した供試樹脂とガラスマットで鋼板面にFRPライニングした。使用樹脂量はガラスコンテントが23%になるよう調整した。

FRPライニング後の硬化条件は樹脂単体と同じく、25で3時間養生したのち60で16時間加熱硬化した。更に、25で24時間養生後、鋼板から引き剥がしFRP表面に転写した刻印間距離を測長機にて測定した。

線収縮率は元の鋼板の刻印間距離と引き剥がし後のFRP板表面の刻印間距離より算出した。

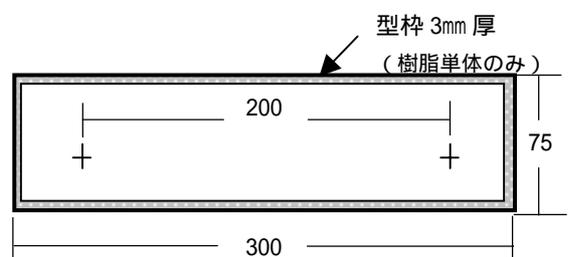


図1 線収縮率測定用下地鋼板

4. 試験結果

供試樹脂 2 種の樹脂注型板及び F R P 板の刻印間距離の変化率より得られた下地界面の線収縮率は表 2 のとおりである。また、JIS K6901 5.12 に基づき各供試樹脂の液比重及び硬化物比重測定より求めた体積収縮率と表 2 の樹脂注型板の線収縮率から厚み方向の収縮率を算定すると表 3 の結果を得た。

表 2 樹脂注型板及び F R P 板の線収縮率
(単位：％，N=3)

	樹脂注型板	F R P 板
防水用樹脂	0.24	0.05
成形用樹脂	0.34	0.16

表 3 樹脂注型板の各方向の線収縮率 (単位：％)

	体積収縮率	面方向線収縮率 (実測値)	厚み方向線収縮率 (計算値)
防水用樹脂	8.75	0.24	8.31
成形用樹脂	6.74	0.34	6.10

5. 線収縮率の検証

表 3 のごとく、下地界面の線収縮率は非常に小さく、体積収縮率から算出した厚み方向の収縮は非常に大きくなる結果が得られた。こうした下地接着(片面拘束)時の収縮率の方向性挙動を検証する試みとして、レーザ変位計による厚み方向の膜厚減少率(収縮率)を測定し、JIS K6901 5.12 に基づき供試樹脂の液比重及び硬化物比重から得られた体積収縮率から面方向の線収縮率を算定した。

5.1 測定方法

供試樹脂は防水用樹脂とし、レーザ光の反射を可能とする為、防水用樹脂 100 部、酸化チタン 3 部、添加剤 1.2 部の白色に着色した試料を用いた。

試験装置及び試験体は図 2, 3 に示したとおりで、測定手順を以下に示す。

- 1) 下地モルタル板(70×70×20mm 厚)の表面にウレタンを塗布。乾燥養生後、試料の流出を防ぐ為、型枠(テフロ製 70×70×3mm 厚)を丸印にて外周面に固定。
- 2) 試験体保持台にモルタル板を固定した後、レーザ変位計の焦点をモルタル表面に合わせてゼロ点を調整。
- 3) 型枠内に硬化剤 1% 添加した試料を流し込み、液面が安定した時点で初期膜厚を測定。(膜厚約 2mm 厚)
- 4) 25 3 時間硬化後、更に 60 16 時間加熱硬化したのち 25 24 時間養生後に硬化物膜厚を測定。
- 5) 厚み方向の収縮率を初期膜厚と硬化物膜厚から算出。

5.2 試験結果

表 4 に測定結果と供試試料の液比重と硬化物比重より求め

た体積収縮率より算出した面方向の線収縮率を示した。

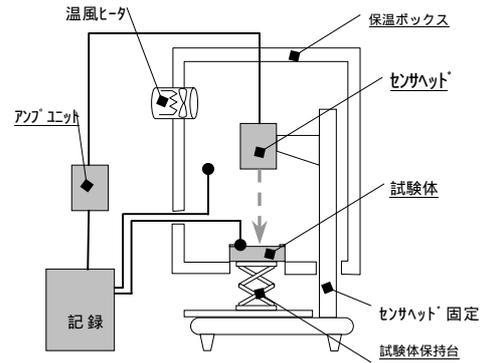


図 2 試験装置概要

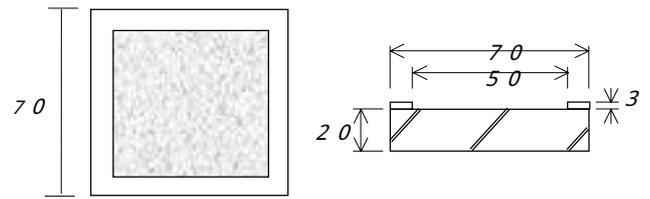


図 3 試験体

表 4 レーザ変位計測定による各方向の線収縮率

(単位：％ N=3)

	体積収縮率	面方向線収縮率 (計算値)	厚み方向線収縮率 (実測値)
防水用樹脂	7.93	0.44	7.12

6. 考察

- 1) 防水用ポリエステル樹脂の硬化時の体積収縮率はおよそ 8% で、等方向収縮では線収縮率は 2.7% 以上となる。本試験結果から下地接着(片面拘束)状態での下地界面における線収縮率は 0.24% と非常に小さく、また F R P 板ではガラス繊維の拘束力により樹脂単体の 1/5 (0.05%) まで小さくなることが判明した。
- 2) レーザ変位計による厚み方向の収縮率測定結果から防水層膜厚が 2mm 程度の場合、下地に接着した状態では硬化時の収縮は大半が厚み方向に働き、下地界面の収縮は極端に低減されることが判明し、1) の結果が検証された。
- 3) 防水用樹脂と成形用樹脂の収縮挙動の大きな違いは認められなかったが、防水用樹脂の方が樹脂単体及び F R P 板とも線収縮率は小さくなった。これは硬化時の反応性の違いが影響しているものと考えられる。

7. まとめ

本結果をふまえて、第 2 報では硬化収縮残留応力とせん断接着強度との関係及び施工後の温度変化とせん断接着強度の関係を紹介する。

*大泰化工(株)

**ジャパンコンポジット(株)

*DAITAI CHEMICAL corp

**JAPAN COMPOSITE Co., Ltd.