

## 施工性能

施 03-01	FP プライマーFP-WE7 の湿潤面接着性評価。 日本道路公団「繊維シート用接着剤の湿潤面付着強さ試験方法」(JHS412)に合格。
施 08-01	トウシート低温養生での強度発現。 FR-E3P(冬用)を5 および23 で引張試験、接着試験実施。規格クリアを確認。
施 08-03	FE-Z および FR-E3P について、引張せん断試験実施。養生時間と強度発現を調査。
施 08-05	トウシート施工後、-5 で12時間放置したケースで引張試験、接着試験実施。 規格値以上の性能を確認。
施 12-02	FTS-C1-20 最小曲率半径試験結果。 出隅部は炭素繊維の折れ曲がり防止のためR加工(曲率加工)が必要となる。 曲率半径と引張強度を求める試験方法、FTS-C1-20 の測定結果。
施 12-03	炭素繊維シート最小曲率半径試験結果。 FTS-C1-20、C1-30、C5-30 について曲率半径と引張強度試験結果。
施 13-01	トンネル等の補強を行った場合、風圧(減圧)により剥離することが懸念される。 剥離挙動を把握するため簡易チャンバーを用いた減圧剥離実験を実施。
施 14-01	コンクリートの巢孔上に発生するトウシートの浮きに関して、その発生メカニズムを検証する実験を実施。
施 16-02	トウシートとアスファルトの接着試験。 床版の上面補強を想定し、トウシートとアスファルトの接着試験を実施。トウシート上に白竜碎石を散布し接着性が確保された。
施 16-05	床版上面施工要領(エポキシ系施工樹脂) トウシートで床版上面補強後、アスファルト施工する施工手順。
施 16-05-1	床版上面施工要領(MMA系施工樹脂) MMA樹脂で床版上面補強後、アスファルト施工する施工手順。
施 17-01	トウシート施工後、塗膜系防水材料を施工する際の接着性について評価。
施 18-02	トウシート上にモルタルを打継ぐ場合の施工方法。
施 21-01	施工樹脂量と炭素繊維シートの引張強度の関係を調査。
施 22-01	トウシート施工した梁曲げ試験で、下地処理がシート補強効果に及ぼす影響について検討。

## 試験方法

試験 02-03	トウシートラップ試験要領。
試験 02-04	トウシート(炭素繊維シート)引張試験要領。
試験 02-05	トウシート接着試験要領。
試験 02-06	トウシートR部引張試験要領。
試験 02-07	トウシート(アラミド繊維シート)引張試験要領。
試験 03-01	スパイダースレッド引張試験要領。

## 湿潤コンクリート面用プライマーの接着性評価結果

### 1. 概要

湿潤コンクリート面用プライマー（FP プライマー：FP-WE7）の湿潤接着性能を評価した。

### 2. 試験方法

・日本道路公団規格「繊維シート用接着剤の湿潤面付着強さ試験方法」（JHS412）に準拠した。

JIS コンクリート平板準備

寸法 300×300×60mm の JIS コンクリート板をケレンし、水中に 24 時間以上浸漬。

プライマーFP-WE7 塗布

水中からコンクリート板を取り出し、直ちにウエス等で被着面を軽くふき取り、コンクリート板を半浸漬の状態にし、プライマーFP-WE7 を塗布する。

養生およびトウシート施工

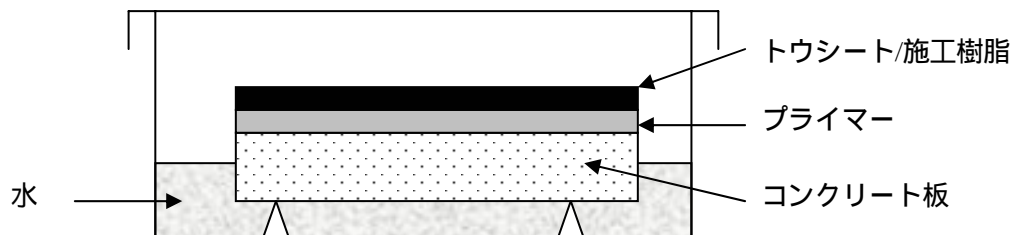
容器の蓋をして、半浸漬のまま 1 日養生後、トウシートを施工。

（施工樹脂 FR-E3P 下塗り/トウシート貼り付け・含浸/施工樹脂上塗り）

養生および接着試験準備

容器の蓋をして、7 日間養生。

その後、接着試験用アタッチメントを接着し、建研式接着試験に供した。



### 3. 試験結果

接着強度および破壊モードを表 1 に示す。

FP プライマー：FP-WE7 は湿潤状態のコンクリート面への施工でも、十分な接着強度を有す。

表 1. 湿潤面施工 接着試験

測定 No	1	2	3	4	5	平均
接着強度 kgf/cm <sup>2</sup>	55	51	59	50	58	54
破壊モード	母材	母材	母材	母材	母材	全て母材破壊

以上

## トウシート低温養生での強度発現

### 1. 概要

- ・低温で施工した時の、トウシートの強度発現までの期間を求めることを目的として、5 養生での引張強度、接着強度試験を実施した。
- ・また、比較として 23 養生での引張強度、接着強度試験も合わせて実施した。

### 2. 使用材料および試験方法

- ・冬用施工樹脂を用いてトウシートの引張試験片および接着試験片を施工し、5 および 23 で養生して引張強度および接着強度の経時変化を測定した。
- ・試験に用いた材料は以下の通り。
  - トウシート : FTS-C1-20
  - 施工樹脂 : FR-E3P (冬用施工樹脂)
  - プライマー : FP-NS (冬用無溶剤プライマー/接着性試験のみ)
  - 接着試験片 : モルタル (70mm × 70mm × 20mm)
- ・尚、5 養生品は 5 にて測定し、23 養生品は 23 にて測定を実施した。

### 3. 実験結果

- ・試験結果を以下に示す。施工から 5 日目より引張強度、接着強度とも設計値(引張強度 3,400N/mm<sup>2</sup>、接着強度 1.9N/mm<sup>2</sup>または母材破壊)をクリアーしている。
- ・5 での低温施工においても、標準養生期間の 7 日間にて引張強度や接着強度が発現することが確認された。

以上

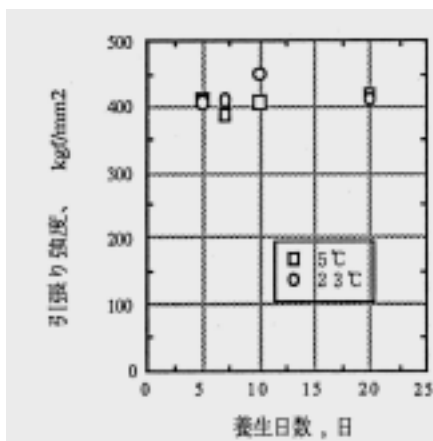


Fig.1 養生日数と引張り強度の関係

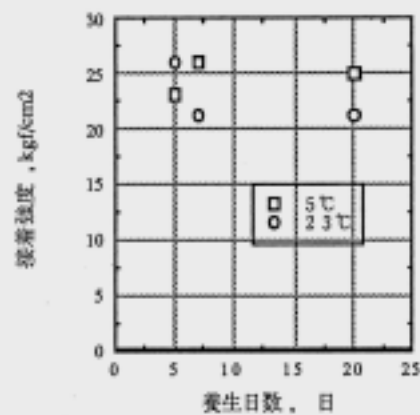


Fig.2 養生日数と接着強度の関係

(接着試験は全てモルタルの母材破壊)

## エポキシ樹脂の施工後養生時間と強度発現について

### 1. 概要

トウシート工法：炭素繊維シート接着工法において、施工後の養生時間と強度発現の関係を調べるため、施工後の引張せん断接着強度を測定した。

### 2. 使用材料および試験方法

試験に用いる樹脂は、不陸修正用エポキシパテ FE-Z（冬用）およびトウシート用含浸接着エポキシ樹脂 FR-E3P（冬用）の2種類とした。図1に示す JIS K6850 準拠の試験片を製作し、5 および 20 の雰囲気中で所定の時間（1日、2日、3日、7日、14日、28日）養生をした後、30分間 20 雰囲気中に保持し、20 雰囲気中での接着強度を測定した。試験本数は各3本とした。

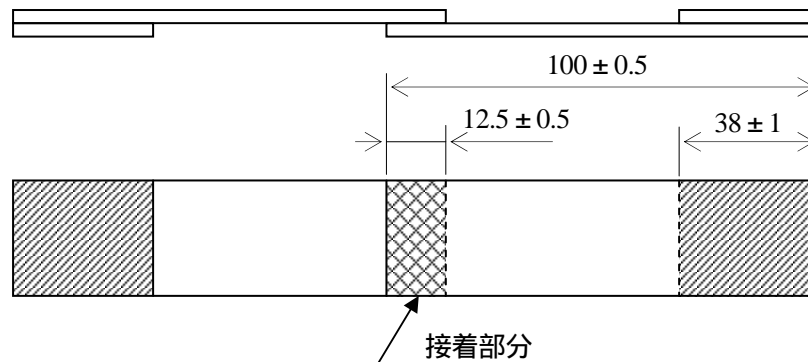


図1. 引張りせん断接着強さ試験片形状・寸法

### 3. 試験結果

表1および図2に試験結果を示す。

表1. 養生日数と引張せん断強さ（試験温度 20 ） 単位：N/mm<sup>2</sup>

樹脂	養生温度	1日後	2日後	3日後	7日後	14日後	28日後	28日後
FR-E3P	5	0.0	0.0	5.8	14.1	14.7	14.8	5.8
	20	10.1	12.1	14.7	15.2	15.3	15.3	14.7
FE-Z	5	0.0	0.0	5.6	13.3	14.5	14.7	5.6
	20	10.5	16.4	15.8	16.3	16.1	16.4	15.8

\*標準養生：20 ×7日間



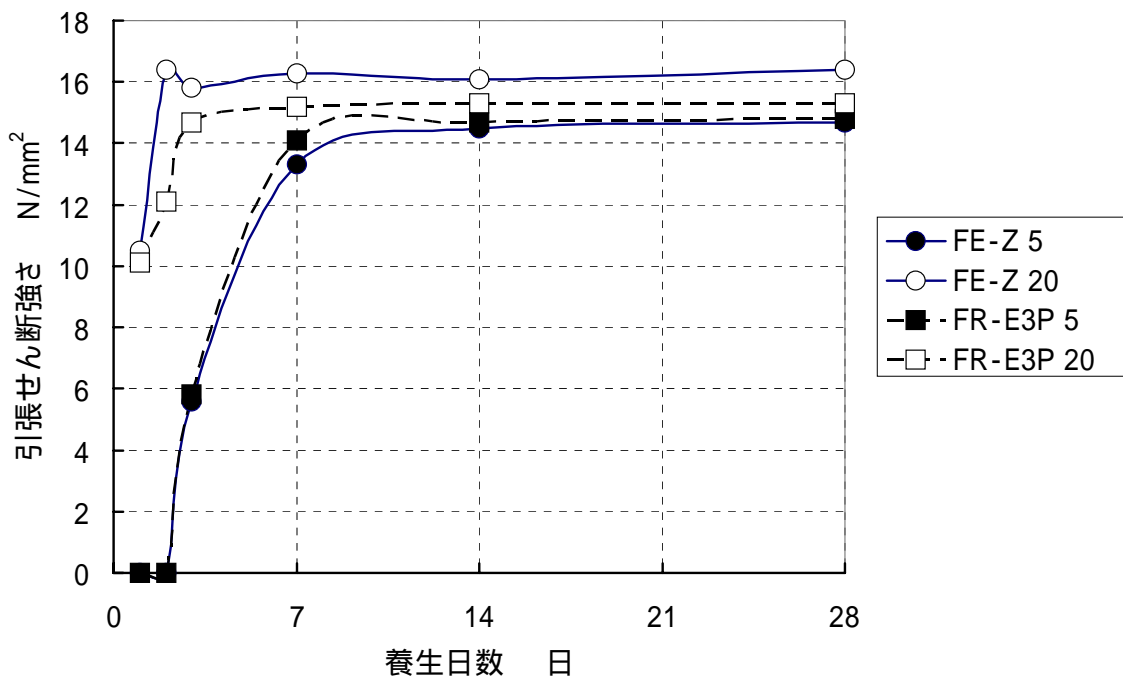


図2. 養生日数と引張せん断強さ (試験温度 20 )

- ・全てのサンプルは、施工2日後には外見上は樹脂表面が固形化していた。
- ・20 で養生したサンプルは、施工後1日で28日養生後強度の6~7割を発現し、養生3日後には、28日養生の8割以上の強度を発現したのに対し、5 養生品は、施工後3日経過しても標準養生した場合の4割程度の発現率であり、28日養生の8割以上の強度を発現するのに7日程度を要した。

以上

### 養生期間中の気温低下の影響に関して

#### 1. 概要

- ・ トウシート施工後、養生期間中に気温が-5 以下に低下した場合の影響度合いを確認することを目的として、試験を実施した。

#### 2. 供試体作製および試験方法

- ・ 室温にてトウシートの 引張り試験片、 接着試験片を各々作製し、2 時間室温 (20 ) で養生行った後に、-5 環境に 12 時間放置して低温養生を行った。
- ・ 低温養生後再び室温 (20 ) に戻して 7 日間養生を実施し、試験に供した。
- ・ 試験片作製に用いた材料は以下の通り。

表 1. 試験片作製の材料

	ケース シートタイプ	ケース 織物タイプ	備考
トウシート	FTS-C1-30	FTS-C1-30W	
プライマー	FP-NS(W)	FP-NS(W)	接着試験片のみに使用
エポキシパテ材	FE-Z(W)	FE-Z(W)	接着試験片のみに使用
含浸接着樹脂	FR-E3P(W)	FR-E3P(W)	

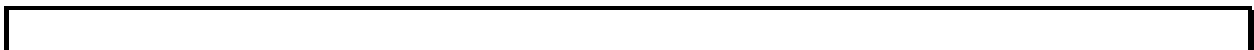
#### 3. 試験結果

- ・ 結果は以下の表に示した通り。
- ・ 引張り試験、接着試験ともケース 、ケース いずれのケースも十分な強度を示した。

表 2. 試験結果

	引張強度, kgf/cm <sup>2</sup>		接着強度, kgf/cm <sup>2</sup>	
	ケース	ケース	ケース	ケース
1	38,700	44,800	53.2(母材破壊)	58.2(母材破壊)
2	43,700	44,600	55.4(母材破壊)	43.8(母材破壊)
3	42,100	45,300	52.3(母材破壊)	38.4(母材破壊)
4	41,200	44,400	53.4(母材破壊)	53.8(母材破壊)
5	44,700	41,300	50.6(母材破壊)	56.7(母材破壊)
平均	42,100	44,100	53(母材破壊)	49(母材破壊)
品質管理値	35,500 以上		15 以上	

以上



### 最小曲率半径試験結果 (FTS-C1-20)

#### 1. 概要

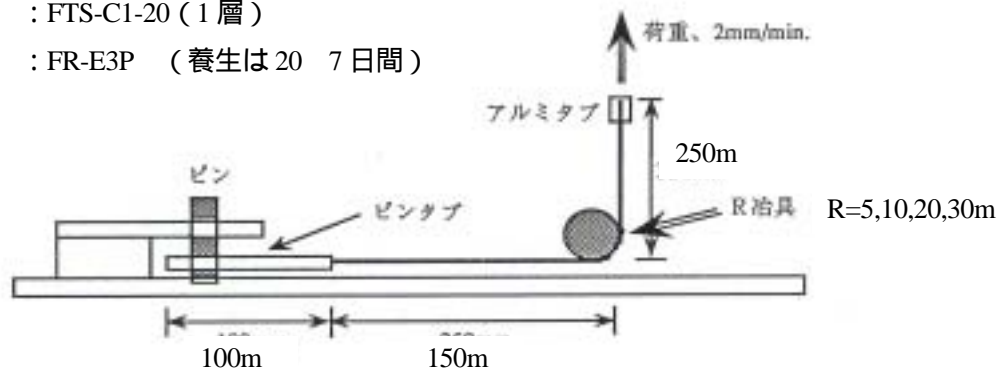
炭素繊維 (CF) トウシートを用いてコンクリート構造物を補修・補強する際に、出隅部 (コーナー部) は炭素繊維の折れ曲がりによる強度低下を引き起こすので、R 加工 (曲率加工) が必要となる。R 加工の最小曲率半径を求め、曲率半径の大きさと CF トウシートの引張強度の関係を求めたので以下に報告する。加工したトウシート (CFRP) の試験片作製および試験方法に関して述べる。

#### 2. 試験方法

- 試験片はあらかじめ試験を実施するそれぞれの曲率半径に製作し、片側にピンタブ、残りの片側にアルミタブをエポキシ樹脂接着剤を用いて接着した。(試験片幅 12.5mm)
- 上図 R 治具の曲率半径は 5,10,20,30mm の 4 種類を実施。
- ピンで水平方向に配置したタブを固定し、残りの垂直方向端部をチャックにて固定する。この時 R 治具とサンプル R 部がずれないようにし、R 治具の位置を調整しサンプルがしっかりと治具に沿うようにした。試験速度 2mm/min にて試験を実施し、サンプル破断時の荷重を読み取った。
- 試験片作製に用いた材料

トウシート : FTS-C1-20 (1 層)

施工樹脂 : FR-E3P (養生は 20 7 日間)



#### 3. 結果

トウシートの破断はいずれも R 部近傍付近で引っ張りにて起こっている。

トウシート FTS-C1-20 の設計強度 35500kgf/cm<sup>2</sup> であり、曲率半径 10mm 以上あれば設計強度を上回る破断応力を達成している。

トウシートを出隅に施工する場合、面取りの曲率半径 R は、10mm 以上必要である。

表 1. FTS-C1-20 曲率半径 R に対する破断応力

曲率半径 R	5mm	10mm	20mm	30mm	Ref.単純引張	設計値
破断応力 kgf/cm <sup>2</sup>	27600	40100	44700	41800	42000 ~ 45000	35500
破断様相	R 部引張	R 部引張	R 部引張	R 部引張	-	-

## 曲率半径と引張強度の関係

### 1. 概要

トウシート補強時の出隅部 R 加工の必要最小曲率半径を求めべく、曲率半径を変えたトウシート引張試験を実施した。

### 2. 試験方法

下図に示す試験方法にて曲率部を有するトウシートの引張試験を行った。

- ・試験片は予め試験を実施するそれぞれの曲率半径に 90° に曲げて作製しておき、片側に鉄製のピンタブ、残りの片側にはアルミタブを接着して試験した。(試験片幅 = 12.5mm)
- ・下部水平衡法の固定はピンタブを用い、上部垂直方向の固定はアルミタブを引張試験機のチャックで挟み込んで試験した。試験速度は 2mm/min。
- ・上図 R 治具は R=5,10,20,30mm の 4 種類実施した。

- ・試験に用いた材料は以下の通り。

トウシート : 高強度炭素繊維シート (FTS-C1-20, FTS-C1-30)  
 高弾性炭素繊維シート (FTS-C5-30)

含浸接着樹脂 : FR-E3P

- ・養生条件は室温 × 7 日間以上とした。

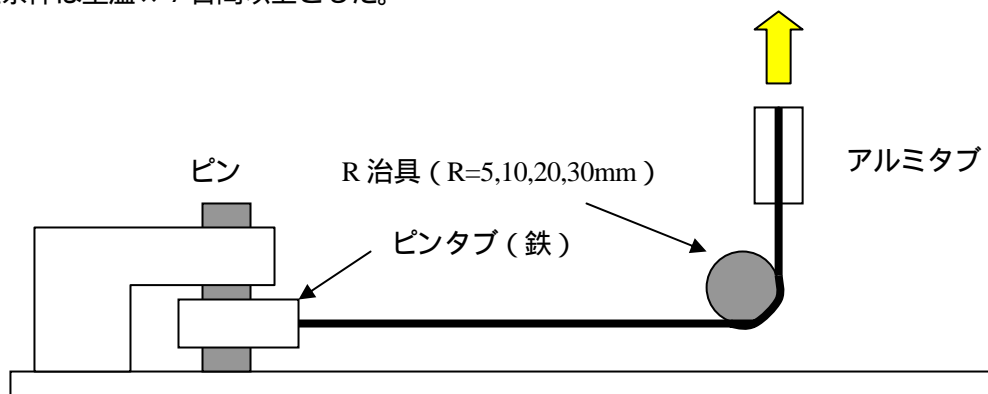


図 1. 曲率試験治具

### 3. 試験結果

結果を以下の表とグラフに示す。

- ・ 高強度炭素繊維シート (FTS-C1-20, FTS-C1-30) は 10mm 以上の曲率半径にて設計強度を上回った。
- ・ 高弾性炭素繊維シート (FTS-C5-30) に関しては 20mm 以上の曲率半径にて十分な強度となった。

以上

表 1. 曲率半径と引張強度の関係

	曲率半径, mm	FTS-C1-20	FTS-C1-30	FTS-C5-30	
引張強度 kgf/cm <sup>2</sup>	5	27,600	38,400	21,500	
	10	40,100	43,400	24,100	
	20	44,700	43,800	36,800	
	30	41,800	46,700	38,900	
	単純引張り		41,000 ~ 44,000	41,000 ~ 44,000	39,000 ~ 43,000
	設計強度		35,500	35,500	30,000

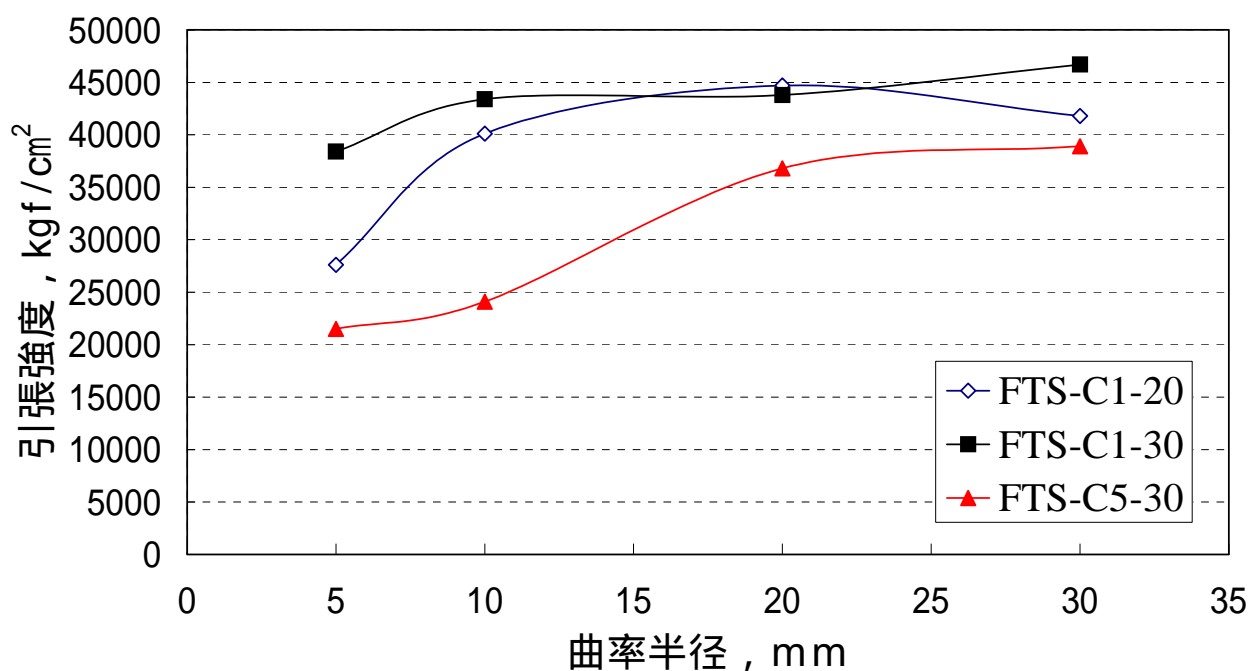


図2. 曲率半径と引張強度の関係

## 減圧剥離特性評価試験

### 1. 概要

トウシートを用いてトンネル等の補強 / 補修を行った場合、施工後に車、列車等の通過による風圧（減圧）の影響により、剥離することが懸念される。

減圧による実際の剥離挙動を把握するため、簡易チャンバーを用いた減圧剥離実験を行った。

### 2. 実験方法

- ・ 30cm 角のコンクリート平板上に CF トウシートを施工し、直後に減圧チャンバーにセット、減圧にした際の剥離の有無を目視観察した。
- ・ 減圧チャンバーは 30cm × 30cm × 30cm 寸法の透明アクリル板で作製され、圧力ゲージ、減圧弁、リーク弁を設置してある。
- ・ コンクリート平板との界面はゴム状シーラントでシールし、空気のリークを防ぐようにした。



- ・ 使用した材料を以下に示す。

トウシート : FTS-C1-20 (炭素繊維トウシート)  
 プライマー : FP-S (予め塗布し乾燥済み)  
 施工樹脂 : FR-E3P

### 4. 実験結果

トウシート施工直後に、-300mmHg さらに-500mmHg に減圧するも、剥離は発生しなかった。

### 5. 結論

トウシートに十分施工樹脂が含浸されており、しかもコンクリート面に十分密着していれば、-500mmHg 程度の減圧では、施工直後でも剥離を起こさないことが確認された。

以上

## 巣孔上のトウシートの浮き発生メカニズム

### 1. 概要

コンクリートの巣孔上に発生するトウシートの浮きに関して、その発生メカニズムを検証する実験を実施した。

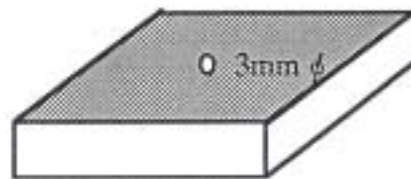
### 2. 試験方法

#### (1) 使用材料

- ・コンクリート試験体 : JIS コンクリート平板 (300 × 300 × 60mm)
- ・トウシート : FTS-C1-20
- ・プライマー : FP-NS
- ・施工樹脂 : FR-E3P

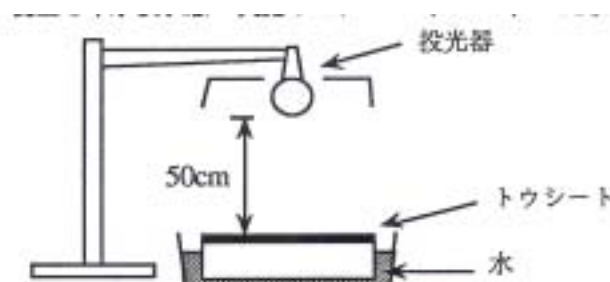
#### (2) 供試体作製

- ・JIS コンクリート平板の中心に 3mm 程度の巣孔を 1 個開け、他の部分を全てエポキシ樹脂にてコーティングしたコンクリート供試体（巣孔試験体）上に様々な条件でトウシートを施工し、養生後の浮き発生の状況を検証した。



中心の巣孔を残してすべてコーティングした供試体

- ・施工および養生の条件として (1) コンクリート中の含水量 (乾燥 or 水浸漬) (2) 施工直後の投光器照射 (直射日光想定) の有無、(3) 巣孔の樹脂埋め処理の有無、の各条件を変えて実施。尚、(1)の含水量に関しては乾燥のケース(dry)と、トウシート施工前に予め一晩水に浸漬した後、養生を半水没状態で実施したケース(wet)で比較した。
- ・浮き発生の状況は目視による定性評価とした。



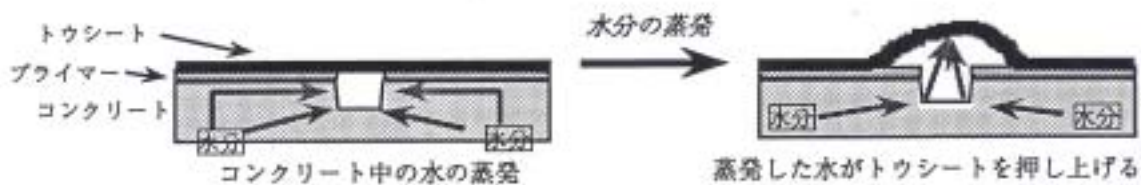
### 3. 結果

試験体 No	コンクリート水分	投光器照射	巣孔処理	浮き発生状況
1	Dry	無し	無し	浮き発生無し
2	Dry	有り	無し	浮き発生 (小)
3	Wet	無し	無し	浮き発生 (小~中)
4	Wet	有り	無し	浮き発生 (大)
5	Wet	有り	樹脂埋め	浮き発生無し

- ・ 巣孔上のトウシートの浮きは、コンクリート中の含水量が多い場合、および投光器による光照射を実施した場合に発生し、その両条件が重なった No.4 において極端な浮きの発生となった。
- ・ 尚、巣孔を樹脂埋め処理した場合には、コンクリートの含水量が多く、かつ光照射した場合でも浮きの発生は無かった。

#### 4. 考察

巣孔上の浮きの発生は、コンクリート中に水分が多い場合や光照射した場合に発生する事から、以下のメカニズムで起こるものと推定される。



- ・ 光照射による温度上昇でコンクリート中の水の蒸発が促進される場合や、コンクリート中の水分が多く、従って水の蒸発量が多い場合には、巣孔から蒸発した水分がトウシートを押し上げ、浮きになるものと推定される。
- ・ これを防止するには、巣孔を樹脂埋め（例えばエポキシパテ）することが有効である。

#### 5. 結論

コンクリート躯体中の含水量が多いと考えられるトンネルや水路、あるいは直射日光にさらされる橋脚や煙突等にトウシートを施工する際、巣孔は浮きの原因となるため、シート貼り付け前に確実に埋めておく。

以上

## トウシートとアスファルトの接着試験結果

### 1. 試験概要

- ・ トウシートを用いた床版の上面補強等、トウシートとアスファルトとの接着が必要な場合を想定して題記の検討を行った。
- ・ トウシートを施工したままの表面では、十分な接着強度が得られない事が予め判明していたため、施工後珪砂を散布して表面に凹凸を付ける事にて接着性を確保する検討を行った。
- ・ 接着試験は日本道路公団床版防水工設計・施工基準(案) に準拠して、剪断接着試験(@-10 ,20 )、引張接着試験 (@-10 ,20 )、水浸接着試験(@20 )の3 種類を実施した。

### 2. 供試体の準備

- ・ 30cm 角の JIS コンクリート平板を用いて、供試体の作製を行った。

#### (珪砂接着)

- ・ 通常の施工手順によりトウシートを施工した後、珪砂接着用樹脂としてトウシート施工に用いた同一樹脂を 0.5kg/m<sup>2</sup> の量にてトウシート面に塗布し、珪砂を散布した。
- ・ 珪砂は粗めの白竜碎石3mmと4号珪砂の2種類にて検討し、珪砂散布量は2.5kg/m<sup>2</sup> とした。
- ・ 翌日樹脂が硬化した後、未接着の珪砂を掃除機等にて除去し、供試体を完成。

#### (アスファルト敷設)

- ・ アスファルトの敷設時には、プライマーとして溶剤系アスファルトプライマーを 0.65 l/m<sup>2</sup> 塗布し、乾燥後アスファルトの敷設を行い接着試験用供試体とした。
- ・ 供試体作製に用いた材料は以下の通り。

コンクリート	: JIS コンクリート平板
トウシート	: FTS-C1-30
施工樹脂	: FR レジン FR-E3P (珪砂接着用にも使用)
珪砂	: 白竜碎石 3mm および 4号珪砂
アスファルトプライマー	: カチコート R (ニチレキ製溶剤系アスファルトプライマー)
アスファルトプライマー混合物	: 密粒 (13)

### 3. 試験結果および考察

試験結果は以下の通り。

	白竜3mm	4号珪砂	JH規格値
剪断接着試験 kgf/cm <sup>2</sup> (-10 )	20.0	12.28	8.0
伸び率 %	1.22	1.87	0.5
剪断接着試験 kgf/cm <sup>2</sup> (20 )	3.13	1.80	1.5
伸び率 %	1.16	1.47	1.0
引張接着試験 kgf/cm <sup>2</sup> (-10 )	14.0	14.9	12
引張接着試験 kgf/cm <sup>2</sup> (20 )	6.58	3.78	6
水浸接着試験 kgf/cm <sup>2</sup> (20 )	4.67	3.18	-
水浸接着強度保持率 %	71	87	50以上

- ・ 白竜碎石 3mm を用いた場合は、日本道路公団の基準値をクリアーしている。
- ・ 4号珪砂の場合は、凹凸度が小さいせいか引張接着試験の 20 のケースにて、基準値を割り込んでいる。凹凸度は大きめの方が良い結果となった。

### 4. 結論

- ・ トウシート施工後にアスファルトを敷設する場合は、以下の手順に則った手法が推奨される。

トウシート施工

施工樹脂0.5kg/m<sup>2</sup>塗布後、白竜碎石(珪砂)3mmを2.5kg/m<sup>2</sup>散布

硬化後に未接着珪砂を除去

溶剤系アスファルトプライマーを塗布 / 乾燥

アスファルト敷設

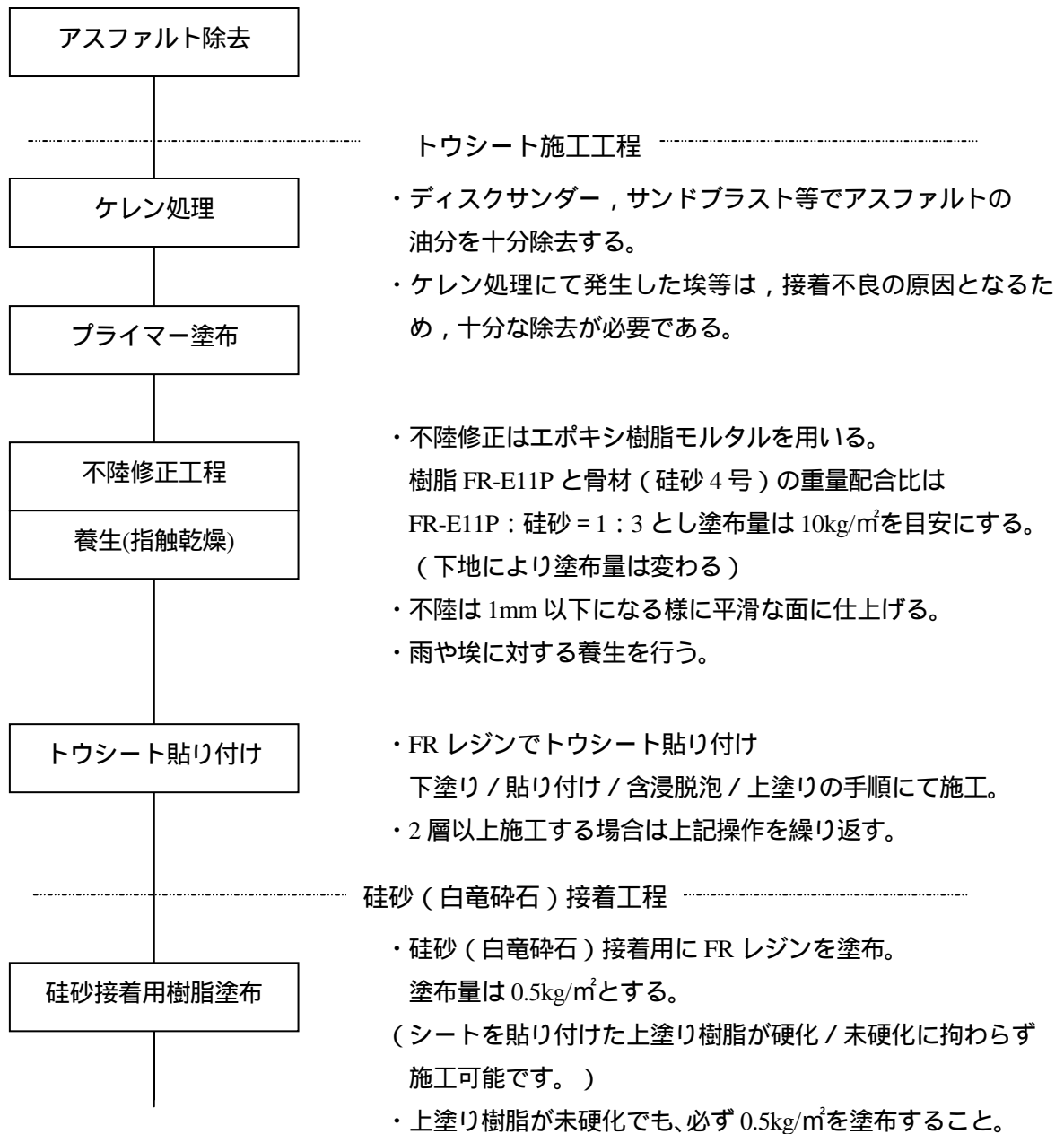
以上

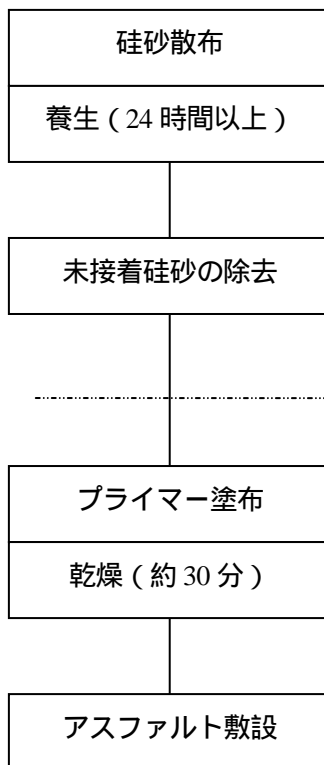
## 床版上面補強の施工方法（エポキシ樹脂による施工）

### 1. 概要

トウシートを用いた床版上面補強時の、施工手順および注意事項に関して述べる。

### 2. 施工手順





- ・塗布した樹脂が未硬化の段階にて硅砂（白竜碎石）を散布。
- ・散布量は  $2.5\text{kg}/\text{m}^2$  を目安に表面が十分隠れるまで実施する。
- ・白竜碎石は平均径 3mm 相当のものを用いる
- ・雨や埃に対する養生を行う。

- ・接着していない硅砂（白竜碎石）を除去する。  
（未接着の白竜碎石はアスファルトとの接着に悪影響を与える。）

----- アスファルト敷設工程 -----

- ・プライマーはニチレキ（株）製カチコートR相当品を用いる。
- ・塗布量は  $0.3 \sim 0.5\text{kg}/\text{m}^2$ （半量を2度塗り）。
- ・塗布はローラー刷毛等を用いて行う。  
（詳細はプライマー施工要領書等を参照すること）

- ・トウシート施工を行った上は、手蒔き / 手動ローラーにて予備敷設を行った後、本敷設を行う。

### 3. 注意事項

#### (1) 雨対策

トウシート施工からアスファルト敷設までの間は、雨その他の水がかからぬ様に十分な養生が必要です。

#### (2) 養生時間

トウシート施工工程で、不陸修正後および硅砂散布後には施工樹脂が硬化するまで養生が必要です。原則として、不陸修正工程では指触乾燥を確認して次工程に、硅砂散布工程では 24 時間以上養生して次工程に移行すること。（養生時間は気温・直射日光等により変動します。）

#### (3) トウシート施工工程

- ・アスファルトの油分は接着不良の原因となるため、ケレン工程で十分に除去することが必要。
- ・ディスクサンダー、サンドブラスト等でケレン処理した後の埃は、接着不良の原因となるため、処理後に掃除機やエアブロー等で十分除去する必要がある。
- ・不陸修正では、トウシート施工に適切な平滑な面に仕上げ、不陸が 1mm 以下になるようにする。コテ跡等ができた場合は、樹脂硬化後、ディスクサンダー等で削り平滑にすること。

(2) 珪砂接着工程

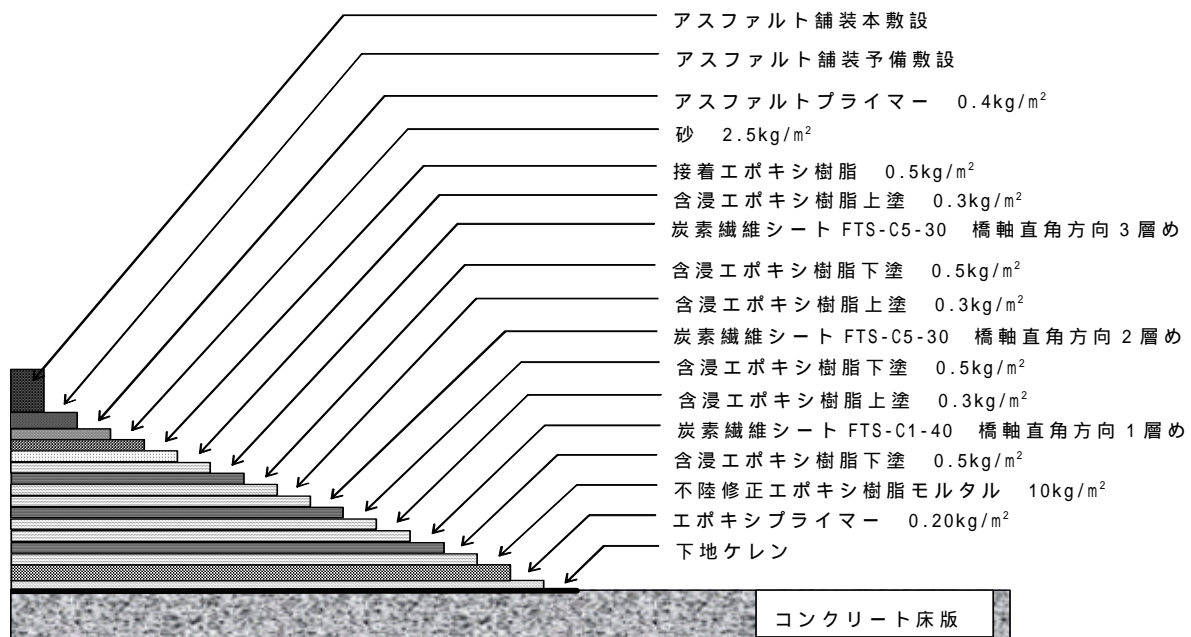
- ・珪砂接着工程は、施工したトウシート部分が硬化していても未硬化の状態でも実施可能であるが、必ず  $0.5\text{kg}/\text{m}^2$  の樹脂塗布を行う（塗布量が少ないと珪砂の接着不良を起こす）。
- ・珪砂は平均径 3mm で、必ず乾燥したものをを用いる（白竜碎石 3mm 等）。
- ・珪砂接着用樹脂の硬化養生は必ず 24 時間以上とする（養生が短いと、アスファルト敷設時の圧力で、珪砂の脱離が発生し接着不良の原因となる）。
- ・樹脂硬化後、必ず未接着珪砂の除去を行う（未接着珪砂はアスファルト接着不良の原因となる）。

(3) アスファルト敷設工程（使用するプライマーの施工要領書を参照すること）

- ・アスファルト系プライマーは有機溶剤を含むため、十分な保護具が必要である。
- ・アスファルト系プライマーの塗布は、ローラー刷毛を用いて、珪砂の凹凸部分全面に塗布出来る様に、 $0.15 \sim 0.25\text{kg}/\text{m}^2$  の 2 度塗りにて行う（塗布間隔は 30 分程度とする）。
- ・アスファルトを敷設する場合はプライマーが十分乾燥してから行う（乾燥時間は約 30 分）。
- ・トウシート施工部分は手蒔きや手動ローラー等で丁寧に予備敷設を行い、施工面が十分隠れた段階で本敷設を行う。

以上

補強断面詳細図(例)

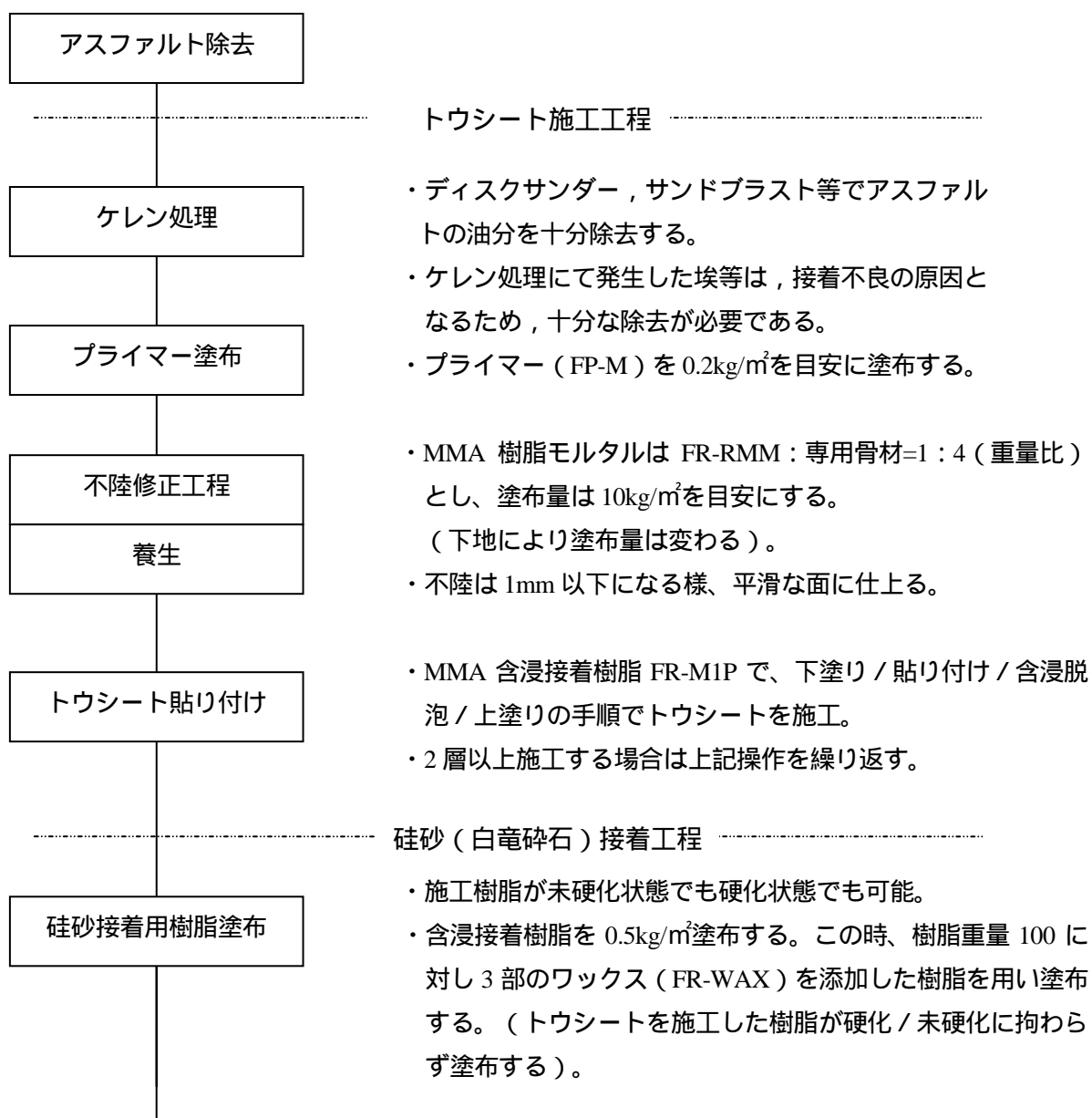


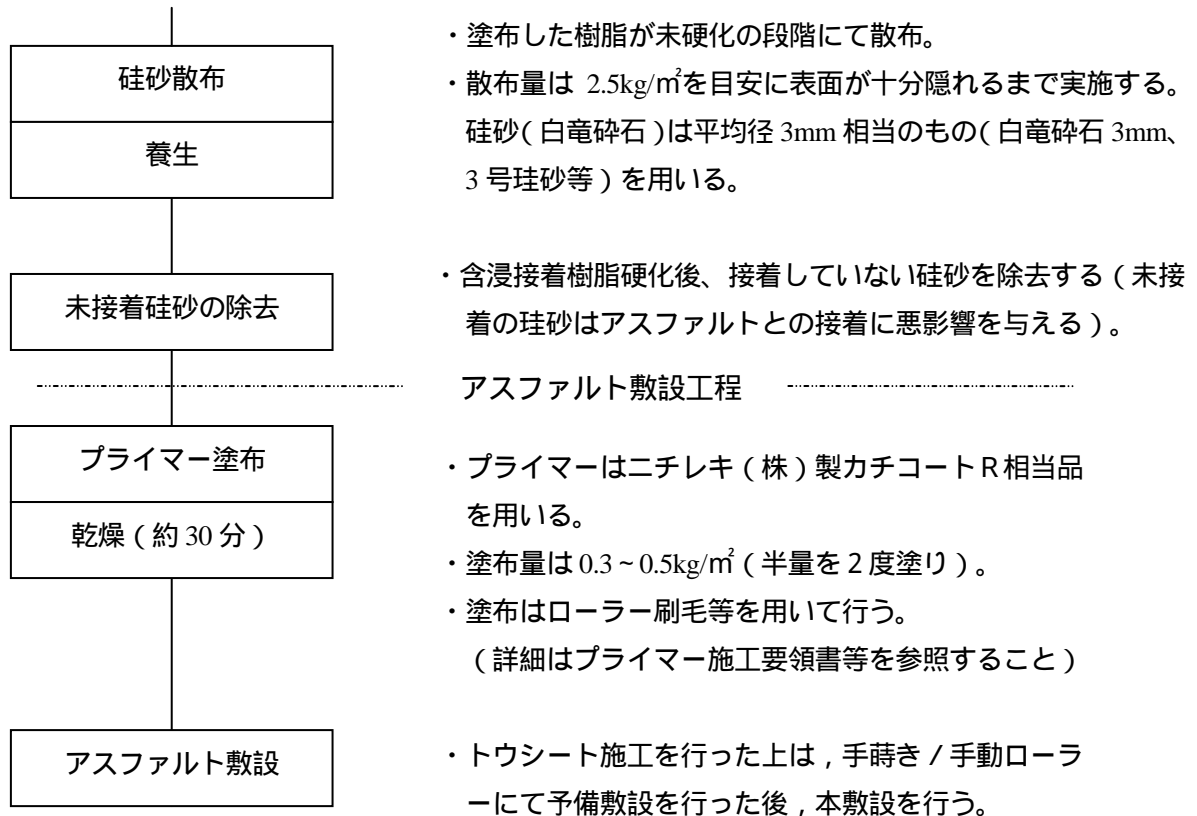
床版上面補強の施工方法 - MMA 系樹脂での施工 -

1. 概要

MMA 系樹脂ならびにトウシートを用いた床版上面補強時の施工手順ならびに注意事項に関して述べる。施工は“FORCA トウシート工法 MMA 施工指針”に準拠し行う。

2. 施工手順





### 3. 注意事項

#### (1) 雨対策

トウシート施工からアスファルト敷設までの間、雨その他の水がかからぬ様に十分な養生が必要。

#### (2) ケレン工

- ・アスファルトの油分は接着不良の原因となるため、ケレン工程で十分に除去することが必要。
- ・ディスクサンダー、サンドブラスト等でケレン処理した後の埃は、接着不良の原因となるため、処理後に掃除機やエアブロー等で十分除去する必要がある。

#### (3) 断面修復

- ・バッチ試験にて、MMA系樹脂と断面修復材の接着性・硬化性を確認すること。硬化不良となる断面修復材等が使用されている場合はハツリ除去するか、ウレタンプライマー/ビニルエステルプライマー等で下地を遮蔽する。

#### (4) 硬化剤添加量

- ・MMA系樹脂(プライマー、樹脂モルタル、含浸樹脂)の硬化剤添加量は施工場所の温度により“硬化剤標準添加量”に基づき可使時間30分確保し硬化する量として調整する。温度が30を超え場合には可使時間が極端に短くなる為施工時の注意が必要である。

#### (5) 不陸修正・シート貼り付け

- ・不陸修正はトウシート施工に適切な平滑面に仕上げるべく不陸が1mm以下になるようにする。
- ・不陸修正、シート貼り付け作業を開始する時には、前工程で施工した樹脂の硬化を確認する。

(6) 珪砂接着工程

・珪砂接着工程は、施工したトウシート部分が硬化していても未硬化の状態でも実施可能であるが、必ず  $0.5\text{kg}/\text{m}^2$  の樹脂塗布を行う（塗布量が少ないと珪砂の接着不良を起こす）。

この場合、樹脂重量 100 に対し、3 部のワックス (FR-WAX) を添加したものを使用する。

・珪砂は平均径 3mm で、必ず乾燥したものをを用いる（白竜碎石 3mm 等）。

・樹脂の硬化を確認後、必ず未接着珪砂の除去を行う。（未接着珪砂はアスファルト接着不良の原因となる）

アスファルト敷設時にも再度、MMA 樹脂の硬化確認を行う。（養生が短いとアスファルト敷設時の圧力で珪砂の脱離が発生し接着不良の原因となる。）

(7) アスファルト敷設工程（使用するプライマーの施工要領書を参照すること）

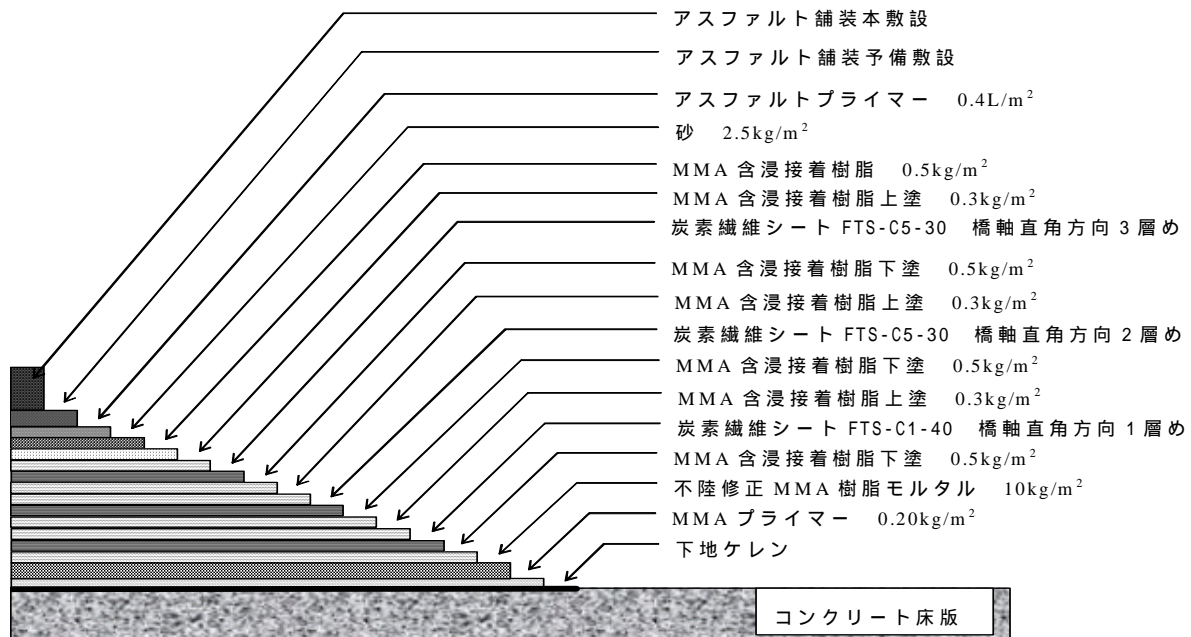
・アスファルト系プライマーは有機溶剤を含むため、十分な保護具が必要である。

・アスファルト系プライマーの塗布は、ローラー刷毛を用いて、珪砂の凹凸部分全面に塗布出来る様に、 $0.15 \sim 0.25\text{kg}/\text{m}^2$  の 2 度塗りにて行う（塗布間隔は 30 分程度とする）。

・アスファルトを敷設する場合はプライマーが十分乾燥してから行う（乾燥時間は約 30 分）。

・トウシート施工部分は手蒔きや手動ローラー等で丁寧に予備敷設を行い、施工面が十分隠れた段階で本敷設を行う。

補強断面詳細図(例)



## トウシートと加熱型塗膜系防水材料の接着性について

### 1. 概要

炭素繊維トウシートを施工後、その上に塗膜系防水材料を施工する際の接着性について評価した。

### 2. 試験方法

#### (1) 供試体作製

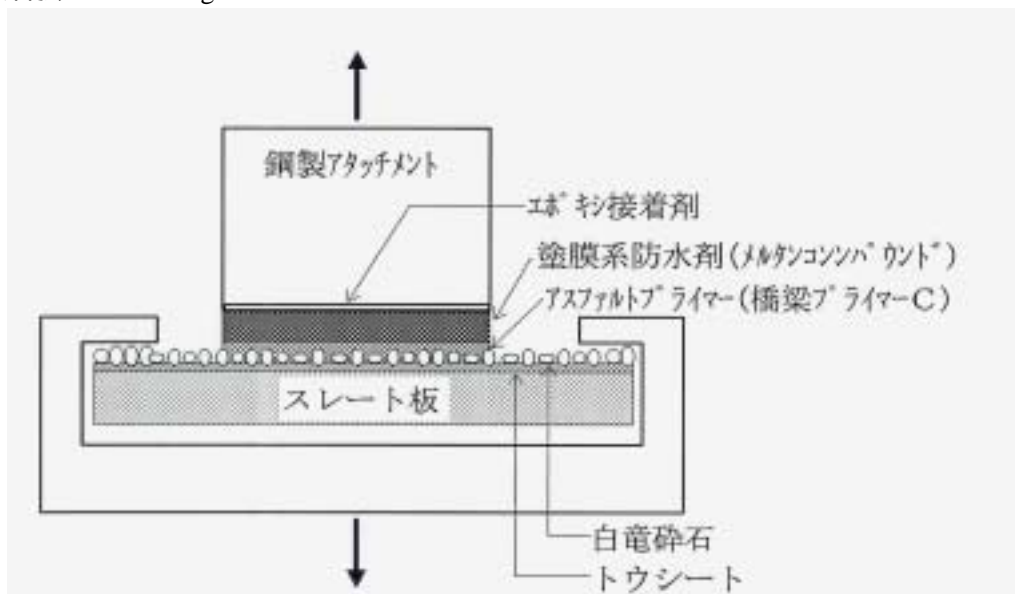
- ・スレート板の表面に炭素繊維トウシートを施工、再度施工樹脂を塗布した後、3mm の白竜碎石を散布した。
- ・施工樹脂硬化後、未接着の白竜碎石を取り除き、この上に塗膜防水用プライマー（橋梁プライマー-C）を塗布した。
- ・その後約 250℃ に加熱した塗膜防水材（メルタンコンパウンド）を厚さが約 1.5mm になるように塗布し試験片とした。
- ・室温に冷却後、試験片中央部に 40×40mm の鋼製アタッチメントをエポキシ樹脂接着剤で取り付けました。接着剤硬化後、アタッチメントに沿ってカッターナイフでスレート板に達する切り込みを入れ、周辺のメルタンコンパウンドを取り除き試験体とした。

#### (2) 試験方法

図に示すように、試験体を保持金具を用いて引張試験機に装着し試験を行った。  
試験条件は、測定温度 23℃、引張速度 50mm/min とした。

### 3. 試験結果

測定温度 23℃  
接着強さ 8.3kgf/cm<sup>2</sup>



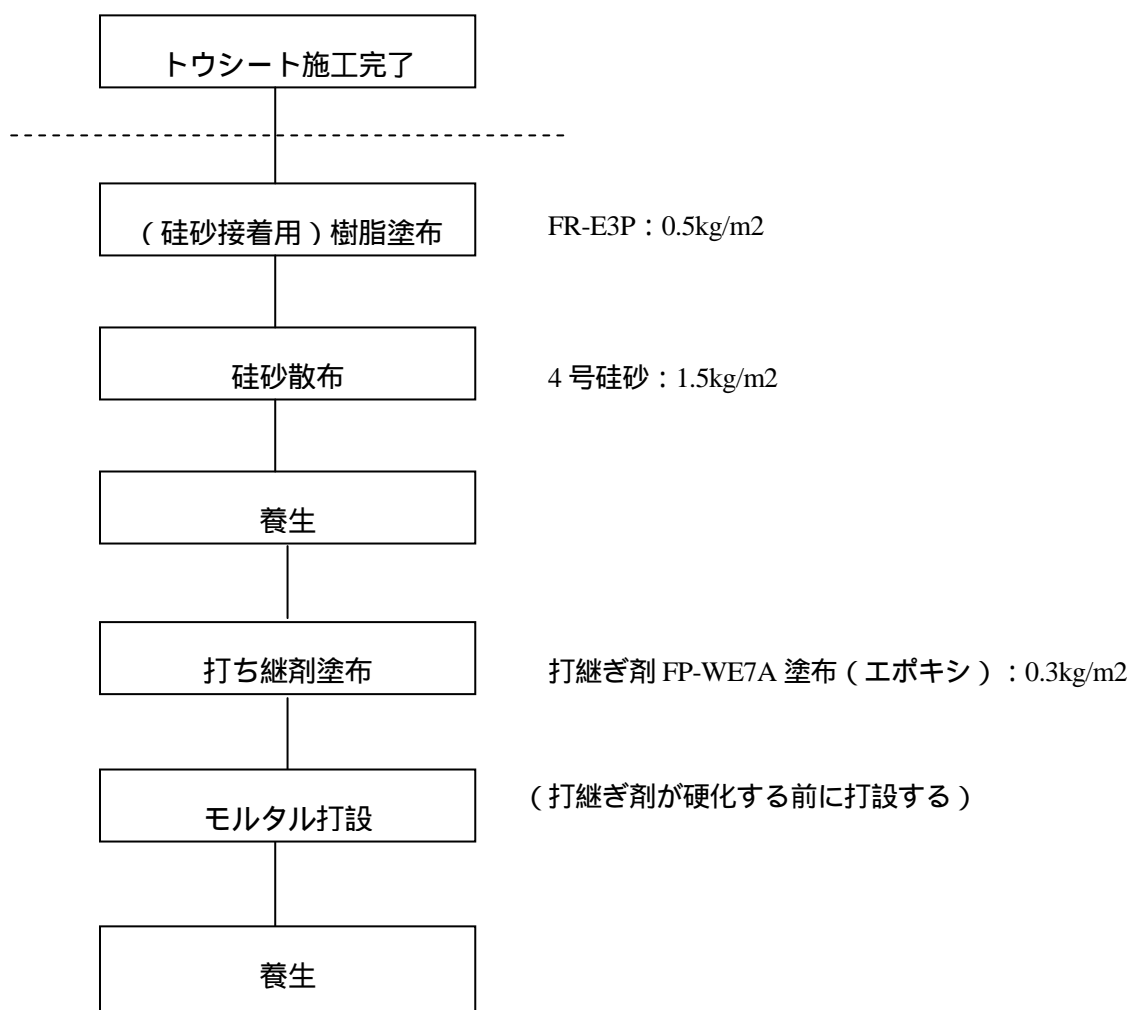
以上

## トウシート上へのモルタル打継ぎについて

### 1. 概要

- ・トウシート上にモルタルを打継ぐ場合の、施工方法について記す。
- ・また、同施工方法を選定するに当たっての試験結果についても記す。

### 2. 試験方法



### 3. 予備試験結果

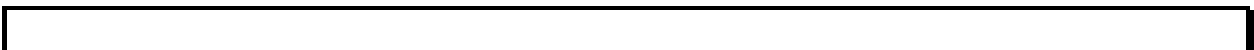
- ・ トウシートを施工した JIS コンクリート平板に、各種前処理を施した後、モルタルを施工して、養生後建研式接着試験を実施し、接着性の評価を行なった。
- ・ 試験片作製の用いた材料は以下の通り。
  - トウシート : FTS-C1-30
  - 含浸接着樹脂 : FR-E3P
  - プライマー : FP-NS
  - コンクリート板 : JIS コンクリート平板
  - 打継ぎ剤 : FP-WE7A
  - モルタル : セメント；普通ポルトランドランドセメント  
 細骨材；5号珪砂 / 6号珪砂 = 1 / 1  
 水セメント比：W / C = 0 . 5  
 砂セメント比：S / C = 2
- ・ 試験片の養生は、トウシート養生が室温 7 日間、モルタルの養生は室温 / 湿潤養生 12 日間 + 室温 / 乾燥養生 9 日間とした。
- ・ 前処理の条件は、トウシート施工面そのまま（未処理）、4号珪砂接着、4号珪砂接着 + 打継ぎ剤、以上の3ケースとした。結果を以下に示す。

表 1. 接着試験結果

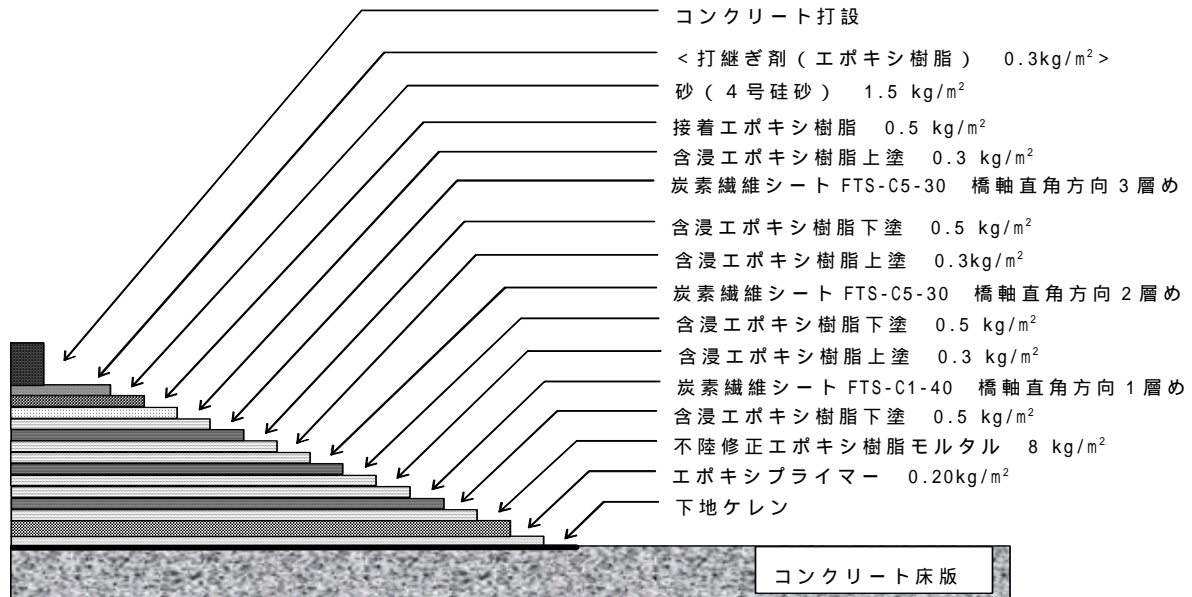
No.			
前処理条件	未処理	4号珪砂	4号珪砂 + 打継ぎ剤
接着強度, kgf/cm <sup>2</sup>	(ハガレ)	32	30
破壊モード	界面破壊	モルタル凝集破壊 (珪砂/珪砂界面近傍)	コンクリート母材破壊 モルタル凝集破壊

- ・ 未処理は、接着試験用アタッチメントに切り込みを入れた段階で剥離した。
- ・ 珪砂接着品は、珪砂とモルタル界面近傍にて破壊したが、十分な接着強度を示した。
- ・ 珪砂と打継ぎ剤を併用したケースはモルタルの凝集破壊かまたは下地のコンクリート破壊となり、良好な結果であった。尚、打継ぎ剤が硬化後にモルタル打設を行った場合は、界面破壊を起こす可能性が高いので注意が必要である。

以上



補強断面詳細図(例)



## 施工樹脂量と炭素繊維シート強度

### 1. 概要

施工樹脂量と炭素繊維シートの引張強度の関係を求める。設計強度に達するための最低樹脂量を把握する。

### 2. 使用材料および試験方法

#### (1) 使用材料

炭素繊維シート            FTS-C1-20 ( 繊維目付 200g/m<sup>2</sup> 高強度タイプ )  
 含浸接着樹脂            FR-E3P

#### (2) 試験方法

JIS K7073 に準拠して、トウシート引張試験を行った。

試験片作製時、含浸接着樹脂の塗布量を変えて、試験片を作製した。

樹脂量の塗布条件は、50、100、150、300、600g/m<sup>2</sup>とした（メーカー規準値 600g/m<sup>2</sup>）。

養生期間は室温 7 日、試験体数は各条件 5 体とした。

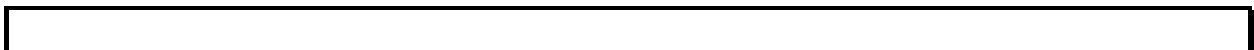
### 3. 試験結果

試験結果を表 1 に示す。樹脂量 100g/m<sup>2</sup> 以上でメーカーカタログ強度をクリア、150g/m<sup>2</sup> 以上でほぼ通常の引張強度に達する。

表 1. 樹脂量と引張強度

樹脂量 g/m <sup>2</sup>	50	100	150	300	600
平均強度 kgf/cm <sup>2</sup>	30,000	40,400	41,900	43,500	43,500
平均弾性率 kgf/cm <sup>2</sup>	2,290,000	2,350,000	2,290,000	2,350,000	2,510,000

\*シート厚 0.0111cm で計算

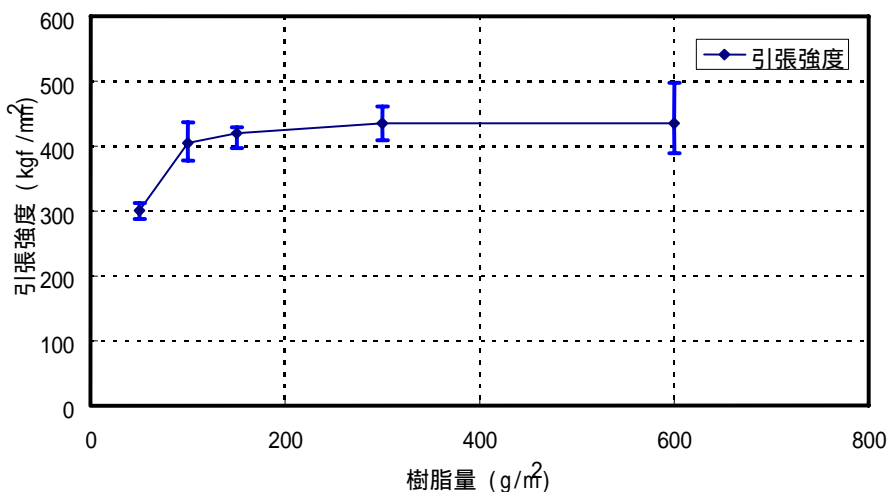


#### 4. 考察

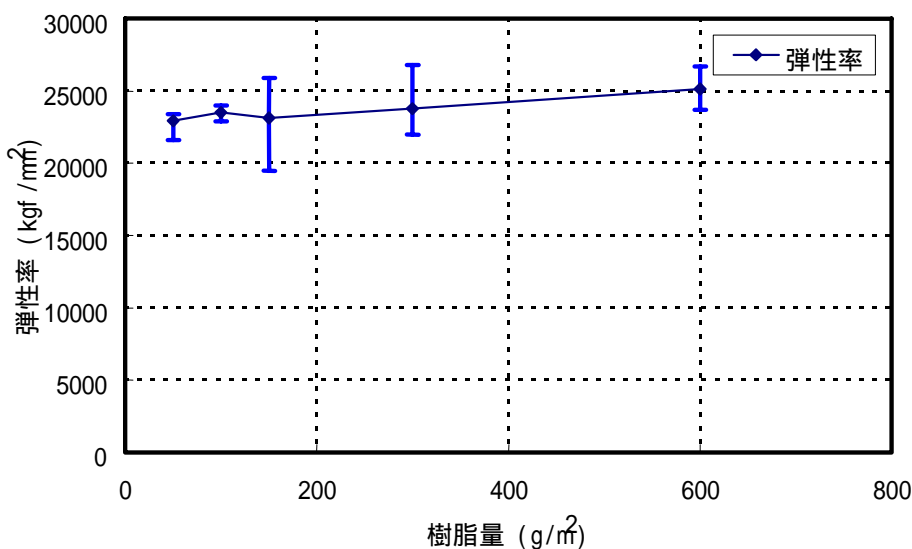
破壊モードを見ると  $150\text{g/m}^2$  まではほうき状に立て割れし、 $300\text{g/m}^2$  以降では通常の板片で破壊した。このシートに対するメーカー規準の樹脂量は  $600\text{g/m}^2$  であるので樹脂量の規定は十分な余裕をもっている。しかしながら、シートはハンドレイアップ工法での施工のため、場所による樹脂量の偏り、作業者の技能により影響されることを考慮すれば規準は妥当と考えられる。また、破壊状況に注目すると引張試験では  $150\text{g/m}^2$  以上で強度を発現するがラップ試験、付着試験の方が条件的には厳しくなると予想される。最低樹脂量は  $300\text{g/m}^2$  と考えた方が妥当であろう。

以上

引張強度



弾性率



## 下地処理の違いがシート補強効果に及ぼす影響

### 1. まえがき

本報告書は 1994 年 11 月～12 月にかけて行った、鉄筋コンクリート梁の曲げ試験結果をとりまとめたものであり、下地処理法の違いによる破壊荷重の変化を検証することを目的とした。

試験は、高さ 400mm、幅 300mm、長さ 3000mm の梁試験体について、引張応力面に炭素繊維シート補強後、曲げ載荷試験を行い、載荷応力、歪み、たわみを計測した。

### 2. 試験方法

#### 2.1. 試験体

- ・試験体は図 1 に示す形状、寸法のものであり、無補強のもの 1 体、各種条件を変えて炭素繊維シートで補強した 5 体を作製して試験に供した。
- ・試験体の構造は外寸 400×300×3000mm の D13 の異径鉄筋 (SD30) と 9mm の丸鉄筋で鉄筋かごを組み、これをセパレータおよびホームタイ等で型枠内に配置した後、コンクリート ( $F_c = 240\text{kgf/cm}^2$ ) 打ち込み一体とした。
- ・供試体補強材接着面の表面処理は、サンダーもしくはウォータージェットで行い、3 種類のシートにより補強を行った。表 1 にコンクリート、鉄筋、シートの物性値を示す。

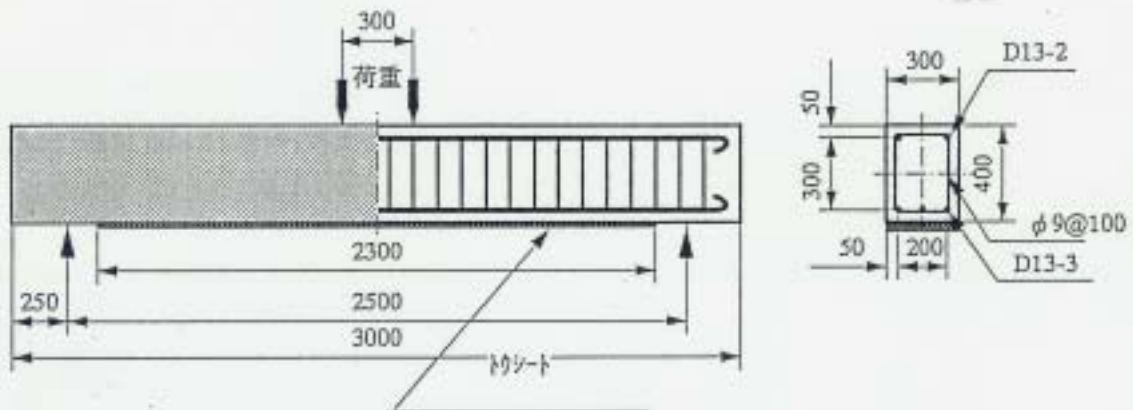


図 1 供試体寸法形状

表 1. 使用材料の物性値

	サイズ	降伏強度 $\text{kgf/cm}^2$	破断強度 $\text{kgf/cm}^2$	弾性率 $\text{kgf/cm}^2$
コンクリート	-		c(compres)= 280 ~ 300?	
鉄筋 (SD30)	D13	y=3500	t=5,300 (Spec.>4,500)	Es=2,100,000
FTS-C1-30	t=0.165		t=46,300 (Spec.>35,500)	Ecf=2,350,000

## 2.2. 試験ケース

各種条件および試験体 No を表 2 に示す。

表 2. 梁曲げ試験体一覧

No.	下地処理	プライマー	施工	試験日
1	無し	無し	補強無し	94/11/25
2	サンダー	FP-NS	FTS-C1-30 通常施工	94/11/28
3	ウォータージェット(軽度)	FP-NS	FTS-C1-30 通常施工	94/12/7
4	ウォータージェット(重度)/パテ処理	FP-NS	FTS-C1-30 通常施工	94/12/13
5	ウォータージェット(重度)/パテ処理	高浸透プライマー	FTS-C1-30 通常施工	94/12/15

## 2.3. 荷重方法

試験は支点間距離を 2.5m として、梁中央部に 0.3m の間隔で 2 点荷重を行う 4 点曲げ荷重で行った。荷重装置は最大 30ton の能力を持つ油圧式疲労試験機を使用し、0.5ton 毎にたわみ、歪みの測定を行った。

荷重は鉄筋歪みの 1 倍、2 倍、3 倍まで 3 回繰り返し、その都度除荷し 4 回目に最終破壊までの荷重を行った。但し、実際は鉄筋歪みがコンクリートのひび割れ部で大きな変化を示すため、補強ケースでは補強材の歪みで制御した。

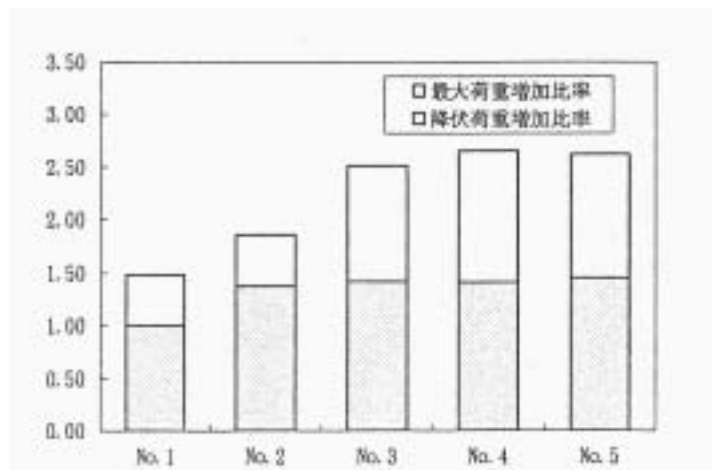
## 3. 試験結果

### 3.1. 降伏荷重および最大荷重

各ケースの降伏荷重と最大荷重及び破壊状況を表 3 に示す。尚、降伏荷重は荷重-たわみ線図より判定した。

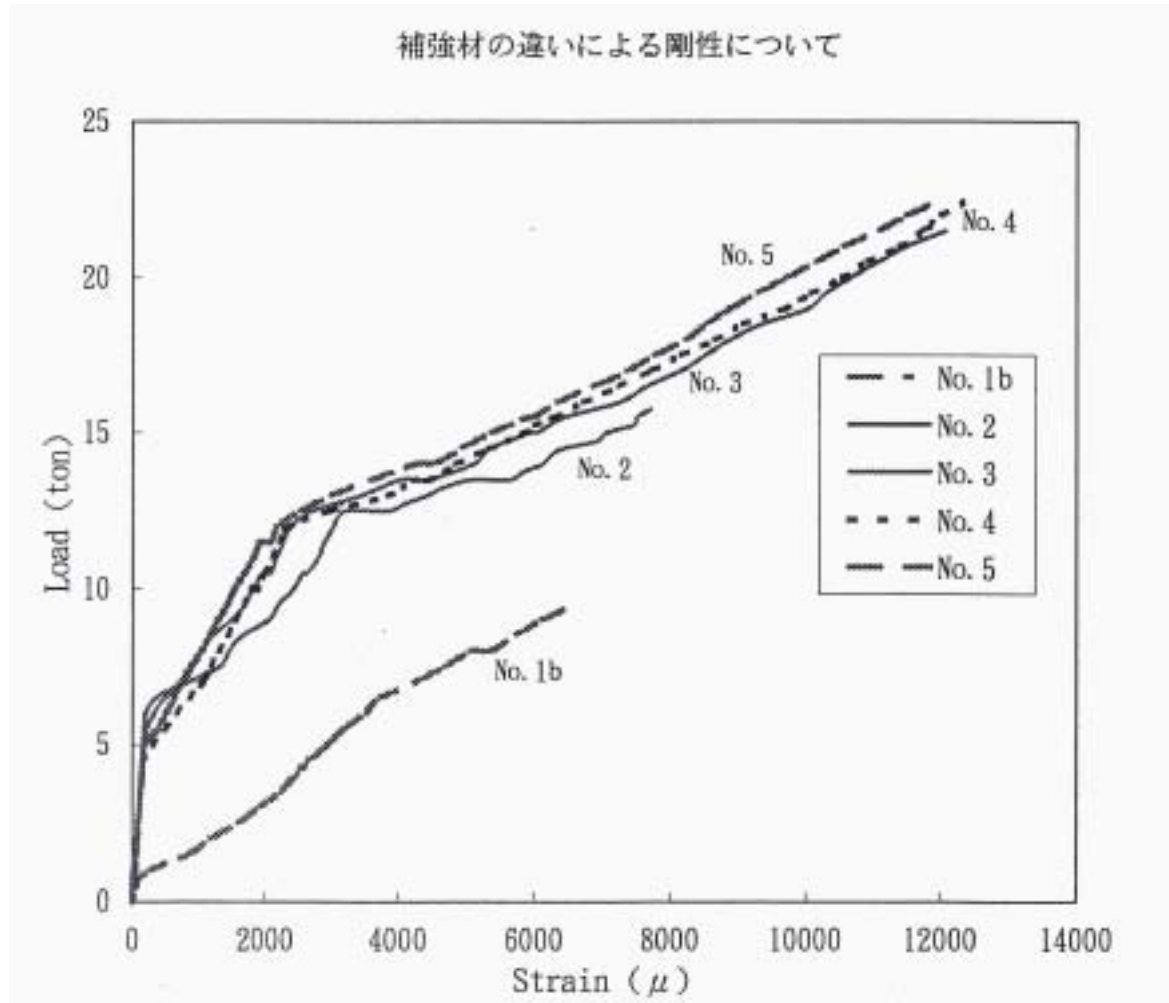
表 3. 鉄筋降伏荷重および最大荷重

No.	補強材料	降伏荷重(t)	増加比率	最大荷重(t)	増加比率	破壊モード
1	無補強	8.6	1.00	12.75	1.48	破断
2	通常シート	11.8	1.37	16	1.86	シート剥離(コンクリ表層)
3	通常シート	12.2	1.42	21.6	2.51	シート剥離(かぶり部分)
4	通常シート	12.1	1.41	22.83	2.65	シート剥離(かぶり部分)
5	通常シート	12.5	1.45	22.55	2.62	シート剥離(かぶり部分)



4. 考察

今回の試験では通常の施工に用いるサンダーケレンの他にウォータージェットによる下地処理を行い、その効果を検討した。表2からもわかるようにウォータージェットによる下地処理では破壊荷重の大幅な上昇が認められる。図5に荷重-歪み線図を示す。この図からもわかるように通常の下地処理（サンダーケレン）に比べ鉄筋降伏後からシートのみで荷重を受け持つ区間が長く、歪みについては10,000 $\mu$ 以上を示しており、破壊形状もシート剥離ではなく引張鉄筋とコンクリートの付着切れである。つまり、No.3,4,5の破壊は鉄筋とコンクリートの付着強度に依存しており、この部分での強度がアップされれば、全体としてまだ若干の破壊荷重の上昇が考えられる。



## トウシートラップ試験方法

### 1. 概要

- ・トウシートのラップ強度を求めるための試験片作製および試験方法に関して述べる。

### 2. 試験作製および試験方法

#### (1) 試験片の作製

- ・トウシートを施工樹脂にて含浸硬化させ、繊維方向に 10cm ラップさせた短冊状の引張試験片作製手順を以下に示す。

離型フィルム上に施工樹脂を塗布

1 層目トウシートの貼り付け

施工樹脂上塗り / 含浸 /

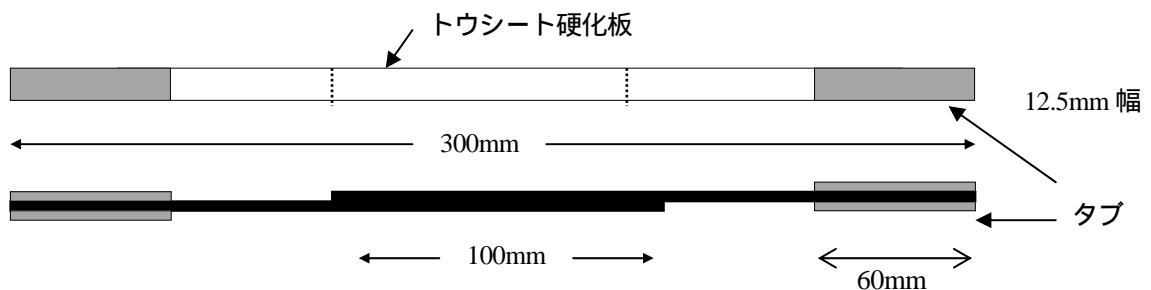
10cm ラップさせて、2 層目を施工。上塗り/含浸

離型フィルム貼り付け / 養生

カッティング (半硬化時) / 養生硬化 (室温 7 日間)

離型フィルム外し、タブ取り付け

- ・試験片の概略形状を以下に示す。



#### (2) 引張試験方法

- ・JIS K 7073 (炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法) の 形に準拠した試験方法にて実施。
- ・試験速度は  $2 \pm 0.4$  mm/min、測定点数は  $n=5$  とする。

### 3. 報告

ラップ強度は、破断までの最大荷重を試験片幅と設計厚みで除した値(引張強度と同様)とする。  
トウシート各グレードの設計厚みは以下の通り。

FTS-C1-20 : 0.0111cm/枚	FTS-C1-30 : 0.0167cm/枚	FTS-C1-45 : 0.0250cm/枚
FTS-C5-30 : 0.0165cm/枚	FTS-C5S-30 : 0.0163cm/枚	FTS-C8-30 : 0.0143cm/枚

以上

## トウシート引張試験方法

### 1. 概要

トウシート（炭素繊維シート）の引張強度、弾性係数を求めるための試験片作製および試験方法に関して述べる。

### 2. 試験作製および試験方法

#### (1) 試験片の作製

- トウシートを施工樹脂にて含浸硬化させた、短冊状の引張試験片作製手順を以下に示す。

離型フィルム上に施工樹脂を塗布

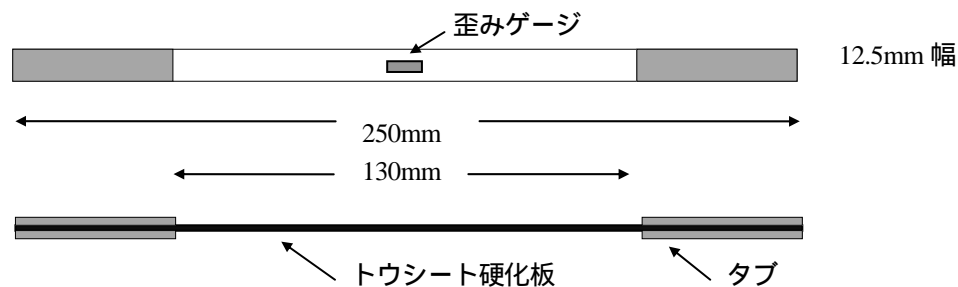
トウシート貼り付け

施工樹脂上塗り / 含浸 / 離型フィルム貼り付け、脱泡 / 養生

カッティング（半硬化時） / 養生硬化（室温7日間）。

離型フィルム除去後 タブ、歪みゲージ取り付け。

試験片の概略形状を以下に示す。



#### (2) 引張試験方法

- JIS K 7073（炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法）形に準拠した試験方法にて実施。
- 試験速度は  $2 \pm 0.4$  mm/min、測定点数は  $n=5$  とする。

### 3. 報告

- 引張強度は、破断までの最大荷重を試験片幅と試験片の設計厚みで除した値。
- 弾性係数は破断荷重の 20% ~ 60% の間の応力の増加分で除した値。
- 尚、トウシート各グレードの設計厚みは以下の通り。

FTS-C1-20 : 0.0111cm/枚    FTS-C1-30 : 0.0167cm/枚    FTS-C1-45 : 0.0250cm/枚

FTS-C5-30 : 0.0165cm/枚    FTS-C5S-30 : 0.0163cm/枚    FTS-C8-30 : 0.0143cm/枚

判定基準     $n=5$  の測定を行い、全ての引張強度の値がトウシートの規格値を満足し、かつ弾性率の平均値が規格を満足する事を合格とする。

## トウシート接着試験要領書

### 1. 概要

- ・コンクリートとトウシートの接着強度を求めるための、試験体の作製および試験方法に関して記す。なお試験は建研式接着試験による。

### 2. 試験体作製および試験方法

#### (1) 試験体作製

- ・接着試験用供試体には、通常トウシートを施工した JIS コンクリート平板(JIS A5304)を用いる。
- ・標準的な作製手順を以下に記す。

JIS コンクリート平板のケレン（サンダー処理）

プライマーの塗布 / 養生硬化（指触乾燥）

必要に応じて不陸修正材（通常エポキシパテ）の塗布 / 養生硬化（指触乾燥）

施工樹脂の塗布（下塗り）

トウシート貼り付け、含浸 / 脱泡

施工樹脂の塗布 / 含浸（上塗り）

（必要に応じ、シートを積層する）

施工樹脂養生（通常室温で7日間）

接着試験用アタッチメント接着箇所をサンドペーパーで目荒らし

アタッチメントの接着 / 養生硬化

アタッチメント端辺の切り込み加工（コンクリート面まで確実に切り込みを入れる）

#### (2) 試験方法

- ・接着試験は、建研式接着試験にて実施。
- ・試験数は原則3点とする。
- ・試験概要図を以下に示す。

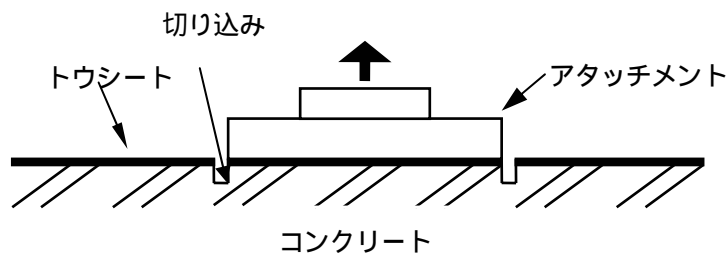


図 接着試験概要図

### 3. 報告

- ・試験結果は、破壊荷重（単位：N）をアタッチメントの接着面積（通常 40mm × 40mm、1600mm<sup>2</sup>）で除した接着強度（単位：N/mm<sup>2</sup>）と破壊モード（破壊箇所）を報告する。
- ・なお弊社の施工管理上の判断基準は次のとおりとする。  
コンクリート母材破壊あるいは接着強度 1.5N/mm<sup>2</sup> 以上を良好とする。

以上

## 曲率加工したトウシート（CFRP）引張物性測定

### 1. 概要

- ・曲率加工したトウシート（CFRP）の試験片作製および試験方法に関して述べる。

### 2. 試験作製および試験方法

#### (1) 試験片の作製

##### ・準備

試験片寸法は幅 12.5mm × 長さ 500mm である。が、試験片端部は固定等のためと後から切断するので、トウシートは長め（600mm 程度）に切断する。幅は、試験片数 × 12.5mm+ とする。

離型フィルム上に施工樹脂塗布

トウシート貼り付け

施工樹脂上塗り / 含浸 / 離型フィルム張り付け、脱泡 / 養生

カッティング（半硬化時）

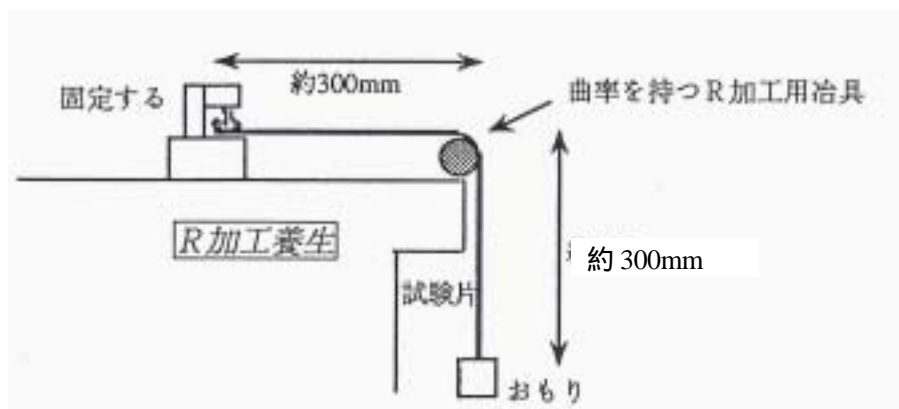
樹脂がゲル化した後、柔軟性が残っている間に規定の幅 12.5mm にカッターナイフで切断する。

養生

カットした試験片の端部を固定し、試験を実施する曲率を持つ R 加工治具に沿わせて、もう一方の端部に 1kg 程度の重りをクリップにて吊り下げて、そのまま室温で 7 日間養生する。

離型フィルム除去およびタブ取り付け

養生後離型フィルムを外し、試験片の端部にそれぞれアルミタブとピンタブ（鋼製）を接着剤で接着する。



(2) 試験方法

準備

引張試験は専用治具を用いて実施する。

試験片の固定

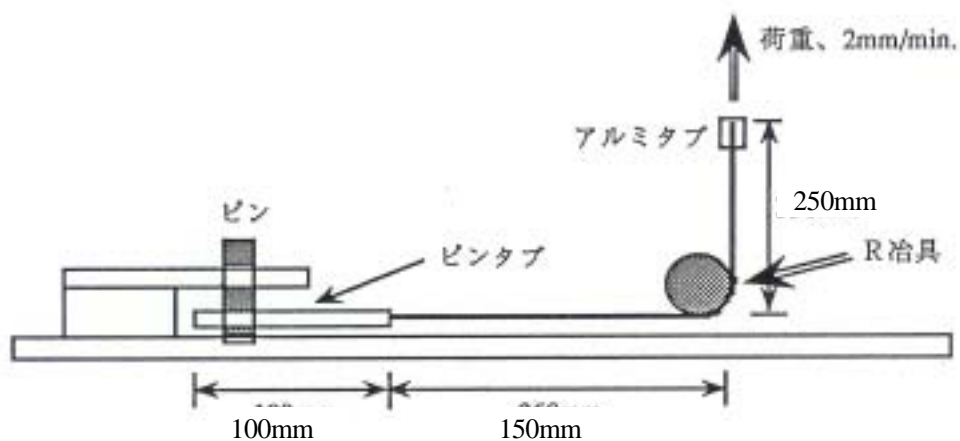
ピンで水平方向のタブ（鋼製）を固定し、もう一方のアルミタブ（鉛直方向）をチャックで固定する。この時、R 治具と試験片の曲率部分がずれないように、R 治具の位置を調整し、きちんと治具に沿うようにする。

試験速度

試験速度 2mm/min にて引張試験を実施する。

破断応力

試験片が破断した時の荷重値を読み取り、その値を試験片実測幅と設計厚さで除して、破断応力を算出する。



以上

## アラミド繊維トウシ - ト引張試験要領

### 1. 概要

アラミドトウシ - トの引張強度、弾性率を求めるための試験片の作製方法、及び試験方法に関して述べる。

### 2. 試験方法

#### (1) 事前準備

試験体となる繊維束が下記本数になるようその両側の繊維束を繊維軸に沿って取り除き試験体用アラミドトウシートとする。

FTS-AK-40 :	4 本 ( 系数 12 )	FTS-AK-60 :	6 本 ( 系数 18 )
FTS-AK-90 :	3 本 ( 系数 9 )	FTS-AK-120 :	4 本 ( 系数 12 )

#### (2) 試験片作製

アラミドシ - トを施工樹脂にて含浸硬化させた「短冊状の引張試験片作製手順」は以下の通り。

離型フィルム上に施工樹脂を塗布

試験体用アラミドトウシ - トの貼り付け

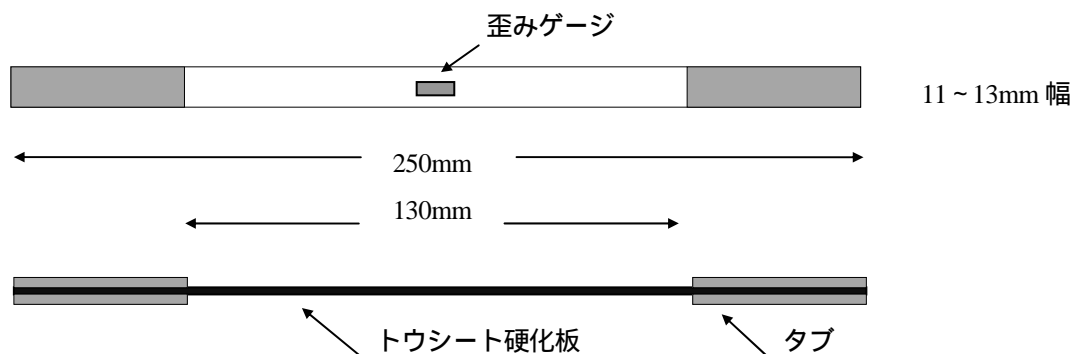
樹脂含浸/脱泡

施工樹脂上塗り / 含浸 / 上側の離型フィルム貼り付け脱泡 / 養生

カッティング ( 半硬化時 ) / 養生硬化 ( 室温 7 日間 )

離型フィルム除去後 タブ、歪みゲージ取り付け

試験片の概略形状を以下に示す。



### (3) 試験方法

JIS K7073 (炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法) の I 形に準拠した試験方法にて実施。  
 試験速度は  $2 \pm 0.4$  mm/min、測定点数は  $n=5$  とする。

### 3. 判定基準

$n=5$  の測定を行い、全ての引張強度の値がトウシートの規格値を満足し、かつ弾性率の平均値が規格を満足する事を合格とする。

- ・引張強度は 破断までの最大荷重を各グレードの試験片幅と試験片の設計厚みで除した値。
- ・弾性率は 最大荷重の 20% ~ 60% の間の応力増加分を歪の増加分で除した値。
- ・アラミドトウシート各グレードの試験片幅及び設計厚みは以下の通り。

FTS-AK-40 : 12.50mm 幅 0.193mm/枚  
 FTS-AK-60 : 13.14mm 幅 0.286mm/枚  
 FTS-AK-90 : 10.98mm 幅 0.430mm/枚  
 FTS-AK-120 : 11.36mm 幅 0.572mm/枚

シート品番	設計厚み (mm)	係数		試験体幅 (mm)
		シート (30cm 幅)	試験体当り	
FTS-AK-40	0.193	288	12	12.50
FTS-AK-60	0.286	411	18	13.14
FTS-AK-90	0.430	246	9	10.98
FTS-AK-120	0.572	317	12	11.36

以上

## スパイダースレッド引張試験要領

### 1. 概要

スパイダースレッドの引張強度、弾性率を求めるための試験片の作製方法、及び試験方法に関して記す。

### 2. 試験片作製および試験方法

#### (1) 試験片作製

- ・スパイダースレッドを施工樹脂 FR-E3P にて含浸硬化させた試験片作製手順を以下に示す。

離型フィルム上にスパイダースレッドを固定

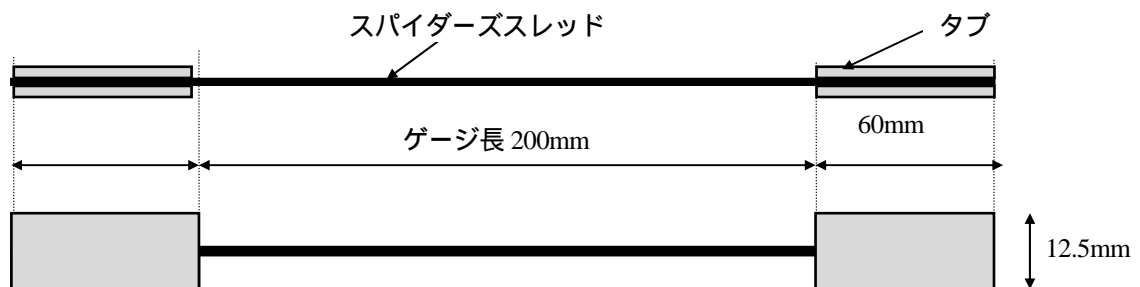
(スパイダースレッドの直線性を保持するため端部をテープ等で固定する)

施工樹脂をスパイダースレッドに塗布

樹脂含浸および脱泡

硬化後カッティングおよびタブ接着(樹脂の養生は原則室温 7 日間とする)

- ・試験片の概略形状を以下に示す。



#### (2) 試験方法

JIS R7601 炭素繊維引張試験方法に準拠し、試験速度は 2 mm/min、測定点数は n=5 とする。

破断までの最大荷重を断面積で除し引張強度を求める。規格値 3400N/mm<sup>2</sup> 以上を合格とする。

断面積は、CF ストランド 24k の場合、0.870mm<sup>2</sup>、12k の場合 0.435 mm<sup>2</sup> とする。

#### (3) 備考

つかみ部分におけるスリップ、試験片の明らかな欠陥に原因する切断、つかみの不具合に原因する切断が発生した場合は、その試験片の値は捨て、この分の試験片を追加して試験する。

以上