

アラミド繊維シート試験法マニュアル

平成 10 年 3 月

アラミド補強研究会

目次

1 . はじめに	... 1
2 . アラミド繊維シートの性能確認試験	... 2
3 . アラミド用含浸樹脂およびプライマーの性能確認試験	... 3
3.1 含浸樹脂の規格および試験法	... 3
3.1.1 含浸樹脂単体としての規格および試験法	... 3
3.1.2 AFRPシートとしての含浸樹脂の規格および試験法	... 4
3.2 プライマーの規格および試験法	... 5
4 . 引張試験	... 6
4.1 試験片の製作方法	... 6
4.1.1 A法	... 6
4.1.2 B法	... 6
4.2 試験方法	... 7
4.2.1 試験片の形状	... 7
4.2.2 載荷方法	... 7
4.3 試験結果の整理方法	... 8
5 . 積層試験	... 9
5.1 試験片の製作方法	... 9
5.1.1 A法	... 9
5.1.2 B法	... 9
5.2 試験方法	... 9
5.2.1 試験片の形状	... 9
5.2.2 載荷方法	...11
5.3 試験結果の整理方法	...11
6 . 重ね継手試験	...12
6.1 試験片の製作方法	...12
6.1.1 A法	...12
6.1.2 B法	...12
6.2 試験方法	...13
6.2.1 試験片の形状	...13
6.2.2 載荷方法	...13
6.3 試験結果の整理方法	...14
7 . 付着せん断強度試験	...15
7.1 試験片の製作方法	...15
7.2 試験方法	...16
7.3 試験結果の整理方法	...16

1. はじめに

本マニュアルでは、指針で規定された公称耐力を上回る新たに開発された高目付量のアラミド繊維シートと、新規の含浸樹脂及びプライマーを使用する際に必要となる性能確認試験の試験項目とその規格値を定めている。

アラミド繊維シートの性能確認試験としては、樹脂を含浸させたアラミド繊維シートを用い含浸樹脂が完全に硬化した状態（AFRP シートという）での引張強度試験， ヤング係数試験， 重ね継手強度試験， 積層強度試験の4種とした。

また、含浸樹脂およびプライマーの性能確認試験としては、樹脂単体の引張強度試験， 曲げ強度試験， 引張せん断強度試験， 接着強度試験， および、AFRP シートの状態での、引張強度試験， ヤング係数試験， 重ね継手強度試験， 積層強度試験， 耐熱性試験を行うこととした。また必要に応じて付着せん断強度試験を行うこととした。

高目付量のアラミド繊維シートの場合、公称耐力が大きく、シート幅当たりの繊維量が増えるため、従来のように硬化体を切断して試験片を製作する方法では、繊維の損傷による強度への影響が大きくなるため、試験片製作方法を新たに提案し、指針による方法をA法、新しい方法をB法とした。

材料の試験・評価方法としては、鉄道分野への適用を前提に鉄道総合技術研究所の技術指導の下に平成10年3月に「アラミド繊維シート試験法マニュアル」として完成している。それを踏まえて、鉄道以外の分野で使用される材料についても、アラミド補強研究会として本方法を適用する事とした。

2. アラミド繊維シートの性能確認試験

新たに開発された高目付量のアラミド繊維シートなどを耐震補強工法に用いる場合には、以下の試験を行い規格値を満足することとする。

ただし、指針に示されている強度等の特性値は、以下のとおりである。

表 2.1 指針に示されているアラミド繊維シートの強度等の特性値

	アラミド 1	アラミド 2
引張強度	21,000 kgf/cm ²	24,000 kgf/cm ²
ヤング係数	1.20 ± 0.20×10 ⁶ kgf/cm ²	0.80 ± 0.15×10 ⁶ kgf/cm ²

引張強度試験

- ・規格値： 引張強度の(平均 - 3σ)が指針に示されている特性値以上
- ・試験方法： 第 4 章に示す A 法(JIS K 7073 準拠)または B 法
- ・試験体数： 30 体

ヤング係数試験

- ・規格値： 平均値が指針に示されている特性値以内
- ・試験方法： 引張強度試験で、最大引張荷重の 20%と 60%の 2 点を結ぶ直線の勾配から求める
- ・試験体数： 30 体

重ね継手強度試験

1 層の AFRP シートを用いて重ね継手試験を行うこととする。

- ・規格値： 重ね継手長の 1/1.3 倍の長さの継手を持つ試験体において、母材破断し、個々の試験結果が指針に示されている引張強度の特性値以上
- ・試験方法： 第 4 章に示す A 法または B 法
- ・試験体数： 5 体

積層強度試験

試験に用いる積層枚数は、施工に用いる最大積層枚数と原則同じとする。

ただし、一般には 8 枚まで行えばよい。

- ・規格値： 個々の試験結果が指針に示されている引張強度の特性値以上
- ・試験方法： 第 4 章に示す A 法または B 法
- ・試験体数： 5 体

3. アラミド用含浸樹脂およびプライマーの性能確認試験

新たに開発された含浸樹脂およびプライマーをアラミド繊維シートに用いる場合は、以下の試験を行い定められた規格値を満足することとする。このとき粘度、可使用時間は、使用する時の施工条件により異なるため、施工条件に適する材料を選択し、個別に管理して記録に残すこととする。

3.1 含浸樹脂の規格および試験法

含浸樹脂に関しては、含浸樹脂そのものの試験と、AFRP シートとしての含浸樹脂試験の両方の試験を行いその性能を確認することとする。

3.1.1 含浸樹脂単体としての規格および試験法

引張強度試験

- ・規格値： 300 kgf/cm²以上
- ・試験方法： JIS K 7113 に準拠

曲げ強度試験

- ・規格値： 400 kgf/cm²以上
- ・試験方法： JIS K 7203 に準拠

引張せん断強度試験

- ・規格値： 100 kgf/cm²以上
- ・試験方法： JIS K 6850 に準拠

接着強度試験

- ・規格値： 補強対象コンクリートの引張強度の特性値 $f_{tk} (*)$ の 1.5 倍以上
- ・試験方法： JIS K 5400 に準拠

* : f_{tk} が試験によって得られない場合は、 $f_{tk} = 0.5f'_{ck}{}^{2/3}$ としてよい。
一般的に、 $f'_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ の時の接着強度は 30 kgf/cm^2 となる。

3.1.2 AFRP シートとしての含浸樹脂の規格および試験方法

せん断補強およびじん性補強にアラミド繊維シートを用いる場合は，下記の引張強度試験，ヤング係数試験，重ね継手強度試験，積層強度試験，耐熱性試験を行ってその性能を確認することとする。曲げ補強に用いる場合には，別途付着せん断強度試験を行うこととする。

引張強度試験

引張強度試験は，現在ある全ての種類のシートに対して行うこととし，それらの最大耐力シート（実用化されている最大目付量を有するアラミド繊維シート）でその性能を確認する。

- ・規格値： 引張強度の（平均 - 3σ ）が指針に示されている特性値以上
- ・試験方法： 第4章に示す A 法(JIS K 7073 準拠)または B 法
- ・試験体数： 30 体

ヤング係数試験

最大耐力シートを用いて性能を確認する。

- ・規格値： 平均値が指針に示されている特性値以内
- ・試験方法： 引張強度試験で，最大引張荷重の 20%と 60%の 2 点を結ぶ直線の勾配から求める
- ・試験体数： 30 体

積層強度試験

最大耐力シートを用いて性能を確認する。試験に用いる積層枚数は，施工に用いる最大積層枚数と原則同じとする。ただし，一般には 8 枚まで行えばよい。

- ・規格値： 個々の試験結果が指針に示されている引張強度の特性値以上
- ・試験方法： 第4章に示す A 法または B 法
- ・試験体数： 5 体

重ね継手強度試験

重ね継手長さを共有する最大耐力シートを用いて性能を確認することとし、1層のAFRPシートを用いて重ね継手試験を行う。

- ・規格値：重ね継手長の1/1.3倍の長さの継手を持つ試験体において、母材破断し、個々の試験結果が指針に示されている引張強度の特性値以上
- ・試験方法：第4章に示すA法またはB法
- ・試験体数：5体

耐熱性試験

最小耐力シート（実用化されている最小目付量のアラミド繊維シート）を用いて性能を確認する。

- ・規格値：個々の試験結果が指針に示されている特性値以上
- ・試験方法：220℃で2時間加熱し、常温に戻して引張強度試験を第4章に示すA法またはB法に準じて行う。
- ・試験体数：5体

付着せん断強度試験

付着せん断強度試験用のシートを用いて、梁の曲げ試験より付着性能を確認することとする。

- ・規格値：個々の試験結果が指針に示されている特性値以上
- ・試験方法：指針の付属資料5に示されている方法に準じて行う。
- ・試験体数：2体

3.2 プライマーの規格および試験法

プライマーについては、接着強度について試験を行うこととする。

接着強度試験

試験用基板は、補強対象コンクリートと同等以上の強度を有する板を用いる。

- ・規格値：補強対象コンクリートの引張強度の特性値 $f_{tk} (*)$ 以上
- ・試験方法 JIS K 5400 に準拠

*： f_{tk} が試験によって得られない場合は、 $f_{tk} = 0.5f_{ck}'^{2/3}$ としてよい。
一般的に、 $f_{ck}' = 240 \text{ kgf/cm}^2$ の時の接着強度は 20 kgf/cm^2 となる。

4．引張試験

4.1 試験片の製作方法

引張試験の試験片は，下記に示す A 法または B 法のいずれかで製作することとする。

4.1.1 A 法（JIS K 7073 準拠）

「指針」に示されている方法で，硬化体の切断による繊維の損傷が少なく，強度への影響が少ないシートの場合に適用する。

4.1.2 B 法

新しい方法であり，「指針」による方法では硬化体の切断による繊維の損傷が多く，強度への影響が大きいシートの場合に適用する。

以下に試験片の製作手順を示す。

- (1)所定の長さに切り出したシートの繊維軸が，直線になるように固定する。
- (2)シートの中央付近に，長さ方向に 250 mm の間隔でマーキングをし，その外側 100 mm にもマーキングをする。
- (3)シートの幅方向 50 mm につき 1 ヶ所の割合で，試験片となる繊維束の幅が 10～15 mm になるように両側の繊維束を 1～3 束程度取り除く。
- (4)離型性フィルムに含浸樹脂を下塗りし，上記のシートを張り付け，しごく。
- (5)樹脂を上塗りする。上塗り後，表面を平滑にするため，離型性フィルムをかぶせる。
- (6)室温で 1 週間以上養生した後，10～15 mm 幅の繊維束を切り出す。切り出し長さは 200 mm 以上とする。

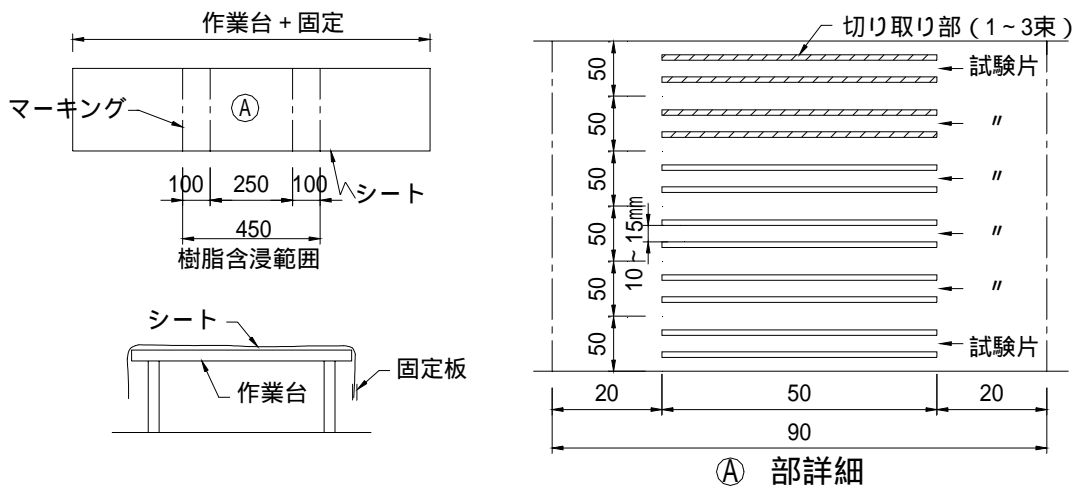


図 4.1 B 法による試験片の製作要領

4.2 試験方法

4.2.1 試験片の形状

試験片の定着具は、試験部内で破断が生じることが出来るものを使用することとする。

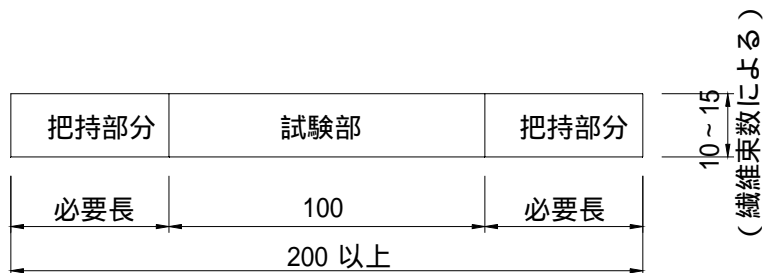


図 4.2 試験片の形状

4.2.2 载荷方法

上記試験片に载荷速度 2 mm/min で引張荷重を载荷し、ひずみゲージによりひずみ量を測定する。変位制御のできない場合は、1 分間につき FRP としでの断面積当り 10 ~ 50 kgf/mm² の割合で载荷するのを標準とする。

4.3 試験結果の整理方法

引張強度ならびにヤング係数は、下記の方法により求めた断面積を用いて指針の付属資料に準じて算出することとする。

$$A \text{ 法：断面積 (cm}^2\text{)} = \text{設計厚さ (cm)} \times \text{試験片幅 (cm)} \quad \dots (4.1)$$

$$B \text{ 法：断面積 (cm}^2\text{)} = \text{設計厚さ (cm)} \times$$

$$\text{試験片内の繊維束数} \times \frac{\text{シート全幅(cm)}}{\text{シート全幅内の繊維束数(cm)}}$$

... (4.2)

ここに、シート全幅とは、試験片を切り出すときに用いたアラミド繊維シート織物の幅をいう。

5．積層試験

5.1 試験片の製作方法

積層試験の試験片は，下記に示す A 法または B 法のいずれかで製作することとする。

5.1.1 A 法

「指針」に示されている方法で，硬化体の切断による繊維の損傷が少なく，強度への影響が少ないシートの場合に適用する。

5.1.2 B 法

新しい方法であり，「指針」による方法では硬化体の切断による繊維の損傷が多く，強度への影響が大きいシートの場合に適用する。

以下に試験片の製作手順を示す。

- (1)所定の繊維束を残すシートの製作手順は，引張試験と同様であり，積層枚数分用意する。ただし，積層枚数が多くなると，引張荷重が大きくなり，定着部分を長く取る必要があるので（200～300 mm），シートはその分を考慮して切り出す。
- (2)取り除いた繊維束幅に見合う仕切材の付いた成形枠に，離型性フィルムを敷き，含浸樹脂を下塗りする。上記のシートを，取り除いた繊維束の部分を仕切材に合わせて張り付け，しごく。
- (3)樹脂を上塗りする。
- (4)上記(2)，(3)を積層枚数分繰り返す。最後に離型性フィルムをかぶせる。
- (5)室温で1週間以上養生した後，10～15 mm 幅の繊維束を切り出す。

5.2 試験方法

5.2.1 試験片の形状

試験部の長さは100mm以上で，かつ試験片の厚さの40倍以上とする。積層枚数が多くなると，引張荷重が大きくなるので，試験片の定着としては，

鋼管に樹脂あるいは膨張材等で固定するなど，試験部で破壊させることができる方法とする。

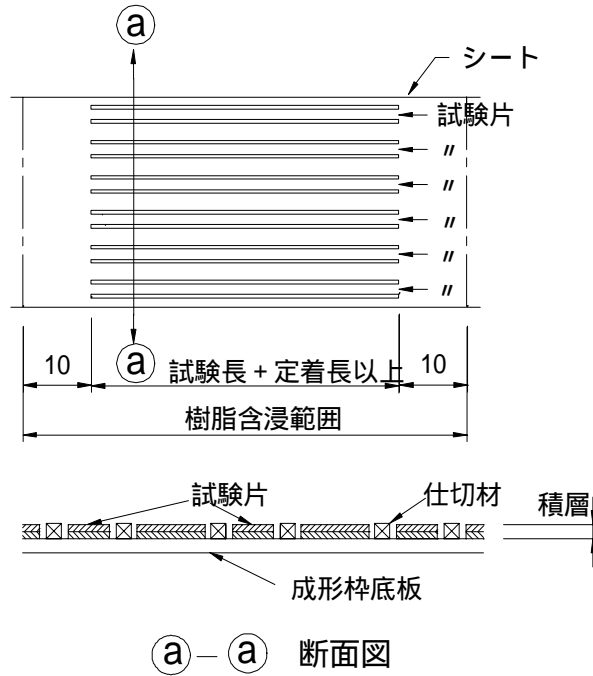


図 5.1 B 法による試験片の製作要領

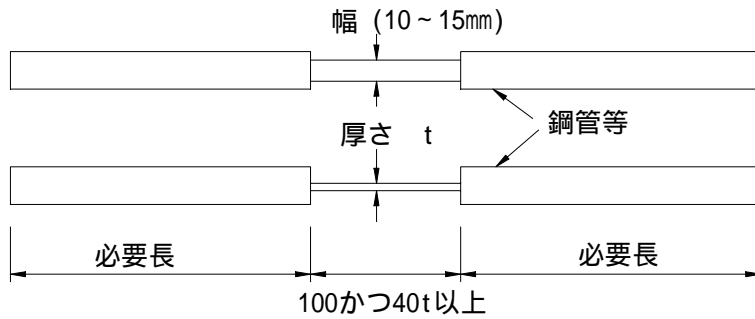


図 5.2 試験体の形状

5.2.2 載荷方法

上記試験片に載荷速度 2 mm/min で引張荷重を載荷する。変位制御のできない場合は、1 分間につき FRP としての断面積当り 10 ~ 50 kgf/mm² の割合で載荷するのを標準とする。

5.3 試験結果の整理方法

1 層，幅 1m あたりの引張耐力を次式で求める。

$$\cdot \text{引張耐力}(tf/m) = \frac{\text{破断荷重}(tf)}{\text{試験片幅}(cm) \times 100 \times \text{積層枚数}} \quad \dots (5.1)$$

ただし，B 法の試験片幅(cm) =

$$\text{試験片内の繊維束数} \times \frac{\text{シート全幅}(cm)}{\text{シート全幅内の繊維束数}} \quad \dots (5.2)$$

6．重ね継手試験

6.1 試験片の製作方法

重ね継手試験の試験片は，下記に示す A 法または B 法のいずれかで製作することとする。

6.1.1 A 法

「指針」に示されている方法で，硬化体の切断による繊維の損傷が少なく，強度への影響が少ないシートの場合に適用する。

6.1.2 B 法

新しい方法であり，「指針」による方法では硬化体の切断による繊維の損傷が多く，強度への影響が大きいシートの場合に適用する。

以下に試験片の製作手順を示す。

- (1)所定の繊維束を残すシートの製作手順は，引張試験と同様であるが，重ね継手長さの間隔でマーキングを，シート 2 枚にする。
- (2)取り除いた繊維束幅に見合う仕切材の付いた成形枠に，離型性フィルムを敷き，含浸樹脂を下塗りする。上記のシート 1 枚を，取り除いた繊維束の部分を仕切材に合わせて張り付け，しごく。
- (3)含浸樹脂を上塗りする。その後，シートの片側を持ち上げ，マーキングの位置で切断し，取り除く。残ったシート端を再度樹脂になじませる。
- (4)上記シートのもう 1 枚を重ね部分を合わせ，(2)と同様な手順で，下のシートに張り付ける。
- (5)含浸樹脂を上塗りした後，下のシートと反対側の端を持ち上げ，マーキングの位置で切断し，取り除く。残ったシート端を再度樹脂になじませる。
- (6)硬化後，10～15 mm 幅の繊維束を切り出す。

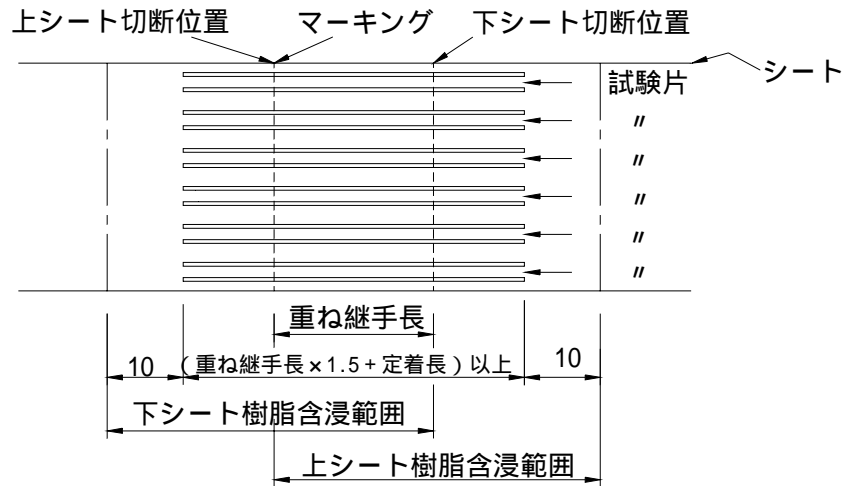


図 6.1 B 法による試験片の製作要領

6.2 試験方法

6.2.1 試験片の形状

試験部の長さは、 $(\text{重ね継手長の } 1.5 \text{ 倍} + \text{定着長})$ 以上とする。試験片の定着具は、試験部で破壊させることができるものを使用する。

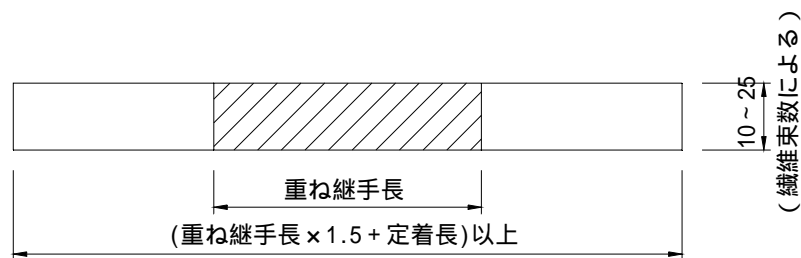


図 6.2 試験体の形状

6.2.2 載荷方法

上記試験片に載荷速度 2 mm/min で引張荷重を載荷する。変位制御のできない場合は、1 分間につき FRP としての断面積当り $10 \sim 50 \text{ kgf/mm}^2$ の割合で載荷するのを標準とする。

6.3 試験結果の整理方法

幅 1 m 当たりの引張耐力を求める。また，破壊がシートの破断か，シート間の剥離かを記録する。引張耐力の算出に用いる断面積は，引張試験と同様な方法による。

7. 付着せん断強度試験

7.1 試験体の製作方法

付着せん断強度試験は、アラミド繊維シート貼り付けた梁の曲げ試験により行う。試験に用いる試験体は、アラミド繊維シートが付着により剥がれるような条件を満たした以下のような梁とする。

コンクリート打設時の水平方向を試験時の梁の高さ方向とする。鉄筋の付着切れを防止するために両端部に定着鋼板を設置し、鉄筋と溶接接合する。使用するコンクリートは、普通または早強ポルトランドセメントを用い、最大粗骨材寸法は 20 mm 以下とする。打設時に採取したシリンダー試験体により、アラミド繊維シート貼り付け時および試験時の圧縮強度を確認する。鉄筋は金属材料引張試験方法(JIS Z 2241)に従い引張試験を行い、強度を確認する。

シリンダー試験体により所定の強度^{*1} が得られたことを確認した後、樹脂の仕様に応じた方法で図に示す位置にアラミド繊維シート^{*2} を貼り付ける。樹脂硬化後、ひずみゲージを貼り付ける。

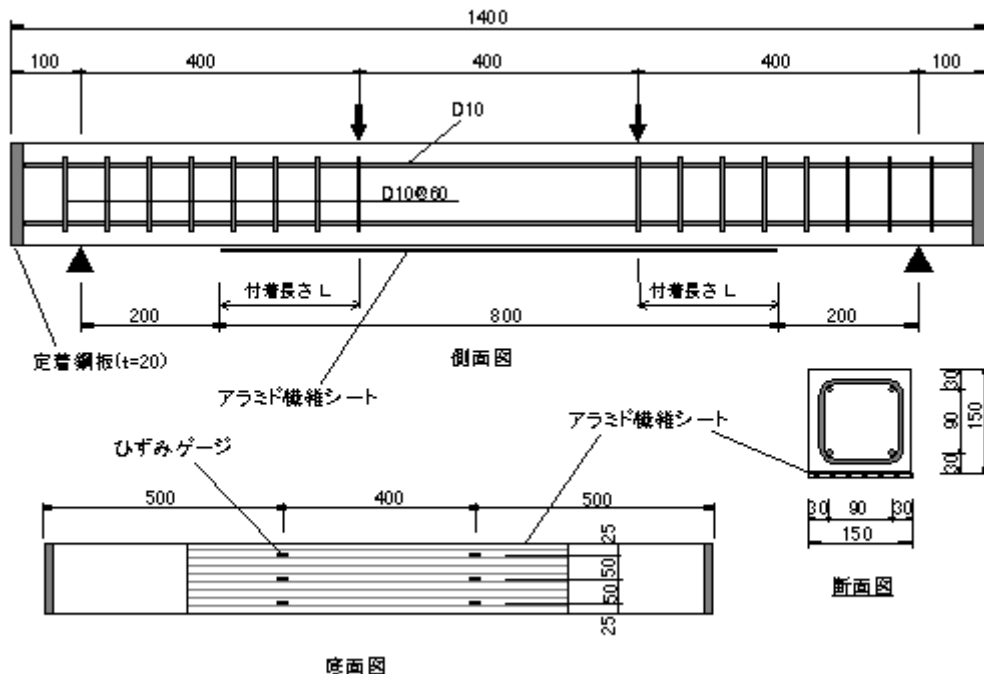


図 7.1 付着せん断強度試験用の試験体

*1 普通セメントの場合、4 週（28 日）強度で、早強セメントの場合 1 週

(7日)強度で 240 kgf/cm² とする。

*2 使用繊維はアラミド 1 の場合目付け量 150 g/m² をアラミド 2 の場合目付け量 235 g/m² を基本とする。また目付け量が上記の場合，付着長さ L はアラミド 1，アラミド 2 とともに 200 mm としてよい。

7.2 試験方法

図に示す 2 点で静的に加力する。荷重を加える速度は，梁下縁応力度の増加が毎分 8 ~ 10 kgf/cm² (0.8 ~ 1.0 N/mm²) になるようにする。アラミド繊維シートが破断または付着切れするまで載荷し，逐次載荷荷重およびひずみゲージの値を記録する。

7.3 試験結果の整理方法

アラミド繊維シートが破断または付着切れして梁の耐力が低下したときのひずみゲージの値から，次の式によってアラミド繊維シートの平均付着強度を算出する。

$$\tau = \frac{\varepsilon \times E_A \times A_A}{l_A \times W_A} \quad \dots (7.1)$$

τ_A : アラミド繊維シートの平均付着強度 (kgf/cm²)

ε_A : アラミド繊維シートのひずみ

E_A : アラミド繊維シートの弾性係数 (kgf/cm²)

A_A : アラミド繊維シートの断面積 (cm²)

l_A : アラミド繊維シートの付着長さ (cm)

W_A : アラミド繊維シートの付着長さ (cm)

ここに，アラミド繊維シートの付着長さは載荷位置よりアラミド繊維シート端部までとする。アラミド繊維シートのひずみは 3 点の平均値を用いる。平均付着強度はシートの両端部でそれぞれ計算し，その 2 つの値を平均したものを代表値とする。