

# 論文 GFRP プレートとコンクリートとの付着性状に関する研究

関島謙蔵\*1・大塚 靖\*2

要旨：本研究では、最初に引き抜き成形したGFRP製のプレートに引張力を与えるために、2種類の鋼板製の定着具を試作し、それらの性能について検討した。次に、エポキシ樹脂を用いてGFRPプレートをコンクリートの表面に貼り付け、定着具を介して引張力を与えることによる付着強度試験を行って、付着長が付着性状に及ぼす影響について検討した。

キーワード：GFRPプレート、定着具、エポキシ樹脂、付着長、剥離

## 1. はじめに

繊維強化プラスチック（FRP）製のプレートを緊張材として利用し、コンクリート部材の下面に貼り付けてプレストレスを導入すれば、補強効果が向上するので、既設のコンクリート構造物の補強工法として有望である。筆者らは本工法の開発を進めており、既に実験室レベルにおける緊張・定着装置を試作し、これを用いて製作したPCはりの曲げ試験を行って、力学的特性を検討した[1]。

この工法を実用化するためには、FRPプレートとコンクリートとの付着性状を調べる必要がある。そこで、本研究では、最初に引き抜き成形したガラス繊維強化プラスチック（GFRP）製のプレートに引張力を与えるために、2種類の鋼板製の定着具を試作し、それらの性能について検討した。次に、エポキシ樹脂を用いてGFRPプレートをコンクリートの表面に貼り付け、定着具を介して引張力を与えることによる付着強度試験を行って、付着長が付着性状に及ぼす影響について検討した。

## 2. GFRPプレートの定着具の性能試験

### 2.1 使用材料

GFRPプレートは、幅100mm、厚さ3mmの寸法で、内部は長手方向に引き揃えたガラス繊維ロービング（束）、表層部はガラス繊維のコンティニューアストランドマット（CSM）およびヤークロスの積層構造となっており、不飽和ポリエステル樹脂に含浸して、引き抜き成形したものである。ガラス繊維の体積含有率は45～60%であり、ロービングが大部分を占めている。GFRPプレートの

引張特性を表-

表-1 GFRPプレートの引張特性[1]

1に示す[1]。

定着具は厚さ10mmの鋼板製であり、2種類の形状のものを試

断面積 A (mm <sup>2</sup> )	最大引張荷重 F <sub>u</sub> (kN)	引張強度 f <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	終局ひずみ		引張剛性 EA (kN)	ヤング係数 E (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
			長手方向 ε <sub>u</sub> (%)	横方向 ε <sub>L</sub> (%)			
300	84.8	283	1.34	-0.26	6,590	22.0	0.214

\*1 清水建設(株)技術研究所未来技術研究部新素材グループ主任研究員、工修(正会員)

\*2 清水建設(株)技術研究所未来技術研究部新素材グループ

作した。なお、GFRPプレートと鋼板およびアルミ板を接着するために、接着剤としてエポキシ樹脂（A）を用いた。

## 2.2 供試体

供試体の寸法を図-1および図-2に示す。供試体はそれぞれ3体ずつ製作した。GFRPプレートの片方の端部には接着剤を用いて厚さ5mmのアルミ板を2枚貼り付け、反対側の端部には直径20mmの孔を2箇所または4箇所あけた。この孔の内2箇所は、試験を実施する際に引張用治具を取り付けるためのものである（写真-1参照）。

鋼板製の定着具は、以下に示す方法で取り付けられた。

- ①定着具A：接着剤と6本のボルト（M8）を併用して貼り付けた。
- ②定着具B：接着剤と6本のボルト（M8）を併用して貼り付け、さらに2本のボルト（M18）を用いて締め付けた。

## 2.3 試験方法

試験の状況を写真-1に示す。試験には容量1960kNのアムスラー試験機を使用した。GFRPプレートに取り付けた定着具を引張用治具ではさみ、これに溶接されているPC鋼棒とアルミ板をそれぞれ試験機のチャックで直接つかんで、GFRPプレートに引張力を与え、最大荷重を測定し、破壊状況を観察した。

## 2.4 試験結果および考察

試験結果の一覧を表-2に示す。定着具Aを用いた供試体AシリーズはGFRPプレートの抜け出しによって破壊することが多く、定着具Bを用いた供試体BシリーズはほとんどがGFRPプレートの破断によって破壊した。各供試体の最大荷重は、いずれもGFRPプレートの引張耐力よりも小さくなり、AシリーズおよびBシリーズの平均値は、それぞれ約80%および約90%となった。従って、定着具Bを用いた方が、強度が高いことが明らかになった。この理由として、定着具Bは2本のボルト（M18）で締め付けているので、鋼板とGFRPプレートとの間の摩擦

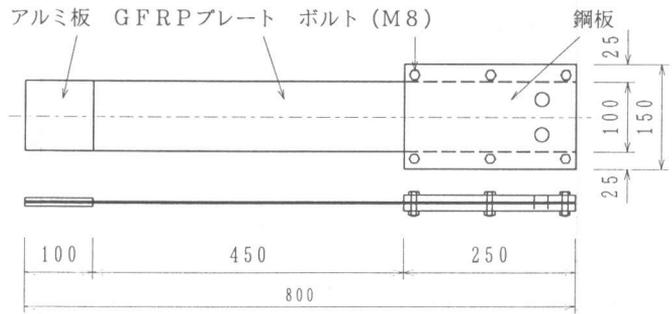


図-1 供試体の寸法（Aシリーズ）

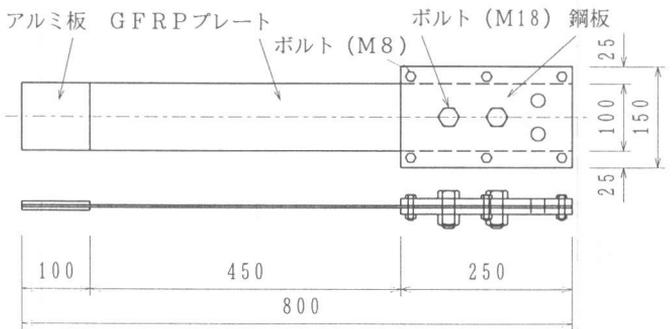


図-2 供試体の寸法（Bシリーズ）

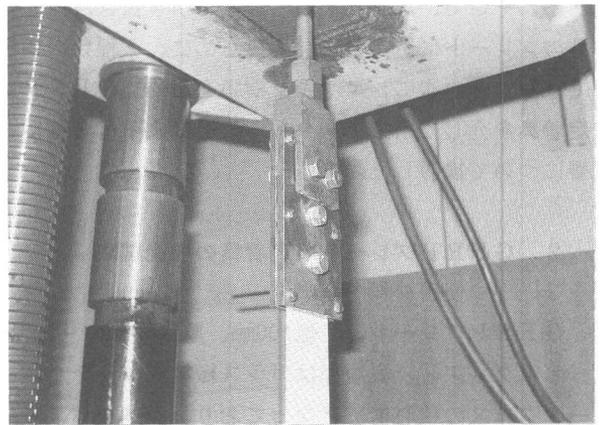


写真-1 定着具の性能試験状況

力が増加したためと思われる。

以上の結果より、GFRPプレートとコンクリートとの付着強度試験には、強度の高い方の定着具Bを採用することにした。

### 3. GFRPプレートの付着強度試験

#### 3.1 使用材料および供試体

GFRPプレートは、2.1で述べたものと同じものを使用した。GFRPプレートの長さは900mmまたは1,000mmとし、片方の端部には直径20mmの孔を4箇所あけた後、エポキシ樹脂(A)および6本のボルト(M8)と2本のボルト(M18)を併用して、定着具Bを取り付けた。

供試体の寸法の例を図-3に示す。幅300mm、高さ200mm、長さ300mmまたは400mmの型枠にコンクリートを打設して、ブロックを製作した。コンクリートの硬化後、底面の型枠に接した面を上向きに設置し、コンクリートおよびGFRPプレートの表面の油等を除去した後、接着剤としてエポキシ樹脂(B)を塗布して、両者を貼り付けた。付着長は100mm、200mmおよび300mmの3種類とし、それぞれ3体ずつ製作した。外気温が10°C前後と低かったので、接着剤が硬化するまでの2~3日間、鉄板を用いて付着面に均一な圧縮応力(8.54  $\text{mN/mm}^2$ )を与え、かつ白熱灯を用いてコンクリートブロックの表面付近の温度が20°C前後になるように加熱した。

なお、コンクリートには早強ポルトランドセメントを使用し、粗骨材の最大寸法は20mmとした。コンクリートは打設後に、屋外で湿布で覆って養生を行った。試験時の材令は79~112日であり、圧縮強度は35.1~37.8  $\text{N/mm}^2$ 、割裂引張強度は2.87~3.07  $\text{N/mm}^2$ であった。

#### 3.2 試験方法

試験装置として、H形鋼-300×300の上に反力架台をボルトで締め付け、センターホールジャッキとロードセルを水平に取り付けた。次に、供試体を設置し、写真-1と同様にPC鋼棒が溶接されている引張用治具で定着具をはさんで、ボルトを用いて締め付けた。こうして、ジャッキを用いてPC鋼棒を緊張することによって、GFRPプレートに引張力が伝達される。そして、

表-2 定着具の性能試験結果の一覧

定着具	供試体	最大荷重 $P_u$ (kN)	$\frac{P_u}{F_u}$	破壊状況
A	1	58.6	0.691	GFRPプレートの抜け出し
	2	79.2	0.934	GFRPプレートの破断
	3	66.1	0.779	GFRPプレートの抜け出し
	平均	68.0	0.801	—————
B	1	69.6	0.821	プレートの一部破損後に抜け出し
	2	77.4	0.913	GFRPプレートの破断
	3	81.5	0.961	GFRPプレートの破断
	平均	76.2	0.898	—————

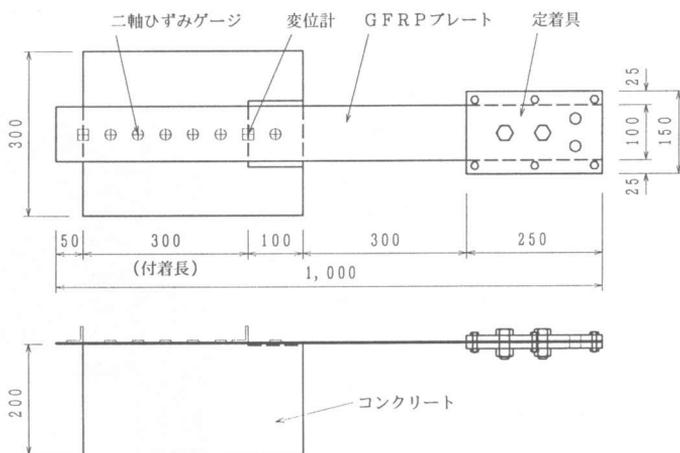


図-3 付着強度試験用供試体の寸法の例

表-3 付着強度試験結果の一覧

供試体	付着長 L (mm)	剥離発生荷重 $P_p$ (kN)	最大荷重 $P_{max}$ (kN)	破壊状況	コンクリート表層の 破壊部分の面積比 <sup>1)</sup> C/A (%)	平均 付着強度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )
No. 3	200	15.6	18.0	GFRPプレートの剥離	0	0.900
No. 4	200	19.0	19.6	主にGFRPプレートの剥離	13.1	0.980
No. 5	300	19.2	21.5	GFRPプレートの剥離	1.8	0.717
No. 6	300	18.8	20.8	GFRPプレートの剥離	0	0.693
No.15	200	15.6	23.7	GFRPプレートの剥離	0.2	1.19
No.16	300	17.9	19.6	GFRPプレートの剥離	1.9	0.653
No.17	100	18.8	19.4	GFRPプレートの剥離	0	1.94
No.18	100	19.6	20.0	主にGFRPプレートの剥離	15.7	2.00
No.23	100	22.8	23.0	主にGFRPプレートの剥離	19.2	2.30

1) C : コンクリートの表層部で破壊した部分の面積、A : 全付着面積

GFRPプレートとコンクリートとの  
接着面にせん断応力が作用する。

試験中は荷重を段階的に増加させて、  
付着破壊が生じるまで、荷重、GFRP  
プレートの載荷端および自由端の変位、  
表面のひずみを測定した。なお、  
二軸ひずみゲージの貼り付け間隔は25  
mmまたは50mmとした。

### 3. 3 試験結果および考察

試験結果の一覧を表-3に示す。

#### (1) 破壊状況

供試体の破壊状況の例を写真-2に  
示す。破壊状況は、GFRPプレート  
と接着剤との界面で剥離したものが多  
く、コンクリートの表層部で破壊した  
部分は極めて少なかった。表-3には、  
各供試体のコンクリートの表層部で破  
壊した部分の面積の全付着面積に占め  
る割合C/Aも示した。

#### (2) 最大荷重および平均付着強度

供試体の最大荷重と付着長の関係  
を図-4に示す。付着長が同じ供試体  
においても最大荷重は若干ばらつきが  
あるが、概ね付着長が増加しても最大荷

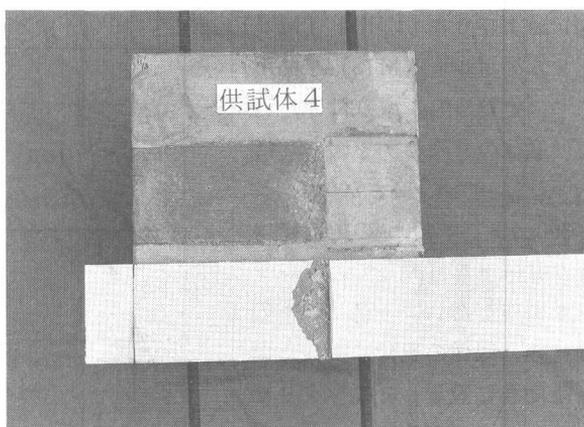


写真-2 付着破壊状況 (No. 4)

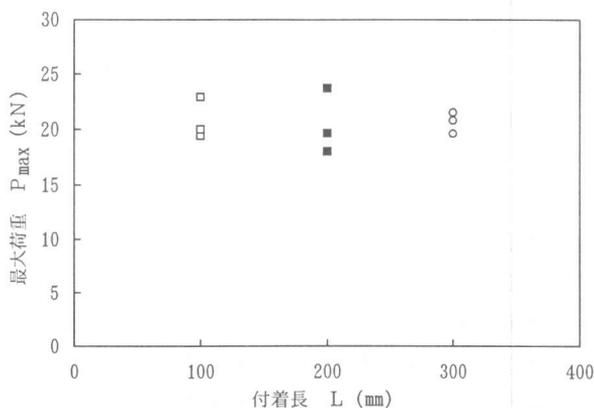


図-4 最大荷重と付着長の関係

重は増加しないことが認められる。この現象は、浅野らが炭素繊維シートの付着長が100mm以上では最大荷重が増加しないと述べていることとほぼ同様な傾向である[2]。

供試体の最大荷重を全付着面積で除した平均付着強度と付着長の関係を図-5に示す。有効な付着長は100mm程度であり、当然のことながら、平均付着強度は付着長に反比例して減少した。

### (3) 载荷端および自由端の変位

GFRPプレートの载荷端および自由端の変位の例を図-6に示す。各供試体共に、载荷端の変位が急増する点があり、この荷重の時にGFRPプレートの剥離が生じた。ただし、剥離が生じる時の荷重は、付着長の短いNo.17(付着長 $L=100\text{mm}$ )が最も高いので、付着長の影響はないと考えられる。

GFRPプレートの剥離が生じる時に、接着剤との界面でせん断破壊が生じるので、GFRPプレートは界面の小さい凹凸を乗り越える必要がある。従って、载荷端付近のGFRPプレートは上方にわずかに持ち上がるので、変位を測定するためのアルミ製のアングルが自由端側に傾き、载荷端の変位が小さく測定される場合があった。

なお、自由端の変位は破壊に至るまで極めて小さかった。

### (4) ひずみ分布

各付着長ごとのGFRPプレートの長手方向のひずみ分布の例を、図-7~図-9に示す。なお、これらの図中の载荷端のひずみの値は、実際には定着具側へ50mm離れた位置のひずみの値である。载荷初期の段階では、GFRPプレートは定着具の自重によって若干下にたわんでいたために、载荷端のひずみは、引張剛性から計算したひずみよりもかなり小さい値となった。

各供試体共に、GFRPプレートの剥離が生じる前は、ひずみ分布は二次曲線を描いていると考えられる[2]。

GFRPプレートの剥離が生じた後は、No.17は付着長が短いために、载荷

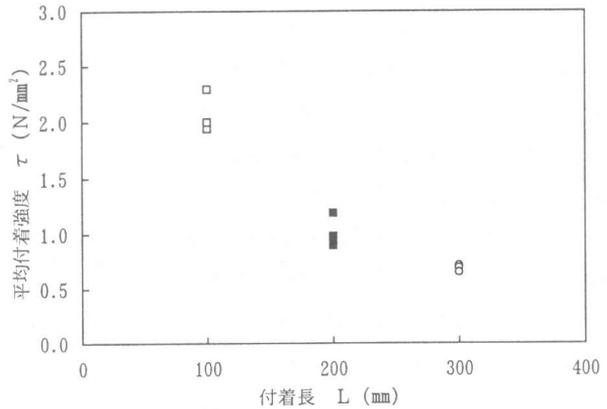


図-5 平均付着強度と付着長の関係

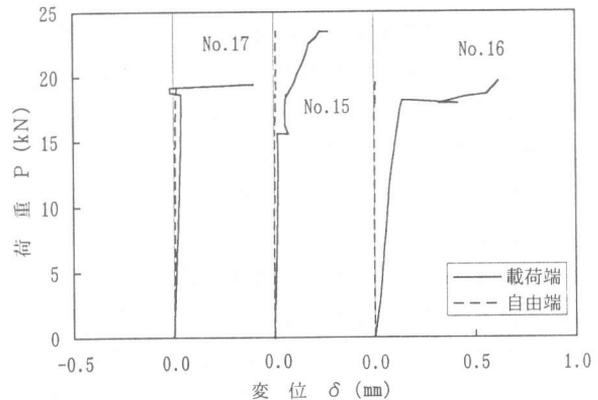


図-6 荷重と変位の関係

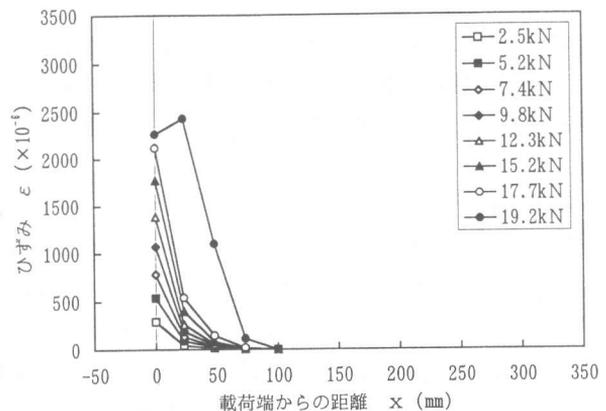


図-7 GFRPプレートのひずみ分布 (No.17)

端から25mm、さらに50mmの位置のひずみが急増し、自由端付近まで付着力が伝達された。No.15は、荷重が17.7kNの時は25~125mmの区間で付着力を負担していた。その後、ほぼ同様なひずみ分布を保ちながら、22.6kNの時は75~150mm、23.6kNの時は75~175mmの区間で付着力を負担していた。従って、付着力を負担する区間は75~100mmであり、変動は少なかった。No.16の付着力を負担する区間は、17.9kNの時は25~175mm、18.4kNの時は100~225mm、さらに19.6kNの時は100~275mmとなり、ひずみ分布の形状は似ているものの、長さはかなり変化することが認められた。

#### 4. まとめ

- (1) 鋼板製の定着具は、孔をあけて太径のボルトで締め付けた方が、摩擦力が增加するため、強度が高かった。
- (2) 付着強度試験の破壊状況は、ほとんどがGFRPプレートと接着剤との界面の剥離であった。
- (3) 付着長が増加しても、付着破壊時の最大荷重は増加しなかった。
- (4) GFRPプレートの剥離が生じると、載荷端の変位が急増した。
- (5) GFRPプレートの剥離が生じる前は、ひずみ分布は二次曲線を呈した。剥離が生じた後は、ほぼ同様なひずみ分布を保ちながら、付着力を負担する区間が自由端に向かって移動した。

以上の結果から、GFRPプレートをコンクリートに定着する際に、定着長を長くするだけでは不十分な場合があり、アンカーボルトなどの定着具が必要であると考えられる。末筆ながら、GFRPプレートを提供していただいた旭硝子マテックス(株)の林 耕四郎氏に感謝します。

#### 参考文献

- [1] 関島謙蔵, 木暮明人, 鈴木秀人, 大塚 靖: FRPプレートを緊張材に用いたPC補強工法の開発、コンクリート構造物の補修工法と電気防食に関するシンポジウム論文報告集、日本コンクリート工学協会、pp.85-92、1994.10
- [2] 浅野靖幸, 佐藤靖彦, 上田多門, 小野 定: 炭素繊維シートの付着特性について、新素材のコンクリート構造物への利用に関するシンポジウム論文報告集、日本コンクリート工学協会、pp.75-80、1996.11

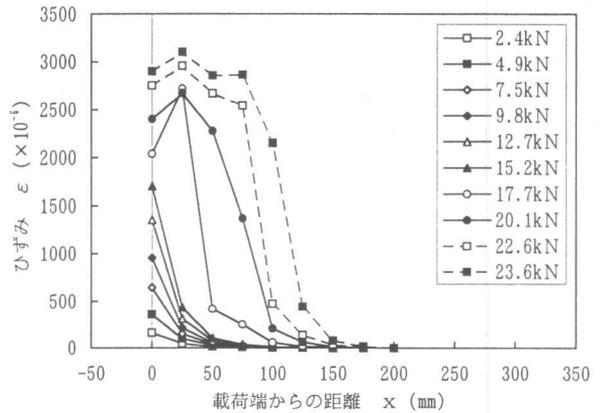


図-8 GFRPプレートのひずみ分布 (No.15)

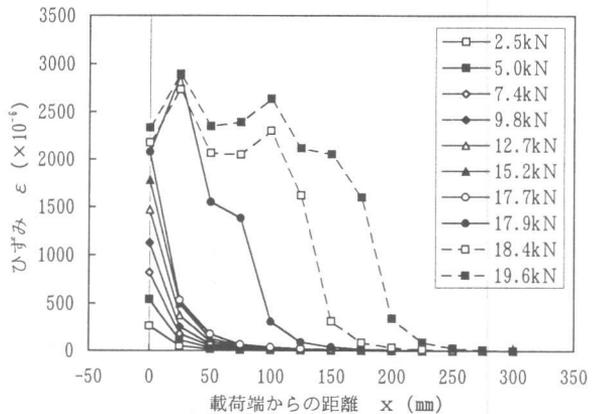


図-9 GFRPプレートのひずみ分布 (No.16)