

新繊維（ポリアセタール）の付着性状について

The bond mechanism of new fiber Polyacetal Fiber Sheet

北海道大学工学部 ○学生員 御厨 一慶 (Ikkei Mikuriya)
北海道大学大学院 学生員 関谷 圭介 (Keisuke Sekiya)
北海道大学大学院 正会員 上田 多門 (Tamon Ueda)
北海道大学大学院 正会員 佐藤 靖彦 (Yasuhiko Sato)

1. はじめに

連続繊維シートは、力学的特性に優れ、かつ、施工性にも優れた材料であり、既設コンクリート構造物の補強材料として広く社会に受け入れられている。

連続繊維シートは、一般に、樹脂によりコンクリート構造物に接着される。コンクリート構造物に接着された連続繊維シートに作用する引張力は、接着界面を通じてコンクリートに伝達されるものであり、連続繊維シートにより補強されたコンクリート構造物の力学性能は、コンクリートと連続繊維シートの付着挙動に大きく影響されることとなる¹⁾。

そこで、本研究は、連続繊維シートの中でも新繊維として注目されるポリアセタール繊維シート（以下「PAFシート」）を取り上げ、コンクリートにエポキシ樹脂を用いて接着した場合の付着性状を明らかにすることを目的に行った。すなわち、シートと樹脂を一体化して複合部材として取り扱うとき、接着の際に用いるエポキシ樹脂の量を変えることで、その複合部材の剛性を実験変数としたポリアセタール繊維シートの付着試験を行い、その付着機構を検討する。

2. 新繊維（高強度ポリアセタール繊維シート）の特徴

2. 1 新繊維の機械的特徴

ポリアセタール繊維はじん性・剛性を兼ね備えたエンジニアリングプラスチックとして広く使用されている高分子体である。ポリアセタール繊維シートの特徴としては豊富なエネルギー吸収性能である。炭素繊維シートを用いた補強に対して 3 倍以上のエネルギー吸収量を発揮する。その他の特徴としては、引張強度が大きい、耐摩擦性・耐カット性に優れる、クリープ特性に優れる、耐油性・耐有機溶剤性に優れるなどがある²⁾。その機械的特性を炭素繊維シートと比較して、表 1、図 1 に示す。

2. 2 施工上の特徴

ポリアセタール繊維シートは接着の際、プライマー・パテの塗布が不要である。

表 1 各シートの機械的特性

繊維	Polyacetal	Carbon
引張強度(MPa)	1760	3480
弾性係数(GPa)	40	230
伸び率(%)	8	1.5
密度(g/cm ²)	1.45	1.8
厚さ(mm)	0.36351	0.11
導電性	なし	あり

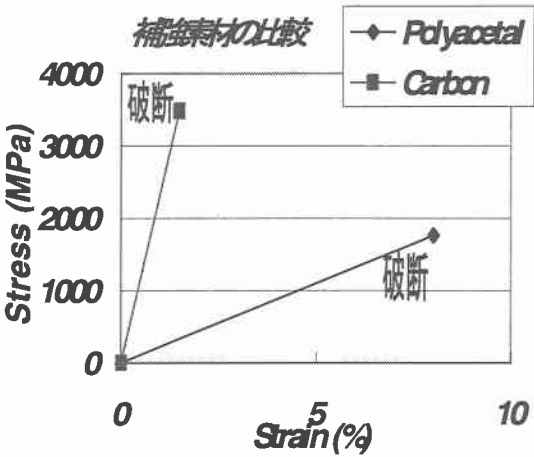


図 1 補強素材の比較

3. 実験概要

3. 1 使用材料

コンクリートには早強ポルトランドセメントを用い、実験日と同日に圧縮強度試験を行った。鉄筋はD 2 2 を、樹脂にはエポキシ樹脂を用いた。

3. 2 実験供試体

本研究では、100mm×100mm の断面形状を持つ 2 つのコンクリートブロックの中央に鉄筋を配置し、両端の鉄筋を引張ることにより PAF シートに付着力を作用させるものである。鉄筋は載荷する前に中央で切断されている。片側には PAF シートを巻き付け、必ず試験区間で付着破壊が起こるようにした。図 2 に供試体を示す。

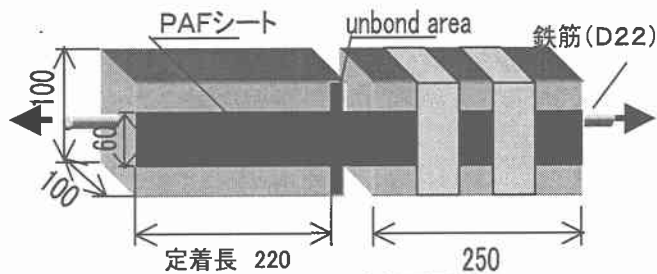


図2 供試体概要図

表2 実験供試体諸元

Specimen	f'_c (MPa)	t(mm)
1	21.5	2.3
2	20.3	4.5
3	20.3	6
4	21.5	9

f'_c : compressive strength of concrete

t : thickness of PAFsheet and resin

3. 3 PAFシートの貼り付け方法

本研究におけるPAFシートの接着は、コンクリート表面をディスクサンダーで処理した後、PAFシート及びコンクリート表面にエポキシ樹脂を塗り、十分含浸させた上で行った。PAFシートを接着後、1週間空中で養生し、付着試験をした。

3. 4 荷重方法および測定方法

供試体は、両端の鉄筋部分をつかむことで固定し、引張試験機により軸方向に引張荷重をかけた。荷重の荷重は変位制御で行った。

測定項目は、PAFシートのひずみ、および荷重である。ひずみゲージは検長5mmのものを10mm間隔でPAFシートの中央に一行で貼付している。(図3)なお、各地点のひずみは、隣り合う2点のひずみを加えた3点の平均値により表すこととした。

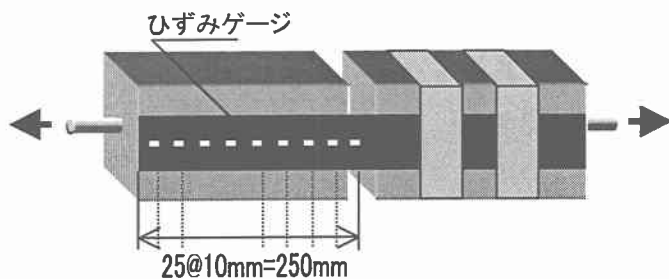


図3 ひずみゲージの貼付位置

4. 実験結果および考察

4. 1 破壊形式

供試体は4体すべてが、エポキシ樹脂とポリアセター

ル繊維シートの間で剥離が生じる、界面剥離で終局をむかえた。炭素繊維シートなど他の繊維シートが、コンクリートと樹脂層の間で剥離するのとは比べ、異なる破壊形式である。剥離が生じていく経過を示す。まず、エポキシ樹脂に軸方向と垂直方向のひび割れが生じPAFシートまで達する。(図4) その後、シートに沿って軸と平行な方向にひび割れが進行していき端部に達した所で完全に剥離し終局を迎える。(図5) 界面剥離が起こるのは、コンクリートとエポキシ樹脂の付着より、PAFシートとエポキシ樹脂の付着の方が弱いためである。PAFシートは炭素繊維シートなどの他のシートのように、樹脂をシートに十分染み込ませることで両者の間に摩擦抵抗力を働かせるものではない。むしろ、シートの表面を意図的に凸凹にすることで、樹脂とシートを噛み合わせ機械的に一体化させるものである。そのためにPAFシートは樹脂との含浸性が低くなると思われる。この樹脂との含浸性の低さがシートの界面剥離を起こす原因である。

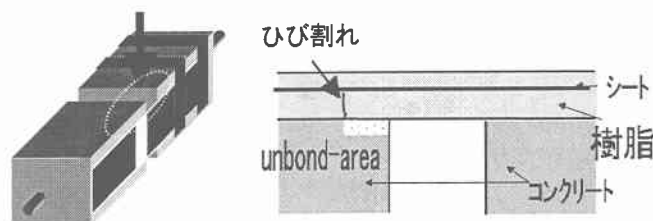


図4 ひび割れの進行図-1



図5 ひび割れの進行図-2

4. 2 PAFシートの付着強度

表5に実験から得られた付着強度の結果を示す。また、図6には厚さ(PAFシート+エポキシ樹脂)と付着強度の関係のグラフを示す。実験から得られた付着強度は、佐藤らがおこなった炭素繊維シートでの同様の実験結果からの付着強度の値、14kNから24kN程度と比較するとやや低い強度である。

表5 PAFシートの付着強度

	供試体1	供試体2	供試体3	供試体4
寸着強度(kN)	12.5	15.2	17	16

図5から、付着強度はシートの厚さ、すなわち剛性の増加に比例して始めのうち(シート厚2.3mmから4.5mm

の範囲)は多少増加の傾向にある。だが、さらに剛性が大きくなっていく(シート厚 4.5mm から 9.0mm の範囲)と付着強度は、ほぼ一定になる。つまり、剛性を大きくすると少しは付着強度も増加するが、それ以上は頭打ちの状態になり、付着強度は一定になる。また、このような結果になった理由として次の 3 点、すなわち

- ①エポキシ樹脂を通常の 3 倍の量を用いたので、樹脂が十分硬化しなかった。
- ②PAF シートの定着長が 220mm では不十分であった。
- ③4 体の供試体全てが界面剥離したことから、PAF シートの付着強度は樹脂とシートの付着性状に影響を受けると考えられる。そのため、シートとコンクリートの間の樹脂厚による影響はあまりない。

の可能性があるかもしれない。したがって、樹脂の剛性が大きいものについては再度実験を行い検討する必要がある。

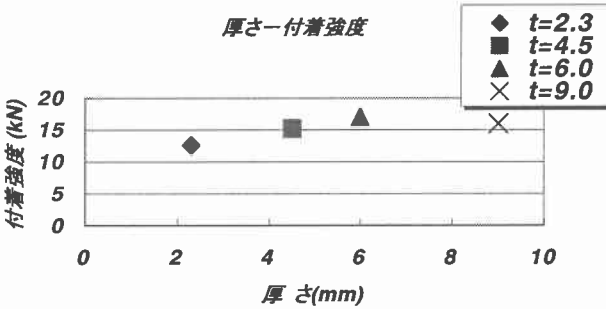


図6 最大付着強度と厚さ(剛性)の関係

4. 3 PAFシートのひずみ分布

図7から図10に、厚さがそれぞれ2. 3 mm、4. 5 mm、6 mm、9 mmの順番で、シートの中央からの位置(Location)とその位置でのひずみ(Strain)の分布の様子を示す。

まず、図7から図9のグラフに着目する。荷重が増加増加していくと、シートの中央に近いゲージからひずみが発生し始める。ひずみがある程度まで生じるとそれ以上は大きくなり、また中央から少し離れた位置でひずみが生じ始める。このようにして、シートの中央からある区間でひずみが一定となる。さらに中央から離れた位置ではひずみは直線的に分布する。そして、続けて荷重を増加していくと、ひずみが一定の区間が広がっていきそれと同時に、ひずみが直線的な分布を示す区間もシートの端部へと移動していく。特に荷重が付着強度に達してから、直線的なひずみ分布を示す区間が大きく移動して行く様子がわかる。このようにして、ひずみが端部へと伝播していく。

ひずみが一定の区間ではシートはすでに剥離しており、剥離した領域では均等な応力がかかっているものと思われる。また、ひずみが直線的な傾きを示す区間で剥離が進行しており、この区間で剥離に抵抗している(こ

の区間の長さを有効付着長とする)と思われる。つまりシートを貼りつけた領域全体で剥離に抵抗するのではなく、ある一部の領域が付着抵抗領域であり、その領域が荷重を支えられなくなると、剥離が進展していくものと考えられる³⁾。

表9については上に示したようなひずみが直線的に分布し、それが端部へと移行していく様子が見られない。これは、付着強度が一定になった理由としても述べたが、定着長が不十分であったためと思われる。定着長が不十分と思われる理由は以下のようなものである。

- ① 他の剛性のものに比べ最大ひずみの値が 4000 μ と半分程度しかない。
- ② 剛性が大きいため、有効付着長も長くなると思われるが、有効付着長を得る前に剥離がシートの端部へと達してしまった。

4. 4 剛性とひずみ分布

厚さ(剛性)とひずみ分布に着目する。図7と図10を見比べると、厚さ(剛性)が大きい方が、ひずみが直線的に傾いている区間が長くなっている。つまり、有効付着長が長くなっていることがわかる。だが、図8から図10を比べる限りでは、剛性の違いによって有効付着長に明確な違いは見うけられない。つまり、先に付着強度についても述べたが、ある程度の剛性に達すると有効付着長に違いがでなくなってくる。

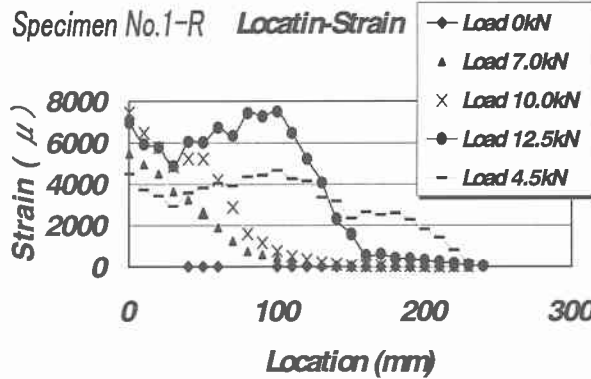


図7 樹脂厚 2. 3 mm ひずみ分布

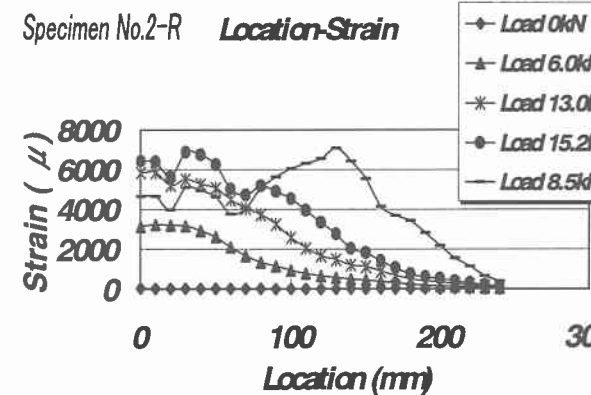


図8 樹脂厚 4. 5 mm ひずみ分布

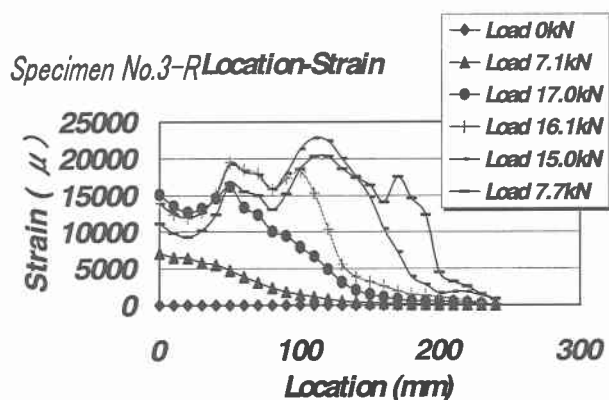


図9 樹脂厚6mm ひずみ分布

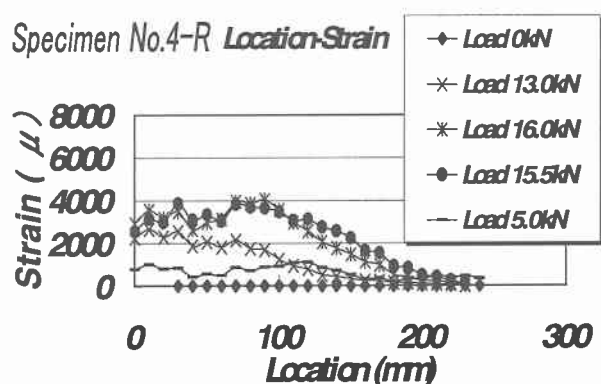


図10 樹脂厚9mm ひずみ分布

5. 結論

- ①PAF シートは、他の繊維シートとは異なる界面剥離（シートと樹脂の間で剥離）で破壊することが多い。このことは PAF シートとエポキシ樹脂の含浸性が低いこと、また接着のメカニズムが大きく異なることによるとと思われる。
- ②PAF シートの付着強度は、シート（本研究では PAF シート+エポキシ樹脂）の剛性の増加にともない少しは増加するものの、それ以上は一定の付着強度を示す傾向にある。
- ③剥離に抵抗する領域区間の長さ（有効付着長）は剛性の増加にともない長くなっていくが、ある一定の剛性（本研究においてはシート厚 4.5mm）以上では明確な違いは見られなかった。

6. 今後の課題

- (1) 本研究では、4体の供試体のうち最も樹脂が厚い供試体の実験結果に多少の疑問が残った。この供試体については同様のものをつくるか、定着長を長くしたものを作るなどして再度実験する必要がある。
- (2) 今回実験変数としてエポキシ樹脂の量を変えることでシートの厚さ（PAF シート+エポキシ樹脂）を変えたが、明確な剛性の値が得られていない。現在それぞれの厚さでの剛性の値を調べる実験を行っているので、それをもとに今回の実験さらに詳しく調べる。
- (3) 本研究では、接着の際用いたエポキシ樹脂の弾性係数が未知なため複合部材（シート+樹脂）としての弾性係数が得られていない。そのため最大付着応力などがいまだ求まっていない。先程と同様、剛性を調べる実験にて弾性係数を求めて、付着応力について考察する。
- (4) 本研究ではシートの界面剥離で終局を迎えた事を考慮し、別のエポキシ樹脂を用いても実験を行う。また、今回樹脂の剛性で付着強度が変わったことから、樹脂の弾性係数に着目して実験を行おうと考えている。この場合、破壊形式がコンクリート表層で起こったときは、供試体のコンクリート圧縮強度を大きくし、再度同様の実験を行う。

参考文献

- 1)Yasuhiko Sato, Tamon Ueda, Yoshio Kakuta and Sadamu Ono : Ultimate Shear Capacity of Reinforced Concrete Beam with Carbon Fiber Sheet, Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic Reinforcement for Concrete Structures, vol.1, pp.499-506,1997.
- 2)関谷 圭介、鳥居 良寛、上田 多門、佐藤 靖彦：橋脚の新繊維（ポリアセタール）による補強について、北海道大学卒業論文 2000.3
- 3)佐藤 靖彦、浅野 靖幸、上田 多門：炭素繊維シートの付着機構に関する基礎研究、土木学会論文集、No.648/v-47, 71-87, 2000.5