

疲労荷重下において接着樹脂厚の変化が炭素繊維シートの付着挙動に及ぼす影響

北海道大学大学院工学研究科
北海道大学大学院工学研究科
北海道大学大学院工学研究科
電気化学工業（株）セメント・特混事業部

○学 生 員 田村浩哉
フェロー 上田多門
正 会 員 古内 仁
正 会 員 藤間誠司

1. 序論

コンクリート構造物において炭素繊維補強(CFRP)コンクリートの需要は高まっており、その技術は急速に発展している。それゆえ、炭素繊維シート(CFS)の付着に関する研究は数多くなされ、特に静的付着特性については τ - S 関係、破壊エネルギー等、明らかになりつつある。一方、疲労付着特性については明確に述べるには研究が少なく、その数は明らかに不十分である。疲労荷重は橋梁上部構造へ適用した場合にその影響は大きくかかわっており、その解明を急がなくてはならない。

CFRP コンクリートの樹脂厚はコンクリート表面の仕上げ状態によって非常に大きくなることがあり、その影響が大きなものであるなら、樹脂厚に関する規定を新たに設ける必要がある。以上より、本研究では疲労荷重下における樹脂厚の変化が疲労付着挙動に与える影響を調べることにした。

2. 実験概要

本実験の載荷試験機は、Fig.1 に示すように大阪大学で行われた研究¹⁾で使用された装置を参考として製作されたものである。これは曲げ型試験機であり、中央のヒンジにより、二つの独立した H 型鋼梁を結合した。その H 型鋼梁上部に設置されたベッドに供試体を固定する。荷重分配桁上部はアクチュエーターに接続され、鉛直荷重を作用することで H 型鋼梁の両端に作用され、試験機中央部がヒンジを中心に開閉される仕組みになっている。これにより、シート界面に純引張力が発生する。寸法は上側載荷点間距離 1200mm、下側支点間距離 600mm、試験機梁高 200mm となる。

供試体は、Fig.2 に示すように全長 400mm、断面 100×100 のコンクリートブロック 2 体を突き合わせ、CFS を 1 枚でコンクリートブロック 2 体の片面に接着させた。積層数は 1 枚、接着幅 60mm、接着長 200mm とし、無接着区間を 50mm 設けた。また、剥離を片側に限定するために、ブロックのもう一方を補強した。使用した接着樹脂、CFS の材料特性を Table 1、Table 2 に示す。

実験変数は、上限荷重比（静的耐力の 38～95%）、樹脂厚（0.2mm、1mm、3mm）とした。樹脂厚の制御は、接着面の周囲に所定の厚さとなるガイドを取り付け、そこに樹脂を溜め、含浸させた炭素繊維シートを接着させた。したがって、樹脂厚さとは、コンクリート表面と CFS 間の距離となる。測定項目は CFS ひずみ、作用荷重、疲労寿命である。ひずみの測定にはワイヤーストレインゲージ（軸方向に 20mm 間隔）を使用した。

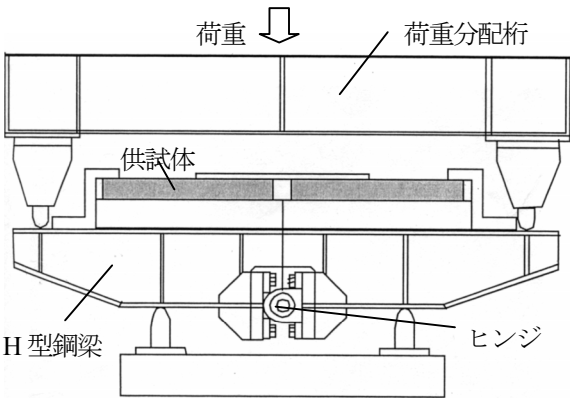


Fig.1 載荷装置

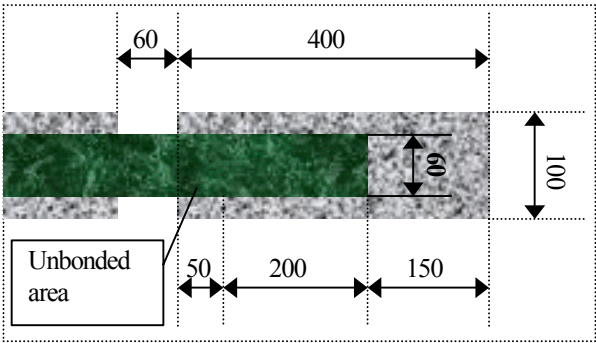


Fig.2 供試体寸法形状

Table 1 CFS 材料特性 (FTS-C1-60)

厚み (mm)	引張弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)
0.333	245	3400

Table 2 接着樹脂材料特性 (アクリル系樹脂)

引張弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)
593	23	57

キーワード CFS, 付着, 疲労荷重, 樹脂, 有効付着長

連絡先 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL 011-706-6181

3. 実験結果および考察

試験供試体 9 体の諸元と結果を **Table 3** に示す。表のせん断付着耐力は、事前に行なわれた静的試験から得られた値であり、この値を荷重比 100%とした。表を見るとおり、せん断付着耐力は樹脂厚が増すごとに増大しているが、1mm 厚供試体と 3mm 厚供試体の間の増大は小さくなっている。

またここで、上限荷重比と疲労寿命の関係を **Fig.3** に示す。この図より同一荷重比において、樹脂厚が大きくなるに伴い、疲労寿命が低下していることがわかる。これは、せん断付着耐力と逆の傾向である。特に 0.2mm 供試体は他の 2 変数の供試体と比べ、疲労寿命が非常に高く、上限荷重比の低下に対する疲労寿命の伸びも大きい。逆に 1mm, 3mm 供試体は近い値を示しており、ともに疲労寿命はそれほど伸びず、いずれの場合も上限荷重比 50%程度では 10 万回程度の疲労寿命しか得られなかった。

この現象を引き起こす要因として考えられるのは有効付着長である。**Fig.4** は樹脂厚の異なる供試体の付着応力分布の比較を示したものである。このグラフは、実測ひずみ（ゲージの値を前後 3 点の単純平均により得た）から得られた引張力分布を付着面積で除して得たものである。図において、接着開始点側の応力の働いていない領域は約 40mm までと共通しており、この部分は剥離しているといえる。つまり、終局直前の剥離進展長さは樹脂厚によらず、ほぼ同じであったということである。

上記の結果から、有効付着長も樹脂厚ごとの差はとて小さくなっていることがわかる。有効付着長は静的試験においては、樹脂厚の増加に伴い、大きくなるという結果が出ているが、疲労荷重下において当初異なっていた有効付着長は徐々に減少していき、終局時には樹脂厚によらず概ね同じ値になるということである。これが樹脂厚が厚いケースにおける疲労寿命低下の理由と考えられる。つまり、同一応力比においてならば、樹脂厚の大きい供試体の方が、より大きな応力が働いてしまうため、疲労寿命が小さくなったのである。この理由は、静的せん断付着耐力がほぼ同程度である樹脂厚 1mm 供試体と 3mm 供試体の S-N 関係が類似している理由にもなる。

さらに **Fig.5** より、上限荷重については高寿命になるにつれ、ほぼ同じ値に近づいている。この現象も有効付着長が同じことに因るものと言える。

4. 結論

- 1) 同一の上限荷重比において、樹脂厚が大きくなるに伴い疲労寿命が低下した。

Table.3 供試体諸元と結果

	樹脂厚 (mm)	せん断付着 耐力 (kN)	下限荷重比 (%)	上限荷重比 (%)	疲労寿命 (回)
FA-01	0.2	25.34	17	80	313524
FA-02	0.2		17	87	388711
FA-03	0.2		17	95	3
FA-11	1	39.55	12	38	841886
FA-12	1		5	51	49218
FA-13	1		5	57	150033
FA-31	3	42.54	10	78	156
FA-32	3		10	60	521
FA-33	3		10	50	40449

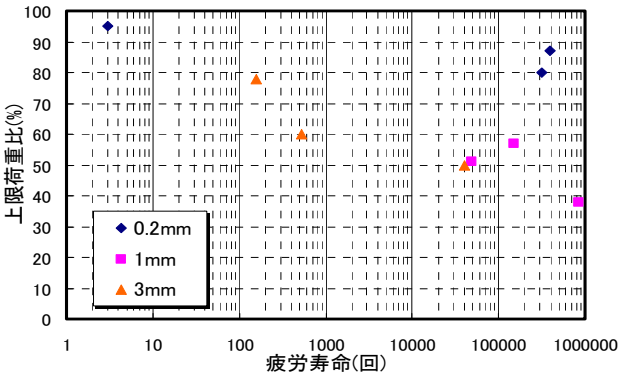


Fig.3 疲労寿命-上限荷重比図

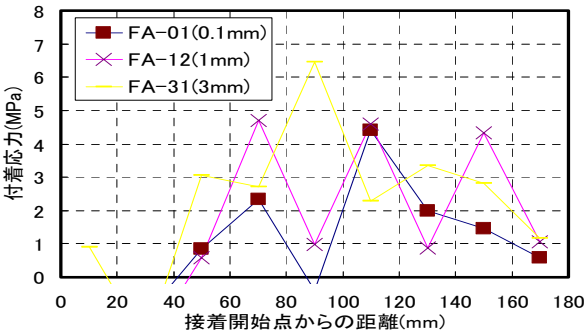


Fig.4 終局直前の付着応力の比較

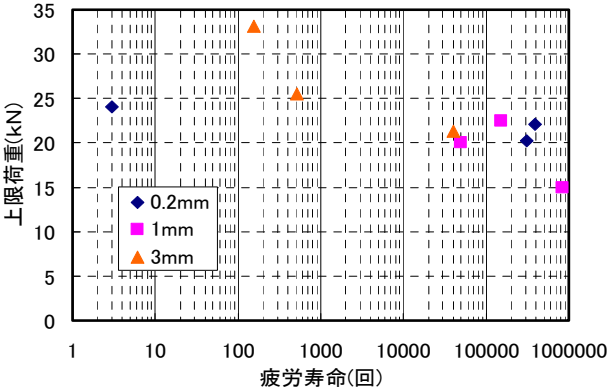


Fig.5 疲労寿命-上限荷重図

- 2) 疲労荷重下において、終局時の有効付着長、剥離の進展は樹脂の厚さによる違いは見られなかった。
疲労荷重下において、終局時の有効付着長、剥離の進展は樹脂の厚さによる違いは見られなかった。

参考文献

- 1) 土屋, 松井, 小林, 真鍋: 炭素繊維シート の付着せん断強度に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 22-3, 2000