

炭素繊維ストランドシートとコンクリート間の付着強度に関する検討

Investigation on bond strength of carbon fiber strand sheet and concrete interface

北海道大学大学院工学院	○学生員	天羽 健 (Takeru Amou)
北海道大学大学院 准教授	正 員	佐藤 靖彦 (Yasuhiko Satou)
新日鉄住金マテリアルズ	正 員	荒添 正棋 (Masaki Arazoe)
新日鉄住金マテリアルズ	正 員	小林 朗 (Akira Kobayashi)

1. 序論

近年、様々な補強材料が生まれている。その中でも連続繊維シートは優れた性能を持っており、施工性の高さも相まって広く使われるようになってきている。

本研究では、著者らが開発した炭素繊維ストランドシートの付着強度に関する検討を行う。この炭素繊維ストランドシートは、あらかじめ炭素繊維に樹脂を含浸させたストランドをすだれ状に束ねたものである。これまでの研究により、炭素繊維ストランドシートの付着特性が従来の炭素繊維シートよりも優れていることが確認されている。さらに、ポリウレア樹脂をシートとコンクリート間に挟んだ場合には、付着強度が大きくなることも確認されている。しかし、これらの理由は明らかにされていない。

そこで本研究は、炭素繊維ストランドシートの付着強度を、ポリウレア樹脂の有無と試験時の温度に着目した付着実験を行う、その付着機構に関する検討を行うこととした。

2. 実験概要

2.1 施工手順

すべての供試体で、コンクリート表面のレイタンスをダイヤモンドディスクサンダーにより除去した。ポリウレア樹脂を使用のしない場合は、表面の粉塵除去の後エポキシ樹脂を塗布し、炭素繊維ストランドシートを貼りつけた。ポリウレア樹脂を使用する場合は、プライマー塗布後にポリウレア樹脂を塗布し、その上にエポキシ樹脂を塗布しシートを貼付けた。

2.2 供試体・試験方法

本研究で用いた付着試験方法は、4本の鋼棒で反力床に固定したコンクリートブロック（300mm(幅)×300mm(奥行)×600mm(高さ)）の1面に貼付けられたシート的一端をアクチュエータにより引き抜く方法である。その概要は、写真-1に見ることができる。

2.3 測定項目

測定項目は、シートのひずみ、試験荷重、シート端部のずれ量である。なお、シートのひずみは、検長が5mmのひずみゲージにより、ずれ量は、1/1000mmの精度を有するクリップゲージにより測定した。今回使用しているコンクリートは粗骨材の最大寸法が20mmのため本来ならばそれ以上の長さのひずみゲージを使うべきだが、詳細な測定データを取るために20mm間隔で5mmのひずみゲージを貼りつけた。そのかわりデータを整理する際に隣合う2点を合計し平均化することで粗

骨材の影響を無視することとした。

3. 実験結果

3.1 概要

最大引張荷重を表-1に示す。供試体はすべて剥離破壊を起こした。各供試体の破壊性状を写真-2に示す。低温と常温とは、耐力に差は見られない。しかし、ポリウレア樹脂を使用することで最大荷重が3倍程度増加することが明らかである。これまでの試験では、定着長が足りず、ポリウレア樹脂を用いた場合の付着耐力を得ることができなかったが、今回、定着長を500mmとすることで、その効果を確認することができた。

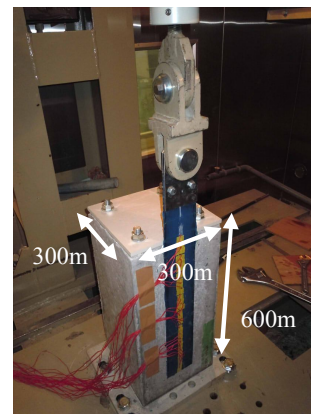


写真-1 試験時写



(a)



(b)



(c)



(d)

写真-2 各供試体の破壊面

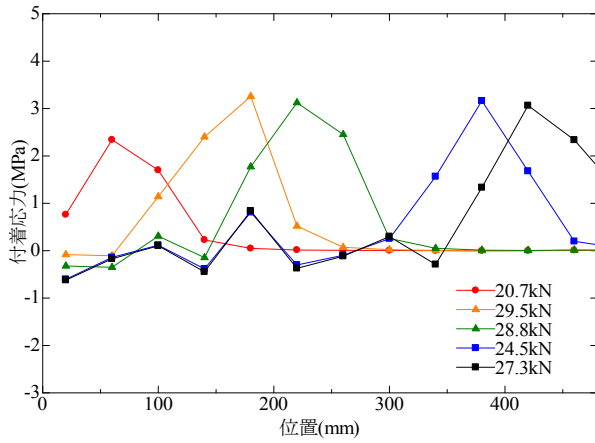


図-2 SS-N-S1 付着応力分布

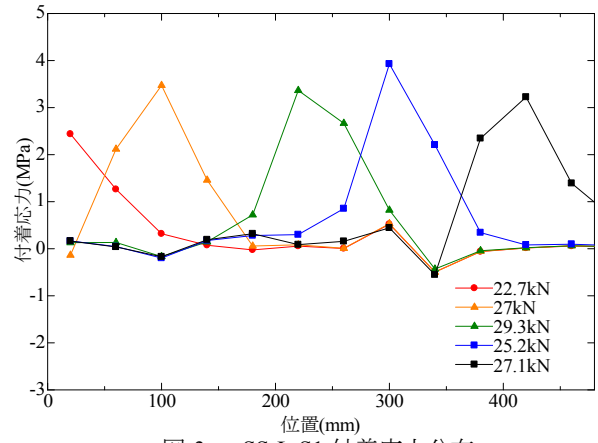


図-3 SS-L-S1 付着応力分布

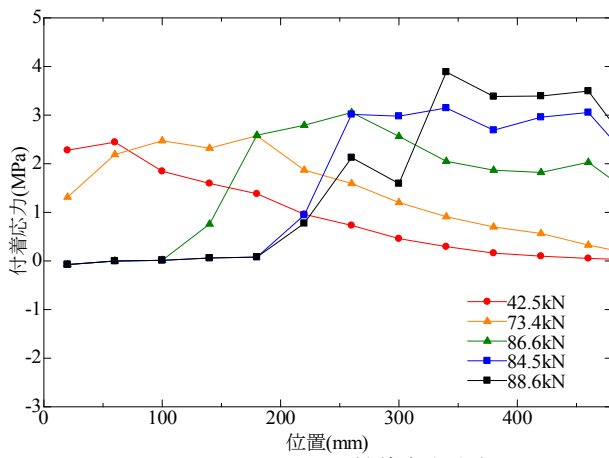


図-4 SSU-N-S4 付着応力分布

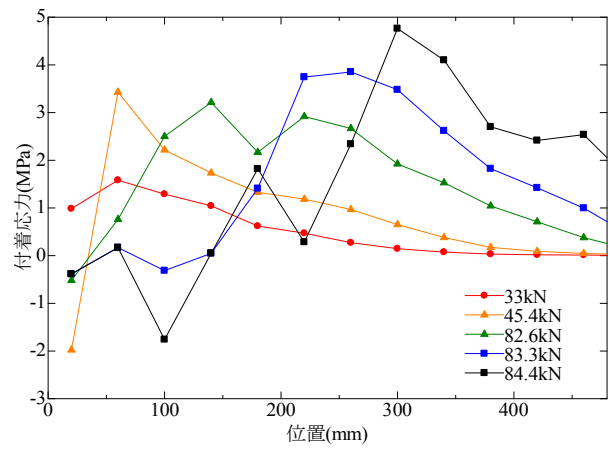


図-5 SSU-L-S5 付着応力分布

表-1 最大耐力

供試体	ポリウレア樹脂	温度	最大荷重
SS-N-S1	×	20°C	30.7
SS-L-S1	×	-20°C	29.6
SS-L-S2	×	-20°C	33.1
SSU-N-S4	○	20°C	92.8
SSU-N-S5	○	20°C	102.8
SSU-L-S4	○	-20°C	96.8
SSU-L-S5	○	-20°C	87.0

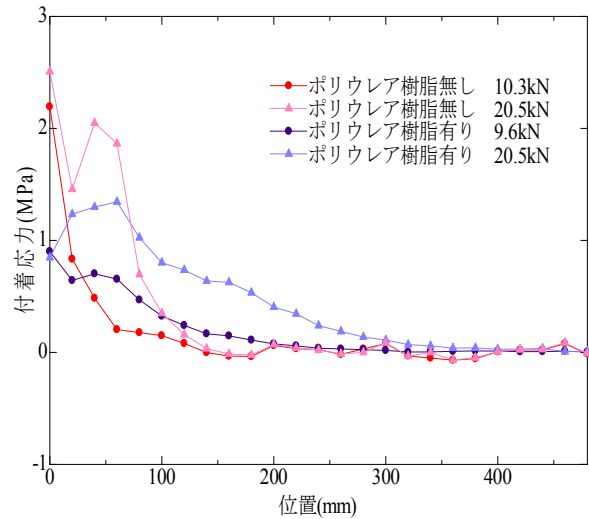


図-6 10kN と 20kN 時の付着応力分布比較

3.2 付着応力

付着応力は次式を使い求めた。

$$\tau = t E_{cfs} \frac{d \varepsilon_{cfs}}{dx} \quad (1)$$

ここで、 t は CFS の厚さ、 E_{cfs} は CFS のヤング係数、 $d \varepsilon_{cfs}/dx$ はひずみ分布曲線の傾きを表している。¹⁾

図-2 と図-3 より、ポリウレア樹脂を使っていない供試体では、100mm ほどの狭い範囲に付着応力が発生し、その領域が奥へ進行していく様子が見て取れる。一方、図-4 と図-5 より、コンクリートとエポキシ樹脂の間にポリウレア樹脂を挟んだ供試体は、広範囲に付着応力が発生している。しかし付着応力の大きさは、温度の違いによる変化はあまり見られない。

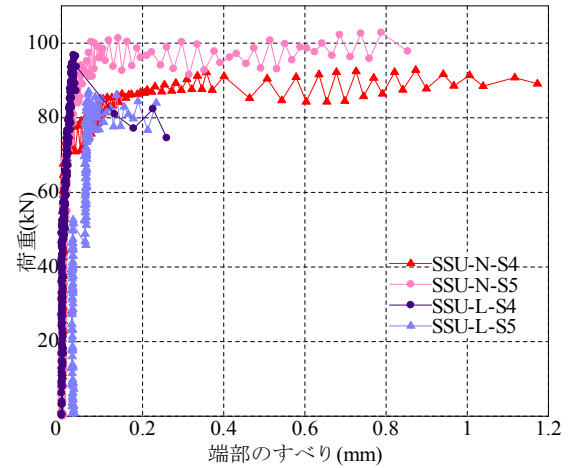


図-7 荷重-端部すべり

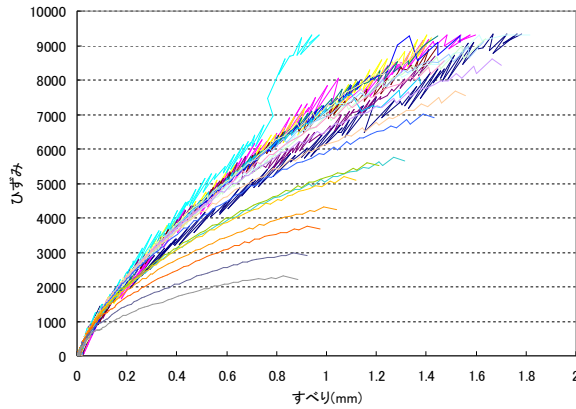


図-8 SSU-N-S5 ひずみ-すべり

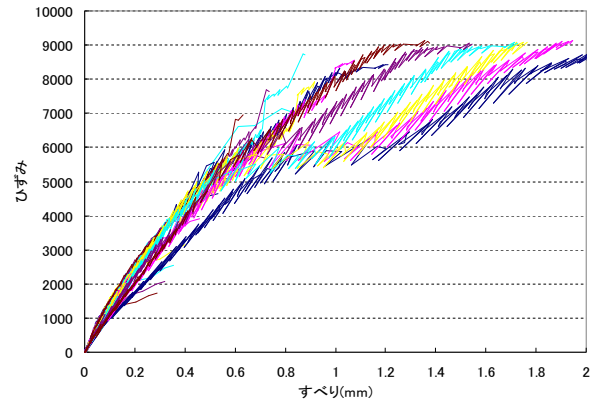


図-9 SSU-L-S4 ひずみ-すべり

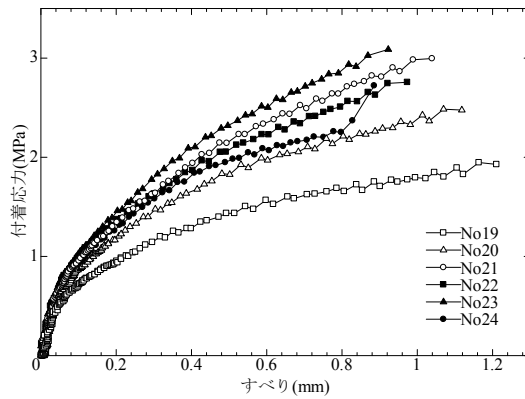


図-10 SSU-N-S5 付着応力-すべり

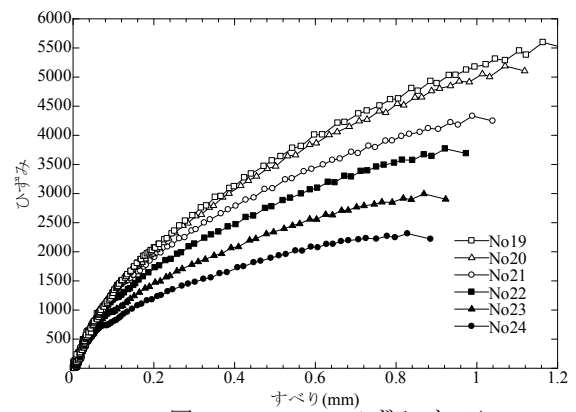


図-11 SSU-N-S5 ひずみ-すべり

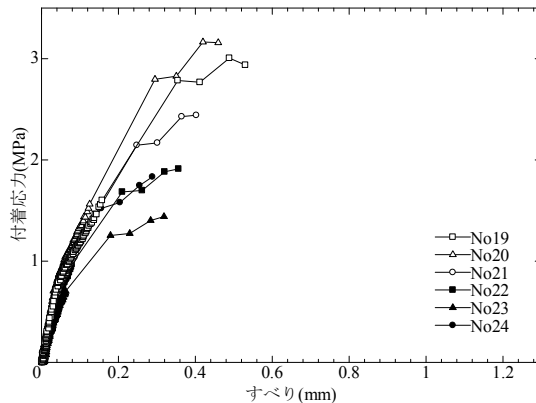


図-12 SSU-L-S4 付着応力-すべり

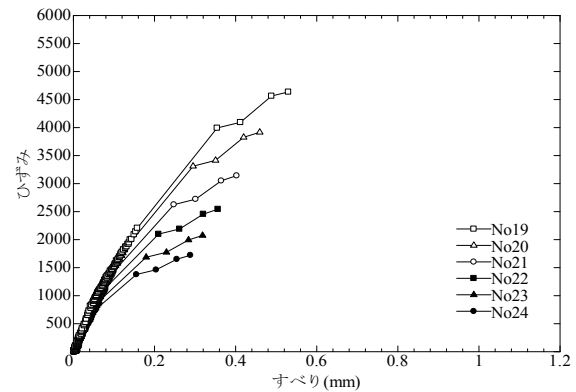


図-13 SSU-L-S4 ひずみ-すべり

図-6 は、同荷重で付着応力分布を比較したもののだが、黒点のポリウレア樹脂なしのものに比べ白点の樹脂ありのものは付着応力が全体に発生しているかわりに最大付着応力がポリウレア樹脂なしのものに比べ半分程度しか出ていないことからコンクリートの剥離破壊を抑える効果があることがわかる。

3.3 端部のすべり

図-7 は、ポリウレア樹脂を使った供試体の常温と低温の関係を示す。常温では最終的に 1mm 程度までシートが滑っているのに対して低温では 0.2mm ほどしか滑っていない。最大荷重に大きな違いがないにも関わらずこのように違いが出るのは低温環境では、ポリウレア樹脂に弾性係数などの性質の変化があったことが推察される。これについては今後樹脂単体の引張試験を行う予定である。

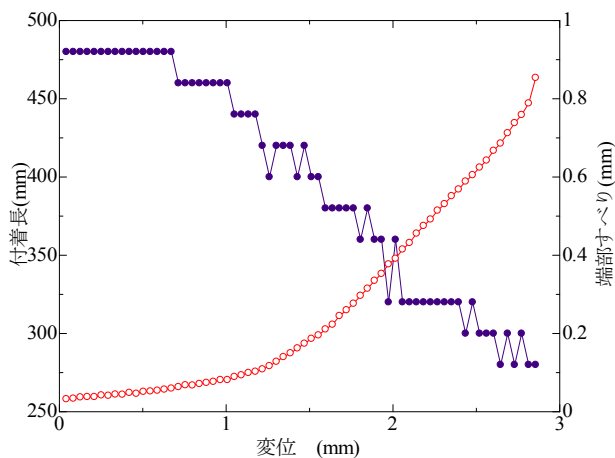


図-14 SSU-N-S5 付着長と端部すべり

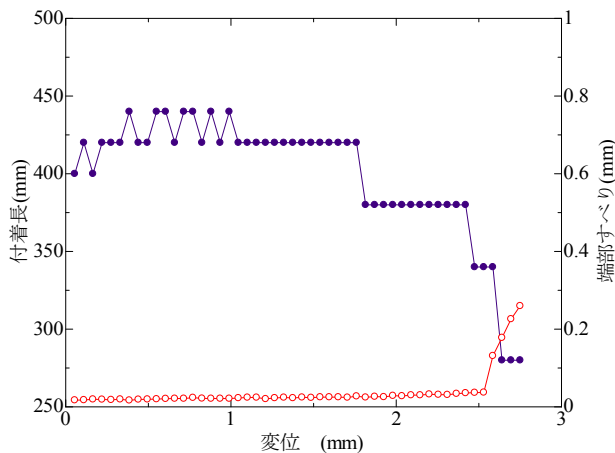


図-15 SSU-L-S4 付着長と端部すべり

3.4 付着応力-すべりとひずみ-すべり

図-8, 図-9 は、ひずみとすべりの関係を示す。すべりは各測定点のひずみを積分することでコンクリートに対する CFRP スtrandシートの相対変位を求めた。

図-8 と図-9 のすべりは、ひずみの積分値に端部のずれを足し合わせたものである。これを見ると一致するはずのひずみ-すべり曲線が自由端側の測定点へ近づくほど右側へ変化、つまり付着応力に対してより大きなすべりが発生していて、かつ常温のほうが端部のすべりの影響が大きい。

図-10 と図-11 は、常温での供試体の付着応力-すべりとひずみ-すべり曲線、図-12 と図-13 は低温での供試体の付着応力-すべりとひずみ-すべり曲線である。ひずみ-すべり曲線は常温も低温も端部の測定点に近づくほど付着応力が上がらないうちから右側へ逸れているが、付着応力-すべり曲線では常温は自由端側よりも荷重端側がすべりの影響を多く受けているように見える。一方低温環境での供試体の付着応力-すべり曲線はひずみ-すべり曲線の順番同様端部のほうが影響を多く受けている。

3.5 有効付着長と端部のすべり

ここで、終局状態に近づくにつれ有効付着長とクリップゲージによる端部のすべりがどのように変化したのかについて考察する。なお、有効付着長は各付着応力の最大値の 5%以上として求めた。

図-13 と図-14 は、有効付着長と端部すべりとの関係を示す。x 軸に取っている変位のゼロは試験開始からという意味ではなくグラフ内だけのものである。有効付着長を比較すると、常温の方が最大有効付着長が 40mm ほど長い。早い段階でゆるやかに付着長が落ち始め、一方低温では破壊直前に急激に付着長が小さくなり破壊する。端部のすべりを見ても付着長に反比例しているように見える。また同じ付着長を比較しても低温の方が端部のすべりが少ないことからポリウレア樹脂の温度による性状の変化は様々な影響を及ぼしている。

4. まとめ

常温・低温環境下におけるポリウレア樹脂を使った CFRP スtrandシート供試体の引っ張り付着試験を行ったときこのような結果が得られた。

1. CFRP スtrandシートとコンクリートの間にポリウレア樹脂を挟むことで最大引張強度が 3 倍ほどまで増加する。
2. -20℃の低温環境下ではポリウレア樹脂の性状が常温と変化するため CFRP スtrandシートへの影響がすべりだけでなく有効付着や破壊までのプロセスまで変わる。