

弾塑性 CFRP に用いる樹脂の物性に関する一考察

清水建設(株) フェロー 前田敏也
 日本毛織(株) 上杉昭二, (株)ゴーセン 衣笠純
 コニシ(株) 伊藤秀治, 東レ ACE(株) 清水慎司

1. はじめに

炭素繊維やアラミド繊維等の連続繊維の特性として、破断までの伸びが小さいことや脆性的に破壊するという課題がある。このような課題を解決するため、連続繊維に対して鋼材のような弾塑性性状を付与することによって変形性能を高め、脆性的な破壊を防ぐことができる炭素繊維強化プラスチック（以下、弾塑性 CFRP と称する）について基礎的な検討を既に行った¹⁾。本報では、樹脂の種類や硬化条件を変化させた CFRP および樹脂の試験を行い、弾塑性 CFRP に適した樹脂の物性について考察を行った。

2. 弾塑性 CFRP の概要¹⁾

図-1 に弾塑性 CFRP の概念を示す。繊維は、初期の弾性域において剛性および強度に寄与する芯糸を中心とし、その周りを、芯糸に対して組角度を持った皮糸で複数層囲んで組紐状にしたものである。組紐に引張力が作用すると、初期には芯糸が引っ張られて弾性性状を示しながら荷重に抵抗し、芯糸が破断すると、組角度が小さい皮糸①が荷重に抵抗し、皮糸①が破断すると、次に組角度が小さい皮糸②から順次荷重に抵抗・破断しながら塑性性状を示すというものである。

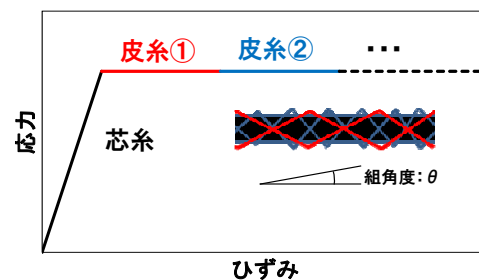


図-1 弾塑性 CFRP の概念

3. CFRP の引張試験

表-1 に CFRP の試験条件を、図-2 に CFRP の引張試験結果をそれぞれ示す。用いた組紐は、芯糸が 12K×2 本（組角度 0°）、皮糸①が 3K×8 本（組角度 20°）、皮糸②が 3K×16 本（組角度 31°）であり、芯糸には高強度炭素繊維（引張強度：3,530MPa，引張弾性係数：230GPa，破断ひずみ：1.5%）および高弾性炭素繊維（引張強度：4,020MPa，引張弾性係数：436GPa，破断ひずみ：0.9%）を、皮糸にはいずれも高強度炭素繊維を用いた。ここで、1K とは、断面積 0.036mm² の繊維である。また、含浸に用いた柔軟性エポキシ樹脂については、硬化温度および時間を変えるとともに、希釈の有無や樹脂の種類を変化させた場合、また、硬質エポキシ樹脂を用いた場合についても試験を行った。なお、引張試験は硬化後の試験体を温度 20℃の環境で養生後、载荷速度 2mm/min. の条件で行った。

表-1 CFRP の試験条件

No.	試験体名	繊維	樹脂	硬化条件
1	HE/EP23-80	高弾性	柔軟 1	23℃7 日+80℃14 日
2	HE/EP23-80 希釈		柔軟 1※	
3	HE/EP50-100		柔軟 1	50℃1 時間+100℃1 時間
4	HE/EPE23-80		柔軟 2	23℃7 日+80℃14 日
5	HS/EP50-100	高強度	柔軟 1	50℃1 時間+100℃1 時間
6	HS/EPH150		硬質	150℃2 時間

備考) ※：1-6 ヘキサジオールジグリシルエーテルにより 30%希釈

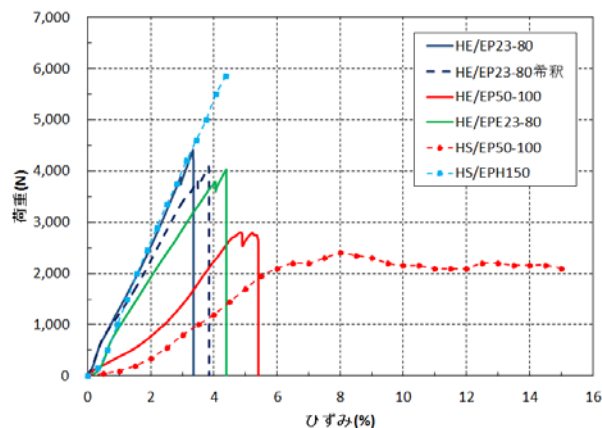


図-2 CFRP の引張試験結果

キーワード CFRP, 樹脂, 弾塑性, 物性, 連続繊維

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設(株)土木技術本部 TEL 03-3561-3915

これらの結果から、柔軟性エポキシ樹脂を 23℃および 80℃で硬化させた No.1 の剛性は、硬質エポキシ樹脂を用いた No.6 と同等であり、樹脂の剛性が高いために繊維の動きを拘束して破断したものと考えられる。なお、樹脂を希釈した No.2 は、No.1 に比べると剛性がやや低く、ひずみがやや大きくなっており、希釈によって樹脂の剛性や伸びが変化して繊維の拘束に対する影響が変化したものと考えられる。なお、樹脂の種類を変えて同じ硬化条件とした No.4 は、No.1 および No.2 に比べて剛性が低く、ひずみも大きかった。

一方、50℃および 100℃で硬化させた No.3 は、23℃および 80℃で硬化させた No.1 および No.2 に比べて剛性が低く、ひずみも大きくなっていることから、硬化条件が異なることによって樹脂の物性が大きく変化したものと考えられる。ただし、同じ硬化条件で高強度炭素繊維を芯材として用いた No.5 が弾塑性性状を示しているのに対し、高弾性炭素繊維を用いた No.3 は剛性が高く、ひずみが 5%程度で塑性性状を示しているものの、その後のひずみの伸びは小さかった。したがって、CFRP が弾塑性性状を示すためには、樹脂による繊維の拘束を弱くするとともに、初期の剛性が高くないように繊維の剛性も低くする必要があるものと考えられる。

4. 樹脂の引張試験

CFRP に用いた柔軟性エポキシ樹脂を同じ条件で硬化後、JIS K 6251 に準じて引張試験を行った。試験結果を図-3 に示す。これらの結果から、23℃および 80℃で硬化させた場合 (EP23-80) は、剛性および強度が高いが、希釈した場合 (EP23-80 希釈) は剛性および強度は低くなった。一方、50℃および 100℃で硬化させた場合 (EP50-100) は、剛性および強度が低く、ひずみも大きくなった。なお、種類の異なる樹脂 (EPE23-80) については、剛性および強度が高く、ひずみも大きかった。

次に、樹脂の引張応力とひずみから求めた弾性係数の変化を図-4 に示す。ここでは CFRP の引張試験の結果から、CFRP の挙動に影響を及ぼすと考えられるひずみ 10%までの変化を示す。これより、樹脂の種類や硬化条件によって弾性係数は大きく異なることがわかる。23℃および 80℃で硬化させた場合 (EP23-80, EP23-80 希釈) は、特に初期の弾性係数が高く、CFRP に用いた場合の繊維の拘束が強いものと考えられる。一方、50℃および 100℃で硬化させた場合 (EP50-100) は、初期およびその後の弾性係数が全体的に低く、繊維の拘束が弱いために繊維の変形が容易となり、CFRP の剛性が低く、ひずみも大きくなったものと考えられる。なお、種類の異なる樹脂 (EPE23-80) は、全体的に弾性係数が高かった。

5. おわりに

弾塑性 CFRP に用いる樹脂の物性として、繊維の変形を拘束しないように、初期においても弾性係数が低い樹脂が適していることがわかった。また、芯材に用いる繊維についても、変形がしやすいように弾性係数が低いものが適していることがわかった。

【参考文献】

1)前田, 上杉, 衣笠: 弾塑性性状を示す CFRP の基礎的検討, 土木学会第 72 回年次学術講演会 V-554, 平成 29 年 9 月

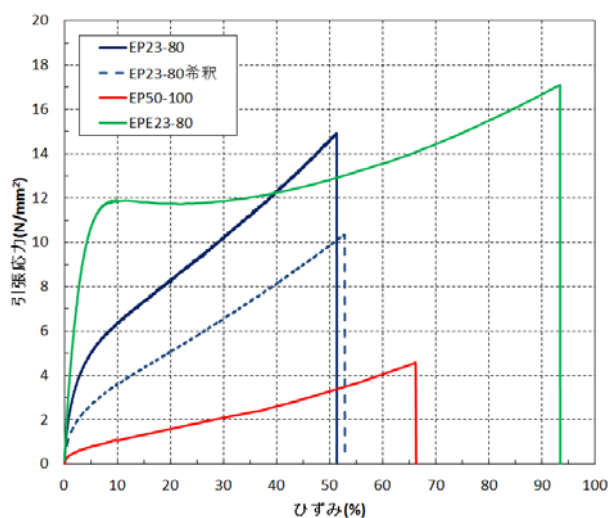


図-3 樹脂の引張試験結果

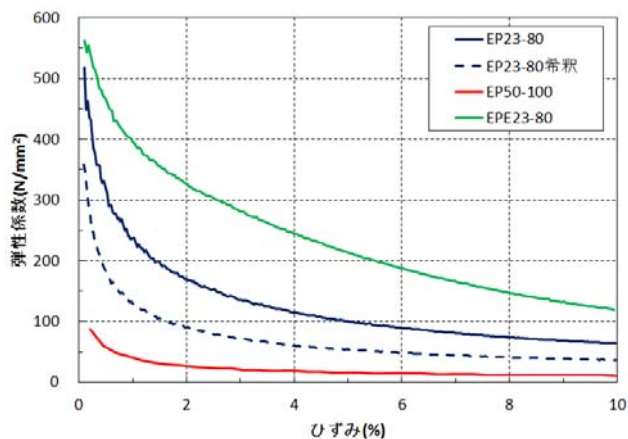


図-4 樹脂の弾性係数