CF/GFハイブリッドFRPの引張強度特性

建設省土木研究所　正会員　西崎　到
建設省土木研究所　正会員　木嶋　健
建設省土木研究所　正会員　明嵐　政司
建設省土木研究所　正会員　佐々木　厳

１．はじめに

繊維強化プラスチック(FRP)は、その強度、耐食性などの長所により、土木構造材料としての用途が注目されている。ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)は比較的安価であるが、弾性率が鋼の数分の一程度と低い。炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は、弾性率は鋼と同程度だが価格が高い。その理由は主に、CFは比較的加工しにくいため、加工費用が高いことによる。そこで、比較的安価に剛性の高いＦＲＰを得るために、CF糸を一方向材のみに用い、布状の原料には、安価なガラス繊維(GF)を用いる、CF/GFハイブリッドFRPが注目されている。本論文は、素材の設計手法を検討するために、CF/GFハイブリッドFRP引抜成形材を製作し、引張特性を中心に強度特性を実験により明らかにし、これを理論上の計算値と比較検討した。

２．研究方法

２．１　供試体

製作した引抜成形材は図－１に示すように、５層から構成されている。第１層と第５層はGFのチョップドストランドマット(CSM)を用いた。第２層と第４層は、GFによるニットファブリッククロス（KFCと記す,直交する繊維を編まずに、細い糸で固定した布）により製作した。第３（中間）層はＣＦ糸を束ねた一方向(UDと記す)層である。マトリックス樹脂はビニルエステル繊維を用いた。これらの構成を表－１に示すように３通りに変えた引抜成形材を製作した。引抜材の幅は420mm、厚さは4mmと一定にし、GF-KFC層とCF-UD層の比率を変えている。

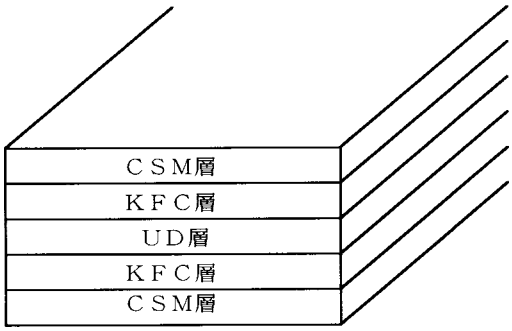

図-1　供試体の断面構造

２．２　引張試験

引張試験は、JIS K 7054「ガラス繊維強化プラスチックの引張試験方法」、およびJIS K 7073「炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法」に準拠し万能試験機にて試験を行った。試験体の形状は、Ｂ型Ⅱ試験片とし、試験体中央に0°、90°方向に歪ゲージを貼付した。0°方向の弾性率の計測には、クリップゲージを用いた。各試験体の最大荷重と歪を各々計測し、比例限界内で弾性率を求めた。

表-1　供試体の種類

供試体	繊維含有率 Vf(%)	基材の種類	積層数	GF/CF比率	UD比率	KFC比率	CSM比率
1	52	GF－CSM層 GF－KFC層 CF－UD層 GF－KFC層 GF－CSM層	1 1 456 1 1	36/64	33.3	10.4	8.3
2	52	GF－CSM層 GF－KFC層 CF－UD層 GF－KFC層 GF－CSM層	1 2 312 2 1	56/44	22.9	20.8	8.3
3	52	GF－CSM層 GF－KFC層 CF－UD層 GF－KFC層 GF－CSM層	1 3 170 3 1	76/24	12.5	31.2	8.3

２．３　理論値の計算

ＦＲＰ強度特性は素材の特性と材料構成から複合則に基づく式(1)及び(2)を用い、理論による特性値を計算した。式(1)は弾性率、式(2)は強度の式である。経験係数Ｋは、製造上の繊維方向ずれや不均一性などによる減少率を補正する係数である。また素材の特性は、表－２に示すメーカーからの公表値を用いた。

$$Ec=K\times[Ef_{cf}\times Vf_{cf}+Ef_{knit}\times Vf_{knit}/2+Ef_{csm}\times Vf_{csm}+Em\times(1-Vf)] \quad \cdots\cdots(1)$$

$$Fc=K\times[Ff_{cf}\times Vf_{cf}+Ff_{knit}\times Vf_{knit}/2+Ff_{csm}\times Vf_{csm}+Fm\times(1-Vf)] \quad \cdots\cdots(2)$$

キーワード：ＦＲＰ構造材料、ハイブリッド、炭素繊維、ガラス繊維、引張強度、弾性率、複合則
連絡先：〒305-0804　茨城県つくば市旭１　電話:0298(64)4892　FAX:0298(64)4464

但し　Ec：複合材の弾性率　Fc：複合材の強度　Ef_{cf}：UD(CF)基材の弾性率　Ff_{cf}：UD(CF)基材の強度
Ef_{knit}：KFC(GF)基材の弾性率　Ff_{knit}：KFC(GF)基材の強度　Ef_{csm}：CSM(GF)基材の弾性率
Ff_{csm}：CSM(GF)基材の強度　Em：マトリックスの弾性率　Fm：マトリックスの強度
Vf_{cf}：CF基材の体積含有率　Vf_{knit}：KFC基材の体積含有率　Vf_{csm}：CSMの体積含有率
Vf：基材全体の体積含有率　K：経験係数　（90°方向についてはVf_{cf}=0とおく）

表-2　素材の引張特性値

		E(GPa)	F(MPa)
強化材	UD(CF)	230	4,900
	KFC(GF)	75	2,500
	CSM(GF)	26.9	188.5
樹脂	VE樹脂	1.875	75

表-3　試験結果

供試体	試験方向	引張強さ	引張弾性率
		MPa	GPa
1	0°	871	70.2
	90°	88	10.2
2	0°	836	67.4
	90°	142	12.4
3	0°	640	39.2
	90°	204	15.7

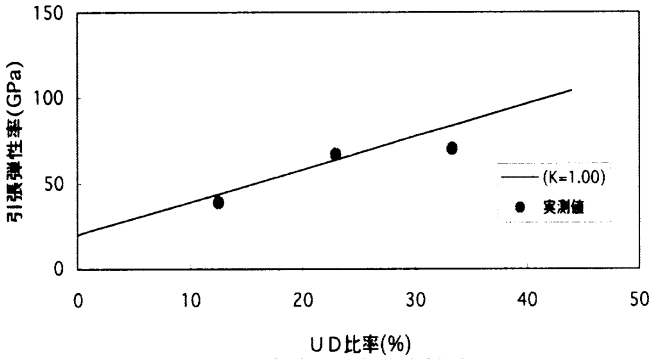

図-2　0°方向の引張弾性率

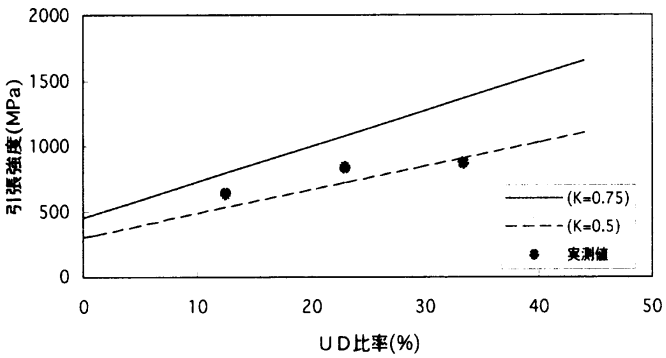

図-3　0°方向の引張強度

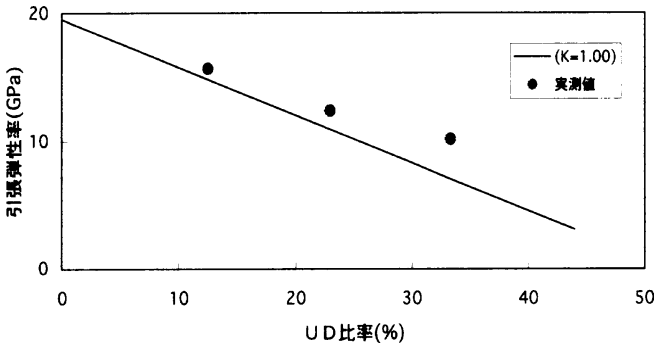

図-4　90°方向の引張弾性率

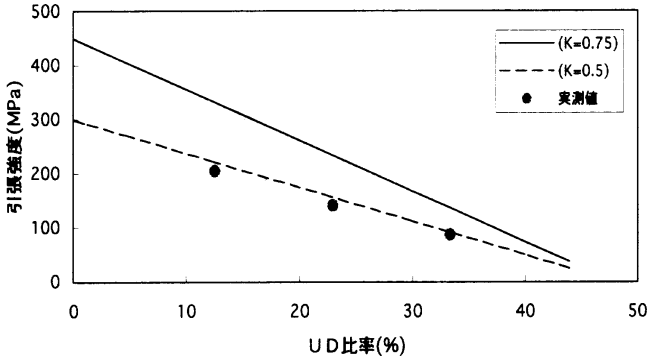

図-5　90°方向の引張強度

3．結果

3．1　引張試験の結果

引張試験の結果を表－3に示す。0°方向について、強度は871～640MPa、弾性率は70.2～39.2GPaでUD層が減少するに従い小さくなった。90°方向については、強度は88～204MPa、弾性率は10.2～15.7GPaでUD層が減少するのに伴い大きくなった。

3．2　計算値との比較

図－2～5に、式(1)～(2)による弾性率と強度の理論値を示す。弾性率については、複合則にほぼ近い値が得られたことから、ハイブリッド化によるFRP引抜成形材の高剛性化が可能であることが確認できた。また、強度については、文献[1]ではK=0.75が報告されているが、実測値はこの値よりも多少低い値となった。今回の試験から得られたKは、0°方向、90°方向ともにおよそ0.5であった。CF量の増減に呼応した物性変化が認められることから、経験係数の適切な設定により、土木構造材料としての材料設計を行うことが可能であると考えられる。

参考文献：(1)FRP構造設計便覧（社団法人　強化プラスチック協会）