

FRPケーブルの引張試験と
樹脂定着部応力分布解析神戸製鋼 正員 Darel R. Reed, 藤原 昭文
神戸製鋼 正員 杉井 謙一, 島本 明

1. まえがき

ケーブル使用橋梁はますます長大化の傾向を強めており、一方では古い吊橋や斜張橋のケーブルの腐食を報じるレポートを目にする機会も増えてきている。このような状況下、比強度（強度／密度）が高く、耐食性にすぐれた先進複合材ケーブルが、最近注目されはじめています。これらはアラミド繊維や炭素繊維といった高性能繊維を樹脂含浸することにより、形成したものである。本文は、アラミド繊維製と炭素繊維製の組紐状FRPケーブルについて引張試験を行った結果と、この種のケーブルの樹脂定着の設計用基礎検討として実施した応力分布解析の結果について報告するものである。

2. 組紐状FRPケーブルの引張試験

組紐状FRPケーブルは、Fig.1に示すように、繊維集合体を組紐に編み樹脂を含浸したものである。引張試験に用いた供試体の形状図をFig.2に、諸元をTable 1に、結果をTable 2に示す。アラミドは全てケーブル一般部で破断しており、破断荷重も安定している。炭素繊維の方はソケット口元で破断することが多く、破断荷重のバラツキが大きい。これはアラミドに比べて炭素繊維がせん断に弱いことから、ソケット口元の2次曲げや定着による応力集中が原因であろうと推察される。

3. 樹脂定着部の応力分布解析モデル

ケーブル部材の場合、ソケット部が強度上の弱点となることが多く、この部分のケーブルの応力設計には十分に意を用いる必要がある。またケーブル自らの引張力によりケーブルはソケットからわずかながら抜け出すが、この抜出し量を極力小さく抑える必要がある。このような観点から、ケーブル応力度と抜出し量を同時に考慮したFEM解析を行った。

本解析に用いる物性値をTable 3に示す。これらの物性値の決定に際しては、FRPケーブルは異方性を考慮し、鑄込み樹脂は弾塑性挙動を示すものと仮定した。また、FRPケーブルと鑄込み樹脂は一体と考え、軟鋼製ソケットと鑄込み樹脂の境界では相対滑りが生じると仮定した。このときの摩擦係数 μ は、傾斜軟鋼平板上に置いたエポキシ板の滑り開始傾斜角度より定め、 $\mu=0.35$ とした。解析には汎用コードABAQUSを用い、ケーブルは軸対称を仮定した。

4. 解析結果と考察

Fig.3に上述の引張試験の典型例についての荷重 P と抜出し量 Δ の関係を本解析による結果と併せて示す。同図より試験結果と解析結果

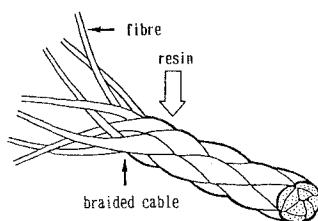


Fig. 1 Cable construction

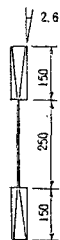


Fig. 2 Test piece

Table 2 Tensile Test Results

spec. No.	failure load (tonf)	failure location on cable
A-1	6.79	center area
A-2	6.94	
A-3	6.80	
A-4	6.73	
A-5	6.74	
C ₁ -1	7.58	anchor mouth
C ₁ -2	6.40	
C ₁ -3	7.19	
C ₁ -4	6.73	
C ₁ -5	6.46	
C ₂ -1	7.68	anchor mouth
C ₂ -2	6.79	
C ₂ -3	6.82	
C ₂ -4	6.96	
C ₂ -5	6.88	
C ₂ -6	6.82	

Table 3 Material properties for analysis

CFRP CABLE	$E_1=13000\text{kgf/mm}^2$ $E_2=940\text{kgf/mm}^2$ $G_{12}=4980\text{kgf/mm}^2$	$\nu_1=0.31$ $\nu_2=0.022$
CASTING (EPOXY)	$E_c=300\text{kgf/mm}^2$ $\sigma_c^*=4.0\text{kgf/mm}^2$ $\frac{d\sigma_c^*}{d\epsilon_c}=180\text{kgf/mm}^2$	$\nu=0.40$
SLEEVE	$E_s=21000\text{kgf/mm}^2$	$\nu=0.30$
FRICTION COEFF. B/W SLEEVE AND CASTING	$\mu=0.35$	

が良好に一致することがわかる。これより本解析が妥当なものであると判断して、以下の解析を行った。

上述の引張試験と対応させた場合について、ソケット口元近傍のケーブル表面の応力分布解析結果を Fig. 4 に示す。同図よりソケット口元近傍がケーブルの応力集中部になることがわかる。炭素繊維FRPのようにやや柔軟性に欠ける部材の場合、このような応力集中がケーブルの破断荷重に大きい影響を与えるものと推察される。

ケーブルの応力集中率 α とソケットからのケーブルの拔出し量 Δ を評価パラメータとして、条件を種々変化させ解析を行った。Fig. 5, 6にその結果を示す。鋳込み樹脂のヤング率を一定とした場合、ソケット内面角が小さいほど応力集中率は小さくなるが、拔出し量は大きくなる。ソケット内面角を一定とした場合、鋳込み樹脂のヤング率が小さいほど応力集中率は小さくなるが、やはり拔出し量は大きくなる。

実際のソケットの設計にあたっては、ソケット内面形状の検討や鋳込み樹脂の適切な選択により、何らかの最適条件を設定できるであろうことが推測されるが、これは今後の検討課題であると考えている。

5. 結論

組紐状FRPケーブルは、アラミド、炭素繊維の場合とも所定の強度発現があったが、強度の安定性という点では現在のところアラミドの方がすぐれている。

炭素繊維の場合、ソケット口元の応力集中により破断する可能性が高いが、ソケット内面形状や鋳込み樹脂を適切に選択することで、これを改善できる可能性がある。

なお、本検討に用いた引張試験用供試体の作成にあたっては神鋼鋼線工業(株)研究開発課の方々の御協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

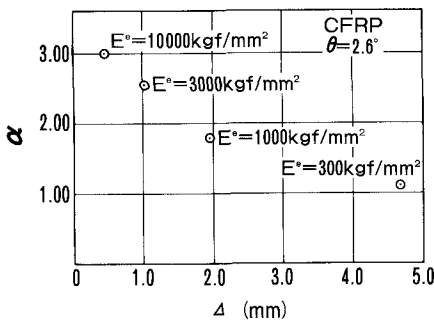


Fig. 6 Relation b/w stress concentration (α) and slip-out (Δ) as a function of epoxy elastic modulus (E^*)

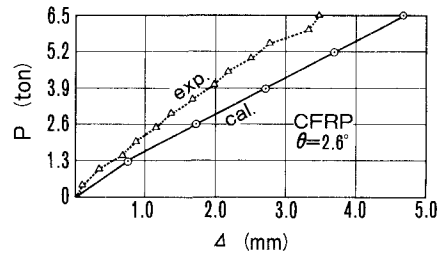


Fig. 3 Relation between load and slip-out (Δ)

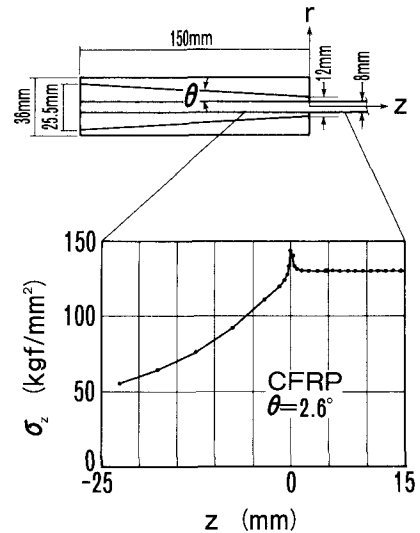


Fig. 4 Stress (σ_z) distribution on outer surface of cable

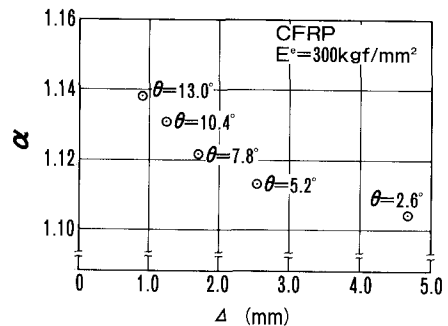


Fig. 5 Relation b/w stress concentration (α) and slip-out (Δ) as a function of friction surface angle (θ)