

新形式ワイヤロープの疲労等に関する研究（第1報）

－合成樹脂心ロープと繊維心ロープの特性比較－

交通システム研究領域

自動車安全研究領域

東京製綱（株）

ジェオブルッグジャパン（株）

千島 美智男 佐藤 久雄

細川 成之

濱 登美男 守谷 敏之

池田 由紀夫

1. はじめに

ワイヤロープの心材に合成樹脂を使用した製品が1980年代初頭に欧州で開発され、1983年から欧米の索道施設で使用されてきており、20年以上の実績がある。

一方、我が国においては、索道施設の審査及び維持管理要領の中で索条の心材に用いる素材を、「支えい索、えい索、平衡索及び緊張索は、可とう性のものであって繊維心を有するものであること。」と規定されている¹⁾。したがって、現状では合成樹脂心のワイヤロープを索道用の動索として使用することは原則として認められていないのが実状である。

合成樹脂心のワイヤロープは、型くずれを起こしにくい等のことから繊維心のワイヤロープに比較して伸びが少なくメンテナンス性が良いとされており、国内の索道施設への導入が望まれている。しかしながら、合成樹脂心は、潤滑に必要な油分をそれ自体に含んでいないことや繊維心に比較して可とう度が小さいことから、曲げ疲労強度等が問題となることが考えられる。さらに、合成樹脂心のワイヤロープについての試験例は極めて少なく、その特性が十分に明らかとはなっていない。

そこで、合成樹脂を心材に使用したワイヤロープが繊維心のワイヤロープと比較してどのような特性であるかを確認するために、各種試験を実施したのでその結果について報告する。

2. 供試ワイヤロープ

供試ワイヤロープは、心材に合成樹脂及び繊維心を使用した2種類であり、自動循環式索道で多く用いられているウォーリントンシル形とした。また、ロープ径は、索道施設の審査及び維持管理要領に規定されている滑車径とロープ公称径の比(D/d)を

曲げ疲労に対して最も厳しい値となる80として、ロープ公称径を37.5mmのものとした。

なお、供試ワイヤロープは、ロングスプライス法によりエンドレスに加工した。

合成樹脂心はポリエチレン製の棒状（無垢）のものであり、その形状を図1に示すとともに、比較のために合成樹脂心と繊維心のワイヤロープの断面を図2に示す。

供試ワイヤロープの主な仕様は表1のとおりである。



図1 合成樹脂心の形状



合成樹脂心

繊維心

図2 ワイヤロープの断面

表1 ロープの仕様

ロープの構造	6×WS[1+5+(5+5)+10]
ロープ径	37.5 mm
上層素線径	2.82 mm
素線の引張強さ	1670 N/mm ²
計算断面積	589 mm ²
単位質量	5.11 kg/m
破断荷重	852 kN
接続方法	ロングスプライス

3. 比較検討事項及び確認事項

索道で使用するワイヤロープは、ストランド相互の摩擦の低減、可とう性の確保という観点から、油分を含ませた繊維心を使用している。一方、合成樹脂を使用したワイヤロープは、心材自体が潤滑に必要な油分を含んでいないため、心材からの油分の供給がなく、ストランド相互の干渉による素線の摩擦等が問題となると考えられる。また、繊維心に比較して合成樹脂心は可とう度が小さく、曲げにくいと考えられるため、繰り返し曲げを負荷した場合の心材の劣化等も問題になると考えられる。

そこで、繊維心のワイヤロープとの比較を行う上で重要となるこれらを含む事項を比較検討事項とし、曲げ疲労試験を行い、素線断線数、径の減少、伸びの測定を行うほか、曲げ疲労試験後の残存強度、含油率、可とう度等を測定した。また、ストランドについては、合成樹脂心と繊維心のワイヤロープは同一仕様のものを用いたため、確認事項として、素線試験を行い、曲げ疲労試験後の素線径、素線の破断荷重、素線のねじり回数、素線の巻解及び亜鉛付着量について試験を行った。

比較検討事項及び確認事項を表2に示す。

表2 比較検討事項及び確認事項

比較検討事項	ロープ径
	ロープの伸び
	破断荷重
	素線断線数
	含油率
	可とう度
確認事項	心材の劣化
	素線径
	素線の破断荷重
	素線のねじり回数
	素線の巻解 亜鉛付着量

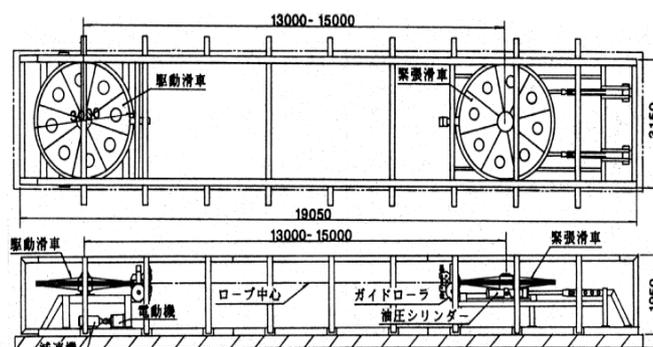


図3 ロープ曲げ疲労試験装置

4. 試験方法

比較検討事項及び確認事項に関する試験方法は、以下のとおりである。

(1) ロープ試験及び素線試験は、JIS G 3525に示されているほう方法にしたがって実施した。

(2) 曲げ疲労試験は、供試ロープに所定の緊張力及び繰り返し曲げを負荷し、ロープの径、ロープの伸び及び素線断線数を測定した。また、曲げ回数は 3×10^5 回を上限とし、滑車を1回通過した時を曲げ回数1とカウントした。なお、伸びについては、スプライス部を除いた正常部の18mにマーカーを付け試験前後にマーカー間の長さを測定した。曲げ疲労試験装置の外観を図2に、主な仕様を表3に示す。

(3) ストランドの含油率は、ストランドに対する油分の質量比であり、新品時については、一定長さのストランドの油分を含んだ質量を測定した後、ストランド付着した油分を除去した質量を測定し、その差を油分の質量とした。

また、曲げ疲労試験後は、ストランドに塵埃が付着しているため、塵埃の影響を取り除くためにソックスレー法を用いて求めた。

表3 試験時の装置の仕様

試験用ロープの径	37.5 mm	
試験用ロープの全長	36 m (ロングスプライス)	
滑車の径	3000 mm (ゴムライニング)	
滑車の中心間距離	13.3 m	
運転速度	2 m/sec	
緊張装置	種類	油圧緊張
	緊張力	137 kN

ソックスレー法は、ストランドに含まれる油分を溶剤と一緒に濾紙を通して塵埃等を除去しながら抽出した後、溶剤を揮発させて油分と溶剤の分離を行う方法である。

(4) 可とう度は、ロープの曲げやすさを示すひとつの指標であり、ロープ径と同一径の丸鋼棒の曲げ剛性度とロープの曲げ剛性度との比である²⁾。丸鋼棒の可とう度は1であり、値が大きくなるほど曲げやすい。

可とう度の測定は、長さ1mのワイヤロープの中央に質量を1~10kgまで段階的に負荷し、各荷重負荷時の中央の垂下量を測定し、得られた結果のグラフの一次回帰式の傾きを求め、次式により算定した。

$$F = \frac{E \cdot I}{E_f \cdot I_r}$$

(E : 丸鋼棒の曲げ剛性弾性係数、I : 丸鋼の断面二次モーメント、E_f : ロープの曲げ剛性弾性係数、I_r : 丸鋼棒径と同一径のロープの断面二次モーメント)

なお、試験用に切り取ったロープは直線状ではなく湾曲しているため、下に凸の場合と上に凸の場合の2方向について測定を実施した。

5. 曲げ疲労試験における試験条件

(1) 滑車径とロープ公称径との比を表すD/dは、この値が大きいほど曲げ疲労に対して有利となるが、本試験では索道施設の審査及び維持管理要領で定められているD/dの値の中で曲げ疲労に対して最も厳しい条件である80とした。

(2) 設定張力は、索道の動索の安全係数の算出に用いられている次式を満たすように最大張力を137kNに設定した。供試ロープについての試験条件を表4に示す。

$$\frac{\sigma}{\sigma_t + \sigma_{b2}} > 4 \quad \text{この場合} \quad \frac{\sigma}{\sigma_t} > 5$$

(3) スプライスの継ぎ合わせ長さについては、合成樹脂心のロープは伸びが少ないことが特徴の一つとされていることから、正常部をできるだけ長くするため、ロープ全長の半分とした。

このため、金心の長さをロープ公称径の40倍(1.5m)にとり、隣り合う金心部分が隣接するようにスプライスさせることで継ぎ合わせ長さを18m(ロープ公称径の480倍)とした。また、差し込まれる金心部分にはラバーテープを巻き付けた。

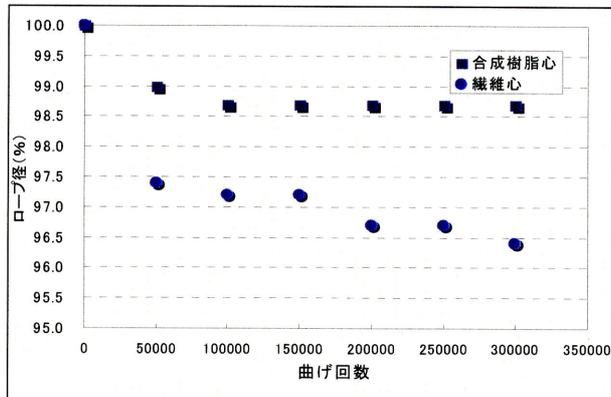


図4 ロープ径の推移

6. 試験結果及び考察

6.1. 比較検討事項

(1) ロープ径

曲げ回数 3×10^5 回におけるロープ径は、試験開始時のロープ径に対し、合成樹脂心では約1.3%減少し、繊維心では約3.6%減少した。いずれのロープも曲げ回数の増加とともにロープが減少する傾向にあったが、繊維心に比較して合成樹脂心の方が減少率は小さかった。これは、合成樹脂心が繊維心に比較して変形が小さく、隣り合うストランド同士の接触もないため、内部の摩耗等による径の減少が小さくなったものと考えられる。ロープ径の推移を図4に示す。

(2) ロープの伸び

曲げ回数 3×10^5 での正常部の伸びは、合成樹脂心のロープでは、18mに対して約0.37%(67mm)であり、繊維心のロープでは約0.63%(113mm)であった。合成樹脂心のロープは、繊維心に比較して伸びが小さく初期の伸び以後の変化の割合も小さい。これは、ロープ径の減少と同様に合成樹脂心の心材は、繊維の心材に比較して張力等による変形が小さいことによるものと考えられる。試験開

表4 供試ロープの試験条件

素線の平均引張強さ (σ)	1670 N/mm ²
最大引張強さ ($\sigma_t = T/A$)	232.6 N/mm ²
最大曲げ応力 ($\sigma_{b2} = E \cdot \delta/D$)	184.2 N/mm ²
最大引張力 (T)	137 kN
索条の有効断面積 (A)	589 mm ²
素線の弾性係数 (E)	1.96×10^5 N/mm ²
上層素線の径 (δ)	2.82 mm
滑車の直径 (D)	3000 mm
曲げを考慮した安全係数 $\sigma / (\sigma_t + \sigma_{b2})$	4.0
引張応力の安全係数 σ / σ_t	7.1

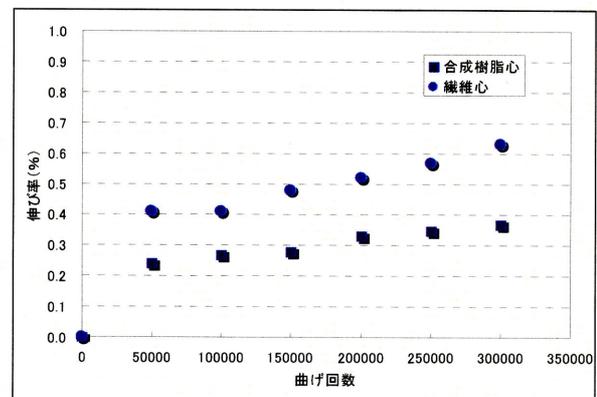


図5 ロープの伸び率

始時から、 5×10^4 回ごとのロープの伸び率を図5に示す。

(3) 破断荷重

新品時の破断荷重は、いずれのロープも900kNであった。また、曲げ疲労試験後の破断荷重は、合成樹脂心が896kN、繊維心が900kNであった。

いずれのワイヤロープとも同程度の破断荷重であり、新品時に比較して強度の低下は認められなかった。試験結果を表5に示す。また、破断試験時の測定波形を図6に示す。

(4) 素線断線数

今回、曲げ回数 3×10^5 回まで試験を実施したが、いずれのワイヤロープにも正常部の素線断線は

認められなかった。素線断線数で見れば、今回の曲げ回数の範囲では、合成樹脂心及び繊維心ともに同等の曲げ疲労強度を有しているものと考えられる。

(5) 含油率

ストランドの新品時の含油率は、合成樹脂心のワイヤロープが0.62%、繊維心のロープが0.72%であった。また、曲げ疲労試験後については、合成樹脂心のロープが0.47~0.48%、繊維心のロープが0.42~0.46%であり、潤滑という観点からは繊維心のロープと遜色のないものであると考えられる。測定結果を表6に示す。

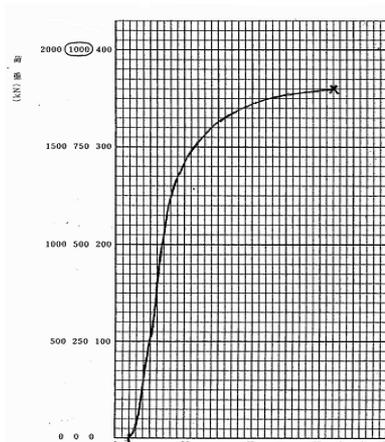
(6) 可とう度

可とう度は、合成樹脂心のロープでは、新品時の

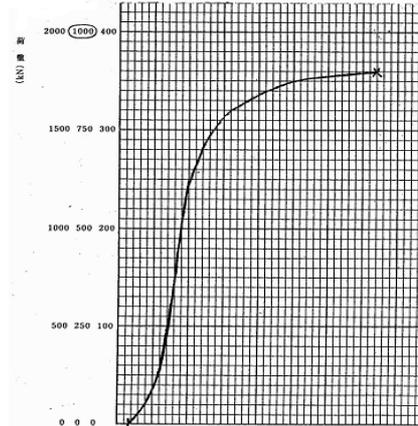
表5 破断荷重

破断荷重 (kN)	合成樹脂心		繊維心	
	新品時	曲げ疲労試験後	新品時	曲げ疲労試験後
	900	896	900	900

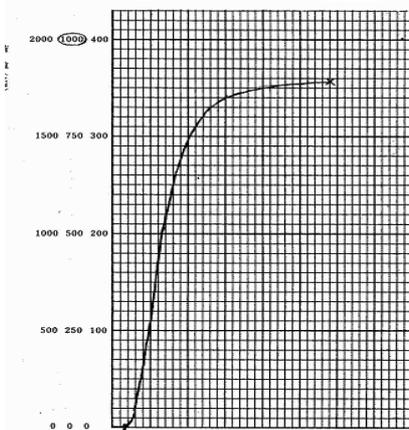
合成樹脂心 (新品時)
破断荷重: 900kN
伸長率: 3.75%(60/1600)



繊維心 (新品時)
破断荷重: 900kN
伸長率: 4.44%(71/1600)



合成樹脂心 (疲労試験後)
破断荷重: 896kN
伸長率: 3.44%(55/1600)



繊維心 (疲労試験後)
破断荷重: 900kN
伸長率: 4.19%(67/1600)

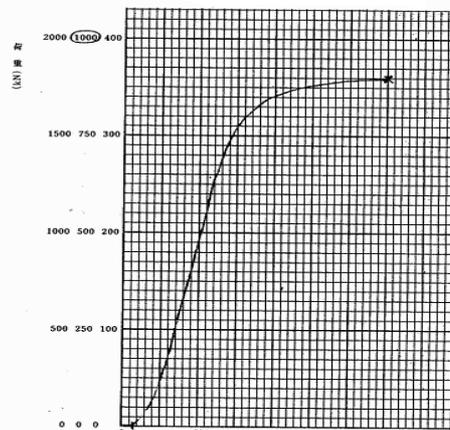


図6 破断試験の測定波形

下に凸の場合 425、上に凸の場合 422 であり、繊維心のロープでは、下に凸の場合 439、上に凸の場合 391 で殆ど差は無い。また、曲げ疲労試験後の可とう度は、合成樹脂心のロープでは、下に凸の場合 367、上に凸の場合 363 であり、繊維心のロープでは、下に凸の場合 368、上に凸の場合 380 であった。いずれのワイヤロープも曲げ疲労試験後(張力負荷後)の可とう度の値が僅かに小さく、試験前に比較して曲げにくくなっているが、これは、張力を負荷したことにより、ロープが締まることにより素線間の摩擦が増加したためと考えられる。なお、心材の違いによる可とう度の差はほとんど認められない。測定結果を表 7 に示す。

(7) 樹脂心の劣化

合成樹脂心は、曲げ疲労試験後も、割れ、摩耗等は無く、今回の曲げ回数においては、劣化は認められなかった。合成樹脂心の試験前と試験後の状態を図 7 に示す。

6.2. 確認事項

(1) 素線試験

素線試験の結果は以下のとおりであり、結果の一

覧を表 8 に示す。

)素線径については、合成樹脂心及び繊維心のワイヤロープともに、新品時と曲げ疲労試験後の差はほとんどなく、ストランド間の潤滑が十分であったと考えられる。

)素線の破断荷重については、合成樹脂心及び繊維心のワイヤロープともに、新品時に比較して曲げ疲労試験後の値が僅かに減少しているが、ほとんど強度の低下はなく、いずれも同等の強度を有しているのと考えられる。

)ねじり回数については、合成樹脂心及び繊維心のワイヤロープともに、新品時に比較して、曲げ疲労後の値が僅かに減少しているが靱性の低下はないものと考えられる。

)巻解試験の結果については、合成樹脂及び繊維心のワイヤロープともに、曲げ疲労試験後も良好であった。

(2) 亜鉛付着量

亜鉛付着量は、最外層素線で新品時172～200(g/m²)に対し、曲げ疲労試験後は合成樹脂心では171～206(g/m²)、繊維心では174～186(g/m²)の範囲にあり、いずれのワイヤロープも亜鉛の付着量の減

表6 含油率

ストランドの含油率 (%)	合成樹脂心		繊維心	
	新品時	曲げ疲労試験後	新品時	曲げ疲労試験後
	0.62	0.47~0.48	0.72	0.42~0.46

表7 可とう度

可とう度	合成樹脂心				繊維心			
	新品時		曲げ疲労試験後		新品時		曲げ疲労試験後	
	下に凸	上に凸	下に凸	上に凸	下に凸	上に凸	下に凸	上に凸
	425	422	367	363	439	391	368	380



(試験前)



(試験後)

図7 合成樹脂心の状態

表 8 素線試験の結果

		合成樹脂心		繊維心	
		新品時	曲げ疲労試験後	新品時	曲げ疲労試験後
素線径 (mm)	δ_4	2.82~2.83	2.78~2.83	2.82~2.83	2.81~2.83
	δ_3	1.88	1.87~1.89	1.88	1.84~1.87
	δ_2	1.50~1.51	1.49~1.56	1.50~1.51	1.47~1.52
	δ_1	1.60~1.61	1.60~1.65	1.60~1.61	1.57~1.63
破断荷重 (N)	δ_4	10600~10700	10400~10600	10600~10700	10400~10600
	δ_3	4800~4850	4730~4760	4800~4850	4700~4800
	δ_2	3030~3060	2980~3010	3030~3060	3000~3100
	δ_1	3700~3750	3650~3680	3700~3750	3550~3700
ねじり回数 (回)	δ_4	32~47	33~43	32~47	29~42
	δ_3	32~36	30~32	32~36	30~35
	δ_2	38~45	33~42	38~45	41~42
	δ_1	35~43	32~42	35~43	32~37
巻解試験	δ_4	良	良	良	良
	δ_3	良	良	良	良
	δ_2	良	良	良	良
	δ_1	良	良	良	良

表 9 亜鉛付着量

亜鉛付着量 (g/m ²)	合成樹脂心		繊維心	
	新品時	曲げ疲労試験後	新品時	曲げ疲労試験後
	172~200	171~206	172~200	174~186

少はほとんど無かった。測定結果を表 9 に示す。

7. まとめ

今回、合成樹脂心のワイヤロープが繊維心のワイヤロープに比較してどのような特性であるのかを確認するため各種の試験を実施し、繊維心のワイヤロープと同等以上の特性を有していることが確認された。

試験の結果のまとめは以下のとおりである。

(1) 曲げ疲労試験後のロープ径の減少は、繊維心のロープの 1/3 程度であり、新品時に比較し約 1.3% 減少した。

(2) 曲げ疲労試験後の合成樹脂心のワイヤロープの伸びは、繊維心のワイヤロープの 1/2 程度であり、曲げ疲労試験後では、基準とした 18m の長さに対し 0.37% (67m) であった。

(3) 曲げ疲労試験後の合成樹脂心のワイヤロープの破断荷重は、繊維心のワイヤロープとほぼ同程度であり、新品時比較して強度の低下は認められなかった。

(4) 素線断線については、正常部では発生しなかった。

(5) スtrandの含油率は、合成樹脂心のワイヤロープでは新品時の 0.62% に対し、曲げ疲労試験後では 0.47 ~ 0.48% であり、繊維心では、新品時の 0.72% に対し、曲げ疲労試験後では、0.42 ~ 0.46% であった。

(6) 可とう度は、殆ど差がなかった。

(7) 樹脂心の劣化については、曲げ疲労試験後においても、割れ、摩耗等は認められなかった。

(8) 素線については、曲げ疲労試験後においてほとんど劣化は認められなかった。

(9) 亜鉛付着量は、新品時とほとんど変わらない値であった。

<参考文献>

1) 索道施設設計標準・管理標準及び同解説 2000 : 運輸省鉄道局監修、日本鋼索交通協会編

2) ワイヤロープハンドブック : ワイヤロープハンドブック編集委員会編、日刊工業新聞社発行