

フラット型ロープの曲げ疲労及び滑車部における振動について

交通システム部 千島 美智男 佐藤 久雄 細川 成之

1. はじめに

近年、索道等のロープ駆動式の交通システムが都市内輸送機関として検討または建設されている。都市内へ導入する際には、安全性はもとより振動等による環境への影響を少なくする必要がある。

ロープ駆動式の交通システムでは、車両がロープによって牽引されている。このため車両の有無に関わらずロープの走行に起因する連続的な振動等が発生する。この振動等の低減方策の一つとしては外周がフラットなロープを使用することにより滑車通過時の振動等を軽減させることが考えられる。索道等のロープ駆動式システムでは、ロープはエンドレスで使用されることが多く、フラット型ロープについても使用に際しては、接続部を含めた疲労及び振動の検討が必要である。しかしながら、フラット型のロープについて接続部を含めた疲労実験、振動等の測定例は極めて少ない。

そこで、安全上問題となるロープの曲げ疲労について接続部を含めた実験を行った。また、ロープが滑車を通過する際の振動についても測定を行ったのでその結果について報告する。

2. 曲げ疲労実験の概要

ロープの曲げ疲労実験は、当所に設置された図1に示す試験装置を用いて行った。装置の主な仕様を表1に示す。

2.1 供試ロープ

実験に使用した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 $6 \times F[(3 \times 2 + 3) + 9]$ のフラット型ロープであり、スプライスによる差込部が全周で6カ所ある。フラット型ロープは外周がフラットになるようにストランドを構成したロープでありストランドの形状が三角である。

表1 ロープ曲げ疲労試験装置の主な仕様

項 目	仕 様
実験用ロープ	直径：24～37.5mm
全 長	35000～39000mm（ロングスプライス）
滑 車 径	直径：3000mm（ゴムライニング）
滑車中心間距離	13000mm～15000mm
ロ ー プ 速 度	0～10 m/s
曲 げ 速 度	2000回/時（最大）
緊 張 装 置	油圧緊張 緊張力：390 kN

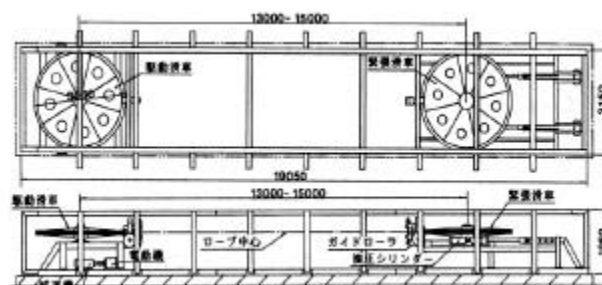


図1 ロープ曲げ疲労試験装置

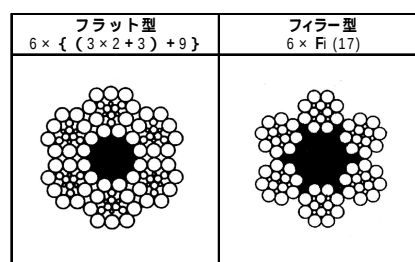


図2 ロープの断面

表2 フラット型ロープの諸元

ロ ー プ の 構 造	$6 \times F[(3 \times 2 + 3) + 9]$
ロ ー プ 径	30 mm
上 層 素 線 径	2.78 mm
素 線 の 引 張 強 さ	1860 N/mm ²
計 算 断 面 積	404 mm ²
単 位 質 量	3.93 kg/m

（最大）

比較のためフラット形ロープと索道等で使用されているストランドが丸いフィラー型ロープの断面を図2に示す。またフラット型ロープの諸元を表2に示す。

2.2 実験条件

今回の実験では索道等の動索の安全係数の算出に用いられている次式における最も厳しい曲げ状態となるように最大張力を設定した。

$$\sigma / (\sigma_t + \sigma_b) > 4$$

σ = 素線の平均引っ張り強さ (N/mm²)

σ_t = 最大引っ張り強さ = T/A (N/mm²)

σ_b = 滑車に巻き付くことによる最大曲げ応力
 $= E \cdot \delta / D$ (N/mm²)

T = 最大引張力 (N)

A = 索条の有効断面積 (mm²)

E = 素線の弾性係数 (1.96×10^5 N/mm²)

δ = 上層素線の直径 (mm)

D = 滑車の直径 (mm)

また、滑車径とロープ径の比 (D/d) は100である。供試ロープについての実験条件を表3に示す。

2.3 実験方法

実験用ロープに緊張力及び繰り返し曲げを負荷して、ロープの直径変化、素線断線数等を計測した。曲げ回数については、これまでに実施した他の型式のロープの最大曲げ回数である 3×10^5 を上限とした。なお、曲げ回数は滑車を一回通過した時を曲げ回数1とカウントした。

3. 曲げ疲労実験の結果

今回行ったフラット型ロープの曲げ疲労実験の結果は以下のとおりである。なお、比較のため、過去に当所において同様の条件で実験を行った、ウォーリントンシール型ロープの結果も同じ図に記した。

3.1 素線断線

フラット型の最初の素線断線は、 2×10^5 回曲げでスプライスのための差込部の上層素線に発生した。その後、 3×10^5 回曲げまでに全体で13本の素線断線が発生した。一方、ウォーリントンシール型では、 8×10^4 回程度で最初の断線が発生し、 3×10^5 回曲げまでに全体で9本の素線断線が発生している。いずれの型のロープも断線は接続部分で発生しており、スプライス部以外では

表3 実験条件

項 目	6×F[(3×2+3)+9]
素線の引っ張り強さ	1 8 6 0 N/mm ²
曲げ径と素線径の比 D/δ	1 0 7 9
最大曲げ応力 $\sigma_b = E \cdot \delta / D$	1 8 2 N/mm ²
最大引っ張り強さ σ_t	2 8 2 N/mm ²
ロープ張力 $\sigma_t \cdot A$	1 1 4 kN
曲げを考慮した安全係数 $\sigma / (\sigma_t + \sigma_b)$	4.0

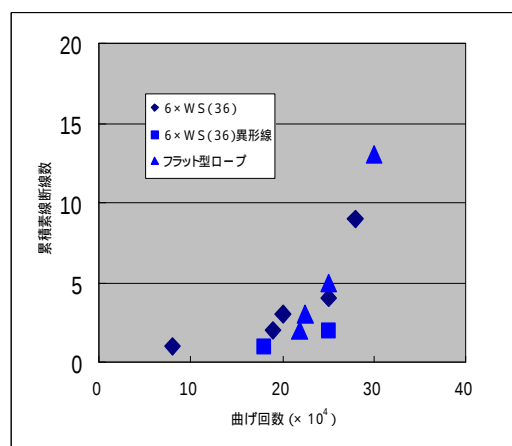


図3 曲げ回数と素線断線数

断線が発生していない。接続部分の素線断線数と曲げ回数の関係を図3に示す。

フラット型の接続部分で発生した13本の素線断線のうち8本がスプライスのためのストランド差込部であった。また、残りの5本は、差込部と差し込まれた金心部分と繊維心部分との変わり目付近及び金心部分の1/5～1/3程度の上層素線に発生したが、ウォーリントンシール型では差込部で発生している。フラット型で発生した差込部以外の断線については、差し込まれたストランドの形状が三角形であり、金心とストランドの接触状態が影響しているものと考えられる。

差込部については、断面形状の変化が大きく、構造的にも不連続であるため、いずれのロープにおいてもこの部分の素線が疲労するものと考えられる。

3.2 ロープ径

ロープ径については、いずれの型のロープも曲

げ負荷に伴い減少する傾向にあり、フラット型では 3×10^5 回曲げでロープ径が約 3 %、ウォーリントンシル型では約 2 % 減少している。非差込部の直径変化の推移を図 4 に示す。

4 . 滑車部における振動測定の概要

今回、曲げ疲労試験とともに滑車部通過する際の振動について測定を行った。

振動測定については、フラット型ロープと索道等で使用されており、上層索線径が同程度のストランドが丸いフィラー型のロープについて行った。

4 . 1 測定方法及び測定条件

振動の測定は図 5 に示す装置の索輪支持部に加速度計を取り付けて行った。

荷重条件は、索輪荷重が 490 N 及び 980 N の 2 条件とした。また、運転速度は 2 m/s 及び 4 m/s の 2 条件として測定を行った。なお、索輪通過時の振動加速度は上下方向が大きいと考えられるため、上下方向振動加速度を対象に測定を行った。

4 . 2 測定結果概要

非差込部及びスプライス差込部の部位ごとの振動加速度の最大値を図 6、7 に示す。振動加速度の最大値は加速度波形の片振幅の値である。

今回の測定では、いずれの条件においてもフィラー型のロープに比較してフラット型のロープの振動加速度が大きい。これは、今回の実験では早い段階で差込部及び差込部前後の金心部分に型くずれが発生しており、この部分が滑車を通過する際に発生している。本試験機で使用した供試ロープ長は約 36m であるが、このうちスプライス部が約 24m を占め、スプライス以外の部分は約 12m で全体の 1 / 3 程度しかないので差込部の振動が全体に影響しているものと考えられる。

負荷荷重の違いによる差異については、最大値で見ると、いずれのロープも差異がほとんど認められないが、平均的な値で見るとフラット型の 4 m/s 運転時に僅かではあるが負荷荷重 980 N の振動加速度が 490 N の時の振動加速度より小さくなっている。

また、運転速度の違いによる差異については、いずれの型のロープも運転速度の増加に伴い振動加速度が大きくなっている。

5 . まとめ

今回、フラット型ロープの接続部を含めた曲げ疲労

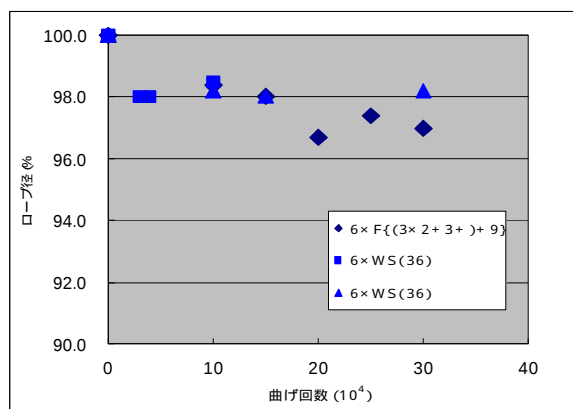


図 4 ロープ径の推移

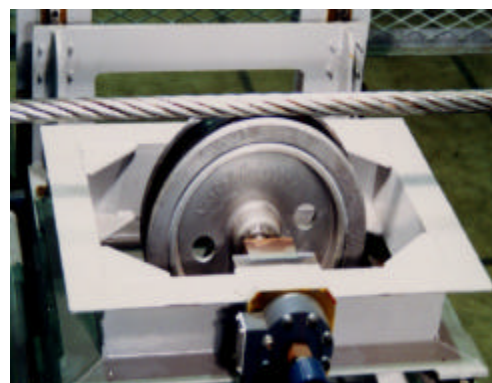


図 5 実験装置

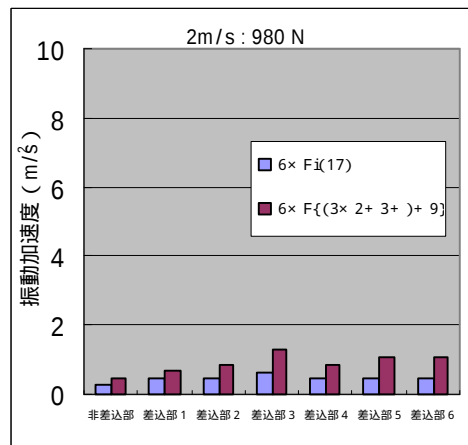
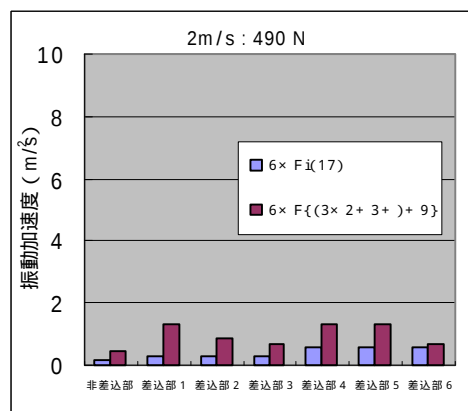


図 6 振動測定結果 (2m/s)

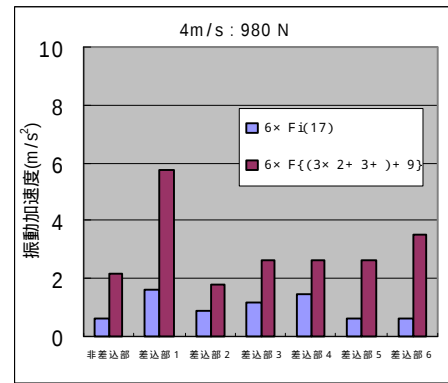
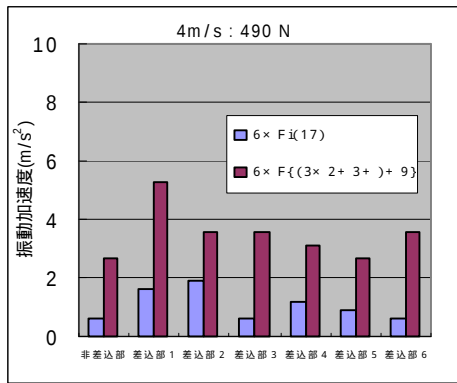


図7 測定結果 (4m/s)

実験ならびに振動測定を行った。その結果は以下のとおりである。

本実験における曲げ負荷回数 (3×10^5 回) では非差込部に素線断線は発生しなかった。接続部では、 3×10^5 回曲げまでにフラット型は13本の素線断線が発生し、そのうちの8本がスプライスのためのストランドの差込部に発生した。また、差込部前後の金心部分で残りの5本が断線した。一方、ウォーリントンシール型は 3×10^5 回曲げで9本断線し、いずれも差込部であった。

ロープ径の減少についてはいずれの型のロープも曲げ負荷に伴い減少する傾向があり、フラット型では 3×10^5 回曲げで約3%減少し、ウォーリントンシール型では約2%減少している。

滑車通過時の振動については、今回の実験の範囲では、フラット型がフィラー型と比較して振動が大きい。また、いずれの型のロープも運転速度が高い場合に振動が大きくなった。

6. おわりに

今回、接続部を含めたフラット型ロープの曲げ疲労実験及び振動の測定を行った。耐久性の面では、索道等で使用されている他の型のロープと同程度と考えられる。しかしながら、振動についてはスプライスのため差込部付近で早い段階で型くずれが発生し、振動が大きくなった。

フラット型ロープのストランドは、三角形をしているためスプライスの際に差込まれたストランドと外層ストランド内部の接触状態の変化が大きく、ストランドが型くずれを起こしやすいと考えられる。したがって、フラット型ロープをエンド

レスで使用する場合には、型くずれを起こしにくいスプライス方法の検討が今後の課題であると考ええる。