

ロープウェイの安全技術

千島美智男*

我が国におけるロープウェイは、世界でも有数の建設基数を数えるに至っており、その多くは山間部において使用されているが、都市内の輸送システムとしても導入が検討されている。ニューヨークなどでは通勤、通学用として、すでに都市内で使用されている。また、近年では、高速化及び搬器の大型化による大量輸送の時代を迎えており、安全性・信頼性の向上のほか、快適なシステムの導入が求められている。本稿は、交通安全環境研究所において実施しているロープウェイの安全性に関わる試験・研究についてまとめたものである。

Safety Technology for Aerial Cable Ways

Michio CHISHIMA*

Japan has more cableways than most countries in the world and many of these are used in mountain areas. However, a scheme is under consideration to introduce cableways in cities as a mode of transport. The scheme has already been implemented in New York and other cities, where it is being used for commuting to work and to school. In recent years, we have entered the age of mass transportation following the introduction of speedier, larger carriers. This calls for improvements in safety and reliability as well as the installation of trouble-free systems. This report examines the trials and studies into the safety of cableways carried out by the National Traffic Safety and Environment Laboratory.

1. はじめに

ロープウェイは、架空されたワイヤロープ（以下「ロープ」という）に搬器を懸垂させて旅客を輸送する交通システムであり、急勾配に強く、谷部等の横断が容易であることや他の交通システムに比較して建設コストが低廉であることなどの理由から、山間部の観光地やスキー場で多く使用されている。現

在、国内には約3,000基が設置され、年間5億6,000万人余りの旅客を輸送している公共輸送システムである。

ロープウェイは、ロープにより駆動されて運行しているため、ロープの強度の把握、握索装置（ロープに搬器を固定する装置）の安全性の確認、搬器の風対策、振動・動揺の低減などが輸送の安全性・信頼性の向上を図る上で重要である。

交通安全環境研究所においては、ロープウェイの安全性に関わるこれらの事項について試験・研究を行っており、本稿では、その概要について述べる。

2. ロープウェイの概要

* 交通安全環境研究所交通システム部新型鉄道研究室研究員
Researcher, Special Railway Section, Traffic System
Research Division,
National Traffic Safety and Environment Laboratory
原稿受理 2002年5月9日



提供) 日本ケーブル株式会社。

Fig. 1 普通索道の例



提供) 日本ケーブル株式会社。

Fig. 2 特殊索道の例(フード付)

2-1 ロープウェイの種類

ロープウェイは、法令上では「索道」と呼ばれており、乗客が乗る搬器の形状により普通索道と特殊索道の二種類に分類されている。

普通索道 Fig.1) は、扉を有する閉鎖式の搬器を用いたものであり、特殊索道 Fig.2) は、外部に開放された座席で構成されたいす式の搬器を用いたものである。

2-2 ロープウェイの方式¹⁾

ロープウェイの方式は、交走式、固定循環式、自動循環式及び滑走式に区別される。以下にその概要を述べる。

1) 交走式

交走式は、起点停留場と終点停留場に架空された支索に搬器を懸垂させ、2台の搬器をえい索によって接続し、このえい索を駆動することでそれぞれの搬器が交互に行き交い、同時に両停留場で停止して乗降が行われる方式である。支えい索を握索した搬器が交互に行き交う単線交走式及び複式単線交走式などがあり、一般には「ロープウェイ」と呼ばれている。

2) 固定循環式

固定循環式は、起点停留場と終点停留場の滑車間に架空された支えい索に一定間隔で搬器を握索装置により固定して循環する方式であり、「リフト」「チェアリフト」などと呼ばれている。

3) 自動循環式

自動循環式は、起点停留場と終点停留場の滑車間に架空された支えい索を、搬器の握索装置が停留場

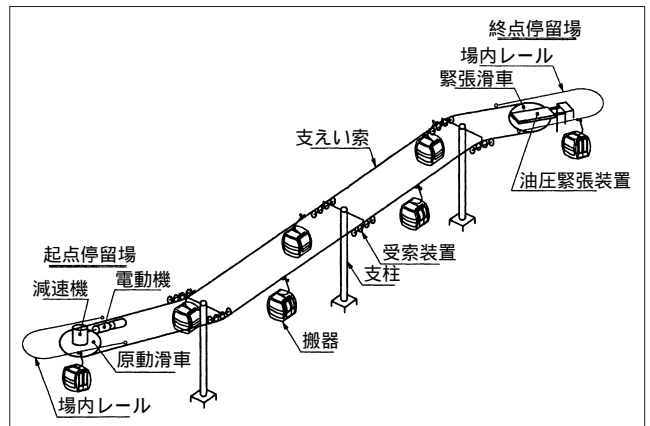


Fig. 3 自動循環式¹⁾

に到着した時に自動的に開放し、出発時には搬器速度を支えい索の速度に同調させて、搬器を支えい索に固定する方式であり、普通索道では「ゴンドラリフト」、特殊索道では「デタッチャブルリフト」などと呼ばれている。Fig.3に自動循環式の一例を示す。

4) 滑走式

滑走式は、旅客がスキー等の滑走具を装着して、雪面上を移動する方式であり「Tパーリフト」などと呼ばれている。

3. ロープウェイにおける主要な安全技術に関する試験・研究

ロープウェイにおいて、ロープは搬器を駆動・支持する重要なものであり、ロープの切断事故等を未然に防ぐためにはロープの疲労に対する強度を把握することが重要である。握索装置についても滑動に

対する安全性や強度が要求される。また、ロープウェイは、搬器がロープのみで支持されているため風に弱い構造となっており、搬器の耐風性の向上が求められている。この他、速度向上時の搬器の振動・動揺の低減方策やロープが滑車から外れる脱索といった現象の把握及び非常時における旅客の救助方法などが重要な事項と言える。

そこで、これらの観点から安全上重要と考えられる事項を六つに整理し、それぞれについての試験・研究の概要を以下に述べる。

- ・ロープの疲労強度
- ・握索装置の機能
- ・搬器の風対策
- ・搬器の振動・動揺
- ・脱索の防止
- ・救助装置の機能

3 - 1 ロープの疲労強度

ロープウェイの駆動用ロープには、緊張力、搬器牽引力等が負荷されるとともに滑車を通過することにより曲げが加えられるために、繰り返し曲げによる疲労が問題となる。特に、単線式のロープウェイでは搬器が1本のロープだけで架空・牽引されているため、ロープの保守・管理が非常に重要となる。

ロープウェイの駆動用として使用されているロープの実使用状態に近い条件での曲げ疲労に関する実験例は、ほとんど見当たらない。そこで、ロープの交換基準策定等のためのデータを得ることを目的にロープの曲げ疲労試験装置を製作し、単線式ロープウェイで使用されているウォーリントンシール型ロープにおいて実使用状態に近い状態での曲げ疲労実験を行った。

曲げ疲労実験の結果では、少なくとも30万回の曲げ負荷程度までは正常部の機能低下は発生しないことが認められた。一方、スプライス部(接続部分)に

おいては正常部より早い段階で素線断線が発生した。このことから、ロープの疲労による損傷については、スプライス部を十分に監視する必要があることが認められた²⁾。ウォーリントンシール型ロープの曲げ疲労実験結果例をTable 1に示す。

なお、実験結果は、ロープの交換時期に関する技術基準に反映されたが、ロープの劣化程度を定量的に測定することは難しく、今後の課題として残されている。

3 - 2 握索装置の機能

握索装置は、搬器をロープに固定する装置であり、単線式のロープウェイでは重要な装置である。万一、ロープを掴む力や強度が不足した場合には、搬器がロープ上を滑動し、搬器衝突等の事故につながるようになる。また、強度が不足した場合には握索装置が損傷し、搬器がロープから外れて地上に落下するといった事故につながる可能性がある。したがって、十分な耐滑動力と強度が求められている。

新しい形式の握索装置については、これまで、耐滑動力試験、耐荷重試験などの性能試験を行い、握索装置として所定の性能を有していることの確認を行っている。

また、耐滑動力試験については、現在、ロープを用いた試験を実施しているが、大型の試験設備を必要とすることや試験時に握索装置のばね力の補正を伴うことがあることから、簡易な試験方法が望まれている。そこで、丸鋼を使用した握索装置の耐滑動力

Table 1 ロープ曲げ疲労試験結果例 単位: kN

試料	6×WS (36)		6×WS (36) 異形線	
	正常部分	接続部分	正常部分	接続部分
規格値	500	584*	543	634*
(試料) 実測値	543	-	582	667
曲げ負荷後 実測値 (曲げ回数 / 断線数)	565 (2×10 ⁵ / 0)	567 (2×10 ⁵ / 5)	641 (3×10 ⁵ / 0)	702 (3×10 ⁵ / 1)

注) *: 推定値(規格値×7/6)、-: 測定データなし。
出典) 参考文献2)より抜粋し、単位を一部SIにして再作表。

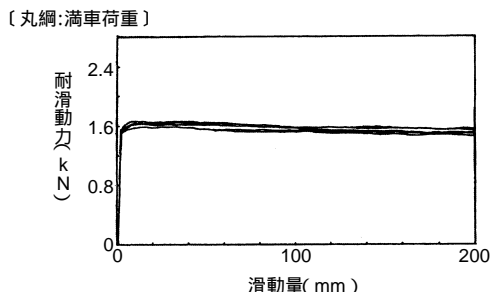
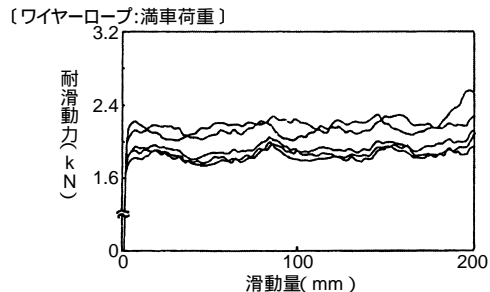


Fig. 4 ロープ及び丸鋼を使用した耐滑動力試験結果例³⁾

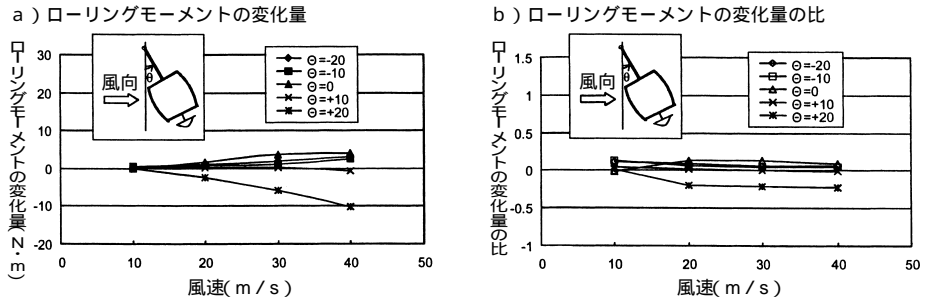


Fig. 5 風洞実験結果例（半楕円ウイング）⁴⁾

力試験の可能性について、ロープ及び丸鋼を使用した耐滑動力試験を行った。その結果、丸鋼を使用した場合はロープを使用した場合の値に対して安全側であり、丸鋼による試験は可能であるとの知見が得られた³⁾。ロープ及び丸鋼を使用した耐滑動力試験結果の一例をFig.4に示す。

3-3 搬器の風対策

ロープウェイでは、風による過大な搬器の動揺は支柱近傍での搬器と支柱との衝突あるいは、脱索による搬器の落下といった大きな事故に結びつく可能性があるため、風対策が重要な技術課題となっている。

現在、一般に多く行われている搬器の風対策としては、搬器にウェートを積載する方法がとられているが、大きな効果を得るためには、多くのウェートを積載する必要がある。搬器の耐風性を向上させるひとつの方法として、搬器に空力付加物を装着し空力特性を改善する方法が考えられるが、この方法による搬器の耐風性向上について検討された例は見当たらない。

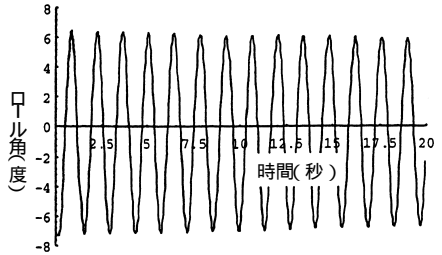
搬器の耐風性向上については、空力付加物であるフェアリングやウイングの空力的効果について、取り付け角度・位置、形状を変えて風洞実験によりその効果について確認を行った。

模型搬器を用いた風洞実験からフェアリングを搬器の上面のみに装着した場合は、フェアリングの効果が認められなかったが、搬器下面にのみ装着した場合は顕著な効果が認められた。また、ウイングについては、半楕円ウイングを搬器下面に装着した場合に顕著な効果が認められた⁴⁾。Fig.5に特に、効果が顕著であった半楕円ウイングの実験結果例を示す。

今後の課題としては、動揺減衰装置との組み合わせによる耐風性向上の効果の検討などがあげられる。

3-4 搬器の振動・動揺

a) 動揺減衰装置未装着時



b) 動揺減衰装置装着時

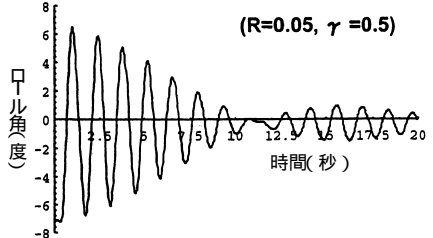
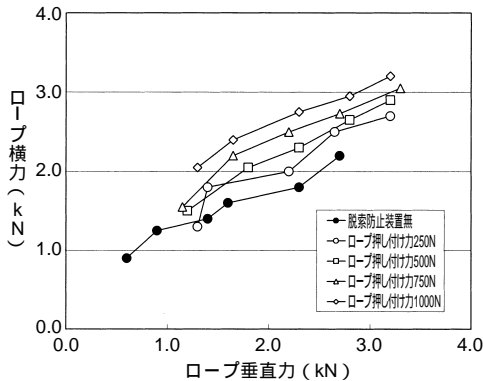


Fig. 6 傾斜振り子軌道型球転動式動揺減衰装置の実験結果例⁶⁾

近年、利便性、輸送力の増強といった観点からロープウェイの運転速度の高速化が行われている。運転速度の高速化に際しては、搬器の振動・動揺についてその特性を把握し、低減する必要がある。特に支柱通過時における搬器の振動の増大は、輪重抜け等により運行上重大な影響を及ぼす事が考えられる。

運転速度を向上した場合の振動・動揺については、その特性を把握するため、既設の単線式ロープウェイで速度向上試験を行った。また、動揺の低減策として、搬器の動揺減衰装置について検討を行った。

速度向上した場合の振動・動揺については、支柱通過時の上下方向振動加速度が速度とともに大きくなる傾向が認められた⁵⁾。また、動揺減衰装置として傾斜振り子軌道型球転動式動揺減衰装置を提案するとともに、模型実験により、その効果を確認した⁶⁾。



出典) 参考文献7)より抜粋し、単位を一部SIにして再作図。
Fig. 7 脱索発生時のロープ横力とロープ垂直力

Fig.6に実験結果の一例を示す。

今後は、輪重変動を監視するための索輪荷重の測定方法の検討や、動揺減衰装置の高性能化が、課題と言える。

3 - 5 脱索の防止

ロープがこれを支持する滑車から外れる脱索現象は大きな事故につながるおそれがあることから、脱索を防止する事は、ロープウェイでは安全上重要な事項である。

脱索現象については、その発生メカニズムが現在のところ明らかになっておらず、これを確実に防ぐ有効な方法がないのが現状である。

脱索については、その発生メカニズム等を解明するため、脱索実験装置を製作し、脱索を発生させる実験を行った。また、同装置を使用して代表的なタイプの脱索防止装置2型式の機能確認実験を行った。

脱索実験装置による実験結果では、脱索が発生する時の横力の値は垂直力の大きさに依存し、垂直力が大きいほど脱索に要する横力が大きくなる傾向が認められた。また、脱索防止装置の機能については、脱索防止装置を付加した場合、脱索するために要する横力が増加しており、その効果が確認された⁷⁾。脱

索発生時のロープ垂直力とロープ横力の関係をFig.7に一例として示す。

脱索については、その発生メカニズムを明らかにすることが今後の課題である。

3 - 6 救助装置の機能

ロープウェイでは、気象条件、停電及び機器故障などにより、乗客を乗せたまま停止し、復旧が長時間に及ぶ場合には乗客を安全かつ迅速に地上へ降ろさなければならない。この場合、短時間に多くの旅客を降ろすために救助装置を連続使用することとなるが、救助装置に用いられている调速機または调速機構が加熱し使用上危険になるといった問題がある。

緩降機には、遠心力ブレーキ式や油圧式があり、地上と搬器までの高さが高い場合、特に降下距離が50mを超えて連続使用する場合の安全性については、確認されていない状況であった。

このような状況から、室内において実際に近い使用状況を再現できるような索道用非常救出装置試験機を製作し、緩降機の連続繰返し試験を行った。

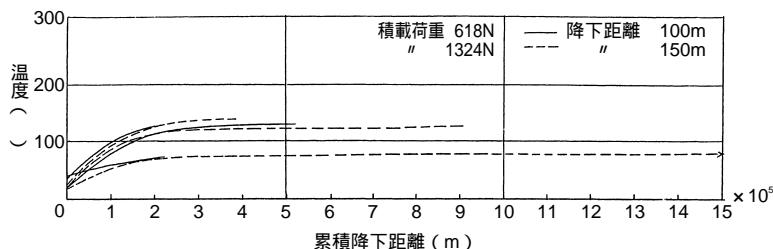
緩降機の繰返し試験により、调速機の温度上昇が少ない油圧式の方が救出時間の短縮が図られる等の点で優れているとの知見が得られ、大型の搬器に使用されるようになった⁸⁾。油圧式緩降機の调速機の温度曲線をFig.8に示す。

交走式では、100mを超える深い谷部を横断する施設もあり、専用の救助搬器を用いた救助方法の検討などが今後の課題である。

4 . おわりに

我が国のロープウェイは、日本独自の技術の他、海外の新しい技術を積極的に導入し発展してきた。今後も、利用者ニーズの多様化により新しいシステムが導入されると考えられる。

ロープウェイは、多くの旅客を輸送する公共輸送システムであり、より一層の安全性・信頼性の向上



出典) 参考文献8)より抜粋し、単位を一部SIに変更。
Fig. 8 油圧式緩降機の调速器の温度曲線

が重要であることは言うまでもないが、これからはこれまで以上に快適性の向上についても検討していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 財団法人日本鋼索交通協会編『索道施設設計標準・管理基準及び同解説』2000年
- 2) 谷口、御手洗、千島『索道用動索の曲げ疲労について』資源・素材関係学協会合同秋季大会、1991年
- 3) 千島、佐藤、細川「索道用握索装置の耐滑動力試験について - 丸鋼を使用した試験方法の検討 - 」交通安全公害研究所報告、2001年
- 4) 佐藤、細川、千島「索道搬器の耐風性向上に関する風洞実験」鉄道連合シンポジウム(J RAIL '01) 2001年
- 5) 千島、佐藤、細川「単線自動循環式普通索道の速度向上」交通安全公害研究所報告、1993年
- 6) Sato: Swing Reduction of Ropeway Carriers by Means of Inclined Pendulum Trajectory and Ball Rolling Type Damping Equipment , The 2000 ASME International Mechanical Congress & Exposition , 2000
- 7) 谷口、千島、佐藤「索道の脱索防止装置の機能確認実験について」『第19回交通安全公害研究所研究発表会講演概要』1989年
- 8) 星野、御手洗「索道用非常救出装置としての緩降機の連続繰返し試験」『第9回交通安全公害研究所研究発表会講演概要』1979年