

多径間輸送用ケーブルの力学特性に関する基礎的研究

信州大学工学部 正会員 吉澤孝和 ○学生員 志摩剛

はじめに スキーリフト等に見られる多径間の輸送用ケーブルは、ケーブル上に一定間隔で固定した搬器の荷重を支柱上の滑車（受索輪・圧索輪）に伝達しながらケーブル自体が移動する構造物である。本来、ケーブルの高張力に依存するこの力学系で生ずる事故の多くは、荷重の急変（搬器の落下、搬器の衝突、突風）による脱索現象（ケーブルが滑車から外れること）である。

多くの支点間を移動する多径間スキーリフトのケーブル張力は、支点の配置や移動中の搬器と支点滑車との位置関係によって複雑に変化する。この張力変動が支点反力に与える影響を詳細に把握しない限り、脱索現象の正しい説明は不可能である。このような観点から本研究は、多径間輸送用ケーブルの挙動に関するより詳細な解析を試みることを目的とし、数値解析により力学特性に関する基礎的な問題を検討する。

解析手法 ケーブルを微小直線要素（本報告では要素長10cm）を連結したチェーンで近似する。ひとつのスパンについて、左側支柱上のケーブル端に所定の張力を与え、反復計算により右側支柱上にケーブルをのせる。これにより当該スパンのケーブル長が確定する。支点滑車上をケーブルが移動する場合、左右スパンのケーブル張力には滑車の摩擦抵抗に相当する張力の差が生ずる。摩擦抵抗は支点部での左右ケーブルの張力の合力に比例するため、これを反復計算で収束させる。

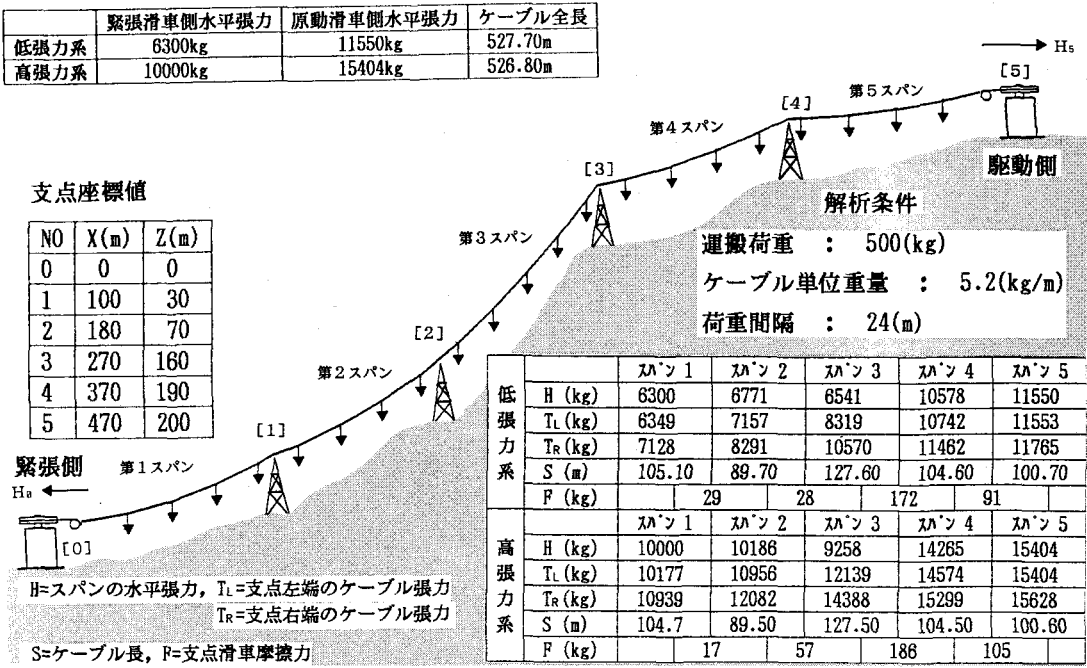


図1 解析対象の諸元および解析結果

解析例と考察 図1に解析対象のスキーリフトを示す。山頂側に原動装置、山麓側に緊張装置を置き、水平距離470m、比高200mの区間を図示のように4基の支柱で5スパンに分ける。解析に用いた諸数値および解析結果は図に併記した。この解析例では第1スパンの水平張力H₀を6.3tとした場合と10tとした場合について解析した。前者を低張力系、後者を高張力系と呼ぶ。解析結果に対する考察を以下に示す。

【考察1】 水平張力(H)について： ケーブルの水平張力は高所のスパンに移行するにつれて増加する傾向がみられる。しかし、第2スパンと第3スパンの間では逆に減少している。これは支点間勾配（支点間を結ぶ直線の勾配）が第3スパンで急増することによる。また、第3スパンと第4スパンの間の水平張力の増加率は全体の最大値を示す。これは支点間勾配の急減による。

スキーリフトの始点（山麓側＝緊張側）の水平張力 H_0 と終点（山頂側＝駆動側）の水平張力 H_5 の差は、低張力系では5250kg、高張力系では5404kgであり、両者の間に大差はない。

【考察2】 ケーブル長(S)について： ケーブル長はケーブル張力により変化する。図1について各スパンにおける高・低両張力系のケーブル長の差を調べると、第1スパンで40cm、第2スパンで20cm、第3スパン以降はいずれも10cmであり、ケーブルの全長に対する差は90cmである。これは、全長の0.2%以下の差である。よって、各スパンのケーブル形状は両張力系とも図1に示すようにほとんど同一である。

【考察3】 受索輪の摩擦抵抗力(F)について： ケーブルが支柱の滑車上を移動する際に発生する摩擦抵抗力Fは： $F = (\text{左右ケーブルの張力の合力}) \times (\text{摩擦係数}(=0.019))$ で与えられる。Fの値を図1の表では2つのスパンの欄の間に示した。最大値は、高・低張力系とも、支点間勾配が急変する支点3に生じている。この表において摩擦抵抗が支点の配置状態によってかなり大きく変動することに注目したい。

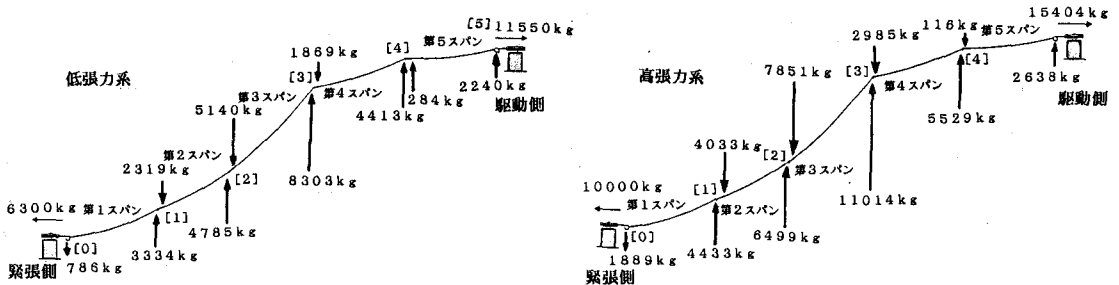


図2 スキーリフトの支点反力（鉛直分力）の検討

【考察4】 支点の鉛直反力について： 図2は、図1のスキーリフトの支柱 [1],[2],[3],[4]上に設けた各支点に発生する鉛直反力を示す。各支点の左右のケーブル傾斜角およびケーブル張力により、鉛直反力は図示のように上向きおよび下向きとなる。第1、第2、第3、第4スパンのケーブルは、いずれも各支点对して、ケーブル左端の張力は下向きの鉛直反力を必要とし、ケーブル右端の張力は上向きの鉛直反力を必要とする。よって、支柱上ではケーブルの左端は圧索輪、右端は受索輪で支持することになる。

ここで、第5スパンに注目したい。低張力系ではケーブルの左右両端とも、上向きの支点反力を必要とするが、高張力系では左端で下向きの、右端で上向きの反力を必要としている。このことは、何らかのトラブルでケーブルの張力が一時的に上昇したとき、平常時は上向きの反力に対して作用していた支点が、下向きの反力を必要とすることを意味する。下向きの反力に対する対策が講じられていないときは、これが脱索現象の引金となる。

【考察5】 簡便法によるケーブル張力の概算について： スキーリフト用ケーブルの張力の概算には通常次のような簡便法が用いられる。紙面の都合上、風荷重は無視し、重錘による緊張の場合を示す。

- ①荷重の換算：(単位長重量)=(ケーブル単位長重量)+(搬器荷重)/(搬器間隔)
- ②緊張側の水平張力 H_0 の設定(各種実施例を参考とする。重錘式の場合は通常その重量の1/2)
- ③(駆動側水平張力)=(緊張側水平張力)+(単位長重力)×(比高)+(単位長重量)×(水平距離)×(摩擦係数)(比高は駆動側を山頂におくとき(+), 山麓におくとき(-)とする)

簡便法で始点と終点間の水平張力の差を計算すると5404kgとなり、本法での高張力系の解と一致した。簡便法は、ケーブルの張力を十分高くした場合に使用できる。しかし、ケーブルと滑車との力学的なやりとりは、張力の変化や支点と搬器荷重の位置関係でかなり変動するため、簡便法での検討には限度がある。