

〔論 文〕

ウインチドラムの捨て巻きの検証

清水 健太*, 中山 周一*

*日本文理大学工学部航空宇宙工学科

Verification of Winch Drum Dead Wraps Requirement

Kenta SHIMIZU*, Shuichi NAKAYAMA*

*Department of Aerospace Engineering, School of Engineering,
Nippon Bunri University

Abstract

In winch operation, it is required to maintain last few wraps wire rope on the drum anytime in order to prevent the wire rope from slipping off the drum. This requirement is called "dead wraps". The dead wraps mechanism was studied and kinematic model was developed. This model was verified by winch testing.

キーワード：ウインチ，クレーン，捨て巻き

Keywords : winch, crane, dead wraps

1. 捨て巻き

ウインチやクレーンでは、吊り荷の上げ下げを行う際にドラムにある程度のワイヤロープを残すことが求められており、この要求を捨て巻きという。クレーン構造規格⁽¹⁾では2巻き、マックスプル社のウインチ⁽²⁾では3巻きの捨て巻きが必要としている。ドラムに捨て巻きを行うことでワイヤロープが吊り荷を巻き上げる時に発生する張力をドラムのワイヤロープ取り付け部にそのまま作用させないようにするためである。つまり重い吊り荷をウインチで巻き上げる際にワイヤロープがドラムから抜けるのを防ぐためである。

本論文では、この捨て巻きの解析解と実験値とを比較し捨て巻きの重要性について検証する。

2. 解析解

ワイヤロープの捨て巻きの能力はワイヤロープとウインチドラムとの摩擦力が重要な要素となる。ワイヤロープの自由端に吊り荷を下げたときに捨て巻き部のワイヤロープに加わる力のつり合いを図1のように考えた。本論文では、ワイヤロープの吊り荷を下げる側の端を自由端、ドラムに固定する側の端を固定端と呼ぶ。図1においてワイヤロープの自由端側がドラムに接触するところを $\theta=0$ とし、そこからの巻き付け角 θ により捨て巻き量を表す。 T_0 を自由端側の吊り荷による張力、巻き付け角 θ での張力を T とする。 N と F はワイヤロープとドラムが接している面での垂直抗力と摩擦力である。巻き付け角 θ が増えると、ワイヤロープ張力は減少していく。

巻き付け角 θ において、中心角 $d\theta$ を持つワイヤロープの微小要素を考え、自由端側の張力 T に対し、固定端側の張力を $T - dT$ ($dT > 0$) と表す。

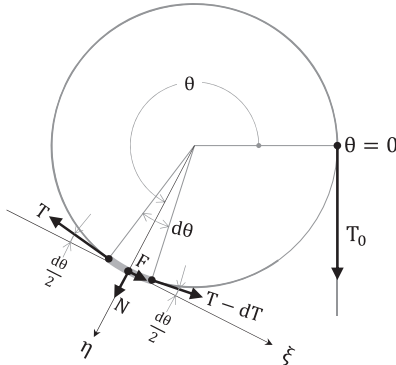


図1. ドラム上のワイヤロープの力のつり合い

ドラムの回転軸に垂直な断面の円に次のような ξ - η 座標系を考える。ドラム表面の接線方向を ξ 軸とし、その ξ 軸に対して直交する軸を η 軸とする。中心角 $d\theta$ を持つワイヤロープの微小要素についてのつり合いから、次式を得る。

$$\xi \text{ 軸} : F + (T - dT) \cos \frac{d\theta}{2} = T \cos \frac{d\theta}{2}$$

$$\eta \text{ 軸} : T \sin \frac{d\theta}{2} + (T - dT) \sin \frac{d\theta}{2} = N$$

摩擦係数 μ を用いて摩擦力 F を表すと

$$F = \mu N$$

となる。 $d\theta$ を微小として $\sin d\theta = d\theta$, $\cos d\theta = 1$, 微小角 $d\theta$ と張力変化 dT の積を無視すれば、次式を得る。

$$T \mu d\theta + dT = 0 \rightarrow \mu d\theta = -\frac{1}{T} dT$$

これを $\theta = 0$ から θ 方向に積分すると、

$$\mu\theta = -\log_e\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (1)$$

となる。(1) 式は、巻き付け角 θ により張力が減少していくことを表している。

3. 検証実験

(1) 式の妥当性を検証するため、ワイヤロープの巻き付け角と張力の関係を測定した。図2に実験の概要を図3に実験の様子を示す。実験には、マックスプル GM-20インチと MIL-DTL-83140の直径3/16インチ (4.8mm) のワイヤロープを使用した。

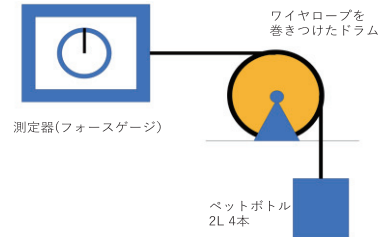


図2. 伝達張力が減少することを確認する実験

図1の状態は、ドラムの回転が拘束されていることが前提になっている。ドラムが回転自由となっていると、ワイヤロープとの摩擦によってドラムが回転してしまい、ロープ張力はドラムの前後で同じとなる (滑車と同じ作用)。そこで、ドラムにシャフトをつけドラムの回転を止めた状態で実験を行った。

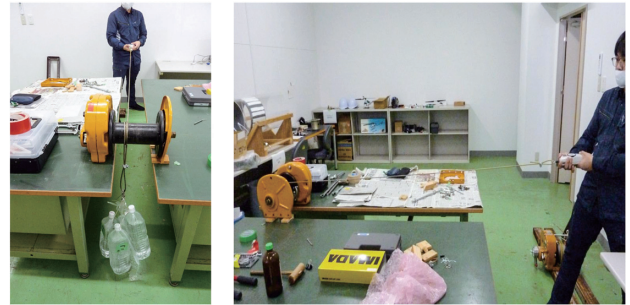


図3. 実験の様子



図4. フォースゲージ (イマダ FB-300N)

静止摩擦係数はある範囲の中で任意の値を取る性質があるため値を特定できず、計測対象は最大静止摩擦である。本実験で最大摩擦力を計測する方法として固定端側を固定し吊り荷を負荷する方法では、吊り荷の荷重によりワイヤロープが巻き下げ方向に動いた後に静止状態となり、その最大静止摩擦が観測される。ただし、この場合は固定端側を固定しておく必要があるのに対し、今回が図4に示すように固定端側はフォースゲージを手で支えたためその位置の変動によりゲージ値は変化してしまう。そこで、吊り荷を負荷させてもロープが動かないように固定端側を手で支え、次に手の支える力を緩めていったときに滑り出す際のゲージ値の最小値を読み取っ

た。各条件で測定を4回行った結果を実験データの表1の上半分に示す。吊り荷の重さは、同じフォースゲージで測定し、ワイヤロープの自重は無視した。

表1の下半分のデータは、ペットボトル側を固定端としてフォースゲージ側を自由端とした場合の結果である。フォースゲージ側が動くように引き抜き、動いた時のゲージ値を読み取った。この引き抜く力は θ が増加すると T/T_0 も大きくなる。図1ではこの状態では $dT > 0$ となる。(1)式において、巻き付け角をマイナスとして扱った。

表1. 捨て巻き数と測定張力の実験データ

ペットボトルが自由端			
巻き数*	測定張力(N)	平均測定張力(N)	吊り荷の重さ(N)
0.25	17.5, 17.5, 17.5, 17.5	17.5	19.6
1.25	30, 29, 30, 30	29.75	78.4
2.25	15, 17.5, 15, 15	15.625	78.4
3.25	7.5, 7.5, 7.5, 7.5	7.5	78.4
4.25	5, 5, 5, 4	4.75	78.4
ペットボトルが固定端			
巻き数*	測定張力(N)	平均測定張力(N)	吊り荷の重さ(N)
-0.25	25, 25, 25, 25	25	19.6
-1.25	55, 50, 50, 52.5	51.875	19.6
-2.25	110, 110, 110, 110	110	19.6

*巻き数：巻き付け角 2π を1として換算

巻き付け角が90度（巻き数0.25）の際は、ペットボトルが4本（78.4N）ではフォースゲージの目盛りが大きく変動しないのでペットボトル1本（19.6N）で測定を行った。

表1で得られたデータから T/T_0 を計算した。計算された T/T_0 とその時の巻き付け角を図5に示す。

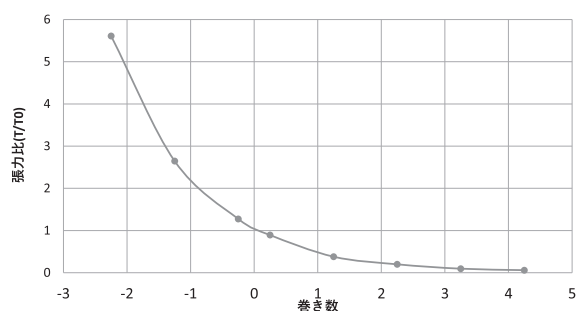


図5. 張力比 T/T_0 と巻き数との関係

上記の図5の縦軸の張力比を対数として表した $\log_e(T/T_0)$ として図6に示す。

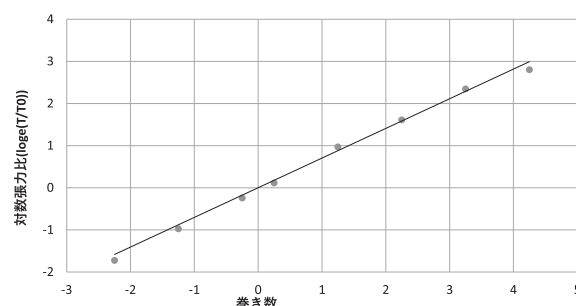


図6. 張力比 T/T_0 （対数表示）と巻き付け角との関係

図6において一直線に測定データが並んだことから(1)式が妥当であるとわかる。図6の直線の傾きは摩擦係数 μ を示し、本実験では $\mu=0.1121$ と推定された。

次に実際のウインチで吊り荷を吊り下げた状態での実証として、ワイヤロープの固定端をドラムにガムテープで固定し捨て巻き量を減らした場合にどの時点でワイヤロープが抜けるかの確認を行った。図7に示すように供試ウインチとは別にもう一つの補助ウインチを用意し、供試ウインチの巻き下げ量と補助ウインチの巻き上げ量を合わせることで、吊り荷の吊り高さを一定に保ち安全性を確保した。

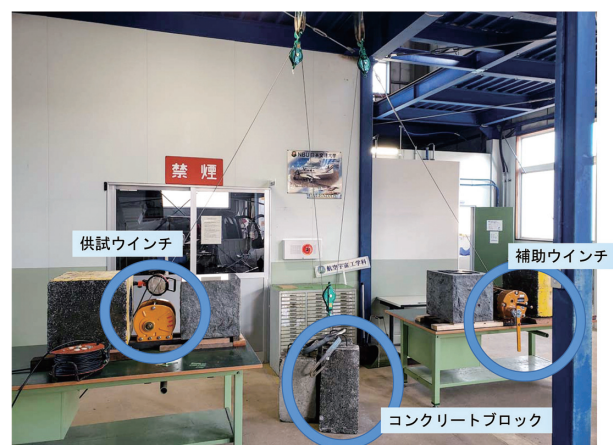


図7. 実験環境について

ワイヤロープが抜け始める時の捨て巻きの巻き付け角を3回測定し、全て1090度（3巻+10度）であった。実験で用いたコンクリートブロックは別途計測の結果105 kg（1030N）であることを確認しているため、ロープの張力は半分の515Nである。ガムテープによる固定端にかかった力を(1)式の式で計算すると63.5Nであった。別途ワイヤロープをドラムに取り付けるためにガムテープをワイヤロープに巻き付けフォースゲージでワイヤロープを引っ張りガムテープのワイヤロープを固定する

力を測定したところ、100Nまで保持できているので、ワイヤロープが1090度（3巻+10度）で抜け始めた結果は妥当である。

4. まとめ

摩擦により捨て巻きされたワイヤロープに張力が伝達されるモデルを考えた。同モデルの検証としてワイヤロープの巻き付け角とその時の張力を測定する実験を行い、同式は妥当であることを確認した。

クレーン構造規格⁽¹⁾では2巻き、マックスプル社の技術情報⁽²⁾では3巻きというように捨て巻の数が異なるのは、ウインチドラムの摩擦係数の値が材料やその表面処理によって異なることと、固定端の強度をいくらかと想定するかの違いである。

参考文献

- (1) 厚生労働省-労働安全衛生法
(昭和四十七年法律五十七号)
第三十七条第二項及び第四十二条の規定

- (2) マックスプル工業株式会社 捨て巻き
https://www.maxpull.co.jp/wp_maxpull/wp-content/uploads/2018/03/sutemaki.pdf

〈付録〉

マックスプル社技術情報との比較

マックスプル社が「捨て巻き数とワイヤ止めにかかる力との関係²⁾」を開示しているので、式(1)との比較検証を行った。表2の上側のデータは、摩擦係数 $\mu=0.0998$ 、張力 T_0 を1Nとしてワイヤ止めにかかる張力 T を(1)式で計算した結果である。

表2. 計算した張力とマックスプル社の資料

捨て巻き数	0	1	2	3	4
(1)式から計算した張力	1	0.5341	0.2853	0.1524	0.0814
マックスプル社の捨て巻き資料	1	0.534	0.285	0.152	0.081

- (1) 式を用いて計算された値とマックスプル社の開示値は一致しており、マックスプル社は摩擦係数 μ を0.0998で計算していると推察する。

(2022年12月21日受理)