

ケーブル構造の振動特性と減衰特性に関する基礎的研究
 - 単一ケーブルにおける初期張力量と変位量が減衰性能に及ぼす影響 -

Basic Study on Vibration Characteristics and Damping Characteristics of Cable Structures
 - Effects of Initial Tension and Displacement on Damping Performance in Single Cable -

○攝待光海³, 宮里直也¹, 岡田章², 鴛海昂¹
 *Koga Settai³, Naoya Miyasato¹, Akira Okada², Akira Oshiumi¹

Abstract: Among cable structures, structures have been realized that take advantage of the high specific strength and long length of cables, and structural expressions such as transparency and light weight have been attracting attention. While several reports exist on the damping characteristics of cable structures based on actual measurement results, the accumulation of data remains insufficient. This paper presents free vibration experiments conducted on a single cable exhibiting strong geometric nonlinearity. The aim is to understand the vibration characteristics of cable structures and to investigate the effects of initial tension and displacement on their damping characteristics.

1. はじめに

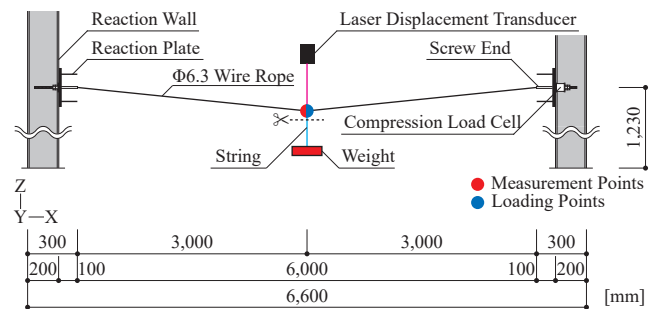
ケーブル構造の中でも、ケーブルの高い比強度や長尺性を利用し、従来の構造の引張部材だけでなく圧縮部材にもケーブルを適用した架構が実現され、透明性や軽量性などの構造表現が注目されている。具体的には、ケーブル・ガーダー、テンセグリック・トラス、放射型ケーブル屋根構造などが挙げられる。

この種の構造は比較的軽量となるため、強風時には振動を伴う大きな変形が生じる可能性がある。この振動に対する対策として、(1)ケーブルに導入する初期張力量を大きくして剛性を高める、(2)減衰装置をケーブル構造に付属させる等が挙げられる^[1]が、その際には減衰性能の評価も必要となる。ケーブル構造の減衰特性については実測結果がいくつか報告されているが、放射型ケーブル屋根構造を対象とした既報^[2]では、初期張力量の増加に伴い、減衰定数が増加する性状が報告されている。このようにケーブル構造の減衰性能においては、初期張力量や変位量が密接に関係していると考えられるが、そのデータの蓄積は未だ不十分である。

以上より、本報では、幾何学的非線形性の強い単一の直線ケーブルを対象として自由振動実験を行い、ケーブル構造の振動特性を把握するとともに、初期張力量および変位量が減衰特性に及ぼす影響について検討を行う。

2. 自由振動実験概要

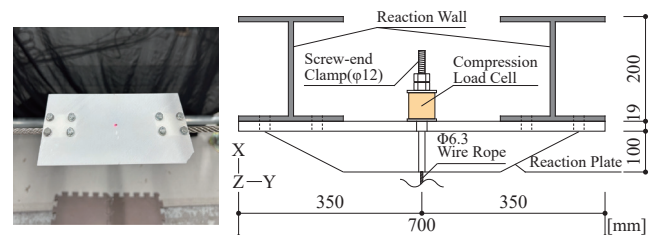
実験概要をFig. 1, 実験パラメータをTable 1に示す。試験体は、ロープ部のスパンが6mのネジエンドタイプの単一直線ケーブル(φ6.3, 構造用ステンレス鋼ワイヤロープ)であり、ケーブル中央部に錘を載荷し、切断することで自由振動させた。ケーブルは治具



(a) Loading Points and Measurement Points

(b) Material Specification

Cable construction specification		Material Type	
Single Wire Rope	Φ6.3	Structural Stainless Steel Wire Rope	
Support Condition	Pin Support (Two points :both ends)	Young's Modulus	$E=1.57 \times 10^4$ [N/mm ²]
		Density	$\rho=8.29$ [g/cm ³]



(c) Irradiation Plate

(d) End Detail

Figure 1 Outline of Experiment

Table 1 Experiment Parameters and Initial Conditions
 (Constant Load :70kg)

Initial tensile force [kN]	2,0	3,0	4,0
Initial displacement [mm]	67.05	47.96	34.73
Maximum tensile force [N]	2,900	3,612	4,470

を用いて反力壁に固定し、初期張力の導入はネジエンド部の引き込み、張力管理はケーブル片端部に設置したロードセルにて行った。

測定は、変位量と張力量とし、0.001秒間隔で測定した。また、変位量はスパン中央部に設けた照射板

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大名誉教授 3 : 日大理工・院(前)・建築

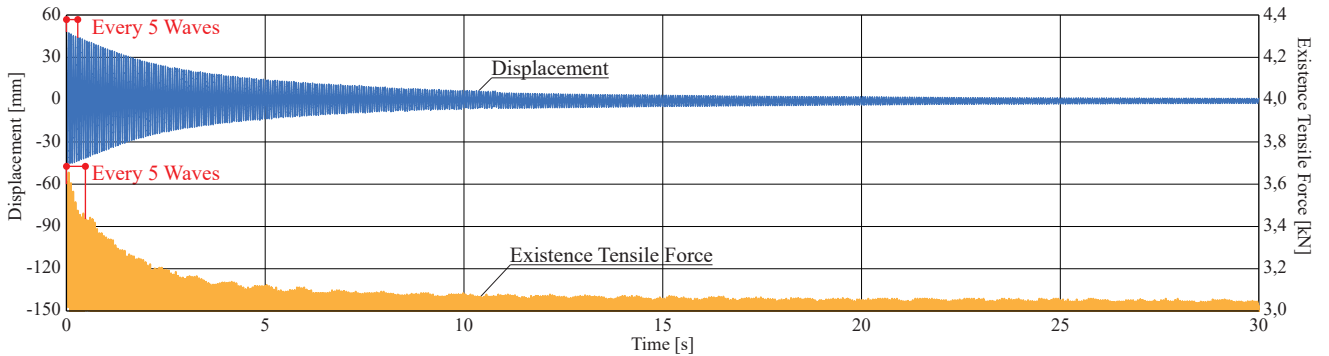


Figure 2 Time History Waveform with Initial Tension of 3kN (Blue: Displacement, Yellow: Existence Tensile Force)

(Fig. 1-c)にレーザー変位計を照射することで行った。パラメータは、初期張力量2, 3, 4kN(破断荷重×0.078~0.155)の3ケースとし、初期変位量はすべてのケースで荷重700Nを加えた際の変位とした。

3. 自由振動実験結果

初期張力量3kN時の自由振動時刻歴波形をFig. 2に、変位量30mmからの変位および存在張力の包絡線をFig. 3に示す。

Fig. 2およびFig. 3より、固有周期は、2kNで約0.07s, 3kNで約0.06s, 4kNで約0.05sであり、振動初期より応答は小さくなる一方で、開始から30s経過した段階でも、振動は収まることなく微振動が続き、全体的に細かく波打つような性状を示している。また、この性状は初期張力量が小さいほど顕著であった。これは、初期張力量が小さい場合、幾何剛性が小さくなり、これに伴い復元力も小さくなるためと考えられる。

次に、実験結果を用いて、単一ケーブルの減衰性能を評価する。本報では、自由振動波形におけるピーク値5波分から対数減衰率 δ を算出し、対数減衰率 δ を 2π で除し、 10^2 を乗じることで減衰定数 h (%)を算出した。

減衰定数-変形角関係をFig. 4-a)、存在張力-変形角関係をFig. 4-b)に示す。なお、変形角は、変位量を架構の半スパン(3000mm)で除した値とし、変形角と存在張力は減衰定数を算出した5波分のピーク値の平均値とした。また、本報では変形角0.0017~0.01radの存在張力と減衰定数を基に分析を行う。

Fig. 4より、変形角および初期張力が小さくなるにつれて、減衰定数は小さくなる傾向を示した。また、その変化は非線形的である。これは、幾何剛性による影響に起因していると考えられる。また、最大および最小の変形角における減衰定数の差は、初期張力の減少に伴い大きくなる。これは、存在張力の変化量が同条件下で大きくなる影響であると考えられる。ただし、本報の実験結果より算出した減衰定数は最大でも約0.34%程度であり、比較的小さな値を示している。本報で対象としたようなケーブルを中間支持形式で用いる

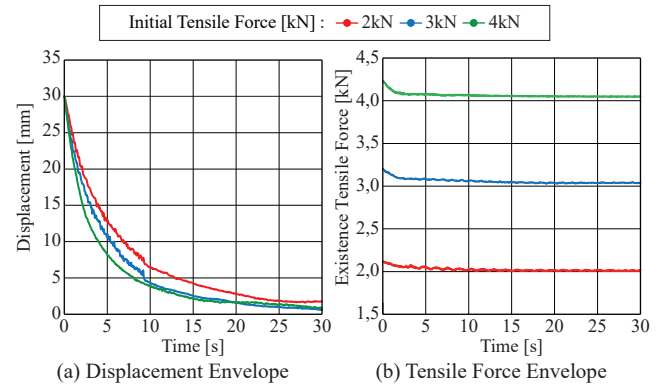


Figure 3 Vibration Characteristics

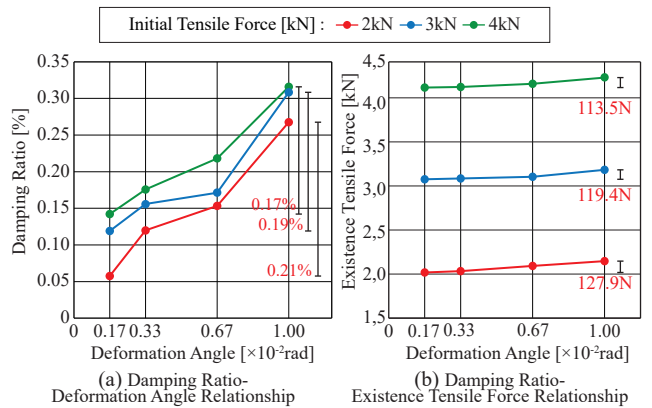


Figure 4 Analysis of Damping Characteristics

場合は、中間接合金具、仕上げや吊り具が取り付けると考えられるため、それらによる質量等も考慮して、今後検討する必要があると考えられる。

4. まとめ

本報では、単一ケーブルに対して自由振動実験を行い、基本的なケーブル構造の振動特性を把握するとともに、張力量および変形量と減衰定数に与える影響を把握した。

【参考文献】

- [1]日本建築学会：「ケーブル構造設計指針・同解説2019年版」, 2019.12
- [2]金田崇興, 他：「テンションリングを有する放射型ケーブル屋根構造の力学特性に関する研究(その4)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp. 1077-1078, 1998. 7