

B-16

ケーブル構造の動的荷重下における衝撃的張力変動に関する基礎的研究

Basic Study on Impulsive Change of Tensile Force of Cable Structure under Dynamic Loads

○上松幸平³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造¹, 斎藤公男²

*Kohei Uematsu³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi¹, Masao Saitoh²

Abstract : Generally, the cable structure is designed in the range of elastic state. In structural design, the slackness of string is permitted in case of the cable structure which resist only at the time of additional load. In this case, the influence on the frame by impulsive change of tensile force become too large to ignore by the slack accompanying slackness of string of a cable. In this paper, the impulse force accompanying slack of a cable is reported and the validity of an analysis model is verified.

1. はじめに

ケーブル構造は、二次設計レベルの設計荷重に対しても、弾性範囲内で設計されることが一般的であり、終局耐力の把握及び想定された荷重レベル以上の荷重下における架構の状態や、安全性については論じられることは少ない。また、ケーブル構造は抵抗形式により、必要な初期張力(以下、PS)の大きさが異なり (Fig. 1), ステイやブレースなどの付加荷重時のみ抵抗するケーブル構造に関しては、常時張力を小さくし、張力消失を許容した設計も行われている。このような場合、ケーブルの張力消失に伴う緩みにより、過大な張力変動の発生の可能性が想定され、衝撃的な張力変動による架構への影響やクランプ金物の滑動等が報告されている (既報^[2])。このような衝撃的な張力変動による最大張力Tmaxに関しては、応力伝播の考え方を基に振動実験の結果に基づき、評価する研究も進められている (既報^[3])。

本研究では、ケーブルの緩みに伴う衝撃力について、応力伝播モデルの提案及び、解析モデルと振動実験結果を比較し、解析モデルの妥当性の検証を目的とする。

2. 応力伝播モデルの検討

応力伝播とは、ケーブルの端部に力(F)が瞬間的に加わった時、端部から張力が伝播し最終的にTmaxに達するという概念に基づくものである。ケーブルの場合、初期伸びの影響があることから、最大張力や載荷速度による応力伝播速度が変化する可能性が考えられ、これらを把握するため数値解析を行った。

2-1. 数値解析概要

解析概要をFig. 2に示す。ケーブル材内部の応力伝播を把握するため、A点に強制変位で衝撃的な荷重を与えた。応力の伝播を詳細に把握するため要素数は300分割、材料は抗圧とし、パラメータはひずみ速度、初期伸びの有無とする。

2-2. 初期伸びの有無による比較

ひずみ速度0.1の時の張力-時間関係の結果をFig. 3に示す。初期伸び-無に比べ、初期伸び-有の最大張力は約0.7倍となることが確認された。これは、初期伸びによる衝撃力吸収効果の影響だと考えられる。

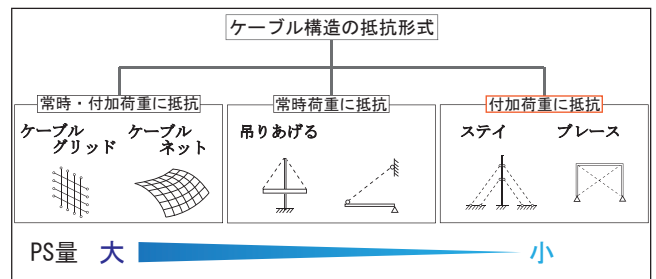


Figure 1 Resistance form of Cable Structure

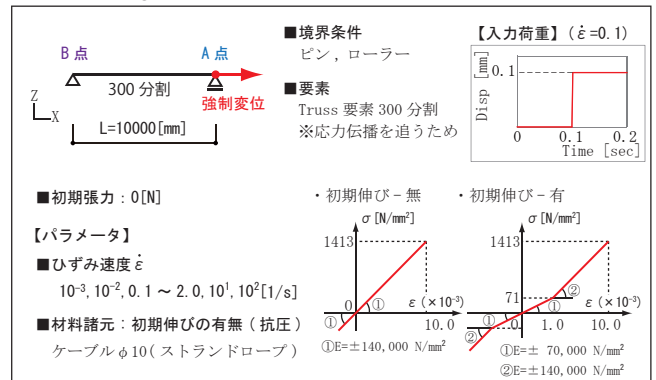


Figure 2 Outline of Numerical Analysis

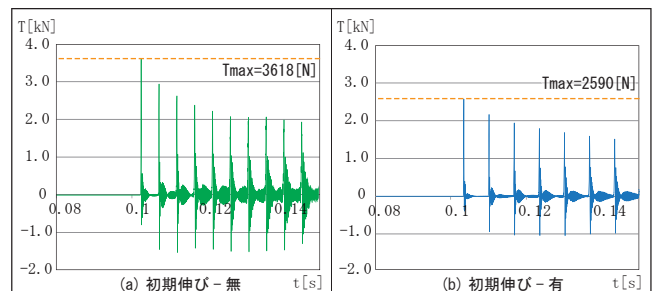


Figure 3 Comparison between with and without Existence of Initial Stretch ($\dot{\epsilon}=0.1[1/s]$)

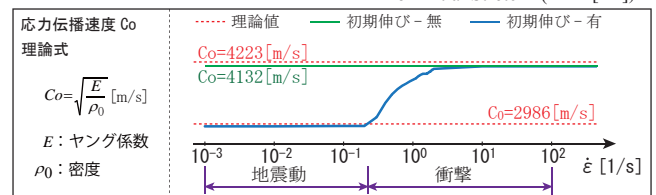


Figure 4 Relationship between Strain Rate and Stress Propagation Speed

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

2-3. ひずみ速度による応力伝播速度の比較

応力伝播速度 C_0 は、一般的に材料特性から算出が可能であるが、ケーブルは初期伸びによりFig. 5(a)のような、非線形な材料特性を有する。この特性が応力伝播速度 C_0 に及ぼす影響を把握するため、理論値と解析値(初期伸び-有・無)を比較した。ひずみ速度をパラメータとし、ひずみ速度は荷重時間一定として、荷重の大きさを変更した。解析結果をFig. 4に示す。赤の点線は理論値、緑と青の実線は解析値(初期伸び-有・無)の応力伝播速度である。初期伸び-無(線形な材料特性)の応力伝播速度は一定なのに対して、初期伸び-有(非線形な材料特性)の場合は、ひずみ速度により応力伝播速度が変化することが確認された。

3. 時刻歴応答解析

ケーブル構造におけるケーブルの衝撃的な張力変動を把握するため、一方向(X方向)の地震波加振を行った。対象モデルとして、既報^{[1][2]}で採用したテンセグリック・タワー(以下「Tタワー」)を用いた。

3-1. 解析概要

Fig. 5に解析概要を示す。入力波形はBCJ-L2(Fig. 5(c))とする。ケーブルの材料特性は、非抗圧性を考慮し、PS量は1000N(張力消失するレベル)、6000N($C_0=1.0$ の荷重レベルに対して張力消失しないレベル)とした。なお、最下層のケーブルAは応力伝播を把握するため、Fig. 2の応力伝播モデルに置換した。

3-2. 解析結果と実験値の比較

PS1000の結果より、初期状態から応力が下に向かって伝播していることが確認できる(Fig. 6)。Fig. 7に張力-時間関係の結果を示す。なお、実験値は既報^[2]の同条件の実験結果を参照した。張力消失-無の場合、最大と最小の張力差が解析値の方が若干大きくなったが、ほぼ同様の傾向を示した。しかし、張力消失-有の場合、数値解析結果は実験値の約0.8倍になり、本解析モデルは張力消失による衝撃的な張力変動を十分に模擬できていない。

Fig. 8に張力-ひずみ速度の解析結果を示す。張力消失-無は定常状態を示しているが、張力消失-有ではFig. 8の①(高張力域)と②(低張力域)でひずみ速度が大きくなる。これは、①(高張力域)はひずみ速度が速くなると応力が大きくなるという、ひずみ速度依存性に順じているもので、②(低張力域)は、初期伸びの影響により、低張力でもひずみが大きくなることで、ひずみ速度が大きくなったと考えられる。

4. まとめと今後の検討

数値解析において、応力伝播が評価可能であり、提案した解析モデルの有効性が把握された。しかし、衝撃的な張力変動を十分評価されていないことから、さらなるモデルの検討が不可欠である。

【参考文献】

- [1]安並, 岡田, 宮里, 斎藤: テンセグリック・タワーの張力消失時における動的挙動に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集B-1(関東), pp. 827-832, 2011. 8
- [2]赤星, 岡田, 宮里, 斎藤: ケーブルクランプ金物部の滑动を考慮したテンセグリック・タワーの地震時応答性に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集B-1(東海), pp. 897-902, 2012. 9
- [3]熊坂, 岡田, 宮里, 斎藤: ケーブル構造の動的荷重下における衝撃的張力変動に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集B-1(北海道), pp. 1115-1116, 2013. 9

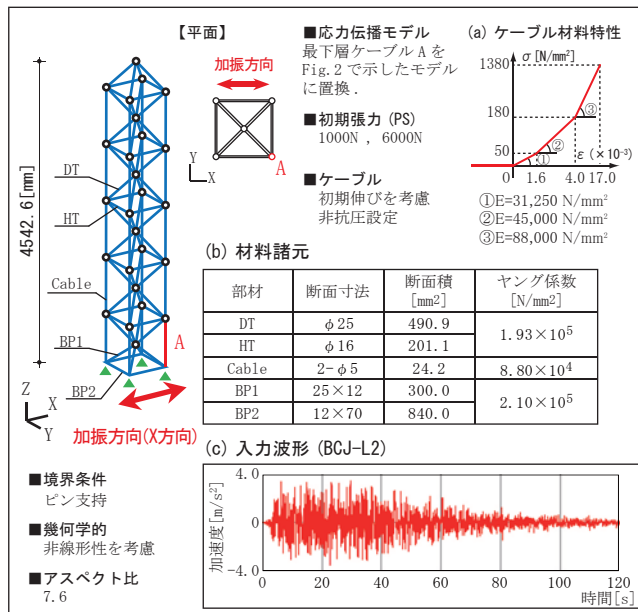


Figure 5 Outline of Numerical Analysis

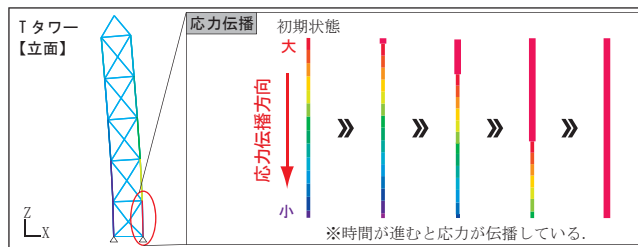


Figure 6 Diagram of Stress Propagation (PS1000)

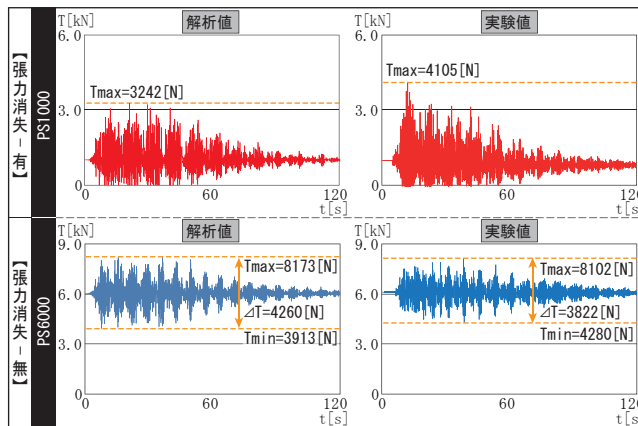


Figure 7 Comparison of Cable-Force Obtained from Analysis and Experiment

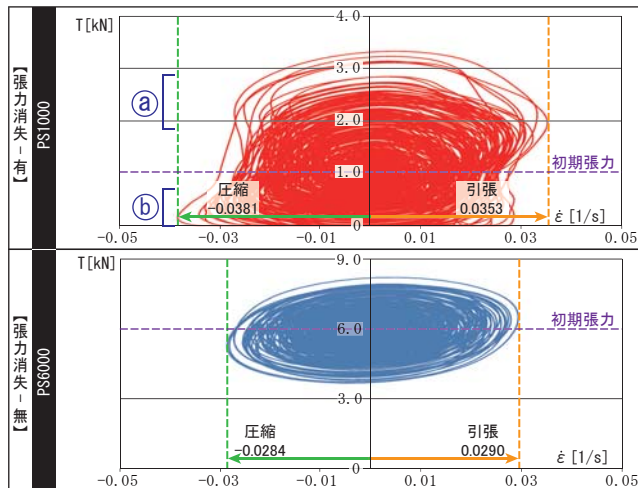


Figure 8 Results of Numerical Analysis (Strain Rate)