

ケーブル破断時におけるケーブル構造の実験 および動的応答解析による検討

7021562 柴田真杜
指導教員 青木由香利

1. 研究背景・目的

先行研究ではケーブルが破断することによる衝撃により他のケーブルが破断していくといった連鎖崩壊の研究が進められてきた。¹⁾ しかし、そこで用いられた破断再現手法の妥当性が不明瞭であったため、本研究では実験と数値計算を比較することでその手法の妥当性を判定していく。さらに橋梁のような複雑なモデルでのケーブル破断時における挙動再現の妥当性を実験と数値計算を通して確認する。

2. 先行研究での破断再現手法

先行研究で使用されたケーブル破断再現手法はまずケーブル破断前のケーブル張力 T を求める。次に破断させるケーブルをなくしたモデルを作成し、求めた張力 T を引張力としてケーブルが接続されていた部分に載荷する。最後に載荷していた引張力を短い時間で 0 にすることで破断したことを再現する。

3. 破断再現手法の妥当性確認

1 自由度系の簡易的なモデルで破断再現手法の妥当性を確認する。実験モデルは 3 本のばねで鋼材を吊るしている。図-1 参照。

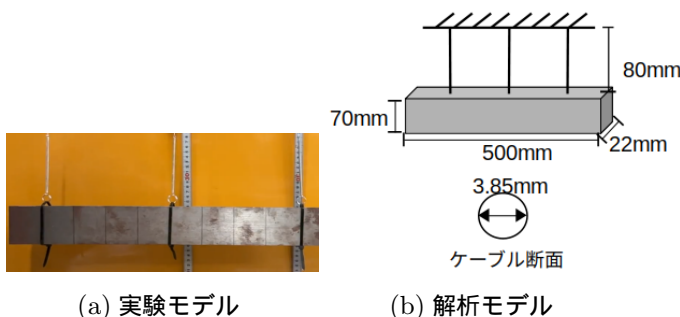


図-1 手法確認モデル

鋼板の材料特性は、密度 $9.48\text{ton}/\text{m}^3$ 、ヤング率 200GPa 、ばねの材料特性は、密度 $3.5\text{ton}/\text{m}^3$ 、ヤング率 5.12MPa である。

3.1 実験方法

中央のケーブルを破断させた時の鋼板の挙動を iPhone のカメラでスロー録画し最大変位を読み取る。

3.2 実験と解析結果

破断後の最大変位が実験では 68mm 、解析では 65mm となり相対誤差は 4.4% となった。相対誤差が小さいことから、先行研究で使用されてきた破断再現手法の妥当性を確認できた。

4. 橋梁モデルでの検討

橋梁のように挙動が 1 自由度系よりさらに複雑化するモデルでの挙動再現の妥当性を確認する。橋梁モデルを作成する際、まずは実験しやすさを考慮し斜張橋の主塔とケーブルのみを取り出したケーブル 1 本モデル、2 本モデルを作成した。図-2 参照。

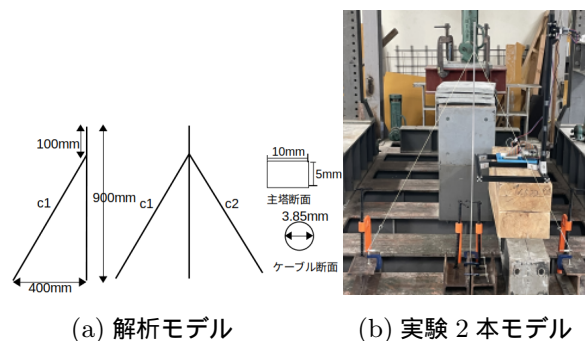


図-2 斜張橋モデル

主塔の材料特性は、密度 $7.7\text{ton}/\text{m}^3$ 、ヤング率 200GPa 、ケーブル (ばね + アラミド系) の材料特性は、密度 $3.4\text{ton}/\text{m}^3$ 、ヤング率 40.0GPa である。

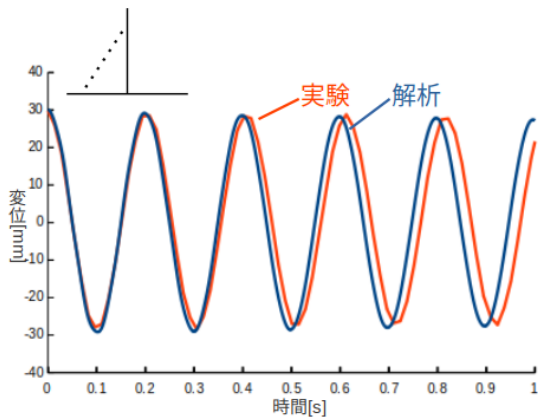
4.1 実験方法

超音波センサでケーブル破断時の主塔先端の変位を測定した。

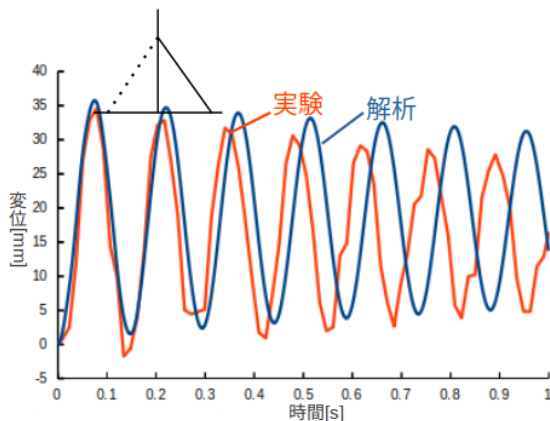
4.2 実験と解析結果

実験と解析による主塔先端部の挙動は図-3 である。

1 本モデルでは実験と解析で近い値となったが、



(a) 1 本モデル



(b) 2 本モデル

図-3 主塔先端変位の時刻歴波形

2 本モデルでは、ずれが生じた。この理由として、2 本モデルではケーブルが残るため単振動ではなくなること、超音波カメラで主塔の揺れをとらえきれなかったことの 2 つが考えられる。

5. 解析と実験手法の再検討

これまでケーブルにはり要素を使用しており、圧縮力が作用していた。そこで圧縮力が作用しない cable 要素を用いて解析を試みた。この cable 要素を使用する際、salome-meca では幾何学的非線形を考慮する必要があった。幾何学的非線形を考慮することでケーブル破断後のケーブルと鉛直軸のなす角度の変化を考慮した計算が解析上で行われる。実験手法も見直し、よりフレーム数の大きい iPhone のカメラでスロー録画したものを画像解析することで挙動をとらえることにする。再検討を行った解析と実験の結果が図-4 図-5 である。実験と cable 要素による解析の波形が非常に近いこと、ケーブル張力が圧縮域に達せず 0 になっていることが実験と解析

で確認されたことから cable 要素を使用した解析手法は妥当だと判断する。

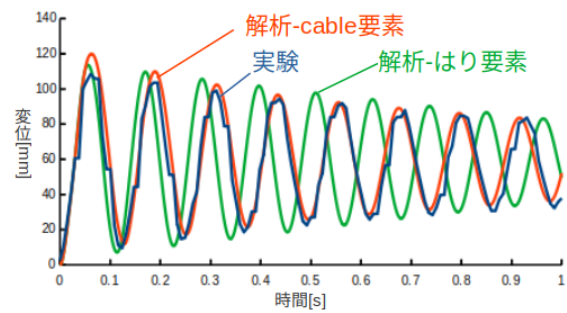


図-4 主塔先端変位の時刻歴波形

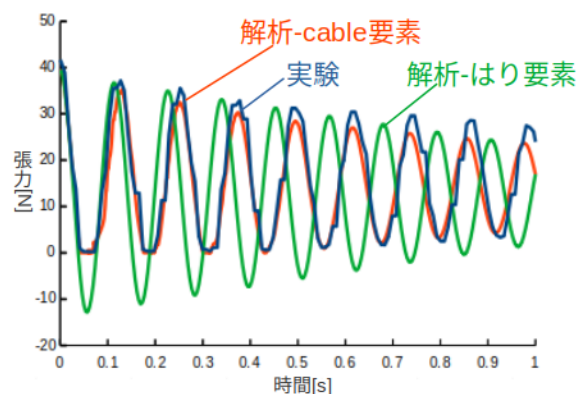


図-5 ケーブル張力の時刻歴波形

6. まとめと今後の課題

先行研究で使用された破断再現手法の妥当性を確認できた。また橋梁モデルのケーブル破断時の挙動再現はケーブルに圧縮を作用させず、さらに幾何学的非線形を考慮することで可能になることが実験と解析を通して確認された。今後の課題はケーブル本数を増やしたときの幾何学的非線形の考慮が与える影響と主桁を含むより実際の斜張橋に近いモデルでの応答を検討していく。

参考文献

- 1) Y. Aoki, H. Tsunoda, T. Akiyama, H. Gotou, S. Nakamura: Dynamic chain reaction analysis of a cable-stayed bridge by sudden loss of stays considering cable corrosion
- 2) D. Negrut, R. Rampalli, G. Ottarsson, A. Sajdak: On the Use of HHT Method in the Context of Index 3 Differential Algebraic Equations of Multibody Dynamics
- 3) ZhangChao, HaoHong, BiKaming, YanXueyuan: Dynamic amplification factors for a system with multiple-degrees-of-freedom