

初期張力を有する部材の固有振動数の解析手法と ノッチが固有振動数に与える影響の検討

7021627 皆川 恭輔
指導教員 青木 由香利

1. はじめに

現在、斜張橋や吊り橋に使用されているケーブルは被覆されていることで内部の劣化具合がわからない。¹⁾そこで本研究では腐食が固有振動数や応答加速度に与える影響を検討していく。さらに、初期張力を有する部材の固有振動数を求める解析手法を見つけることができていないので、その解析手法についても検討していく。

2. 初期張力を有する部材の固有振動数を求める解析手法の検討

(1) 解析モデル

解析モデルは秋田県由利本荘市にある由利橋のケーブルを対象にしており、長さは 71m で直径は 0.315m である。ケーブルのヤング率は 195GPa、ポアソン比は 0.3、密度 $7800\text{kg}/\text{m}^3$ であり、PWS を 1 本の円柱でモデル化した。

(2) 解析手法

モデルは solid 要素で作成し、図-1 のように片方を完全固定、もう一方をローラー固定とし、張力として 100MN を与えた。解析時間は全体で 30 秒とした。0~5 秒で張力を段階的に载荷し、その後張力载荷によるケーブルの振動を除去するための時間を 10 秒間取り、インパクトを与え、解析終了まで各測定点の速度と加速度を測定した。測定した速度を FFT 処理することで卓越振動数を得る。

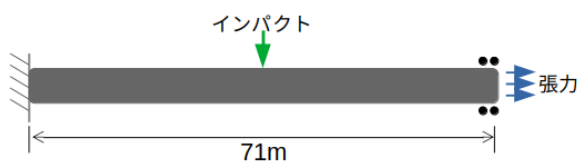


図-1 解析手法

3. 検討結果

図-1 の状態で FFT 処理した結果が表-1 である。

理論値との相対誤差が非常に大きい。また、張力を 0 にして解析を行ったところ全く同じ卓越振動数になった。このことから張力によるケーブルの復元力が再現できていないということがわかった。

この点を解消するために幾何学的非線形性を考慮した解析を行った。幾何学的非線形性は変形や応力による部材の復元力の変化を考慮できる。そのため張力がかかった時のケーブルの復元力を再現できる。その解析結果を表-2 に示す。理論値との相対誤差が非常に小さくなり、卓越振動数の正弦波をモデルに与えたところ 2.83Hz では 1 次モード、8.50Hz では 3 次モードで振動していた。このことからケーブルの振動を再現するためには幾何学的非線形性を考慮する必要があることがわかった。

表-1 線形解析

解析結果	卓越振動数	理論値	相対誤差
1 次モード	0.12Hz	2.84Hz	2258 %
3 次モード	1.16Hz	8.51Hz	634 %

表-2 幾何学的非線形性を考慮した解析

解析結果	卓越振動数	理論値	相対誤差
1 次モード	2.83Hz	2.84Hz	0.35 %
3 次モード	8.50Hz	8.51Hz	0.12 %

4. 振動解析

次に上述の手法を用いて、腐食が固有振動数に与える影響を検討する。

(1) 解析モデル

解析モデル図-1 に示すものである。また、図-2 のように被覆もモデル化している。被覆部分は高密度ポリエチレンとしてヤング率は 1GPa、ポアソン比 0.3、密度は $900\text{kg}/\text{m}^3$ とした。さらに、インパクトを有効に伝達するためにケーブルと被覆の間に仮想材料を設け、その仮想材料のヤング率は

50MPa、ポアソン比 0.3、密度は $10\text{kg}/\text{m}^3$ とした。今回の振動解析では腐食の中でもノッチに焦点をあて、被覆の内側にあるケーブル部分にノッチができたことを想定した。図-3 のモデルと健全モデルから、ノッチによる固有振動数、応答加速度への影響を検討していく。

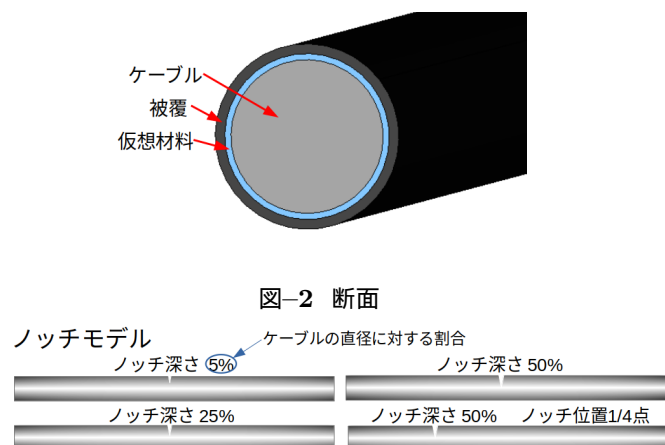


図-3 ノッチと広域腐食のモデル

(2) 解析手法

振動解析は幾何学的非線形性を考慮して解析を行う。モデルの固定条件は先程と同じにして、張力は 30MN とした。本解析ではさらに重力を載荷することでケーブル自重とサグを再現した。解析の時間設定は先程と同じだが、重力は張力載荷終了後に 5 秒間で段階的に載荷していき、その後張力載荷と重力載荷によるケーブルの振動を除去する時間を 5 秒間取る。

(3) 解析結果

表-3 は健全モデルとノッチモデルの固有振動数の相対誤差をまとめたものである。ノッチが直径に対して 50 % と深く形成されても固有振動数への影響はなかった。

表-3 健全モデルとの相対誤差

モデル	1 次モード	3 次モード	5 次モード
健全時	1.56Hz	4.88Hz	8.40Hz
深さ 5 %	0 %	0 %	0 %
深さ 25 %	0 %	0 %	0 %
深さ 50 %	0 %	0 %	0 %
深さ 50 % 1/4 点	0 %	0 %	0 %

次に応答加速度について検討する。応答加速度については健全、深さ 5 %、深さ 50 % モデルから考察していく。図-4 ノッチから離れた部分での応答加速度である。図-4 からノッチ深さが 50 % のモデルにおいて応答加速度が大きくなっていることがわかる。これは高次モードの固有振動数の違いが原因だと推測される。

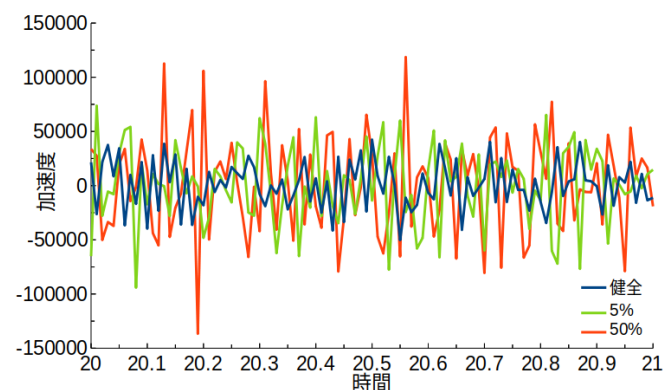


図-4 応答加速度

5. まとめと今後

本研究により初期張力を有する部材の固有振動数を求める際は幾何学的非線形性を考慮した解析を行う必要があることがわかった。

振動解析ではノッチが固有振動数や応答加速度にもたらす影響を検討した。ノッチの深さや位置にかかわらず固有振動数への影響は見られなかった。しかし応答加速度については、ノッチによる張力変動や高次モードの固有振動数が変化していることにより大きくなる部分があった。

今後はこの応答加速度が変化したことについてさらに検討して非破壊検査でノッチを見つける手法を確立することを目的とする。また、現在の橋梁全体の振動解析はケーブルの張力や剛性を無視して解析を行っているが、それらを考慮して橋梁全体での振動解析を行い、橋梁全体の固有振動数について検討していきたい。

参考文献

- 1) 神田 隆仁, 船木 孝仁, 高橋 昌平, 高野 優, 越前谷 宏昭, 雪沢大橋ケーブル破断への対応と今後の維持管理について 2014