

ケーブル破断時の衝撃荷重による動的応答値の算出

環境構造工学分野 7020583 千代岡聖真
指導教員 青木由香利

1. 背景目的

吊り形式橋梁において、一本目のケーブルが破断した後に、次々にケーブル破断が生じるような連鎖崩壊は、橋梁の落橋などを引き起こす重大な事故につながるため、防ぐべき現象であり、そのメカニズムの研究などが進められている¹⁾。連鎖崩壊を数値解析的に解く際に、最も重要な点は、一本目が破断した際に生じる衝撃力の再現であり、本研究では、青木ら¹⁾が採用している連鎖崩壊解析手法の破断による衝撃力を動的応答値を用いて検証するものである。

2. 数値解析モデル

本研究では、衝撃力が構造物に与える影響を判断しやすいように、**図-1**に示すようなケーブル1本で片持ち梁を支えている1本モデルと、**図-2**に示すケーブル2本で支えている2本モデルを用いて解析を行った。片持ち梁は高さ10mm、幅50mm、厚さ2mmの薄肉矩形断面、ケーブルは直径8mmの円形断面とした。桁の先端とケーブル要素をピン接合している。

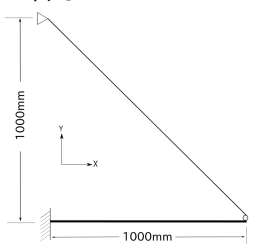


図-1 1本モデル

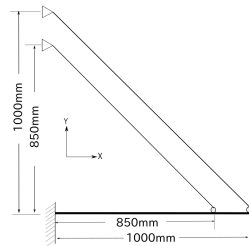


図-2 2本モデル

2本モデルでは桁の先端から150mmの場所に2本目のケーブルをピン接合した。

梁部材はSM400材の鋼材を想定し、ヤング率を200GPa、ポアソン比0.3、降伏応力を235MPaとした。ケーブル部材はST1570材を想定し、ヤング率を195GPa、ポアソン比0.3、第一降伏応力を1160MPa、第二降伏応力を1570MPaとした。

3. 解析手法

本研究の解析にはFEM解析ソフトウェアのSalome-Meca2020を使用した。

本解析では、最初に選んだケーブルを1本破断させた際に発生する衝撃荷重により、梁の先端がどれだけ衝撃を受けるか、を動的応答解析により検討した。時間間隔は0.005秒間とした。また本研究では、最大衝撃力に着目しているため、減衰定数を考慮せずに解析を行った。連鎖崩壊手法は青木¹⁾らが用いた手法と同じである。その手法はまず最初にケーブルがある解析モデル（健全モデルと呼ぶ）に対して死荷重を梁部分全体に等分布荷重として梁全体に、ケーブルには初期張力を初期ひずみとして引っ張り方向に載荷する。動的応答解析において、これらの荷重を載荷する際に、解析モデルが振動するのを防ぐため、十分に長い時間かけて荷重係数が1になるまで載荷していく。本研究では100秒間とした。その後、解析モデルを安定させるため、荷重係数が1の状態ですらに解析を続け、定常状態であることを確認する。この解析より、破断させたいケーブル張力の時刻歴応答を得る。

次に、最初のケーブルが破断したモデル、すなわちモデルから最初の1本のケーブル要素のみを取り除いたモデルを想定する。そのモデルに、境界条件と死荷重はそのままとして、破断させるケーブルC1は先に得たケーブル張力を梁の先端の接合部分に引張力として作用させ、解析時間120秒で瞬間的に0になるように設定し、破断による衝撃力を再現した。ケーブル破断は、破断させたいケーブル要素をあらかじめ解析モデルから取り除き、一つ前の解析で得た、破断させたいケーブル張力を桁の先端に載荷することで、ケーブルがあるかのように再現する。

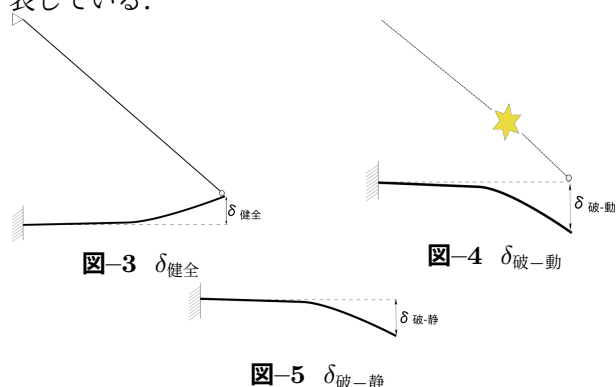
本研究ではこれによって得られる衝撃を梁の先端変位によって評価し、衝撃荷重の大きさを検討する。またケーブル破断にかかる時間の衝撃力への影響を検討するため、ケーブル破断時間を5秒、1秒、0.01秒、0.005秒として解析を行った。

4. 動的応答値

動的応答値とは動的解析により発生する衝撃を表す指標で、式(1)によって求める。

$$\text{動的応答値} = \frac{\delta_{\text{破-動}} - \delta_{\text{健全}}}{\delta_{\text{破-静}} - \delta_{\text{健全}}} \quad (1)$$

ここで、 δ は桁の先端変位のことであり、 $\delta_{\text{健全}}$ は図-3から得られる健全モデルの静的応答値、 $\delta_{\text{破-動}}$ は図-4の動的応答解析の最大値、 $\delta_{\text{破-静}}$ は図-5に示す、ケーブル破断モデルの静的応答値をそれぞれ表している。



5. 解析結果

図-6に、1本モデルにおける先端変位の時刻歴応答を示す。グラフより、破断時間によって、動的応答値に顕著な差が確認できる。

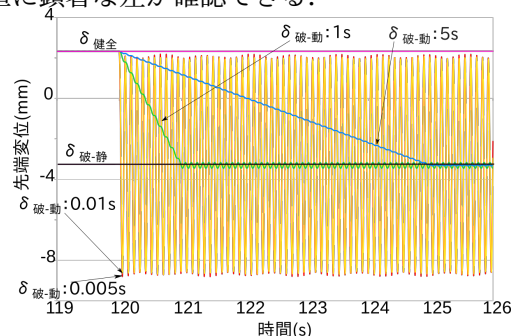


図-6 1本モデルの先端変位

表-1に各モデルの動的応答値を示す。両モデルとも破断時間が短い方が応答値が大きくなっていることが確認できる。特に、破断時間0.005s, 0.01sにおいては大きな衝撃力が出ていることも確認できた。しかし、2本モデルの動的応答値の値が1本モ

表-1 各解析の動的応答値

ケーブル破断時間 (s)	1 本モデル	2 本モデル
0.005	1.95	1.47
0.01	1.93	1.27
1.0	1.02	1.00
5.0	1.01	1.00

デルと比較して大きさに差があるが、これはケーブルが複数本あることで、解析モデルの冗長性が大きくなったためだと思われる。

次に、桁の先端に集中荷重を100N掛けた場合の動的応答値を導出した。これは先の解析結果が単振動的な揺れだったため、桁の先端に荷重を掛けたほうがより揺れ、応答値も変動すると考え、その解析を行なった。表-2に各モデルの動的応答値を示す。

表-2 各解析の動的応答値

ケーブル破断時間 (s)	1 本モデル	2 本モデル
0.005	1.97	1.47
0.01	1.95	1.27
1.0	1.03	1.00
5.0	1.00	1.00

こちらの結果も集中荷重なしと同じ傾向が得られたため、集中荷重の影響はほとんどないと考えられる。

6. まとめ

本研究では、2つのモデルに対してケーブルが破断する際の衝撃力を動的応答値によって求めた。これより、ケーブルを破断させる時間を短くするほど、衝撃力が大きくなることが分かった。また、ケーブルの本数が1本増えることで衝撃力が小さくなったが、これは解析モデルの冗長性が大きくなったためだと考えられる。

今後の課題として、今回得られた結果が斜張橋モデルでも同じ傾向が得られるのか検討することなどが挙げられる。

参考文献

- 1) Y. Aoki, H. Tsunoda, H. Gotou, T. Akiyama, S. Nakamura, „Dynamic chain reaction analysis of cable-stayed bridge by sudden loss of stays considering cable corrosion.‟, Proceedings in IALCCE2023 international conference, Milano, Italy, 2023