

吊形式構造物に対する基礎的地震応答解析

秋田大学大学院 学生会員 ○秋山 達哉
 秋田大学大学院 正会員 青木 由香利
 秋田大学大学院 正会員 後藤 文彦
 秋田大学大学院 学生会員 角田 晴輝

1. はじめに

斜張橋は塔からケーブルを斜めに張り、桁を吊ることで長スパン化が可能な橋梁形式である。その斜張橋や吊橋、アーチ橋などの吊形式橋梁において、ケーブルは非常に重要な役割を担っている。しかし近年、こういった吊形式橋梁のケーブル腐食の事例が数多く存在している。そのためケーブル腐食が橋梁全体にどのような影響を与えるのかを明らかにすることは非常に重要である。中村らの研究¹⁾によって、ケーブル腐食が斜張橋全体の終局強度に及ぼす影響が明らかになっている。しかし、地震大国である日本において、地震が発生した際にケーブル腐食が橋全体にどのような影響を及ぼすかは明らかになっていない。

本研究では、斜張橋を対象とし、ケーブル腐食時に地震荷重が作用した場合、ケーブル腐食が橋梁全体にどのような影響を与えるかを数値解析的に検討する。

今回はその前段階として、ケーブルを有した吊形式の鋼構造物に地震荷重を与え、ケーブル腐食の影響を確認する。

2. 数値解析モデル

本研究では、ケーブル腐食と地震の影響を明確に判断するために、簡易構造をモデル化した。作成したモデルを図1に示す。ここでは汎用解析ソフトである Marc_mentat2018 を用いて、モデルをすべて梁要素で作成した。

桁の材料は SM400(降伏応力 235MPa)、ヤング率 200GPa、ポアソン比 0.3 とした。断面を 10mm×50mm の長方形断面とし、長さは 1000mm とした。ケーブルは平行線ケーブル PWS とし、材料は ST1570(第一降伏応力 1160MPa, 第二降伏応力 1576MPa)、ヤング率 195GPa, ポアソン比 0.3 とした。断面は直径 8mm の円形とした。また、線膨張係数を $1.25e-5$ とし、節点温度を -100 度と

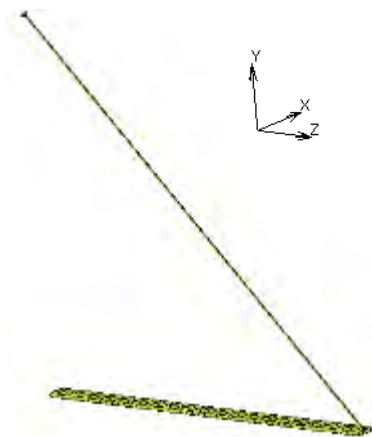


図1 解析モデル

することでケーブルにプレストレスを与えた。重力加速度は Y 軸方向に -9800mm/s^2 を与えた。また、桁は要素を 50 分割し、ケーブルは 1 要素で作成した。

3. 解析方法

地震解析の妥当性を判断するために、参考資料²⁾に載っていた 1 層ラーメン構造物をモデル化し、サイン波を与え、比較した。その結果、本研究で用いる解析ソフトは、地震波を変位で与えることで妥当な結果が得られることがわかった。今回の解析では、兵庫県神戸市中央区山手にて観測された兵庫県南部地震の加速度を変位に変換し、固定部に入力することで地震を再現した。地震波の入力方向は X 軸方向としている。変換に用いた加速度を図2に、入力変位を図3に示す。

境界条件は、桁固定部を全方向固定とし、ケーブル固定部は X,Y,Z 方向を固定、回転自由とした。

ケーブルプレストレス、重力加速度は作用する荷重が大きく、瞬間的に作用すると構造的不安定になってしまうため、30 秒かけて徐々に載荷し、所定のプレストレスと重力た。そのあとに地震波を入力している。また、入力した地震波は 30 秒である。

平行線ケーブル PWS は腐食時に断面積が減少することが三田村らの研究³⁾によって明らかになっている。したがって、ケーブル腐食は断面積の減少によって再現し、断面減少率が 30%、50%および 0%(健全時)のモデルを解析し、応答変位、応力で比較する。表1にケーブルの断面減少率と断面積、直径をまとめる。

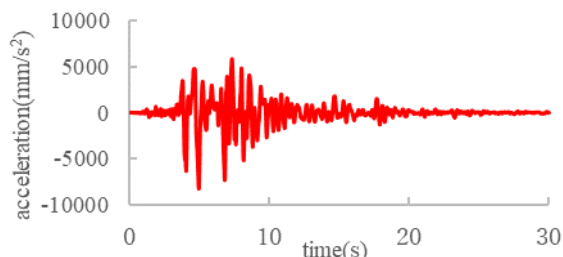


図2 兵庫県南部地震、加速度

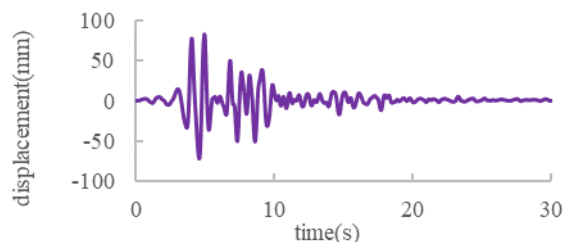


図3 兵庫県南部地震、変位

表 1 断面減少率と断面積、直径の関係

Model	断面減少率	A(mm ²)	D(mm)
Model A	0%(健全時)	50.27	8
Model B	30%	35.15	6.69
Model C	50%	25.16	5.66

4. 解析結果

図 4, 図 5 に地震解析の結果を示す. 地震波を解析開始から 30 秒後にかけてのため, データは 30 秒からピーク後の 40 秒のデータをまとめる.

図 4 は各モデルにおける相対変位の時刻歴応答を示す. Model B の相対変位の最大値は, Model A の最大値と比較し, 1.06 倍となっていた. また同様に Model C の相対変位の最大値は, Model A の最大値と比較し, 1.24 倍となっていた. また, Model A, Model B は約 34 秒のときに相対変位の最大値となるが, Model C は約 35 秒のときに相対変位が最大となる.

図 5 は各モデルにおける桁基部の応力の時刻歴応答を示す. Model B の応力の最大値は, Model A の最大値と比較し, 1.77 倍となっていた. また同様に Model C の応力の最大値は, Model A の最大値と比較し, 1.22 倍となっていた. また, 先ほどと同様に, Model A, Model B は約 34 秒のときに応力が最大値をとるが, Model C は約 35 秒のときに応力が最大となる.

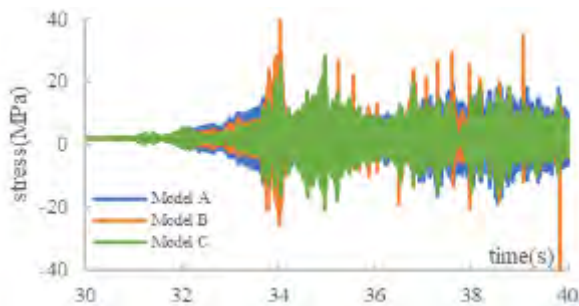


図 4 各モデルの相対変位

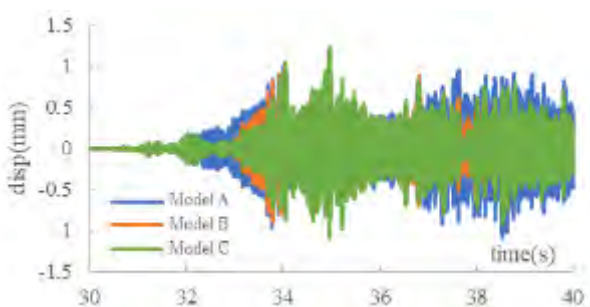


図 5 各モデルの桁基部の応力

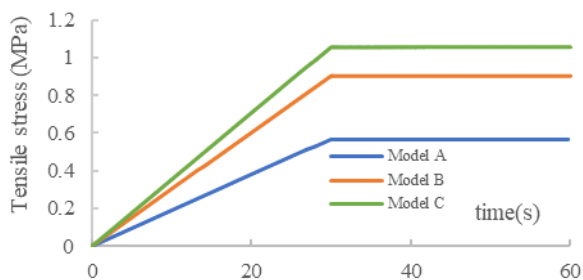


図 6 各モデルのケーブル引張応力

図 6 に各モデルのケーブル引張応力の時刻歴応答を示す. Model B のケーブル引張応力の最大値は, Model A の最大値と比較し, 1.59 倍となっていた. また同様に Model C のケーブル引張応力の最大値は, Model A の最大値と比較し, 1.86 倍となっていた.

ケーブル腐食が進行すると相対変位, 応力, ケーブル引張応力はそれぞれ増加することがわかる. しかし, 同じ地震波を入力しているのにも関わらず, 相対変位の最大値が 1 秒遅れてしまう理由に関しては検討が必要である. また, 応力に関して, 断面減少率 30%の Model B と, 断面減少率 50%の Model C を比較すると, 断面減少率の小さい Model B の応力が大きくなる. しかし, ケーブル引張応力に関しては, 断面減少率と引張応力の関係については線形であった. そのことから, 応力応答に関して検討が必要である.

5. まとめ

今回の解析ではケーブルを有した簡易的な鋼構造物を用いて, ケーブル腐食の影響を確認することを目的としていた. ケーブル腐食は断面減少によって再現を試みた. また, 今回入力した地震波は兵庫県南部地震の変位である. その結果, 以下のことがいえる.

- ・相対変位に関して, 健全時と比較して, 減少率 30%のときに 1.59 倍, 減少率 50%のときに 1.86 倍となっていた.
- ・桁基部の応力に関して, 健全時と比較して, 減少率 30%のときに 1.77 倍, 減少率 50%のときに 1.22 倍となっていた.
- ・ケーブル引張応力に関して, 健全時と比較して, 減少率 30%のときに 1.59 倍, 減少率 50%のときに 1.86 倍となっていた.

このようにケーブルが腐食すると, それぞれの応答値は大きくなってはいたが, 応力に関してだけは, 断面減少率と応答値に線形関係がみられなかった. このことに関して, 作成したモデルが地震波と共振していることなどが考えられる. モード解析を行うなど, 今後検討する必要がある.

また, 本研究より, 簡易モデルではあるが, 地震においてケーブル腐食が各応答に影響を与えることが分かった.

今後, ケーブルの本数を増やした簡易的なモデルや, 実際の斜張橋により近づけたモデルなどを用いて地震応答解析を行うことで, ケーブル腐食の影響をより詳細に把握し, その後斜張橋モデルで地震応答解析を行うことを課題としている.

参考文献

- 1) 中村俊一, 青木由香利: ケーブル腐食を考慮した斜張橋の終局強度および疲労寿命, 構造工学論文集, VOL.67A(0), pp.1-13, 2021.
- 2) 九州大学教授・工学博士 小坪清真 著: 土木振動学, 1973年, 森北出版, pp.74-76.
- 3) 三田村武, 中井博, 渡邊英一, 杉井謙一: 橋梁用ケーブルの最近の話題と展望, 土木学会論文集, No. 444, VI-16, pp. 97-106, 1992.