

ケーブル腐食を考慮した斜張橋モデルの地震応答解析

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

1. はじめに

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斜張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。

2. 斜張橋モデル

本研究の解析では汎用 FEM 解析ソフト Marc Mentat 2021.4 を用いた。検討の対象とする斜張橋モデルは、1 面吊りの 3 径間連続鋼斜張橋(道路橋)である。作成した斜張橋モデルを図 1 に示す。主桁、主塔断面は鋼製箱断面とし、床板は鋼床版とした。断面は道路橋示方書に基づき、所要の安全率が確保できるように常時設計荷重による応力照査を行い決定した。図 2 に主塔および主桁の断面図を示す。側径間に 6 本のケーブル(C1-C6)、主径間の左半分分に 7 本のケーブル(C7-C13)を配置した。主径間の右半分(C14-C20)、右径間(C21-C26)は左右対称のケーブルを配置している。

主桁の材質は SM400(降伏応力 235MPa)、主塔の材質は SM490 材(降伏応力 315MPa)、ケーブルは平行線ケーブル PWS とし、材質は ST1570(第一降伏応力 1160MPa、第二降伏応力 1576MPa)とした。モデルはすべて梁要素で作成している。

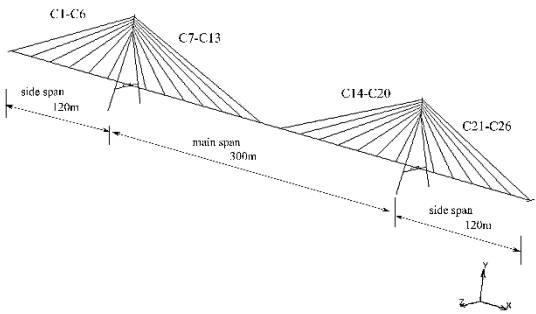


図 1 斜張橋モデル

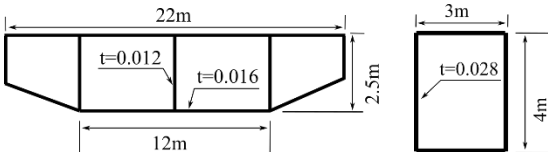


図 2 主桁、主塔断面

3. 解析手法

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橋軸直角方向としている。解析モデルの境界条件を図 3 に示す。

ケーブルプレストレス、常時設計荷重は構造物に振動を与えないようにするため、30 秒かけて徐々に载荷した。モデルが安定した後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(図 3 参照)。

平行線ケーブル PWS は腐食時に断面積が減少することが中村らの研究¹⁾によって明らかになっている。本研究では、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 0%(健全時)、30%、50%のモデルを解析する。表 1 に各ケーブルの断面減少率とそのときのケーブルの直径をまとめる。

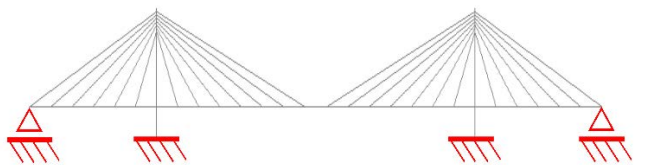


図 3 解析モデルの境界条件

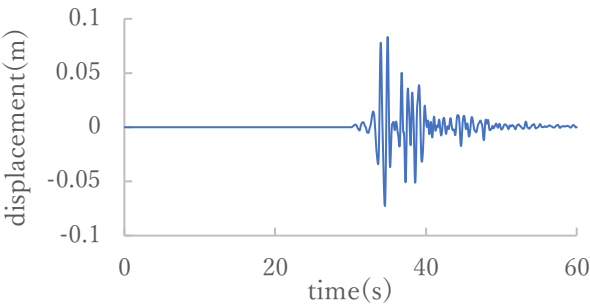


図 4 兵庫県南部地震、変位

表 1 各ケーブルの断面減少率とそのときの直径

cable	D(m)		
	健全時	30%腐食	50%腐食
C1	0.130	0.1088	0.0919
C2,C4-C6	0.122	0.1021	0.0863
C3	0.127	0.1063	0.0898
C7	0.085	0.0711	0.0601
C8-C10	0.121	0.1012	0.0856
C11-C13	0.124	0.1037	0.0877

4. 解析結果

図5に健全時、30%腐食時、50%腐食時の各モデルのスパン中央の変位を示す。解析の結果、どのモデルの場合においても、橋軸直角方向の変位に関して主桁スパン中央が最も大きく揺れることが分かった。健全時の変位と比較し、断面減少率50%のモデルの変位は0.96倍、断面減少率30%のモデルの変位は0.97倍となっている。主桁スパン中央の変位については、ケーブル腐食の影響は少ないと考えられる。

図6に主桁の最大圧縮応力(健全時:38.69s, 30%減少時:38.66s, 50%減少時:36.64s)、図7に主桁の最大引張応力(健全時:38.69s, 30%減少時:38.66s, 50%減少時:40.55s)を示す。圧縮側、引張側ともにケーブルの断面減少率が大きくなるとより応力も大きくなることがわかる。また、圧縮応力に関して断面減少率が50%のケーブル腐食モデルの場合、主桁中央部付近が降伏応力である235MPaに達している。

図8に主塔基部の曲げモーメント分布(健全時:40.26s, 30%減少時:39.54s, 50%減少時:42.76s)を示す。グラフより、ケーブル腐食による断面減少率が大きくなると主塔基部の曲げモーメントが大きくなる。

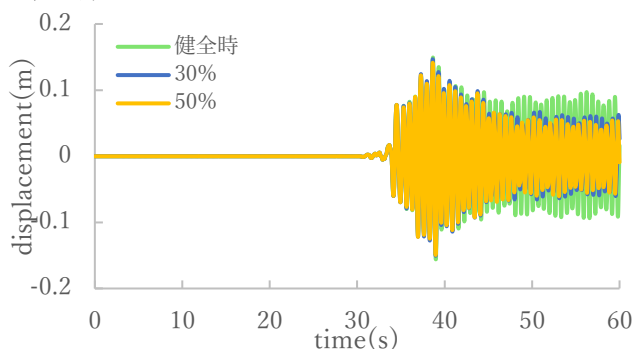


図5 主桁スパン中央の応答変位

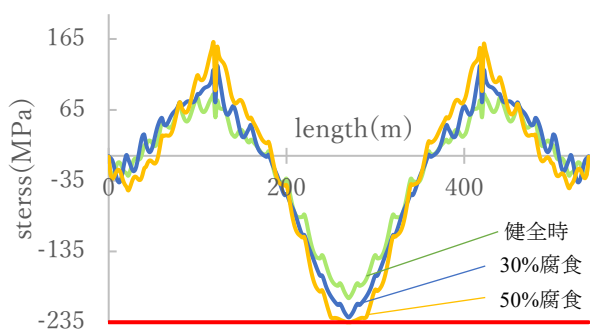


図6 主桁最大圧縮応力

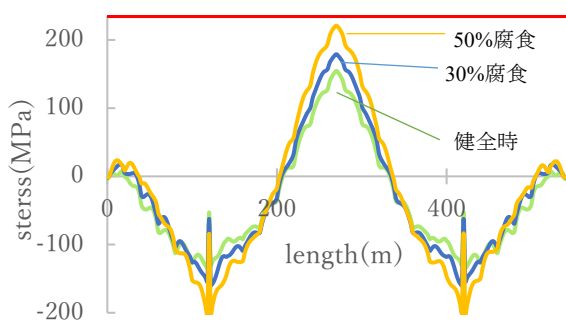


図7 主桁最大引張応力

図9にC3のケーブル張力を示す。ケーブルの断面減少率が大きくなるほどC3のケーブル張力は大きくなる。また、断面減少率が50%の腐食モデルに関して、地震荷重が作用した際にケーブル張力がやや振幅していることが見て取れる。

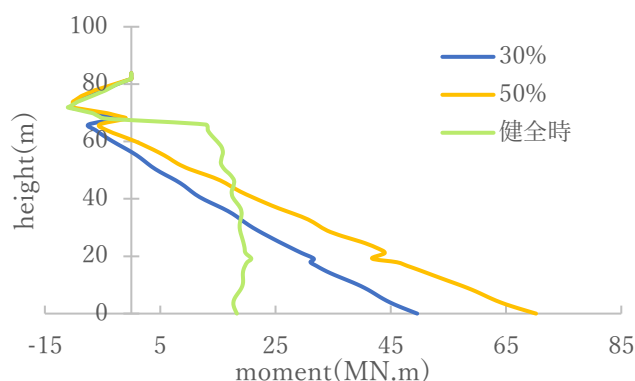


図8 主塔基部の曲げモーメント分布

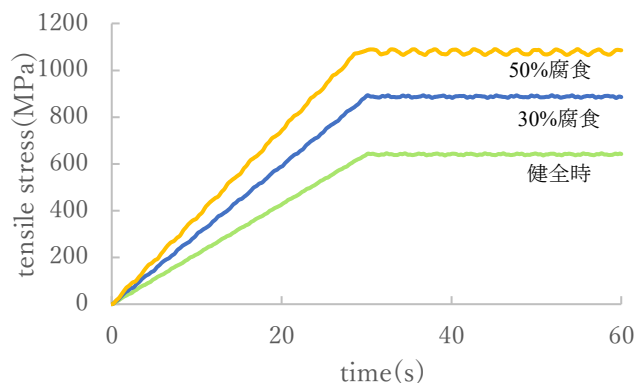


図9 C3のケーブル張力

5. まとめ

本研究ではケーブル腐食を断面積の減少によって再現することで、ケーブル腐食を考慮した1面吊り3径間連続鋼斜張橋モデルに対して地震応答解析を行った。以下に今回得た知見を示す。

1. 解析に用いた斜張橋モデルにおいて、応答変位は主桁スパン中央が最も大きくなる。しかし、応答変位に関してケーブル腐食の影響は少ない。
2. 主桁最大応力、主塔基部の曲げモーメントはケーブル腐食の影響を顕著に受ける。特に圧縮応力の場合、減少率が50%の腐食モデルでは、主桁スパン中央部付近が降伏応力に至った。
3. ケーブル張力に関して、ケーブルの断面減少率が大きくなるとケーブル張力は増加し、減少率が50%のモデルではケーブル張力が振幅を持つ。

今後、地震波の入力方向を橋軸直角方向だけでなく、橋軸方向や橋軸鉛直方向にも入力するなど、さらなる検討が必要である。

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。