

(I-35) 腐食が斜張橋の振動性状に与える影響に関する一考察

中央大学大学院 ○学生会員 松本晋太郎
中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

土木構造物のライフサイクルは長期にわたり、維持管理は欠かすことの出来ない事項である。近年、因島大橋および大鳴門大橋の例のように、有効な防食措置がとられていると考えられていた橋梁のケーブルにおいて、湿気が原因による腐食が確認されたことにより、改めて、今までの防食措置は完璧なものではなく、ケーブルは非常に腐食に関して敏感であることが再認識された⁴⁾。これは、吊橋ばかりでなく、斜張橋についてもアルゼンチンの Parana 橋の腐食事例を挙げるまでもなく、十分に当てはまる重要な問題である。特に、本研究で注目する長大斜張橋(長大橋梁)の設定寿命は長期にわたるが、現在の日本社会情勢では、維持管理費が十分に充てられる保証がないというのが厳しい現実である。

2. 目的

本研究では、ライフサイクル中に架け替え及び補修がコスト面で困難である長大斜張橋のケーブルの損傷に注目し、腐食によりケーブル構造物の振動性状がどのように変化をするかを固有値解析、スペクトル解析、および非線形動的解析を用いることにより明らかにする。そして、今後、本解析を供用前にシミュレーション的に健全時と損傷時の比較を行うことにより、実橋でのヘルスマonitoringの手間やコストを省略する事が可能な損傷シミュレーションとなりえるかを検討することを目的とする。

3. 長大複合形式斜張橋を用いた解析

3.1 解析モデル

本解析では、今後の社会情勢を考慮し、ケーブルの架け替えに際しコスト的に対処困難であり、ヘルスマonitoring等による維持管理が重要である長大斜張橋をモデルとして選定した。主支間長900m(側支間長300m)を越す斜張橋として、複合形式部定式斜張橋を応答解析3D骨組モデル¹⁾としている。部定式斜張橋は、側支間または主支間に軸力と曲げモーメントを伝えず、せん断力のみに抵抗する伸縮装置を挿入して軸力の軽減を図る構造である。

3.2 ケーブルの腐食に関する本解析での扱い

既往の研究において、腐食したワイヤは、腐食部分における局

所的な断面積減少のため応力集中を生じ、見かけ上、脆性的に破断してしまう。既往の試験結果では、腐食したケーブル(PWS、プレファブ平行線ストランド)の残存断面積は、最も腐食の激しい箇所、健全時の77.2%である。しかし、引張試験では、健全時のケーブルが最大2339kNの耐力を示したのに対し、腐食時の耐力は健全なケーブルのわずか53%の1241kNにすぎない²⁾。つまりは、ケーブルに生じた腐食が外見上では軽微な場合でも、予想以上の強度低下が生じている可能性は十分に考えられる。本解析においては、ケーブル腐食損傷時の固有周期および応答値算定にあたり、解析上のケーブル腐食断面積に関して、最大50%(0~50%で10%刻み)として解析中では考慮する。

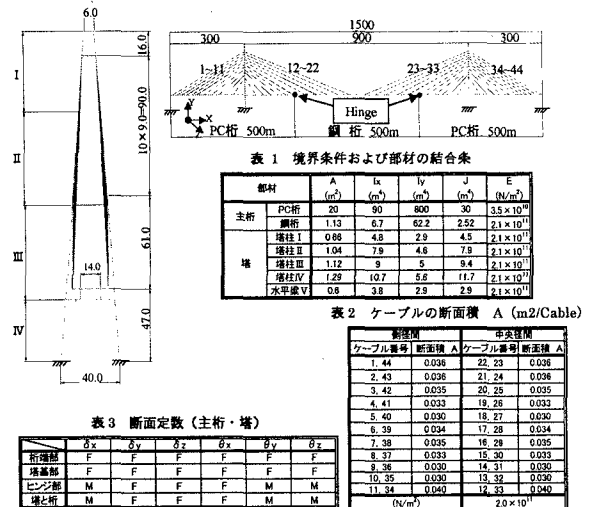


図 1 斜張橋解析モデル

4. ケーブル損傷解析

4.1 非線形動的解析条件

あるケーブル剛性が低下したときの桁、タワーにおける応答値の変化を確認することにより、ケーブルの腐食による振動性状変化の把握を目的とし非線形動的解析を実行する。本モデルでは、橋梁の構造部材のうち橋脚・主塔・主桁は線形の 3D-BEAM 要素としている。また、ケーブルには降伏点と終局点を含むバイリニア曲線を有する非線形 TRUSS3D 要素を配置し、プレストレスを考慮

キーワード：腐食、複合斜張橋、固有値、時刻歴応答解析

〒112-0003 東京都文京区春日 1-13-27 設計工学研究室 Tel:03-3817-1816 (直通)

している。解析条件を以下にのべる。入力外力としては、実橋のヘルスモニタリング時に使用されていて長大橋に適している重錘移動式起振機にて発生可能な正弦波 $F = m_0 r (2\pi f)^2$ ³⁾ を桁中央部で橋梁の固有振動数付近の周波数および最大加振力 200kN にて橋軸方向に入力することにより橋梁を定常的な共振状態とする。減衰はレイリー減衰 ($\alpha_1, \alpha_2 = 0.02$) とし、1, 2 次の固有振動数を使用している。また、直接積分法として Newmark's β 法を使用し、応答計算時間 40 秒、時間刻み 0.02 秒としている。剛性反復計算には修正ニュートン・ラフソン法を使用している。

4.2 応答値の評価

本項では、桁および塔の橋軸方向応答値の評価に際して、損傷させるケーブルを変化させて 12CASE (図3参照) 解析を行う。ケーブルの損傷腐食を仮定し、0~50% (10%刻み) の 6 腐食パターンにて解析を実行する。なお、本解析では評価を簡単にするために、図2に示している橋梁中央部から左側の桁に設置したノード (B1~12) にて応答値を得ており、タワーの応答値に関しては、橋梁中央部から左側手前のノード (T1~6) にて応答値を確認している。応答 δ は、ケーブル損傷 CASE における最大応答 $\delta_{\max}$ を健全時の最大応答 δ_h にて無次元化した値、応答倍率 δ/δ_h として評価する。

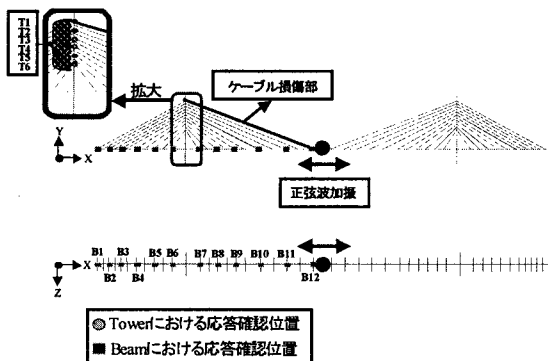


図2 応答値確認位置、及び加振位置

4.3 解析結果

多くの CASE (例: 図4) においては腐食部周辺において応答倍率の変化を確認することが出来る。また、桁の応答倍率を確認することによりケーブルの損傷位置を確実に特定することが可能な CASE (図5) も存在している。図6は2ケーブルの腐食ケースであるが、個々の CASE (図4, 図5) の特徴が2つの山として明瞭に表れている。つまり、1CASE 損傷解析の結果より2CASE 損傷解析の結果を推測することは十分に可能であり、ケーブル複数腐食 CASE においても、損傷箇所の特特定可能である。

5. まとめ

1. 実橋モニタリングデータを基にケーブル損傷位置を同定するにあたり、本研究で用いた長大斜張橋においては設置時にこのような腐食を考慮したケーブル損傷シミュレーションを実行しておくことは有効である。
2. 仮想損傷時の応答倍率データを蓄積することにより、損傷部位の特定が簡素化され、現時点もしくは将来的な腐食進行具合、及び残存価値が低コストで推測可能となることにより、ライフサイクルコストの削減に繋がる。1) 監修: 大塚久松

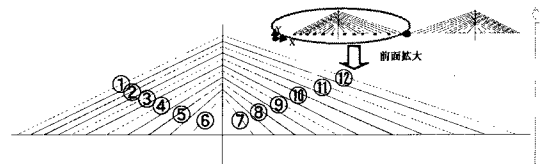


図3 ケーブル損傷 12CASE

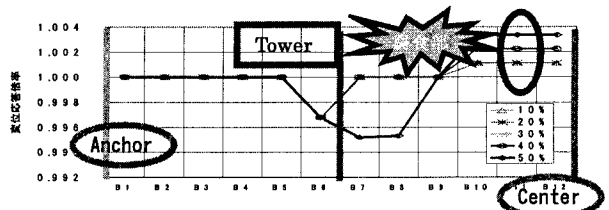


図4 CASE11 変位応答倍率

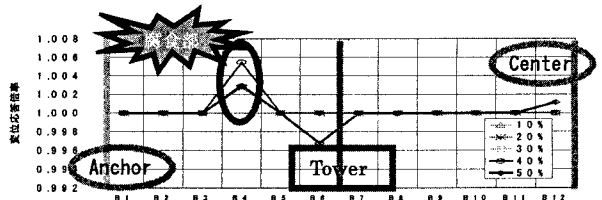


図5 CASE4 変位応答倍率

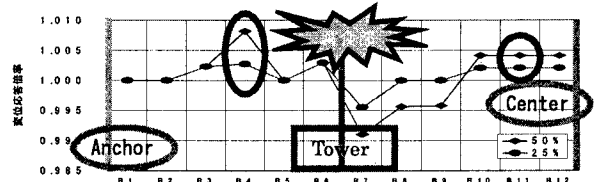


図6 CASE4 & 11 変位応答倍率

参考文献

1. 部定式斜張橋研究会: 長大斜張橋の解析と設計/九州大学出版, 1991. 4
- 2) 三田時武・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. 3
- 3) 土木学会構造工学委員会橋梁振動モニタリング研究小委員会編集: 橋梁振動モニタリングのガイドライン/土木学会, 2000. 10.
- 4) 古家彦・北川信・中村俊一・鈴木恵太・聖生守雄: 吊橋ケーブルの腐食機構に関する研究/土木学会論文集 NO. 637/VI-45, pp. 103-114, 1999. 12