

吊材の損傷が下路ランガートラス橋の固有振動特性に及ぼす影響

長崎大学大学院 学生会員 ○西行 健 長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三
 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄 長崎大学工学部 フェロー 岡林隆敏

1. はじめに

近年、構造物の維持管理の重要性が増している中で、構造物の固有振動数の変化から損傷を検出しようとする研究が行われている。しかしながら、構造物の部分的な損傷、例えばある一部材の破断によって固有振動数や振動モードがどういった変化を起こすかは必ずしも明確とはしていない。つまり、どの程度の振動数の変化を検出する必要があるのか、またどういった位置にセンサー等の器具を設置するのが適切かということに関する基礎的なデータが不足しているのが現状である。そこで本研究では、アーチ橋の吊材が破断した場合に固有振動数や振動モードにどのような影響を及ぼすかということに着目し解析・検討を行った。

2. 対象橋梁

長崎半島先端部の樺島と脇岬をつなぐ樺島大橋を対象とした。樺島大橋は、昭和 61 年に完成した橋長 227m（最大支間 152m）、幅員 7.5m のランガートラス式の橋梁である。本橋を対象とした理由として、長崎大学で行った振動計測の結果得られたデータ¹⁾²⁾から、解析モデルの妥当性を確認できるという点が挙げられる。

3. 解析概要

本研究では、汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を用い固有振動解析を行った。今回は、吊材が健全な状態で（解析 A）、図-1 に示す吊材 1～15 のヤング率を順に 0kN/mm^2 とした場合（解析 B1～B15）、吊材 1～15 がそれぞれ下端部で破断した状態（解析 C1～C15）について解析を行った。破断した状態は、吊材の下端部とトラス部の節点とを繋げないことで表現した。なお橋軸方向の非対称性は小さいが、今回は基礎的なデータを得るという意味で全てのパターンで解析を行った。

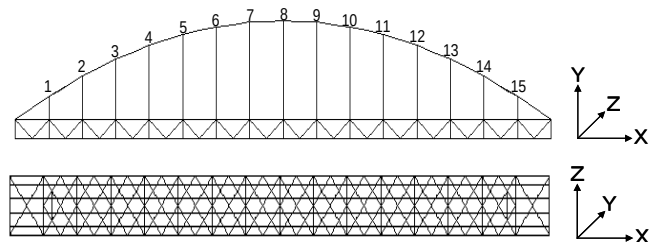


図-1 樺島大橋解析モデル

3.1 解析モデル

樺島大橋の上部工を図-1 のように 3 次元弾性はり要素(No.52)でモデル化した。アスファルト舗装の質量は集中質量として橋面上の各節点に与え、鉄筋コンクリート床版はヤング係数比を利用して鋼部材に置き換え、その質量と断面 2 次モーメントを縦桁に加えることで床版の剛性を表現した。境界条件については、片端をピンとし、もう一端をローラー支点とした。桁、主構の材料は一般的な鋼であるため、その特性値としてヤング率 200kN/mm^2 、ポアソン比 0.3、質量密度 7857kg/m^3 を仮定した。縦桁の材料特性に関しては、床版の質量を考慮するため質量密度を 15433.2kg/m^3 とし、ヤング率およびポアソン比はそれぞれ 200kN/mm^2 、0.3 とした。アスファルト舗装の質量密度に関しては、一般的な値である 2293.6kg/m^3 を使用した。

4. 解析結果

解析 A と解析 B, C の代表例として、解析 B1, C1 の 1 次～15 次モードまでの固有振動数を表-1 に示す。解析 A と解析 B, C とを比較すると、9 次モード程度までは固有振動特性の変化はわずかであり、最大でも 0.1Hz 程度である。

表-1 解析 A, B1, C1 の固有振動数

モード	解析 A	解析 B1	解析 C1
1	0.903	0.903	0.903
2	0.959	0.949	0.949
3	1.31	1.30	1.30
4	1.40	1.33	1.33
5	1.88	1.77	1.77
6	2.20	2.20	2.20
7	2.85	2.74	2.72
8	2.97	2.84	2.84
9	2.97	2.95	2.95
10	4.00	3.35	3.33
11	4.21	4.00	4.00
12	4.80	4.33	4.32
13	4.85	4.83	4.83
14	5.23	4.87	4.87
15	5.37	5.22	5.22

4.1 解析 B の結果

解析 B より得られた結果で特徴的な変化があったものについて説明する。まず、解析 B1 と B15 では独特の振動数・振動モードが出現する。この例として解析 B1 を取り上げると、振動数は表-1 の網掛け部分で示すように、10 次で明確な変化が見て取れる。なおこの振動モードは図-2 に示すように、ヤング率を 0kN/mm^2 とした吊材の位置でアーチリブが局部的に変形するモードである。また解析 B7 と B8 では、解析 A における 8 次と 9 次モードの順番が逆となって出現する。解析 A の 8 次モードは図-3(a)に示すように面外方向には振動せず面内方向に振動するモードで、9 次モードは図-3(b)に示すように面内方向には振動せず面外方向に振動するモードである。さらに、解析 A における 8 次と 9 次モード、または 12 次と 13 次が連成したモードが出現することがある。例えば、解析 A の 12 次モードは図-4(a)に示すように面内方向のみ、13 次モードは図-4(b)に示すように面外方向のみに振動するモードであるのに対し、解析 B5 の 8 次モードでは図-5 に示すように面内振動と面外振動が連成したモードとなっている。これらのモードの特徴として、解析 A における面内方向に振動するモードと面外方向に振動するモードの振動数が近いということが挙げられる。

4.2 解析 C の結果

解析 C の結果において特徴的な変化があったものについて説明する。まず、解析 C2~C14 では、構造全体としての振動は非常に小さく、破断した吊材の振動が卓越しているモードが出現し、その振動数は独特なものである。破断した吊材が橋梁の中央部に近い、すなわち吊材が長いほど、そのモードが低次で出現するようになる（表-2 網掛け部分参照）。この例として図-6 に解析 C5 の 1 次モードを示す。しかし、解析 C1, C15 ではそのようなモードは出現せず、解析 B1, B15 と似た挙動を示し、表-1 から見て取れるように振動数もほぼ同様の値となる。また、解析 B と同様に、解析 C7 と C8 では解析 A における 8 次と 9 次モードの順番が逆となって出現し、解析 A における 8 次と 9 次、12 次と 13 次が連成したモードが出現する。

5. まとめ

今回の解析により、本橋においては吊材の破断が固有振動特性に及ぼす影響は全体的には小さく、固有振動数で 0.1Hz 程度の変化しか生じないものの、新たな振動モードが出現する、健全な状態における 2 つの振動モードが連成して出現する、振動モードの出現する順番が逆になる等、部分的には比較的大きな変化が生じることが判明した。また損傷箇所が振動特性に大きく影響を及ぼすことも明らかになった。今後は部材破断のような目視でも容易に検出できる損傷状態ではなく、より軽微な損傷による影響も検討していきたいと考えている。

[参考文献]

- 岡林隆敏, 原忠彦: 道路橋振動特性推定における衝撃加振法の適用, 構造工学論文集, Vol.34A, pp.731-738, 1988
- 奥松俊博, 岡林隆敏, 房前慎一, 船原祐樹, 大岩根健吾: 2 段階推定法による橋梁振動特性の高精度自動推定, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.227-236, 2006

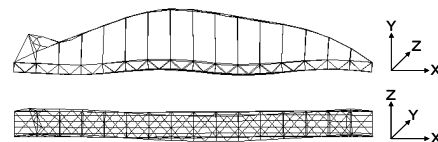


図-2 解析 B1 の 10 次モード

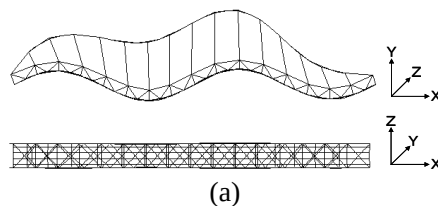


図-3 解析 A の 8, 9 次モード

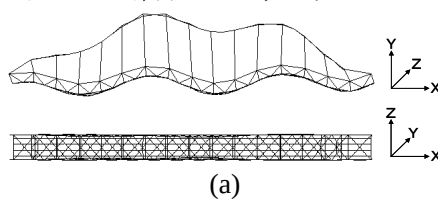


図-4 解析 A の 12, 13 次モード

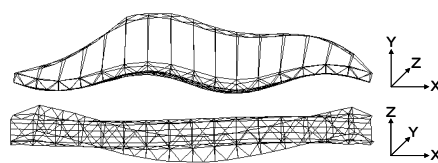


図-5 解析 B5 の 8 次モード

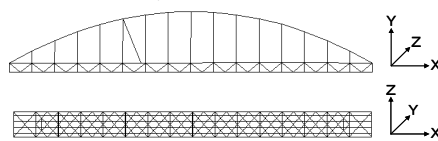


図-6 解析 C5 の 1 次モード

表-2 解析 C5, C6, C7 の固有振動数

モード	解析 C5	解析 C6	解析 C7
1	0.772	0.750	0.681
2	0.904	0.904	0.863
3	0.958	0.939	0.903
4	1.12	0.973	0.962
5	1.31	1.31	1.31
6	1.40	1.40	1.40