

トラス橋の振動特性変化に着目した損傷同定解析

東京都庁	正会員	○糸数	青剛
横浜国立大学大学院	フェロー	山田	均
横浜国立大学大学院	正会員	勝地	弘
横浜国立大学大学院	正会員	西尾	真由子

1. はじめに

近年、我が国の土木構造物の多くにおいて老朽化が進んできており、それらの構造物の適切な維持管理は重要な課題であると言える。そんな中、これまで我が国では木曾川大橋や本荘大橋の斜材破断など、鋼トラス橋の重大損傷事故がいくつか発生している。さらに2007年、米国ではミネアポリスの橋梁崩落事故という非常に深刻な事故が発生した。このような、構造的リダンダンシーが低いとされている鋼トラス橋に対しては、特に信頼性の高い維持管理手法を適用する必要がある。そこで近年、橋梁の振動特性変化をセンサで検知し損傷同定を行う方法に関する研究が進んでいるが、固有振動数やモード減衰など、どの値を振動特性変化の指標とすべきかについては議論の余地があると言える。

2. 研究の概要

本研究では、鋼トラス橋の部材の損傷が振動特性に与える影響を明らかにし、損傷同定手法を構築することを目的とした解析的検討を行った。本研究では、トラス橋部材に生じた亀裂の先端付近の塑性変形によるエネルギー吸収が、減衰に与える影響について着目した。解析は、30cm×30cm×10mのH型鋼の斜材を有する支間長70mのトラス橋モデルを作成し、これをモデルとして行った。

本研究の解析の流れについて以下に述べる。まず、亀裂を有する部材モデルにおいて、強制振動を与えた動的解析を行い、振動外力により部材にはたらく内部エネルギーと、亀裂先端付近に生じる塑性ひずみエネルギーの両者の関係を調べることで、亀裂の長さや亀裂の入り方(図1)が部材の減衰にどのような影響を及ぼすかを検討する。さらに部材モデルの解析ののち、トラス橋モデルにおいて固有値解析を行う。そして得られた固有振動モードごとの、橋全体の内部エネルギーと、損傷部材における塑性ひずみによるエネルギー吸収の値を比較することで、トラス橋の局部損傷が橋全体のモード減衰に与える影響を評価する。この結果をもとに損傷同定手法の適用性について検討を行う。

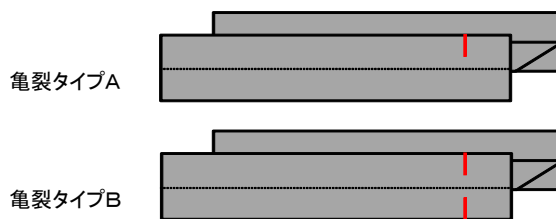


図1 部材モデルの亀裂の種類

3. 部材モデルの解析結果

部材モデルによる解析の結果の一つとして、亀裂長さごとの、部材にはたらく内部エネルギー(W)と、亀裂先端付近に生じる塑性ひずみエネルギー(ΔW)の比の値を図2に示す。この結果から、亀裂発生初期および、亀裂がフランジとウェブの接合部近くまで進展した場合では、塑性ひずみエネルギーが小さいことが分かった。また、亀裂長さ10cmのときの亀裂タイプAおよびタイプBの $\Delta W/W$ の値は、タイプAで約0.003、タイプBで約0.024となった。このことから、亀裂タイプB、すなわちフランジ両側から亀裂が進展したケースにおいて、塑性ひずみエネルギーによる減衰効果がより大きくなるということが示された。

キーワード トラス橋, 亀裂, 塑性ひずみ

連絡先 〒240-0067 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 環境情報1号棟617 TEL 045-339-4243

4. トラス橋の固有振動モードごとの損傷応答

トラス橋部材に生じた損傷が橋全体の振動特性に与える影響について検討するため、トラス橋モデルを用いた解析を行った。まず、トラス橋モデルの固有値解析を行い、一定の振幅で正規化した振動モードごとの、橋全体に生じるひずみエネルギー、着目部材のひずみエネルギーおよび着目部材にはたらく断面力を求める。そしてその断面力を、亀裂を有する部材モデルに与え、そのとき生じた塑性ひずみエネルギーの値と、橋全体にはたらくひずみエネルギーの関係から、亀裂が橋全体のモード減衰に与える影響について検討を行った。その結果、着目部材の振動が特に卓越している振動モード、さらに着目部材にウェブ面外方向の曲げがはたらいっているモードにおいて、より大きい損傷応答が得られることが分かった。

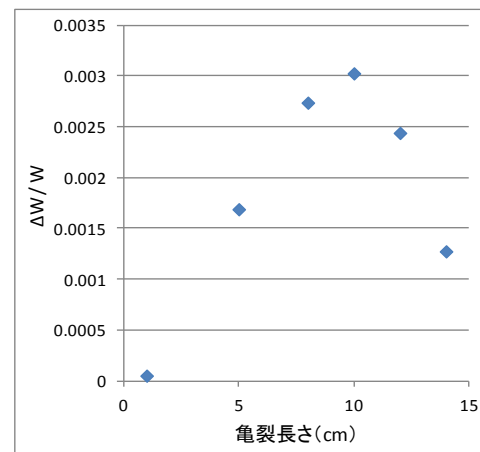


図 2 亀裂長さごとの $\Delta W/W$ の値

本解析では、図 3 に示す、振動数 12.591 の 84 次モード（最大モード振幅 2.0cm とした）において、亀裂長さ 10cm、亀裂タイプ B の場合、振動 1 回あたりの塑性ひずみエネルギーによるエネルギー吸収が 22.6 J であるという結果が得られた。これは橋全体に生じるひずみエネルギーの 1.1%であり、この減衰効果を対数減衰率に表すと 0.0055 となる。これは鋼橋の対数減衰率 0.03 の 20%程度であり、これは損傷応答として測定が可能である、充分大きな値であると言える。さらに、同じモードにおいて、いくつかの異なる振幅で解析を行ったところ、大きなモード振幅を与えたケースにおいて、より大きな減衰効果が得られ、亀裂による減衰効果には振幅依存性があることが分かった。

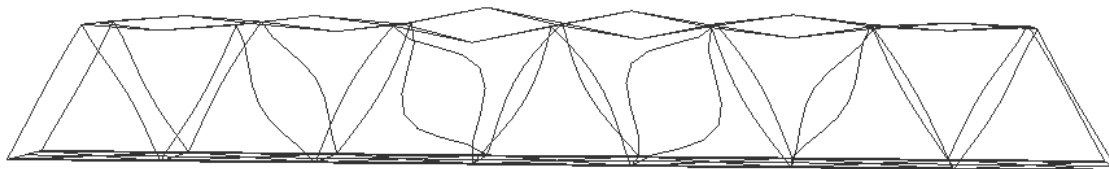


図 3 84 次モードのモード変形図

5. 結論

部材に生じる亀裂がトラス橋の振動特性に与える影響について検討するため、本研究で、亀裂を再現した部材モデルを用いた損傷同定解析の手法を考案した。この手法において、損傷応答の指標として、塑性ひずみエネルギーによる減衰効果を用いることで、亀裂の大きさや位置などが橋の振動特性に与える影響についてモデル化を行えることを示した。

また、トラス橋の固有振動モードごとの損傷応答について検討を行ったところ、損傷部材の振動が卓越している振動モードにおいてより大きな損傷応答が得られることがわかった。さらにその損傷応答の結果は、本研究で提案した、亀裂の塑性ひずみエネルギーによる減衰効果に着目した損傷同定手法の適用性を示すのに十分なものであると言える。

参考文献

- ・ 山口宏樹, 藤原亨, 山口和範, 松本泰尚, 堤和彦: 多々良大橋にみる長大斜張橋のケーブル振動連成とその減衰性能への影響, 土木学会論文集, No.766/1-68, pp.309-323, 2004.