

トラス橋のリダンダンシー解析における部材破断時の衝撃に関する研究

山口大学大学院 学生会員○井上龍一
山口大学大学院 正 会 員 田島啓司
山口大学大学院 正 会 員 麻生稔彦

1. はじめに

2007年の米国 I-35W 橋の落橋事故を契機として、耐荷力の余裕の指標であるリダンダンシーが重要視されるようになった。リダンダンシーを用いると、一部の部材が損傷しても耐荷力の余裕によって落橋や崩落を回避できるか否かの判断をすることが可能になる。

リダンダンシーを精度良く評価するためには、部材損傷が引き起こす衝撃の影響を適切に表現する必要がある。既往研究¹⁾では部材損傷によって開放される断面力に、衝撃係数 1.854 を一律に乗じる簡素な方法によって衝撃の影響を表現した。これは減衰定数 5%の 1 自由度系振動モデルの振動性状をあてはめたものである。しかし、リダンダンシーの不足が指摘された長大トラス橋²⁾は多自由度系で複雑な振動性状を示すため、当該方法を用いるのは適切でないと考えられる。そこで、本研究ではトラス橋を対象として、衝撃係数 1.854 を乗じる方法の適用性の検証とともに、部材損傷による振動で生じる断面力の分析を行う。

2. 研究方法

2. 1. 対象橋梁

表-1に対象橋梁の諸元、図-1に対象橋梁の側面図を示す。部材損傷の影響を評価する損傷解析では、主構部材の1部材ずつを損傷させる。解析ケースについては、構造の対称性を考慮して、全主構部材の1/4の部材を対象とする90ケースとした。解析には構造解析ソフト「SAP2000」を用いて線形解析を実施した。トラス橋モデルについては、鋼部材をはり要素、コンクリート床版をシェル要素とし、部材結合条件は剛結合とした。荷重は、活荷重、死荷重、部材損傷による荷重および損傷時の衝撃の影響を考慮した。

表-1 対象橋梁の諸元

形式	3 径間連続下曲弦 ブラットトラス橋
支間長 (m)	107.2+240.0+107.2
最大構造高 (m)	28.0
床版幅員 (m)	9.0

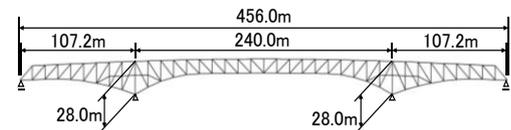


図-1 対象橋梁の側面図

2. 2. 損傷度 R の算出方法

2. 3. に記述する解析で算出した部材断面力から求まる損傷度 R によって、リダンダンシーを評価する。損傷度 R は、既往研究²⁾をもとに、軸力が引張の場合は式(1)、圧縮の場合は式(2)を用いる。R が 1.00 を超えた場合、連鎖的な部材損傷へと発展して、橋梁全体の崩落に至ると判断する。

$$R = \frac{N}{N_p} + \left(\frac{M}{M_p}\right)_{in} + \left(\frac{M}{M_p}\right)_{out} \quad (1) \quad R = \frac{N}{N_u} + \left(\frac{1}{1 - (P/0.8P_E)} \cdot \frac{M_{eq}}{M_p}\right)_{in} + \left(\frac{1}{1 - (P/0.8P_E)} \cdot \frac{M_{eq}}{M_p}\right)_{out} \quad (2)$$

N: 作用軸力, N_p: 全塑性軸力, N_u: 終局圧縮強度, M: 作用曲げモーメント, M_p: 全塑性曲げモーメント, M_{eq}: 換算曲げモーメント, P: 作用軸圧縮力, P_E: オイラー座屈強度, in: 面内, out: 面外

2. 3. 断面力解析

リダンダンシー解析では、以下に示す解析 I, II の結果を足し合わせて断面力を算出する。

① 解析 I (健全状態)

キーワード リダンダンシー, 鋼トラス橋, 衝撃係数 1.854

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL 0836-85-9323

死荷重および道路橋示方書で規定された B 活荷重の 50% を載荷した解析である。

② 解析 II (部材損傷の影響)

損傷部材を除いた橋梁モデルに対し、損傷の影響による断面力を作用させた解析である。当該断面力は、解析 I において、損傷部材の両端に作用する断面力の反作用力である。以降、この反作用断面力を“開放力”と記す。損傷部材の作用軸力が引張の場合、損傷時の衝撃の影響を考慮する。振動の影響は静的解析の結果に衝撃係数 1.854 を一律に乗じる方法、時刻歴応答解析による方法の 2 つの方法で算出する。以降、これらを方法 A, B と記す。方法 B は多自由度系の振動モデルに適応するとともに、複数の振動モードの連成も考慮される算出精度が最も高い方法である。

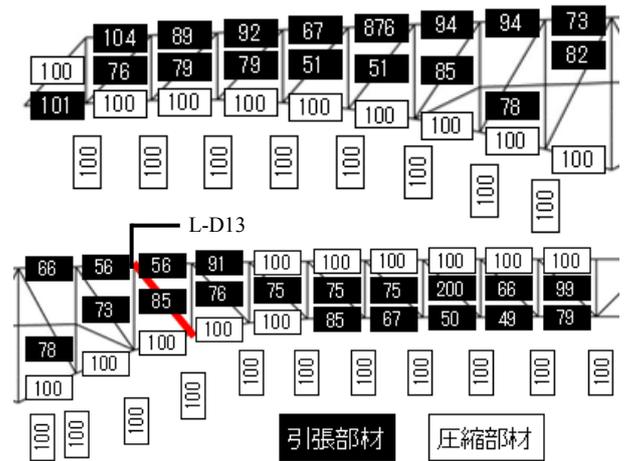


図-2 全部材の損傷度 R の最大値の比率 (%)

2. 4. フーリエ解析による部材破断挙動の分析

本研究ではある部材の損傷に対し、支間中央の x, y, z 方向の変位と損傷度 R が最大となる部材の軸力、面内曲げモーメントを抽出し、高速フーリエ変換(FFT)により、部材破断時の振動性状を分析した。

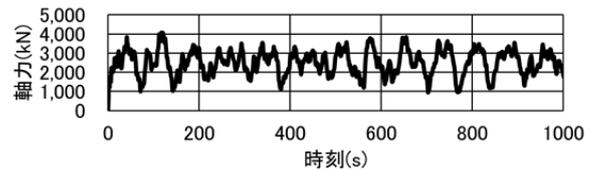


図-3 損傷度 R 最大部材の軸力と時刻の関係

3. 結果

3. 1. トラス橋を対象とした方法 A の適用性の検証

本研究では、方法 A で算出した損傷度 R について、方法 A に対する方法 B の比率で、方法 A の適性を検証した。図-2 にその結果を示す。主構面の引張部材 36 部材中 32 部材でこの比率が 100% を下回っている。これは方法 A が衝撃の影響を過大評価していることを意味する。

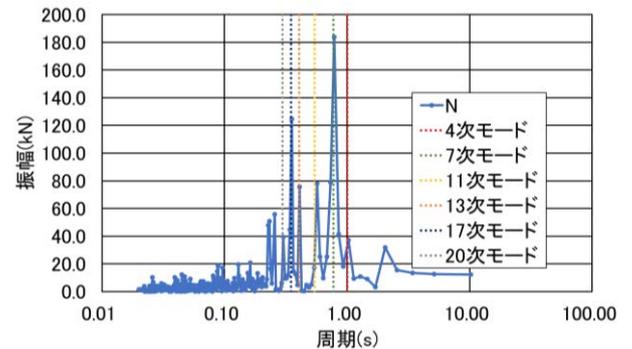


図-4 損傷度 R 最大部材の軸力と周期の関係

3. 2. フーリエ解析による部材破断挙動の分析

① 図-3 に L-D13 が損傷した場合の損傷度 R 最大部材の軸力と時刻の関係を示す。この結果、部材破断時の挙動は、減衰定数 5% の 1 自由度系振動モデルで表される様な単純な正弦波の振動性状でないことがわかった。

② 図-4 に L-D13 が損傷した場合の損傷度 R 最大部材の軸力と周期の関係を示す。この図より、グラフの卓越した部分と固有周期には相関があることがわかった。

同様の結果が、支間中央の x, y, z 方向の変位と損傷度 R が最大となる部材の面内曲げモーメントでも確認できた。また、その他の部材についても確認できた。なお、L-D13 は 図-2 に赤線で示す部材である。

4. まとめ

本研究では、衝撃係数 1.854 を乗じる方法では、衝撃の影響を過大評価することを明らかにした。また、部材破断時の振動性状をフーリエ分析した結果、固有周期との相関が明らかになった。

参考文献

- 1) 岩崎英治：線形解析によるトラス橋のリダンダンシー評価に関するケーススタディ，第 17 回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，pp.21-32，2014。
- 2) 田島啓司，岡直幸，麻生稔彦：長大トラス橋のリダンダンシー確保に向けた基礎的研究，平成 30 年度土木学会全国大会 第 73 回年次学術講演会講演概要集，I-254，2018。