

鋼トラス橋のリダンダンシー評価に関する検討

建設構造研究室 弘田詩織

指導教員 岩崎英治

1. はじめに

2007年、米国ミネソタ州のトラス橋が部材の破断により崩壊した。同年、日本でも木曾川大橋、本荘大橋の斜材が破断したが橋梁全体の崩壊には至らなかった。後者のように、橋梁の一部材が破断しても、橋は崩落に至らない場合がある。このとき、破断部材の断面力が他部材に負担されており、構造全体としての余裕、すなわちリダンダンシーが前者と比較し大きかったと考えられる。日本では、2007年の事故を契機とし、鋼トラス橋のリダンダンシー評価に関する研究が行われているが、リダンダンシー解析の標準的な手法は確立されておらず、館石ら¹⁾の鋼トラス橋のリダンダンシー評価ガイドライン(案)があるもののリダンダンシー評価手法について、いくつか不明確な点がある。そこで館石らのガイドラインを念頭におき、本検討において、解析の最も基本的な条件である、橋梁のモデル化と形式、想定活荷重、部材破断時の衝撃係数の3点に重点を置き、リダンダンシー評価の差違を確かめる。

2. 解析概要

2.1 対象橋梁と解析モデル

下路式鋼単純トラス橋である三面橋(橋長91.2m)と、上路式鋼単純トラス橋である高柳橋(橋長75.0m)を対象とする(図1)。解析モデルの諸条件は、主構、橋門構、対傾構、横構、床組に梁要素、床版にシェル要素を用い、トラス格点部は全て剛結合とする。偏心を考慮する箇所には剛体要素を用いる。また、床版と縦桁との間の滑り止めをばね要素として表す。

橋梁モデルのリダンダンシー評価の違いは、下路式を解析対象として、床版を省略した「骨組モデル」と床版を含む「骨組+床版モデル」の2通りの線形解析により確認する。また、橋梁形式、想定活荷重の大きさ、部材破断時の衝撃係数の差違については、上下路式の骨組モデルの線形解析を行い、比較検討を行う。

死荷重については、設計図を基に算出する。活荷重は、B活荷重を用い、各部材にとって最も不利な載荷になるように載荷する。B活荷重に乗じる係数としてB活荷重率を考え、0.1倍毎増加させる。B活荷重をフル載荷した状態は、B活荷重率は1.0である。よって、載荷する活荷重は死荷重を考慮した、0.0からフル載荷の1.0の全11パターン載荷し、各段階においてリダンダンシー解析を行う。部材破断時の衝撃係数は、URSレポートの値である1.854を両形式の解析に共通に用い、さらに後藤ら²⁾の提案している値(下路式1.5、上路式1.2)を用いて解析を行い、その結果の比較検討を行う。

2.2 リダンダンシー評価の方法と部材照査方法

破断想定部材としては、弦材・斜材・垂直材の各部材を除去することにより、線形リダンダンシー解析を行う。線形解析により得られた部材断面力より、次式を用い、各部材の終局状態を判定する。引張の場合は式(1)、圧縮の場合は式(2)より求め、Rが1以上のときに終局とする。

$$R = \frac{N}{N_p} + \frac{M_y}{M_{py}} + \frac{M_z}{M_{pz}} \quad - (1)$$

$$R = \frac{N}{N_u} + \frac{M_{eqy}}{(1-N/P_{Ey})M_{py}} + \frac{M_{eqz}}{(1-N/P_{Ez})M_{pz}} \quad - (2)$$

N: 部材に生じている軸力, M_y, M_z : 部材に直交した断面の2方向曲げモーメント,

M_{eqy}, M_{eqz} : 換算曲げモーメント, N_p : 全塑性軸力, M_{py}, M_{pz} : 全塑性曲げモーメント

N_u : 座屈を考慮した終局圧縮強度, P_{Ey}, P_{Ez} : オイラー座屈強度

3. 解析結果

3.1. 橋梁モデルの比較

三面橋の破断時衝撃係数を 1.854 として、骨組モデルと骨組+床版モデルにおけるリダンダンシー解析を行った。骨組モデルは、B 活荷重率 0.0 の場合、 $R > 1$ となる想定破断部材数は主構面 1 面につき 19 部材、また B 活荷重率 1.0 の場合は図 1(1)に示すように 30 部材である。骨組モデルは B 活荷重率の各段階において、主構部材が破断すると、多くの部材で $R > 1$ 部材が生じる。つまり、終局限界状態に達する。しかし、骨組+床版モデルの場合、B 活荷重率 1.0 のケースにおいてのみ、図 1(2)へ示した 18 部材で $R > 1$ 部材が確認された。

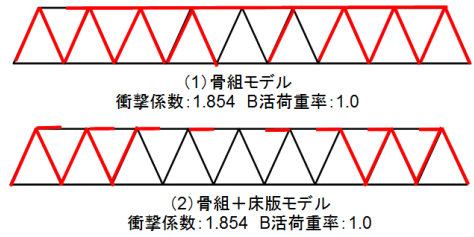


図 1 三面橋 橋梁モデルの比較

B 活荷重率 1.0 のケースにおいてのみ、

3.2. 橋梁形式の比較

破断時衝撃係数を 1.854 とし、下路式、上路式鋼単純トラス橋の両形式のリダンダンシー評価の比較を骨組モデルにより行った。両形式ともに上弦材、橋梁端部の斜材は $R > 1$ となる部材が多い。三面橋の下弦材は、全荷重、衝撃係数ケースにおいて $R > 1$ 部材が生じない。斜材の傾向は、三面橋の場合、固定支承側の斜材は $R > 1$ 部材数が大きく、可動支承側は $R > 1$ 部材数が小さい。また、三面橋の斜材の最大 R 値は、可動支承側で大きく、固定支承側では小さくなる。しかし、高柳橋の場合、可動支承側の斜材で、 $R > 1$ 部材数、最大 R 値がともに大きく、上下弦材もほぼ同様の傾向がみられた (図 2)。

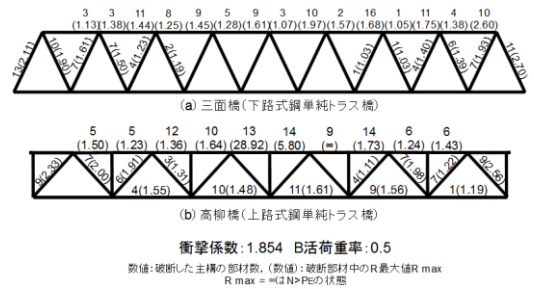


図 2 衝撃係数 1.854 の解析結果

3.3. 衝撃係数の比較

破断時の衝撃係数を URS レポート値と、後藤らの衝撃係数のリダンダンシー評価の違いを確認した。後藤らの衝撃係数は活荷重率 1.0 を基に算出されているが、URS レポートは活荷重率 0.5 を想定している。よって URS レポート値+荷重率 0.5 は、後藤らの値+荷重率 1.0 に相当すると考えられる。解析の結果、図 3 に示すように三面橋では、衝撃係数 1.5 荷重率 0.5 の場合、また高柳橋では、衝撃係数 1.2 と荷重率 0.5 の場合において $R > 1$ となる部材が、それぞれの衝撃係数 1.854 のケースにおいて $R > 1$ にならない。また、最大 R 値の大きさも異なっている。したがって、リダンダンシー解析において衝撃係数 1.854 荷重率 0.5 の組合せを一概に用いることはできないと考えられる。

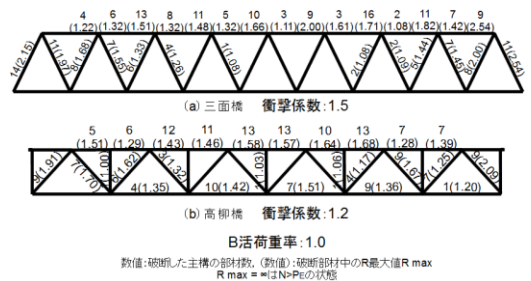


図 3 衝撃係数 1.5, 1.2 の解析結果

4. 結論

解析モデルに床版を考慮することはリダンダンシー評価に大きく影響を与える。しかし、線形解析における床版と主構部間のずれ止めの妥当性を検証する必要がある。また、橋梁の形式や載荷する活荷重の大きさや衝撃係数の組み合わせにより $R > 1$ となる部材が確認される想定破断部材の傾向が異なることが分かった。

参考文献

1) 舘石和雄, 阿部雅人, 奥井義昭, 山口栄輝, 山口隆司: 鋼トラス橋のリダンダンシー評価手法の開発と合理的維持管理への適用: 鋼トラス橋のリダンダンシー評価ガイドライン (案), 日本鉄鋼連盟 鋼構造研究・教育助成事業 (先導研究, 土木分野) 研究期間: 2008 年度~2009 年度, 2010.6

2) 後藤芳顕, 川西直樹, 本多一成: リダンダンシー解析における鋼トラス橋の引張り斜材破断時の衝撃係数, 構造工学論文集 Vol.56A, 2010