

リダンダンシー評価時と活用時における部材耐力とシステム耐荷力に関する検討

埼玉大学 正会員 奥井 義昭
NEXCO 東日本 正会員 伊藤 潔

1. はじめに

AASHTO 基準によればリダンダンシーは、引張応力が作用する部材もしくは部材を構成する要素が破壊したとしても橋梁全体が崩壊しない、もしくは重大な機能障害が発生しない能力と定義されている。米国では一般に、2主構トラスや2主桁橋はリダンダンシーの無い、いわゆる Fracture Critical Bridge (FCB) のとして分類され、FCB では新設設計時においては 5% 荷重効果を上乘せされ、既設橋においては 15% 部材耐力が割り引かれる。

一方、FCB であるか否かの判定する際に通常用いられる線形リダンダンシー解析では、破壊想定部材を除去した構造系に荷重を載荷し、他の部材が 1 つでも終局状態に達した場合、橋梁全体の終局と見なしている。実際には非弾性挙動により力の再配分が生じ、システムとしては耐力がある場合があるが、このことは全く無視されている。本研究では、リダンダンシーの判定方法とその判定結果の活用において、問題となる部材耐力と橋梁システム全体系の耐力の関係について、鋼トラス橋のケーススタディを行い検討した。

2. 対象橋梁および解析方法

対象とした橋梁は旧道路公団の標準図集を参考にした 3 径間連続鋼上路ラス橋（設計荷重 TT-43）で、その概要を図 1 に示す。図中、赤○で示しているのが破断想定部材であり、引張斜材の中で最大軸力の斜材を選定した。

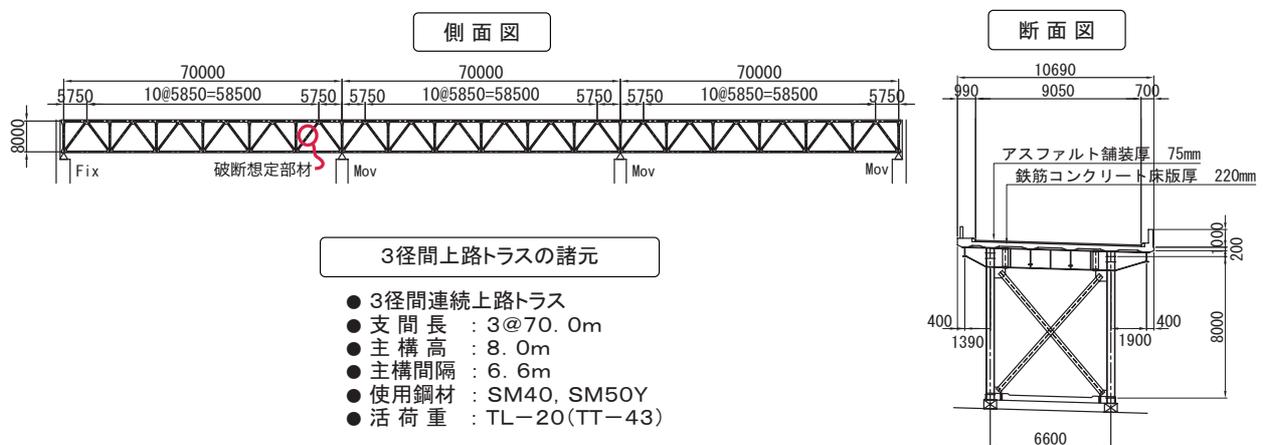


図-1 対象橋梁の概要と破断想定部材

解析モデルは、コンクリート床版はシェル要素、鋼部材はファイバーはり要素を用いた。元々は非合成として設計された橋ではあるが、床版と上弦材を接合しているスラブアンカー相当のバネで結合している。線形リダンダンシーと非線形リダンダンシー解析を実施し、両者を比較することで部材耐力と全体耐荷力の関係を検討した。

非線形解析では鋼材、鉄筋コンクリート、スラブアンカーの材料非線形性と有限変位による幾何学的非線形性を考慮した。非線形解析では健全状態の系に荷重増分法で死荷重と活荷重を載荷した後、図-1 に示す破断想定部材を除去した。線形、非線形とも部材破断に伴う衝撃および動的効果は無視して解析を行った。

キーワード リダンダンシー解析, 橋梁全体系, 弾塑性有限変位解析

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学 TEL 048-858-3558

3. 線形リダンダンシー解析とFCBの判定

線形リダンダンシー解析では、破断想定部材を除去した系より求めた断面力を用いて、次の軸力と曲げの相関式より R 値を求め、R=1.0 以上の部材を終局状態とし、「部材の終局」＝「全体系の崩壊」と判定した。

$$\text{引張軸力の場合：} R = \frac{P}{P_u} + \left(\frac{M}{M_p} \right)_{ip} + \left(\frac{M}{M_p} \right)_{op} \quad \text{圧縮軸力の場合：} R = \frac{P}{P_u} + \frac{1}{1 - (P/P_E)_{ip}} \left(\frac{M_{eq}}{M_p} \right)_{ip} + \frac{1}{1 - (P/P_E)_{op}} \left(\frac{M_{eq}}{M_p} \right)_{op}$$

ここで、添字の ip は面内、op は面外を示す。P は作用軸力、M は作用曲げモーメント、P_u は全塑性軸力、M_p は全塑性曲げモーメントである。添字の ip は面内、op は面外を表す。P_u は道路橋示方書 II 3.2.1 に基づく座屈を考慮した終局圧縮強度、P_E はオイラー座屈軸力、M_{eq} は換算曲げモーメントを表す。

線形リダンダンシー解析の結果は死荷重載荷時で破断想定部材直上の上弦材が 1 本 R=1.02 で終局となり、死荷重+活荷重載荷時で R=1.61 に達する。したがって、この橋はリダンダンシーの無いFCBと判定される。

4. 非線形リダンダンシー解析結果

非線形解析より得られた荷重-変位関係を図 2 に、最終状態における変形図を図-3 に示す。図-2 において、縦軸の荷重は、このトラス橋に作用する全ての荷重の総和を表す。解析ステップは前死荷重載荷→後死荷重載荷→活荷重載荷→部材除去の順である。青線が線形解析結果、赤線が非線形解析結果であるが、両者に大きな差はない。図-2 から分かるように、部材除去後も変位は有限値に留まり安定な状態である。さらに、活荷重載荷+部材除去によるたわみは 60mm 程度で活荷重たわみの制限値も満足している。したがって、全体崩壊もなく機能的にもたわみ制限を満足することから、非線形解析ではFCBで無いという判定になる。

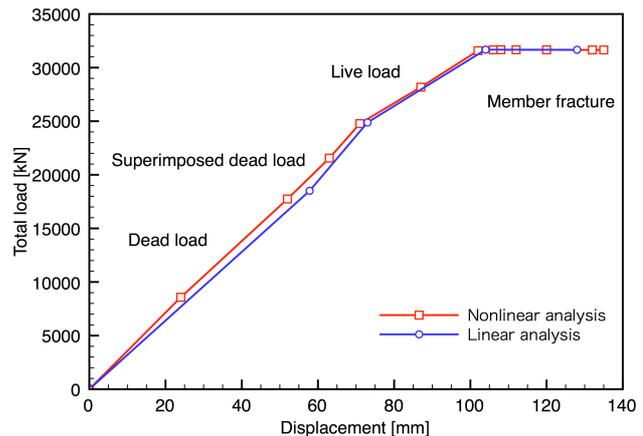


図-2 線形解析と非線形解析の荷重-変位関係の比較（縦軸は死荷重と活荷重による支点反力の合計）

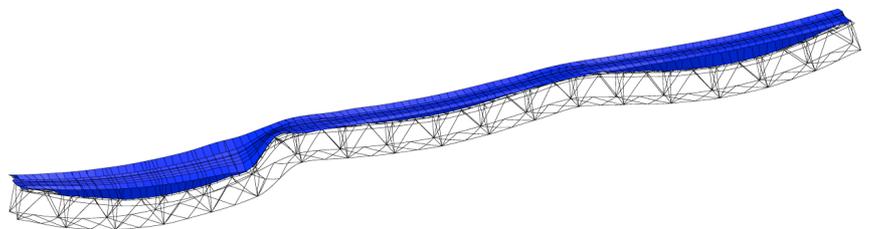


図-3 D+L 時における変形図

5. おわりに

今回のケーススタディでは、線形解析ではFCBと判定され、非線形解析ではFCBでない判定された。一般に、非線形解析の方がリダンダンシーを高めに評価出来る場合が多いように思う。したがって、非線形解析の計算コストをいとわない場合は、非線形解析を許すようなリダンダンシー評価の枠組みが望ましいと考える。また、一般の線形リダンダンシー解析では、部材の終局時を全体系の終局時と見なし、システムとしての効果は無視している。そのため、この結果を用いてさらに新設橋の設計時や既設橋の Load Rating 時にリダンダンシーを考慮し、荷重効果を大きめに修正したり、耐力を割り引くことは適切ではないように考える。

謝辞

本研究の一部は、土木学会平成 25 年度重点研究課題の助成を受けて実施されました。謝意を表します。

参考文献

- 1) 永谷秀樹他：我国の鋼トラス橋を対象としたリダンダンシー解析の検討，土木学会論文集 A, Vol.65, No2, pp.410-425, 2009.5.