

鋼トラス橋を対象とした連鎖崩壊型動的リダンダンシー解析

(株)耐震解析研究所 正会員 〇馬越 一也
 鹿島建設(株) 正会員 山沢 哲也
 室蘭工業大学 正会員 小室 雅人 伊藤忠テクノソリューションズ(株) 正会員 由井 幸司
 JIP テクノサイエンス(株) 正会員 見原 理一 (株)耐震解析研究所 正会員 野中 哲也
 大日本コンサルタント(株) 正会員 吉岡 勉 埼玉大学 正会員 奥井 義昭

1. はじめに

静的リダンダンシー解析¹⁾は、比較的容易な構造計算結果の組合せで実行でき、その解の安定性から、リダンダンシーの高い構造設計への利用が期待できる。しかしながら、静的リダンダンシー解析は、部材破断時の衝撃を URS レポート²⁾で提示されている衝撃係数を用いた静的な荷重での解析であるため、部材破断時の実現象に近い動的特性の評価に課題が残る。そこで本研究では鋼トラス橋を対象に、部材破断時の衝撃力や破断部材周囲への荷重再分配の影響を動的に取り扱う連鎖崩壊型リダンダンシー解析を実施し、橋梁全体系におけるリダンダンシー評価手法について検討する。

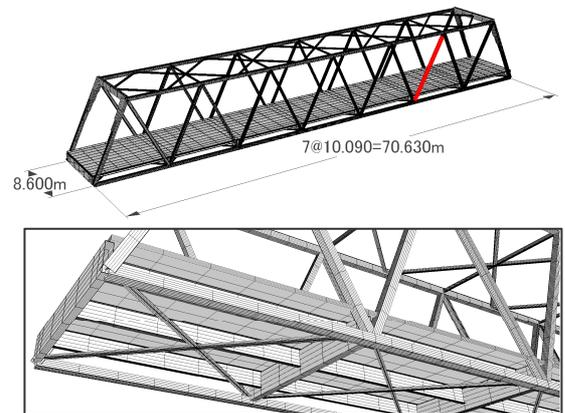


図-1 解析モデル

2. 対象橋梁および解析モデル

対象とした橋梁は破断損傷事例が報告されている木曾川大橋上り線第1径間(支間長 70.63 m)である。解析モデルを図-1 に示す。主構、床組および横桁をファイバー要素でモデル化し、設定する材料構成則には局部座屈の影響を近似的に考慮する手法を用いた³⁾。床版はコンクリート層と鉄筋層からなる積層タイプの弾塑性シェル要素であり、各層にコンクリートと鉄筋の材料構成則を設定することで床版のひび割れや鉄筋降伏特性を評価している⁴⁾。スラブアンカーは、実験から推定された抵抗を有する線形バネモデル¹⁾とする。初期状態(健全状態の再現)は施工手順を考慮して死荷重を載荷後、活荷重を載荷することで作成した。ここに活荷重はL荷重のB活荷重を採用したが、紙面の都合上、載荷位置は支間中央について結果を示すものとする。

3. 連鎖崩壊型動的リダンダンシー解析手法

文献4)では常時の荷重倍率 $\alpha(D+L)$ を漸増させて崩壊部材を連鎖的に消去していく手法であったが、本研究では部材の初期状態における余裕量には関係のない偶発作用時を想定して、最初に破断する引張部材(以下、トリガー部材)を想定し、崩壊部材を消去していく手法を用いた。具体的には次のような手順となる。① $D+\alpha L$ (ここに、 α : 活荷重倍率) を載荷した健全な構造系の応力状態を作成する。② 健全な構造系での無加振動的解析(予行時間: 0.1 s) の後にトリガー部材を消去して時間を進める。③ 各部材の応答をモニタリングし、破壊判定に達した部材は逐次消去し、新たな構造系で時間を進める。④ 解析が不安定となるか、構造が安定するまで時間を進める。ここに、部材の破壊については、試験的に文献4)を参考に引張と圧縮とも降伏ひずみの3倍で判定した。

4. 検討結果

実際に破断した斜材(図-1 赤で示す部材)をトリガー部材に設定した。図-2 に $\alpha=0.5$ と 1.0 における支間中央の破断側床版位置の鉛直方向変位(挿絵矢印の方向)を時系列にモニタリングした結果を示す。0.1 s の×印はトリガー部材消去時刻で、その後のプロットは破壊判定値に達した部材を消去した時刻、曲線の最後は構造不安定で解析がストップしたことを示している。 $\alpha=1.0$ のケースではトリガー部材消去後、約0.135 s 後

キーワード 動的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 〒466-0059 愛知県名古屋市昭和区福江 2-9-33 株式会社 耐震解析研究所 TEL 052-883-0100

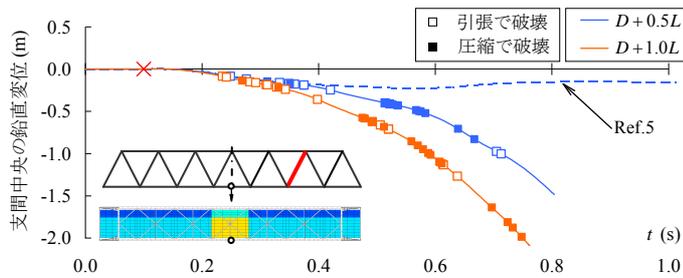


図-2 支間中央鉛直変位の時刻歴

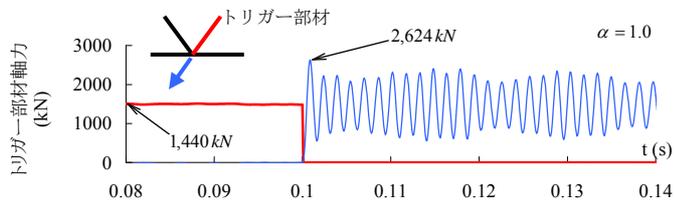


図-3 トリガー部材軸力と周辺部材の断面力変化量

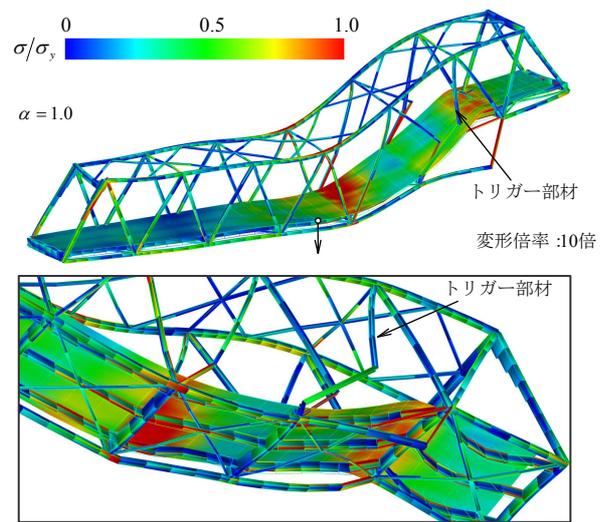


図-4 応力コンター変形図 ($t=0.5\text{ s}$)

に縦桁が崩壊に至り、続けて下弦材、橋門構支材が崩壊し、36部材が破壊した時点で構造不安定となっている。図-3はトリガー部材軸力とその周辺部材断面力変化量の時刻歴を重ねたものであり、ここから算出される破断時衝撃係数は1.823となる。これはURSレポートの衝撃係数1.854²⁾に近い値を示していることから、静的リダンダンシー解析で用いられる衝撃係数の妥当性を確認することができる。図-4に $\alpha=1.0$ のケースで0.5sの応力コンター変形図を示す。また、構造不安定となる状態を橋梁の崩壊とすると、本結果の両ケースはそれに該当し、別途実施した $\alpha=0.0$ のケースにおいても同様の結果となった。これは実際の破断時の状況とは異なり、部材の破壊判定値に降伏ひずみの3倍を用いていることが要因のひとつと考えられる。そこで部材破壊判定値を文献5)で示される構造安全性に対する限界ひずみ式に置き換えた検討を実施した。 $\alpha=0.0\sim 1.0$ の範囲(0.1刻み)では、 $\alpha=0.5$ 以下のケースにおいてトリガー消去後、連鎖的な破壊は見られず構造は安定する結果となった。 $\alpha=0.5$ のケースの結果を図-2に破線以示す。このことから部材判定値は橋梁の崩壊判定に影響が大きく、解析の目的によっては部材の破壊判定方法を見直した方がよい場合があると考えられる。

5. おわりに

本研究では文献4)を参考に、鋼トラス橋を対象にした偶発的な部材破断後の連鎖的な部材破壊を橋梁全体系で動的に評価する手法を用いて、ひとつのケーススタディを示した。本手法によって崩壊メカニズムの解明ならびに余剰耐力に対して一定の評価を得られるものと考えられる。しかし、鋼部材初期不整の考慮や床版とスラブアンカーの接合など解析モデルの精緻化、部材破壊判定値に課題があり、今後、設計への反映も鑑みた活荷重倍率の最適化に加え、これら課題について検討していく予定である。

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研究助成を受けて「鋼構造物のリダンダンシーに関する検討小委員会」の一環として実施されました。

参考文献

- 1) 永谷秀樹, 明石直光, 松田岳憲, 安田昌宏, 石井博典, 宮森雅之, 小幡泰弘, 平山博, 奥井義昭: 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.
- 2) URS Corporation: Fatigue Evaluation and Redundancy Analysis, Bridge No.9340 I-35W Over Mississippi River, 2006.
- 3) 杉岡弘一, 松本茂, 大石秀雄, 金治英貞, 馬越一也, 長井正嗣: 局部座屈を簡易に考慮するファイバーモデルを用いた橋梁全体系解析に関する基礎的検討, 構造工学論文集, No.57A, pp.703-714, 2011.3.
- 4) 野中哲也, 宇佐美勉, 岩村真樹, 廣住敦士, 吉野廣一: 連鎖的な部材破壊を考慮した鋼橋のリダンダンシー解析法の提案, 構造工学論文集 Vol.56A, pp.779-791, 2010.3.
- 5) 土木学会: 鋼・合成構造標準示方書—耐震設計編, 丸善, 2008.