

単純ワーレントラスの上弦材形状が静的リダンダンシー解析に用いる衝撃係数に及ぼす影響

徳島大学 学生会員 ○大栄祐太郎 徳島大学 非会員 北岸慎二郎
徳島大学 正会員 井上貴文 徳島大学 フェロー 成行義文

1. はじめに

わが国の橋梁は高度経済成長期に多く建設されており，多くの橋梁が建設から 50 年を超える¹⁾．ミネソタ州の鋼トラス橋崩落事故²⁾，日本においても崩壊には至らなかったが，トラス橋の部材破断が見つかりリダンダンシー評価に関心が寄せられた³⁾．リダンダンシーとは構造系のある部材もしくは部材の一部が破断等した後の構造系の耐荷性能のことを意味している³⁾．この解析では静解析で得られる応力増分や断面力増分に衝撃係数を乗ずることで部材破断の動的な応答値を予測し，その値が許容値内にとどまっているか照査する．このことから衝撃係数を適切に評価することは非常に重要である．後藤ら⁴⁾は平行弦トラスでは部材破断位置によって衝撃係数は 1.5～1.8 の範囲をとり，大栄らは曲弦トラスでは部材破断位置によって衝撃係数は 1.15～1.3 の範囲にあるとした．衝撃係数はそれぞれの橋梁によって異なるが，この衝撃係数を比較し構造型式による違いを検討することは，支間長等の構造型式以外の条件で違いがあるため難しい．したがって，本研究では単純ワーレントラスのリダンダンシー解析に用いる衝撃係数は，平行弦トラスと曲弦トラスという上弦材形状の違いによりどのように異なるか検討した．

2. 衝撃係数検討方法

本研究では，後藤ら⁴⁾の検討を参考に平行弦トラスおよび曲弦トラスの衝撃係数の算出を行う．破断部材を 1 つ決め，健全状態の静的解析，破断想定部材を取り除いた状態での静的解析，部材破断時の時刻歴応答解析の 3 つをそれぞれ実施し，破断前と破断時，破断後の部材断面力を算出し衝撃係数の値を検討する．部材破断のモデル化の概念図を図-1 に示す．破断前のモデルで応答解析を行い破断部材の両端の断面力 $\vec{F}_{i0}$ を算出した．次に，破断部材を取り除いたモデルの格点に外力 $\vec{F}_i$ を作用させ時刻歴応答解析を行った．このとき外力 $\vec{F}_i$ は断面力 $\vec{F}_{i0}$ から 0 に線形に変化すると仮定し， $\vec{F}_i = \vec{F}_{i0}(t_f - t)/t_f$ とし部材破断をモデル化した．ここで， t_f は部材破断時間を表し本研究では $t_f = 2.0 \times 10^{-2}$ (秒)とした．衝撃係数を算定する式は後藤ら⁴⁾が定義した次式を使用した．

$$I_i = (\sigma_{idm} - \sigma_{is}^{(0)}) / (\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)}) \quad (1)$$

ここで σ_{idm} は部材破断時における部材応力評価点 i の軸方向応力の動的応答値でその絶対値が最大値となるもので動的解析により算定される． $\sigma_{is}^{(0)}$ は部材破断前の σ_{idm} と同じ位置における軸方向応力である． σ_{is} は σ_{idm} が生じたのと同じ位置での部材破断後の静的軸方向応力で，破断部材を除去した構造系に対する静的解析で算定する．式(1)の分子は部材破断による動的応力増分，分母は静的な応力増分を表す．平行弦トラス，曲弦トラスのモデルを図-2 に，解析モデルの部材名称を図-3 に示す．それぞれのモデルは上弦材形状以外の条件を同じくした．使用した解析ソフトは SNAP⁵⁾である．部材は梁要素でモデル化した．設計ではトラスの格点部はピン結合として断面力を算出しているが，実際のトラス橋の格点部はガセットプレートにより結合されていることから，本検討のモデルでは格点部を剛結合としてモデル化を行った．断面力を算出するにあたり，解析に載荷さ

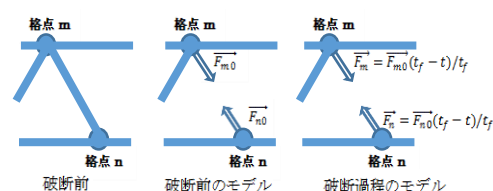


図-1 部材破断のモデル化の方法

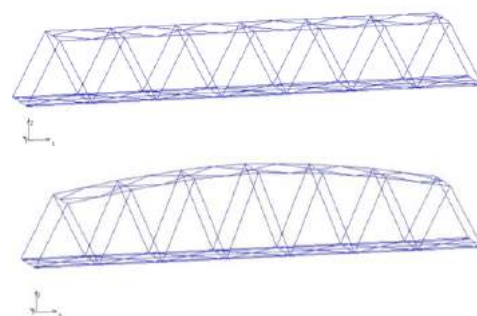


図-2 解析モデル

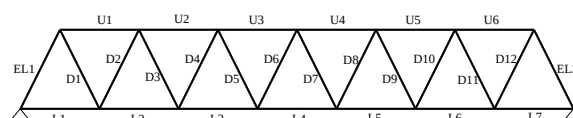


図-3 解析モデル部材名称

せる荷重は死荷重，B 活荷重，および破断に伴う衝撃力とした．B 活荷重は道路橋示方書 I 2.2.2⁶⁾に基づき，破断部材の軸力が最も大きくなるように破断部材の影響線を求め載荷位置を決定した．

3. 解析結果

図-4 に引張り斜材 D1 破断時の衝撃係数の結果を示す．ここで， σ_{iy} は応力評価点の降伏応力である．図に示すように衝撃係数は一定値にならず，部材ごとに大きな違いが見られる．部材破断による静的な応力増分 $(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$ が小さい応力評価点の衝撃係数は大きくばらつき衝撃係数も大きな値となっている． $(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$ が大きくなると衝撃係数は，ある一定値に収束するような傾向が見られる．収束値は平行弦トラスでは 1.42，曲弦トラスでは 1.45 となった．

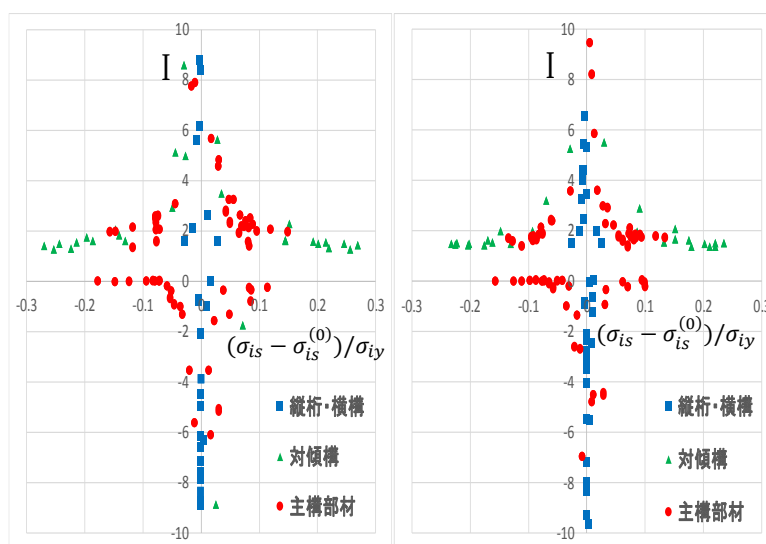
図-5 に動的な応力増分と静的な応力増分の関係を示す．各点の傾きが衝撃係数となる．縦桁，横構は動的な応力増分，静的な応力増分共に小さい値になった．対傾構の動的な応力増分，静的な応力増分共に大きい値になった．曲弦トラスの方が応力増分は小さくなった．静的な応力増分と動的な応力増分の関係は部材の種類ごとにある一定の範囲で分布し，対傾構が共に大きな値となる．実務の

リダンダンシー解析では動的応答値を主構部材のみ衝撃係数を用いて予測しているが，部材破断の影響は主構部材以外でも大きいので考慮する必要があると考える．

4. 結論

斜材の衝撃係数は部材破断による静的な応力増分の絶対値の小さい応力評価点ではばらつきが多く，その値が大きくなる点もある．しかし，静的な応力増分の絶対値が大きくなると衝撃係数は減少しある一定値に収束する傾向がある．平行弦トラス橋と曲弦トラス橋の時刻歴応答解析から得られた衝撃係数の収束値は，平行弦トラス橋の方が 0.03 小さかった．ワーレントラス橋のリダンダンシー解析において上弦材形状によって異なる衝撃係数を用いることが必要な可能性がある．静的な応力増分と動的な応力増分は共に曲弦トラス橋の方が小さい傾向があり，曲弦トラス橋の冗長性が高い可能性がある．本研究では衝撃係数を軸方向応力のみで算出したが，モーメントの影響も無視できない可能性があり，軸力とモーメントを考慮した衝撃係数を検討する必要があると考えられる．

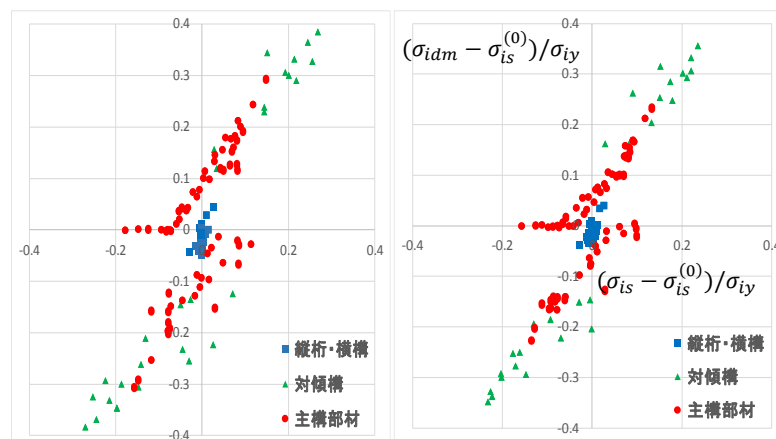
参考文献 1)玉越隆史，大久保雅憲，横井芳輝：平成 23 年度道路構造物に関する基本データ集，国土技術政策総合研究所 道路構造物管理研究室，H23-35. 2)藤野陽三，阿部雅人：米国ミネソタ州での落橋事故，土木学会誌 vol.92 no.10,2007. 3)土木学会鋼構造委員会：リダンダンシー評価ガイドライン(案)，鋼構造物のリダンダンシーに関する検討小委員会，2015. 4)後藤芳顕，川西直樹，本多一成：リダンダンシー解析における鋼トラス橋の引張り斜材破断時の衝撃係数，構造工学論文集 vol.56A,2010. 5) SNAP Ver.5 テクニカルマニュアル，株式会社構造システム,2009. 6) 日本道路協会：道路橋示方書 同解説 I 共通編，丸善，2012.



平行弦トラス(a)

曲弦トラス(b)

図-4 D1 破断時衝撃係数



平行弦トラス(a)

曲弦トラス(b)

図-5 D1 破断時軸方向応力増分