

リダンダンシー解析における下路式曲弦ワーレントラス橋の部材破断時の衝撃係数

徳島大学 学生会員 ○大柴祐太郎 徳島大学大学院理工学研究部 正会員 井上貴文
徳島大学大学院理工学研究部 フェロー 成行義文

1.はじめに 日本は高度経済成長期に多く建設され、その多くが建設から50年を超える。国内で橋梁の鋼材の腐食による斜材の破断が見つかり、鋼トラス橋のリダンダンシー評価に関心が寄せられた¹⁾。リダンダンシーとは構造系の1部材もしくは1部分が損傷した場合でも、その構造系がある程度の余耐力を維持し崩壊しない性能のことを意味している。この解析では、破断を想定する部材を除いた上で、静解析で得られる応力増分に破断時の衝撃係数を乗じ、応答値が許容される限界値以内に収まっているか照査する。このことから、リダンダンシー解析により崩壊に対する安全性を照査するには部材破断時の衝撃係数を適正に評価することが重要になる。永谷らの文献²⁾で脆性的な破壊と減衰5%とを仮定した1自由度系の振動から、動的増幅率1.854を衝撃係数とする方法が採用されている。しかし、トラス橋のような多部材で構成される構造物のリダンダンシー評価において、1自由度系の振動に基づく衝撃係数を用いることには疑問が残る。本研究では、これまでに検討がなされていない下路式の曲弦ワーレントラス橋を対象として部材破断時の衝撃係数について解析的に検討した。

2.解析モデル 本研究では、後藤ら³⁾の検討を参考に、徳島県に実在する曲弦ワーレントラス橋を検討対象モデルとする。解析モデルを図-1に示す。使用した解析ソフトはSNAP⁵⁾である。主構、主桁を構成する部材は梁要素、床版は床組の格点に等価な集中荷重で配置した。格点部については、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剛結合としてモデル化を行った。図-3に解析モデルの部材名称を示す。断面力の算出にあたり、解析モデルに作用させる荷重は、死荷重、B活荷重、および破断に伴う衝撃力とした。なおB活荷重は道路橋示方書I2.2.24)に基づき、着目する部材の軸力が最も大きくなるように載荷させた。

3. 衝撃係数の算定法 曲弦ワーレントラス橋の破断時の時刻歴応答解析、破断後の応力解析、破断前の応力解析の3つを実施し、着目部材破断時と破断前、破断後における他の部材断面力を算出し、衝撃係数の値を検討する。減衰は直接減衰定数を定め5%としている。衝撃力は、図-2に示すように表す。破断部材を除去し、破断部材の両端に破断前に作用していた断面力 \vec{F}_{m0} 、 \vec{F}_{n0} を部材両端が接合されていた格点m、nに外力 $\vec{F}_m = \vec{F}_{m0}$ 、 $\vec{F}_n = \vec{F}_{n0}$ として作用させることで、破断前の状態を再現するモデルを作成する。そして部材が完全に破断するまでの時間 t_f において外力 \vec{F}_m 、 \vec{F}_n を \vec{F}_{m0} 、 \vec{F}_{n0} から零に線形に変化すると仮定し、 $\vec{F}_m = \vec{F}_{m0}(t_f - t)/t_f$ 、 $\vec{F}_n = \vec{F}_{n0}(t_f - t)/t_f$ で破断過程を表す。破断は部材中央で生じると仮定し、破断時間 t_f は後藤ら³⁾が使用していた値 $\Delta t = 2.0 \times 10^{-2}(\text{sec})$ を使用する。また衝撃係数は後藤ら³⁾と同様に式(1)のように定義した。

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

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、 σ_{is} は σ_{idm} が生じたのと同じ位置での部材破断時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される。また $\sigma_{is}^{(0)}$ 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。式

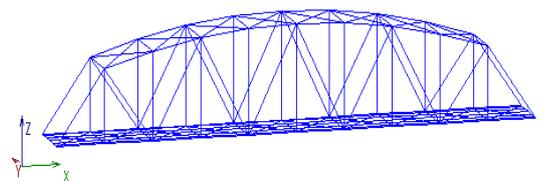


図-1 解析モデル

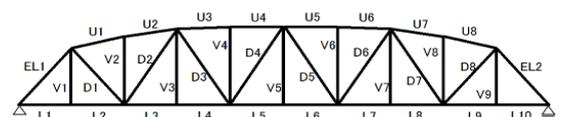


図-2 部材名称

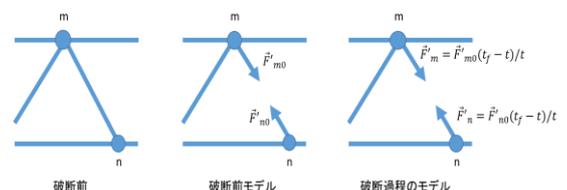


図-3 部材破断の解析方法

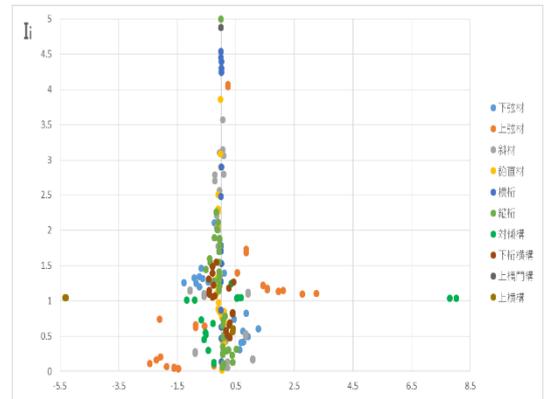
(1)の分子は部材破断による動的な応力増分、分母は静的な応力増分を表す。

4.衝撃係数の算定結果 図-4はU3破断時の衝撃係数 I_i を各部材ごとに色分けして示す。ここに、 σ_{iy} は各応力評価点での鋼材の降伏応力であり、全て235MPaとした。図-4よりわかるように衝撃係数 I_i は一定値にはならず、部材ごとに大きな違いが見られる。これは、後藤らの解析³⁾でも同様に示された結果である。部材破断による静的な応力増分比 $(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$ との関係が小さい応力評価点の衝撃係数は0~5の範囲で大きくばらついてはいるが、 $(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$ の絶対値が大きくなると衝撃係数 I_i は約1.2に収束する傾向が見られる。

同様にD1、D3破断時 I_i と $\Delta\sigma_{is}$ との衝撃係数の結果を図-5、図-6に示す。U3の場合と同様に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いており、 $(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$ 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ような傾向が見られる。D1の衝撃係数の収束値は $I \approx 1.3$ となる。D3の場合、図-6より分かるように $(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$ の値が0.4以下で小さく、ばらつきが多い場所もあるが収束値としては約 $I \approx 1.15$ となる。

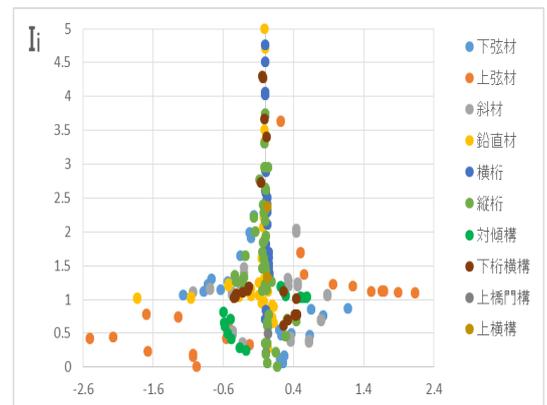
5.結論 本研究では、下路式曲弦ワーレントラス橋を対象として部材破断時の衝撃係数について検討した結果得られた結論と今後の課題を列挙する。衝撃係数は部材破断による静的な応力増分の絶対値の小さい部材ではばらつきが大きく、その値が約5.0に達するものもある。しかし、静的な応力増分の絶対値が大きくなると衝撃係数は減少しある一定値に収束する傾向がみられる。得られた衝撃係数の収束値は、部材破断位置により1.15~1.3の範囲にある。リダンダンシー解析では部材によらず一定の衝撃係数の値を用いられるのが实际的である。平行弦ワーレントラス橋を対象とした後藤らの衝撃係数は1.5~1.8であり、本研究の曲弦ワーレントラス橋の衝撃係数の値のほうが小さかった。後藤らが解析した橋は、平行弦トラス橋で鉛直材がなく、曲弦ワーレントラス橋よりも衝撃の影響が大きく出ていたのではないかと考えている。平行弦ワーレントラス橋と曲弦ワーレントラス橋で衝撃係数の値に差がでた理由を今後検討していく予定である。また本研究では、脆性的な部材破断を仮定しており、部材が延性破壊する場合の衝撃係数は求められていない。脆性破壊と延性破壊による各衝撃係数の違いやリダンダンシー評価への影響などの検討が必要であると考えられる。

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)永谷秀樹, 明石直密 他:我が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, No.2, pp.410-425, 2009, 3)後藤芳顯, 本多一成, 川西直樹:リダンダンシー解析における鋼トラス橋の部材破断時の衝撃係数, 構造工学論文集A, 56A:792-805, 2010, 4)日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 2012, 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.



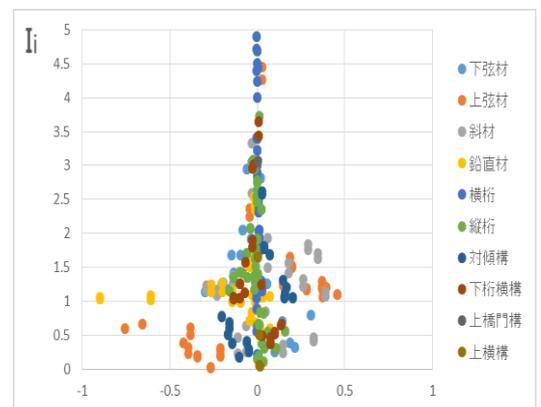
$$(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$$

図-4 U3破断時衝撃係数



$$(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$$

図-5 D1破断時衝撃係数



$$(\sigma_{is} - \sigma_{is}^{(0)})/\sigma_{iy}$$

図-6 D3破断時衝撃係数