

# 動的非線形解析による鋼トラス橋の部材破断に伴う動的効果の数値的評価

東北大学大学院工学研究科 (現・東日本旅客鉄道(株)) ○正会員 塚田 健一  
 東北大学大学院工学研究科 正会員 斉木 功  
 東北大学大学院工学研究科 正会員 岩熊 哲夫

## 1. はじめに

米国の鋼トラス橋落橋事故<sup>1)</sup>を契機に、リダンダンシー評価の重要性が認識されるようになった。部材破断の動的効果を含んだ進行的な破壊現象は、静的リダンダンシー解析で得られる応答に対する倍率である衝撃係数を用いて考慮することが実用的である<sup>2)</sup>。衝撃係数の値については、線形1自由度モデルを根拠とした1.854がURSによって提案されている。これに対して後藤ら<sup>3)</sup>は、トラス橋の線形動的解析を行い、破断想定部材により衝撃係数が1.2～1.8程度となることを示した。しかしながら、部材破断後の応答における非線形性の影響については未解明であり、より精度の高い動的効果の予測には非線形性の考慮が必要であると考えられる。また、床版のリダンダンシーに対する寄与も報告<sup>2)</sup>されているが、その根拠は静的解析に基づいている。そこで本研究では、鋼トラス橋を対象に動的非線形解析を行い、静的非線形リダンダンシー解析に対する部材破断の動的効果の大きさを定量評価することを試みた。さらに、床版の非線形性が結果に与える影響についても考察した。

## 2. 動的非線形リダンダンシー解析

### (1) 解析モデル

解析モデルは三重県木曾川大橋を参考に作成した。破断ケースとして斜材3ケース、上弦材および下弦材それぞれ1ケースずつの計5ケースとした。また荷重パターンとしてそれぞれの破断ケースに計4パターンを用意した。図-1に破断想定部材および荷重パターンを示す。つまり、解析ケースは計5×4=20ケースとなっている。RC床版は断りがない場合、弾性体板要素とした。鋼材は弾塑性体梁要素として、Misesの降伏条件、線形等方硬化則を用い、初期降伏応力を235MPa、硬化係数をYoung率の10<sup>-2</sup>倍とした。

### (2) 部材破断の再現

後藤ら<sup>3)</sup>の解析手法を参考に、図-2に示す手順で部材の破断をモデル化した。まず、破断部材の格点に作用していた断面力F<sub>0</sub>を求める(I)。次に、F<sub>0</sub>を外力として与えることで破断前のモデルを作成する(II)。そして、

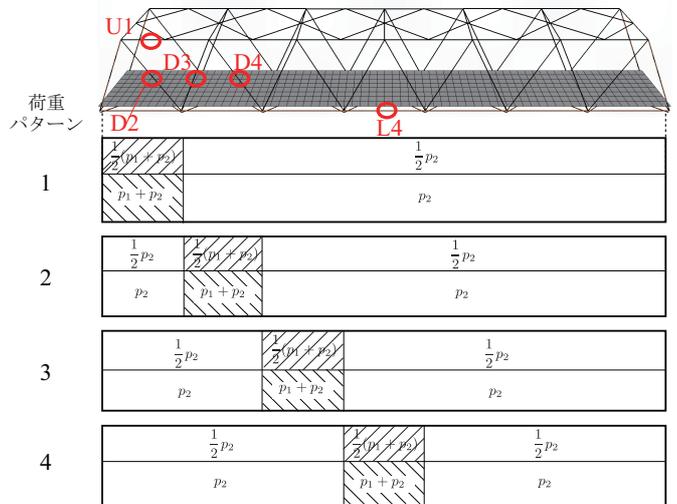


図-1 破断想定部材および荷重パターン

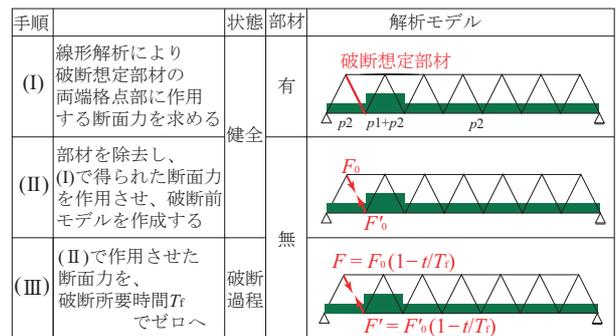


図-2 破断の再現方法

破断所要時間T<sub>f</sub>により断面力F<sub>0</sub>を線形にゼロへ減少させ破断を再現する(III)。つまり、破断過程の断面力Fを、時刻t、破断所要時間T<sub>f</sub>を用いて、 $F = F_0 \times (1 - t/T_f)$ とした。本研究では、 $T_f = 1.0 \times 10^{-2}$  sとした。

### (3) 動的効果

道路橋示方書に準じ死荷重Dと活荷重Lを与える。静的非線形リダンダンシー解析では、死荷重Dの後に活荷重Lを荷重パラメタfで漸増載荷させ、モデル内の相当塑性ひずみが2%に到達する時のfを静的終局荷重f<sub>sta</sub>とした。動的非線形リダンダンシー解析では、最大相当塑性ひずみε<sub>max</sub><sup>p</sup>を求める。さらに、D+fLの静的非線形リダンダンシー解析による漸増載荷でε<sub>max</sub><sup>p</sup>となるfを求め、これを動的終局荷重f<sub>dyn</sub>とした。これらより、部材破断の衝撃による応答増幅率として、動的効果Iを $I = \frac{f_{dyn}}{f_{sta}}$ と定義した。なお、動的解析にお

**Key Words:** 鋼トラス橋, 非線形動的FEM, リダンダンシー, 衝撃係数, 動的効果

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 構造強度学研究室

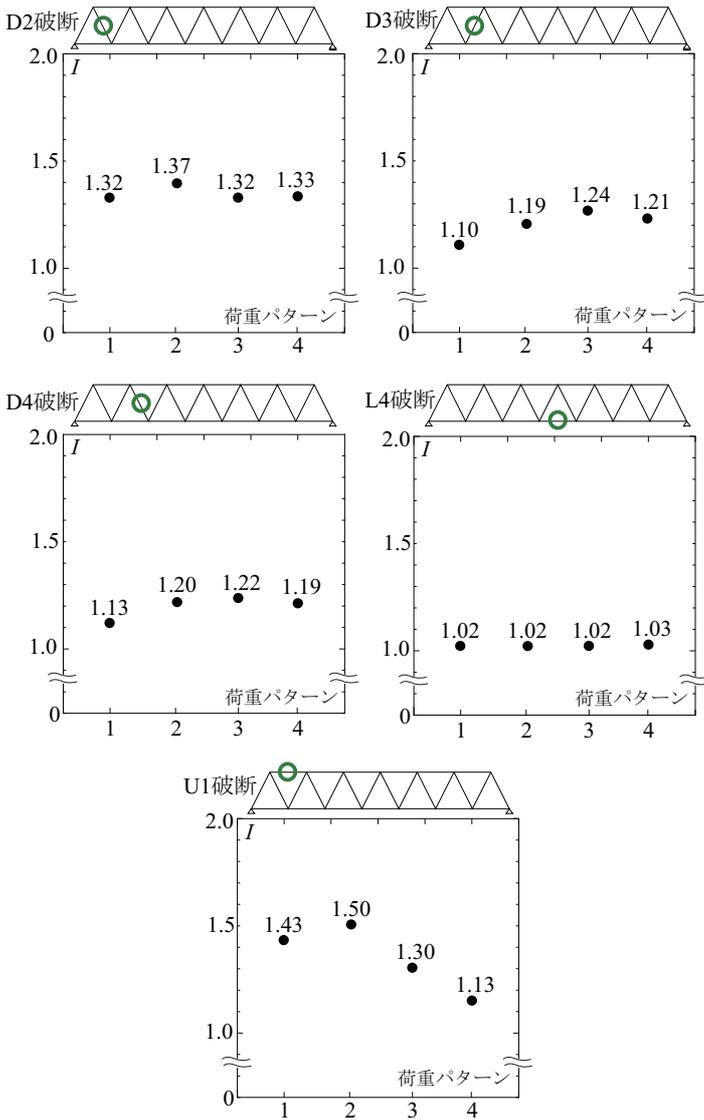


図-3 各破断ケースにおける荷重パターンごとの動的効果 I

いては Rayleigh 減衰を仮定し、幾何学のおよび材料非線形性を考慮し、時間積分間隔を  $1.0 \times 10^{-3}$  s とした。

### 3. 動的効果の評価結果

#### (1) RC 床版が弾性体の場合

図-3 に得られた動的効果 I を示す。それぞれの破断ケースにおける動的効果 I の最大値は、斜材 D2 で荷重パターン 2 のときに 1.37、斜材 D3 で荷重パターン 3 のときに 1.24、斜材 D4 で荷重パターン 3 のときに 1.22、下弦材 L4 で荷重パターン 4 のときに 1.03、上弦材 U1 で荷重パターン 2 のときに 1.50 となった。荷重パターンについては、 $p_1$  荷重が破断部材の軸力が大きくなる位置にあるときに動的効果 I が大きくなる傾向となった。斜材位置については、設計部材力の大きな斜材ほど、破断による動的効果が大きい傾向となった。下弦材 L4 破断による動的効果が特に小さな値となった理由

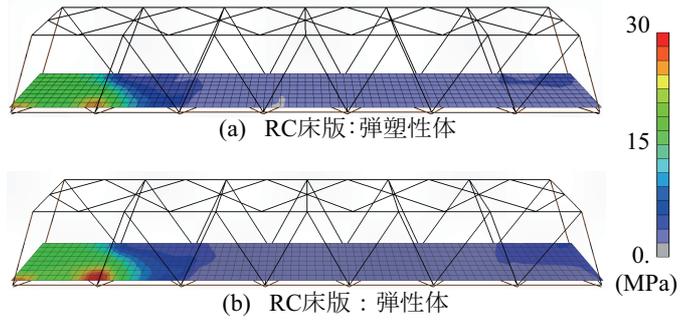


図-4 RC 床版の材料のモデル化による相当応力分布の比較

は、荷重伝達能力の大きな RC 床版が下弦材の軸力を再分配したためと考える。

#### (2) RC 床版が弾塑性体の場合

RC 床版を弾塑性体としてモデル化したことが動的効果 I に与える影響を斜材 D2 破断のケースにおける荷重パターン 2 で考察した。RC 床版には Drucker-Prager の降伏条件を適用し、粘着力 12.58 MPa、摩擦角  $10^\circ$  とした。このときの動的効果は 1.37 となり、床版を弾性体としてモデル化した時と同じになった。

RC 床版を弾塑性体、弾性体としたモデルで、それぞれの RC 床版内の相当応力が最大となる時刻の相当応力分布を、図-4(a), (b) に示す。RC 床版の弾塑性挙動を考慮したことにより相当応力の最大値が小さくなった。一方、鋼部材の損傷状態は、RC 床版を弾性体としたときと比較して顕著な違いは見られず、塑性化する箇所も同じであった。このことから、RC 床版がある程度塑性変形しても、破断した荷重を他の部材へと再分配する能力を十分に有していることがわかる。

### 4. まとめ

現象の非線形性を考慮し、静的非線形解析に対する部材破断による動的な応答の増幅率を、静的解析に相当する荷重パラメタとして動的効果 I を定義し、その数値的評価を行った。動的効果は破断部材に応じて 1.02 ~ 1.50 の範囲となった。下弦材破断時の動的効果 I は特に小さく、破断した下弦材の内力が床版や縦桁に荷重が伝達されたことが要因と考えた。

#### 参考文献

- 1) Hao, S.: I-35W bridge collapse, *J. Bridge Eng.*, 15(5), pp.608-614, 2010.
- 2) 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, No.2, pp.410-425, 2009.
- 3) 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斜材破断時の衝撃係数, 土木学会構造工学論文集, Vol.56A, pp.792-805, 2009.