

鋼トラス橋のリダンダンシー評価手法の検討 (その2)

(株)宮地鐵工所 正会員 永谷秀樹
(株)サクラダ 正会員 松田岳憲
(株)横河ブリッジ 正会員 石井博典
伊藤忠テクノソリューションズ(株) 小幡泰弘

(株)総合技術コンサルタント 正会員 明石直光
伊藤忠テクノソリューションズ(株) 〇 正会員 安田昌宏
川田工業(株) 正会員 宮森雅之
大日本コンサルタント(株) 正会員 平山 博
埼玉大学 正会員 奥井義昭

1. はじめに

昨年の8月、米国のミネソタ州のトラス橋が崩落するという衝撃的な事故が発生し関係者を驚かせた。一方、国内に目を向けてみると木曽川橋や本荘大橋で斜材が破断するという事例が報告されているが、幸い大事故には至らなかった。本研究は、なぜ斜材が破断しているにもかかわらず崩落を免れたのかという事をテーマに鋼トラス橋を例としてリダンダンシー評価の解析手法を評価および確認した結果をまとめたものである。

2. 解析の概要

1) 解析の目的

部材が破断すると、その部材が分担していた力が徐々に、あるいは一気に開放される。この開放された力を他の部材が負担する事により橋梁全体が不安定になり崩落に導く事が考えられる。これを解析的に再現し、またはシミュレートする事によりどの部材がクリティカルな部材であるかを事前に把握することができれば、有効な維持・管理手法を提案することができると考える。そこで、本研究では特に床版に着目して、非線形解析によるリダンダンシー解析の評価および確認を行った。単径間下路トラス橋については別途報告しているので^{1,2)}、ここでは連続上路トラス橋について報告する。

2) 解析モデル

対象とした橋梁の概要を図-1に示す。支間長 3@70.0m のB活荷重相当(TT-43)で設計された3径間連続上路トラス橋とした³⁾。本研究ではリダンダンシー評価の妥当性確認の為に、線形解析モデル(以降、モデル1)と非線形解析モデル(以降、モデル2)の2つのモデルで比較検討している。

両者のモデル化の条件を表-1に示す。モデル2では、床版について圧縮領域と引張領域の材料特性を考慮できるものとし、引張に対しては作用応力が2MPaまではRC部材として抵抗し、それ以上はSD345相当の鉄筋のみで抵抗するものとして材料モデルを設定した。なお、今回の検討では鉄筋はモデル化していない。また、鋼部材を弾塑性材料とし、降伏応力以上は $E/100$ とするバイリニア型の応力ひずみ曲線とした。スラブアンカーも非線形要素とし、「スラブアンカーの静的ずれ耐力特性に関する実験的研究(枘田・平城ら)」⁴⁾に示される荷重変位曲線(16φ, 45度取付)を基に材料特性を設定した。格点部に関してはモデル1では上・下弦材と斜材の結合条件をピン結合としているのに対し、モデル2では材料非線形を考慮しているために剛結合としている。また、幾何学的非線形性を考慮し、初期形状としてキャンパーを考慮した。

3) 解析ケース

解析モデルを図-2に示す。解析コードはABAQUSを使用した。解析手順として、STEP1:前死荷重および後死荷重状態における破断前の健全状態を再現する。STEP2:着目する

部材に対して最も不利となるような荷重(活荷重)を選定し、載荷する(図-3)。本研究では圧縮が卓越する支点上の斜材を着目部材とした。STEP3:中間支点部付近の引張斜材が破断した場合を想定し、REMOVE機能を用いて破断させた。

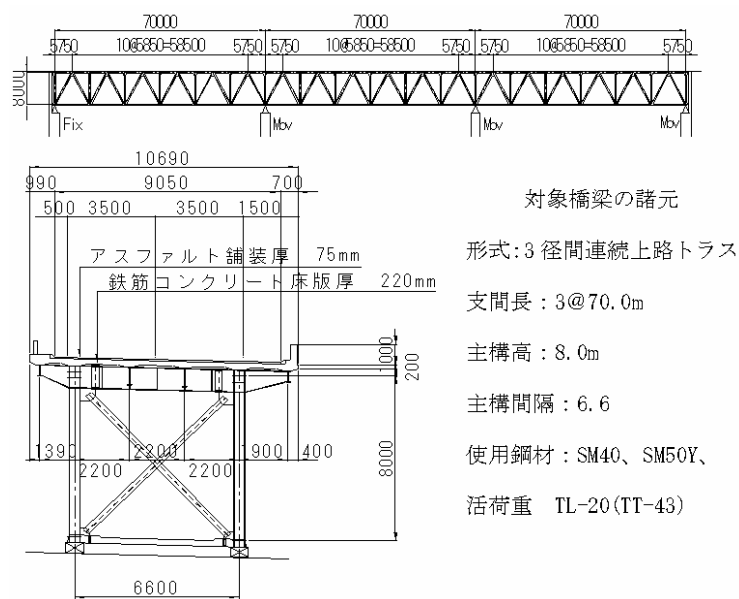


図-1 検討対象橋梁

表-1 モデル化の条件

	モデル1	モデル2
床版	弾性	弾塑性
鋼部材	弾性	弾塑性
格点部	ピン	剛結
幾何学的特性	微小変位	有限変位
スラブアンカー	線形	非線形
キャンパー	あり	あり

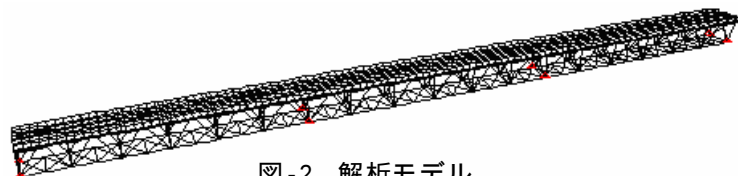


図-2 解析モデル

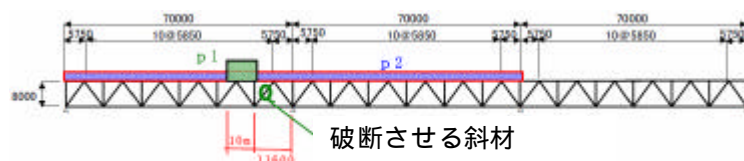


図-3 荷重載荷位置

Keywords: トラス橋 リダンダンシー 冗長性 損傷 弾塑性 FEM解析

連絡先: 伊藤忠テクノソリューションズ(株) 社会基盤ソリューション部 〒100-6080 東京都千代田区霞が関3-2-5 霞が関ビル TEL:03-6203-7399

3. 解析結果

軸力図を図-4 に示す。軸力については両モデルの差はほとんど見られなかった。曲げモーメントについては、図-5 に示すように、破断部材近くの上弦材において、モデル 2 ではモデル 1 の約 1.5 倍曲げモーメントが生じる結果となった。次に橋軸方向の床版応力を図-6 に示す。破断部材近くの床版において、モデル 1 では 10MPa を超える引張応力が発生していたが、モデル 2 では設定した材料特性により 2MPa を超える引張応力は床版に発生せず SD345 相当の鉄筋に応力が分配されていることが確認できた。さらに、終局状態の確認のため、非弾性ひずみにて塑性化の範囲を確認した。図-7 に示す床版の非弾性ひずみ分布から、破断した斜材近くの床版の一部にひび割れは生じているが、鉄筋が降伏するまでは至っていないと考えられる。鋼主部材の塑性化範囲はごく一部に留まっており、A-A 断面に示すように、破断した斜材近くの鉛直材の一部に塑性ひずみが生じているが、それも部分的であり、全断面塑性には至っていないことが確認できた。他の主部材には塑性ひずみは発生しない結果となった。

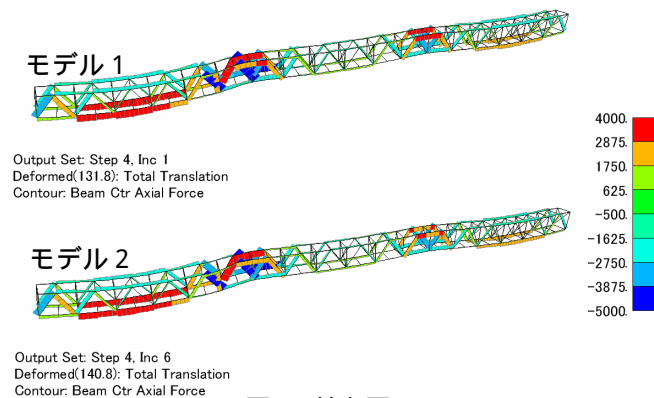


図-4 軸力図 [kN]

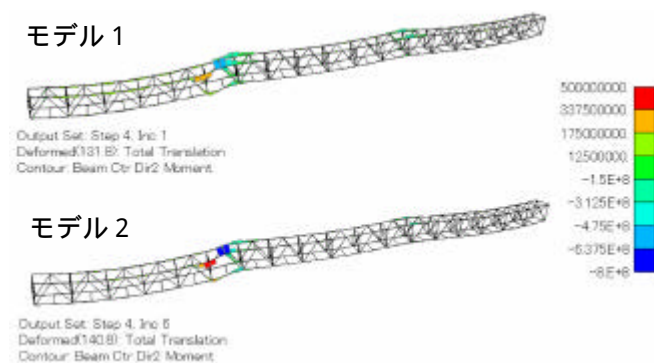


図-5 曲げモーメント図 [Nmm]

4. まとめ

以上より、検討主旨として想定した、非合成トラスとして設計されたものでも床版との合成効果は期待できると考えられ、そのことがリダンダンシーとして橋全体の安全性を担保していることが本研究では確認できたと考えられる。一方で、床版の耐力が橋全体の安全性に与える影響は大きく、非合成として設計された橋梁の補修を行う場合には細心の注意が必要であると同時にリダンダンシー解析における床版のモデル化や照査方法は今後さらに検討する必要がある。

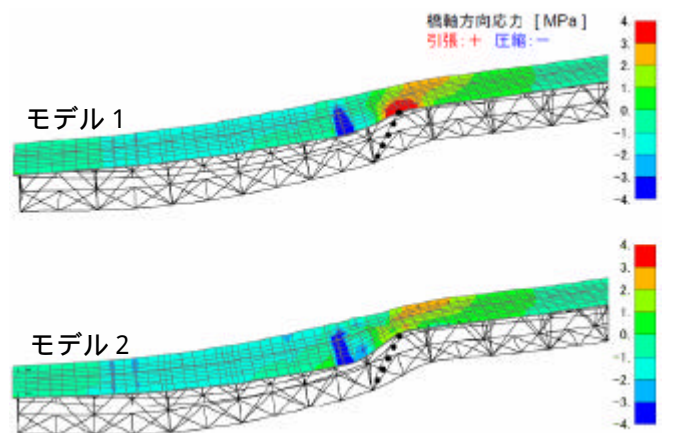


図-6 床版の橋軸方向応力 [MPa]

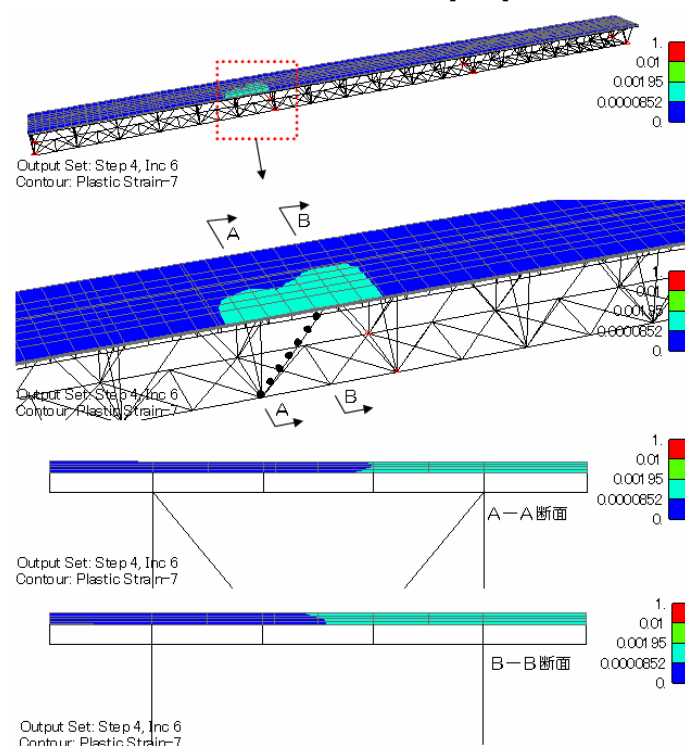


図-7 床版の非弾性ひずみ分布

謝辞

本研究は鋼橋技術研究会の特別検討チームの活動内容をまとめたものです。貴重な助言をいただきました鋼橋研究会長の藤野陽三教授、越後滋運営幹事、高田和彦運営幹事に謝意を表します。

参考文献

- 1) 石井他 鋼トラス橋のリダンダンシー評価手法の検討 (その 1), 第 63 回年次学術講演会, 土木学会, 2008.9
- 2) 宮森他 鋼トラス橋のリダンダンシー評価手法の検討 (その 3), 第 63 回年次学術講演会, 土木学会, 2008.9
- 3) 日本道路公団 鋼橋標準設計 鋼 3 径間連続トラス橋, 1981.
- 4) 栢田ら: スラブアンカーの静的な耐力特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.47A, pp.1373-1380, 2001
- 5) URS corporation Fatigue evaluation and redundancy analysis, Bridge No.9340, I-35W over Mississippi river, Draft report, 2006.
- 6) 鋼橋技術研究会特別検討チーム なぜ日本の橋は落ちていないのか? - リダンダンシーが橋を救う, 鋼橋技術研究会緊急企画, “トクイン日本の鋼橋を考える” 予稿集, pp.95-116, 2007