

非線形有限要素解析による鋼ランガー橋の冗長性評価

東北大学大学院工学研究科	○学生員	川村 航太
東北大学大学院工学研究科	正員	斉木 功
熊本高等専門学校専攻科	正員	岩坪 要
東北大学大学院工学研究科	正員	岩熊 哲夫

1. まえがき

2007年8月に米国で起きた鋼トラス橋の落橋事故を契機に、我が国においても点検が行われ、トラス橋の斜材破断やアーチ橋の吊材破断などの損傷事例が報告された¹⁾。米国のケースと異なり、橋梁全体の崩落に至らなかったのは、これらの橋梁に冗長性が備わっていたためと考えられる。近年、橋梁全体の冗長性評価を目的とした研究が数多く行われている^{2),3)}が、それらの多くはトラス橋や桁橋を対象としており、ランガー橋の冗長性に関する研究はほとんど行われていない。ランガー橋は設計において1次不静定構造であり、トラス橋や単純桁橋のような静定構造物よりも冗長性が高いと予測できるが、その定量的評価には至っていない。そこで本研究では、鋼ランガー橋の3次元有限要素モデルを用いて非線形解析を行い、格点部や床版のモデル化の違いがランガー橋の冗長性評価に与える影響について考察を行った。

2. 解析対象および解析方法

(1) 解析モデル

熊本市の旧子飼橋と同規模(全長57.2m、幅員8.5m、アーチライズ9.0m)の単径間下路式鋼ランガー橋を解析対象とした。床版を弾性体板要素、その他の部材を全て梁要素を用いてモデル化したモデルを骨組モデルと呼び、図-1に示す。また、骨組モデルにおける吊材の結合条件に関して、格点部を全て剛結としたモデルを剛結モデルと呼び、吊材と他部材の格点部をピン結合としたモデルをピン結合モデルと呼ぶこととする。また、床版の剛性がランガー橋の冗長性評価に与える影響を検討するために、床版の曲げ剛性を擬似的に低減させたモデルとして、RC床版のYoung率を 10^{-2} 倍としたモデルを用い、以後それらを「剛結モデル(床版なし)」などと表記する。また、図-2に示すように格点部のみを板要素により詳細にモデル化したモデルを詳細モデルと呼ぶこととする。数値解析には、幾何学的および材料非線形性を考慮し、汎用有限要素解析ソフトNX NASTRANを用いた。鋼材は全てSM400を

想定した弾塑性体として、von Misesの降伏条件、線形等方硬化則を用いて、初期降伏応力を235MPa、硬化係数をYoung率の 10^{-2} 倍とした。

(2) 解析方法

吊材の破断に対するランガー橋の冗長性を検討するために、図-3に示すように、図中左から5番目の吊材の破断を想定し、この吊材の要素を全て消去した状態で解析を行う。荷重は道路橋示方書⁴⁾に準じ、死荷重(D)と活荷重(L)を与える。活荷重はL荷重とし、図-3に示す p_1 荷重載荷位置で検討を行う。この活荷重(L)に対する倍率を荷重パラメータ f とし、 $D+fL$ を載荷する。

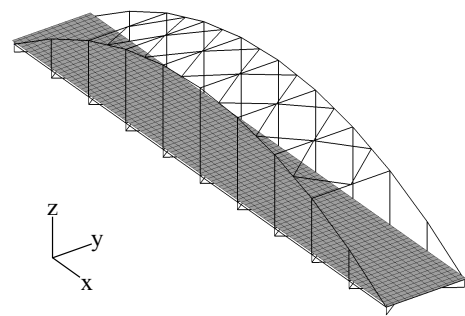


図-1 骨組モデル

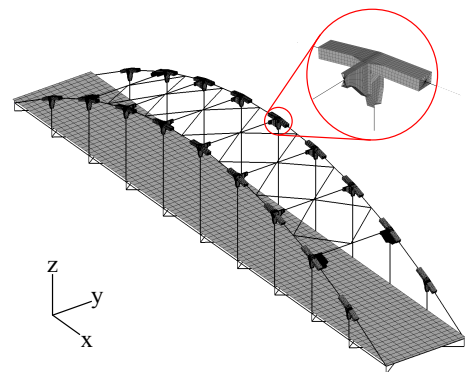


図-2 詳細モデル

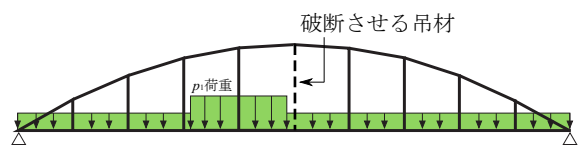


図-3 p_1 荷重載荷位置および破断想定部材

Key Words: 鋼ランガー橋、非線形有限要素解析、冗長性、吊材破断

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-60 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

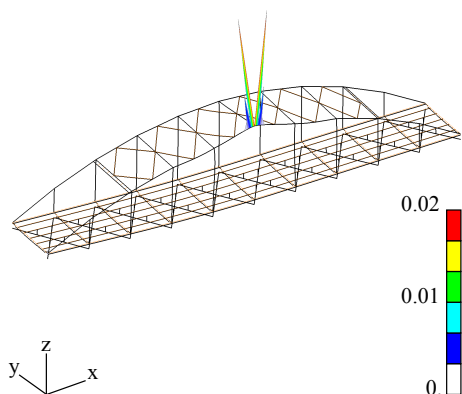


図-4 剛結モデルにおける相当塑性ひずみ分布 ($f = 0.94$, 変形 10 倍)

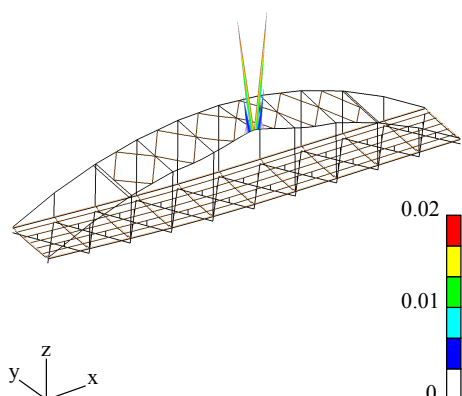


図-5 ピン結合モデルにおける相当塑性ひずみ分布 ($f = 0.90$, 変形 10 倍)

3. 解析結果

各モデルにおける相当塑性ひずみ分布図を図-4~6に示す。図-4, 5より、剛結モデルおよびピン結合モデルでは、破断吊材の直上のアーチリブにおいて曲げ破壊が生じていることが確認できる。これは、アーチの軸線が変化する格点部に軸力が作用したことにより曲げが発生し増加したことが原因と考えられる。一方図-6より詳細モデルでは、図-3の左から4番目の吊材とアーチリブの格点部において、アーチリブの上フランジで局部座屈が生じていた。次に、各モデルにおける、荷重パラメータ f とモデル中で最大となる点の相当塑性ひずみの関係を図-7に示す。図-7より、荷重パラメータが同じであれば、詳細モデル・剛結モデル・ピン結合モデルの順で相当塑性ひずみが小さいことが分かる。これは、格点部付近のアーチリブの剛性が大きいほどアーチリブの変形に対する抵抗が大きく、相当塑性ひずみの増加を抑制するためと考えられる。また、図-7より、相当塑性ひずみがある程度大きい段階においては、床版の有無によって荷重パラメータに差が生じていることがわかる。例えば、剛結モデル（床

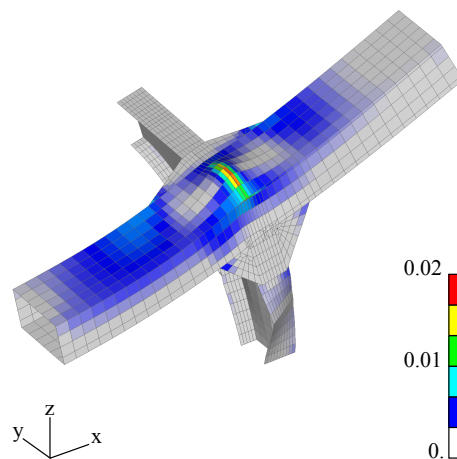


図-6 詳細モデルにおける相当塑性ひずみ分布 ($f = 1.27$, 変形 10 倍)

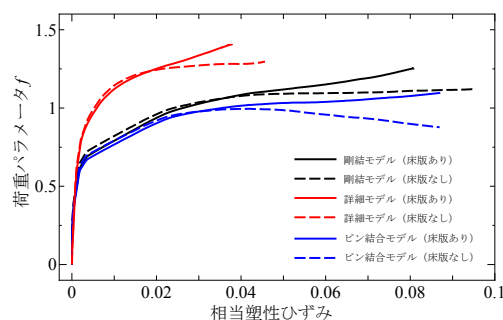


図-7 荷重—相当塑性ひずみ関係

版あり）と剛結モデル（床版なし）に関して、相当塑性ひずみが概ね4%よりも大きい段階において、相当塑性ひずみが同じであれば、剛結モデル（床版あり）の荷重パラメータよりも剛結モデル（床版なし）のそれの方が小さいことがわかる。

4. まとめ

格点部や床版のモデル化の違いによって、鋼ランガ橋の破壊モードおよび耐荷力に違いが現れる場合がある。相当塑性ひずみが大きい段階では、床版の剛性を小さくしたモデルの荷重パラメータは通常のモデルのそれよりも小さい傾向が見られたことから、塑性化がある程度進行している状態を終局・崩壊と定義すると、床版のモデル化によって耐荷力に差が生じると言える。

参考文献

- 国土交通省: 道路橋の重大損傷, <http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html>.
- 永谷 秀樹, 赤石 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.
- Hunley, C. and Harik, I.: Structural Redundancy Evaluation of Steel Tub Girder Bridges, *Journal of Bridge Engineering*, Vol.17, pp.481-489, 2012.
- 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, 2012.3.