

冗長性評価に基づいた鋼トラス橋の設計 に関する一考察

東北大学大学院工学研究科	○学生員	村上 和也
東北大学大学院工学研究科	正 員	斉木 功
東北大学大学院工学研究科	正 員	岩熊 哲夫
東北大学大学院工学研究科	正 員	山田 真幸

1. はじめに

2007 年 8 月、米国ミネソタ州の鋼トラス橋における崩壊事故をきっかけに、国内でも鋼トラス橋の点検が行われた。結果、三重県の本曾川大橋の鋼トラス橋の斜材の破断が発見されたが、崩壊には至らなかった。本曾川大橋は静定トラスであったが、部材の破断にも関わらず崩壊に至らなかったのは、冗長性を備えていたためと考えられている¹⁾。鋼トラス橋の冗長性に関し、冗長性の由来の解明や冗長性の評価が試みられている。そこで本研究では、これまでの研究報告を踏まえて、非線形有限要素法を援用した冗長性評価に基づいた下路式鋼トラス橋の設計を提案する。

2. 非線形有限要素法による冗長性評価

本曾川大橋と同規模の橋梁を設計対象橋梁とし、その有限要素解析モデルを図-1 に示す。各部材の名称は橋梁端部から支間中央へ向かって斜材 D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, 上弦材 U1, U2, U3, 下弦材 L1, L2, L3, L4 と呼ぶこととする。RC 床版を板要素でモデル化し、材料のコンクリートは弾性体とした。床版以外の部材は全て梁要素でモデル化し、鋼材は材料非線形性を考慮して、von Mises の降伏条件、等方線形硬化を用い、硬化係数は Young 率の 10^{-2} 倍とした。

許容応力度設計法の使用を前提とし、対象橋梁の設計時に想定できる冗長性として、部材 m の許容応力 σ_a と作用応力 σ_m の比 $s_L^m = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$ を部材の設計時の余裕度と定義した。この余裕度は、あくまでも線形解析の範疇での評価であり、実際にその部材が破壊する荷重の大きさを予測するには、十分な精度を有しているとは言い難い。そこで、その部材を設計した際の活荷重パターン W_L^m を用いて、非線形有限要素解析を行い、部材が終局状態に至るであろう荷重倍率を求めた。具体的には、まず死荷重 W_D を載荷し、その後活荷重 $f^m W_L^m$ を荷重倍率 f^m を漸増させ、相当塑性ひずみが 2% を越えたときに部材は破壊すると仮定し、そのときの荷重倍率 f_{fail}^m を部材の実際の余裕度 s_{NL}^m と定義した。次に、主構を構成するすべての部材について、その部材の破壊が橋梁を崩壊に至らしめるかどうかを調べるため、その部材を切断したモデルに非線形解析を行い、死荷重で降伏する点があった場合、その部材をクリティカルな部材と定義した。以上から、クリティカルな部材のうち、最小となる実際の余裕度 $S_{NL} = \min_{m \in \text{critical}} (s_{NL}^m)$ を橋梁システムの実際の余裕度と定義した。

3. 冗長性評価に基づいた設計案

従来の許容応力度設計法を用いた設計案を基本設計案、本研究で提案する冗長性に着目した設計案を冗長性評価に基づいた設計案と呼ぶこととし、それらの性能を非線形解析結果により整理する。基本設計案と冗長性評価に基づいた設計案の解析結果、及び各部材の設計時の余裕度をそれぞれ表-1, 2 に示す。

(1) 基本設計案

表-1 に示すように、基本設計案では各部材の設計時の余裕度を 1.0 に極力近づけた。しかし、必要板厚が最小板厚の 8mm を下回っている部材があり、それらの設計時の余裕度は高くなっている。部材の実際の余裕度を見ると、特に支間中央付近の斜材が過剰設計となっていることがわかる。使用鋼材量は 161.93t である。基本設計案で最も実際の余裕度が小さい部材は上弦材 U3 であり、その値は 4.05 である。また、上弦材 U3 はクリティカルな部材であり、この設計案のシステムの実際の余裕度は 4.05 となる。

なお、D1 に着目して非線形有限要素解析をした場合のように、着目部材と破壊する部材が一致しない場合があ

る。この場合、着目部材の実際の余裕度は他の部材の破壊時の活荷重倍率 f_{fail} 以上とする。

(2) 冗長性評価に基づいた設計案

冗長性評価に基づいた設計案では、システムの実際の余裕度を高めるために、クリティカルな部材の設計時の余裕度を意図的に高くした。また、下路式鋼トラス橋の場合、下弦材に作用する力が床組にも分配されるため、下弦材に使用する鋼材量を削減した。これにより、使用鋼材量の増加を抑えつつ、システムの実際の余裕度の向上を目指した。使用鋼材量は 161.42t で基本設計案の 99.7% となり、ほぼ同じ鋼材量である。表-2 から、この設計案で最も実際の余裕度が小さい部材は上弦材 U1 であり、その値は 4.40 である。また、上弦材 U1 はクリティカルな部材であるためシステムの実際の余裕度は 4.40 となり、基本設計案から 8.6% 向上している。また、全体的に各载荷パターンでの耐力力が向上しており、鋼トラス橋の軽量化と高性能化が達成できたと言え、冗長性評価に基づいた設計の可能性が確認できた。

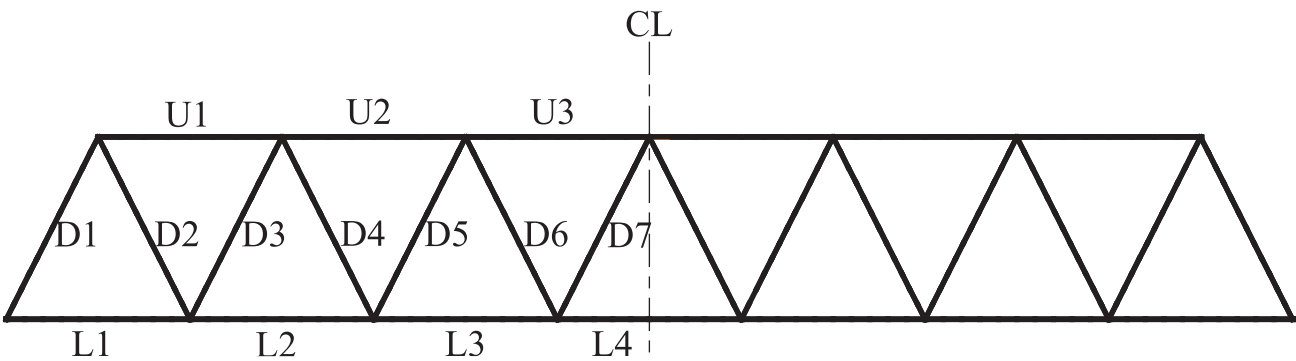


図-1 設計対象橋梁の解析モデル

表-1 基本設計案の余裕度解析結果

影響線载荷 着目部材	破壊部材	実際の余裕度 s_{NL}^m	設計時の余裕度 s_L^m
D1	D2	4.40 以上	1.12
D2	D2	4.40	1.01
D3	U2	4.10 以上	1.20
D4	U2	4.10 以上	1.05
D5	U3	4.70 以上	2.04
D6	U3	4.70 以上	1.78
D7	U2	5.05 以上	6.06
L1	D2	4.40 以上	2.41
L2	U2	4.05 以上	1.02
L3	U3	4.15 以上	1.07
L4	U3	4.20 以上	1.06
U1	D2	4.40 以上	1.04
U2	U2	4.05	1.10
U3	D2	4.60 以上	1.03

表-2 冗長性評価に基づいた設計案の余裕度解析結果

影響線载荷 着目部材	破壊部材	実際の余裕度 s_{NL}^m	設計時の余裕度 s_L^m
D1	U1	4.40 以上	1.18
D2	U1	4.40 以上	1.19
D3	D3	4.90	1.20
D4	D3	4.90 以上	1.44
D5	床桁	5.70 以上	2.04
D6	床桁	5.70 以上	1.79
D7	U1	5.78 以上	6.06
L1	U1	4.40 以上	2.36
L2	U1	4.55 以上	0.89
L3	U1	4.75 以上	0.65
L4	床桁	5.05 以上	0.59
U1	U1	4.40	1.03
U2	U1	4.63 以上	1.18
U3	U1	4.90 以上	1.21

参考文献

1) 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.