

鋼トラス橋のリダンダンシー解析法

九州工業大学大学院 学生員 ○岡本 亮
九州工業大学大学院 正会員 山口栄輝

1. はじめに

2007 年, 日本では木曽川大橋等でのトラス橋の斜材破断, 米国ではミネアポリスでのトラス橋の崩壊事故といった大きな橋梁事故が相次いで発生した. これらの事故を機に, 橋梁のリダンダンシーへの関心が高まっている¹⁾⁻²⁾.

部材破断は, 腐食や疲労亀裂などによる損傷度合いと作用部材力との兼ね合いによって生じる. そのため, 破断する部材を特定するのは容易でなく, 橋梁のリダンダンシーの検討では, いくつもの部材で破断を想定して解析を行う必要があり, 多くの計算を伴う. 一般に, トラス橋で部材が破断した場合, 橋梁は振動し, 動的に変形する. したがって, リダンダンシー解析では動的解析を行うことが望ましいと考えられるが, 多くの計算時間を要するため, 静的解析が採用されることも多い¹⁾. しかしながら, 静的解析の妥当性は, 必ずしも明らかでない.

以上の点に鑑み, 本研究では, 鋼トラス橋のリダンダンシー解析について考察する.

2. 解析概要

2.1 対象橋梁と解析モデル

本研究で検討に用いる橋梁の概略を図-1 に示す. 橋長 75.78m, 2 主構単純下路ワーレントラス橋であり, コンクリート床版を有している. これは既設橋梁をもとにしたモデルであるが, コンクリート床版に埋設された斜材の一部がひどく腐食し, 板厚減少が顕著であることから, ここでは斜材の当該箇所の板厚をすべて新設時の半分と仮定する. 図-1 には格点番号も示している. 部材は, 端部の 2 つの格点番号を用いて表記する.

本研究では斜材の破断を想定し, それに伴うリダンダンシーの検討を行う. 具体的には, 対称性を考慮し, 図-1 の赤い引張斜材の 1 本が破断した後の変形挙動を検討対象とする. 荷重は, 死荷重のみを考える.

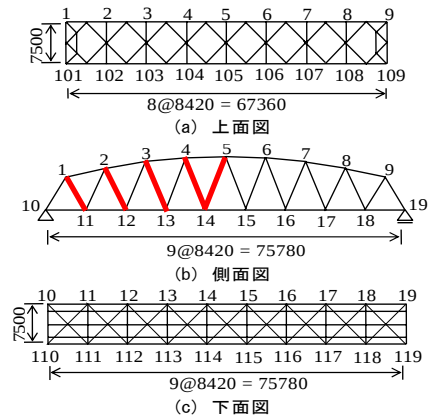


図-1 解析対象橋梁 (unit:mm)

解析は弾塑性有限変位解析システム Y-FIBER3D を用い, すべての部材を梁要素でモデル化する. 減衰モデルには, レーリー減衰を用いる. 減衰定数は 5%とする.

2.2 解析方法

部材破断は, 次の手順で再現する.

- 1) 各部材に作用する断面力を算出する.
- 2) 破断部材を除去した上で, 両端部の格点に 1) で求めた断面力相当の外力(以下, 基本断面力と称する)を作用させ, 破断前の状態を再現する.
- 3) 基本断面力と大きさが等しく向きが逆の外力(以下, 破断力と称する)を作用させることで, 部材破断を再現する.

この解析手順を用いて, 線形の静的解析(S), 動的解析(D)を行う. なお, 動的解析では, 破断力を瞬時(0.01 秒)に作用させ, 時間積分には時間間隔 $\Delta t = 0.01$ 秒を用いる.

2.3 部材照査手法

各部材の照査は, トラス橋の安全性への影響が大きい主構部材(上下弦材, 斜材)についてのみ行うこととする. 部材照査は, 文献 1) を参考にし, 次の 2 式で定義される R_t あるいは R_c の値が 1.0 の時, 部材が終局限界状態に達したと判断する.

a) 軸力が引張の場合

キーワード: 鋼トラス橋, 部材破断, リダンダンシー解析

連絡先: 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 TEL093-884-3109 FAX093-884-3100

$$R_t = \left(\frac{N}{N_y} \right) + \left(\frac{M}{M_p} \right)_i + \left(\frac{M}{M_p} \right)_o$$

ここに、 N は作用軸力、 M は作用曲げモーメント、 N_y は降伏軸力、 M_p は全塑性曲げモーメントを示す。また、添字の i は主構面内、 o は主構面外を示す。

b) 軸力が圧縮の場合

$$R_c = \left(\frac{N}{N_{cr}} \right) + \frac{1}{1 - (N/P_E)_i} \cdot \left(\frac{M_{eq}}{M_p} \right)_i + \frac{1}{1 - (N/P_E)_o} \cdot \left(\frac{M_{eq}}{M_p} \right)_o$$

ここに、 N_{cr} は柱としての座屈耐荷力、 P_E はオイラー座屈軸力、 M_{eq} は等価換算曲げモーメントを示す。

N_{cr} 、 P_E の算定では、格点間距離を有効座屈長とする。 N_{cr} は道路橋示方書 II 鋼橋編の基準耐荷力曲線より算定するが、斜材に関しては、一部区間で腐食による板厚減少を想定しているため、道路橋示方書の基準耐荷力を適用できない。そこで、斜材の N_{cr} は汎用構造解析ソフト ABAQUS を用いて算定する。

3. 静的解析と動的解析の比較

想定した部材の破断後、次に終局限界状態に達する部材と、その際の鉛直変位を求め、結果を表-1にまとめている。鉛直変位は、破断部材下端の値である。なお、文献2)によれば、2部材が破断した時点で橋梁の終局限界状態が訪れると解される。

表-1より、破断部材3-13の場合を除き、静的解析(S)と動的解析(D)の結果は一致しておらず、鉛直変位も大きく異なっている。静的解析と動的解析の違いは、変形性状の差に起因すると考えられ、リダンダンシー解析において、静的解析は必ずしも有効でないと考えられる。

4. 提案するリダンダンシー解析法(提案法)

上記の結果より、リダンダンシー解析では、動的な変形性状を反映した解析を行うことが必要と判断される。この観点から、次の解析法(P)を提案する。

- 1) 破断部材を除去した橋梁の固有値解析を実施し、固有振動モード、有効質量、刺激係数を求める。
- 2) 有効質量比が大きな固有振動モードから順に、有効質量比の和が90%を超えるまでモードの重ね合わせを行い、変形モードを構築する。重ね合わせは重みを付けて行い、重みは刺激係数とする。
- 3) 2)の変形モードを用いて橋梁を変形させ、部材の照査を行う。

ある部材の破断後に、他の部材が終局限界状態に達しないこともある。したがって、手順3)では与える

表-1 部材照査結果(鉛直変位の単位:mm)

破断部材	解析	鉛直変位	損傷部材	損傷タイプ
1-11 着目格点 11	S	-12.88	102-103	$R_c \geq 1.0$
	D	-7.41	2-11	$R_c \geq 1.0$
	P	-6.56	2-11	$R_c \geq 1.0$
2-12 着目格点 12	S	-12.22	102-112	$R_t \geq 1.0$
	D	-6.09	102-103	$R_c \geq 1.0$
	P	-4.94	102-103	$R_c \geq 1.0$
3-13 着目格点 13	S	-10.17	103-112	$R_c \geq 1.0$
	D	-5.87	103-112	$R_c \geq 1.0$
	P	-5.13	103-112	$R_c \geq 1.0$
4-14 着目格点 14	S	-14.15	損傷部材なし	
	D	-7.90	104-113	$R_c \geq 1.0$
	P	-7.83	104-113	$R_c \geq 1.0$

* 破断部材5-14時は、すべての解析において損傷部材なし

変形の上限值を設定する必要がある。そのため、ここでは RMS 法³⁾を用いて簡便に最大変位量を推定することとする。RMS 法と動的解析での最大変位には、最大で10%程度の開きが生じることから、ここでは RMS 法で得られた最大変位の1.1倍を、手順3)における変位の上限值とすることを提案する。

この提案法(P)による解析結果を表-1に示している。すべての場合において、動的解析(D)の結果とよく一致しており、提案法の有効性が理解される。

5. まとめ

静的解析は、リダンダンシー解析においては必ずしも有効でないことから、本研究では新たな解析法を提案した。動的解析とよく一致した結果が得られる上、動的解析に比すると計算時間は大幅に少ない。今後、さらに検討を加え、提案法の有効性を検証していく予定である。

参考文献

- 1) 永谷秀樹 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。
- 2) 野中哲也 他：連鎖的な部材破壊を考慮した鋼橋のリダンダンシー解析法の提案，構造工学論文集，Vol.56A，pp.779-791，2010。
- 3) 土岐憲三(土木学会編)：新体系土木工学 11 構造物の耐震解析，p.145-147，技法堂，1981。