

鋼トラス橋のリダンダンシー評価手法の検討(その1)

(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) 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、米国のミネソタ州のトラス橋において、部材の破断により橋梁全体が瞬時に崩壊するという衝撃的な事故が発生した。一方、国内においても、時期をほぼ同じくして木曾川橋梁、本荘大橋において2主構単純トラス橋の斜材が破断するという大きな損傷が発生したが、幸いにも橋梁全体が崩壊するような災害には至らなかった。これらの違いは、損傷の発生位置、構造の冗長性(以下、リダンダンシーという)、荷重などの違いによるものと考えられるが、部材の損傷と構造の崩壊の関係を明らかにすることができれば、今後、同種の事故を防止する手がかりに成り得るものと考えられる。そこで、本研究では、斜材の破断した木曾川橋梁を対象として、解析的な手法により構造のリダンダンシーについて検討した。

2. リダンダンシー解析手法

2.1 対象橋梁の概要

検討対象橋梁の概要を図-1に示す。支間 70.63m, 2主構の単純下路トラス橋であり、供用開始から40年以上が経過している。当時建設されたトラス、アーチ橋に良く見られたように、斜材がコンクリート床版を貫通する構造となっており、そのコンクリート接触部において斜材が腐食し、破断に至ったものである。図-1に示したように、建設当初は両側に歩道が設置されていたが、現在は追越車線側の歩道コンクリートが撤去されている。

2.2 破断想定部材と解析モデル

リダンダンシー解析で想定した破断部材は、木曾川橋で実際に破断した斜材のほか、上弦材、下弦材、端柱とし、それぞれ死活荷重載荷時に軸力が最大となる部材を選定した。解析ケースを図-2に示す。

解析モデルを図-3に示す。解析は弾性微小変形解析とした。主構、横構、床組(縦桁および横桁)は梁要素、床版はシェル要素でモデル化し、床版と床組はスラブアンカーによる合成効果を考慮して線形ばね要素を用いて結合した¹⁾。トラス格点部は、実挙動を考慮して上下弦材同士の結合は剛結合、斜材との結合はピン結合と剛結合の2種類としたが、本稿ではピン結合の結果のみ報告する。荷重は死荷重(D)、活荷重(L)、破断した部材の部材力(M)とし、それらを組み合わせた荷重ケースについて解析を実施した。破断力は、想定した破断部材の部材力を両格点に逆向きに加えることにより与え、破断時の衝撃係数として1.854を考慮する場合(M+I)としない場合(M)の2種類の破断力を用いた。なお、衝撃係数の1.854はURSレポート²⁾で示された数値

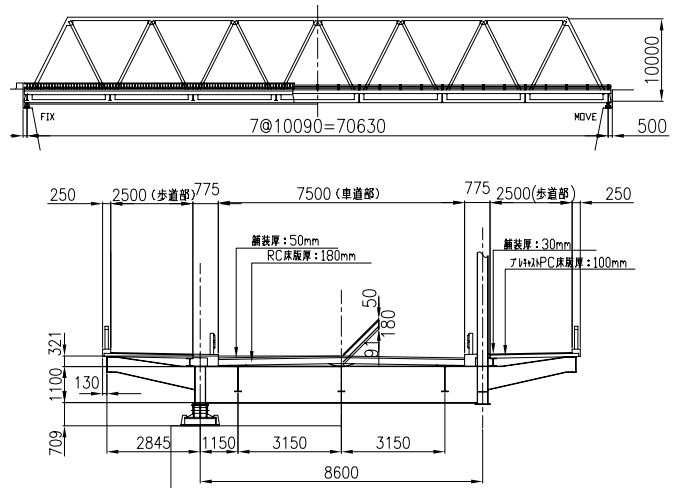


図-1 検討対象橋梁

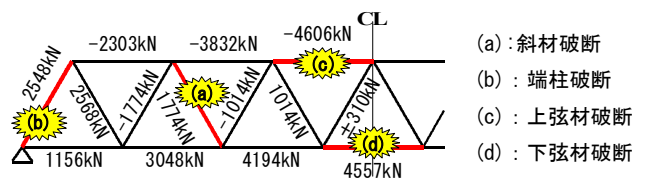


図-2 解析ケース

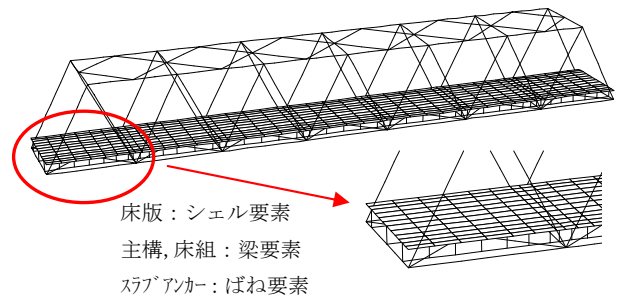


図-3 解析ケース

であり、減衰を5%と仮定した1自由度系振動モデルにより算出された値である。

2.3 部材照査手法

本検討のリダンダンシー解析では、線形解析により得られた各ケースの部材断面力を用いて、各部材が終局状態であるかを判定し、着目した破断部材が橋梁全体の崩壊をもたらすような部材であるかどうか検討した。

部材照査は、以下の算定式³⁾により得られるR値を用いて行い、R値が1.0を超えるとときにその部材が終局状態に達するものとする。

Keywords: トラス橋 リダンダンシー 冗長性 損傷

連絡先: (株)横河ブリッジ 技術研究所

〒273-0026 船橋市山野町27番 TEL: 047-435-6161, FAX: 047-435-6160

a) 軸力が引張の場合

$$R = \left(\frac{P}{P_p} \right) + \left(\frac{M}{M_p} \right)_{ip} + \left(\frac{M}{M_p} \right)_{op}$$

添字の ip は面内, op は面外方向を示す。また P, M は作用軸力, 作用曲げモーメント, P_p, M_p は全塑性軸力, 全塑性曲げモーメントを示す。

b) 軸力が圧縮の場合

$$R = \left(\frac{P}{P_u} \right) + \frac{1}{1 - (P/P_E)_{ip}} \cdot \left(\frac{M_{eq}}{M_u} \right)_{ip} + \frac{1}{1 - (P/P_E)_{op}} \cdot \left(\frac{M_{eq}}{M_u} \right)_{op}$$

P_u は座屈を考慮した終局圧縮強度, P_E はオイラー座屈軸力, M_{eq} は換算曲げモーメントを表す。

3. リダンダンシー解析結果

実際に腐食で破断した斜材破断時の部材照査結果の一例を図-4に示す。図中、曲げモーメントを考慮せず、軸力のみを用いて照査したR値を () 内に示した。最も厳しい荷重ケース (D+L+M+I) では、多くの部材でR値が1.0を超えており、構造全体として不安定となる可能性が大きい。一方、活荷重を考慮しない荷重ケース (D+M+I) では、R値が1.0を超えるのは2部材に留まり、R値の最大値も1.36であった。損傷は局部的であり、構造全体としては不安定にはならない可能性があると考えられる。また、いずれのケースにおいても軸力のみで照査した場合はR値が1.0を超える部材はなかった。このことは、作用曲げモーメントが曲げ耐力を超過した場合においても、格点部に塑性ヒンジが形成され、軸力に対する耐力が低下しなければ、構造全体の崩壊には繋がらないことを示している。詳細は別途報告するが、別途実施した格点部の弾塑性有限変形解析の結果、斜材破断時には格点部に塑性ヒンジが形成され、橋梁全体の崩壊に繋がるような損傷には至らないことを確認している。

リダンダンシー解析結果の一覧を表-1に示す。端柱および上弦材が破断した場合、多くの部材でR値が1.0を超えることがわかる。部材の破断により構造全体が不安定となる可能性が大きいことから、上弦材および端柱は橋梁全体の崩壊につながる重要な部材であると判断できる。一方、下弦材が破断した場合については、ほとんどの荷重ケースにおいてR値が1.0を超えることはなかった。下弦材の部材力を床組、特に床版が負担したためである。本検討では床版の耐力評価を行っていないため、リダンダンシー解析の精度向上のためには、床版のモデル化や耐力評価方法の検討が必要である。

4. まとめ

斜材の破断した単純下路トラス橋を対象としたリダンダンシー解析を実施し、①木曾川で破断した斜材は設計軸力も小さく、橋梁全体の崩壊につながる部材でなかったこと、②設計軸力の大きな上弦材、端柱は橋梁全体の崩壊につながる重要な部材であったこと、③リダンダンシー解析の精度向上のためには、格点部、床版の耐力評価が重要であること、がわかった。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。木曾川橋の図面使用を許諾していただきました国土交

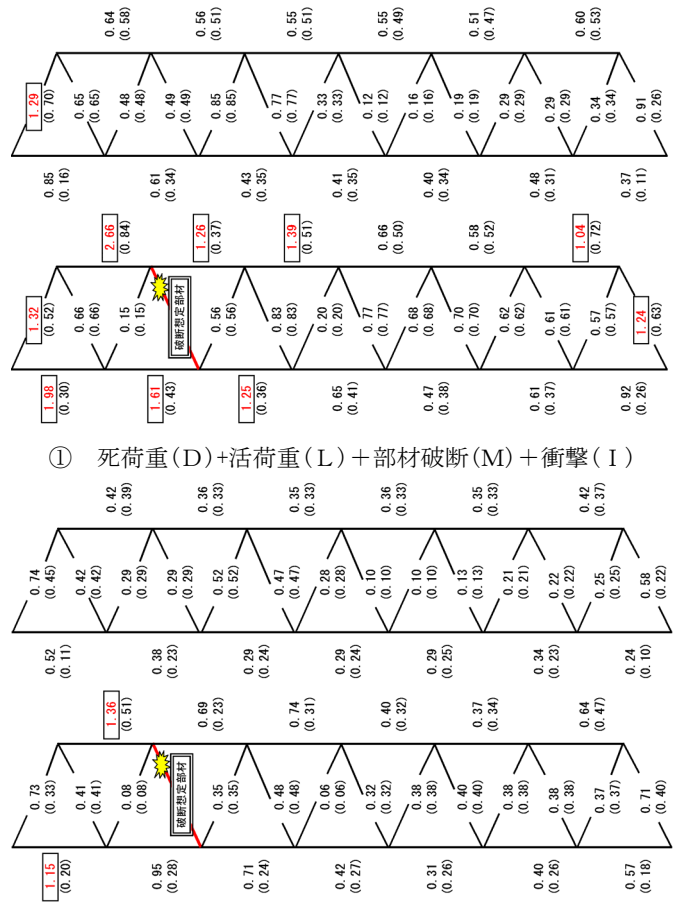


図-4 部材照査結果:(a) 斜材破断時

表-1 部材照査結果一覧

		軸力, 曲げモーメントを考慮				軸力のみ考慮			
		(a)	(b)	(c)	(d)	(a)	(b)	(c)	(d)
		斜材破断	端柱破断	上弦材破断	下弦材破断	斜材破断	端柱破断	上弦材破断	下弦材破断
D+L +M+I	R(max)	2.7	3.1	3.4	1.3	R<1	2.2	3.2	R<1
	上弦材	4	1	11	1	0	0	1	0
	下弦材	3	4	3	0	0	0	0	0
	斜材	0	6	3	0	0	6	3	0
D+ M+I	R(max)	1.4	1.6	2.2	R<1	R<1	R<1	2.2	R<1
	上弦材	1	1	10	0	0	0	0	0
	下弦材	1	3	2	0	0	0	0	0
	斜材	0	0	2	0	0	0	2	0
D+L +M	R(max)	1.6	1.7	1.9	R<1	R<1	R<1	1.6	R<1
	上弦材	2	1	10	0	0	0	0	0
	下弦材	2	3	2	0	0	0	0	0
	斜材	0	0	1	0	0	0	1	0
D+ M	R(max)	R<1	R<1	1.2	R<1	R<1	R<1	R<1	
	上弦材	0	0	2	0	0	0	0	
	下弦材	0	0	0	0	0	0	0	
	斜材	0	0	0	0	0	0	0	

通省中部地方整備局道路部道路管理課の方、貴重な助言をいただきました鋼技研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) 柘田ら: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, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.47A, pp.1373-1380, 2001

2) URS corporation: Fatigue evaluation and redundancy analysis, Bridge No. 9340, I-35W over Mississippi river, Draft report, 2006.