

第 I 部門 120 年以上供用したピントラス橋のアイバー損傷時における構造冗長性の検討

神戸大学大学院 学生会員 ○中村 温人  
 神戸大学大学院 正会員 橋本 国太郎  
 JR 東日本コンサルタンツ (株) (研究当時 神戸大学大学院) 正会員 松原 健太  
 西日本旅客鉄道 (株) 正会員 西川 雄也

1. はじめに

1897 年に架設された関西本線木津川橋りょう (写真-1) の構造の特徴は、引張斜材にアイバーを用い、格点部にピン結合を有す点である。対象橋梁のように今後多くの橋梁が老朽化することを考え、過去にも永谷ら<sup>1)</sup>によってリダンダンシーに関する評価方法が提案されてきた。しかし、リベットで部材断面が構成され、写真-2 に示すようアイバーやレーシングバー等の複雑な斜材構造を有する古いピントラス橋のリダンダンシーに関する研究はあまりされておらず、このような橋梁に対して有効な維持管理方法が見いだせていないのが現状である。よって本稿では、古いピントラス橋が部材破断した場合を想定したリダンダンシー解析により、橋梁の冗長性について検証した内容を報告する。



写真-1 対象橋梁の全体写真 写真-2 斜材拡大図



図-1 解析モデル

2. リダンダンシー解析

2.1 解析モデル

本検討では、有限要素法解析ソフト Abaqus を用い、先行研究<sup>2)</sup>にて実橋応力測定値と解析値の比較より妥当性が検証された解析モデル (図-1) を使用した。



- ・ 2 本一對のアイバー斜材: D2D3, D5D6
- ・ 折り曲げ板付きアイバー斜材: D8, D10

2.2 解析手順

斜材破断ケースを図-2に示す。左右主構の斜材が同時に破断する確率は低いと考え、本解析では左側の主構を対象に赤字の番号で示すアイバーが破断するCase1~Case4の損傷シナリオを想定した。文献3)に従ったリダンダンシー解析の手順を図-3に示す。まず健全な状態の解析 A に死荷重・活荷重を載荷し、次に破断想定部材 (アイバー) を除去した解析 B に破断部材が保有していた断面力に衝撃係数を乗じた破断荷重 P を逆向きに載荷する。この2段階の各部材の発生断面力を足し合わせて照査用の断面力とした。活荷重は実列車荷重とし、各破断想定部材の軸力が最大となるような軸配置で載荷した。部材照査は、以下の算定式より得られる R 値を用いて行った<sup>1)</sup>。  $R \geq 1.0$



図-3 リダンダンシー解析手順

図-2 斜材破断ケース (損傷シナリオ)

解析モデル及び荷重状態	
解析A (健全状態 (死荷重・活荷重 載荷))	
解析B (部材破断状態 (解析Aの断面力を 破断部材に逆方向に 載荷))	
部材破断時の断面力 (解析A + 解析B)	

の場合に、その部材が終局に達したものと判断した。

(a) 軸力が引張の場合

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

ip : 面内, op : 面外, P : 作用軸力, M : 作用曲げモーメント, P<sub>p</sub> : 全塑性軸力, M<sub>p</sub> : 全塑性曲げモーメント

(b) 軸力が圧縮の場合

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

P<sub>u</sub> : 道示(H14年)II3.2.1に基づく座屈を考慮した終局圧縮強度, P<sub>E</sub> : オイラー座屈軸力, M<sub>eq</sub> : 換算曲げモーメント

### 3. 解析結果

解析結果を基に、上記算定式より算出した斜材の R 値を表-1 に示す。同表において、R ≥ 1.0 で終局状態と判断した部材の R 値を赤字で示している。

Case1 は、D2・D3 の一對のアイバー斜材を破断させますが、R ≥ 1.0 となる斜材はなかった。一方、Case2～Case4 では、各斜材の破断後に支間中央部の引張斜材 D10 または D11 に圧縮力が働き終局に達した。また、表-2 に斜材以外の部材の R 値について示す。R > 1 となる部材はなかったため、部材終局状態に至る部材はなかったといえる。値の比較的大きかった R > 0.4 となる部材を青く塗りつぶすと、全て下弦材で、特に Case1.2 においては破断させた部材の近くであることが分かる。

### 4. まとめ

以上より、本橋梁は、万が一、引張斜材が破断した場合でも、橋梁全体が崩壊する可能性は低いと考えられる。この要因として、架設後に施されたランガー補強が効果的に機能していることや、現況の列車荷重が建設当時の蒸気機関車荷重より小さくなったこと等が考えられる。実橋では斜材の一部に腐食による断面減少が認められる。腐食の程度によっては本稿で示した傾向と異なる可能性も考えられる。

### 参考文献

- 1) 永谷秀樹ほか：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, Vol165, No2, 2009.5
- 2) 北健志ほか：ランガー補強されたピントラス鉄道橋の耐荷性能の検討，土木学会年次学術講演会, 2024.9
- 3) 鋼構造のリダンダンシーに関する検討小委員会：リダンダンシー評価ガイドライン（案），土木学会鋼構造委員会, 2014.6

表-1 斜材照査結果

		損傷シナリオ			
		Case1	Case2	Case3	Case4
部材名	D1	0.09	0.12	0.11	0.10
	D2		0.17	0.10	0.13
	D3		0.20	0.14	0.16
	D4	0.03	0.01	0.09	0.06
	D5	0.09		0.17	0.08
	D6	0.10		0.23	0.11
	D7	0.06	0.08	0.03	0.03
	D8	0.08	0.20		0.21
	D9	0.03	0.01	0.07	0.03
	D10	0.12	6.61	0.14	
	D11	0.05	6.39	2.64	10.12
	D12	0.02	0.05	0.04	0.02
	D13	0.13	0.16	0.33	0.13
	D14	0.04	0.03	0.05	0.02
	D15	0.37	0.07	0.11	0.08
	D16	0.11	0.08	0.12	0.10
	D17	0.02	0.05	0.07	0.06
	D18	0.09	0.13	0.19	0.22
	D19	0.03	0.09	0.15	0.21
	D20	0.10	0.11	0.14	0.13

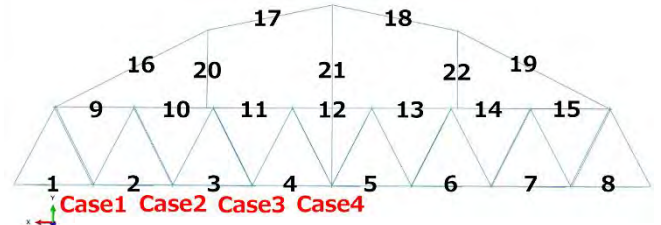


図-4 その他部材参照位置

表-2 その他部材照査結果

		Case1	Case2	Case3	Case4
下弦材	1	0.61	0.42	0.21	0.06
	2	0.49	0.19	0.59	0.07
	3	0.15	0.44	0.31	0.16
	4	0.12	0.13	0.43	0.16
	5	0.12	0.15	0.14	0.29
	6	0.03	0.14	0.18	0.06
	7	0.07	0.06	0.17	0.19
	8	0.08	0.09	0.07	0.17
上弦材	9	0.16	0.06	0.08	0.05
	10	0.16	0.10	0.12	0.02
	11	0.09	0.17	0.05	0.05
	12	0.11	0.11	0.09	0.15
	13	0.11	0.07	0.06	0.02
	14	0.11	0.07	0.03	0.01
	15	0.11	0.09	0.06	0.04
ランガー部	16	0.17	0.14	0.17	0.09
	17	0.12	0.11	0.09	0.08
	18	0.12	0.11	0.10	0.08
垂直材	19	0.12	0.12	0.11	0.08
	20	0.27	0.19	0.20	0.08
	21	0.12	0.11	0.18	0.12
	22	0.16	0.14	0.16	0.09