

長大トラス橋のリダンダンシー向上に関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○石黒博和
 エム・エムブリッジ 正会員 田島啓司
 山口大学大学院 正会員 麻生稔彦

1. はじめに

2007年、米国ミネソタ州 I-35W 橋において発生した崩落事故を契機とし、リダンダンシーが注目されるようになった。リダンダンシーとは、ある部材が破断した場合でも、耐荷力の余裕によって橋梁全体の崩落に至らない性能のことである。離島架橋は、部材破断によって橋梁が崩落した場合、迂回路の確保が難しく、島民生活に重大な影響を及ぼす恐れがある。長大トラス橋は、離島架橋への適用事例が多いものの、リダンダンシーに関する研究例は少ない。また、既往の研究¹⁾では、長大トラス橋のリダンダンシーに問題があることが示されたが、具体的な補強対策方法については検討されていない。

本研究では、長大トラス橋におけるリダンダンシー向上を目指した補強対策方法の基礎的な検討を行う。

2. 補強対策方法の立案

表-1 に対象橋梁の諸元を、図-1 に対象橋梁の側面図を示す。解析モデルは、鋼部材をフレーム要素、コンクリート床版をシェル要素でモデル化した。解析は、線形解析で実施した。荷重は、死荷重・活荷重・部材損傷の影響を考慮した。また、部材損傷については、損傷部材を取り除き、格点部に解放力として断面力を作用させた。補強対策方法は、既往研究の損傷度調査¹⁾をもとに、上弦材・下弦材・斜材・鉛直材を損傷させた4つの損傷ケースで比較した。また、補強対策方法の選定条件は、補強効果(断面力低減効果)を有すること、補強部材数が少ないこと(施工性の良さ)、補強重量が小さいことの3条件とした。表-2 に補強対策方法と部材配置について示す。図中の破線は既存部材、実線は補強部材を表す。本研究では、逆斜材・ひし形・角あての3つの補強対策方法を検討した。

補強対策方法の立案においては、リダンダンシー解析を実施する。リダンダンシーは、ある部材を損傷させた際に、残りの部材の損傷程度によって評価する。既往研究²⁾と同様に、部材の損傷程度を示す指標 R を用いた。損傷度 R は、各部材の軸力、面内曲げモーメントおよび面外曲げモーメント作用断面力と全塑性断面力の比の和である。損傷度 R が 1.00 を超えた場合、部材損傷が連鎖し、橋梁全体の崩落まで至るものと判定する。作用軸が引張の場合は式(1)、圧縮の場合は式(2)を用いる。本研究では、損傷度 R の比較により、3つの補強対策方法の補強効果を確認する。

$$R = \frac{N}{N_p} + \left(\frac{M}{M_p} \right)_{in} + \left(\frac{M}{M_p} \right)_{out} \quad (1) \quad R = \frac{N}{N_u} + \left(\frac{1}{1 - (P/0.8P_E)} \cdot \frac{M_{eq}}{M_p} \right)_{in} + \left(\frac{1}{1 - (P/0.8P_E)} \cdot \frac{M_{eq}}{M_p} \right)_{out} \quad (2)$$

N : 作用軸力, N_p : 全塑性軸力, N_u : 終局圧縮強度, M : 作用曲げモーメント, M_p : 全塑性曲げモーメント, M_{eq} : 換算曲げモーメント, P : 作用軸圧縮力, P_E : オイラー座屈強度, in : 面内, out : 面外

表-1 対象橋梁の諸元

橋梁形式	3径間連続下曲弦プラットトラス橋
橋長(m)	456.0
支間長(m)	107.2+240.0+107.2
最大構高(m)	28.0
主構間隔(m)	10.0
床版幅員(m)	9.0
橋格	1等橋(TL-20)
設計基準	道路橋示方書・同解説(1980年)

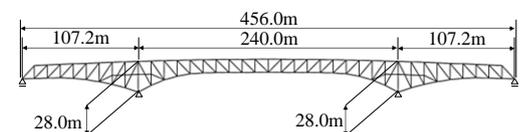


図-1 対象橋梁の側面図

表-2 補強対策方法と部材配置

逆斜材	ひし形	角あて

キーワード リダンダンシー, 長大トラス橋, 補強対策, 離島架橋, 载荷試験

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-26-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL 0836-85-9328

3. 解析による補強対策方法の比較結果

4つの損傷ケースにおいて、未補強の初期損傷と逆斜材・ひし形・角あてにより補強した4種類の解析モデルを作成し、それぞれの損傷度 R を求めた。表-3 に損傷度 R の比較について示す。逆斜材とひし形は、上弦材損傷以外の3つの損傷ケースで補強効果が得られた。補強部材数と補強重量の点において、逆斜材が有利である。角あてについては、補強効果が得られなかった。以上の結果から、補強効果・補強部材数・補強重量を考慮し、逆斜材を選定した。

4. 荷重試験方法

補強構造の構造安全性を確認するため、試験体を製作して荷重試験を行う。試験体は、表-4 に示す5種類である。また、図-2 に試験体の寸法を示す。試験体は、幅・高さ 19mm、板厚 1.6mm の STKMR290 で構成され、格点部は鋼部材とガセットプレートを溶接により接合した。実験において、初めに試験体をモデル化して解析を行う。次に解析結果を踏まえて荷重試験を行い、荷重荷重・ひずみ・変位を測定する。ひずみは、損傷度 R の高い部材を優先して22箇所にてゲージを貼り付け、計測した。変位は、7箇所にて計測した。荷重の荷重は、試験体上面の中央に治具を設置し、図-2 の矢印位置にて2点の集中荷重を再現する。最後に解析値と実測値および補強の有無による違いを比較し、耐荷力性能や損傷箇所を確認する。

5. 荷重試験結果

図-3 にタイプ BH の荷重-変位曲線を示す。タイプ BH は、上弦材損傷の試験体に逆斜材を追加したものであるが、耐荷力は解析値を上回る性能を示し、構造安全性が検証できた。表-5 に荷重試験後の試験体を示す。なお、括弧内に各試験体の最大荷重を示す。いずれの試験体も、解析で求まる耐荷力以上の耐荷性能を確認できた。また、補強の有無による最大荷重を比較し、タイプ BH はタイプ B に比べて 12.4 倍、タイプ CH はタイプ C に比べて 4.2 倍の耐荷性能を有することが明らかとなった。タイプ A・CH には座屈、タイプ B・BH・C には曲げ破壊が生じた。試験体の損傷箇所は、解析で想定した損傷度 R の高い部材と一致する結果となった。

6. まとめ

長大トラス橋のリダンダンシー向上を目指した補強対策方法の基礎的な検討を行った結果、3つの損傷ケースに対処可能な逆斜材による方法を立案した。また、上弦材損傷と鉛直材損傷における補強構造の構造安定性を検証できた。今後は、長大トラス橋の全損傷ケースにおける補強効果を解析で確認する。

謝辞 本研究は、一般社団法人中国建設弘済会から助成を受け実施した研究である。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 田島啓司, 岡直幸, 麻生稔彦, 長大トラス橋のリダンダンシー確保に向けた基礎的研究, 土木学会 第73回年次学術講演会講演概要集, I-254, 2018.
- 2) 岩崎英治, 線形解析によるトラス橋のリダンダンシー評価に関するケーススタディ, 第17回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp.21-32, 2014.

表-3 損傷度 R の比較

	上弦材	下弦材	斜材	鉛直材
初期損傷	1.60	1.28	1.51	2.53
逆斜材	1.54	0.98	0.84	0.94
ひし形	1.58	0.97	0.75	0.98
角あて	1.56	1.21	1.31	1.03

表-4 試験体の種類

試験体名称	損傷箇所	補強対策
タイプ A	健全状態	—
タイプ B	上弦材損傷	無し
タイプ BH	上弦材損傷	有り
タイプ C	鉛直材損傷	無し
タイプ CH	鉛直材損傷	有り

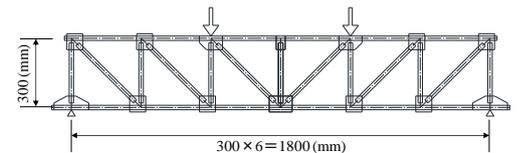


図-2 試験体の寸法

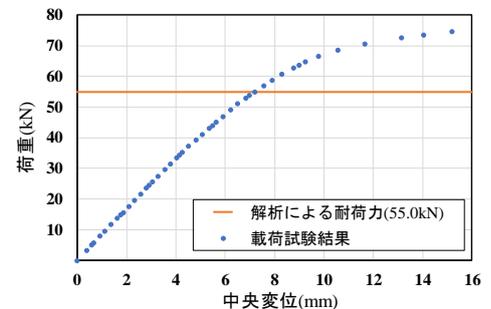


図-3 タイプ BH の荷重-変位曲線

表-5 荷重試験後の試験体

タイプ	試験体の写真
A (93.0kN)	
B (6.0kN)	
BH (74.5kN)	
C (23.3kN)	
CH (97.5kN)	