

トラスドランガー橋の部材破断時のリダンダンシー評価

山口大学大学院 学生会員○河村圭祐

山口大学大学院 学生会員 井上龍一

山口大学大学院 正 会 員 麻生稔彦

1. はじめに

アメリカの I-35W 橋の落橋事故や日本の木曾川大橋の部材破断事故を契機にリダンダンシーが注目されるようになった。2019 年 10 月に台湾の橋長 140m のタイドアーチ橋は点検不十分が一因となり落橋した¹⁾。また、国土交通省²⁾によると、日本の特殊橋梁の約 23%はアーチ橋であり、アーチ橋を適切に維持管理していくことが重要と考えられる。しかし、アーチ橋のリダンダンシーに関する研究は少なく、桁橋やトラス橋ほど多くは研究されていない。そこで本研究では、トラスドランガー橋の部材破断時のリダンダンシーを評価することを目的とした。

表-1 対象橋梁の諸元

形式	トラスドランガー橋
橋長 (m)	120.00
支間長 (m)	118.00
アーチライズ (m)	17.50
有効幅員 (m)	10.75
支持条件	積層ゴム支承

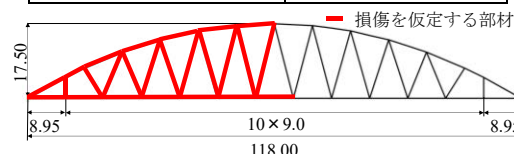


図-1 対象橋梁の側面図

2. 対象橋梁と解析概要

表-1に対象橋梁の諸元、図-1に対象橋梁の側面図を示す。対象橋梁は、橋長 120m のトラスドランガー橋である。鋼部材をはり要素、コンクリート床板をシェル要素でモデル化し、部材結合条件を剛結合としたモデルで、線形解析によりリダンダンシー解析を実施した。図-1に、赤線で損傷を仮定する部材（損傷部材）を示す。損傷部材は、主構部材のみとし、構造の対称性を考慮し全 30 部材（全主構部材の約 1/4）の損傷を仮定した。これらの損傷部材を 1 部材ずつ損傷させ全 30 ケースの解析を行った。

解析では、死荷重、活荷重、損傷時の衝撃の影響による荷重を考慮した。部材破断時の断面力は、健全モデルに死荷重を載荷した解析と道路橋示方書に規定された B 活荷重の 50%を載荷した解析と部材損傷の影響による断面力を作用させた解析を足し合わせて算出する。ここで健全モデルとは、部材損傷のないモデルのことである。損傷部材の軸力が引張の場合、静的解析の結果に衝撃係数 1.854 を乗じて損傷時の衝撃の影響を考慮する。

部材破断時の断面力から求まる損傷度 R によってリダンダンシーを評価する。損傷度 R は、既往の研究³⁾をもとに、軸力が引張の場合は式(1)、圧縮の場合は式(2)を用いる。損傷度 R が1.00を超えた部材は全塑性状態となり、終局に達したと判断する。

$$R = \frac{N}{N_p} + \left(\frac{M}{M_p} \right)_{in} + \left(\frac{M}{M_p} \right)_{out} \quad (1)$$

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

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

橋梁の使用限界は、死荷重を載荷した解析により算出したたわみの最大値 $\delta_{v,max}$ が道路橋示方書に記述された許容値 δ_a (0.197m)を超えた場合に橋梁が使用限界に達したとする。一方、 $\delta_{v,max} < \delta_a$ であった場合は次に損傷する可能性のある部材を取り除き、再び橋梁が使用限界に達するかを判断する。ここで、次に損傷する可能性のある部材は、残りの全部材の中で損傷度 R が1.00を超え、最大となる部材である。この手順を橋梁が使用限界に達するまで繰り返す。ただし、全部材で $R < 1.00$ となった場合、橋梁は使用限界に達しなかったと判断し、解析を終了する。許容値 δ_a は式(3)により算出した。

キーワード トラスドランガー橋、リダンダンシー解析、使用限界、たわみ

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL 0836-85-9323

$$\delta_a = L/600 \quad (3) \quad L: \text{支間長}(m) \quad \delta_a: \text{許容値}(m)$$

4. 解析結果

図-2 に使用限界の判定結果を示す。また、枠内に連鎖的に損傷させた部材の数を示す。赤線で示す部材(アーチリブと補剛桁端部)を破断した場合、たわみの最大値が許容値を超え、橋梁は使用限界に達した。一方、緑線で示す部材(斜材と補剛桁中央部)を破断した場合、残りの全部材が $R < 1.00$ となり、橋梁は使用限界に達しない。

図-3、図-4 に連鎖的に損傷させた部材を示す。図-3 に補剛桁端部が破断した場合の例を、図-4 に補剛桁中央部が破断した場合の例を示す。ここで、損傷部材を青線で、連鎖的に損傷する部材を赤線で示す。図-3 では下横構と上横構、図-4 では破断した補剛桁の周辺の補剛桁と下横構が連鎖的に損傷した。図-4 では図-3 と異なり、上横構は連鎖的に損傷しない。他の補剛桁端部および補剛桁中央部が破断した場合でも同様の結果が得られた。以上より、補剛桁が損傷した場合には損傷部材によって連鎖的に損傷する可能性のある部材が異なることが明らかとなった。

図-5 に使用限界に達した橋梁の変位の例を示す。赤丸で示す格点で最も大きな変位がみられた。図-5 より、橋軸直角方向にも変位が生じ、橋梁全体がねじれる変形をすることが確認できる。他の損傷部材が破断した場合でも、使用限界に達した橋梁では同様のねじれる変形が確認された。また、補剛桁端部が破断した場合、連鎖的な損傷の過程で、主構の相互の位置を保つために重要な上横構が損傷することで、ねじれる変形が生じる。連鎖的な損傷により上横構が損傷した場合、橋梁は使用限界に達する可能性が高いと考えられる。

以上より、アーチリブが損傷した場合にはたわみの最大値が許容値を超えることから、アーチリブは橋梁の使用限界に関与する部材である。また、補剛桁が損傷した場合、使用限界に達しない場合もあるものの、連鎖的に損傷する可能性のある部材が多く生じる。

5. まとめ

トラスランガー橋では、アーチリブと補剛桁端部が損傷すると対象橋梁は使用限界に達する。また、補剛桁中央部が損傷すると対象橋梁は使用限界に達しないが連鎖的に損傷する可能性のある部材が生じる。

参考文献

- 1) Taiwan Transportation Safety Board, Final Report Released on Nanfangao Sea-Crossing Bridge Collapse, 2020.
- 2) 国土交通省, 構造形式別、都道府県別橋梁の現況
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2015/pdf/k_genkyou46.pdf(2021/03/30)
- 3) 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, p21-p32, 2014.

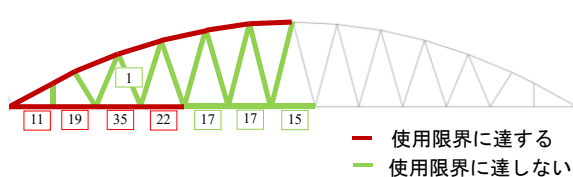


図-2 使用限界の判定結果

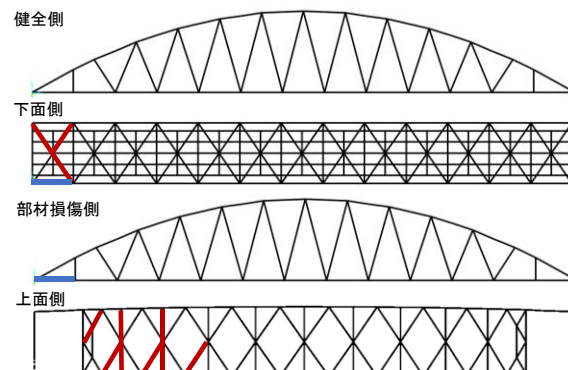


図-3 連鎖的に損傷させた部材(補剛桁端部)

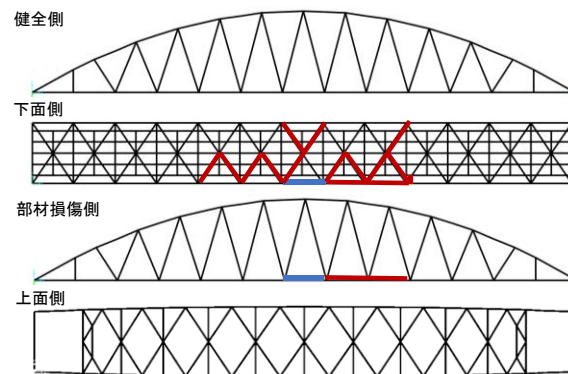


図-4 連鎖的に損傷させた部材(補剛桁中央部)

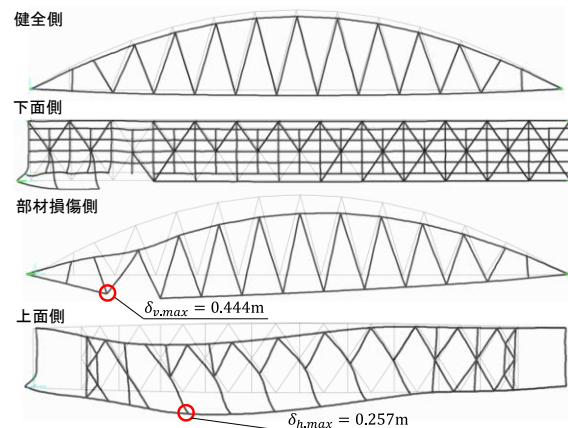


図-5 使用限界に達した橋梁の変位図