

トラス橋の崩壊防止手法開発のための大規模実験

岐阜工業高等専門学校 正会員 ○水野 剛規 名古屋工業大学 フェロー会員 後藤 芳顕
日本車輛製造(株) 正会員 山田 忠信 日本車輛製造(株) 王 慶云
愛知工業大学 正会員 鈴木 森晶 神鋼鋼線工業(株) 森下 健一

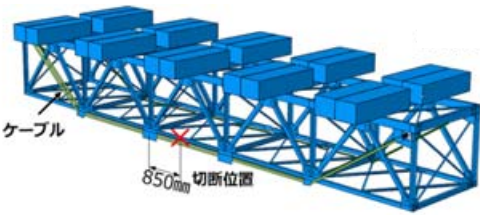
1. はじめに：トラス橋の米国での落橋事故や国内での斜材の破断事故を受け、近年、崩壊危険部材(FCM 部材)が破壊しても落橋を防ぐことが重要視されている。腐食や疲労損傷さらに地震などにより橋梁のFCM 部材に破壊が生じた場合には、これを起点とした全体系の大規模崩壊による落橋に進展する可能性がある。このような想定外の事象発生を防止するには、FCM 部材が破壊した場合にも、進行性破壊などが生じないように制御する考え方も設計に取り入れていく必要がある。従来の落橋防止構造の考え方では、トラス橋全体系の崩壊による落橋を防止することは困難である。このような、構造系の崩壊によるトラス橋の落橋を防ぐために、著者らは低コストで施工が容易なケーブルを用いた新たな崩壊防止装置を提案¹⁾²⁾した。本研究では、この崩壊防止装置の適用性をトラス橋の大型供試体を用いた実験で検討した結果を報告する。

2. 実験概要：実験供試体は、表1に示す橋梁の1/5スケールとして、図1に示す支間12m、トラスの高さ1.4m、主構間隔2mの供試体とする。実験状況を写真1に示し、ケーブル定着部の構造を写真2に示す。ケーブルは崩壊防止機能に特化させるため、トラス橋が終局状態を越えるまで、死荷重や活荷重さらに地震力がケーブルに作用しないことを前提としている。したがって、実験でもすべての錘を載荷した後にケーブル設置を行い、さらに緩んだ状態とした。緩みはケーブル長で管理し、受け点で隙間があることを確認した。計測の項目と位置を図2に示す。中央部の変位は糸巻き変位計で計測した。支点反力計測はロードセルを用い、ケーブル張力は定着部のひずみから求めた。ひずみと張力の関係は事前のキャリブレーションで求めた。本実験では設計荷重作用時を再現するために載荷重量を下弦材の応力が設計応力と同じレベルとなるように36.8tとした。FCMの破断は西側下弦材の中央部付近を高速切断機の切断することで模擬した。

3. 実験結果：写真3に切断面を示す。切断は開始から57.36秒で完了した。切断直後に供試体のたわみが動的に増加し、それをケーブルが弾性的に支えるのでケーブルと供試体全体の振動が確認されたが、20秒ほどでほとんど減衰し

表 1 対象橋梁

構造形式	上路式単純トラス橋
支間長	60.0m
主構	間隔：8.0m 高さ：7.0m



支間：12m、高さ：1.4m、主構間隔：2m

図-1 トラス橋実験供試体



写真1 実験状況



(a) 下弦材格点部 (b) 上弦材格点部
写真2 ケーブル定着構造

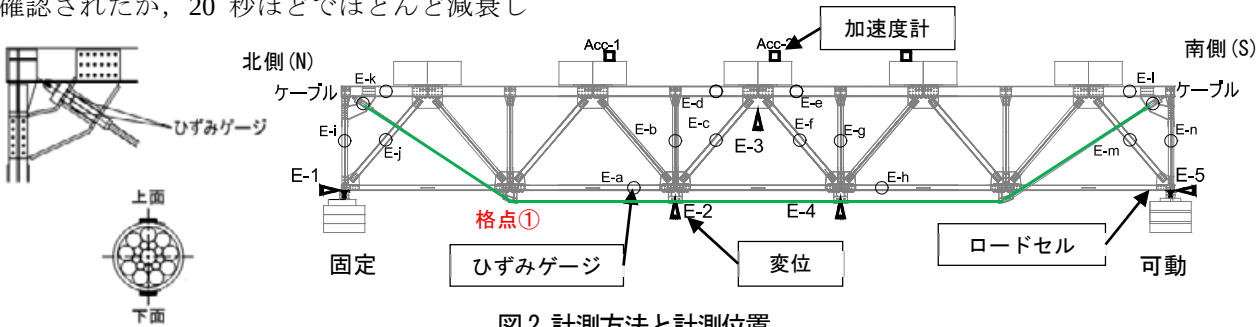


図2 計測方法と計測位置

キーワード： 崩壊危険部材(FCM 部材)、鋼トラス橋、崩壊挙動、進行性破壊、落橋防止装置、ケーブル連絡先：〒456-8691 名古屋市熱田区三本松町1番1号 日本車輛製造(株) TEL 052-882-3314

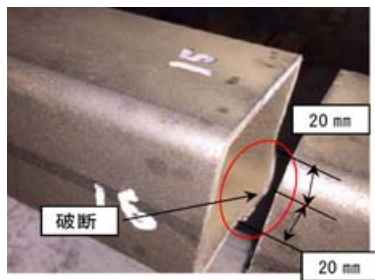


写真3 切断状況

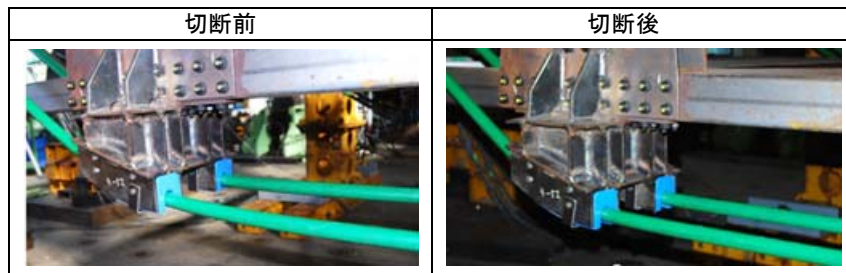
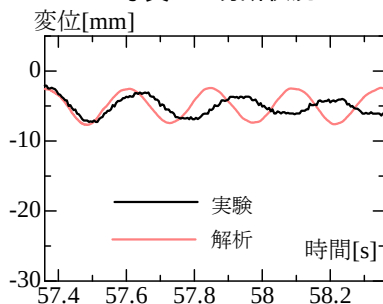
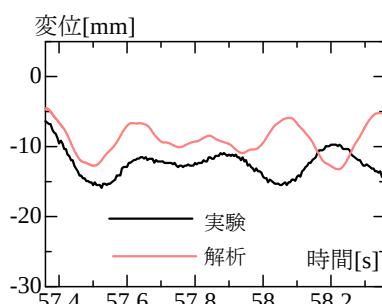


写真4 ケーブル受け点の状況：格点①（西側）



(a) E-2



(b) W-2 (切断側)

図4 下弦材鉛直変位 (実測 & 解析)

た. 写真4より緩んでいたケーブルが切断後に受け治具に接触し緊張したことがわかる. 図3に内側ケーブル軸力について東側と西側で対比したものを示す. 下弦材の切断と同時に切断側である西側(SW-in)のケーブル軸力が大きな増加を確認できる. これより, 切断後にケーブルが有効に機能し, 荷重(錘)を分担したことがわかる. 図3の軸力最大値 N_{max} と軸力平均値 N_{mean} から, 下弦材切断によるケーブル軸力の動的増幅率 i は, $i = N_{max}/N_{mean}$ と表され, $i = 35/29 = 1.207$ となる. この値は URS Corporation³⁾で提案された衝撃係数 1.854 に比較して小さい. この原因は, ケーブルの弛みが少なかったことと, 切断完了までに 57.36 秒を要したために徐々にケーブルに荷重が配分され切断前に 10kN 程度の軸力がケーブルに生じていたことによると考えられる.

4. 崩壊防止装置の挙動解析: 崩壊防止装置の挙動を ABAQUS を用いた複合非線形動的解析を実施することで解析した. 解析モデルは供試体のトラス構造をシェル要素と錘をソリッド要素で忠実に離散化した. 材料構成則は各部材の降伏強度を基にバイリニア移動硬化則 (2 次勾配 $E/100$) で表現した. ケーブル要素は弛緩状態から緊張状態までのケーブルの剛性変化は文献 2) で再現した. 減衰は無視した. 図4には下弦材 E-2 と W-2 の鉛直変位の時刻歴について実験値と解析値を示す. 実験では下弦材の切断が 57.36 秒を要したため切断完了時点にはすでに変位が生じていた. これに対応するために切断過程を反映した解析を行い, 鉛直変位の履歴は解析値と計測値はほぼ一致した. 振動周期は解析値の方が実験値よりも短くなっている. 図5には切断した西側の内・外のケーブル張力の時刻歴の実験と解析の比較を示す. ここでも同様に解析値の振動周期は短くなっている. 振動周期の相違はケーブル接合部やボルト連結部のモデル化の差異が考えられ, 今後モデル化において検討すべき課題である.

5. おわりに: ケーブルによる崩壊防止装置の有効性を実大トラス橋の 1/5 モデルにおける下弦材 (FCM) を破断させることにより検証した. その結果, 下弦材の破断後, ケーブルへの荷重の再配分が比較的スムーズに行われ, 崩壊が防止されることを確認できた.

参考文献: 1) 後藤芳顕: トラス橋の崩壊防止構造, 特開 2015-183351, 2015. 2) 水野剛規, 後藤芳顕, 山田忠信: 鋼トラス橋のケーブルを用いた崩壊防止構造に関する基礎的検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会, I-9, pp. 17-18, 2016. 3) URS Corporation: Fatigue evaluation and redundancy analysis, Bridge No. 9340, I-35W over Mississippi river, Draft report, 2006.

なお, 研究の一部は科学研究費 (基盤研究(A)16H02359 代表: 後藤芳顕) 援助を受けた.

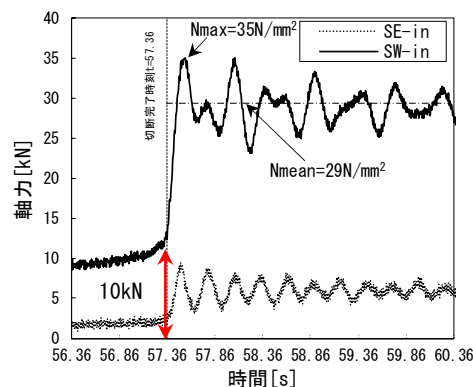
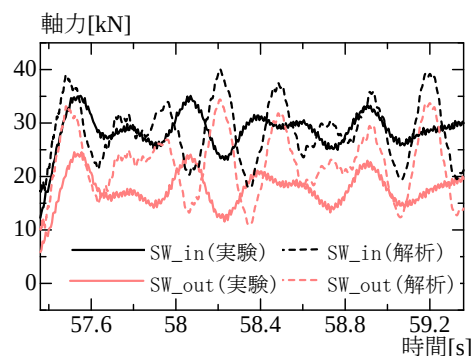
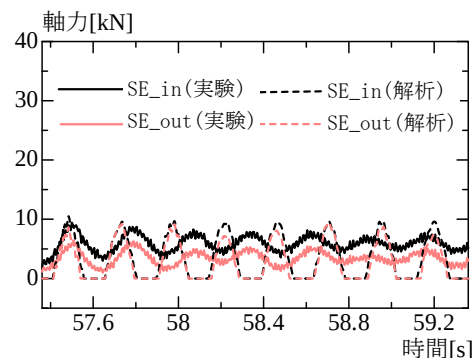


図3 ケーブル張力計測値内側ケーブル



(a) 西側 (切断側)



(b) 東側

図5 切断側ケーブル張力(実測 & 解析)