

下弦材が破断したトラス橋の崩壊挙動解明のための大規模実験

名古屋市役所	正会員	○河合 惟大	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	岐阜工業高等専門学校	正会員	水野 剛規
愛知工業大学	正会員	鈴木 森晶	愛知工業大学	正会員	嶋口 儀之

1.はじめに：米国の I-35W での落橋事故や国内でのトラス橋斜材の破断事故などにより、部材の破壊が構造全体の大規模な崩壊につながるか否かを判断や崩壊危険部材 (FCM) の同定のためのリダンダンシー解析が近年重要視されている。トラス橋のリダンダンシー評価を適切に行うためには部材破断から崩壊に至る進行性破壊現象を正確に再現できる解析手法を用いる必要がある。しかし、このような崩壊挙動は衝撃を伴う極端に大変形の複合非線形動的現象を伴うので、解析は容易ではない。加えて、破壊現象に関する実験や計測データはほぼ皆無であるので、解析法の妥当性を検証することもできない。したがって、本研究では、トラス橋の FCM の破断に起因する崩壊挙動に関するデータ取得とその挙動特性の解明を目的として、実際のトラス橋をできるだけ正確に再現した実験供試体 (縮尺 1/5) を用いて、下弦材の切断による崩壊実験を実施した。

2. 実験概要：実験状況を写真 1 に示す。実験供試体は図 1(a) に示す支間 60m の鋼上路式単純トラス橋の 1/5 スケールとして、図 1(b) に示す支間 12m、トラスの高さ 1.4m、主構間隔 2m の供試体とした。各部材の接合はガセットを介した摩擦接合とした。進行性破壊が生じるように、予備解析より、錘載荷重量 49.4t、および切断位置を西側下弦材の中央付近と決定した。図 2 に計測項目と位置を示す。錘載荷前をゼロ点として、錘載荷時は静的にひずみ、支点反力、変位を計測した。下弦材の切断には高速切断機を用いた。錘設置後は計測値をリセットし、切断開始以降は動的なひずみ、支点反力、変位および加速度を計測した。

3. 実験結果：西側下弦材の切断には、開始から完了までに 18.125 秒を要した。切断機で断面の約 1/2 を切断後、錘による引張力で残りの部分が破断した。西側下弦材の完全破断後 0.15 秒に東側の下弦材が格点部のボルト接合位置で破断し、その後、崩壊した。写真 2 に崩壊状況を、写真 3 に下弦材が破断した崩壊後の東側のパネルを示す。図 5 には、崩壊過程での東側と西側の下弦材の軸引張りひずみの時刻歴を示す。切断機での切断完了に至るまでに 18.125 秒を要したため、徐々に西側のひずみが減少する一方、東側が増加しているのを確認できる。切断完了後は、切断した西側下弦材のひずみは急激に減少し零になる。これにより、荷重の大部分が東側の主構に配分されるため東側下弦材のひずみの増加率も大きくなるが西側の減少率ほどではない。図 3 には、破断した付近の各部材の切断開始前と破断直前の各部材のひずみ分布を示す。東側の下弦材破断直前の東側の上弦材および下弦材のひずみは破断前の約 2 倍になり、西側が抵抗できなくなった分を東側が分担したことがわかる。

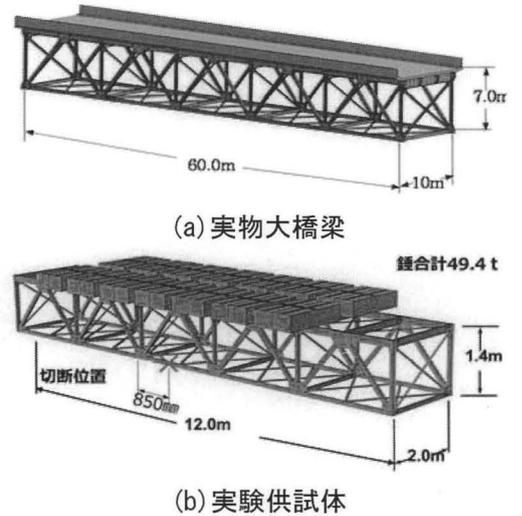


図 1 トラス橋実験供試体

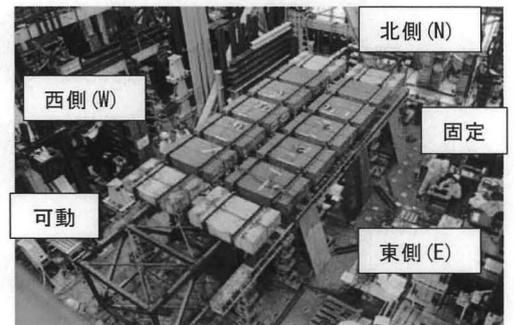


写真 1 実験状況

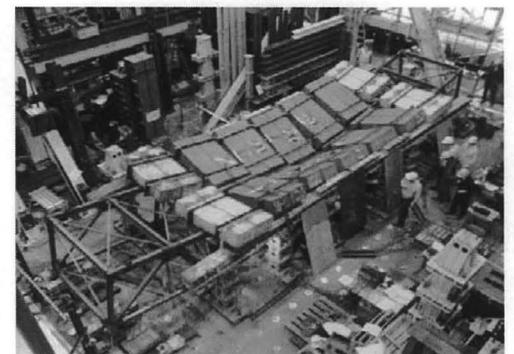


写真 2 崩壊状況

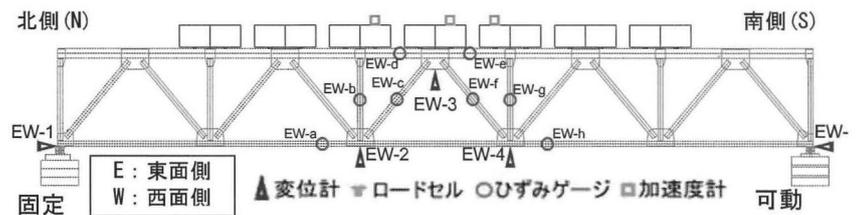
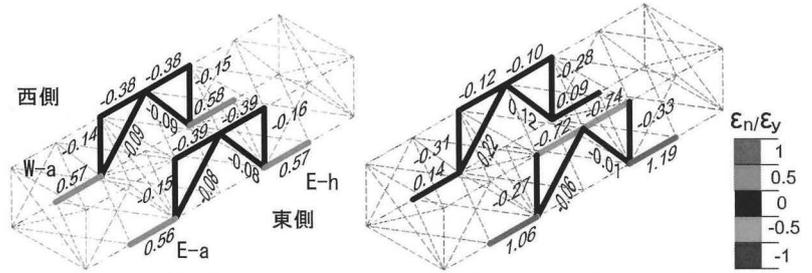
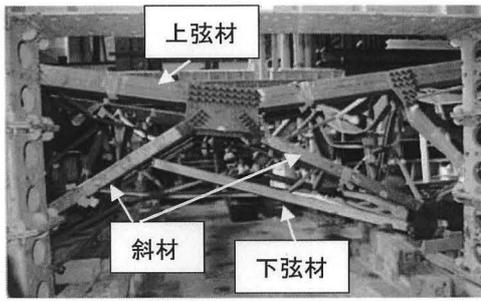


図 2 計測項目と計測位置

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

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



(a)切断開始前 (b)切断後(東側下弦材破断前)

写真3 支間中央 東側下弦材崩壊状況

図3 西側下弦材切断による中央付近部材のひずみ分布の変化

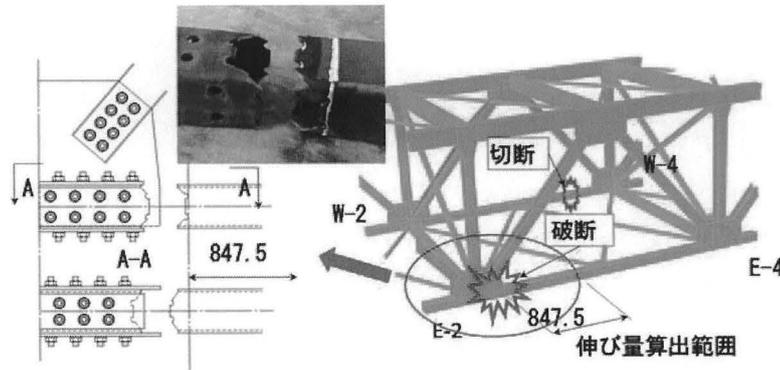


図4 東側下弦材破断状況

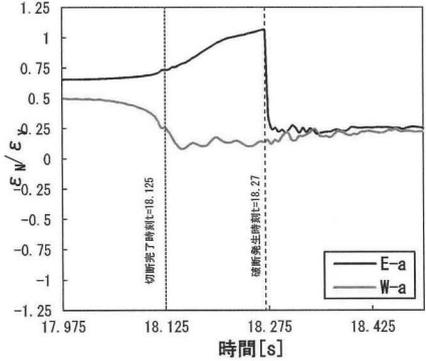


図5 下弦材のひずみ時刻歴

図5より東側下弦材が破断した  $t=18.27$  以後、東側下弦材のひずみが急激に減少しているのは、東側下弦材が破断したからである。破断位置は図4に示すように下弦材のガセットへのボルト接合部である。破断機構は下弦材の引張りによる塑性化ですべりが最外列のボルト孔の位置で生じたことで、ボルトの支圧力が下弦材に作用し、孔の位置でひずみ集中が生じ延性破壊したことによると考えられる。このような破断機構により下弦材のボルト接合部以外のひずみは図6に示すように0.38%と非常に小さい値になっている。部分パネルの実験<sup>2)</sup>でも接合部以外の下弦材は0.15%のひずみで破断し、塑性伸びは小さい。

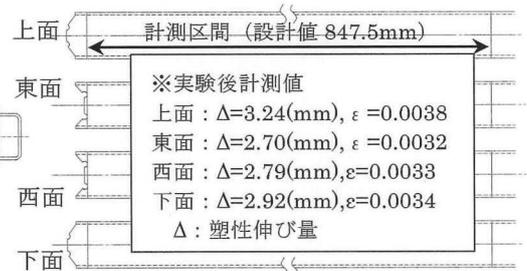
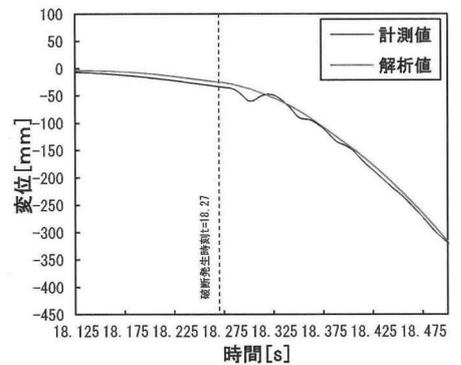


図6 破断した下弦材の破断形状と伸び量

非常に小さい値になっている。部分パネルの実験<sup>2)</sup>でも接合部以外の下弦材は0.15%のひずみで破断し、塑性伸びは小さい。

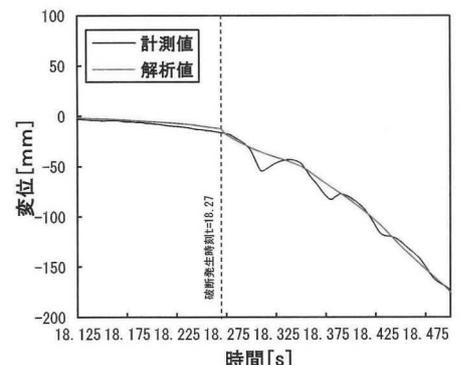
**4. 解析:** 解析には汎用構造解析ソフト ABAQUS を用いた複合非線形動的解析を実施することとし、解析モデルは崩壊実験を模擬するために供試体を忠実にシェル要素 (SR4) で離散化した。材料構成則は、実際の供試体の降伏強度を基に、バイリニア移動硬化則 (2 次勾配  $E/100$ ) とする。要素分割は局部座屈を伴う大変形時の解の収束性を考慮して設定した。ガセットと各部材の結合はボルト結合位置で剛結合とする。図7に東側下弦材 E-2 の鉛直および橋軸方向変位について実験値と解析値の比較を示す。今後、解析による応力や歪などの指標の妥当性も詳細に検討し、切断機による破断の模擬を塑性変形も表現できるモデル化を行うことで、より精緻なトラス橋の崩壊解析法を目指す予定である。



(a) 鉛直変位

**4. まとめ:** トラス橋の FCM 部材の破断において、破断発生後における橋梁全体系での荷重の再配分により、他部材が崩壊限界に達することで連鎖的に破断が発生し、トラス橋は一瞬で崩壊することを確認できた。また、精緻な複合非線形動的解析で実験をある程度再現できることを検証した。

参考文献: 1) 後藤他, トラスの部材破断時の衝撃と非弾性挙動を考慮したエネルギーによるリダンダンシー評価, 土木学会論文集 A1, Vol. 71, No. 3, 367-386, 2015. 2) 山田他, トラス橋の格点部を含めたパネルの終局強度に関する研究, 土木学会第 72 回年次学術講演概要集, 2017.9 (予定)。



(b) 橋軸方向変位

図-7 計測値と解析値の比較(E-2)

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。