

点群データを活用した鋼橋の解析モデルの構築方法と実橋への適応

名古屋工業大学 正会員 ○日高 菜緒
 名古屋工業大学 非会員 橋本 尚史
 名古屋工業大学 正会員 野中 哲也
 名古屋工業大学 フェロー会員 小畑 誠
 名古屋高速道路公社 非会員 渡邊 英

1. 研究の背景・目的

既設橋梁の長寿命化による戦略的な更新が求められる背景から、数値解析による残存耐荷力の定量的評価が進められている¹⁾。解析モデル生成には部材寸法などの取得が必要になるが、建設年次が古い橋梁の場合、竣工図面が残されていない場合も多い。また、様々な要因から、橋梁の状況が建設時から変化している場合もある。そのため、図面に頼らず、計測等から得られるデータを活用した解析モデルの構築が求められるが、部材寸法を手動で計測する場合は、時間を要する上に計測漏れの恐れがある。

そこで本研究では、対象物の3次元形状を効率的に取得できる点群データから解析モデルを半自動的に生成する手法を開発する。ここでは、対傾構パネルの供試体を用いた構造実験の計測点群データに適用した結果を示すとともに、実橋へ適応した場合の課題と展望について、下路式トラス橋での点群データ計測結果を踏まえ考察する。

2. 点群データを活用した鋼橋全体の解析モデル生成の方法

本研究は、鋼橋全体をモデル化することを前提にしている。そのため鋼部材をファイバー要素でモデル化する手法を開発する。手法のフローを図1に示す。ただし、床版のみ別途シェル要素でモデル化する。

まず、入力した鋼橋全体の点群データから、各部材の主軸の方向ベクトルを算出し、主軸の交点を部材の接合点とみなす。次に、2接合点を端点として、その間に指定数の節点をサンプリングする。初期不整や変形を反映した中心軸にするために、節点上にあり軸線に対して垂直な断面を投影し、投影した点群の図心に節点を補正する。以上の操作より、各部材の中心軸が取得できる。更に、全部材について、2接点の線分から構成される要素に対して垂直な断面に点を投影して、断面点群を得る。断面点群から端点や板厚など、ファイバーモデルに必要な寸法を取得する。以上の操作を終えると、各部材の接続を反映し、かつ初期不整や変形を考慮した鋼橋のファイバーモデルが生成される。

3. 対傾構パネルの供試体を用いた実証実験

検証の前段階として、一般的な上路式トラス橋の支点上対傾構を含む1構面を再現した供試体を用いた繰り返し載荷実験の再現解析を実施した。実験前の供試体をレーザースキャナで計測し(図2)、2.で示した提案手法を用いて計測点群データから自動的にファイバーモデルを生成した(図3)。生成した解析モデルの板厚と実測値との誤差は最大0.3mmであった。実験の再現性について、点群データから構築した点群モデルと図面から作成した図面モデルを比較すると(図4)、両モデルとも荷重変位曲線の傾向は似ているが、初期勾配、耐荷力にわずかな差が表れた。これは供試体の板厚の実測値が図面の値より小さいことが要因と考えられる。点群モデルの方が初期勾配が緩やかであったことから、提案手法を用いて実寸値に基づく解析モデル化ができたといえる。

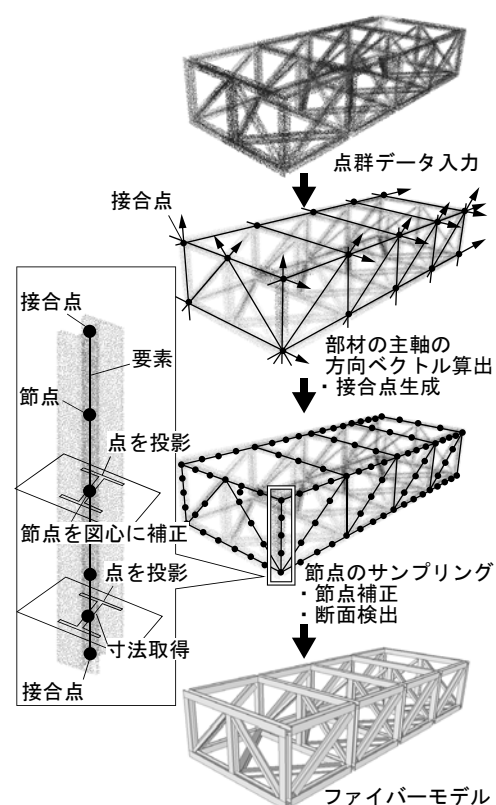


図1 鋼橋の点群データから解析モデルを構築する手法のフロー

キーワード 点群データ、ファイバーモデル、構造解析、鋼トラス橋

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学工学専攻 日高 菜緒 TEL 052-735-5157

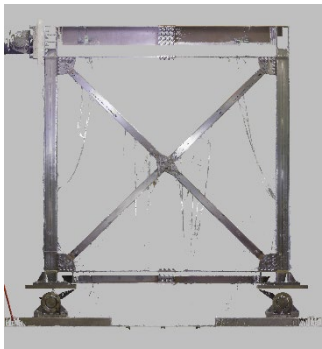


図2 供試体の計測点群データ

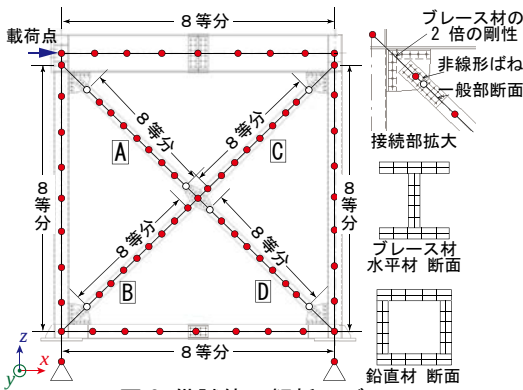


図3 供試体の解析モデル

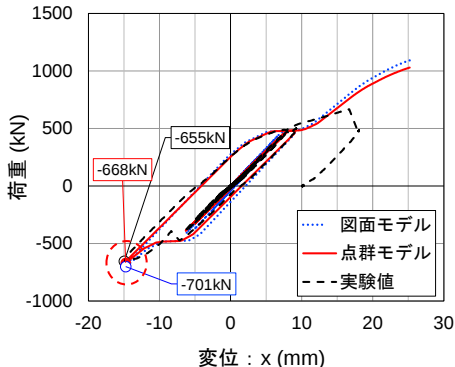


図4 実験値・図面モデル・点群モデルの荷重変位曲線重ね

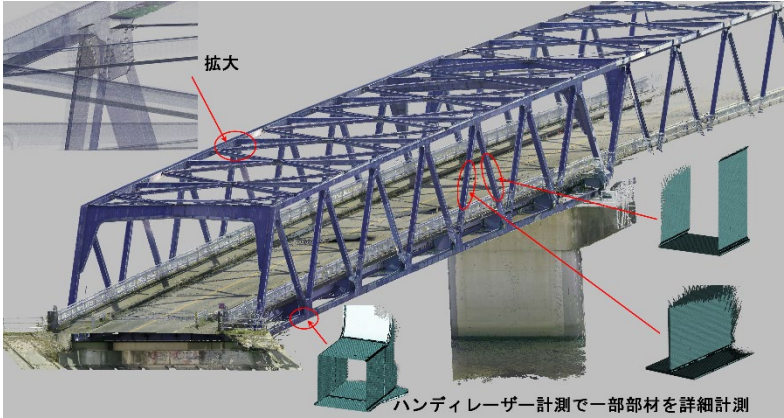


図5 下路式トラス橋の計測点群データ

表1 寸法と板厚の誤差 (単位:mm)

下横構A			主桁		
フランジ 長	図面	ハンディ	フランジ 長	図面	ハンディ
フランジ 厚	360	360.9	フランジ 厚	230	230.2
ウェブ 長	19	19.3	ウェブ 長	14	14.2
ウェブ 厚	180	180.6	ウェブ 厚	1000	計測不可
	16	16.5		9	9.4

下弦材			斜材(圧縮)		
上フランジ 長	図面	ハンディ	フランジ 長	図面	ハンディ
上フランジ 厚	460	461.8	フランジ 厚	260	261.1
下フランジ 長	10	10.6	ウェブ 厚	9	9.6
下フランジ 厚	380	380.8	ウェブ 長	360	359.5
ウェブ 長	11	10.9	ウェブ 厚	9	計測不可
ウェブ 厚	380	379.1			
	9	8.5			

斜材(引張)		
フランジ 長	図面	ハンディ
フランジ 厚	260	260.7
ウェブ 長	10	10.5
ウェブ 厚	354	計測不可
	10	10.8

4. 実橋の点群データ計測結果と部材寸法および板厚計測値

2. で示した提案手法を実橋で適用するため、2023 年 3 月に下路式トラス橋の中畑橋（愛知県碧南市）を計測した（図 5）。据え置きレーザースキャナ Leica RTC360（解像度：3mm@10m，精度：1.9mm@10m）により橋面と桁下道路から終点側径間全体を計測し（点数：約 10 億点），ハンディレーザースキャナ HandySCAN BLACK™|Elite（解像度：0.05mm@30cm，精度：0.025mm@30cm）により下弦材，斜材，主桁，下横構の詳細な形状を代表で 1 本ずつ計測した（点数：約 30～150 万点）。部材の寸法と板厚の計測結果と竣工図面での値を表 1 に整理した。

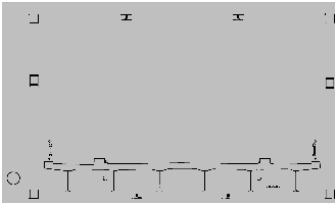


図6 断面点群の一例

5. 実橋への適応における展望

下路式トラス橋の解析モデルの構成は馬越らの研究成果²⁾に基づき決定する。図 6 のように橋軸方向で垂直な面で断面点群を得ると，部材ごとに分離した断面が得られるので，ここから部材ごとの中心軸の節点を得ることが可能である。また，床版のシェルモデルの厚さについても点群データから取得できる。一方，上弦材や上横構はハンディレーザー計測ができず，また据え置きレーザー計測でも頂部は計測できていないため，ドローンを使った追加計測や点群データで取得しきれない情報を写真や深層学習を用いて補完することで，高精度の解析モデルが生成できると期待される。

謝辞

本研究は，JSPS 科研費 JP22K20445 の助成を受けたものです。

参考文献

1) 嶋口ら：繰り返し荷重を受ける鋼トラス橋のブレース材の終局挙動に関する実験および再現解析，構造工学論文集，Vol. 68A，pp. 59-68，2022.

2) 馬越ら：トラス橋のケーススタディ（非線形解析）－鋼トラス橋を対象とした連鎖崩壊型動的リダンダンシー解析－，第 17 回 鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集，2014