

ブリッジ回路を用いたトラス橋部材の損傷検出の試み

東北工業大学 都市マネジメント学科 正会員 ○山田 真幸
嶋田 哲也
山田 和

1. はじめに

2007 年 6 月に三重県の国道 23 号木曽川大橋で鋼製トラス橋斜材の破断が発見され、全国で橋梁の緊急点検が行われた。同年 8 月には秋田県由利本荘市の国道 7 号本荘大橋の緊急点検中に、点検個所のトラス斜材と RC 床版との取合い部が破断する事故が生じた。また同年 8 月には米国ミネアポリスのミシシッピ川を渡る高速道路橋の崩壊事故が大きく報道され、橋梁をはじめ社会基盤施設の安全性に注目が集まっている¹⁾。

前述した我が国のトラス橋部材の破断事故は RC 床版を鋼製のトラス部材が貫いており、その境界部に雨水等が侵入して減肉、破断につながったとされている。本研究では RC 床板中のトラス橋部材の損傷を検出する手法を考える。ここでは図-1 に示すトラス橋の模型を用いる。格点間で長さ 2000 mm、高さ 200 mm、幅 250 mm であり、弦材はアルミニウム、横桁は黄銅製で、プラットトラスの格点はボルトで剛結されている。

2. ブリッジ回路を用いた損傷検出について

本研究ではトラス橋を電気回路に見立ててトラス部材を電気抵抗、格点を接点とみなして電氣的に損傷を検出することを試みる。鋼部材の減肉で生じる電気抵抗の増加を損傷の指標として用いたい。金属材料の電気抵抗は非常に小さく、テスター等による計測が難しいことから、ここではホイートストンブリッジ回路で電気抵抗の変化を電圧の変化に変換して計測する²⁾。

検討に用いた有限要素モデルを図-2 に、本手法の概要を図-3 に示す。部材の損傷は斜材または垂直材が RC 床板に貫通している位置と仮定し、その両端の格点にブリッジ電圧を与える。そして三角形を構成する格点(図-3 (a) では C, (b) では A) と検査対象部材内の計測点 (C' または A'') との間に生じる電位差を計測する。

一般的なブリッジ回路では計測点間の電位差がゼロになる様に平衡点を探す。本手法で平衡点を探す場合には検査対象の計測点を移動させて計測することになる。これは塗膜の除去などの付随する作業を考えると現実的ではない。そのためここでは計測点 (C' また

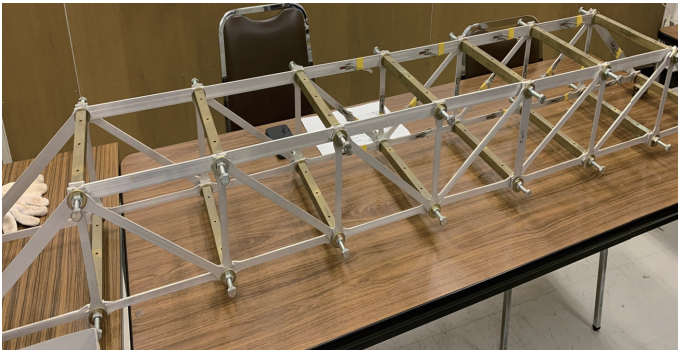


図-1 実験に用いたトラス橋の模型

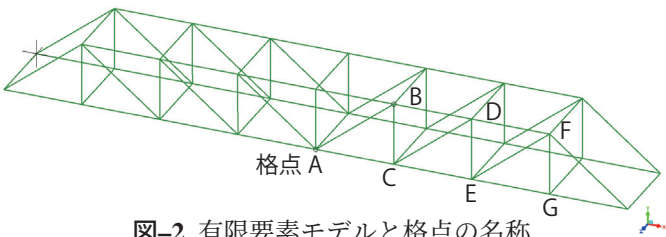


図-2 有限要素モデルと格点の名称

表-1 数値解析で用いた部材の諸元と電気抵抗

	幅	厚さ	長さ (mm)	格点間の電気抵抗 (Ω)
斜材	15	4	320	0.000167
垂直材	15	4	200	0.000104
下弦材	15	4	250	0.000131
上弦材	20	4	250	0.000131
橋門構	25	4	320	0.000100
横桁 (黄銅)	20	20	250	0.0663

表-2 用いた材料毎の電気抵抗率

	導電率 (% IACS)	電気抵抗率 (Ωmm ² /m)
アルミ (弦材)	55	0.0313
黄銅 (横桁)	26	0.0663
鋼 (参考)		0.1~0.2

表-3 数値解析で求めた格点の電位

(a) 斜材		(b) 垂直材	
検査対象	格点の電位 (V)	検査対象	格点の電位 (V)
斜材 A-B	0.620 (C 点)	垂直材 B-C	0.581 (A 点)
斜材 C-D	0.623 (E 点)	垂直材 D-E	0.579 (C 点)
斜材 E-F	0.613 (G 点)	垂直材 F-G	0.584 (E 点)

は A'') を移動させずに計測する。

3. 数値解析による検討

(1) 計測点の決定について

対象のトラス部材が健全の場合にブリッジ回路が平衡となる様に計測点 C', A' などの位置を決めたい。

Key Words: トラス橋, ホイートストンブリッジ, 破断, 計測
〒 982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1, TEL 022-305-3540, FAX 022-305-3501

ここではブリッジ以外の回路となる部材による電流が生じるため三次元有限要素解析より格点 C, A などの電位を求めた。モデル化した模型の部材の諸元は表-1に示す。電気抵抗は表-2に示す材料毎の電気抵抗率により求めた^{3),4)}。また各弦材は20要素に分割した。検査対象部材の両端の格点に1Vのブリッジ電圧(下端を0Vとする)を与え、得られた格点 C, A の電位を表-3に示す。これらより斜材を対象とした計測点(C', E', G')は下端から62.5%の位置、垂直材の場合(A'', C'', E'')は57.5%の位置とした。

(2) 部材の損傷による電位の変化について

次に、検査対象部の1要素(部材長の1/20)の断面が減少した場合の、0% (健全) から100% (破断) までの7ケースで数値解析を行い、計測点間の電位の変化を求めた。得られたグラフを図-4に示す。

これらから断面欠損が80%程度以上では急激に計測点間の電位が上昇することがわかる。一方で断面欠損がそれ以下の場合にはほぼゼロに近い。また対象とした部材、位置によらずほぼ同じ傾向のグラフとなった。

4. 模型実験による検討

図-1の模型を用いて本手法を実験的に検討する。数値解析と同様に、対象部材の両端に図-5に示した電源で定電圧をブリッジ電圧として与え、計測点間(C-C'あるいはA-A'など)の電圧をデジタルマルチメータ(DMM)で計測した。損傷した弦材として検査対象の部材を図-5に示した鋸で切断した物に入れ替えた。

結果を図-6に示す。部材を切断した割合が増えるほど計測点間の電位は増加する傾向が見られた。ただし今回計測された電位は用いたDMMの測定限界に近く、また再現性もかなり低い事を明記しておく。また装置の制約で電流は約5Aであったが、電源装置に表示されるブリッジ電圧とDMM(ケルビン接続)で計測した電圧とに乖離があった。これは模型の材料に電気抵抗率の小さいアルミニウムを用いたこと、および模型のサイズに起因した部材の電気抵抗の小ささによると思われ、模型実験による検討には再考を要する。

5. まとめ

鋼トラス橋を電気回路に見立てて、RC床板中の部材損傷を電氣的に検出する方法を数値解析と模型実験で試みた。その結果断面欠損がある程度大きい場合には損傷を検出できる可能性があることが数値解析より示されたが、模型実験による検討では再考が必要である。

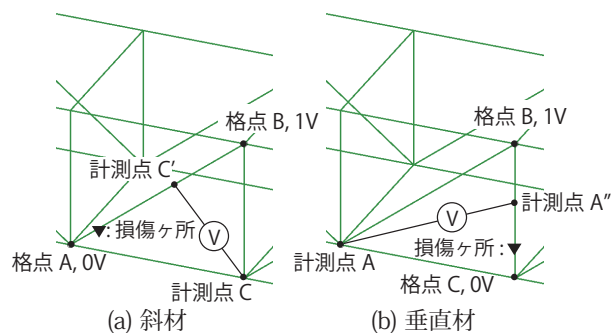


図-3 ブリッジ回路と電位の計測点

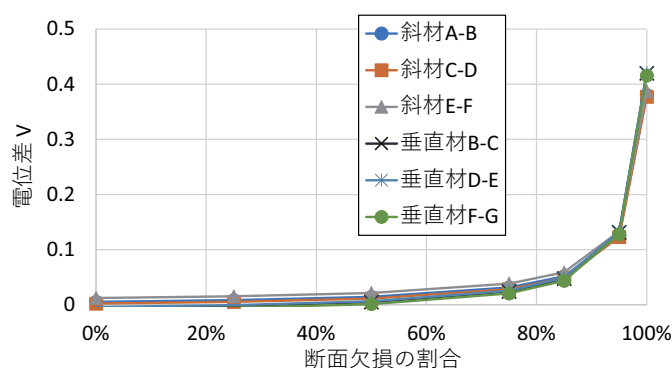


図-4 断面欠損の割合と数値解析による計測点の電位

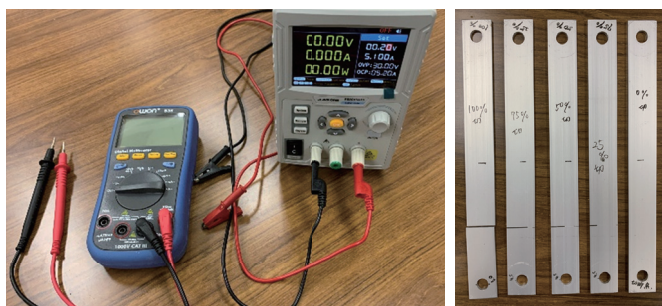


図-5 電源, DMM および損傷部材 (垂直材 20×4×200mm)

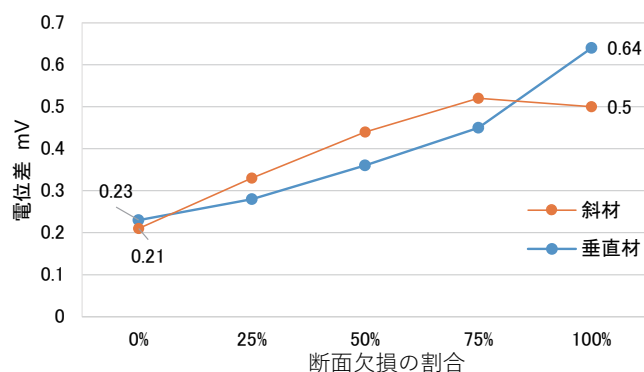


図-6 断面欠損の割合と計測された電位

参考文献

- 1) 山田健太郎: 木曾川大橋の斜材の破断から見えるもの, 土木学会誌, Vol.93, No.1, pp.29-30, 2008.
- 2) 山崎弘郎, 石川正俊, 安藤繁, 今井秀孝, 江刺正喜, 大手明, 杉本栄次編: 計測工学ハンドブック, 普及版, pp.314-317, 朝倉出版, 2011.
- 3) 国立天文台編: 理科年表 平成 24 年, 第 85 冊, p.420, 丸善出版, 2011.
- 4) 電気学会編: 電気工学ハンドブック, 第 7 版, pp.184-185, オーム社, 2013.