

大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻土木工学コース 学生員○久米 史哉  
 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻土木工学コース 学生員 小田 輝  
 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻土木工学コース 正 員 小幡 卓司

### 1. まえがき

我が国の社会基盤構造物は、1965～1980 年代の経済発展に伴い、非常に多くが建設・供用された。橋梁を例にとると、かつての木橋に対して、RC、PC 橋や鋼橋は「永久橋」と称される時代もあったが、供用後 30 年～50 年を迎える今日、多数の損傷が発見され、補修補強、維持管理の強化、損傷の位置と程度の同定手法の開発は急務となっている。現状では、目視や打音などの昔ながらの検査法が多く使われており、加速度測定などの新手法も提案されてはいるものの、未だに決定版と言えるような方法は開発されていない。このような背景から、本研究では自己発電機能を有する圧電素子に着目し、これをセンサとして応用し、損傷同定システムを構築することを目的とするものである。

### 2. 圧電素子によるセンシング

圧電素子は、ひずみ（変形）を与えると電圧を発生する圧電効果と、電圧を加えるとひずみを生ずるという逆圧電効果を利用してセンサやアクチュエータとして利用されている。本研究では、実験供試体の損傷状況を検討するために圧電素子を自

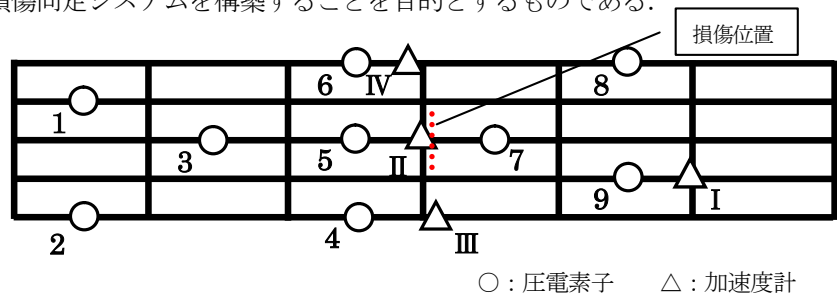


図-1 実験供試体

己発電機能によるひずみセンサとして応用することにより、供試体の健全・損傷状態の発電量の変化を実験的に捉えて検討を行う。また、同時に加速度計による測定も実施して、両者の特性などについて考察を加えるものである。

具体的な実験手法としては、図-1 に示すような桧製の格子桁の中央部に質量 500g の重錘を固定し、図-1 の中央の縦桁の横桁近傍に切り込みを入れて、その深さを変えることにより破損状況を変更して、固有振動数や圧電素子の発電量がどのように変化するかを検討し、損傷の程度と電圧の変化によって、損傷の同定が可能かどうか検討を行った。実験方法は、図-1 のように圧電素子 9 個（1～9）と加速度計 4 個（I～IV）を取り付けた単純格子桁の供試体に 10mm の変位を加えて開放して減衰自由振動を発生させ、圧電素子の電圧と加速度を測定した。損傷に関しては、健全状態から段階的に切り込みを入れ、1/4 程度、1/2 程度、3/4 程度、崩壊寸前、破断の 6 種類の損傷を与えた。上記の実験で得られたデータを各損傷状態で比較検討し、圧電素子の損傷同定センサとしての適用性、実用性を考察する。

### 3. 解析結果とその考察

損傷位置付近の 5 番と 7 番の圧電素子の波形とフーリエスペクトルを図-2 に、II 番の加速度波形を図-3 に示す。なお、波形データに対して、特にノイズ処理などは行っていない。図-2 に着目すると、5 番の圧電素子における健全状態での発電量は最大約 0.4V であり、1/2 損傷で半分約 0.2V、破断状態で最大 0.15V 程度になった。また、3/4～崩壊寸前ではほとんど変化がなかった。次に、7 番の圧電素子に関しては、5 番に比較して多少ノイズ成分が多いが、健全状態での発電量は最大約 0.6V、1/2 損傷で 5 番と同様に約半分約 0.3V になり、1/2～3/4 まではあまり変化がなく、崩壊寸前で発電量が約 0.15V、破断では減衰自由振動波形は得られず、ノイズのみの状態となった。また、5 番の圧電素子におけるフーリエスペクトルは、損傷の増大に伴って若干低下していることがわかる。さらに、図-3 の加速度波形については、No.II の損傷近傍においても、健全状態で最大  $600\text{cm/s}^2$ 、破断状態で  $650\text{cm/s}^2$  となっており、他の損傷状態でもほとんど変化が見られなかった。この結果から以下のことが挙げられる。

今回の実験では、格子桁状の実験供試体に変位を与え、これを解放すると当然ながら曲げ振動が発生する。損傷が次

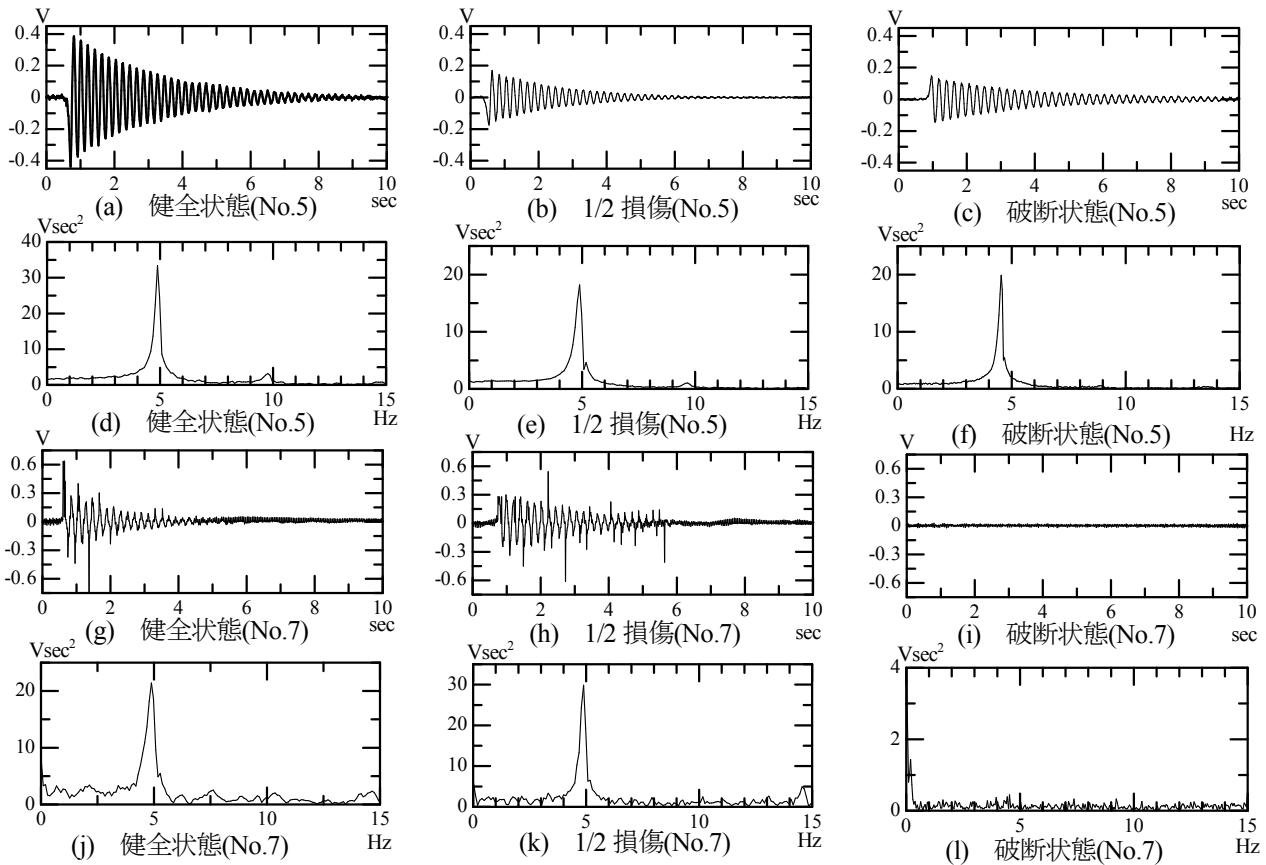


図-2 圧電素子の応答波形とフーリエスペクトル

第に大きくなると、そこがヒンジ状態となるため曲げ変形が小さくなり、発電量も低下する。破断状態では、5番の圧電素子は中央の横桁の分配効果によって小さいながらも曲げひずみに応じて発電する。すなわち、損傷位置近傍では当然ながら発電量は小さくなる。7番は曲げひずみが生じなくなり、崩壊の直前から圧電効果による電圧は発生せず、ノイズ成分のみになる。また、損傷位置から遠い1番や2番などの圧電素子は、横桁によって供試体全体の曲げ変形があまり変化せず、そのため発電量に変化が非常に小さかった。さらに、加速度計の結果に言及すると、どの損傷状態でもその応答加速度にほとんど変化が見られなかった。その理由としては、加速度計は文字通り加速度を測定する装置であり、基本的に曲げ剛性や曲げひずみの変化を直接捉える装置ではないことが挙げられる。例えば、曲げが解放された7番の素子の位置でも、振動そのものは生じており、固有振動数やモードの変化は若干生じるものの、加速度の変化は小さく、損傷同定、特に位置の同定は困難であると思われる。

#### 4. あとがき

以上のように、実験結果からは、供試体に損傷を与えていくことで損傷近傍の圧電素子による発電量は減少し、損傷から離れている圧電素子は発電量があまり変化しないという結果が得られた。これは圧電素子の性質からも問題のない結果であると考えられる。したがって、対象となる社会基盤構造物の状態などを把握した上で、圧電素子の特性を考慮してセンサとして配置すれば、損傷同定のツールとして活用できる大きな可能性を有しているものと考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 奥川雅之, 佐々木実: 圧電素子を用いたセルフセンシング梁構造のシステム同定と制御系設計, 日本機械学会, Dynamic and Design Conference 2000, CD-ROM 論文集, No.729, 2000年9月.
- 2) 大島和彦: 圧電素子のセルフセンシング・アクチュエーションとその応用, システム/制御/情報, 日本システム情報学会, Vol.44, No.5, pp.281-288, 2000.

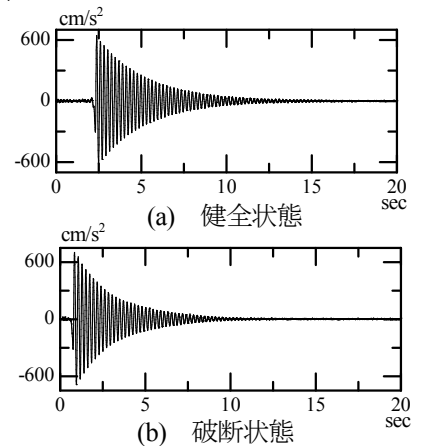


図-3 加速度応答波形(No.II)