

平成 28 年 4 月 29 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金  
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 御中

## 研究概要書

研究課題：鋼床版の疲労モニタリングのための無線式損傷記憶センサの開発

研究代表者：東京大学 大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 助教 白岩 隆行

はじめに

地震などの災害による不慮の事故を防ぐためには、高速道路構造物の疲労損傷の状況を適確にモニタリングすることが必要不可欠である。しかしながら、高速道路構造物は近年急速に高経年化が進行しており、検査作業に習熟した作業員も減少しているため、従来の検査手法のみでは十分な疲労照査を行うことが難しい状況にある。ひずみゲージ法では長期計測に多大な労力を必要とする。また、犠牲試験片のき裂進展を利用する疲労センサが提案されているが、そのき裂長さの計測には、レプリカの採取や顕微鏡観察など煩雑な作業が必要である。したがって、既存の構造物に対応できる簡便で定量的な疲労劣化監視技術が必要とされている。

### 1. 研究の目的

本研究の目的は、高速道路構造物の安全監視を実現するために、鋼床版鈹桁橋における応力変動をモニタリング可能な無線式のセンサを開発することである。疲労センシングの方法としては、申請者がこれまでに提案している損傷記憶スマートパッチの原理を利用する。これは、微結晶粒を有する小型の試験片（センサ）を一定期間対象物に貼り付け、その間にセンサに進展する疲労き裂長さや電気抵抗変化から、対象物の受けた繰返し回数と応力振幅を推定するものである。具体的な研究内容としては、(1) 損傷記憶センサの高感度化、(2) 損傷記憶センサの無線化、及び(3) グローバルな無線センサネットワークの構築を行う。

### 2. 損傷記憶センサの高感度化

損傷記憶センサとして、ポリイミド基板(厚さ 35  $\mu\text{m}$ 、幅 5 mm、長さ 40 mm)に無電解めっきニッケル薄膜(膜厚 1  $\mu\text{m}$ )を形成したものを提案した。このセンサは鋼床版等に接着剤で貼り付けることで使用し、繰返し荷重を受けた際に、ニッケル薄膜の電気抵抗値が再現よく変化することを利用したものである。センサ特性を評価するために、センサに対して最大荷重 15, 20, 30 N、応力比 0.5 として疲労試験を行った。疲労試験の結果、最大荷重が 15 N ではき裂は発生しなかったが、20 N と 30 N では発生した。き裂は荷重方向に垂直に発生し、金属膜厚が大きいほど、き裂密度が小さくなることがわかった。また、き裂間隔は、膜厚の増加に伴い大きくなった。更に、電気抵抗値は荷重の増加に伴い、増大することを確認した。このことから、電気抵抗値変化には、膜の断面積変化やき裂の有無だけでなく、疲労によって生じるき裂密度の差や、き裂形状の違いなどの要因が存在すると考えられる。これらの傾向についてモデルを作成し、評価することで、電気特性の測定による構造物の疲労センシングにつながる可能性が示された。

### 3. 損傷記憶センサの無線化

鋼床版の疲労モニタリングのためには、バッテリーの交換無しに長期間使用することや、多数設置することが必要なので、低消費電力で低コストであることが必要である。一方で、一度の測定で通信するデータ量は小さく、測定頻度も低いため、高速なデータ通信は必ずしも必要ではない。そこで本研究では、電源不要の RFID 技術や、低消費電力で無線ネットワークを構築可能な ZigBee

の利用を検討した。実際に作製した無線センサを図-1 (a)・(b)に示す。これらの無線機はリアルタイムクロック IC によって時刻制御されており、待機時の消費電力はマイクロアンペアのオーダーである。無線スマートパッチの場合、1回の計測・無線送信当たり  $47.5 \text{ mW}\cdot\text{s}$  の電力量を消費する。したがって、10分に1回の計測を行う場合には、単3電池相当のバッテリーで、数年にわたって連続監視が可能である。

#### 4. グローバルな無線センサネットワークの構築

3G/LTE 通信網に接続することで、上記の近距離無線で構築されたワイヤレスセンサネットワークを遠隔地から制御・監視することを検討した。3G 通信網を通じて遠隔地にあるデータステーションに送信するための 3G 中継器を試作した。図-1 (c)に示す。本センサネットワークの適用例として、実橋梁に腐食環境モニタリングのためのワイヤレスセンサネットワークを適用した場合を示す。センサの設置状況を図-1 (d)に示す。このシステムでは 3G 中継器により、計測データは携帯電話網を通じてサーバにアップロードされる。以上のようにして、インターネット経由による疲労損傷の遠隔モニタリングの可能性を示すことができた。

#### 5. まとめ

高速道路や橋梁等の鋼構造物は多数の溶接部を有しており、疲労損傷を正確にモニタリングするためには、多点計測がかかせない。従来のひずみゲージ法では、経済的側面から計測箇所に限界があった。本研究の無線式損傷記憶センサを用いれば、安価に多数のセンサを設置でき、広範囲の疲労センシングを簡便に行える。また足場の悪い現場であっても容易にデータ収集が可能である。したがって、従来の非破壊検査手法に代わる手段のひとつとして、非常に有望であると考えられる。



図-1 (a)・(b) 無線式損傷記憶センサ, (c) 温・湿度センサ付き 3G 中継器, (d) 橋梁裏への設置

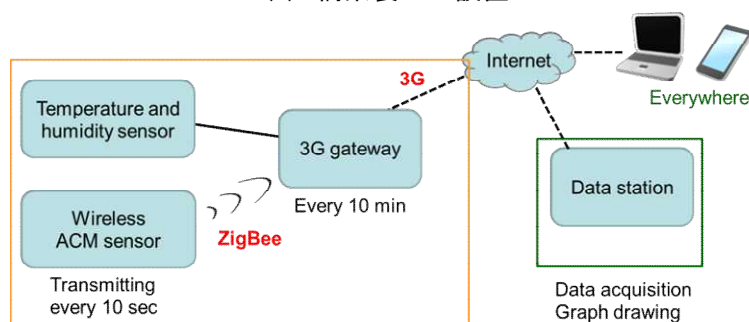


図-2 疲労モニタリングのためのワイヤレスセンサネットワーク