

平成21年5月18日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007 ～ 2008
 課題番号：19760399
 研究課題名（和文） 亀裂検知センサーの開発と建築物のヘルスマonitoringへの活用方法に関する研究
 研究課題名（英文） Development of Crack Detection Sensor and Its Application to Health Monitoring of Buildings
 研究代表者
 森田 高市（MORITA KOICHI）
 独立行政法人建築研究所・主任研究員
 研究者番号：30356000

研究成果の概要：

1995年の兵庫県南部地震で被災した鉄骨造建物において、梁端部等に生じた亀裂や破断を調べるためには、耐火被覆や仕上げ材をはがすなどかなり大規模な作業が必要であり、迅速かつ詳細な調査を阻害される状況がしばしば発生した。このため、耐火被覆や仕上げ材をはがさずに被災鉄骨造建物の損傷状況を調査できる非破壊検査技術が切望されている。本研究ではRFIDタグとプリントシートを組み合わせた安価な亀裂検知センサーに関して、基礎的な検討を行い、亀裂検知センサーの基礎的な性能確認実験を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	800,000	0	800,000
2008年度	1,093,653	328,095	1,421,748
年度			
年度			
年度			
総計	1,893,653	328,095	2,221,748

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：ヘルスマonitoring、RFID-タグ、無線通信、亀裂検知

1. 研究開始当初の背景

近年、構造物に取付けたセンサーによって構造物の状態を診断する構造ヘルスマonitoring技術への注目が高まっており、建築構造物のヘルスマonitoringに関する研究も増加の傾向にある。

実測に基づく損傷検出や健全性評価の方法は、1質点系や多質点系などのモデルに基づいて振動計測などによりシステム同定する方法と損傷と直接結びつくような最大変形や累積変形、ひび割れなどを調べる方法の

2つに大きく分けられる。それぞれの手法には長所と短所があり、振動計測によるシステム同定は建物全体の損傷を検出するのに向くが、部材など特定の個所の損傷を検出するには向かない。損傷を直接調べる方法では建物全体の傾向は分からないが健全性を把握しておくべきデバイスなどの損傷などを把握するのに向く。これまで、建築構造物へのヘルスマonitoringの必要性について多くのところで訴えられてきたが、実施に至った例は少なく、その理由としては、振動計

測や局所検知等のシステムやセンサー類のコストが高く、なかなか普及に至っていないのが現状と考えられる。また、常時計測する場合には、損傷のプロセスも把握できる可能性がある一方で、高コストになり維持費もかかるため、多くの建物への適用は非常に難しい。

そこで、研究代表者らは、導電性塗膜と RFID タグを組み合わせた極めて安価なひび割れ検知センサーに関する基礎的な検討を行った。本システムでは、検知対象部分（導電性塗膜）にひび割れが生じて導電性塗膜が断線すると、リーダライタと RFID 間での通信が出来なくなることにより、ひび割れ幅の推定を行うものである。この検討の結果、ばらつきを考慮する必要があるが、断線する導電性塗膜の線幅により、ひび割れ幅の推定が出来ることが分かった。

一方で、兵庫県南部地震で被災した建物において、鉄骨造の建築物では、耐火被覆があるために、鉄骨梁の端部等に生じた亀裂や破断を調べるためには、耐火被覆をはがすなどかなり大規模な作業が必要であり、耐火被覆の中を調べるのは困難を極めた。また、梁端部等に生じた亀裂は、大地震の際には亀裂の存在のために、梁端部等が破断に至る危険性が高く、そのような損傷は把握すべきである。そこで、先に示したひび割れ検知システムを改良して、鉄骨の亀裂検知センサーを開発する。

2. 研究の目的

ひび割れ検知用に開発したセンサーは、導電性塗膜をシートにプリントしたものであり、シートの材質や厚さ、導電性塗膜の盛厚や線幅等により、断線する条件が変わる。ひび割れ検知用に開発したセンサーでは、0.2mm などのごく小さなひび割れも検知できるように、比較的破断しやすい材料を選んでいる。この研究では、まず鋼板にノッチを入れた単純な試験体に対する加力実験を行い、亀裂が生じるとともに導電性塗膜が破断するような材料、塗膜の線幅等の条件を、絞り込む。さらに、何種類かの亀裂検知センサーを作成し、鋼板や鉄骨試験体を使って、亀裂試験を繰り返し、その性能を把握する。

3. 研究の方法

本研究で提案する亀裂検知センサーは、亀裂が生じるとともに、導電性塗膜の部分が断線する必要がある。ひび割れセンサーはコンクリートのひび割れを検知することを目標に、プリントシートや塗膜の幅を調整し、作成したが、鉄骨部材の様々な亀裂や破断とともに断線するような材料を選定する必要がある。まず、簡単な亀裂発生試験を実施し、

センサーに使われるべき、シート材料・塗膜の幅・塗膜の盛厚等を決定する。この条件を調べるには、試行錯誤が必要であるが、効率的に研究を進めるために、コンクリートのひび割れ検知センサーの開発の際に得られたシート材料の特性データを活用する。

本実験においては、建築研究所の所有する 200 トンサーボ試験機を使用する。

4. 研究成果

(1) システムの概要

① RFID (Radio Frequency Identification) について

RFID では、リーダライタ（アンテナ、スキャナー及び PC 等よりなる）と RFID タグとが無線通信を行い対象の認識を行い、リーダライタやタグの種類により通信可能距離も変化する（数 mm 程度～数 m 程度）。RFID タグは電池を有するアクティブタグと電池を有しないパッシブタグに分類される。本研究では、比較的読み取り距離の長い 2.45GHz 帯のパッシブの RFID タグを用いた。使用したアンテナ（30cm 角）とスキャナーを写真 1 に示す。読み取り距離はカタログ値で、130cm である。リーダライタそのものは高価な場合もあるが、移動が可能であるので、ひとつのリーダライタで無数のタグを対象に通信することが出来る。タグそのものについては、種類により値段も異なるが、従来の計測用のセンサー類と比較して非常に安価である。

今回の検討では、タンパースイッチ付 RFID タグを使用することを想定している。

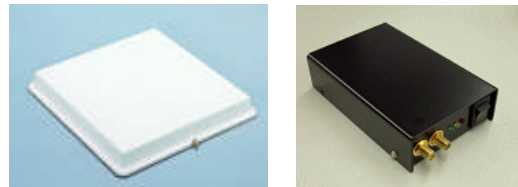


写真 1 : アンテナとスキャナー

② 亀裂検知システムについて

タンパースイッチ付 RFID タグを利用した検知方法の概要を、図 1 に示す。このタグでは、リーダライタにより、ID 番号とともに接続しているスイッチの On-Off を読み取れる。タンパースイッチ付 RFID タグとプリントシートを接続した状態で、リーダライタにより RFID タグを読み取りに行くと、プリントシートの導線が破断していれば Off と読み取り、破断してなければ On と読み取る。Off になると異常と判断することになるが、Off になっている原因はプリントシートに限定される。

（Off になってもリーダライタとタグとの通信はされ、ID 番号も返ってくる）

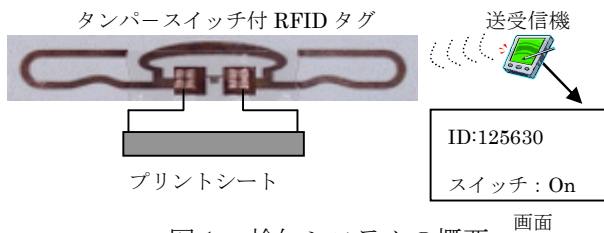


図 1：検知システムの概要

③プリントシートの設置場所について

兵庫県南部地震で被災した建物の調査により、亀裂の発生パターンは把握されており、その多くはスカラップ付近から発生したものであった。本検知システムでは、あらかじめスカラップ付近にプリントシートを貼付しておき、スカラップ付近に発生する亀裂を検知することを想定している。

(2) RFID タグの読み取り透過試験について

本システムでは、プリントシートと RFID タグを鉄骨梁端部等に設置し、外から RFID タグを読み取ることを想定している(図 2)。タグの読み取りが耐火材料や耐火被覆等を介して可能かどうか、問題となる。アンテナと RFID タグの間に、耐火材料等を置き、読み取り可能距離について調べた。透過試験は 3 回行い、平均の読み取り距離を表 1 に示す。パーライトボード・ロックウール材・セ

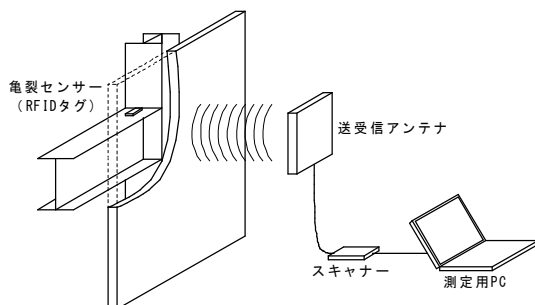


図 2：透過試験のイメージ

表 1：各材料の読み取り可能距離

材料	平均読み取り距離
パーライトボード (厚さ 6mm)	101cm
パーライトボード (厚さ 10mm)	87cm
ロックウール保温材 (厚さ 25mm)	102cm
ロックウール吸音材 (厚さ 12mm)	117cm
セラミックウール (厚さ 30mm)	109cm
ウレタン材 (厚さ 20mm)	97cm
ゴム (2mm) + カーペット (5mm)	100cm
合板 (厚さ 15mm)	79cm
ガラス (厚さ 7mm)	32cm
金網	透過せず
RC 壁 (厚さ 200mm)	透過せず

ラミックウール等の耐火材料の読み取り可能距離は材料の厚さにより若干変化するものの、どの材料でも 100-110cm 程度で読み取り可能である。その他の材料については、ガラスは読み取り距離がやや短く、金属系ものは透過せず、RC 壁も透過できなかった。これらの点を考慮して、RFID タグを設置する位置とアクセスする方向を決定する必要がある。

(3) 導電性塗膜の断線に関する鋼材片疲労試験

①貼付したプリントシートについて

亀裂を検知するために用いたシートを図 3 に示す。塗膜の幅は、0.1mm・0.2mm・0.3mm・0.4mm のパターン A と 0.5mm・0.6mm・0.8mm・1.0mm のパターン B を 4 本ずつ印刷して、2 パターンを作成した。印刷に用いた塗料は以下の 4 種類である。

- ①炭素系導電性塗量 (高硬度)
- ②炭素系導電性塗量 (低硬度)
- ③銀塗量
- ④混練 (銀+炭素系)

シートの材料としては、ポリカーボネートの厚さ 0.1mm・0.13mm とポリイミドの厚さ 0.05mm・0.075mm・0.125mm の 5 種類を用いた。図 3 に示したプリントシートは、印刷の版を一度作成すれば大量生産が可能である。

シートを貼り付ける接着剤には、普通ひずみゲージ用接着剤 (東京測器製 CN、主成分：シアノアクリレート) を用いた。

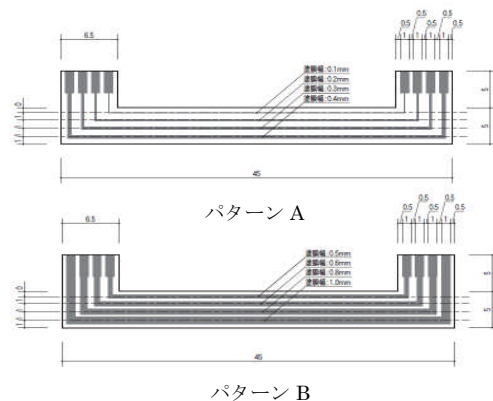


図 3：亀裂検知シートの印刷パターン

②鋼材の疲労による亀裂発生試験

鋼材に亀裂を発生させることを目的に、図 4 に示す形状のノッチ入り鋼板 (SS400, 厚さ 3.2mm) を作成し、疲労試験を実施した。疲労試験は JIS Z 2273 に従い、疲労試験の目標荷重を 26-35 [kN] の間に变化させて、実施した。入力する荷重は 5[Hz] のサイン波とした。鋼材の試験片の中央部にプリントシートを貼付し、プリントシート上の導電性塗膜の抵抗値をテスターにより計測した。また、

ノッチの近傍にクリップ型変位計（東京測器社製 UB-2）を設置して、亀裂幅の計測を行った。

様々なシートと導電性塗料の組み合わせについて、検討したが、塗料による差はほとんどなかった。また、シートの種類に関しては、ポリイミドを用いた場合には、亀裂が発生しても導電性塗膜が断線することはなかった。

以下では、銀塗料を用いたポリカーボネートの厚さ 0.1mm と 0.13mm の結果について報告する。テスターを用いており、電気抵抗を短い時間間隔で記録することはできず、亀裂もある程度の速度で進展していたため、基本的には各導電性塗料の抵抗が 20[MΩ]を超えたときの亀裂幅を調べた。

除荷後の鋼材片における亀裂とプリントシートの状況の例を写真2に示した。各ケースにおける断線したときの亀裂幅を表2に示した。表2によると、目標荷重を 30kN 以上として、亀裂幅が 0.08mm 程度以上の場合には、どのケースでも亀裂発生とともにシートが破断して、断線していた。また、目標荷重が 26-27kN 程度で、亀裂幅が 0.05-0.07mm 程度の場合には、シートによって破断する場合としない場合が見受けられ、厚さ 0.1mm のシートの方が断線しやすい傾向が見られた。また、塗料の幅の影響はほとんど見られなかった。

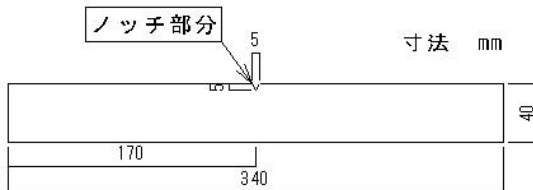


図4：鋼材試験片

表2：プリントシート断線試験結果（銀塗料）

シートの厚さ	印刷パターン (線幅)	荷重 [kN]	断線亀裂幅[mm]			
			0.1mm	0.2mm	0.3mm	0.4mm
			0.5mm	0.6mm	0.8mm	1.0mm
0.1mm	A	35	0.111	0.117	0.123	0.126
		30	0.0945	0.102	0.113	0.148
	0.1-0.4mm	27	0.0777	0.0866	0.0936	0.103
		26	N/A	0.0716	N/A	N/A
	B 0.5-1.0mm	35	0.136	0.143	0.158	0.172
		30	0.0804	0.0875	0.0875	0.112
26.5		N/A	N/A	N/A	N/A	
0.13mm	A	35	0.131	0.157	0.17	0.186
		30	0.0866	0.0892	0.103	0.117
	0.1-0.4mm	27	N/A	N/A	N/A	N/A
		35	0.119	0.132	0.146	0.191
	B 0.5-1.0mm	30	0.107	0.108	0.108	0.11
		27	N/A	N/A	N/A	N/A

注：N/A はプリントシートの導電性塗膜が断線せず

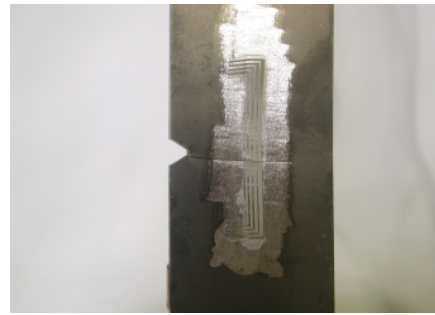


写真2：亀裂の発生状況

(4) 長期間にわたる使用に関して

リライタブル RFID タグのメモリー（Electrically Erasable Programmable ROM=EEPROM）の寿命に関して、公称値として書き換え回数：10 万回、データ保持時間：10 年間となっているが、10 年以内に一度メモリーの読み書きを行うと、電子的な記録データ配列がリフレッシュされて、さらに 10 年間メモリーの読み取りが可能な状態となる。つまり、10 年に一度 RFID タグにデータ・リフレッシュの為のアクセスを行えば、数十年に渡って、RFID タグの読み取りが可能となる。

プリントシートについては、車載製品や住設・家電製品などに組み込まれているプリント基板の保護に用いられているラミネート技術の適用を行えば、長寿命化が可能となる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計 2 件）

- ① Koichi Morita and Kazuya Noguchi, Crack Detection Methods for Concrete and Steel using Radio Frequency Identification and Electrically Conductive Materials and its Applications, SPIE 13th Annual International Symposium on NDE for Health Monitoring and Diagnostics, San Diego, USA, Paper No. 6932-29, 2008.3
- ② Koichi Morita and Kazuya Noguchi, Crack Detection Methods Using Radio Frequency Identification and Electrically Conductive Materials, Proc. of 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, Paper No. 11-0051, 2008.10

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 高市 (MORITA KOICHI)

独立行政法人建築研究所・主任研究員

研究者番号： 30356000