

## 技術論文

## エスカレータ・ハンドレールワイヤのための二種類の探傷装置開発

Development of two type defect sensors  
for escalator handrail wire

平間 豊	(日立ビルシステム)	柁島 進	(日立ビルシステム)
田中館 聡	(日立ビルシステム)	長尾 明芳	(電子計測工業株式会社)
片岡 康浩	(信州大学)	高野 安司	(信州大学)
脇若 弘之	(信州大学)		

Yutaka HIRAMA Member  
 Susumu KABASHIMA  
 Akira TANAKADATE  
 Akiyoshi NAGAO  
 Yasuhiro KATAOKA Student Member  
 Yasushi KONO  
 Hiroyuki WAKIWAKA Member

There are wires in an escalator handrail in order to guard the handrail tube from excess tension. If wires are damaged, the handrail and motor of an escalator may be damaged. We have developed two types of defect sensors for the wires in an escalator handrail. In this paper, these performance of these sensors is compared as follows: (1) One sensor is a magnetic defect sensor. The output voltage of the sensor is 180 mV, and signal to noise ratio is 13 dB using two detecting heads. (2) The other sensor is an X-ray defect sensor. The X-ray defect sensor can display a transparent image of defects and the condition of the wires. And we propose a flow chart for inspection procedure using these defect sensors.

*Key Words:* Escalator, handrail, wire, magnetic defect sensor, X-ray defect sensor, leakage flux, X-ray.

## 1 まえがき

近年、建築物等の老朽化による事故を防ぐため、非破壊検査による損傷発見が注目されている。従来より保守点検作業は主に目視によって行なわれてきたが、作業の効率化のため自動化が望まれている [1].

本論文の検査対象であるエスカレータは多くの建物に設置され、頻繁に利用されており、乗客の安全を確保するため、日本工業規格に基づき定期的に点検され

ている [2]. エスカレータ・ハンドレール内部にはハンドレールの伸びを防ぐためのワイヤが複数本埋め込まれている。万が一、ワイヤが断線しハンドレールの化粧ゴム外部に突出すると、乗客の怪我、駆動装置の破壊等の大事故となる危険性がある。ハンドレールワイヤの損傷が原因で発生する事故を未然に防止するため、我々はエスカレータ・ハンドレールワイヤの保守点検を自動化するため二種類の非破壊探傷装置を開発した。一つは磁気式探傷装置であり、もう一つは X 線式探傷装置である。磁気式探傷装置は、ハンドレール内のワイヤが磁性体であるため、損傷部で磁気抵抗が

連絡先: 脇若弘之、〒380-8553、長野県長野市若里 4-17-1、信州大学工学部、email: wakiwak@gipwc.shinshu-u.ac.jp

変化し漏れ磁束が発生することを利用したものである [3]。X 線式探傷装置は、X 線の透過性を利用してハンドレール内ワイヤの損傷を透視により発見するものである。二種類の探傷装置は小形、軽量である。本論文では開発した磁気式探傷装置と X 線式探傷装置の構成、それぞれの探傷信号を示す。ハンドレールワイヤの損傷は様々であるが、特徴的な三種類の探傷信号を示し、二種類の装置による信号より、それぞれの適性を判断する。この適性を基にエスカレータ・ハンドレールワイヤの点検フローチャートを提案する。

## 2 ハンドレールの構造

Fig.1 にエスカレータの構造を、Fig.2 にハンドレールの断面図を、Table 1 にハンドレール内のワイヤの仕様を示した。ハンドレールは構造上屈曲する部分が存在する。このためハンドレールワイヤは長期間の使用により、ごく稀にはあるが損傷を生じることがある。表面化粧ゴムの損傷は目視により容易に発見できるが、内部のワイヤ、キャンバスの損傷は目視による発見が困難である。

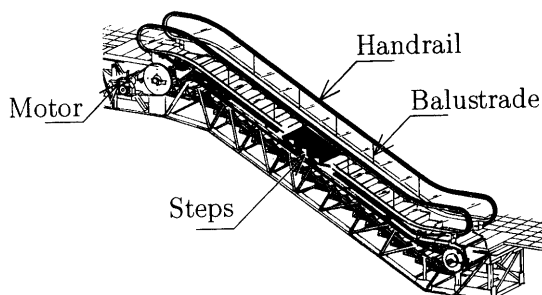


Fig. 1 Structure of escalator.

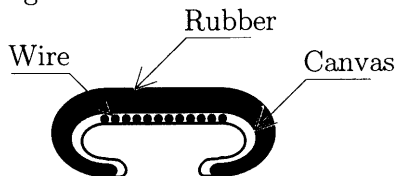


Fig. 2 Cross section of handrail.

Table 1 Specification of handrail wire.

Items	Values
Pattern	Paralleled 18 strand wires ∅ 1.22 mm
Strand	∅ 0.175 mm (piano wire) SWRS72A of JISG3502

## 3 二種類の探傷装置開発

### 3.1 磁気式探傷装置による損傷検出

Fig.3 に磁気式探傷装置の検出プローブを示した。本磁気式探傷装置は漏洩磁束法により損傷を検出する。

本検出プローブは検出コア、永久磁石、検出コイル A,B で構成される。ワイヤの損傷部では、磁気抵抗の変化によりワイヤ表面に漏れ磁束が発生する [4][5]。ワイヤの損傷部が検出コイル近傍を通過すると、損傷部の漏れ磁束により検出コイルに鎖交する磁束が変化し、検出コイルに電圧  $V_e$  が誘起される。一つの検出コイルに誘起される電圧は電磁誘導の法則により式 (1) で与えられる。

$$V_e = -N \frac{\Delta \Phi_c}{\Delta t} = -N \frac{\Delta \Phi_c}{\Delta x} v \quad [V] \quad (1)$$

ここに、 $V_e$ : コイルの誘起電圧 [V],  $N$ : 検出コイルの巻数,  $\Phi_c$ : 検出コイルに鎖交する磁束 [Wb],  $v$ : ワイヤ (損傷部) 速度 [m/s]

本検出プローブは 2 つの検出コイル A,B を使用し、コイル A に対してコイル B を逆並列に接続する [6]。この時、出力電圧  $V_o$  は式 (2) で与えられる。

$$V_o = \frac{V_{eA} - V_{eB}}{2} \quad [V] \quad (2)$$

ここに、 $V_o$ : 磁気式探傷装置の出力電圧 [V],  $V_{eA}$ : コイル A の誘起電圧 [V],  $V_{eB}$ : コイル B の誘起電圧 [V]

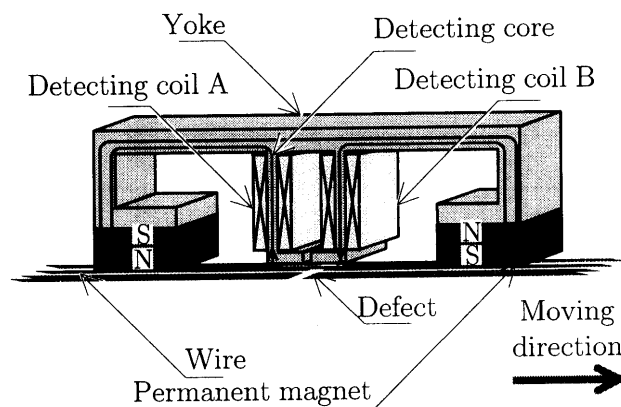


Fig. 3 Detecting probe of magnetic defect sensor.

Fig.4 に検出プローブの出力電圧波形 (逆並列接続、損傷幅 2 mm) を示した。2 つの検出コイルを逆並列

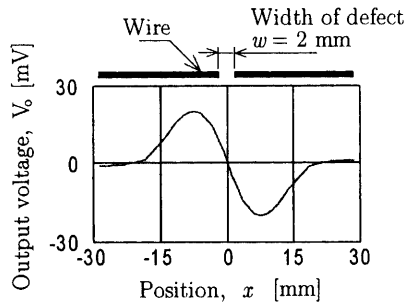


Fig. 4 Waveform of output voltage detecting defect.

接続することにより、検出プローブからの出力電圧波形のノイズは低減し、損傷信号は増幅される。

Fig.5 に磁気式探傷装置の外観を示した。Table 2 に磁気式探傷装置の仕様を示した。本磁気式探傷装置は小形、軽量であるため携帯性に優れている。また、エスカレータを運転させながらの点検が可能であるため、点検作業の高効率化を計ることができる。

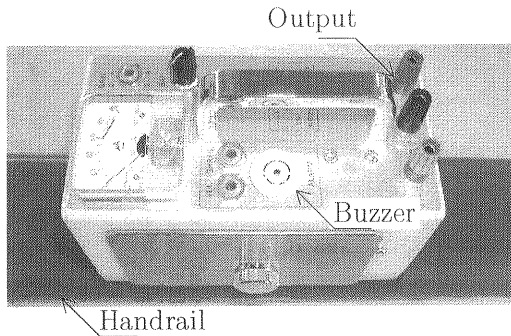


Fig. 5 Overview of magnetic defect sensor including detecting probe.

Table 2 Specification of magnetic defect sensor.

Items	Material, Values
Overall size	120 × 40 × 37 mm <sup>3</sup>
Weight	1.22 kg
Yoke, Core	SS400 ( $B_m = 1.63$ T $H_m = 5.0$ kA/m)
Magnet	SmCo ( $H_c = 724$ kA/m)
Coil	Cu, 7300 turns (two coils)

### 3.2 X線式探傷装置による損傷検出

Fig.6 に X 線式探傷装置の構成を、Fig.7 に X 線式探傷装置の使用方法を示した。本 X 線式探傷装置は X 線管、高電圧発生器、透過線を可視化する受像部を収納した本体、制御装置で構成される。本 X 線式探傷装置はヒンジを用いハンドレールを内部に挟み込み、直接撮影法によりハンドレール内の損傷をリアルタイムに識別することができる。

Fig.8 に X 線式探傷装置の外観を、Table 3 に X 線式探傷装置の仕様を示した。ハンドレールを本体内部に包み込むため、本体からの漏洩線量率は 1.3  $\mu$ Sv/h (0.041  $\mu$ C/kg·s) 以下となり、特別な作業領域の設定は不要である。本体は従来の X 線装置と比較し小形、軽量であり、エスカレータを運転させながら探傷が可能であるため、作業の高効率化が計れる。

Fig.9 に X 線式探傷装置によるハンドレール透過画像を示した。ハンドレール内部におけるワイヤの状態が視覚的に確認できる。また、テレビカメラとの組み合わせにより、離れた場所で安全に検査することが可能である。

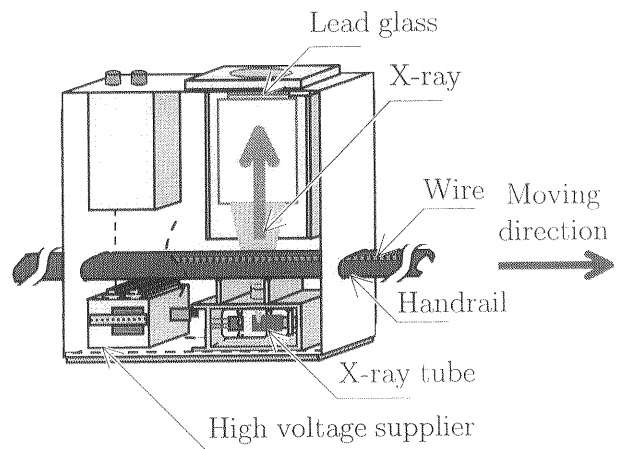


Fig. 6 Composition of X-ray defect sensor.

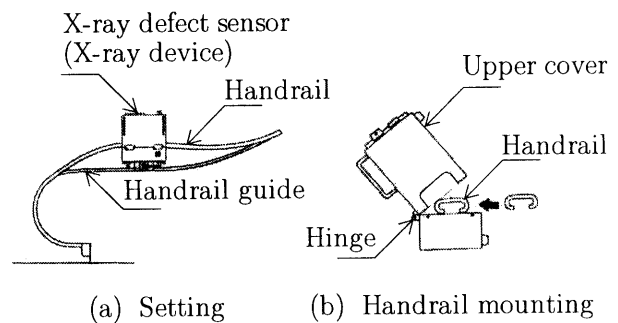


Fig. 7 Usage of X-ray defect sensor.

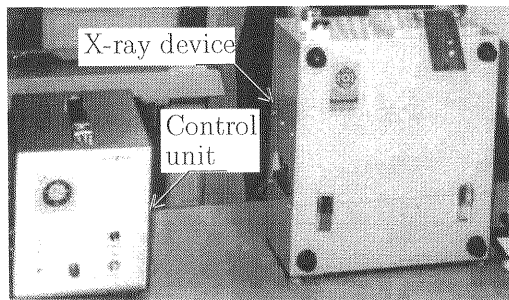
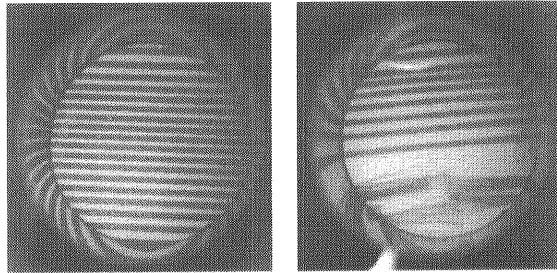


Fig. 8 Overview of X-ray defect sensor.



(a) Normal wire (b) Damaged wire

Fig. 9 Radiographic image by X-ray defect sensor.

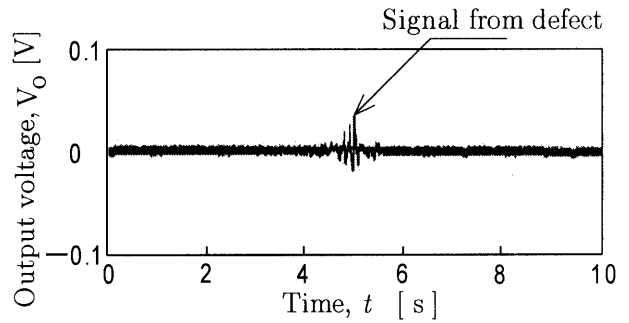
Table 3 Specification of X-ray defect sensor.

Items	Values
Size of main body	280 × 145 × 300 mm
Weight	9 kg
Power supply	AC 100 V 50/60 Hz
Maximum voltage	30 kV
Maximum current	20 μA
Image area	∅ 50 mm
Controller size	120 × 210 × 150 mm
Controller Weight	2.4 kg

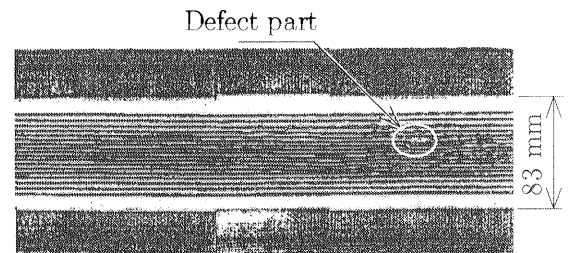
## 4 探傷信号の比較

### 4.1 探傷装置による探傷信号

磁気式探傷装置と X 線式探傷装置によるハンドレール探傷信号を比較した。Fig.10 にワイヤ素線の飛び出し損傷の探傷信号を示した。ハンドレール内でワイヤが断線し、素線が化粧ゴムから 0.5 mm 飛び出した損傷である。磁気式探傷装置の出力電圧は、損傷部で 30 mV の針状の波形を示した。これに対し X 線の透過画像では素線の断線が確認できるが、探傷時にエスカレータは稼動しており、連続的に変化する探傷画像の中で 0.5 mm の損傷部を見つけ出すことは容易では



(a) Output voltage of magnetic defect sensor



(b) Radiographic image

Fig. 10 Comparison of defect signals dashing out of a wire.

ない。

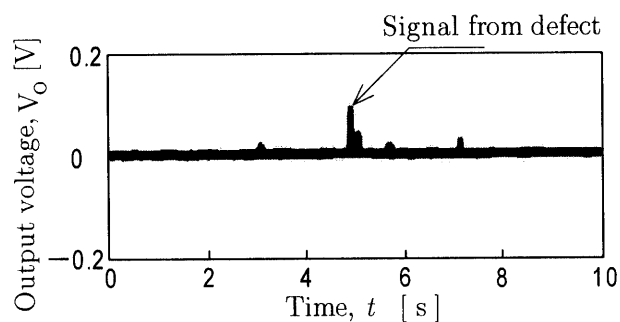
Fig.11 にキャンバス損傷時の探傷信号を示した。磁気式探傷装置の出力電圧は 100 mV のパルス波形となった。X 線の透過画像では素線が偏る程度で、断線には至っていないことが確認できる。したがって、キャンバス部だけの損傷であると判断できる。

Fig.12 に素線の燃れによる損傷時の探傷信号を示した。磁気式探傷装置の出力電圧は 36 mV の針状の波形となった。X 線の透過画像ではハンドレール内のワイヤが燃れている状態が視覚的に確認できた。

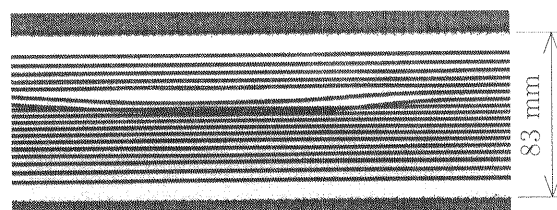
### 4.2 探傷信号の適性比較

素線飛び出しの損傷例では、磁気式探傷装置、X 線式探傷装置共に損傷の検出が可能である。しかし、素線の飛び出しは 0.5 mm と小さく、自動化された磁気式探傷装置では損傷位置を特定できるが、目視で透過画像を確認する X 線式探傷装置では損傷を見過ごす可能性がある。したがって、小さな損傷の検出や損傷位置の特定は、磁気式探傷装置が有効である。

キャンバスの損傷例では、磁気式探傷装置はワイヤが異常である位置を特定可能であるが、出力信号波形から損傷状態を判断することは困難である。X 線式



(a) Output voltage of magnetic defect sensor



(b) Radiographic image

Fig. 11 Comparison of defect signals damaging in canvas.

探傷装置においてはハンドレール内部の状態を透過画像にするため、内部の状態を把握することが可能である。ハンドレール内部の状態を把握することは、ハンドレール取り替え時期を判断するために重要である。

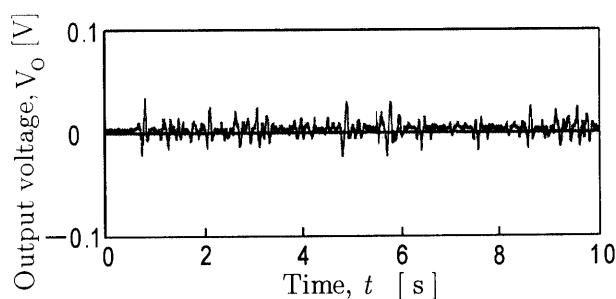
素線の燃れ損傷例においても、磁気式探傷装置、X線式探傷装置共にハンドレールの異常を特定できる。

ハンドレールの損傷は多種多様であり、探傷装置には常に万全の信頼性が求められる。磁気式探傷装置とX線式探傷装置の併用により、ハンドレールワイヤの確実な損傷検出が可能となる。

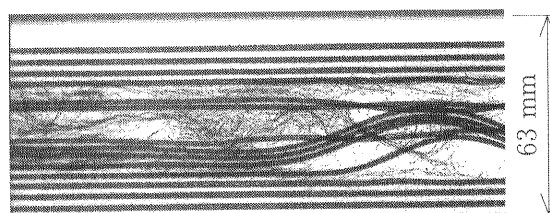
#### 4.3 ハンドレールの点検手順

磁気式探傷装置とX線式探傷装置を併用し、ハンドレールの保守点検を行うための点検フローチャートを提案する。磁気式探傷装置の損傷位置の特定能力、X線式探傷装置の内部透視能力を活用し、ハンドレールの点検フローチャートを作成した。

Fig.13 にハンドレール点検のフローチャートを示した。最初に磁気式探傷装置により損傷信号を検出し、信号検出位置をマーキングする。この段階では損傷状態の判断は困難である。次に、マーキング部分のみをX線探傷装置で透視し、損傷状態を診断する。ハンドレール内部の透視により、ワイヤに異常が確認されたならば、ハンドレールを修理、交換する。上記の点検手順により、保守点検作業の効率化が可能となり、



(a) Output voltage of magnetic defect sensor



(b) Radiographic image

Fig. 12 Comparison of defect signals from kink of wires.

信頼性も向上した。

## 5 あとがき

エレベータ・ハンドレールの保守点検は、乗客の安全を確保するための重要な作業である。従来は目視に依存していたが、作業効率の向上、信頼性の向上のため自動化が望まれている。本論文では、エレベータ・ハンドレールの保守点検を自動化するため、磁気式探傷装置とX線式探傷装置を開発し、その構成を示した。磁気式探傷装置、X線式探傷装置による探傷信号を示し、その適性を比較した。その結果、各探傷装置の適性を考慮した点検フローチャートを提案することができ、保守点検作業の効率化、信頼性の向上が可能となった。主な結論を以下に示す。

1. エスカレータ・ハンドレールの検査に適した磁気式探傷装置とX線式探傷装置を開発し、その構成を示した。
2. ハンドレールワイヤの飛び出し、キャンバス損傷、素線の燃れ損傷について、それぞれ探傷信号を示し、2つの探傷装置の適性を比較した。
3. 磁気式探傷装置は、小さなワイヤの飛び出しや損傷位置の特定が容易である。しかし、内部損傷の状態を把握することは困難である。
4. X線式探傷装置は、X線の透過性によりハンドレール内部の状態把握が容易である。しかし、連

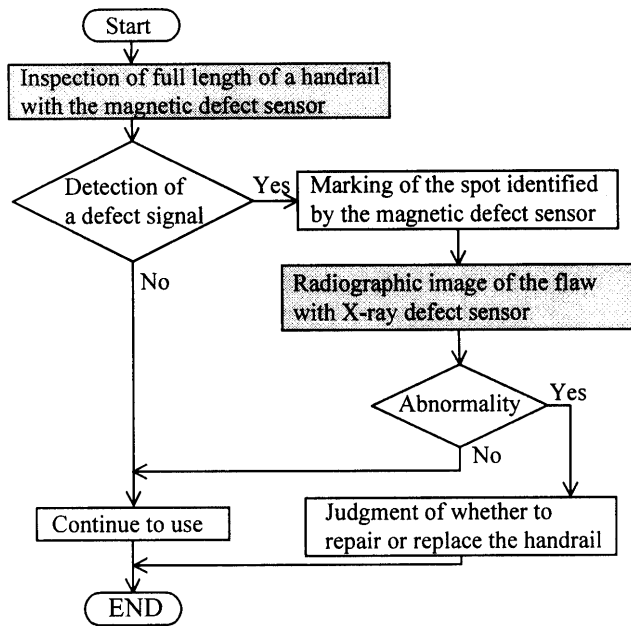


Fig. 13 A flow chart for an inspection procedure.

続した探傷画面は目視により確認するため、小さな損傷の位置を特定することは困難である。

5. 磁気式探傷装置と X 線式探傷装置を併用することによって、エスカレータ・ハンドレールワイヤの確実な損傷検出と保守点検作業の高効率化が可能となる点検のフローチャートを提案した。

(1999 年 4 月 27 日受付)

#### 参考文献

- [1] 土門斎, 越出慎一: やさしい非破壊検査技術, 工業調査会, (1996), pp.233-240.
- [2] 日本規格協会: JIS ハンドブック, 建築 (試験・設備編), A4302, (1995), pp.615-627.
- [3] 塚田和彦: ワイヤロープの非破壊検査技術の現状 (1) - 磁気検査法 -, クレーン, 36 巻, 9 号 (1998), pp.2-6.
- [4] 山田一監修: R&D のための磁気回路の計算方法, トリケップス, (1987), pp.79-85.
- [5] 塚田和彦: ワイヤロープの保守点検技術に関する研究の現状, 検査技術, 97 巻, 2 号 (1998), pp.7-14.
- [6] 脇若弘之, 日下部宏樹, 平間豊, 大石照展: エスカレータハンドレールのための磁気式欠陥センサの出力電圧特性, 平成 6 年電気学会全国大会講演論文集, 14 (1994), pp.14-19.