

高精度磁場解析に基づく磁気浮上薄鋼板の非接触高速搬送制御

押野谷康雄*

Noncontact High Speed Conveyance Control for Electromagnetically Levitated Thin Steel Plate based on High-Precision Magnetic Field Analysis

by

Yasuo OSHINOYA

Abstract

For thin steel plates, which are used in many industrial products including those in the automobile industry, we have proposed a magnetic levitation control system and confirmed its realization by means a digital control experiment. However, when only levitation control is applied to the steel plate, there is no horizontal restraining force in the direction of travel. Therefore, electromagnetic actuators are installed to control the horizontal movement of the levitated sheet steel. The electromagnetic attractive control forces of the actuators are applied to the two facing edges of the levitated sheet steel, from the horizontal direction. In this study, the suppression of the bending the plate during the horizontal noncontact positioning control is reported.

Keywords : Electromagnetic levitation control, Steel plate, Vibration control, Elastic vibration, Electromagnetic field analysis, FEM, FDM

1. はじめに

工業製品で広く利用されている薄鋼板は、その搬送工程において表面処理工程におけるめっき等の不良が原因で、表面品質の劣化が生じている。この問題の解決方法として、電磁力による鋼板の非接触搬送が考えられる¹⁾。そこで著者らは、鋼板に対して水平方向の相対する二辺に対向するように電磁石を配置する制御系を設計することで平面内の非接触位置決め制御を行う手法を提案し、その有効性を報告している²⁾。これまでに片持ち梁を検討対象とし、鋼板の水平方向から磁場を付加することによって鉛直方向振動を抑制可能であることを確認している³⁾が、水平方向からの磁場が浮上中の薄鋼板に与える影響の解明には至っていない。そこで本研究では水平方向からの磁場を鉛直方向成分と水平方向成分に分解し、これらの解析データを用いて有限差分モデルによる磁場中の鋼板の高精度な数値解析を行った。さらに実験と比較することによって水平方向からの磁場がどのような影響を浮上鋼板に与えるかを解明した。

2. 数値解析および実験

2.1 実験装置

Fig.1 に実験装置の概要を示す。図の中央部には磁気浮上対象である長方形薄鋼板 (長さ 800mm, 幅 600mm, 厚さ 0.3mm, 材質 SS400) を示す。磁気浮上系の概要は鋼板上部, 水平位置決め系の概要は鋼板下部に示す。また鋼板水平方向に永久磁石

(幅 30mm×30mm, 厚さ 15mm, 表面磁束密度 0.12T) を図に示すように片側 6 個配置した。

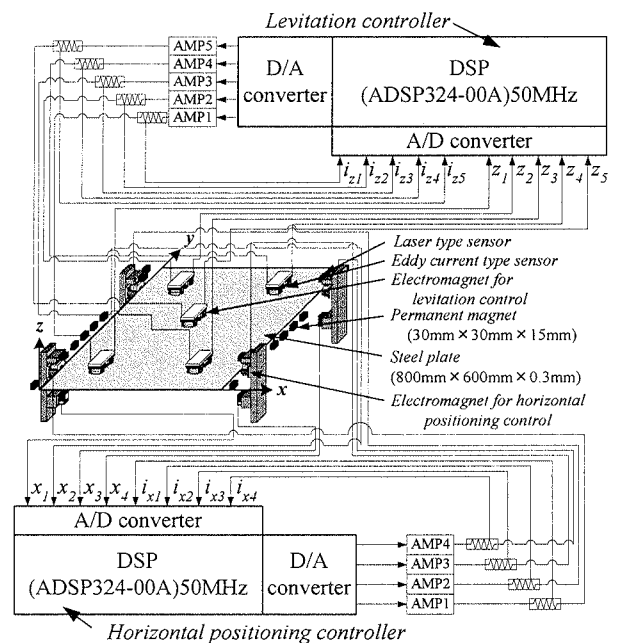


Fig.1 Electromagnetic levitation control system with horizontal positioning controller.

2.2 磁場解析を用いた検討

浮上鋼板に水平方向からの磁場が与える影響を明らかにす

* 工学部動力機械工学科教授

るため、鋼板に作用する鉛直方向の復元力と水平方向の張力を磁場解析によって求めた。Fig.2, Fig.3に鋼板全体に鉛直下向き2mmの変位を与えた場合の復元力の解析結果を示す。ここでFig.2は水平方向に電磁石のみを設置し、定常電流を0.5A印加した場合、Fig.3は電磁石と永久磁石を併用した場合の結果を表している。

Fig.3のように、永久磁石を利用することにより鋼板に対して復元力は分布的に作用していることが確認できる。これより、鋼板のたわみ抑制や振動抑制につながる事が予想される。

2.3 数値解析と実験による考察

水平方向から磁場を印加した場合の磁気浮上鋼板の形状の測定を行った。また数値解析を行い、モデル化の妥当性を検証した。Fig.4に数値解析によって求めた、水平方向に電磁石を設置しない場合の浮上中の鋼板の形状を示す。なお図中の0は各浮上用電磁石から5mmの平衡浮上位置を表しており、鋼板の形状は浮上初期の過渡的な状態から十分時間が経過し、振動が収まった状態を表している。またFig.5はFig.4中の破線位置における浮上中の鋼板形状を、(a)水平方向に電磁石を設置しない場合、(b)水平方向に電磁石のみを設置し定常電流を1.5A印加した場合、(c)電磁石と永久磁石を併用した場合の3通りに分けて示している。

なお図中の●印等の記号はレーザーセンサを用いて計測した実験値である。ここで(a)と比べ(b)では鋼板の最大たわみが約20%低減されていることが確認できる。さらに(c)では永久磁石を併用しているため、鋼板端部のたわみも抑制されている。こ

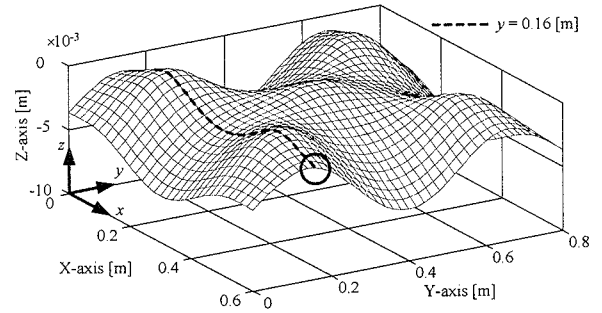


Fig.4 Shape of the steel plate.

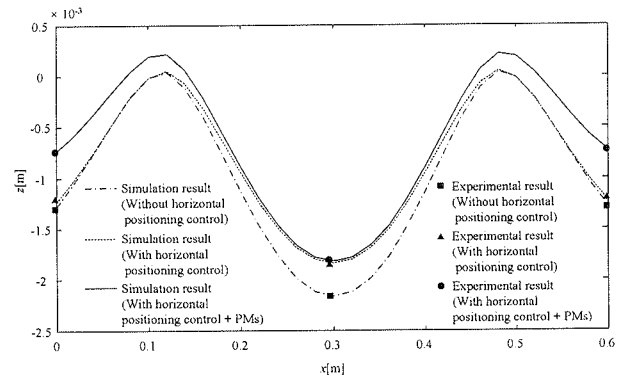


Fig.5 Deflection of the steel plate.

れらの結果は鋼板の水平方向からの磁場には重力により垂れ下がった薄鋼板を引き上げ、薄鋼板を平坦に近づける効果を有することを示すものである。また実験値と形状解析結果はほぼ同様の結果を示しており、解析モデルの妥当性が確認できた。

3. まとめ

水平位置決め制御用の電磁石と共に、ランニングコストが無い永久磁石を利用したハイブリットシステムを構築することによって、効果的な鋼板のたわみ抑制を実現できた。また、提案した解析モデルを用いた結果、全てのケースにおいて実験結果と数値シミュレーション結果はほぼ一致した。これは本研究で構築したモデル、仮定の妥当性を示すものである。

なお、本研究は2005年度学部等研究教育補助金を受けて実施したものである。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 川田, 森井, 片山, 高橋: 薄鋼板の磁気浮上特性, 第2回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, (1990), pp.59-62.
- 2) 押野谷, 関原: 四辺自由鋼板の磁気浮上搬送制御 (平面内の位置決めに関する基礎的考察), 第11回電磁力関連のダイナミクスシンポジウム, (1999), pp.154-155.
- 3) 長谷川, 押野谷, 石橋: エッジ方向からの磁場付加時における柔軟鋼板の振動特性変化に関する基礎的検討, 日本応用磁気学会誌, Vol. 29, No.3, (2005), pp.338-342.

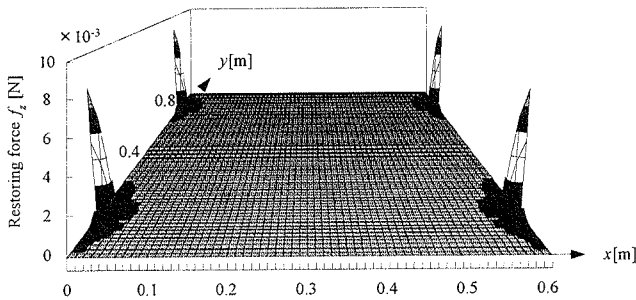


Fig.2 Analytical result of restoring force (Without permanent magnets).

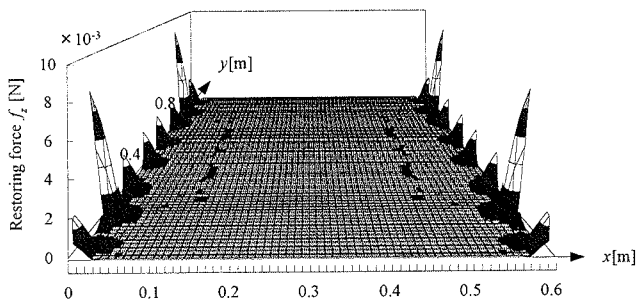


Fig.3 Analytical result of restoring force (With permanent magnets).