

PC 鋼材に生じる張力の非破壊評価のための正帰還自己発振回路を有する磁気センサーに関する研究

神鋼鋼線工業(株) 正会員 ○荒木 茂 河村 睦

立命館大学 正会員 内田 慎哉

(株)オンガエンジニアリング 栗原 秀夫 松橋 貫次 湊 利行

1. はじめに

構造用ケーブル及び PC 鋼材は構造物の耐荷性能に関わる部材の一つであり、それらに所定の張力が作用することで、構造物の安全性は確保される。そのためケーブル張力は施工管理・維持管理上、有益な情報と考えられるが、ケーブルを傷つけることなく任意の箇所では張力を測定する技術に関する研究例は少ない。そこで張力によって変化するケーブルの磁気特性を利用して、非接触で張力を推定できる正帰還自己発振回路を有する磁気センサーに関する研究を行った。

2. 測定原理の概要

磁気ヒステリシス曲線を図-1 に示す。鋼材などの強磁性体は、磁場が大きくなると磁束密度が増加する特性を持つ。この磁場と磁束の比を透磁率 $\mu (= B/H)$ と呼ぶ。一般に、透磁率は鋼材に応力を与えると大きくなる事が知られている。このような磁気特性を利用してケーブルの張力を推定することは原理上可能ではあるが、張力によって変化する透磁率の量は極めて小さいため、単純な測定では精度良く張力を推定することは通常困難である。そこで張力による透磁率の微小変化を適切に捉えるため、正帰還自己発振回路を利用した磁気センサーの有効性を検証した。このセンサーは自己発振回路により発信される信号を、帰還回路を通してフィードバックさせることで、ケーブルの磁気変化を比較的大きな電圧変化として取り出すことを可能としたものである。

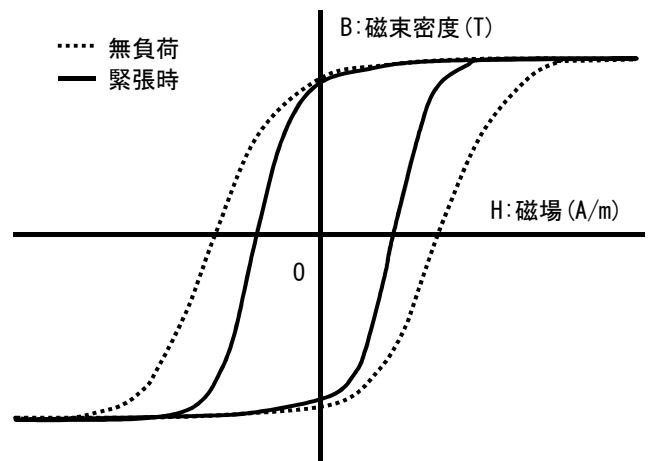


図-1 磁気ヒステリシス曲線

3. 試験概要

試験装置概略図を図-2 に示す。PC 鋼より線 $\phi 15.2\text{mm}$ を用いて張力と磁気センサーで発生した電圧との関係を調べた。PC 鋼より線はくさび式定着具により試験機に定着し、試験荷重はロードセルにより測定した。張力の推定装置は磁気センサー・直流電源・正帰還自己発振回路・テスターからなり、張力によって変化する回路内の電圧をテスターに表示させる仕組みである。初荷重 10kN、最大引張力は 182.7kN(0.7Pu: 最大試験力の規格値の 7 割)とした。

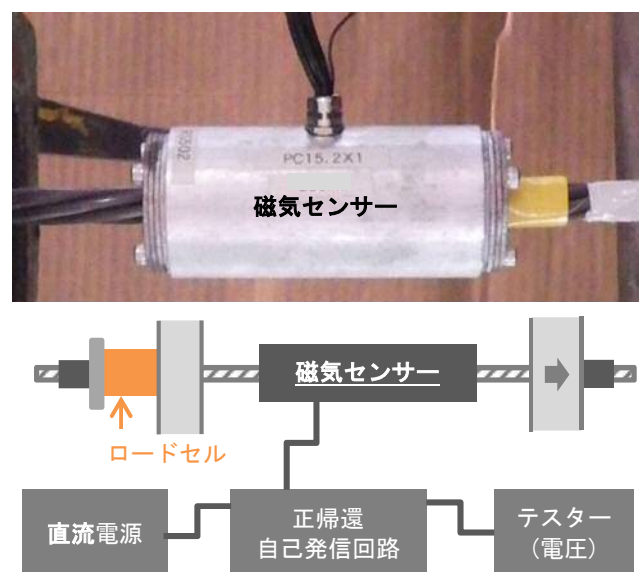


図-2 試験装置の概略図

キーワード PC 鋼材, 張力, 非破壊評価, 磁気センサー, 透磁率, 緊張管理, 維持管理

連絡先 〒660-0091 兵庫県尼崎市中浜町 10 番地 1 神鋼鋼線工業(株) 開発部 TEL06-6411-6281

4. 試験結果

4. 1 緊張力と電圧の関係

1m の PC 鋼より線を用いて、3 回繰り返し引張試験を実施し、張力と電圧との関係を調べた。図-3 にその結果を示す。張力の増加に伴い、電圧が増加した。170kN の張力変化で約 13V の電圧変化が出力できており、張力変化を比較的大きな電圧変化として検出することができた。また、繰り返し測定しても履歴はほぼ変わらず、極めて高い再現性を有している。なお、載荷時は除荷時に比べ、やや電圧が高く出力される傾向が確認された。このように載荷と除荷で若干異なる履歴を描く原因は、磁気ヒステリシスの影響と考えられる。

ここで、温度など諸要因の影響は考慮できていない状況ではあるが、仮に本結果から最小二乗法により式(1)を導き出した。式(1)は多項式とし、自由度調整済み決定係数が最も 1 に近くなる 3 次式とした。

$$T=0.0366e^3-1.4754e^2+30.805e-103.49 \quad (1)$$

ここで、 T : 張力(kN), e : 出力電圧(V) である。

4. 2 張力推定

長さが異なる PC 鋼より線(引張長さ 2.0m, 6.7m)について 3 回繰り返し引張試験を行い、検出された電圧値から式(1)を用いて張力を算出し、ロードセルの測定結果と比較した。それぞれ図-4, 5 に 1 回目の張力測定結果、表-1 に測定結果より得られた関係式と決定係数を示す。今回用いた回帰式は、温度影響等を考慮していない簡易的なものであるが、決定係数の平均値は 0.996 と高く、張力を精度よく推定できている。今後、温度影響等、諸要因の影響を回帰式に盛り込むことで、より信頼性の高い張力推定が可能になると考えられる。

5. まとめ

- (1) 正帰還自己発信回路による磁気センサーにより、PC 鋼より線の張力変化を大きな電圧変化(張力変化 170kN で 13V)として出力できることが明らかとなった。
- (2) 簡易回帰式を用いて張力を推定した結果、決定係数平均値 0.996 と高い精度を確認できた。今後温度補正等を行うことで、さらに高精度の推定が可能になると考えられる。

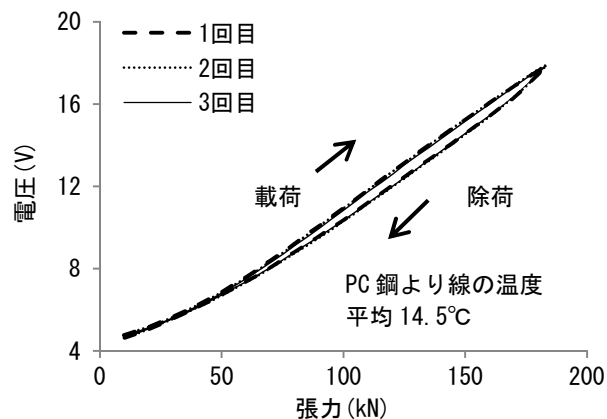


図-3 張力と電圧の関係(PC 鋼より線 1.0m)

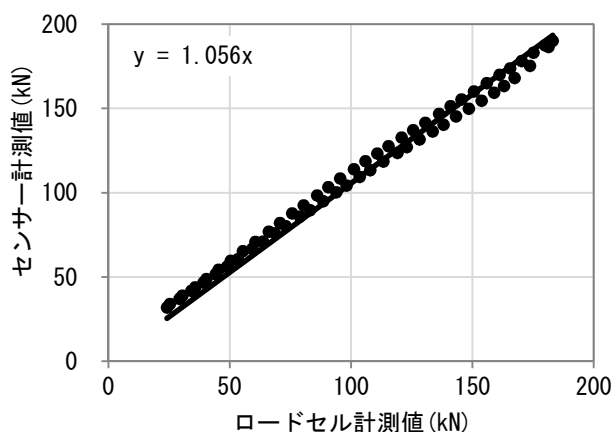


図-4 張力測定結果(PC 鋼より線 2.0m, 1 回目)

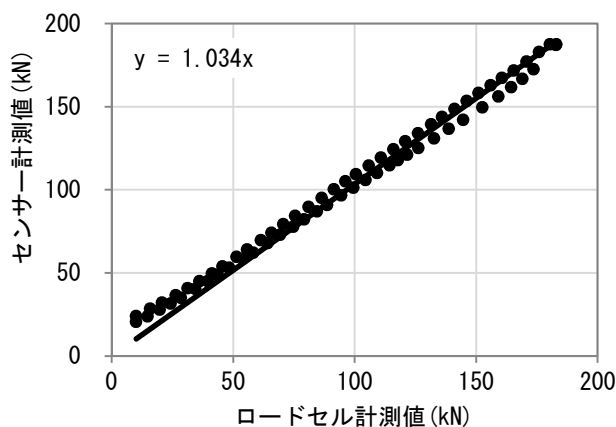


図-5 張力測定結果(PC 鋼より線 6.7m, 1 回目)

表-1 関係式と決定係数

測定対象 長さ	測定 No.	鋼材温度 (°C)	関係式	決定係数 R^2
2.0m	1	9.5	$y=1.056x$	0.996
	2	9.7	$y=1.046x$	0.997
	3	9.9	$y=1.032x$	0.997
6.7m	1	16.4	$y=1.034x$	0.995
	2	16.4	$y=1.002x$	0.996
	3	16.7	$y=0.988x$	0.997
平均				0.996