

V-20

超電導磁気浮上式鉄道への新開発の低磁性鉄筋の適用について

東海旅客鉄道(株) 正員 宮本雅章 (財) 鉄道総合技術研究所 正員 浦部正男
同 上 正員 山崎幹男 同 上 正員 市川篤司

1. はじめに 山梨リニア実験線のガイドウェイには、超電導リニア車両の走行に伴う磁気抗力及び磁気吸引力の低減のため、超電導磁石（以下「SCM」）の近傍においては、低磁性鉄筋を用いることとしている。

近年、従来の低磁性鉄筋に比べコスト低減が図られ、かつ品質もほぼ同等の鉄筋（以下「改良型鉄筋」）が開発された。そこで、この鉄筋の磁気抗力、磁気吸引力等の電磁気特性を変動磁場を発生させるコイル及び実物のSCMを用いて測定し、ガイドウェイへの適用性を検討した。本研究は、その適用性についての調査、検討の概略を報告するものである。

2. 鉄筋の磁気抗力特性の測定実験 変動する磁場に鋼材を置くと、ヒステリシス損や渦電流損などが生じ、鋼材の温度は徐々に上昇する。この温度上昇を測定することによって、ガイドウェイに鉄筋を使用する場合の磁気抗力の概略を知ることができる。そこで、今回図1に示すような50Hz、250ガウスの変動磁場発生コイルを製作して試験を行った。このコイルの中に長さ20cmの鉄筋試験体を置き、その温度上昇を測定した。なお、車両に搭載されたSCMによる磁場の強さや方向は様々に変化することから、鉄筋試験体を現実の鉄筋と同じ条件で測定することは不可能である。そこでこの実験では、試験体ごとに設置角度および磁場の強さを変えて測定した。

測定に使用した鉄筋を表1に示す。鉄筋径は、使用頻度が比較的大きいと考えられる三種類を用いた。なお、普通鉄筋はJIS SD345であるが、参考文献1)の実験結果から $\mu=650$ とした。

図2は鉄筋の傾きが45度の場合の各鉄筋の磁気抗力特性を比較したものである。この図から低磁性鉄筋及び改良型鉄筋（ $\mu=1.3$ ）は磁気の影響をほとんど受けないこと、改良型鉄筋（ $\mu=3.0$ ）は多少磁気の影響を受けるがその影響は普通鉄筋と比べると僅かであることがわかる。

3. 鉄筋の磁気吸引力の測定実験 鉄筋の磁気吸引力の測定は、図3に示すようにRC試験体を実車両のSCMの近くに吊り下げて設置し、水平方向に作用する力を測定することにより行った。SCM中心からRC試験体中心までの距離は300mm程度とした。また、SCMの起磁力を0から定格値（700kAT）まで徐々に増加させている。RC試験体は比透磁率が異なる鉄筋ごとに4体製作した。RC試験体を使用した鉄筋及びその配置を表2及び図4に示す。

図5に各RC試験体の磁気吸引力を示す。横軸はSCMの電流値を示している。ここで、最大600Aのとき巻き数が1167ターンであるので600A×1167ターン=700kATとなる。この測定実験より以下のことがわかった。

- ①低磁性鉄筋及び改良型鉄筋（ $\mu=1.3$ ）の磁気吸引力は普通鉄筋の磁気吸引力に比べ非常に小さい。
- ②低磁性鉄筋と改良型鉄筋（ $\mu=1.3$ ）では、磁気吸引力にほとんど差がない。

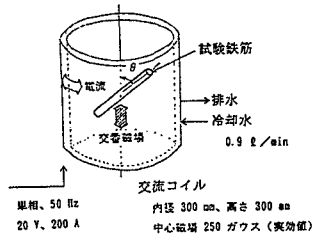


図1 変動磁場発生コイルによる実験

表1 試験鉄筋

鉄筋径	長さ (mm)	本数 (本)			
		$\mu=1.03$	$\mu=1.3$	$\mu=3.0$	$\mu=650$
D13	200	3	3	—	3
D16	200	3	3	—	3
D22	200	—	3	3	3
電気抵抗率 ($\mu\Omega\text{cm}$)		6.7	6.7	—	2.0

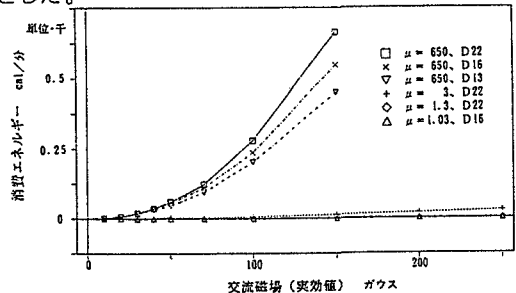


図2 試験鉄筋1本当たりのエネルギー損失

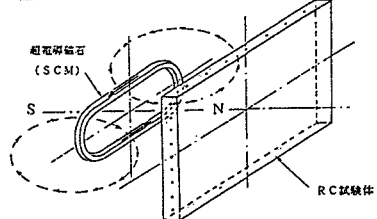


図3 鉄筋の磁気吸引力の測定実験

③改良型鉄筋 ($\mu=3.0$) の磁気吸引力は、改良型鉄筋 ($\mu=1.3$) 及び低磁性鉄筋の磁気吸引力に比べ8倍程度となるが、普通鉄筋に比べると1/15から1/20程度である。

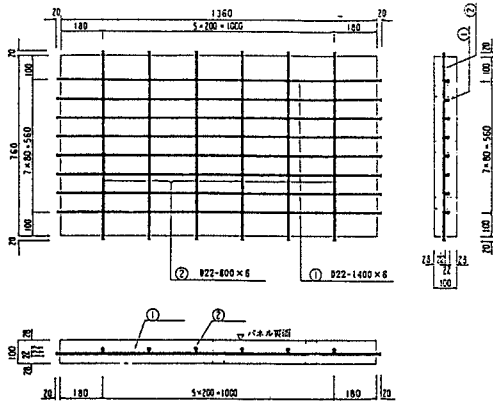


図4 RC試験体の鉄筋配置状況

表2 鉄筋試験体

鉄筋径 (mm)	長さ (mm)	本数(本)			
		$\mu=1.03$	$\mu=1.3$	$\mu=3.0$	$\mu=650$
D22	1400	8	8	8	3
D22	800	6	6	6	6

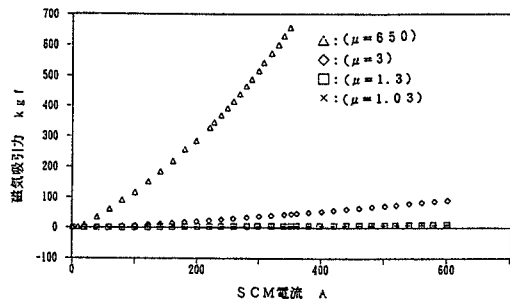


図5 試験鉄筋の磁気吸引力

4. 改良型鉄筋の適用性の評価 今回の実験の結果、磁気吸引力については、図5に示すように改良型鉄筋

($\mu=1.3$) は低磁性鉄筋と同様非常に小さい値となることが明らかとなった。したがって浮上式鉄道のガイドウェイ構造物に改良型鉄筋 ($\mu=1.3$) を使用しても問題ないと考えられる。

磁気抗力に関しては、ガイドウェイにおける磁気抗力の目安を得るため、試験体角度が磁場に対して45度のときのエネルギー損の実験結果を基に山梨リニア実験線のガイドウェイを想定した大まかな検討を行った。250 Gaussのときの各鉄筋のエネルギー損失Q (cal/分/g) を次式により単位重量、1サイクル当たりのエネルギー損失Q_J (J/t) に換算する。

$$Q_J = 4 \cdot 2 \times Q / 60 / 50 \times 10^6 = 1.4 \times 10^3 \times Q$$

この換算値と、山梨リニア実験線における標準的な低磁性鉄筋の配筋量から、磁気抗力の概略値を計算した。ただし、配筋量は、標準高架橋のPC桁のうち低磁性鉄筋を使用を原則としているスラブ部、ガイドウェイ側壁及び支持車輪走行路の鉄筋量の合計である。計算の結果

は表3のようになる。実際のガイドウェイでは、SCMのごく近傍においては数千 Gauss となると考えられ、表3の磁気抗力の値の10~20倍程度を想定する必要があると考えられる。この場合でも改良型鉄筋 ($\mu=1.3$) の磁気抗力は磁気抗力の目標値 (1台車当たり2.5 kN) に対して問題のない値となる。

また、改良型鉄筋 ($\mu=1.3$) が加工等により部分的に比透磁率が大きくなっても、改良型鉄筋 ($\mu=3.0$) の磁気抗力及び磁気吸引力が、改良型鉄筋 ($\mu=1.3$) に比べ若干大きいものの普通鋼材に比べると小さいという測定結果 (図2及び図5) から問題ないことが明らかとなった。

5. おわりに 改良型鉄筋の山梨リニア実験線に対する適用性を検討するため、磁気吸引力、磁気抗力に関して普通鋼材および低磁性鉄筋との比較実験を行った。この結果から、改良型鉄筋 ($\mu=1.3$) を山梨リニア実験線に適用できることが明らかとなった。

最後に本実験を実施するにあたって、多大なご尽力をいただいた住友金属工業 (株) の関係者に厚く御礼申し上げる。

〔参考文献〕 1) 穴見源八, 市川篤司, 杉本一朗: 浮上式鉄道のガイドウェイ鋼材のヒステリシス損と磁気抗力, 鉄道総研報告 Vol. 6, No. 5, 1992. 5

表3 実験結果を用いた磁気抗力の概算

	エネルギー損 (cal/分/g)	エネルギー損 (J/t)	使用鋼材量 (t/品)	磁気抗力 (kN)
普通鉄筋 $\mu=650$	1.37	1,920	0.358	1.34
改良型鉄筋 $\mu=3.0$	0.038	53	0.358	0.038
改良型鉄筋 $\mu=1.3$	0.004	6	0.358	0.004
低磁性鉄筋 $\mu=1.03$	0.002	3	0.358	0.002