

消磁システムの開発

梶原 暁
(技術研究所)

Development of a Degaussing System

by Gyo Kajiwara

Abstract

Building structures that contain steel bars, such as walls and floors may become magnetized under certain conditions, which can cause problems. Degaussing demagnetizes the structures, but the process has been considered difficult. This paper describes the development of a method that degausses magnetized objects by attenuating an alternating magnetic field. Laboratory experiments were conducted on individual reinforcing bars, iron frame stairs, and the iron frame of a building in order to determine the magnetization and demagnetization characteristics of each object. An improved degaussing system consisting of a redesigned degaussing machine and peripheral equipment were also developed in order to raise the efficiency of degaussing work in buildings

概 要

建築物で何らかの理由で壁・床等の鉄製構造物が磁化して問題になることがある。このような時に磁化を消すいわゆる消磁はかつて難しいこととされていたが、減衰交流磁界を構造物に対して加え方に工夫することにより消磁が行えることを確認した。さらに建築物を構成する鉄筋、鉄骨階段、鉄骨について個々に実験室で着磁と消磁の実験を行い、それぞれの特長を求めた。また一方で建築物内での消磁作業に注目して作業性を上げるように消磁機と周辺の機器を構成しなおし、それらを反映して建築用の消磁システムとして作製した。

§ 1. はじめに

消磁は文字通り磁気を消す行為だが、通常は形の小さいものに施される。形の大きなものに施されるのは極めて困難とされている。¹⁾ しかしながら筆者らは5年程前に消磁機を建築現場で使い、好成績を上げた。それから消磁機の実用化が始まった。まず建築構造の構成物である鉄筋、鉄骨階段、等を実験室レベルで消磁しそれぞれの効果を確認した。実験室での実験は小規模のサンプルに対するものとなり、現場での実物とは規模あるいは構成要素が違い、さらに構成要素との関係が違うため実際の建物との違いがあることになる。理想的には大規模の建築の中で実験的に測定や着磁・消磁を行うことが望ましいが、普通はそのような状況が許される建築物がない。

限られた時間内の現場での着磁状態測定および消磁の施工と実験室での規模の限られた実験により得られる資料と他の研究者や実務者の資料を総合した消磁法の検討の結果を以下に記す。

§ 2. 消磁の理論

2.1 磁化

磁性体が磁場内に置かれていると磁化する。すなわち磁石になる。鉄くぎが磁石にひきつけられている場合などがその例で、鉄も磁石になっている。しかし磁石から離された場合には磁石になっている場合となっていない場合がある。磁石になっている場合がしばしば問題になる。たとえば鉄筋を磁石で吸い付けると離れた後でも磁石になってしまう場合などである。材料の組成その他いろいろの原因があるが、産業上は磁石を作るほうが盛んであり高性能磁石の研究が進められている。

磁石になることが予定されていない場合には、予想外の影響を与える場合があり、たとえば建築内でCRTの色ずれを起こしたり、また電子ビームを使う電子機器の不安定の原因になったり、さらに電子機器に雑音を発生する要因となるといわれている。消磁が必要になる所以である。今後高性能の機器を設置する建物ではますます要求は高まると思われる。

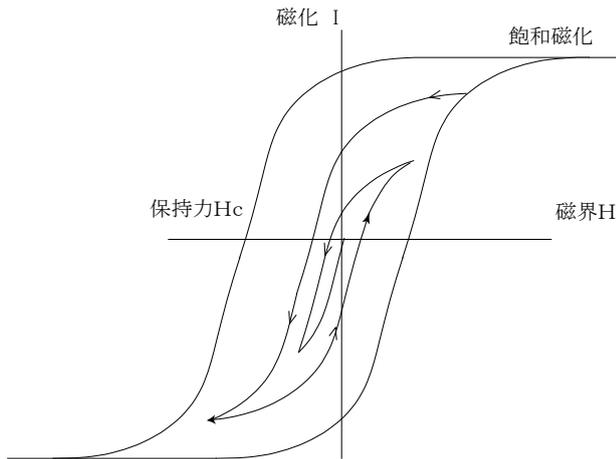


図-1 磁界—磁化のヒステリシスカープ

2.2 消磁

1) 消磁法

消磁法として代表的なものには熱消磁法と交流消磁法がある。²⁾ 熱消磁法は磁石の磁化がなくなる温度(キュリー点)にまで熱して磁化を消す方法で、効果は高いが産業上の応用では火災の発生などを考慮せねばならず、限られた用途でしか使えない。そこで交流消磁法が日常で一般に使われる。

これは磁化で起きる磁界と磁化の関係が非線形でありヒステリシスを描くことから考えられた方法である。まず強い磁界をかけて対象物の磁化を飽和させる。ここで磁性体内部の磁区はみな同じ向きになる。というよりは磁区がなくなって一つになっている。次に磁界を弱めて、磁区は一つである状態を保ちながら0まで下げるわけであるが、ヒステリシスのために磁化を0にするためには磁界を負にまで下げなければいけない。0になるのはきわめて難しく、逆向きの前よりはやや小さな磁石になる。次にまた磁界の向きを換えて、当初と同じ向きにして上昇していく。この時にヒステリシスは当初よりは小さなループを描く。このような磁界を上げたり下げたりする動作を繰り返して段々に磁界の値をゼロにする。この時に印加される磁界と磁化の関係は図-1に示されたマイナーループに沿って描かれる。対象物の磁化は磁界の変化によって磁化を減少して最終的にゼロになる。以上のような方法が交流消磁法である。

2) 消磁機

交流消磁法を行うためには交流磁界を発生する機器が必要になる。またこの磁界は消磁する物体の磁化を飽和するためにはかなり強くすることができ、さらに極性を変化でき、また強度も変化できる必要がある。

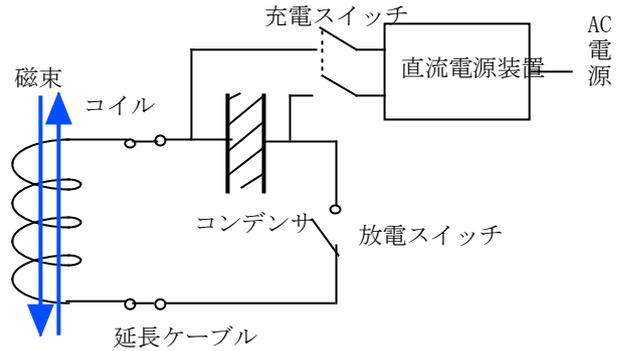


図-2 消磁機の構成

このような要求に耐える方法として、減衰する交流を発生して、周波数を変えられ、さらに小型軽量に組めるのが図-2に示すコンデンサーとコイルの組合せによる装置である。発生する電流は次の(1)式で表される。

$$i = \frac{E \sin(bt) e^{-at}}{bL} \quad (1)$$

ただし、 $a = R/(2L)$ 、 $b = \sqrt{1/(LC) - a^2}$ であり、 i は電流、 E は電圧、 L はコイルのインダクタンス、 C はコンデンサーのキャパシタンスである。

この時に発生する交流が丁度ヒステリシス曲線に沿って磁化が減少するように減少していれば、効率よく消磁が行える。また(1)式の関係を使い計算すると、発生する電流の周波数はコイルが大きいほど、コンデンサーが大きいほど、図-3に示すように低くなる。一般に消磁のための交流磁界は周波数が低いほうが有効であり、結果的に大きなコイルとコンデンサーの組合せが有効になる。

§ 3. 建築物の消磁

3.1 新しい消磁法

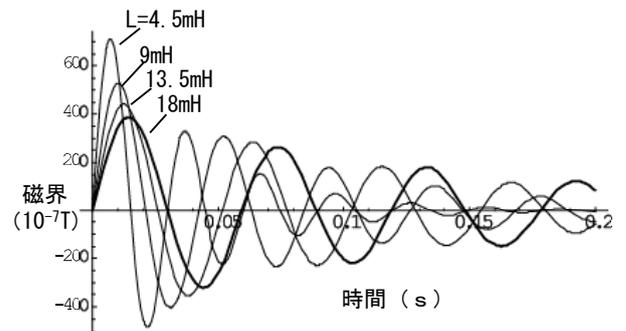


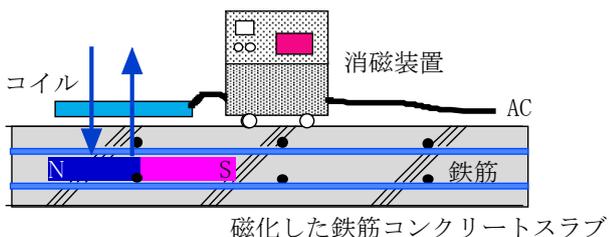
図-3 インダクタンス変化による発生交流波形

従来、消磁は磁化した工具、テープレコーダーのヘッドなど小さな体積のものに対して行われてきた。大きな寸法のものには消磁が難しいとされた。それはまず全体に一樣に磁界をかけることが必要とされたことが一因であろう。このような考えによると建築のように大きな構造物では磁界を発生するためには何十メートルに及ぶコイルを作らねばならず実質的に困難である。そこで建築としては精々部屋単位で、しかも建築構造とは独立した部屋としておかれている場合に、コイルで巻いて消磁することが行われた。しかし建築物でも大きな部屋の中で、局部的に柱や梁の着磁が起きることがあり、そのそばにCRTのテレビがある場合などに影響が出て問題になった。

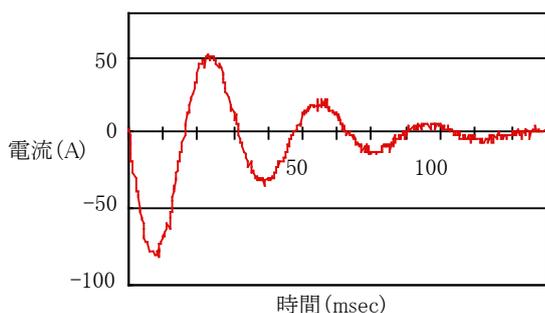
ここで通常は対象物をコイルで囲んで行う消磁を、**図一4**のように平面にコイルを置いて一部分の消磁を行ったところ部分から全体に及んで消磁ができた。そこから消磁機を改良してより働きやすい機器とする実用化が始まった。つまり、消磁を行う問題は、対象物の一部に磁界をかけて何処まで影響が及ぶかの検討になってきた。いわば、建築における消磁は、小さなコイルで大きく雑多な構成の消磁対象を如何にして小さなコイルで消磁するかの問題となる。磁界の掛けかたに対する磁化の境界の理論が必要だが現在まだ不十分でなく、経験的なアプローチにならざるをえない。

3.2 システムの構築

全体的に作業性の面での必要な性能は以下のよ



図一4 新しい消磁方法



図一5 消磁電流実測、L = 4.5mH

うに挙げられる。

- ・小型軽量である。
- ・楽に運搬できる。
- ・電源が通常電力交流 100V に対応している。
- ・発生する交流が低周波数である。
- ・高磁界が発生できる。
- ・磁化している位置が求めやすい。

これを実現したのが開発した消磁機であり、コンデンサーと制御回路部分が筐体に車をつけて収めてあり、コイルは大電流が流れるように太い導線で作り、抵抗を低くして、絶縁体で巻いて固定化し、堅固な構造にしてしかも軽量化してある。このような構造にしたためにたとえば大きなコイルでは長径 1 m でインダクタンスは 5 mH 程になり重量は 19kg 以下を達成している。このときの発生波形をシミュレーションしたのが前の**図一3**であり周波数は 30Hz 程度である。**図一5**の実測値にもよく一致している。さらに磁界検知をスピーディーに行うために小型のテレビに発振機を組み込み青一色で発光させて磁界による色変わりを簡単にわかるようにした“センサテレビ”を加えて総合的なシステムにしてある。性能諸元を表一1に示した。



写真一1 消磁システム

消磁機とコイル、センサテレビで構成される。

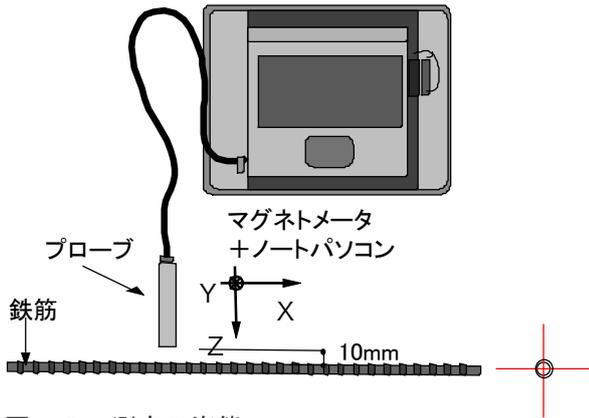
表一1 消磁システムの性能定数

コンデンサー (μF)	コイルインダクタンス (mH)	コイル抵抗 (Ω)
5000	4.97	0.277

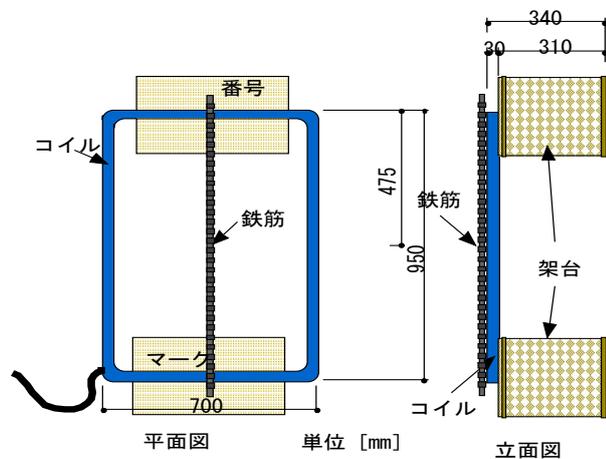
§ 4. 消磁の実験

4.1 実験概要

実験室で行った消磁の実験を記す。実験はまず消磁機の過渡電流を1サイクルだけ流して着磁を

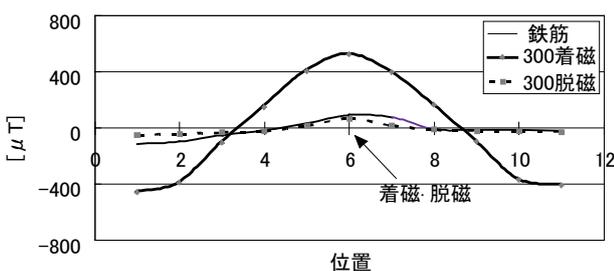


図一六 測定の状態



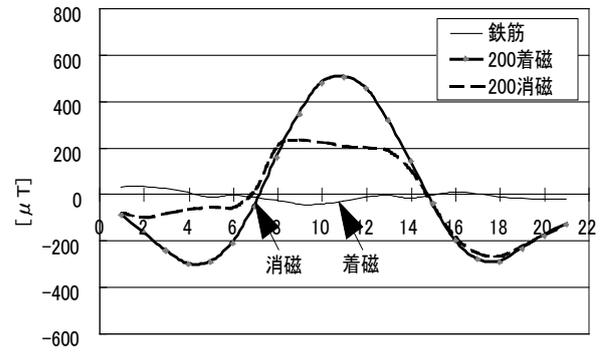
図一七 鉄筋実験の形態

行い、次に着磁した鉄筋から1cmから10cm程度磁気測定器のプローブを離して10cm程度のピッチで磁界を測定し、次いで消磁を行ってからまた同様に測定し、通常のCRTの画面に影響のないと思われる $50\mu\text{T}$ 程度の磁界の強さまで下げた。なお測定に用いたのは図一六に示すBartinton社製Mag03-1000プローブと自社開発のAMPおよび記録装置⁶⁾を1mT以下の低磁界に、Lakeshore社製の406型ガウスメータと横河社製のDL-1740デジタルオシロとLabview 8chオシロを高磁場に使っている。測定は3軸でX, Y, Z方向に行っているが、本文では



図一八 鉄筋の着磁/消磁による磁界変化(同位置)

最も必要な対象物の表面に垂直方向の磁界を主に表示している。

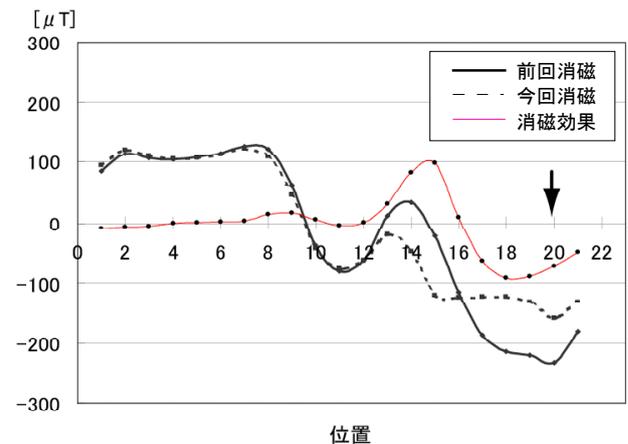


図一九 鉄筋の着磁/消磁による磁界変化(異位置)

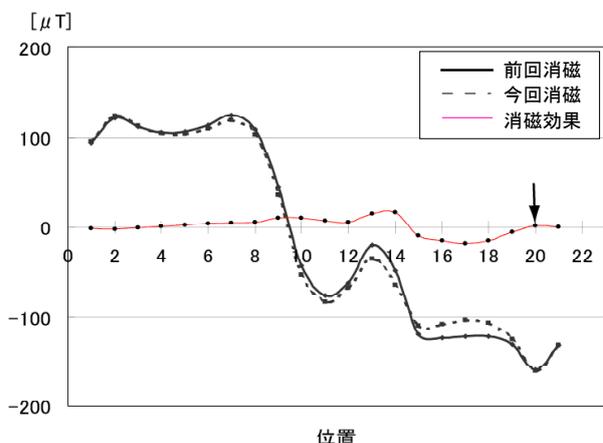
図一八と比べて残留した磁化が大きい。

4.2 鉄筋の消磁^{3), 4)}

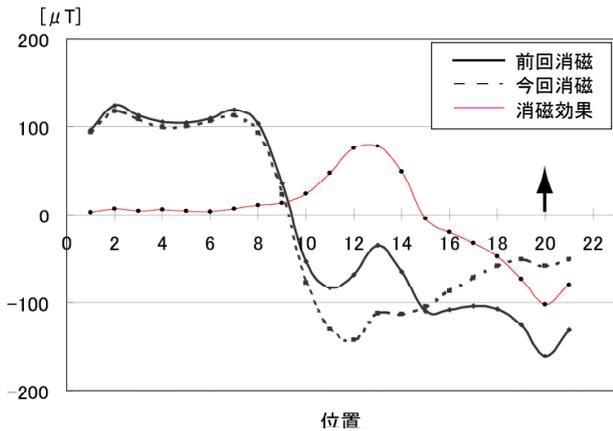
直の異型鉄筋(25φ、1~2m長)を用いて着磁を行い、次いで消磁をおこなった。実験形態の例を図一六に示す。鉄筋の磁界を測ると、ある場所の円周では表面に垂直の磁界が最も強くほぼ一定にな



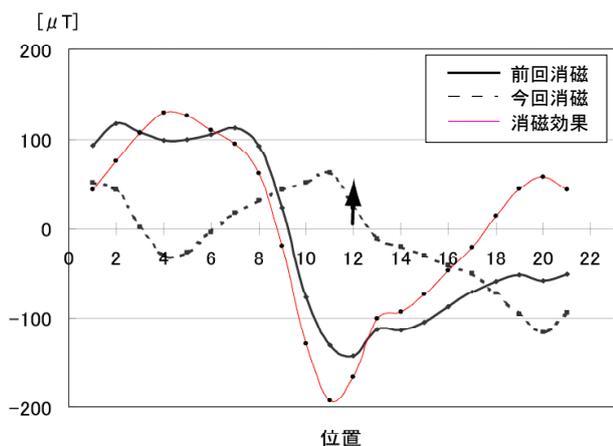
図一十 2m鉄筋消磁(5回目)



図一十一 2m鉄筋消磁(6回目)



図一 12 2m鉄筋消磁（7回目）

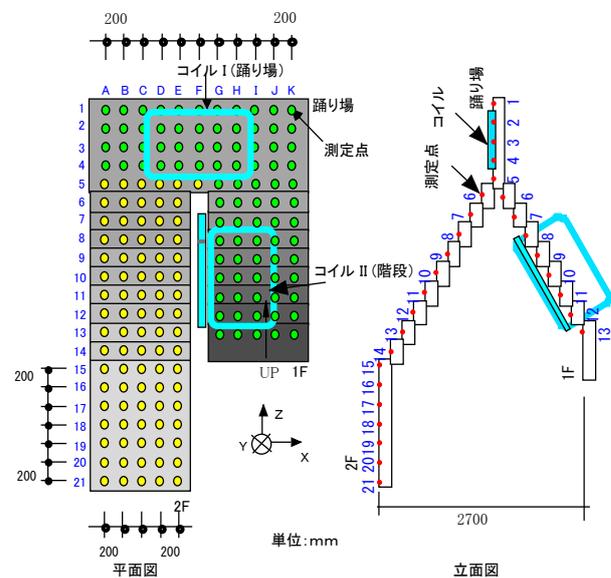


図一 13 2m鉄筋消磁（8回目）

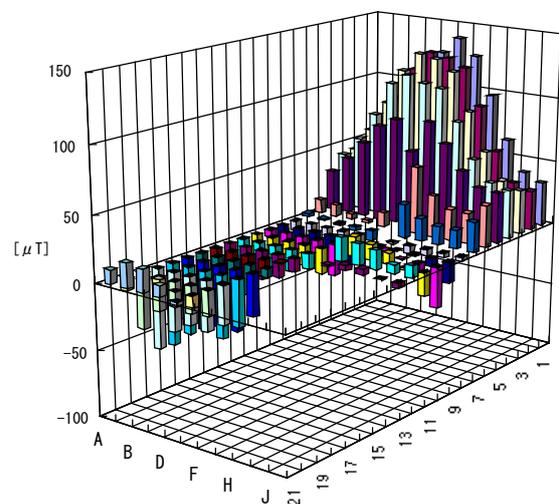
る。この状況は着磁しても変わらない。長手方向では位置により磁界の違いが生じる。消磁は図一 8 に示すように困難なく行え、やや効果に変化が出るのは図一 9 のように消磁するコイルの位置を変化した時であり、磁化の最大の位置にコイルを置いてある図一 8 に比べると消磁後の残留磁界が大きい。磁界を加える極性 (N/S) についても差がなく消磁ができています。施工上で起きる困難さはこのような実験ではほとんど現れないようである。通常消磁は一回で終わるが、何回か繰り返さなければならない場合もある。何回か消磁を繰り返し行い、行き詰るときには極性を変えて消磁すると磁化が一挙に下がる。このような例を図一 10 から図一 13 に示す。2mの鉄筋で磁化の強いところに消磁コイルを置いて消磁を行い、強い個所が移動すれば追いかけて消磁し、同じ個所が強く消磁が進まない時には逆極にすることで消磁できている。例示したのは繰り返して消磁をしている過程で現れた例だが6回目（図一 11）で段々に消磁の効果が減ってきているが、そこ（図一 12）で逆極の磁界を掛けることで消磁が進んでいる。以降そのまま続いて消磁を終えている。

4. 2 鉄骨階段の消磁⁵⁾

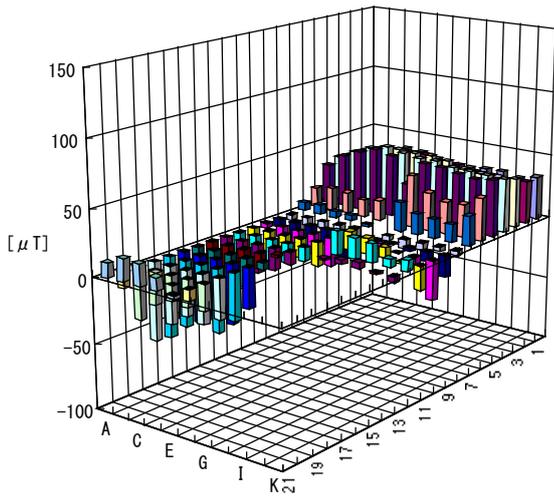
鉄骨階段には踊り場と階段部がある。階段部は鉄板がジグザグに曲がるために、測定が難しい。表面から15cm高さのところで測定した。踊り場で着磁してから消磁を行えば踊り場だけで磁界が変化し、階段部は変化しない。一方で階段部で同じ事を行うと階段部だけが変化する。連続した鉄板部分だけで磁界が変化するようだ。この性質を使い鉄板のつながっている部分だけで分けて考えれば消磁は簡単に行えそうである。図一 14 から図一 16 では踊り場で、図一 17 から図一 19 では階段で消磁した場合の磁界の変化を示す。ただし、階段部では着磁をX方向で行い、消磁をY方向、測定をX方向で行った。



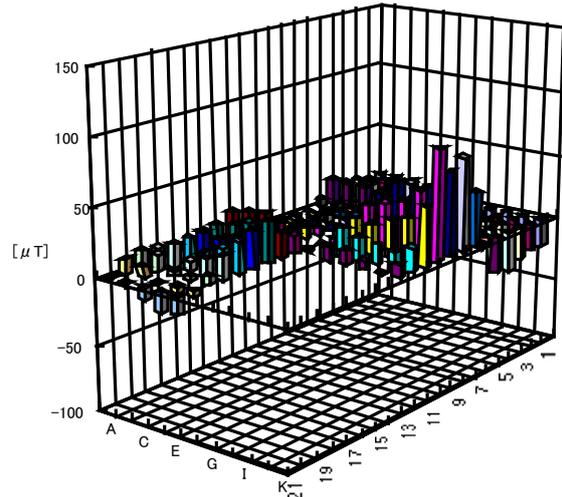
図一 14 鉄骨階段の着／消磁配置



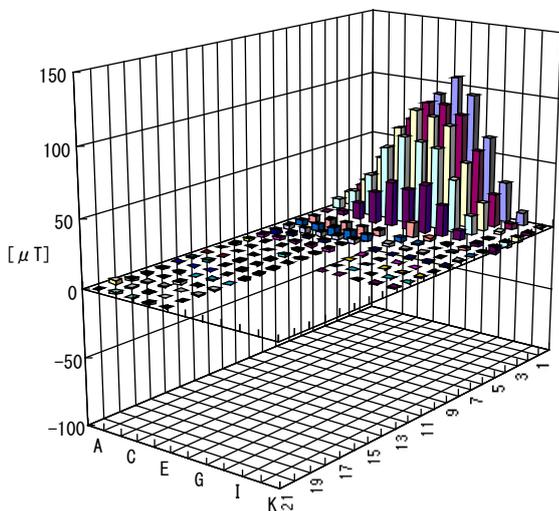
図一 15 階段踊り場着磁時のY方向磁界



図一 16 階段通り場消磁時のY方向磁界

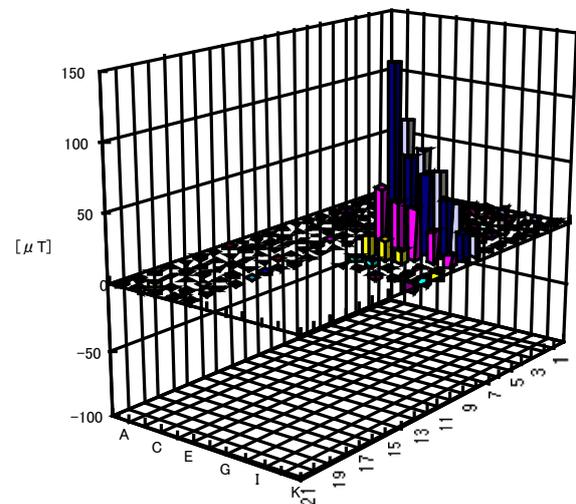


図一 19 階段消磁時のX方向磁界



図一 17 階段通り場消磁の効果Y方向

消磁した個所だけが磁界が下がっている。

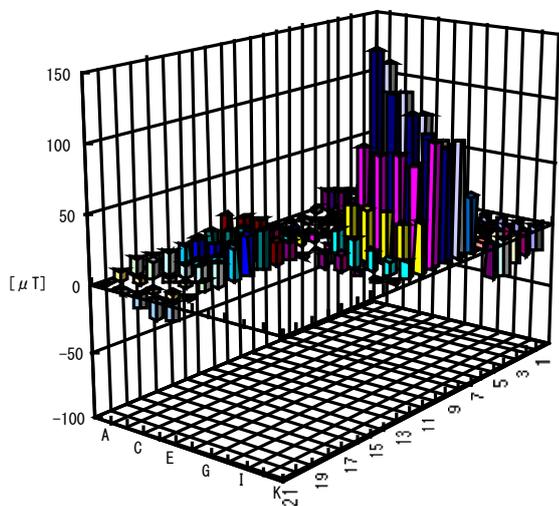


図一 20 階段消磁の効果X方向

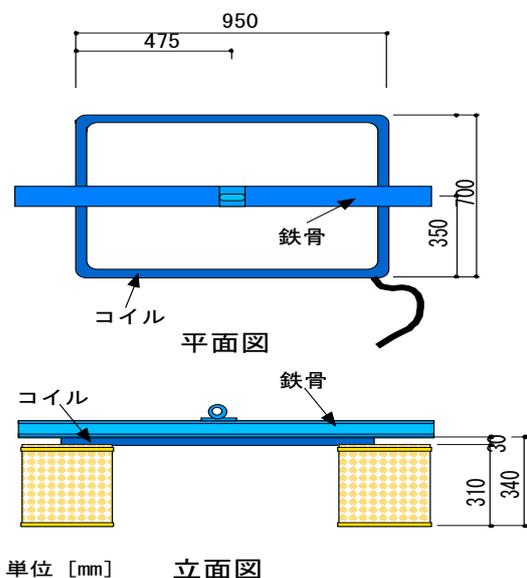
図一 17 階段通り場消磁の効果Y方向

4. 3 鉄骨の消磁

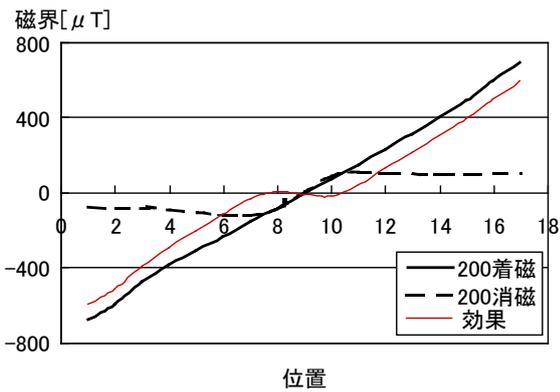
鉄骨の消磁は鉄筋と質量の違いのためであろうが



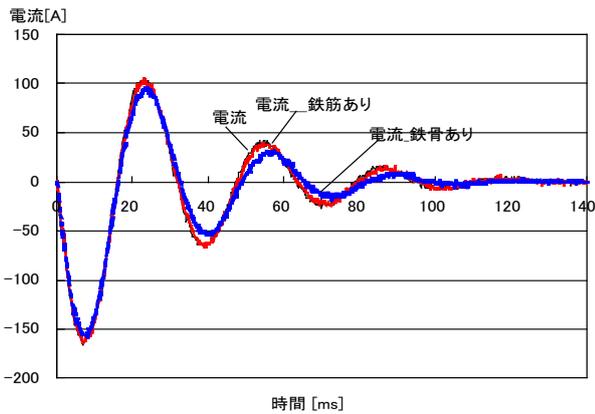
図一 18 階段着磁時のX方向磁界



単位 [mm] 立面図
図一 21 I 型鋼の着／消磁配置図

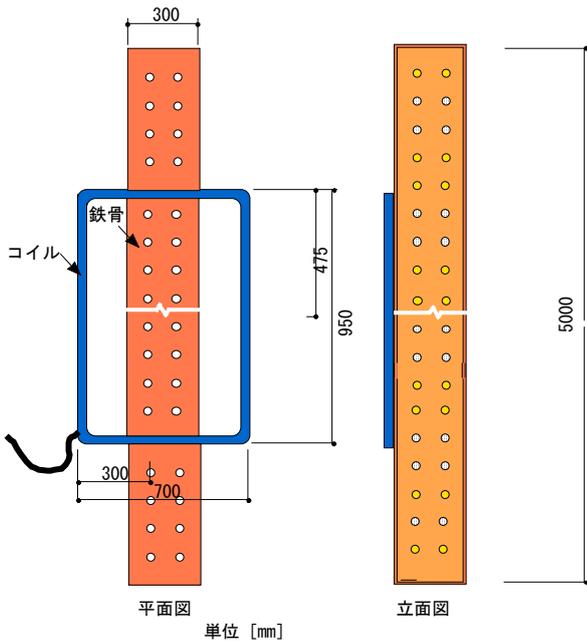


図一 22 I 型鋼の着／消磁の磁界変化



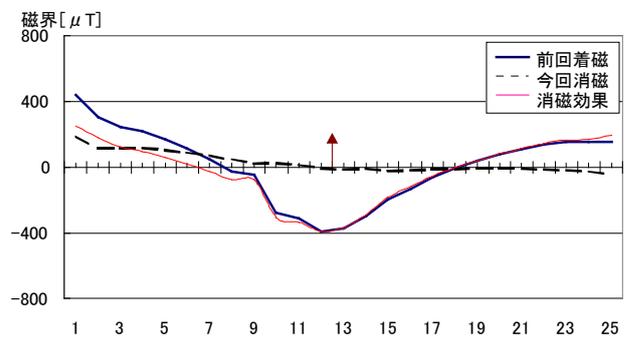
図一 23 鉄筋と鉄骨の有無による消磁電流の変化

困難さが増す。1 m 長程度の小さな I 型鋼を着／消磁した結果を図一 22 に示す。問題なく消磁できているが、消磁電流では鉄筋との違いが図一 23 に記したように電流の位相の違いになって表れることが判明した。



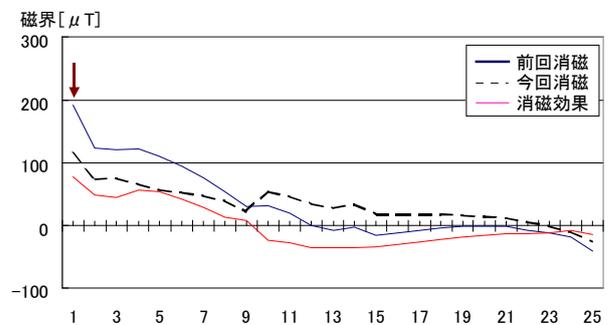
図一 24 鉄骨の着／消磁配置

今実験の最も大きな対象は 5 m の仮設用に用いる鉄骨である。実験の配置を図一 24 に示す。鉄筋と同じように消磁を試みたが、残留する着磁の箇所が移動して磁界は低くならないことが多い。場合によっては高くなることもある。このときの解決法が極性を一定にして行う方法である。矢印で表したように第一サイクルの磁界の向きを残留磁界の向きに合わせて行くと、着磁箇所の移動は起きるが、随時追いかけて消磁することで磁界の増加はおきずに消磁が行える。経過を図一 25 から図一 28 に示すが、徐々に確実に残留磁界が下がっている。ただし、図の中で矢印が消磁を行う位置と向きを表している。測定位置は表面から 2cm で表面に垂直方向である。



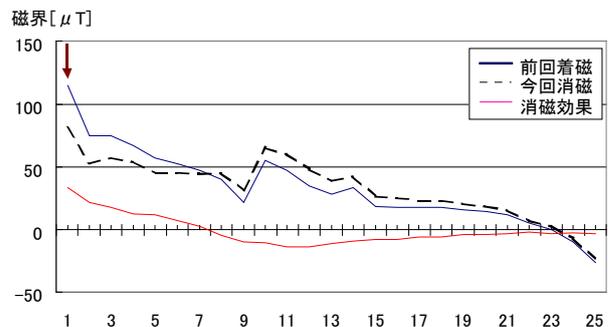
図一 25 鉄骨の消磁

着磁の時と消磁（1回目）時の磁界



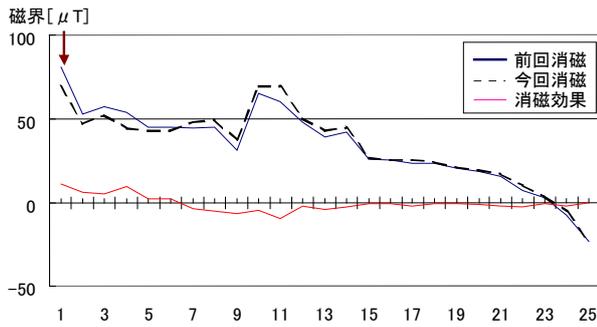
図一 26 鉄骨の消磁

消磁（1回目）と消磁（2回目）時の磁界



図一 27 鉄骨の消磁

消磁（2回目）と消磁（3回目）時の磁界



図一 28 鉄骨の消磁

消磁 (3 回目) と消磁 (4 回目) 時の磁界

§ 6. おわりに

建築物の消磁を実際に行いつつ、消磁実験を行い改良を加えてシステムを製作してきた。実験室レベルではほぼ全材料に対する消磁が行えている。その中で困難な鉄骨の消磁を行い、やり方を工夫することで現場作業にも反映させることができた。消磁の理論は磁界と磁化の関係は明快であるが、磁界の影響の及ぶ範囲に関してはまだ研究途上にあるようである。今後さらに難しい状況が現場で出てくるかは予想を越えるが、実務あるいは実験を通しての改良が進められることを期待している。

<参考文献>

- 1) 梶原、石川、犬伏：“建築物内鉄筋の消磁装置の開発”、建築学会大会論文集、D-1、p.1203、2000.9
- 2) 例えば太田慶造：“磁気工学の基礎”、共立出版、1992
- 3) 梶原：“建築内消磁機構の考察（コイル発生磁場）” 建築学会大会論文集、D-1、p.1137、2001.9、
- 4) 梶原：“鉄筋の消磁機構の考察—消磁コイルと鉄筋の関係—”、建築学会大会論文集、D-1、p.1087、2002.8、
- 5) 梶原：“鉄骨階段の消磁”、電気設備学会大会論文集、p.379、2003.8、
- 6) 梶原：“磁気測定システムの開発”、清水建設研究所報、80号、pp81-86、2004.10、