

鉄筋かぶり非破壊検査についての検証

東海旅客鉄道株式会社 建設工事事部 （正会員）○高木政道
丹家慶子

1. はじめに

R C 構造物の鉄筋かぶりを確認する非破壊検査手法¹⁾として、電磁誘導法やレーダー法などがある。電磁誘導法については測定値を実かぶりに変換する補正式が各種提案²⁾³⁾されており、鉄道構造物への適用が可能であると判断できることから、当社では平成 13 年より構造物完成時の検査として電磁誘導法を採用している。しかし、検査を実施した幾つかの現場から測定値の再現性が低いとの報告があり、また、測定値は測定環境、測定者の癖等の影響や測定器自体が持つ誤差に起因すると考えられるバラツキを有していることも分かってきた。これらのことから、鉄筋かぶり検査をするうえで測定結果の再現性を確保し、測定値を適切に評価する方法が求められた。本稿では、基礎試験により得られた再現性を高めるための方策を述べ、実構造物測定値が有するバラツキを考慮した上での測定結果の評価方法について提案する。

表 1 精度に影響を与える因子

影響因子	測定値に与える影響 小 ⇄ 大	
鉄筋間隔	広い	狭い
かぶり厚	浅い	深い
鉄筋組数	少ない	多い
直交鉄筋	なし	あり

2. 測定値の再現性を高めるための方策

東川ら²⁾によれば、測定値の精度（真値との差）に影響を与える因子および、その影響は表 1 のとおりになるとされている。一方、実構造物測定では測定値の再現性に影響を与えるものとして、①測定表面の不陸や測定姿勢の変化による測定端子移動速度の変化、②連続的に測定することによるキャリブレーション（測定端子からの残留磁場の放電）の不足、③電車架線周辺に存在する磁場の影響があると推定される。そこで、室内測定を標準とし、電車架線の磁場の影響については高架橋測定（架線からの離れ 4m、7m で比較）を実施し、これらの影響を検証した。その結果、再現性を高めるための次の方策を得た。なお、測定器は同一メーカーから市販されている磁気式測定機器と渦流式測定機器の 2 種類を用いている。

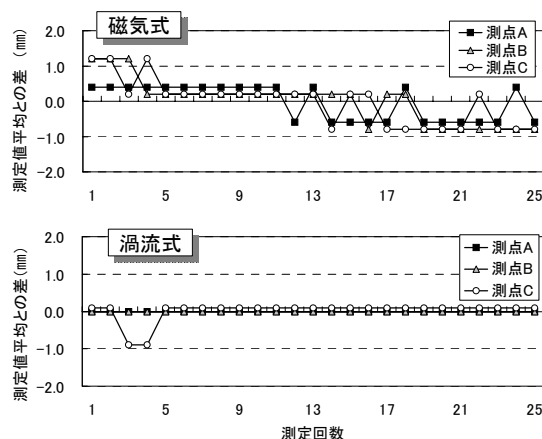


図 1 連続測定（キャリブレーション無）の影響

- 1) 基準測定速度(3~5cm/sec)の遵守。(基準速度より速い場合、かぶりを大きく評価する傾向が認められた。)
- 2) 1 測線（10 測点程度）毎にキャリブレーションを実施。(特に磁気式測定器では図 1 に示すように測定回数の増加に従いかぶりを浅めに評価する傾向が認められた。)
- 3) 電車通過時にキャリブレーションおよび測定をしないこと。(電車架線の影響は特に認められなかったが、電車架線から 2m の距離に磁気式測定器を置いたところ、電車通過時に鉄筋探知時の反応音が鳴動した。)

3. 測定値の評価方法

各種提案されている測定値から実かぶりへの補正式は²⁾³⁾、測定値に測定値の 2 乗に比例する補正値を加えたもののや、測定部位や測定鉄筋の組数によって測定値に乗ずる計数を変えるものがある。従って、実かぶりの検査上、測定値の評価方法が重要となる。

(1) 測定値の分布

測定値の分布は正規分布すると仮定できる。一例として実構造物（R C ラーメン高架橋柱；設計かぶり 40 mm）

キーワード：鉄筋かぶり，非破壊検査，電磁誘導法
連 絡 先：愛知県名古屋市中村区名駅 1-1-4 JR セントラルワーズ tel:052-564-1731 fax:052-564-1734

測定における誤差の分布を図2に示す。なお、誤差は次式とした。

$$\Delta d_{ij} : i \text{ 測点の } j \text{ 回目の測定の誤差 } (= \bar{d}_i - d_{ij})$$

d_{ij} : i 測点の j 回目の測定値

$\bar{d}_i$: i 測点 20 回の測定値の平均値（測定者 2 名×10 回）

ここで、同一測点を 20 回測定する中で最大値と最小値の差が 4 mm 以上となる測点が散見された。そこで最大値と最小値の差が発生する頻度を調べたところ、最大値と最小値の差が 4 mm 以上となる確率は磁気式測定器で 9%、渦流式測定器で 3% であった。次に最大値と最小値の差が 3 mm 以下となった測点の 20 回の測定値の変動係数の分布を調べた。その結果、磁気式測定器、渦流式測定器とも変動係数は最大で 3.8% であった(図3参照)。

従って、測定値は次のように判断できる。

- ①最大と最小の差が 4 mm 以上となる測定は異常値と判断。
- ②異常値でない測定値の変動係数は 4% 未満。

(2) 測定値の評価方法について

測定値は平均値 X_0 に対して、標準偏差 σ_0 の正規分布と仮定できる。ここで、同一点を n 回測定した場合、その平均値を $\bar{X}_n$ とすれば、 $\bar{X}_n$ は平均値 X_0 、標準偏差が $\sigma_0/\sqrt{n}$ の正規分布となる。このことから次式が 99.9% の確率で成り立つ。

$$X_0 \geq \bar{X}_n - 3 \cdot \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

ここで、変動係数 $\delta_0 = \sigma_0/X_0$ とすると、次式が 99.9% の確立で成り立つ。

$$X_0 \geq \frac{\bar{X}_n}{1 + 3 \cdot \delta_0 / \sqrt{n}}$$

これに、 $n=3$ 、 $\delta_0=4.0\%$ を代入すれば、 $X_0 \geq 0.94 \cdot \bar{X}_3$ となる。従って、同一測点を 3 回測定し、最大と最小の差が 4 mm 未満の場合、その平均値の 0.94 倍を測定値としてよい（正確な測定値は、この値を下回ることではない）といえる。

(3) 評価方法の検証

図4に図2とは別の2箇所の高架橋で検証した結果を示す。ここで、横軸に測定値の平均値 X_0 と見なせる値の $\bar{d}_i$ を、縦軸に $0.94 \cdot \bar{X}_3$ として同一測点を測定者1名が10回測定したうちの1～3、4～6、7～9回目の測定の平均値に0.94を乗じた値を示している。図4によれば、 $0.94 \cdot \bar{X}_3$ が $\bar{d}_i$ を下回ることにはなかった。なお、最大と最小の値の差が 4 mm 以上となったため、異常値として判断した測定は1回（発生確率 0.5%）であった

4. まとめ

今回の検証により高架橋柱に限定されるものの実構造物の測定値の評価方法について一つの提案ができた。しかし、張出し梁部やスラブ下面等では不安定な計測姿勢により高架橋柱での測定値より大きなバラツキとなることも想定される。また、今回の評価方法は非超過確率 99.9% で評価するため鉄筋かぶり検査にとっては厳しい値となっている。今後、様々な構造物部位における測定値の評価方法の検証を続けるとともに、耐久性上必要なかぶりに施工誤差を付加していることを考慮して、鉄筋かぶり検査時の管理値を策定していく所存である。

参考文献

- 1)土木工法事典 改訂 V, pp.543-545, 2001.2
- 2)東川孝治, 曾我部正道, 井上裕司, 谷村幸裕:鉄筋探査機の鉄道構造物への適用に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.16, No.9, 2002.9
- 3)佐々木大次郎, 赤池優:非破壊検査(鉄筋かぶり)における補正方法の検討, 日本鉄道施設協会誌, 2003.7

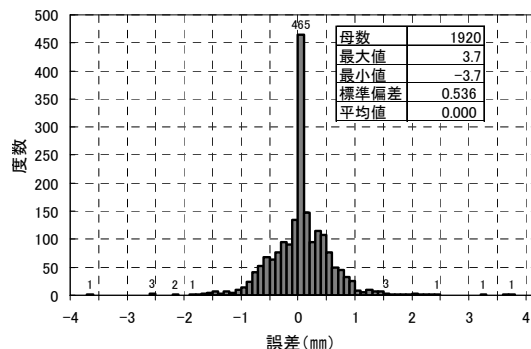


図2 誤差の分布（磁気式測定器）

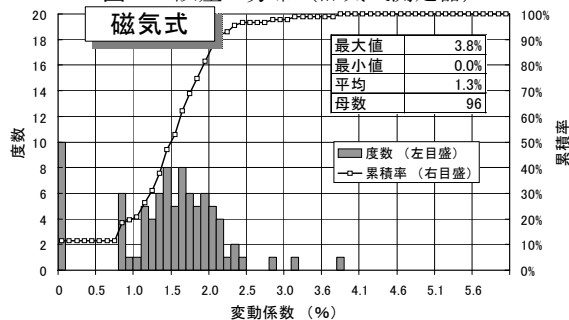


図3 測点毎の変動係数の分布

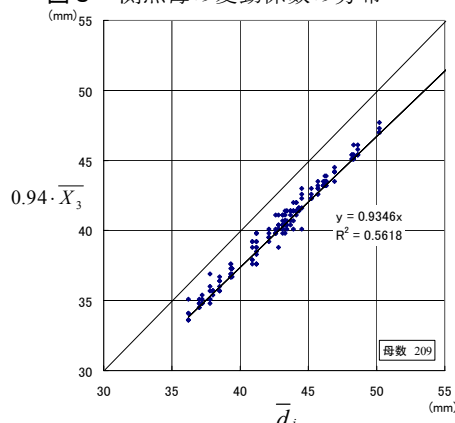


図4 評価方法の検証