

電磁波レーダ法によるかぶり測定の誤差に及ぼす各種要因の検討

大林組技術研究所 正会員 ○榊原 泰造
 大林組技術研究所 正会員 竹田 宣典
 大林組技術研究所 フェロー 十河 茂幸

1. はじめに

コンクリート構造物中の鉄筋探査を非破壊的に行う場合に、電磁波レーダ法が用いられることが多い。しかしながら、この方法を原理とした非破壊検査機器は、製造メーカーにより適用対象、測定可能範囲が定められてはいるが、測定の限界や測定値の精度やばらつきに関しては十分把握されているとは云えない。そこで、配筋条件が異なる鉄筋コンクリート部材の同一鉄筋のかぶりを多数回測定することによって検査機器の偏差の分布を調査し、かぶり、鉄筋径、配筋間隔がかぶりの測定精度に及ぼす影響について統計的に検討を行った。

2. 実験概要

鉄筋コンクリート部材の配筋条件を表1に、コンクリートの配合および品質試験結果を表2に示す。測定対象は、耐久性上問題となる浅いかぶりを想定した壁部材とし、表面側の鉄筋を対象とした。使用した電磁波レーダの性能を表3に、電磁波レーダ法によるかぶりの測定概要を図1に示す。かぶりの測定は、躯体コンクリートが十分乾燥状態にある部材に対して行った。表1に示した配筋間隔にある隣接した3本の鉄筋それぞれの同一箇所を、同一方向に30回あるいは105回測定し、測定値の平均値と真の値の差（以下、偏差と呼ぶ）およびばらつきの検討を行った。なお、かぶりの真の値は電磁波レーダ法によるかぶりの測定後、測定箇所のコンクリートをはつり取って鉄筋を露出させ測定した。

3. 実験結果および考察

(1)かぶりの大きさの影響

配筋間隔が150mmにおいて、かぶりの測定を105回行った場合の偏差および変動係数を図2に示す。鉄筋径に係わらず、かぶりが50mm程度では偏差は小さくなり、D13では0.4mm、D19では-0.6mmとなった。かぶりが大きくなると変動係数は小さくなり、

かぶりが70~80mm程度では1.5%であった。探査画像からかぶりを推定する場合、かぶりが20mm程度の場合には、コンクリート表面からの反射波の影響が大きいため、測定値の誤差およびばらつきが大きくなると考えられる。かぶりが70~80mm程度の場合には、表面波の影響が少なく、測定値のばらつきは小さくなるが、コンクリート中の含水率が不均一なために誘電率が変動し、電磁波の伝播速度が変化するため、偏差が大きくなると考えられる。

(2)配筋間隔の影響

配筋間隔が異なる場合の偏差および変動係数を図3に示す。かぶりが50mm以上では配筋間隔が75mmの場合の変動係数は、配筋間隔150mmの場合よりも

表1 かぶりの測定対象となる鉄筋の配筋条件

鉄筋種別	測定箇所でのかぶりの実測値 (mm)					
	@150mm			@75mm		
D13	26	51	82	27	52	81
D19	22	47	73	22	48	72

表2 コンクリートの配合および品質試験結果

水粉体比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	LF	S	G	AD
30.9	48.5	170	350	200	759	837	6.60

【C】:低熱セメント, 【LF】:石灰石微粉, 【AD】:高性能AE減水剤
 密度(単位:g/cm³) 【C】:3.22, 【LF】:2.70, 【S】:2.60, 【G】:2.70

スラブフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)		
			28日	91日	365日
630×620	3.8	10.0	50.0	61.3	70.5

表3 測定に使用した非破壊検査機器の概要

測定機器	適用範囲 (公称探査精度)
電磁波レーダ	かぶり: 5~200mm (鉄筋径6mm以上), 配筋間隔: 80mm以上 (φ10鉄筋が深さ60mmにある場合)

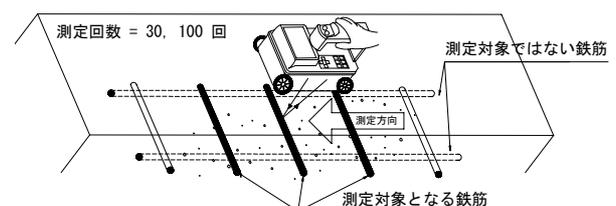


図1 電磁波レーダ法によるかぶりの測定概要

キーワード 非破壊検査, 電磁波レーダ法, かぶり, 偏差, 標準偏差, 変動係数

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4丁目640 大林組技術研究所 土木材料研究室 TEL 0424-95-0930

数%大きくなった。配筋間隔が 75mm の場合は、配筋間隔 150mm に対して複数の鉄筋からの多重反射の影響を受けやすいために、かぶりの変動係数が大きくなったと考えられる。

(3)測定回数の影響

かぶり 47mm, 鉄筋径 19mm の場合において、偏差の分布例と正規分布と仮定したときの信頼水準区間 95%における誤差範囲を図4に示す。1回の測定値によりかぶりを推定する場合は、両側 2.5%の危険率となるばらつきによる誤差は±3mm であることから、1回の測定におけるばらつきによる誤差は、信頼水準区間 95%の範囲で±3mm 以内にあると考えられる。測定回数を 3~50 回とし、その平均値によりかぶりを推定した場合の標準偏差と信頼水準 95%における誤差を表4に示す。例えば測定回数が 3回の測定の平均値を求め、これを 35 回行って平均値の分布から標準偏差を求めた。測定回数が異なっても平均値は一定であるが、標準偏差は測定回数が大きくなるほど小さくなった。信頼水準を 95%とした場合のばらつきによる誤差の期待値を図5に示す。3回の測定の平均値を用いて推定する信頼水準 95%では、ばらつきによる誤差は±2mm 以内にあり、5回の測定の平均値を用いる場合は、±1.6mm 以内にある。また、ばらつきによる誤差を 1mm 以下にするには、10回以上の測定を行う必要がある。このように複数の測定の平均値を用いることによりばらつきによる誤差を小さくすることが可能である。ただし、測定値のばらつきは、本実験における要因の他に配筋条件やコンクリートの品質など、多数の要因の影響を受けると考えられる。また測定値の真の値との偏差に対しては、別途補正が必要な場合がある。

4. まとめ

本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1)偏差はかぶり 50mm 程度で最小となり、ばらつきはかぶり大きい方が小さくなった。かぶりの大きさにより偏差やばらつきは異なることが確認された。
- (2)かぶりが 50mm 程度以下では、配筋間隔の違いにより偏差は±2mm 程度であるが、70mm 程度では、配筋間隔が狭い方が変動係数は大きくなった。
- (3)かぶり 47mm, D19 の場合、信頼水準区間 95%とした場合、1回の測定におけるばらつきの誤差は±

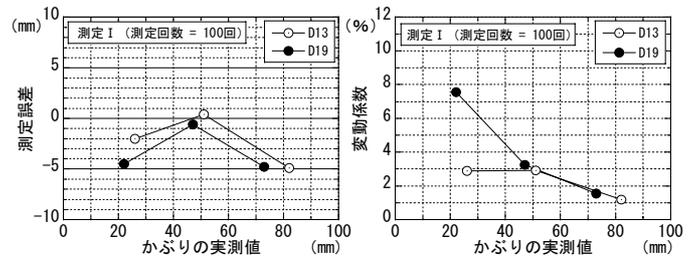


図2 かぶりの偏差および変動係数の比較

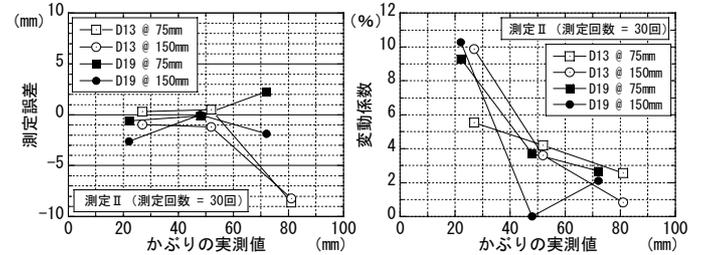


図3 配筋間隔が異なる場合の測定結果の比較

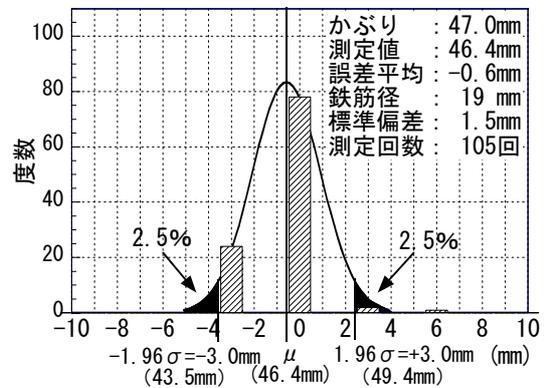


図4 かぶりの偏差の分布の例

表4 測定回数が異なる場合の測定結果の比較

測定回数	(n)	1	3	5	10	20	35	50
標本数	(回)	105	35	21	10	5	3	2
測定値の平均	\bar{x}	46.4						
標準偏差	σ	(mm) 1.51	0.96	0.83	0.56	0.20	0.18	0.22
信頼水準95%誤差	$\pm 1.96\sigma$	(mm) ± 3.0	± 1.9	± 1.6	± 1.1	± 0.4	± 0.4	± 0.4

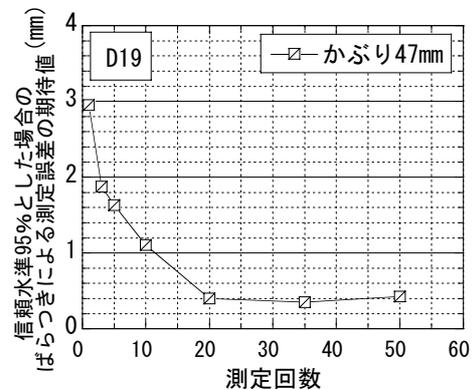


図5 測定回数が異なる場合の偏差の期待値

3mm 以内、3回で±2mm, 5回で±1.6mm となった。複数の測定の平均値を用いることによりばらつきの誤差を小さくすることが可能である。