

電磁波レーダ法による鉄筋かぶり厚さ測定に関する実験的研究

その2 含水率と比誘電率の関係

熊谷組 正会員 ○野中 英

KSK 正会員 篠原 茂

RECO エンジニアリング 正会員 大沼 薫春

1. 目的

電磁波レーダ法による鉄筋かぶり厚さの測定方法に関して、前報その1では実験概要および各種計測器によるかぶり厚さの測定結果を示した。本報その2では、含水率と比誘電率の関係を明らかにすることを目的として、湿潤状態にした供試体の乾燥過程における含水状態および往復伝搬時間から算出した比誘電率を示すとともに、含水率と比誘電率の関係を示した。

2. 実験概要

2.1 使用機器および測定方法

かぶり厚さの測定に使用した計測器は、市販の電磁波レーダ法3種類で、G社製2種類（アンテナ周波数1.6GHz：計測器A、2.6GHz：計測器B）、N社製1種類（アンテナ周波数0.8GHz：計測器C）とした。含水率の測定に使用した測定器は、市販の電気抵抗法含水率計を用いた。測定は、かぶり厚さおよび含水率で、測定方法の概要を表1に示す。

2.2 実かぶり厚さの測定

比誘電率の算出のため、実際のかぶり厚さ（以下実かぶり厚さと略記）を測定した。縦筋の実かぶり厚さは、コンクリート打設前に設定した基準位置（下部）およびコンクリート表面から露出している鉄筋までの距離（上部）により求めた。横筋の実かぶり厚さは、コンクリート打設前に鉄筋の交点における横筋の高さを測定し、縦筋の実かぶり厚さより前述した横筋の高さを減じて求めた。表2に、実かぶり厚さの測定結果を示す。

2.3 比誘電率の算出

電磁波レーダ法によるかぶり厚さDは、電磁波の往復の伝搬時間Tから(1)式により求めることができる¹⁾。比誘電率は、(1)式より比誘電率を8として測定したかぶり厚さより往復伝搬時間を求め、この値と実際のかぶり厚さよりコンクリート中の比誘電率を算出した。

$$D=CT/2\sqrt{\epsilon} \quad \cdots \quad (1)$$

ここに、
C：真空中での電磁波の速度（3×10⁸m/sec）
ε：コンクリート中の比誘電率

表1 測定方法の概要

測定項目	測定方法
かぶり厚さ	あらかじめ鉄筋位置を測定し、鉄筋間の中央を走査線として行った。走査線は、縦筋および横筋を対象に各1測線（計32測線）とした。測定したデータは電子データとして記録保存し、付属の専用ソフトにより解析（本結果は、比誘電率を8として解析）を行った。計測器A、計測器Bの結果は、解析データよりアンテナの距離補正を別途行っている。
含水率	コンクリート表面から深さ方向に50mmまでを10mm間隔で5点行った。測定に用いた孔はφ6mmとし、等間隔に30mmで三角状に3点配置した。測定は、3点の孔に2本のセンサを挿入し、異なる組み合わせで3回行った。

表2 実かぶり厚さの測定値（平均）

縦筋(mm)		横筋(mm)	
No.1,3	130.3	No.2,4	99.7
No.5,7	63.1	No.6,8	36.0
No.9,11	70.3	No.10,12	49.4
No.13,15	67.7	No.14,16	51.6
No.17,19	19.4	No.18,20	70.7
No.21,23	94.9	No.22,24	67.8
No.25,27	46.1	No.26,28	25.7
No.29,31	41.3	No.30,32	25.4

表3 含水率測定結果

測定面	測定材齢(日)*1	表面からの距離(cm)					測定面	測定材齢(日)*1	表面からの距離(cm)				
		0~1	1~2	2~3	3~4	4~5			0~1	1~2	2~3	3~4	4~5
No.1 ~ No.4 間	0	3.2	4.2	5.7	5.7	5.9	No.17 ~ No.20 間	0	4.5	5.4	5.9	6.4	6.4
	7	6.4	7.9	8.0	7.8	7.7		7	6.7	8.2	8.8	9.0	9.1
	14	6.1	7.0	7.3	7.2	7.2		14	6.0	6.8	7.3	7.3	7.4
No.5 ~ No.8 間	63	3.3	4.9	6.1	6.6	6.8	No.21 ~ No.24 間	63	4.9	6.1	7.1	7.7	7.9
	0	4.1	5.5	6.2	6.0	6.0		0	4.2	5.0	5.6	5.0	5.7
	7	7.5	8.2	8.7	8.7	8.6		7	7.6	8.3	8.6	8.8	8.8
No.9 ~ No.12 間	14	6.3	7.2	7.3	7.4	7.4	No.25 ~ No.28 間	14	5.3	6.7	7.2	7.1	7.1
	63	4.6	5.9	6.5	7.0	7.3		63	4.2	6.1	7.0	7.7	7.6
	0	4.7	5.7	6.0	6.1	6.6	No.29 ~ No.32 間	0	4.0	5.0	5.6	5.0	5.7
No.13 ~ No.16 間	7	7.3	8.2	8.5	8.8	8.9		7	7.1	8.0	8.5	8.9	8.9
	14	6.1	6.5	7.2	7.5	7.4		14	5.8	6.6	7.2	7.6	7.7
	63	4.5	6.1	6.8	7.2	7.7		63	4.6	6.5	7.2	7.7	8.2
	0	4.4	5.2	5.7	5.7	5.9		0	4.2	4.8	5.4	4.7	5.2
	7	6.7	8.0	8.5	8.5	8.4		7	7.0	8.1	8.7	9.1	9.1
	14	5.1	6.1	6.6	7.1	7.2		14	5.8	7.0	7.2	7.1	7.3
	63	4.3	6.1	6.9	7.3	7.5		63	4.3	6.0	7.1	7.8	7.9

*1 測定材齢は、湿潤養生開始日(湿潤養生前)を材齢0日、湿潤養生終了時を材齢7日、湿潤養生終了後7日を材齢14日、湿潤養生終了後56日を材齢63日とした。

キーワード 電磁波レーダ法、かぶり厚さ、含水率、比誘電率、アンテナ周波数

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 (株)熊谷組 技術研究所 TEL 03-3235-8723

3. 実験結果

表3に含水率測定結果を、図1に表面からの距離と含水率の関係(全データの平均)を示す。また、測定材齢(湿潤養生の方法)は、表3の*1に詳細を示した。含水率は、測定位置による差異はほとんどなく、湿潤養生終了後の日数の経過に伴い低くなる傾向を示した。測定位置による影響が少ないため以下では、全データの平均値により傾向を示す。湿潤養生前(測定材齢0日)および湿潤養生終了時(測定材齢7日)の含水率の変化は、湿潤養生前の表面(0~1cm)で約4%、内部(4~5cm)で約6%であったのに対して、湿潤養生終了時の表面(0~1cm)で約7%、内部(4~5cm)で9%と全体的に3%程度高くなった。湿潤養生終了後の含水率は、湿潤養生終了後の乾燥に伴い表面(0~1cm)では低下するが、内部(4~5cm)では湿潤養生終了後7日(測定材齢14日)までは約2%は低下したが、湿潤終了後56日(測定材齢63日)では湿潤終了後7日と同等であった。

図2に、実かぶり厚さと比誘電率の関係を示す。比誘電率は、計測器Aが6~12、計測器Bが8~14、計測器Cが5~11の範囲で、湿潤養生終了時が最も大きく、湿潤養生終了後の乾燥に伴い小さくなった。また、全ての計測器において実かぶり厚さが小さくなるにつれて、ばらつきが大きくなる傾向にあり、計測器Aおよび計測器Cの25mm以下では、特にばらつきが大きくなった。実かぶり厚さが小さくなるに伴う比誘電率は、計測器Aおよび計測器Cは、実かぶり厚さが小さくなるに伴い同等もしくは小さくなるが、計測器Bでは実かぶり厚さが小さくなるのに伴い大きくなった。

図3に、含水率(表面0~1cm, 内部4~5cm, 0~5cmの平均)と比誘電率の関係を示す。比誘電率は、全ての計測器において、含水率の増加に伴い比誘電率が大きくなる傾向が認められた。0~5cmの平均含水率と比誘電率の関係を示した場合における傾きは、計測器Aで0.58, 計測器Bで0.33, 計測器Cで0.31と計測器により異なる結果となった。本実験で含水率と比誘電率の関係を示したが、両者の関係はばらつきが大きいので、現状では含水率より比誘電率の推定は困難であると考えられる。今後は、計測器や鉄筋の径、かぶり厚さを限定した場合に比誘電率の推定が可能であるか検討する予定である。

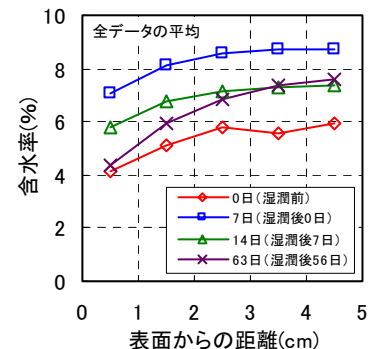


図1 表面からの距離と含水率の関係(全データの平均)

4. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- (1) 含水率は、測定位置による差異はほとんどなく、湿潤養生終了後の日数の経過に伴い低くなる傾向を示した。
- (2) 比誘電率は、湿潤養生終了時が最も大きくなり、その後の乾燥に伴い小さくなった。また、実かぶり厚さ25mm以下ではばらつきが大きくなった。
- (3) 含水率と比誘電率の関係は、全ての計測器において含水率の増加に伴い比誘電率は大きくなった。

【参考文献】

- 1) (社)日本非破壊検査工業会編：コンクリート中の配筋検査講習会テキスト，第4版，2008年4月

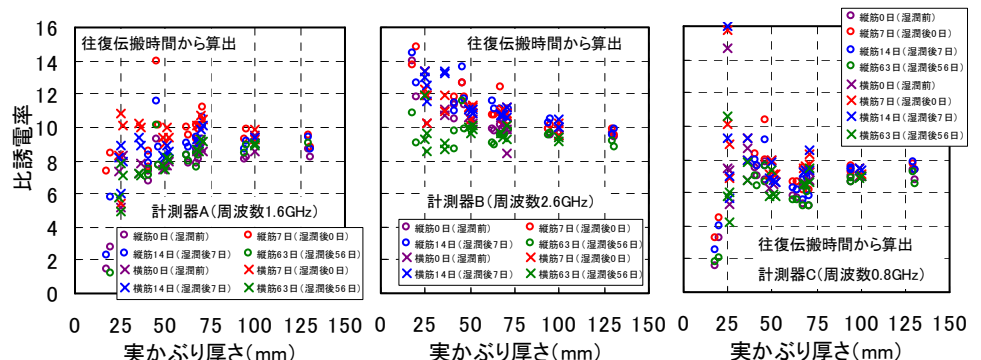


図2 実かぶり厚さと比誘電率の関係

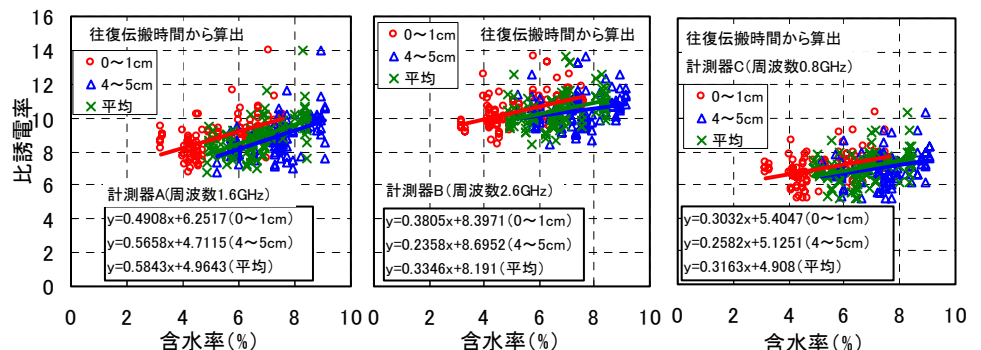


図3 含水率と比誘電率の関係