

# 電磁波レーダ法による

## 比誘電率分布（鉄筋径を用いる方法）およびかぶりの求め方（H19 修正）

### 概要

この方法は、測定した結果をエクセルに入力し、土研がホームページ上で公開し提供するソフトによって計算することを前提にしている。

### 1. 適 用

電磁波レーダによってかぶりを求める際、鉄筋径を用いて比誘電率分布を求める方法を示す。

その比誘電率を用いてかぶりの補正值<sup>(註1)</sup>を求める方法を示す。

注 1 かぶりの補正值：比誘電率（分布）を求め、その比誘電率（分布）によってかぶりの測定値<sup>(註2)</sup>を補正することによって得られる、最終的に求めるべきかぶり

注 2 かぶりの測定値：比誘電率を適当に設定して装置を走査することによって得られるかぶり

### 2. 比誘電率分布を求める手順

#### 2.1 前 提

鉄筋径を用いて比誘電率分布を求めるに当たって、次の2点を仮定している。

- ① 鉄筋径は既知である。
- ② 図1の縦筋と横筋は緊結されている。

よって、①については、事前に使用されている鉄筋（径）が設計どおりであることを確認しておく。

②については、鉄筋が緊結されていることを確認しておく。

ことを前提に、6ページの【解説】に示す方法で比誘電率分布を計算している。

#### 2.2 比誘電率を求める位置の選定

かぶりを測定する範囲の、中央付近の縦筋、横筋の相隣る2本ずつを選定する。

#### 2.3 測定手順

- ① レーダ装置の比誘電率を設定し、図1のように縦、横を走査し、かぶりを求める。
- ② 比誘電率の設定値を変え、再度かぶりを測定する。
- ③ 少なくとも上記の操作を3回行う。
- ④ 設定する比誘電率は、装置の設定できる最大、最小、中間の3回を原則とする。

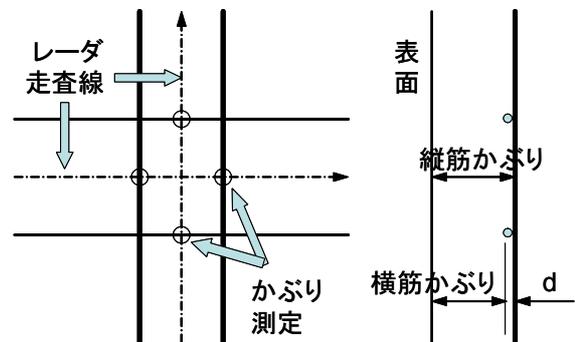


図1 レーダの走査方法

#### 2.4 比誘電率の計算方法

土研作成のソフト Microsoft Excel のブック「解析プログラム（プロテクト）」[kaburi.xls]または「解析プログラム（係数、ノンプロテクト）」[kaburi2.xls]内の「比誘電率の測定」ワークシートによって計算する。

入力する箇所は黄色いセルであり、青いセルは解析結果が自動的に入力される(図2参照)。プロテクトのかかっているプログラムは、黄色いセル以外は保護されているため、利用者側での変更は出来ない。ノンプロテクトのものについては、計算式の入っているセルの扱いは注意されたい。

比誘電率を測定するに当たって、測定結果を入力する前に、2.1の②の仮定がほぼ成り立っているかどうかを確認する。

確認する方法は、比誘電率  $\epsilon = 8$  程度を設定して測定した時、縦筋と横筋のかぶりの差が横筋の径にほぼ一致しているかどうかを確認する。

かぶりの差が、横筋の径～横筋の径+6mm程度の間に入っていれば、以下の測定を行なってもよい。

横筋の径よりも 6mm 以上大きい場合や、横筋の径よりも小さい場合は、再度かぶりの測定結果に間違いがないかどうかを確認する。間違いなければ、その測定結果を使用してはならない。

測定結果が使用できない場合、ほかの位置で、再度 2.3 の測定を行い、同様に測定結果の確認を行い、横筋の径～横筋の径+6mm 程度の間に入っていることを確認できた結果を用いて、以下の手順で比誘電率を計算する。

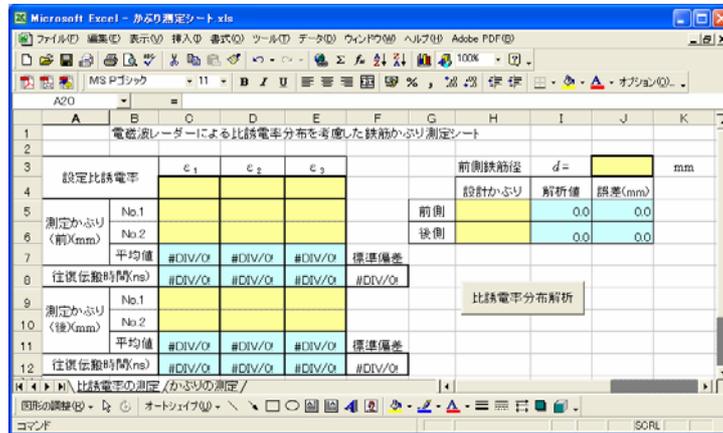


図2 かぶり測定シート 入力画面

- ① 2.2、2.3 の手順に従い測定した各比誘電率の設定値と、そのときのかぶりの測定結果を入力する。前側に配置された鉄筋(図1の横筋かぶり)を「測定かぶり(前)」の欄に、その鉄筋と緊結されている後側の鉄筋のかぶり(図1の縦筋かぶり)を「測定かぶり(後)」の欄に入力する。隣り合う鉄筋のかぶりの読みはそれぞれ No.1、No.2 に入力する(平均値は自動的に計算される。)

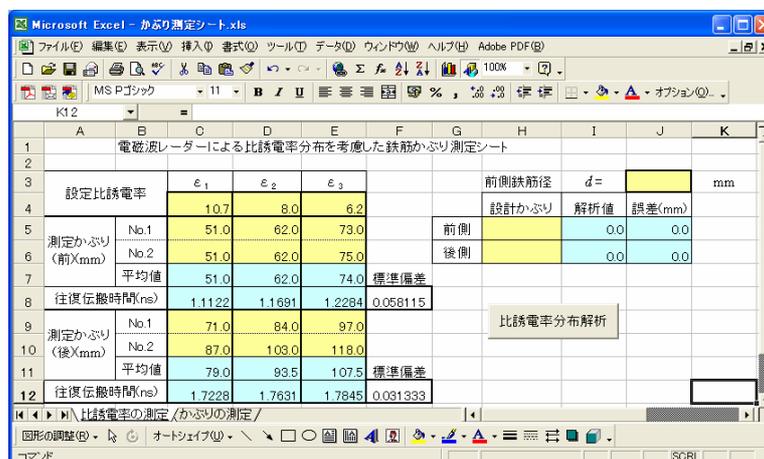


図3 測定結果入力状況

新たに掲載した「解析プログラム(係数、ノンプロテクト)」を用いると、13～16行に解析結果(係数 a、b、c、D)が表示される。この係数を、6ページの【解説】の式(2)に代入すれば、かぶりの補正に用いている比誘電率分布が得られる。

- ② 各測定かぶりのデータを入力すると、往復伝搬時間が得られる。その結果に大きなばらつきがない(規定値内に入っている)ことを確認する。既往の実験結果から、標準偏差が0.08nsを超える場合標準偏差の欄が赤くなり注意を促す。(図4参照)

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

設定比誘電率	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	前側鉄筋径	d =	mm	
	10.7	8.0	6.2	設計かぶり	解析値	誤差(mm)	
測定かぶり (前)(mm)	No.1	51.0	62.0	73.0	前側	0.0	0.0
	No.2	51.0	62.0	80.2	後側	0.0	0.0
	平均値	51.0	62.0	76.6	標準偏差		
往復伝搬時間(ns)		1.1122	1.1691	1.2715	0.080768		
測定かぶり (後)(mm)	No.1	71.0	84.0	97.0	比誘電率分布解析		
	No.2	87.0	103.0	118.0			
	平均値	79.0	93.5	107.5	標準偏差		
往復伝搬時間(ns)		1.7228	1.7631	1.7845	0.031333		

図4 往復伝搬時間がばらついた場合

- ③ ばらつきが大きい(規定値内に入っていない)場合には再度測定し、同様の操作を繰り返す。  
 ④ 設計図書から前側の鉄筋の鉄筋径を入力する。前側及び後側の各鉄筋のかぶりも事前に分かる場合は入力する。  
 ⑤ 「比誘電率分布解析」ボタンをクリックすると解析値の欄に数値が入り、比誘電率を測定した箇所のかぶりの補正値が求められる。

The screenshot shows the same Excel spreadsheet with updated data:

設定比誘電率	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_3$	前側鉄筋径	d =	29	mm	
	10.7	8.0	6.2	設計かぶり	解析値	誤差(mm)		
測定かぶり (前)(mm)	No.1	51.0	62.0	73.0	前側	71.5	70.8	0.7
	No.2	51.0	62.0	75.0	後側	101.6	99.8	1.8
	平均値	51.0	62.0	74.0	標準偏差			
往復伝搬時間(ns)		1.1122	1.1691	1.2284	0.058115			
測定かぶり (後)(mm)	No.1	71.0	84.0	97.0	比誘電率分布解析			
	No.2	87.0	103.0	118.0				
	平均値	79.0	93.5	107.5	標準偏差			
往復伝搬時間(ns)		1.7228	1.7631	1.7845	0.031333			

図5 解析結果

### 3. かぶりの補正値の求め方

土研作成のソフト Microsoft Excel のブック「解析プログラム (プロテクト)」または (係数、ノンプロテクト) 内の「かぶりの測定」ワークシートによって計算する。測定値は一つのシートで 100 件の測定値を解析できる。黄色に着色されていない工事名及び摘要欄等は計算に使用しないため自由に入力できる。

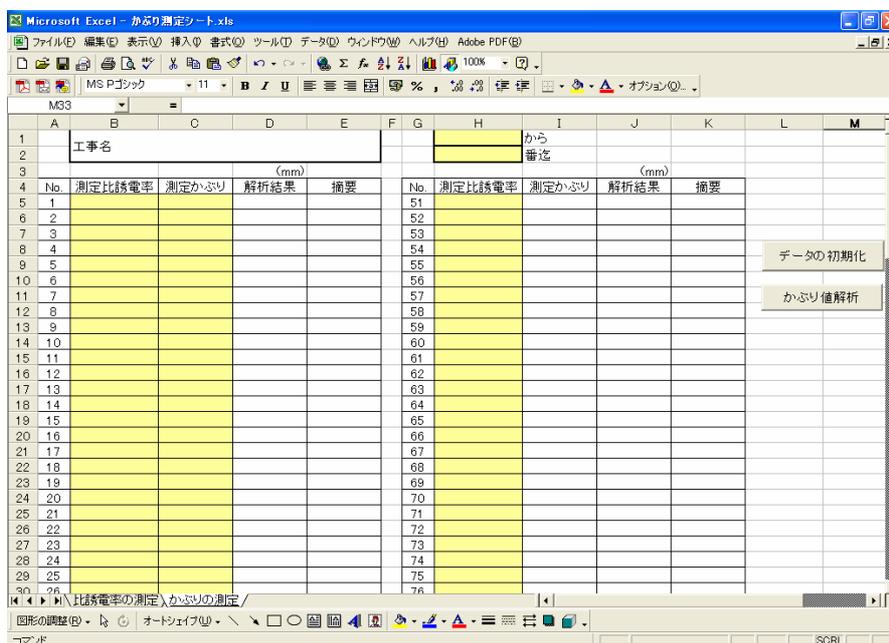


図6 かぶりの測定 ワークシート外観

かぶりを測定した時に設定した比誘電率を黄色のセルに入力する。データの入った測定番号を入力し「かぶり値解析」ボタンをクリックすると、2.4 で求めた誘電率分布によって補正されたかぶりの補正値が表示される。

「データの初期化」ボタンをクリックすると入力及び解析データを一括で消去でき、かぶりの測定ワークシートを初期状態に戻すことができる。

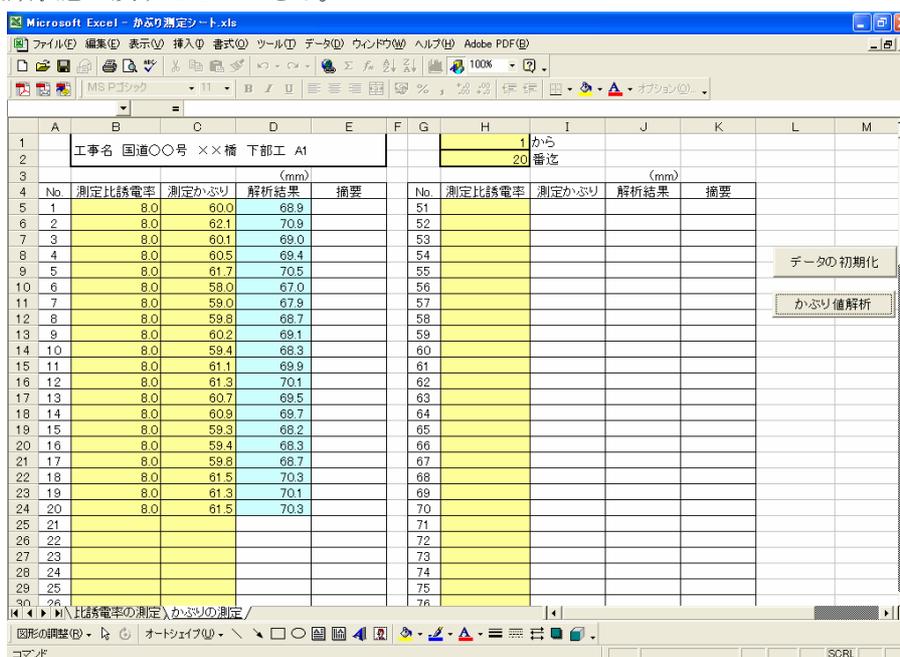


図7 かぶり値解析の結果

#### 4. 利用にあたっての注意

このソフトはMicrosoft Excel 上のマクロ機能を利用しているため、マクロ機能を無効にする処理をすると解析機能が利用できない。

データの保存等の為、各ファイル及びワークシートは名前等を適宜変更して保存は可能だが、各種ボタンをクリックする操作(解析作業)は必ずワークシート名をそれぞれ「比誘電率の測定」、「かぶりの測定」として実行しないとエラーとなるので注意が必要である。

測定データ(かぶり、比誘電率等)及び鉄筋径等のデータに入力ミス等があると正しい補正値が得られないばかりか、妥当な解析値が得られないために、プログラムがエラーを出す場合があるので、データの入力には十分に気を付ける事。

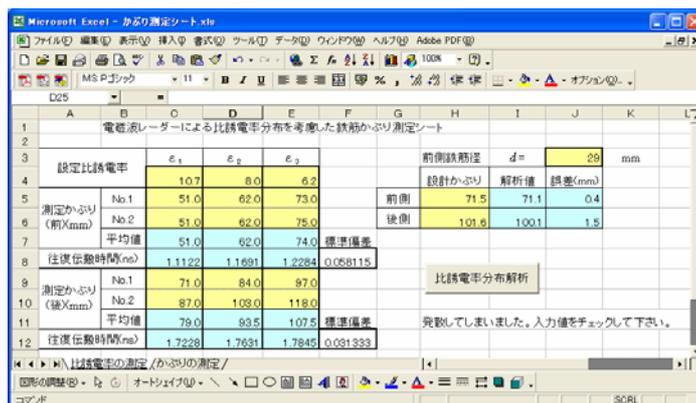


図8 エラー発生画面

#### 5. 著作権等

- ・この解析プログラムの著作権は、独立行政法人土木研究所が有します。
- ・この解析プログラムはどなたでも無料で使用することができます。ただし、この解析プログラムの使用に起因するいかなる事態にも独立行政法人土木研究所は責任を負わないものとします。
- ・この解析プログラムは、内容の改変等が無くかつ無償で行う場合に限り、自由に配布することができます。

##### <連絡先>

この分析シートに関するお問い合わせは、以下にお願いします。

〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6

独立行政法人土木研究所

技術推進本部構造物マネジメント技術チーム

担当：森濱 和正

TEL：029-879-6761

FAX：029-879-6799

E-mail：kmoriha@pwri.go.jp

【解説】比誘電率、かぶりの補正值の計算方法

2.4 について

各比誘電率設定値のときのかぶりから、鉄筋までの往復伝搬時間を式(1)によって求め、測定結果に大きなばらつきがないかどうかを確認する。

$$T = \frac{2D'\sqrt{\epsilon_0}}{C} \quad (1)$$

ここで、 $T$ : 電磁波往復反射時間( $\times 10^{-9}$ s),  $D'$ : 設定した比誘電率でのかぶり測定値(mm),  $\epsilon_0$ : 測定時に設定したコンクリートの比誘電率(10.7, 8, 6.2),  $C$ : 空気中での電磁波速度( $3 \times 10^{11}$ mm/s)である。

コンクリート内部の比誘電率分布は、表面からの距離が深くなるほど大きくなり、しだいに一定値に収束することから、コンクリート内部の比誘電率の分布は、図2および式(2)のように仮定できる。

$$\sqrt{\epsilon} = \frac{x}{\frac{1}{a} + \frac{x}{c-b}} + b \quad (2)$$

ここで、

$\epsilon$ : 比誘電率

$x$ : コンクリート表面から内部までの距離(mm)

$a, b, c$ : パラメータであり、 $a$ は $x=0$ のときの接線の傾き、

$b$ は $x=0$ のとき(コンクリート表面)の比誘電率、 $c$ は $x=\infty$ のときの比誘電率を表す係数である。

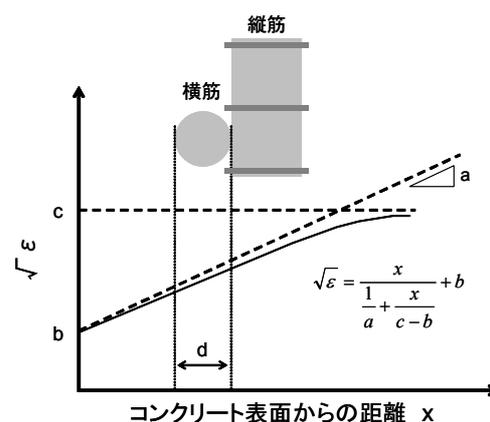


図2 比誘電率分布の仮定

電磁波の往復反射時間とかぶりの関係は、式(3)から式(4)のように示される。

$$\frac{CT}{2} = \int \sqrt{\epsilon} dx \quad (3)$$

$$\frac{CT}{2} = cx - \frac{(b-c)^2}{a} \ln(ax - b + c) \quad (4)$$

式(4)の $T$ に $\Delta T$ を、 $x$ に $(D+d)$ を代入して回帰することにより、係数 $a, b, c, D$ が求められ、比誘電率の分布が求められる。

ここに、

$\Delta T$ : 各設定比誘電率のときの縦筋と横筋までの往復反射時間の差

$D$ : 横筋までのかぶりを表す係数、 $d$ : 横筋の径

3.について

かぶりの補正值は、次のようにして求められる。

設定比誘電率とかぶりの測定値を入力すると、式(1)によって往復反射時間 $T$ が求められる。

$T$ と2.4で求めた $a, b, c$ を式(4)に代入し、両辺が等しくなる $x$ を求めることにより、かぶりの補正值が求められる。