

非破壊試験によるコンクリート構造物中の
配筋状態及びかぶり測定要領(案)

平成17年5月

国土交通省大臣官房技術調査課

1. 適用範囲

この要領は請負者の施工管理（出来形管理）において、コンクリート構造物内部の鉄筋の配筋状態及びかぶりを対象として探査装置を用いた非破壊試験にて測定を行う場合に適用する。なお、対象構造物としては、当面、橋梁上・下部工（工場製作のプレキャスト製品は対象外）とする。

請負者は、発注者に段階確認を請求する場合は足場の存置に努めるものとする。

また、完成検査、中間技術検査等において、発注者から足場設置等の検査に必要な指示があった場合は検査できるように準備するものとする。

2. 測定の対象等

(1) 測定断面数及び測定箇所

対象構造物において、原則として表 1 に示す数の測定断面を設定し、各断面において、測定箇所を設定する。測定箇所は、1m 以上×1m 以上の範囲とし、

図 2 を参考として、応力が大きく作用する箇所や隅角部等施工に際してかぶり不足が懸念される箇所、コンクリートの剥落の可能性がある箇所などから選定するものとする。ただし、測定断面数や測定範囲等について、対象構造物の構造や配筋状態等により上記により難しい場合は、発注者と協議の上変更してもよい。

表 1 対象構造物と測定断面数等

対象構造物	測定断面数	測定箇所	試験方法
橋梁上部工	一径間あたり 2 断面	図 2 参照	電磁誘導法
橋梁下部工	柱部 3 断面 張り出し部 2 箇所	図 2 参照	電磁波レーダ法

・構造物の条件、測定装置の性能等を考慮して試験方法を選定することとするが、試験方法の特性及び想定される設計かぶりより、上部工は電磁誘導法、下部工は電磁波レーダ法を使用することを原則とする。

・測定の時期は、現場の工程上無理の無い時期を選定するものとするが、電磁波レーダ法については、コンクリートの乾燥期間を可能な限り確保した上で測定を行うこと。

(2) 測定対象

配筋状態の測定は、鉄筋間隔、測定長さあたりの本数(図4参照)を対象とする。かぶりの測定は、設計上最外縁の鉄筋(上部工のスターラップ、下部工の帯鉄筋等)を対象に行うこととする。なお、鉄筋の腐食によるコンクリート表面の剥離、崩落を防止する観点から帯鉄筋等がある場合は、同様にそれらのかぶりも測定する。

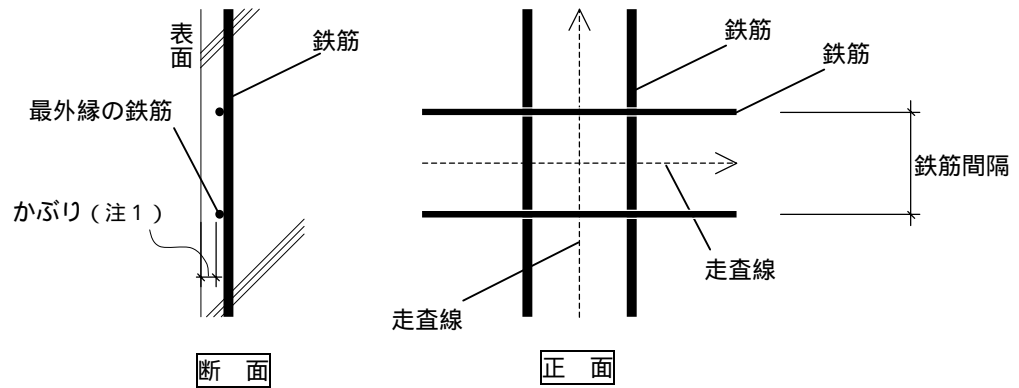


図1 測定対象

注1)「かぶり」は、各示方書等において以下の様に記述されている。

- ・ 共通仕様書：コンクリート表面から鉄筋までの最短距離
- ・ 道路橋示方書：鋼材の最外面からコンクリート表面までの距離、すなわちかぶりの最小値
- ・ コンクリート示方書：かぶりの最小値

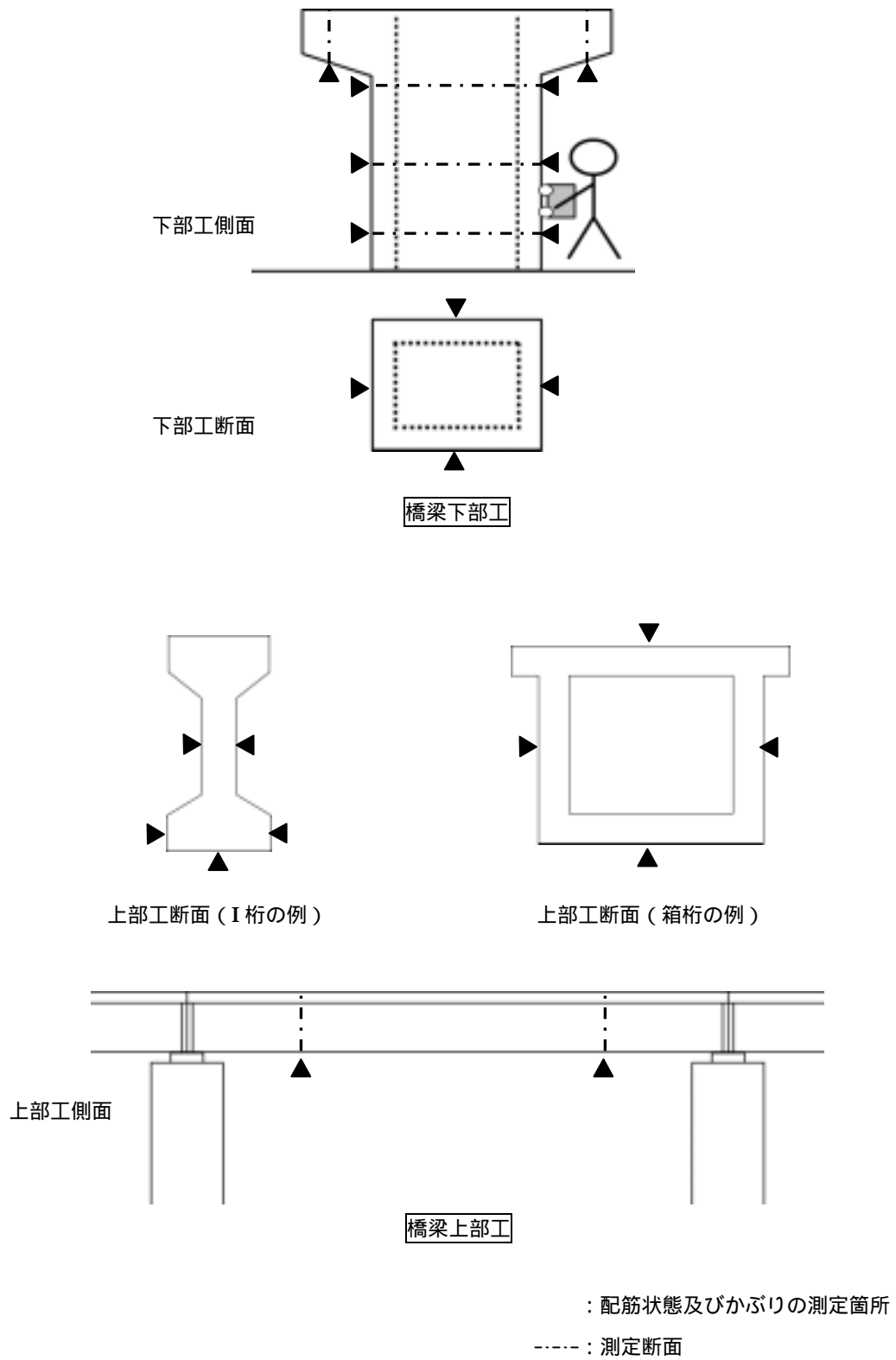


図 2 配筋状態及びかぶりの測定箇所 (例)

3. 使用機材

(1) 校正

探査装置は、メーカー等により校正された機材を用い、使用に際して校正記録を確認するものとする。

(2) 使用機材

探査装置は、表 2 の性能を満たすものを使用すること。

なお、記録装置は、得られたデジタル又はアナログ出力を記録できるものとする。

表 2 探査装置の性能（電磁誘導、電磁波レーダ法共）

項 目	性能（電磁誘導、レーダ共）	
探査対象の鉄筋の種類	呼び名 D10～D51（注 2）	
距離の分解能（最小の読み）	5mm 以下	
鉄筋位置（間隔）の測定精度	±10mm 以下	
判別可能な近接する鉄筋の中心間距離	設計かぶり 75mm 未満の場合	75mm 未満
	設計かぶり 75mm 以上の場合	電磁誘導：設計かぶり (mm) × 1.5 以下 レーダ：設計かぶり (mm) 以下
かぶりの分解能（最小の読み）	2～3mm 以下	
かぶりの測定精度	適用範囲内において、±5mm 以下	
データの記録	測定結果をデジタルで記録できること、記録容量（注 3）は、1 日の結果を記録できること。	

注 2) 当該工事で使用する鉄筋径が探査可能であれば可

注 3) 装置内の記録だけでなく、データをパソコンに転送、メモリーカードなどに記録できる機能でも良い。

4. 測定者

本測定に従事する者は、非破壊検査技術に関する基礎的な知識を有するものとし、使用する探査器を熟知し、測定結果の判定を適正に行える知識と経験を有する者とする。

5. 事前調査

探査試験を開始する前に、探査箇所の設計図及び完成図等の既存資料より、測定対象のコンクリート構造物の設計諸元（形状、鉄筋径、かぶり、間隔等）を事前に確認する。

6. 測定方法

(1) 電磁波レーダ法の比誘電率分布及びかぶりの求め方

電磁波レーダ法による測定結果は、測定対象物の比誘電率による補正が必要となるため、対象構造物を破壊せずに求めることを原則として比誘電率を求める。具体的方法については、別紙「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（案）」によることとするが双曲線法等実績のある方法を用いても良いものとする。

(2) 測定面の処理

コンクリート構造物は測定が良好に実施出来るよう、コンクリート構造物の汚れ等測定を妨げるものが存在する場合には、これらを除去する等、測定面の適切な処理を行う。

(3) 探査試験

コンクリート構造物中の配筋状態及びかぶりの探査は、走査線上に探査装置を走査することによって行う。以下に基準線、走査線の設定から測定までの手順を示す。なお、各段階において参照する図については、下部工柱部を想定して作成している。

1) 基準線、走査線の設定及び鉄筋位置のマーキング

探査面（コンクリート表面）の探査範囲（1m×1m以上）内に予想される鉄筋の軸方向に合わせて、直交する2本の基準線（X、Y軸）を定めマーキングする。次に、基準線に平行にX軸、Y軸それぞれ測定範囲の両端及び中央に走査線3ラインを格子状にマーキングする。マーキングされた走査線上を走査することにより配筋状態の探査を行い、鉄筋位置のマーキングを行う（図3参照）。

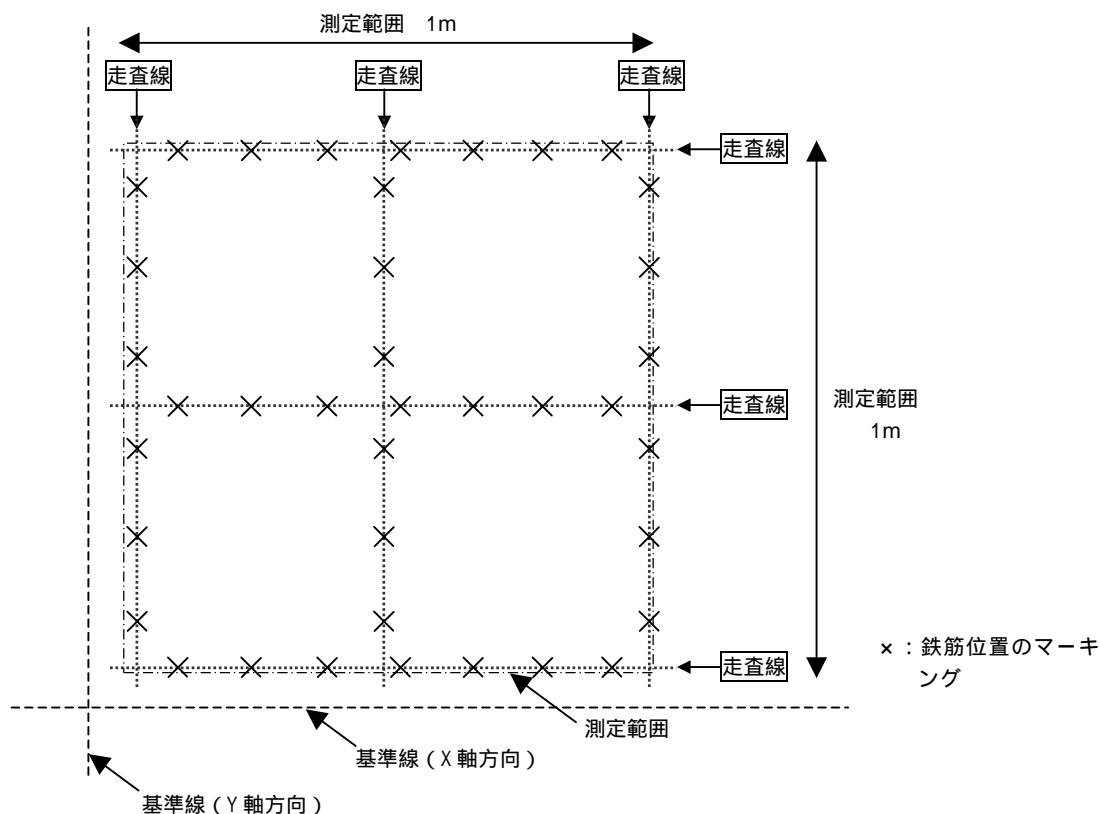


図3 配筋状態の測定（鉄筋位置のマーキング）

2) 鉄筋位置の作図及びかぶり走査線の設定

鉄筋位置のマーキング 3 点を結び、測定面に鉄筋位置を示す。作図された鉄筋位置により配筋状態を確認した後、かぶりの測定に際し、鉄筋間の中間を選定し、測定対象鉄筋に直交する 3 ラインのかぶり測定走査線を設定する (図 4 参照)。

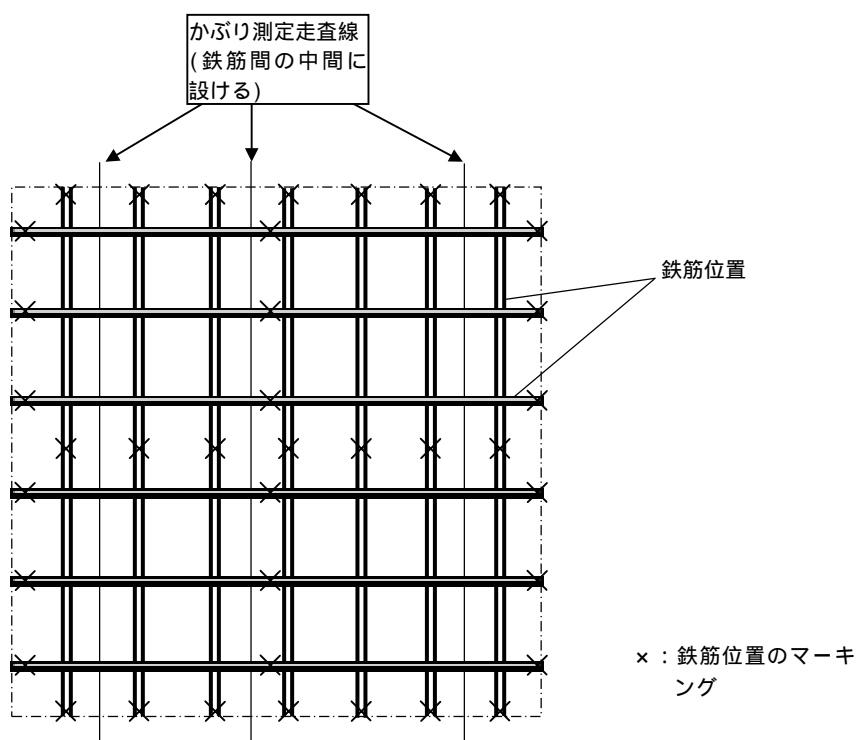


図 4 鉄筋位置の作図及びかぶり走査線の設定

3) かぶりの測定

かぶり測定走査線にて測定を行い、全ての測点の測定結果について表 4 の判定基準により適否の判断を行う (図 5 参照)。また、帯鉄筋等がある場合は、それらのかぶりを測定、もしくは、既知の鉄筋径より推定し、その値が表 4 の判定基準を満たすこととする。

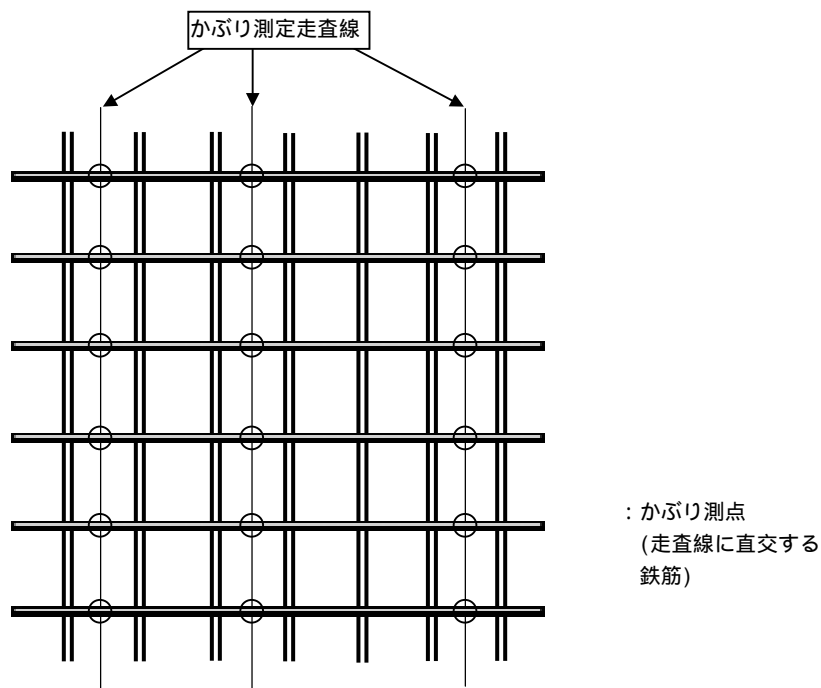


図 5 かぶりの測定

7. 規格値

配筋状態及びかぶりの規格値は、出来形管理基準において表 3 の様に示されている。本試験においては、これらの規格値と測定による誤差を考慮し、表 4 により適否の判定を行うものとする。なお、判定を行う際の測定値は、単位は mm、有効桁数は小数点第 1 位とし、小数点第 2 位を四捨五入するものとする。

適否の判断において不良となった測点については、当該測点から鉄筋間隔程度離して両側に走査線を設定し、再測定を行い適否の判断を行う。再測定において 1 測点でも不良となった場合は、不合格とする（図 6 参照）。

表 3 出来形管理基準による規格値

項目	規格値
配筋状態（鉄筋の測定中心間隔の平均値）	設計間隔 ±
かぶり	設計値 ± かつ最小かぶり以上

: 鉄筋径

表 4 非破壊試験結果の判定基準

項目	判定基準
配筋状態（鉄筋の測定中心間隔の平均値）	規格値 ± 10mm
かぶり	(設計値 +) × 1.2 以下 (設計値 -) または最小かぶり × 0.8 以上

: 鉄筋径

8. 報告

この非破壊試験は、工事目的物の出来形及び品質規格の確保を図ることを目的として請負者が実施するものであり、測定方法や測定箇所等について施工計画書に記載し提出するとともに、測定結果は、別添様式 1～3 に記入の上、測定後随時及び工事完成検査時に提出・報告を行うこと。

図 6 に鉄筋探査の流れを示す。

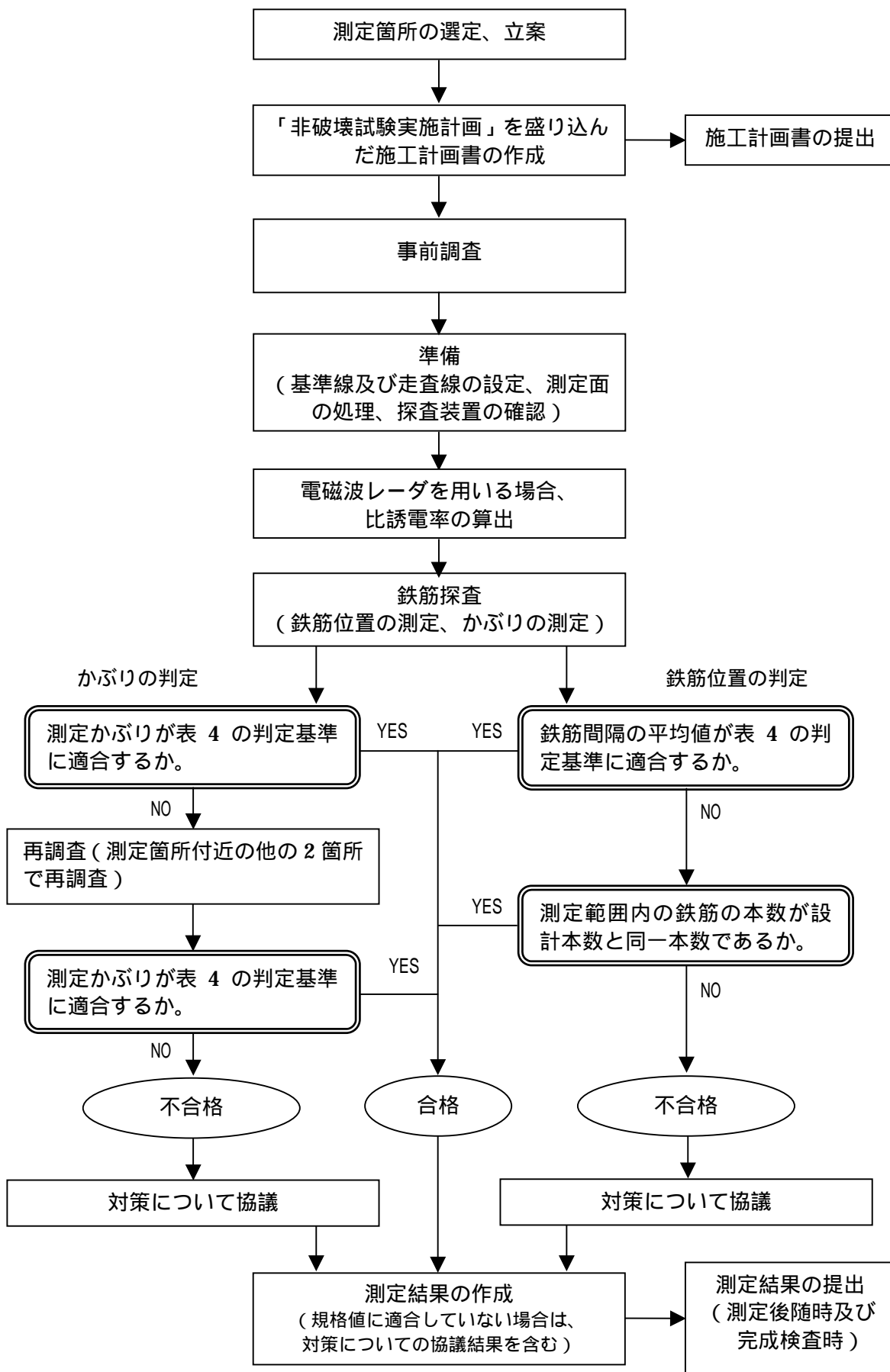


図 6 鉄筋探査の流れ

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（案）

この方法は、測定した結果をエクセルに入力し、独立行政法人土木研究所（以下「土研」とする）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^(注1)を求める方法を示す。かぶりの測定値^(注2)の求め方は、「非破壊試験によるコンクリート構造物中の配筋状態及びかぶり測定要領(案)」（以下、「鉄筋測定要領(案)」とする）による。

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^(注2)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

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。

鉄筋が緊結されていることを確認しておく。

基本的にコンクリートの湿潤状態の違いによって、比誘電率が変化することから、測定箇所毎に比誘電率分布を確認する。

2.2 比誘電率を求める位置の選定

鉄筋測定要領（案）によって測定する範囲の、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

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。

比誘電率の設定値を変え、再度かぶりを測定する。

少なくとも上記の操作を3回行う。

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。

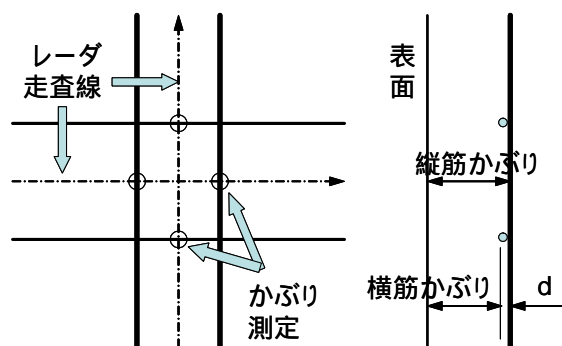


図1 レーダの走査方法

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[かぶり測定シート.xls]内の「比誘電率の測定」ワークシートによって計算する。

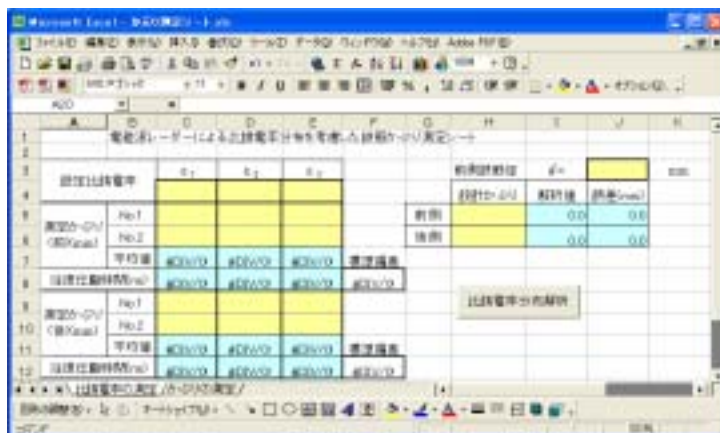


図2 かぶり測定シート 入力画面

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。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。(図2 参照)

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。)

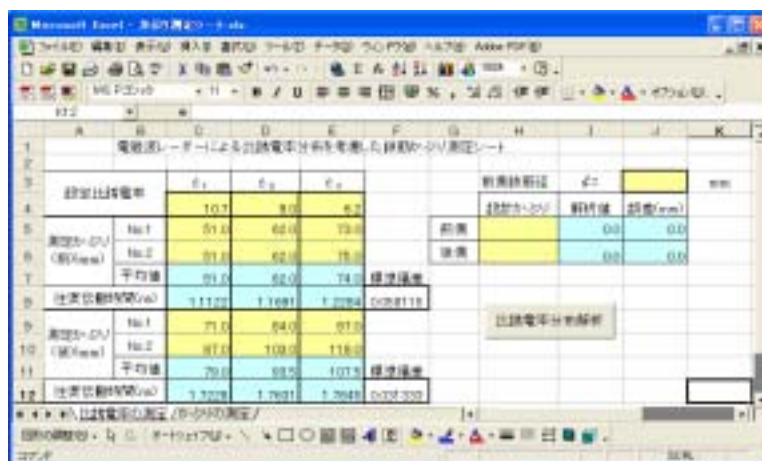


図3 測定結果入力状況

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)

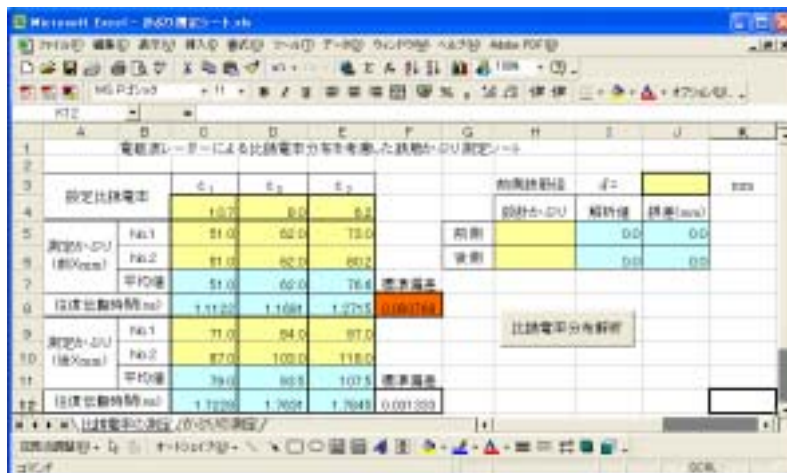


図4 往復伝搬時間がばらついた場合

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直す(なお、操作を繰り返してもばらつく場合には、対象の鉄筋をずらして測定する)。

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。

「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值が求められる。



図5 解析結果

3. かぶりの補正值の求め方

土研作成のソフト Microsoft Excel のブック[かぶり測定シート.xls]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。

No.	誘電率比誘電率	測定位置	測定結果	補正
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				

図6 かぶりの測定 ワークシート外観

鉄筋測定要領（案）によって測定したときのかぶりと、そのとき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值が表示される。「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。

No.	誘電率比誘電率	測定位置	測定結果	補正
1	0.01	0.00	0.00	0.00
2	0.01	0.01	0.01	0.01
3	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.01	0.01	0.01	0.01
5	0.01	0.01	0.01	0.01
6	0.01	0.01	0.01	0.01
7	0.01	0.01	0.01	0.01
8	0.01	0.01	0.01	0.01
9	0.01	0.01	0.01	0.01
10	0.01	0.01	0.01	0.01
11	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.01	0.01	0.01	0.01
13	0.01	0.01	0.01	0.01
14	0.01	0.01	0.01	0.01
15	0.01	0.01	0.01	0.01
16	0.01	0.01	0.01	0.01
17	0.01	0.01	0.01	0.01
18	0.01	0.01	0.01	0.01
19	0.01	0.01	0.01	0.01
20	0.01	0.01	0.01	0.01
21	0.01	0.01	0.01	0.01
22	0.01	0.01	0.01	0.01
23	0.01	0.01	0.01	0.01
24	0.01	0.01	0.01	0.01
25	0.01	0.01	0.01	0.01

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「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

【解説】比誘電率、かぶりの補正値の計算方法

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。

$$T = \frac{2D'\sqrt{\varepsilon_0}}{C} \quad (1)$$

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)、 ε_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(3×10^{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。

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

ここで、

：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 $x=$ のときの比誘電率を表す係数である。

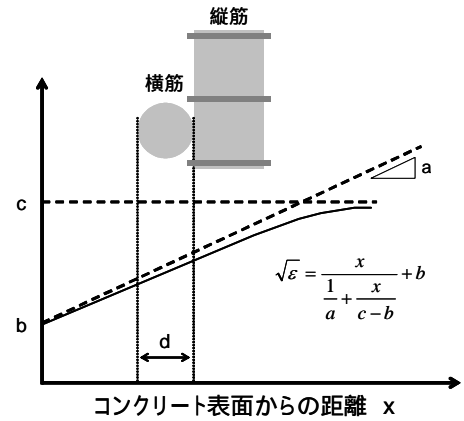


図2 比誘電率分布の仮定

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。

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

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

式(4)の T に 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、

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 : 横筋のかぶり

3.について

かぶりの補正値は、次のようにして求められる。

鉄筋測定要領（案）によって測定した結果であ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、かぶりの補正値が求められる。