

# 非破壊・微破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査方法の検討

森濱和正\*

表-1 研究対象とした検査項目と試験方法

検査項目			概観検査		詳細検査				点検 経年 変化		
			配筋 状態	内部 状態	かぶり 厚さ	コンクリート品質		内部 欠陥		部材 厚さ	
試験方法・機種						強度	緻密性				
非 破 壊 試 験	電 磁 波	レーダ	A	○	○	○			○	○	
			B	○	○	○			○	○	
			C	○		○					
		電磁誘導		○		○+径					○
	赤外線サーモグラフィ			○					○		
	電磁波 弾性波	パルス電磁力音響法				○				さび	
	弾 性 波	超 音 波	A				○	○	○	○	○
			B				○		○	○	
			C				○		○	○	
		衝 撃 弾 性 波	iTECS法 インパ外コ 表面2点法			○		○	○	○	○
打音法				○				○	○		
微 破 壊 試 験	表面 反発	機械インパルス法				○	○			○	
		リバウンドハンマ					○				
	内部 コア	小径 コア	φ25mm				○	○			○
			φ10mm				○				
外部	ボス供試体					○	○			○	

## 1. はじめに

非破壊・微破壊試験による新設コンクリート構造物の検査方法の確立、検査結果を初期値として点検にも適用できる方法の確立を目的に1999～2007年度の9年間、(社)日本非破壊検査協会、大学、多数の民間機関の参加により共同研究を行なったので、その成果の概要を紹介する。

これまでコンクリート構造物の検査は、外観、形状寸法以外構造物を直接行っていない。例えば、コンクリート

強度は、製造されたものが配合設計どおりの強度を有しているのかを確認するために一定条件のもとで検査されており、養生条件、環境条件などの異なる実構造物のコンクリート強度とは異なっている。耐久性に重要な鉄筋のかぶり厚さも、コンクリート打込み前には型枠と鉄筋の距離を確認しているが、コンクリート打込みにより鉄筋、型枠の移動、変形を生じるため、脱型後に確認することが必要である。

対象とした検査項目と試験方法は後述するとおり多岐にわたり、多くの実験を行なっているため、本文では、本研究の全体概要と、土研が主体となって実施した一部の成果の概要を紹介する。

## 2. 研究概要

### 2.1 検査項目と試験方法

研究対象とした検査項目と試験方法は表-1のとおりである。検査項目は、配筋状態・かぶり厚さ、コンクリートの強度と表層の緻密性、内部欠陥、部材厚さであり、主な項目を網羅している。また、点検を想定して経年変化についても測定を継続している。試験方法は、非破壊試験が7種類であり、レーダ、超

音波、衝撃弾性波は3機種ずつ、微破壊試験は4種類であり、小径コアは2種類である。本報告では、このうちレーダによる鉄筋かぶり厚さ、小径コアによるコンクリート強度について記述する。

### 2.2 研究手順

本研究は、基礎研究、試験方法の確立、検査方法の確立の順番で行なった。レーダによるかぶり厚さの測定を例に説明する。

まず、レーダによるかぶり厚さの測定原理は次のとおりである。

図-1のように発信アンテナからコンクリート内に電磁波を入射すると、コンクリートとは電氣的性質(比誘電率)の異なる鉄筋から反射し、受信アンテナで受信され、往復伝搬時間が測定される。かぶり厚さは式(1)によって求められる。

$$D = V \cdot T / 2 \tag{1}$$

ここに、D：かぶり厚さ (m)、V：コンクリート内を伝搬する電磁波速度 (m/s)、T：往復伝搬時間 (s) である。

電磁波速度Vは式(2)で表される。

$$V = C / \sqrt{\epsilon} \tag{2}$$

Study on inspection methods for structural concrete using non-destructive and semi-destructive testing

ここに、 $C$ ：真空中を伝搬する電磁波速度 ( $3 \times 10^8 \text{m/s}$ )、 $\epsilon$ ：比誘電率である。

式(2)からわかるとおり電磁波速度は比誘電率の関数である。比誘電率は、コンクリート中の含水率の影響を強く受けることが知られている。このため、かぶり厚さの測定精度を向上させるためには、様々な含水条件にあるコンクリートをふまえた電磁波速度の補正手法の確立が鍵となる。

このようなことから、本研究ではまず基礎研究として、コンクリート中の含水率と比誘電率の関係を小型供試体、大型供試体を用いた実験から求めた。

次に、かぶり厚さの推定方法を確立するために、比誘電率の推定方法、その推定結果からかぶり厚さ推定方法を提案し、大型供試体によって提案方法の妥当性を確認した。

検査方法を確立するため、実構造物による測定精度を確認し判定基準の設定、配筋状態の実態から測定位置などの設定を行なった。

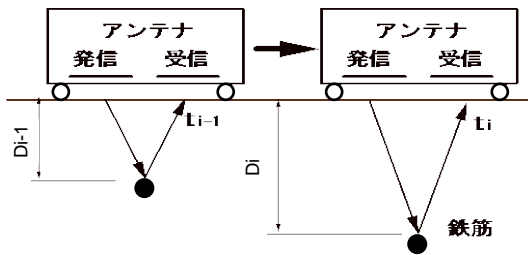


図-1 電磁波速度の求め方

### 2.3 実験に用いた供試体、構造物の概要

実験は、基礎的な研究のための小型供試体、検証のための実構造物を想定した大型供試体、精度確認などのために実構造物を用いて行なった。

具体的には、小型供試体では、コンクリート内部の含水状態、コンクリート強度、促進中性化試験、塩化物イオン浸透実験などを行なった。大型供試体では、壁、スラブと、これらを組み合わせたボックスカルバート状などの供試体を作製し、打設面、側面、底面からコンクリート強度、配筋・かぶり厚さ、内部に設けた欠陥などを測定した。また、高さ方向、表面から内部のコンクリート品質の変化などについて測定した。その後、 $\phi 100 \text{mm}$ コアなどを採取して提案した試験方法の妥当性を検討した。

構造物では、供試体で確立した試験方法が実構造物に適用可能か、あるいは非破壊・微破壊試験の後、コアを採取するなどして強度、かぶり厚さなどを実測し、精度の確認を行なった。実験した構造物は、橋梁上部工・下部工を中心に、耐震補強した下部工、

コンクリート舗装、ボックスカルバート、建物、合わせて20構造物である。検査方法の確立が主目的であることから新設構造物を重点に測定したが、点検にも適用可能かを確認することも重要な目的であることから、コンクリート打設から数ヶ月経過後～数10年供用中の構造物も数箇所含まれている。

### 3. 実験概要

2.2で例示したレーダによるかぶり厚さの測定方法と、小径コアによる強度試験の実験内容を簡単に紹介する。

#### 3.1 レーダによるかぶり厚さ測定方法の検討

##### 3.1.1 コンクリート内部の含水状態と比誘電率

比誘電率を測定するためにかぶり厚さを変化させた図-1のような供試体を作製した。同時に、コンクリート内部の含水率分布を測定するために塩ビパイプにコンクリートを打ち込んだ供試体も作製した。

含水率の測定結果は、図-2のように表面から乾燥するため、表面が小さく内部ほど大きくなり、内部ではほぼ飽和している。

図-1のようにして比誘電率を測定した結果は、図-3のように含水率の分布とほぼ一致しており、含水率の影響が大きいことがわかる。

##### 3.1.2 比誘電率の推定方法

比誘電率は、コンクリート表面から深さ方向に変化しており、かぶり厚さを精度良く求めるためには、かぶり厚さに応じた比誘電率を設定する必要がある。

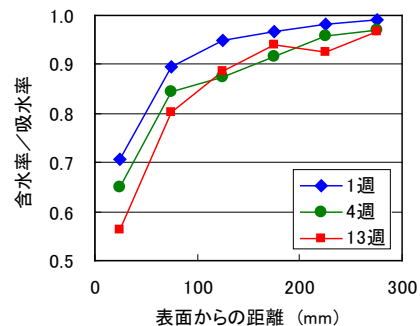


図-2 コンクリート内部の含水率分布

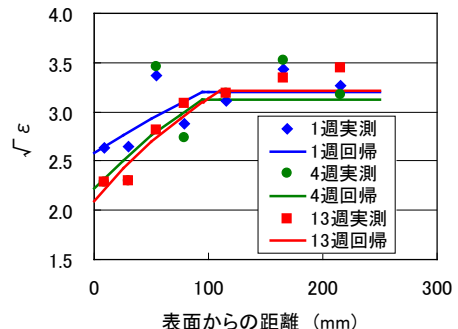


図-3 コンクリート内部の比誘電率分布

このようなことから、次のような比誘電率を推定する方法を提案した(図-4)。通常、鉄筋は格子状に配筋されており、本来、縦筋と横筋のかぶり厚さの差は表面に近い鉄筋径(図-4の場合、横筋の径)に一致するはずであるが、実際の測定結果はほとんどの場合異なる。この違いは比誘電率の違いと考え、横筋径に一致するように比誘電率を求める。また、比誘電率は含水率分布を考慮して式(3)(図-4の曲線)のような分布を仮定した。

$$\sqrt{\epsilon} = \frac{x}{\frac{1}{a} + \frac{x}{c-b}} + b \quad (3)$$

ここに、x: コンクリート表面からの深さ(mm)、a、b、c: 係数である。

比誘電率分布は、かぶり厚さxと電磁波の往復伝搬時間Tを数点測定し、式(4)に代入して両辺が一致するまで繰返し計算することによって求められる。

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

このとき、式(4)のTにΔTを、xに(D+d)を代入することによって係数a、b、c、Dが求められ、比誘電率分布が求められる。

ここに、ΔT: 縦筋と横筋までの往復反射時間の差、D: 横筋のかぶり厚さ、d: 横筋径である。

### 3.1.3 かぶり厚さの求め方

かぶり厚さは、式(4)に測定した往復反射時間Tを代入し、両辺が等しくなるまで繰返し計算することによって求められる。

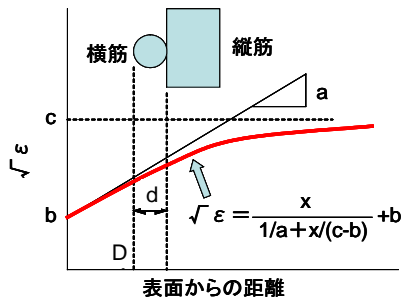


図-4 比誘電率分布の求め方

この方法は土木研究所のホームページに、エクセルの計算シートと合わせて掲載しているのので、詳細についてはそちらをご覧ください。

### 3.1.4 実構造物によるかぶり厚さ測定結果

橋梁下部工とボックスカルバートのかぶり厚さ測定結果と、測定後に小径コアを採取してかぶり厚さを実測した結果の関係を図-5および6に示す。

下部工の測定精度はほぼ±15%程度、ボックスカ

ルバートは±10%以内である。従来は、比誘電率を求める方法がなかったため標準的な値を使い測定誤差は20~30%であったが、本方法により半分程度に改善されている。

## 3.2 小径コアによる強度試験

小径コアによって強度試験を行なう場合、コア径φと強度の関係、粗骨材最大寸法(Gmax)の影響が問題となることから次の検討を行なった。

### 3.2.1 Φ、Gmaxの影響に関する実験

呼び強度18、30、45の3種類のコンクリートについて、800×800mm、厚さ200mmの供試体を作製した。Gmaxは、20mm、10mm、5mm(モルタル)である。材齢1週、4週、13週時にφ10mm、25mm、50mm、100mmのコアを採取し、強度試験を行なった。

コア径と強度の関係は、図-7のとおりコア径が小さくなるほど強度が大きくなっている。材料強度は、試験片が小さいほど強度が大きくなる「寸法効果」が知られており、コンクリートコアについても寸法効果が確認された。

図-8は、Gmaxの違いをモルタル強度で規準化した結果である。骨材強度がモルタル強度よりも大きい一般的な場合、コンクリート強度は粗骨材との界面の影響などから、モルタル強度よりも小さくなる

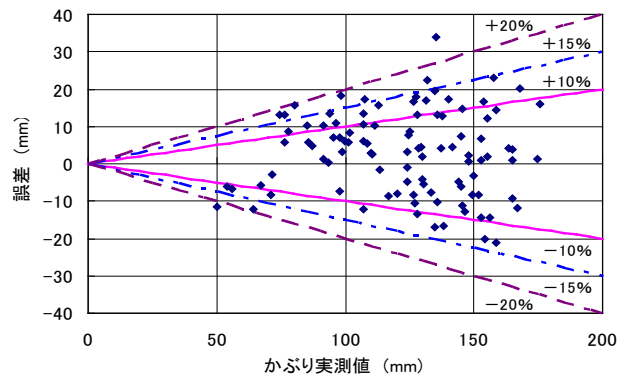


図-5 橋梁下部工のかぶり厚さ測定結果

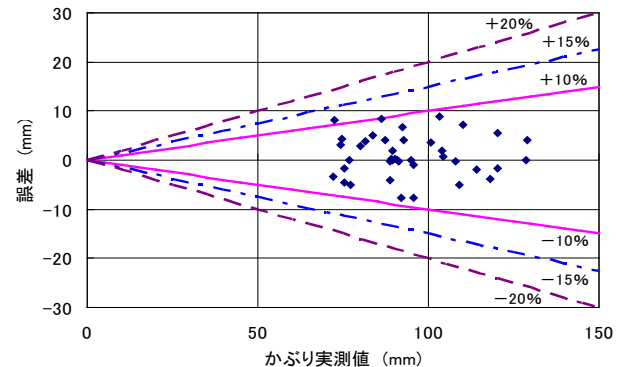


図-6 ボックスカルバートのかぶり厚さ測定結果

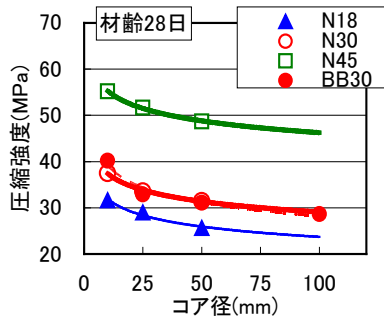


図-7 コア径と強度の関係

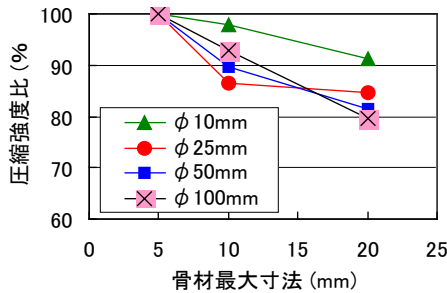


図-8 粗骨材最大寸法の影響

ことが知られており、図-8の結果もその傾向を示している。コア径と強度の関係は、φ100mmに対して50mm、25mmはほぼ一致しており、コンクリート強度が得られている。φ10mmの強度は、φ100mmの強度よりも大きくモルタル強度に近づいており、コア径が小さくなるとモルタル強度に近づいている。強度試験方法の詳細についても土研HPに掲載されているのでご覧いただきたい<sup>3)</sup>。

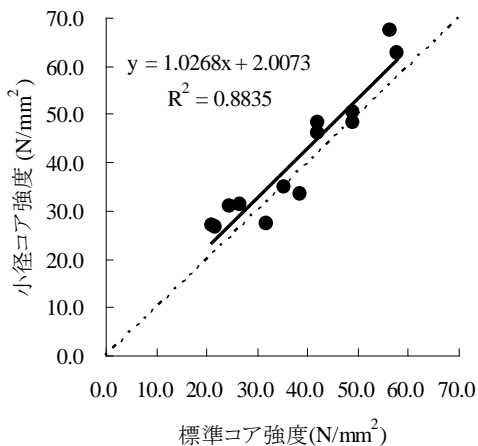


図-9 小径コア強度と標準コア強度の比較

### 3.2.2 実構造物による強度測定結果

実構造物から採取したφ25mmコアとφ100mm(標準)コアの強度試験結果の関係は図-9のとおりである。実構造物についても小径コア強度の方がわず

かに大きくなる傾向が確認された。

## 4. まとめ

最近、低入札などにより疎漏工事の増加が懸念される所であり、国土交通省では管理・検査強化の一環として本研究の成果が取り入れられている<sup>4,5)</sup>。現場での検査の実施に当たり、土木研究所はじめ関係機関では、測定技術者養成のため講習会を開催するなど、技術的にサポートしている<sup>6)</sup>。

本研究成果がコンクリート構造物の品質確保に役立つことを期待したい。

## 参考文献

- 1) 1999～2001年の成果は「非破壊試験によるコンクリート品質、厚さ、鉄筋かぶり・径の計測に関する共同研究報告書」(第268号)、2002～07年の成果は「非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究報告書(1)～(13)」にまとめられている。連番と報告書番号は、(1)～(5)は第299、300、309、314、315、316号、(7)第355号、(9)第373号、(10)第378号、以上は実験結果である。中間とりまとめを(6)第316号、最終成果として検査マニュアルおよび試験方法を、小径コア(8)第367号、ボス供試体(11)第379号、各種非破壊試験方法(12)第380号、配筋・かぶり厚さ(13)第381号にまとめている。
- 2) 土木研究所ホームページ：<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/conc-kaburi/conc-kaburi.html>
- 3) 土木研究所ホームページ：<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/conc-kyoudo/conc-kyoudo.html>
- 4) 国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekkei/pdf/180331-3.pdf>
- 5) 国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekkei/pdf/180925-1.pdf>
- 6) 菊地稔ほか：技術の規格化・基準化—コンクリートの品質確保技術とそのサポーター、土木技術資料、Vol.49、No.5、pp.48-51、2007

森濱和正\*



独立行政法人土木研究所つくば中央  
研究所材料地盤研究グループ基礎材  
料チーム総括主任研究員  
Kazumasa MORIHAMA