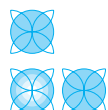


非破壊試験を活用した コンクリート構造物の管理・検査



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

もりはま かずまさ
森濱 和正



1. はじめに

非破壊試験により構造物を直接管理・検査する目的は、第一に新設構造物が要求性能を満足していることを確認することである。これまでは、プロセス検査が主流であり、構造物の性能を直接確認するものとはなっていない。第二の目的であり、今後実施が期待されていることとして、検査結果を初期値とし、その後も定期的に継続して測定することによりコンクリート構造物の維持管理が適切に行えるようになることである。筆者は、第二の目的こそ、非破壊試験を管理・検査に適用する最も重要なことと考えている。

国土交通省では、2005年度から配筋状態・かぶり、2006年度からコンクリート強度について、非破壊・微破壊試験による管理・検査の試行が行われており、試行実施の背景と、かぶりおよび強度の測定方法の概要を、すでに本誌2006年6月号で紹介している¹⁾。非破壊試験を導入することにより得られた効果や問題点などを、導入して2年経過したかぶりについて現地で測定した結果をもとに紹介する。

また、非破壊試験の導入の重要な目的は維持管理への適用にあることを前述した。非破壊・微破壊による強度試験方法は、耐久性評価も検討して

おり、その結果についても紹介する。

非破壊試験は、特別な技術を要するものが多く、技術の普及を図るためにも、測定技術者の養成が必要であり、関係機関の協力により講習会を開催していただいている。その概要も紹介する。

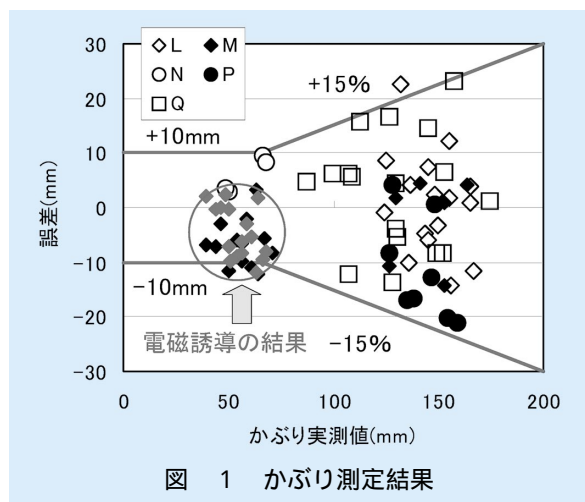
2. 非破壊試験の管理・検査への導入の効果

試行実施後、発注者、施工業者にアンケートを実施しており、非破壊試験を導入することにより品質確保に効果があったという回答が多く寄せられている。

土研では、試行を実施したいくつかの構造物について、コアを採取するなどして、施工の実態、非破壊試験の精度などの確認を行っており、この結果からもアンケート結果が裏付けられている。非破壊試験導入の効果について、かぶりの結果を紹介する。

図 1 は、5 構造物のレーダおよび電磁誘導によるかぶり測定結果と、コアを採取してかぶりを実測した結果である。図中の丸で囲んである結果は、上部工を電磁誘導で測定した結果である。そのほかはレーダによる測定結果であり、多くは下部工の結果である。

非破壊試験による測定精度は、全体に、かぶりが小さい部分は±10mm程度、大きくなると±15



%程度で測定されている。測定要領に示されている判定基準 $\pm 20\%$ は、現段階ではほぼ妥当といえる。

施工実態は、上部工は設計では35mm以上のかぶりを確保することになっており、実かぶりは40~70mm程度であった。

下部工の多くの結果も、設計値110~130mm程度に対し、ほとんどの結果は20~40mm程度大きい傾向があった。

以上のように、かぶり確保の観点から施工されていることが伺われるが、かぶりがやや大きすぎる傾向があり、施工の改善とともに、非破壊の精度の向上も図る必要があるものと考えられる。

非破壊試験については、測定方法にいくつかの問題点も明らかになっており、随時修正し、精度の向上などに努めいく予定である。そして、将来的には、劣化予測などへ利用できるようにし、より適切な維持管理に役立てられるようにしていきたいと考えている。

3. かぶりコンクリートの緻密性試験方法

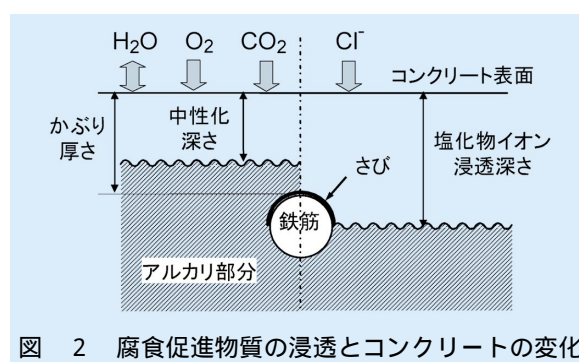
(1) 緻密性確認の重要性

2006年度より、非破壊・微破壊試験による強度測定が実施されているが、耐久性確保の観点からは、かぶりコンクリートの緻密性の測定が重要である。その理由は、次のとおりである(図2)。

対象としている耐久性は、主に鉄筋腐食の抑制

である。鉄筋腐食は、空気中の酸素、二酸化炭素や、海岸付近の飛来塩分、寒冷積雪地域に使用されている融雪剤・凍結防止剤がコンクリートに浸透することによって発生、促進される。これらの物質を、以下、腐食促進物質と呼ぶこととする。

長期間鉄筋腐食を抑制する方法の一つは、かぶりを確保することによって腐食促進物質が鉄筋に達するまでの時間を確保することである。二つ目は、コンクリートを緻密にすることによって腐食促進物質が浸透しにくくすることである。そのため、かぶりの確認と合わせ、かぶりコンクリートの緻密性を確認しておくことが重要である。



(2) 緻密性の試験方法

緻密性に関しては多くの方法が検討されている。主な方法を表1に示す²⁾。

非破壊試験は、透気性など緻密性を直接、間接に求める方法、微破壊試験は、腐食促進物質の浸透状況を測定する方法が多い。表には「不均質性」という項目があるが、ここではコンクリート表層と内部の品質の違いのことであり、後述する超音波の説明でイメージは理解いただけるものと思う。

表中の太字の4種類の試験方法は、強度の試行に取り上げられている方法である。以下に、超音波、ボス供試体と、最近注目されているトレント法の概要を紹介する。これらの方法の詳細を知りたい方は、文献²⁾の参考文献などから関連する文献をご覧ください。

① 超音波

コンクリート構造物の一般的な施工は、コンクリート打設後1週間程度で養生を終了し、次の段階に移る。そのため、耐久性の確保にとって重要

区分	試験方法	評価対象	不均質性	精度
非破壊	超音波	緻密性	表面	今後、検討が必要
	衝撃弾性波 (iTECS法)			
	トレント法	透気性		
	電磁波レーダ	塩化物イオン量		
微破壊	ボス供試体	中性化、塩化物イオンのモニタリング	×	
	ドリル法	中性化深さ		
		塩化物イオン量		
		透気・透水		
小径コア	中性化深さ、塩化物イオン量			
破壊	標準コア	各種試験		(基準)

な表層の品質は、内部よりも劣っている。超音波でコンクリート表面から内部の音速を推定すると、図 3 のようになっている。音速分布を求める方法は、強度を推定する場合に測定する方法と全く同じであり、測定方法については土研の HP の技術関連情報、プログラム・要領等の提供をご覧いただきたい。

図 3 の曲線と直線がコンクリート内部の音速を推定した結果であり、プロットしてある点は、コアを採取し、半径方向の音速を測定した結果である。表面の音速は遅く、内部ほど速くなり、ある程度の深さに達するとほぼ一定になっている。両者の関係はほぼ一致しており、コンクリート内部の音速が推定できている。

この音速分布の表層部分（音速が変化している部分）が緻密性を評価できるのかを確認するため、これまで微細な空隙量を表すいくつかの比較を行っている。そのうち、吸水率との比較の例を図 4 に示す。音速が遅く吸水率が大きい点が表面であり、内部になるに従い音速が速く吸水率が小さくなっており、緻密性を表している。

② トレント法

トレント法は、コンクリートの気体の通しやすさ（透気性）を測定する方法である。

コンクリートの透気性、透水性は、表 1 のとおり、コアやドリルの穴を使って測定している。これらの方法は、構造物に傷をつけるなどの問題

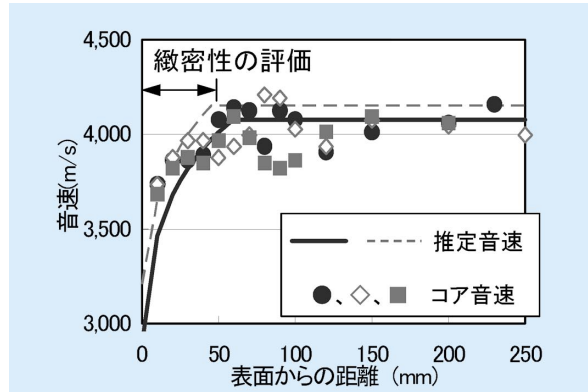


図 3 コンクリート内部の音速分布の推定結果

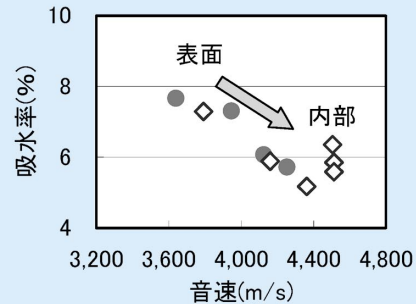


図 4 音速と吸水率の関係

があり、トレント法は非破壊で測定する方法として開発された。

トレント法は、写真 1 の装置を用いて測定する。この方法の原理と特長を簡単に紹介しておく。写真 1 の吸引部分の断面図を図 5 に示す。右側の T 形が横になった部分が吸引部分であり、左側がコンクリートである。吸引部分は①と②の二つに分かれている。②は①の周囲をドーナツ状に囲んでいる。①と②から同時に同じ圧力になるように吸引すると、②には③のように扇形の部分の空気が吸い込まれるが、①には④のように①の断面の空気が一定方向に吸引される。①の吸引力と、吸引された空気量から透気性が求めら



写真 1 トレント法の測定状況

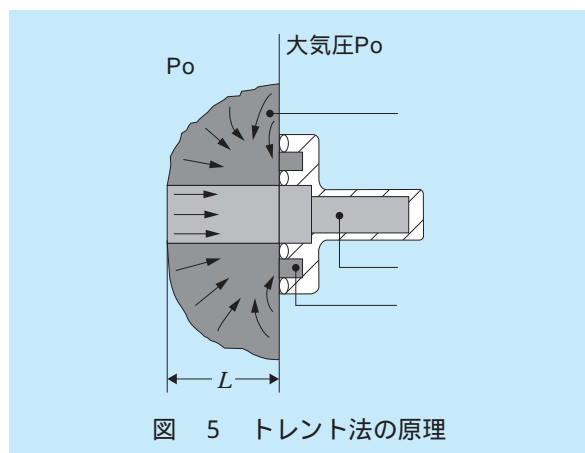


図 5 トレント法の原理

れる。

この試験方法の特長は、④のように一定の断面積を、一定方向から吸引された空気量から透気性を求めることができると考えられており、理想的な状態で試験できているものと考えられている。しかも構造体で直接測定できる方法であり、トレント法が期待されていることが理解されるものと思われる。

これに対し、従来の方法は、コアを用いる場合は、まず構造体からコアを採取しなければならず、④のように一定方向から透過する状態を再現するため、コアの側面をシールして試験している。ドリルの穴を用いる方法は、③のように周囲から透過した状態で試験していることになり、透気性の評価は難しい。

トレント法は、多くの機関で研究が行われており、実用化されることが期待されている方法である。

③ ポス供試体

ポス供試体については、前報¹⁾などをご覧いただきたい。

ポス供試体は、構造体と同時に、構造体から飛び出して成型された供試体であり、構造体と同じコンクリートの供試体が得られることから、試行では強度試験に用いている。そのほか、中性化深さの測定や、塩分浸透の量と深さの測定にも利用できる。図 6 はポス供試体の中性化深さと、その近くから採取したコアの中性化深さを比較したものであり、両者はほぼ 1 : 1 で対応している。

構造物を維持管理するに当たって、建設時にポ

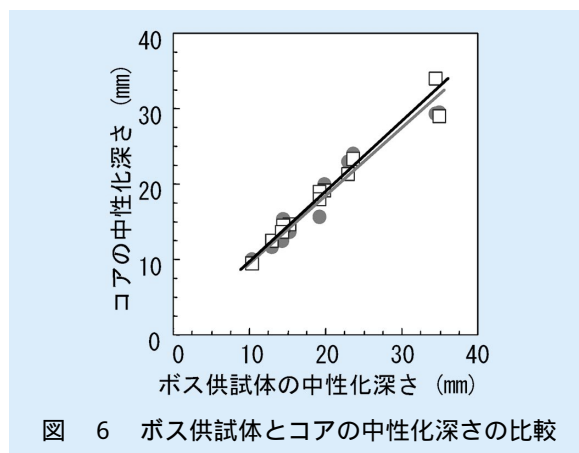


図 6 ポス供試体とコアの中性化深さの比較

ス供試体を事前に計画的に設けておけば、コアを採取することなく、簡単に強度試験、中性化深さ、塩分の量と深さを測定することができ、定期的に測定することによってこれらのモニタリングが可能である。

(3) 維持管理への適用

上記のとおり、各試験法の特長を活かすことにより維持管理にも適切な利用が可能と考えられる。

非破壊試験は、竣工検査時に緻密性を測定することにより、耐久性の予測に役立つことが期待される。また、定期的に継続して測定することにより、劣化の程度なども把握できるようになるものと考えられる。

微破壊試験は、定期的に中性化深さや塩分の量と深さを測定することにより、より厳密に維持管理ができるようになることが期待される。

4. 講習会の概要

国土交通省が実施している試行に用いられている試験方法は、それぞれ講習会が実施されている。試験方法と講習会を実施している機関は表 2 のとおりである。

講習会参加者には、一定の技能が認められた場合、それぞれの機関から証明書などが交付されている。以下、独立行政法人土木研究所で実施している講習会の概要を紹介する。

土研では、超音波、衝撃弾性波（表面 2 点法）

項目	試験方法	講習会実施機関	
かぶり	電磁波レーダ 電磁誘導	(社)日本非破壊検査工業会	
強度	微破壊	ボス供試体 (社)日本非破壊検査協会	
		小径コア ソフトコアリング協会	
	非破壊	超音波	(独)土木研究所
		衝撃弾性波 (表面2点法)	
	衝撃弾性波 (ITECS法)	ITECS技術協会	

の講習会を実施している。両方法とも、次の手順で強度を求める。

- ① 通常、強度試験に用いている円柱供試体で、強度試験前に弾性波速度を測定し、強度推定式を作成する。
- ② 構造体表面で、構造体コンクリートの弾性波速度を測定する。
- ③ ②の結果を①の推定式に代入して、構造体コンクリートの強度を求める。

そのため、講習会では、試験方法の概要を説明したあと(写真 2)、実習では、①の円柱供試体の弾性波速度の測定、②の構造体コンクリート



写真 2 講義状況



写真 3 実習状況

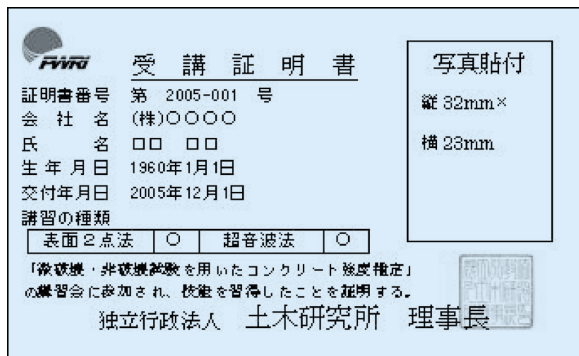


写真 4 受講証明書

の弾性波速度の測定(写真 3)を行い、実習の結果を用いて、パソコンで推定式の作り方、強度の求め方について行っている。

そのあと、別の供試体を用いて①、②の試験を行っている。事前に決めておいた精度以内で測定できた方々には受講証明書(写真 4)を交付しており、2006年度は5回の講習会を行い、70名程度の方々が合格されている。

5. おわりに

非破壊試験を導入することによりコンクリート構造物を管理・検査することによる品質確保の効果、問題点などについて、実測結果をもとに紹介した。

今後、耐久性確保のためにはかぶりの測定結果と、新たにコンクリート表層の緻密性が必要であり、非破壊・微破壊による試験方法を紹介し、維持管理への適用の考え方を述べた。

また、国土交通省で実施されている非破壊・微破壊試験によるかぶり、強度測定の試行の測定者を養成するために実施されている講習会の概要についても紹介した。

コンクリート構造物の品質確保の一助になることを願っている。

【参考文献】

- 1) 森濱和正：新技術を活用した施工管理の充実，建設マネジメント技術，337号，pp 31-34，2006.6
- 2) 森濱和正：超音波法によるコンクリートの品質評価，コンクリート工学，Vol 44，No 5，pp 35-40，2006.5