

検査・監督技術の高度化について

Advancement in Inspection and Supervision Techniques

建設省 土木研究所 芦田 義則 *

阿部 徹 **

井手 統一 **

○大塩 俊雄 **

宇波 邦宣 ***

By , Yosinori ASHIDA , Tooru ABE , Tsunekazu IDE , Toshio OSHIO , Kunitaka UNAMI

建設省では、工事目的物の品質の向上を目指し、発注者側での工事検査の充実、監督行為の効率化を図る目的で、平成7年度より、検査・監督技術の高度化に関する研究と題して研究を進めている。研究内容は、①既存技術の適用 ②既存技術の応用 ③新技術の開発の3本柱として、現在までに、①既存技術の適用に注目して最新の開発技術のアンケート調査、文献調査及びヒアリング調査を実施、約200技術について整理・検討を行っている。

ここで紹介するR I計器、鉄筋検知器、I T装置はの中で特に検査・監督行為としての適用性の高い技術として注目しており、その技術紹介及び一部有効性の検証を行ったので報告するものである。

【キーワード】検査、監督、非破壊、品質

1. はじめに

近年、社会資本整備に関して、特に公共土木工事に対する透明性・客観性・競争性等について、国民の関心は非常に高まっている。このような背景の中で公共土木工事は大規模化、複雑化しており、また建設費の縮減や阪神・淡路大震災等に基づく安全性確保への期待等、国民のニーズは多様化し、公共事業を取り巻く社会的な状況は大きく変化しつつある。

一方、請負者側の熟練労働者の不足、産業界のリストラ、発注者側の人員削減等が進行している。

このような状況の下、一般競争入札方式の本格的導入等の公正な競争環境の整備を図っているが、競争性の激化に伴う手抜き工事等による品質低下の懸念がある他、先に述べたような大規模な災害による

教訓から質の高い社会資本の整備のためにも契約の履行の確認がより一層重要となってきた。

2. 検査・監督の現状

建設省における検査・監督体制の例を図-1に示す。

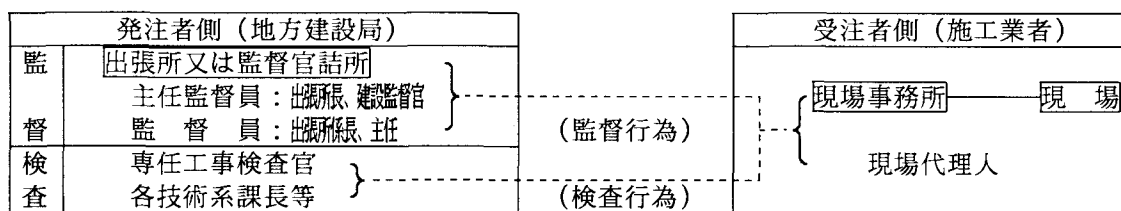
「検査」とは、工事もしくは製造その他についての請負契約または物件の買入れ、その他の契約に基づいて行われる給付の完了につき、当該給付の内容（品質、規格、性能、数量等）が契約の内容に適合しているかどうかを確認する行為をいう。つまり、契約書の定めるところに基づき土木工事検査技術基準及び設計図書に規定する工事の実施状況、出来形、品質及び出来ばえについて書類や現場実地により合否の判定を行うことを意味し、建設省では、主に専任工事検査官や各技術系課長等が実施している。

「監督」とは、検査だけによっては、契約の給付内容の確認の万全が期せられないものについて、当

* 積算技術研究センター 積算技術研究官
Tel 0298-64-2211

** 積算技術研究センター システム課
Tel 0298-64-2211

*** 交流研究員



図－１ 現状の検査・監督体制の例（建設省の場合）

該契約の履行の過程（途中）において、当該履行の場所において立会い、工程の管理をし、工事または製造に使用する材料の試験もしくは確認等によって契約の相手方に指示等を行うことである。つまり、契約図書における発注者の責務を遂行するために、工事施工状況の確保及び把握等を行い、契約の適正な履行を確保するための行為を意味し、建設省においては、主に出張所長や建設監督官等の監督職員が実施している。

しかし、専任工事検査官は各地方建設局で２～３名程度となっており、検査が集中するような場合には、十分な検査時間が確保し難い状況にある。また、監督職員についても、地元調整や維持管理等の業務の増大により、臨場し内容を確かめる行為に費やす時間が減少する等、検査・監督業務の現状は厳しいものとなっている。

３．検査・監督技術の開発

以上を踏まえ、検査・監督時に非破壊検査技術や新計測技術、その他パソコン、画像情報技術等マルチメディアを用いることにより、主に「土木構造物の品質の向上」及び「業務の効率化」を図ることを目的とし、平成７年度よりこれらの技術の検査・監督への適用性に関する検討に着手した。

（１）有望新技術の抽出について

民間において最近開発され実用化された技術、実用化されつつある技術及び開発中の技術についてアンケート調査及び整理を行った。調査対象は、総合建設業、道路建設業、機械メーカー、金属メーカー、コンクリート２次製品製造業、計測機器メーカー、ＣＡＤ及びソフトウェアメーカー等で、合計１６９社、１９１件の技術を得ることができた。その他、これら民間を対象とした技術以外にも有望な新技術

を抽出し、併せて詳細検討を実施した。

有望新技術はその完成度から大きく次の３つに分けられる。

- ①既存技術の適用……既に完成され、独自の開発目的に沿った使用実績があり、これを検査・監督行為に直接適用できる技術。
- ②既存技術の応用……既に完成した技術に対して、更に改良、複数の技術の統合、あるいは検査・監督としての使用方法の検討等を行い、検査・監督行為に応用できる技術。
- ③新技術の開発……ニーズはあるが、それに対応する技術が現在なく、今後開発が必要である技術。

これまでは主に①既存技術の適用に注目し、それを短期的検討技術と位置付け、「非破壊による不可視部分の確認」、「工事関係者の業務の効率化」などに着目して、検討を実施している。主な技術の一例を表－１に示す。

これらの新技術のうち、特に有望技術として考えている土木研究所コンクリート研究室が日本構造物診断協会と共同研究を実施した「鉄筋検知器」、同じく施工研究室が共同研究を実施した「ＲＩ計器（Radio Isotope）」、「ＩＴ装置（Integrity Test）」の３技術について、検査・監督時での適用性の検討を行っており、本報告では、試行を通じ現場導入への適用性の確認ができた「ＲＩ計器」及び、計測誤差にバラツキがあるため、今後どのように検査に利用していくかを現場試行結果を集めて確認したいと考えている「鉄筋検知器」並びに、「ＩＴ装置」について、これらの概要と現場での適用範囲の明確化を図る上での、課題・問題点、今後の予定について報告するものである。

（２）代表的な有望新技術

表－１ 検査・監督のための有望新技術の抽出（一例）

テーマ	種 類	技術名称	技 術 概 要	特 徴
不可視部分の	電磁波利用技術	鉄筋検知器	鉄筋コンクリート構造物の鉄筋状態を非破壊で計測できる技術（詳細を（２）．b）に示す。）	
		アスファルト舗装厚測定レーザ	アスファルトと路盤との境界面で反射する電磁波を捕らえることでアスファルトの舗装厚を検知	非破壊にて計測できる。ただし、上記と同様に計測誤差が発生する。また一度の計測で全アスファルト舗装厚は把握できるが、個々の舗装構成（表層、基層等）厚の特定は困難である。
	超音波利用技術	コンクリート内部画像表示システム	コンクリート内部に存在する物質により反射する超音波を検出することで、その物質の位置を把握	非破壊にて計測可能であり、鉄筋以外の異物（空洞、木片等）も探査可能である。ただし、上記同様の計測誤差が生じる。また一般的には点測定となるため、計測に時間がかかる。
	弾性波利用技術	I T (インテグリティ) 装置	杭の長さ等を非破壊で計測できる技術（詳細を（２）．c）に示す。）	
業務の効率化	I T V 利用技術	遠距離監視システム	ITVカメラを現場に設置し、事務所でモニターにより現場状況を把握	現場に臨場することなく、常時現場状況を把握できる。既に導入現場もあるが、カメラやモニターの仕様、データ転送等諸条件により導入費用に幅が出る。
	放射線利用技術	R I 計器	従来の砂置換法等に変わる締固め管理技術（詳細を（２）．a）に示す。）	
測量技術の高度化	G P S 測量技術	リアルタイム・キネマティック測量	衛星を利用した測位システムであり、建設機械の位置検出、各種工事測量や土工のような出来形地形測量等が可能	リアルタイム・キネマティック測量はG P S 測量の中で最も素早く高精度に測位することができる手法である。
	デジタル・スチル・カメラ	3次元形状計測システム	測定対象構造物に対して左右方向からステレオ撮影を行い、コンピュータ解析処理により3次元形状を算出し、画像表示	写真映像がデジタルデータとして保存できるため、写真管理の効率化が計れる。また、3次元形状の位置特定が可能である。ただし出来形検測に用いる場合、要求精度との整合性に注意する必要がある。
その他	ボーリング利用技術	R P T (ロータリーサンディング)	ボーリングロッド先端にビット形状の切削体を装着し、地盤中に回転貫入させることで一軸圧縮強度を連続的に推定	チェック・ボーリングでは採取不可能な弱い箇所も計測でき、連続的な強度分布の推定が可能である。ただし、実績が少ないため、今後データ蓄積による精度向上が必要である。

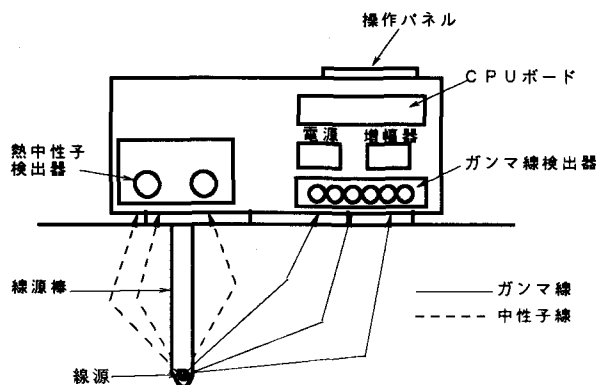
a) R I 計器

R I (Radio Isotope) 計測とは放射線を用いて湿潤密度及び水分量を計測する技術であり、我々は特に盛土の締固め管理を行う手法として注目した。これは従来法である砂置換法等に変わるものであり、すでに一部のダムや高速道路では導入されている。

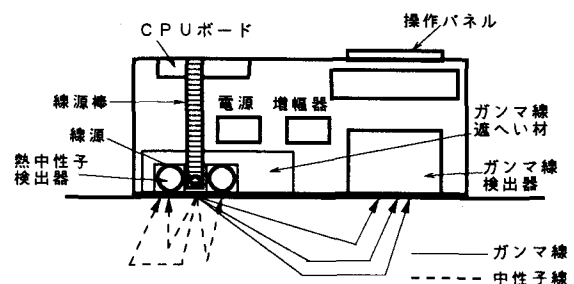
従来法では現場で試料を採取し、室内試験で現場乾燥密度を測定して、最大乾燥密度との比較から締固め度の評価を行うため、結果を得るのに約1日を

要しているのが一般的であるが、R I 計器であれば現場測定の結果が直ちにその場で得られる。また、1管理当りの計測も数多く捕らえることができ、締固め度を面的に把握することが可能である。現在開発されている盛土締固め管理用のR I 計器は大きく透過型（図－２）と散乱型（図－３）の2タイプに大別される。

我々はこの技術を検査・監督時に使用した場合の適用性を検討するため、関東地方建設局大宮国道工



図－２ 透過型 R I 計器



図－３ 散乱型 R I 計器

事事務所管内 一般国道468号首都圏中央連絡自動車道にて現場試行を実施した。試験対象は、「粒度調整材再生クラッシャーラン（RC-40）を材料とした層厚15cmの路床」である。試行の結果、測定対象物の適用範囲がある程度限定されることや計器本体の重量などに課題はあったものの、精度的には従来法とほとんど変わらず、測定結果を得るまでの時間については非常に短縮できることが分かった。散乱型RI計器、透過型RI計器、砂置換法の性能等の比較結果を表-2に示す。この試行結果からRI計測の優位性が確認された。

以上のことから、平成8年度版土木施工管理基準の土工（河川・道路）の必須項目である現場密度試験において従来の砂置換法と併せてRI計器の利用も行えることとした。

また、我々はRI計測の利便性を更に高めるため、現況のRI計器による計測結果処理をより迅速にかつパソコン上で視覚的に確認し、さらに所定の様式での結果報告書が容易に出力できる。「RI計測サ

ポートシステム（仮称）」の開発を行っている。システムは現在ほぼ完成しており、今後代表地建等での試行を通し、修正、改善を行い、将来的には全地建に展開していく予定である。

b) 鉄筋検知器

鉄筋検知器とは、鉄筋コンクリート構造物の配筋状態を非破壊で調査する技術であり、従来既設鉄筋コンクリート構造物の健全度診断のために開発された経緯がある。健全度診断手法としては①電磁誘導法、②レーダ反射法、③超音波法、④放射線法の4手法が挙げられる。今回検査・監督時での適用性の検討の対象とした技術は、使い易さ（短時間での計測、装置本体が軽量）、利用実績、経済性及び公的機関での認証等の理由により、電磁誘導型とレーダー反射型の2種類とした。両技術の概要を図-4、図-5に示す。まず電磁誘導型とは、コイルが巻かれたプローブに1次交流電流を流して交流磁場を発生させ、その磁場中に鉄筋が存在した場合、磁場に

表-2 3方法の性能等比較一覧

項 目	散 乱 型 R I 計 器	透 過 型 R I 計 器	砂 置 換 法
精 度	砂置換法と同等	同左	JISで規定された標準の計測方法
作 業 性	1管理単位（15点）当りの計測が30分程度	同左 ただし散乱型の作業に加えて線源挿入のための削孔作業が必要	1管理単位（3点）当たりの試料採取に30分程度 室内試験に約1日
結果提示	測定結果は即時に提示する事が可能	測定結果は即時に提示する事が可能	測定結果は室内試験後（約1日後）
操 作 性	計器の操作方法は非常に簡単	同左	計測方法は非常に簡単
適用範囲	礫率60%以下かつ細粒分10%以上、最大礫径10cm未満 （ただしやむを得ず行う場合には監督員との協議の上、現場盛土試験にて種々の管理基準値、指標等を決定する。）	最大礫径10cm未満 （ただしやむを得ず行う場合には監督員との協議の上、現場盛土試験にて種々の管理基準値、指標等を決定する。）	
そ の 他	面的管理が可能	同左	点的管理（局所的評価）のみ

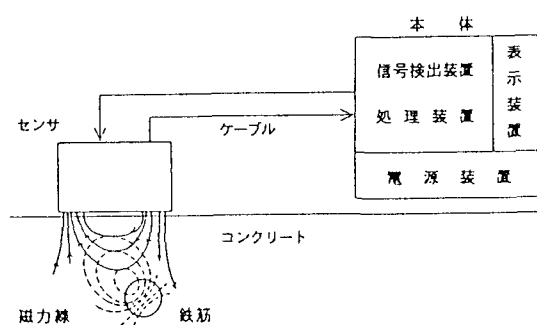


図-4 電磁誘導型

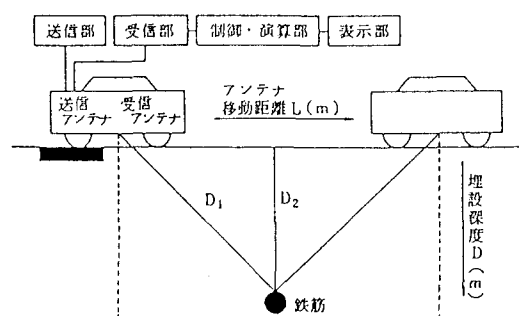


図-5 レーダー反射型

誘導されて鉄筋が発生する２次電流から発生した電圧の変化を測定することによって、鉄筋位置、かぶり、鉄筋径等の情報を求めるものである。もう一方のレーダー反射型とは、モノパルスの電磁波をコンクリート内へ送信アンテナから放射し、コンクリート内の比誘電率、導電率の異なる物体との境界面からの反射波を受信アンテナで受信し、往復の伝搬時間から反射物体までの距離を計算し鉄筋位置、かぶりを求めるものである。

今回、着目した機器は、建設省が制定している建設技術評価制度の審査に合格している２器種とした。建設技術評価制度での対象とした開発目的は、既設の鉄筋コンクリート構造物を維持管理するうえでの鉄筋位置を調査できる程度の精度を有する技術の開発ということであった。

検討対象鉄筋検知器の建設技術評価制度での解析結果、各開発メーカーへの調査、有識者へのヒアリング及び文献等を踏まえ整理したのが表－３である。

整理結果より、検査・監督時に利用する場合における、建設技術評価制度で認定された鉄筋検知器に関するその測定能力を検討したところ、「計測誤差が大きいため本来合格している配筋状態を不合格にしてしまう確率が高く、特に工事検査に使用する場合には慎重な対応が必要である。」との見解を得た。しかし、コンクリート打設後に非破壊にて配筋状況が確認でき、しかも計器重量が軽量でコンパクト

トである本計測器は、検査・監督時での利用性が高いと判断し、すでに建設省の各地方建設局及び北海道開発局、沖縄総合事務局に対して、現場測定データ提供の依頼を行っており、その計測結果を待ってデータの整理・分析をし、鉄筋検知器の検査・監督時での利用方法の検証を行うこととしている。

c) I T装置

I T装置（Integrity Test：杭の健全性試験）とは場所打ち杭、既製杭等の杭の健全度を非破壊にて計測するために開発された装置である。装置の概要を次項図－６に示す。操作はいたって簡易で、杭頭を小型ハンマーにて軽打して、その振動波形から杭長等を推定することができるものであり、非破壊でしかも低価格、短時間で結果の判定ができるメリットを兼ねそろえている。同じく図－７は、計測結果である振動速度波形を示したもので、縦軸には速度振幅比を、横軸は杭の長さを示している。図中の波形の最初のピークが小型ハンマによる杭頭への入力を示し、入力と同じ方向の成分を持つピークが杭先端を示している。これは、杭先端からの反射波が戻ってくるまでの時間が測定できるので、杭の弾性波速度を仮定することで、杭の長さを推定することができるものである。

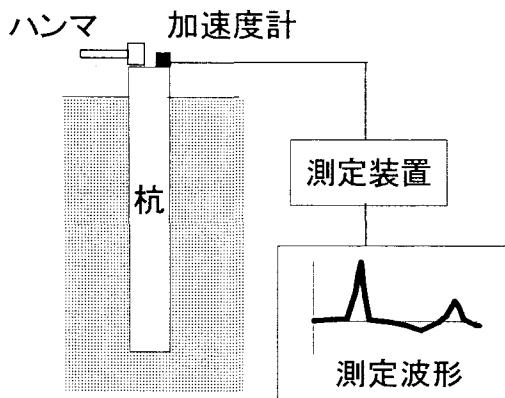
現在の場所打ち杭での検査・監督行為では、監督

表－３ 鉄筋検知器の精度及び適用範囲等

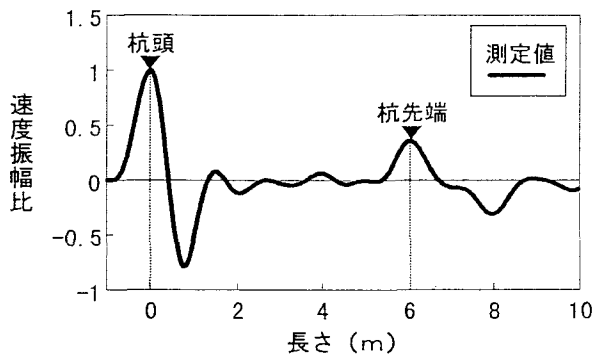
鉄筋検知器		電磁誘導型	レーダー反射型
適用範囲	鉄筋径	D 13～D 32	D 13～D 32
	かぶり	鉄筋間隔100mm以上かつかぶり厚が100mm以下	鉄筋間隔130mm以上かつかぶり厚が100mm以下
	鉄筋間隔	鉄筋間隔100mm以上かつかぶり厚が100mm以下	鉄筋間隔100mm以上かつかぶり厚が100mm以下
計測誤差	鉄筋径	1 D 程度	－
	かぶり	－ 3.5 mm ～ ＋ 7.0 mm	－ 4.6 mm ～ ＋ 3.6 mm
	鉄筋間隔	－ 19.0 mm ～ ＋ 14.0 mm	－ 11.0 mm ～ ＋ 13.0 mm
作業性		作業員2名程度、現場作業は簡易	同 左
結果提示		パソコン画面上デジタル表示	パソコン画面上波形表示(若干専門的知識が必要)
計測範囲		①シングル鉄筋の測定に限られる。 ②継手方法、継手長等の評価ができない。	①シングル鉄筋の測定に限られる。 ②継手方法、継手長等の評価ができない。 ③鉄筋径を直接測定出来ない。
主な誤差要因		①鉄筋間隔が狭い箇所では、隣の鉄筋の影響を受け誤差を生じやすい。 ②鉄筋径が細かいと電波の反射波形が不明瞭となり誤差が生じやすい。 ③計測箇所の表面に凹凸がある場合、その影響が測定結果に現れる。 ④手動作業や計測結果の読み取りにおいて、人為的誤差が生じやすい。	

時には段階確認として、杭の掘削完了時（孔が開いている状態）に杭長は検尺テープ、断面寸法は超音波等にて計測確認を行い、また検査時には書類審査にて合否の確認を行っている。当然のことながらコンクリート打設後において設計図書に対しての形状確認は行えず間接的な確認方法となっている。

以上のことより、IT装置による検討の対象を場所打ち杭とし、鉄筋検知器同様各地方建設局等に試行の協力を依頼し、施工条件（工法、地盤条件）、材料（材令、弾性波速度）、杭長、杭径等の内容について種々の組み合わせによる現場調査を行い検査・監督時での適用性の検証を行う予定としている。



図－6 ITの概要



図－7 波形表示結果

4. あとがき

本検討は本格的には平成7年度から始まり、現在まで主として既存技術の適用性についての検討を行ってきた。その結果、技術的な完成度はもとより実際に現場に導入する際の費用的な面、機器のコンパクト性、操作の容易さ等も今後の検討課題として挙げられた。また、技術によっては単独では使用が困難でも他の技術との複合や使用方法の工夫を行うことで検査・監督時での適用性が十分可能になるものもあることも分かった。以上のことを踏まえ、今後は特に複合的な技術に対しての検討も行っていく予定である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：改良体の品質管理に関する検討、第21回日本道路会議、平成7年

Advancement in Inspection and Supervision Techniques

The Ministry of Construction has been conducting the Study of Advanced Inspection and Supervision Techniques since financial year 1995, in order to enhance the quality of construction by improving the inspection of construction work and the efficiency of supervision activities. The main three themes of study are: ① Application of Existing Techniques, ② Improvement of Existing Techniques, and ③ Development of New Techniques. Emphasis has been laid on the Application of Existing Techniques up to now, and questionnaire and interview surveys on the state of the art as well as bibliographic surveys have been carried out. As of now, about 200 techniques have been identified and discussed.

Among them, Radio Isotope Gauges, Reinforcing Bar Detectors, and Integrity Test Equipment are expected to be particularly useful for inspection and supervision activities. This paper describes these tools and provides some verification on their effectiveness.