

画像による配筋間隔計測技術の現場実装の試み

市村靖光・鈴木宏幸・関 健太郎

1. はじめに

国土交通省では、内閣府が主導する官民研究開発投資拡大プログラム（略称PRISM）のうち、ターゲット領域「革新的建設・インフラ維持管理技術／革新的防災・減災技術」の中で、i-Constructionの推進を掲げ、建設に関する全てのプロセスの高度化を図る研究開発を加速し、建設現場の生産性を2016年度から2025年度までに2割向上を目指している。

以上を実現するために、2018年度から「データを活用して土木工事における品質管理の高度化等を図る技術」の提案を募集し、従来の監督・検査・確認方法の代替技術について、現場試行によるデータ収集・性能確認等を実施している。

本文は、民間から提案された新技術のうち、デジタルカメラ等で撮影した画像から配筋間隔を計測する技術を対象に、これまでの新技術導入に必要な「基準化」のプロセスとは異なる新たな現場実装の手順等を整理し、実際に運用した結果について報告するものである。

2. 鉄筋工の段階確認に関する規定と課題

2.1 段階確認に関する規定

公共工事においては、会計法に基づき、契約の適正な履行を確保するために必要な監督をしなければならない。このため、工事の進捗状況に応じて発注者立ち会いによる段階確認が行われている。

土木工事監督技術基準(案)では、発注者（監督職員）は鉄筋組み立て完了時に、表-1のように監督（段階確認）を実施することとなっている。確認頻度については目安が示されているだけなので、具体的な回数等は受発注者の協議により決定される。例えば、橋脚の場合、コンクリート打設ブロック毎（フーチング、柱、梁、杓座）の配筋完了時に段階確認を実施している。

表-1に示す設計図書と現場との対比を行うため

には、鉄筋径、鉄筋間隔、鉄筋かぶり、重ね継手長等の計測が必要であり、これらの具体的な方法については、土木工事共通仕様書（案）、土木工事施工管理基準及び規格値（案）に基づいている。土木工事施工管理基準及び規格値（案）では、鉄筋工の出来形管理基準及び規格値（一般構造物の場合）を表-2のように定めている。

以上のように、コンクリート構造物の鉄筋組み立て完了時には、発注者（監督職員）が臨場等により設計図書との対比を確認することとなっており、現状では鉄筋径、鉄筋間隔、重ね継手の長さはノギス等で直接計測し、鉄筋かぶりについてはスペーサーの位置、寸法の確認で代替している。

2.2 段階確認における課題

工事受注者からは、段階確認のための準備（発注者が計測するための鉄筋へのマーカー設置、調書作成等）や発注者が計測している状況の写真撮影及び写真の整理等で多大な手間と時間を要しているとの意見もある。さらに、現場条件によって

表-1 鉄筋工の段階確認の内容

確認時期	確認項目	確認頻度
鉄筋組み立て完了時	使用材料、設計図書との対比	一般監督:30%/1構造物 重点監督:60%/1構造物

表-2 鉄筋工の出来形管理基準及び規格値(一般構造物の場合、一部抜粋)

工種	測定項目	規格値	測定基準
鉄筋組み立て	平均間隔d	±φ (鉄筋径)	$d=D/(n-1)$ D:n本間の延長 n:10本程度とする
	かぶりt	±φかつ最小かぶり以上	工事の規模に応じて、1リフト、1ロット当たりに対して各面で一箇所以上測定する。 注1) 重要構造物かつ主鉄筋について適用する。

は希望通りに発注者が臨場できず、工事受注者の待機が発生している場合も考えられる。また、現場への長時間の移動が発注者の大きな負担となっている場合もある。

このようなことから、デジタルカメラ等で撮影した画像から配筋状況を自動計測することができれば、工事受注者の鉄筋へのマーカー設置等の準備作業や写真撮影等が省略可能となるとともに、発注者が計測結果（デジタルデータ）を遠隔地から確認することも容易となる。

3. 新技術の新たな現場実装方法の提案

3.1 新技術の現場実装の考え方

これまで新技術を現場実装するためには、特定の1社のみの実績ではなく、類似技術による多数の実績を必要とすることが一般的であった。また、新技術を広く普及させるためには、「基準化」が必要であり、国による性能検証のための基準設定等に時間を要する等、迅速な現場実装は困難な状況であった。

このため、民間（新技術の開発者）の知見等を有効活用することを考え、これまでの新技術導入に必要な「基準化」のプロセスとは異なる新たな手順等を以下のように提案した（図-1参照）。

- ①「データを活用して土木工事における品質管理の高度化等を図る技術」の提案技術のうち、現場実装の可能性が高い有望技術の開発者を選定し、技術対話、計測データの確認等により、要求性能、精度検証手順等を整理
- ②民間（新技術の開発者）が現場試行によって自ら収集したデータ等により、①で整理した精度検証手順に従い、新技術の性能等を証明できる資料を作成
- ③国は、民間（新技術の開発者）が作成した新技術の性能等を証明できる資料に基づき、十分に客観的で、技術的に妥当であると判断した場合は現場実装

以上のプロセスで、新技術を短時間で現場実装することが可能であると考えている。また、このような取り組みをオープンにすることにより、類似技術を保有している他社の技術開発、活用促進を誘発する効果があると考えられる。

3.2 画像計測技術の概要

現在、主に施工者の配筋検査（自主管理）を効

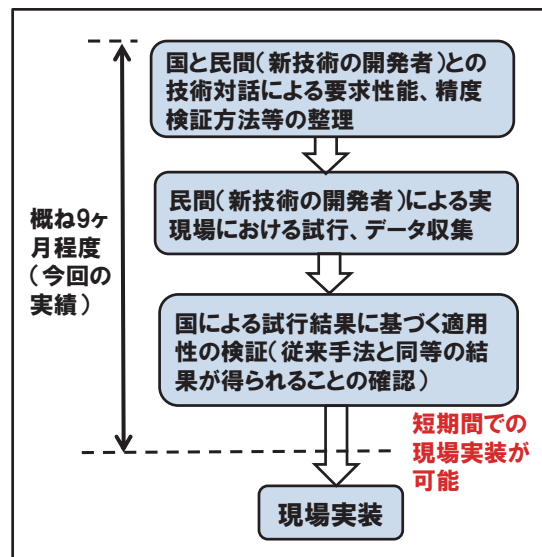


図-1 新技術の現場実装の手順

率化する目的の研究、実証実験等が各社で行われている。これらの技術の多くは、手持ちあるいはUAVに搭載したステレオカメラ等で撮影した画像から鉄筋の出来形（径、間隔、本数等）を自動計測するものである。

今回、複数ある技術のうち、写真-1、2に示す

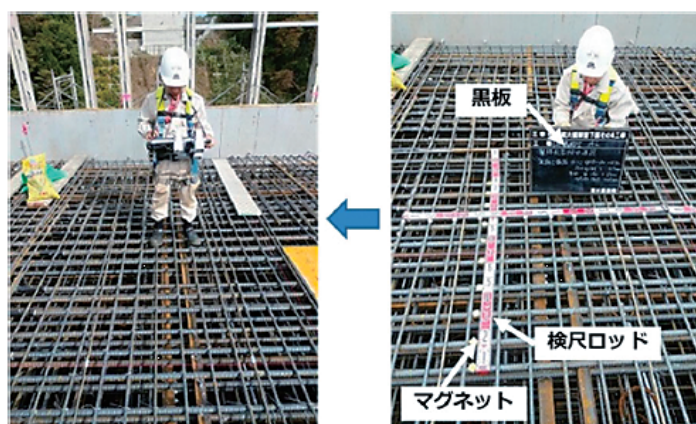


写真-1 配筋検査比較(左:システム利用、右:従来)²⁾



写真-2 計測結果の例²⁾

清水建設・シャープの開発した3眼カメラ配筋検査システム²⁾を選定し、迅速に現場実装するための精度検証手順等を開発者との技術対話や計測データの確認等を通じて整理した。この技術を選定したのは、前述の「データを活用して土木工事における品質管理の高度化等を図る技術」の提案者であり、計測精度を検証するために必要なデータを現場試行により十分収集していると判断したことによる。

3.3 画像計測技術の精度検証手順

コンクリート構造物の鉄筋組み立て完了時の発注者による段階確認では、鉄筋径、配筋間隔、重ね継手の長さ、鉄筋かぶり等の確認が必要である。しかしながら、現時点では、各社の技術については、鉄筋径、配筋間隔が自動計測対象で、その他の項目については、自動計測の対象となっていない。このため、今回の画像計測技術の精度検証に際しては、鉄筋径と配筋間隔を対象に検討した。

その結果、画像計測による鉄筋径の判定精度は90%程度（鉄筋径の判定は、正確な径を判定したかそうでないかの2通りであり、690本中608本の鉄筋径を正確に判定した）であることが確認でき、現時点では技術的課題を残していることがわかった（誤判定の一つの要因は、方向によって径が異なる異形棒鋼の特性によると考えられる）。鉄筋径の誤判定は、構造物の安全性を考えると許容できないため、100%の正解率が求められる。

また、配筋間隔のみ画像計測する場合でも、従来方法の3割程度に作業時間（人・時間）が低減可能な結果も得られており、生産性向上の効果は十分に認められる。よって、今回の画像計測による精度検証に際しては、配筋間隔のみを対象とし、迅速な現場実装が可能となるように、また、今後、他社の技術を現場実装する際にも適用できるように、以下の方針で行うこととした。

- ①計測機器、計測原理等は各社のノウハウであるため、計測機器の仕様等は規定せず、計測上の「要求精度」、「要求精度を満足することを証明するデータ」のみを規定する。
- ②画像計測に対する要求事項は、「従来方法と同等以上の精度で配筋間隔を計測できる」こととし、表-2に示す「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」に規定される配筋間隔の規格値を用いる（規格値については、構造物の安全性、

施工誤差、計測精度等の条件から適切に決めるべきであるが、その決定には時間を要するため、今回は従来の規格値を準用することとした）。

- ③実現場等で従来方法（スケール等）と新技術（画像計測）を併用したデータを用いて検証を行う。

これらの方針に基づき作成した「画像による配筋間隔計測結果の精度検証手順（案）」の概要を以下に示す。

- (1)本手順（案）は、デジタルカメラで撮影した画像から配筋間隔を計測する技術について、従来方法と同等以上の精度を持っていることを検証するための手順を定めたものであり、開発者（建設会社、機器メーカー等）の作成資料等を示している。
- (2)画像計測の要求精度については、「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」に規定される配筋間隔の規格値（ $\pm\phi$ 、 ϕ ：鉄筋径）を外れたデータを十分に検知することのできるものでなければならない。
- (3)画像計測に対する要求事項を満足していることが客観的に証明できる資料は、以下の条件を満たす必要がある。
 - ①適用を想定する工種（橋梁上部工、橋梁下部工、擁壁、ボックスカルバート等）、部位（たて壁、底版等）、鉄筋径（D13～D51）を考慮した計測データを取得していること。
 - ②実現場等において、発注者の段階確認時に従来方法と画像計測を併用し、両者のデータから統計的に精度検証が十分だと判断できるデータを取得していること。
 - ③計測における制約条件は全て明示し、制約条件を考慮した十分なデータを取得していること。
 - ④実現場での計測に際し、毎回の計測結果にばらつきがないことが重要であるため、現場毎に画像計測の性能確認を行う方法が明らかになっていること。
- (4)本手順（案）に従った画像計測の精度検証のための資料に基づき、国と協議を行い、十分に客観的で、技術的に妥当であると判断された場合（監督職員の了解が得られた場合）は現場実装が可能となり、国土交通省発注工事

において、段階確認での鉄筋組み立て時の配筋間隔の計測に適用することができる。

上記手順（案）に従った配筋間隔計測データの統計処理の一例を図-2に示す。配筋間隔の規格値は、±φ（鉄筋径）であるため、異なる鉄筋径の計測結果を一律に評価するため、

計測誤差 (%) = (計測値 - 実測値) / 鉄筋径
 で表している。規格値を外れたデータを十分に検知することができる精度を有しているかどうかは、全データが±100%に入っていることが最低条件となる。3眼カメラ配筋検査システムについては、全データが±20%以下に収まっており、十分な計測精度を有していると判断できる。

また、図-3は、鉄筋径ごとの計測精度と撮影条件（通常時と逆光時）との関係を整理したものである。図から、鉄筋径の大小による計測誤差の違いは無いが、逆光時には通常よりも計測誤差が大きくなる傾向が見られた。誤差自体は小さいものの、逆光時の計測には注意が必要であることが確認できた。これらの結果に基づき、東北地方整備局と協議の上、実現場での適用が実現した。

4. まとめ

今後は、他社の技術についても精度検証を行い、画像による配筋間隔計測技術の現場実装を加速させていきたい。また、鉄筋径の計測に際しては、画像解析の精度を上げるとともに、他のアプローチ（鉄筋自体への判定マークの付与等）も検討する必要がある。さらに、今後は配筋の画像計測以外の新技術についても、民間での技術開発が進むことが予想され、国土交通省としての組織対応の仕組み、プロセスの標準化が必要になると考えられる。最後に、3眼カメラ配筋検査システムの現

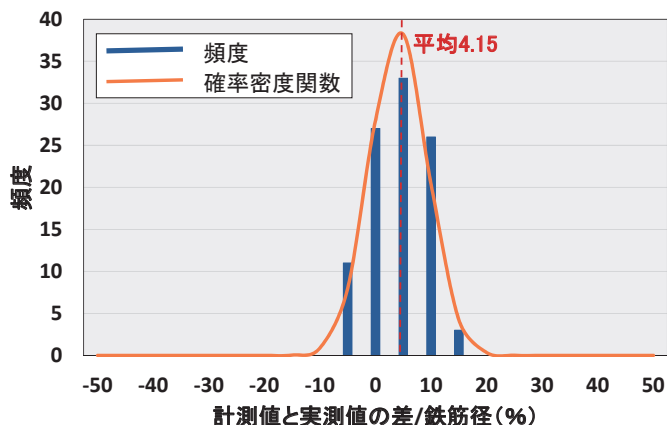


図-2 配筋間隔計測データの統計処理の一例

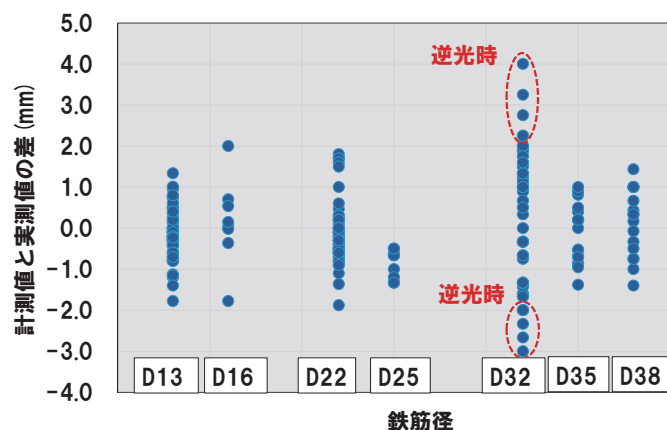


図-3 配筋間隔計測データの整理例（鉄筋径別）

場実装の詳細については、今号の現地レポートで紹介されているので、そちらも参照されたい。

参考文献

- 1) 国土交通省：建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト
https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000062.html
- 2) 吉武謙二、山田一宏、有田真一、武藤博親：リアルタイム配筋検査システムの橋梁下部工工事における有効性評価、第2回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」、2020

市村靖光



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本システム研究室 研究官
 ICHIMURA Yasumitsu

鈴木宏幸



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本システム研究室 主任研究官
 SUZUKI Hiroyuki

関 健太郎



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本システム研究室 室長
 SEKI Kentaro