

写真解析技術による鋼製型枠貫通孔の確認ツールの開発

Development of a Photo Analysis-Based Tool for Detecting Penetrations in Steel Formwork

掛橋 孝夫*¹, 大津 慎一*¹, 高橋 誠*²

TAKAO KAKEHASHI, SHUNICHI OTSU, MAKOTO TAKAHASHI

PCa製品の検査における不良品出荷や工程遅延といった課題に対し、鋼製型枠の検査プロセスを写真撮影に置き換える新たな手法を導入し、その効果を検証した。撮影画像を用いた解析により、見過ごし・見落とし・計測ミスなどの人為的ミスを大幅に削減し、検査記録の自動保存によってトレーサビリティを向上させた。また、PCa工場と型枠製作会社間での相互確認が容易になり、不良品の出荷リスク低減と品質管理の信頼性向上が図られた。

キーワード：鋼製型枠, 写真解析, 検査

To address precast concrete product related issues such as shipment of defective products and production process delays, a new automated steel formwork inspection system, which utilizes photographic imaging was introduced. The new method significantly reduced human errors such as oversights, omissions, and measurement inaccuracies. Additionally, automatic storage of inspection records enhanced traceability. This approach also facilitated mutual verification between PCa factories and formwork manufacturers, leading to a reduction in the risk of shipment of defective products and an improvement in the reliability of quality control.

Keywords: Steel formwork, Image analysis, Inspection

1. はじめに

建設分野においては、品質管理の徹底が工程の円滑な進行および安全性の確保に直結する極めて重要な課題である。特にプレキャストコンクリート（PCa）製品の製造においては、複数段階の検査を経たにもかかわらず、不良品が現場に搬入される事例が散見されており、これが工程遅延の一因となっている。

従来の検査手法は、目視や手作業による計測に依存しており、検査員の思い込みや読み違いといった人為的ミス、記録作業の煩雑さ、さらには検査の見落としなどにより、検査の質が十分に確保されない場合があった。特にPCa工場における型枠受入検査では、不良な型枠が搬入され、工場内で再加工が必要となる事例も報告されており、検査が設計図通りに正確に実施されているかを確認することが喫緊の課題となっている。

本開発の目的は、これらの課題を解決するために、従来の検査プロセスを写真撮影に置き換える新たな仕組みを構築し、人為的ミスや見落としによる不良品の発生を未然に防止する体制を整備することである。画像解析技術を活用することで、設計図との比較検査を客観的かつ定量的に実施することが可能となり、検査精度の向上に加え、同一条件下で同じ結果が得られる一貫性のある検査が実現されるため再現性の向上も期待される。

さらに、本開発では、撮影された画像データをクラウド上で自動解析・保存・共有可能な自動検査ツールとしてシステム化を図った。このクラウド型システムにより、型枠製造会社が実施した検査結果をPCa工場側でもリアルタイムに確認できる体制が構築され、不良品の搬入前に相互確認を通じて問題を発見・是正することが可能となった。これにより、再加工の削減や工期の遅延回避といった実用的な効果も得られている。

*¹ 技術研究所 技術開発推進部

*² SMC プレコンクリート株式会社

本報では、上記の技術的背景および検査における現状の課題を整理したうえで、写真解析技術を用いた検査システムの構築手法とその実用性について報告する。

2. 鋼製型枠の貫通孔検査における従来手法の課題と新たな検査手法の有効性

鋼製型枠の貫通孔検査においては、従来の手法に複数の課題が存在していた。第一に、人的ミスの発生が挙げられる。検査員の思い込みや読み違いにより、設計と異なる位置に貫通孔がある型枠が見過ごされる事例があり、これが後工程における不具合の原因となる重大な問題であった。

第二に、検査作業に要する時間的制約がある。鋼製型枠は重量物であるため、検査時にはクレーン等の重機を用いて持ち上げる必要があり、検査工程に多くの時間を要する。このことは、製造工程全体の進行に影響を及ぼす要因となっていた。

第三に、記録管理の煩雑さも無視できない。従来は紙ベースで検査記録を管理していたため、後からの確認やトレーサビリティの確保が困難であり、記録の紛失や誤記入などのリスクが品質管理の信頼性を損なう要因となっていた。

第四に、不良型枠がPCa工場に搬入された場合、現場での再加工が必要となり、コストおよび時間のロスが発生する。これにより、納品後の工程遅延や品質低下といった深刻な問題が生じる可能性がある。

これらの課題に対し、開発した検査技術は有効な解決策を提供する。客観的かつ定量的な検査の実現により、人的ミスの防止と検査時間の短縮が可能となる。また、クラウド上での記録保存および共有機能により、記録管理の効率化とトレーサビリティの向上が図られる。さらに、型枠製造会社とPCa工場の間で事前に検査結果を確認できる体制を整えることで、不良品の搬入を未然に防止し、再加工の発生を抑制することが可能となる。図-1は、これらの課題と、それに対する新たな検査手法による解決策の対応関係を示している。

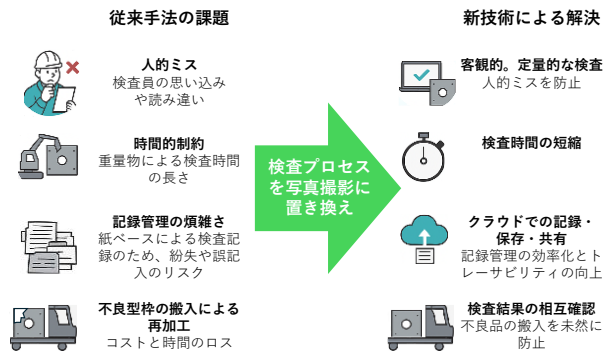


図-1 従来手法の課題と新たな検査手法による解決

3. 検査手法の検討と効果の確認

鋼製型枠の貫通孔検査において、従来の目視や手作業による方法に代わる新たな計測手法の検討と、その効果について述べる。検査の精度向上と作業効率の両立を目指し、複数の技術的アプローチを比較・評価したうえで、最も実用的かつ現場適応性の高い手法を選定した。

(1) 検討対象とした主な手法と評価

鋼製型枠の貫通孔検査において、従来の目視・手作業による計測に代わる手法として、以下の技術の得失を比較・評価した。

① レーザー測定器

高精度な寸法測定が可能であり、特定のポイントの距離や位置を正確に把握できる点では優れている。ただし、測定対象を一点ずつ個別に測定する必要があるため、作業の流れとしてはメジャーを用いた手作業と大差がなく、効率性に欠ける。測定精度は高いものの、多くの検査箇所を短時間で確認する必要がある現場作業には適さない。

② 3D スキャナ

対象物全体を点群データとして取得できるため、形状全体の三次元的な把握に優れる。視覚的な記録としても有用であり、設計と現物との差異の抽出には適している。しかし、装置が高価である上、取得した膨大な点群データの解析処理に時間を要する。そのため、検査対象ごとに撮影・解析・評価を行う現場の検査作業として考えた場合、1件あたりの処理時間が長く、検査効率が著しく低下する。結果として、日々の検査作業には実

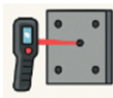
用性が乏しく、運用には不向きと判断した。

③写真解析

カメラで撮影した画像を用いて貫通孔の位置や寸法を解析する手法である。一般的なスマートフォンやタブレットでの撮影も可能であり、特別な機器を必要とせず、現場での即時対応が容易である。また、専用のソフトを作成すれば、設計図との照合や位置・寸法の確認を自動で行うことが可能となり、検査精度を保ちながら作業効率も大幅に向上できる。

表-1 に計測手法の比較を示す。以上の比較検討の結果、写真解析は精度・効率・即時性・コストの全体的なバランスにおいて最も優れており、現場での実運用に最適な手法であると判断し、本ツールの基本技術として採用するに至った。

表-1 計測手法の比較

レーザー測定機	3Dスキャナ	写真解析
		
○高精度 ○個別測定 ×効率性に欠ける	○形状把握に優れる ×解析時間長め ×高価 ×高価	○即時対応 ○汎用機器を使用 △専用ソフトによる自動解析で効率向上
鋼製型枠の貫通孔の位置を確認するには 写真解析が最もバランスに優れ、現場運用に最適		

(2) 検査に使用する写真解析手法の選定

写真解析には、単写真標定、相互標定、SfM (Structure from Motion) +MVS (Multi-View Stereo) など複数の手法が存在する。これらの手法にはそれぞれ特性と制約があり、鋼製型枠に設けられた貫通孔の検査に最適な手法を選定するために、作業性と精度の両面から比較・検討を行った。写真-1 に示すように、検査対象となる型枠は金属製で光沢を帯びており、貫通孔の位置や形状の確認には高い精度が求められる。



写真-1 鋼製型枠

①単写真標定¹⁾

- ・撮影は1枚の画像で済み、作業が簡単である。
- ・貫通孔のある面と同じ高さに基準点を設定すれば、高い精度が得られる。
- ・計測作業は1枚の画像上で対象位置を指定するだけでよく、操作が容易である。
- ・基準点の設置高さがわずかにずれるだけでも精度に大きく影響するため、設置条件が精度を大きく左右する。

②相互標定 (ステレオ写真測量)²⁾

- ・撮影は2視点からの画像で対応可能であり、比較的容易である。
- ・貫通孔の周辺に基準点を3次的に配置することで、標定精度が高い。
- ・2枚の画像上で計測対象の同一点を正確に指定する必要があり、操作が煩雑である。
- ・鋼製型枠のような単色・光沢のある対象では、同一特徴点の特定が困難である。

③SfM+MVS (多視点三次元再構成)³⁾

- ・複数枚の連続した写真から3Dモデルを構築する高度な手法である。
- ・三次元形状を再現できるが、撮影枚数が多く、処理工程が複雑。
- ・鋼製型枠のように単色かつ光沢を帯びる対象では特徴点の抽出が難しく、3Dモデル化の精度が不安定になる場合がある。
- ・貫通孔の縁などのエッジ部分では形状再現が困難であり、貫通孔位置の精密計測には不向きである。

これらの特徴を踏まえた上で、型枠貫通孔確認作業においては、作業の簡便さと測定精度の両立が求められるので作業性の観点からSfM+MVSは運用が煩雑であるため、選定対象から除外し、単写真標定と相互標定のいずれかを基本とする方向で検討を進めた。検討の結果、標定処理には高精度な基準点計算が可能な相互標定を採用

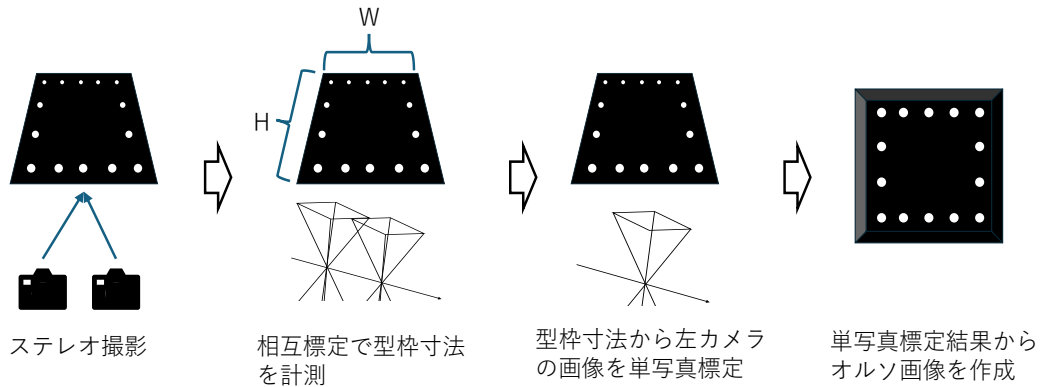


図-2 標定処理の手順

し、計測時には操作が簡便で効率的な単写真標定を用いるハイブリッド手法を選定した。図-2に本手法における標定処理の手順を示す。この手法により、各方式の長所を活かしながら、対象面の形状や撮影条件に応じた柔軟な対応が可能となった。さらに、解析結果の出力方式としては、単写真標定で得られた画像をオルソ化（正射変換）し、設計図と重ね合わせて比較する方式を採用した。図-3に本方式のイメージを示す。本方式は以下の理由により有効である。

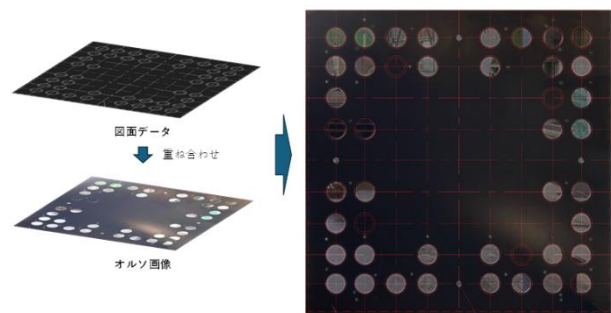


図-3 解析結果の出力方式

- ・鋼製型枠のように単色かつ光沢を帯びた対象物では、画像処理による自動抽出が困難であるが、オルソ画像と設計図を重ねることで、貫通孔の位置や寸法のずれを視覚的に直感的に把握でき、現場作業者でも即座に判断可能となる。
- ・貫通孔には厚みがあり、画像上では表面と裏面のエッジの識別が難しい。全自動処理では誤認識のリスクがあるが、オルソ画像と設計図の重ね合わせにより、人の目による迅速かつ確実な判別が可能となり、誤検出や見落としを防止できる。
- ・オルソ化により画像の幾何歪みが補正され、1画素あたりの寸法が正確に定義されるため、設計図との比較において位置や寸法のずれを数値で把握することが可能となる。これにより、定量的な評価と、視覚的な違いを捉える定性的な確認を同時に行うことができる。
- ・オルソ画像と設計図を重ねた比較結果は、検査記録として保存可能であり、後工程や品質保証におけるトレーサビリティの確保にも寄与する。
- ・本方式は、特別な3D処理や高性能な計算環境を必要とせず、現場レベルでの迅速な運用が可能である。これにより、検査作業の効率化と省力化が図られる。

このように、標定処理と計測操作のそれぞれに最適な技術を適用することで、現場での実用性と精度を両立した写真解析手法の構築が可能となった。

4. 鋼製型枠貫通孔確認ツールの概要

本ツールは、鋼製型枠に設けられた貫通孔の位置と寸法を、現場で迅速かつ正確に確認するために開発された検査支援システムである。従来の目視や手作業による検査に代わり、撮影画像と設計図との自動照合を行うことで、人為的ミスの低減、作業効率の向上、検査記録の標準化・共有を実現している。本ツールには①製品図(PDF)のDXF変換、②標定処理、③撮影画像のオルソ化(正射変換)、④図面との重ね合わせ表示、⑤検査結果の自動保存とクラウド共有、が搭載されている。これにより、検査の精度と効率が大幅に向上し、記録の一元管理やトレーサビリティの確保も実現される。

(1) システム構成

ハードウェア構成は以下のとおりである。

- ・撮影機材

市販のデジタルカメラまたはスマートフォン／タブレットを使用。特別な機器を必要とせず、現場で即時に導入可能である。

- ・撮影補助具

基準点フレームおよびマーカーを鋼製型枠に設置することで、標定の精度を確保する。写真-2 に使用される基準フレームとマーカーを示す。

ソフトウェア構成は以下のとおりである。

- ・画像処理エンジン

PDF 図面の DXF 化、標定処理、オルソ化、図面との照合、検査結果の保存などを担う。これらの処理はすべてクラウド環境で実行される。

- ・ユーザーインターフェース

基本操作はシンプルで、「画像のアップロード→オルソ画像と図面の重ね処理→検査結果の表示」の3ステップのみで検査結果が得られるよう設計されている。現場作業者にも扱いやすく、特別な訓練は不要である。

図-4 に本ツールの基本的な作業手順を示す。

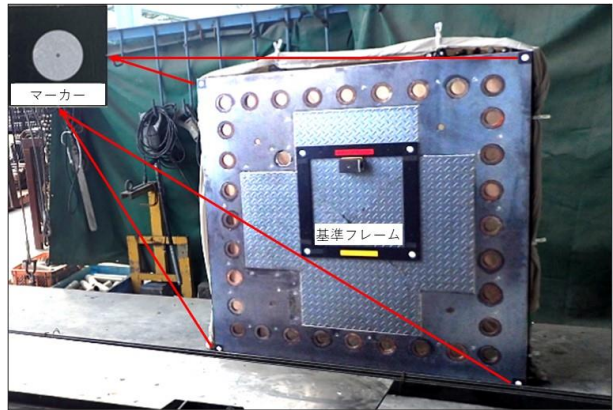


写真-2 基準フレームとマーカー



図-4 作業手順

(2) 現場運用とスマートデバイスの活用

本ツールはクラウドベースの Web アプリケーションとして構成されており、スマートフォンやタブレット端末などのスマートデバイス上でも利用可能である。特に、カメラと通信機能を備えたスマートデバイスを活用することで、現場での即時検査および結果確認が可能となり、操作習熟を必要としない直感的な作業が実現される。また、撮影から解析までの一連の工程を単一端末で完結できる点も大きな利点である。このように、本ツールは現場の実情に即した柔軟性と高い操作性を備えており、検査作業の効率化と品質向上に寄与する。

5. 効果検証

本ツールは、関連会社である SMC プレコンクリート株式会社および型枠製造会社にて実証実験を実施した。実際の製造現場において、鋼製型枠の貫通孔検査に本ツールを導入し、従来の検査方法との比較を行った。従来は、目視による確認と金属製巻尺を用いた手作業での寸法計測によって検査が行われており、作業者の経験や判断に依存する部分が大きかった。

(1) 効果測定の結果

実証実験の結果、以下のような効果が確認された。

- ・検出精度

貫通孔の位置および寸法の検出において、実寸に対する誤差は約 1mm 以内に収まっており、設計図との照合に十分な精度を確保している。

- ・主筋位置の検出

撮影画像のオルソ化により、主筋の位置も明確に把握可能である。

- ・人為的ミスの削減

クラウド上で画像を自動解析することで、見過ごし・見落とし・計測ミスなどの人的要因による不良の

発生を大幅に低減できる。

- ・視認性の向上

撮影画像上に貫通孔の図面を重ねて表示することで、貫通孔の有無や位置ずれを一目で確認可能である。

- ・相互確認による早期発見

特に重要な成果として、検査結果がクラウド上で即時に共有されるため、型枠製作会社とPCa工場の双方が検査結果をリアルタイムに確認できる。これにより、型枠製作時の不備があっても、PCa工場での受入前に発見・対応が可能となり、納品後の再加工や工程遅延の回避につながっている。図-5にクラウドを介した検査結果の相互確認の流れを示す。

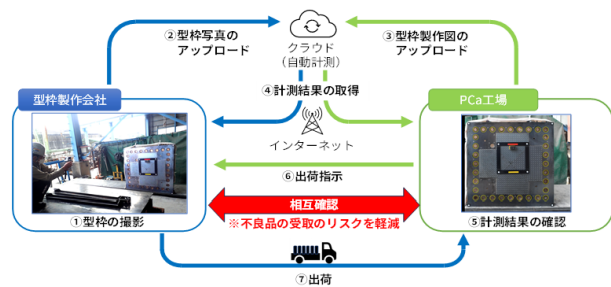


図-5 検査結果の相互確認の流れ

これらの成果により、検査作業の効率化と品質管理の信頼性向上が実現された。

(2) 課題と今後の展望

開発初期には、撮影角度や照明条件による画像のぼらつきが課題であったが、撮影ガイドの整備やオルソ化処理の強化により、安定した解析が可能となった。今後は以下の展望がある。

- ・AI技術との連携

深層学習を活用した自動判定機能の追加により、さらなる精度向上と自動化

- ・他工程への展開

鉄筋配置やコンクリート打設後の表面検査など、他の工程への応用可能性を検討

6. まとめ

本研究では、建設分野における品質管理の高度化を目的として、鋼製型枠の貫通孔検査に写真解析技術を導入した新たな検査ツールの開発とその効果検証を行った。主な成果として、従来の目視や手作業による検査を写真撮影に置き換えることで、人為的ミスや見過ごしによる不良品発生リスクを大幅に低減できる検査プロセスの仕組みを構築した点である。また、この仕組みをクラウド上で運用可能な自動検査ツールとして実装し、撮影・解析・記録・共有までを一元化することに成功した。実証実験の結果、計測誤差1mm程度の高精度な検出が可能であり、主筋位置の確認や記録の自動保存、さらにはクラウド経由での相互確認機能により、PCa工場と型枠製作会社間での検査の透明性と即時性が大幅に向上した。これにより、不良品の出荷前発見が実現し、納品後の再加工や工期遅延が回避された。今後は、AI技術との連携によるさらなる自動化や、他工程への応用展開を視野に入れ、継続的な改良と実装を進めていく予定である。本ツールは、建設業界における品質管理の信頼性と効率性の向上に資する技術であり、写真解析技術の実用的な活用例の一つと位置付けられる。

参考文献

- 1) 株式会社アイティーティー：製品情報，<https://www.ittc.co.jp/2017/08/17/singleview/>，2018.9.2 参照
- 2) 株式会社アイティーティー：製品情報，<https://www.ittc.co.jp/2017/08/17/twoview/>，2018.9.2 参照
- 3) 金井 理：SfM MVS 技術の動向，写真測量とリモートセンシング，第60巻，第3号，pp.95-99，2022.7.1