

各 位

2025年12月24日
株式会社三和製作所

メディア掲載のお知らせ

日本工業出版社の『月刊 建設機械 2025年12月号』に、当社代表取締役の斎藤 雄一郎が寄稿しました「高解像度X線検査装置の開発 - 低エネルギー放射線測定で培った技術を展開」を掲載頂きましたのでお知らせいたします。

＜本件に関するお問い合わせ＞

株式会社三和製作所

E-Mail : toiawase@3wa-corp.jp

2025 **12**

730. Vol.61. No.12

建設機械と機械化施工の専門誌
建設機械
Construction Machinery and Equipment



建設機械
オフィシャルサイト

新世代油圧ショベル
PC200i-12

現場を変えたい
皆さんとともに
3D施工を標準へ



KOMATSU
Creating value together

コマツカスタマーサポート株式会社
〒108-0072 東京都港区白金1-17-3
Tel. 050-3486-7147



高解像度X線検査装置の開発

低エネルギー放射線測定で培った技術を展開

(株)三和製作所 齋藤 雄一郎

1. はじめに

我が国の道路橋は大量供用期から半世紀を経て高齢化が加速している。プレストレストコンクリート(PC)橋においては、緊張材の防食を担うグラウトの未充填や空隙、滯水に起因する鋼材腐食・素線破断が致命的損傷に直結しうるため、内部状態の確定診断が維持管理の要諦である。従来は打音、弾性波、地中レーダ、低出力X線撮影などの複合評価が主流であったが、厚部材、重複配筋、かぶり厚が大きい部位では識別能が低下し、「見える／見えない」の境界が実務判断を難化させてきたという経緯がある。とりわけ、未充填と含水グラウト、モルタル分離のような密度差の小さい欠陥は散乱線や重なりの影響を強く受け、画像コントラストの劣化が誤判定の温床となる。

この状況を踏まえ、近年は現場に可搬型の高エネルギーX線源(MeV級)を導入し、1m級の厚部材を対象に透視・判定する取り組みが進展している。高出力化によって透過力は増すが、同時に散乱線の増大、検出器のダイナミックレンジ、幾何制約下での限定角撮像といった新たな課題が顕在化する。すなわち、問題は単純な「線源強化」では解決せず、「検出器側の知覚能力(CNR、空間分解能、エネルギー選別)と現場ワークフロー(安全管理、段取り、標準化)」を同時最適化する総合設計が問われる段階にある。

当社はこの要請に応え、厚部材・重複配筋・限定角という三重制約下でも欠陥の確度ある抽出を可能にするPC橋グラウト充填調査装置の開発に着手した。本装置は、独自技術により、「決めの一枚」を速やかに取得できる確定診断ツールを目指すものである。

2. 当社の既存技術：トリチウム連続測定で培った計測資産

当社は福島県に所在し、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故に関連する除染・廃炉領域の機器開発を継続してきた実績を有する。その中核テーマとして、原子炉の廃止措置に伴い発生する処理水中に残留する放射性トリチウムを連続測定できる技術の開発を推進してきた。トリチウムは低エネルギーベータ線放出核種であり、自己吸収や外部雑音の影響を受けやすく、高感度かつ高選択性の計測が本質的に難しい。現行の代表的手法は液体シンチレータを用いるバッチ測定であり、サンプリング、試料調製、カウントの各工程を要するため、連続放出される処理水のリアルタイム監視や突発事象への即応には根本的な制約が存在する。

当社はこの制約を乗り越えるべく、配管バイパスを通液しながら濃度指標を迅速に読み出すオンライン計測系を構築した。具体的には、国際放出基準である6万ベクレル/Lの水準を約2

秒で判定可能な性能を達成している。これは、東北大学金属材料研究所で開発されたGAGG(ガドリニウムアルミニウムガリウムガーネット)シンチレータの高発光・高密度・非吸湿といった特性を最大限に引き出し、固体光センサと組み合わせた高S/Nシステムを実装したことにより実現したものである。オンライン連続計測を成立させるための信号処理、エネルギー校正、温度・経時安定化、雑音リジェクションに関する設計知見は、放射線計測分野における汎用資産として確立されている。

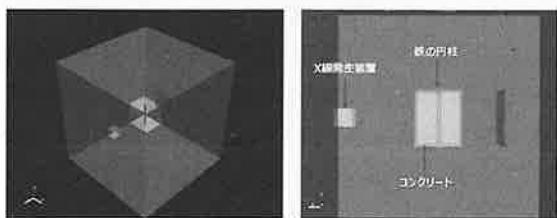
本PC橋グラウト充填調査装置は、まさにこの連続・高感度計測の資産を厚部材X線透視へ転用し、現場要件に合わせて再設計したものである。すなわち、GAGGの高い光子変換効率と機械的堅牢性を基盤に、現場で完結する校正・品質管理のUXを一体化し、「見えるかどうか」を「見えるようにする」ための測定系として磨き上げている。

3. 当社の解とシミュレーション検証

当社の保有する本案件への展開妥当性について、東北大学吉川研究室と共同でGATEを用いたモンテカルロ・シミュレーション検証を実施した。

3-1 条件(第1図)

シンチレータは、従来型CWOとGAGGを比較し、コンクリート厚は計算収束性を考慮して10cmおよび50cmとした。コンクリート中央に鉄円柱($\phi 50 \times 600$ mm)を仮想配置し、X線スペ



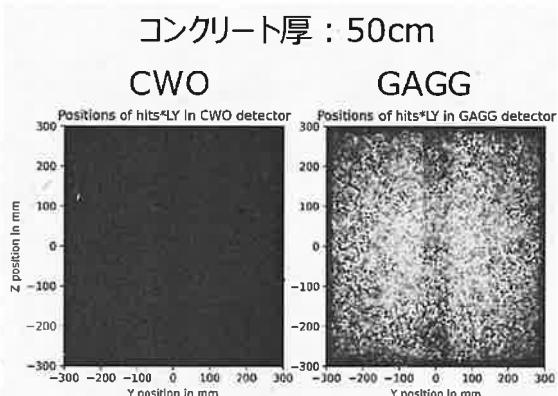
第1図 シミュレーションのジオメトリ

X線源、コンクリート、中央の鉄円柱、検出器の相対配置を示す。

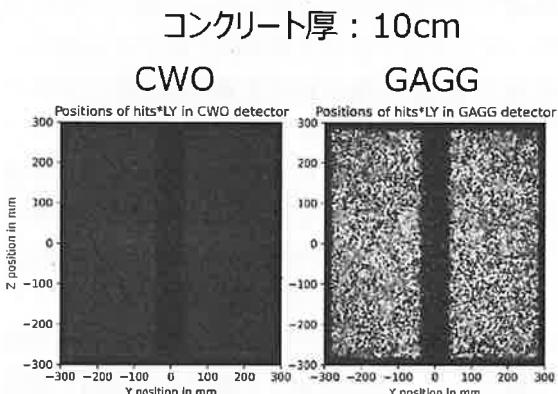
クトルは取得済み実測データに整合させた。画像生成はシンチレータへのヒット数×発光量により行い、検出感度差をCNR相当指標で比較した。

3-2 結果(第2図、第3図)

CWOとGAGGで検出確率(ヒット数)に顕著差はない一方、発光量(光出力)の差によりGAGGが感度優位となることを確認した。計算上は約2.5倍の感度向上が得られ、厚さ50cmでも鉄円柱のコントラストが向上した。厚さ10cmでは両者とも識別可能であるが、GAGGは粒状ノイズに対する相対コントラストが高く、閾値判定の安定性に寄与する。



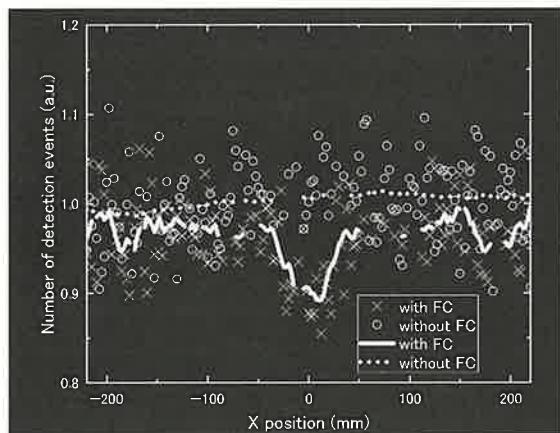
第2図 コンクリート厚50cmにおける
CWOとGAGGの比較(ヒット数×発光量)
GAGGは光出力の優位により相対コントラストが向上する。



第3図 コンクリート厚10cmにおける
CWOとGAGGの比較(同上)
両者で円柱は識別可能だが、GAGGは閾値判定の安定性に寄与する。

3-3 厚部材シナリオ (第4図)

150 cm相当の厚さ条件で取得したラインプロファイルでは、鉄柱位置に明瞭なディップが現れ、長尺・厚部材に対しても識別可能性が示唆された。なお、シミュレーションは計算資源上の制約からイベント数を抑制しているため、実測ではさらに高いイベント統計が得られ、空間分解能・CNRとも一層の改善が期待される。以上より、GAGGベースの検出器は散乱優勢、および限定角という厳条件下でもCNRを実用域へ引き上げ、1.5 m級厚部材の調査を視野に入れる設計方針が妥当であると結論づけられる。



第4図 コンクリート厚150 cm相当の
ラインプロファイル

鉄柱位置に明瞭なコントラストが現れ、厚部材でも識別可能性が示唆される。

4. 実証計画・KPIと期待効果：

“決めの一枚”を現場に届ける

本装置の価値は、現場判断に必要な確度の高い画像と数値指標を短時間・反復可能に提供する点にある。実証段階のKPIは次のとおりである。

4-1 物理性能の定量化

厚さ $t=1.0 \sim 1.5$ mの模擬体における最小識別空隙サイズとCNR閾値を、線質・入射角・散乱条件の関数としてマッピングする。シミュレーション-実測のギャップはイベント統計と幾何条件で整理し、再現性の高い指標体系へ落とし

込む。

4-2 限定角再構成の運用実装

事前配筋精度と再構成誤差の相関を量量化し、予測像照合→閾値判定の現場フローを確立する。

4-3 スループット最適化

段取り時間（搬入～基準合わせ～撮像～撤収）と1部位あたり撮像時間を短縮し、点検口制約下でも処理能力の実用化を図る。

4-4 安全・品質保証

管理区域設定、境界線量監視、合図系をUIに組み込み、規制準拠とトレーサビリティを標準化する。

4-5 標準化と社会実装

第三者評価の取得、性能カタログ化、教育プログラム化により、確定診断ポジションとしての定着を目指す。

5. おわりに

導入効果は明快である。削孔本数の最適化、補修要否判断の迅速化、誤判定低減、点検記録の標準化に寄与する。広域スクリーニングは従来手法に委ね、疑義箇所に“決めの一枚”を当てる確定診断として位置付けることで、費用対効果を最大化できる。装置は可搬設計であり、既存の現場ワークフローに無理なく組み込む。加えて、我々はトリチウム連続測定で培った技術を横展開しており、長時間運用でのドリフト抑制、簡便な校正手順、遠隔支援までを視野に入れた。最終目標は、厚部材・重複配筋・限定角という三重制約下においても、“見えるかどうか”的賭けを終わらせ、数値で決める維持管理を実装することである。装置の中核思想は簡潔である。検出器が物理を味方に付け、現場が時間を味方に付ける。そのための道具を提供する所存である。

【筆者紹介】

齋藤 雄一郎
株式会社三和製作所 代表取締役