

V-132

高エネルギーX線によるコンクリートの非破壊検査

日立製作所 電力電機開発本部 正 会 員 出 海 滋
 竹中工務店 技術研究所 和泉意登志
 東京大学 生産技術研究所 フェロー 魚本 健人

1. 緒 言

コンクリート構造物の放射線透過試験では放射線源にX線管かR Iを使用するが、その透過力と強度の限界から0.5mの厚さを越えるコンクリートの検査は難しい。この問題は、電子線線形加速器（LINAC）から得られる透過力の強い高エネルギーX線を使うことで原理的には解決できる。X線が一桁減衰するコンクリートの厚さは12MeVのLINACでは約0.4mで、しかもLINACの放射線強度（輝度）は300kVのX線管の100倍、 $^{\circ}\text{C}$ oの 10^4 倍にもなる。これだけを考えると、1.5mないしは2mの厚さのコンクリートの放射線検査は容易に思える。しかしそう簡単ではない。高エネルギーX線に対する検出器の感度は一般に極めて低い。たとえばX線フィルムの量子効率率は約 10^{-5} である。さらに重要な課題は遮蔽の難しい高エネルギーX線の漏洩をどう防ぐかである。この二つの問題（実は一つの技術課題に集約される）を解決しない限りLINACによる野外でのコンクリート構造物の検査は実現しない。ここでは高エネルギーX線に対して高感度なシリコン半導体検出器(Si-SSD)を使用してコンクリート試験体の透視撮影(DR, Digital Radiography)と断層撮影(CT, Computed Tomography)した画像に基づき、LINACによるコンクリートの野外検査の実現性を検討する。

2. 高エネルギーX線CT/DRの構成

図1に高エネルギーX線CT/DRの構成を示す²⁾。この装置はX線源としてのLINACと、1次元のX線検出器アレイを対向して配置し、その間に撮影試料を走査するスキャナが設置してある。X線源はファンビーム状にX線を放出するように整形しており、試料を透過後のファンビームを受ける位置に検出器アレイが設置してある。CT撮影の場合は試料を回転走査しながら、DR撮影の場合は上下方向に試料を走査しながら、透過減衰したX線強度を測定する。ここで使用するLINACはX線平均エネルギーが約3MeV(Max 6MeV)で、強度は 10^9 photons/ $\mu\text{Sr}\cdot\text{s}$ 、つまり線源前方1mの位置の 1mm^2 に毎秒 10^9 個のX線光子を放出する能力を持つ。検出器にはSi-SSDを使いその量子効率は約30%である²⁾。この効率はX線フィルムのおよそ 3×10^4 倍である。すなわち、Si-SSDを使えば、X線フィルムの 3×10^{-5} 倍のX線量で撮影できる。従って撮影時の漏洩線量もこの比率で削減できる。

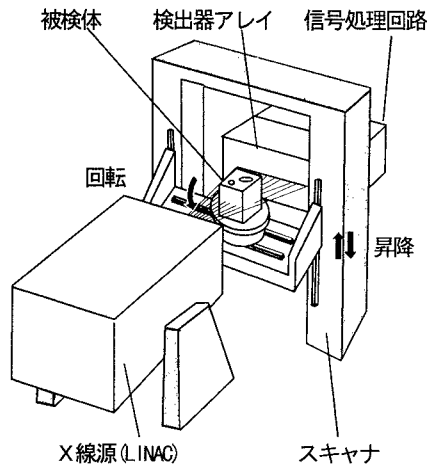


図1. 高エネルギーX線CT/DRの構成図

3. コンクリート試験体の撮影結果

0.3m×0.3m×1mの鉄筋入りコンクリート柱の試験体について、前記装置により透視撮影と断層撮影した結果を写真1に示す。写真1 aは試験体の透視画像、bは断層画像、cは多断層写真から立体画像を構築し、鉄筋のみを強調して表示してある。これらの撮影には、0.2mm×1.4mmのスリットを持つコリメータを通してX線を測定している。0.3m厚のコンクリートを透過後にスリットを通過して検出器に入射するX線光子数は毎秒約 2×10^9 個である。透過画像の場合、各画素へのX線照射時間は5msである。すなわち透視画像の1画素は 10^9 個の光

キーワード：放射線透過試験、電子線線形加速器、半導体放射線検出器、高エネルギーX線

連絡先 〒319-1221 茨城県日立市大みか町7-2-1 Tel:0294-53-3111 Ex.5012 Fax:0294-52-8803

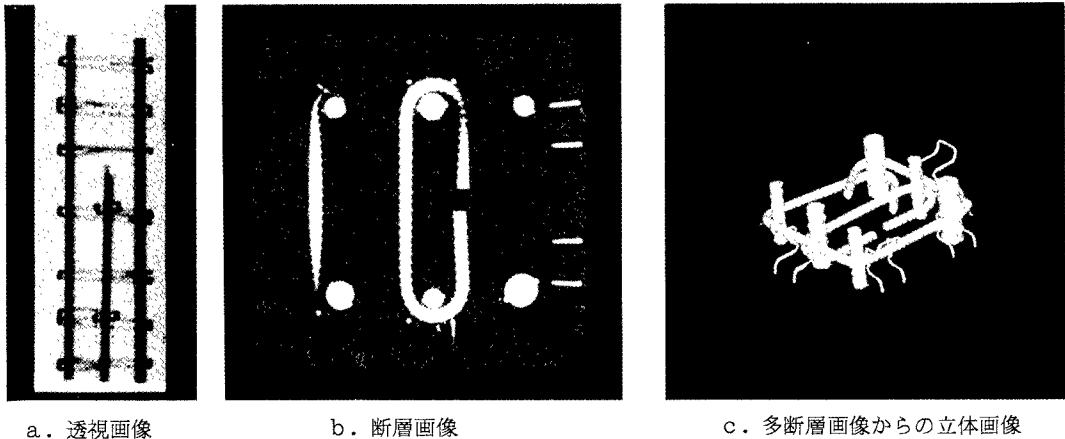


写真1. コンクリート柱の高エネルギーX線による透視撮影と断層撮影の結果

子で構成される。透視画像の画素寸法は $0.2\text{mm} \times 1.0\text{mm}$ 、断層画像の画素寸法は $0.2\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ である。これらの写真から鉄筋も含めて鮮明な画像の得られることがわかる。

4. LINACによるコンクリート構造物の野外検査の可能性

ここに示した写真は完全な遮蔽室内で撮影したものである。野外で同様の撮影を実行するには漏洩線量を見積もる必要がある。さて 1.5m の厚さのコンクリートを $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ の画素サイズ、 500×500 の画素数、 $1\text{m} \times 1\text{m}$ の透過写真として、500素子を一次元のアレイ状に配列したSi-SSDで撮影する場合を考える。これには 12MeV 級のLINACが必要である。このクラスのLINACは $10^9\text{photons}/\mu\text{Sr}\cdot\text{s}$ の出力があり、画素あたりの透過光子数を写真

1 aと同じ 10° と想定すると、撮影は 2.5s で完了する。これはアレイ状センサで1ライン(500画素)を 5ms で撮影し、500ライン分の撮影が完了する時間である。この条件で遮蔽設備を設置しない場合の漏洩線量は、撮影位置から 10m の位置で一枚撮影する毎に約 $0.03\mu\text{Gy}$ ($3\mu\text{R}$)となる。この値はX線フィルム撮影の場合に比較して約 10^3 倍であり、撮影場所周辺の半径 10m 以内を放射線管理区域とすれば、同一位置での数百枚の透過撮影が可能な勘定になる。厚さ 2m のコンクリートでは、画素サイズを $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 、画素数を 200×200 とすれば、ほぼ同じ漏洩線量の撮影が可能である。

5. まとめ

0.5m を超える厚いコンクリート構造物の放射線検査には透過力の高い数 MeV 以上の高エネルギーX線を使用しなければならない。高エネルギーX線は透過力が高いが故に遮蔽によって漏洩X線を低減することが難しく、それを実現するには数 10ton の遮蔽材を用意しなければならない。漏洩線量を低減するもう一つの手段は、検査時のX線照射時間を飛躍的に短縮することである。ここではLINACとシリコン半導体X線検出器を用いたコンクリート柱の撮影実験に基づき、照射時間短縮による漏洩線量の低減という観点から、高エネルギーX線によるコンクリート構造物の野外放射線検査の可能性について検討した。その結果、X線フィルムに比較して 3×10^4 倍の感度を持つSi-SSDを使用することで、 1.5m ないしは 2m の厚さを持つコンクリート構造物を野外でX線検査することの実現性は高いことがわかった。今後はX線検出器のさらなる高感度化と 1.5m ないし 2m の厚さを持つコンクリートでの実証実験を進める。

参考文献

- 1) H. Miyai et al., "A High Energy X-Ray Computed tomography Using Silicon Semiconductor Detectors", 1996 Nuclear Science Symposium Conference Record, Vol. 2, pp. 816-821 (1997)
- 2) H. Miyai, et al., "Characteristics of a silicon detector for industrial X-ray Computed Tomography", Nucl. Sci. and Meth. A353(1994)97-100.