

APPLICATION OF X-BAND 3.95MeV LINAC X-RAY SOURCE FOR ON-SITE BRIDGE INSPECTION

Haifeng Jin^{#A)}, Ming Jin^{A)}, Takeshi Fujiwara^{A)}, Haito Zhu^{A)}, Katsuhiro Dobashi^{A)}, Kazuyuki Demachi^{A)}, Ming Jin^{A)}, Mitsuru Uesaka^{A)}, Eiji Tanabe^{B)}, Naoki Nakamura^{B)}, Masashi Yamamoto^{B)}, Joichi Kusano^{B)}

A) The University of Tokyo¹,

2-22 Shirakata-shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, Japan

B) Accuthera Inc.²

2-7-6, Kurigi, Asao, Kawasaki, Kanagawa, 215-0033, Japan

Abstract

We developed an X-ray non-destructive (NDT) system for on-site bridge inspection. A portable X-band (9.3-12 GHz) 3.95MeV linear accelerator (linac) has been developed for this system. The system consists of X-ray of 62kg without the target collimeter of 80kg, the RF power source of 62kg and other utility box of 116kg. For the onsite investigation, a flexible waveguide is used for this linac. And the linac is a point X-ray source. For X-ray detection, we chose 8-inch square size scintillation type flat panel detector. The spatial resolution of the detector is as high as 0.2mm, which is manufactured by Perkin Elmer Co. Cd2O2S:Tb is used for the scintillator crystal. The capable radiation energy range is 40keV to 15MeV. We did experiments on three different concrete samples (thickness : 10cm,20cm,40cm). And the concrete rebar has been checked from the radiographic image.

3.95MeV X バンドライナック X 線源による橋梁 コンクリート材の非破壊検査

1. はじめに

1950年代からの橋梁建設の急激な増加に伴い近年高齢化した橋梁が急激に増加し、橋梁の突然の落橋、床板の抜け落ちなどが問題になっている。一方、PC(Prestressed Concrete)橋については図1で示すようにコンクリート内鋼材断面積減少率と耐荷力低下率が線形比例することが分かっている。また、法律の改正により一時的に戸外へ持ち出しが可能な1MeV以上のX線非破壊検査装置として4MeV未満のライナックが可能になった。そこで我々の研究室では可搬型3.95MeV Xバンドライナック X線源によるPC橋梁の非破壊検査システムを開発した。

本稿では可搬型3.95MeV Xバンドライナック X線源による橋梁コンクリートサンプルについて行った測定について紹介する。

2. 3.95MeV X バンドライナックシステム

3.95MeV Xバンドライナックシステムの全体像を図2に示す。本システムの最大の特徴はシステム全体が小型でありながら高い線量を持っている。本システムのX線発生強度は1メートルで2000mGy/minである。HVPS,制御ユニット、高周波源ユニット、加速器ユニットは各116kg、62kg、114kgで加速ユニットの加速管部(62kg)とコリメータ部(80kg)は分離可能である。また、高周波源ユニットと加速器ユニットを繋いでいる導波管はフレキシブルな素材でできており、90度まで曲げて運転することが可能である。

ディテクターとしてはPerkin Elmer社のXRD-0820を使用している。空間分解能が0.2mmで放射エネルギー範囲が20keV~15MeVである。

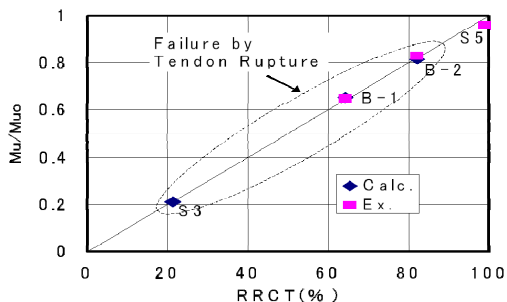


図1：塩害PC桁の鋼材断面積減少率とPC橋耐荷力低下率の関係



図2：3.95MeV X バンドライナックシステム

表 1 : 3.95MeV ライナック仕様

装置仕様	
RF 加速空洞共振周波数	9.3 [GHz] ±25 [MHz]
加速管全長	50 [cm] 以下
X 線発生強度	2[Gy/min]以上 at1[m]
RF 発生源	9.3[GHz]マグネトロン パルス幅 4[μs] 繰返数 200[PPS]
電子銃出力電流	パルスピーク電 300[mA]以上
ターゲット遮蔽体	タングステン合金材
パルス出力	出力 3,000 [kW] 以上
出力方式	コンデンサ充電スイッチング 方式
X 線ヘッドユニット重量	62 kg
コリメータ重量	80 kg
高周波源ユニット重量	62 kg
HVPS, 制御ユニット重量	116 kg
加速器パラメータ	
ビーム電流	95 mA 以上
入力 RF 電力	920 kW
加速管方式	Side coupled Structure
電子ビーム収束方式	RF 集束方式
加速セル数	Half 1+full 20
セル間カップリング	3%
フィリングタイム	0.23 μsec
シャントインピーダンス	110-130 MΩ/m(レギュラー部)
電子銃電圧	20 kV
電子銃方式	三極管



図 3 : 厚さ 10 cm サンプル

得られた X 線画像について式 1 で示すようにバックグラウンドを取り除き、X 線分布の違いにより生じる画像の変化を取り除く処理を行った(3.95MeV ライナックによる実験でも同じ処理を行っている)。その結果を図 4 に示す。

$$\frac{D_a - B_g}{X_{ray} - B_g} \times \frac{\sum_{C-area} (X_{ray} - B_g)}{\sum_{C-area} (X - B_g)} \dots \dots \dots \text{式1}$$

バックグラウンドデータ: B_g

X線分布データ: X_{ray}

画像データ: D_a

correction area: X'

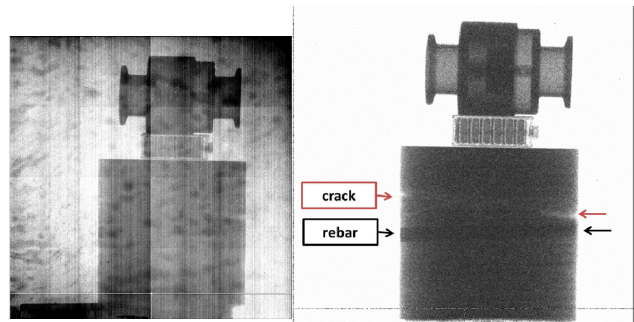


図 4 : サンプル 1 の X 線画像

図 4 の処理した X 線画像からコンクリート内部のクラックと鉄筋を確認することができる。さらに厚いコンクリートについても 950keV ライナックで測定を行ったが、内部の鉄筋の様子を確認することができなかった。

3.2 3.95MeV ライナックによる測定

3.95MeV ライナックによる実験を紹介する前に運転状況について簡単に紹介する。3.95MeV ライナックはまだ設置して間もないため今回の実験を行う時高電圧電源パルス繰り返しは 20pps(通常運転時 200pps)、電子銃出力電流は 68mA(通常運転時 100mA)で運転しており、出力は通常運転時の出力の 1 割未満である。

3.95MeV ライナックによる測定は厚さ 20 cm コンクリートと 40 cm コンクリート 2 種類について行った。

3. 実験

3.1 950keV ライナックによる測定

まず、我々の研究室の 950keV ライナックを用いて測定を行った。950keV ライナックシステムの X 線発生強度は 0.02Gy/min で、ディテクターは 3.95MeV ライナックでの測定と同じ Perkin Elmer 社の XRD-0820 を使用した。

測定サンプルは図 3 に示すように厚さ 10 cm のコンクリートサンプルと比較のため、コンクリートの上に 9V 電池とスリットを置いて測定を行った。また、積算時間は 2 秒である。

まず、20 cmコンクリートサンプルは図 5 に示すように 10 cm厚さのコンクリートを重ねてさらにディテクター側に直径 7 mmのワイヤを貼り付け積算時間 10 秒で測定を行った。

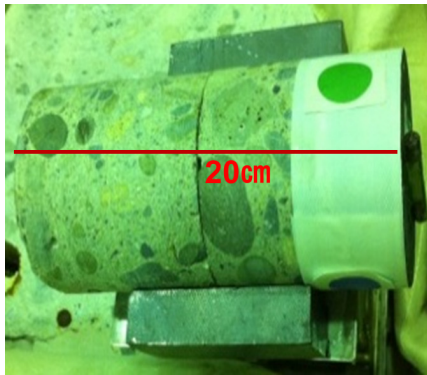


図 5 : サンプル 2

20 cmコンクリートの X 線画像は図 6 になる。貼り付けした 7 mmのワイヤ以外にも 2 本のコンクリート内部の鉄筋が確認できた。さらに赤で囲まれた部分の画像をグラフ化した結果、ワイヤが映っている部分と映っていない部分の差が大きく出た。

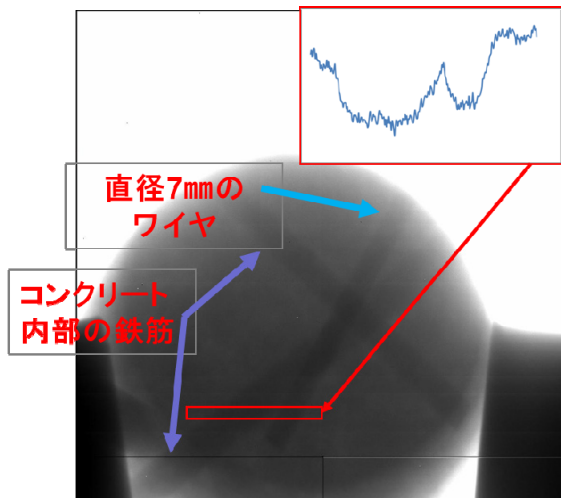


図 6 : サンプル 2 の X 線画像

測定サンプル 3 は図 7 に示す。測定を行った部分は下部の厚さ 40 cmの部分になる。このサンプルは図に示すように 7 mmワイヤが数本束ねて入っている。この束ねたワイヤの位置を調べたところ表と裏の位置が違った。つまり、7 mmのワイヤは斜めになって中に入っていることが分かる。また、比較のために 10mm のワイヤと 19 mmのワイヤをディテクター側に貼り付けた。積算時間 20 秒で撮像した X 線画像を図 8 に示す。

図 8 の右側の図は左側の図のコントラストを変え見やすくしたものである。図 8 から見ると比較用に貼り付けた 10mm ワイヤと 19mm のワイヤが確認できる。7 mmのワイヤも斜めに数本入っているのが確

認できる。さらに赤で囲まれた部分の画像をグラフ化した結果、ワイヤが映っている部分と映っていない部分の差が 20 cm厚さのコンクリートサンプルの X 線画像ほどははっきり出なかった。

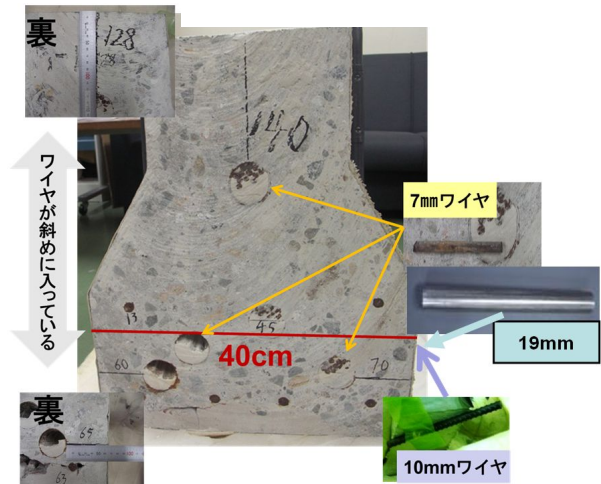


図 7 : サンプル 3

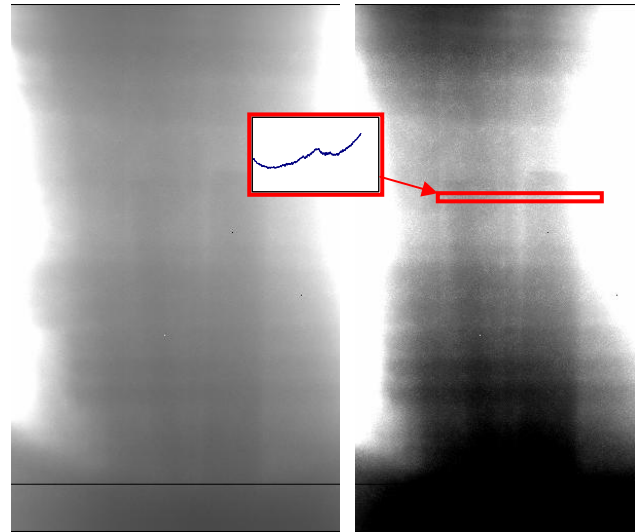


図 8 : サンプル 3 の X 線画像

また、積算時間をさらに長くして撮像を行ったところ画像全体は明るくなったものの、鉄筋が映っている部分と映っていない部分の差がほとんど変わらなかった。その理由については散乱 X 線によるものと思われる。

4. 今後の予定

まず、3.95MeV X バンドライナックシステムの設置が終わり、正常出力になる時、40 cmのコンクリートサンプルについて測定を行う予定である。散乱 X 線の除去については、まず、小さい領域について簡単なコリメータを作成し、散乱 X 線除去効果を確認し、さらにディテクターの「すべての領域をカバーするコリメータを設計・作成し実験を行う

予定である。最終的にはサンプルについて 180 度撮像を行い、CT 画像を作成し、40 cm コンクリートについて空間分解能 2 mm を実現することを目指す。

参考文献

- [1] Takuya Natsui, Mitsuru Uesaka, Tomohiko Yamamoto, Fumito Sakamoto, Eiko Hashimoto, Lee Kiwoo, Naoki Nakamura, Masashi Yamamoto, Eiji Tanabe, "Development of a Portable 950 keV X-band Linac for NDT" The American Institute of Physics Conference Proceedings Series Volume1099 75-78 2009
- [2] Kiwoo Lee, Eiko Hashimoto, Tomohiko Yamamoto, Takuya Natsui, Azusa Mori, Shunsuke Hirai, Mitsuru Uesaka "Design and experiment of dual-energy X-ray material recognition using a 950 keV X-band Linac" Nuclear Instruments and Methods in Physics Volume637 S54-56 2011