

可搬型 X バンドライナック X 線源の社会・産業インフラ診断推進 —3.95MeV 初の管理区域外使用と 950keV による動画像診断— ACHIEVEMENTS OF ON-SITE INSPECTION OF SOCIAL AND INDUSTRIAL INFRASTRUCTURES BY 950 KEV/3.95 MEV X-BAND LINAC X-RAY SOURCE

—FIRST ON-SITE USE OF /3.95 MEV AND DYNAMIC INNER INSPECTION BY 950 KEV—

上坂充^{A)}, 橋本英子^{#,A)}, 草野譲一^{B)}, 土橋克広^{A)}, 矢野亮太^{A)}, 關義親^{A)}, 藤原健^{C)}, 田辺英二^{B)},
大矢清司^{D)}, 服部行也^{D)}, 三浦到^{E)}, 石田雅博^{F)}, 大島義信^{F)}, 木村嘉富^{G)}

Mitsuru Uesaka^{A)}, Eiko Hashimoto^{#,A)}, Jyoich Kusano^{B)}, Katsuhiko Dobashi^{A)}, Ryota Yano^{A)}, Tomochika Seki^{A)},
Takeshi Fujiwara^{C)}, Eiji Tanabe^{B)}, Seiji Ohya^{D)}, Yukiya Hattori^{D)}, Itaru Miura^{E)}, Masahiro Ishida^{F)},
Yoshinobu Ooshima^{F)}, Yoshitomi Kimura^{G)}

^{A)}University of Tokyo

^{B)}ACCUTHERA Inc.

^{C)}AIST

^{D)}Hitachi Power Solution Ltd.

^{E)}Mitsubishi Chemical Ltd.

^{F)}Public Works Research Institute

^{G)}National Institute for Land and Infrastructure Maintenance

Abstract

Soundness diagnosis of society& the industrial infrastructure is indispensable to realize safe reliable society for regular service. It goes an investigation by the viewing, non-destructive inspection using X-rays. In the current technique, the accurate check technology by the non-destructiveness is not established. It has a problem for example, too long inspection time, to get an indistinct image in the case of a material with the thickness. The development of the technique to diagnose a non-destructive inspection and soundness technology is necessary for maintenance and management such as a bridge, a concrete structure, an industrial plant.

We promote an examination for seeing through structure soundness of various society, industry infrastructure and carry X-band linac X-ray source into the on-site. We carried out a removal material and an on-site proof examination to be able to introduce variety of use environments.

1. はじめに

定期点検等のための社会・産業インフラ健全性診断は、安全・安心な社会を実現するために不可欠である。現在の社会・産業インフラ点検は、目視による調査、X線などを用いた非破壊検査が行われている。しかし、現在の技術では非破壊による正確な点検技術は確立されておらず、X線を例にすれば、撮影に時間がかかる、厚みのある部材の場合は鮮明な画像が得られにくい、などの問題がある。橋梁、コンクリート構造物、産業プラント等の維持管理の合理化を図るための非破壊検査技術と健全性を診断する技術の開発が急務である。そのため、可搬型 X バンドライナック X 線源を屋外へ持ち出し、様々な社会・産業インフラの透視構造健全性検査を推進している^[1-6]。多様な環境下にあるインフラの現場へ導入できるように、撤去部材や現場での実証試験を実施した。

950keV X 線発生装置は、電子線エネルギー及びX線エネルギーが 1 MeV 未満のため、放射線障害防止法ではX線源として取扱い管理区域外使用は可能で、安全管理は電離放射線障害防止規則に準ずる。特に放射線管理区域は 1.3 mSv/3months の空間線量限度で設定する。一方の 3.95 MeV X 線発生装置は電子線及びX線のエネルギーが 1 MeV 以上であり、放射線障害防止法にて放射線発生装置である。しかし平成 17 年放射線障害防止法改定時に橋梁検査に限って管理区域外使用が認められた。その場合、「一時的な使用場所の変更」の届を監督省庁(原子力規制庁)に提出することで、一時的に使用場所を変更して橋梁の非破壊検査に供することが出来る。橋梁の非破壊検査は屋外で行われるため、放射線発生装置を屋外で使用することになる。両システムの管理区域外の使用につき、上記すべての措置を完了させている。

2. 950keV システムによる検査

化学プラント蒸留塔内部構造の撮像試験を行うため、高所仮説足場へ可搬型 X バンド 950keV ライナック X 線源を設置して試験を行った (図 1)。X

eiko@nuclear.jp

PASJ2015 FROL02

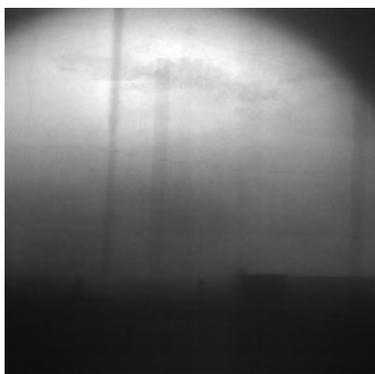
線ヘッド及び RF 源は地上 40m の蒸留塔プラットフォーム上に、電源制御ラックは地上 20m の既設主架構上に配置して、遠隔操作を行った。X 線ヘッドが配置されている駆動架台は 4 軸遠隔コントロールが可能であり、X 線照射方向の微調整ができる。図 1(a)に地上 40m までクレーンを使ってライナックを運搬風景、(b)に高所仮設足場へライナック設置の様子を示す。



(a)地上 40m までクレーンを使ってライナックを運搬。



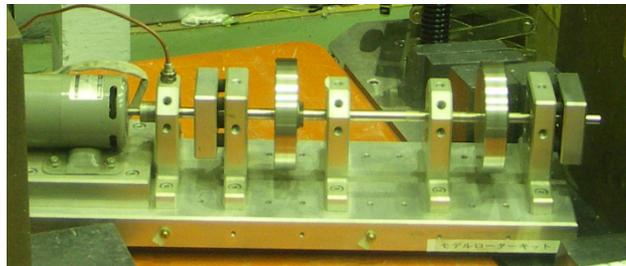
(b)高所仮設足場へライナック設置。



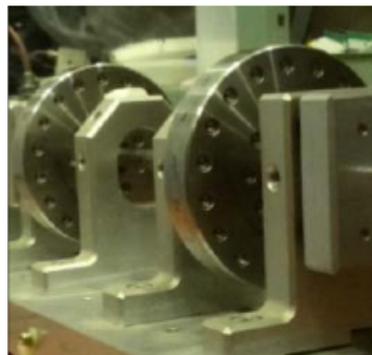
(c)プラント実配管内流体ダイナミックイメージング。図 1 化学プラント蒸留塔での撮像試験。

プラント実配管内の流体をダイナミックイメージングすることに成功した。図 1(c) にプラント実配管内の流体をダイナミックイメージング映像の一部を示す。内径 1.3m、内部鋼スチール 6mm、断熱層ウレタン 50mm、断熱層カバー1.5mm の配管であ

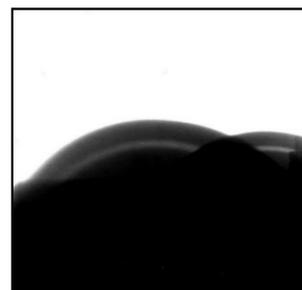
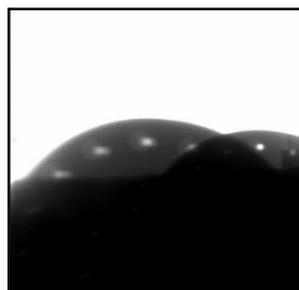
る。液体が激しく流れている様子を、映像で捉えることに成功した。



(a)モデル回転機。



(b)撮影箇所の写真。



(c)同期 X 線画像(2400rpm)。 (d)同期 X 線画像(2400rpm)。図 2 回転体同期撮像試験。モデル回転機は実際には鉄製カバー中にあり外から回転している様子は見えない。同期時c)では円盤の穴が確認できるが、非同期時d)では円周に沿った溝があるように見える。

回転周波数・X 線発生周波数同期システム整備に基づく、回転同期の X 線発生により、各種プラント回転機器のダイナミックな X 線非破壊検査手法の研究開発を進めた。回転体を対象とした擬似静止画像を取得するため、対象物が回転時に発する信号と、950keV X 線源RF周波数を同期し、回転体実機の回転同期静止画像の撮影することに成功した。図 2(a)に実験で用いた回転体モデル機を示す。モデル回転機は実際には鉄製カバー中にあり外から回転している様子は見えない。図 2(b)に、撮影箇所の写真、図 1(c)、(d)に回転同期 X 線画像を示す。同期時(c)では円盤の穴が確認できるが、非同期時(d)では円周に沿った溝があるように見える。今年度、さらに実機に近

い回転体を対象にした回転体同期撮像試験を検討している。

3. 3.95MeV システムによる検査

日本で初めて可搬型 X バンドライナック 3.95MeV X 線源による管理区域外での透過 X 線撮像試験を平成 27 年 1 月 29 日土木研究所構内にて実施した。放射線安全管理については、原子力安全規制庁、東京大学、土木研究所と綿密に安全対策の確認を行った。1 日で機器運搬、現場設置、放射線管理体系設置、測定、放射線計測、撤収を首尾よく 9~17 時以内に完了した。400mm を超える肉厚の PC 橋梁の撤去部材を数秒程度で撮像することに成功した。図 3(a)に橋梁切り出し試料、(b)に X 線システム、(c)に撤去橋梁フランジ部の X 線透過画像 (厚さ 400mm, 測定時間 1s) を示す。

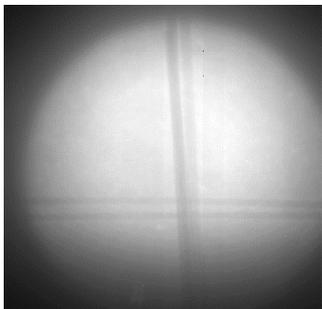
ウェブ部分(150mm)と同様に、診断が難しいとされている下フランジ部分(400mm)も、内部に配置されている鉄筋の透視像が得られた。今後、うき、空洞、グラウト等のコンクリートの欠陥等も評価していく。



(a)橋梁切り出し試料。



(b)可搬型 X バンドライナック 3.95MeV X 線源の設置。



(c)撤去橋梁フランジ部の X 線透過画像 (厚さ 400mm, 測定時間 1s)。

図 3 日本初の 3.95MeV 電子ライナック X 線源の管理区域外橋梁透視試験 (土木研究所)

4. まとめと今後の課題

可搬型 X バンドライナック X 線源社会・産業インフラへの利用促進として実施した現場撮像事例を報告した。

化学プラント装置内の内部流体フローパターン等を透過 X 線による動画で可視化した。その結果、内部鉄筋の撮像に成功した。産業インフラへの応用において、今まで可視化は困難とされてきた実機内部の流体状況の X 線動画撮像を取得し、画期的な成果を得た。回転周波数・X 線発生周波数同期システムを用いて、回転体実機の回転同期静止画像の撮影することに成功した。プラントなどで稼働している回転機器で生じるインペラ欠陥の現場試験を行う。

また、橋梁試料を対象とした可搬型 X バンドライナック 3.95MeV X 線源による透過 X 線撮像試験は日本初の試みだった。橋梁を連続スキャンによる健全性診断の可能性を見出す結果を得られた。今年度は、960keV は動画・回転同期含め 10 件程度の試験を予定している。さらに、土木研究所ご協力の元、実橋梁での試験は妙高大橋 (新潟県妙高市) で実施にむけて実験準備を進めている。

参考文献

- [1] On-site nondestructive inspection by upgraded portable 950keV/3.95MeV X-band linac x-ray sources, Mitsuru Ueaska, Katsuhiro Dobashi, Takeshi Fujiwara et al, IOP Publishing, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics 47, 23, 2014.
- [2] Backscattering X-ray System using 950 keV Linac for Non-destructive Inspection, Changheng Liu, Ryota Yano, Mitsuru Ueaska et al, The 2nd International Conference on Maintenance Science and Technology, ICMST-Kobe, 2014.
- [3] 9.3GHz X バンドライナック非破壊検査装置の実用化, 土橋克広, 上坂充, 藤原健, 検査技術, 日本工業出版, 20(1), 56-62, 2015 年 1 月号, 2015.
- [4] 三浦至, 上坂充, 草野譲一, 服部行也, 小野洋伸, 現場用可搬型 X バンドライナック 950keV 高エネルギー X 線技術の開発と産業プラントでの活用, 検査技術, 日本工業出版, 20(1), 49-55, 2015 年 1 月号, 2015.
- [5] 特集・インフラ市場意欲争奪戦 (第 2 部ロボ・非破壊で限界突破) 「研究室を飛び出す非破壊検査」, 上坂充, 日経コンストラクション, 日経 BP 社, 2014 年 8 月 25 日号, 2014.
- [6] 三浦至, 上坂充, 草野譲一, 服部行也, 小野洋伸, 950keV ライナック X 線源システムによる化学プラント蒸留塔内部流体のダイナミックイメージング予備撮像結果の紹介, 日本設備管理学会, 平成 26 年度第 2 回最新設備診断技術の実用性に関する研究会, 2014.

謝辞

現場での実証試験に関しまして、(株) 関東技研の多大なる協力を頂きました。深く感謝申し上げます。