

# 可搬型高エネルギーX線源による 橋梁検査向け部分角度CT再構成の研究

Study on Partial CT Reconstruction for Bridge Inspection  
with the Portable High Energy X-ray Source

---

東京大学大学院 工学系研究科

原子力国際専攻 上坂研究室 修士2年

矢野 亮太

# 目次

1. 背景
2. 実橋梁試験・耐力計算
3. 橋梁検査における部分角度CT再構成の適用
4. まとめ・今後の展望

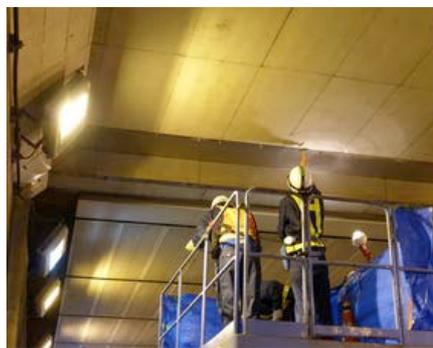
## 背景 -インフラ検査の必要性/法順守

- 20年後には建造後50年以上の社会インフラが全体の60%以上になる
- 適切なメンテナンスが必要 ex) 笹子トンネル崩落事故(2012)

5年に1度の定期検査:

- 目視検査
- 打音検査

異常が発見されたときのための  
特定検査手法を現在選定中(国  
土交通省)



“道路トンネル等の点検”, 千葉市HPより



アメリカI-35W橋の落橋(2007)

米国ミネアポリス橋梁崩落事故に関する技術調査団, “米国ミネアポリス橋梁崩落事故に関する技術調査報告”

### 950keV X線源

電子エネルギー1MeV未満のため, 電離放射線障害防止規則に準じて,  
屋外利用可能。

### 3.95MeV X線源

放射線障害防止法に準じ、エネルギー4MeV未満の加速器は, 橋梁検査  
目的に限って、屋外で使用可能。原子力規制庁の使用場所変更届の受理  
を受けて、屋外使用可能となる。  
安全管理は電離放射線障害防止規則に準じる。

# 背景-X線非破壊検査システム概要

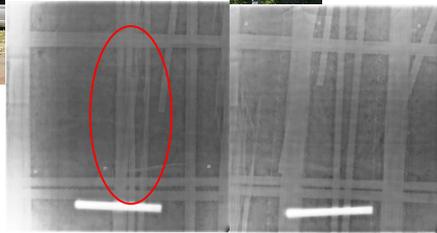
目視, 打音による  
スクリーニング



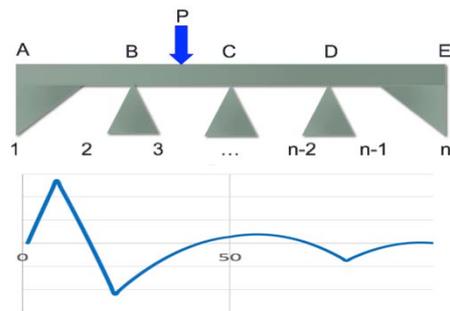
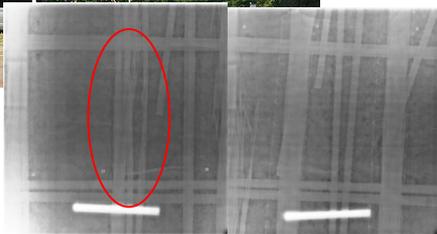
# 背景-X線非破壊検査システム概要

目視, 打音による  
スクリーニング

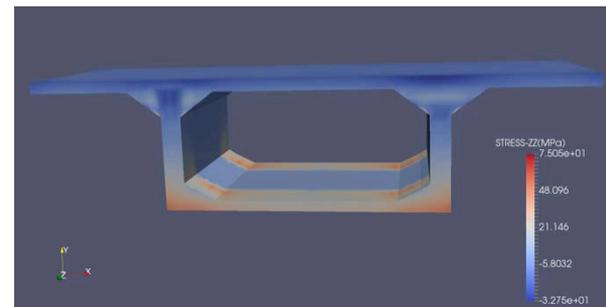
X線検査によるピンポ  
イント検査, 損傷検出



# 背景-X線非破壊検査システム概要



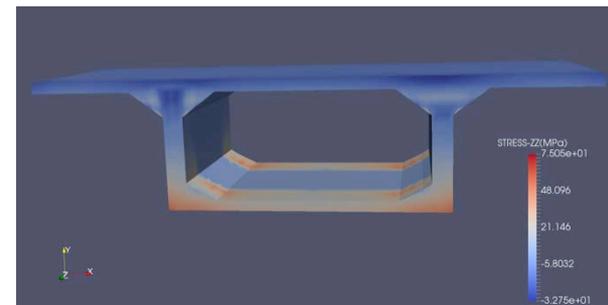
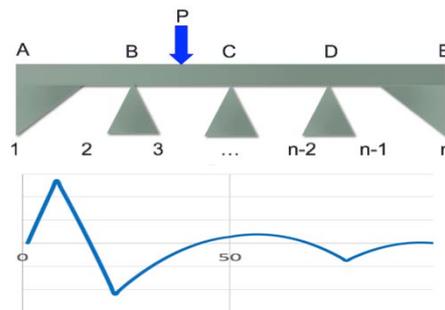
はり理論によるモーメント計算



三次元FEMを用いた  
メゾスケール構造解析(竹内)

X線試験の結果を利用した構造計算

# 背景-X線非破壊検査システム概要

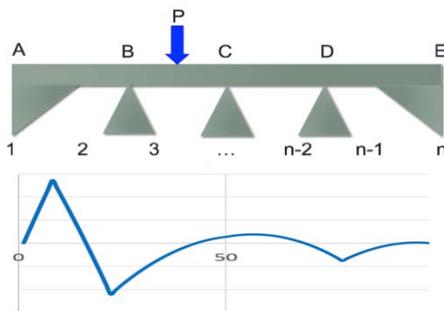
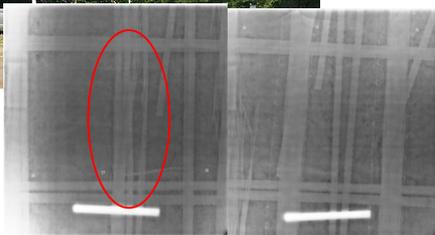


X線試験の結果を利用した構造計算

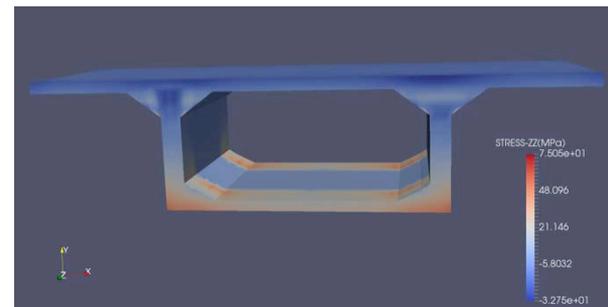
インプットとして用いる  
データの精度向上

- 部分角度CT, トモシンセシス(小沢)などの断面再構成手法の適用研究
- 3次元構造を考慮に入れた透過X線画像分析法の研究(竹内)

# 背景-X線非破壊検査システム概要



はり理論によるモーメント計算



三次元FEMを用いたメゾスケール構造解析(竹内)

X線試験の結果を利用した構造計算

様々な種類の橋梁での検査



T型橋:  
主に地方管轄道  
(北海道にて  
950keV試験予定)



箱型橋:  
主に国道  
(950keV妙高大  
橋試験)



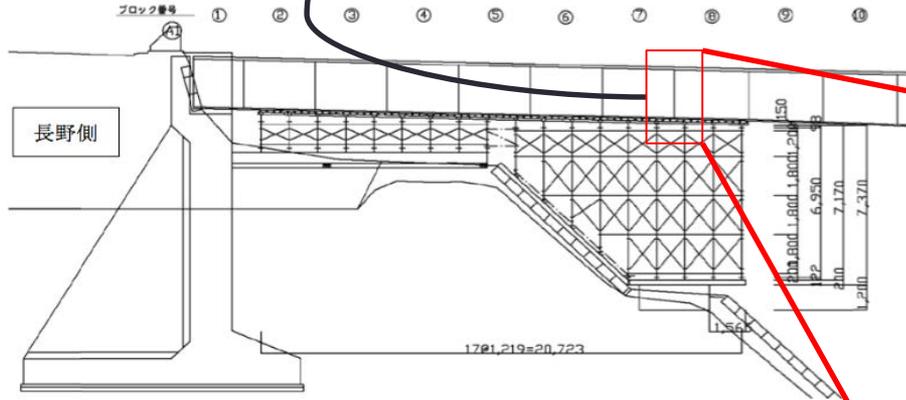
中空床版橋:  
主に高速道路  
(3.95MeV X線/中  
性子線検査)

インプットとして用いるデータの精度向上

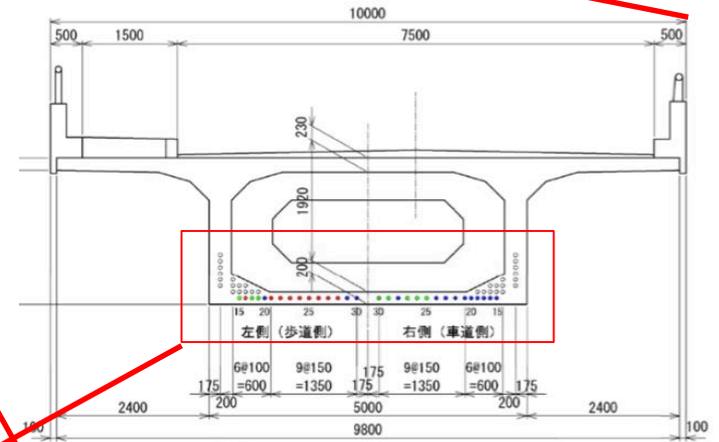
- 部分角度CT, トモシンセシス(小沢)などの断面再構成手法の適用研究
- 3次元構造を考慮に入れた透過X線画像分析法の研究(竹内)

# 実橋梁試験・耐力計算－実験方法

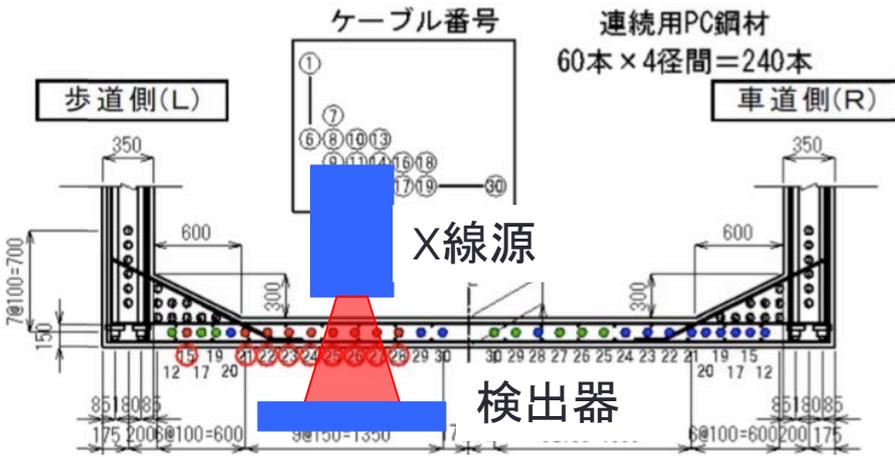
対象区域(8<sup>th</sup> block)



橋梁側面図



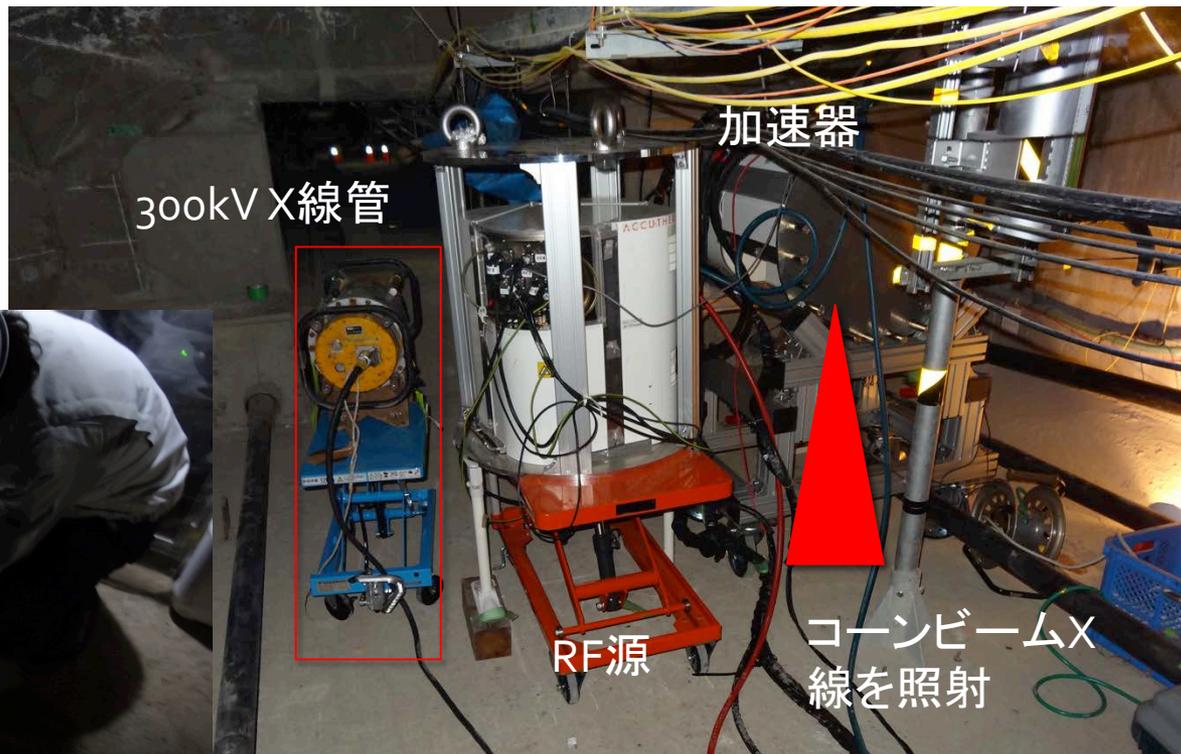
第8ブロック断面図



実験アラインメント

測定時間は3-7分/枚でコンクリート厚さに応じて調整した

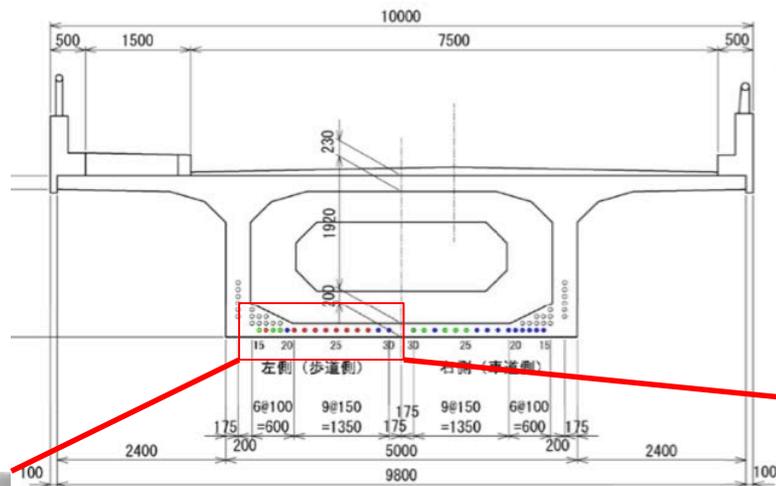
# 実橋梁試験・耐力計算－実験風景



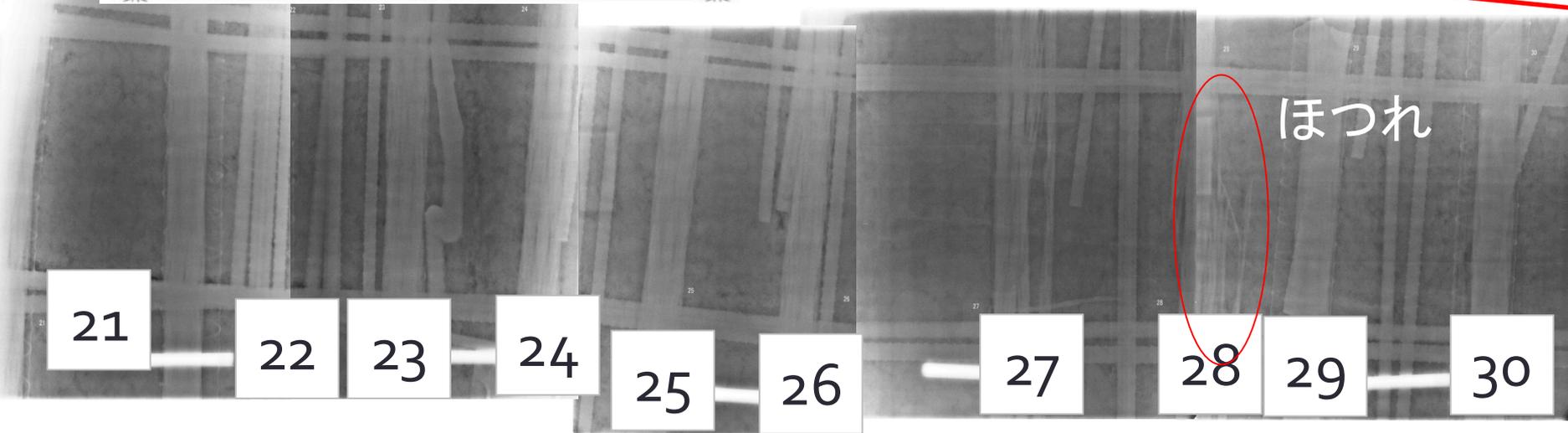
一番の難関は、X線と検出器の位置合わせ

700 mm径の穴を通じて、機器を運び入れる様子

# 実橋梁試験・耐力計算 - 実験結果

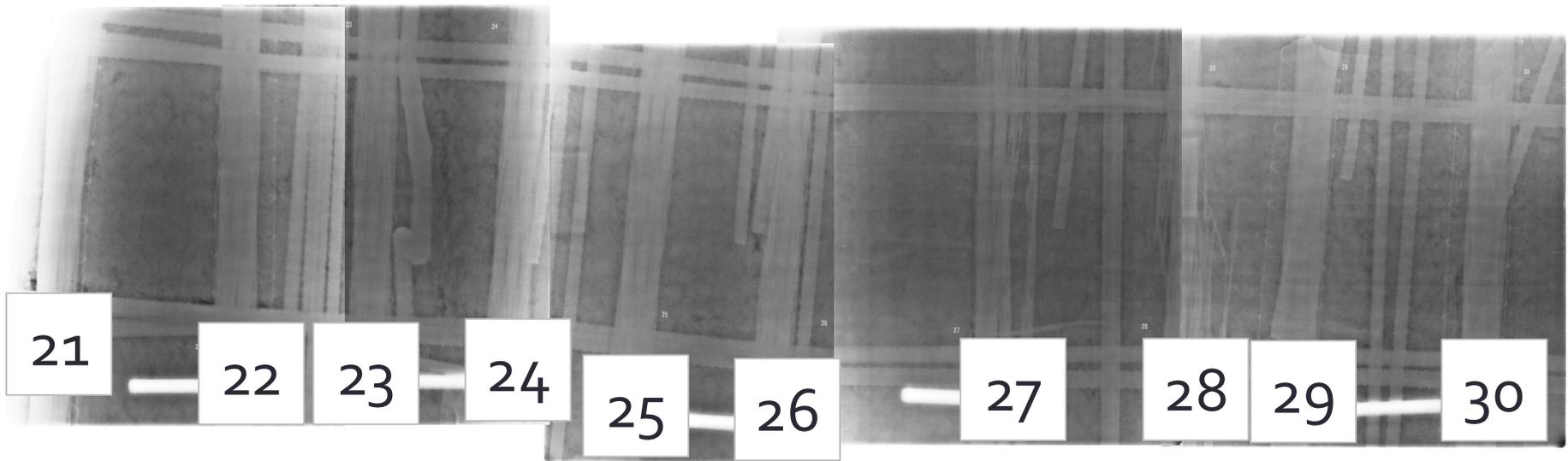


- ワイヤほつれ、シースの状態などが確認できる  
→どの程度の損傷か目視で推定

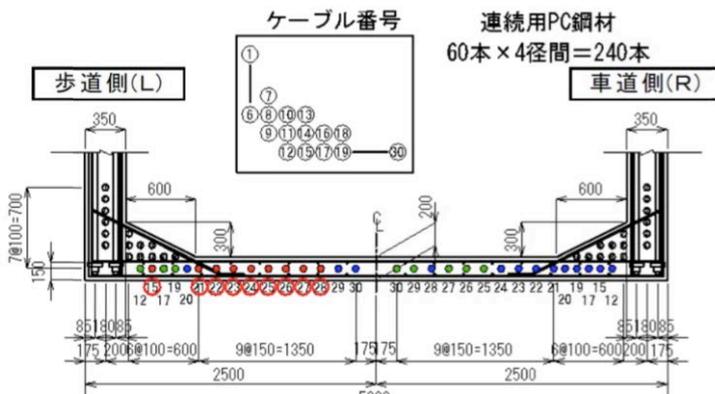


歩道側底部透視図(左図赤枠部) 番号はPCワイヤ番号  
(日立PSがデータ編集、両端2枚を省略)

# 実橋梁試験・耐力計算 -ワイヤ断面積の推定



歩道側底部透視図(左図赤枠部) 番号はPCワイヤ番号, 縦方向が橋梁長手方向に対応  
(日立PSがデータ編集、両端2枚を省略)



PC番号	断面減少率	土木研究所見解
29	0%	
28	100%	全体的なほつれ
27	70%	右側を中心としたほつれ
26-22	10%	一部ワイヤの歪み
21	50%	画面右側のほつれ

## 実橋梁試験・耐力計算 -計算結果/考察

設計図通りの場合と損傷を入力した場合の降伏モーメントと残存耐力をはり理論によって計算

	設計図	実験結果	割合(%)
降伏モーメント(kN m)	$1.42 \cdot 10^2$	$1.37 \cdot 10^2$	96.4
残存耐力(kN)	$8.75 \cdot 10^3$	$8.30 \cdot 10^3$	94.8

- 5%程度の耐力減少は社会インフラの耐久性評価では**有意**(東大院工社会基盤工学専攻 前川宏一教授)
- 2年後の取り壊し予定は妥当
- 3次元FEMの結果も5%程度の耐力減少で一致
- 結果の精度はインプットの精度に依存

## 部分角度CT再構成の適用-概要

CT(Computed Tomography)とは:

主に医療や小型産業検査で利用される  
対象の断面画像を得ることができる

部分角度CT再構成の必要性:

構造計算は透過画像を目視での10%オーダーでの損傷推定を  
ベースに計算している

→見落とししている損傷の可能性

橋梁検査部分角度CTに求められること

1. PCワイヤの損傷状態が定量的にわかること
2. 線源-検出器の位置合わせが必要な精度内で可能であること

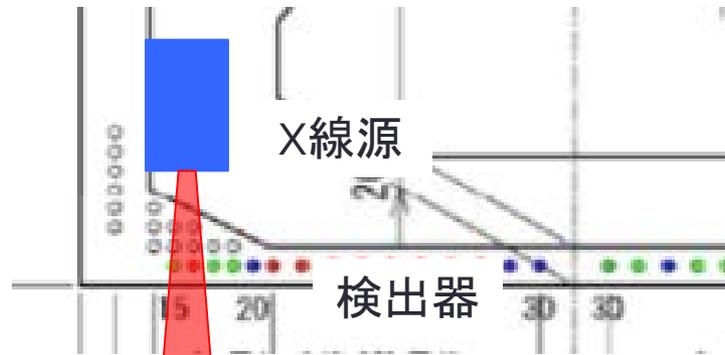
# 部分角度CT再構成の適用 – 橋梁検査への適用

## 橋梁検査適用における問題点:

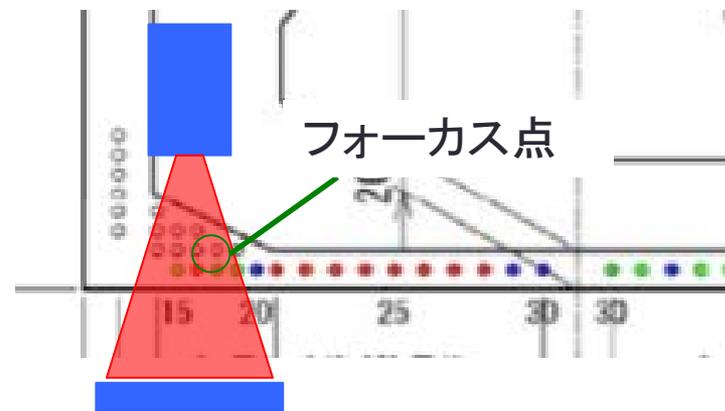
妙高大橋試験は検出器位置合わせが高難度であった

→円弧状の移動は現実的ではない

→X線照射角度を広げて, 少ない移動量(=並行移動)で再構成できることが望ましい



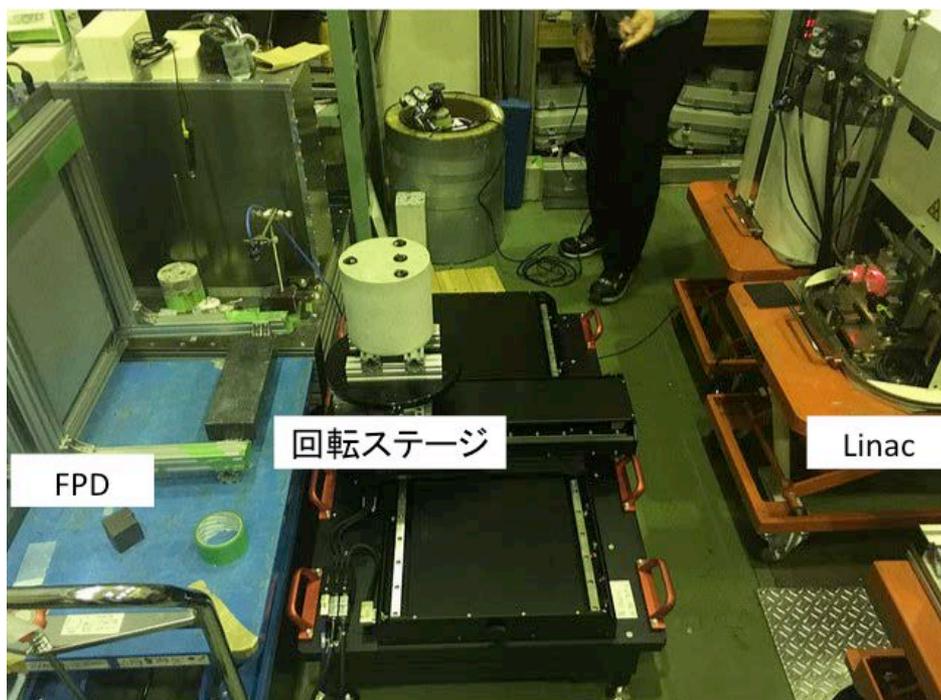
理論的に回転は可能だが, 検出器位置合わせなどに課題



平行移動でも, ある点からみると, いろいろな方向からビームが当たることに

## 部分角度CT再構成の適用-小型サンプル実験

目的: 橋梁での部分角度CT適用に向けて, 照射角度・間隔が, 再構成画像にどのような影響を与えるか確かめる



### 実験パラメータ

200 mm径円柱コンクリート  
+35mm外径PCワイヤ  
線源-ターゲット距離: 1115 mm  
線源-検出器距離: 1800 mm  
照射時間: 2.5 sec/proj

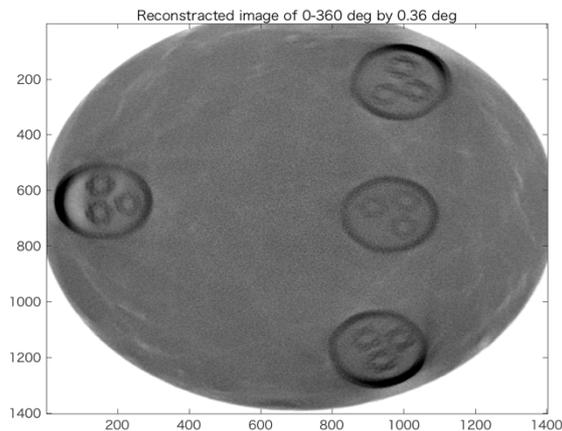
### 解析パラメータ

再構成法: FBP(Filtered Back Projection)

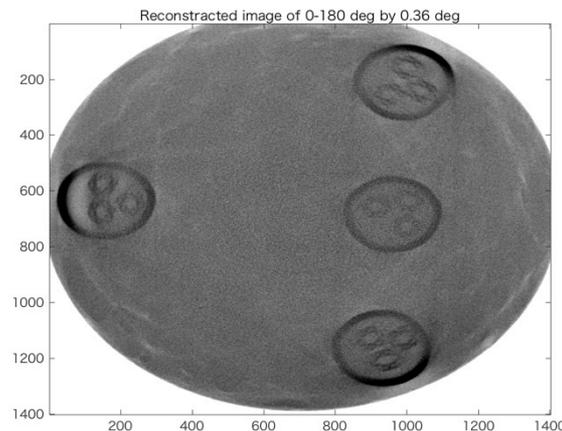
角度: 360, 180, 90, 36度  
ピッチ: 0.36, 1.8, 3.6度刻み

実験体系図. 右から左方向にX線を照射した

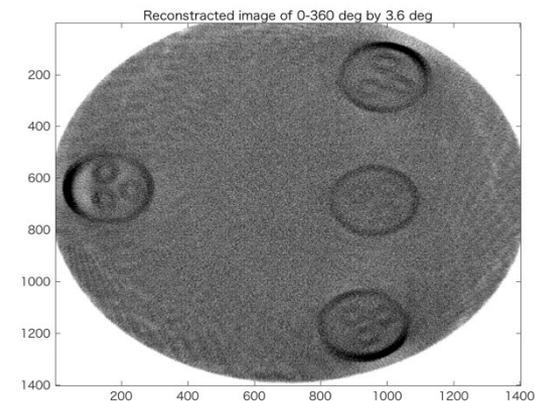
# 部分角度CT再構成の適用 – 再構成画像



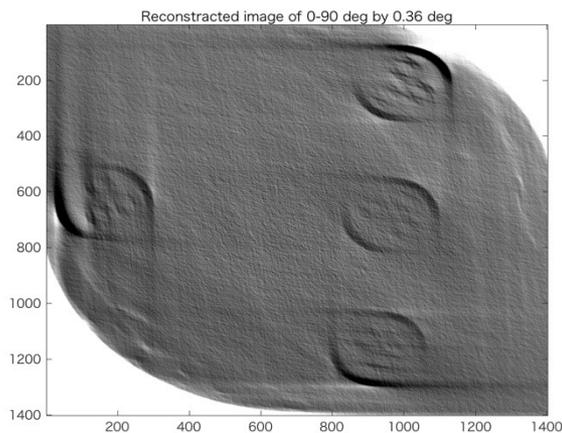
360/0.36



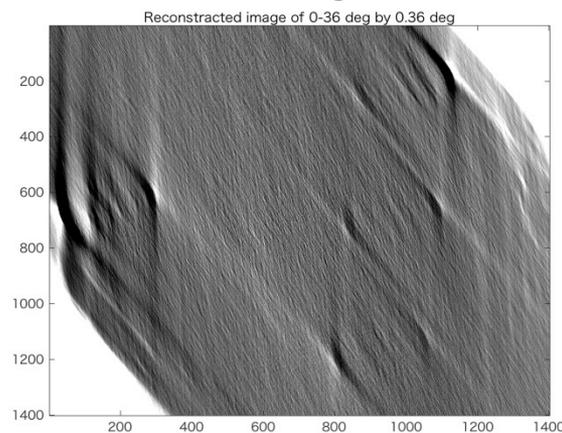
180/0.36



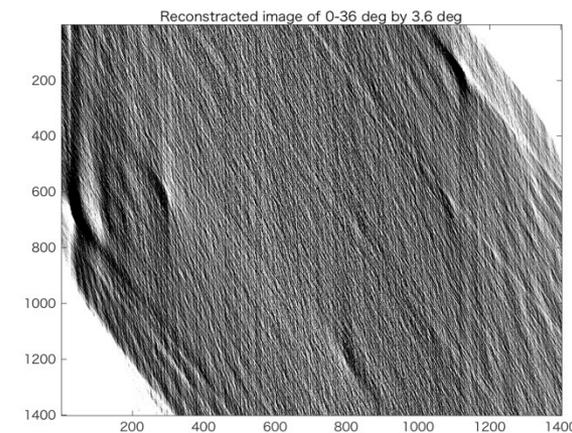
360/3.6



90/0.36



36/0.36



36/3.6

- ピッチが広がるとと粗くなる
- 角度が減ったとき, 情報のない領域は歪む

## 部分角度CT再構成の適用-ワイヤ径の推定

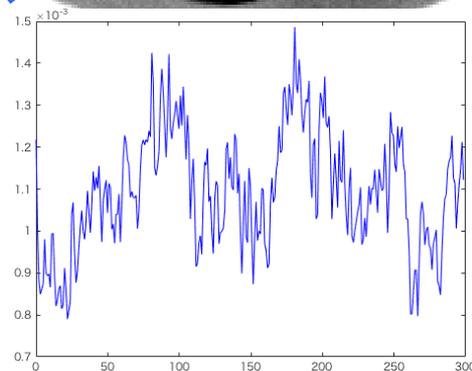
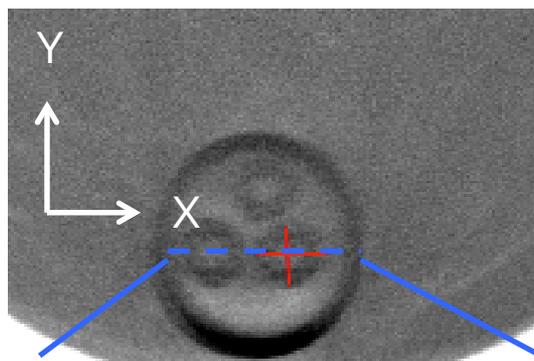
シース内のプロファイル(下)+ワイヤ1本(10mm, 十字部)の直径の両端の座標を目視で取得した

• 360度画像と36度画像では違いがある

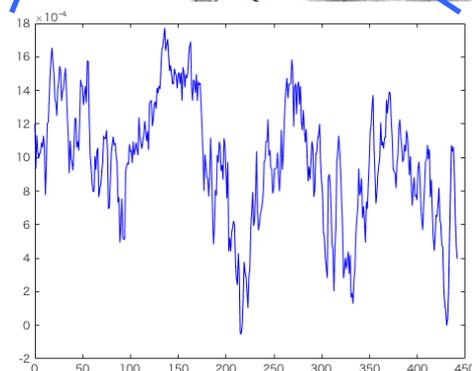
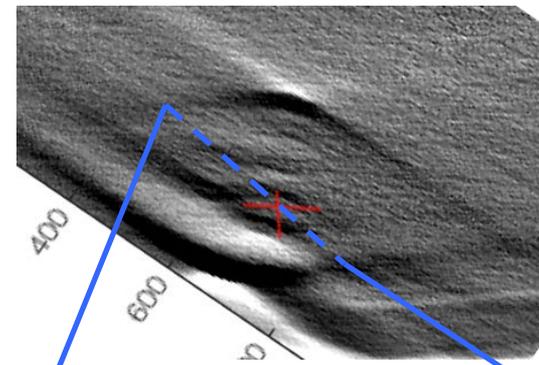
→ 本来なら円状

→ 角度情報から補正できる可能性

• ワイヤ部とコンクリート部の境界をどこに取るかが課題



360/0.36



36/0.36

	直径(mm)	
360度	10.5	
36度	X: 16.1	Y: 9.3

# まとめ・今後の展望・謝辞

## まとめ:

- 実橋梁試験で、PCワイヤの損傷を評価し、ファイバーモデル・はり理論を用いて5%の耐力減少を確認してしたが、評価の精度を上げる必要がある
- 実験室における小サンプルCT再構成を行い、角度変化による画像の劣化の傾向をつかんだ

## 今後の展望:

- 拡張コリメータ+並進移動CT再構成適用の数値計算+実験室系における実験
- FBP以外の再構成法適用の検討
- 8月に部分角度CTのサンプルを変えた実験を予定
- 10月に第2回の妙高試験、年度内に北海道T型橋梁試験を予定

## 謝辞:

- (株)XITの村田健二郎氏にはCT用データ処理などで多大なご協力をいただいた
- 本研究は、内閣府SIP(Super Innovation Program)「異分野融合によるイノベーティブメンテナンス技術の開発」の中で実施されている

ご清聴ありがとうございました