

～第14回 新都市社会技術セミナー～

橋面より実施する簡易な橋梁点検システムに関する研究

プロジェクトリーダー 磯雅人(福井大学大学院 工学研究科 准教授)

メンバー:ジビル調査設計(株), 福井県工業技術センター(旧福井県建設技術研究センター)

日時:2017年10月13日(金)
発表時間:13:10-13:30(説明20分)
場所:国民會館 武藤記念ホール
(大ホール)

橋梁点検カメラシステム 「見る(みる)診る(みる)」



橋梁点検カメラシステム「見る(みる)診る(みる)」に新たな機能を追加！！



「見る診る」の紹介ビデオ

橋梁点検カメラシステム
見る診る
新機能紹介

Scene 1

新機能台車の紹介

Scene 2

←接触調査用台車

Scene 3

点検用
メインカメラ台車

Scene 4

点検用メインカメラ台車の新機能

Scene 5

4Kハイビジョンカメラ
4Kの高精細画像での点検が可能

Scene 6

赤外線サーモグラフィ
浮き箇所のスクリーニングに効果的

Scene 7

桁下点検に十分な照度の確保
LED証明→

Scene 8

接触点検装置の紹介
クラックスケール→
一回転式打診装置

Scene 9

接触調査装置の動作状況

Scene 10

クラックスケール台車の動作確認

Scene 11

クラックスケール回転機構でクラック幅を計測
幅0.1mmのクラックも計測可能

Scene 12

回転式打診装置の動作紹介
アーム横振り方法による打診状況

Scene 13

アーム回転法による床版の打診状況

Scene 14

集音マイクで打音確認して浮き点検

Scene 15

狭隘部点検カメラ

Scene 16

狭隘部点検用カメラ

Scene 17

桁端部の狭隘部に挿入して点検を実施

Scene 18

チルト機能で360° 全方位点検可能

Scene 19

支承周辺の狭隘部の点検可能

Scene 20

橋梁点検カメラシステム「見る（みる）診る（みる）」の概要

| | | | |
|-----------|---------------------------|--------------|------------------------|
| 使用機械名 | 橋梁点検カメラシステム 見る(みる) 診る(みる) | | |
| NETIS登録番号 | KK-110063-A | | |
| システムの概要図 | | | |
| 諸元 | 操作ユニット | 形式 | ゴムクローラーキャリア |
| | | 台車形状(幅×長) | 0.95m×2.57m |
| | カメラユニット | 走行台車 | 自走式(鉛直・水平360°) |
| | | ビデオ画質(静止画素数) | HD画像(2,090万画素) |
| | | ズーム機能 | 12倍(光学) |
| | アームユニット | 水平アーム | 7.2m |
| | | 鉛直ロッド | 9.2m |
| | 赤外線サーモグラフィ | 温度分解能 | 0.05°C |
| | | 空間分解能 | 0.68mrad |
| | | カメラ解像度 | 320×240ピクセル |
| | | 検出器 | 非冷却マイクロボロメーター |
| | 打診装置 | 走行台車 | 自走式(鉛直・水平360° ロッド回転機能) |
| | | 打診方法 | 回転式打診方法 |
| | | 打診用アーム長 | 3.0m |
| | | 集音方法 | 指向性マイクロホン |
| 照明機材 | 照明種類 | LED照明 | |
| | 水銀灯換算 | 700W相当 | |
| | 全光束 | 13130lm | |

■開発方針■

平成26年度6月：橋梁定期点検要領（国土交通省）

→ 10年ぶりに改定

橋梁のすべての部材について、5年おきに
肉眼による「近接目視」点検を行うことを基本



現段階では、カメラを用いた本点検手法は、肉眼による「近接目視」点検の代替技術とはならない。そのため、その点においては「定期点検」に活用することはできない。

●本橋梁点検ロボット「見る診る」の活用方法

- ① 地震、台風、洪水等が発生した時の緊急点検
- ② 進行性の劣化・損傷（塩害、ASR、凍害）がある橋梁で、第三者被害が想定される橋梁の経過観察のための点検とモニタリングのためのベースマシーンとしての活用
- ③ 赤外線サーモによる浮き、剥離箇所のスクリーニングによる点検作業の効率化、省力化に活用。
- ④ 本HDカメラで撮影された静止画像からひび割れ図をおこし、現場作業、内作業を補助
ならびに負担軽減

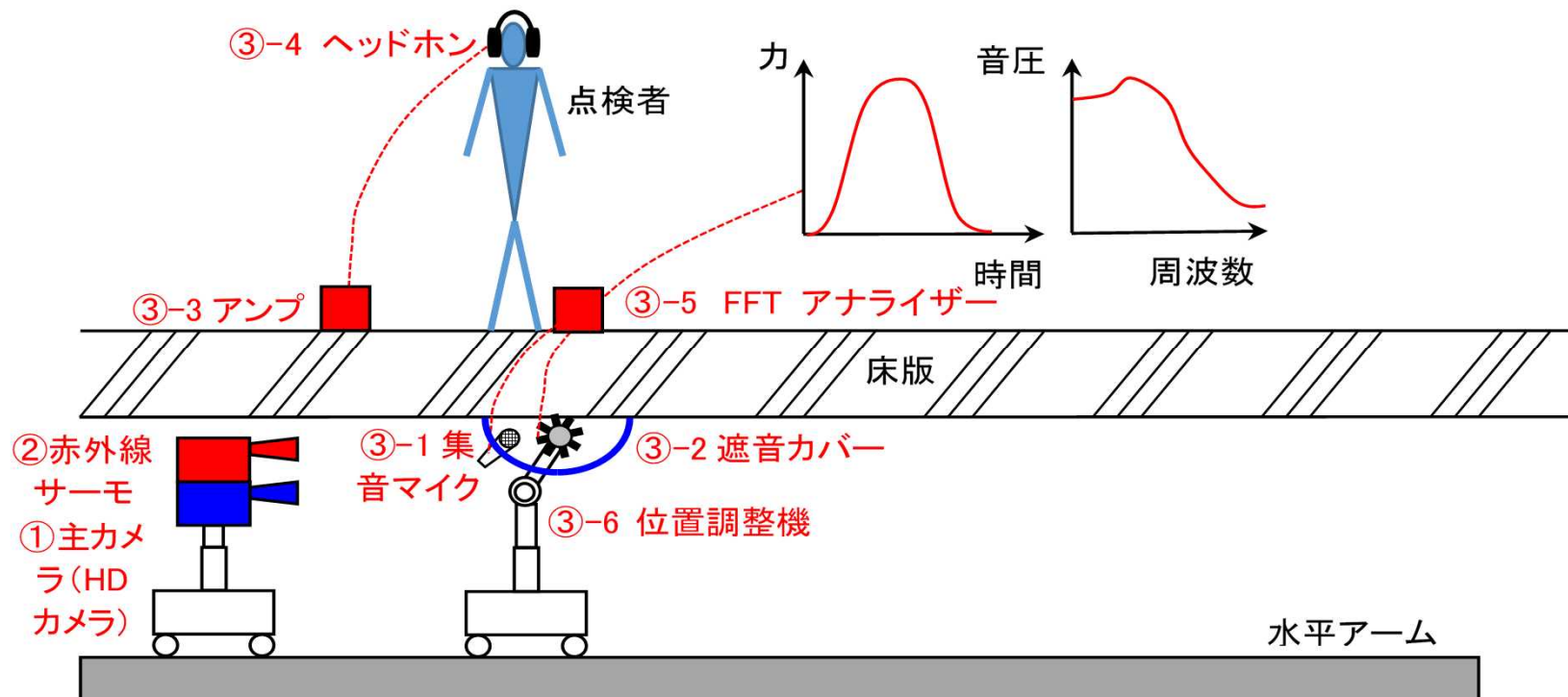
→ 本研究では、点検員が行う上記点検および作業を本ロボットが代替し、「安全」、「低コスト」、「効率的」、「高精度」で点検でき、「現場作業の負担を軽減」できる「打診および赤外線サーモによる健全度評価システム」ならびに「ひび割れ図を精度良くおこすための静止画像取得のための開発」を行うこととしました。



①研究開発の全体方針の作成(H26年度)

■本事業で実施する研究開発内容■

- ① 青で示したHDカメラで撮影した静止画像から、0.1mm以上のひび割れ幅を検出でき、点検員が行うのと同レベルの床版のひび割れ図をおこす技術を開発
- ② 被りコンクリートの浮き・剥離を、「HDカメラ」、「赤外線サーモ」、「打音検査機器」のデータから判定する手法を開発



■H28年度(最終年度)の開発工程■

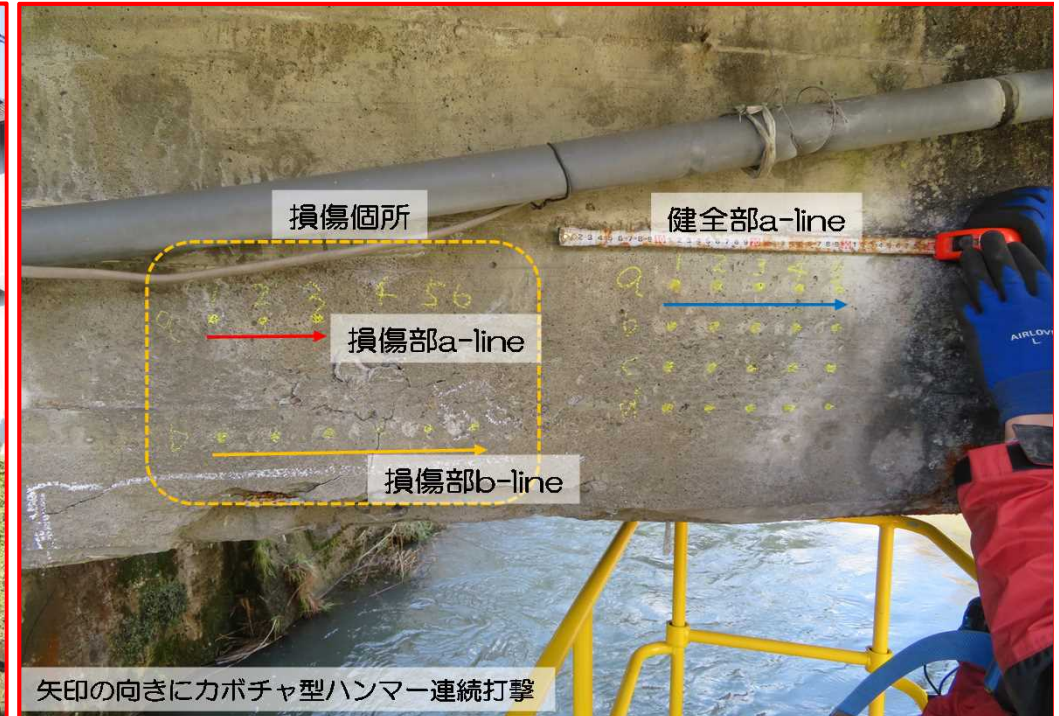
| 開 発 項 目 | H26年度 | H27年度 | H28年度 |
|---|-------|-------|-------|
| ①研究開発の全体方針の作成 (アプリケーション台車に持たせる機能を決定) 現状の点検作業における問題点・要望の抽出 (道路管理者・点検実務者ニーズ調査) | ■ | | |
| ②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発 | | ■■■■■ | ■■■ |
| ③静止画像取得方法に関する研究開発 | | ■■■■■ | |
| ④実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価 | | ■■■ | ■■■■■ |
| ⑤研究成果のとりまとめ | | | ■■■ |

①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

①-1. 目的 損傷部位(浮き・剥離)を有する実橋梁を用いて、健全部と損傷部での回転式ハンマーによる打音特性を明らかにし、健全部と損傷部の判定手法について提案することを目的。

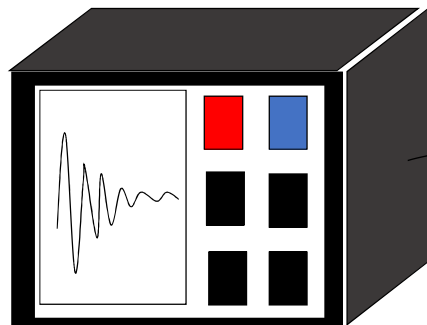
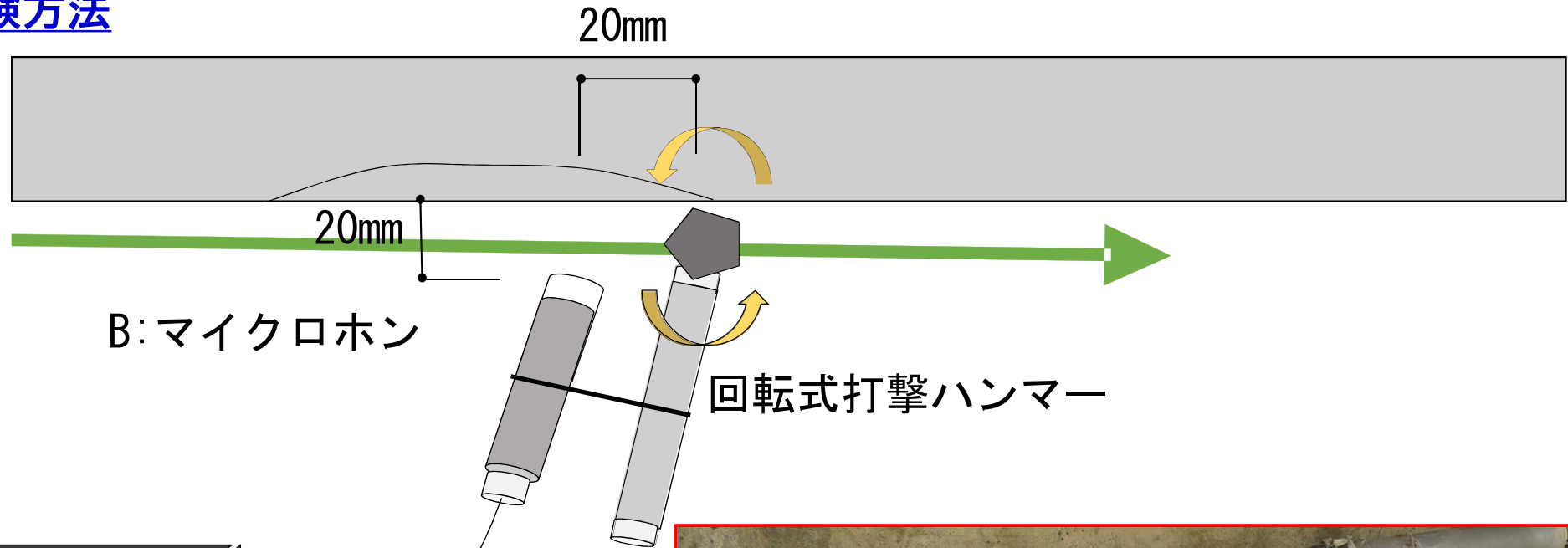
①-1. 実験概要 ◆実施場所

- (1)場 所 O橋
- (2)上部工形式 RC単純T桁橋
- (3)橋 長 11.8m
- (4)有効幅員 5.5m
- (5)欠陥タイプ 鉄筋腐食による浮き・剥離

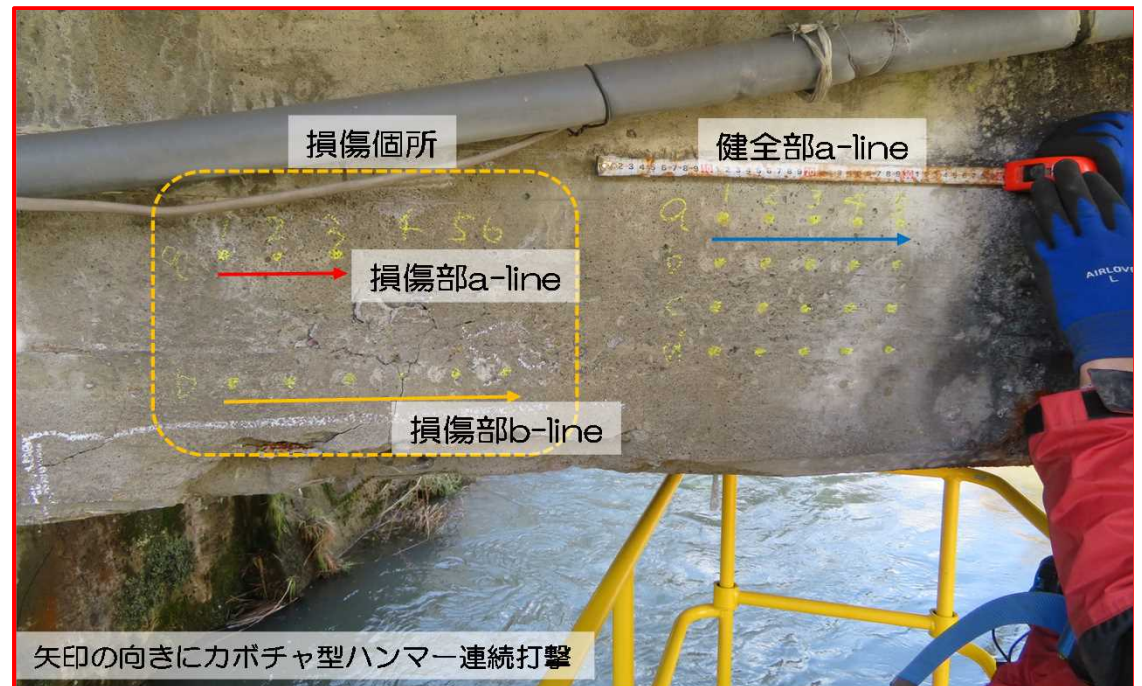


①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

◆試験方法



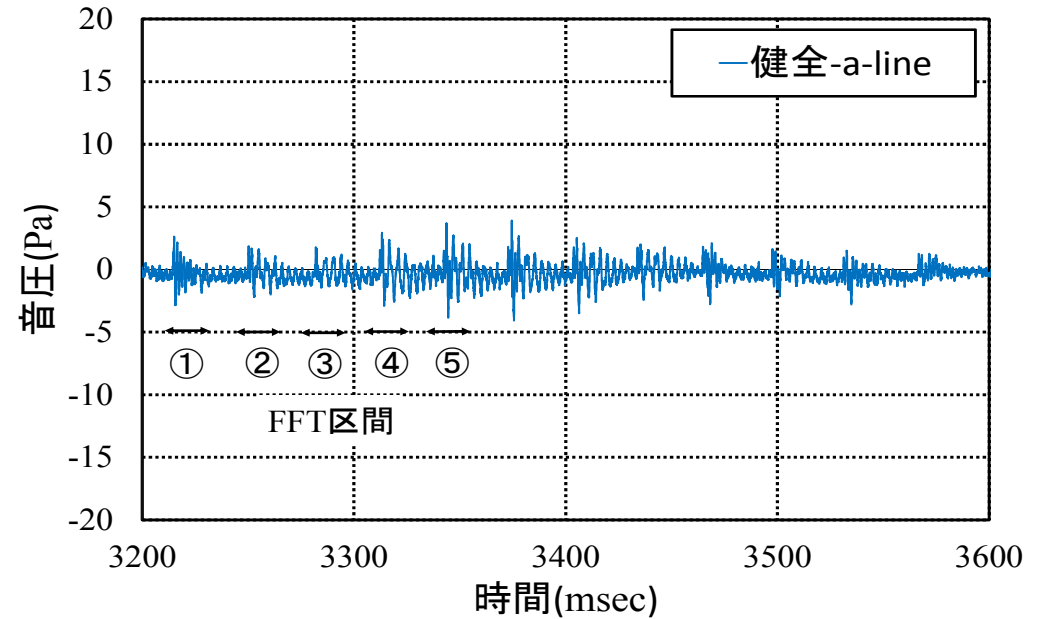
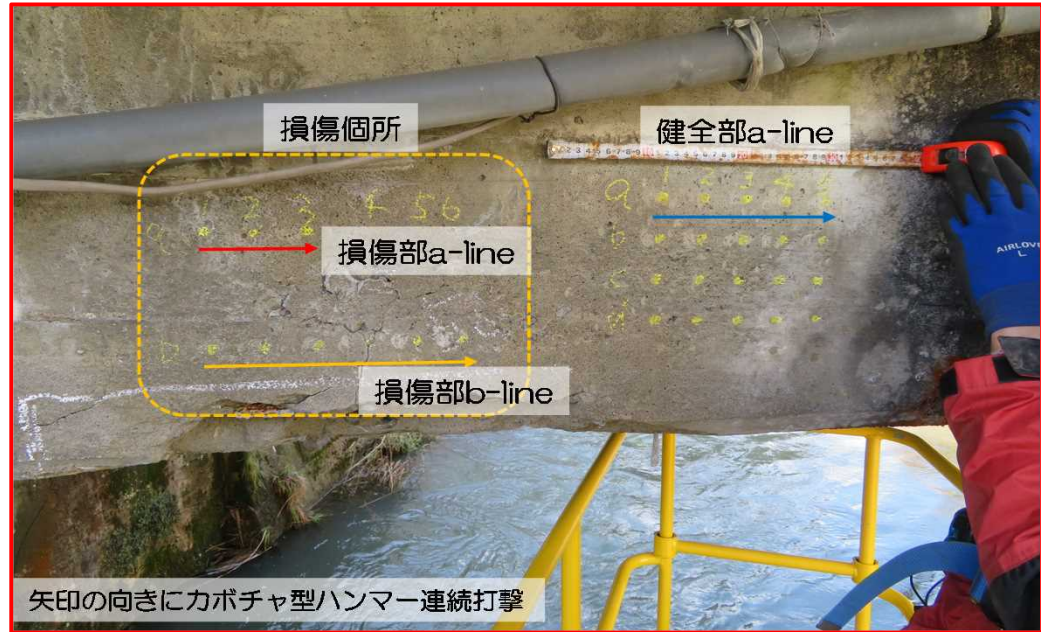
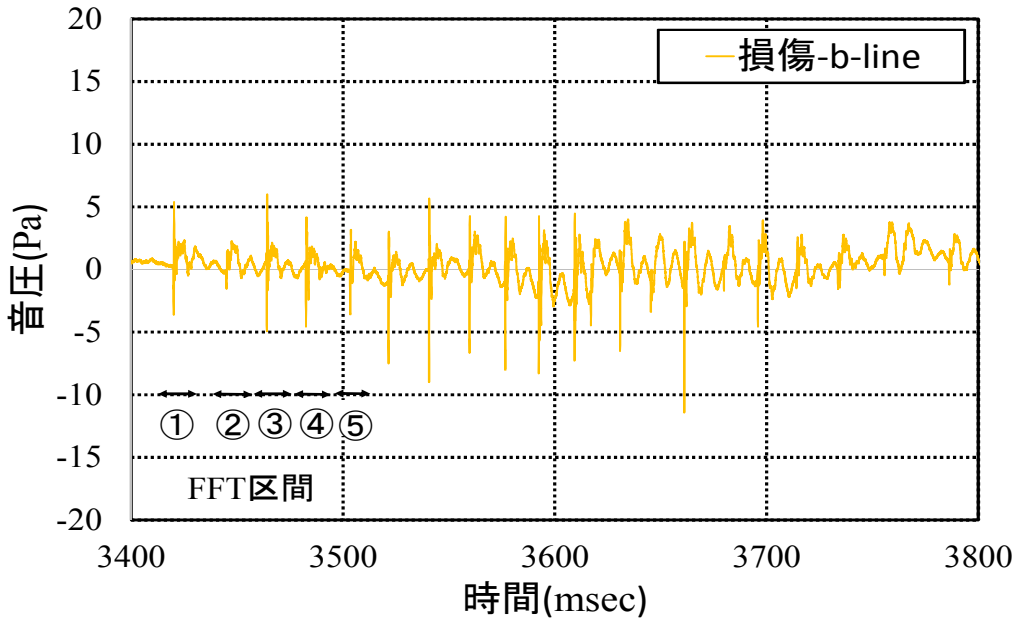
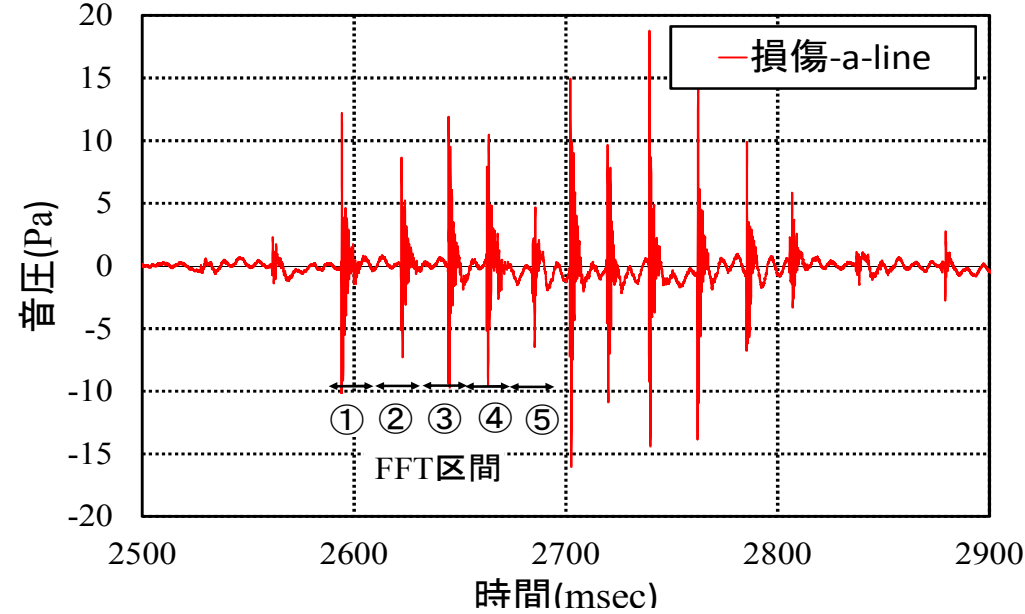
ポータブル
データレコーダー



①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

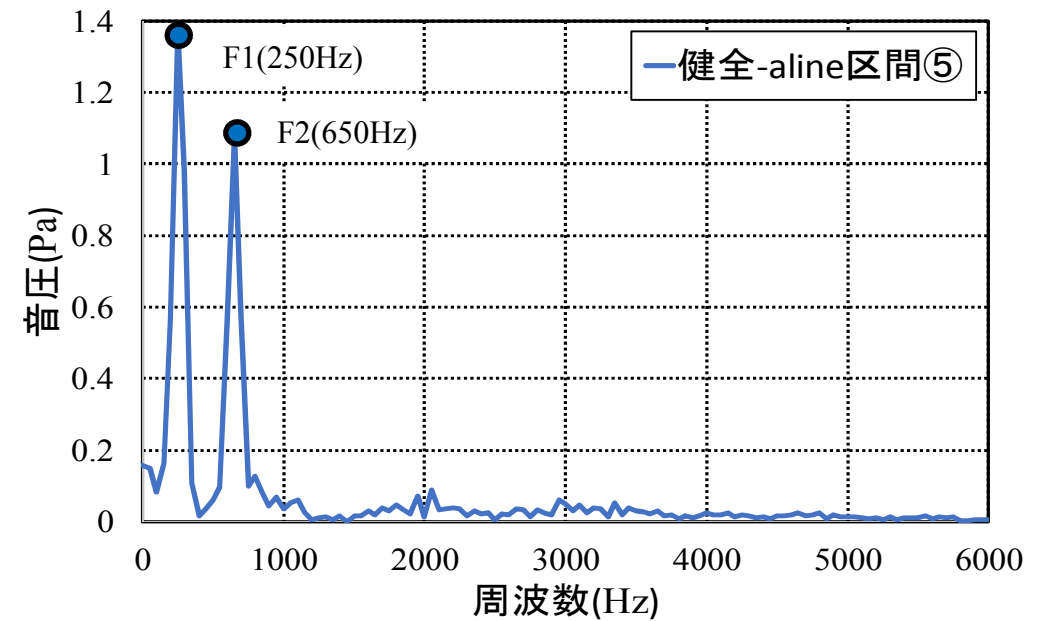
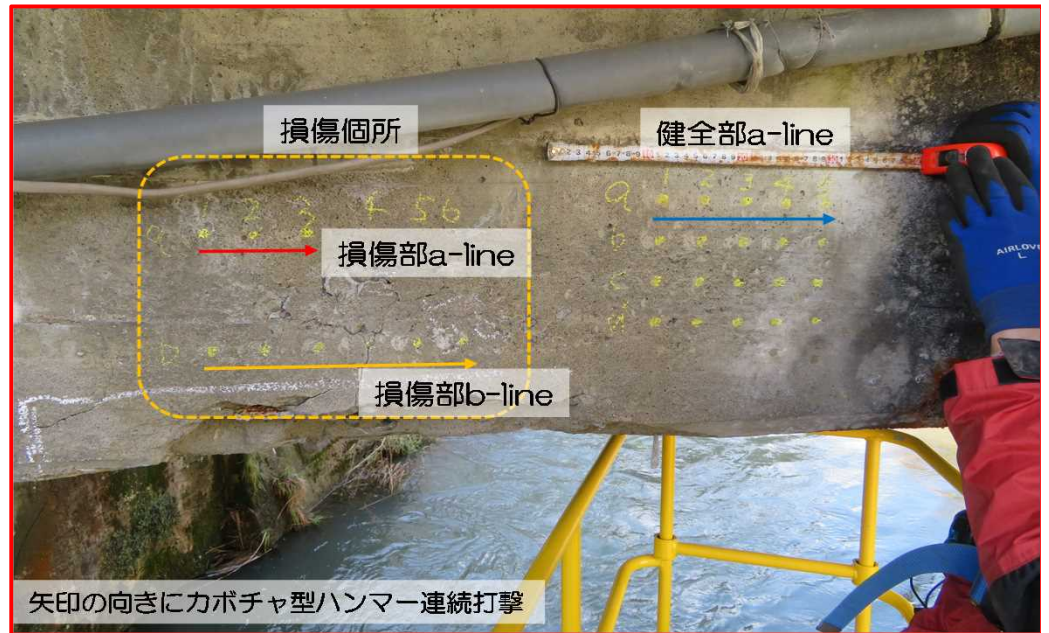
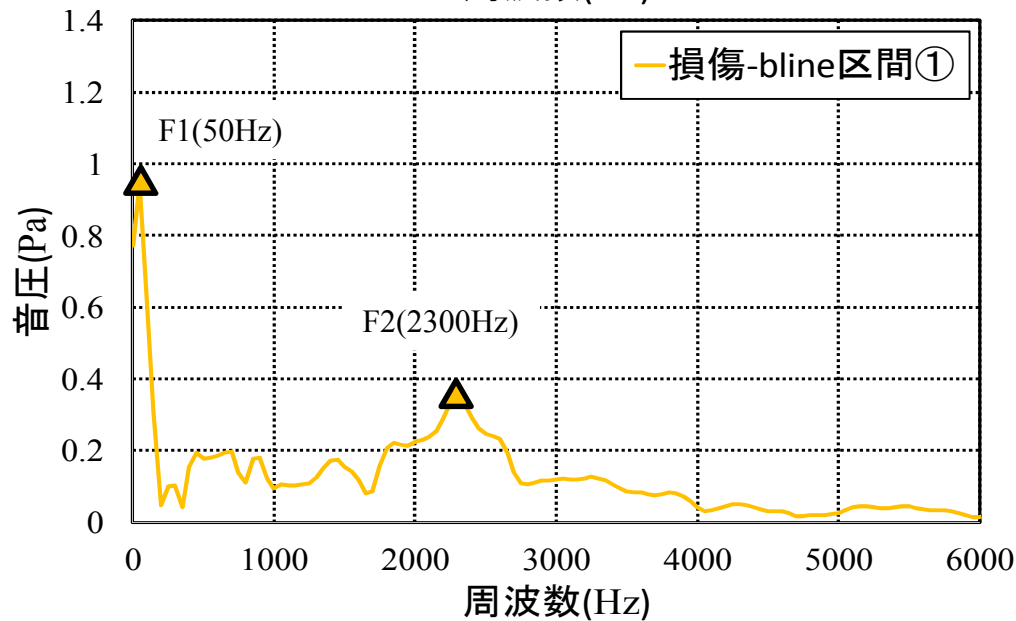
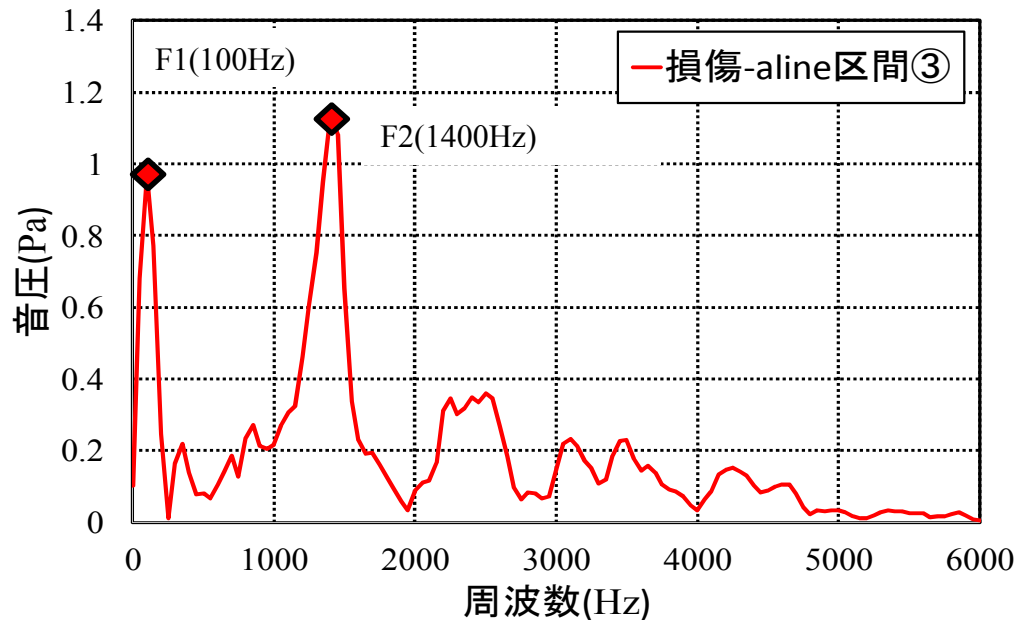
①-1. 実験結果

◆時刻歴波形



①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

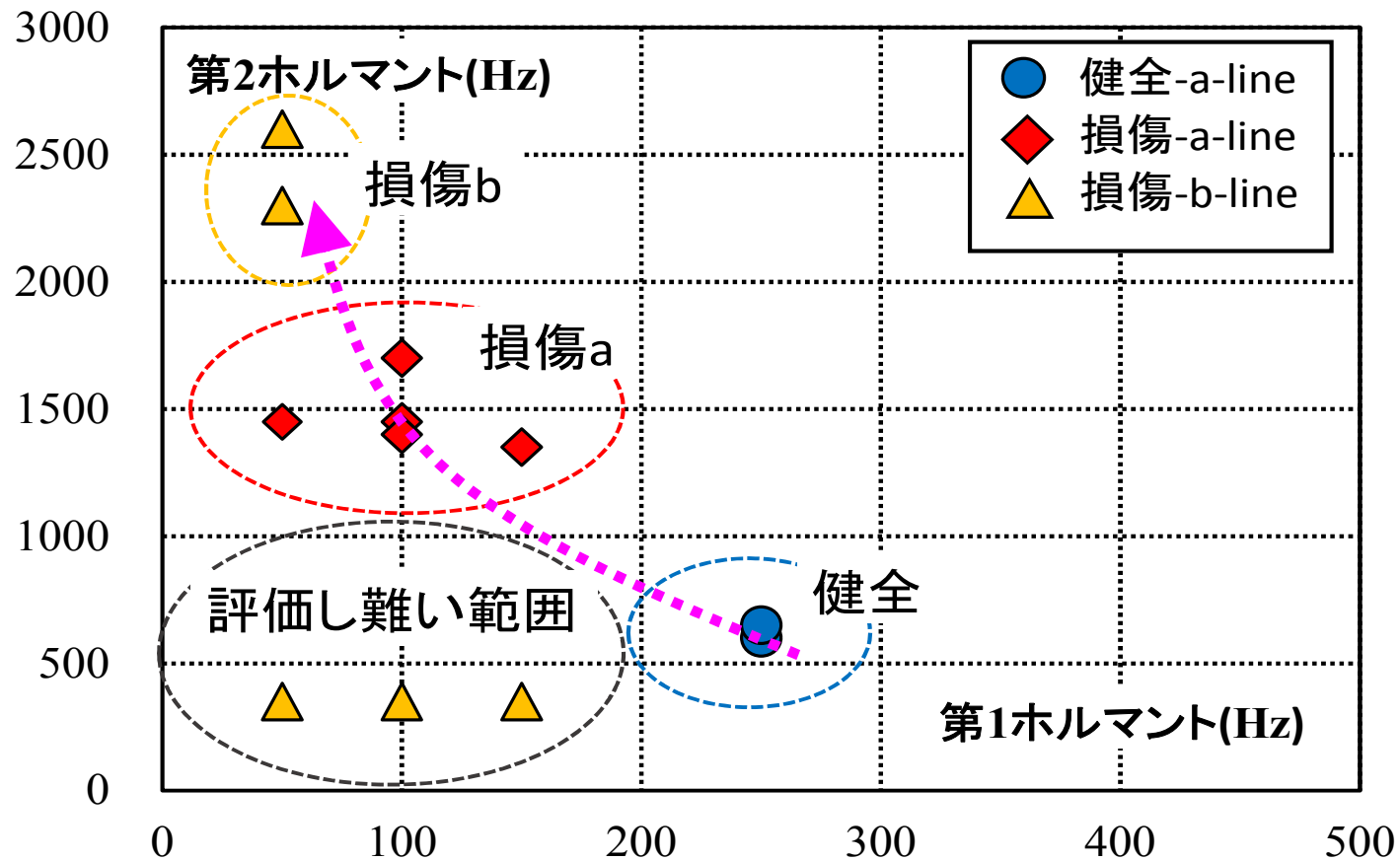
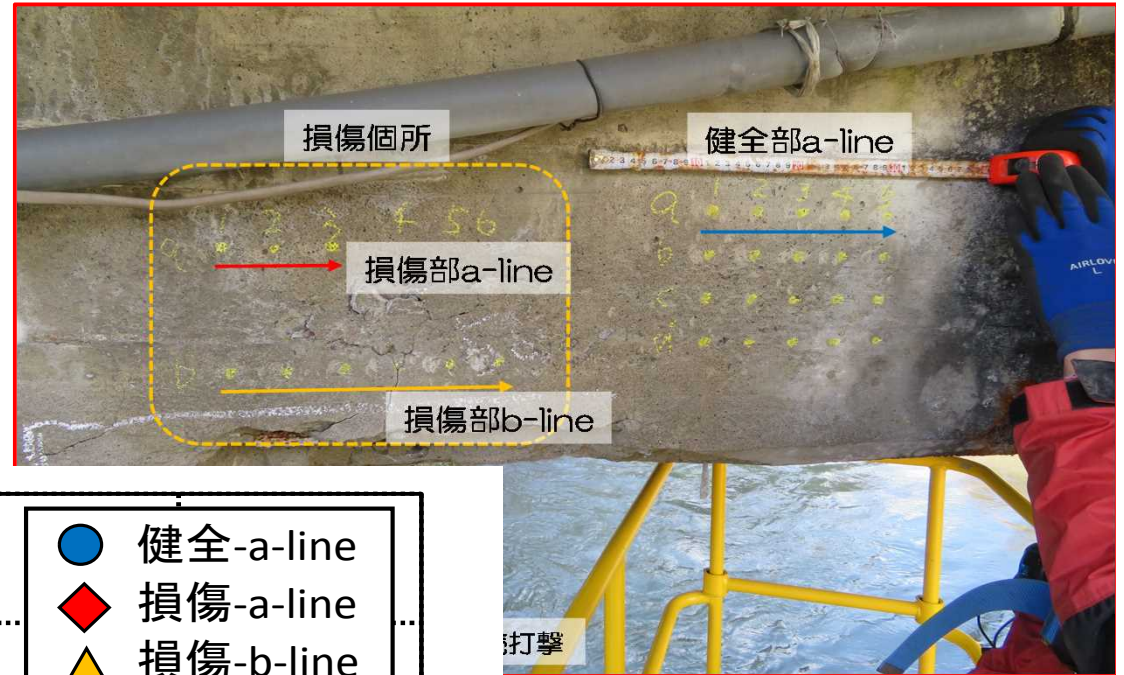
◆周波数分析の結果



①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

★周波数特性を利用した評価手法

の検討

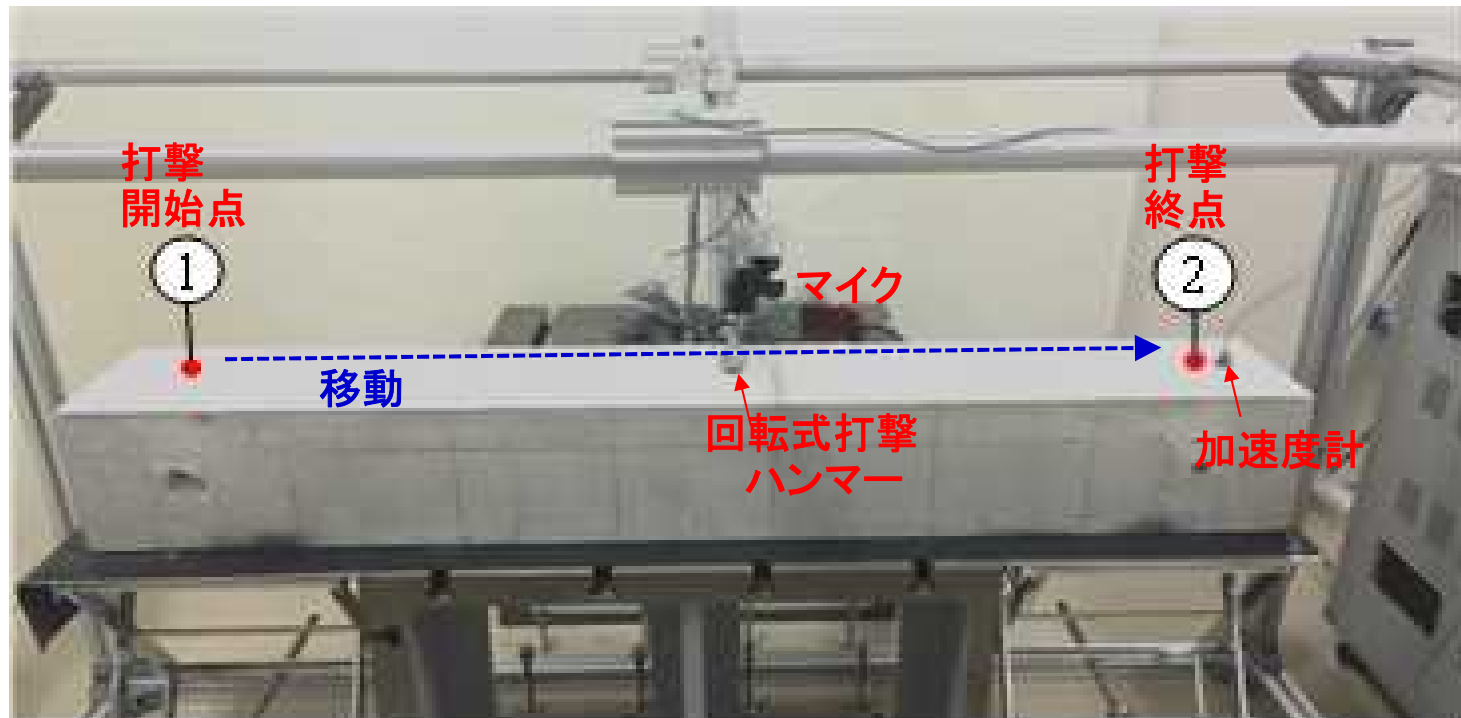
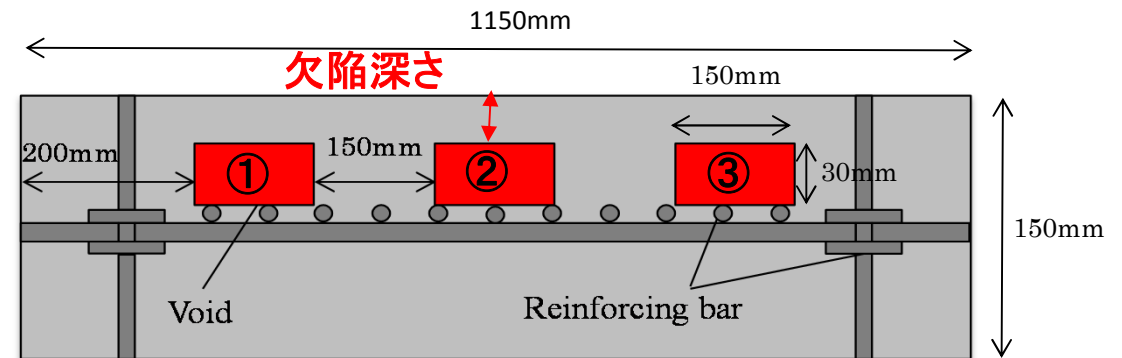


①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

①-2. 目的 人工欠陥を有する鉄筋コンクリートの供試体の回転式打撃による実験を行い、コンクリートの健全度評価法の有用性について検討することを目的。

①-2. 実験概要

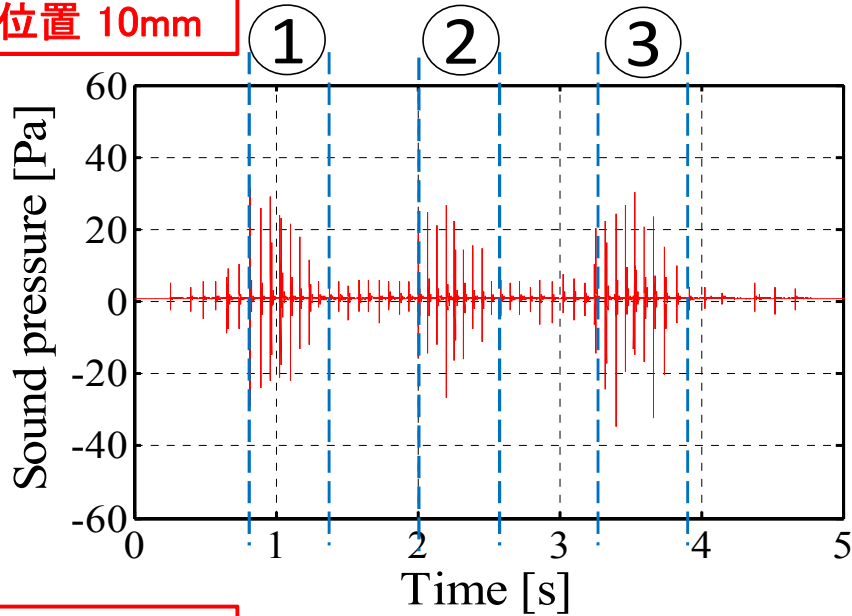
| 欠陥深さ |
|------|
| 10mm |
| 15mm |
| 20mm |
| 30mm |



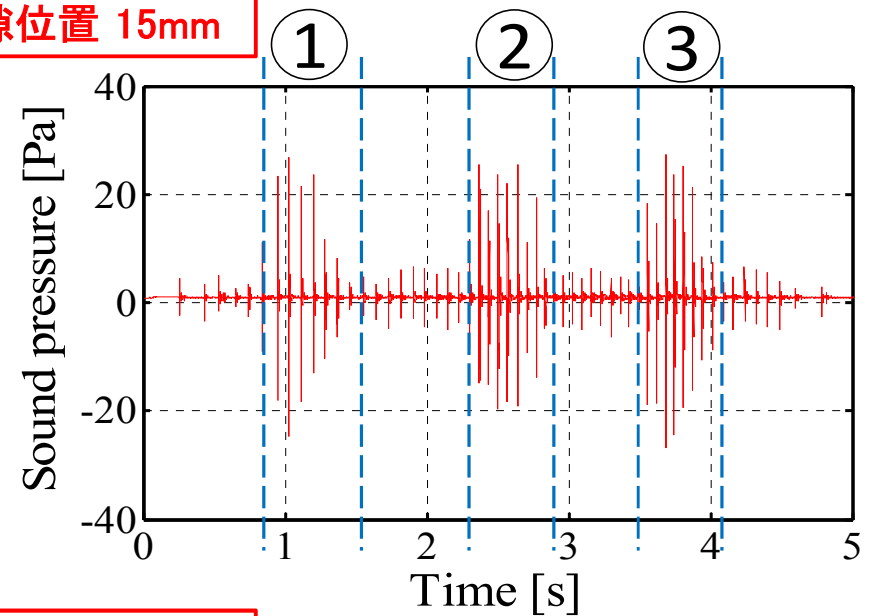
①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

①-2. 実験結果 ◆時刻歴波形

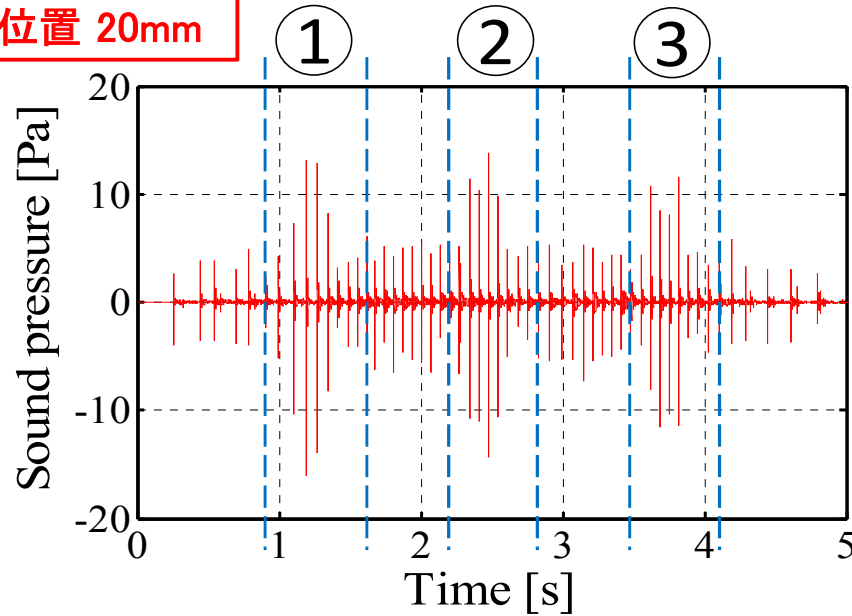
空隙位置 10mm



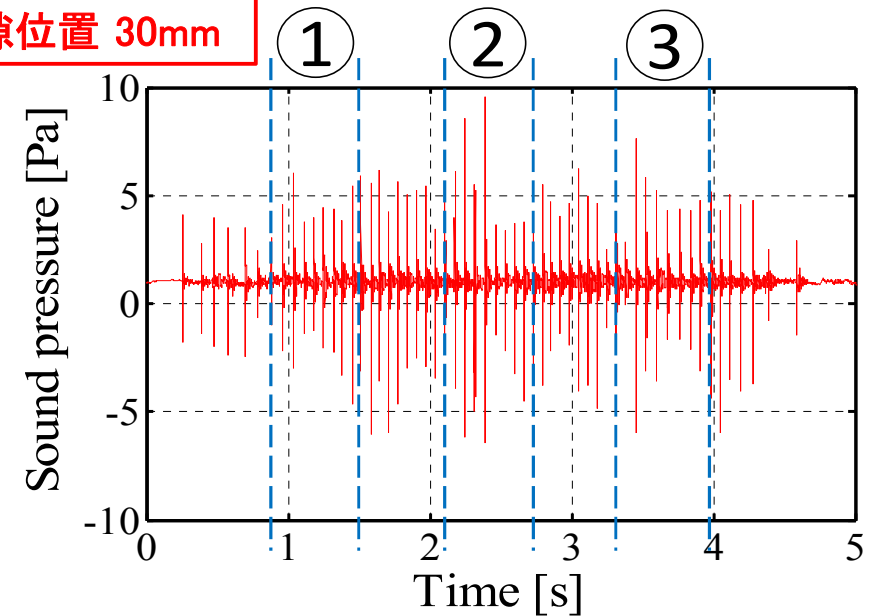
空隙位置 15mm



空隙位置 20mm

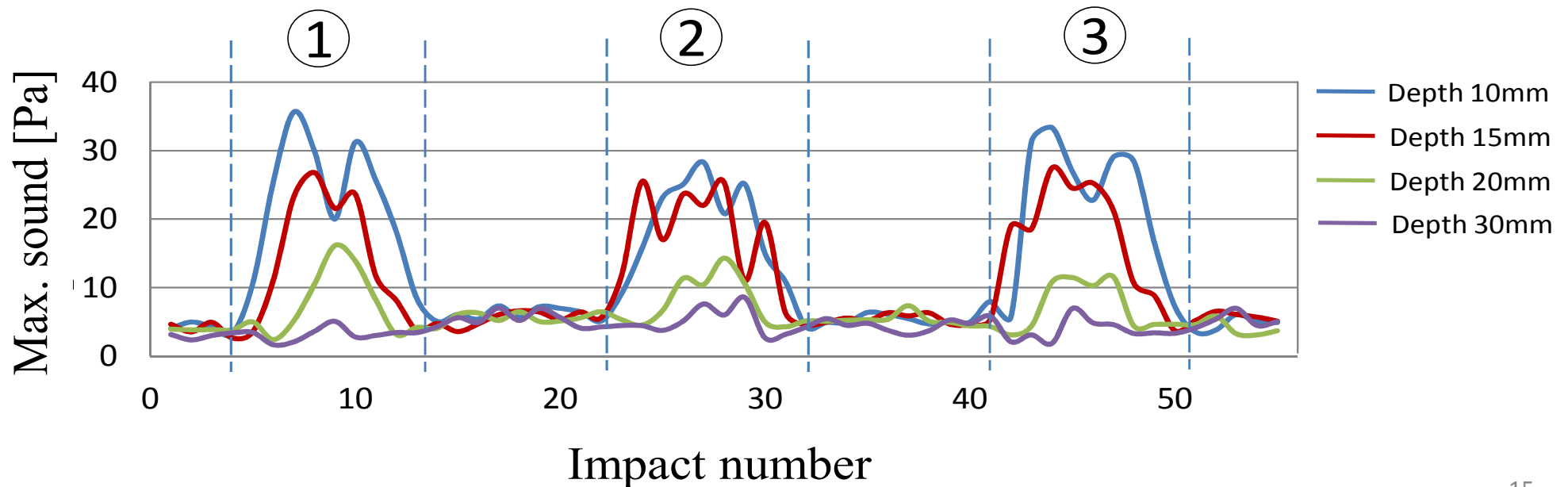
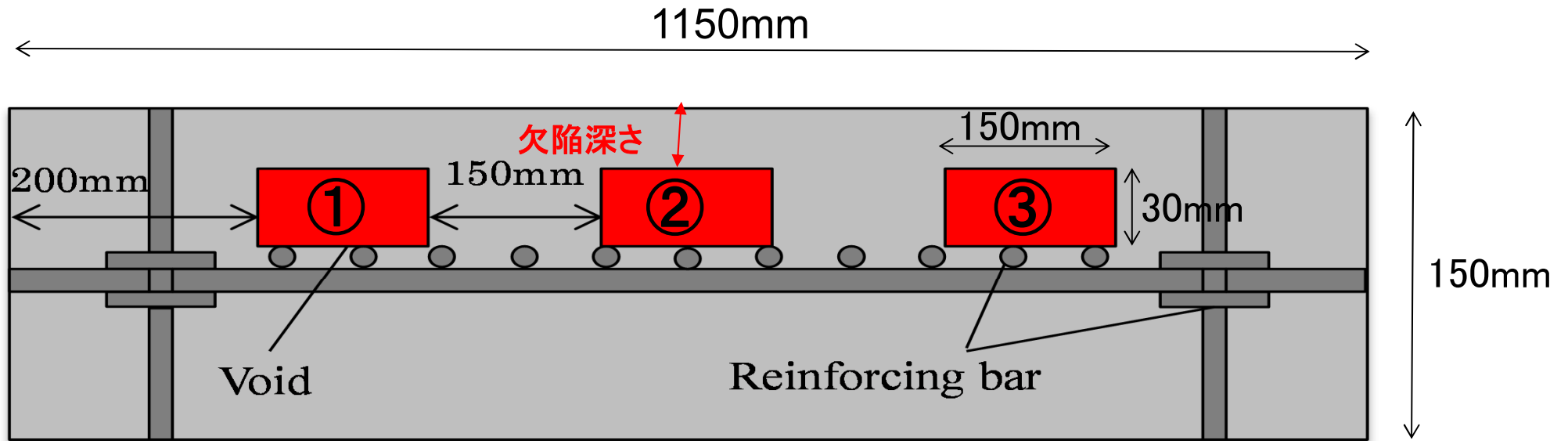


空隙位置 30mm



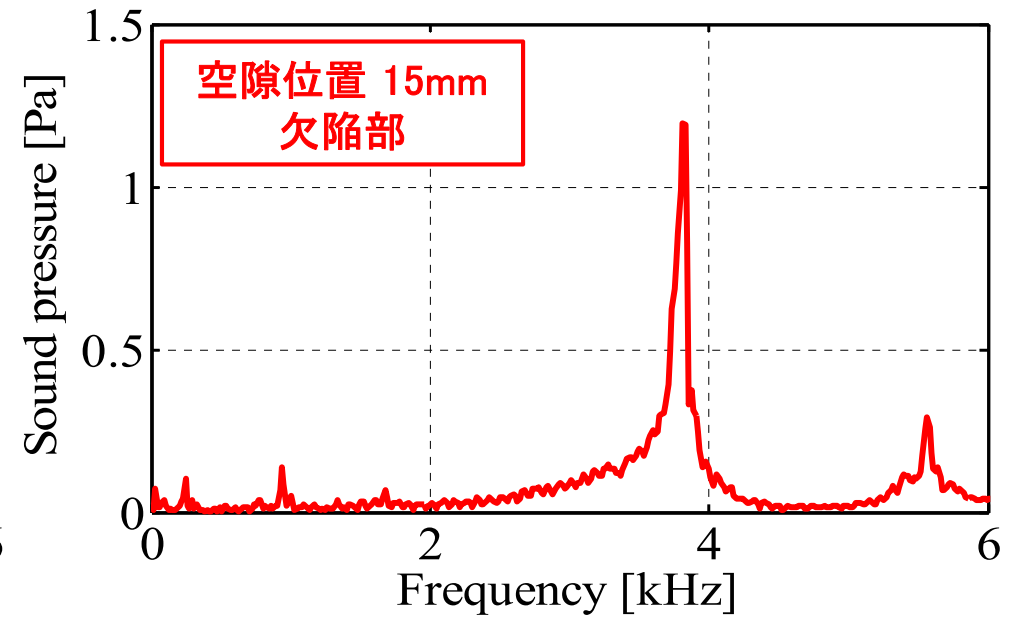
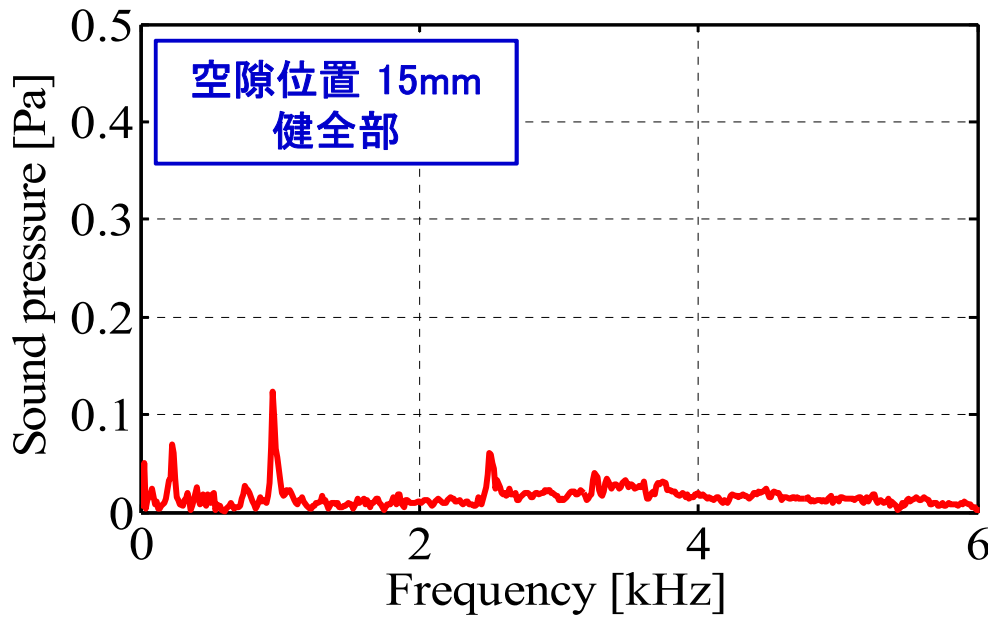
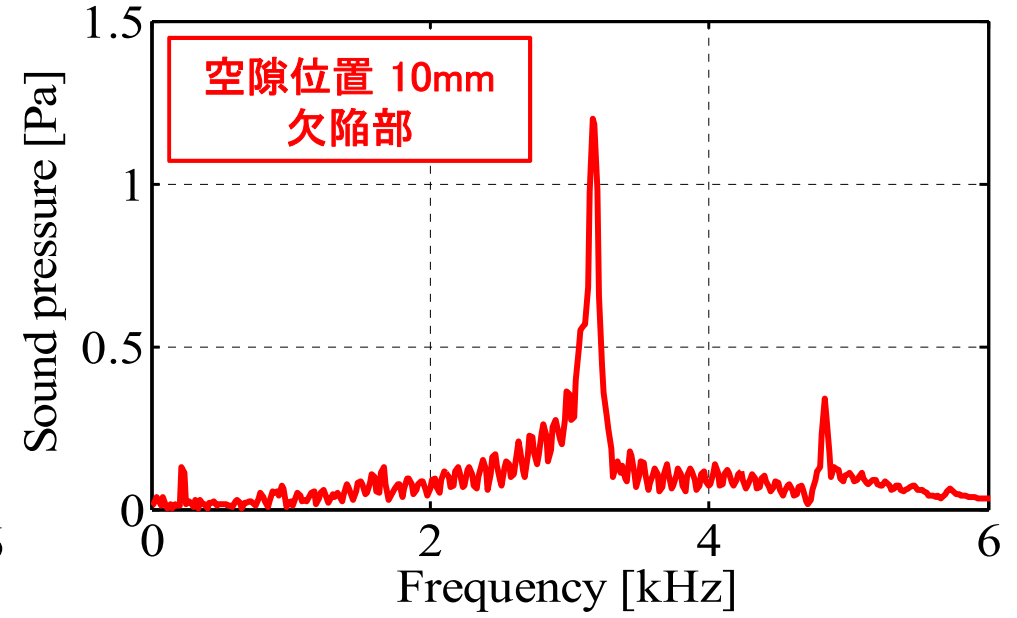
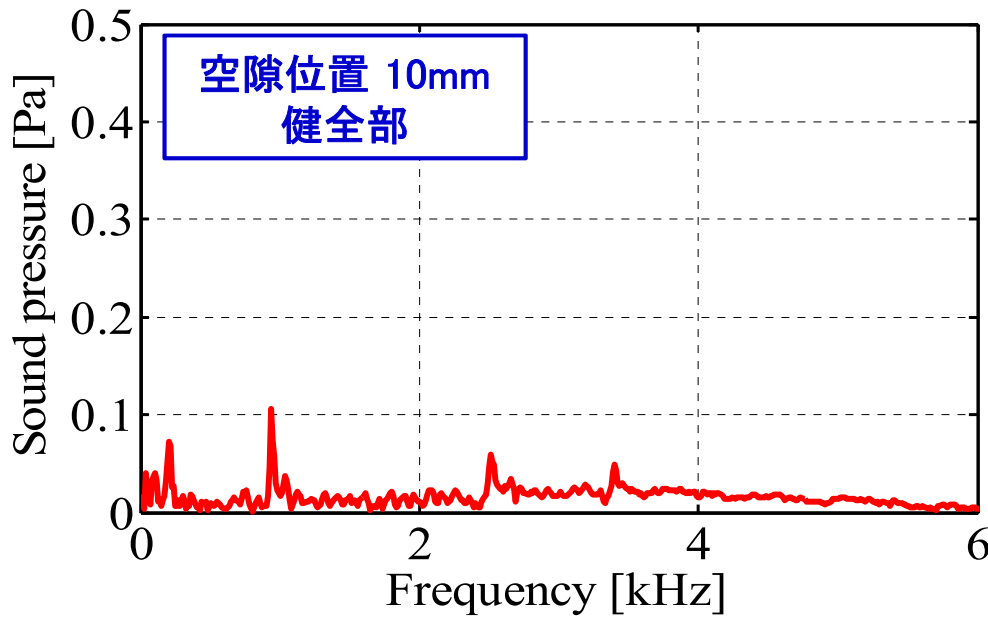
①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

①-2. 実験結果 ◆打撃回数と最大音圧の関係



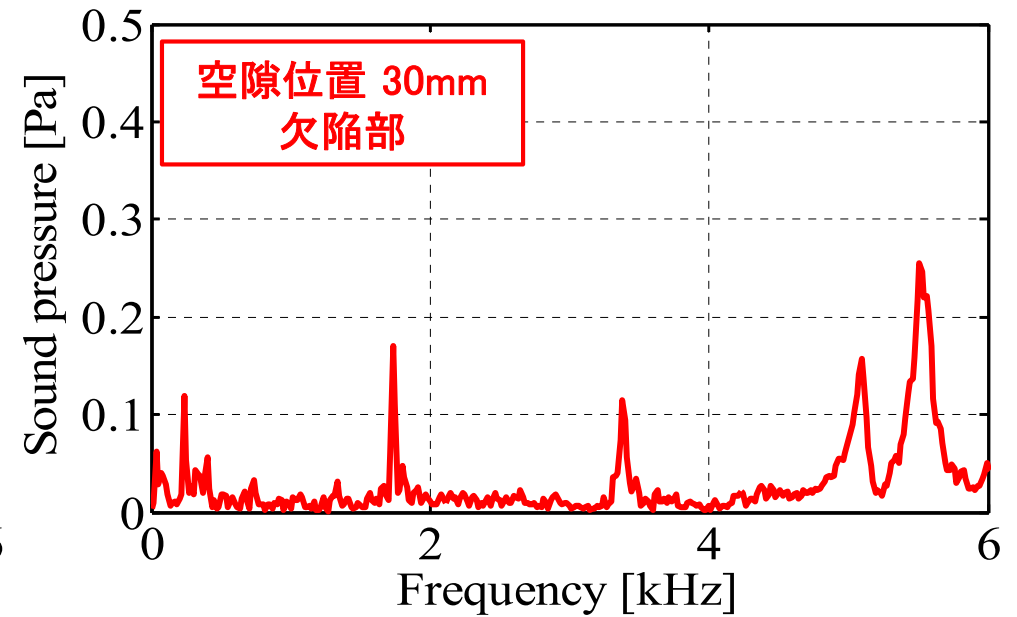
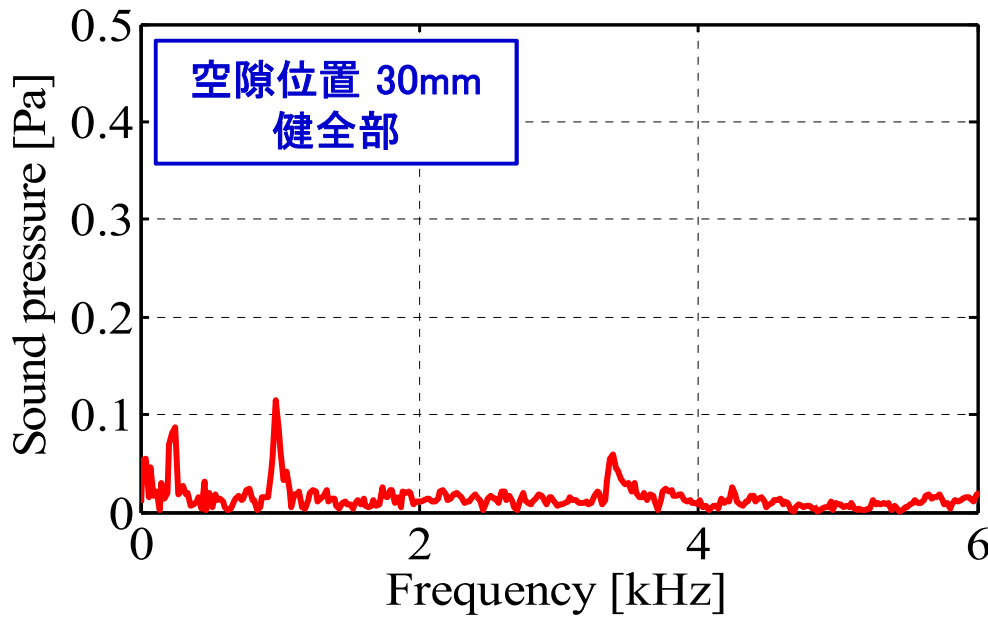
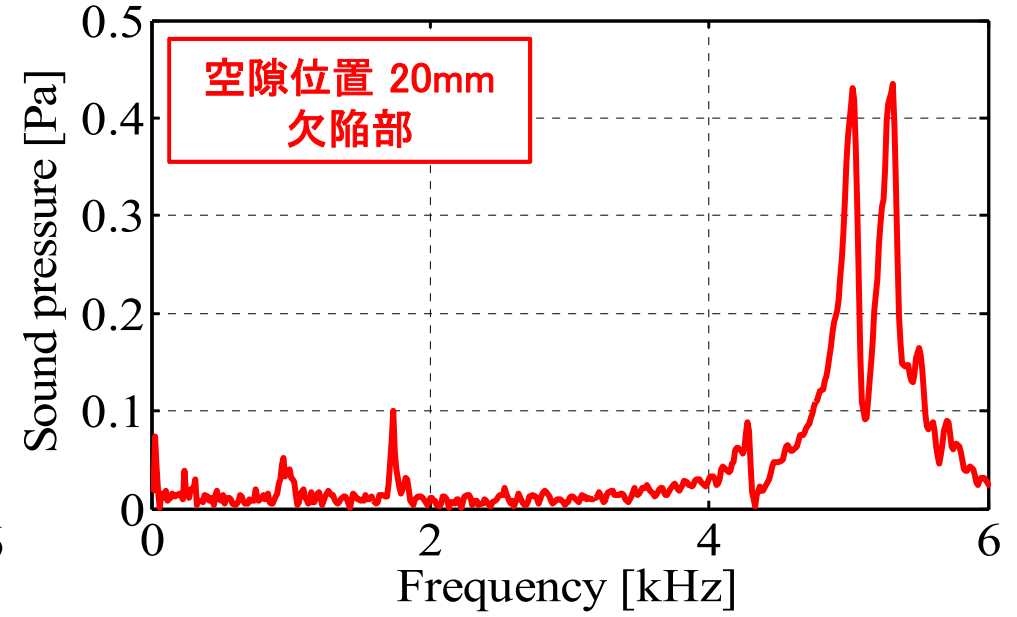
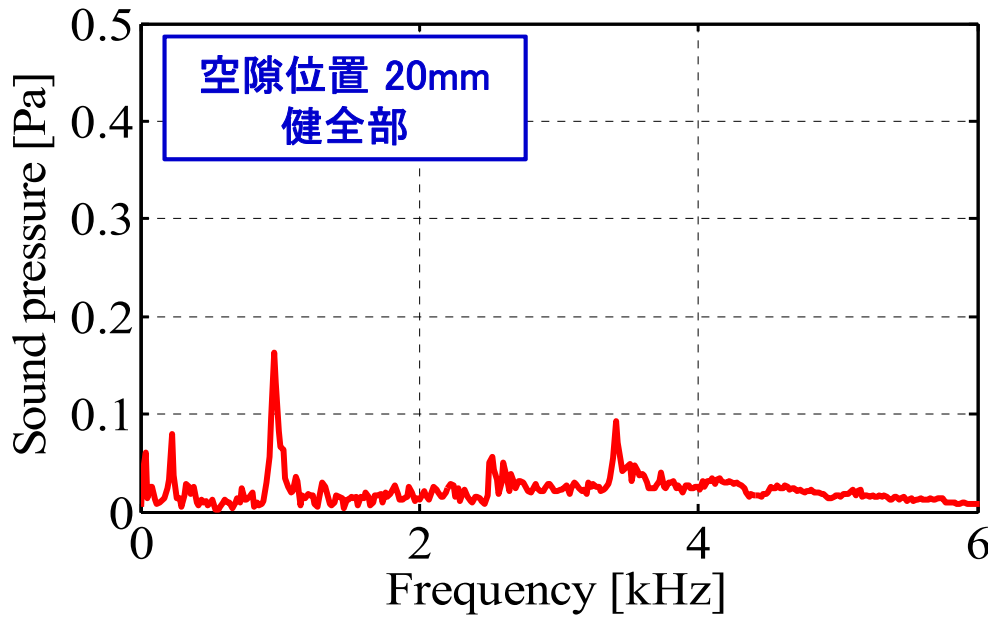
①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

①-2. 実験結果 ◆打撃音周波数スペクトル



①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

①-2. 実験結果 ◆打撃音周波数スペクトル



②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

②-1. 目的 従来の点検方法で得られた損傷図と橋梁点検支援ロボットで撮影された画像より抽出・作成した損傷図について比較・検証することを目的。

②-1. 実験概要 ◆実施場所

- (1) 場所 福井大橋 (福井県坂井市丸岡町字随)
下り線 (福井方面車線)
P9～ P10径間 (九頭竜川右岸側)
- (2) 上部工形式 3径間連続鋼溶接合成鈹桁橋 (3連)
2径間連続鋼溶接合成鈹桁橋
- (3) 試験対象物 床版



②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

◆試験方法

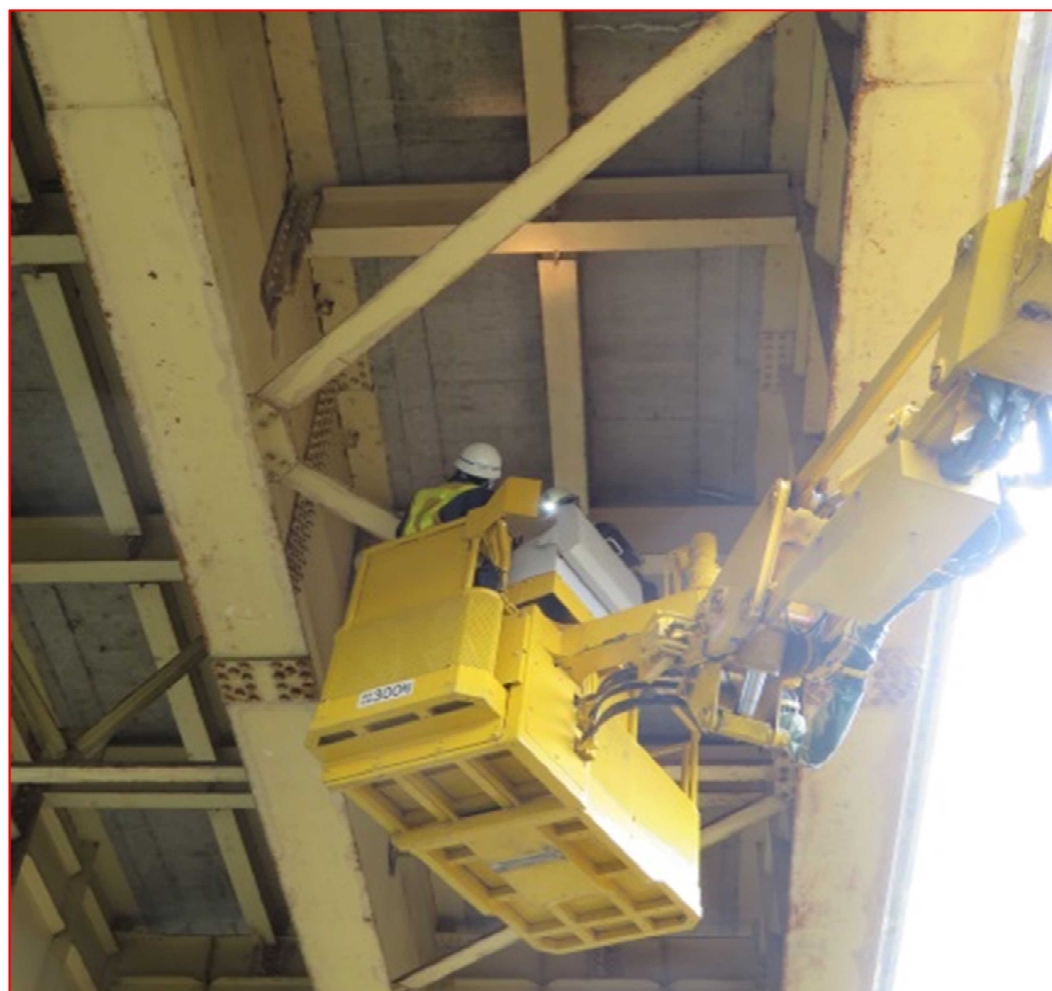
■近接撮影法■

HDカメラを橋面上より遠隔操作にて近接撮影を行い、静止画像を取得し画像解析によりひび割れを抽出する方法。



■従来法■

点検作業員が点検用の車両に乗り込み床版を近接目視点検を行い、チョーキング、スケッチにて損傷図を作成する方法。



②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

②-1. 実験結果 ◆床版のひび割れ図

(1)本試験の撮影条件*である撮影距離1.0mの画角においては、**0.1mm~0.2mmのひび割れ検出量は、従来法と同程度以上の検出が可能。0.1mm以下のひび割れに関しても検出率は98%でほぼ同等の検出結果であった。**

*本研究で提案する撮影条件 (H27年度の成果)

・使用カメラ:

画像素子センサー1.0型

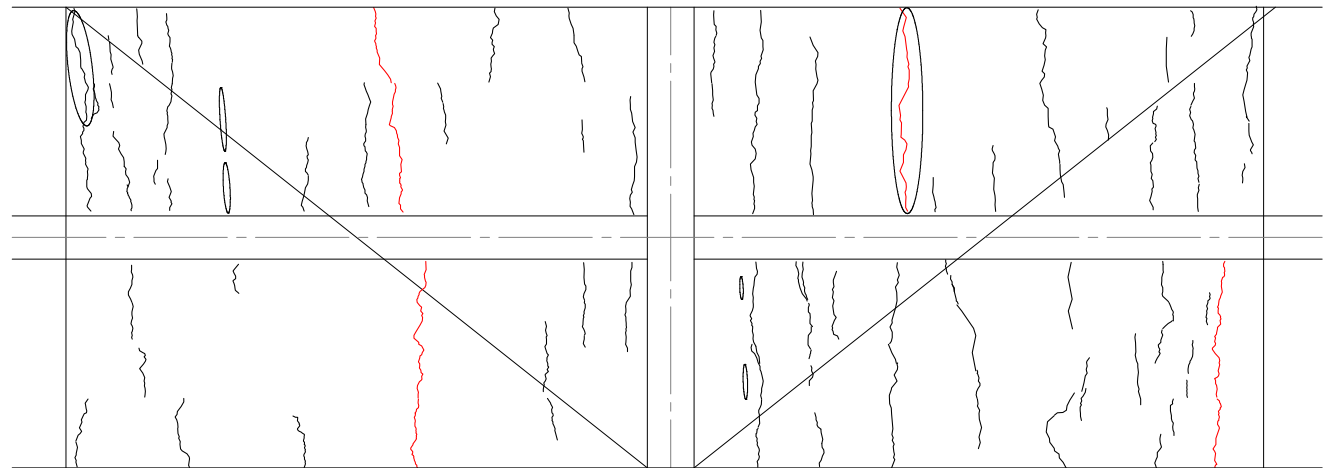
記録画素数:2000万画素以上

・撮影距離:

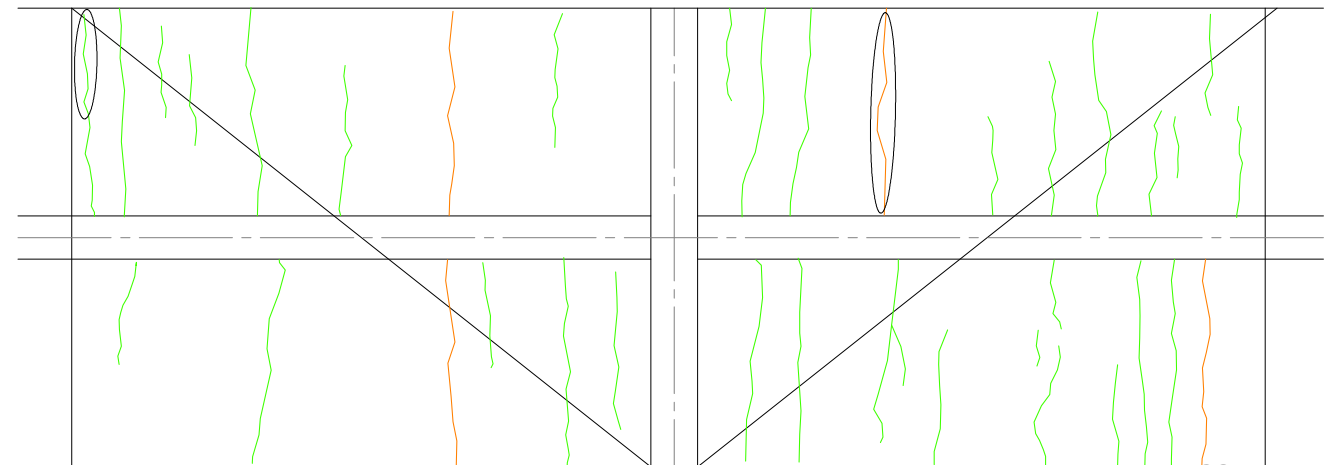
1.0m。光学ズームの場合は、1.0mの撮影離隔距離となるような画角サイズ

・撮影照度:

1000lux以上



4Kカメラ近接撮影法によるひび割れ図



従来法によるひび割れ図

②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

②-1. 実験結果 ◆コスト比較

<条件> 点検面積 : 2.12m × 5.12m (10.85m²)

点検用機材 : 大型橋梁点検車 (BT400) 使用の場合。

| 作業項目 | 従来手法(チョーキング) | 4Kカメラ 近接撮影 撮影距離2.0m |
|--------|-----------------------|---------------------|
| 使用機材等 | 橋梁点検車(運転手含)(BT-400相当) | 橋梁点検カメラシステム「見る・診る」 |
| 写真撮影枚数 | — | 9枚 |
| 交通誘導員 | 2名 | 2名 |
| 点検必要人工 | 2名 | 2名 |
| 現場点検作業 | 30分 × 2名 点検及びスケッチ | 5分 × 2名 近接撮影 |
| 内業作業 | 30分 | 120分 |

| 作業項目 | 従来工法(※4) | 4Kカメラ 近接撮影(※4) |
|----------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 使用機材等※1 | 700,000円/日*(30分/480分) =43,750円 | 100,000円/日*(5分/480分) =1,042円 |
| 交通誘導員※2 | 15,000円/日*(30分/480分)*2名=1,875円 | 15,000円/日*(5分/480分)*2名 =312円 |
| 点検作業人件費※3 (現場作業) | 25,000円/日*(30分/480分)*2名 =3,125円 | 25,000円/日*(5分/480分)*2名 =520円 |
| 現場作業 小計 | 48,750円 | 1,874円 |
| 内業作業人件費※3 (損傷図作成) | 25,000円/日*(30分/480分) =1,562円 | 25,000円/日*(120分/480分) =6,250円 |
| 内業作業 小計 | 1,560円 | 6,250円 |
| 点検費用合計(円) | 50,310円(1.00倍) | 8,124円(0.16倍) |

※1. 橋梁点検車BT-400使用の場合※2交通誘導員：15,000円/日で算出※3. 作業員人件費：25,000円/日

※4. 1日当たり作業時間は8時間とした。

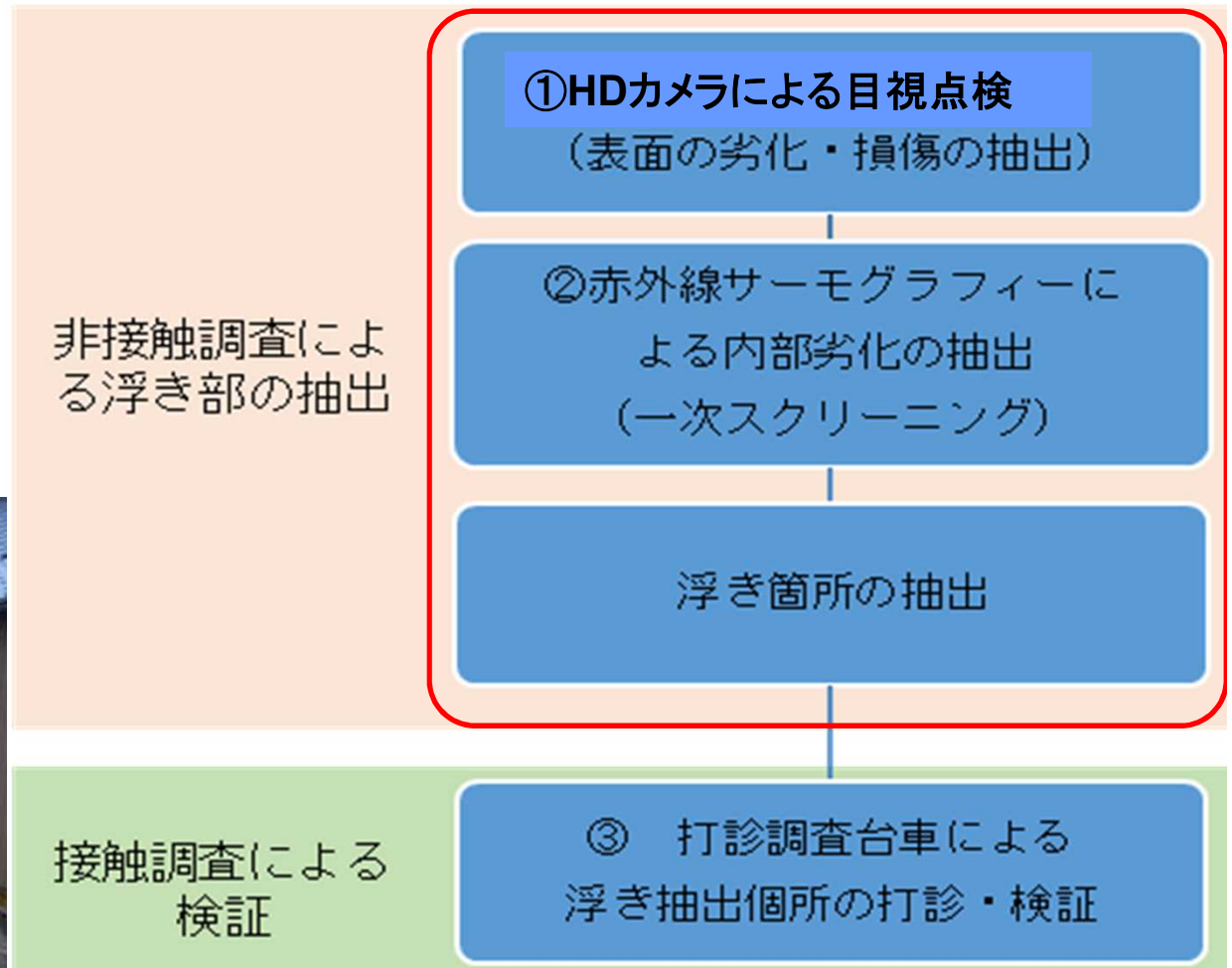
②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

②-2. 目的 点検員が橋梁点検車を使用して直接打診点検を実施した実橋梁を対象に、橋梁点検支援・補完ロボットの打診点検システムによる点検を実施し、点検精度の妥当性検証と作業効率を検討し、本点検システムの有効性の確認することを目的。

②-2. 実証試験概要

◆実施場所

- | | |
|-----------|------------------|
| (1) 場 所 | 〇橋 |
| (2) 上部工形式 | RC単純T桁橋 |
| (3) 橋 長 | 11.8m |
| (4) 有効幅員 | 5.5m |
| (5) 欠陥タイプ | 鉄筋腐食による 浮き・剥離 |

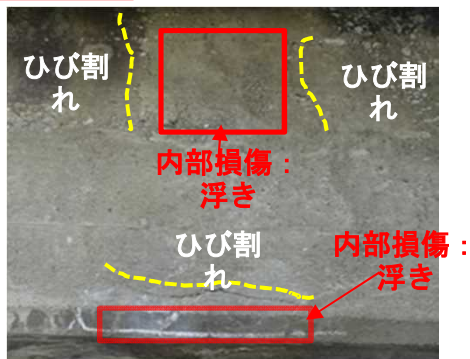


②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

②-2. 実証試験概要

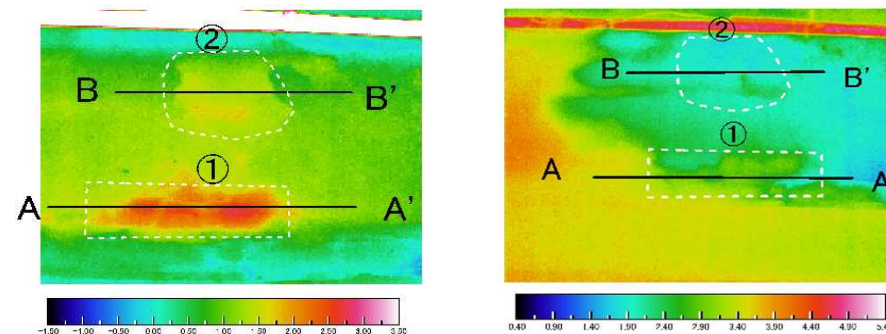
◆平成28年度の現場実証実験での検証項目

①高精密点検カメラによる損傷箇所抽出精度の検証



番号1 主桁Mg0101(内部損傷:浮き)
→ (表面損傷:ひび割れ)

③気象条件の違いによる損傷検出精度の検証

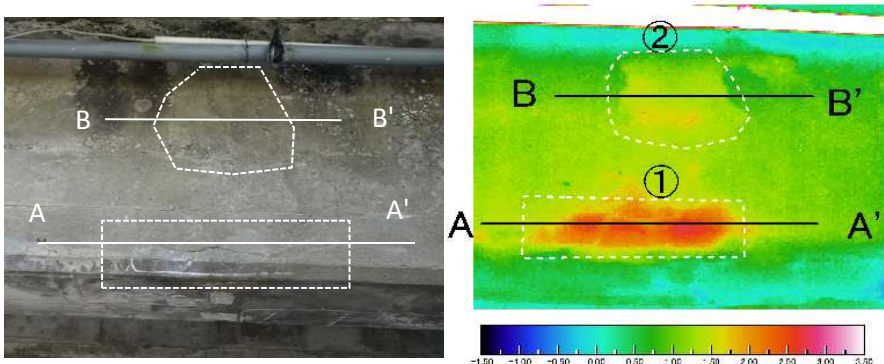


(浮き) → ○抽出可

(浮き) → ○抽出不可

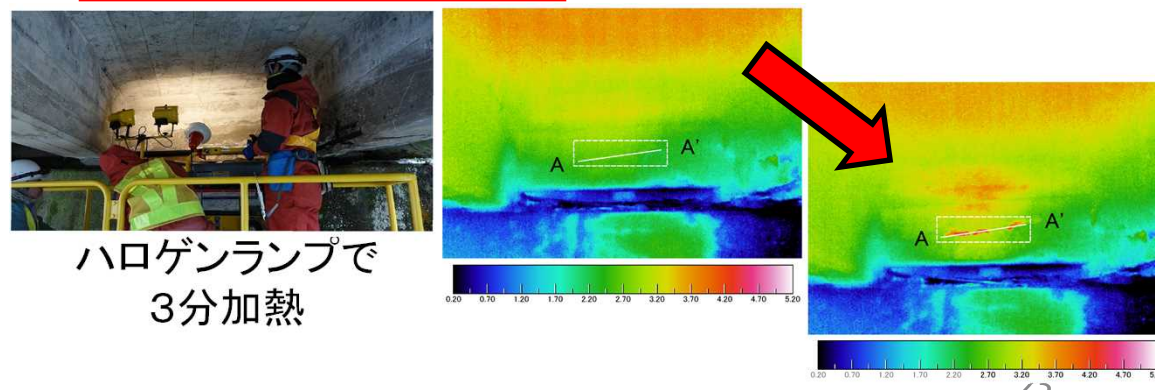
番号1 主桁Mg0101(浮き)

②赤外線サーモグラフィによる損傷箇所抽出精度の検証



番号1 主桁Mg0101(浮き) → ○抽出可

④冬期間(低温時)点検における加温式アクティブ法の適用性



ハロゲンランプで
3分加熱

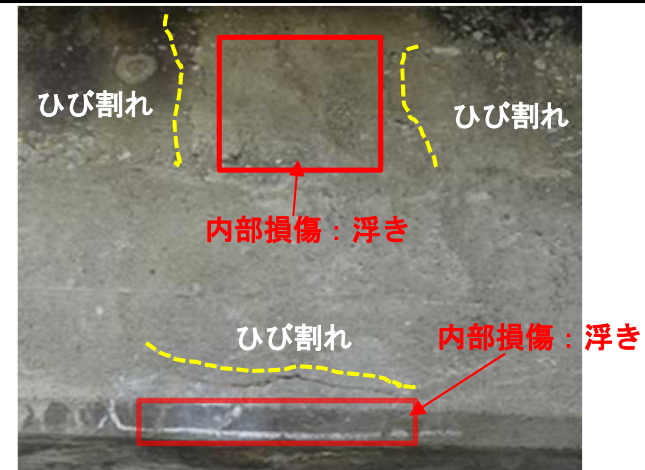
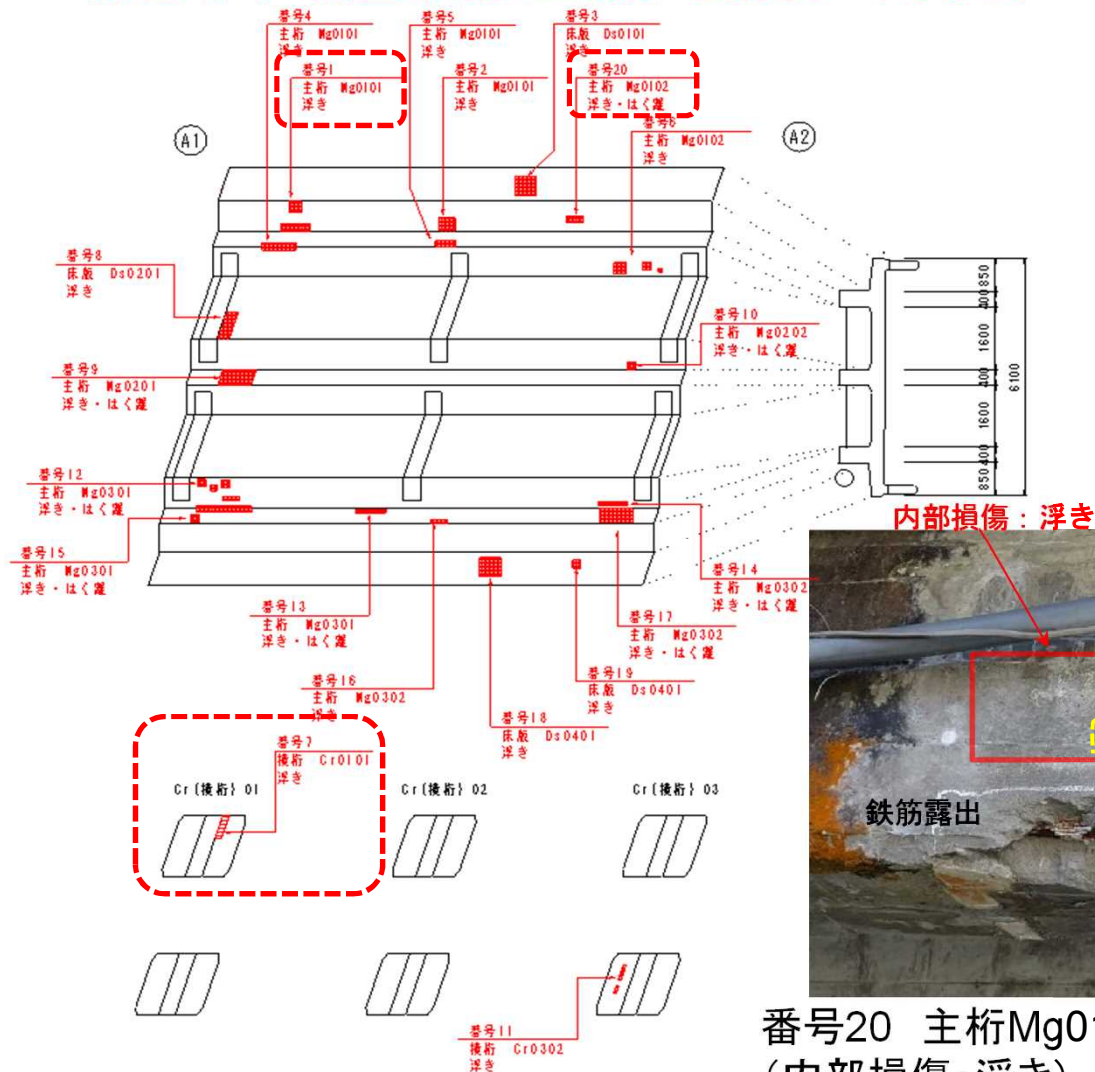
番号11 横桁Cr0302(浮き) → (○抽出可)

②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

②-2. 実証試験結果

◆目視点検(HDカメラ)による損傷箇所抽出精度の検証

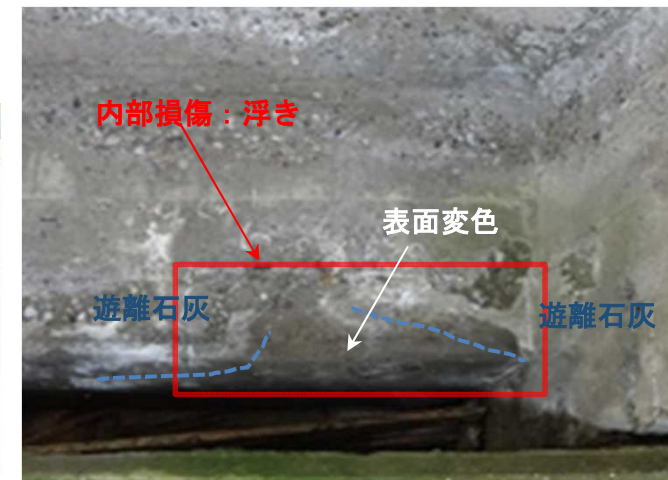
検出率(=検出数/発生数)=20/20=100%



番号1 主桁Mg0101
(内部損傷:浮き)
→ (表面損傷:ひび割れ)



番号20 主桁Mg0102
(内部損傷:浮き)→
(表面損傷:鉄筋露出・ひび割れ)



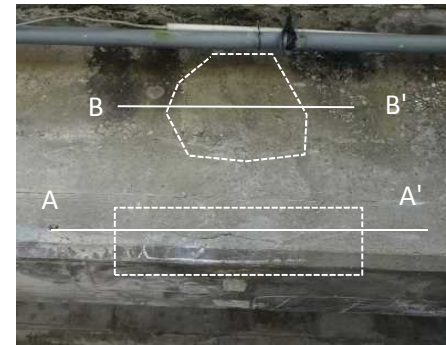
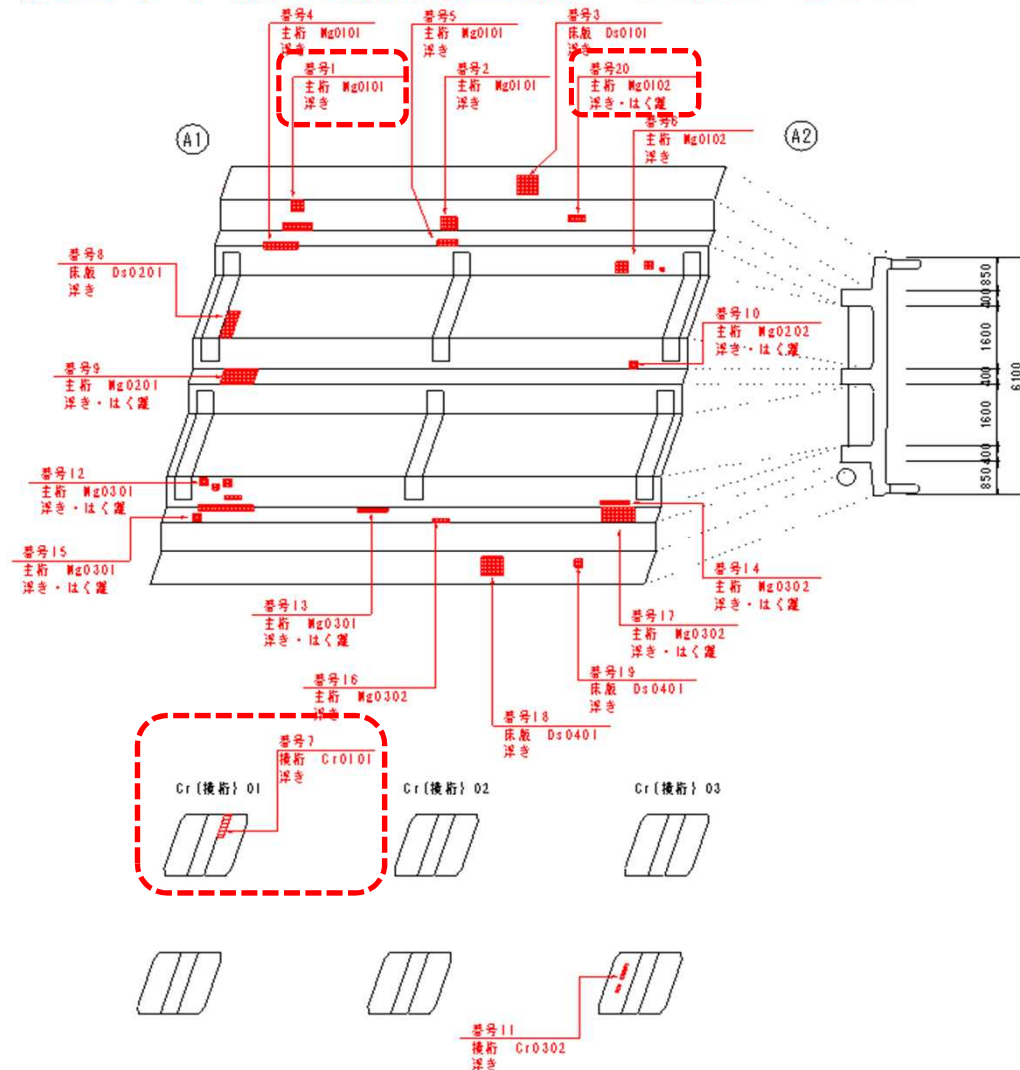
番号7 横桁Cr0101
(内部損傷:浮き)
→ (表面損傷:変色・遊離石灰)

②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

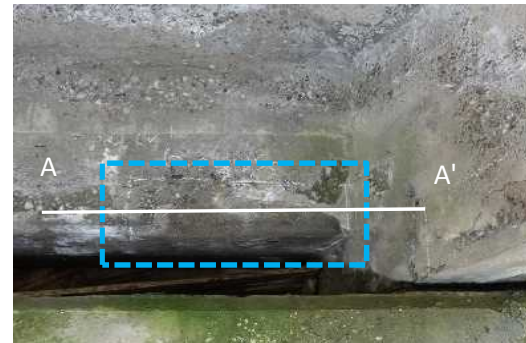
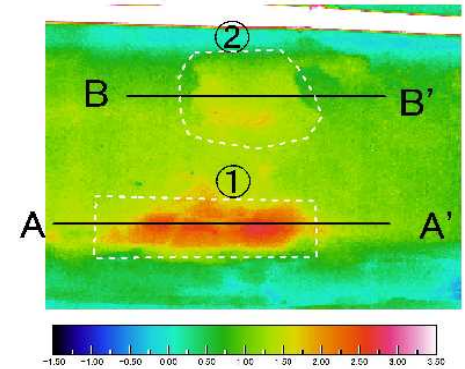
②-2. 実証試験結果

◆赤外線サーモグラフィ(パッシブ法)による損傷箇所抽出精度の検証

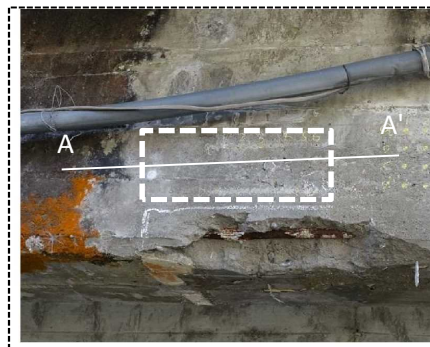
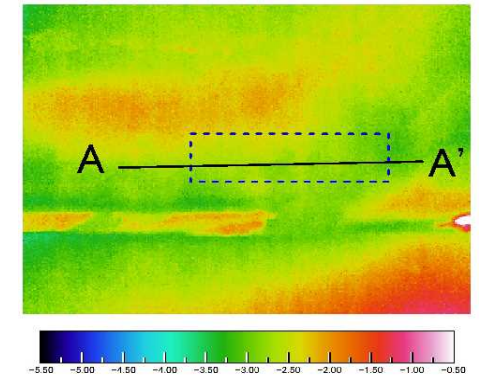
検出率(=検出数/発生数)=19/20=95%



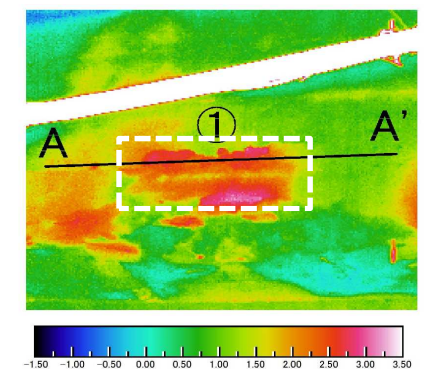
番号1 主桁Mg0101(浮き)→○抽出可



番号7 横桁Cr0101(浮き)→(×不可)



番号20 主桁Mg0102(浮き, はく離)→○抽出可



②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

②-2. 実証試験結果 ◆赤外線サーモグラフィ(パッシブ法)での

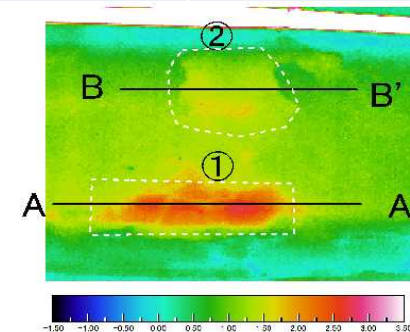
気象条件の違いによる損傷検出精度の検証

- ・気温変化が1時間当たり2°C以上の上昇で、損傷箇所を高精度に抽出可能。
- ・気温変化が1時間当たり1°C以下の変化の場合、損傷の検出率は著しく低下。

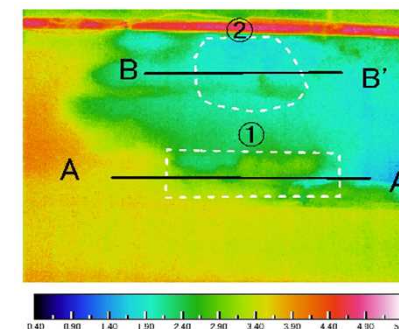
| 観測日 | 最高気温 | 温度上昇値 | 検出率 |
|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|
| 1回目 2017/02/22 | PM13:49 10.4°C | 8.5°C (時間当たり2.0°C上昇) | 95% (19/20) |
| 2回目 2017/02/24 | PM12:45 6.8°C | 3.3°C (時間当たり0.8°C上昇) | 38% (6/16) |



(浮き) → ○抽出可



(浮き) → ×抽出不可



番号1 主桁Mg0101(浮き) → ○抽出可

②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

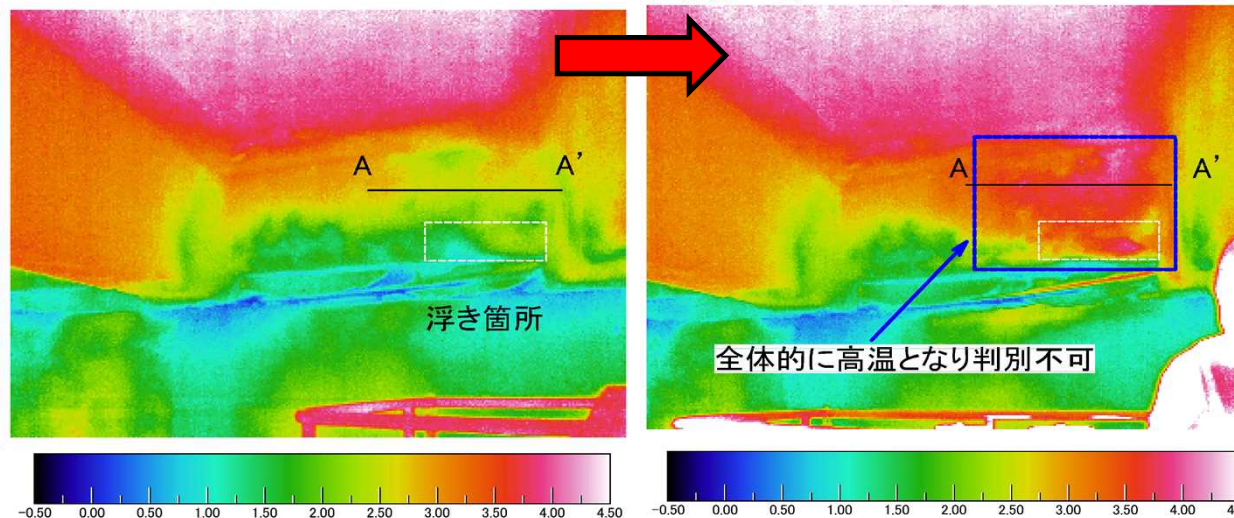
②-2. 実証試験結果 ◆冬期間(低温時)点検における加温式アクティブ法の適用性

浮いたコンクリートの厚さが比較的厚い場合(4~5cm程度)、コンクリートの熱伝導率の関係から、ハロゲンランプで3分間程度の加熱ではコンクリート表面が全体的に温度上昇し、浮きの検出は困難であった。

番号7 横桁Cr0101(浮き)→(×不可)



ハロゲンランプで3分加熱

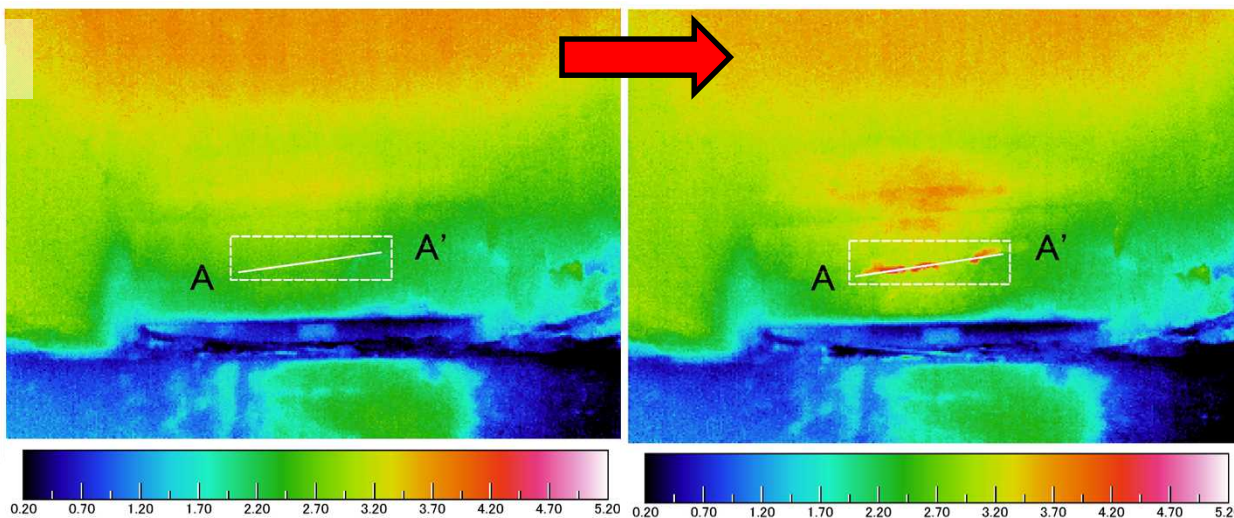


浮いたコンクリートの厚さが5mmの場合、ハロゲンランプで3分間の加熱で健全部と損傷部(浮き)の温度差は2°Cに上昇し、十分に検出可能。

番号11 横桁Cr0302(浮き)→(○抽出可)



ハロゲンランプで3分加熱



ご清聴ありがとうございました。

