

～第13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)

日時:2016年10月11日(火)

発表時間:16:55-17:05(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！！



「視る診る」の紹介ビデオ



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℃
		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

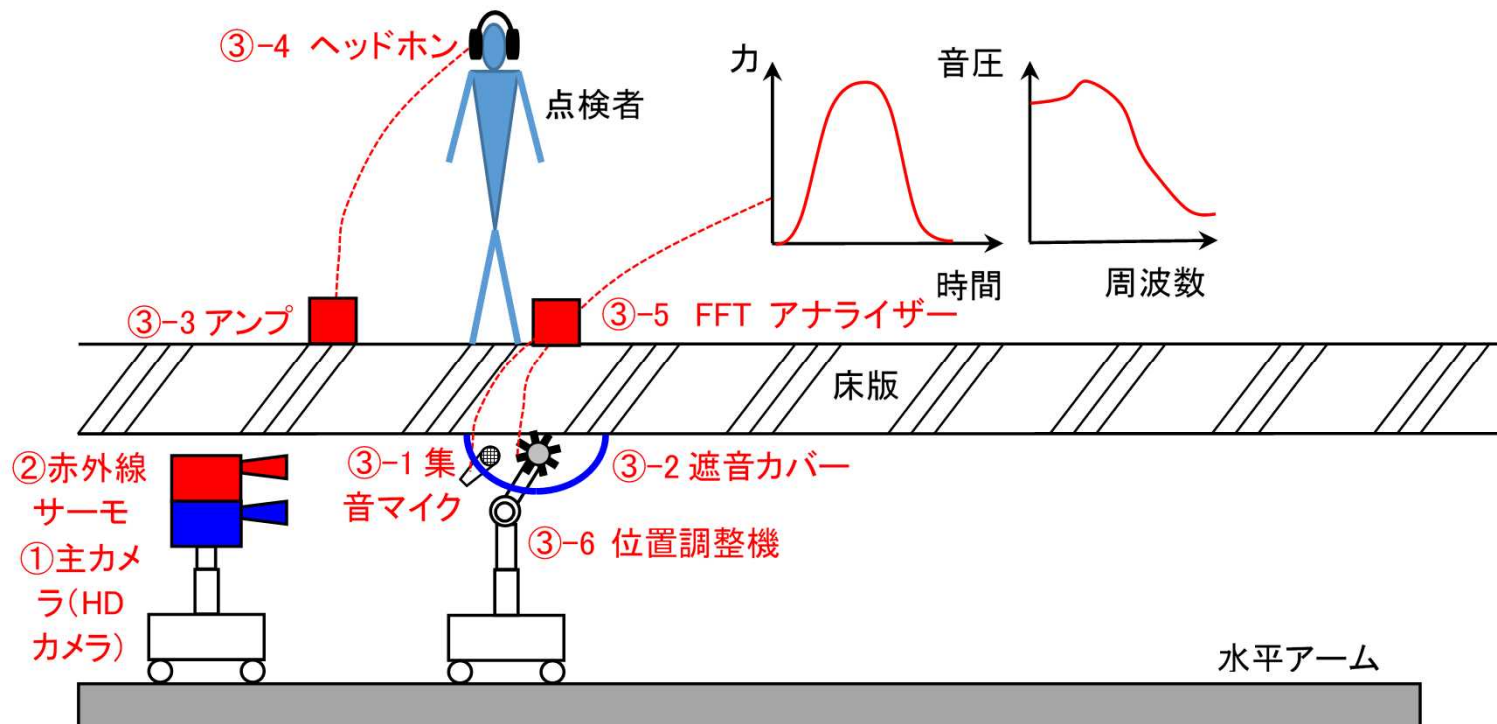
- ① 地震、台風、洪水等が発生した時の緊急点検
- ② 進行性の劣化・損傷（塩害、ASR、凍害）がある橋梁で、第三者被害が想定される橋梁の経過観察のための点検とモニタリングのためのベースマシーンとしての活用
- ③ 赤外線サーモによる浮き、剥離箇所のスクリーニングによる点検作業の効率化、省力化に活用。
- ④ 本HDカメラで撮影された静止画像からひび割れ図をおこし、現場作業、内作業を補助ならびに負担軽減

→ 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



■開発工程(H26年度～H28年度)■

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			

②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

②-1. 背景・目的 浮き, 剥離を検出する場合, 全面打診することが極めて有効であるが, 非効率で, 経済的とは言えない。また, その判定も点検員の能力に依存し, 定量的とは言えない。
本研究では, 水平アームに搭載されたHDカメラ, 赤外線サーモ, 打音調査機器を併用し, それらのデータを解析, 空隙・剥離を判定する評価方法を開発。

●コンクリートの浮き・剥離の判定フロー

非接触調査による
浮き部の抽出

接触調査による
検証

①HDカメラによる画像点検
(表面の劣化・損傷の抽出)

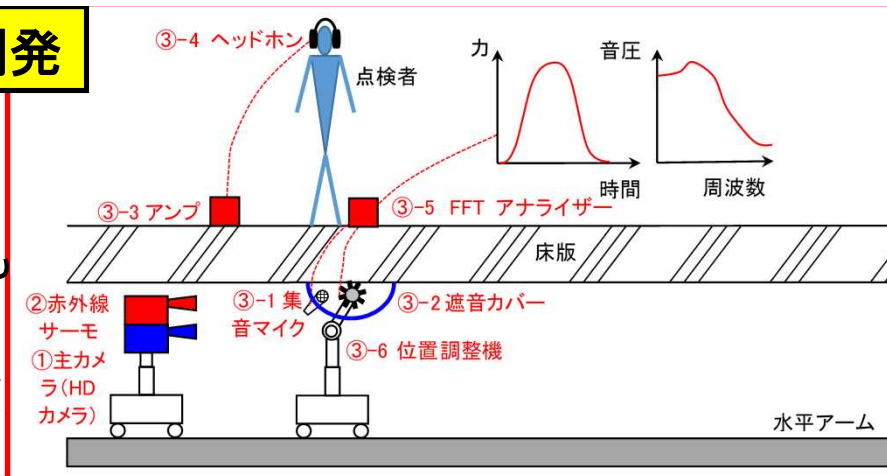
②赤外線サーモグラフィーによる内部劣化の抽出
(一次スクリーニング)

浮き箇所の抽出

③ 打診調査台車による
浮き抽出個所の打診・検証

・自然熱源(パッシブ法)
人工熱源(アクティブ法)
もしくは併用

・打撃力, 加速度, 音圧



②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

(a)インパクトハンマーを用いた打音試験によるコンクリートの空隙・剥離の判定方法を検討

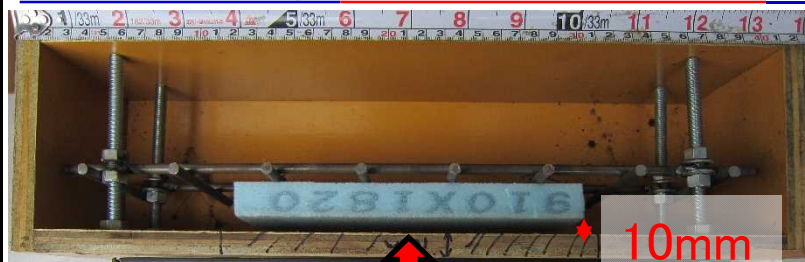
②-2 (a). 実験概要 試験体形状: 10cm × 10cm × 40cm

■ 欠陥なし試験体 ■



打撃方向

■ 空隙試験体 (空隙位置: 10mm) ■



打撃方向

■ 空隙試験体 (空隙位置: 30mm) ■



打撃方向

■ 欠陥なし試験体 ■



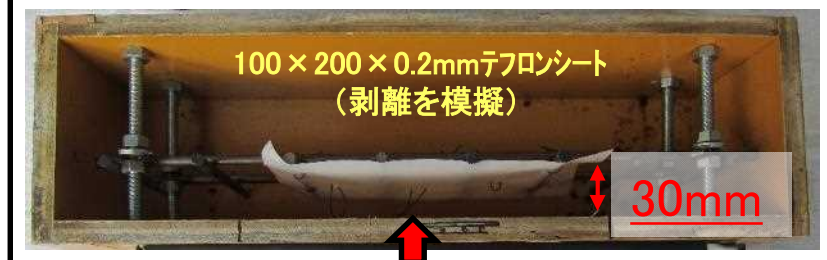
打撃方向

■ 剥離試験体 (剥離位置: 10mm) ■



打撃方向

■ 空隙試験体 (剥離位置: 30mm) ■

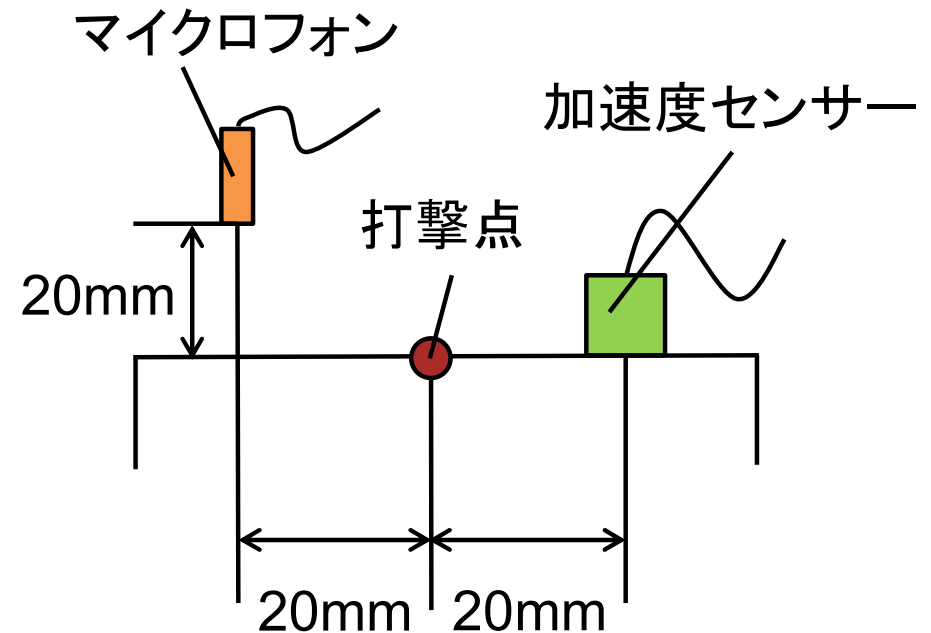
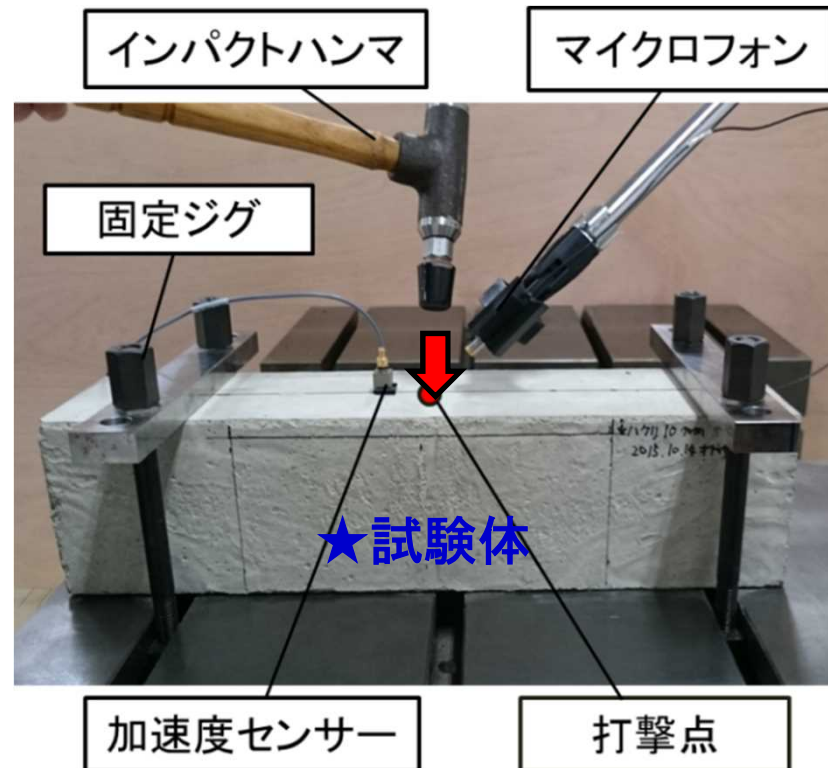


打撃方向

②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

★試験方法

1. 損傷がある上面部分の中央をインパクトハンマーで打撃し、その時の打撃力、応答加速度、打撃音を計測し、空隙、剥離の有無、位置が与える影響を調査。



★変動要因: インパクトハンマー先端のチップ



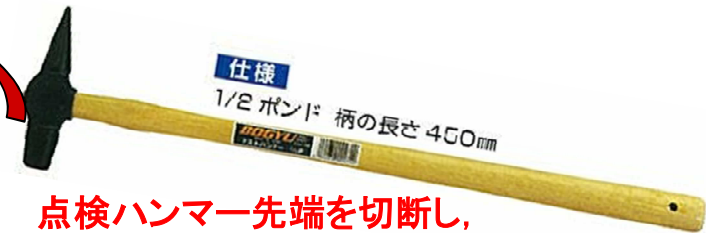
軟質ゴム



スチール



ハンマーヘッド



点検ハンマー先端を切断し、
取り付け

②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

②-3 (a). 実験結果

剥離試験体

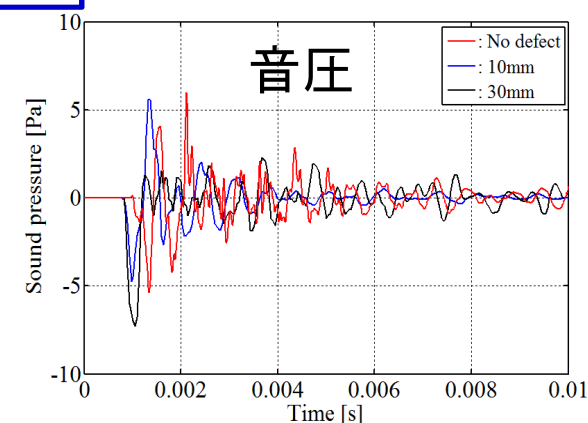
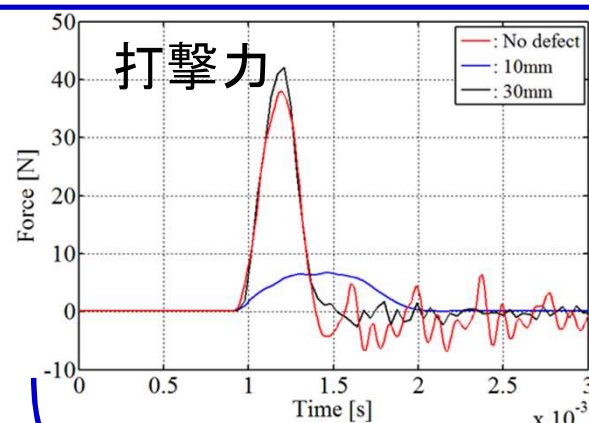
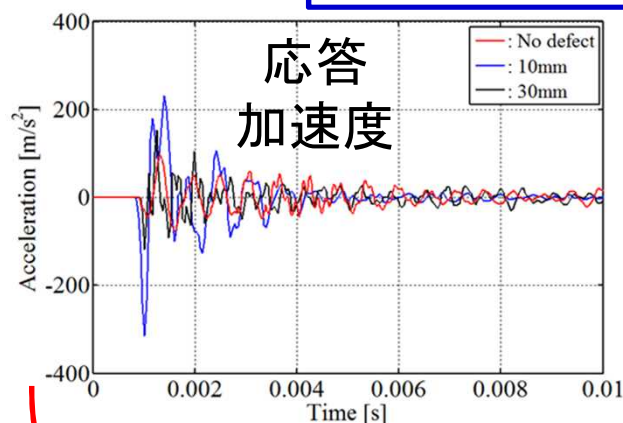


打撃方向 ↑

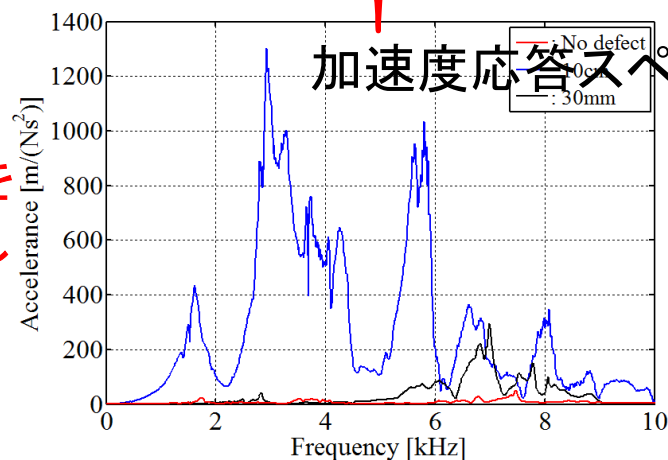


ハンマーヘッド

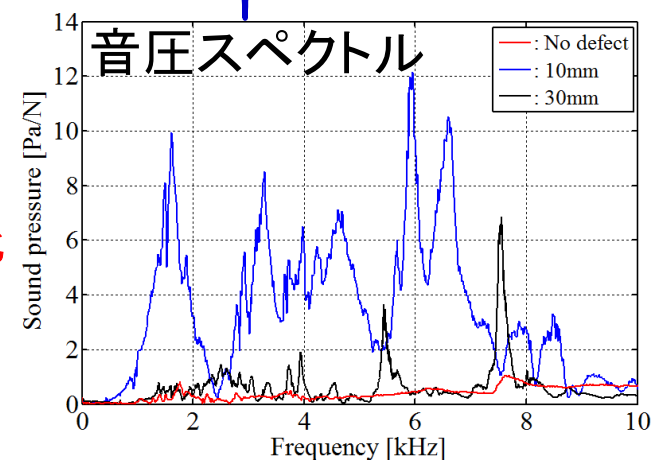
— : 健全 — : 深さ10mm — : 深さ30mm



* 縦軸:
応答加速度を
打撃力で除し
て正規化



* 縦軸:
音圧を打撃力
で除して正規化



②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

(b)赤外線サーモグラフィを用いたコンクリートの浮き・剥離の評価方法を検討

②－2(b)．実験概要

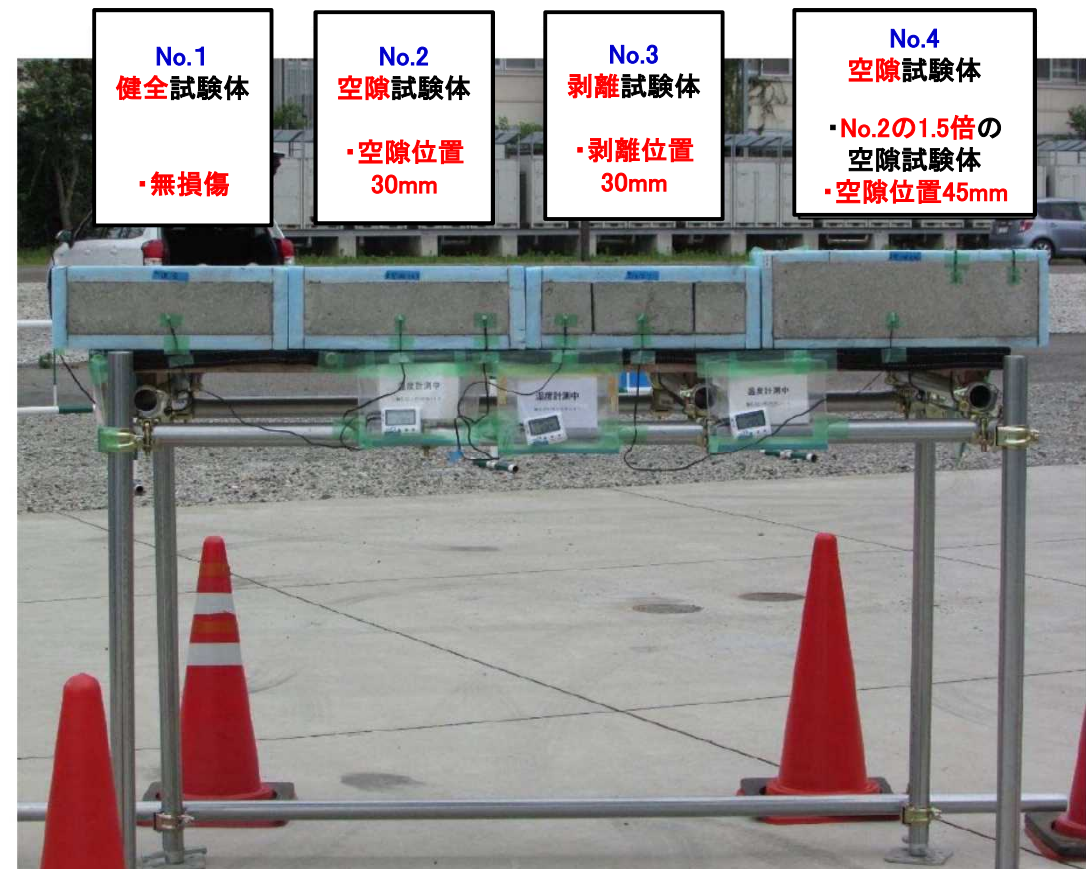
損傷(浮き・剥離)を模擬した試験体を用いて、「自然熱源(パッシブ法)」および「散水冷却法による人工熱源(アクティブ法)」による赤外線サーモグラフィ試験を行った。

<試験日時>

- ・平成27年6月29日(月) 自然熱源(パッシブ法)
- ・平成27年6月30日(火) 散水冷却(アクティブ法)

<試験場所>

- ・福井大学実験棟前



②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

②-3 (b). 自然熱源(パッシブ法)の実験結果

No.2 空隙試験体
・空隙位置30mm

No.3 剥離試験体
・剥離位置30mm

No.4 空隙試験体
・No.2を1.5倍した空隙試験体
・空隙位置45mm



$\Delta T = \text{損傷部位} (^{\circ}\text{C}) - \text{健全部} (^{\circ}\text{C})$

①9:30

$\Delta T = +0.9 (^{\circ}\text{C})$

$\Delta T = +1.2 (^{\circ}\text{C})$

$\Delta T = +1.2 (^{\circ}\text{C})$

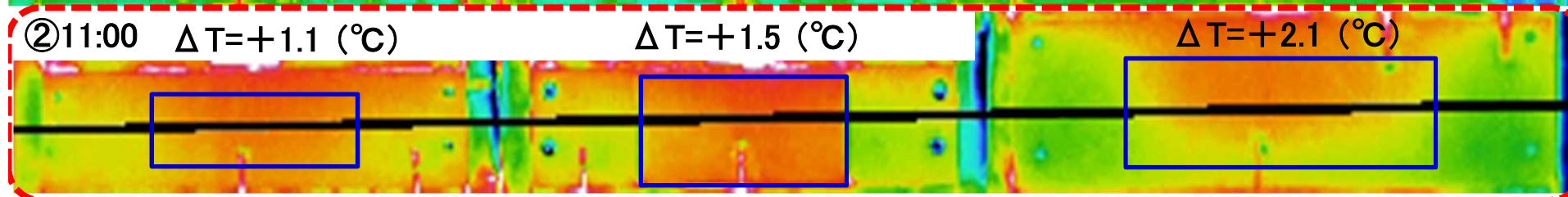


②11:00

$\Delta T = +1.1 (^{\circ}\text{C})$

$\Delta T = +1.5 (^{\circ}\text{C})$

$\Delta T = +2.1 (^{\circ}\text{C})$

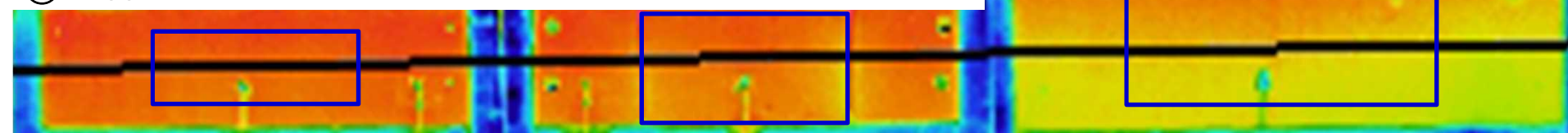


③14:00

$\Delta T = 0.0 (^{\circ}\text{C})$

$\Delta T = 0.0 (^{\circ}\text{C})$

$\Delta T = +0.6 (^{\circ}\text{C})$



★11時台の健全部と損傷部位との温度差が大→ 最適な撮影時間帯は午前中
ただし、熱源である外気温度をモニターし、温度変化があることを確認する必要。
今回の実験での外気温度の変化は6°C/h

②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

②-3(b). 散水冷却法による人工熱源(アクティブ法) の実験結果

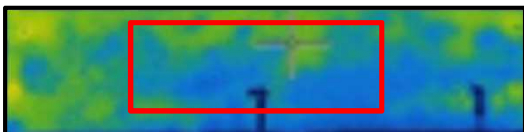
No.2 空隙試験体
・空隙位置30mm



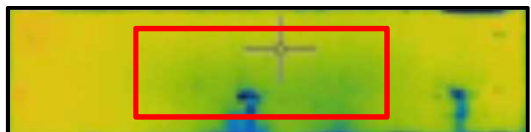
①14:30 熱負荷直前の
温度飽和の状態



②14:37 散水冷却後
気化熱により温度低下



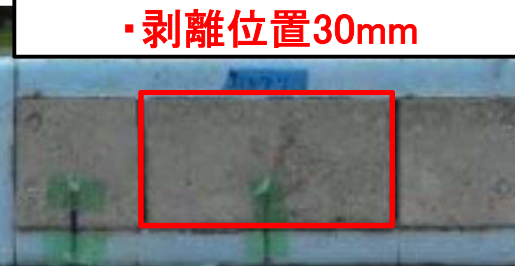
③14:47 温度上昇時



④14:58 温度差MAX時0.5℃



No.3 剥離試験体
・剥離位置30mm



①15:32 熱負荷直前の
温度飽和の状態



②15:33 散水冷却後
気化熱により温度低下



③15:50 温度上昇時



④16:10 温度差MAX時1.8℃



No.4 空隙試験体
・No.2の1.5倍の空隙試験体
・空隙位置45mm



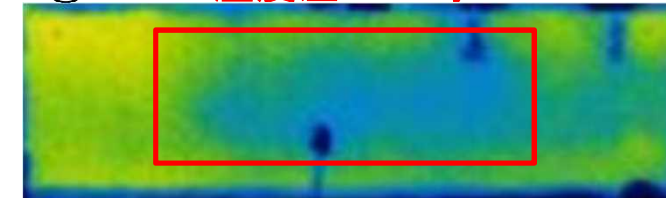
①15:00 熱負荷直前の温度飽和の状態



②15:04 散水冷却後
気化熱により温度低下



④15:23 温度差MAX時1.0℃



★簡易な散水冷却による方法で、
変状部の検出が可能である

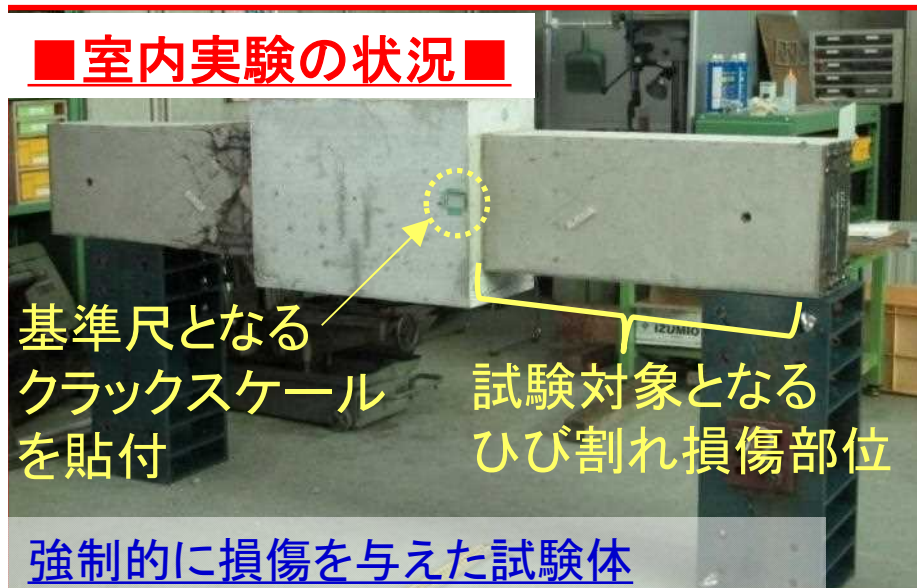
③静止画像取得方法に関する研究開発

③-1. 背景・目的 従来行われている損傷図をおこす作業は、上向き作業となり現場作業の負担が極めて大きく。また、損傷図の記載は、個人差があり、ひび割れの見落としがあるなど、正確なものとは言がたい状況もある。ここでは、「視る診る」に搭載されたHDカメラから取得される静止画像データを用いて損傷図をおこすのに必要な「撮影条件」(具体的には、ひび割れ幅0.1mm以上を判読可能とする撮影条件)を明らかにすることを目的とした。以上により、点検時間、点検コストを低減させるものである。

③-2. 実験概要 撮影条件は以下の5要因

- ①カメラの性能 (撮影素子 (画像センサー), 画素数)
- ②カメラの固定の有無 (三脚固定, 水平アーム上)
- ③撮影距離 (1 m, 2 m, 3 m) ④撮影角度 (正対, 斜め15度)
- ⑤照明 (無し, 投光器, LED裸, LED赤色, LED青色, LED黄色, LED緑色)

■室内実験の状況■



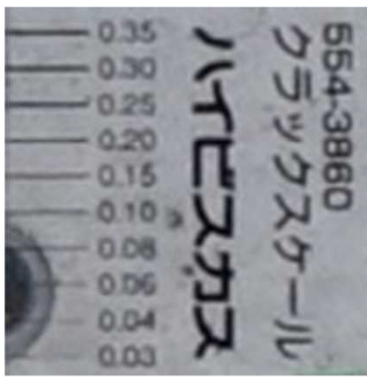
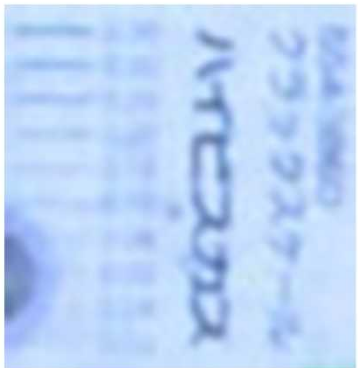
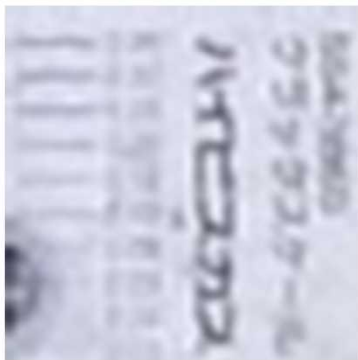
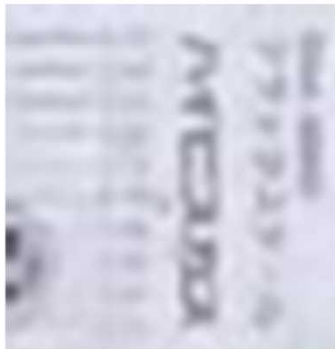
③静止画像取得方法に関する研究開発

③-3. 実験結果

※撮影の固定条件：三脚固定、正対撮影、LED白色照明照射

★撮影距離1m, 照度が約1000LUX, HDカメラ以上の性能があれば, 0.1mm以上のひび割れ幅の判読は可能

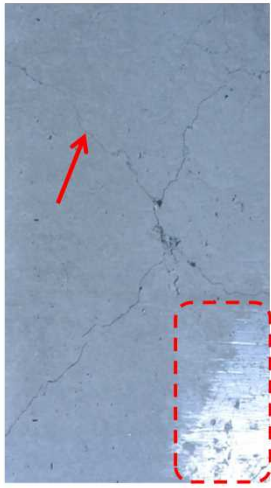
撮影カメラ種類 (画像センサーの面積, 記録画素数)

撮影条件	一眼レフ デジタルカメラ (373mm ² , 2400万画素)	ハイビジョン ビデオカメラ (116mm ² , 2000万画素)	コンパクト デジタルカメラ (26mm ² , 1605万画素)
撮影距離 1.0m 照度 約 1,400 lux	 ◎	 ◎	 ▲
撮影距離 2.0m 照度 約 500 lux	 ×	 ×	 ×

③静止画像取得方法に関する研究開発

③－4. まとめ(0.1mm以上のひび割れ幅を判読するための留意点)

- (1) 一眼レフやHDカメラの画像センサー(面積:116～373mm²)および記録画素数(2,000～2,400万画素)程度の性能であれば、撮影距離を1m程度まで近接させる必要がある。
- (2) 照度は、水平アーム上の揺れに配慮し、1,000(lux)程度の明るさが望ましい。
- (3) 斜めからの撮影は、照明の光の写り込みが回避でき、ひび割れが若干、濃く写る。

撮影条件	撮影カメラ種類		撮影条件	撮影カメラ種類	
	一眼レフ デジタルカメラ (NIKON D5200)	ハイビジョン ビデオカメラ (SONY CX900)		一眼レフ デジタルカメラ (NIKON D5200)	ハイビジョン ビデオカメラ (SONY CX900)
正対撮影 撮影距離 1.0m 照度 約 1,400 lux			斜め撮影 15° 撮影距離 1.0m 照度 約 1,600 lux		
カメラ、照明位置：共に正対			カメラ位置：+15°、照明位置：-15°		

※撮影の固定条件：三脚固定、LED白色照明照射

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

④－1. 背景・目的 ここでは、③で得られた「撮影条件」を基にして、実橋梁の床版を撮影し、ひび割れ図をおこすことの検証実験を行い、その妥当性を検証することを目的。

④－2. 実験概要

<試験実施場所>

- | | | |
|-----------|---|----------------|
| (1) 日 | 時 | 平成27年9月24日 |
| (2) 場 | 所 | 板垣橋(福井県福井市板垣町) |
| (3) 上部工形式 | | 単純合成鋼鈑桁橋 4連 |



現場状況写真

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

<実験方法>

A. 従来法: 点検作業員が従来行っている点検車両に乗り込み、床版を近接目視点検、チョーキング、スケッチをして損傷図をおこす方法。



B. HDカメラ近接撮影法: 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。

ケース	撮影離隔距離	LED照明の有無(照度lux)
参考	2.3m	無し(60lux)
1	2.3m	有り(700lux)
2	2.0m	有り(850lux)
3	1.0m	有り(100lux)



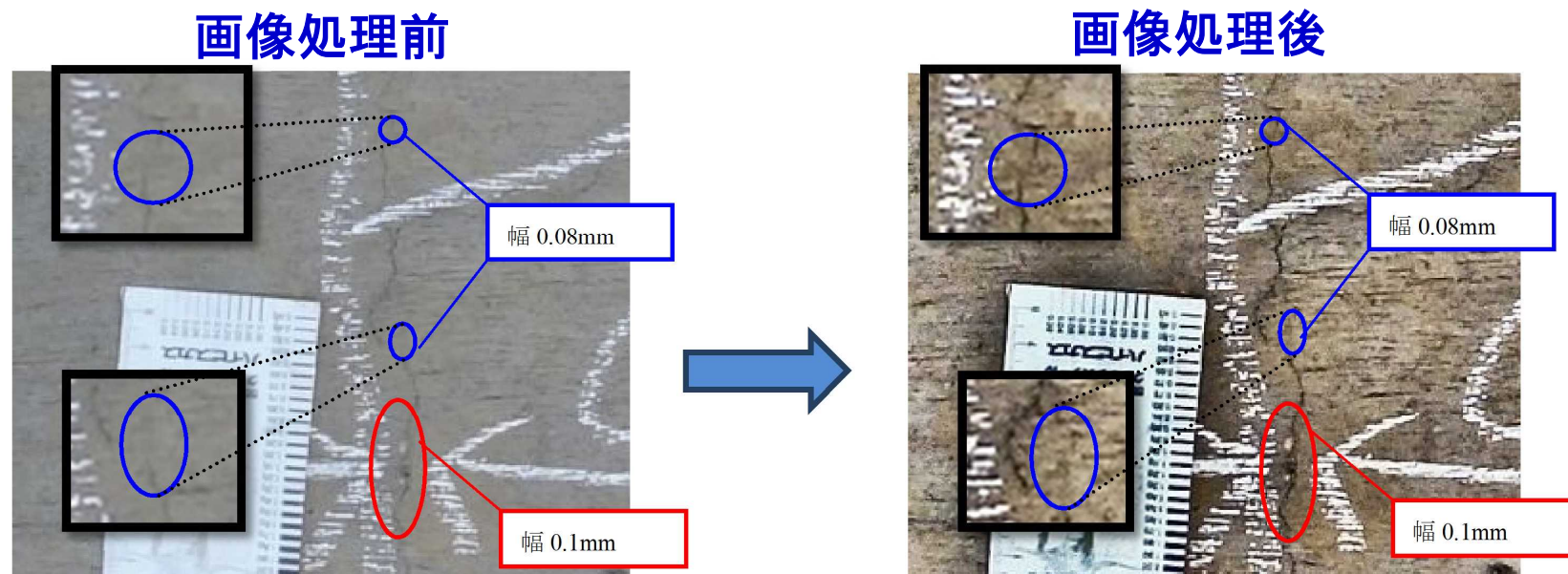
④実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

④－3. 実験結果 ひび割れ強調化画像処理によるひび割れ検出精度の向上

A. ひび割れ強調化処理

「明るさ・コントラスト」「シャドウ・ハイライト」「シャープネス」の画像処理でひび割れのエッジ部分を明確化させる事で検出精度の向上を図る。

画像処理効果(例) 撮影距離 2.0mの場合



B. 画像処理の結果

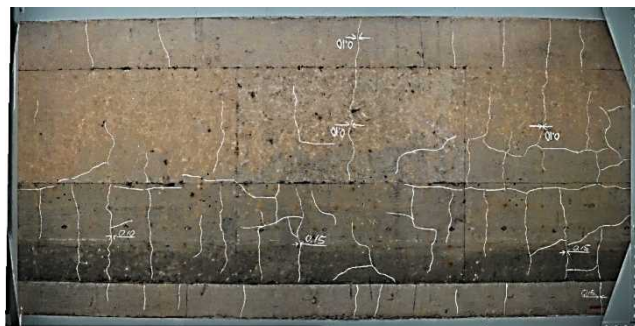
ひび割れ強調化処理で、各撮影距離ともひび割れの検出能力が向上した。

- 撮影距離1.0mで0.08mm幅のひび割れ検出可能。(処理前 0.08mm不可)
- 撮影距離2.0mで0.10mm幅のひび割れ検出可能。(処理前 0.10mm不鮮明)
- 撮影距離2.3mで0.10mm幅のひび割れ一部検出。(処理前 0.10mm不可)

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

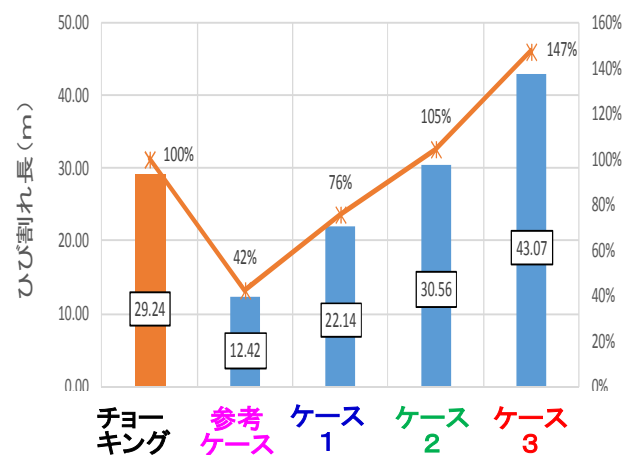
④ー3. 実験結果

A. 従来法 チョーキング



■ ひび割れ合計
— 検出率

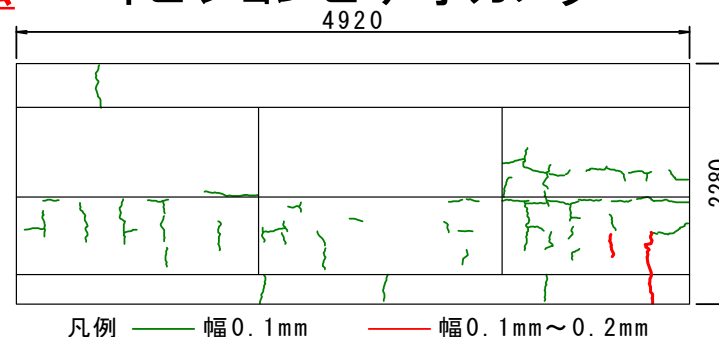
ひび割れ検出率(総合計)



B. HDカメラ近接撮影法 ハイビジョンビデオカメラ

<参考ケース>

- ・撮影距離 : 2.3m
- ・照明 : 無し
- ・調査面照度 : 60lux



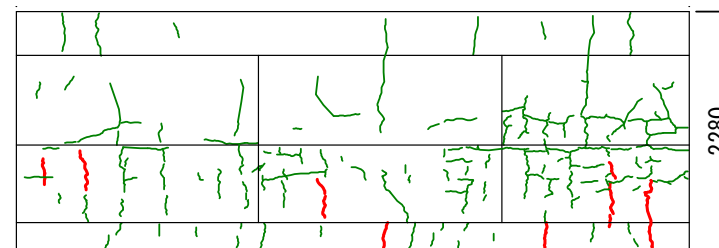
<ケース1>

- ・撮影距離 : 2.3m
- ・照明 : 有り
- ・調査面照度 : 700lux



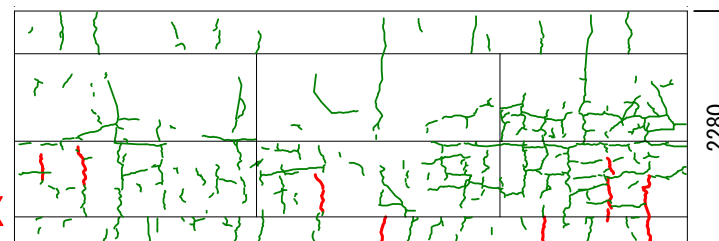
<ケース2>

- ・撮影距離 : 2.0m
- ・照明 : 有り
- ・調査面照度 : 850lux



<ケース3>

- ・撮影距離 : 1.0m
- ・照明 : 有り
- ・調査面照度 : 1000lux



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

④－4. まとめ

(1)「視る診る」に搭載した以下のHDカメラ, LED照明を用いた場合、撮影距離2.0m, 撮影面照度850ルクスの条件で、従来法と同等以上の精度を確保した損傷図の作成が可能である。

とくに、撮影時の照度が重要であり、微細なひび割れを点検する場合は、十分、パワーのある照明設備によって照度を確保する事が重要である。

撮影機材	ハイビジョンビデオカメラ	
機 種	SONY CX900	
撮影素子方式 (画像センサー)	1.0 型 13.2×8.8mm (116mm ²) 31%	
総画素数	2,090 万画素(16:9)	
有効画素数	1,060 万画素 (4:3)	
記録画素数	2,000 万画素	

照明機材	LED 照明	
水銀灯換算	700W 相当	
電圧	AC90～270V	
消費電力	150W	
全光束	13130lm	

■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			■

学会等への論文発表

発表学会名：日本機械学会北陸信越支部第53期総会・講演会

日付：2016年3月5日（土）

会場：信州大学工学部

- 1) 筆頭著者：松本浩明(福井大学工学研究科大学院生:福井大院)
共著者1：鞍谷文保(福井大学工学研究科:福井大)
共著者2：吉田達哉(福井大学工学研究科:福井大)
共著者3：磯 雅人(福井大学工学研究科:福井大)
共著者4：毛利茂則(ジビル調査設計)
共著者5：南出重克(ジビル調査設計)
[題 目]：打撃検査によるコンクリート構造物の欠陥評価
(有限要素解析による検討)

- 2) 筆頭著者：朱 偉華(福井大学工学研究科大学院生:福井大院)
共著者1：鞍谷文保(福井大学工学研究科:福井大)
共著者2：吉田達哉(福井大学工学研究科:福井大)
共著者3：磯 雅人(福井大学工学研究科:福井大)
共著者4：毛利茂則(ジビル調査設計)
共著者5：南出重克(ジビル調査設計)
[題 目]：打撃検査によるコンクリート構造物の欠陥評価
(実験的検討)

ご清聴ありがとうございました。

