

# コンクリート床版内部の状態把握に向けた 新たな微破壊調査方法

渡 邊 晋 也・内 田 美 生・谷 倉 泉

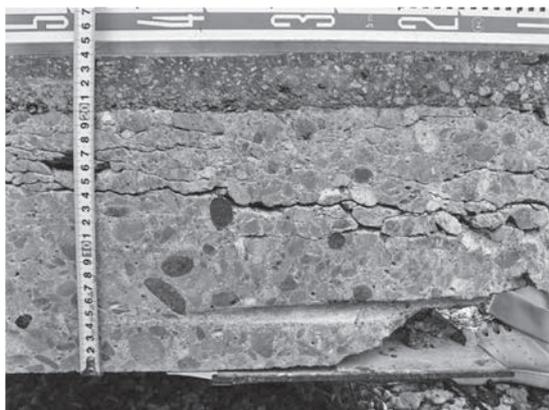
本稿は、コンクリート床版内部の状態把握に向けて確実に評価が可能な微破壊調査手法に着目し検討した①Single i工法と②MDT工法の概要について紹介するものである。本稿で紹介する微破壊調査手法は、コンクリート構造物へのダメージを最小限にした調査手法であり、コンクリート構造物の「点」における内部状態を的確に把握する技術である。一方で、これまでに一般的に行われている非破壊調査手法は、コンクリート構造物の「面」での評価を想定した技術であるが、コンクリートの不均一性から、得られたデータの解釈が難しいといった課題がある。そこで、非破壊・微破壊調査手法の両者を組み合わせることで、コンクリート構造物を多角的視点から総合的に診断することを目指して開発を進めている。

キーワード：コンクリート床版，内部調査，水平ひび割れ，微破壊調査

## 1. はじめに

近年、コンクリート床版内部の微細なひび割れは、床版の土砂化やアスファルトコンクリート舗装へのポットホール発生に起因すると考えられている。これまでコンクリート床版内部のひび割れは、鉄筋の腐食により発生すると考えられていたが、近年の調査では、鉄筋腐食起因のひび割れでは説明ができない写真—1のような微細な水平ひび割れが確認されている。これらの微細な水平ひび割れは、アルカリ骨材反応のようなコンクリート材料劣化によるひび割れや、寒冷地で生じる凍結融解作用による劣化の可能性が近年の研究で解明されてきている。

非破壊調査手法によるコンクリート床版の劣化・損傷調査方法として電磁波レーダを用いた方法がある。



写真—1 RC床版内部に発生した水平ひび割れ

電磁波レーダは、マイクロ波帯の電磁波がコンクリート中を一定速度で直進し、異なる媒体が接する境界面で反射する性質を利用している。コンクリート内部においては、鉄筋や空洞などの位置を特定することが可能な技術である。近年、コンクリート床版の取替判断の指標にも使用されてきている。

その一方で、電磁波レーダでは幅の小さなひび割れを直接検知することは難しいことが近年の研究で明らかとなってきている。このため、コンクリート床版の損傷をコンクリート中の「水」や「鉄筋の反射波の強度」で評価することが一般的となってきている。しかしながら、コンクリート床版には1994年ごろから防水工が設置され、コンクリート床版内部の「水」を調査するには、事前に水を散布するなどの対策が必要となったり、防水層が健全な場合、調査ができない可能性があるといった課題も挙げられている。また、鉄筋の反射強度についても、施工時のかぶり誤差等があることも、コンクリート床版内部のひび割れを推定することを難しくしている一要因である。

そこで筆者らは、ひび割れを直接視認することで、明確な結果を得ることが重要と考え、直接コンクリート内部を視認し、ひび割れの有無を確認する手法に着目した微破壊調査手法の確立に向けた検討を行ってきた。本手法はコアの採取などの削孔が伴うが、コンクリート床版に与える損傷をできる限り小さくすることに配慮して、なるべく小さな径で削孔することを開発目標とするとともに、現場で結果が直ぐに把握できる

ことを目標とした。

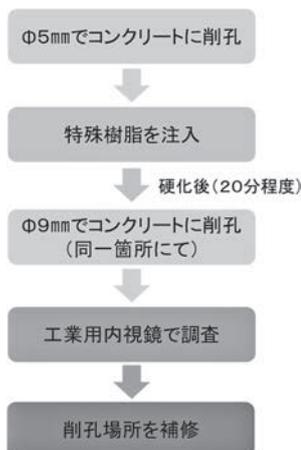
本微破壊調査手法は、コンクリート床版のいわば「点」での調査であり、電磁波レーダ法などの「面」での調査とは異なることから、筆者らは両調査手法を組み合わせることで、お互いの特徴を活かした調査技術として高い相補性を有していると考えている。

本報告では、コンクリート内部の微破壊調査手法として検討した2つの調査手法① single i 工法（NETIS：HK-150004-VE 令和4年度国土交通省推奨技術）と② Micro Destructive Test 工法（以下、MDT 工法と称す）について紹介する。

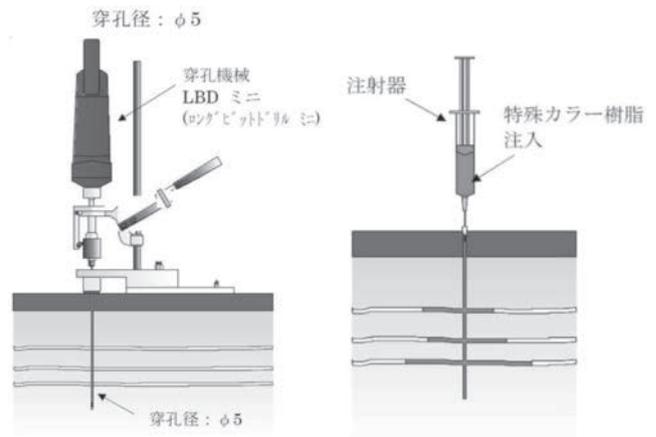
## 2. 微破壊調査手法の概要

### (1) Single i 工法

Single i 工法は、コンクリート構造物に損傷をなるべく与えず、調査結果も現場で確認できる微破壊検査方法である。試験の作業フローを図一1に示す。本微破壊試験法は、水循環式ドリルを用いて、対象箇所にφ5mmの削孔をした後、浸透性の極めて高い特殊樹脂を一般的な注射器で注入する。特殊樹脂の硬化に要する時間は約20分程度であり、その間は静置する。樹脂硬化後、同一箇所にφ9mmで削孔した孔に、小径の工業用内視鏡(ファイバースコープ)を挿入して、孔壁を観察・記録する。コンクリート床版に開けた穴径は最大φ9mmとなり、コンクリート構造物に与えるダメージはほとんどないと考えられる。調査方法のイメージを図一2に示す。床版内部の状況を現場ですぐに視認できることから、速やかに補修・補強方法の検討に移行できる。さらに、報告書には、工業用内視鏡で得られた動画を写真一2に示すような柱状図に変換し、ひび割れ位置や変状位置などをわかりやすく示すことが可能である。

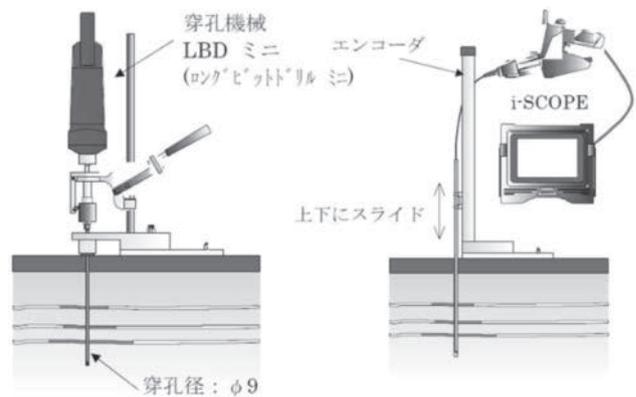


図一1 微破壊試験法のフロー



1) φ5mmでの削孔

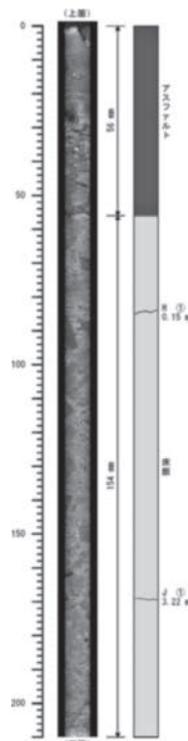
2) 特殊樹脂の注入



3) 再度 φ9mmで削孔

4) 内視鏡観察

図一2 調査のイメージ



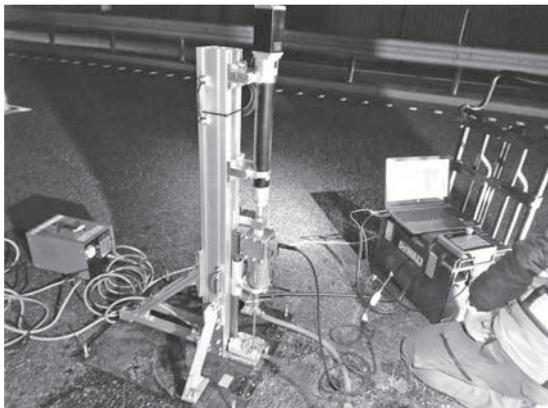
写真一2 コンクリート床版内部を柱状図で示した例

## (2) MDT 工法

MDT 工法は、Single i 工法の簡易版として開発した。Single i 工法は幅が 0.05 mm 以上のひび割れを確認することが可能な工法であるのに対して、MDT 工法はさらに大きなひび割れ (0.5 mm 以上) の検知をターゲットにしている。細かなひび割れの検知精度は低くなるが、測定速度を上げることで、1 日の調査数を多くすることを開発目標のひとつとしている。また、ひび割れ調査以外にも、コンクリートの土砂化や豆板などの欠陥やコンクリートの硬さをグレーディングできるようにしている。MDT 工法の実施状況を写真—3 に示す。MDT 工法は、 $\phi 8.5$  mm のダイヤモンドビットを用いて、削孔時の荷重が一定になるように、ロボットシリンダーにより削孔荷重を制御している。ここでは、削孔時の削孔速度、ドリル回転数、ドリル消費電力量をサンプリング速度 10 Hz で取得し、それらとの関係からコンクリート内部の状態を把握するものである。また、削孔した孔壁を工業用内視鏡 (ファイバースコープ) を用いて観察することで、得られたデータとの比較をすることも可能となる。現在は、工業用内視鏡を用いて、最終的な診断を目視で行っているが、これまでのデータを教師データとして活用することで、AI による診断が可能となるよう開発を進めている。

## 3. 各微破壊調査手法で得られるコンクリート内部状況

Single i 工法および MDT 工法で得られたコンクリート床版の調査事例について紹介する。Single i 工法は積雪寒冷地で供用された撤去床版を用いて調査した結果を、MDT 工法は模擬ひび割れ試験体を作製し調査した結果を示す。



写真—3 MDT 工法の実施状況

## (1) Single i 工法

寒冷地に設置されていた橋梁床版で、橋梁の架橋年次は昭和 40 年であり、供用開始から本調査の実施までに 46 年間供用されていた床版である。床版上面の一部では砂利化、切断面からは微細なひび割れを有することが確認できている床版である。微細なひび割れを写真—4 に示す。写真中の矢印は、微細ひび割れを示す。

### (a) 調査概要

調査は、アスファルトがある床版上面と、床版下面からの 2 方向から実施した。調査は、図—1 に示した微破壊試験法のフローに準拠している。

### (b) 調査結果

#### ①床版上面からの調査結果

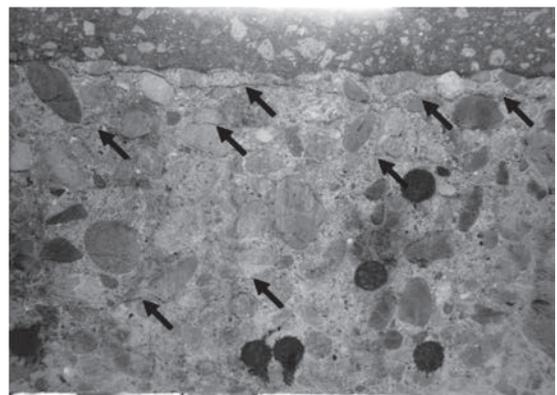
本調査での支障となりうると思われるアスファルトコンクリートが残存している場合であったが、調査の結果、削孔には特に問題もなく、コンクリートと同様にアスファルトコンクリートも削孔することができた。また、特殊樹脂についても、注入漏れなどは無く、コンクリート内部の微細な水平ひび割れに充填できていることが確認できた。工業用内視鏡で観察したコンクリート内部の微細な水平ひび割れ状況を写真—5 に示す。コンクリート内部に多数の水平ひび割れが確認されている。

#### ②床版下面からの調査結果

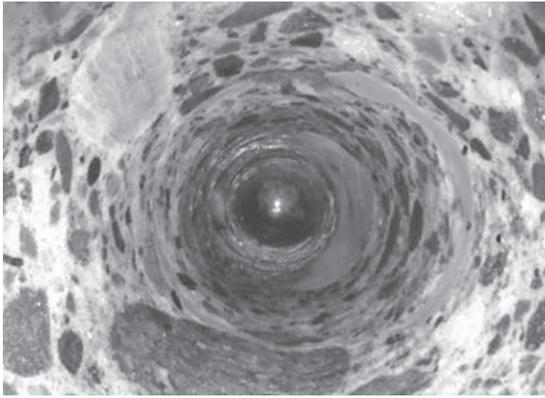
床版下方からの調査では特殊樹脂が注入できるかどうか懸念された。調査の結果、ひび割れには特殊樹脂が注入され、ひび割れを観察することが可能であったことから、上面から実施する場合と同様の結果が得られることが確認された。

#### ③撤去床版のまとめ

本試験では、現場を模擬した方法で床版上面および床版下面からのコンクリート内部の微破壊調査を行った結果、両者ともに調査が行えることが確認できた。



写真—4 微細ひび割れの状況



写真一五 撤去床版内部に発生している水平ひび割れ

また、コンクリート内部に発生していたひび割れ幅は写真一五に示すように0.11 mm～0.92 mmであった。

(c) まとめ

従来のコア採取による調査方法と比べ、本研究で提案した微破壊試験方法の方が、構造物に与える影響を極めて小さくできることや、調査結果が得られるまでの時間を短縮することができたことから、効率の良い調査を実施することが可能となった。

(2) MDT 工法

MDT 工法の検討では、人工的に模擬ひび割れを導入した試験体により検討を行った。その結果を以下に述べる。

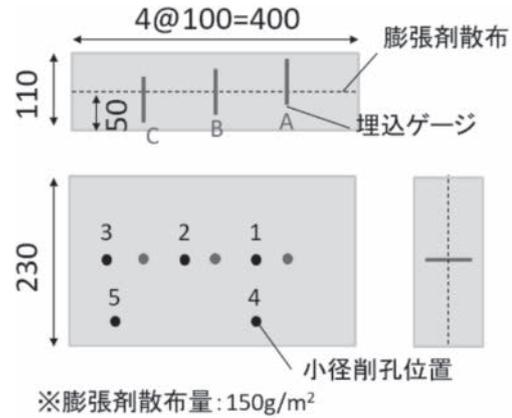
(a) 試験体概要

RC 床版の水平ひび割れを模擬した試験体を製作し、MDT 工法による微破壊調査を実施した。試験体概要を図一三に示す。試験体は、幅 230 mm × 長さ 400 mm × 厚さ 110 mm の無筋コンクリートであり、コンクリートを高さ 50 mm まで打設し、その上面に膨張剤を散布後、さらに高さ 110 mm までコンクリートを打設したものである。打設完了後、想定される水平ひび割れに直交するようにあらかじめ設置した埋込ゲージのひずみ量の経時変化を確認して、水平ひび割れ発生状況を観察した。試験体における水平ひび割れの発生状況を図一四に示す。水平ひび割れは、図一四 a) のように試験体の 4 側面から確認できており、最終的には試験体の MDT 工法調査終了後、試験体を切断して水平ひび割れが生じていることを確認した。

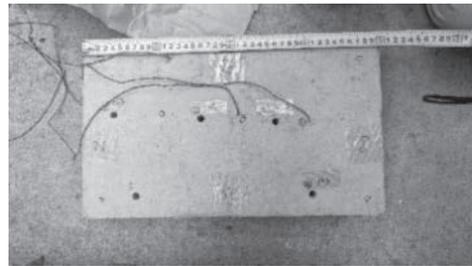
(b) 調査概要

MDT 工法では、図一五に示すような小径削孔測定機を用いた。削孔は、水循環式ドリルを用いており、147 N の押付け力でコンクリートを削孔している。また、切削速度は、最大でも 4 mm/s になるように行っている。ドリル径はφ8.5 mm と小径であり、RC 床版

に与える影響は小さい。削孔深さは、試験体を貫通させないように 105 mm 程度とした。その後、孔内を工業用内視鏡により、エンコーダを用いて深さ方向の位置も計測しながら、孔内撮影を実施した。小径削孔に

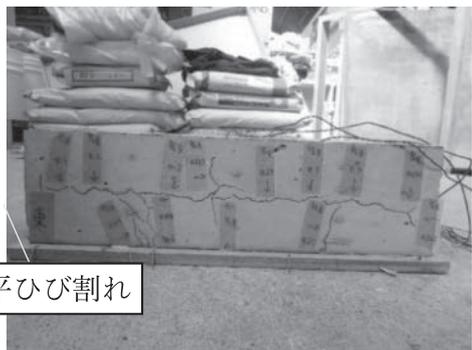


a) 試験体寸法

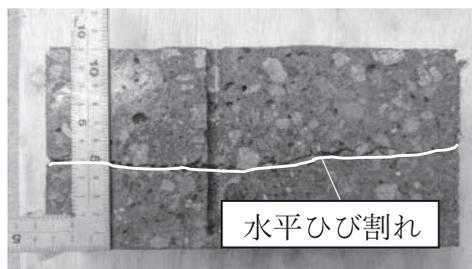


b) 試験体 (削孔後)

図一三 試験体概要

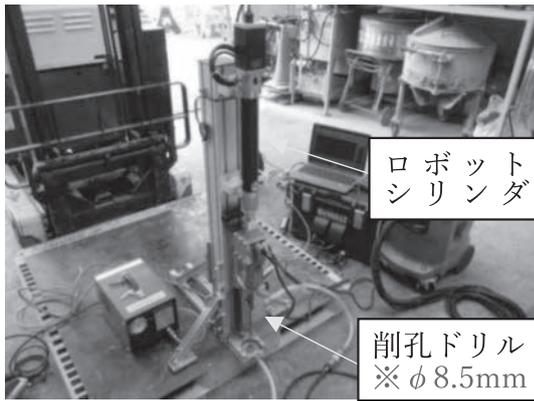


a) 試験体側面のひび割れ状況

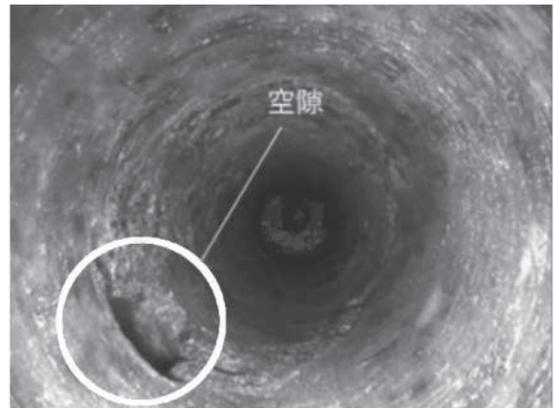


b) 試験体切断面

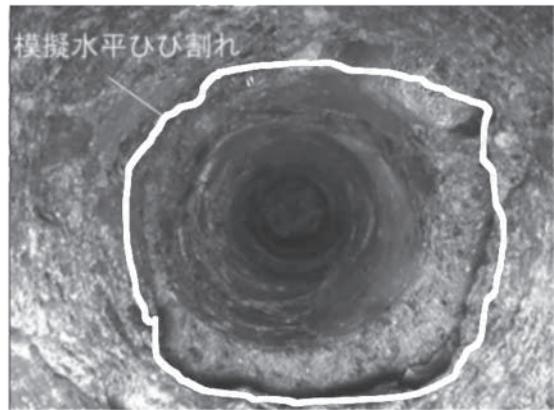
図一四 水平ひび割れ発生状況



図一五 小径削孔測定機



a) 空隙



b) 水平ひび割れ

図一七 孔内の状況

よる調査時期は、試験体に埋設したモールドゲージによるひずみが安定したことを確認してから実施した。図一六に打設から測定したモールドゲージの結果を示す。このように、コンクリート内部でもひび割れが生じていることがわかる。

(c) 調査結果

工業用内視鏡の撮影した代表的な損傷および欠陥の画像を図一七に示す。図から空隙や水平ひび割れを確認することができる。また、画像計測によりひび割れ幅を計測した結果を表一に示す。各孔内の水平ひび割れ幅は、0.78 mm ~ 1.88 mmであった。

次に削孔速度の計測結果を図一八および図一九に示す。削孔速度が約2 mm/sより小さい箇所では、粗骨材等空隙が少ない健全部であり、削孔速度が2 mm/s以上の、特に急激に削孔速度が上昇している箇所では、空隙あるいはひび割れが生じていた。すべての削孔箇所の水平ひび割れ位置で削孔速度が急上昇している箇所が確認できており、水平ひび割れを検知することができることがわかる。削孔箇所1, 2, 3では膨張剤散布位置よりも5 mm程度深い位置で水平ひび割れが生じている結果であったが、これは図一四b)でも確認できる通り骨材とマトリックスの界面で水平ひび割れが生じており、膨張剤散布位置から水

表一 水平ひび割れ幅

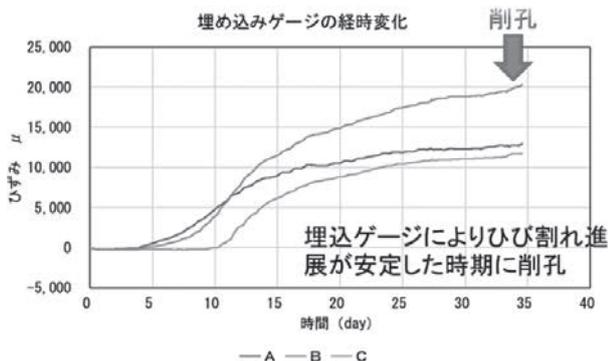
削孔箇所	1	2	3	4	5
ひび割れ幅 (mm)	1.36	1.79	1.22	0.78	1.88

平ひび割れ位置が上下に変動しているためである。また、削孔箇所2と削孔箇所3では、水平ひび割れ幅に0.57 mmの差があるが、削孔速度との関係は不明瞭であった。削孔箇所4については、深さ15 mm ~ 75 mmの範囲では、削孔速度が大きい、空隙を多く含むコンクリートであった。削孔箇所によらず、水平ひび割れ箇所と空隙箇所の削孔速度には大きな差は見られず、明確に判別することができなかった。これらの結果から、削孔速度でコンクリートの健全部と損傷・欠陥部の判定が可能であり、RC床版のコンクリートの劣化度を評価できる可能性が示唆された。

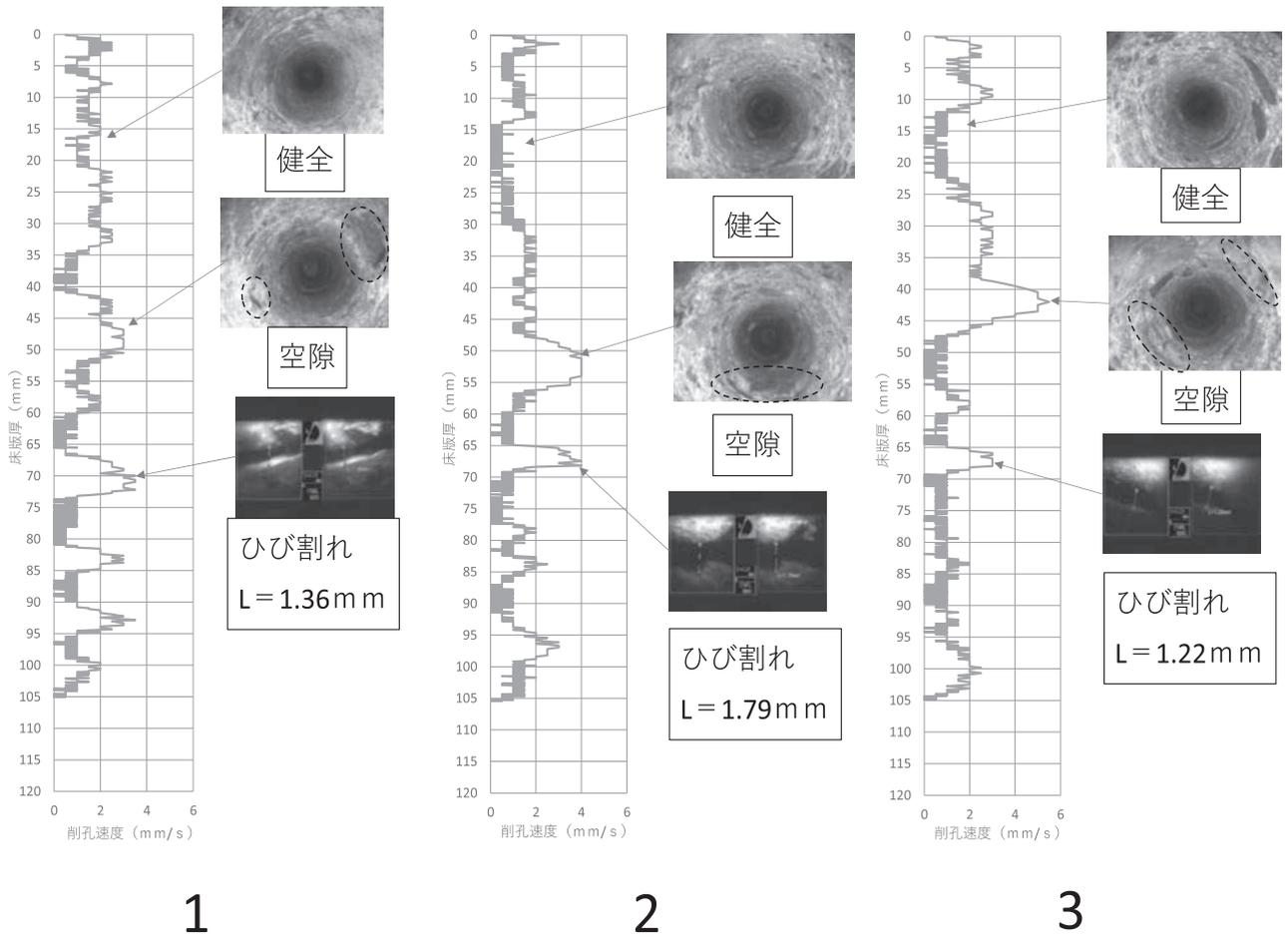
(d) まとめ

下記に模擬試験体のMDT工法を適用し調査結果より得られた知見を述べる。

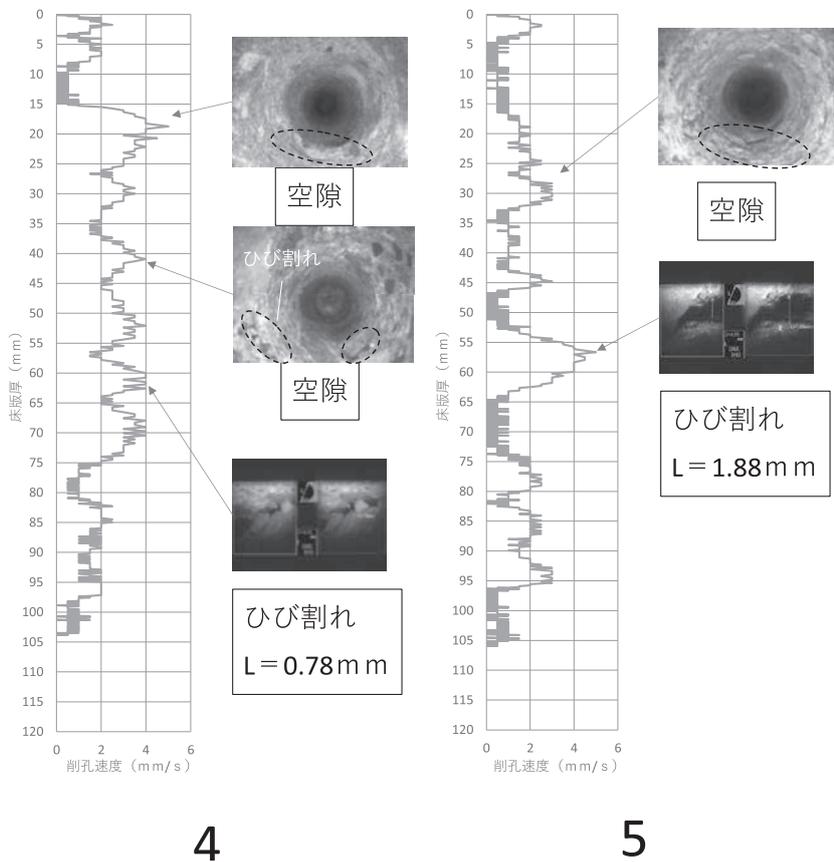
- ①削孔速度から水平ひび割れを検知することが可能であった。また、空隙が生じている箇所でも削孔速度が急上昇しており、空隙部も検知できることがわ



図一六 埋込ゲージにおけるひずみの経時変化



図一八 削孔速度および孔内の状況 (削孔箇所 1, 2, 3)



図一九 削孔速度および孔内の状況 (削孔箇所 4, 5)

かった。

- ②空隙のような欠陥部と水平ひび割れのような損傷部で削孔速度に明確な差がなく、判別は難しい。しかしながら、削孔速度により、孔内の健全部と損傷・欠陥部を判別することが可能であり、RC床版のコンクリートの劣化度を評価できる可能性を示した。

#### 4. 今後の展開

コンクリート内部の状態把握技術について、超音波や弾性波などの非破壊技術で把握する調査手法は多数提案されているが、コンクリートの品質は均一ではなく、得られたデータの解釈が難しい事例も多々ある。そこで、当研究所では直接内部を見て診断するほうが的確に診断できると考え、微破壊調査手法について提案し、検討してきた。本報告では、微破壊照査手法として、①Single i 工法と②MDT 工法について説明を行ったが、これら調査手法には、まだ改良の余地がある。今後、本文でも触れているように、AIによる診断を行うことで、よりの確にコンクリートを診断することが可能となると考えている。

一方で、両手法ともコンクリート構造物の「点」における状態を把握しているが、従来から提案されている「面」での評価手法である非破壊検査技術の向上にも期待したい。非破壊と微破壊を組み合わせることで、的確なコンクリート構造物の維持管理・診断につながると考えている。最後に本稿は既報の論文に加筆・修正をしたものであることを付記するとともに、本報

告がコンクリート構造物の維持管理・診断の高度化につながる一助となることを願っている。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) 渡邊晋也, 佐藤智, 平田康夫, 谷倉泉: コンクリート内部に発生した微細ひび割れの微破壊試験方法, 平成 26 年度秋季講演大会講演概要集, pp.119-122, 2014
- 2) 渡邊晋也, 佐藤孝司, 角間恒, 谷倉泉: 積雪寒冷地における RC 床版の非破壊・微破壊調査事例, 第九回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.69-72, 2016
- 3) 菊地新平, 渡邊晋也, 内田美生, 谷倉泉: 小径削孔時の削孔速度変化を用いたコンクリート床版内部の水平ひび割れ検知技術, 第 12 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.95-98, 2022

#### 【筆者紹介】



渡邊 晋也 (わたなべ しんや)  
(一社) 日本建設機械施工協会  
施工技術総合研究所 研究第二部  
副主幹



内田 美生 (うちだ よしお)  
(一社) 日本建設機械施工協会  
施工技術総合研究所 研究第二部  
技術主幹



谷倉 泉 (たにくら いずみ)  
(一社) 日本建設機械施工協会  
施工技術総合研究所  
技師長