

## 打音法による合成床版の非破壊検査手法

Non-Destructive Testing Method of Steel Plate Concrete Composite Deck by Impact Acoustics

磯 光夫\*, 久保田 和徳\*\*, 越後 滋\*\*\*, 橘 吉宏\*\*\*\*, 伴 享\*\*\*\*\*, 歌川 紀之\*\*\*\*\*  
Mitsuo ISO, Kazunori KUBOTA, Shigeru ECHIGO, Yoshihiro TACHIBANA, Susumu BAN, Noriyuki UTAGAWA

\* 工修 川田工業 技術研究所(〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

\*\*川田工業 技術研究所(〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

\*\*\* 工博 川田工業 技術研究所(〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

\*\*\*\*工博 川田工業 橋梁事業部営業本部東京営業部(〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

\*\*\*\*\*工修 佐藤工業 土木事業本部技術部(〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-19)

\*\*\*\*\* 工博 佐藤工業 技術研究所 (〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10)

It has been noted that because a steel plate covers the underside of the steel plate concrete composite deck, it is not possible to visually inspect for the presence of cracking and other types of damage to the concrete slab. The objective of this study was to develop a non-destructive testing method for the composite decking system employing impact acoustics. The research method used entailed the adoption of a full size composite deck exposure test specimen whereas at a flaked surface between the bottom steel plate and concrete, impact acoustics were used to study the water-bearing state. It is confirmed that if water infiltrates a 0.04mm flaked area, that impact acoustics will realize this water-bearing state.

*Key Words: steel plate concrete composite deck, impact acoustics, non-destructive testing, water-bearing, amplitude ratio*

### 1. まえがき

鋼・コンクリート合成床版は、既往の輪荷重走行試験結果などから、優れた耐久性を有することが確認されているが、不測の損傷により、床版内へ水が浸入した場合、他のコンクリート床版と同様に耐久性の低下が懸念される。現在までこのような損傷に至った合成床版の報告がされていないものの、防水層が損傷した場合を想定して、合成床版の底鋼板上の滞水を検査する方法の確立は、合成床版の耐久性を確保する上で重要なことである。その検査は、底鋼板に設けたモニタリング孔により行われてきたが、剥離や滞水範囲を特定するためには、非破壊検査手法の開発が必要である。

本研究では、打音法に着目し、主に合成床版における底鋼板の下面から、床版コンクリートのひび割れなどにより、床版上面から浸透した水が、底鋼板とコンクリートの間に滞水した個所を把握することを目的としている。著者らは、部分的な供試体を用いて、打音法により合成床版の剥離状態や滞水状態を検査するための基礎的実験を試みている<sup>1)~3)</sup>。

今回は、その結果をもとに強制力を与えて、底鋼板とコンクリートの付着部に部分的な剥離を生じさせた合成床版の実物大の暴露供試体を用いて、はじめに底鋼板を削孔し剥離間隙を測定した。次に床版コンクリートを床版上面より削孔し、底鋼板とコン

クリートの剥離部に水を注入して滞水状態を作り出して、合成床版の滞水状態を打音法により検査した。本文は、その結果について述べるものである。

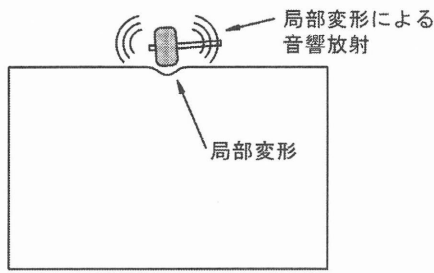
### 2. 打音法の概要

#### 2.1 基本的な考え方<sup>4)</sup>

ものを叩いて打撃音や反発度によって構造物の損傷や劣化を調べる手法は、古くから行われてきた。音の性質を表す基本的なパラメータとしては、振幅、周波数、位相、減衰率などが挙げられ、これらが物体の形状、材質、境界条件によって様々に変化する。本研究で述べる打音法は、この変化を従来のように感覚的でなく、音響機器などを用いてできるだけ理論的、客観的にこれらのパラメータを分析することによって測定対象物の欠陥の有無を検知しようとする方法である。

人間が耳で感じられる音は、通常、20Hz から 20kHz の周波数を持つ空気振動である。これが耳の鼓膜を振動させ音として感知される。構造物を打撃したときの打撃音は、その構造物の表面振動と非常に強い相関があり、これによって対象構造物の物性や、形状、欠陥の有無など種々の特徴が把握される。これは、打撃によって各部に伝播した弾性波による音響放射が、部材の固有振動数や板のたわみ振動など対

象物の打撃位置における性状を、音の情報として与えてくれる。図-1に打撃音の発生概念を示す。



物体衝突時の局部変形による音響放射

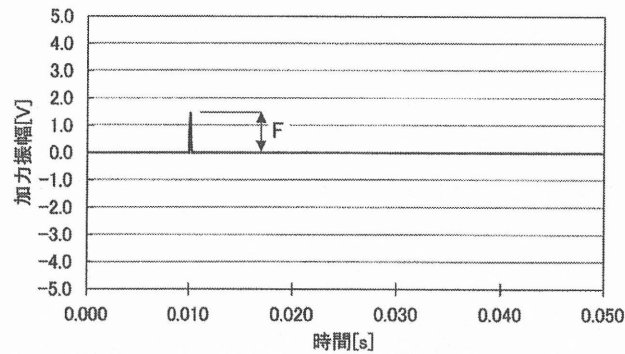
図-1 打撃音の発生概念

## 2.2 打撃音の評価手法

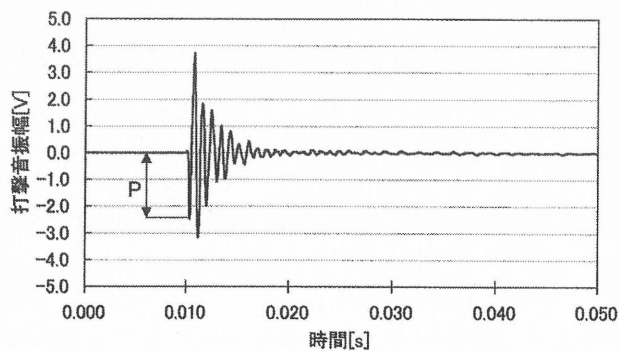
打撃により各部に伝播した弾性波による音響放射の中には、板の曲げ振動などが存在する。ハンマで薄い板を叩くと曲げ振動が卓越して大きな音が発生し、逆に厚い板を叩くと曲げ振動が生じにくいために大きな音が発生しない。つまり、鋼板とコンクリートの間における付着、剥離、滞水などの状態変化により曲げ振動にて生じる音の大きさの違いが現象として現れる。

### (1) 振幅比<sup>5),6)</sup>

振幅比は、図-2に示すように打撃によって生じる音の大きさの違いに着目した評価パラメータであり、打撃音における第1波の振幅値を加力振幅値で除した値である。振幅比の算定は、式(1)により行う。



a) インパルスハンマの加力振幅値



b) フード付きマイクロフォンの打撃音振幅

図-2 振幅比の算定

なお、式(1)に示すように打撃力にて振動音を基準化することで、個々の打撃力の違いによる影響を少なくしている。

$$\text{振幅比} \quad A = P/F \quad (1)$$

ここで、F：インパルスハンマの出力電圧(V)

P：第1波目のフード付きマイクロフォンアンプの出力電圧(V)

## (2) 周波数分布

周波数分布は、インパルスハンマを用いて合成床版を打撃した時に発生する打撃音の周波数分布の形状に着目したパターン認識により、健全、剥離、滞水状態などの合成床版の状態を把握するものである。

## 3. 研究概要

### 3.1 研究目的

研究目的は、合成床版が床版下面を底鋼板で覆われていることにより損傷状況が調査できないため、次のことに着目して検討し、打音法による合成床版の非破壊検査手法を開発することである。

- ①底鋼板とコンクリートとの剥離間隙の測定
- ②打音法による剥離と滞水状態の把握

### 3.2 供試体

供試体は、屋外で約8年間暴露した実物大のものである。供試体の諸元を表-1に、設置状況を写真-1に示す。

表-1 供試体の諸元

		単位	構造諸元
コンクリート	版厚	mm	250
底鋼板	板厚	"	9
横リブ	断面	"	125×22
	間隔	"	750
スタッド	断面	"	Φ16×170
	間隔	"	250



写真-1 実大供試体の設置状況

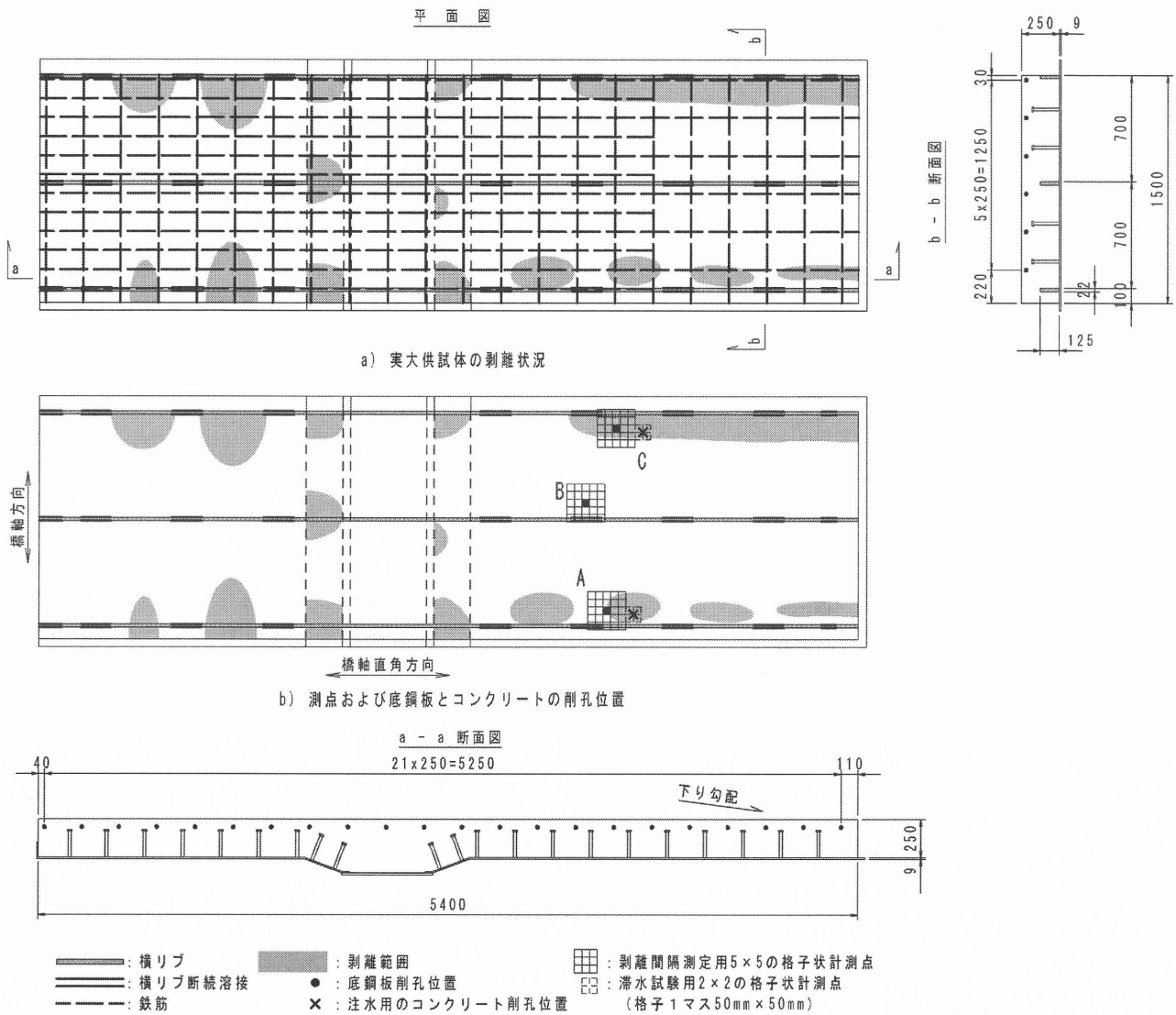


図-3 実大供試体の剥離状況と測点位置

暴露供試体は、テストハンマによるたたき点検の結果、底鋼板とコンクリートの付着部に剥離が生じていなかった。そこで、供試体の吊り上げ時に強制力を作用させて、底鋼板とコンクリートの付着部の一部に剥離を生じさせた。テストハンマによるたたき点検の結果による剥離状況は、図-3 に示すとおりである。なお、設計において底鋼板とコンクリートに生じる水平せん断力をずれ止めにより抵抗させるように考えているため、底鋼板とコンクリートの剥離は、構造上の問題がない。

### 3.3 測定方法

打音検査装置は、写真-2 に示すようにインパルスハンマ、フード付きマイクロフォン、AD 変換器とノートパソコンにて構成されている。測定方法は、底鋼板の表面をインパルスハンマで打撃したときに生じる合成床版の打撃音を、フード付きマイクで収録した。その打撃音の振幅比や周波数分布により、

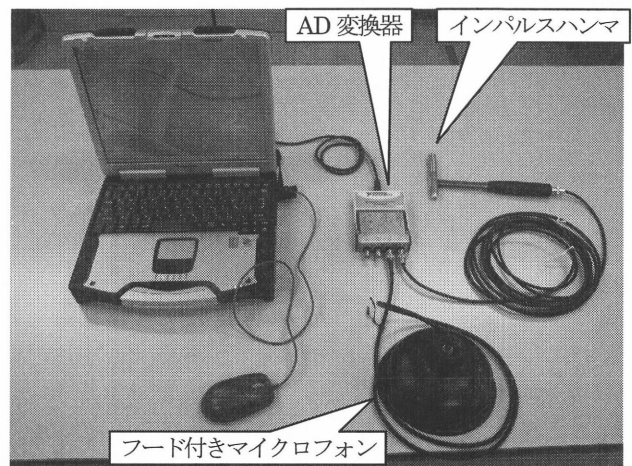


写真-2 打音検査装置

鋼板とコンクリートの剥離状態や滞水状態などを把握した。打音検査装置の電源は、内蔵のバッテリーから供給されるため、外部電源を必要としない。

#### (1) インパルスハンマ

インパルスハンマは、発生させる打撃力や周波数特性をヘッド部の材質および質量で調整できる。ここでは、鋼製の先端チップを装着し、質量 200g 程度のインパルスハンマを用いた。打撃入力は、約 0～5kHz の範囲の周波数特性を持っている。

#### (2) フード付きマイクロフォン

フード付きマイクロフォンは、マイクロフォンの周辺にフードを取り付けた聴診器状の集音装置であり、周囲の騒音の影響を受けにくい構造にしている。それにより、合成床版内部からの放射音を効率良く計測でき、マイクロフォンと底鋼板の距離を、垂直かつおよそ 1cm の一定に保つことができる。

#### (3) 波形分析方法

波形分析方法は、計測やシミュレーションに適したプログラム言語の LabVIEW を用いて波形処理プログラムを開発し、振幅比や周波数分布に着目して検討した。

### 3.4 剥離間隙の測定および滞水状態の検査方法

剥離間隙の測定および滞水状態の打音検査の流れは、表-2 に示すとおりである。テストハンマによるたたき点検の結果をもとに、図-3b) に示すように A 測点部と C 測点部を剥離部に、B 測点部を健全部に設けた。剥離間隙測定用の測点部には、5×5 の格子状に 36 点の計測点をマーキングした。1 マスの大きさは、50×50mm である。

また、滞水状態を検査する測点部には、5×5 の格子状計測点に接して、勾配の低い位置に 2×2 の格子状計測点

をマーキングした。今回は、滞水状態と比較検討するために剥離状態も打音検査を行った。B 測点部は、剥離がない健全部であったため、2×2 の格子状計測点のマーキングや水の注入を行わず、滞水状態の検査を省略した。

#### (1) 剥離間隙の測定

剥離間隙の測定の前に、写真-3 に示すように 3 測点部の 5×5 の格子状計測点を、打音検査装置により打音検査を行った。次に写真-4 に示すように 5×5 の格子状計測点中央部の底鋼板を、外径 50mm の環状刃物を取り付けた削孔機を用いて削孔した。底鋼板とコンクリートの剥離間隙は、写真-6 に示すように隙間ゲージを用いて測定した。

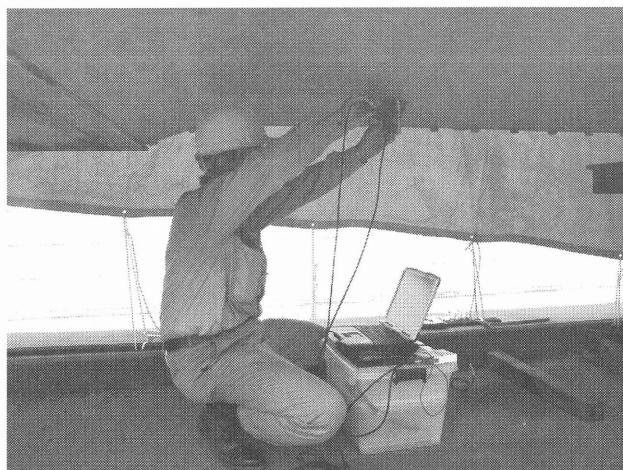


写真-3 打音検査風景

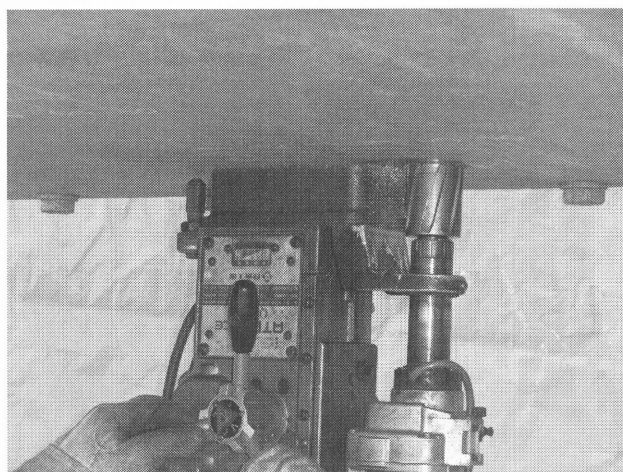


写真-4 底鋼板の削孔状況

表-2 各測点部における打音検査の流れ

	A 測点部 (剥離部)	B 測点部 (健全部)	C 測点部 (剥離部)
計測点のマーキング (2×2, 5×5 格子状計測点)	○	○	○
底鋼板削孔前の打音検査 (5×5 格子状計測点)	○	○	○
底鋼板の削孔 (5×5 格子状計測点中央部)	○	○	○
剥離間隙の測定 (隙間ゲージ使用)	○	○	○
注水孔の削孔 (2×2 格子状計測点中央部)	○	—	○
注水前の打音検査 (2×2 格子状計測点)	○	—	○
注水 (2×2 格子状計測点中央部)	○	—	○
注水後の打音検査 (2×2 格子状計測点)	○	—	○

#### (2) 滞水状態の検査方法

滞水状態の検査をするための流れは、A と C 測点部の 2×2 の計測点中央部の床版コンクリートを、床版上面からハンマードリルを用いて底鋼板に到達するまで直径 12mm の孔を垂直に削孔し、掃除機によりコンクリートのガラを吸引除去した。次に写真-5 に示すようにスポイトを用いて水道水を注入して剥離状態から滞水状態にした。滞水状態は、勾配の高い 5×5 の格子状計測点中央部に位置する



底鋼板の直径 50mm の削孔部において、底鋼板とコンクリートの剥離部から水道水がにじみ出でることを目視により確認し、勾配の低い剥離部が満水状態になったものとして判断した。打音検査は、ガラを吸引除去した剥離状態と満水を確認した滞水状態において行った。



写真-5 剥離部への注水状況

#### 4. 試験結果その考察

##### (1) 剥離間隙の測定

隙間ゲージによる剥離間隙の測定状況の例を写真-6に、剥離間隙の測定結果を表-3に、剥離間隙の測定の前に行った3測点部における5×5の格子状計測点の打音検査による振幅比を図-4に示す。

これらの結果より、次のことがわかった。

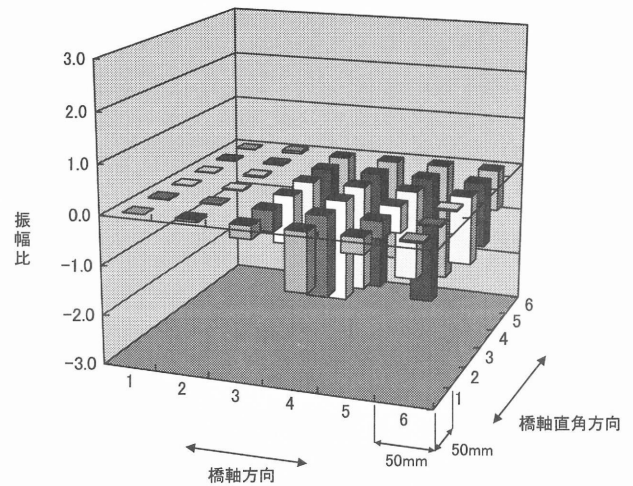
- ① 供試体の吊り上げ時の強制力により発生した剥離間隙は、0.04mmであった。底鋼板とコンクリートの剥離は、構造上は問題がないが、滞水状態における打音検査結果などに大きな影響を与えるものと考えられる。
- ② 合成床版の底鋼板とコンクリート間に生じた剥離は、図-4a)、c)に示すように打音法の振幅比に着目した検査により把握できる。また、剥離のない健全部は、図-4b)のB測点部に示すように振幅比が極めて小さくなる。



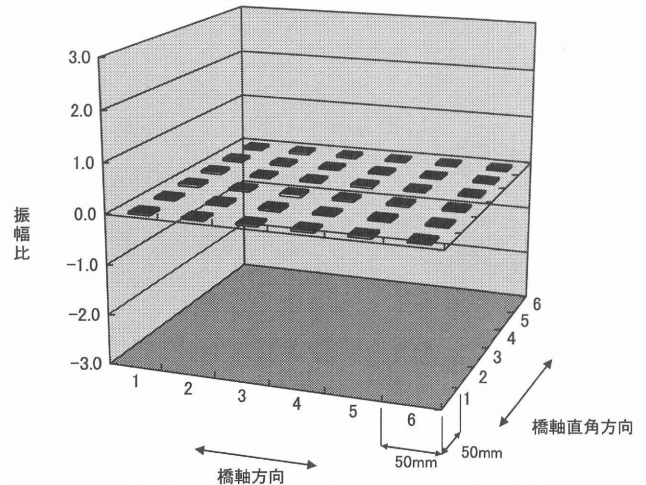
写真-6 隙間ゲージを用いた剥離間隙の測定状況

表-3 剥離間隙の測定結果

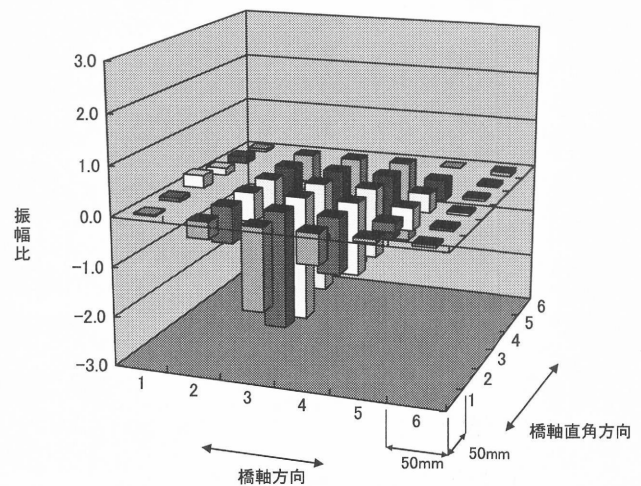
測点	A	B	C
剥離間隙 (mm)	0.04	0	0.04



a) A測点部(剥離部)

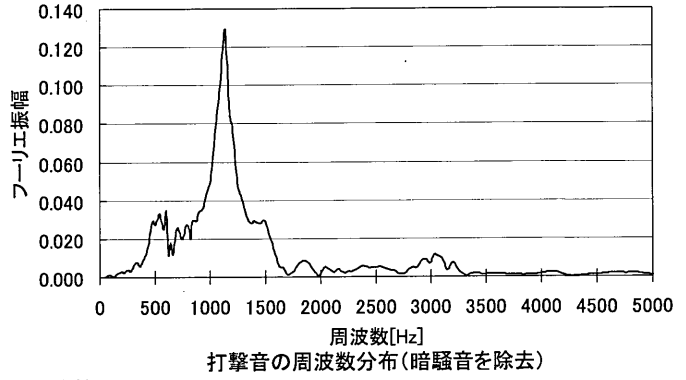
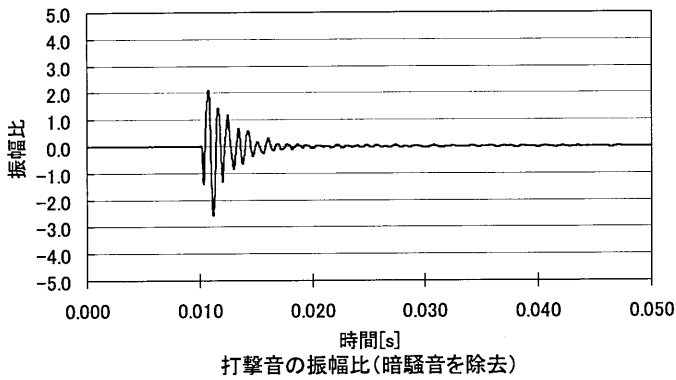


b) B測点部(健全部)

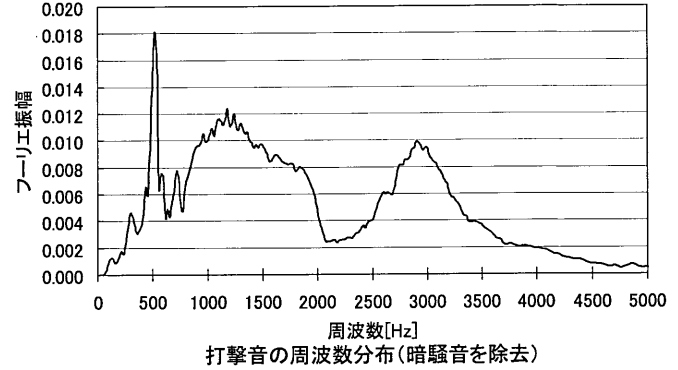
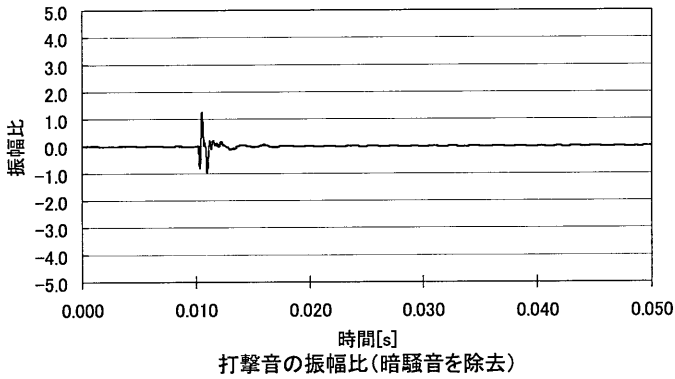


c) C測点部(剥離部)

図-4 各測点における振幅比の相違



a) 剥離状態



b) 滞水状態

図-5 注水前後における剥離と滞水状態の振幅比と周波

## (2) 滞水状態の打音検査

注水前後の剥離と滞水状態における $2 \times 2$ の格子状計測点部の打音検査による振幅比と周波数分布の結果例を図-5に示す。

これらの結果より、次のことがわかった。

- ① 今回の実験での周波数分布は、剥離状態においておよそ1,000Hzのフーリエ振幅が集中的に卓越し、険しい形状をしていた。それに対して滞水状態では周波数分布が分散し、なだらかな形状になる傾向にあった。このことにより、底鋼板とコンクリートのおよそ0.04mmの剥離部に水が浸入した滞水状態は、打音法による非破壊検査手法の結果から得られる周波数分布の形状の相違を利用して把握できる。
- ② 振幅比は、剥離状態に水道水を注入すると小さくなり、健全状態のものと間違える可能性がある。そこで、打音法による合成床版の滞水状態は、振幅比の大きさと周波数分布の形状を考慮して判断する必要がある。すなわち、今回の試験結果より、打撃音の振幅と周波数で、剥離状態と滞水状態を把握できるものと考えられる。

## 5. あとがき

今回は、強制力により部分的に剥離を生じた合成床版の実物大供試体を用いて、剥離間隙を測定し、打音法により剥離と滞水状態を把握することがで

きた。しかし、剥離間隙、滞水面積、打撃位置の変化による振幅比や周波数分布の形状の相違を正確に判断するためには、数多くの試験を行い、データ収集を行う必要があるものと考えている。そこで、供用中の橋梁における合成床版の点検や供試体を用いた試験などによりデータを蓄積して判定の精度を向上させたい。

## 参考文献

- 1)伊東:打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査に関する研究, 東京大学学位論文, 1997.
- 2)木村, 吉尾, 伊藤, 伴:打音法を用いた合成床版の検査手法に関する考察, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, pp. 117, 118, 平成18年9月.
- 3)辻角, 橋, 伊藤, 小笠原, 伴, 越後:打音法による合成床版の滞水判定, 土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, pp. 119, 120, 平成18年9月.
- 4)魚本, 伊東:打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査, コンクリート工学論文集, 第7巻第1号, pp. 143-151, 1996年1月.
- 5)歌川, 伴, 北川:打音法における欠陥検知に関する一考察, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, V-383, pp. 765, 766, 平成15年9月.
- 6)伴, 歌川, 森濱:RC構造物への打音法の適用, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004.