

打音法による合成床版の非破壊検査手法に関する研究

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

磯 光夫
Mitsuo ISO

川田工業(株)技術研究所主幹

久保田 和徳
Kazunori KUBOTA

川田工業(株)技術研究所

吉家 賢吾
Kengo YOSHIIE

川田工業(株)技術研究所係長

畠中 真一
Shin-ichi HATAKENAKA

川田工業(株)技術研究所係長

越後 滋
Shigeru ECHIGO

川田工業(株)技術研究所所長

橋 吉宏
Yoshihiro TACHIBANA

川田工業(株)橋梁事業部東京技術部次長

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検査できないため、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。研究方法は、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、はじめに打音法により検査を行い、その後底鋼板を削孔し剥離間隙を測定することである。次に床版コンクリートを削孔し、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。研究結果は、供試体に強制的に生じさせた剥離であったものの、剥離間隙がおよそ0.04 mmであった。また、周波数分布の形状により、およそ0.04 mmの剥離部に水が浸入した滞水状態を、打音法で把握できることがわかった。

キーワード：合成床版、打音法、非破壊検査、打音検査装置、滞水、振幅比、周波数分布

1. はじめに

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へ水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と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、佐藤工業(株)の技術協力を得て、2005年に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た^{1)~3)}。

今回は、その成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⁴⁾

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。人間が耳で感じられる音は、通常、20 Hzから20 kHz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ことによる。図1に打撃音の発生概念を示す。

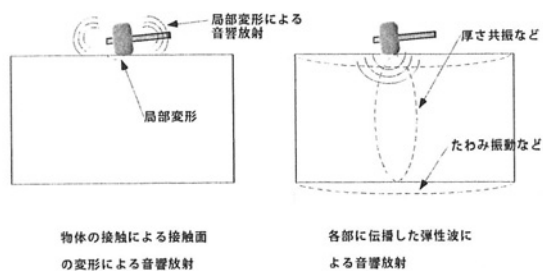


図1 打撃音の発生概念

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、縦波振動や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。

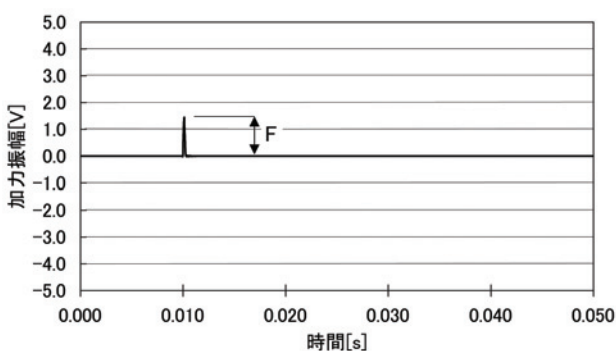
(1) 振幅比⁵⁾

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。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。

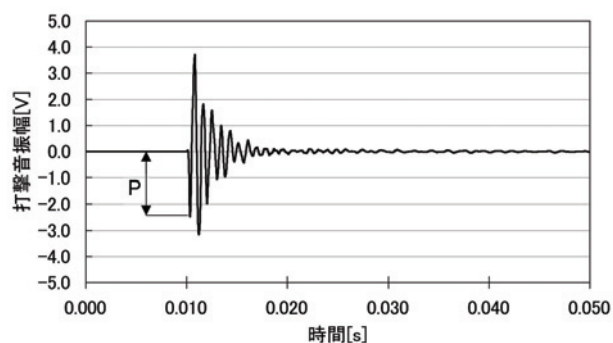
$$\text{振幅比} \quad A = P / F \quad (1)$$

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)



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値

図2 振幅比の算定

(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、打撃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打撃法による剥離と滞水状態の把握

3.2 供試体

供試体は、当社の四国工場において屋外で約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。

暴露期間中の供試体は、荷重が作用していなかったことにより、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、底鋼板とコンクリートの剥離は、構造上の問題がない。

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

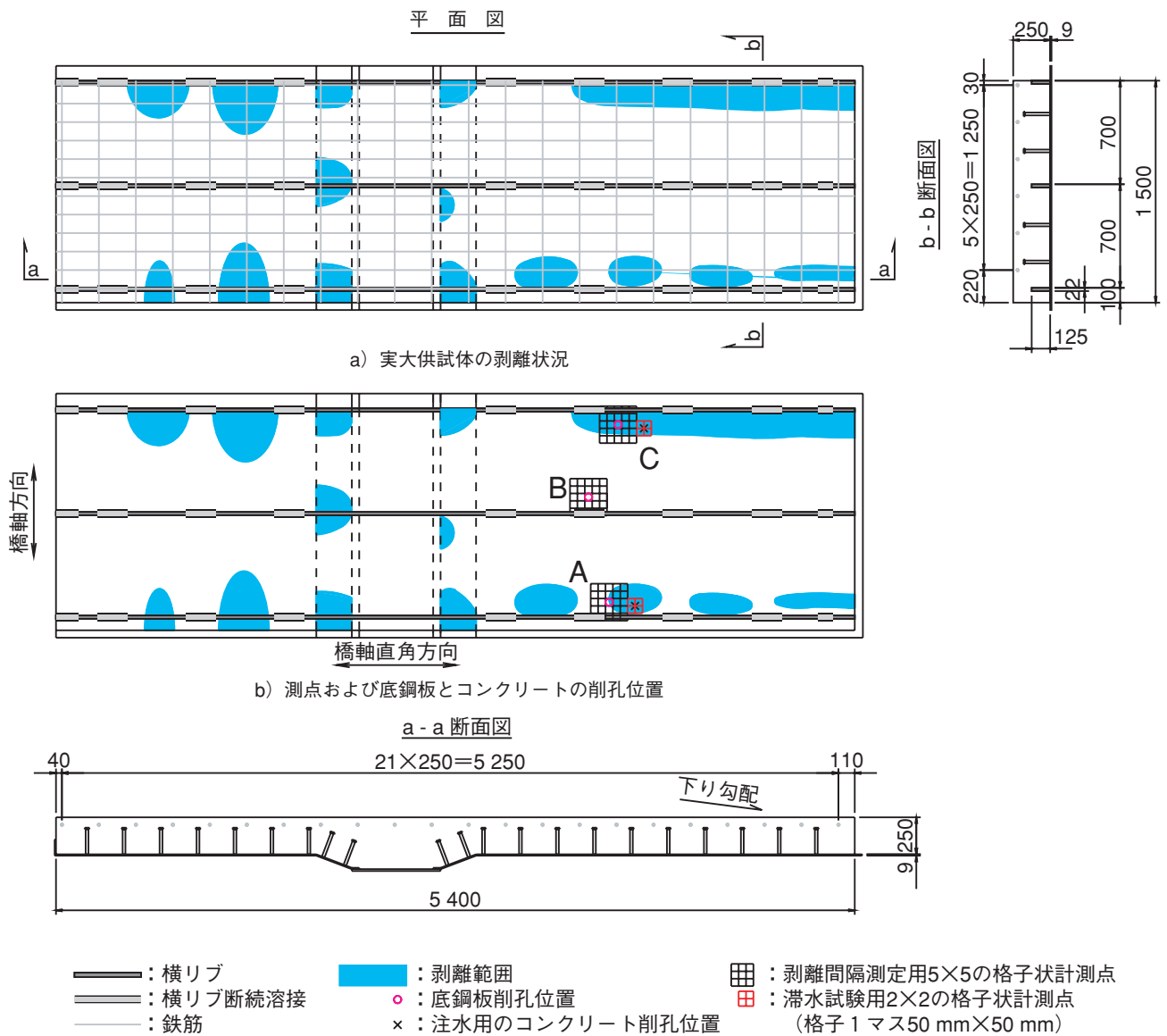


図3 実大供試体の剥離状況と測点位置

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、振幅比や周波数分布により、鋼板とコンクリートの剥離状態や滞水状態などを把握することである。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。測定機器は、佐藤工業(株)の技術協力を得て製作した。

(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



写真2 打音検査装置

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1 cm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することである。

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、50×50 mm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。

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)	○	—	○

(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50 mm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

(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ドリルを用いて底鋼板に到達するまで直径12 mm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50 mm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. 試験結果とその考察

(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、0.04 mm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の間に生じた剥離は、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

(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2×2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1 000 Hz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に発生した剥離間隙がおよそ0.04 mm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。

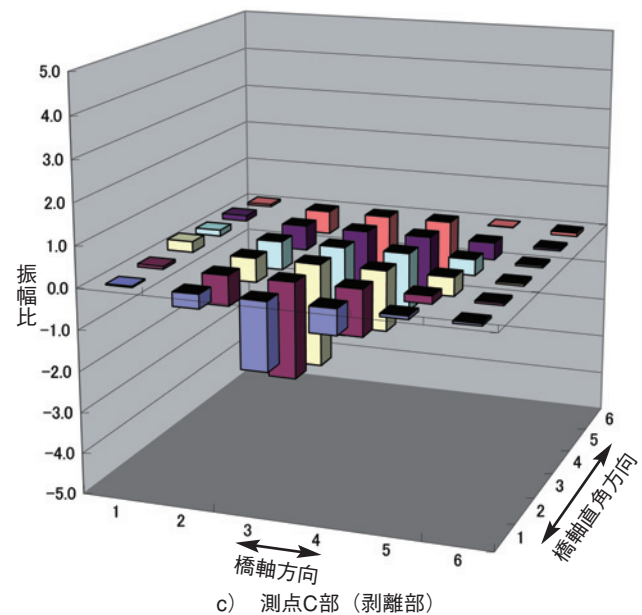
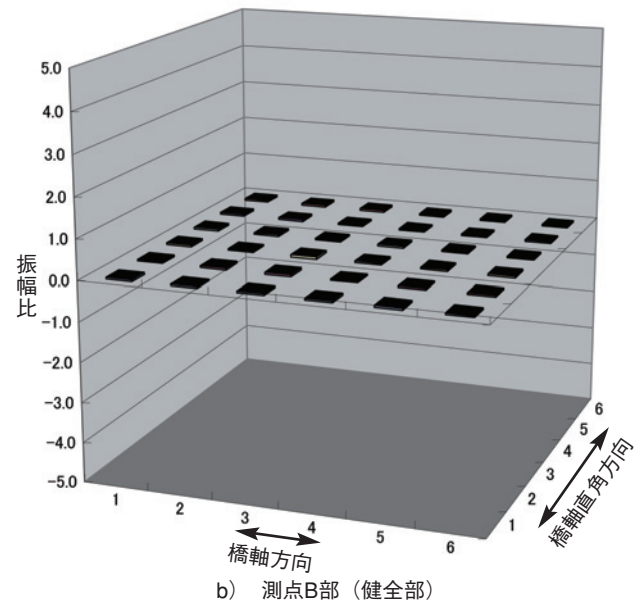
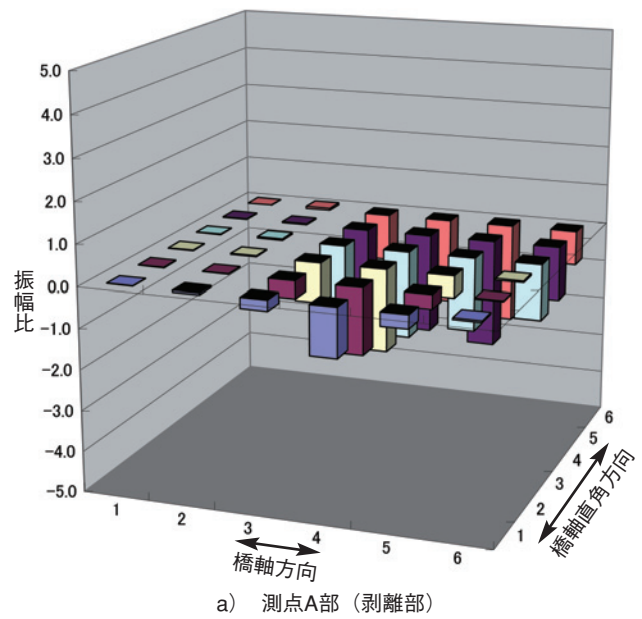
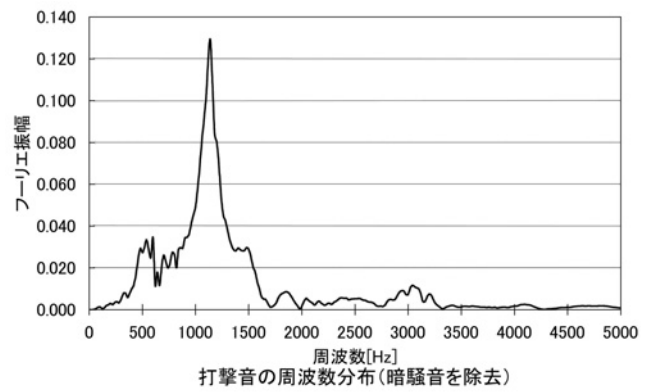
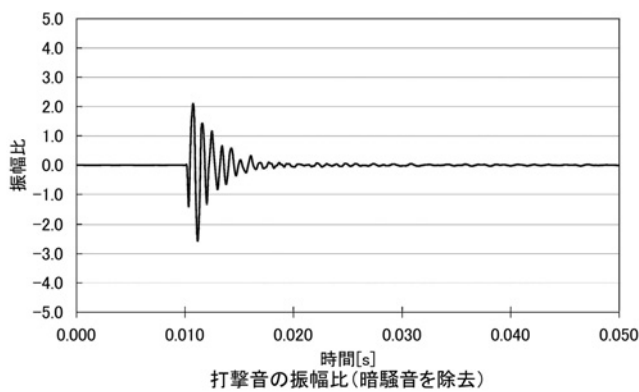
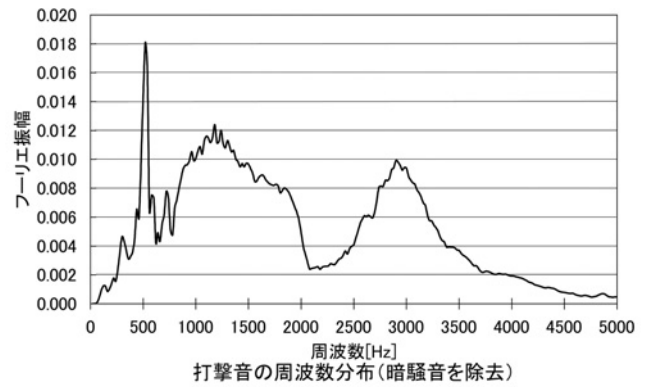
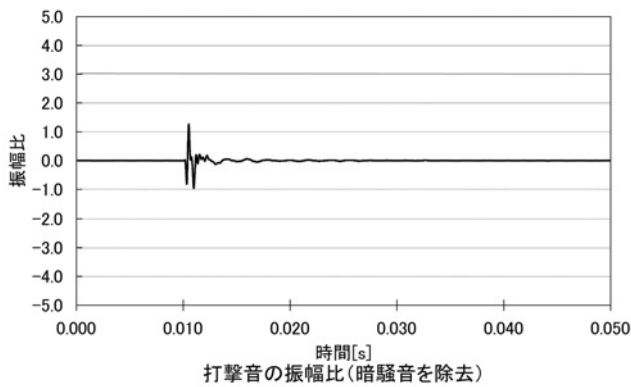


図4 各測点部における振幅比の相違



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数分布の例

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ていきたい。

最後に、本研究にあたり多大なご指導をいただいた佐藤工業(株)の伴享氏、歌川紀之氏には、この場を借りて深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 伊東良治：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) 木村真二，吉尾泰輝，伊藤剛，伴享：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) 辻角学，橘吉宏，伊藤剛，小笠原照夫，伴享，越後滋：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) 魚本健人，伊東良治：打音法によるコンクリートの非破壊検査，コンクリート工学論文集，第7巻第1号，pp.143-151，1996.
- 5) 歌川紀之，伴享，北川信也：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，V-383，pp.765-766，2003.
- 6) 伴享，歌川紀之，森濱和正：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.
- 7) 伴享，歌川紀之，篠川俊夫，中村英孝，伊東良治：打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査手法の開発，佐藤工業(株)技術研究所法，NO.27，pp.43-52，2001.