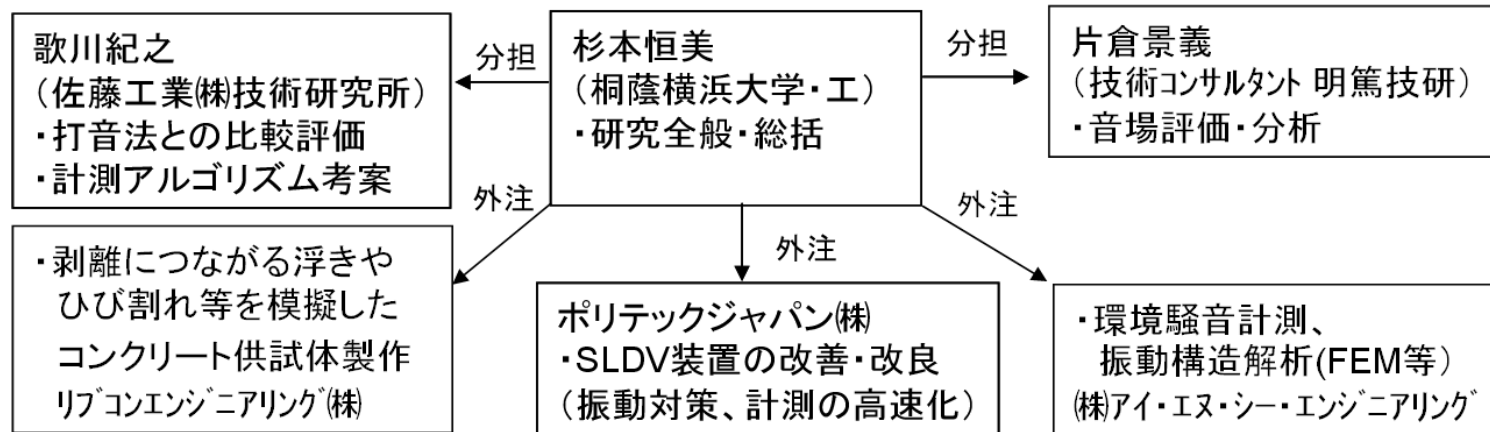


非破壊検査のための非接触音響探査法についての研究開発

研究状況報告（2年目）

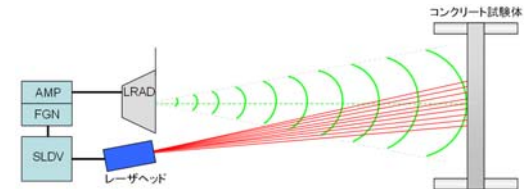
主領域: 道路資産の保全 副領域: 防災・災害復旧対策 タイプII 技術ブレークスルー型

（研究体制）



（研究概要）

強い音響振動を発生する長距離音響発生装置(LRAD)と高感度のスキャンング振動計(SLDV)を組み合わせた非接触音響探査法により、橋梁やトンネル覆工、その他構造物のコンクリート劣化部の非接触・非破壊検査システムを開発する。



（研究の見通し）

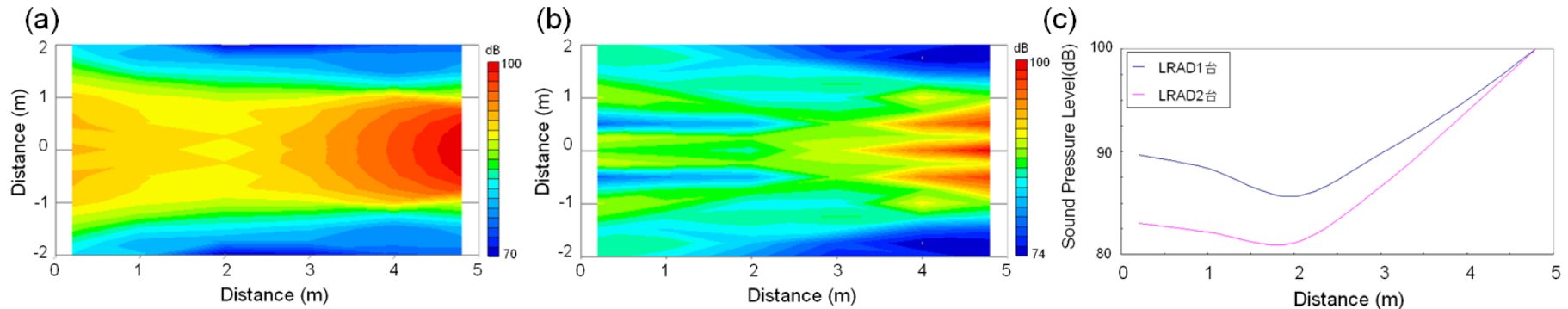
今年度の検討結果から、非接触音響探査法の具体的な探査性能が明らかになってきた。すなわち、基本的にはたわみ共振を利用した計測のため、その共振周波数は埋設物の深さに比例し、平面規模(直径)の2乗に反比例すること、亀裂幅はたとえ0mmであっても検出可能であること、計測速度と感度はトレードオフの関係にあることなどである。また、トーンバースト波に時間的なゲート処理を加えることで、Chirp波よりも感度が約15dB(約30倍)程度向上できることも判明した。さらに強力超音波音源を使用すれば加振領域±3cm程度の点加振に近い計測が実現できるばかりでなく、ヘッドの振動問題や環境騒音といったLRAD固有の問題をほぼすべてクリアできる見通しも得られた。

桐蔭横浜大学・工学部 杉本 恒美

複数音源を用いた騒音低減効果及び欠陥検出性能

(複数音源を用いた長距離音場制御による騒音低減効果)

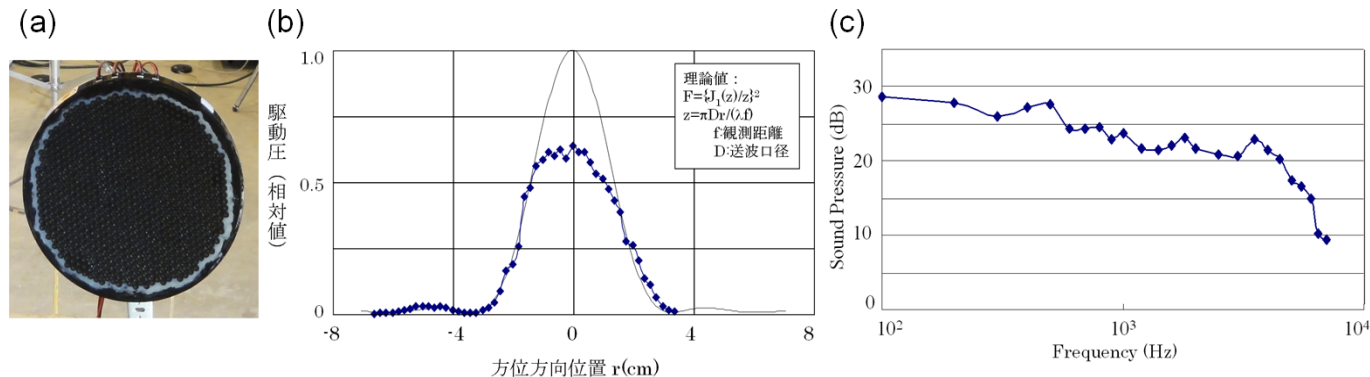
2個のLRAD音源を用いた実験結果(離隔5m)から、供試体表面に100dBの音圧を発生させるにはそれぞれ音源が供試体前面に発生する音圧は97dB(-3dB)程度で良いことが判った。また、供試体の表面に100dBの音圧が発生している瞬間の音圧分布計測結果例を下図に示す。図より、中心軸上では5dB以上音圧を下げられることが判る。なお、以降の実験では、LRAD音源1個、離隔距離5mで実験を行っている。



複数音源を用いた音圧分布計測結果, (a)音源1個、(b)音源2個、(c)中心軸上の音圧比較

(複数要素音源を用いた長距離音場制御による欠陥検出性能の検討)

複数要素音源(直径30cm、超音波素子800個使用した強力超音波音源)を用いた実験結果から、1mの離隔での加振領域は半径3cm程度の同心円内に限局されること、LRADと異なり500Hz以下の低周波数領域でも音波を自由に発生できることなどが判明した。また、コンクリート供試体を用いた探査結果から、加振力は多少低いもののLRADと同様な欠陥探査が可能であり、また、SLDVヘッド共振による1kHz近傍における不要応答の解消、さらに、周囲環境への騒音放射を低下させることが判明した。

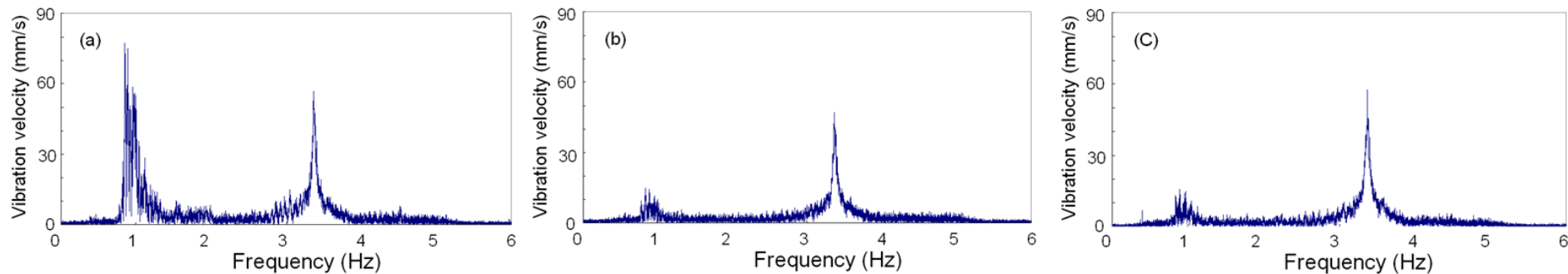


強力超音波音源を用いた計測結果, (a)外観写真、(b)指向特性、(c)周波数特性

計測速度および感度向上程度の把握

(簡易防振対策の効果)

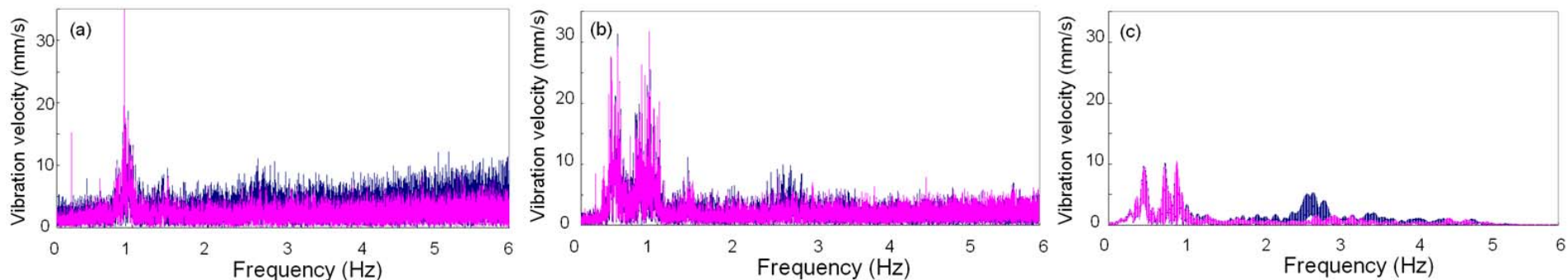
SLDVヘッドに上下角を変更できるよう、三脚にそのまま取り付けられるタイプの新防振ケースを試作した。実験結果より従来の4本足タイプの旧防振ケースと同様、SLDVヘッドの共振周波数(約1kHz)で約-30dB(1/1000倍)程度の効果を確認した。測定対象は25mmの深さに埋設された100x200mm²角、25mm厚の発泡スチロール)、なお、以降の実験では新防振ケースを用いた。



簡易防振対策用ケースの効果, (a)防振ケース無、(b)旧防振ケース、(c)新防振ケース

(送信波形の工夫による測定感度の向上)

従来のChirp波に対して時間ゲート処理を施したTone burst波を用いることで、S/N比にして約15dBの感度向上が確認できた。これは計測速度にすると約30倍の高速化に相当する(対象は深さ75mmに埋設された300mm角、25mm厚の発泡スチロール)。なお、以降の実験では時間ゲートTone burst波を使用している。



測定感度についての検討 (a)Chirp波(S/N比 4dB), (b)Tone burst波(S/N比 7dB), (c) Tone burst波(ゲート処理後,S/N比 19dB)、赤線:健全部、青線:欠陥部

検出可能な欠陥の大きさ及び深さ並びにその検出精度の把握について

(検出可能な欠陥の大きさ及び深さ)

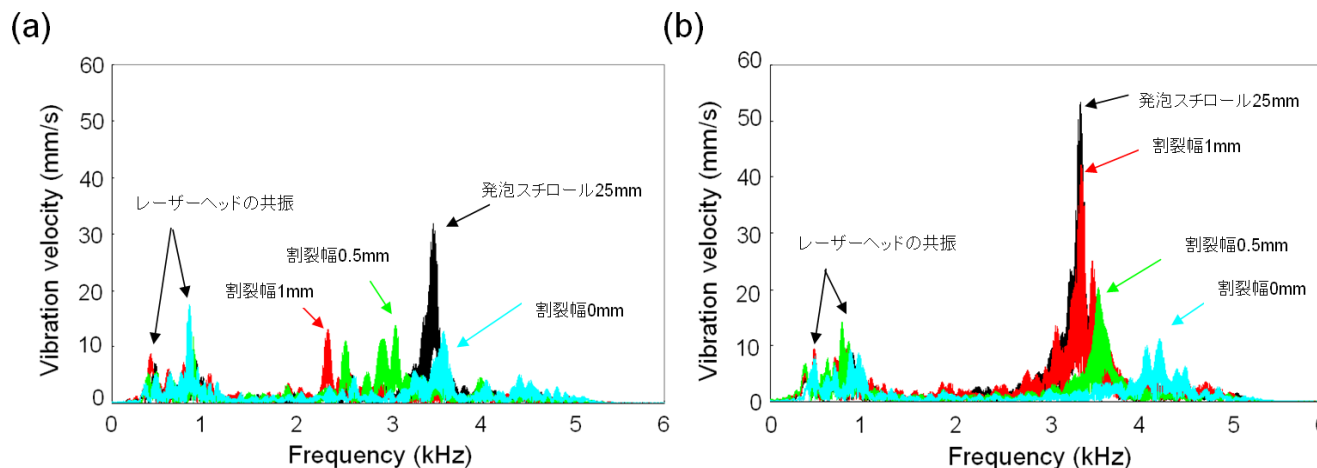
円形欠陥モデルを用いた場合の叩き点検法と本手法を用いた場合の探査結果例を下表に示す。加振方法に違いがあるにも関わらずほぼ同様な探査性能を示しており、反応を示す共振周波数は深さに比例し、直径の2乗に反比例していることがわかる(例: 深さ40mm)。現状のLRADの周波数特性が10kHzあたりから低下することおよびデータ容量の観点からSLDVのサンプリング周波数を16.38kHzとしていることなどから、 $\phi 100$ で深さ20 mm程度が計測限界であるというのは、想定されるたわみ共振周波数の見地からしてほぼ妥当な結果であると思われる。

	深さ100	深さ80	深さ60	深さ40	深さ20	深さ10
$\Phi 50$	—	—	Δ \times	Δ \times	\times \times	\times \times
$\Phi 100$	—	\times \times	\times \times	\times \times	Δ $\bigcirc 5430\text{Hz}$	—
$\Phi 150$	\times \times	\times \times	Δ $\Delta 4958\text{Hz}$	Δ $\bigcirc 4449\text{Hz}$	—	—
$\Phi 200$	\times $\Delta 4557\text{Hz}$	\times $\Delta 4389\text{Hz}$	\bigcirc $\bigcirc 3733\text{Hz}$	\bigcirc $\bigcirc 2762\text{Hz}$	—	—
$\Phi 300$	\bigcirc $\Delta 3155\text{Hz}$	\bigcirc $\Delta 2734\text{Hz}$	\bigcirc $\bigcirc 2106\text{Hz}$	\bigcirc $\bigcirc 1449\text{Hz}$	—	—

円形欠陥モデルを用いた探査結果例(上段: 叩き点検法、下段: 本手法)、
(\bigcirc : 検出可能、 Δ : 判定が分かれるもの、 \times : 検出不可)

(割裂試験体を用いた検出精度)

割裂試験体を用いた場合の実験結果例を下図に示す。図より割裂試験体の場合は接触面積が試験体により異なるため、共振周波数にばらつきが見られるものの、割裂幅0mmであっても検出できていることがわかる。これらの事実は非常に小さな亀裂であってもそれなりの平面規模に達すれば本手法により検出可能であること示している。



割裂試験体を用いた検出結果例, (a) 300 × 150 mm²、深さ50mm、(b) 200 × 100 mm²、深さ25mm、黒線: 発泡スチロール、赤線: 割裂幅1 mm、緑線: 割裂幅0.5 mm、水色線: 割裂幅0 mm