

論文

非接触音響探査法による 強度の異なるコンクリート供試体の評価

Evaluation of concrete specimens with different strengths by
noncontact acoustic inspection method

大平 武征*・杉本 恒美¹・佐野 元昭¹
杉本 和子¹・上 地 樹¹・中 川 裕¹

桐蔭横浜大学 大学院工学研究科

(2020年3月14日 受理)

I. はじめに

世界的に老朽化したインフラ整備の維持管理が大きな社会問題になっている。現状では、コンクリート構造物の検査はハンマー法、弾性波法あるいは電磁波法などが行われている。しかしながら、これらの既存手法は検査対象物に接近または接触する必要があり危険を伴う高所作業であるため、遠距離非接触で実施可能な検査法の開発が望まれている。これまで我々は音波照射共振とレーザドップラ振動計(LDV: Laser Doppler Vibrometer)を用いた非接触音響探査法により、経時劣化したコンクリート構造物の欠陥部を遠距離から検出可能であることを明らかにして来た¹⁻⁹⁾。また、計測データから得られる二つの音響特徴量である振動エネルギー比(VER: Vibration Energy Ratio)とスペクトルエントロピー(SE: Spectral Entropy)を用いた欠陥検出アルゴリズムを考案し、欠陥部、健全部、計測異常部(計測不良点)の判定が行えることを示した¹⁰⁾。さらにこの二つの音響特徴

量を統計解析処理することにより、健全部は正規分布を示すこと、および健全部を抽出することにより、欠陥部の明瞭な検出が可能であることも明らかにした¹¹⁾。この健全部の一見ランダムに見えるバラつきは統計学的には意味を持っていることから、例えば圧縮強度が異なる場合にはその分布の仕方にも影響が現れる可能性が高いことが想定された。すなわち、非接触音響探査法により遠距離非接触でコンクリートの強度が推定できる可能性がある。

そこで、今回は強度の異なる3種類のコンクリート供試体(16 N/mm², 30 N/mm², 45 N/mm²)を作成して、材齢7日および28日における比較実験を行った。なお、材齢28日目の供試体は材齢3ヶ月目の実コンクリート構造物の強度と等価であると見なされている(土木学会、コンクリート標準仕方書)。

II. 実験方法

1. 実験セットアップ

* OHDAIRA Takeyuki: Researcher, Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama. 1614 Kuroganecho, Aoba-ku, Yokohama 225-8503, Japan

¹ SUGIMOTO Tsuneyoshi: professor, SANO Motoaki: professor, SUGIMOTO Kazuko, UECHI Itsuki, and NAKAGAWA Yutaka: Reseachers, Graduate School of Engineering, Toin University of Yokohama

図1に実験セットアップを示す。コンクリート供試体 (L50×W50×H30 cm³、約 173 kg) を水平に設置し、スキャニング振動計 (SLDV: Scanning LDV) を防音用の全面パネル開口部から供試体表面まで約 1.1 m (鉛直約 28 度) の距離に配置して、音波照射加振時の供試体表面の振動速度を面的に計測した。加振用音源 (LRAD: Long Range Acoustic Device) は供試体の上方約 1 m の位置に配置して、図2に示すようなシングルトーンバースト (STNB: Single ToNe Burst) 波を放射した。コンクリート供試体の計測面をスキャニング振動計 (SLDV: Scanning LDV) で振動速度スペクトルを計測した。計測後に VER と SE を算出した。

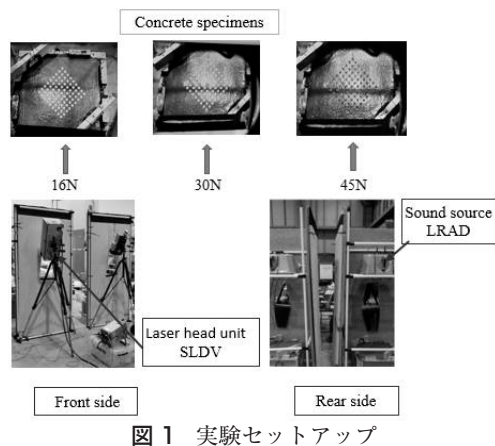


図1 実験セットアップ

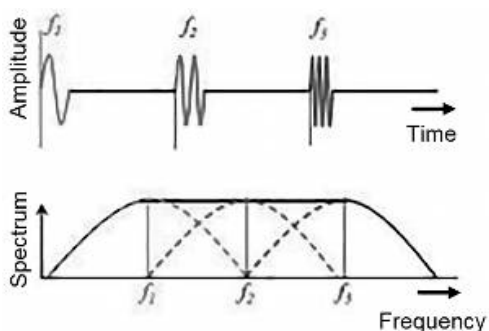


図2 STNB 波の模式図、上段:時間波形、下段:周波数スペクトル

2. 計測条件

加振用音波の周波数範囲は 500 ~ 4000Hz、

変調周波数 125 Hz、インターバル時間 50 ms、波長 1450 ms とし、供試体表面付近の音圧は約 100 dB (Z 特性の最大値) とした。なお、加算平均 10 回、計測ポイント数は 81 (9×9) としている。

III. 実験結果

1. 圧縮強度と弾性波速度

図3(a)に材齢7日目の圧縮強度と弾性波速度の関係を示す。図より、供試体は、目標圧縮強度 (16 N/mm²、30 N/mm²、45 N/mm²) が明瞭に現れているものの、弾性波速度は 3800 m/s から 4000 m/s 程度とほぼ同じであることが分かる。図3(b)に打設経過時間と弾性波速度の関係を示す。図より材齢7日 (打設後 168 時間) で弾性波速度は 3800~4000 m/s に達しており、打設後 250 時間付近からは 4000 m/s に収束する傾向が見られる。

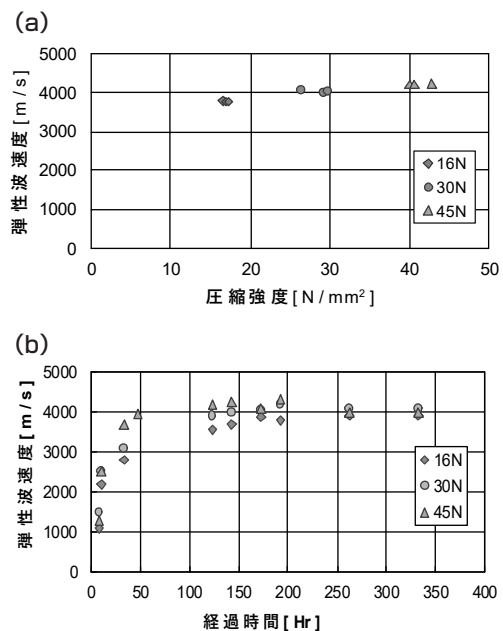


図3 弾性波速度に関する実験結果

- (a) 圧縮強度と弾性波速度 (材齢 7 日目)、
- (b) 打設経過時間と弾性波速度

2. 振動エネルギー比とスペクトルエントロピー

図4にSLDVによる代表的な計測点の受信波形例(a)と振動速度スペクトル例(b)を示す。この計測された振動速度スペクトルから、VERとSEを算出した。

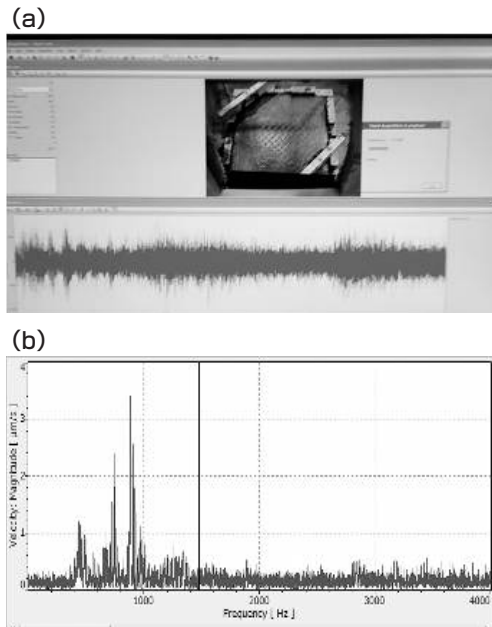


図4 計測ポイントの測定例
(a) 受信波形、(b) 振動速度スペクトラム

次に、材齢28日目の供試体は材齢3ヶ月目の実コンクリート構造物躯体の強度と等価であると制定(土木学会、コンクリート標準仕方書)されている事に着目し、本実験でも材齢28日目の実験結果について検討を行った。図5(a)にVERとSEの関係を示す。図より、供試体の強度の違いに拘わらず、ほぼ同じ傾向を示していることが分かる。次に図5(b)に計測ポイント(Point)毎とVERの関係を示す。図より各PointにおけるVERの変化は、何れも同様な傾向を示していることが分かる。この結果は、図3で述べた3種類の供試体の弾性波速度が、材齢7日目時点でほぼ差が無い事からも類推することができる。

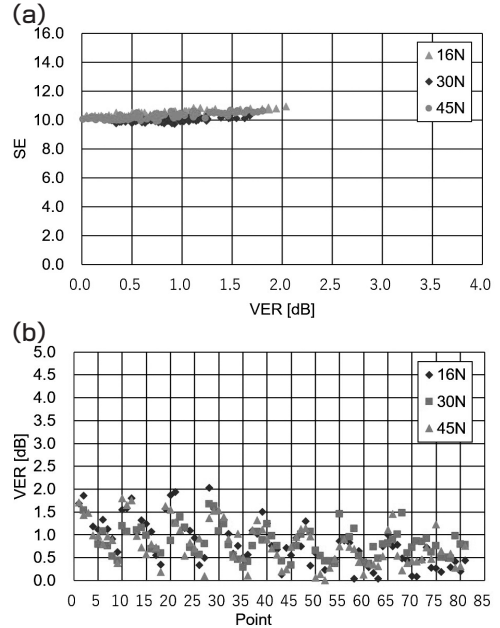


図5 3供試体の(a) VERとSEの関係、
(b) PointとVEの関係

IV. おわりに

本研究では、非接触音響探査法によるコンクリート強度評価の可能性の検討を行うために、強度の異なる3種類のコンクリート供試体(16 N/mm²、30 N/mm²、45 N/mm²)を作成し、打設後の経時変化を非接触音響探査法で計測した。実験結果より、材齢7日目の時点で3種類の供試体は圧縮強度の違いが明瞭となるものの、どの供試体も弾性波速度は4000 m/s前後となり、音速的にはほぼ同じ供試体であることが明らかになった。そのため、振動エネルギー比とスペクトルエントロピーの関係においても、その分布に大きな差が見られなかった。これは現代のコンクリート材料の品質の高さを示しているが、劣化した供試体としては不十分であったことがわかる。

そのため、今後の課題としては、経年変化した劣化構造物躯体に近い模擬供試体の作成、特に、低い弾性波速度をもつ供試体の作成が必

要であると思われる。

このような観点から、経年劣化した供試体作成に当たっては、コンクリート供試体の製作に精通した土木建築技術者の経験と作成技術力に掛っており、可能な技術を土木建築技術者と探索して行く考えである。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費基盤(C)17K06542の助成を受けて実施されたものである。

【参考文献】

- 1) T. Sugimoto, R. Akamatsu, N. Utagawa and S. Tsujino: Study on Non Contact Acoustic Imaging Method for Non Destructive Inspection using SLDV and LRAD, IEEE Int. Ultrasonics Symp. (2011), p. 744.
- 2) R. Akamatsu, T. Sugimoto, N. Utagawa, and K. Katakura: Proposal of non-contact inspection method for concrete structures, using high-power directional sound source and scanning laser Doppler vibrometer, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.52, 07HC12, (2011).
- 3) R. Akamatsu, T. Sugimoto, N. Utagawa and K. Katakura: Study on Non Contact Acoustic Imaging Method for Concrete Defect Detection—Study on the Defect Defection using the Realistic Crack Model and the Angle Dependence, IEEE Int. Ultrasonics Symp., (2012), p.94.
- 4) R. Akamatsu, T. Sugimoto, N. Utagawa and K. Katakura: Study on non-contact acoustic imaging method for concrete structures—Improvement of signal-to-noise ratio by using tone burst wave method, IEEE Int. Ultrasonics Symp., (2013), p.1303.
- 5) R. Akamatsu, T. Sugimoto, N. Utagawa, K. Katakura: Proposal of non-contact inspection method for concrete structures, using high-power directional sound source and scanning laser Doppler vibrometer, Jpn. J. Appl. Phys., 52, 07HC12 (2013)
- 6) K. Katakura, R. Akamatsu, T. Sugimoto, N. Utagawa: Study on detectable size and depth of defects in noncontact acoustic inspection method, Jpn. J. Appl. Phys., 53, 07KC15, (2014)
- 7) T. Sugimoto, K. Sugimoto, N. Kosuge, N. Utagawa and K. Katakura, High-speed noncontact acoustic inspection method for civil engineering structure using multitone burst wave, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.56, 07JC10, (2017).
- 8) T. Sugimoto, K. Sugimoto, I. Uechi, N. Utagawa, C. Kuroda: Outer wall inspection by noncontact acoustic inspection method using sound source mounted type UAV, Proc. of the Int. Congress on Acoustics (2019 ICA), pp.8188–8195, (2019.9)
- 9) 杉本恒美, 杉本和子, 上地樹, 歌川紀之: ドローンからの音波照射加振を用いた外壁の非接触音響探査, コンクリート工学, 57, 9, pp.681–686, (2019.9)
- 10) K. Sugimoto, R. Akamatsu, T. Sugimoto, N. Utagawa, C. Kuroda, K. Katakura: Defect-detection algorithm for noncontact acoustic inspection using spectrum entropy, Jpn. J. Appl. Phys., 54, 07HC15, (2015)
- 11) K. Sugimoto, T. Sugimoto, N. Utagawa, C. Kuroda, A. Kawakami: Detection of internal defects of concrete structures based on statistical evaluation of healthy part of concrete by the noncontact acoustic inspection method, Jpn. J. Appl. Phys., 57, 07LC13, (2018)