

AI と打音法を組み合わせた覆工コンクリート打設後の養生管理方法の検討

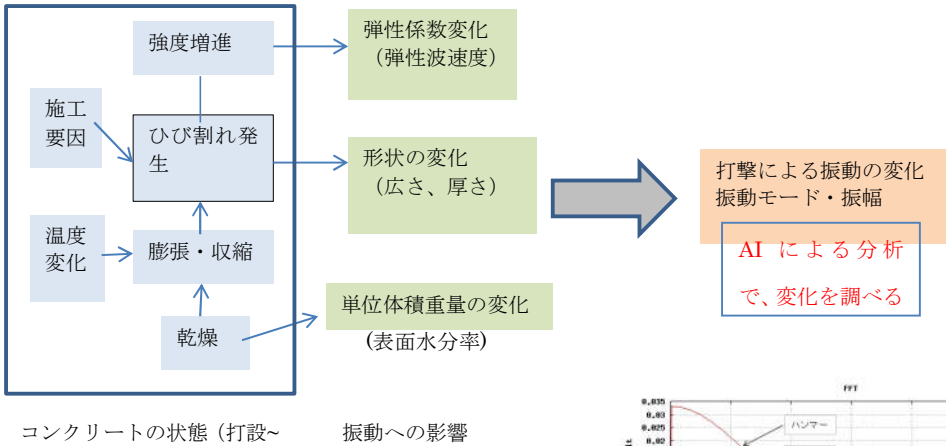
正会員 ○京免継彦¹ 菊田揺子¹ 歌川紀之² 須佐見朱加² 黒田千歳²

1. はじめに

覆工コンクリートの打設やその後の養生をきちんと行い、覆工コンクリートの品質を向上させようという試みがなされている。そのような取り組みの中で、覆工の各種品質をリアルタイムで測定する方法が検討されている。本研究では、コンクリート面をハンマーで打撃し、得られた打撃音を AI 的な手法で分析することにより、効率的に健全性や養生状態を把握するための検討を行った。そのため、AI 用の専用解析機を導入した。

2. 養生管理の考え方

覆工コンクリートの打設後の品質管理では、従来の反発度法を含めた強度試験以外に、目視観察した結果をシートに記入し点数化する方法、透気係数を測定する方法などが加わっている。本研究では、ハンマー打撃によるコンクリートの振動とコンクリートの品質や状態の関係を調べ、その変化を捉えることにより、養生を含めた品質管理に用いられるかどうか検討したものである。コンクリートの状態と振動の変化の関係を図-1 に示す。ここでは対象トンネルの振動の変化を打音法で測定、その違いを AI 的な手法で解析する。また、事前に各スパンで、弾性波速度、表面水分率の測定も実施した。



コンクリートの状態(打設～ 振動への影響)
図-1 コンクリートの状態と振動の関係

3. AI と打音法を組み合わせた養生管理方法

打音データは、当社の打音法システム¹⁾を用いて取得した。記録されたインパクトハンマーによる加力とフード付きマイクロフォンの振動音の波形から得られる周波数分布を図-2 に示す。また、得られた周波数データは主成分分析 (PCA)²⁾を用い、分類した。今回の報告は、PCA による分類まで実施したが、今後は、更にそれらのデータを深層学習 (ディープラーニング) により学習させて、点検打音データが得られたときに、それがクラスタリング (分類) され、どのような状態、品質であるか推定できるようにする予定である。そのため、PCA を含め、ディープラーニングの高速演算処理も可能な FPGA³⁾ (Field-Programmable Gate Array) ボードから構成される AI 専用マシンを開発した。そのスペックを表-1 に示す。

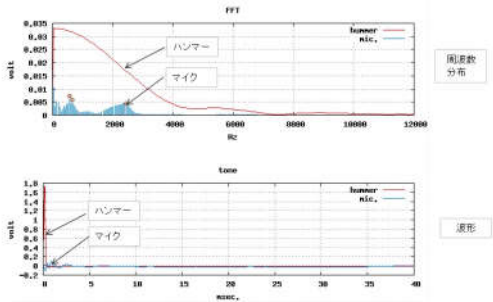


図-2 取得した打音データ

表-1 マシンスペック

i. ハードスペック

Item	Features
System On Chip	XC7Z020-1CLG400C - Up to 667MHz ARM® dual-core × 6
Memory	1GB DDR3 SDRAM (2 x 512MB, 32-bit) × 6
Storage	16MB QSPI Flash × 6 TF card interface × 6
Communications	1GB Ethernet × 1 USB2.0 OTG × 1

ii. 基本ソフトウェア

Linux Kernel	Linux 3.15.0	Customized kernel
File System	Ubuntu Desktop 12.04	Tar file and TF card image file

iii. ディープ・ラーニングデータ処理機能

fpga embedded systems	xilinx bitstream format
-----------------------	-------------------------

1 佐藤工業株式会社 ICT 推進部 Tel.03-3661-2632
2 佐藤工業株式会社 技術研究所 Tel.046-270-3091

4. 実トンネルへの適用

(1) 覆工データの取得：施工中の K トンネルにおいて、坑口より 60 スパン分（材齢 5 日～261 日・各スパン 4 箇所）の打音データ（図-4）および表面弾性波データ、表面水分率データ（図-3）を取得し、その結果、

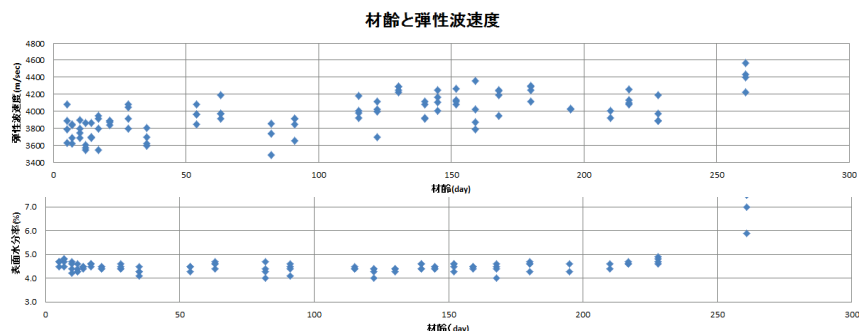


図-3 弾性波速度（硬さ）、表面水分率（乾燥）の変化

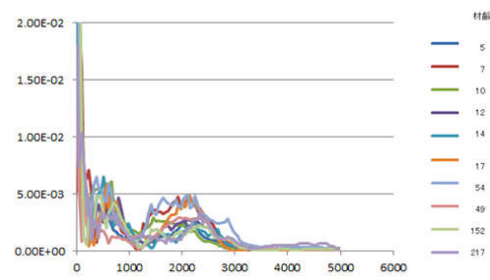


図-4 打音データ（材齢）

- ・弾性波速度は 4000m/sec 前後で、材齢が進むと弾性波速度が早くなる。
- ・表面水分率は、坑口を除き、打設直後はやや高いが、4～5%で推移している。
- ・打音データの FFT の結果（スパンの同じ箇所の 1 回打撃のデータである）に着目すると、2kHz 前後での材齢に応じた卓越周波数の推移（弾性係数の変化に伴う）は認められるものの、1kHz 以下の分布は材齢と関係なくばらついている。これらの特徴が分かりにくいので、PCA 分析を行った。

(2) データの PCA 分析：①材齢 5, 7, 10, 12, 14, 17, 54, 91, 152, 217 日の 120 個の FFT (200～4kHz) データ (10 × 4 箇所 × 3 回) に着目し、PCA 分析を行い、その結果を図-5 に示す。右上にある孤立した 1 点のデータは、元の波形を見ると打撃ミスであることがわかった。このように、PCA では他と著しく異なるデータが孤立するので、エラーデータを発見することが容易となる。

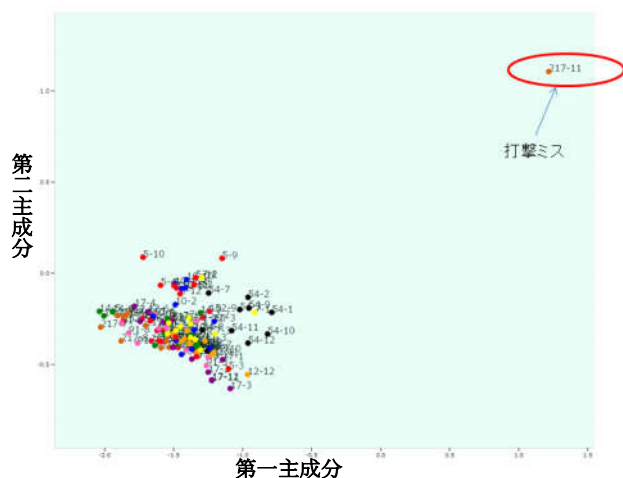


図-5 PCA 結果①

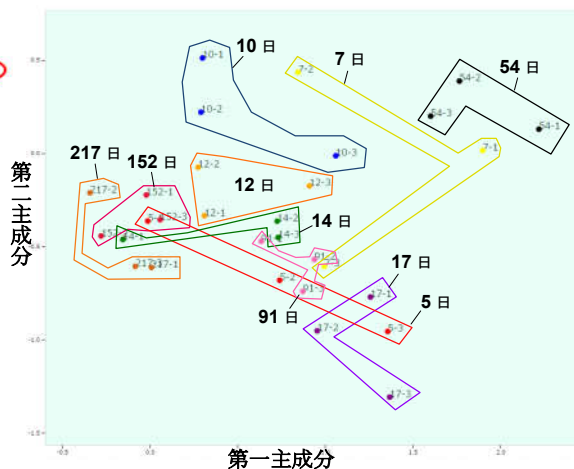


図-6 PCA 結果②

②打撃ミスデータを除き、図-6 に対応する各スパンの同じ箇所のデータ 30 個を抽出し、分類した結果を図-5 に示す。プロットは（材齢-データ番号）を表す。若材齢では、同じ箇所 3 回の打撃によるばらつきが大きくなること、材齢が進むとばらつきが小さくなり分類されることが分かった。

5. まとめ

覆工コンクリートの打音データを AI 的な手法で分析して打設後の品質管理に活かすことを検討した。そのために、施工中のトンネルでデータを取得し、PCA により、分類できるかどうかの検討を行い、打撃のミスデータを取り除くことができること、何らかの分類ができることを確認した。

参考文献：1) 北川真也, 鍋谷雅司, 高橋浩, 伴享, 歌川紀之：健コン診断ポータブルの開発—打音法によるコンクリート診断—、佐藤工業(株)技術研究所報, No. 34, 2009. 2) 奥野忠一, 久米均, 芳賀敏郎, 吉澤正：多変量解析法【改訂版】、日科技連, 1985.

3) すすわたり：回路図で学べる FPGA 入門 回路図は読める人のための HDL ガイド, 秀和システム, 2016