

舗装構造に埋設した分布型光ファイバセンサにおけるひずみ感度の評価

鹿島建設(株) 正会員 吉村雄一 藤原航太郎 那須郁香 永谷英基 今井道男 ○林 大介
フェロー会員 川端淳一

1. はじめに

点検作業の効率化や安全な交通運用などに資する広域遠隔監視技術のひとつとして、分布型光ファイバセンシングの活用が盛んである¹⁾。筆者らは、距離 50km を超える計測性能を持つ分布型音響センシング (DAS: Distributed Acoustic Sensing) を利用して、光ファイバを RC スラブに埋設して大型車両の重量推定を行う手法を開発した²⁾。本稿はアスファルト舗装へ展開を拡げて、振動計測する上で適した埋設深さの把握を目的として異なる深さに光ファイバセンサを埋設し、ひずみ感度の評価を行った。さらに、アスファルト舗装内の振動 (ひずみ) 伝播状態を解析する手法として、薄層要素法の実用性を検討したので報告する。

2. 光ファイバセンサによるひずみ計測

2.1 舗装構造への光ファイバセンサの設置

図-1 に舗装構造に埋設した光ファイバセンサの配置を示す。道路に沿ってジグザグ状に光ファイバセンサ (住友電工製インドアケーブル) を路床から基層の 4 層に対して各々設置した。各層に敷設した光ファイバセンサの長さは約 200m である。4 層の光ファイバセンサを直列に接続して計測器に入力し、光ファイバセンサ直上を歩行した際に埋設した光ファイバセンサに作用する振動 (ひずみ変化) を計測した。

2.2 歩行時の振動計測

舗装構造 (基層) に埋設した光ファイバセンサ直上を歩行した際の振動分布を図-2 に示す。計測器にはニューブレクス社製 NBX-S4000 を使用し、各位置で生じるひずみを 0.2m 間隔で、サンプリング周波数 500Hz にて分布出力した。横軸は時間 (秒)、縦軸は計測器出力端からの距離 (ファイバ長) を示しており、ひずみの大きさをコンター表示している。図-2 では、図-1 の赤線で記した人が歩行した動きと対応する線状分布が確認でき、菱形のパターンは動線から 1m 隔てた両隣の測線への歩行振動の伝達を示している。既報²⁾において振動波形のピークを評価することで車重を精度良く推定できたことから、歩行に対応する線状分布上のひずみ最大値 (絶対値) を各距離にて抽出し、その平均値を各層のファイバセンサのひずみ感度として使用した。

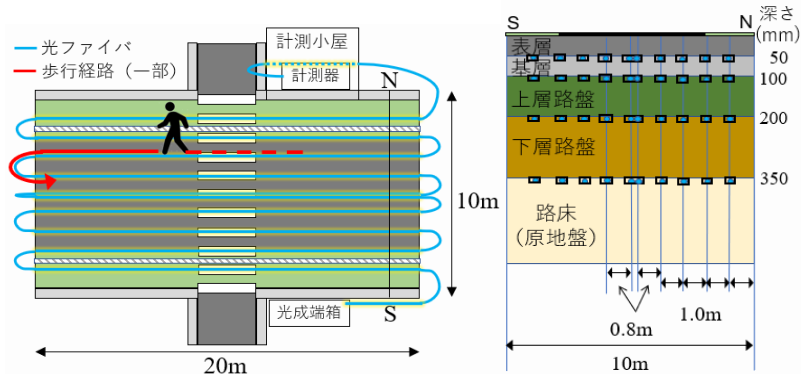


図-1 舗装構造に埋設した光ファイバセンサの配置
(左:平面図, 右:N-S 断面図)

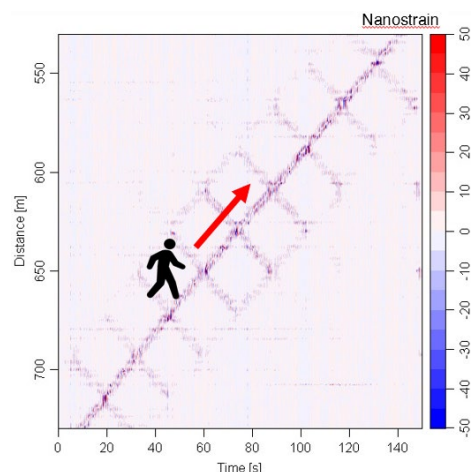


図-2 基層に埋設した光ファイバセンサ上を歩行した際の振動分布

キーワード ひずみ, 振動, 光ファイバ, 舗装, 薄層要素法

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL 042-485-1111

3. 薄層要素法によるひずみ解析

3.1 解析概要

舗装構造を成す各層を均質な連続体とし、深さ方向に分割して離散的に解析を行う薄層要素法³⁾をひずみ解析に採用した。舗装表面加振時（周期:2Hz, 加振方向:Z 方向, 加振力:49kN）に各層で生じる 3 軸方向のひずみ（図-3 参照）を算出し、光ファイバセンサが計測する長さ方向（X 方向）のひずみについて計測データとの定性的な比較を行った。ひずみ解析に使用した舗装各層の物性値を表-1 に示す。舗装標準仕様書よりポアソン比、密度を引用し、他は FWD 試験を実施して得られた物性値を使用した⁴⁾。せん断波速度(V_s とする)は、 $V_s=(E/(2\rho(1+\nu)))^{0.5}$ より求めている (E :弾性係数, ρ :密度, ν :ポアソン比)。

3.2 計測データとの感度比較

各層の光ファイバセンサが示すひずみ感度について図-4 に示す。計測結果は路床（原地盤）を除いて深さ方向に振動が減衰する特性を示しており、薄層要素法による解析結果と同様の傾向が確認できる。計測時に路床のひずみが増大した要因について舗装各層の物性値がひずみ感度に与える影響を考察した。図-5 に路床におけるせん断波速度とひずみ感度（振幅）の関係を示す。せん断波速度の低下につれてひずみ感度は全方向に対して増加しており、実測した路床はせん断波速度が解析条件よりも低い状況にあったものと考えられる。

4. まとめ

光ファイバセンサを舗装構造に埋設して、歩行時における振動計測（DAS）を薄層要素法によるひずみ解析とともに実施し、ひずみ感度の評価を行った。実測・解析ともに埋設深さ 5～20cm まで同様の感度特性を示したものの一部異なる結果が得られたことから、異なる環境下でのデータ収集が今後必要である。本評価を通じて車重計測などを目的としたアスファルト舗装における DAS の適用に必要な基本情報が得られた。

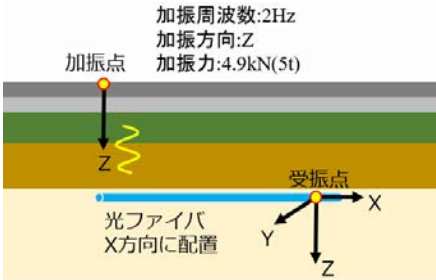


図-3 ひずみ解析モデル

表-1 解析に使用した舗装各層の物性値

地層	表層	基層	上層路盤	下層路盤	路床
材料	再生密粒	再生粗粒	再生瀝青安定処理	再生碎石	原地盤
層厚 [m]	0.05	0.05	0.1	0.15	80
弾性係数 [MPa]	2000	2000	1200	360	195
ポアソン比	0.35	0.35	0.35	0.35	0.4
密度 [T/m ³]	2.5	2.5	2.5	2.5	1.4
せん断波速度 [m/s]	544.3	544.3	421.6	230.9	223.0

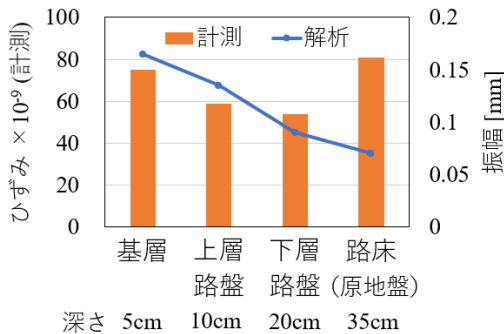


図-4 各層光ファイバセンサが示すひずみ感度

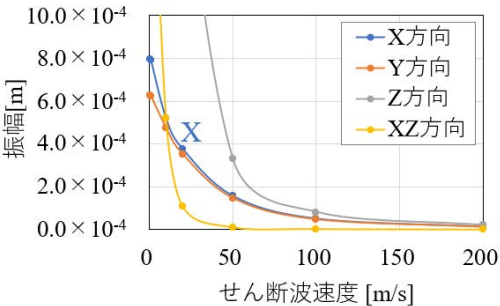


図-5 路床におけるせん断速度とひずみ感度の関係

参考文献

1)今井ら: 革新的光ファイバ計測による躯体や地盤の見える化, 土木施工, pp.90-93, 2022 年 5 月号.
2)露木ら:RC スラブに埋設した光ファイバセンサを利用した走行車両の重量推定, 第 77 回土木学会年講概要集, VI-627, 2022.
3)日本建築学会編: 入門・建物と地盤との動的相互作用, 丸善, 1996 年 4 月.
4)那須ら: 分布型光ファイバ計測技術を用いた舗装構造の評価, 第 2 回交通地盤工学に関する国内シンポジウム, 2022 年 11 月.