

光ファイバ埋込舗装を用いた歩行者の二次元位置追跡方法の検討

鹿島建設(株) 正会員 ○今井道男 吉村雄一 永谷英基 フェロー会員 川端淳一
トヨタ自動車(株) 鷹羽正三, (株)NIPPO 吉中 保 鍛冶哲理
東京都市大学 関屋英彦, カリフォルニア大学バークレー校 曾我健一

1. はじめに

Distributed Acoustic Sensing (DAS: 振動分布計測) は, 光ファイバセンサを用いた計測技術のひとつで, 光ファイバ全長にわたって, 光ファイバに加わる伸縮の様子を最大数 kHz 以上の高いサンプリング周波数で得られる技術である. 本報では, 光ファイバを埋込んだ試験舗装フィールドを用いて, 歩行者の二次元位置の追跡を試みたので紹介する.

2. 光ファイバ埋込舗装

(1) 振動分布計測 (DAS)

光ファイバ内に光を入射すると, 光の波長よりも小さい粒子によって散乱 (レイリー散乱光) が生じ, そのうちの一部は後方散乱光として, 入射端に帰還する. 光ファイバに振動が加わると, それに応じて後方散乱光の位相や強度が変化する. DAS ではその信号を解析することによって, すべての箇所での振動 (伸縮に伴うひずみ変化) 状態を動的に計測できる (図-1). 長距離での計測が可能なおうえ, 非常に高感度であることから, これまでにも, DAS を用いて光ファイバに沿った移動体を追跡する試みがなされているが¹⁾²⁾, 一次元での位置特定に留まっていた.

(2) 試験舗装フィールド

試験舗装フィールドは長さ約 20m, 幅約 10m で (写真-1), 一般的な路床～路盤～舗装の構成である. 本フィールドを用いて, 光ケーブルの敷設方法や, データ処理方法を検討している. 図-2 に示すように, 車両走行方向に沿ってケーブル状の光ファイバが 0.8~1.0m 間隔で 10 本敷設されており, 同時に計測できるよう全ての光ケーブルはひと繋ぎで構成されている. 光ケーブルに沿った方向で, 路側帯で歩行者と自転車がすれ違った際に得られた DAS データの例を図-3 に示す. 両者の移動に伴いひずみが生じている位置が変化している様子がわかる. 今回, 光ケーブルを交差する方向に歩行し, 移動体 (歩行者) の二次元位置追跡方法を検討した.

3. 歩行者の二次元位置追跡試験

(1) 試験概要

本フィールドの右隅部から V 字形状に歩行し (図-4), DAS データを 500Hz で取得した (計測間隔約 0.2m, ゲージ長約 3m). 具体的には, 成人男性が秒速約 1.4m で約 20 秒間かけて歩行した. このと

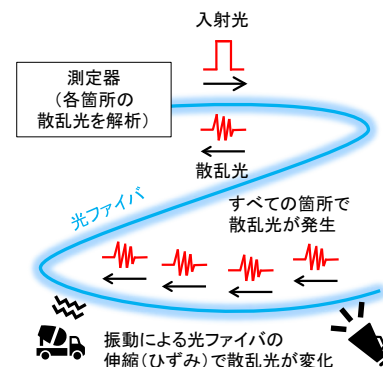


図-1 DAS のイメージ



写真-1 試験舗装フィールド

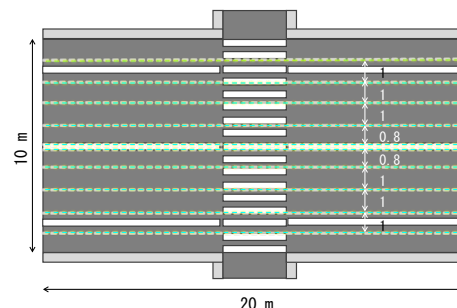


図-2 光ケーブルの配置

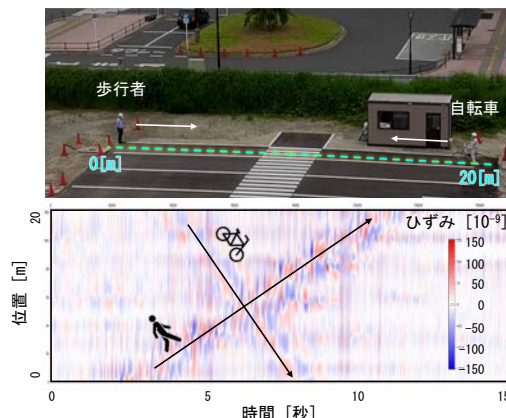


図-3 DAS データの一例

キーワード 光ファイバセンサ, 振動計測, レイリー散乱

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

き、歩行時の足踏み周期は約 2Hz である。DAS データは光ケーブル 10 本すべてで得られているが、少ない光ケーブルのデータでも位置追跡の精度が低下しない方法を模索することとした。

(2) データ処理

10 本の光ケーブルと本フィールドの位置関係は、あらかじめ得られている。そのため、X 方向に 97 点 (約 20m 分)、Y 方向に 10 点 (約 10m 分) で二次元平面上にデータをプロットすることができる。そのデータをもとに補間を施した図-5 のコンターでは、振動が左下部で大きいことから、歩行者が同位置にいるとわかる。このように、DAS データをもとに、振動源としての歩行者の二次元位置追跡を試みた。その手順を以下に示す。

まず、10 本の光ケーブルによる DAS データが、任意に設定したひずみの閾値を越えた領域を抽出する。ある瞬間の閾値を越えた領域の例を図-6 に示す。次に、この領域は歩行者による振動が伝播した影響と考え、領域の重心を歩行者の位置とする。歩行開始からの重心位置をプロットした結果を図-7 に示す。DAS のゲージ長相当で、V 字形状での歩行を概ね捉えている様子が分かる。

(3) 光ケーブル本数による比較

実際の道路を想定した場合、本フィールドのように 0.8~1.0m 間隔で多数の光ケーブルを設置することは困難である。そこで、3 本の光ケーブル (両路側帯と中央部) 分の DAS データのみを使用し、前述同様に重心位置をプロットした。その結果を図-8 に示す。ばらつきが多く、3 本の光ケーブル設置位置に軌跡が集中し、10 本の光ケーブルより追跡精度が低下している。そこで、各計測時刻の直前 4 秒分 (500Hz×4 秒分) の移動平均をとった結果を図-9 に示す。本結果によれば、実際に近い歩行者の軌跡を再現することができた。

4. おわりに

光ファイバを埋め込んだ舗装フィールドを用いて、歩行時の振動分布データから歩行者の追跡方法を検討した。今回試した方法は、歩行者に応じた閾値の設定方法や、単一振動源を前提としている点などその汎用性に課題があるが、歩行者の軌跡を概ね再現することができた。リアルタイム性の向上なども含めた改良を引き続き重ね、将来の安全安心なモビリティサービスに資する技術を目指したい。

センサ技術の革新などに伴い、インフラの健全性評価を目的としたモニタリングの取組みが盛んである。一方で、本事例はインフラの利用者へ還元されるセンシングデータの新たな活用例のひとつとして期待される。

参考文献

- 1) Hubbard, P. G., Ou, R., Xu, T., Luo, L., Nonaka, H., Karrenbach, M., & Soga, K. (2022). Road Deformation Monitoring and Event Detection using Asphalt-embedded Distributed Acoustic Sensing (DAS).
- 2) Mustafa, S., Sekiya, H., Maeda, I., Takaba, S., & Hamajima, A. (2021). Identification of external load information using distributed optical fiber sensors embedded in an existing road pavement. Optical Fiber Technology, 67, 102705.

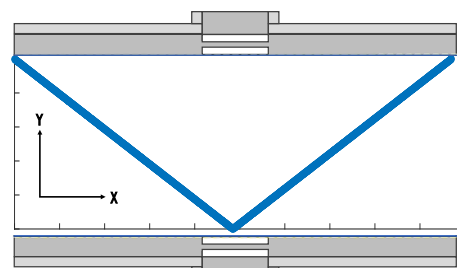


図-4 歩行者軌跡

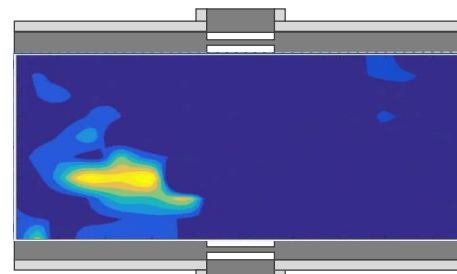


図-5 ある瞬間の振動分布コンター

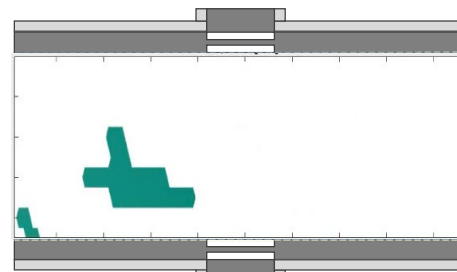


図-6 ある瞬間の二値化コンター

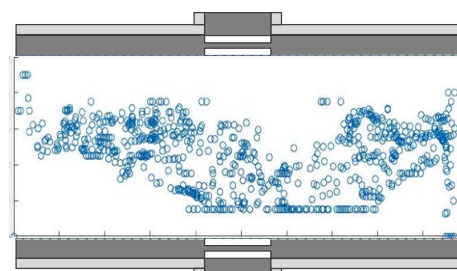


図-7 重心位置 (光ケーブル 10 本)

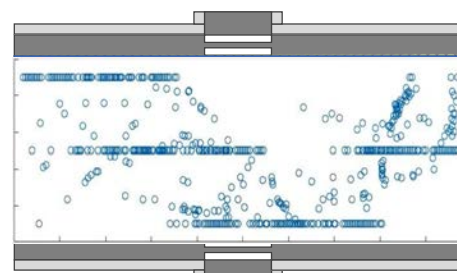


図-8 重心位置 (光ケーブル 3 本)

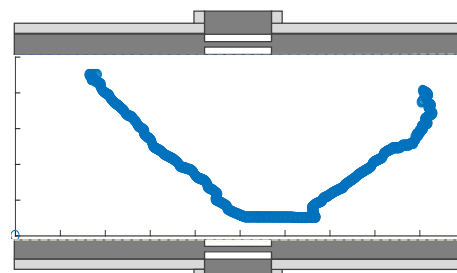


図-9 重心位置の移動平均 (光ケーブル 3 本)