

光ファイバーを用いた東海道新幹線盛土構造物における応答計測 Response Measurement of Tokaido Shinkansen Embankment Structures Using Optical Fibers

○長谷川 明紀・後藤 浩之・吉見 雅行・井出 哲

○Akinori HASEGAWA, Hiroyuki GOTO, Masayuki YOSHIMI, Satoshi IDE

The Tokaido Shinkansen includes a large number of embankment structures, which may be damaged not only by heavy rainfall but also by compound disasters caused by earthquakes and rainfall. Continuous monitoring of the structural integrity of embankments is therefore essential.

In this study, accelerometers were installed on multiple embankments along the Tokaido Shinkansen line, and long-term observations were conducted. Changes in the dynamic characteristics of the embankments before and after rainfall events were analyzed based on microtremor measurements. In addition, the applicability of distributed acoustic sensing (DAS) using existing optical fiber communication cables installed along the railway line was investigated.

The results indicate that the natural frequencies of the embankments changed following heavy rainfall, which is presumed to be associated with variations in water content within the embankment body. Furthermore, DAS successfully captured strong vibration components near the natural frequencies, showing behavior comparable to that observed using accelerometers.

1. はじめに

東海道新幹線では、地震時の土木構造物の点検基準を約 10 km 間隔で地表面に設置されている沿線地震計で計測した加速度および震度に応じて定めている。地震後には、1 台の地震計が担当する約 10 km 区間を徒歩で点検する必要がある。このため、早期復旧および早期運転再開に向けて、地震計間における実際の揺れや構造物の応答、損傷の有無を推定可能な技術の検討が求められている。そこで、光ファイバーセンシング技術により、高密度に沿線の地震による構造物の応答を把握し、損傷の有無や兆候を捉えられないかを検討するために、東海道新幹線沿線に布設されている通信用の光ファイバーケーブルを用いた DAS 計測を 2021 年度より実施している。これまで DAS により列車振動および地震動の伝搬を計測可能であることを確認している。

一方、東海道新幹線では盛土構造が全線の 53% を占めている。光ファイバーケーブルは盛土にも線路に並行して布設されている。盛土の地震時応答は高架橋とは異なり、土質や透水性、さらに降雨条件による堤体内の水分状態（土壌雨量・飽和度）など、多様な要因の影響を受ける。そのため、盛土の動的挙動の評価は極めて複雑である。そこ

で本研究では、まずは東海道新幹線の盛土に加速度計を設置し、降雨と常時微動による固有振動数の変化を分析した。

2. 東海道新幹線での盛土計測

東海道新幹線の新富士駅付近の盛土 A、静岡駅付近の盛土 B に加速度計を設置し、1 か月間の長期計測を実施した。配置図を図-1 に示す。盛土 A と盛土 B では土質条件が異なる。また、盛土 B は過去に地震対策として、シートパイルとタイロッドによる堤体補強工事を行っており、支持地盤と一体化された盛土となっている。加速度計は 100 Hz サンプリングでデータを取得した。加速度の極性は、線路方向を X 軸、線路直角方向を Y 軸、上

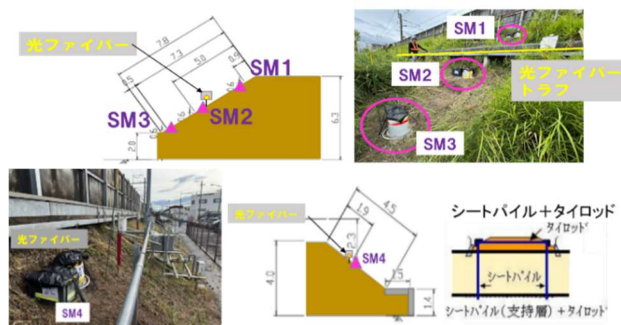


図-1 加速度計設置位置（上：盛土A，下：盛土B）

下方向をZ軸に合わせ、更にX軸の正側を新大阪方面とした。また、盛土Aでは下り線（新大阪方面）側に、盛土Bでは上り線（東京方面）側に通信光ファイバーの収納されているケーブルトラフがあるため、加速度計はそれぞれ同一線側に設置した。盛土Aでは断面方向で盛土の上部（SM1）、中腹（SM2）、下部（SM3）に計3台設置し、盛土全体の応答を詳細に分析できるようにした。盛土Bでは盛土の中腹（SM4）に加速度計を設置した。

新幹線が走行しない深夜（02:00～03:00）の常時微動について分析を行った。盛土Aにおいて同一時刻の加速度水平/鉛直スペクトル比 HVSr（Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio）（H/V）を図-2に示す。2Hz付近と6Hz付近にピークがみられるが、2Hz付近は設置位置によらず同一倍率に対し、6Hz付近のピークは盛土の上部ほど倍率が大きくなっている。このことから、6Hz付近が盛土Aの固有振動数で、2Hz付近のピークは地盤の固有振動数と考えられる。当該時刻を含んだDASの周波数別のヒートマップを図-3に示す。時間窓は20分間である。深夜では5～6Hzに強い振動が見えており、盛土の卓越振動数がDASにおいても捉えられていることを示している。

盛土Aについて、2025年9月4日～9月30日のSM2におけるHVSrおよび付近のJR東海所有の雨量計での降雨記録を図-4に示す。固有振動数付近の4.5Hz～6.5Hzに着目すると、降雨の無い時のピークは6.0Hz付近であるのに対して、連続雨量が50mm以上のタイミングで固有振動数

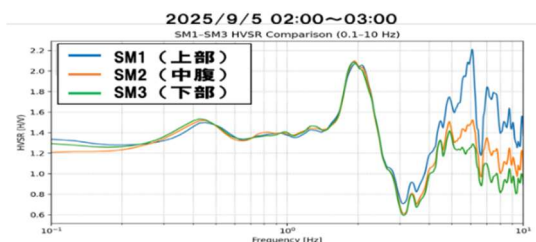


図-2 盛土Aにおける常時微動 HVSr (H/V)

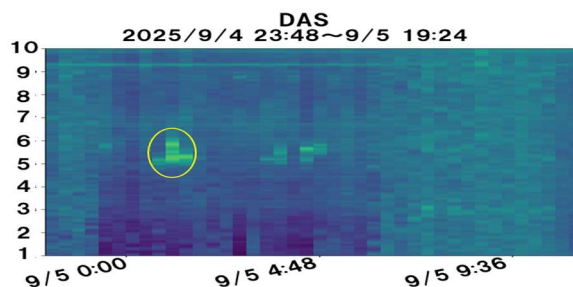


図-3 DASの周波数別のヒートマップ

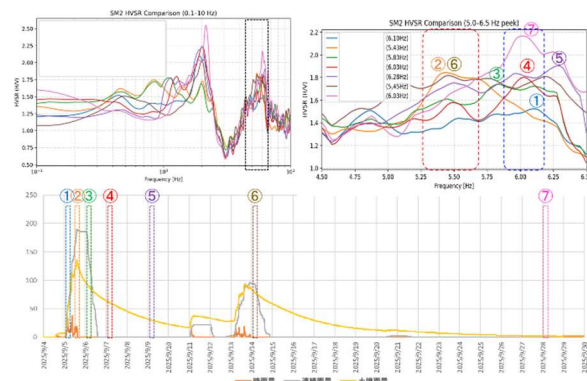


図-4 上左:盛土Aの常時微動 HVSr 変化/上右: 4.5Hz～6.5Hz 拡大/下:2025/9/4-9/30 降雨(富士川雨量計)

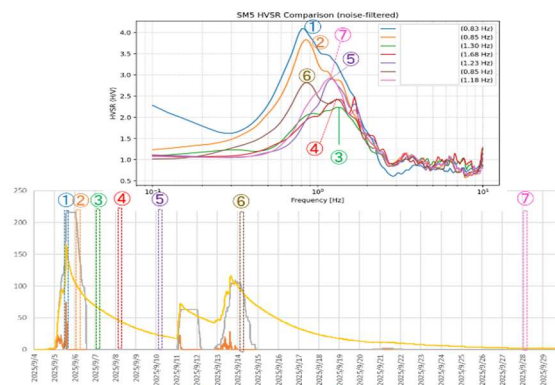


図-5 上:盛土Bの常時微動 HVSr 変化
下:2025/9/4～2025/9/30の降雨実績(巴川雨量計)

ピークは5.5Hz付近に低下することが分かった。降雨により、盛土堤体内の水分量が増え、振動数が低下している可能性がある。

盛土Bについても同様の分析を行った。9月4日～9月30日のSM4におけるHVSrおよび付近のJR東海所有の雨量計での降雨記録を図-5に示す。盛土Bでは固有振動数が1Hz付近にのみピークが現れていることが分かる。これは、シートパイル等の盛土堤体の耐震補強効果により、盛土と支持地盤が一体化している影響と考えられる。盛土Bにおいても、降雨後には固有振動数が1Hzから0.8Hzへ低下し、天候が回復すると常時微動も1Hzに回復していることが分かった。

3. まとめ

いずれも今回の降雨では盛土自体に変状は発生していないため、固有振動数の低下がどこまで進行し、どの程度で盛土の変状に繋がるのか、地震時の応答との関連性については明らかになっていないが、今後振動数と変状の関連性とDASでの検知精度を検証することで、DASによる盛土の健全性の活用可能性に繋がると考えている。