

海岸護岸壁背面陥没について発生原因の推定

東日本旅客鉄道(株)
東日本旅客鉄道(株)
東日本旅客鉄道(株)

○光澤 凜
滝澤 和慶
芹野 碧海

1. はじめに

弊社では冬季に海岸線区の海岸護岸壁背面において発生する陥没に苦慮している。2009年に大規模な護岸倒壊が発生し、その後も護岸背面において大小の陥没が定期的に発生している。これまでの研究により、陥没の原因として冬季の波浪による海側の砂浜の浸食、海岸護岸への振動外力および山側河川からの水の流れて護岸背面の地下水位が上昇し、護岸背面の土砂が海側に吸い出されることが原因として推定されている¹⁾。ものの土砂の吸出しが発生していると推定される「水みち」の位置はわかっていない。一方、維持管理上陥没発生リスクが高まる時期や位置の把握についても効果的な方法がないことが課題となっている。そこで本研究では、当該の護岸壁を対象に表面波探査にて地盤のゆるみから水みちを推定する。併せて衝固有振動数を活用して陥没発生リスクの高まっているタイミング及び位置の把握を試みた。

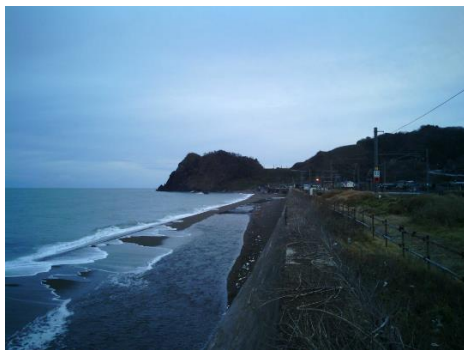


写真-1 当該護岸写真

2. 水みちの推定

「水みち」の位置の特定を行うため、表面波探査を行った。本研究では、ハンマー等で地盤に衝撃を与えた際に生じるS波速度から地盤のゆるみ領域を推定する表面波探査を、線路垂直方向に複数の側線で行い、疑似的に3次元の地盤のゆるみ領域を推定した。また、線路方向300mの側線を、護岸前面(砂浜)3本・護岸天端1本(参考値)・背面2本の計6本設定して表面波探査を実施し、地盤の緩みを立体的に推定することで水みちが特定できないか検討した。その結果を図1に示す。図1は探査結果のS波速度を示しており、暖色となるほどS波速度が小さく地盤が緩んでいる推定できる。さらに、地下水は抵抗の少ない箇所に流動してみずみちを形成する傾向があるが、図1に破線矢印で示すようにA地点、B地点の2測点において、線路横断方向に海側まで連続した低

速度帯(地盤の緩み箇所)が同様な測点で連続して分布することが確認されたためこれを「水みち」と考えた。これらの付近では、近年陥没が発生している。また、その他の範囲は薬液注入が施工されているため、S波速度が速く、地盤のゆるみも少ないことが推察される。なお、図-1中の護岸天端とD側線に破線両側矢印で薬液注入と記載した範囲は2025年度初に薬液注入を実施しており、深さ-10mから-5mの換算N値が周辺より高い値となっているが、これは薬液注入の効果が表れたためと考えられる。

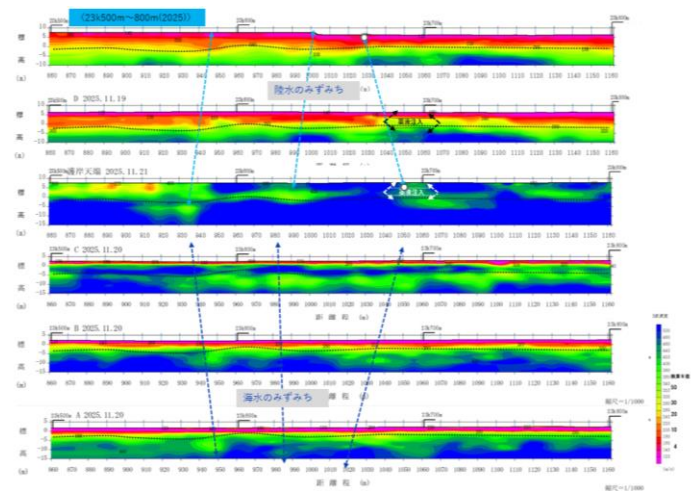


図-1 表面波探査結果

3. 陥没発生リスクが高まる時期の把握方法の検討

海岸護岸壁背面に発生する陥没リスクが高まる時期、位置を把握するため、固有振動数のモニタリングシステム(以下、ReMoSys)による海岸護岸の常時微動を計測し、固有振動数の特定を試みた。加えて、固有振動数が変化する場合の原因を考察するための監視カメラの設置、真値となる護岸の固有振動数を把握するための衝撃振動試験を行った。モニタリング箇所は、A地点(薬液注入:2021年,陥没:履歴なし)、B地点(薬液注入:2015年,陥没:2024年)である。薬液注入施工からの年数が異なり現時点で効果の違いがあると想定され、陥没の発生状況にもその違いが表れている2か所を選定した。

まず、海岸護岸の固有振動数が測定可能かの確認のため、夏季と冬季に衝撃振動試験を実施した。結果を表-1に示す。陥没履歴ありのB地点は夏季・冬季とも陥没履歴のないA地点よりも固有振動数が低くかつ夏季よりも冬季のほうが低くなっており、冬季の高波による外力で振動しやすく、背面の土砂の緩みが促進されることが考えられた。この結果から、海岸護岸

も固有振動数で安定性を評価でき、その値によって陥没の発生リスクが高まる時期を把握できる可能性が示唆された。

表-1 衝撃振動試験による固有振動数推定結果

計測時期	23k550m (陥没履歴なし)	23k660m (陥没履歴あり)
夏季 (7/31)	22.71Hz	19.23Hz
冬季 (2/19)	23.01Hz	18.31Hz

次に、夏季から冬季にかけて、ReMoSys による常時微動のモニタリングを実施し、その結果から推定される固有振動数について確認した。その結果、A 地点、B 地点ともフーリエスペクトルのピークが明瞭で固有振動数をとらえることができる日とそうでない日があることがわかった。また、10 月以降フーリエスペクトルのピークが明瞭になる日が増加することから、護岸を振動させる外力の増加（波浪、風等の影響）を受けて固有振動数の推定精度が向上する可能性が考えられた。図 2 に常時微動から得られるフーリエスペクトルが明瞭で、固有振動数が推定可能と考えられる日時の例を示す。図 2 中には青線で 7 月に実施した衝撃振動試験から算出したフーリエスペクトルも記載している。12/11、2/15 のグラフとも赤線の ReMoSys によるフーリエスペクトルのピークが衝撃振動試験によるピークの付近にあり、固有振動数を適切に推定できていることがわかる。図 2 に示すように、それぞれ護岸前面の砂浜の侵食が確認された日、護岸背面で小規模な沈下が確認された日でこれらの影響が表れた結果である可能性が考えられる。一方で、明瞭なピークが見られない日も多くあり、波浪・砂の付き方等の環境条件がどのように ReMoSys の計測結果に反映されるかはさらに検証が必要と考えられる。

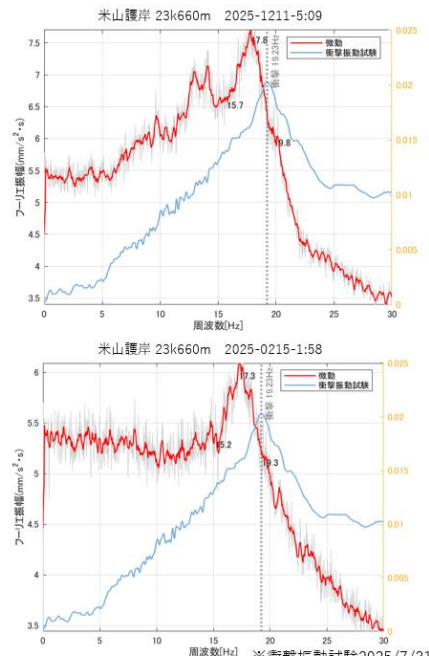


図-2 ReMoSys モニタリング結果

5. 今後の維持管理に向けたまとめと課題

実施した表面波探査を通して調査を行った護岸において水みちのようなものが確認され、その範囲は近年陥没が発生している範囲と合致した。さらに、当該区間の両端は換算 N 値も高く薬液注入の効果が表れていると考えられることから、現時点では当該区間以外の水みちはないと考えられる。一方で、確認された水みちの範囲に新たに薬液注入を行うと、透水性が低くなることで水の逃げ道がなくなり新たに水みちが発生する可能性がある。そこで、水みちの範囲については、年 1 回の強制振動を実施するとともに、それ以外の範囲において新たな水みちを発生させないためにこれまで同様 10 年に 1 回程度の薬液注入を実施する管理方法を提案する。本提案により薬液注入の対象範囲がこれまでよりも減少することで維持管理コストの低減につながる。

ReMoSys による常時微動の計測・固有振動数の推定から、護岸の安定性が減少し陥没の発生リスクが高まる時期を把握できないか検討した結果、日時によっては把握できる可能性が示唆された一方、固有振動数を捉えられない日も散見され、その条件について今後も検討が必要と考える。具体的には、波浪による護岸の振動性状の変化をより明確に確認するため、地盤そのものの振動を差し引いた場合の検証や砂の付き方を定量化した上での ReMoSys の結果との比較などの検討が考えられる。今後引き続き ReMoSys・監視カメラ等によるモニタリングを継続し、データを蓄積することで本手法について深度化していきたいと考える。

4. おわりに

本稿では、冬季に 海岸線区で発生する護岸背面の陥没原因の推定と今後の維持管理手法の検討を行った。2026 年度も夏季、冬季計 2 回の衝撃振動試験、4 測点で ReMoSys の常時微動の観測を実施する。効率的な海岸護岸の維持管理と列車の安全安定輸送確保のために護岸背面の陥没につながる常時微動の数値の特定に努める。

参考文献

- 1) 長井優之;海岸と並走する鉄道線区における護岸背面の小規模陥没の発生に関する一考察(2023)
- 2) 小笠原洋・小原雄哉:斜面災害における漏水経路調査事例, 日本応用地質学会平成 29 年研究発表会講演論文集, 日本応用地質学会, pp.145-146. (2017)