

2024 年能登半島地震における内灘町の液状化・流動化被害の分析

長岡技術科学大学大学院	学生会員	○松浦	朱里
長岡技術科学大学	正会員	池田	隆明
東京都立大学	正会員	志賀	正崇
群馬工業高等専門学校	正会員	渡邊	祥庸

1. はじめに

2024 年 1 月 1 日 16 時 10 分に発生した 2024 年能登半島地震（以下、本地震と呼ぶ）では、福井県、石川県、富山県、新潟県にかけて広範囲で液状化被害が確認された。

液状化は、緩い砂質地盤や地下水位が高い地盤において、地震動による繰返しせん断を受けることで間隙水圧が上昇し、有効応力が低下することで発生する。液状化が発生すると、地盤の支持力低下や変形が生じ、地盤沈下や隆起、側方流動などの地盤変状が発生する。これらの地盤変状は、建物や道路等の社会インフラに大きな影響を及ぼすことから、被害の発生状況や変状量を定量的に把握し、その発生要因を検討することが重要である。

特に、本地震では石川県河北郡内灘町の一部の地域において、甚大な液状化被害が確認された。図-1 に内灘町宮坂地区における液状化被害の様子を示す。内灘町は、海岸砂丘と河北潟周辺の低地からなる地形を有しており、過去には河北潟の埋立てなどの大規模な地形改変が行われてきた¹⁾。このような地形や地盤条件の違いが、液状化に伴う地盤変状の発生状況に影響した可能性が考えられる。



(a) 地盤の沈下 (b) 建物の倒壊

図-1 内灘町宮坂地区における液状化被害²⁾

2. 調査範囲

これまでに内灘町では、地震前後の三次元地形データを用いた液状化に伴う地盤変状の定量化

が行われており、室地区および西荒屋地区の低地では、広範囲で液状化に伴う地盤変状が生じていることが確認されている³⁾。本研究では、石川県河北郡内灘町宮坂地区を調査範囲とした。図-2 に調査範囲の位置を示す。宮坂地区は、河北潟放水路の北側に位置し、海岸砂丘と河北潟周辺の低地の境界付近に位置する。本研究では、液状化が確認された低地を対象として調査を行った。調査範囲には、県道 8 号線および旧道路があり、これらの道路の中心線上における地震前後の標高を比較し、標高差から道路に沿った地盤変状を評価するとともに、道路配置と地盤変状との関係について検討した。

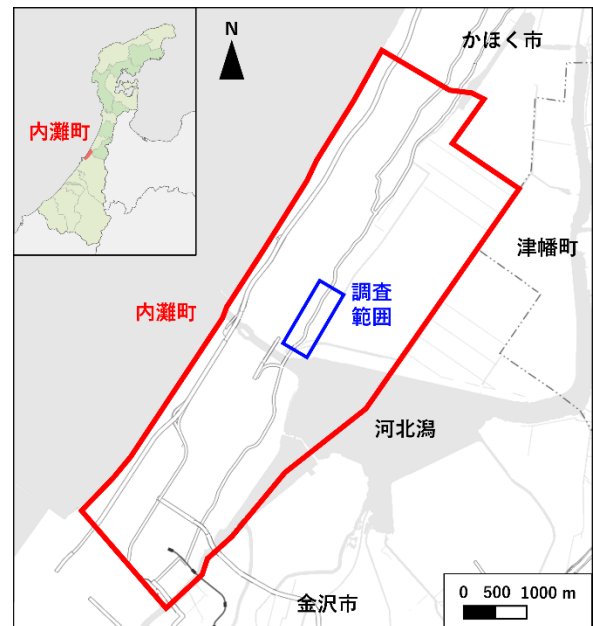


図-2 調査範囲の位置（広域図：Map-It を加工，詳細図：地理院地図 Vector を加工）

3. 検討方法

地震前後の地盤変状を定量的に評価するため、地震前後の三次元地形データを用いた。地震前の地形データには、2012 年の航空写真から SfM/MVS により作成した三次元地形モデル（以下、2012DSM）を用いた。作成した 2012DSM の空間

解像度は 0.20 m である。

一方、地震後の地形データには、2024 年 10 月に取得した LiDAR SLAM による点群データから作成した三次元地形モデル（以下、2024SLAM）を用いた。計測には GreenValley International 社製の LiGrip O1 Lite を使用した。同機器は最大 200,000 points/s の速度で点群を取得可能であり、空間解像度は 0.02 m である。

両データについて、国土地理院の地形データを基準として標高誤差の補正および外れ値補正を行った。補正後の 2012DSM および 2024SLAM を用いて標高差を算出し、調査範囲における地盤変状を定量的に評価した。

(1) 地震前の三次元地形データの作成

2012DSM は、西荒屋地区を対象として作成された三次元地形モデルであるため、西荒屋地区から離れるにつれて国土地理院の標高データとの標高差が増加する傾向が確認された。そこで、西荒屋地区からの距離に応じて補正量を線形に変化させることで、2012DSM の標高誤差を補正した。

さらに、使用した航空写真は SfM/MVS のために撮影された写真ではないため、精度が十分でない。そのため、標高誤差補正後の 2012DSM を対象として外れ値を抽出した。抽出した外れ値については、周辺への影響範囲を考慮して補正対象区間を設定した。補正対象の前後 20 m を用いて 3 次多項式近似を行い、外れ値を除いた周辺地形から基準となる地形形状を推定した。補正後の標高は、3 次近似曲線と元の標高との差に補正係数を乗じることで算出した。すなわち、補正後の標高は式 (1) により求めた。

$$h'(x) = h_a(x) + (h(x) - h_a(x)) \times \left(\frac{\Delta h_e^{max}}{\Delta h_o^{max}} \right) \quad (1)$$

ここで、 $h'(x)$ は補正後の標高、 $h_a(x)$ は 3 次近似曲線による標高、 $h(x)$ は補正前の標高、 Δh_e^{max} は基準区間における元の標高と近似曲線との標高差の最大値、 Δh_o^{max} は補正対象区間における元の標高と近似曲線との標高差の最大値を示す。補正係数は、基準区間における最大値と対象

区間における最大値の比から算出し、1 を上限とした。最後に、補正後の標高データに対して 13 点の移動平均を適用し、平滑化した。

(2) 地震後の三次元地形データの作成

2024SLAM は、国土地理院が提供する 2024 年に作成された DEM（以下、2024DEM）との比較から、全体的に低い標高を示す傾向が確認された。この標高差は SLAM による計測誤差等に起因する可能性があるため、2024DEM を基準として、2024SLAM の標高誤差を補正した。

さらに、2024SLAM には、計測時に生じる局所的な点群の異常値が含まれる可能性があるため、2024SLAM および 2024DEM を対象として外れ値の抽出を行った。外れ値については、周辺への影響範囲を考慮して補正対象区間を設定した。その後、外れ値を除いた有効な 2024SLAM および 2024DEM を用いて補正を行った。

2024DEM の有効な標高値を用いて距離方向に線形補間を行い、SLAM 測点位置における DEM 補間標高を算出した。

補正後の標高値は、2024SLAM および 2024DEM の外れ値判定結果に応じて決定した。2024SLAM が有効値の場合には 2024SLAM の観測値を採用し、2024SLAM が外れ値で 2024DEM が有効値の場合には 2024DEM 補間標高を採用した。また、双方が外れ値となる場合には、外れ値として判定されなかった 2024SLAM を用いて線形補間を行い、補正値を算出した。最後に、補正後の標高データに対して 13 点の移動平均を適用し、平滑化した。

4. 地盤変状の評価

図-3 に調査範囲および県道 8 号線と旧道路の位置を示す。図-4 に旧道路における地震前後の標高を、図-5 に県道 8 号線における地震前後の標高を示す。さらに、図-6 に旧道路における地震前後の標高差を、図-7 に県道 8 号線における地震前後の標高差を示す。

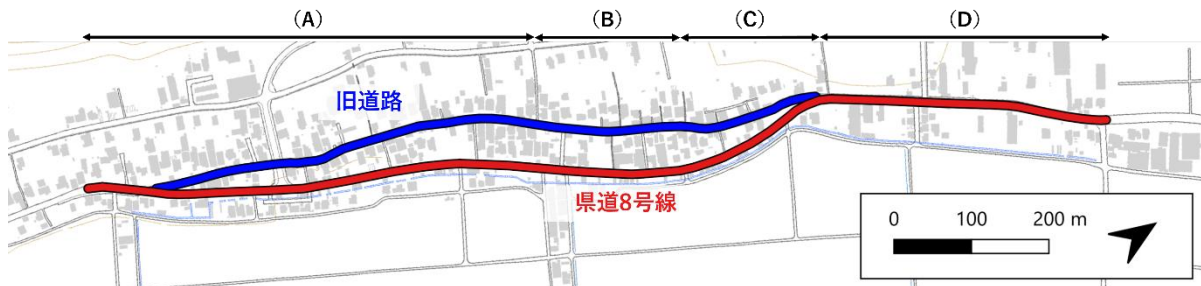


図-3 調査範囲 (QGIS を加工)

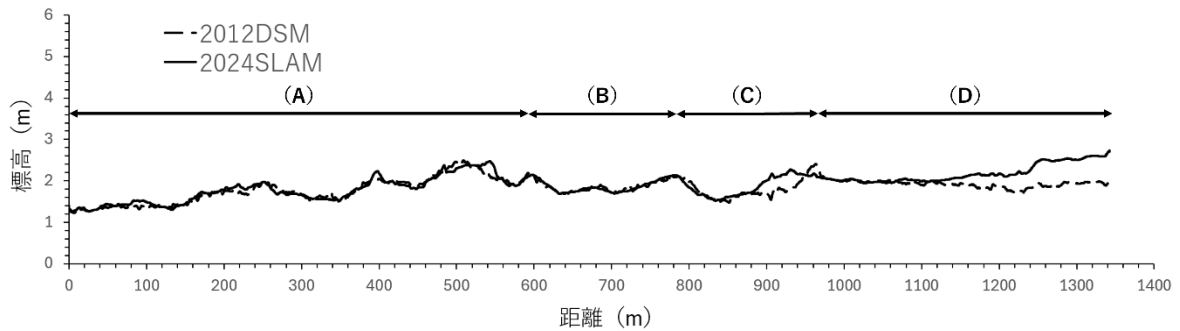


図-4 旧道路の地震前後の標高

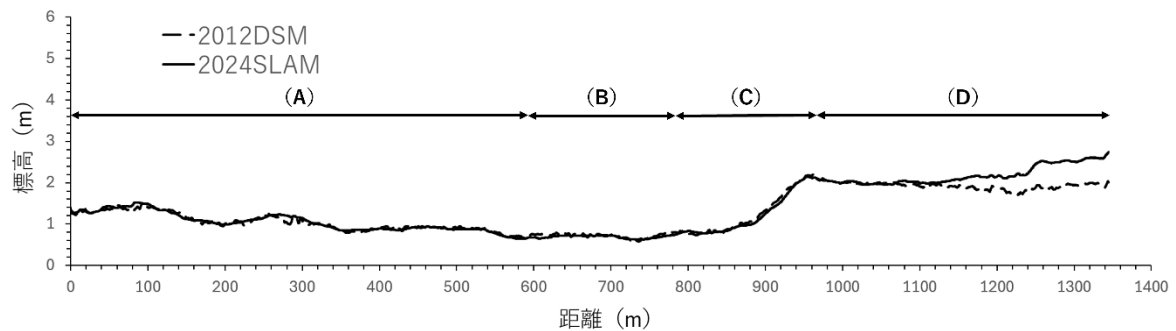


図-5 県道 8 号線の地震前後の標高

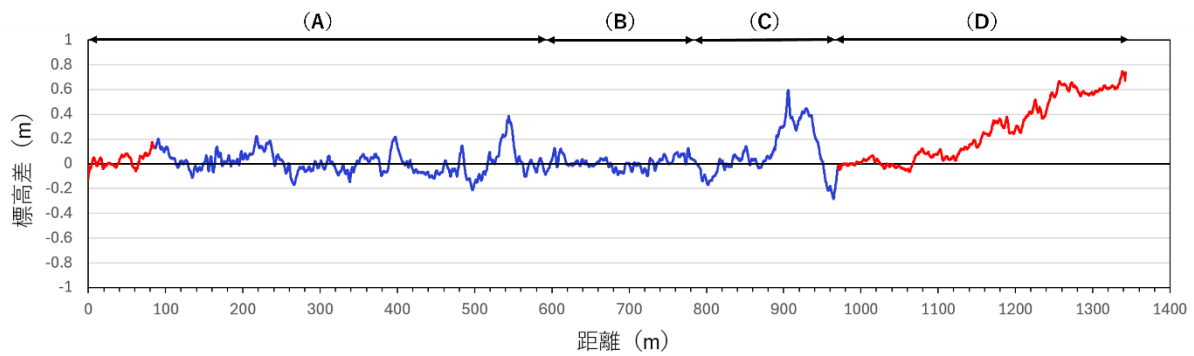


図-6 旧道路の地震前後の標高差

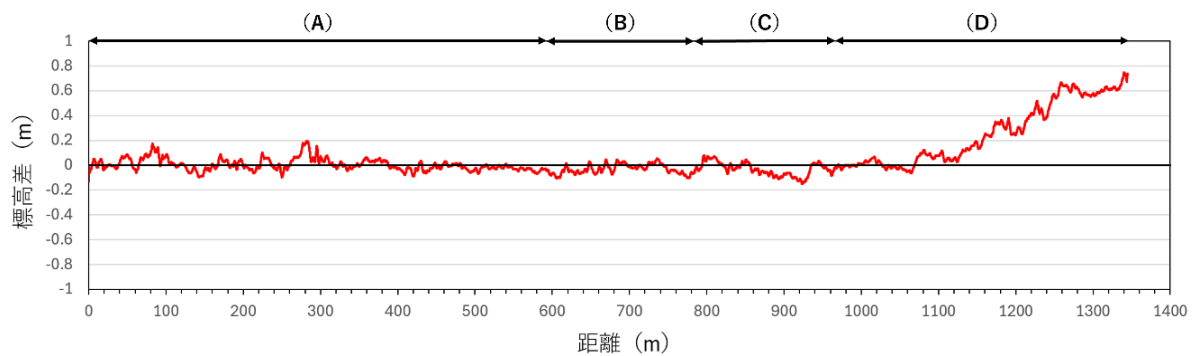


図-7 県道 8 号線の地震前後の標高差

(1) 旧道路における地盤変状

図-6 より、旧道路では区間ごとに地盤変状の大きさや分布に違いがみられた。区間(A)では最大 0.4 m の隆起が確認され、比較的大きな標高差が生じていた。一方、区間(B)では標高差が小さく、顕著な地盤変状は確認されなかった。区間(C)では最大 0.6 m の隆起が確認され、局所的に大きな地盤変状が生じていた。このことから、旧道路では地盤変状が一様に生じておらず、区間によって変状量およびその分布が異なることが確認された。

(2) 県道 8 号線における地盤変状

図-7 より、県道 8 号線では、区間(A)で最大 0.2 m 程度の隆起が確認された。区間(B)では標高差が小さく、顕著な地盤変状は確認されなかった。一方、区間(C)では、旧道路との合流部の南西側において、約 50 m にわたり 1.0 m 程度の沈下が連続して確認された。県道 8 号線と旧道路が並行して位置する区間(A)、(B)、(C)では、県道 8 号線の標高差は全体的に小さい傾向を示した。これに対し、旧道路と県道 8 号線が並行しない区間(D)では、北部に向かうにつれて標高差が増加し、0.7 m 以上の隆起が確認された。

(3) 道路配置と地盤変状の関係

旧道路および県道 8 号線の地盤変状を比較すると、宮坂地区における地盤変状は一様に発生したものではなく、道路の位置によって変状量およびその分布に違いがみられることが明らかとなった。特に、県道 8 号線と旧道路が並行して位置する区間では、県道 8 号線の標高差が比較的小さい一方、両道路が並行しない区間では大きな標高差が確認された。このことから、液状化に伴う側方流動によって生じた地盤変状の分布には、道路等の人工構造物の配置が関係している可能性が考えられる。

ただし、本研究で確認された標高差の違いが道路配置のみによって生じたものとは断定できない。地盤条件や旧地形、地下水条件なども液状化および側方流動による地盤変状に影響すると考えられるため、今後はこれらの条件と地盤変状の

分布を併せて検討する必要がある。

5. おわりに

本研究では、石川県河北郡内灘町宮坂地区を対象として、地震前後の三次元地形データから標高差を算出し、2024年能登半島地震による液状化・流動化に伴う地盤変状を定量的に評価した。その結果、旧道路および県道8号線沿いでは、区間によって沈下および隆起の発生状況や標高差の大きさが異なることが確認された。特に、旧道路では最大0.6 m程度、県道8号線では0.7 m以上の標高差が確認され、地盤変状が空間的に一様ではないことが明らかとなった。また、県道8号線と旧道路の配置と県道8号線の標高差を比較することで、道路配置と地盤変状の分布との間に一定の関係がみられることが示唆された。今後は、地盤条件、旧地形、地下水条件等を含めた検討を行い、地盤変状の発生要因を明らかにする必要がある。

謝辞

本研究は、北陸地域づくり協会から研究助成を受けて実施した。また、国土地理院が公開する数値標高モデルおよび地理院タイルを利用した。ここに記して、深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Shiga, M., Kiyota, T. and Ikeda, T.: Spatial correspondence between historical land modification and liquefaction-induced ground deformation during the 2024 Noto Peninsula Earthquake in Uchinada Town, Japan, *Geoenvironmental Disasters*, Vol. 13, No. 43, 2026, <https://doi.org/10.1186/s40677-026-00395-3>.
- 2) 清田隆, 栗間淳, 池田隆明, 志賀正崇: 令和 6 年能登半島地震石川県内の地震被害調査 (速報), 2026, https://committees.jsce.or.jp/eec205/system/files/DamageReport_IshikawaChuou_Tokyo_Nagaoka_ver.2.1.pdf (2026.10.3 閲覧) .
- 3) 齊藤竜也, 池田隆明, 志賀正崇: 2024 年能登半島地震における内灘町で発生した液状化・流動化による地盤変状の定量的評価, *土木学会論文集*, Vol. 82, No. 13, 2026, <https://doi.org/10.2208/jscej.25-13289>.