

令和6年能登半島地震における高岡市伏木地区の液状化被害と地盤特性

山形大学工学部 三浦篤史 三辻和弥 小國惇浩

1. はじめに

著者らは令和6年能登半島地震において、液状化被害が見られた富山県高岡市伏木地区および吉久地区での被害調査を行い、いくつか報告してきた¹⁾。1, 2回目の調査は2024年2月に、3回目の調査は2024年3月に実施し、そこでは建物の応急危険度判定、建物や電柱などの傾き、液状化によるものと思われる噴砂、それぞれの位置を目視で確認し地図上に記した。また、単点常時微動観測による地盤振動特性の検討も行った。応急危険度判定、建物や電柱の傾き、噴砂の分布から概ねの液状化被害範囲を推定し、常時微動観測から得られたH/Vスペクトル比では被害範囲における卓越振動数は1.0~2.0Hz程度であることを確認した。応急危険度判定から被害範囲の北西側で被害が著しいことが確認され、被害範囲で行った常時微動観測点数も必ずしも十分ではなかったため、2024年9月にあらためて常時微動観測を中心とする調査を行った。そこでは被害範囲における単点による常時微動観測点を追加し、あわせて常時微動水平アレー観測により表層地盤のS波速度構造を推定した。被害範囲における単点常時微動観測では概ね1, 2回目の調査同様に1.0~2.0Hzに卓越振動数のピークが見られた一方で、一部被害範囲の中でも3.0~5.0Hzと確認された地点もあった。常時微動水平アレー観測による表層地盤のS波速度構造推定では、H/Vスペクトル比の結果と推定したS波速度構造を用いて次元重複反射理論により求めた表層地盤の増幅特性を比較し、卓越振動数ではH/Vスペクトル比の結果と次元重複反射理論の結果は概ね一致する結果となった。

本報では上記3回に分けて行った被害調査及び単点常時微動観測、常時微動水平アレー観測の結果について報告する。

2. 高岡市伏木地区の液状化被害

図1には富山湾に接する高岡市の伏木地区と吉久地区の調査範囲²⁾（青丸）を示しているが、本報では伏木地区（中央青丸）の検討に絞って報告する。図2には国交省で公開されている液状化しやすさレベル³⁾を示すが、図1と比較すると伏木地区で液状化した範囲は危険度2と評価されているところが多く、一部危険度3や4を含む評価となっている。図3には応急危険度判定分布を示すが、応急危険度判定による「危険（赤）」、「注意（黄）」、「調査済（緑）」が色のそれと対応している。この分布が概ね液状化被害範囲と一致すると考えられ、特に範囲の北西側に応急危険度判定が「危険（赤）」や「注意（黄）」と判定された建物が多く見られた。図4, 5, 6, には液状化被害例を示す。被害範囲では図のように至る所で建物や電柱の沈下・傾斜、噴砂が確認された。被害のあった建物の多くが住宅などの小規模建築物であったが、比較的近年に建てられたと考えられる二棟並んだ住宅において、一棟は傾斜し一棟は個別の地盤改良により目視では沈下や傾斜が確認できなかった例なども存在した。



図1 被害調査範囲

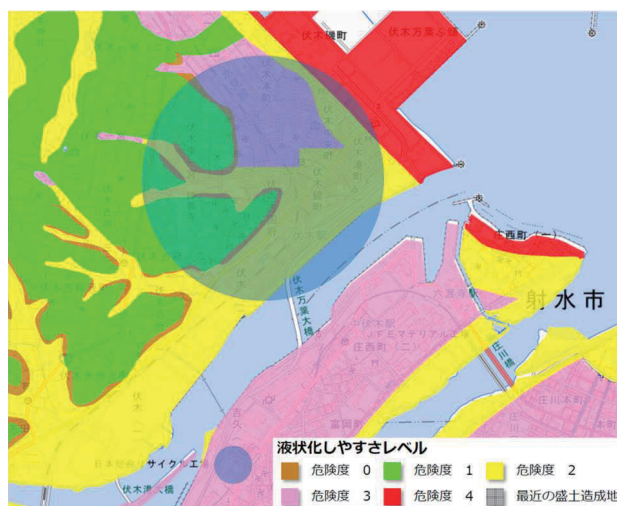


図2 液状化しやすさレベルの分布

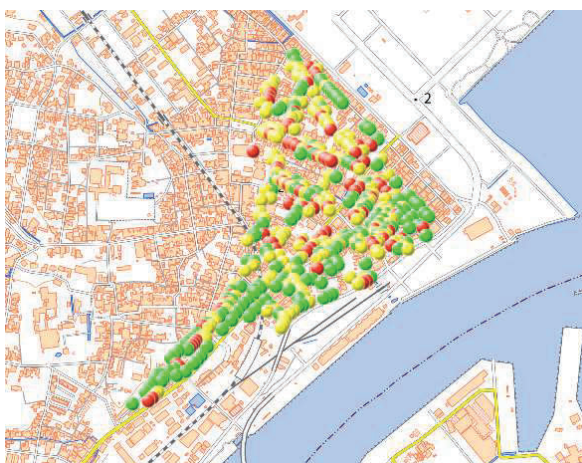


図3 応急危険度判定の分布



図4 傾斜した建物



図5 傾斜した伏木駅前公衆トイレ



図6 液状化による噴砂

3. 常時微動観測

図7には伏木地区の液状化範囲と実施した常時微動観測点の分布を示す。図中の地図は国土地理地図²⁾に基づいており、地形分類より、「赤：高い盛土（埋立地）」，「薄黄色：砂州」，「緑：氾濫平野」，「橙色：台地・段丘」，「紫：崖・段丘涯」となっている。黄色△は2024年2月および3月に実施した単点での常時微動観測点（#1-#5），橙色△は2024年9月に追加した観測点（#6-01-#7-01）を表している。緑の星印はJMA観測点を表し、図中の青い網掛けで囲った部分は液状化したと考えられる範囲を示している。また、あわせて傾斜が顕著であった電柱の位置を青丸でプロットしている。図8に#1-#5，#6-01-#7-01で得られたいくつかのH/Vスペクトル比を示す。周囲に噴砂が見られ、液状化した地点と考えられる#1，#4，#5では表層地盤の卓越振動数が1.0-2.0Hzに見られ，比較的表層が軟弱な性質であることが示唆される一方，周囲に液状化被害が見られなかった#2と#3では4.0-5.0Hzの成分が卓越しており，比較的硬質な地盤特性であることが推定される。周辺で噴砂や住宅の沈下・傾斜が確認された#6-01～08では，#6-01,03，SNMにおいて1.0～2.0Hzに卓越振動数と思われるH/Vスペクトル比のピークが見られる。#6-04や#6-07では3.0Hz～5.0Hz付近にピークが見られ，やや高振動数側に評価される形となった。地元の方の話では今回の液状化範囲では大昔に海であった場所を埋め立てたとの話もあり，地域の歴史を記した地誌などにもそういった記述が見られるものもあるが，これについてはさらに文献等による調査を進める必要があると考えている。そういったことも踏まえ一部高振動数側に評価された地点はあるものの液状化被害のあった地区では地盤の卓越振動数は概ね1.0-2.0Hzと考えられそうである。JMA観測点である#7-01の結果からは明瞭なピークが見られず，地形区分より「台地・段丘」に位置しているため，比較的堅固な地盤であり軟弱な表層はほとんど存在していないと考えられる。

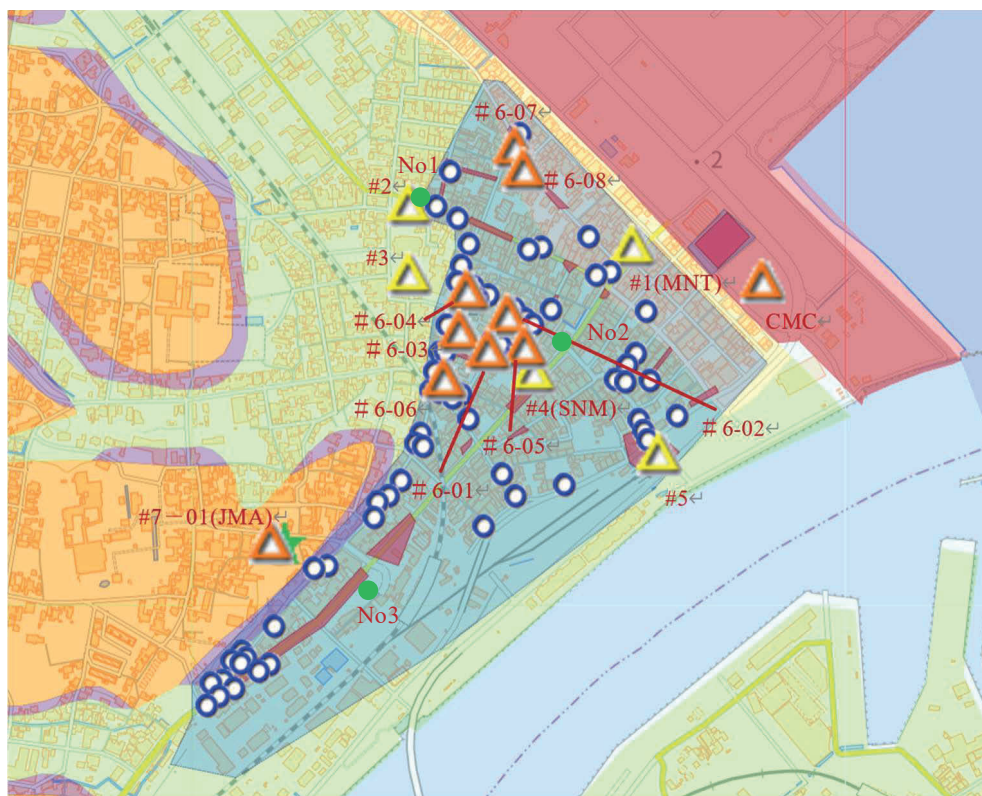


図7 常時微動観測点分布

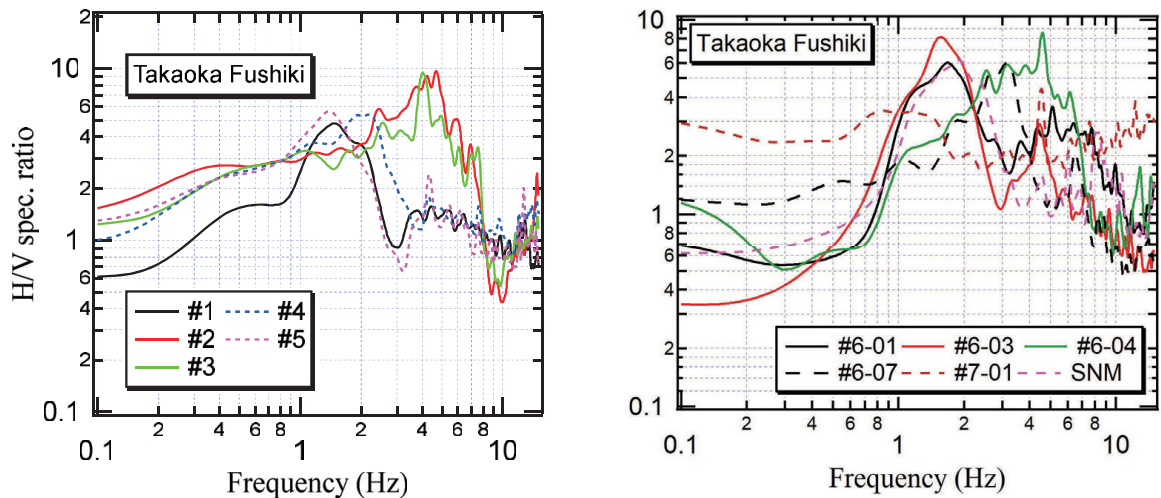


図8 常時微動観測点の H/V スペクトル比

4. 水平アレー観測による S 波速度構造の推定

図7のMNT, CMC, SNMの3箇所においては常時微動水平アレー観測を実施し、表層地盤のS波速度構造の推定を行った。水平アレー観測は、正三角形の3つの頂点と重心位置に計4つのセンサーを設置して行い、各地点で配置した三角形アレーの大きさはMNTで1辺5m, 10m, CMCで1辺36m, 18m, 10m, SNMで1辺12m, 5mとなっている。図9に推定した位相速度を示すが、これらは長郁夫博士らが公開⁴⁾しているBIDO2.0を用いて空間自己相関法により求めた。図10に各地点における水平アレー観測から推定したS波速度構造を示す。あわせて図7のNo1, No2, No3(緑丸)ではボーリングデータが公開⁵⁾されており、今回水平アレー観測を行った場所に近いNo2のデータを使い、太田・後藤の式⁶⁾でN値からS波速度に変換したグラフを図10に重ねている。MNTとSNMではGL-5m以浅の範囲で $V_s=200\text{m/s}$ と評価され、N値から得られたものより高く評価される結果となったものの、ボーリングデータが得られているGL-20mまでは、3か所とも $V_s=150\text{m/s}\sim 200\text{m/s}$ 程度で評価され概ね一致している。また、推定したS波速度構造の妥当性を検証するため、各地点で求めたH/Vスペクトル比の結果と推定したS波速度構造を用いて次元重複反射理論により求めた表層地盤の増幅特性を比較したものを図11に示す。卓越振動数で比較すると、H/Vスペクトル比の結果と次元重複反射理論の結果はピークが概ね一致する結果となった。

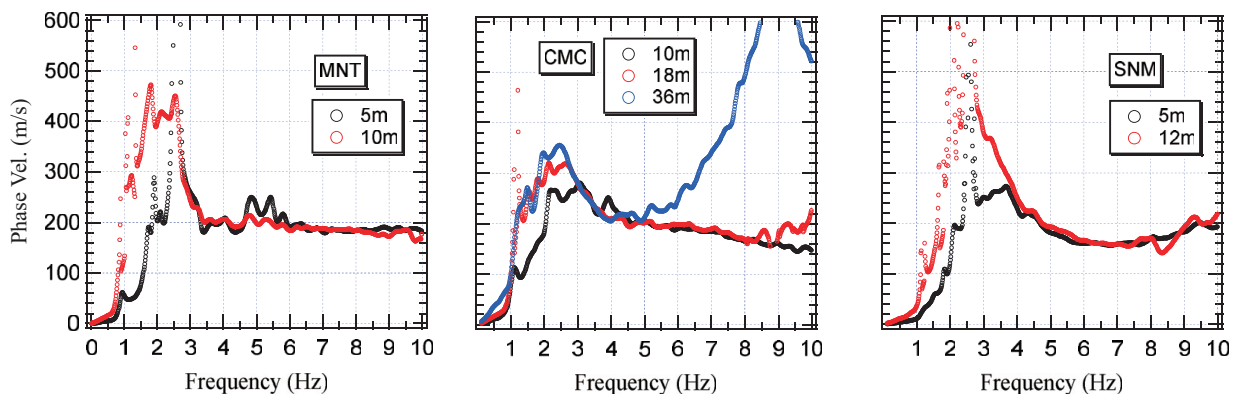


図9 各地点で推定した位相速度

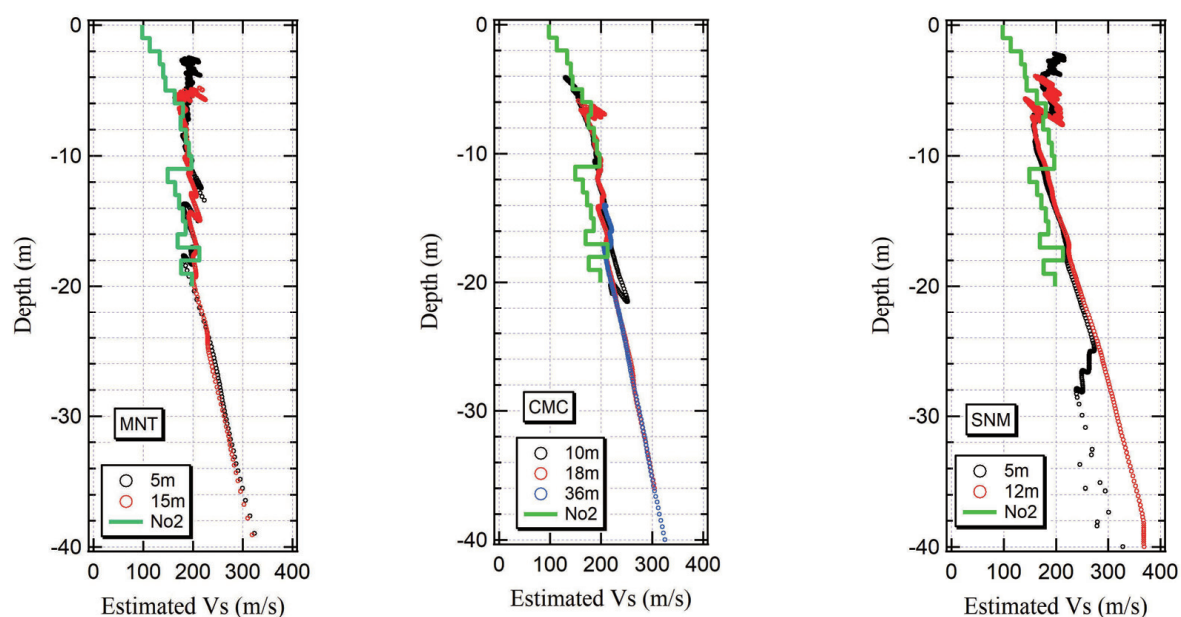


図10 各地点で推定したS波速度構造

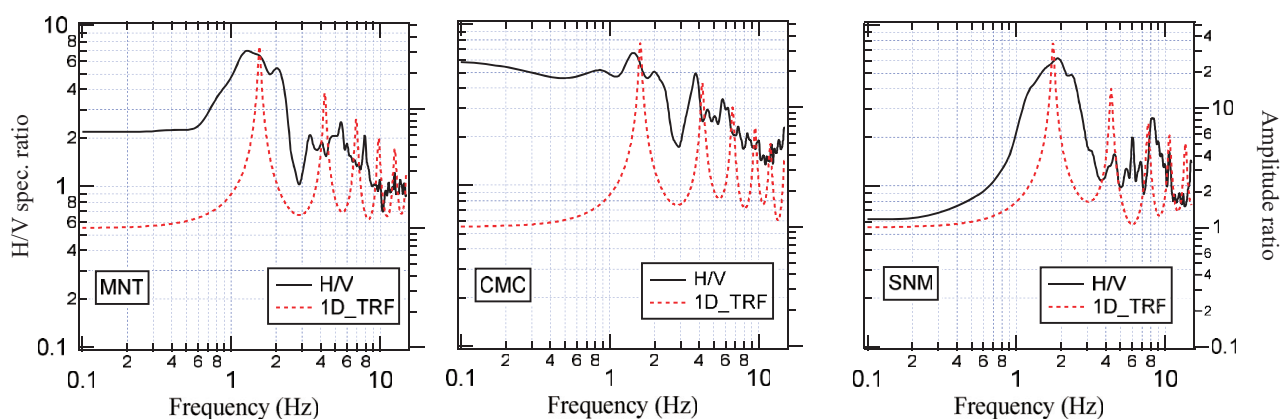


図11 H/Vスペクトル比と推定したS波速度構造から求めた1次元理論波動伝播特性

5. まとめ

富山県高岡市伏木地区の液状化被害および常時微動観測によって推定した表層の地盤特性について報告した。今回の地震により液状化した範囲を応急危険度判定の分布、建物や電柱の沈下・傾斜、噴砂などから推定し、公開されている液状化しやすさマップと比較したところ、推定した液状化範囲では一部危険度「3」や「4」となっているものの、危険度「2」と評価されている場所が多かった。また、応急危険度判定分布より、推定した液状化範囲の北西側で建物被害が顕著であった。

2024年2月及び3月に行った単点常時微動観測では液状化範囲外と想定される#2や#3においてH/Vスペクトル比の卓越振動数が4.0Hz～5.0Hz程度と評価され、液状化範囲内では1.0Hz～2.0Hz程度の卓越振動数を示す結果となった。2024年9月には推定した液状化範囲内を中心に常

時微動観測を行った。単点観測では液状化範囲内の卓越振動数であると考えられる1.0Hz～2.0Hzに評価できた地点もあったが、いくつかの地点では3.0Hz～5.0Hz程度とやや高振動数側に卓越振動数が評価される地点もあった。

同年9月の観測では常時微動水平アレー観測によりS波速度構造の推定を行った。推定したS波速度構造と公開されているボーリングデータのN値からS波速度構造に変換したものと比較したところ、概ね説明できるものとなったが、GL-5m以浅の範囲では観測により推定したS波速度構造の方が V_s の値が大きく評価されるものもあった。また、推定したS波速度構造と推定結果を用いて求めた表層地盤の増幅特性は、単点でのH/Vスペクトル比を概ね説明できるものとなった。

この度の令和6年能登半島地震による被害のお見舞いを申し上げますとともに、一日も早い復旧を心からお祈り致します。

謝 辞

常時微動観測の実施に当たっては、東北大学災害科学国際研究所・大野晋准教授のご協力を得ました。また現地での観測については地元関係各位のご協力を得ました。

参考文献

- 1) 三辻和弥 小國惇浩 三浦篤史, 日本地震工学会第18回年次大会梗概集, 20240153
- 2) 国土地理院地図 Vector, <https://geolib.gsi.go.jp>
- 3) 富山県内の液状化しやすさマップ, <https://www.hrr.mlit.go.jp/ekijoka/toyama/toyama.html>
- 4) Tada, T., I. Cho, and Y. Shinozaki, New horizons in the utility of horizontal-motion microtremors, Proc. 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Center for Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2010.
- 5) 高岡市 <https://www.city.takaoka.toyama.jp/soshiki/toshikeikakuka/2/1/3/11103.html>
- 6) Ohta, Y., Goto, N., Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 6, No.2, pp.167-187, 1978