

第3章 地盤の液状化

3. 地盤の液状化

3.1 液状化の発生地点

液状化による被害は主に港湾地区の埋立地と河川流域の沖積地盤において発生した。現地調査によって噴砂が確認された地点を図 3.1-1 に示す。なお、同図は沼田ら¹⁾の資料に吉田ら²⁾によって確認された噴砂の発生地点を加筆したものであり、今回の地震における全ての液状化発生地点を表すものではない。また、同図中の破線の円は栗林らによる液状化限界震央距離³⁾を示したものであり、次式に今回の本震の気象庁マグニチュード 6.9 を代入して求めた 51.6km の半径を持つ円である。ここで、 R は液状化限界震央距離(km)、 M は気象庁マグニチュードである。

$$\log_{10} R = 0.77M - 3.6$$

同図より、珠洲市の正院町、蛸島漁港、飯田港や伏木富山港が液状化限界震央距離より離れた箇所であるにもかかわらず液状化が発生していることがわかる。特に珠洲市は、後述するように 1993 年能登半島沖地震の際にも液状化が発生しており、液状化危険度の高い地域といえる。

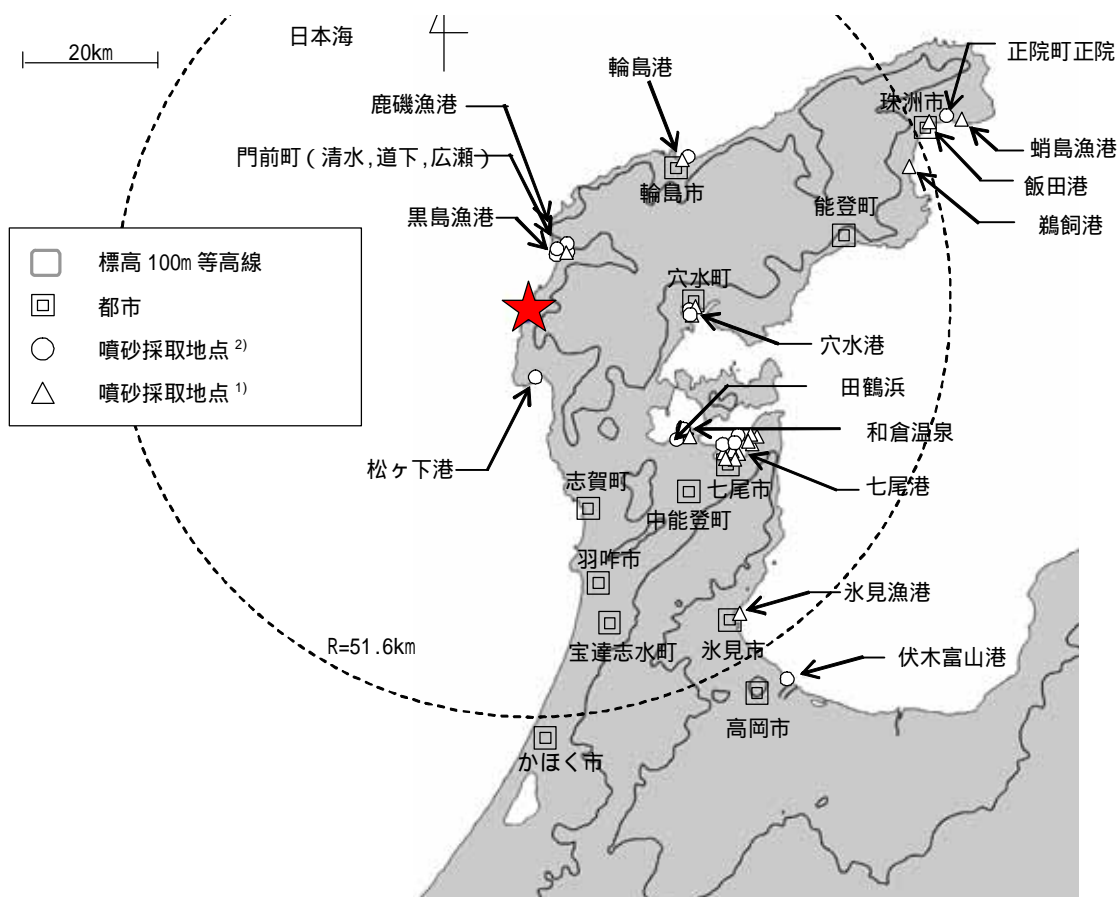


図 3.1-1 液状化による噴砂の発生地点

3.2 噴砂の粒度組成

現地調査では液状化による構造物被害が発生した地点において、周辺の地表面に噴出した噴砂を採取した。図 3.2-1 は噴砂の粒径加積曲線を描いたものであり、港湾の施設の技術上の基準・同解説⁴⁾に記されている、液状化の可能性の高い粒径分布の範囲（均等係数の小さい砂）も示し

た。なお、 0.075mm 以下の細粒分についての沈降分析結果は同図に含まれていない。同図によれば、液状化の可能性ありと判断される粒径の範囲に全ての試料が入っており、既往地震における噴砂の粒度分布と調和的であるといえる。

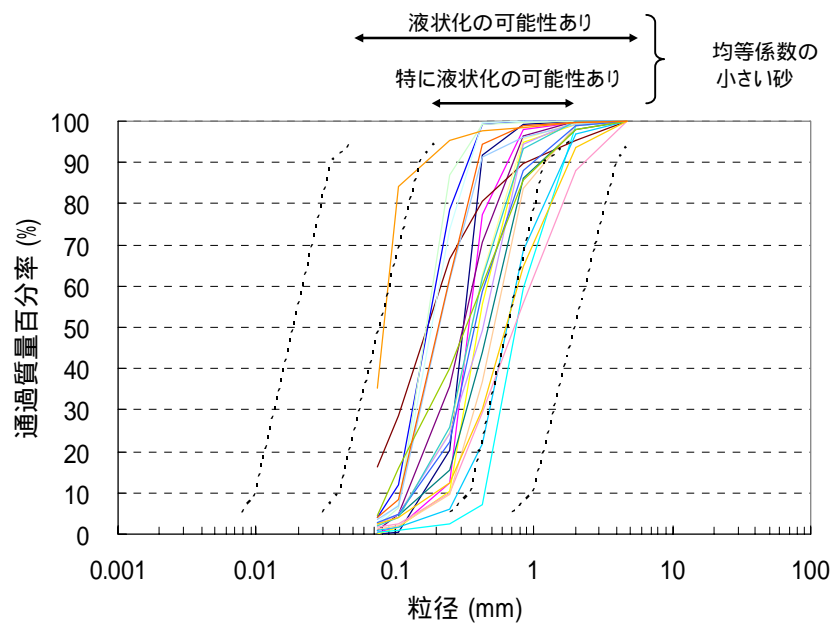


図 3.2-1 噴砂の粒径加積曲線

3.3 港湾施設の被害

港湾地区における液状化は石川県の志賀町、輪島市、珠洲市、穴水町、七尾市、そして、富山県の氷見市、高岡市の各市町の海岸埋立地で発生し、特に港湾施設の多い七尾市での被害が顕著であった。本節では、その中から主だった被害の概要を紹介する。

3.3.1 志賀町

写真 3.3.1-1 は志賀町西海風戸にある松ヶ下港の被害を示したものである。矢板護岸が海側にはらみ出し、護岸背後の道路が舗装継目を境に海側に移動して約 20cm の亀裂が発生した。また、その背後の路面は約 20cm 沈下し、亀裂内部には噴砂が堆積していた。



写真 3.3.1-1 護岸背後道路の亀裂

3.3.2 輪島市

写真 3.3.2-1 は輪島市門前町黒島町にある黒島漁港の被害を示したものである。護岸背後のエプロン表面の亀裂より大量の噴砂が発生し、大きい所で数 10cm の地盤沈下が生じていた。



写真 3.3.2-1 エプロン部の亀裂と噴砂

輪島市門前町鹿磯にある鹿磯漁港の位置を図 3.3.2-1 に示す。同漁港は 3 つの岸壁を有しているが、新しい西側の岸壁（地点 ，写真 3.3.2-2）は健全であり、古い北側の岸壁（地点 ，写真 3.3.2-3）はエプロン部が沈下する被害が発生していた。一方、建設中の東側の岸壁（地点 ，写真 3.3.2-4）は、護岸の一部が海側に傾斜し、背後にあるエプロンも大きく変形していた。



図 3.3.2-1 鹿磯漁港



写真 3.3.2-2 地点



写真 3.3.2-3 地点



写真 3.3.2-4 地点

写真 3.3.2-5 は輪島市マリントウンにある輪島港の被害を示したものである。建設中の-7.5m ケーソン岸壁では大きい所で水平方向に約 10cm，鉛直方向に約 5cm のケーソン同士の相対変位が生じ，背後のエプロン部には約 40cm の段差が発生していた。また，写真 3.3.2-6 に示すように岸壁背後の地盤には大量の噴砂が発生していた。



写真 3.3.2-5 エプロン部の沈下



写真 3.3.2-6 背後地盤の噴砂

3.3.3 穴水町

写真 3.3.3-1 は穴水町由比ヶ丘にある穴水宝山マリーナの被害を示したものである。ヨットの係留護岸背後のエプロン部が約 20cm 沈下していた。



写真 3.3.3-1 エプロン部の沈下

3.3.4 七尾市

図 3.3.4-1 に七尾市の七尾港で発生した液状化被害の代表的地点，写真 3.3.4-1～4 にそれらの被害写真を示す。被害程度の最も大きかったのは写真 3.3.4-1 に示す大田埠頭の-10m 矢板岸壁 1 号の被害である。エプロン背後の埠頭用地で発生した液状化により約 130m に渡り最大で約 50cm の段差が発生し，矢板天端は 20cm 程度海側に移動していた。同埠頭は輸入木材の荷揚場であり，その作業に大きな支障が生じたが，隣接する 2 号岸壁ではサンドコンパクションパイル工法，グラベルドレーン工法，ロッドコンパクション工法による地盤改良が施されていたため被災程度は低く，1 号岸壁の代貸機能を果たしていた⁵⁾。



図 3.3.4-1 七尾港における液状化被害地点



写真 3.3.4-1 エプロン部の沈下(地点)



写真 3.3.4-2 道路の亀裂(地点)



写真 3.3.4-3 岸壁のはらみ出し(地点)



写真 3.3.4-4 インターロッキングの沈下(地点)

3.3.5 富山県高岡市

写真 3.3.5-1 は富山県高岡市にある富山港伏木万葉ふ頭で発生した噴砂を示したものである。港湾施設に主だった被害は確認されず，造成用地の一部で噴砂が確認された程度であった。同地点の噴砂は図 3.1-1 に示すように震央から最も遠い地点で確認されたものであるが，埋立完成が 2000 年であり地盤が比較的若齢であったことがその一因と考えられる。



写真 3.3.5-1 震央から最遠地点の噴砂

3.4 水処理施設の被害

市街地では液状化による下水用マンホールや浄化槽の浮上，また，液状化に伴う地盤変形による下水管渠や井戸などの地中構造物の被害も発生した。写真 3.4-1～2 に門前町清水における浮上被害を示す。一方，同町を流れる八ヶ川に沿って走る国道 249 号ではアスファルト舗装の波打ち等の変状が顕著であり，周辺地盤の沈下によって数センチ程度ではあるが道路からマンホールが突出する現象も多数確認された。同町は木造家屋の全半壊被害が多数発生した地域であるが，地下水位が高く非常に軟弱な地盤であったことがこれらの被害の要因となったと考えられる。



写真 3.4-1 マンホールの浮上



写真 3.4-2 浄化槽の浮上

3.5 木造建築物の被害

写真 3.5-1～2 は輪島市門前町清水における木造 2 階建て建物の液状化による被害を示したものである。建物前の水路に積まれた護岸ブロックが地震動で水路に転落し，その背後地盤には水路と平行の亀裂が生じ，基礎の立ち上がり部や犬走り部には水路と平行の亀裂が多数生じていた。建物の周囲には液状化による噴砂が多数発生しており，建物の基礎地盤が水路方向に側方流動したことが亀裂の要因と考えられる。なお，住民の証言によれば地震直後には灰色の泥水が噴出し，その後は透明な水が噴出していたとのことである。

一方，写真 3.5-3～4 は輪島市門前町広瀬における同様の被害を示したものである。建物基礎地盤で発生した液状化により地盤が側溝の開放面方向に移動し，玄関前の土間コンクリートに亀裂が発生していた。



写真 3.5-1 地盤の側方流動



写真 3.5-2 基礎の引張亀裂



写真 3.5-3 地盤の側方流動



写真 3.5-4 土間コンクリートの引張亀裂

3.6 鉄筋コンクリート建築物の被害

写真 3.6-1 は七尾市田鶴浜支所庁舎における液状化被害を示したものである。建物は基礎杭により支持されていたため健全であったが、基礎地盤の液状化により建物周辺には大量の噴砂が発生しており、約 15cm の地盤沈下が生じていた。なお、庁舎横の地盤上には震度計が設置されており、そこで観測された計測震度は 6.2、最大加速度は 745.9gal であった。液状化地盤における記録として非常に貴重なデータと考えられるが、地震により震度計が傾斜していたことが後に判明した。

写真 3.6-2 は七尾市和倉町にある和倉温泉多田屋における被害を示したものである。建物周辺地盤が液状化により沈下したことにより、地盤と構造物基礎との間に約 10cm の相対変位が発生した。そのため、同写真に示すようにウッドデッキと地盤との間に隙間ができたり、給排水パイプに抜けが生じるなどの被害が発生した。



写真 3.6-1 建物周辺地盤の沈下



写真 3.6-2 建物周辺地盤の沈下

3.7 地盤の側方流動

写真 3.7-1～3 は七尾市大田町の水路護岸で発生した側方流動による被害を示したものである。護岸背後地盤が液状化し、地盤が用水方向に流動したことによって護岸が内側に押された。これにより、図 3.7-1 に示すように水路横断方向に設置されていた護岸の支え 12 本のうち 5 本が曲げ破壊を起こしていた。図 3.7-2 は地震前後の護岸と地盤の変形状況を示した模式図である。測定の結果、護岸天端において水路幅が約 40cm 減少したことが明らかとなった。



写真 3.7-1 支え構造の曲げ破壊



写真 3.7-2 護岸背後からの噴砂

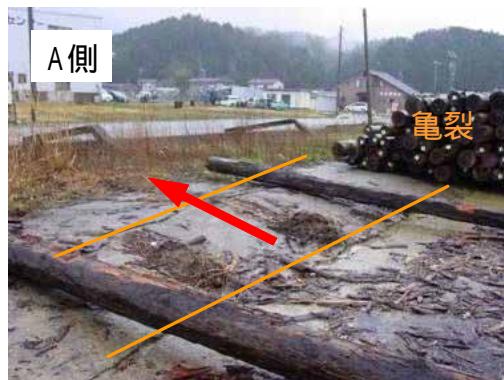


写真 3.7-3 護岸背後地盤の亀裂と噴砂

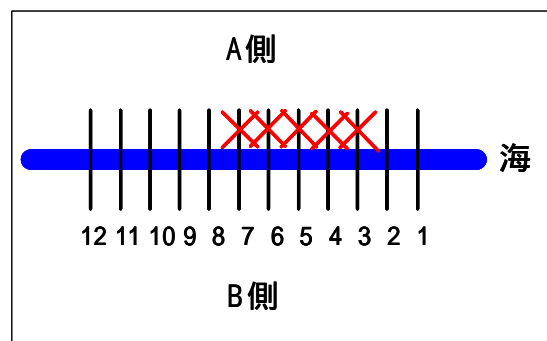


図 3.7-1 曲げ破壊の発生地点

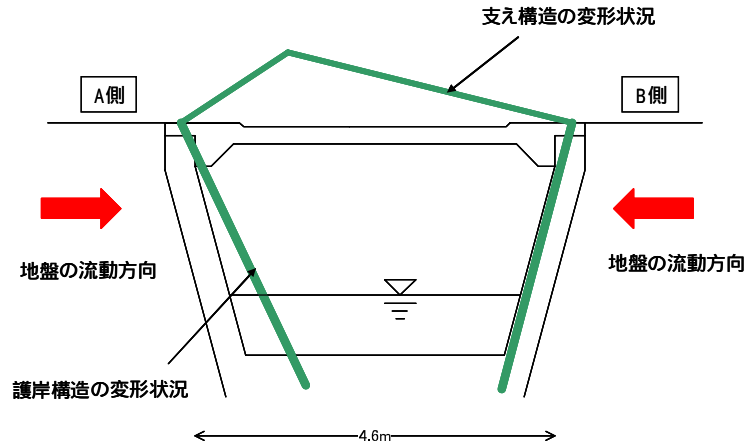


図 3.7-2 護岸と地盤の変形状況

3.8 再液状化現象

一度、液状化した地盤であっても地震後の土粒子の再堆積状況や地震動の強さによって再び液状化が発生することがあり、これを再液状化現象と呼んでいる。1993年能登半島沖地震では珠洲市において液状化被害が多数発生したが、今回の地震において珠洲市の鵜飼魚港、正院町熊谷、正院町正院で数十メートル程度の範囲のほぼ同一地点で再液状化が確認された¹⁾。写真 3.8-1~2 は 1993年能登半島沖地震における正院町正院の市営住宅の基礎地盤における液状化被害を示したものである。今回の地震では写真 3.8-3~4 に示すように、市営住宅から約 25m 離れた地点において液状化による噴砂を確認した。付近の住民によれば 1993年に比べると今回の地震動は非常に小さく周辺地域での被害も軽微であったとのことである。



補強コンクリートブロック造市営住宅の建物（正院町正院、B-1, A棟）



写真20 市営住宅の沈下（正院町正院）

写真 3.8-1~2 1993年能登半島沖地震における市営住宅の液状化被害^{6),7)}



写真 3.4.8-3~4 2007 年能登半島地震における市営住宅付近の液状化被害

3.9 まとめ

今回の地震において顕著な液状化被害の発生した地点は、震源に近い輪島市門前町と港湾施設の多い七尾市であり、地盤の共通点としては海岸埋立地、人工造成地、埋戻地盤などの若齢の軟弱地盤が主であったことが挙げられる。液状化により地上構造物に甚大な被害が生じる事例は少なかったが、上下水道施設などの地中構造物に関しては管路破損による機能被害が発生した。また、興味深い事例として珠洲市では再液状化現象が確認された。

参考文献

- 1) 沼田淳紀，上明戸 昇，三輪 滋，池田隆明：2007 年能登半島地震における液状化，土木学会地震工学論文集，Vol.29，pp.20-29，2007．
- 2) 吉田雅穂，宮島昌克：平成 19 年（2007 年）能登半島地震 - 液状化による構造物被害 - ，
<http://www.jsce.or.jp/report/42/news3files/070401ppt/ekijyoka.pdf>
- 3) 栗林栄一，龍岡文夫，吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所，第 30 号，pp.1-9，1974．
- 4) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，上巻，p.282，1999．
- 5) 菅野高弘：港湾施設の被害概要，5 学会合同 2007 年能登半島地震災害調査速報会，pp.34-35，2007．
- 6) 北浦 勝他：1993 年能登半島沖地震に関する調査研究，文部省科学研究費重点領域研究自然災害の予測と防災力研究成果，口絵 p.4，1993．
- 7) 北浦 勝，宮島昌克，池本敏和，吉田雅穂：1993 年 2 月 7 日能登半島沖地震調査報告 - 速報 - ，付録 p.6，1993．