# 2007年能登半島地震における液状化

沼田 淳紀<sup>1</sup>·上明戸 昇<sup>2</sup>·三輪 滋<sup>3</sup>·池田 隆明<sup>4</sup>

1飛島建設株式会社	技術研究所	(〒270-0222	千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)
	E-mail: atsunori	numata@tobi	shima.co.jp
2飛島建設株式会社	技術研究所	(〒270-0222	千葉県野田市木間ヶ瀬5472)
]	E-mail: noboru 1	kamiakito@tob	ishima.co.jp
3飛島建設株式会社	技術研究所	(〒270-0222	千葉県野田市木間ヶ瀬5472)
	E-mail: shiger	ı miwa@tobisl	hima.co.jp
4飛島建設株式会社	技術研究所	(〒270-0222	千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)
	E-mail: takaak	i_ikeda@tobisł	nima.co.jp

2007 年3月25日9時42分頃に発生した能登半島地震(気象庁マグニチュード6.9)では、震央近くを中心に震度6強の大きな地震の揺れを観測した.住家は、主に震央に近い能登半島西側、穴水町、七尾市を中心に、全壊638棟、半壊1,563棟の大きな被害に至った.一方、液状化も能登半島各地で発生したが、主には半島西側で多数の液状化が確認された.能登半島では、1993年能登半島沖地震においても珠洲市で液状化が発生しており、今回の地震では一部で再液状化も確認された.本論文では、2007年能登半島地震における液状化について、液状化発生地点の特徴、液状化による被害、再液状化、液状化により発生した噴砂の粒度組成、幾つかの地点で実施した液状化判定結果について、地震直後における知見を述べる.

# *Key Words:* Earthquake, Grain size distribution, Liquefaction, Noto Hanto earthquake in 2007, Reclaimed ground, Site investigation

## 1. はじめに

2007年3月25日9時41分57.9秒に能登半島西岸沖, 北緯37.220°,東経136.685°,震源深さ11kmを震源と する、マグニチュード 6.9の能登半島地震が発生した (2007年6月18日24時現在、気象庁発表).この地震 では、最大震度6強の揺れが輪島市、七尾市、穴水町で 観測され(気象庁発表),K-NET<sup>1)</sup>によれば、富来で最大 加速度945cm/s<sup>2</sup>(3成分合成)、穴水で最大速度104cm/s (3成分合成)が観測された.これによる人的被害は、 死者1名、負傷者(重傷)72名、負傷者(軽傷)287名、 住家被害は、全壊638棟、半壊1,563棟、一部破損13,556 棟(2007年6月14日15:00総務省消防庁発表(第46報)) であった<sup>2</sup>.

この地震により,液状化も能登半島各地で発生した. 能登半島では,1993年能登半島沖地震でも液状化が能登 半島東部で発生しており<sup>3)</sup>,一部で再液状化が確認され た.本論文では,2007年能登半島地震における液状化に ついて,液状化発生地点の特徴,液状化による被害,再 液状化,液状化により発生した噴砂の粒度組成,幾つか の地点で実施した液状化判定結果について、地震直後に おける知見を述べる.

#### 2. 液状化発生地点と被害

図-1に、今回の地震で確認された液状化発生地点を 示す.この図中の点には、著者らが液状化を確認した地 点に、國生ら<sup>4</sup>、吉田・宮島<sup>9</sup>、吉田<sup>6</sup>、大島<sup>7</sup>、基礎地



図-1 2007 年能登半島地震における液状化発生地点



図-2 2007 年能登半島地震で観測された地震の揺れ

盤コンサルタンツ<sup>®</sup>によるデータを加えた.なお,ここ で液状化発生地点とは、液状化によって発生する噴砂を 確認した地点である.したがって、地表の非液状化地盤 がある程度厚いなどの理由で、その下位で液状化が発生 していても噴砂が生じない場合などを含まない.図中に は、目安のために栗林ら<sup>®</sup>が示した液状化の生じる限界 震央距離を示した.限界震央距離は式(1)で示される.

液状化が発生した地点は,限界震央距離をやや越えた 富山県高岡市伏木富山港の伏木万葉埠頭や石川県珠洲市 熊谷町や正院町正院などでも確認されたが,概ね限界震 央距離の範囲内であったことがわかる.

図-2 に今回の地震で観測された各地の地震の揺れを 示す.最大加速度と最大速度はK-NET<sup>1)</sup>,KiK-net<sup>10</sup>,気 象庁<sup>20</sup>のデータで,計測震度はK-NET<sup>11</sup>,気象庁<sup>20</sup>のデー タである.最大加速度と最大速度は,NSとEW成分の 最大の方を示した.半島北部地域では500cm/s<sup>2</sup>を越える 最大加速度を観測し,速度でも震央付近では50cm/sを越 えた.計測震度も,震央付近では,6強(6.0~6.4)や6 弱(5.5~5.9)が観測され,大きな揺れであったことがわ かる.液状化が発生した地点の中でも震央距離の大きい 珠洲市正院町正院,氷見漁港,伏木富山港の揺れは,最 大加速度が158~174cm/s<sup>2</sup>,最大速度で13~25cm/s,計



図-3 2007年能登半島地震における各市町における住家の 被害件数

測震度で4.5~5.1 (5 弱~5 強)であり、地震の継続時間 や周期特性にもよるが、今回の地震について言えば、液 状化を生じさせる地震外力の目安として、このような揺 れの大きさが考えられる.

図-3 に、地震外力のもう一つの目安として総務省消防庁発表<sup>11)</sup>による各市町における住家の被害件数を示す.

都市名	地盤の種類	被害概要	参考文献
富山県高岡市伏木万葉埠頭※	海岸埋立地	目立った被害はなし	4)
富山県氷見市比美町※	海岸埋立地	道路の亀裂	
石川県七尾市大田町※	海岸埋立地 埋戻地盤	側溝・ボックスカルバートの浮き上がり,道路の段差亀裂,材木 置き場埠頭岸壁背後地大規模に沈下,用水護岸移動	5)
石川県七尾市万行町※	海岸埋立地	岸壁背後地盤沈下	
石川県七尾市矢田新町※	海岸埋立地	埠頭先端エプロン部に亀裂沈下,電柱沈下	
石川県七尾市府中町	海岸埋立地	岸壁背後地盤沈下,インターロッキング乱れ	
石川県七尾市なぎの浦	海岸埋立地	公園内段差	7)
石川県七尾市田鶴浜町	埋戻地盤	建物周辺の沈下,電柱鶏舎	5)
石川県七尾市和倉温泉	海岸埋立地	護岸移動,背後地盤沈下,インターロッキング乱れ	4) 5)
石川県穴水町大町※	海岸埋立地	岸壁背後地盤沈下,道路に亀裂	
石川県穴水町川島※	海岸埋立地	岸壁はらみ出し,背後地盤沈下	
石川県珠洲市宝立町鵜飼※	海岸埋立地	目立った被害はなし、再液状化	
石川県珠洲市熊谷町※	造成地	目立った被害はなし、再液状化	
石川県珠洲市正院町正院	造成地	目立った被害はなし、再液状化	5)
石川県輪島市河合町※	海岸埋立地	道路の亀裂,護岸背後地盤沈下	6)
石川県輪島市門前町道下※	旧河道造成地	公園に亀裂,道路亀裂,浄化槽浮く上がり,住宅地では全壊半壊 多数,	5)
石川県輪島市門前町黒島町	海岸埋立地	岸壁亀裂はらみ出し沈下	
石川県輪島市門前町清水	埋戻地盤	畑の亀裂,住宅横敷地亀裂	5)
石川県輪島市門前町広瀬	埋戻地盤	マンホール浮き上がり、住宅横敷地亀裂	5)
石川県志賀町西海風戸	海岸埋立地	護岸背後道路の陥没	5)
石川県志賀町高浜町	旧河道造成地	建物周囲沈下	8)

表-1 2007 年能登半島地震による液状化地点の地盤の種類と主な被害

図中には、全壊棟数:半壊棟数:一 部破損棟数を示した. 全半壊は輪島 市が圧倒的に多いが、その多くは震 央近くの半島西側におけるものであ る. 次いで, 穴水町, 七尾市, 志賀 町が多く、これらの市町より遠方で は急激に全半壊数が減ることがわか る. 液状化が発生した地点の中でも 震央距離の大きい珠洲市正院町正院 がある珠洲市では、全半壊0棟、一 部破損138棟で、氷見漁港、伏木富 山港の位置する富山県では、全半壊 および一部破損は0棟であった.し たがって、震央距離が大きく揺れに よる住家被害が発生しないような地 域においても、液状化は発生する可 能性があることがわかる.



**子具 |** 山宅印にわりる岸型自復地盗りて状化による

表-1 に今回の地震における液状化地点の地盤の種類と主な被害を示す.データは、著者らのデータに加え、 図-1と同様に文献4)~8)を参考にした.地盤の種類は、 ボーリングなどによるものではなく、周囲の状況などから判断したものである.液状化地点は、調査した範囲では海岸埋立地、造成地、埋戻地盤、旧河道造成地であり、いずれも通常の沖積地盤に比べると若齢な地盤であったといえる.一方、液状化が発生しなかったことを証明することは実状難しいが、震央付近ではかなり大きな揺れが観測され住家の被害も甚大であったものの、自然地盤における液状化は少なくも目立ったものはなかった.また、能登半島の七尾から羽咋にかけては邑知(おうち)低地帯があり、沖積低地が存在しているが、ここでも目 立った液状化は調査した範囲では報告されていない.し たがって、沖積地盤は若齢な人工地盤に比べれば液状化 抵抗はかなり大きく、逆に、海岸埋立地や埋戻地盤のよ うな若齢地盤は圧倒的に弱い可能性がある.

被害は、道路の亀裂や岸壁背後地の沈下など比較的軽 微なものが多く、写真-1に示す七尾市大田町における 岸壁背後地盤が広い範囲で 30cm 近く沈下した被害が最 も大きな被害の内の一つであった.1964 年新潟地震や 1995 年兵庫県南部地震では、液状化による地盤の流動化 により地表に数メートル以上の変位が生じたり、構造物 が沈下・傾斜したりといった大きな被害が数多く認めら れが今回の地震ではそのような大きな被害は少なかった.



図-4 2007 年能登半島地震の液状化で生じた噴砂の粒度組成



図-6 1993年能登半島沖地震における液状化地点3

# 3. 液状化で発生した噴砂の粒度組成

図-4 に今回の地震の液状化で生じた噴砂の粒度組成 を示す.図中には、過去の地震被害調査事例より求めら れた噴砂の粒度組成の下限値(b-b),沖積地盤に代表さ れる地盤で採取された噴砂の下限値(c-c),噴砂の大部 分が入る上限値(d-d),過去確認された最も粗粒な値 (e-e)を併記した<sup>12)</sup>.噴砂を採取した都市名は表-1に ※印で示した.今回の地震の液状化で採取された噴砂の 粒度組成は、今までの地震で確認された噴砂の範囲内で あった.

図-5に今回の地震の液状化で発生した噴砂の 50%粒 径と中央均等係数の関係を示す. なお,中央均等係数は 式(2)で示される<sup>12</sup>.



過去の調査事例によれば, 噴砂は 50%粒径が 0.2mm 付 近以下では均等粒径だが,それ以上になると粒度配合が 良くなる傾向がわかっている.図中には,過去の平均的 な傾向を一点鎖線で,それより概ね  $3\sigma$ 離れた地点を実







(a) 1993 年能登半島沖地震



(b) 2007 年能登半島地震 写真-2 珠洲市鵜飼漁港における再液状化



図-7 珠洲市鵜飼漁港における両地震による噴砂の粒度組成 の比較



(a) 1993 年能登半島沖地震



(a) 1993 年能登半島沖地震



(b) 2007 年能登半島地震 写真-3 珠洲市飯田港における比較

線で併記した<sup>12</sup>. 今回の噴砂の中央均等係数も今までの 平均的な値とほぼ一致していることがわかる.

## 4. 再液状化

能登半島では、1993年能登半島沖地震においても珠洲市で液状化が発生している.この時の液状化地点を図-6 に示す<sup>3</sup>.この地震では、鵜飼魚港、飯田港、正院町熊谷、正院町正院などで液状化が確認された.今回の地震では、飯田港では液状化が認められなかったが、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地点で再液状化が認められた.

**写真-2** に鵜飼漁港における両地震における液状化状況を示す.今回の地震による噴砂は前回よりも小規模であったが同様な地点で噴砂が発生していることがわかる. 図-7 に,鵜飼漁港における両地震による噴砂の粒度組成の比較を示す.今回の地震による噴砂の粒度組成は前回の地震の粗粒側に位置しているが,ばらつきの範囲内であり,ほぼ同様な地盤が液状化したものと考えられる.

**写真-3**に飯田漁港における両地震の比較を示す.前回の地震では大量の噴砂が確認されたが、今回の地震では噴砂は認められなかった.



(b) 2007 年能登半島地震 写真-4 珠洲市正院町熊谷における再液状化



図-8 珠洲市正院町熊谷における両地震による噴砂の粒度組成の比較

**写真-4**に正院町熊谷における両地震における液状化の状況を示す.両地震共に田圃の中に小規模な噴砂が点在していた. 図-8 に,正院町熊谷における両地震による噴砂の粒度組成の比較を示す.今回の地震による噴砂の粒度組成は細粒側であるが,ばらつきの範囲内であり,ほぼ同様な地盤が液状化したものと考えられる.

前回の地震では,輪島で震度5(ただし旧震度階),最 大加速度131cm/s<sup>2</sup>が観測されており,震央に近い珠洲市 はこれらよりさらに大きな揺れであったと考えられる. 今回は,図-2より最大加速度174cm/s<sup>2</sup>,最大速度25cm/s,



計測震度 5.1 (5 強) であり、揺れは前回と同等または小 さかったと考えられるが、この程度の揺れが起これば再 液状化が生じることがわかる.このように、一度液状化 が生じた地点では、それほど大きな揺れではなくても震 度5強程度となれば前回と同様に液状化を生じる可能性 があるので、過去の液状化発生地点を把握することは将 来起きる地震の液状化発生予測の大きな手掛かりとなり 得るとともに、液状化発生地点は要注意地点であること がわかる.このようになる理由として、液状化地点は、 ①液状化した地盤が密になって強度が高まるように想像 されるが、少なくも部分的には液状化前と同等程度の液 状化抵抗の小さい地盤となる、 ②そもそも地盤構造およ び土質特性的に液状化を発生させやすい地盤である,③ 地形的に液状化を生じさせやすい地震動特性を生み出す 地盤であることが考えられる. 北海道の標津下水では, 1993 年釧路沖地震でマンホールが浮き上がるなどの被 害を生じ埋戻材に砂などが用いられ原型復旧されたが. 翌 1994 年発生した北海道東方沖地震により前年の地震 による被害以上の大きな被害が生じた. そこで, 埋戻材 の液状化を防ぐために砕石による埋戻が行われ 2003 年 十勝沖地震では、この地震の多くの地点で再液状化が生 じたが、標津下水での被害は軽微であった13).

#### 5. 液状化判定結果

近傍で液状化が確認され、かつ、K-NET<sup>1</sup>の観測点が ある氷見、七尾、穴水の3地点について、地盤調査データ のある地点について、建築基礎構造設計指針<sup>14)</sup>に基づき 液状化判定を行った.

図-9に液状化判定検討地点とK-NET観測地点を示す. 図中には、1910年(明治43年)頃の旧海岸線<sup>15</sup>と著者ら が今回の地震の液状化で確認した噴砂地点を併記した. いずれも液状化が発生したのは海岸埋立地であるが、検 討地点とK-NET観測地点は旧海岸線よりも内陸側にあ り、少なくも大規模な液状化は生じていないと考えられ る地点である.



図-9 液状化判定検討地点と K-NET 観測地点

表-2 に各検討地点の地盤概要を示す.いずれの地盤 もシルト,粘土,有機質土などの軟弱な地盤であること がわかる.ここで,物性値の設定は以下のように行った. 地下水位は海面水位から推定した.N値,単位体積質量, 細粒分含有率は,基本的には求められている値をそのま ま使用した.これらの値が求められていない場合は,文 献 16)を参考に土質名より各値を求めた.なお,粘性土 の単位体積質量は文献 17)を参考にし,粘性土層と高有 機質土層は非液状化層とした.また,細粒分含有率の最 大値は 50%とした.

検討に必要なマグニチュードは、今回の地震のマグニ チュード 6.9 を用いた.地表面における設計用水平加速 度は、レベル1 地震動相当の 200cm/s<sup>2</sup>、震源近傍で大き な地震動が作用したことを考え、終局限界検討用の地震 動相当の 350cm/s<sup>2</sup>、また、近傍の地震観測点で得られた 最大加速度を用いた.図-10 に、氷見、七尾、穴水の K-NET における地震動の加速度応答スペクトル(減衰定 数 5%)をトリパタイト表示したものを示す.

穴水の応答スペクトルは、岩盤が深度18mと比較的浅

#### (a)氷見 K-NET

深度 (m)	土質 区分	N值	単位体積質量 (t/m <sup>3</sup> )	細粒分含有率 (%)
1	砂	2	1.73	
2	砂	10	1.63	非液状化層
3	砂	8	1.72	
4	砂	3	1.70	10
5	砂	12	1.70	10
6	砂	15	1.72	10
7	砂	14	1.71	10
8	砂	11	1.66	10
9	砂	8	1.63	10
10	シルト	9	1.69	50
11	シルト	5	1.61	50
12	シルト	6	1. 58	50
13	シルト	6	1.60	50
14	シルト	5	1.66	50
			地	下水位 −3m

<b>(b)</b> 七尾1					
度(m)	土質 区分	N值	単位体積質量 (t/m <sup>3</sup> )	細粒分含有率 (%)	
1	砂礫		1.90	非液状化層	
2	シルト	2	1.75	50	
3	砂礫	9	2.10	0	
4	砂礫	10	2. 10	0	
5	シルト	3	1.75	50	
6	シルト	0	1.75	50	
7	シルト	3	1.75	50	
8	砂礫	12	2.1	0	
9	砂礫	6	2.1	0	
10	シルト	3	1.75	50	

1.75

1.75

1.75

1.75

1.75

1.75

1.75

1.75

1.75

2.10

50

50

50

50

50

50

50

50

50

\_\_\_\_\_0 地下水位 -1m

深

シルト

シルト

シルト

シルト

18 シルト

20 砂礫

4

3

3

4

5

8

20

11 12

13 シルト

14 シルト

15 シルト

16

17

19 シルト

表-2 検討地点の地盤概要

(c)	七尾	2
-----	----	---

深度 (m)	土質区分	N值	単位体積質量 (t/m <sup>3</sup> )	細粒分含有率 (%)
1	表土	1	1.50	非液状化層
2	表土	2	1.70	50
3	表土	1	1.70	50
4	粗砂	1	2.00	0
5	粗砂	2	2.00	0
6	粗砂	1	2.00	0
7	シルト	0	1.75	50
8	シルト	0	1.75	50
9	シルト	1	1.75	50
10	シルト	1	1.75	50
11	シルト	2	1.75	50
12	シルト	2	1.75	50
13	シルト	0	1.75	50
14	シルト	1	1.75	50
15	シルト	1	1.75	50
16	シルト	1	1.75	50
17	シルト	1	1.75	50
18	シルト	2	1.75	50
19	シルト	3	1.75	50
20	シルト	4	1.75	50
			地下	水位 -1m

(d) 七尾 K-NET

深度	十個区公	N值	単位体積質量	細粒分含有率
(m)	工員四方		(t/m^3)	(%)
1	高有機質土	5	1.27	
2	シルト	9	1.52	非液状化層
3	砂	10	1.71	
4	砂	14	1.70	10
5	砂	18	1.71	10
6	砂質土	9	1.75	40
7	砂質土	7	1.74	40
8	砂質土	3	1.70	40
9	砂質土	2	1.71	40
10	砂質土	2	1.73	40
11	シルト	2	1.59	50
12	シルト	2	1.63	50
13	シルト	1	1.62	50
14	シルト	2	1.64	50
15	シルト	2	1.61	50
16	シルト	8	1.65	50
17	砂	18	1.79	10
18	砂	19	1.80	10
19	砂	8	1.81	10
			地下	水位 -3m

## (e)穴水1

深度(m)	土質区分	N値	単位体積質量 (t/m <sup>3</sup> )	細粒分含有率 (%)
1	シルト		1.55	非流计化网
2	粘土	0	1.60	SPIC ICIE
3	砂	2	2.00	10
4	細砂	2	1.95	30
5	粘土	2	1.60	非液状化層
6	砂	6	2.00	10
地下水位 -1m				

(f)	(穴)	k	2
   	$\sim$	1	~

1         粘土         1.50         非液状           2         砂礫         6         2.10         0           3         砂礫         10         2.10         0           4         砂礫         2         2.10         0           5         シルト         1         1.75         50           6         シルト         1         1.75         50           7         シルト         2         1.75         50           8         シルト         1         1.75         50           8         シルト         1         1.75         50	有率
2         砂礫         6         2.10         0           3         砂礫         10         2.10         0           4         砂礫         2         2.10         0           5         シルト         1         1.75         50           6         シルト         1         1.75         50           7         シルト         2         1.75         50           8         シルト         1         1.75         50           9         半+         2         1.60         ±5±4*	化層
3         砂礫         10         2.10         0           4         砂礫         2         2.10         0           5         シルト         1         1.75         50           6         シルト         1         1.75         50           7         シルト         2         1.75         50           8         シルト         1         1.75         50           9         #++         2         1.60         #####	
4         砂礫         2         2.10         0           5         シルト         1         1.75         50           6         シルト         1         1.75         50           7         シルト         2         1.75         50           8         シルト         1         1.75         50           9         地ト         2         1.75         50	
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	
6         シルト         1         1.75         50           7         シルト         2         1.75         50           8         シルト         1         1.75         50           0         #L+         2         1.80         #法先年	
7         シルト         2         1.75         50           8         シルト         1         1.75         50           9         非+         2         1.60         非次時	
8 シルト 1 1.75 50 0 #b+ 2 1.60 非法性	
0 半十 2 1.60 非法计	
- 1.00 非液仏	化層
10 シルト 1 1.75 50	
11 シルト 2 1.75 50	





ないと考えられる.入力として最も小さい観測結果を入 力した場合,液状化安全率Flは1.0を少し上回り,200cm/s<sup>2</sup> を入力した場合にはほぼ1.0となり,海岸埋立地で小規模 な液状化が発生し,内陸部では液状化が発生しなかった 事実と概ね一致している.

#### (g) 穴水 K-NET

深度(m)	土質区分	N値	単位体積質量 (t/m <sup>3</sup> )	細粒分含有率 (%)
1	粘性土	7	1.43	
2	高有機質土	6	1.45	
3	高有機質土	0	1.52	
4	高有機質土	0	1.40	
5	高有機質土	0	1.47	非游开化圈
6	高有機質土	0	1.52	3F/Q-0(16/E
7	高有機質土	0	1.45	
8	高有機質土	0	1.49	
9	高有機質土	0	1.50	
10	高有機質土	2	1.55	
11	シルト	2	1.42	50
12	シルト	9	1.41	50
13	砂	3	1.77	10
14	砂質土	2	1.65	50
15	砂質土	3	1.73	50
16	砂質土	26	1.76	50
			地	下水位 -3m

いために卓越周期が1秒程度とやや低いが,最大加速度は 780cm/s<sup>2</sup>と大きく,地盤の非線形化も現れていると考え られる.氷見と七尾の最大加速度は,150~250cm/s<sup>2</sup>程度 でありそれほど大きな地震動ではないが,応答スペクト ルの卓越周期は,それぞれ周期1.5~2秒,1~2秒付近と 長周期成分が卓越し,地盤の非線形性も現れていると考 えられる.

図-11に各検討地点における液状化判定結果を示す. 氷見については、海岸埋立地で小規模な液状化が確認されたが内陸側では液状化は大規模な液状化は発生してい



七尾では、七尾1で観測結果と200 cm/s<sup>2</sup>入力で深度12m 以深でほぼFlが1.0でそれ以浅では1.0を下回っている.ま た、七尾2と七尾K-NETではいずれも大幅に1.0を下回っ ている.海岸埋立地では液状化が多数認められたが、旧 海岸線より内陸側では大規模な液状化は認められなかっ たようなので、この結果は自然地盤に対しては安全率を 過小評価している可能性がある. さらに、穴水ではいずれもFlは1.0を大きく下回る層が 存在し、特に観測値を入力した場合には大幅に1.0を下回 っている.これらの地点では大規模な液状化は認められ ておらず、明らかに判定結果はFlを過小評価している.

前述したように、半島西部を中心に、震央付近で大き な揺れを観測しているが、大規模な埋立地が少ない半島 西部では半島東部に比べて液状化発生件数が少なく、や はり海岸埋立地や造成地など若齢な人工地盤に液状化発 生地点は集中し,自然地盤での液状化は皆無か少なくと も小規模で目立ったものではなかった.一方,そもそも 若齢である人工地盤は伏木万葉埠頭のように遠方で地震 の揺れも震央付近に比べればかなり小さいが液状化を生 じた.このように,地盤の液状化抵抗に対する堆積年代 の効果は,想像している以上に大きい可能性がある.現 行の液状化に対する設計方法は,海岸埋立地のような若 齢な地盤に対しては妥当な評価を与えるが,数千年を経 過したような自然地盤に対しては液状化安全率を過小評 価している可能性がある.このような場合,液状化に対 して過大設計を行う可能性があり,今後,地盤の液状化 抵抗に対する堆積年代のような年代効果を設計法に取り 込むことを考える必要がある.

### 6. まとめ

2007 年能登半島地震における液状化の特徴をまとめると以下となる.

- (1) 液状化が発生し最も遠い地点は,高岡市の伏木万葉埠 頭と珠洲市の正院町熊谷と正院であるが,今まで経 験的に知られている液状化の生じる震央距離と概ね 一致していた.
- (2) 液状化が発生した地点の地震による揺れは、最大加速度が 158~174cm/s<sup>2</sup>以上、最大速度が 13~25cm/s 以上、計測震度が 4.5~5.1 (5 弱~5 強) 以上であった.
- (3) 液状化による被害は、大きなもので七尾港における 30cm 程度の広範囲な岸壁背後地の沈下などであり、 1964年新潟地震や1995年兵庫県南部地震で見られた 大規模な地盤の流動化や構造物の沈下・傾斜といっ た大きな被害は認められなかった。
- (4) 液状化が発生した地点は、海岸埋立地や造成された人 工的な若齢地盤が圧倒的に多く、 震度 6 強という大 きな揺れが観測されているにもかかわらず、 自然地 盤における大規模な液状化は現在のところ認められ ていない.
- (5) 液状化が生じた海岸埋立地近傍の液状化が認められ なかった自然地盤で,観測された地震記録を用いて 簡単な液状化判定を試み,液状化安全率が1.0を大き く下回わり,現在の液状化判定法が自然地盤に対し ては安全側過ぎる結果を示す可能性を示した.今後, 十分な検討が必要であるが,液状化抵抗の年代効果 などを考慮し,堆積年数が多いものほど液状化抵抗 を割り増すなどの改良を行うことが場合によっては 必要性であると考えられる.

謝辞:液状化地点の情報は、中央大学國生剛治教授、福井工業高等専門学校吉田雅穂准教授より提供して戴いた. 噴砂の粒度分析は、飛島建設株式会社技術研究所知久倫 子氏によるものである.また,地震の揺れや液状化検討 を行う際の地盤データなどについては,防災科学技術研 究所の強震ネットワーク K-NET と基盤強震観測網 KiK-net,気象庁の地震の詳細資料を利用させて戴きまし た.これらの方々に心より感謝申し上げます.

#### 参考文献

- 防災科学技術研究所:強震ネットワーク K-NET, http://www.n-k-net.bosai.go.jp/k-net/
- (1) 気象庁:「平成 19 年(2007 年)能登半島地震」の特集: http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007 03 25 noto/index.html
- 3) 森伸一郎,三輪滋, 関眞一:1993 年2月7日能登半島沖地震 における液状化調査, 土木学会第48回年次学術講演会, 第 I部門, pp.32-33, 1993.9.
- 國生剛治,石澤知浩,沼田淳紀:2007.3.25 能登半島地震土 木学会・地盤工学会調査団地盤関連調査速報, http://www.jsce.or.jp/report/42/news3files/kokusho\_disaster.pdf
- 5) 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
- 6) 吉田望:能登半島地震被害調査報告書(速報), http://www.civil.tohoku-gakuin.ac.jp/yoshida/2007/2006.03.25\_N oto.pdf, 2007.4.1.
- 大島重人:平成19年能登半島地震(200703250942)調査速報, http://www12.ocn.ne.jp/%7Eshiosato/070325noto/200703250942 notoeqtop.htm
- 8) 基礎地盤コンサルタンツ:平成19年能登半島地震調査速報, 2007.3.26.
- 9) 栗林栄一, 龍岡文夫, 吉田精一: 明示以降の本邦の地盤液状 化履歴, 土木研究所彙報第30号, pp.1-9, 1974.12.
- 10)防災科学技術研究所:基盤強震観測網 KiK-net, http://www.kik.bosai.go.jp/kik/
- 11) 総務省消防庁:平成 19 年(2007 年)能登半島地震(第 46 報), 2007 年 6 月 14 日 15:00 発表
- 12) 沼田淳紀,森伸一郎:噴砂の粒度組成,土木学会論文集, No.722/III-61, pp.129-147, 2002.12.
- 13) 飛島建設株式会社技術研究所: 2003 年十勝沖地震被害調查 報告書, 2004.3.
- 14)日本建築学会:4.5 節地盤の液状化,建築基礎構造設計指針, 丸善, pp.61-72, 2001.10.
- 15)山口恵一郎編者代表:日本図示大系中部Ⅱ,朝倉書店,1974.6.
- 日本道路協会:道路橋示方書・同解説V耐震設計編, p.357, 2002.3.
- 17) 若松加寿江, 沼田淳紀: 阪神地域における液状化判定のための土質定数, 土木学会第56回年次学術講演会概要集, 第3部, pp.216-217, 2001.10.

(2007.4.6 受付)

# LIQUEFACTION DURING THE NOTO HANTO EARTHQUAKE IN 2007

#### Atsunori NUMATA, Noboru KAMIAKITO, Shigeru MIWA and Takaaki IKEDA

The Noto Hanto Earthquake occurred on 9:42, March 25, 2007. The magnitude of this earthquake was 6.9 (determined by JMA) and the maximum JMA seismic intensity was upper 6. Liquefaction of soil was observed at many places in Noto peninsula during this earthquake. Liquefaction of soil was also occurred in Noto peninsula during the Noto Hanto-oki earthquake in 1993. Some liquefaction phenomena were observed the same site where liquefaction occurred during the previous earthquake. Characteristics of liquefaction sites, damage due to liquefaction, re-liquefaction, grain size distribution of sand boil and results of liquefaction judgment calculated at three sites are discussed in this paper.