

－別紙－

能登半島地震によるステンレス製矩形タンク被害調査

矩形地上水槽（鋼製）の耐震設計に関する研究（Aqua-TANK プロジェクト）

報告書

令和6年9月

公益財団法人 水道技術研究センター

目次

1. 緒言.....	1
1.1 はじめに.....	1
1.2 調査の目的.....	1
2. 地震概況.....	1
2.1 概要.....	1
2.2 地震の特徴.....	4
3. 調査の概要.....	20
3.1 調査メンバー.....	20
3.2 調査日程.....	20
3.3 調査対象施設.....	20
3.4 調査行程.....	21
3.5 調査項目.....	23
3.6 調査対象市町村.....	23
4. ステンレス製タンクの被害状況とその要因.....	23
4.1 ステンレス製タンクの被害状況の概要.....	23
4.2 ステンレス製タンクの被害状況.....	26
4.3 被害状況のまとめ.....	73
4.4 ステンレス製タンクの考えられる被害要因.....	74
4.5 応急対策の状況.....	75
5. まとめ.....	76
5.1 被害調査により見えてきた課題・研究の今後の進め方.....	76
5.2 おわりに.....	78

1. 緒言

1.1 はじめに

本報告は、2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震によるステンレス製矩形タンクの損傷状況について、Aqua-TANKプロジェクトの一環で2024年2月6日から7日の2日間、石川県能登地方に調査に行き、その結果をまとめたものである。

令和6年能登半島地震は、2024年1月1日に発生し、238名の死傷者（1/31現在）を数え、約4万5000戸の住宅への被害だけでなく、道路、上下水道、電力等のライフライン施設に多くの被害をもたらしている。水道については、石川県能登地方での非耐震管の被害が多く見られ、配水池に送水が行えないなどの問題が発生しており、復旧の見込みが2月、3月とのことである。震災発生後、石川県、富山県、新潟県の3県で10万戸を超える数の断水が発生した。

1.2 調査の目的

令和6年能登半島地震後、ステンレス製矩形タンクの損傷の報告があったことから、震災直後のステンレス製矩形タンクの損傷状況や被害の傾向を調査する。調査内容は、整理を行い記録するとともに、今後のAqua-TANKプロジェクトの内容に反映させることを目的として、本調査を実施した。

2. 地震概況

2.1 概要

2024年1月1日16時10分頃に、石川県能登地方の深さ約16kmを震源とするマグニチュード7.6の地震が発生し、下図に示すように石川県羽咋郡志賀町香能、および同県輪島市門前町走出で最大震度7を観測したほか、珠洲市、輪島市、七尾市、能登町、穴水町、志賀町で震度6強を観測した。この地震は「令和6年能登半島地震」と名付けられた。

石川県能登地方では、2018年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020年12月から地震活動が活発になり、2021年7月頃からさらに活発になっていた。2023年5月5日にはマグニチュード6.5の地震（最大震度6強）が発生し、以降、地震活動がさらに活発になっていたが、時間の経過とともに地震の発生数は減少していた。このような中で、2024年1月1日16時10分に本地震が発生した。

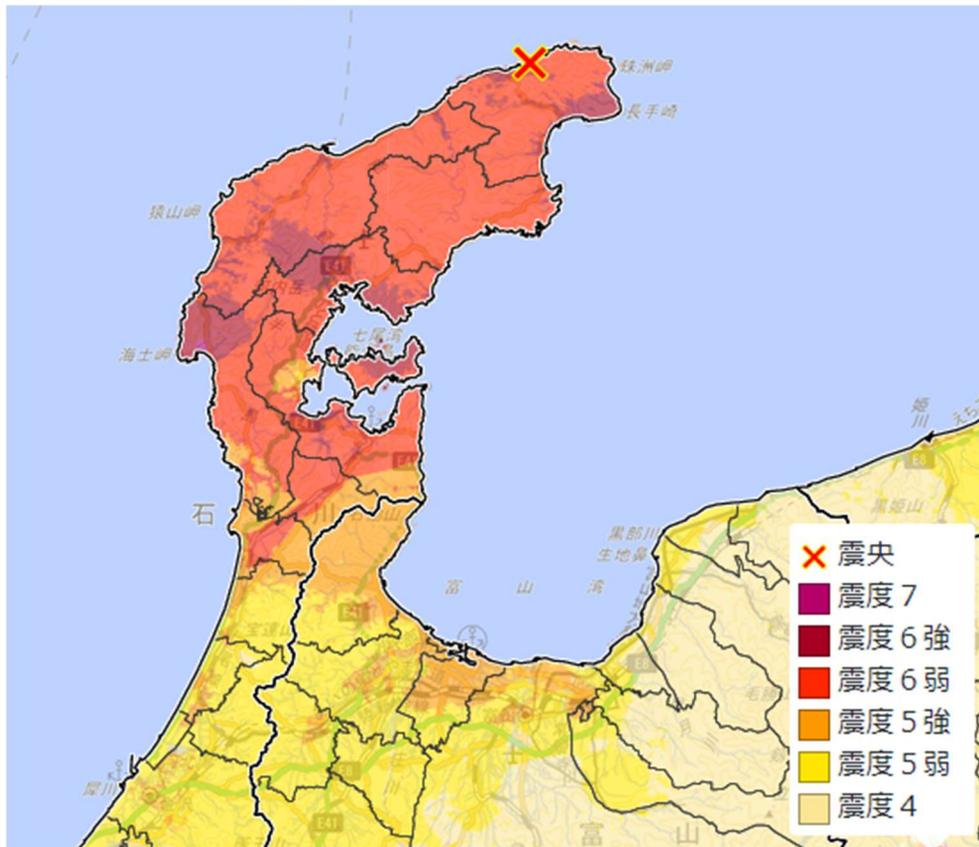


図 2-1 推計震度分布図
 (気象庁 推計震度分布図より)

表 2-1 に本震と震度 5 強以上を観測した余震の諸元を示す。また、図 2-2 に 2024 年 1 月 1 日から 2024 年 1 月 15 日のマグニチュード 4 以上を観測した震央の分布を示す。余震は北東から南西にかけて能登半島に沿うように分布していることがわかる。

表 2-1 本震と余震の諸元

発生時刻	震央地名	マグニチュード	最大震度
2024 年 01 月 01 日 16 時 06 分	石川県能登地方	5.5	5 強
2024 年 01 月 01 日 16 時 10 分	石川県能登地方	7.6	7
2024 年 01 月 01 日 16 時 18 分	石川県能登地方	6.1	5 強
2024 年 01 月 01 日 16 時 56 分	石川県能登地方	5.8	5 強
2024 年 01 月 02 日 17 時 13 分	能登半島沖	4.6	5 強
2024 年 01 月 03 日 02 時 21 分	石川県能登地方	4.9	5 強
2024 年 01 月 03 日 10 時 54 分	石川県能登地方	5.6	5 強
2024 年 01 月 06 日 05 時 26 分	石川県能登地方	5.4	5 強
2024 年 01 月 06 日 23 時 20 分	能登半島沖	4.3	6 弱

(気象庁 HP 令和 6 年能登半島地震の関連情報)

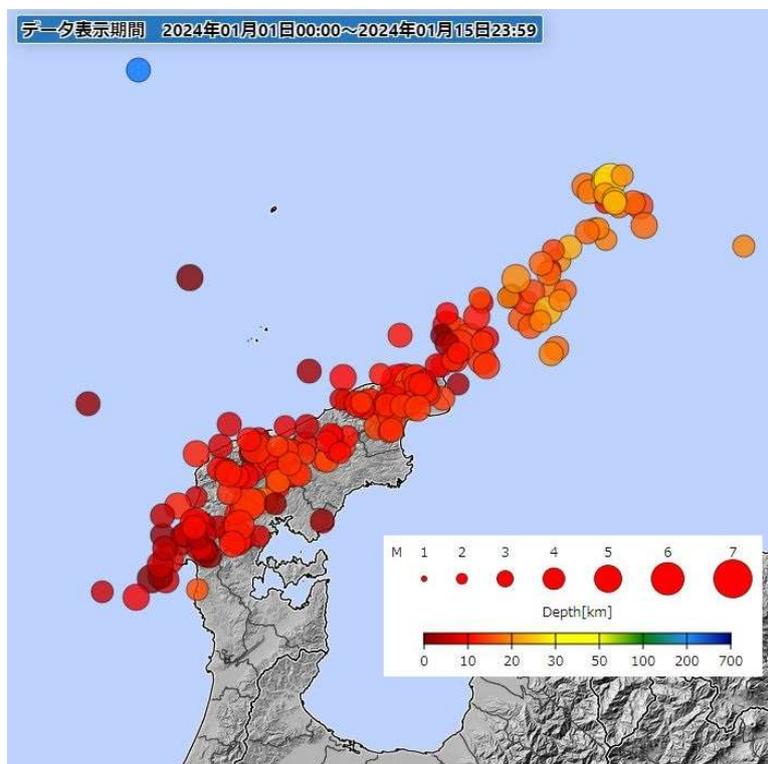


図 2-2 震央分布

(気象庁 震央分布より)

2.2 地震の特徴

前震（2024年01月01日16時06分）および本震のK-net、KiK-netで観測された最大加速度（上位10件）を表2-2、表2-3にそれぞれ示す。

なお、最大加速度は表2-2が三成分合成値、表2-3が一方向最大値を示す。

表 2-2 前震の観測加速度（K-net、KiK-net、上位10件）

No	観測点名	最大加速度
1	K-NET 大谷(ISK001)	538gal
2	KiK-net 珠洲(ISKH01)	439gal
3	K-NET 正院(ISK002)	362gal
4	KiK-net 内浦(ISKH03)	182gal
5	K-NET 輪島(ISK003)	68gal
6	K-NET 大町(ISK015)	42gal
7	KiK-net 柳田(ISKH02)	42gal
8	K-NET 穴水(ISK005)	36gal
9	K-NET 岩谷口(NIG001)	36gal
10	K-NET 氷見(TYM002)	27gal

※最大加速度は三成分合成値である。

（国立研究開発法人 防災科学技術研究所 https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20240101160513/main_20240101160513.html より）

表 2-3 本震の観測加速度（K-net、KiK-net、上位10件）

No	観測点名	最大加速度
1	K-NET 富来(ISK006)	2828gal
2	K-NET 輪島(ISK003)	1632gal
3	K-NET 大谷(ISK001)	1469gal
4	K-NET 穴水(ISK005)	1280gal
5	KiK-net 富来(ISKH04)	1220gal
6	KiK-net 珠洲(ISKH01)	1007gal
7	K-NET 大町(ISK015)	1001gal
8	K-NET 正院(ISK002)	917gal
9	KiK-net 志賀(ISKH06)	804gal
10	KiK-net 柳田(ISKH02)	791gal

※最大加速度は一方向最大値である。

（国立研究開発法人 防災科学技術研究所 https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20240101160813/main_20240101160813.html より）

また、下記に、K-NET (<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>) の大谷、正院、輪島、穴水、富来、七尾、大町7か所の本震（2024/1/1 16:10）の加速度記録と応答スペクトルを示す。

加速度応答スペクトルを確認すると、7か所すべてで短周期（0.1秒から1秒）の間で1000gal以上を記録し、卓越していることがわかる。

特に本震にて最大の加速度を記録した富来では、EW方向の0.2秒の周期で10000gal近く卓越していることが加速度応答スペクトルからわかる。

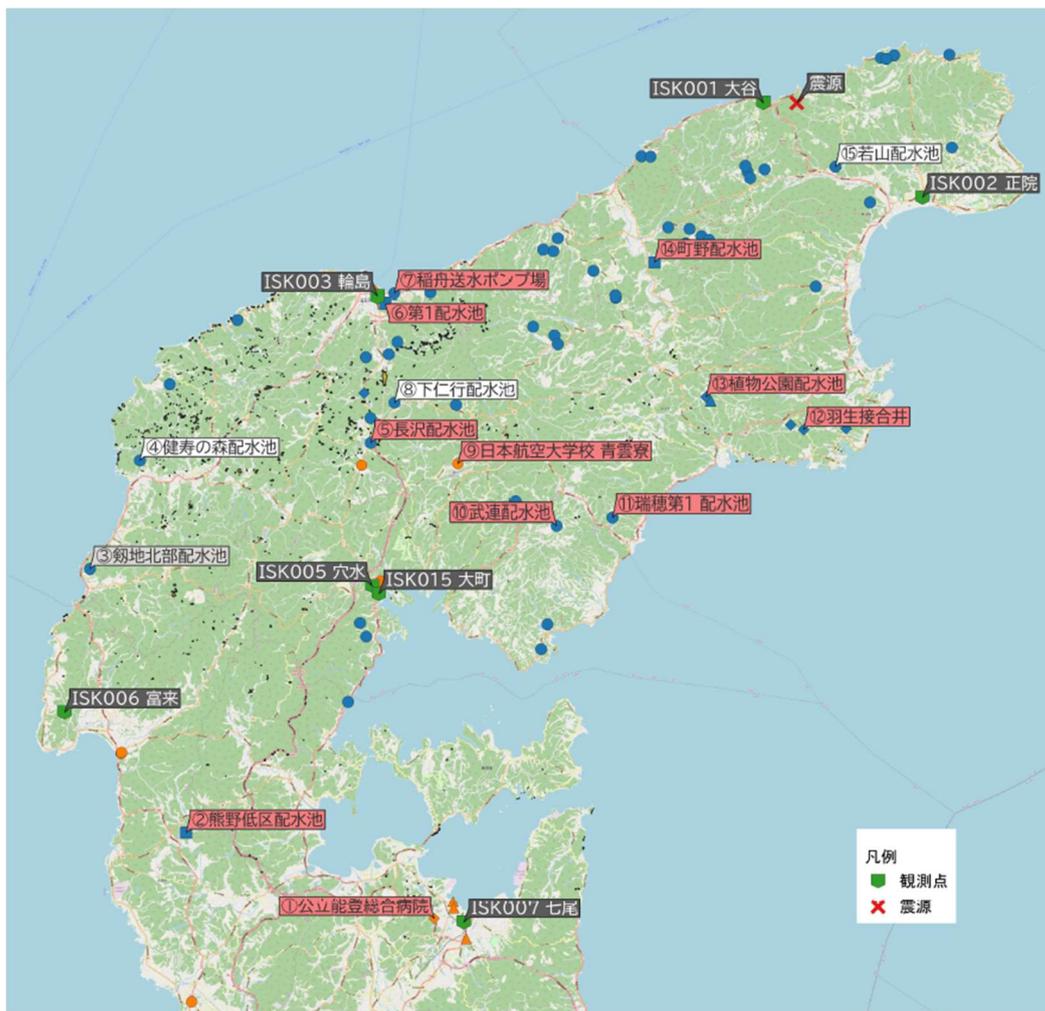


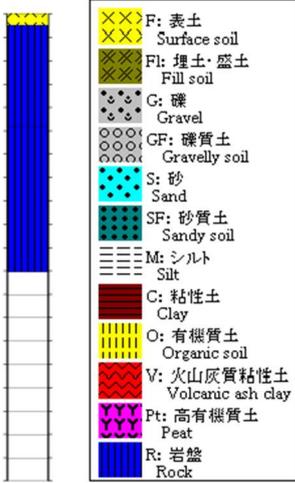
図 2-3 観測点 位置図

表 2-4 強震記録

データ名称	種類	サブリング [※] 周波数(Hz)	計測震度	最大加速度 (gal)		
				NS	EW	UD
大谷 ISK001	K-net	100	6.2	903.5	1429.0	674.2
正院 ISK002	K-net	100	6.2	685.6	707.3	775.0
輪島 ISK003	K-net	100	6.2	1496.0	1119.7	1109.8
穴水 ISK005	K-net	100	6.5	1022.9	1145.7	1043.6
富来 ISK006	K-net	100	6.6	1479.2	2678.2	1141.7
七尾 ISK007	K-net	100	5.8	374.2	359.4	283.2
大町 ISK015	K-net	100	6.3	979.0	926.1	747.2

大谷 ISK001

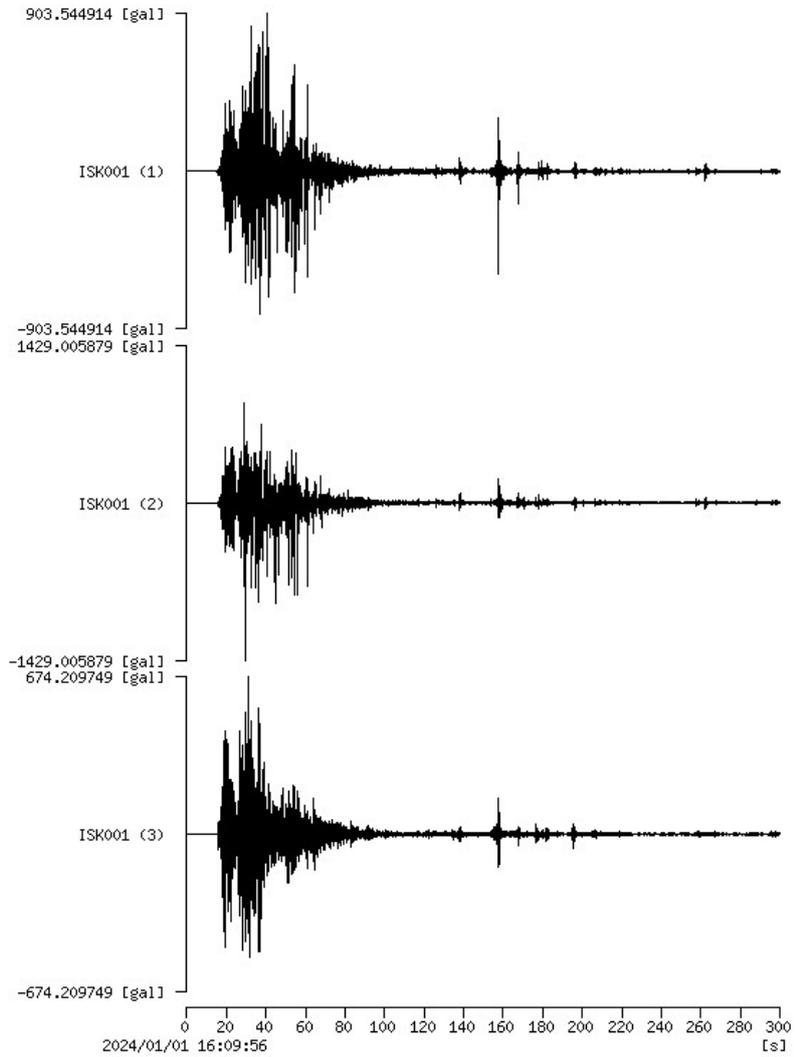
Soil column



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所

土質図

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK001)

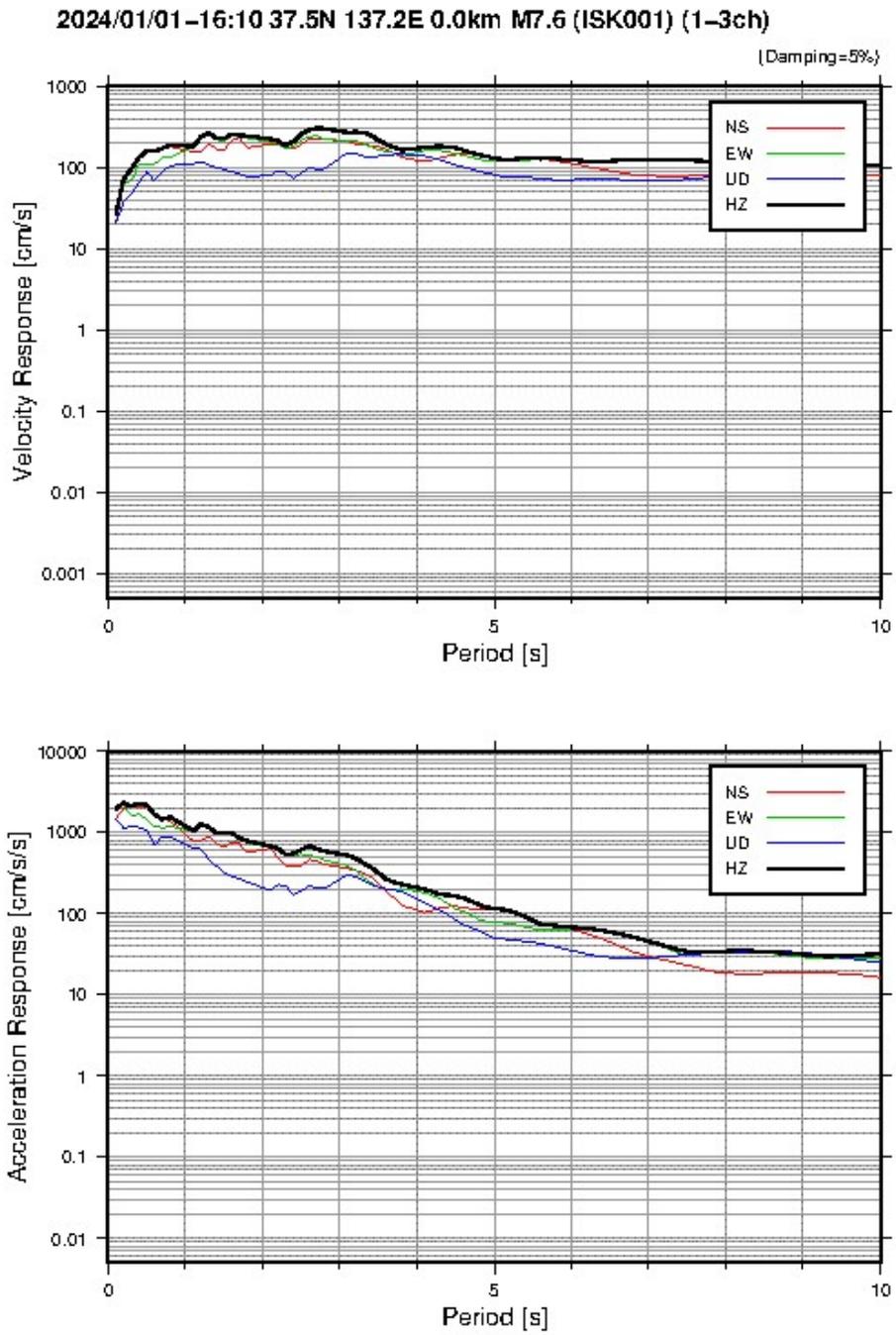


K_{NET} NIED

加速度波形

(上から NS 方向、EW 方向、上下方向)

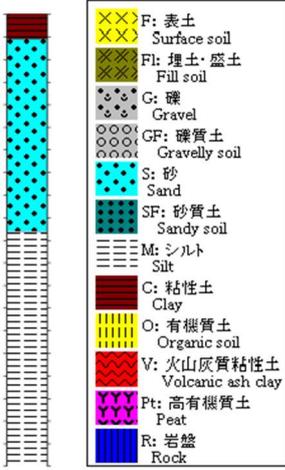
大谷 ISK001



上：速度応答スペクトル、下：加速度応答スペクトル

正院 ISK002

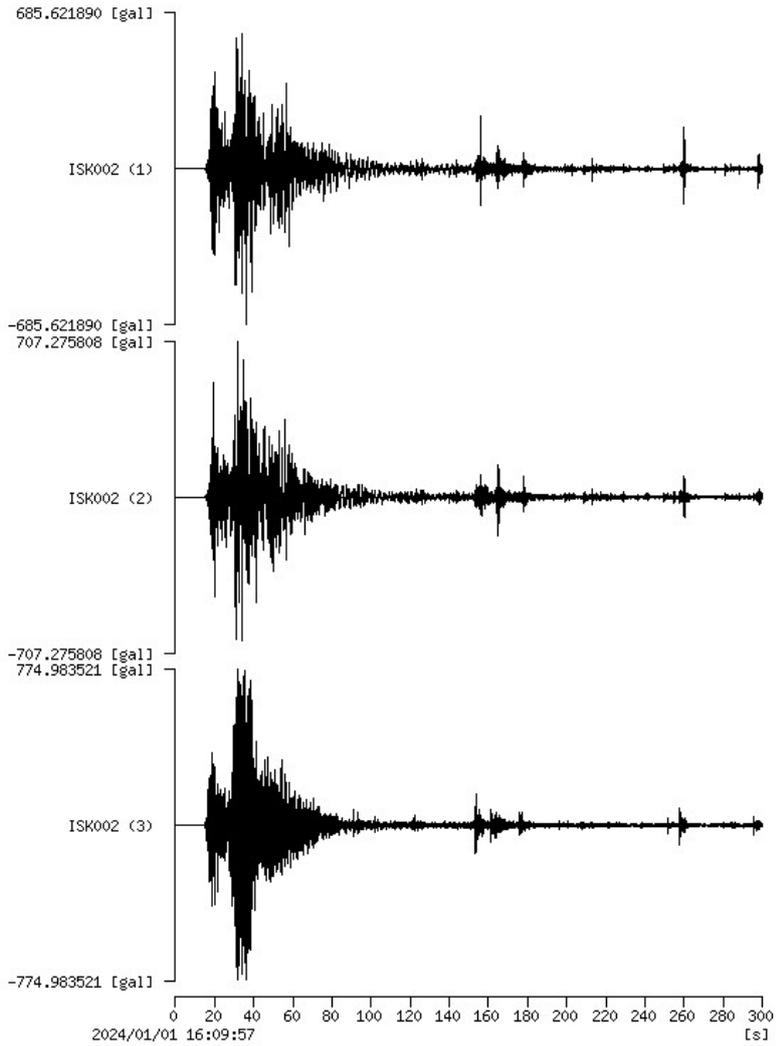
Soil column



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所

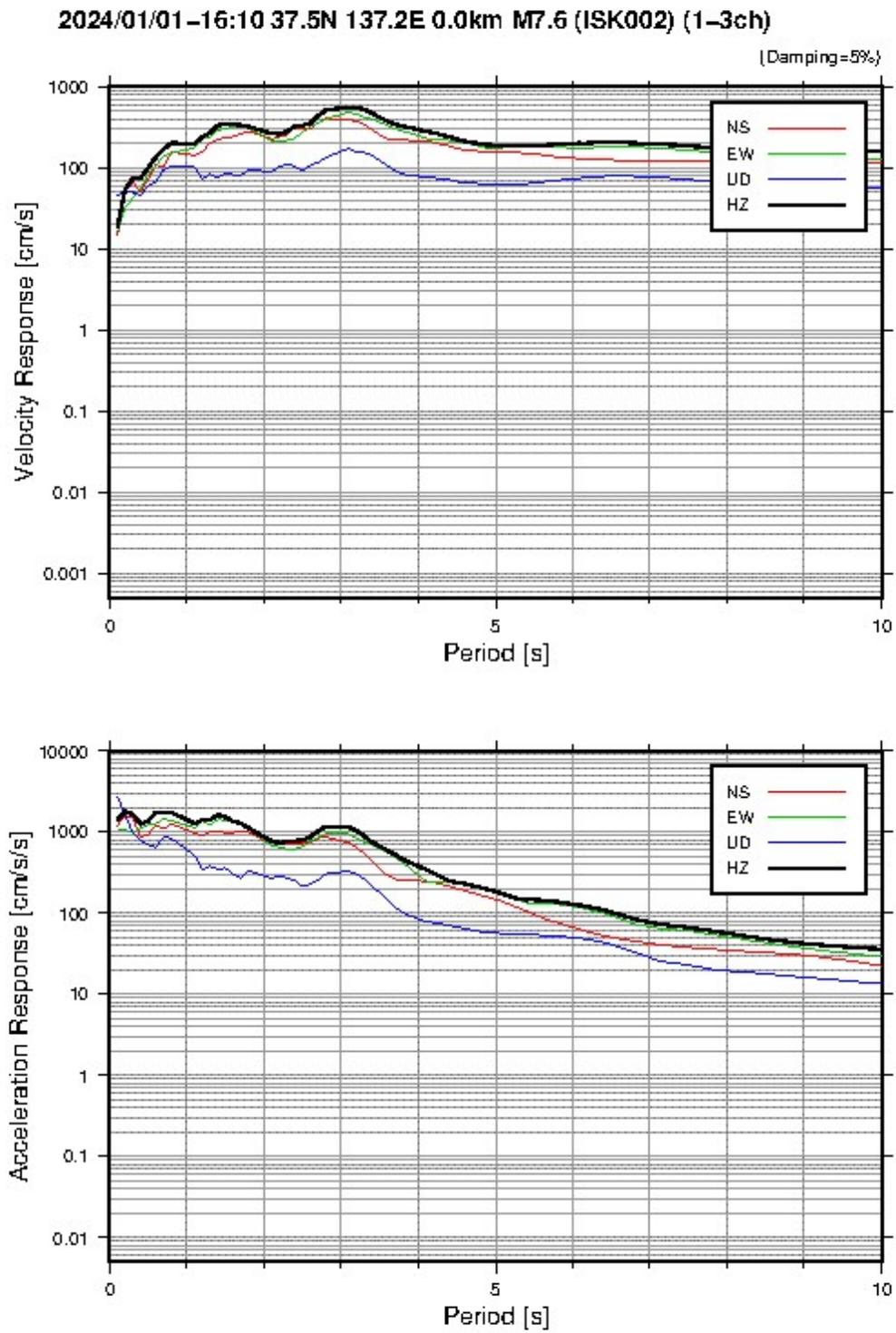
土質図

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK002)



加速度波形

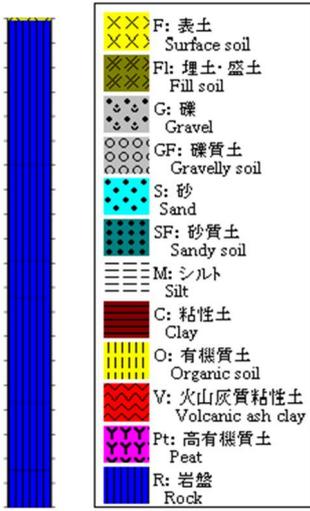
(上から NS 方向、EW 方向、上下方向)



上：速度応答スペクトル、下：加速度応答スペクトル

輪島 ISK003

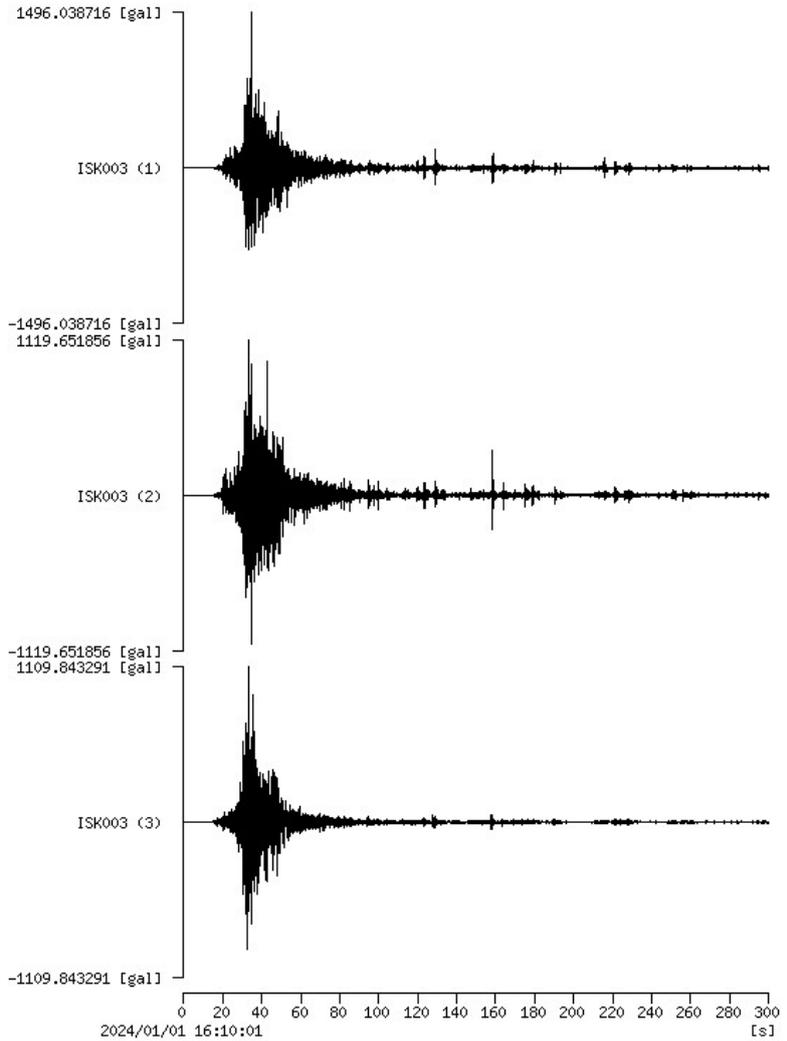
Soil column



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所

土質図

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK003)



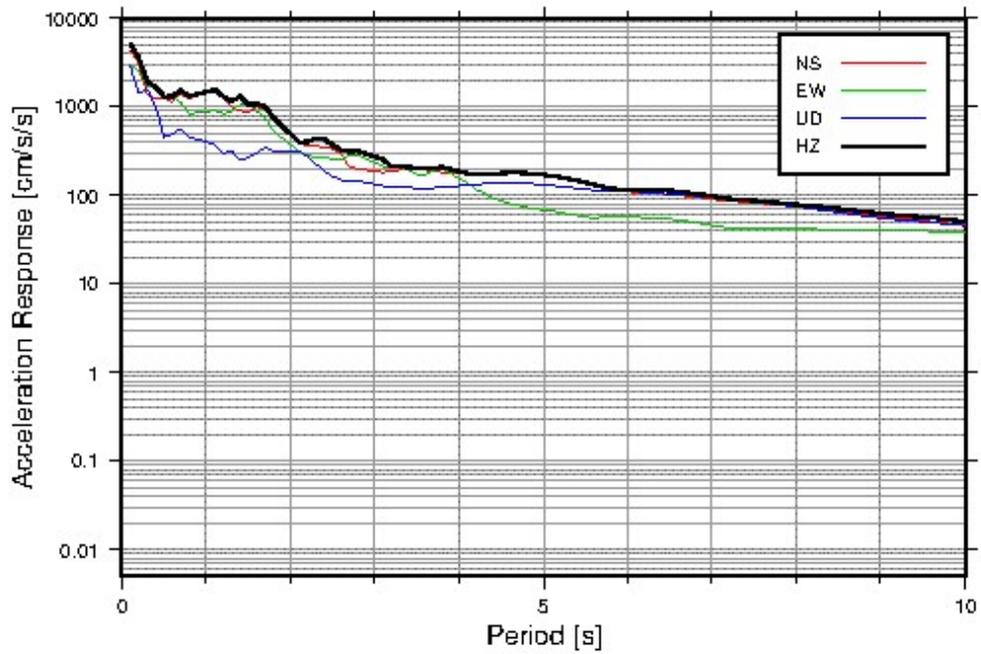
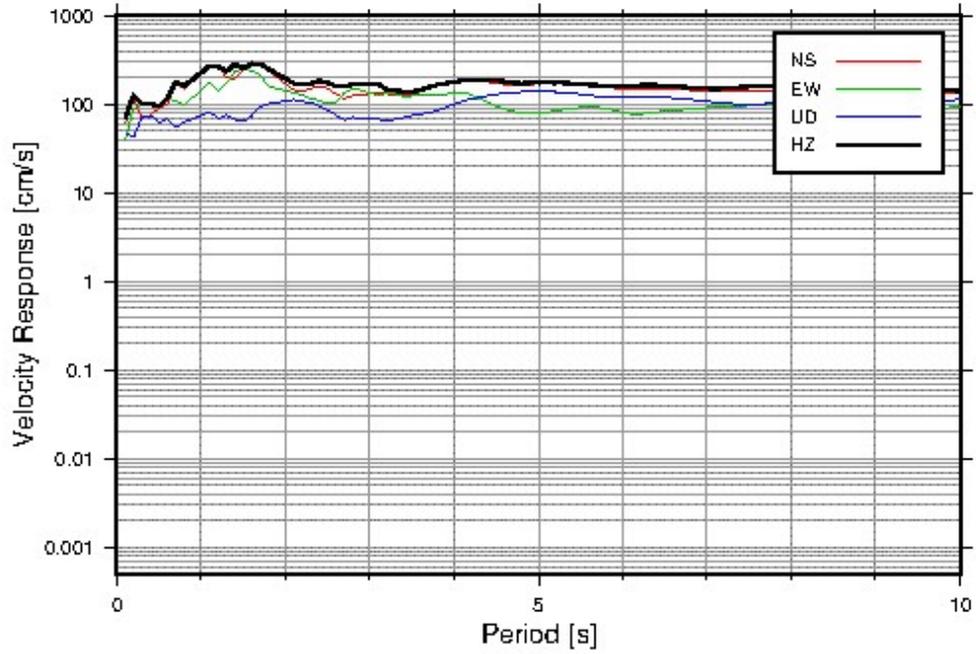
K-NET NIED

加速度波形

(上から NS 方向、EW 方向、上下方向)

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6 (ISK003) (1-3ch)

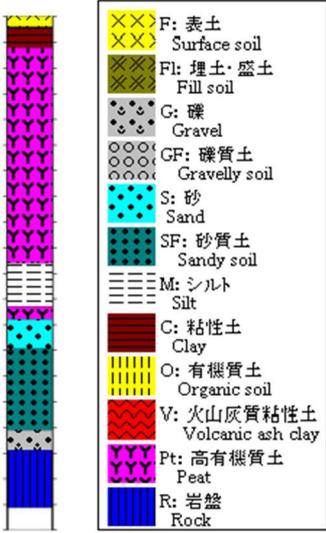
[Damping=5%]



上：速度応答スペクトル、下：加速度応答スペクトル

穴水 ISK005

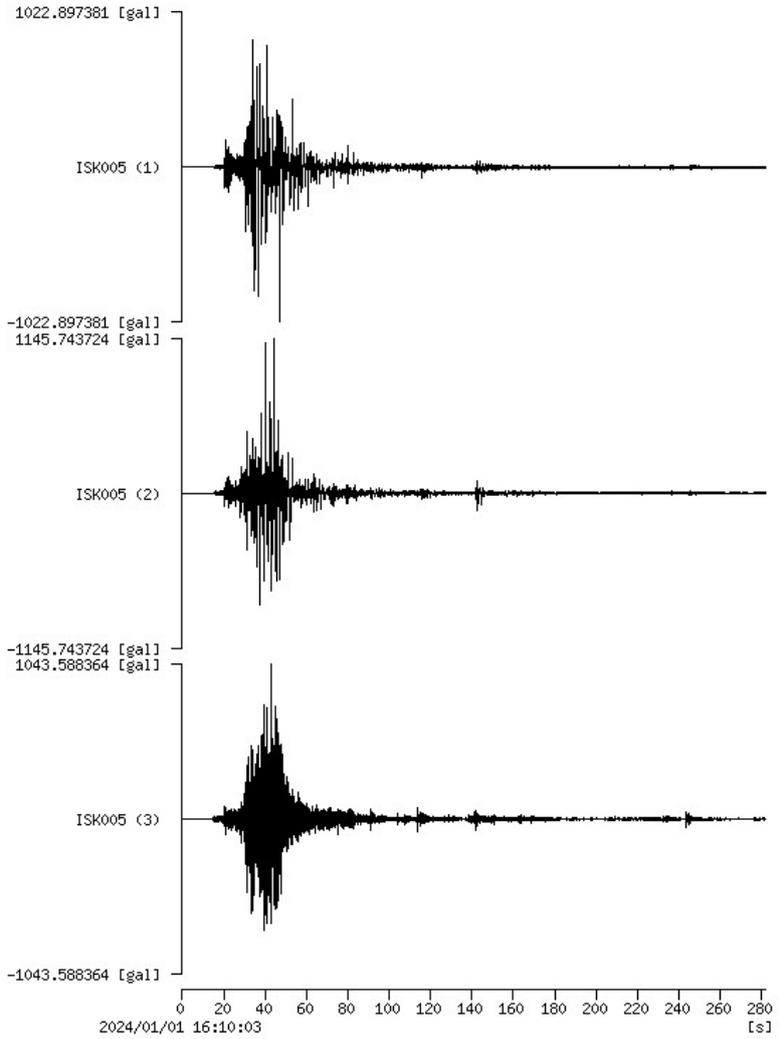
Soil column



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所

土質図

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK005)



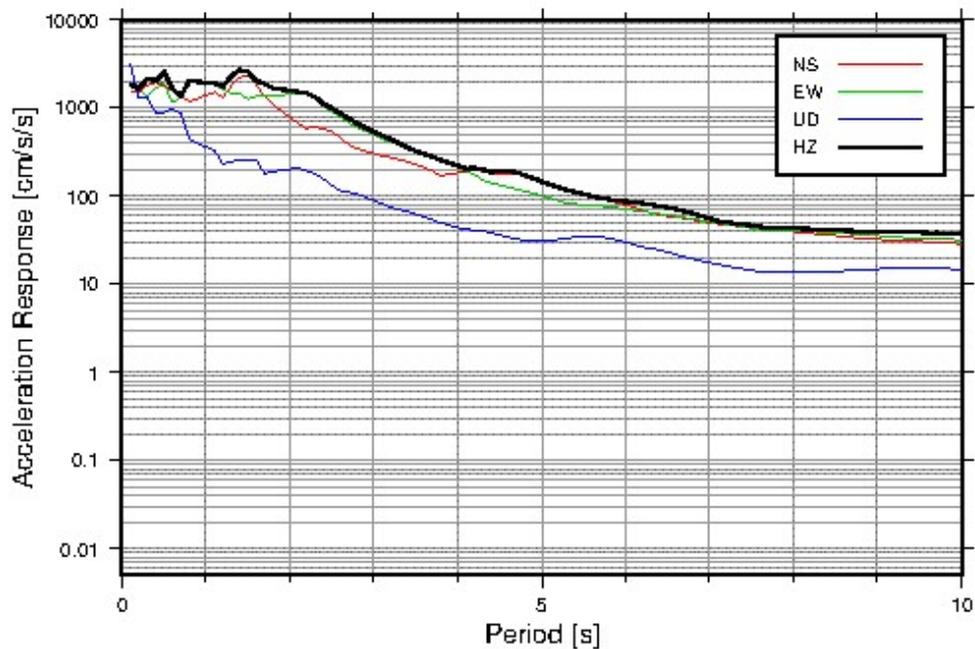
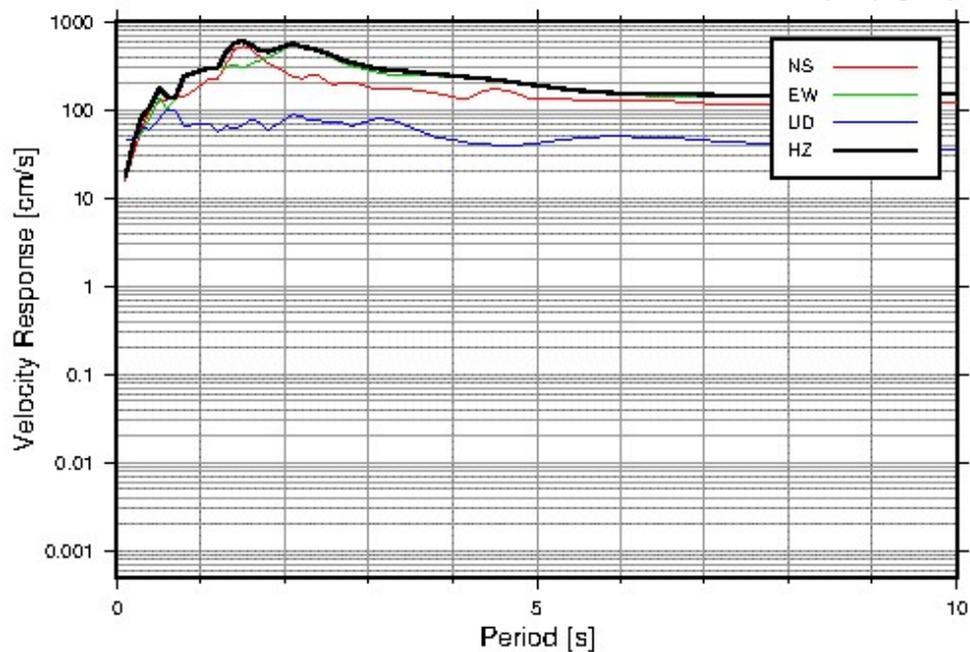
加速度波形

(上から NS 方向、EW 方向、上下方向)

穴水 ISK005

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6 (ISK005) (1-3ch)

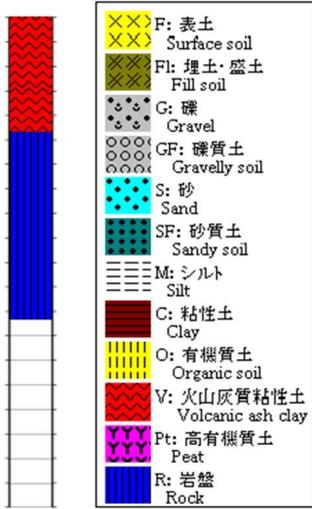
[Damping=5%]



上：速度応答スペクトル、下：加速度応答スペクトル

富来 ISK006

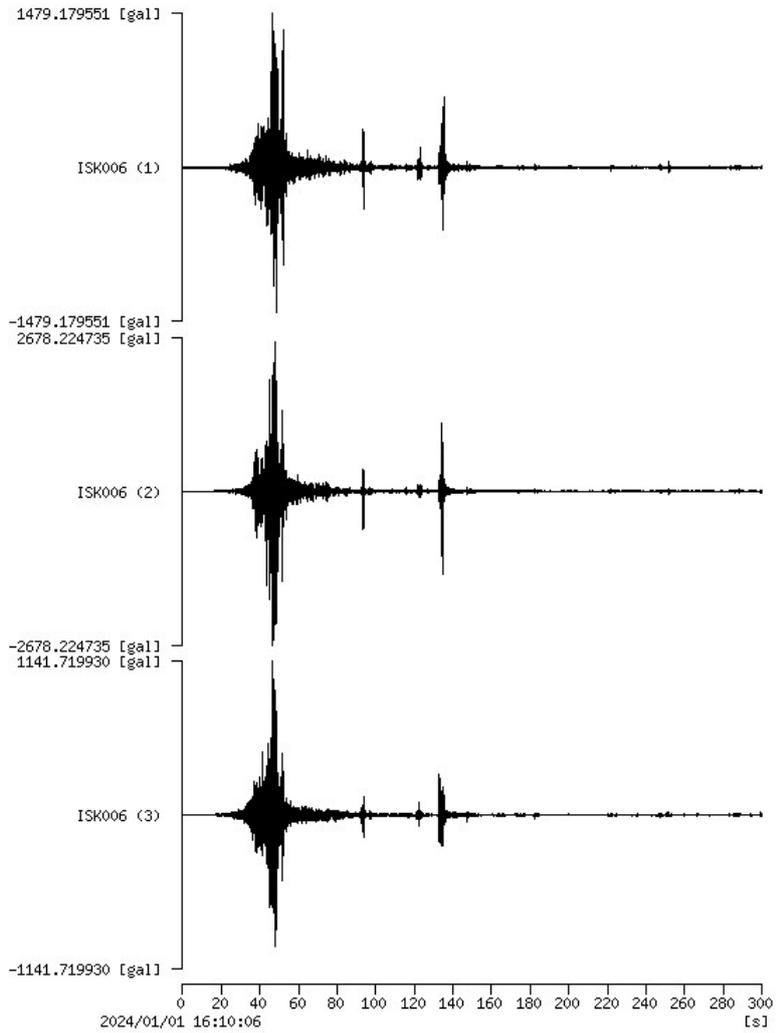
Soil column



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所

土質図

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK006)

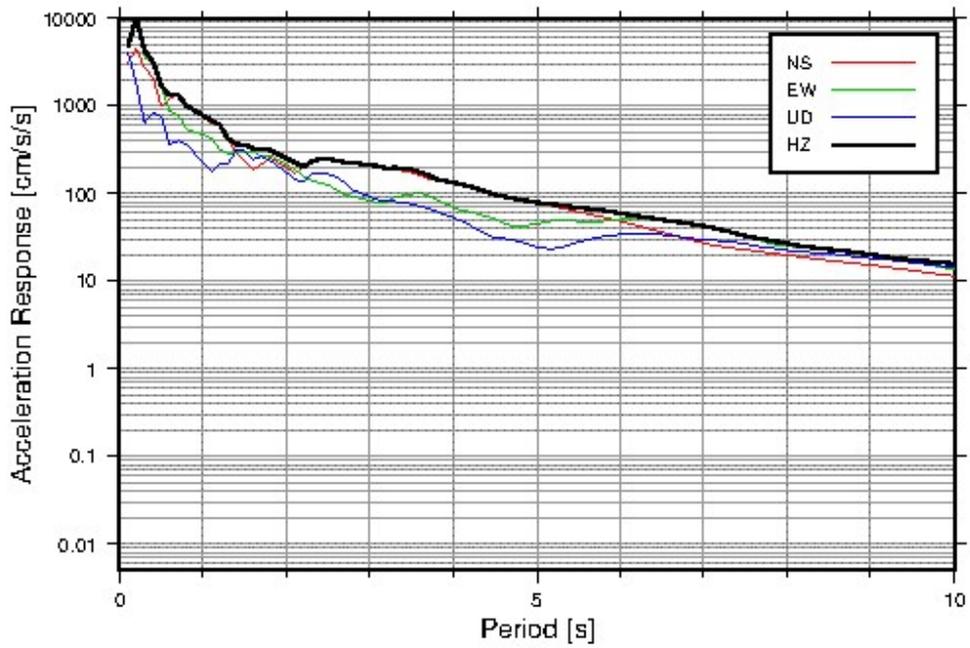
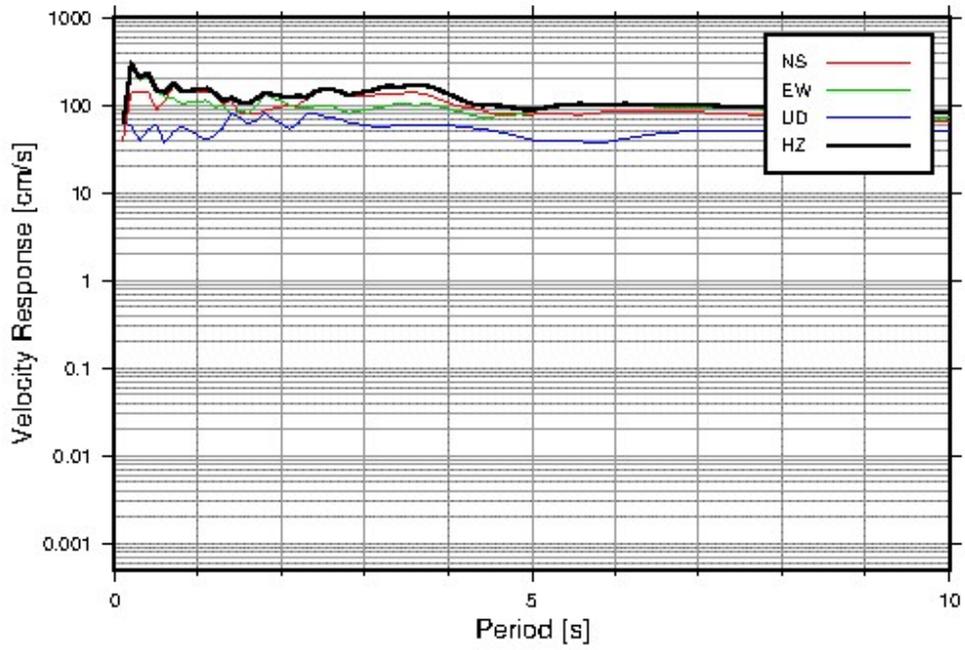


加速度波形

(上から NS 方向、EW 方向、上下方向)

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6 (ISK006) (1-3ch)

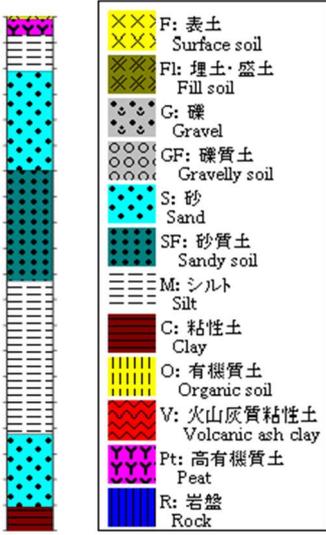
(Damping=5%)



上：速度応答スペクトル、下：加速度応答スペクトル

七尾 ISK007

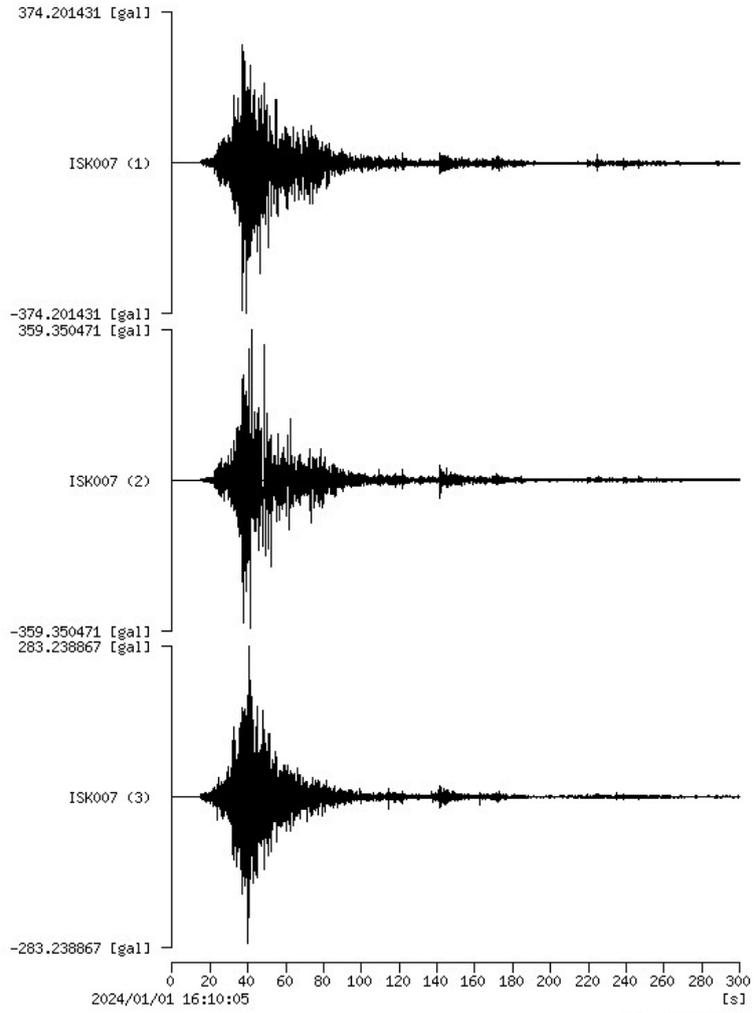
Soil column



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所

土質図

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km H7.6(ISK007)



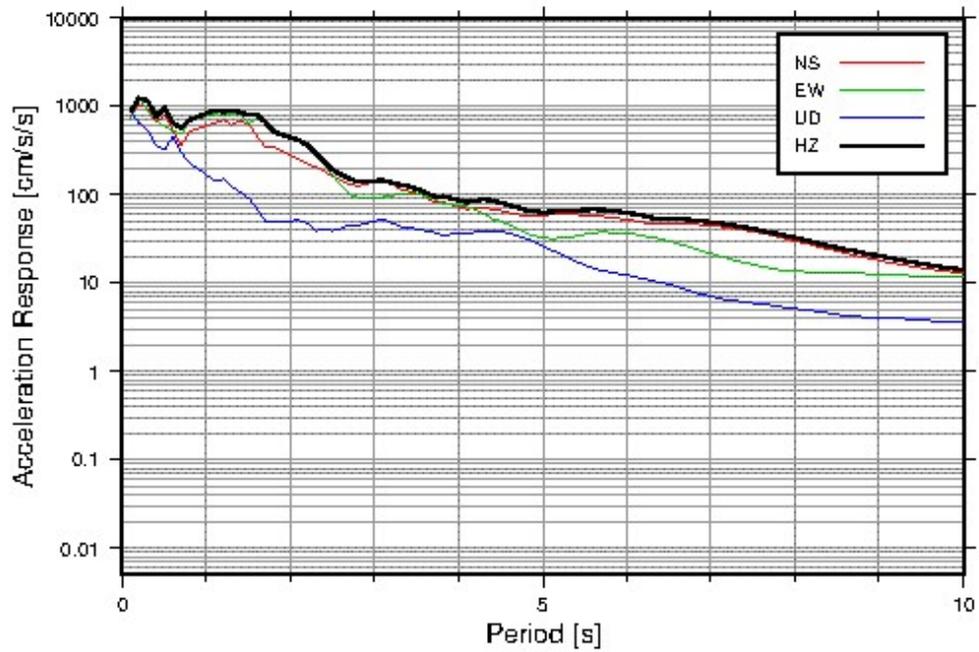
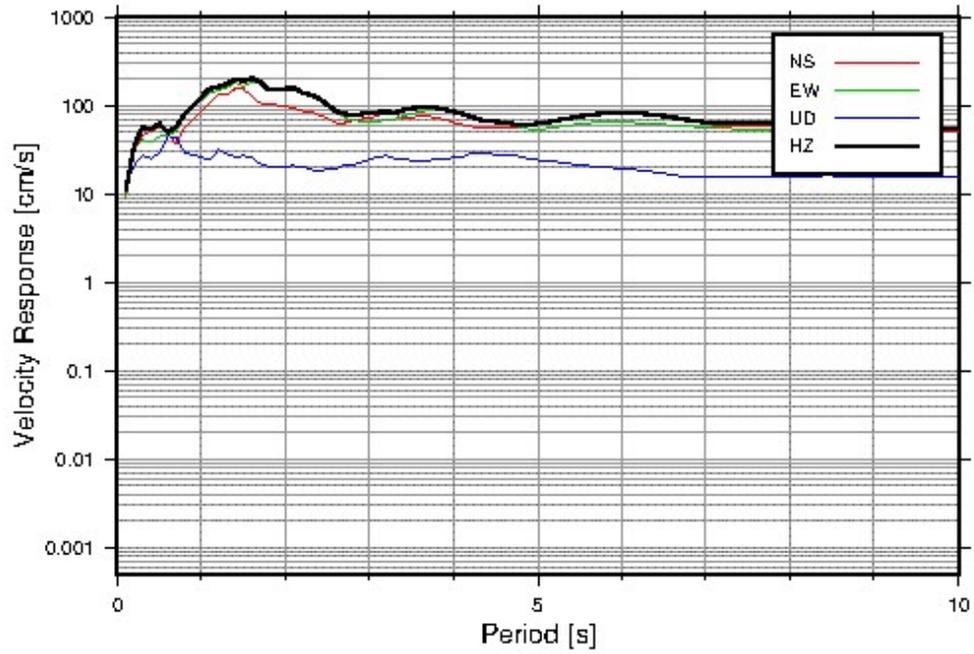
K-NET NIED

加速度波形

(上から NS 方向、EW 方向、上下方向)

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6 (ISK007) (1-3ch)

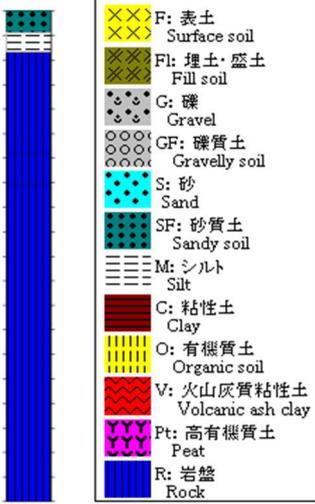
{Damping=5%}



上：速度応答スペクトル、下：加速度応答スペクトル

大町 ISK015

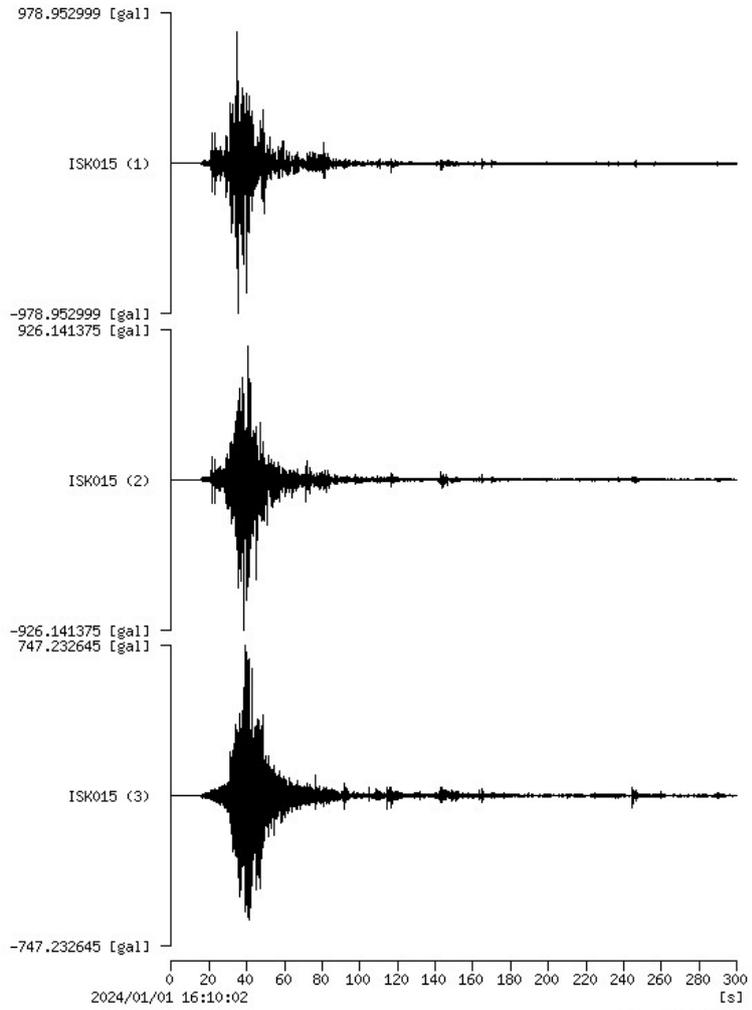
Soil column



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所

土質図

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6(ISK015)

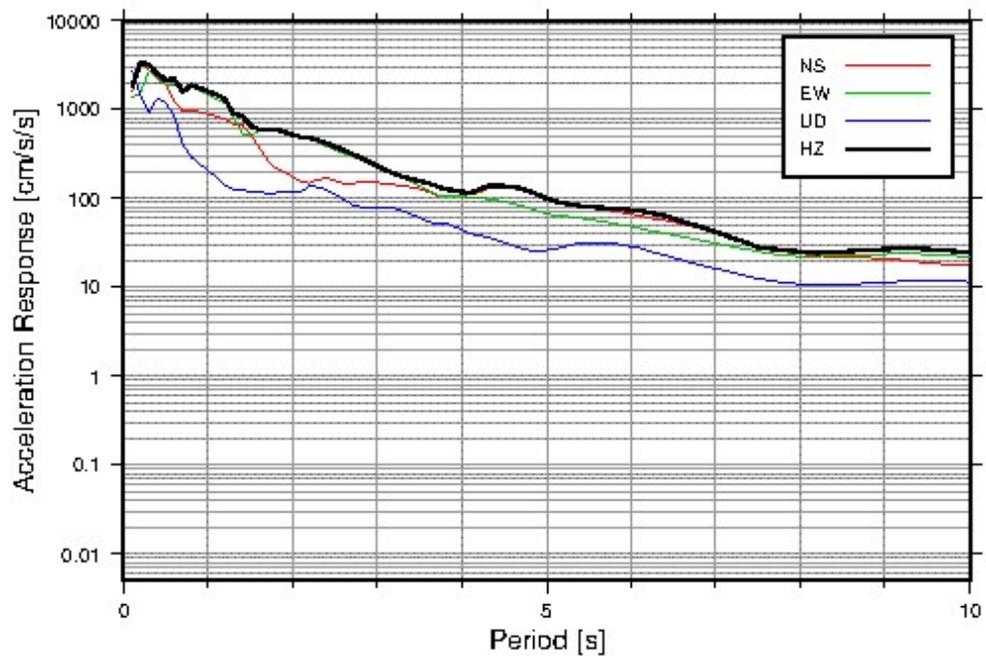
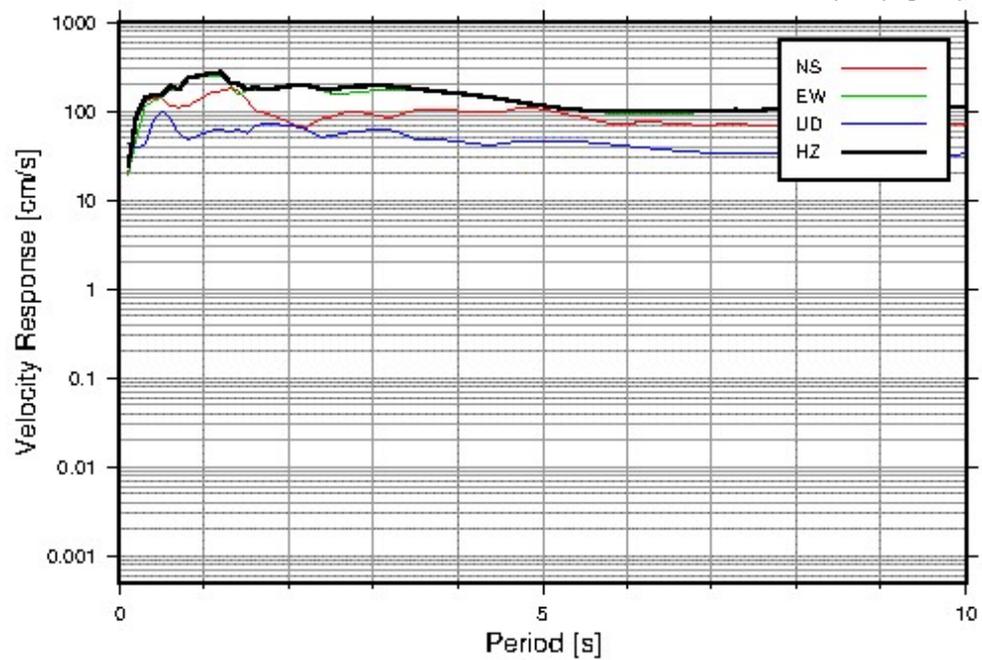


加速度波形

(上から NS 方向、EW 方向、上下方向)

2024/01/01-16:10 37.5N 137.2E 0.0km M7.6 (ISK015) (1-3ch)

[Damping=5%]



上：速度応答スペクトル、下：加速度応答スペクトル

3. 調査の概要

3.1 調査メンバー

①学識者

○金沢大学 名誉教授 宮島昌克
中央大学 副学長 総合政策学部 教授 平野廣和

②全国上下水道コンサルタント協会

株式会社 NJS 大嶽公康
株式会社日水コン 宮本勝利

③水道技術研究センター

管路技術部 部長 熊谷岳志
管路技術部 吉川嶺

3.2 調査日程

現地調査：令和6年2月6日（火）～7日（水）

3.3 調査対象施設

能登半島地方（志賀町、輪島市、七尾市、能登町、珠洲市）にあるステンレス製の配水池や受水槽のうち、特に被害があるとの情報があったタンク、また、それら周辺の被害状況が不明の比較的大規模なタンク。

3.4 調査行程

[1日目] 2月6日(火)(七尾市、志賀町、輪島市を中心に調査)

6:00 金沢駅周辺 集合・出発

(詳細行程は下図のとおり)

16:30 調査終了

19:30 金沢駅周辺 解散

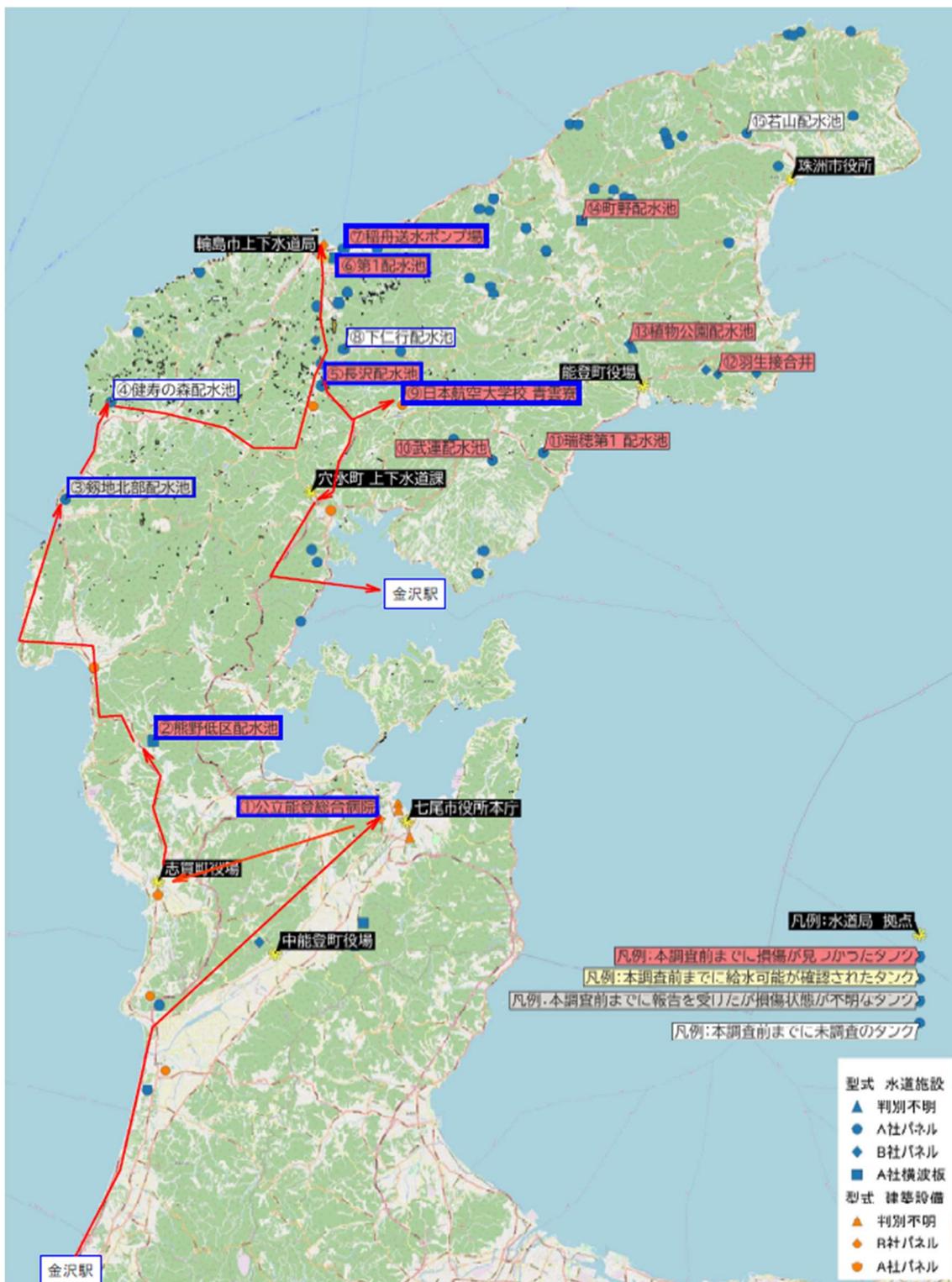


図 3-1 調査行程図 (1日目 2/6)

[2日目] 2月7日(水)(輪島市、能登町、珠洲市を中心に調査)

6:00 金沢駅周辺 集合・出発

(詳細行程は下図のとおり)

15:30 調査終了

20:00 金沢駅 解散

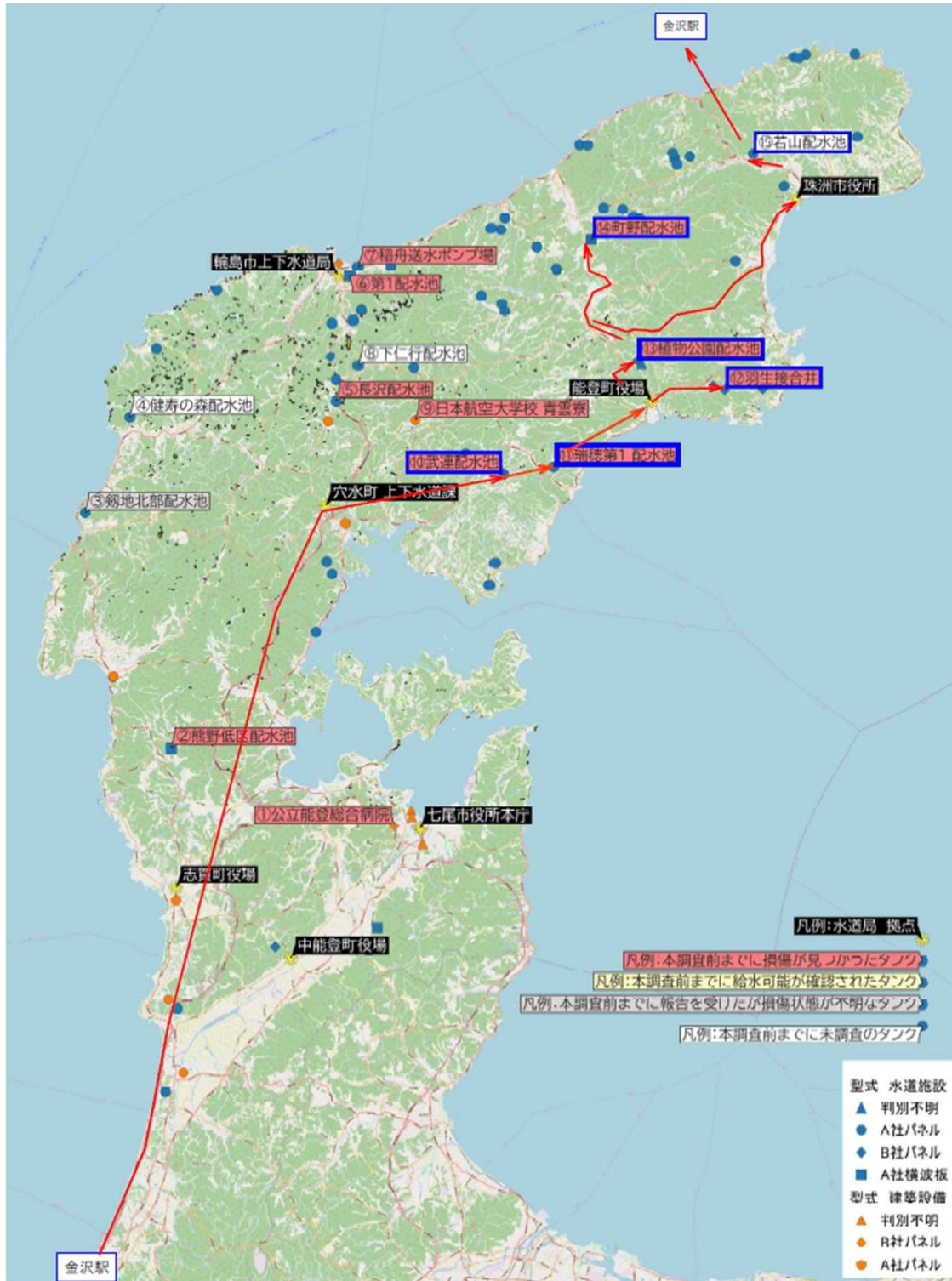


図 3-2 調査行程図 (2日目 2/7)

3.5 調査項目

- (1)ステンレス製タンク所在
- (2)ステンレス製タンク諸元
- (3)ステンレス製タンク損傷状況

3.6 調査対象市町村



図 3-3 石川県 能登地方 (石川県 HP より)

表 3-1 調査対象事業体 概要

事業体名	行政区域内人口	給水人口	断水戸数		断水率 (2/8)
			最大	2/8 時点	
志賀町	17,902 人	16,867 人	約 8,800 戸	約 2,430 戸	約 28%
珠洲市	12,332 人	10,553 人	約 4,800 戸	約 4,800 戸	100%
七尾市	48,658 人	47,127 人 (上水道) 103 人 (簡易・専用水道)	約 21,800 戸	約 13,300 戸	約 61%
能登町	14,988 人	14,635 人 (上水道)	約 6,200 戸	約 5,000 戸	約 81%
輪島市	23,250 人	19,130 人 (上水道) 3,162 人 (簡易水道)	約 10,000 戸	約 10,000 戸	100%

※行政区域内人口および給水人口は、「石川県水道統計概要 (令和 3 年度)」より、断水戸数は、「石川県能登地方を震源とする地震について (第 59 報) (厚生労働省)」より。

※断水率は最大断水戸数に対する 2/8 断水戸数の比率より算出している。

4. ステンレス製タンクの被害状況とその要因

4.1 ステンレス製タンクの被害状況の概要

石川県能登地域の市町村では、多くのステンレス製タンクが使用されている。穴水町・志賀町・珠洲市・中能登町・七尾市・能登町・羽咋市・輪島市の事業体の水道計画から 70 ヶ所以上でステンレス製タンクが使用されていることが確認できた。

下図に所在が確認できたステンレスタンクの分布を示す。

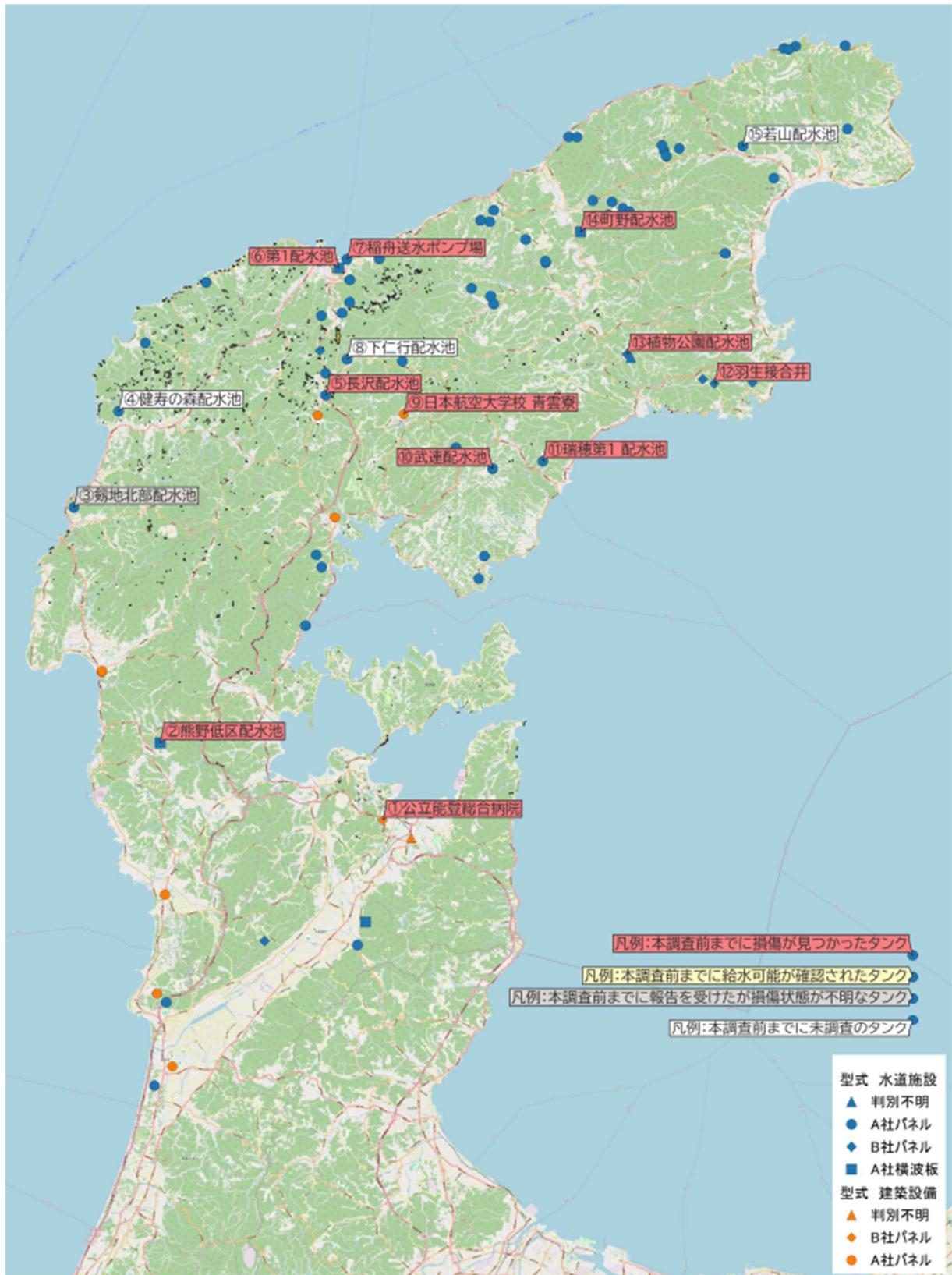


図 4-1 ステンレスタンの設置位置図

本調査では、調査前までに損傷があるとの情報を入手できた 11 か所のタンクとその他の損傷の有無が不明であった 4 か所のタンクについて調査を行った。15 か所のタンクの諸元等を下表に示す。

珠洲市のタンクについて、事前の情報で大きな損傷が確認されていなかったため、1 か所のみの調査となっている。

これらのタンクは、タンク上流側の断水等により充水されていなかったこと、また、既に補修済みであったため、大きな漏水状況は確認できなかったが、14 か所でパネルの剥離などの損傷が確認された。

表 4-1 調査したステンレスタンクの概要

名称	所在地	設置年度	容量	寸法	型	損傷の有無
①公立能登総合病院	七尾市	1999	230 m ³	未確認	パネル	有
②熊野低区配水池	志賀町	1997	280 m ³	未確認	横波板	有
③釧地北部配水池	輪島市	2008	210 m ³	11.0 m×8.0 m×4.0mH	パネル	有
④健寿の森配水池	輪島市	2000	54 m ³	11.0 m×3.0 m×2.5mH	パネル	有
⑤長沢配水池	輪島市	2008	250 m ³	8.0 m×7.0 m×5.0mH	パネル	有
⑥第一配水池	輪島市	2004	4000 m ³	28.4 m×14.2m×10.58mH	横波板	有
⑦稲舟送水ポンプ場	輪島市	2021	30 m ³	未確認	パネル	有
⑧下仁行配水池	輪島市	2006	126 m ³	6.0 m×5.0 m×5.0mH	パネル	有
⑨日本航空大学校 青雲寮	輪島市	2004	30 m ³	2.0 m×7.0 m×3.0mH	パネル	無
		2002	未確認	未確認		有
		2018	3.5 m ³	2.0 m×4.5m×2.0mH		有
⑩武連配水池	能登町	2006	140 m ³	4.0 m×5.0 m×7.0mH	パネル	有
⑪瑞穂第 1 配水池	能登町	2003	120 m ³	6.0 m×4.0 m×5.5mH	パネル	有
⑫羽生接合井	能登町	2008	90 m ³	5.0 m×6.0 m×3.5mH	パネル	有
⑬植物公園配水池	能登町	2007	65 m ³	4.0 m×6.0 m×3.5mH	パネル	有
⑭町野配水池	輪島市	2005	1230 m ³	未確認	横波板	有
⑮若山配水池	珠洲市	2014	375 m ³	未確認	パネル	無

※番号は、調査した順番。

※①公立能登総合病院、⑨日本航空大学校 青雲寮のタンクは、給水施設であり、水道施設とは設計指針が異なっている。

4.2 ステンレス製タンクの被害状況

①公立能登総合病院（七尾市）

調査時、偶然居合わせた病院関係者によると、調査時（2024/2/6）は、東側のみの片池運用を行っており、水位も2m以下にしているとのことであった。また、2007年の能登半島地震時にも補修工事を行ったとのことである。

※公立能登総合病院のタンクは、給水施設であり、水道施設とは設計指針が異なっている。



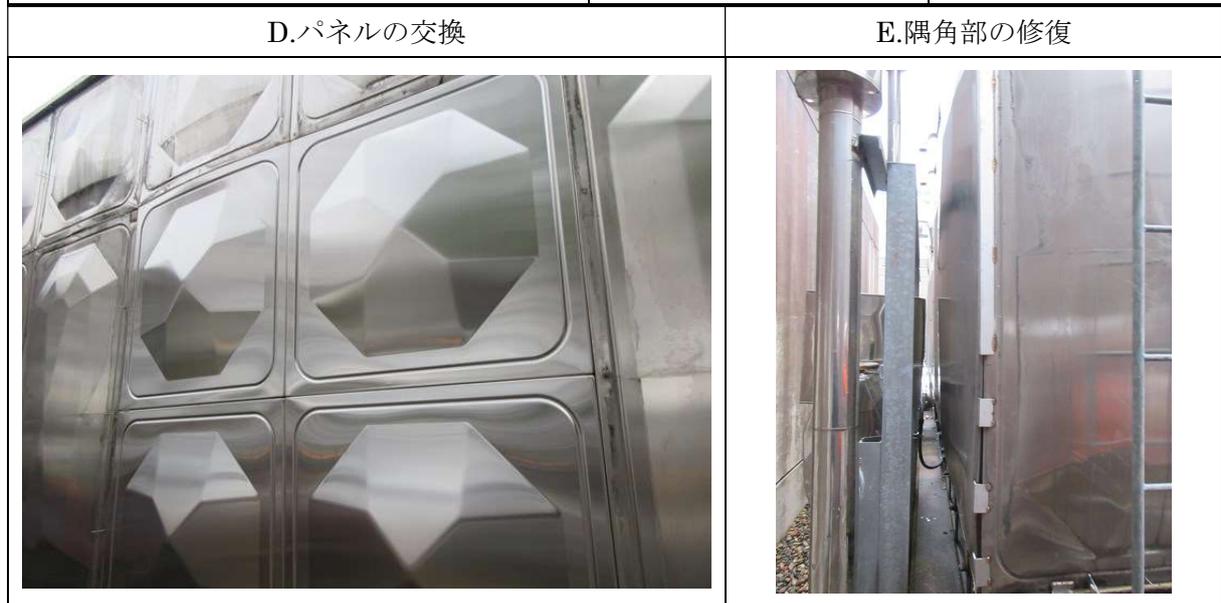
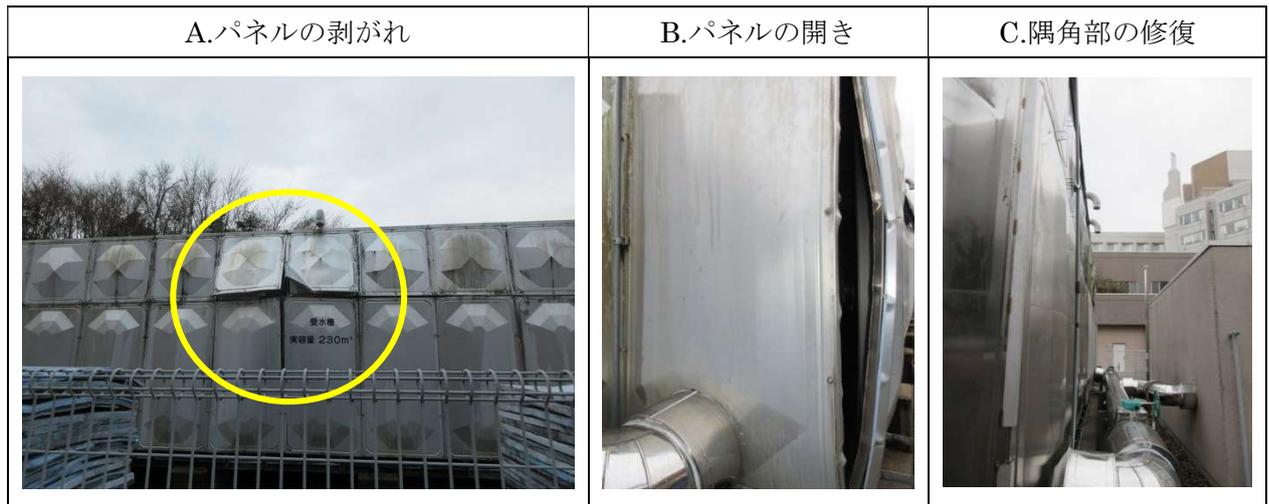
〈施設諸元〉

名称：公立能登総合病院
所在地：七尾市
型式：パネルタイプ
有効容量：230 m³（12.0 m×8.0 m×3.0mH）※寸法は推定
設置年度：1999年度
調査日：2024年2月6日
備考：2007年能登半島地震でも被害あり

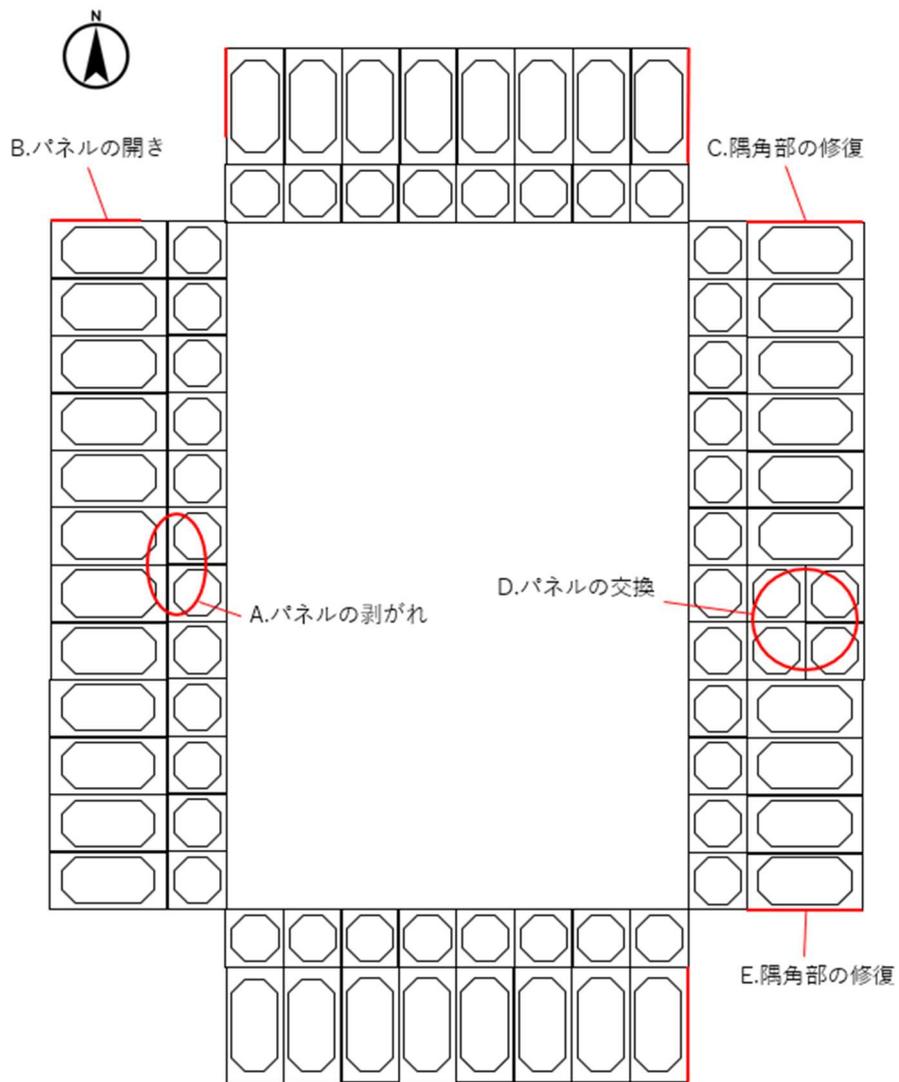


〈損傷状況〉

- ・側板のパネルの剥がれや隅角部もパネルの開きなどの損傷が確認された（A・B）。
- ・一部のパネルについては今回の地震後に交換済み（D）であり、隅角部についても補修跡（C・E）が確認されたが、今回の地震後の補修かは確認できなかった。
- ・スロッシングとバルジングが同時に発生した可能性が考えられる。



〈損傷箇所 展開図〉 12.0 m×8.0 m×3.0mH ※寸法は推定



②熊野低区配水池（志賀町）



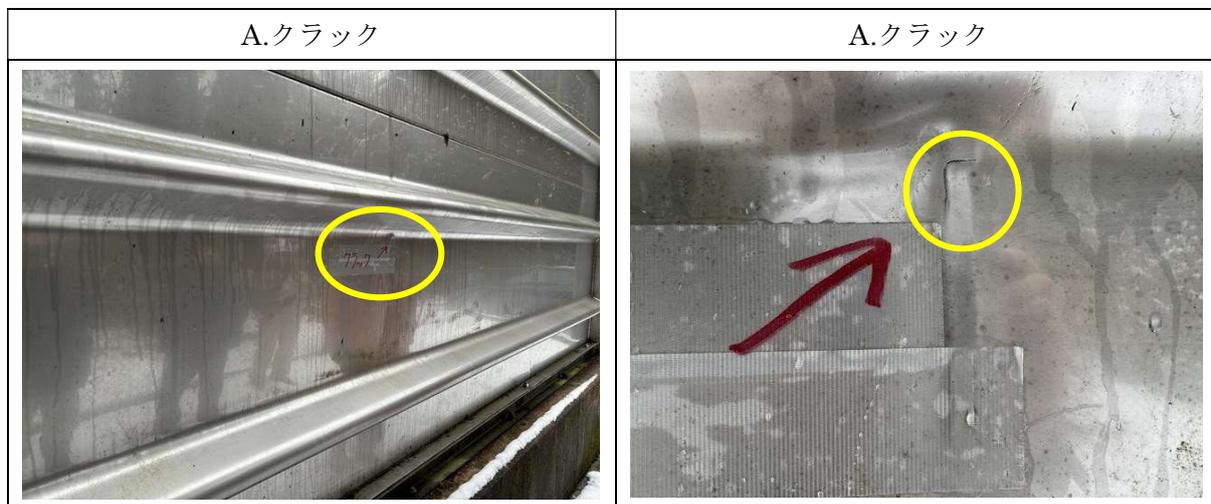
〈施設諸元〉

名称 : 熊野低区配水池
所在地 : 志賀町
型式 : 横波板タイプ
有効容量 : 280 m³
設置年度 : 1997 年度
調査日 : 2024 年 2 月 6 日
備考 : 2007 年能登半島地震では被害なし

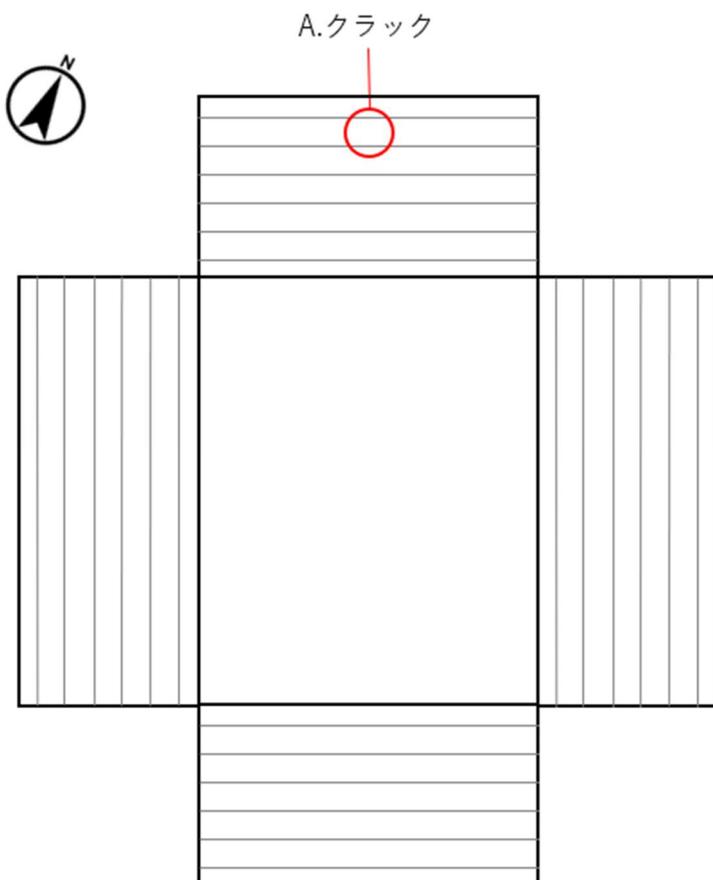


〈損傷状況〉

- ・横波板タイプのステンレス製タンクでクラック（A）が確認された。
- ・バルジングが発生した可能性が考えられる。



〈損傷箇所 展開図〉 280 m³



〈その後の状況〉

②熊野低区配水池のクラック補修（溶接）跡

（4月3日撮影 株NJS ご提供）



③ 劔地北部配水池（輪島市）



〈施設諸元〉

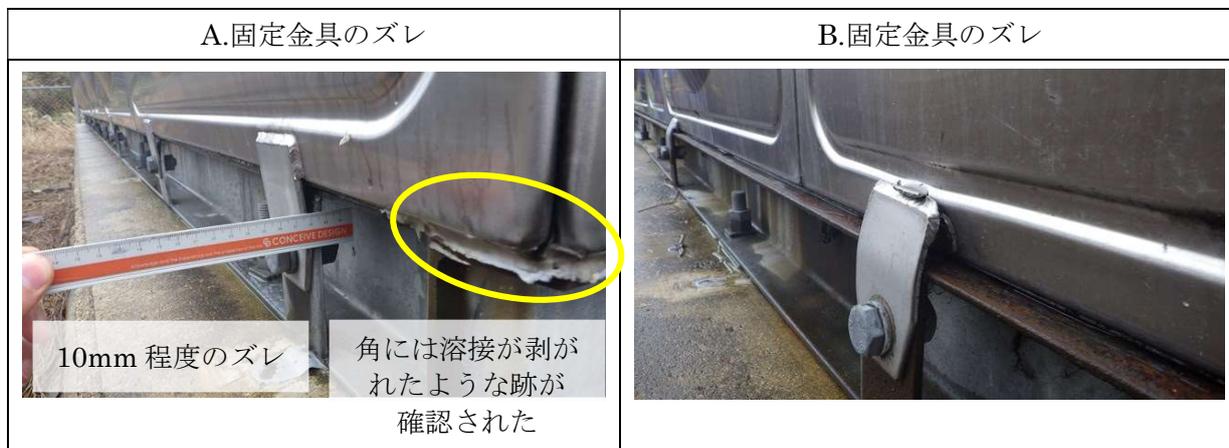
名称 : 劔地北部配水池
所在地 : 輪島市
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 210 m³ (11.0 m×8.0 m×4.0mH)
設置年度 : 2008 年度
調査日 : 2024 年 2 月 6 日
備考 : 2007 年能登半島地震では被害なし

周辺地図

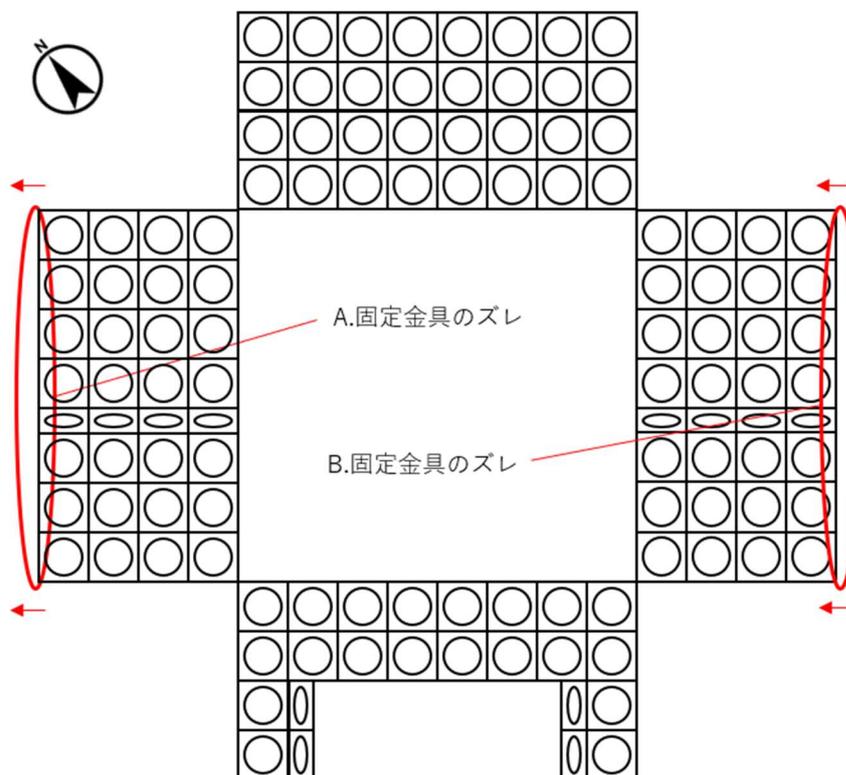


〈損傷状況〉

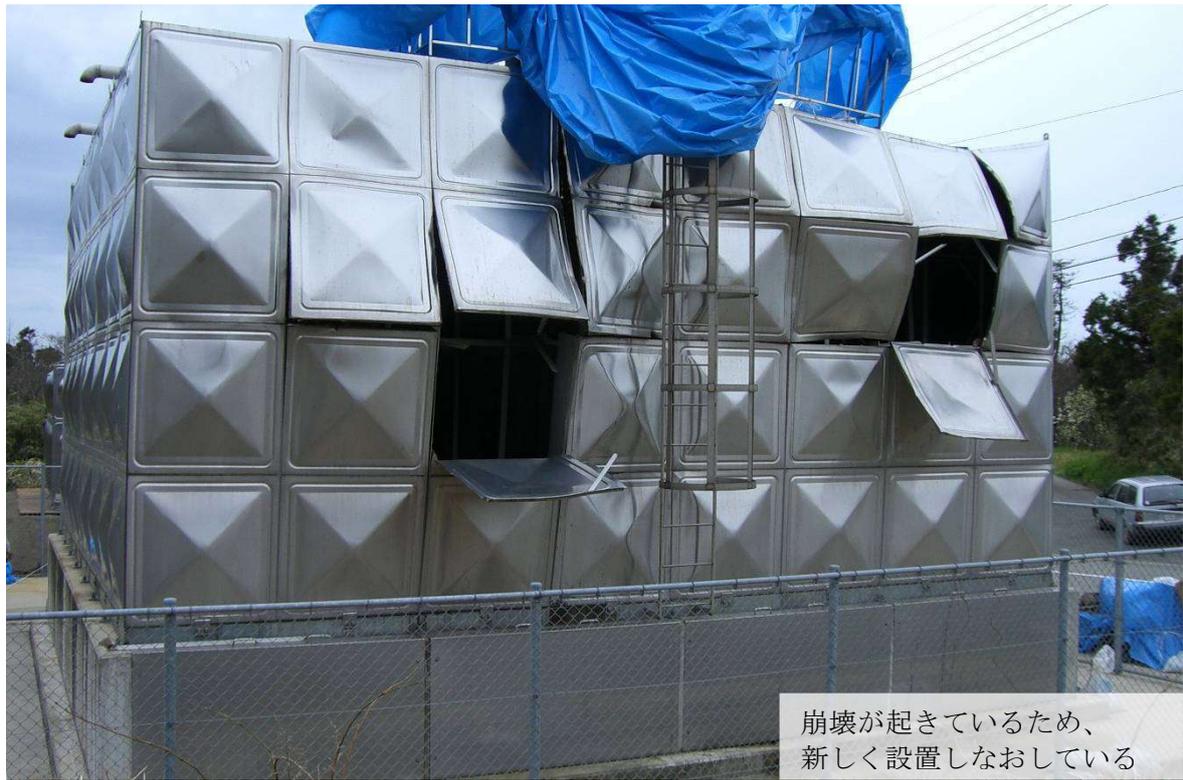
- 2007年の能登半島地震でもパネルの剥がれなどの損傷を受け、新しく設置され直されている。
- パネルの被害は確認されなかったが、下部の固定金具に変形とずれ（A・B）が確認された。



〈損傷箇所 展開図〉 11.0 m×8.0 m×4.0mH



2007年能登半島地震の被害状況（厚生労働省 被害調査報告書より）



④健寿の森配水池（輪島市）



〈施設諸元〉

名称 : 健寿の森配水池
所在地 : 輪島市
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 54 m³ (11.0 m×3.0 m×2.5mH)
設置年度 : 2000 年度
調査日 : 2024 年 2 月 6 日
備考 : 2007 年能登半島地震では被害はないが、周辺地盤に亀裂が確認されていた。



〈損傷状況〉

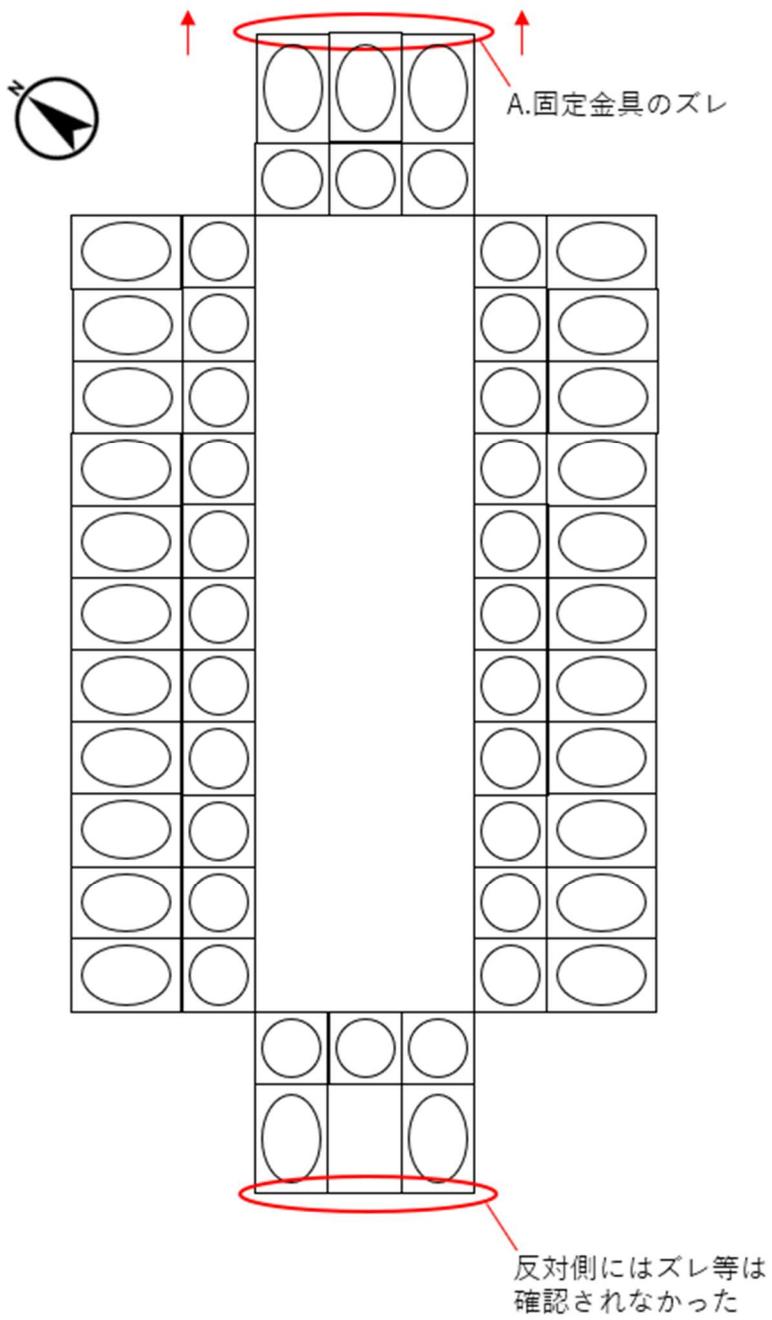
- ・ 建物のまわりに地割れが発生していたが、配水池に沈下等は見られなかった。
- ・ 剣地北部配水池同様、下部の固定金具に変形とずれ (A) が確認された。



A. 固定金具のズレ



〈損傷箇所 展開図〉 11.0 m×3.0 m×2.5mH



⑤長沢配水池（輪島市）



〈施設諸元〉

名称 : 長沢配水池
所在地 : 輪島市
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 250 m³ (8.0 m×7.0 m×5.0mH)
設置年度 : 2008 年度
調査日 : 2024 年 2 月 6 日
備考 : 2007 年能登半島地震でも被害あり



〈損傷状況〉

- 2007年の能登半島地震でもパネルの剥がれなどの損傷が確認されており、撤去して同じ形状にて設置され直されていると聞いた。
- 配水池の側で土砂崩れが発生していたが、配水池自体は土砂崩れの影響による大きな傾斜などは確認できなかった。
- 配水池は、パネルの剥離（A）や凹み（B）などの損傷が確認された。バルジングが発生した可能性が考えられる。

A.パネルの剥離

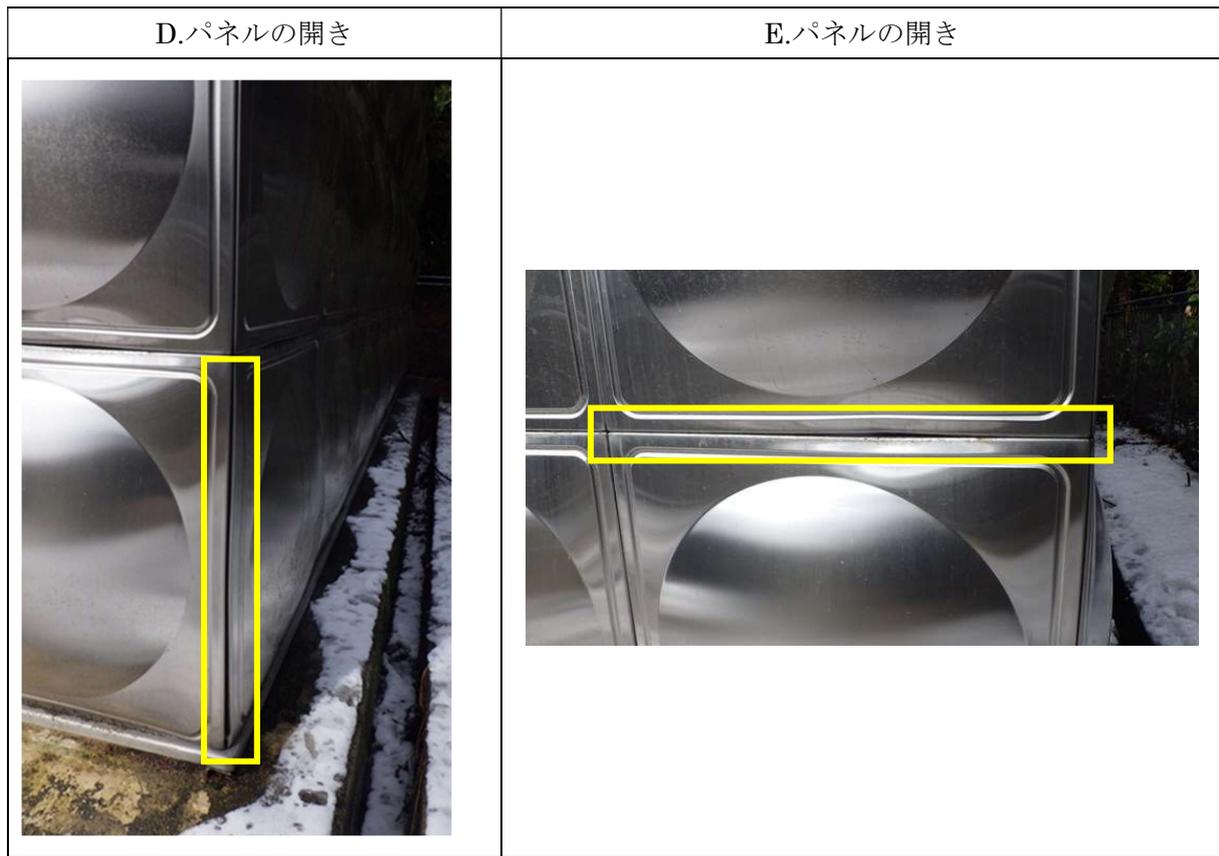


B.パネルの凹み

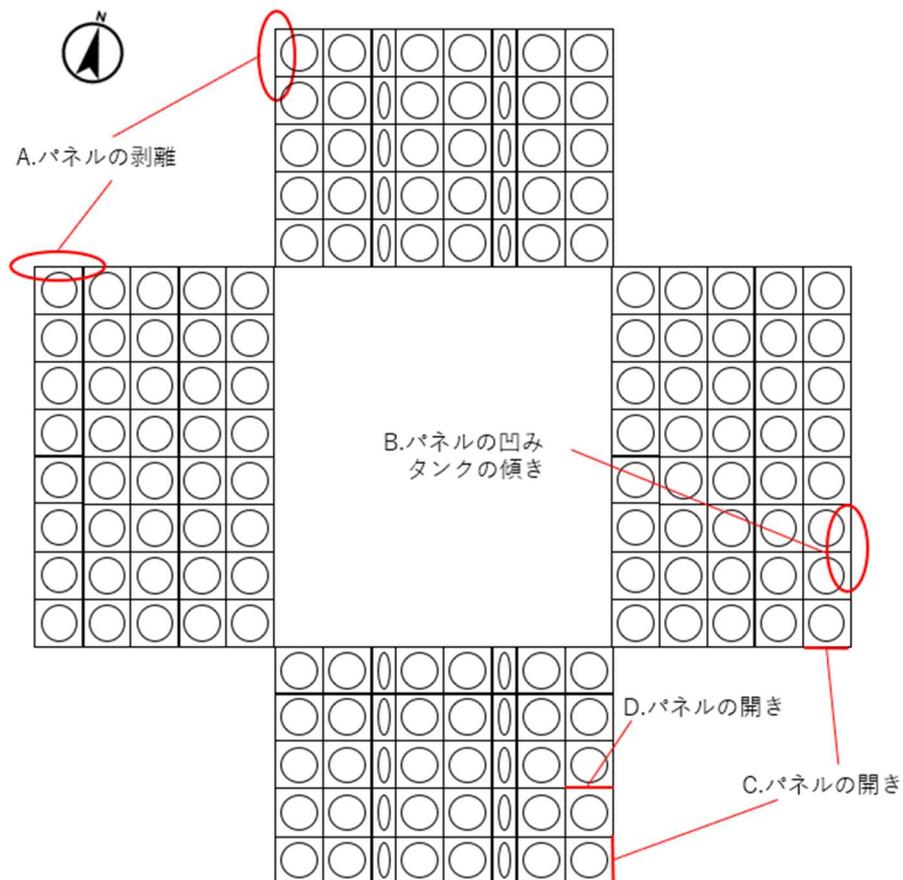


C.タンクの傾き





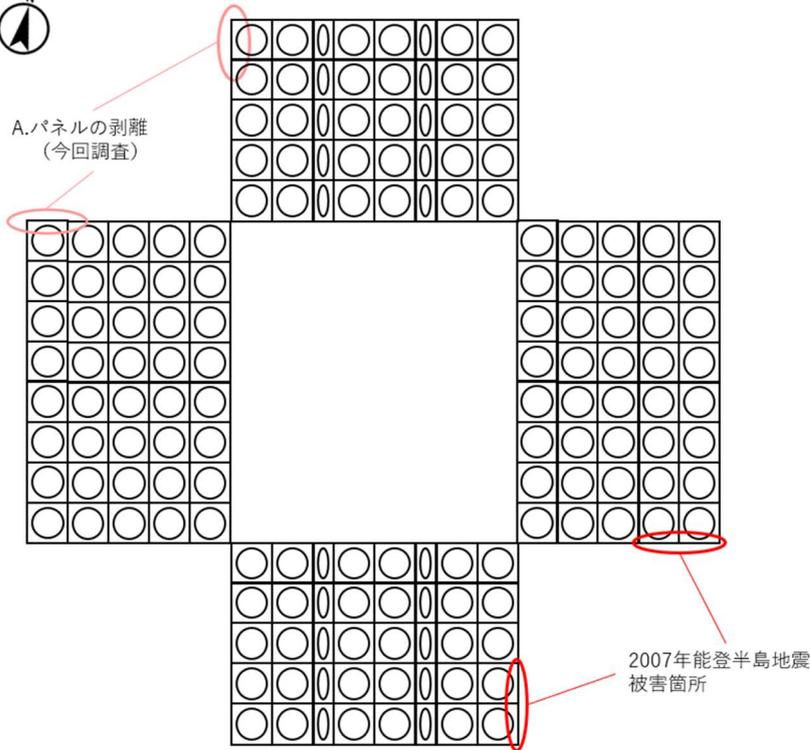
〈損傷箇所 展開図〉 8.0 m×7.0 m×5.0mH



2007年能登半島地震の被害状況（厚生労働省 被害調査報告書より）



A.パネルの剥離
（今回調査）



2007年能登半島地震
被害箇所

今回の調査と対角の箇所でパネルが剥離している。

⑥第一配水池（輪島市）



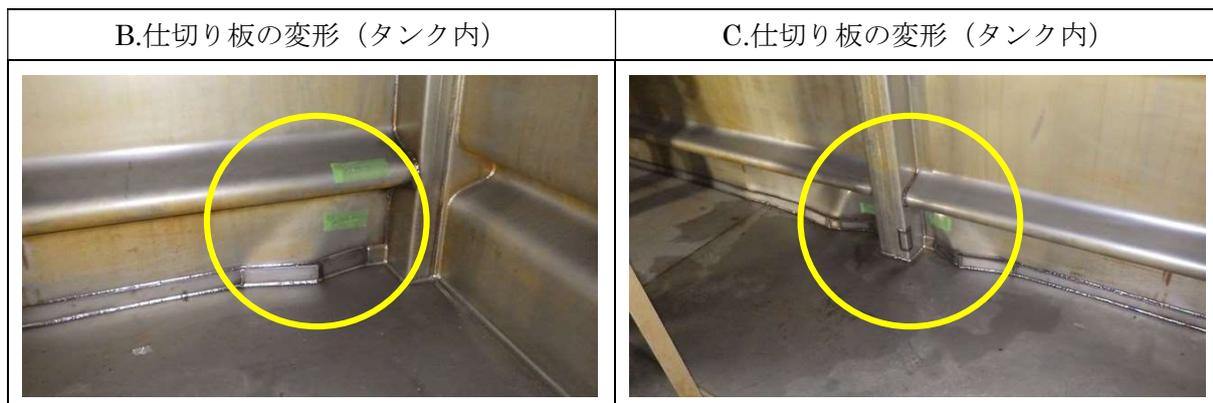
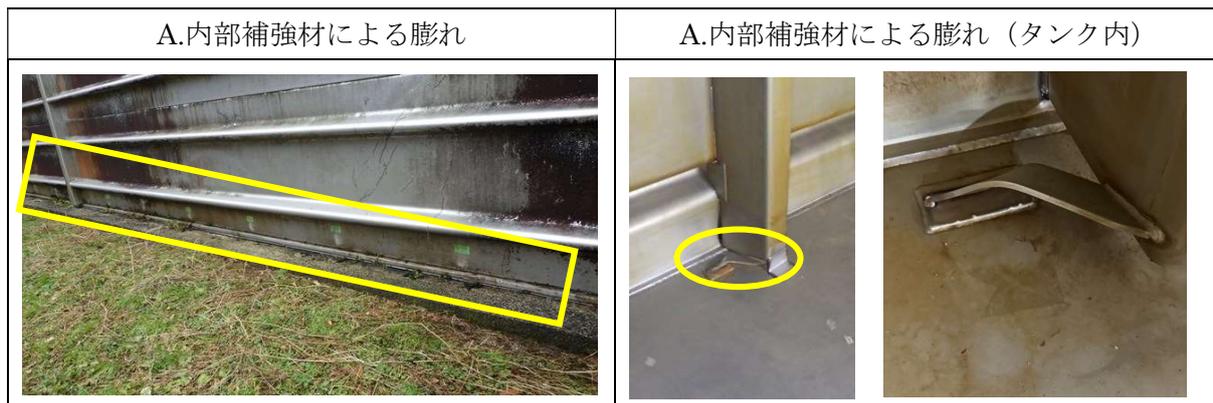
〈施設諸元〉

名称 : 第一配水池
所在地 : 輪島市
型式 : 横波板タイプ
有効容量 : 4000 m³ (28.4 m×14.2m×10.58mH)
設置年度 : 2004 年度
調査日 : 2024 年 2 月 6 日
備考 : 2007 年能登半島地震では被害なし

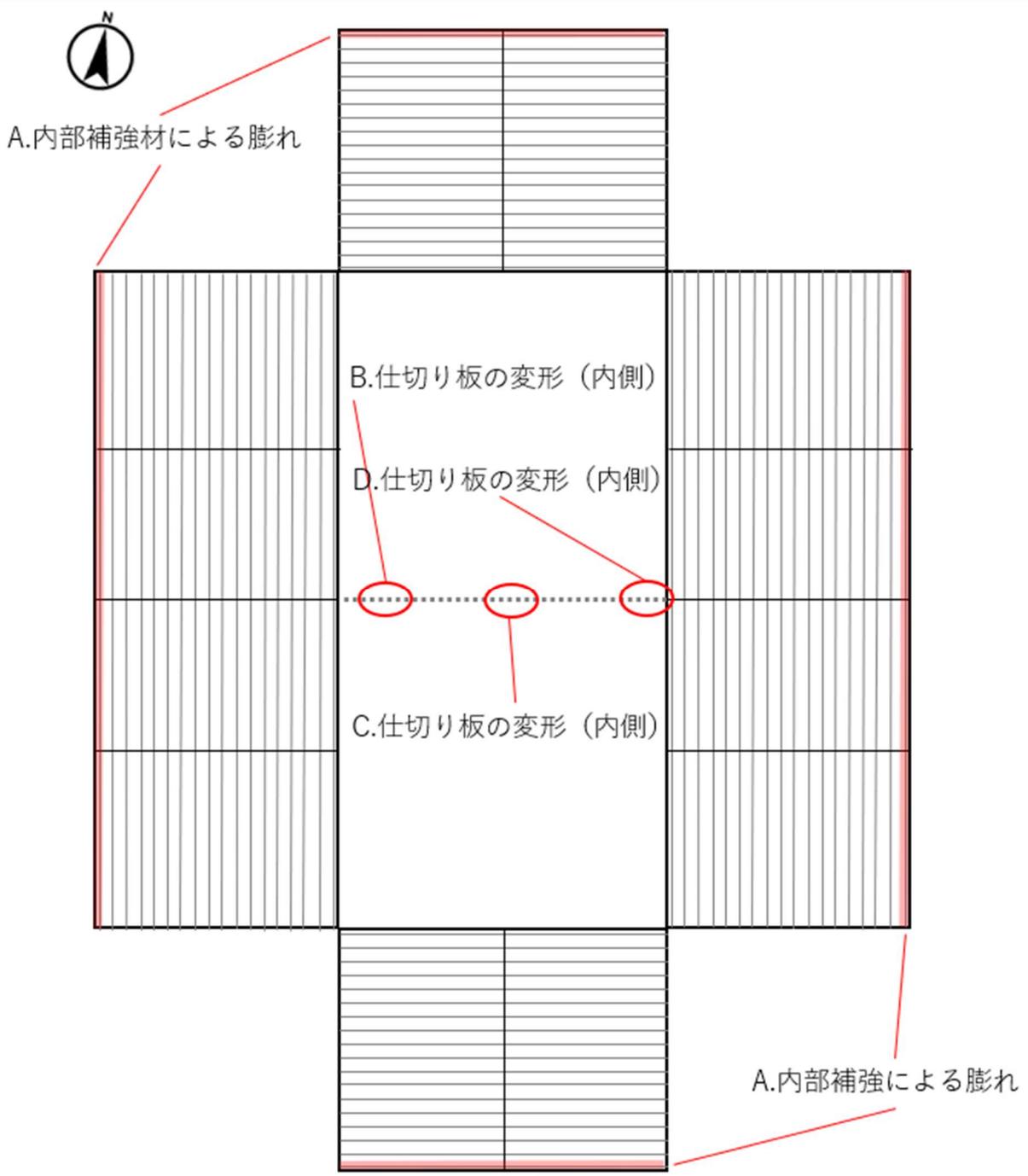


〈損傷状況〉

- ・配水池の側壁下端部周囲全体に等間隔で内側の補強材が圧縮変形しており、内部補強材の押しによるものと考えられる膨れ（A）が確認された。
- ・バルジングが発生した可能性が考えられる。
- ・仕切り板は、下方部分を中心に変形等の損傷（B・C・D）や亀裂部補修とみられる溶接補修箇所が確認された。
- ・配水池周辺道路、中学校グラウンドでは、斜面崩壊が発生していた。



〈損傷箇所 展開図〉 28.4 m×14.2m×10.58mH



⑦稲舟送水ポンプ場（輪島市）

〈損傷状況〉

- ・ 山側で土砂崩れが発生し、それに巻き込まれるようにタンクも被害を受けていた。また、その隣の家も巻き込まれていた。



〈施設諸元〉

名称 : 稲舟送水ポンプ場
所在地 : 輪島市
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 30 m³
設置年度 : 2021 年度
調査日 : 2024 年 2 月 6 日

周辺地図

斜面崩壊・堆積は
国土地理院より



Google ストリートビューより (震災前)



⑧下仁行配水池（輪島市）



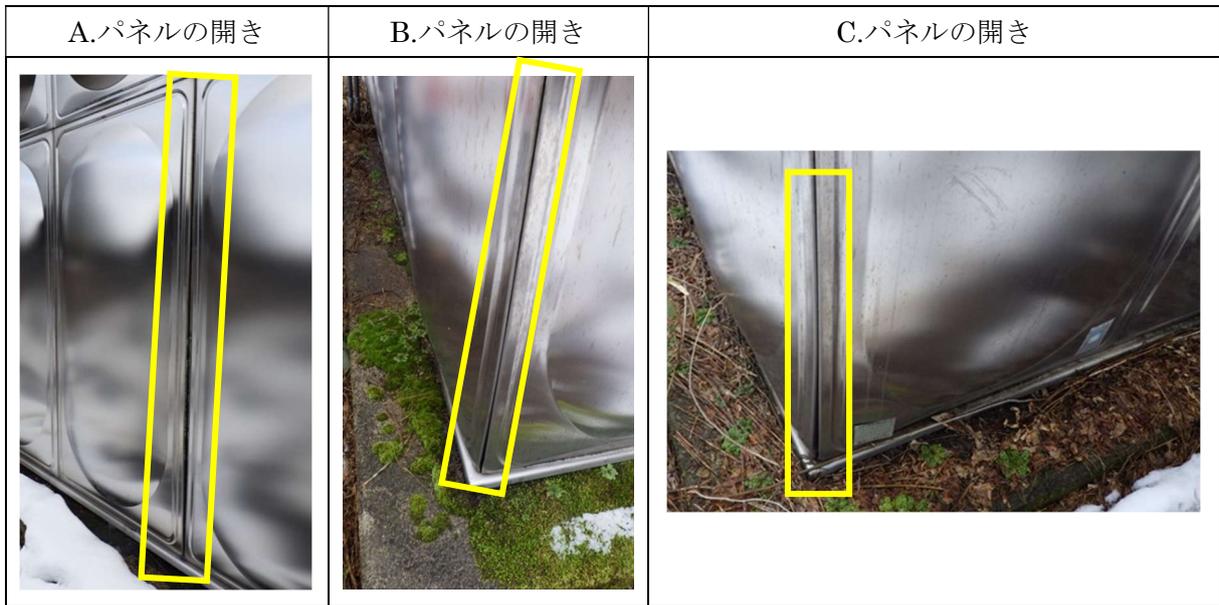
〈施設諸元〉

名称：下仁行配水池
所在地：輪島市
型式：パネルタイプ
有効容量：126 m³ (6.0 m×5.0 m×5.0mH)
設置年度：2006年度
調査日：2024年2月6日
備考：2007年能登半島地震では被害なし

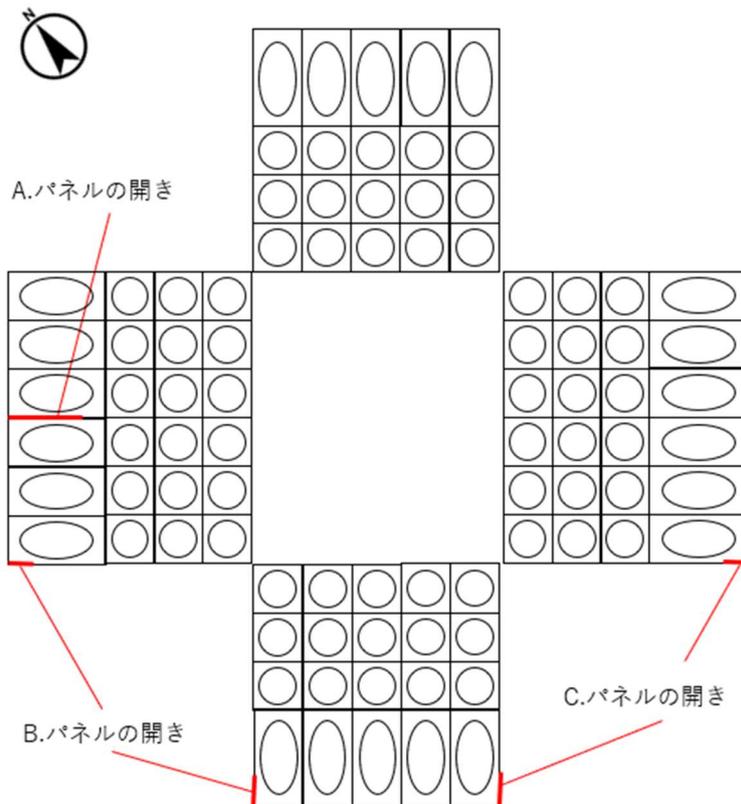


〈損傷状況〉

- ・パネルの開き (A・B・C) が確認された。バルジングが発生した可能性が考えられる。



〈損傷箇所 展開図〉 6.0 m×5.0 m×5.0mH



⑨日本航空大学校 青雲寮（輪島市）

※日本航空大学校のタンクは、給水施設であり、水道施設とは設計指針が異なっている。

- 受水槽①



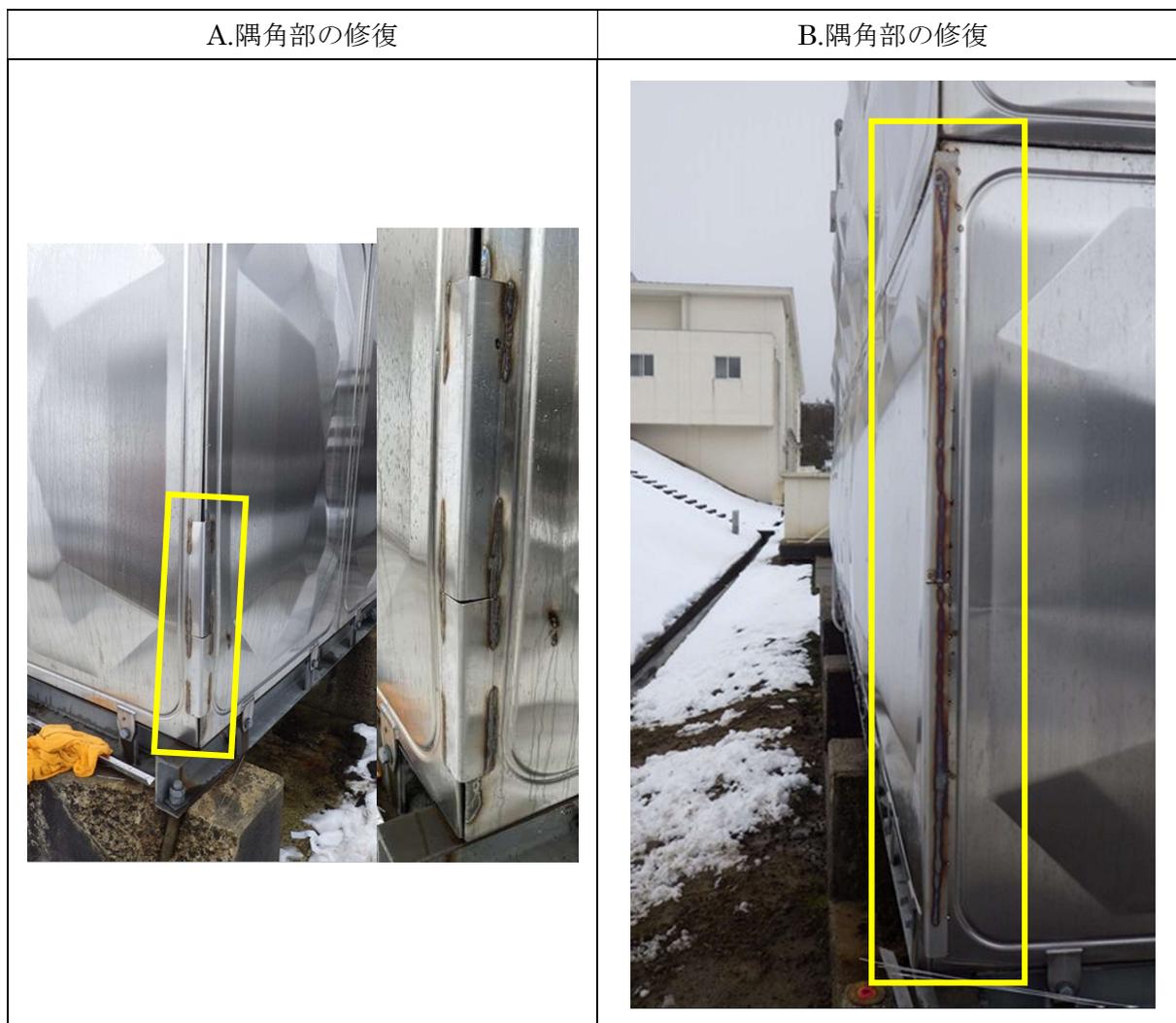
〈施設諸元〉

名称 : 日本航空大学校青雲寮 受水槽①
所在地 : 輪島市
型式 : パネルタイプ
有効容量 : (7.0 m×3.0 m×2.5mH) ※寸法は推定
設置年度 : 2002 年度
調査日 : 2024 年 2 月 6 日

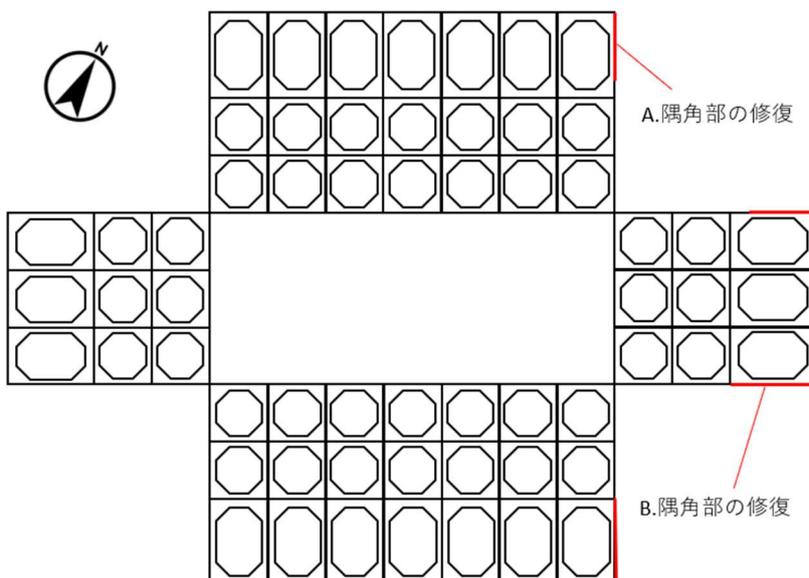


〈損傷状況〉

- ・隅角部に修復された跡（A）が確認された。バルジングが発生した可能性が考えられる。



〈損傷箇所 展開図〉 7.0 m×3.0 m×2.5mH ※寸法は推定



- 受水槽②



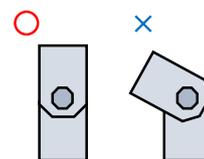
〈施設諸元〉

名称 : 日本航空大学校青雲寮 受水槽②
所在地 : 輪島市
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 3.5 m³ (2.0 m×4.5m×2.0mH)
設置年度 : 2018 年度
調査日 : 2024 年 2 月 6 日

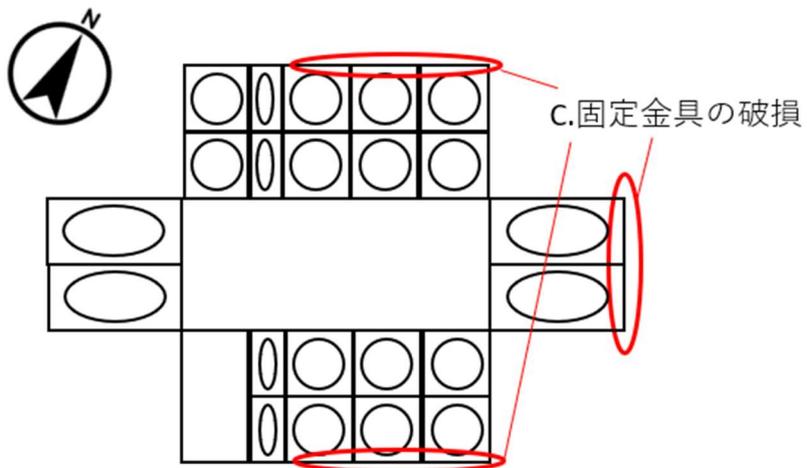
〈損傷状況〉

- ・タンクと底版の固定金具の変形が確認された。

C.固定金具の破損



〈損傷箇所 展開図〉 2.0 m×4.5m×2.0mH



⑩武連配水池（能登町）



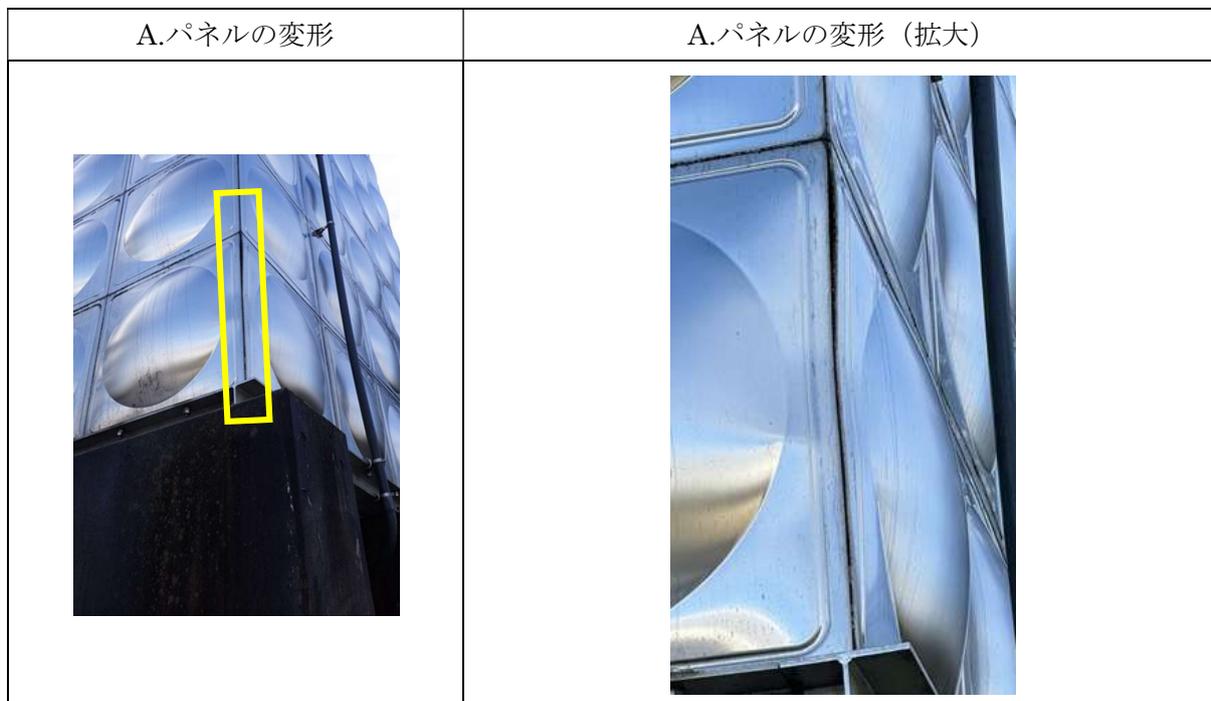
〈施設諸元〉

名称 : 武連配水池
所在地 : 能登町
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 140 m³ (4.0 m×5.0 m×7.0mH)
設置年度 : 2006 年度
調査日 : 2024 年 2 月 7 日
備考 : 2007 年能登半島地震では被害なし



〈損傷状況〉

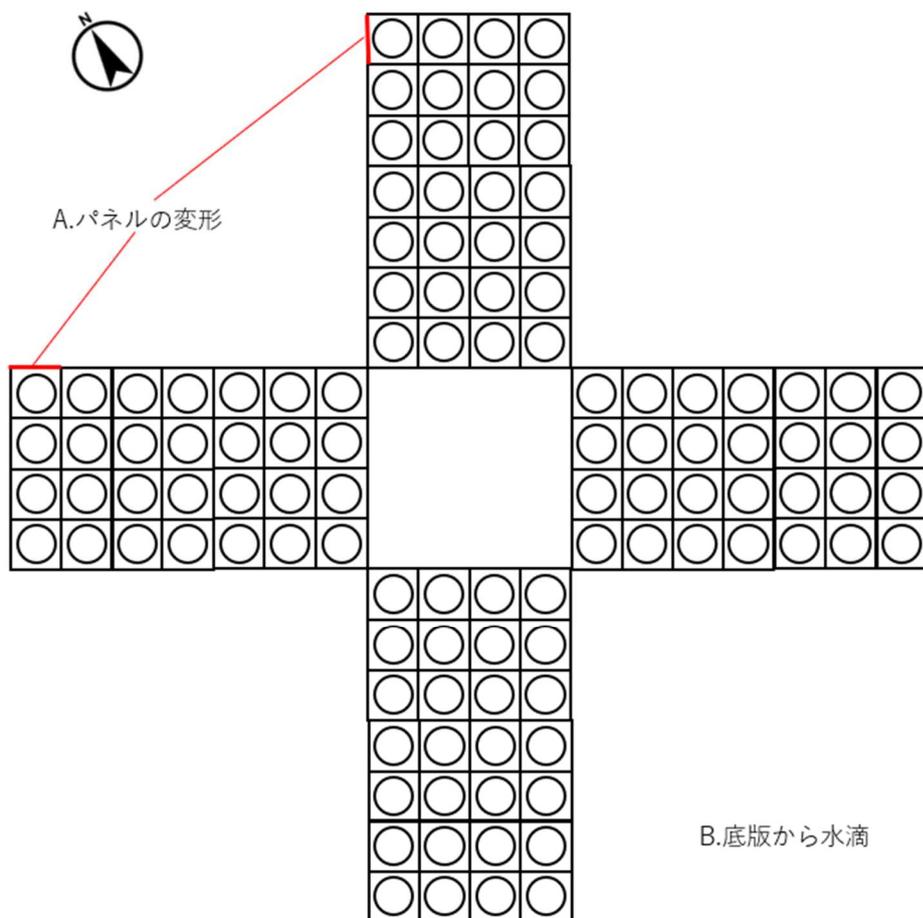
- ・隅角部にパネルの変形 (A) が確認された。バルジングが発生した可能性が考えられる。
- ・底板部に水滴が確認された (B)。漏水の可能性も考えられる。



B.底板から水滴（漏水の可能性あり）



〈損傷箇所 展開図〉 4.0 m×5.0 m×7.0mH



①瑞穂第1配水池（能登町）



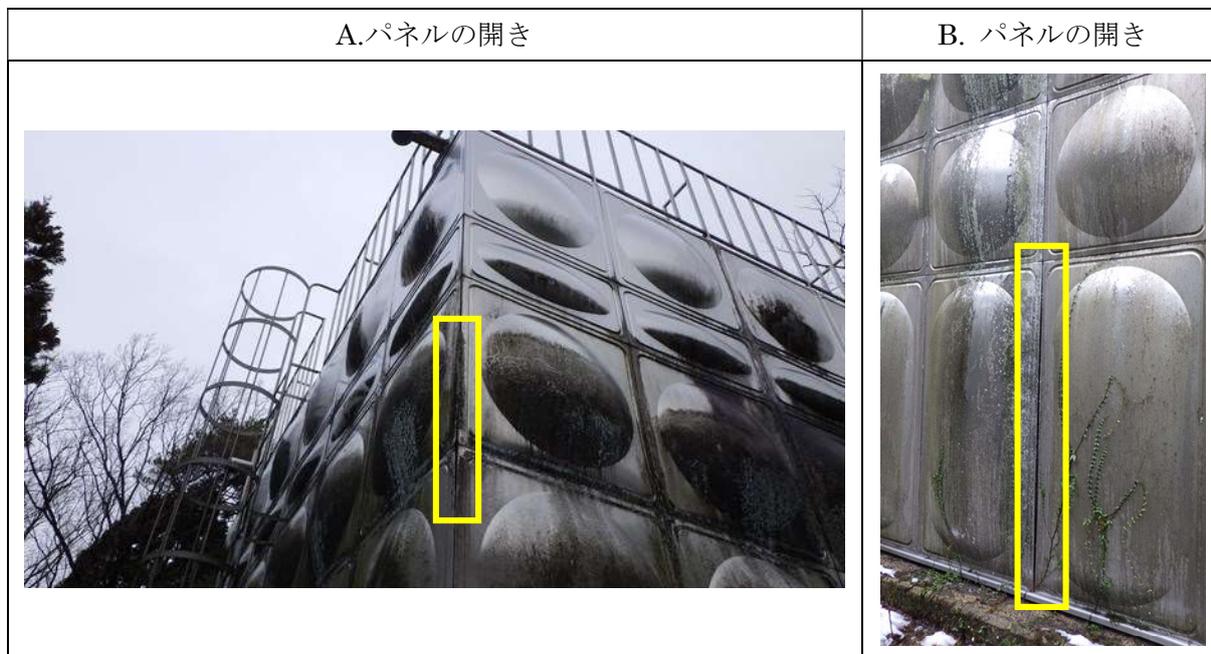
〈施設諸元〉

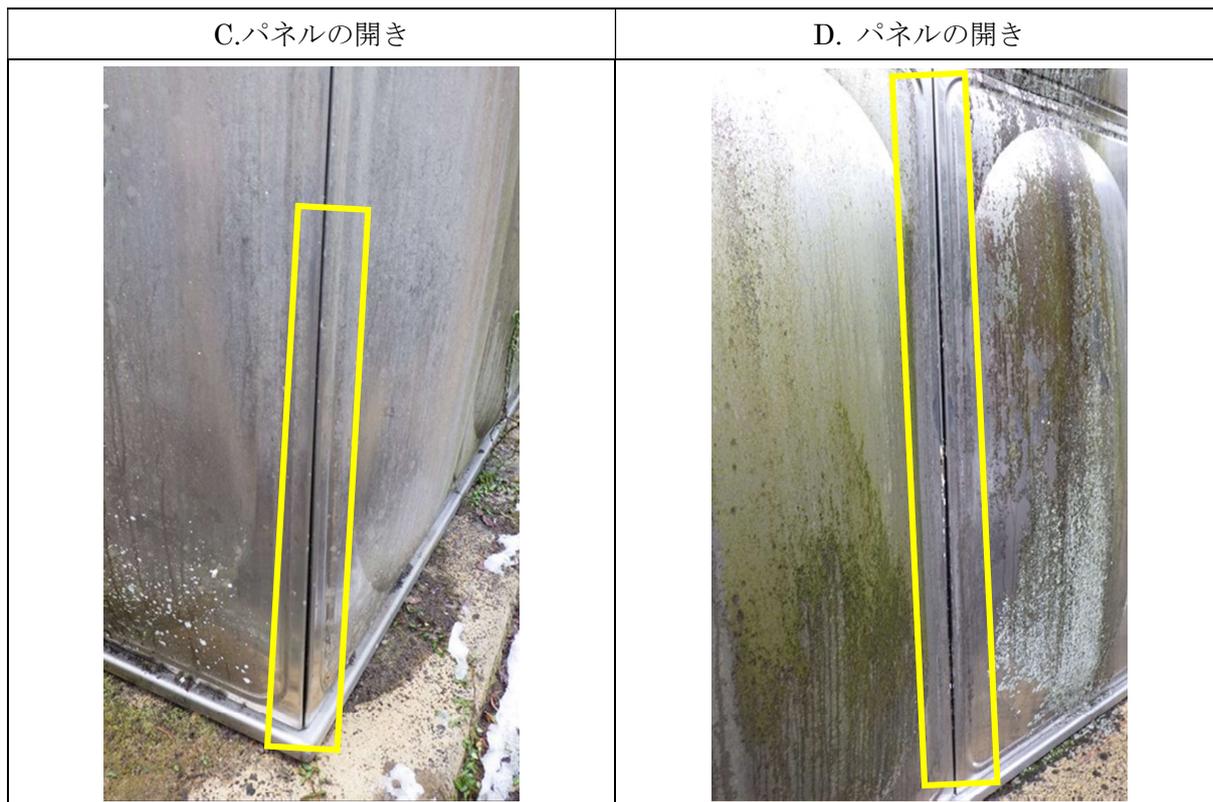
名称 : 瑞穂第1配水池
所在地 : 能登町
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 120 m³ (6.0 m×4.0 m×5.5mH)
設置年度 : 2003年度
調査日 : 2024年2月7日
備考 : 2007年能登半島地震では被害なし



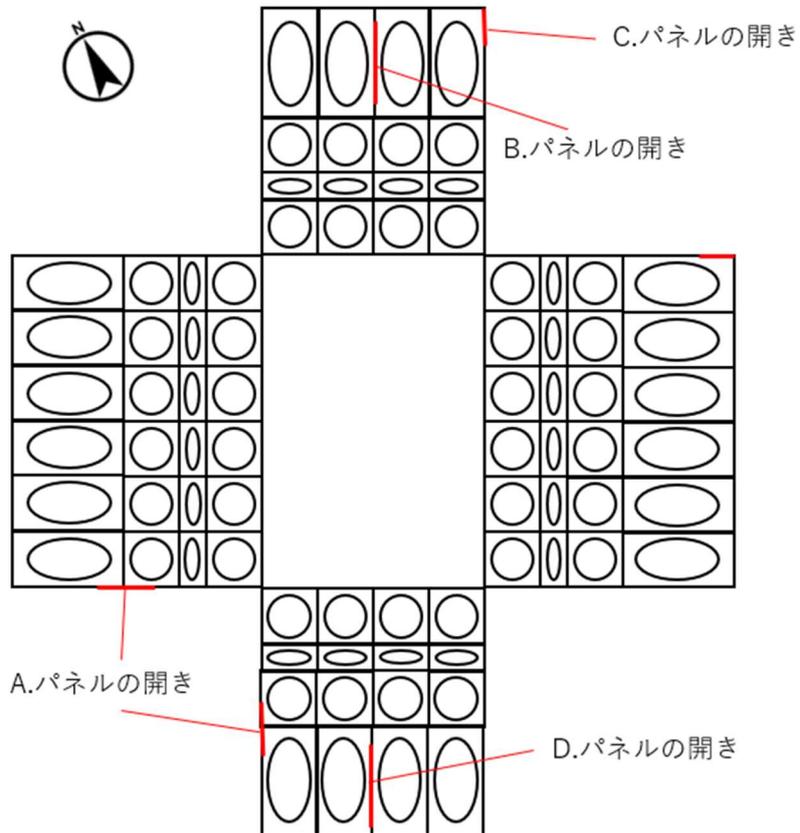
〈損傷状況〉

- ・側壁パネルの隅角部に開き（A・C）が確認された。
- ・側壁の仕切り板部においてもパネルの開き（B・D）が確認された。





〈損傷箇所 展開図〉 6.0 m×4.0 m×5.5mH



⑫羽生接合井（能登町）



〈施設諸元〉

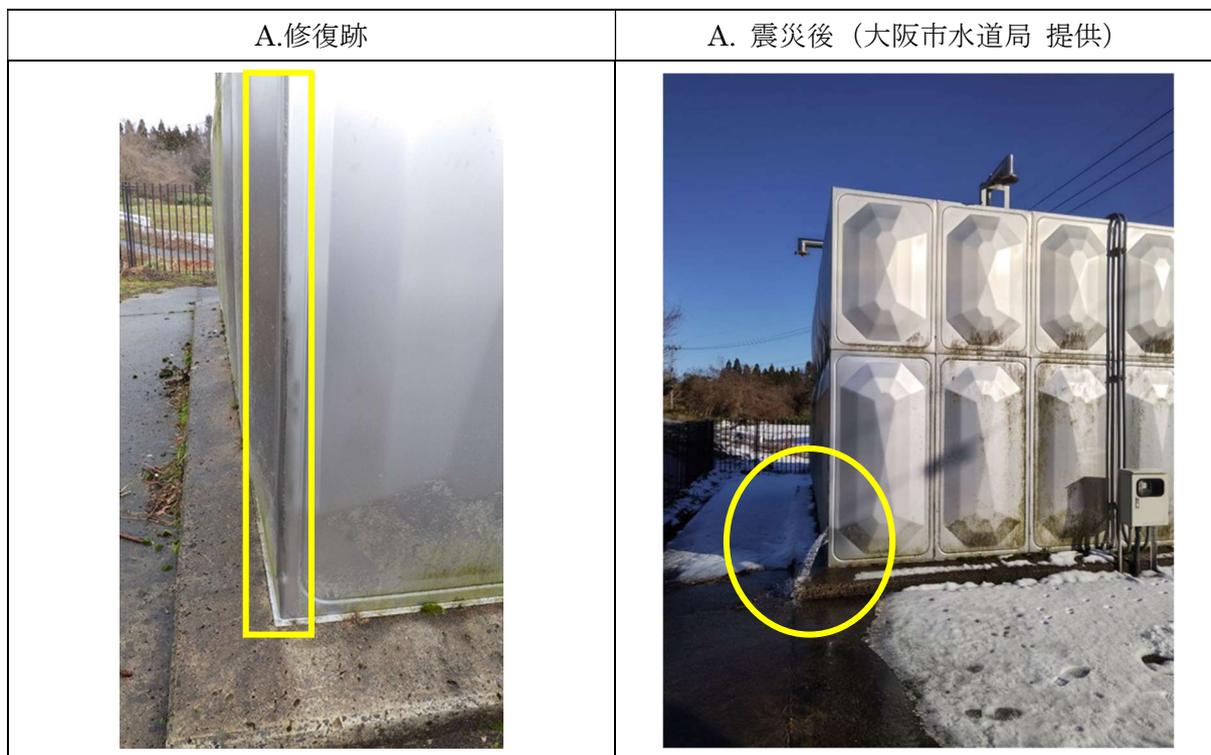
名称 : 羽生接合井
所在地 : 能登町
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 90 m³ (5.0 m×6.0 m×3.5mH)
設置年度 : 2008 年度
調査日 : 2024 年 2 月 7 日
備考 : 2007 年能登半島地震では被害なし

周辺地図

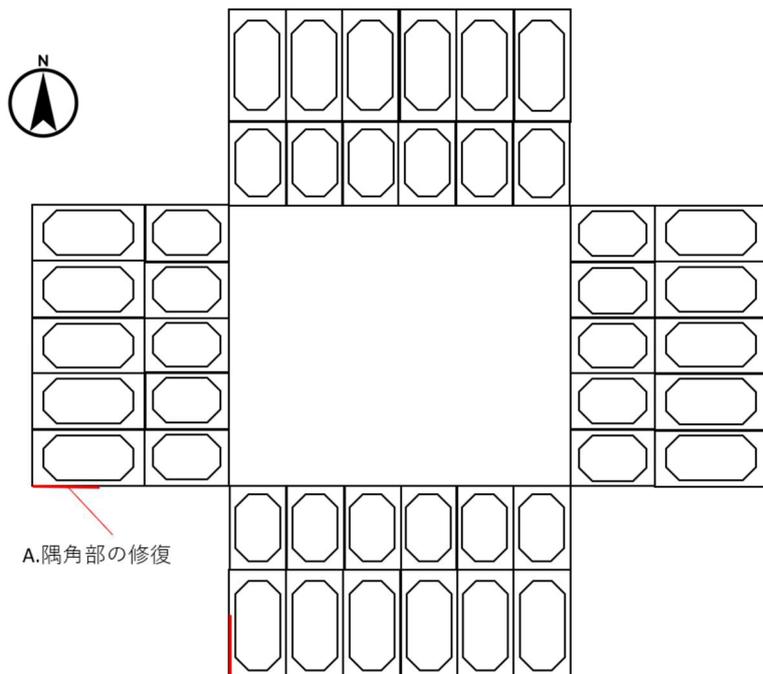


〈損傷状況〉

- ・隅角部に修復跡（A）が確認された。バルジングが発生した可能性が考えられる。
- ・能登町の応援事業体である大阪市水道局よりご提供いただいた資料によると、震災後にこの部分から漏水が確認されていた。調査時（2/7）は、まだ漏水箇所があった（おそらく上部）ため、水位を調整して運用している。



〈損傷箇所 展開図〉 5.0 m×6.0 m×3.5mH

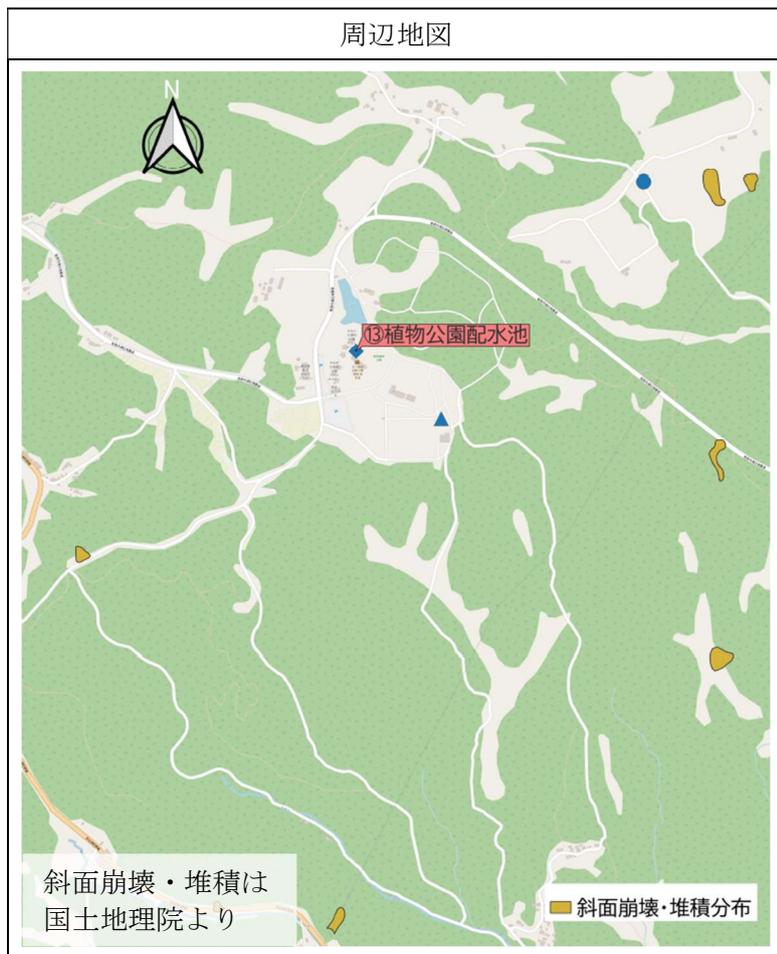


⑬植物公園配水池（能登町）



〈施設諸元〉

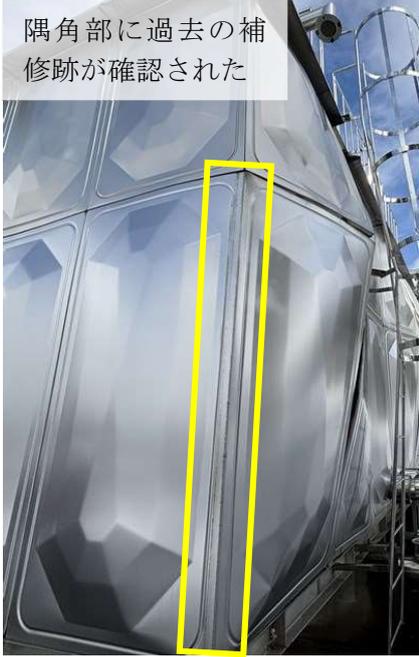
名称 : 植物公園配水池
所在地 : 能登町
型式 : パネルタイプ
有効容量 : 65 m³ (4.0 m×6.0 m×3.5mH)
設置年度 : 2007 年度
調査日 : 2024 年 2 月 7 日
備考 : 2007 年能登半島地震では被害なし

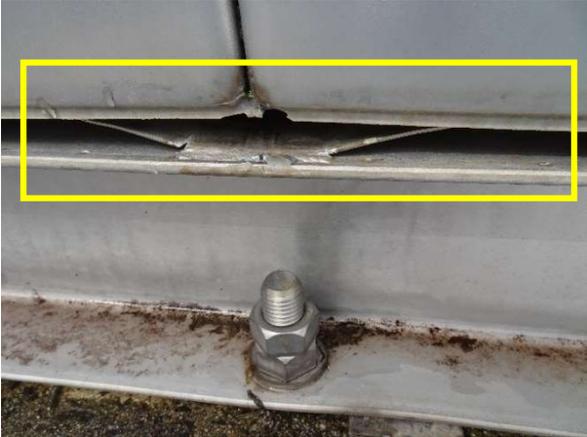


〈損傷状況〉

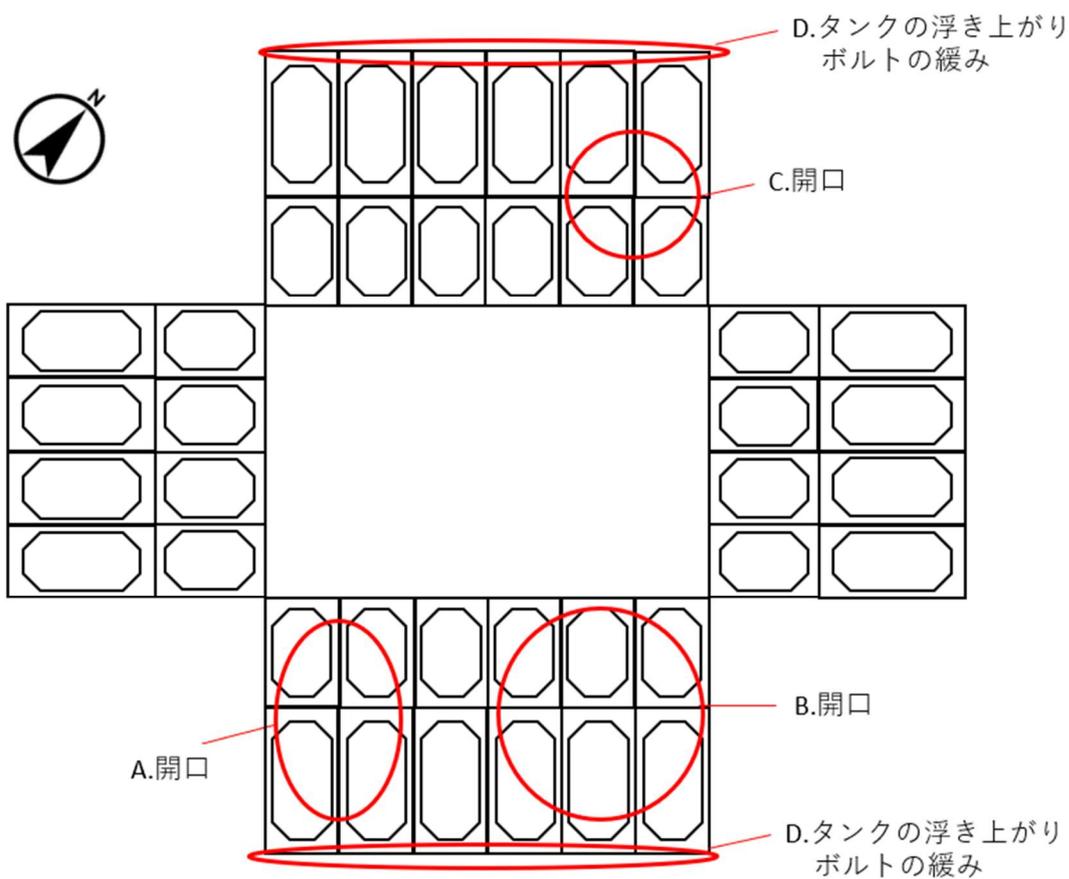
- ・側壁のパネルに大きな開口（A・B・C）が確認された。対面方向に両側、開口が確認された。スロッシングとバルジングが同時に発生した可能性が考えられる。
- ・側壁下方隅角部を溶接固定したことにより、側壁中央部が大きく変形したことが考えられる。
- ・開口している面の下部には、架台とタンクとの浮き上がり、および架台のボルトの緩みを確認した。



C.開口	過去の修理跡
	<p data-bbox="991 331 1257 405">隅角部に過去の補修跡が確認された</p> 

D.架台とタンクの接続部分に浮き上がり	D.ボルトの緩み
	 <p data-bbox="1066 1368 1358 1480">開口が確認された面の下部にあるボルトに緩みを確認した</p>

〈損傷箇所 展開図〉 4.0 m×6.0 m×3.5mH

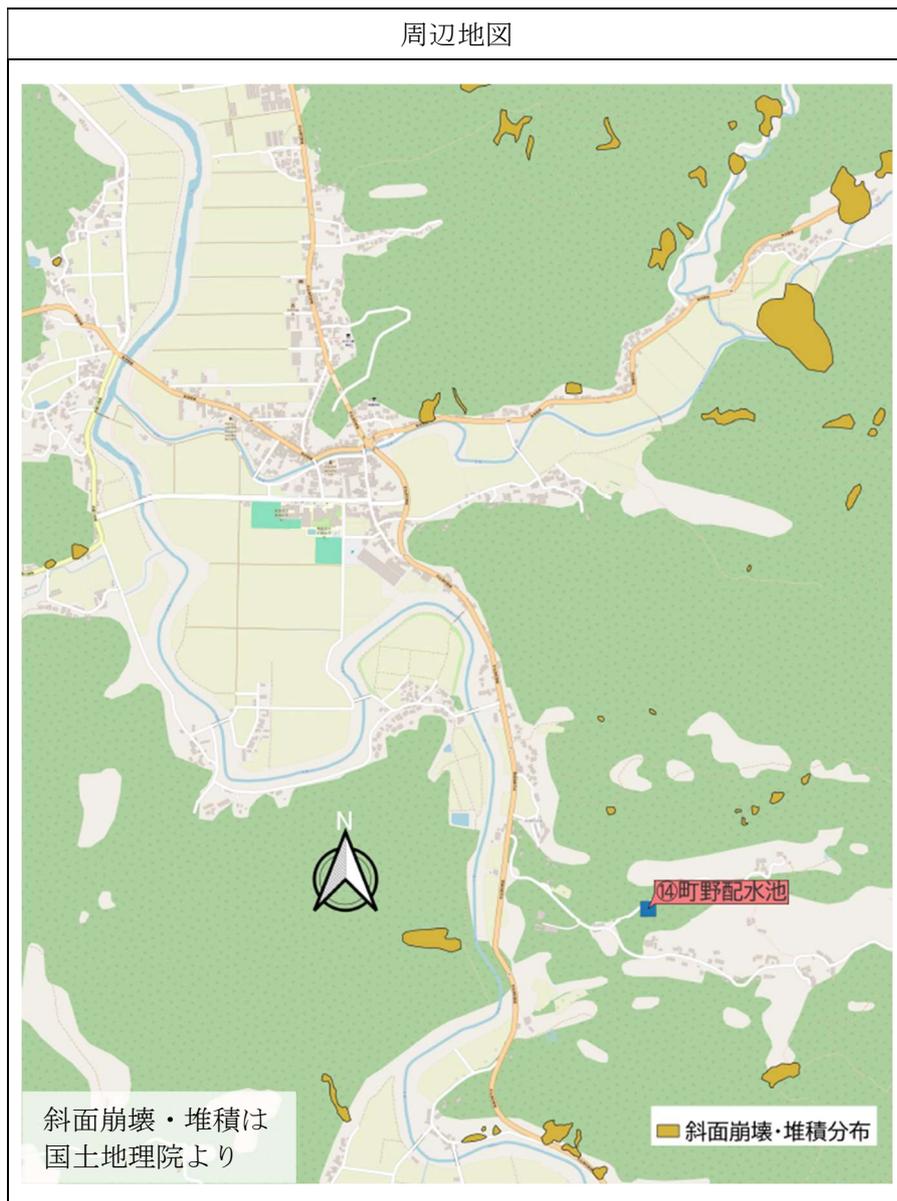


⑭町野配水池（輪島市）



〈施設諸元〉

名称 : 町野配水池
所在地 : 輪島市
型式 : 横波板タイプ
有効容量 : 1230 m³
設置年度 : 2005 年度
調査日 : 2024 年 2 月 7 日
備考 : 2007 年能登半島地震では被害なし



〈損傷状況〉

- ・側壁下端部においては、第一配水池と同様の内部補強材の内側からの押しによる影響とみられる局所的な膨れ（A）が多数確認された。側壁上部においても、内部補強材との接点部において局所的な開口（D）が確認された。
- ・外側の補強材が変形（C）しており、補強材が付き上げるように、屋根も変形（F）していた。この補強材の変形は全面で確認されたことから、2方向にバルジングの影響が生じたことが考えられる。
- ・底板の歪みや補修跡（B・E）も確認された。
- ・スロッシングとバルジングが同時に発生した可能性が考えられる。
- ・本配水池は一部盛土造成された地盤上にあり、その影響で地震動が増幅した可能性が考えられる。この盛土地盤では沈下が見られ、近接するブロック積み擁壁では変状が見られた。

場内の沈下



A. 内部補強材による膨れ



B. 補修あと



C. 補強材の歪み



歪みが確認された



D. 内部補強材による開口



1月19日撮影 D. 内部補強材による開口箇所
(株NJS ご提供)



1月19日時点では、溶接による補修跡が確認されないため、補修済であると考えられる。

E. 底板の歪み



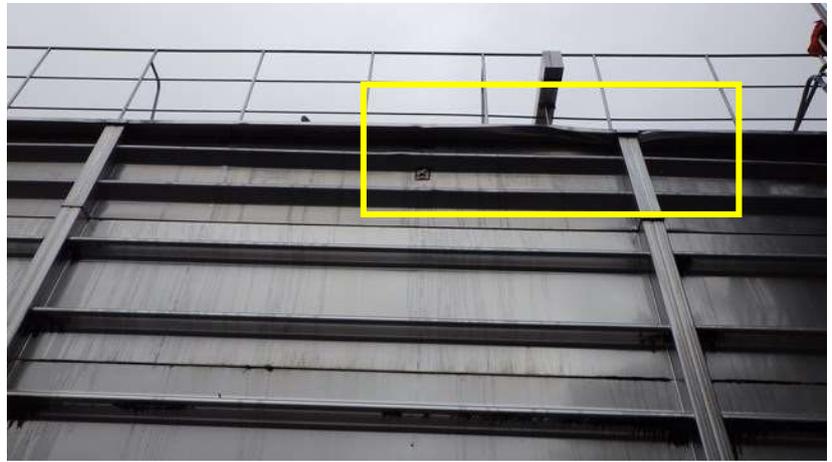
E. 底板の歪み



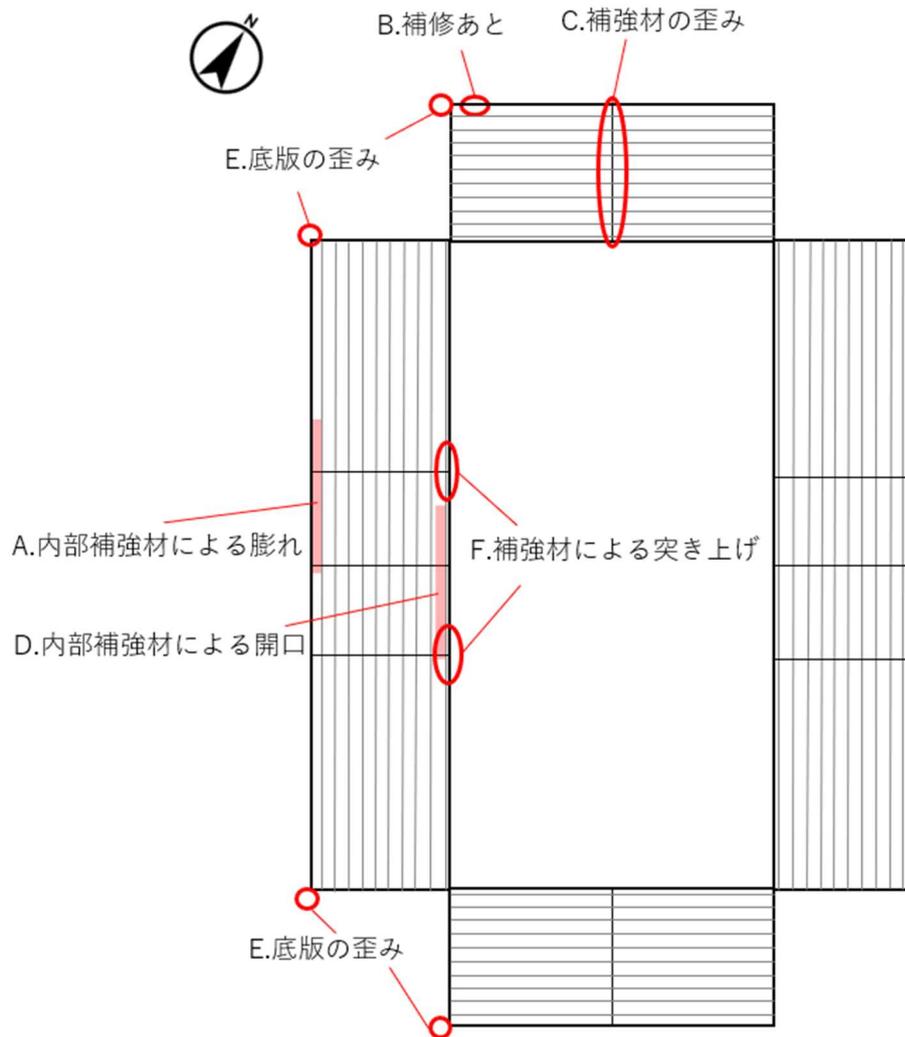
F. 補強材による突き上げ



F. 補強材による突き上げ



〈損傷箇所 展開図〉 1230 m³



4.3 被害状況のまとめ

調査結果のまとめを下表に示す。

表 4-2 被害状況のまとめ (1)

名称	(1) 今回での調査での主な被害状況
	(2) 過去の地震での主な被害状況
	(3) 考えられる損傷原因
	(4) 応急対策の状況
① 公立能登総合病院	(1) 側板のパネルの開き、隅角部のパネルの開き。
	(2) ー
	(3) スロッシング、バルジング。
	(4) 片池を復旧させ、片池運用を行っている。パネルが剥がれている側のタンクの復旧については、不明。
② 熊野低区配水池	(1) 側板のクラック
	(2) 2007年能登半島地震では被害なし。
	(3) バルジング。
	(4) 調査日(2/6)より復旧作業が開始された。
③ 剣地北部配水池	(1) 下部の固定金具の変形とズレ。
	(2) 2007年能登半島地震では大規模なパネルの剥がれ。(再設置済)
	(3) ー
	(4) 不明。(貯水能力がある可能性あり)
④ 健寿の森配水池	(1) 下部の固定金具の変形とズレ、周辺で地割れ。
	(2) 2007年能登半島地震ではタンク本体に被害なし。周辺で地盤の亀裂が確認された。
	(3) ー
	(4) 不明。(貯水能力がある可能性あり)
⑤ 長沢配水池	(1) パネルの剥がれ、周辺で斜面崩壊。
	(2) 2007年能登半島地震でパネルの剥がれ。
	(3) バルジング。
	(4) 不明。
⑥ 第一配水池	(1) 側板下部の内部補強材による膨れ。仕切り板の変形。
	(2) 2007年能登半島地震では被害なし。
	(3) バルジング。
	(4) 調査日(2/6)に復旧作業中であった。近日中に復旧されるとのことであった。
⑦ 稲舟送水ポンプ場	(1) 斜面崩壊の巻き込まれ。
	(2) ー
	(3) ー
	(4) 不明。
⑧ 下仁行配水池	(1) 隅角部のパネルの開き。
	(2) 2007年能登半島地震では被害なし。
	(3) バルジング。
	(4) 不明。(貯水能力がある可能性あり)
⑨ 日本航空大学校 青雲寮	(1) 隅角部のパネルの開き(修復済)、固定金具の破損。
	(2) ー
	(3) バルジング。
	(4) 調査日(2/6)に復旧作業中であった。おそらく復旧済みである。
⑩ 武連配水池	(1) パネルの変形。
	(2) 2007年能登半島地震では被害なし。
	(3) バルジング。
	(4) 不明。(貯水能力がある可能性あり)

表 4-3 被害状況のまとめ (2)

⑪瑞穂第 1 配水池	(1) 隅角部等のパネルの開き。
	(2) 2007 年能登半島地震では被害なし。
	(3) バルジング。
	(4) 不明。(貯水能力がある可能性あり)
⑫羽生接合井	(1) 隅角部のパネルの開き (修復済)
	(2) -
	(3) バルジング。
	(4) 調査日 (2/7) には復旧済みであった。調査時 (2/7) は、まだ漏水箇所がある (おそらく上部) ため、水位を調整して運用している。
⑬植物公園配水池	(1) 側板のパネルの開口。
	(2) 2007 年能登半島地震では被害なし。
	(3) スロッシング、バルジング。
	(4) 不明。
⑭町野配水池	(1) 側板下部の内部補強材による膨れ。側板補強材の歪み。側板上部の内部補強材による開口。屋根部の変形。
	(2) 2007 年能登半島地震では被害なし。
	(3) スロッシング、バルジング。
	(4) 調査日 (2/7) には復旧済みであった。

4.4 ステンレス製タンクの考えられる被害要因

本調査で確認したステンレス製タンクの考えられる被害要因を下記に示す。なお、被害要因については、詳細な解析・検証を行った結果に基づくものではないことに留意が必要である。

- ・本調査で見たタンクの多くでバルジングが発生しており、数か所でスロッシングも同時に発生している可能性が考えられる。
- ・②熊野低区配水池、⑤長沢配水池、⑧下仁行配水池、⑨日本航空大学校 青雲寮、⑩武連配水池、⑪瑞穂第 1 配水池、⑫羽生接合井の被害はバルジングによる側壁の破損であると考えられる。特に隅角部への被害が多数発見された。
- ・①公立能登総合病院、⑬植物公園配水池、⑭町野配水池は、バルジングとスロッシングが同じに発生した損傷と考えられ、側板の上部でも損傷が確認された。
- ・⑬植物公園配水池の損傷は特に大きく、側壁の隅角部を固定 (過去の補修) したことによって、側板中央部の大きな損傷に繋がったのではないかと考えられる。
- ・補強材 (剛) と側板 (柔) の剛性差がある連結部における側板の変形や漏水が多数確認された。特に、②熊野低区配水池、⑥第一配水池、⑭町野配水池の横波板タイプのタンクでも、側壁下端部の内部補強材との接続部において側壁の変形を多数確認した。また、⑭町野配水池においては、側壁上方部の内部補強材との接続部において側壁の開口破損を複数確認した。
- ・⑥第一配水池では、内部の調査の結果、中仕切り壁部の変形や漏水などが確認された。また、上記の側壁下端部の側壁変形箇所において補強材の変形も確認されたことから、側壁の変形は、内部補強材の影響と考えられる。
- ・③釧地北部配水池、④健寿の森配水池では、底板の固定具のずれが確認された。タンクが底版に完全固定されていないことにより、バルジング振動の影響が小さくなったため、側壁の損傷が生じなかったことが考えられる。ただし、固定水の影響により金具に変形が生じたことが考えられる。

- ・④健寿の森配水池では周辺に地割れが発生、⑤長沢配水池および⑥稲舟送水ポンプ場では、周辺で土砂崩れが発生している。地盤状態が悪い土地にタンクが設置されていると考えられる。
- ・⑮には、隅角部が円弧となっており、溶接箇所がない。隅角部の損傷対策として効果があると考えられる。

4.5 応急対策の状況

本調査で確認したステンレス製タンクの応急対策の状況について下記に示す。

- ・損傷が小さいタンクは復旧が進められていた。クラック、およびパネルの剥離に対しては、溶接にて、対応を行っていた。特に隅角部はL型のステンレス板を使用して補修しているタンクもあった。
- ・①公立能登総合病院、⑤長沢配水池、⑬植物公園配水池のような、パネルが剥がれるような破損をしているタンクは、補修するのが難しいため、復旧が遅くなることが予想される。

※⑬植物公園配水池は、4月4日時点でタンク自体を替えることにより復旧されている。(下図参照。)

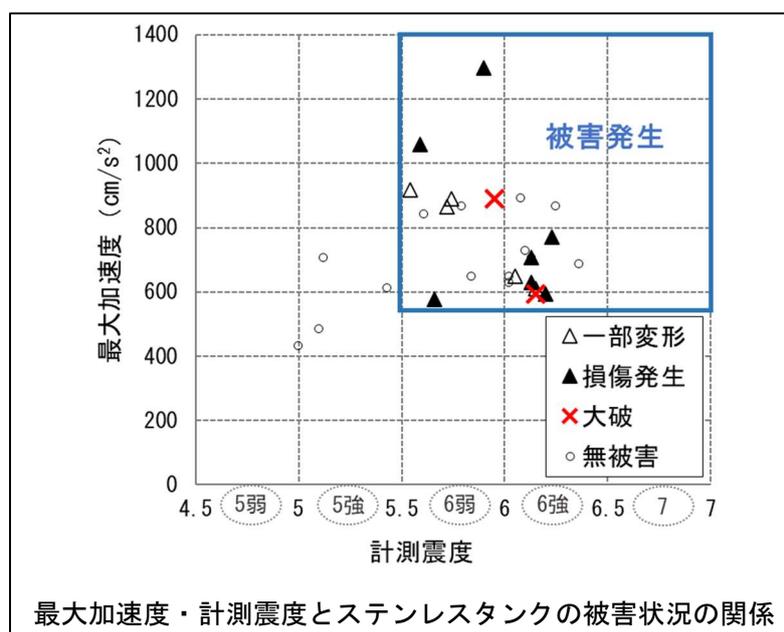
- ・①公立能登総合病院では、関係者へのヒアリングによると、地震後の応急復旧(片池)には10日程度要したとのこと。本復旧としては、施設更新も考えているとのことである。
- ・②熊野低区配水池のクラックは、4月3日時点で補修されている。(下図参照。)

<p>②熊野低区配水池のクラック補修(溶接)跡 (4月3日撮影 株NJS ご提供)</p>	<p>⑬植物公園配水池(復旧後) (4月4日撮影 株NJS ご提供)</p>
	
	

5. まとめ

5.1 被害調査により見えてきた課題・研究の今後の進め方

- ・今回の調査でバルジングの影響が2方向に生じているタンクがある。2方向の解析が必要である。
- ・今回の調査は、バルジングによる被害が多く確認された。地震が元旦に発生したことを考慮すると、タンク内の水が少なくなり、スロッシングが発生しても、天井が損傷しなかった可能性がある。今後、復旧作業が落ち着いた頃に、地震時のタンクの水位のデータをいただき、水位との関係を調査したい。
- ・能登地域に設置されているステンレスタンクの位置における最大加速度と計測震度を以下に示す。被害は最大加速度や計測震度の大きい地点で発生しており、計測震度 5.5（震度 6 弱）以上、最大加速度 580cm/s² 以上で被害が発生している。



- ・地域によって、被害の規模や大きさが異なっている。それらの違いを地盤条件等で確かめる。
- ・底板の固定具の損傷のみで済んだタンクがあった。タンクと基礎部分の固定方法の考え方について、統一の有無を含めて確認が必要である。タンクと基礎部を自由にすると、ある程度フリーになり、バルジングの影響を抑制する考え方もあるが、タンクの移動や転倒の問題もあり、簡単に設計できるものではない。
- ・能登半島地震にて、横波板タイプの損傷事例が多数確認された。横波板タイプの設計についても見直しが必要である。
- ・能登半島地震でのステンレス製タンクの被害を整理・分析し、それを踏まえた上で、研究会に反映を行う。パネルタイプと横波板タイプの両形式について、被害の検証解析の実施を行う必要がある。
- ・補強材を有する施設については、バルジングやスロッシングの影響などによる構造物の挙動は非常に複雑であり、構造物の損傷形態は様々（側壁の変形、補強材の変形。タンクと底板の固定金具の変状など）であるから、解析にあたっては施設全体を忠実にモデル化し、様々な振動モードについて検討することが重要である。

- 今回の地震では、過去の地震において損傷が確認された施設において被害が確認されており、十分な耐震性を確保するための補修工事が実施されていないことから、適切な補修方法の検討が重要である。
- 2007年の地震と2024年の地震における被害の状況を比較し、それらの状況が異なる場合は、それぞれの地震動に対する検証が重要である。
- バルジング振動などの影響は、施設の地盤条件だけでなく、地形条件や底版との固定条件、及び側壁パネルの固定条件などに左右されることを踏まえる必要がある。
- 地すべり斜面に近接する施設配置を回避することや、できるだけ地震動の増幅を抑制する構造形状とすることなど、施設計画や構造計画における耐震対策も重要である。
- 応急復旧を速やかに実施するためのアクセス道路条件にない施設が多く見られたことから、想定外の事象を踏まえた耐震対策においては、応急復旧の考慮も重要である。

5.2 おわりに

本調査は、地震が発生してから1か月後に行ったため、損傷が残っている状態、十分に補修が完了していない状態のタンクを調査することができた。補修中のタンクもあり、タンクの中に入って、内側からの調査もできたので、大変よい時期に調査を行えたのではないかと考えている。

調査を行って感じたことは、水頭を確保しないといけないため仕方がない面もあるが、山地、丘陵の上や細い林道の先など、環境的に厳しい場所にタンクが設置されていたことが挙げられる。結果的にそのようなところで損傷を受けているため、被害の発見や補修にも時間を要することになった。このような場所にタンクを設置する場合には、タンク本体だけではなく、基礎・地盤・地形および地震動の増幅特性等の影響を適切に評価して設計することが重要である。被害の分析に当たっても、個々の微地形や立地条件を考慮して入力地震動を的確に評価し、構造物の応答を再現する手順を丁寧に行っていかなければならない。

また、補修方法にも注意を払うとともに、既設タンクの補強方法をしっかりと検討しなければならないと感じた。設計法の見直しだけではなく、最適な補修方法と今後の補強方法に関して、今回の調査により多くの課題が見つかった。

さらに、横波板タイプのタンク被害という新しい被害形態も明らかとなり、Aqua-TANKの終わりは決まっているが、次期研究プロジェクトに引き継がれる今後の研究課題は多く残されている。

令和6年3月

矩形地上水槽（鋼製）耐震設計に関する研究「Aqua-TANK」委員長

金沢大学 名誉教授

宮島 昌克