

強震記録の振幅特性図を用いた令和6年能登半島地震における液状化発生の可能性の概観

鈴木崇伸¹

Overview of Possibility of Liquefaction Occurrence During the 2024 Noto Peninsula Earthquake Using Amplitude Characteristic Chart

Takanobu SUZUKI¹

Abstract

This report summarizes the results of an analysis of publicly available strong-motion data from the 2024 Noto Peninsula earthquake using amplitude characteristic charts that focus on changes in the amplitude and period of horizontal acceleration. The charts show the characteristics of shaking in the vicinity of the epicenter and on the plains of Ishikawa, Toyama and Niigata, which are far from the epicenter. In the lowlands near the epicentral area, the waveforms have become longer-period during the vibration, confirming that the shear stiffness of the surface soil decreased. In other areas, it is noted that many of the waveforms have the characteristics of liquefaction of the ground, which become long-periodic and continue for a certain length of time. Although only a small portion of the earthquake affected area was confirmed in the field due to the large area spread in several prefectures, the proposed chart method is useful to evaluate liquefaction occurrence quickly by analyzing the waveforms.

キーワード：振幅特性図, 加速度振幅, 卓越周期, 液状化

Key words: amplitude characteristics chart, amplitude of acceleration, predominant period, liquefaction

1. はじめに

2024年1月に発生した能登半島地震は半島の北部を震源域とするマグニチュード (Mj) 7.6の地震であり、複数の町で震度7の揺れが観測された。内閣府のとりまとめ¹⁾によれば、8月末の時点において死者は341人、全壊家屋数は約6千3百棟となっていて、人的被害は能登半島北部地域に集

中している。数少ない道路の損壊が多く発生しており、また水道や電気などの都市ライフラインの脆弱さを露呈した災害となった。被災原因の詳細な解明と今後の対策強化が望まれている。

今回の地震の特徴として規模の大きさから被害が広域に及んでいる点が挙げられる。震度5強以上となったのは能登半島だけでなく、石川県の金

¹ 東洋大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Toyo University

本稿に対する討議は2025年5月末日まで受け付ける。

沢平野、富山県の富山平野、新潟県の越後平野、高田平野、佐渡島などとなっている。一部破損まで含めた住宅被害は12万棟に及び、断水件数も約14万件となっている。住宅被害の内訳は石川県で8万3千棟、富山県で2万棟、新潟県で2万2千棟となっている¹⁾。震源地に近いところでは強い揺れの影響が大きくなるが、震源地から離れたところでは地盤の液状化が影響していると考えられる。揺れの大きさに加えて地盤の状況を綿密に分析する必要がある。

建物等が壊れるレベルの揺れの大きさより小さくても地盤の良いところでは大きな被害が発生することは過去の地震からよく知られている。今回の地震では先名他の地盤情報と推定地震動を組み合わせた液状化発生確率が公開されている^{2,3)}。公開されている推定結果によれば震源を取り囲む広い範囲で液状化の可能性がある結果となっている。このような強震記録と事前の情報を利用して推定する方法は災害ごとに検証して精度を高める必要がある。

本報告は公開された強震記録の分析速報として地震動の加速度振幅と変位振幅の時間変化に注目したグラフにより広域な被災地域における液状化発生の可能性を概観した結果を報告する。加速度振幅と変位振幅の時間変化を示すグラフを振幅特性図と呼ぶ。この方法は揺れの特性を視覚化できるとともに、地盤の非線形応答の程度を知ることができ、液状化の発生の判定に有用な情報を得ることができる。震度5強以上となり被害が多く発生した地域の振幅特性図を用いて液状化の発生の可能性について考察している。

2. 地震動の分析方法

2.1. 強震記録の分析手順

鈴木⁴⁾は強震記録の時刻ごとの加速度振幅と振動数の変化をグラフ表示して表層地盤の非線形特性を分析する方法を提案している。注目する時刻ごとの加速度振幅と卓越振動数を組み合わせて相対変位に変換し、両者を連続プロットすることにより、揺れ方の変化を観察することができる。加速度振幅の時間変化は波形の包絡線とし、振動

数の時間変化はランニングスペクトルの卓越振動数として、両者を複合したグラフを作成する。振幅特性図の計算手順は以下となる。

- ①注目時刻を中心に地震記録を切り出して窓関数をかけて注目時刻付近を強調する。
- ②切り出したデータの最大振幅 (A) を決める。
- ③切り出したデータをフーリエ変換して卓越振動数 (f) を決める。
- ④注目時刻の相対変位 ($U=A/(2\pi f)^2$) を計算する。
- ⑤時刻を移動して同じ計算を繰り返す。
- ⑥ (U, A) の点列を2次元プロットすれば、振幅と振動数の時間変化を追跡できる。

今回収集した強震データは記録時間300秒間、時間間隔100分の1秒が標準となっており、地震記録の切り出し時間は16秒とし、切り出しの間隔は1秒間としている。整波するための窓関数として半波長の正弦波を用いている。整波した時刻歴データを高速フーリエ変換し、フーリエ振幅に移動平均処理をして平滑化している。振動数の分解能は1/16 Hz であり5点の移動平均結果を用いて卓越振動数を決めている。また整波した時刻歴の中央部分の3秒間の最大加速度を最大振幅としている。

④において計算する相対変位は注目時刻の加速度振幅と卓越振動数から計算されるみかけの物理量であり、実際の地盤変位を意味するものではない。しかし変位の大小を定性的に表す量になっていると考える。⑥の2次元プロットにおいて周期(振動数)の情報は注目点と原点を結ぶ線分の勾配として表現される。加速度と変位の比率が大きければ短周期であり、比率が小さければ長周期となる。また周期の変化が小さければ直線状のグラフとなり、周期の変化が大きければ横に広がったグラフとなる。地震の揺れの時間変化の詳細は波形そのものを見るしかないが、振幅特性図により揺れ方の特性を概観することができる。

一般的に強震動の特性は震源の特性、伝搬経路の特性、観測点の地盤特性が複合している。観測される水平動はこれらの影響により方向によって振幅や振動数が異なる場合もあるが、震源から離れた平野部においては地盤特性の影響が大きく

なって水平動はよく似た振幅と振動数になることが多い。この場合卓越振動数の変化は水平2方向において大きな差異はないので2方向の平均とし、加速度振幅は水平2方向をベクトル合成した最大振幅を採用して1枚のグラフに整理することができる。本報告では水平2成分をまとめたグラフを振幅特性図とする。

平野部においては加速度記録を加工した図形の特徴を利用して表層地盤に作用する外力(加速度)と応答(変位)の関係から非線形特性を分析することができる。特に地盤が液状化する場合の強震波形の特徴として振動途中に周期が長くなることが挙げられる。断層変位成分や表面波成分によっても周期が長くなるのがわかっているが、水平方向の加速度振幅と周期変化を視覚化した振幅特性図を過去のデータと比較することにより、地盤の液状化に関する1次情報とすることができる。

2.2. 液状化波形の計算例

前述した計算法を使って代表的な液状化波形の振幅特性図を紹介する。図1(a)は1995年兵庫県南部地震における神戸市のポートアイランドの計算結果である。4点の鉛直アレーの観測結果は多くの研究者によって分析されており、地盤の液状化を示す波形として知られている⁵⁾。計測時間は約360秒間であり、前節の計算条件で求めた1秒間隔の2次元データをベクトルプロットしている。図中には周期1秒と2秒には点線の補助線、周期0.5秒と1.5秒には細破線の補助線を書き入れている。

グラフは周期1秒程度で立ち上がり、徐々に長周期化して周期1.5秒程度になって減衰している。観測記録の後半には加速度が小さく長周期の揺れが複数回あることが確認できるが表面波と余震と考えられる。地下の記録は省略するが地表に近づくにつれて周期が長くなり加速度振幅が小さくなる特徴がある。

図1(b)は2011年東北地方太平洋沖地震における千葉県のK-NET 稲毛の計算結果である。この地点に関しても波形の分析がなされており⁶⁾、著者の既報⁴⁾においても代表的な液状化波形の例題として採用している。計測時間は300秒間であり、1秒間隔のベクトルプロットとしている。揺れ始めの周期は1秒以下であるが、徐々に周期が長くなり、周期2秒以上になって減衰している。継続時間の長い強震記録であり加速度振幅の増減にいくつかのピークがあるのがわかる。振動の後半において加速度振幅の小さい長周期のヒゲのようなところは表面波を表していると考えられる。震源特性と伝搬経路の特性も加わった結果であるが、加速度振幅がある程度大きい領域において徐々に長周期化して減衰する変化となっている。

計算例を2つ紹介したが、液状化した地盤の波形の特徴として振動途中で長周期化してグラフが横に広がり、周期の長い状態で減衰する点が挙げられる。地盤の液状化以外にも振動途中で長周期化する事例があり、地盤調査結果との照合が必要とされるが、揺れが大きいときに長周期化する場合には何らかの地盤の物性の変化があったことが確認できると考える。強震観測点を代表値として

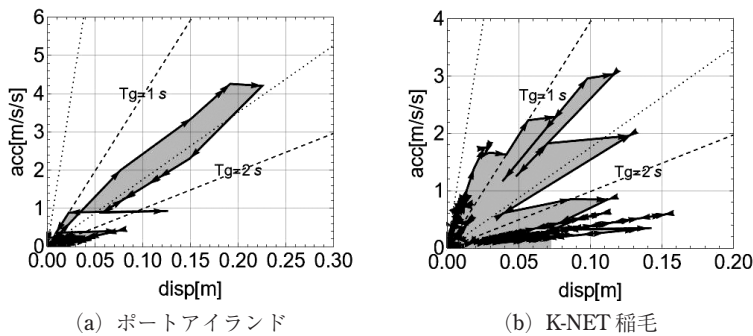


図1 代表的な液状化波形の振幅特性図

広域的な揺れの特性を見ることができる。

3章以降に注目する地域の振幅特性図を紹介するが、気象庁⁷⁾と防災科学技術研究所⁸⁾の低地に位置する公開データを利用している。また観測点の位置を示す図には国土地理院⁹⁾の色別標高図を利用している。また分析において防災科学技術研究所 J-SHIS の微地形区分¹⁰⁾、国土地理院地図の土地利用図¹¹⁾を参照している。なお今回の報告で使用した観測波形はそれぞれのサイトにおいて確認することができる。

3. 石川県の評価結果

2024年1月の地震では能登半島の北部が震源であり多くの強震記録が公開されている。能登半島北部の奥能登地域は山地であり海沿いにできた平野にまちができており強震計が置かれている。マグニチュード7.6の地震であり、震源域に相当する奥能登では1Gを超える揺れとなっており震源特性の影響が大きいと考えられる。本報告では奥能登地域は対象としないこととし、別報において分析結果を報告する予定である。なお観測点周辺の状況は著者が2月と3月に調査した結果である。

3.1. 能登地方南部

奥能登地域が山地であるのに対し、半島南部は

低地と丘陵地形となり、半島の付け根に邑知潟地溝帯があり低地が連続している部分もあるため奥能登に比べて人口も多い。地震の最大加速度は奥能登地域の半分程度となり、0.3G~0.6Gの揺れが観測されており、震度5強から6弱となっている。図2にこの地域の平野に位置する6点の振幅特性図を示している。図1では2次元ベクトルプロットを用いたが、変化のパターンは右回りの閉曲線となるため矢印は省略している。いずれもよく似た形状となっており、短周期で加速度が増大した後に長周期化して徐々に減衰している。いずれの観測点も液状化した地盤の特徴と一致している。

近接した観測点の例として七尾市中心部の気象庁の観測点と K-NET 七尾がある。2地点の距離は約1kmである。両者ともに原点を頂点とした逆三角形になっている。K-NET 七尾の地盤調査結果によれば表層2mは有機質土とシルト、2mから10mまではN値が2から18の砂層と砂質土層、その下にシルト層があり、さらに砂層が続いている。揺れが大きくなれば砂層において液状化することが予想される層構成となっている。市役所内の緑地の盛土部分に置かれていて地表付近に変状跡はないが、液状化による長周期化と考えられる。気象庁の観測点は市民会館の駐車場の一角

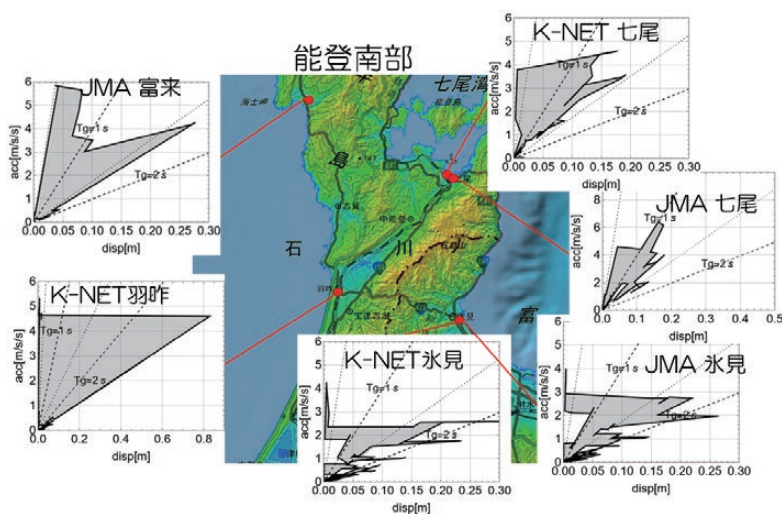


図2 能登半島南部の振幅特性図

にあり距離的にもほぼ同じ地盤条件になっていると考えられる。地震計の近くに砂の入った袋が積まれているのは確認しているが噴砂である確認はしていない。

富山県の氷見市内にも気象庁観測点と K-NET 観測点があり、近接して置かれている。この 2 観測点の振幅特性図もよく似ているのが確認できる。K-NET 観測点が置かれた消防署内に噴砂と見られる砂が山積みされているのを確認している。K-NET 氷見の地盤調査結果は地表から 9 m までが N 値 10 程度の砂層、その下がシルト・粘土層となっており、砂層の液状化が長周期化の原因と考えられる。近接する気象庁観測点も同様の地盤と推定され、液状化の可能性が高いが現地確認はしていない。

志賀町富来の気象庁の観測結果の分析結果によれば加速度のピークが 2 つあり徐々に長周期化しているのがわかる。複数の加速度ピークは震源特性の影響と考える。揺れ始めは 0.5 秒の周期であるが 1 つ目の加速度ピークでは 1 秒近くまで長周期化し、2 つ目のピークでは 1.5 秒以上まで長周期化して減衰している。地震計は建屋内に置かれているが周囲の道路に液状化の痕跡があるのを確認している。

震源からやや遠くなる K-NET 羽咋では短周期

で揺れ始めて加速度が 0.5 G 程度に達すると急激に長周期化して 3 秒程度の揺れとなり、そのままの周期で減衰している。速度波形を計算すると周期 3 秒程度の揺れが連続している。この観測点は羽咋市役所内にあり、標高 15 m の砂丘上に置かれている。地盤調査結果は 20 m まで砂層であり、地表から 3 m までは N 値が 0、3 m から 11 m までは N 値が 10 から 15 となっており、その下は N 値が 15 から 40 となっている。砂層ごとの液状化程度は明確に判別できないが、地盤調査結果における 11 m までの層は液状化したと推定される。地震計の近くの芝生が砂地になっているのを確認している。

図に示した範囲では住宅被害も多く発生しているが、水道の断水も多く起きている。国土交通省の報告¹²⁾によれば七尾市の水道管路の被害率は 0.57 箇所/km、氷見市は 0.08 件/km、志賀町は 0.17 件/km、羽咋市は 0.20 件/km となっている。これらの地域では振動途中で長周期化する揺れの影響により配水管の破損が多くなった可能性がある。

3.2. 金沢平野

金沢平野は南東にある両白山地から流れる河川によって形成され、下流域は扇状地と氾濫平野であり、海岸部には砂浜が広がり場所によって砂丘

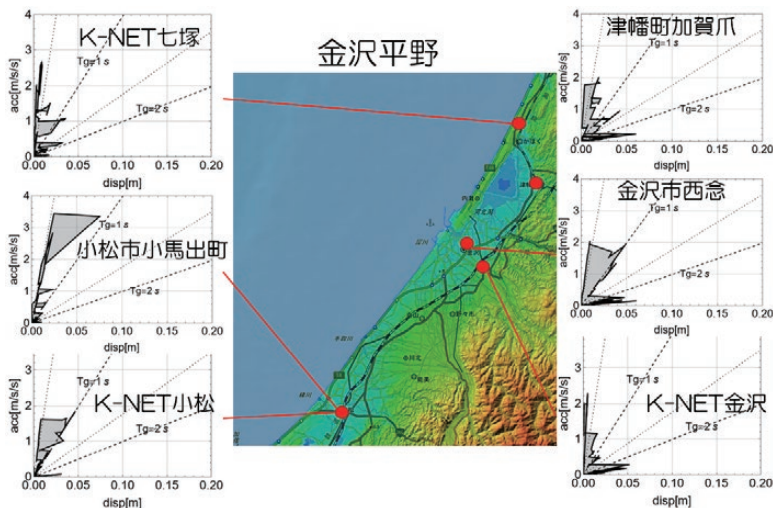


図3 金沢平野の振幅特性図

が発達している。この地域の揺れは震度5程度であり、最大加速度は0.2Gから0.4Gとなっている。図3に6カ所の観測記録の振幅特性図を示している。K-NET金沢は標高29mの扇状地に位置しており短周期成分が卓越しているが揺れの後半では0.6秒程度の揺れも生じている。金沢市西念は氾濫平野に位置しており、周期0.5秒程度で揺れ始め途中から周期1秒に変化している。周期1秒程度の状態で減衰していることから液状化の可能性が高く、地盤条件を確認する必要がある。

金沢市の北に位置する津幡町の振幅特性図では揺れ始めは短周期であり途中から周期が長くなって周期1秒を超える時間帯もある。かほく市の砂丘上に置かれたK-NET七塚も周期0.3秒の揺れの後半に周期の長い揺れが含まれている。この地点の地盤調査結果によれば地表から10mまではN値が10程度の砂層となっており、0.3G程度の強い揺れが作用したことにより、周期が長くなる時間帯が発生したと考えられる。かほく市の水道管路の被害率は0.10箇所/km、津幡町は0.13箇所/kmとなっており¹²⁾、短周期と長周期が混ざった複雑な振動が影響を及ぼしたと考えられる。

金沢市の南側に位置する小松市では気象庁とK-NETでよく似た振幅特性図となっている。2地点の距離は約1kmである。2地点とも揺れ始

めは周期0.5秒であり、途中から周期1.0秒程度に長くなっている。最大加速度は気象庁観測点が0.35G程度、K-NETが0.2G程度となっている。K-NET小松の地盤調査結果によればN値10程度の砂層が地表から15mまで堆積しており液状化の可能性が考えられる。

石川県内の平野部に位置する観測点の分析結果を紹介したが、加速度が一定レベルに達すると長周期化して揺れが収まるまで継続していることが確認された。地盤調査結果によれば緩い砂層が確認され、また観測点近くで地表に噴砂が確認された場所もある。振幅特性図を用いて加速度振幅と周期の変化を見ることにより、液状化の発生の1次情報を得ることができると考える。

4. 富山県の評価結果

富山平野は庄川、常願寺川、神通川によって形成された平野であり、背後の山からの距離が近く急流であり、山地に近い平野は扇状地地形が主体であるが海岸部には低地が広がっている。図4に富山平野の観測記録の振幅特性図を示している。K-NET富山は標高17mの扇状地に位置しており、土質調査結果は地表から3mは埋土と砂質土であるが、3m以深は礫質土となっている。短周期の振動にわずかに1秒以下の周期が混ざる結果

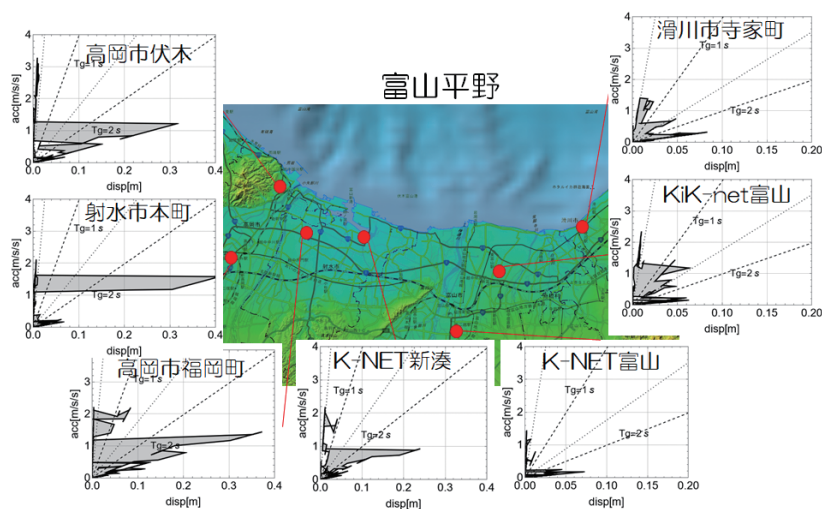


図4 富山平野の振幅特性図

となっている。加速度の小さい領域で横方向に伸びた部分は表面波の影響と考える。

滑川市寺家町と KiK-net 富山はよく似ており 0.1 G~0.2 G の加速度ピークの後に0.5秒から1.5秒に長周期化している。KiK-net 富山の地盤調査結果によれば砂とシルトの互層となっており、N値は不明であるが砂層において液状化が発生した可能性がある。K-NET 富山と同様に加速度の小さい領域で横方向に伸びた部分は表面波の影響と考える。

富山平野の西側では周期2秒以上の揺れになっているのでグラフスケールを変えて表示している。図示した4点では短周期の振動の後に周期3秒~4秒の揺れになっている点が共通している。

K-NET 新湊は0.2 G 程度の加速度ピークの後に0.1 G 程度の振幅で周期3秒程度まで長周期化している。K-NET 新湊の地盤調査結果によれば砂、粘土、シルトの互層となっており、砂層はN値が15以下となっていて液状化の発生の可能性がある。高岡市伏木の観測点は砂丘の中腹に位置しており、長周期のピークが複数回見られる。低地にある射水市本町は新湊の地盤条件に近いと考えられるが、長周期の揺れの後に短周期に戻っている。高岡市福岡町は短周期の揺れと1秒から3秒程度の長周期揺れが繰り返されている。富山平野の西

側の観測点において加速度が0.1 G 程度で周期3秒以上の長周期の振動が共通しているのが特徴的であり、この原因を地震波の伝搬過程も含めて地盤調査資料に基づき分析する必要がある。

5. 新潟県の評価結果

5.1. 新潟市

新潟市は信濃川と阿賀野川の河口部に位置しており、低湿な平野部であり河川の流路が変動したため平野内では旧河道が入り組んでいる。また海岸に沿って砂丘が発達しており、砂丘の背後は後背湿地となっている。図5は新潟市内の観測記録のうち、特徴的な8個の記録を振幅特性図に整理している。最大加速度は0.1 G~0.2 G 程度であるが、いずれも周期1秒以下で揺れ始めて最大加速度に達してから周期1秒から2秒程度の揺れに変化している。加速度振幅が小さくなってから再び変位振幅が大きくなっているひげのような部分が共通しており表面波の影響と考えられる。

個別に比較すると新潟西区寺尾東と新潟南区白根の特性図0.5秒程度の周期で振幅が大きくなり、0.1 G に達すると長周期化して1.5秒程度の揺れになる変化が類似している。西区寺尾東の周辺では液状化による地盤の変状があったことを2月に確認しているが観測点周辺の地盤資料を確認する必

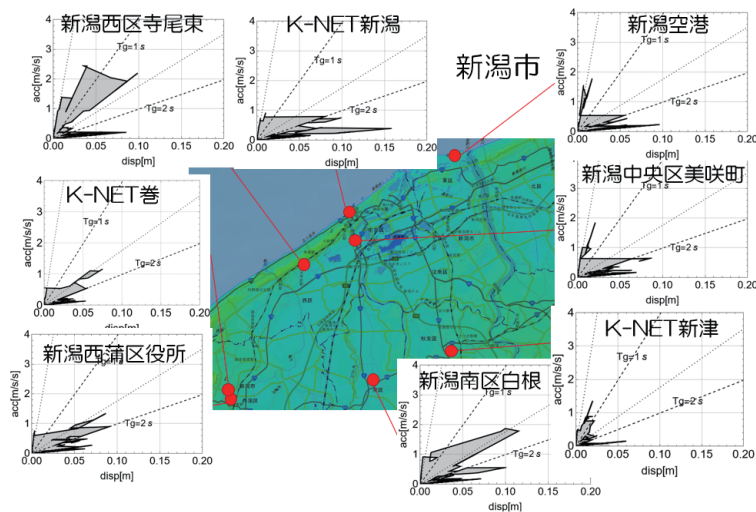


図5 新潟市の振幅特性図

要がある。新潟空港，中央区美咲町はよく似ており0.2 G程度まで加速度が大きくなり加速度が0.1 Gを下回ってから長周期化して周期2秒程度になっている。K-NET新津もよく似た形状となっているが，周期の変化は1秒程度までとなっている。K-NET新津の地盤調査結果によれば粘土・シルト・砂の互層となっていて地表から6 mから9 mに砂層があることから液状化による周期変化の可能性がある。周期の変化が1秒程度までであったのは最大加速度が小さいことに関係していると考えられる。

K-NET新潟は0.1 G以下の振幅で周期が0.5秒～2秒に長周期化している。K-NET新潟は関谷浜近くに置かれており地表から5 mまではN値が10程度の砂地盤であり，その下はN値が20以上の砂層となっている。液状化の可能性が考えられるが従来の知見よりも最大加速度が小さく検証する必要がある。新潟西蒲区役所とK-NET巻は近接しておりよく似た形状となっている。K-NET巻では加速度が0.05 Gを超えると長周期化し始め1.5秒程度の周期になっている。この地点の土質調査結果によれば埋土の下に約10 mの砂層があり，N値が10程度の砂層が0.1 G程度の揺れにより液状化した可能性がある。西蒲区役所も0.1 G以下の加速度で長周期化して2秒の周期になって

いる。西蒲区役所の地盤条件の照査は必要とされるが，距離的にもよく似た地盤と推定される。

新潟市内の振幅特性図が横方向に広がったグラフを中心に紹介したが，地盤資料を確認できる範囲で砂層が堆積する条件となっていた。震源から離れて最大加速度も小さいが液状化の可能性があることを示した。新潟市内には表面波部分を除いて広がり小さい観測点もあり，次節において類似した振幅特性図を紹介する。

5.2. 越後平野

新潟市を含む越後平野は信濃川と阿賀野川によって形成された広大な沖積平野であり，微高地の扇状地や自然堤防のほかにも，砂丘が分布している。図6は新潟市を除く信濃川沿いの越後平野の観測点から6点の計算結果を示している。

K-NET三条，長岡市寺泊敦ケ曾根と長岡市中之島はよく似た特性図となっており，加速度の大きい領域において横方向の広がりがみられない。0.1 G以下において横方向に伸びた部分は表面波を示すと考える。K-NET三条の土質調査結果によれば，地表から埋め土，粘土，シルトとなりN値が10以下の砂層が薄く介在している。17 m以深はN値が20以上の砂層となっている。K-NET三条と長岡市中之島では加速度の大きい領域でわ

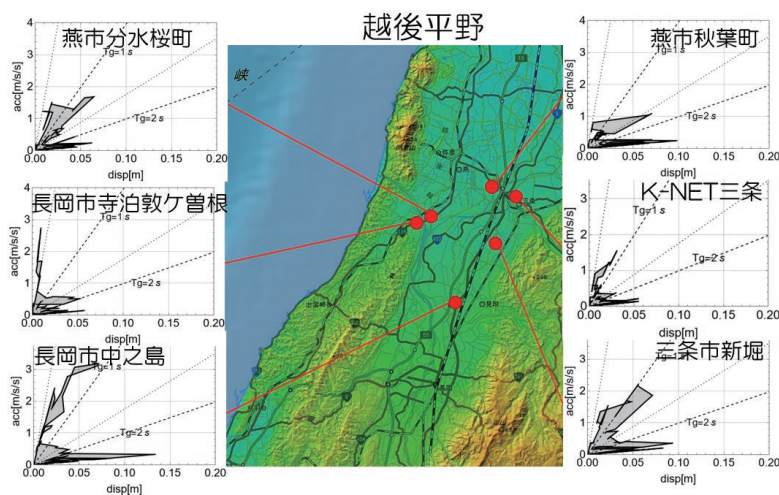


図6 越後平野の振幅特性図

ずかに長周期化して元に戻って減衰している。この3点では砂層の液状化の影響は小さいと考えられ、粘性土の非線形化が表れていると考えられる。

燕市分水桜町は大河津分水の近くに位置する観測点であり、対岸にある長岡市寺泊敦ケ曾根では加速度の大きい領域において長周期化がみられないのに対して燕市側は0.15 G程度に達すると長周期化して1.2秒程度まで長周期化している。また三条市新堀の振幅特性図は燕市分水桜町とよく似ていて1秒以下の周期で揺れ始めて0.1 G以上の加速度になると1秒以上の周期になってその状態で減衰している。燕市秋葉町は長周期化しているものの加速度の最大は0.1 Gに達しておらず、また揺れ始めと減衰時に周期1秒の揺れとなっている。燕市分水桜町、三条市新堀、燕市秋葉町の3点は液状化した地盤の揺れの特徴を有していると考えられ、周辺の状況調査と地盤条件の確認をする必要がある。

新潟市を含む越後平野では加速度の大きい領域で長周期化する波形が多く見られたが、砂質地盤と粘土地盤で異なることが確認された。この地域は2004年新潟県中越地震以降の強震記録があるので地盤資料を確認して表面波を含めて揺れの特徴を分析する予定である。

5.3. 高田平野

高田平野は関川によってつくられた沖積平野であり、日本海に沿って砂丘が発達し、その背後は海岸平野、後背湿地となっている。この地域では0.2 G~0.3 Gの加速度が観測されている。図7に振幅特性図を示している。この地域は周期の変化が大きく図形が複雑になっている。K-NET直江津は海岸平野を盛土した場所にあり、地盤調査結果によればシルトと粘性土の互層となっている。周期0.5秒で揺れ始め、0.3 G程度のピーク加速度のときは0.7秒の周期になっている。その後は加速度の低下に伴って周期が短くなっている。液状化ではなく粘土・シルト層の剛性低下の影響と考えられる。

上越市柿崎区柿崎は0.2 Gの最大加速度のときに1.0秒から1.5秒に長周期化し、その後は加速度の減衰時にも長周期が続いている。時刻ごとの周期が不安定で凸凹した図形になっている。上越市大手町は0.5秒の周期で加速度が増大し、0.2 G程度で急に長周期化して1秒の周期になり、その状態で減衰している。上越市頸城区百聞町の長周期化は緩やかであり周期は1.5秒以上にまでなっている。地盤資料を確認する必要があるが、液状化の可能性が高いと考える。

上越市木田の周期変化は複雑であり、周期0.5

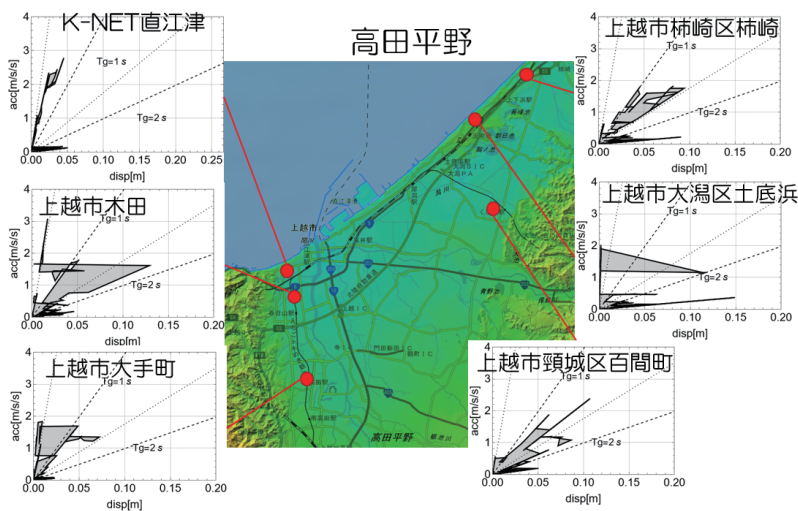


図7 高田平野の振幅特性図

秒で揺れ始め、その後周期1秒に変化してから再び周期0.5秒となり最大加速度になっている。その後は長周期化して1.8秒程度となって減衰している。また上越市大潟区土底浜は0.2秒程度の周期が継続しているが、加速度が0.2Gになった時点で急に2秒まで長周期化して再び短周期に回復している。この2点の変化の原因は不明であり地盤調査結果を使って分析する必要がある。

5. 4. 佐渡

佐渡島は新潟県の西部に位置する島で、島の南北にある山地の間に国仲平野が広がっている。能登半島に近いこともあり0.2G~0.3Gの加速度が観測されている。佐渡島の記録から6点を選んで振幅特性図を計算した結果を図8に示している。国仲平野の5点と佐渡市赤泊の図形はよく似ており、0.1G~0.2Gの水平な線と周期2秒程度の線で囲まれた直角三角形となっている。いずれも0.2G~0.3Gの最大加速度に達して数秒後に長周期化している。これは注目時刻の最大加速度を3秒間の最大値で計算していることが関係してヒゲ状の加速度波形の影響と考えられる。佐渡市両津支所は揺れ始めてすぐに周期2秒以上になり、いったん1秒程度になって再び周期2秒になっていてやや異なる変化をしている。

海岸近くにあるK-NET佐和田の地盤資料によれば、地表から3mはN値が5以下の砂層であり、その下はよく締まった礫質土と砂層となっている。今回の地震の観測記録は公開されていないが、K-NET両津の地盤も砂層と礫質土の互層となっており、国仲平野に多く見られる地盤と考えられる。

今回紹介した地震記録によれば周期の長くなった振動が一定時間継続していることから、佐渡島の低地部では液状化発生の可能性が高いと考えられ、地盤調査資料に基づき分析予定である。

6. おわりに

本報告は強震記録の水平加速度振幅の増減と周期の変化に注目した振幅特性図を使って令和6年能登半島地震の液状化の可能性の分析結果を整理している。この地震は震源域だけでなく広い範囲で被害が発生しており、震源域から離れた石川、富山、新潟の平地の揺れ方の特徴をグラフから考察している。

震源域に近い能登半島の低地では振動途中で長周期化する波形となっており、表層地盤のせん断剛性が低下したことを示唆している。地盤資料を確認できた地点には緩い砂層があることから液状化の可能性が高いことを指摘している。また震源

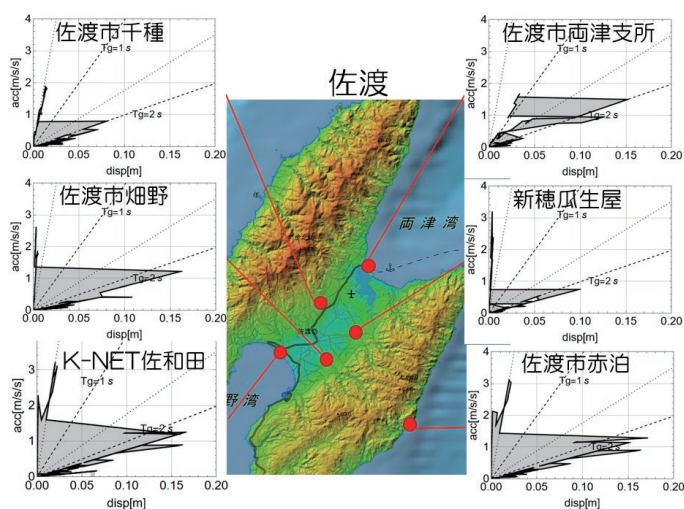


図8 佐渡島の振幅特性図

から離れた地域においても一定の加速度を超える
と長周期化して一定時間継続する地盤の液状化の
特徴を有した波形が多いことを述べている。複数
の県の広大な範囲が対象であり現地の確認と地盤
資料の確認は一部のみであるが、過去の液状化し
た波形の振幅特性図の類似性から液状化の可能性
を考察している。確認できた範囲において加速度
が大きい領域で長周期化して横方向に広がる場合
には砂層が存在したことから、振幅特性図を用いた
波形分析は液状化の発生可能性の1次情報として
有用と考える。

今回の報告では特徴的であった振幅特性図だけ
を速報として紹介している。振動途中で長周期化
するパターンはいろいろあることが確認され、今
後は現地確認と追加の資料収集を進め、各地の液
状化程度を定量的に分析する予定である。また各
地の被害と振幅特性図を対応させて被害原因の分
析を進める予定である。

謝辞

本研究では気象庁と防災科学技術研究所の公開
データを利用しました。関係者に感謝いたします。

引用文献

- 1) 内閣府：防災情報のページ, <https://www.bousai.go.jp/>, 2024年8月25日.
- 2) 防災科学技術研究所：防災クロスビュー, 令和6年能登半島地震, 液状化発生確率推定のページ, <https://xview.bosai.go.jp/view/index.html?appid=41a77b3dcf3846029206b8610787780>, 2024

- 年5月30日.
- 3) 先名重樹・小澤京子・杉本純也：近年の地震における液状化地点情報に基づく液状化危険率推定式の提案, 日本地震工学論文集第21巻, 第2号, pp.90-108, 2021.
 - 4) 鈴木崇伸：地震記録から地盤の非線形特性を検出する方法, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学) 71巻, 4号, pp.I_502-I_510, 2015.
 - 5) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 共通編-2 2編 地盤・地質, 土木学会, 1998.
 - 6) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告書 共通編1 地震・地震動, 4.3 液状化地盤における地震動, 2014.
 - 7) 気象庁：各種データ・資料, 強震観測データ, <https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
 - 8) 防災科学技術研究所：強震観測網 (K-NET, KiK-net), <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
 - 9) 国土地理院：国土地理院地図, 色別標高図, <https://maps.gsi.go.jp/>
 - 10) 防災科学技術研究所：J-SHIS 地震ハザードステーション, 微地形区分, <https://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>
 - 11) 国土地理院：国土地理院地図, 土地条件図, <https://maps.gsi.go.jp/>
 - 12) 国土交通省：第3回 上下水道地震対策検討委員会資料3 (2024年8月26日開催), https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/mizukokudo_sewage_tk_000874.html, 2024年8月30日.

(投稿受理：2024年5月30日
訂正稿受理：2024年8月30日)

要 旨

2024年に発生した能登半島地震について、強震記録の水平加速度の振幅と周期の変化に着目した振幅特性図を用いて、公開されているデータを分析した結果をまとめている。震源付近と震源から離れた金沢平野、富山平野と新潟県内の平野の揺れの特徴をグラフから考察している。対象とした地域では、一定の加速度レベルになると長周期化して一定時間継続する地盤の液状化の特徴を示す波形が多いことを指摘している。被災地は広大であり、現地で確認した液状化の痕跡は一部の観測点であるが、液状化発生の有無を確認する1次情報となることを示した。振幅特性図を使って波形の特徴を確認することにより広域的な揺れ特性の即時把握に役立てられると考える。