第Ⅲ部門　　令和 6 年能登半島地震時の石川県内灘町における液状化被害の分析

関西大学　学生員　○坂根　舞斗
関西大学　正会員　飛田　哲男
日水コン（株）　正会員　宮本　勝利

はじめに

2024 年 1 月 1 日に発生した令和 6 年能登半島地震（M_j7.6）により，能登半島及びその周辺地域に大きな被害が発生した．石川県河北郡内灘町では液状化による被害が顕著であり，町内各地で多様な被害が報告されている．内灘町のある地区では，隣接する 2 つの地区において，液状化に起因する被害の程度に大きな差が確認された．本研究では，常時微動探査を含む現地調査及び同地区を対象とした数値解析を行い，このような差が生じた要因について分析する．

内灘町における H/V スペクトル比

内灘町の 2 つの地区で現地調査を行った．既往の被害報告 [1]によると，被害が大きい地区では，複数箇所で埋設管の破損が確認されている．現地調査では，これらの被害に加え，液状化に起因すると考えられる住宅の傾斜や損壊が多数認められた．また，住宅の撤去が進み，既に更地となっている区画も多く確認された．一方，被害が小さい地区では，地震による顕著な被害はほとんど認められなかった．そこで，両地区の地盤の振動特性を把握するため，計 26 地点において常時微動探査を実施した．得られた加速度波形を H/V スペクトル比に変換することで，地盤の固有振動数を推定した．両地区において，H/V スペクトル比から推定した卓越振動数の空間分布を図-1 に示す．図中の赤色および青色の破線で囲まれた範囲は，それぞれ被害が大きい地区と小さい地区を示している．図-1 より，両地区で卓越振動数の空間分布に異なる傾向が認められる．被害が大きい地区では，卓越振動数が概ね 1.4～2.0 Hz の範囲に分布しているのに対し，被害が小さい地区では，概ね 0.5～1.0 Hz の範囲に分布している．次に，現地に最も近い強震観測点である K-NET 七塚で観測された地震動の加速度時刻歴を H/V スペクトル比に変換した．図-2 に，K-NET 七塚における地震時の H/V スペクトル比と，図-1 に示す被害程度が大きい地区および小さい地区の微動観測点から得られた H/V スペクトル比を比較した結果を示す．地震動の卓越振動数は約 1.6 Hz であり，被害が大きい地区の卓越振動数と近い．そのため，地盤振動が増幅し被害を拡大させた可能性がある．ただし，K-NET 観測点は 11 km 離れているので，精査が必要である．

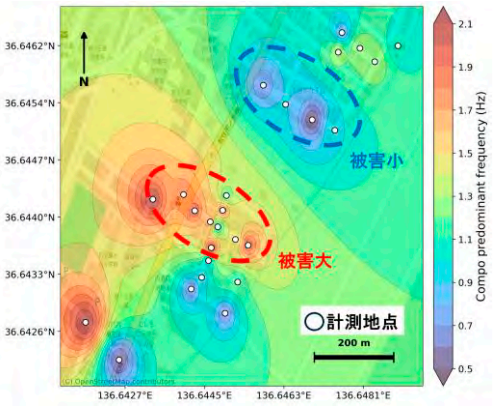


図-1．卓越振動数の空間分布図

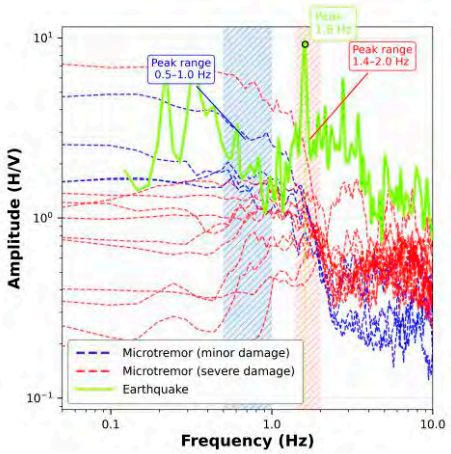


図-2．H/V スペクトル比の比較図

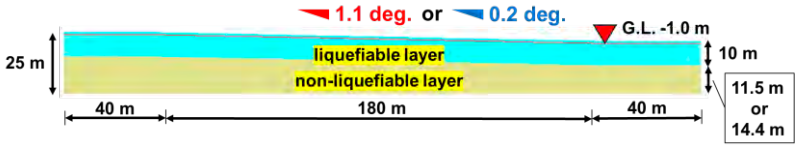


図-3．解析モデル

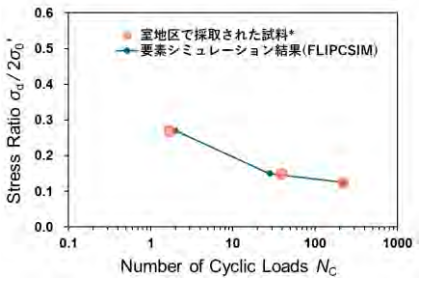


図-4．液状化強度曲線

Maito SAKANE and Tetsuo TOBITA
k394455@kansai-u.ac.jp

地表面傾斜角に着目した有効応力解析

被害が大きい地区および被害が小さい地区に対応する地盤モデルを，それぞれ Case 1，Case 2 とし，両ケースの地表面の傾斜角を国土地理院 DEM[2]から抽出した．その結果，地震前の傾斜角は，Case 1 が 1.1°，Case 2 は 0.2°であった．数値解析には，有効応力解析法 FLIP[3]を用い，深度 25 m 以浅を対象とする（図-3）．地下水位面を G.L.-1 m に設定し，表層を液状化層（層厚 9 m），その下に非液状化層（同 15 m）を設けた．地盤パラメータは，国土情報地盤データベース[4]より抽出した N 値と太田ら（2025）[5]の F_c から推定式を用いて設定した．また，液状化パラメータは太田ら（2025）[5]の液状化強度曲線を用いて設定した（図-4）．解析メッシュの概要図を図-5 に示す．同図には，変位の出力節点，計 9 点（a-i）を合わせて示す．Case 2 の解析メッシュも地表面傾斜角が異なるだけで他は同一である．図-6 に入力地震動（209 秒間）[6]を示す．図-7 に示す 209 秒時点の過剰間隙水圧比コンター図より，両ケースともに上層全域が液状化していることが確認できる．また，側方流動が生じており，両ケースで水平変位量に最大 0.83 m の差が生じた．図-8 に示す 209 秒時点の鉛直変位量を示すグラフより，Case 2 と比較して Case 1 の方が節点 a と b において，局所的に沈下量が大きいことが確認できる．図-9 に示す空中測量と解析による沈下量の比較より，解析で大きく沈下した節点 a と b は，空中測量においても大きく沈下したことが確認できる．

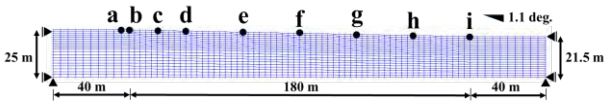


図-5．解析メッシュ（Case 1）

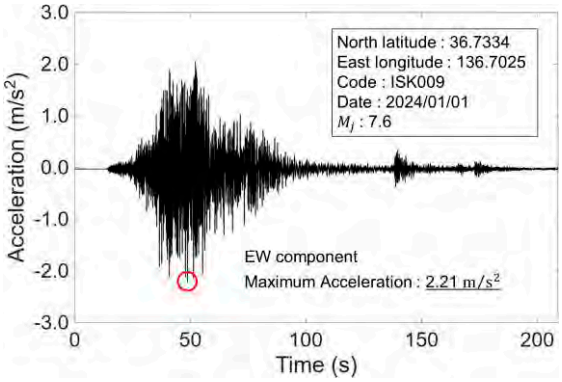


図-6．入力地震動時刻歴：K-NET 七塚 EW 成分[6]

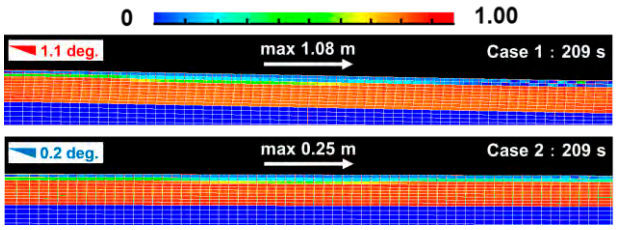


図-7．209 秒時点の過剰間隙水圧比コンター図

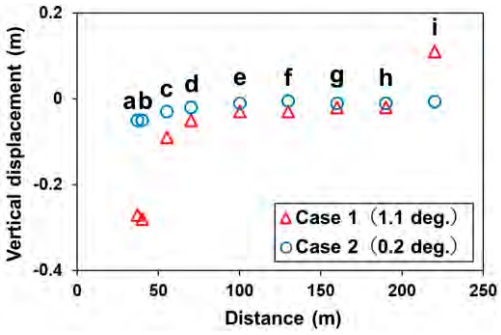


図-8．209 秒時点の鉛直変位量

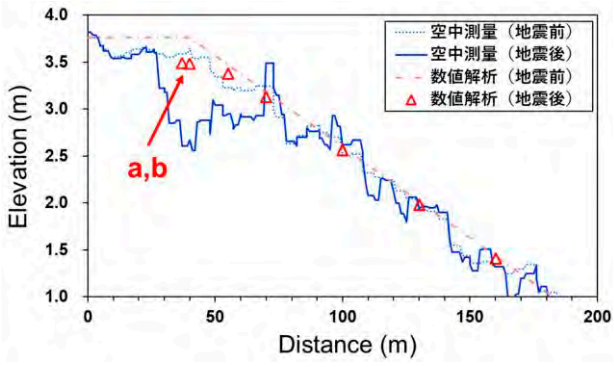


図-9．空中測量と解析による沈下量の比較[1]

まとめ

本研究では，内灘町における液状化被害の分析について，常時微動探査及び数値解析により検討した．常時微動探査より，地震動と地盤の卓越振動数が近いことによる地震動の増幅が被害を拡大させた可能性があることを指摘した（ただし精査が必要）．また，数値解析により，地表面のわずかな傾斜角の差が，被害程度に大きな影響を与えた可能性があることが示唆される．

参考文献：1) 土木学会，レジリエントな水循環ネットワークの実現に向けた技術の研究小委員会，2025．2) 国土交通省国土地理院：地理院地図 / GSI Maps｜国土地理院，国土地理院ホームページ，https://maps.gsi.go.jp.（2026 年 2 月 6 日閲覧）3) Iai, S., Matsunaga, Y., and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 2, pp.1-15, 1992．4) 一般財団法人 国土地盤情報センター：国土地盤情報データベース，https://publicweb.ngic.or.jp/viewer/.（2026 年 2 月 6 日閲覧）5) 太田史朗，佐々木朋子，窪田上太郎，風間基樹：令和 6 年能登半島地震で地盤変状が発生した石川県内灘町室地区における X 線 C T 及び室内土質試験に基づく変状メカニズムの考察，地盤工学会災害調査論文報告集　Vol.3，No.1，pp.124-136，2025．6) 国立研究開発法人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/.（2026 年 2 月 6 日閲覧）