能登半島地震における被災岸壁の地震動の推定と健全度評価について

新潟港湾空港技術調查事務所 正会員 二瓶 章

正会員〇長田 光正

尾港大田地区

推計震度分布 (震央周辺拡大図:震度4以上のみ表示)

1. はじめに

平成19年3月25日に発生した能登半島地震により,七尾港大田地区1号岸壁 (控え直杭式鋼矢板岸壁)では,岸壁法線が最大23cm海側にはらみだし,背後のエ プロンでは,液状化が原因で20~50cmの段差(沈下)が発生した(図-1,2参照). また海中部の矢板の調査を行ったが,欠損等は確認できなかった.しかし土中部 の矢板および控え組杭については,部材降伏の有無が当該岸壁の利用に影響する. そこで,能登半島地震時における当岸壁位置での地震動を予測するとともに,2 次元有効応力法地震応答解析により岸壁の変形量を再現し,鋼部材の健全性につ いて評価を行った.なお,隣接する大田地区2号岸壁は液状化対策(サンドコンパ クションパイル工法,ロッドコンパクション工法およびグラベルドレーン工法)

が実施されており、被害は確認できなかった.

2. 大田地区1号岸壁における地震動の推定

大田地区岸壁には地震計が設置されておらず, 能登半島 地震本震において観測記録は得られていない. しかしなが ら, 能登半島地震直後から港湾空港技術研究所によって余 震観測が行われていたため, ここでは経験的グリーン関数 法を用いて, 対象岸壁の地震動の推定を試みた.

能登半島地震の震源モデルは、港湾空港技術研究所にお いて波形インバージョン²⁾から求められたモデル を基本として、図-3に示すように平均変位量との 比が 1.5 倍を超える(赤字の)範囲をアスペリティ と考え、特性化震源モデルを設定した. グリーン 関数も港湾空港技術研究所の波形インバージョン に倣い、本震と余震のメカニズム³⁾の類似性の他、 本震波形と余震波形の群遅延時間の類似性を考 慮し,4 つの余震記録を併用した(図-3の色分 けは用いた余震記録に対応している). 比較的震 源に近く、かつ表層地盤の非線形性の影響が小 さいと考えられる K-NET 輪島, 富来, 羽咋, 氷 見の4地点に加え,対象岸壁に最も近いK-NET 七尾の合計5地点の観測記録に対して,推定値 との比較を行った. 図-4に K-NET 富来の観測 記録と予測結果の比較を示す.振幅、位相とも よく再現できていることがわかる.



一方,大田地区岸壁から約 3km 離れた地点の K-NET 七尾では観測記録が得られているが,最大加速度が 200gal を超過しており,地盤の非線形化の影響を キーワード 能登半島地震,経験的グリーン関数法,有効応力解析,被災事例の検証 連絡先 〒951-8011 新潟市中央区入船町 4-3778 国土交通省 新潟港湾空港技術調査事務所 TEL 025-222-6115 受けているものと推察される.本震観測記録 のピーク周波数が一致するように表層地盤の 非線形性を推定し,余震の同時記録のスペク トル比によって, K-NET 七尾で観測された本 震記録を補正することによって,対象岸壁に おける地震動を推定した.

経験的グリーン関数法で推定した地震動と 同時記録のスペクトル比によって求めた地震 動が最大値,主要動の継続時間,エンベロー プにおいてよく一致することから,対象岸壁



において十分に精度の高い予測ができているものと考えられる(図-5).

3. 被災岸壁の再現解析

図-5に示した大田地区岸壁位置での経験的グリーン関数法による能登半島地震の推定地震動を工学的基盤への入力地震動として,被災岸壁の再現解析(解析コード FLIP⁴)を実施した.

岸壁周辺では昭和 51,55 年および平成 2 年に土質調査が実施されている. 岸壁変状の主要因は埋立土(B 層) の液状化と想定されるため,埋立土の有効上載圧 98kPa における補正 N 値(N₉₈)をパラメータとして,岸壁の 変状を再現する.埋立土の N₉₈ は調査データ全平均で 5.90,平成 2 年調査平均で 8.59 となり,岸壁が供用さ れた荷役等の影響により締固められ,密になっていると想定される.このため,埋立土の N₉₈ を 5.90~8.59 の間でモデル化し,解析を実施した.なお矢板,控え杭の鋼部材は,全塑性モーメン等を上限としたバイリ ニア,地盤は簡易設定法 ⁵⁾によりモデル化を行っている.

図-6に大田地区1号岸壁の解析モデル図を、図-7に変状が再現できた残留変形図を示す.変状が再現で きた解析に用いた埋立土の N₉₈は 7.94 であり、ほぼ平成2年調査の平均に相当する.またこの条件での岸壁 構造部材は降伏にも至らず、さらには N₉₈=7.5の埋立土の液状化抵抗が小さいケース(岸壁のはらみだし変位 37cm)においても降伏しなかったため、土中部の部材も健全であると判断した.



図-6 七尾港大田地区岸壁の解析モデル

図-7 解析結果(B 層 N₉₈=7.94)

図-7 では過剰間隙水圧比が非常に高くなっている領域があり、岸壁のはらみだし変位の原因であると考えられる. エプロン部最大沈下量は9cm であり、実被害で発生した段差20~50cm は再現できなかった. この点については、控え杭部と地盤の相互作用のモデル化として今後の課題である. なお被害を受けなかった2 号岸壁の解析も実施したが、岸壁はらみだし変位が3cm と実現象を再現した結果を得ている.

謝辞:本検討を進めるに当たり,断層モデルや臨時地震計データ提供など,港湾空港技術研究所 野津 厚主任研 究員にご指導を受けました.また,K-NET(http://www.k-net.bosai.co.jp)の観測記録を用いさせていただいた.ここ に記して謝意を表すものである.

参考文献:1)災害時地震·津波速報 平成 19 年(2007 年)能登半島地震,平成 19 年 4 月 20 日,気象庁 http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2007_03_25_noto/saigai.pdf

2)http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/shindo/research_jpn/research_jpn_2007/japanese_research_25.htm

3)htto://www.fnet.bosai.go.jp 4)Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. (1990): Stain space plasticity model for cyclic mobility, Report of Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56 5)森田他(1997):液状化による構造物被害 予測プログラム FLIP において必要な各種パラメータの簡易設定法,港湾技研資料, No.869