

余震を考慮した係留施設の供用可否判定に関する検討

(株)ニュージェック 正会員○曾根 照人 中部地方整備局 大塚 尚志
 中部地方整備局 淵ノ上 篤史 (一財)沿岸技術研究センター 澁木 哲人
 (一財)沿岸技術研究センター 山本 芳生 (株)ニュージェック 正会員 山本 龍

1. はじめに

平成28年4月に発生した熊本地震は、気象庁マグニチュード6.5の前震の2日後の4月16日に、気象庁マグニチュード7.3の本震が発生した。港湾施設では大きな被害は発生していないが、熊本県益城町では多くの住宅が前震で被害が発生した状態で、本震が作用し倒壊している。係留施設でも益城町の住宅と同じように、単独の地震では供用不可の状態とならない場合でも、複数回の大きな地震が連続して作用することにより、供用不可となる場合が危惧されているため、本震と余震を考慮した地震動指標の設定と係留施設の供用可否判定手法を検討した。

2. 余震を考慮した地震応答解析と係留施設の供用可否判定手法

係留施設は、埋立地に構築される場合が多い。そのため、係留施設の背後地盤は地震時に液状化する可能性がある。本震の後に発生する余震が係留施設に与える影響は、本震で発生した過剰間隙水圧の消散状況によって異なると考えられた。そこで、重力式係船岸を代表施設として、間隙水の透水を考慮できる地震応答解析を用いて過剰間隙水圧が解析結果である残留変形量に与える影響を検討した。

解析に用いたプログラムは、港湾分野の設計に用いられているFLIP¹⁾である。従来のFLIPは非排水条件での解析であったが、土骨格と間隙水の相対速度を考慮した間隙水の収支バランス式と運動方程式を連成させて解く透水解析機能や、新たに提案されたストレスダイレイタンス関係²⁾が導入され、間隙水の移動や液状化に伴う体積圧縮を考慮できるようになった。本研究では、この新しい機能を有したFLIPを用いた。

重力係船岸は、中部管内の水深-10mとし、入力地震動は兵庫県南部地震においてポートライランドの標高-79mで観測された地震動を露頭波に変換した地震動を本震、余震として本震と設定した地震動の加速度振幅を1/2としたものを用いた。本震のみを入力した時の過剰間隙水圧の最大値分布と各要素での過剰間隙水圧の時刻歴を図-1示す。液状化対象層は、埋立土層(B層)、沖積砂礫層(Ag層)、洪積砂層(Ds-c層)である。B層は地震中に過剰間隙水圧比が0.93程度まで上昇し、125秒で過剰間隙水圧比が0.5に、150秒後にほぼ0となった。Ag層は上層に粘性土があるため、過剰間隙水圧比の消散が進行しない。また、Ds-c層は上層のAg層へ過剰間隙水圧が抜ける傾向にあるが、消散傾向は顕著ではない。過剰間隙水圧の影響検討は、B層の過剰間隙水圧に着目し、過剰間隙水圧比が概ね0.5となる本震発生後125秒後に余震を入力したケース1と過剰間隙水圧が概ね0.0となる本震発生後150秒に余震を入力したケース2を実施した。岸壁天端の水平変位の時刻歴を図-2に、最大値及び残留値を表-1に示す。ケース

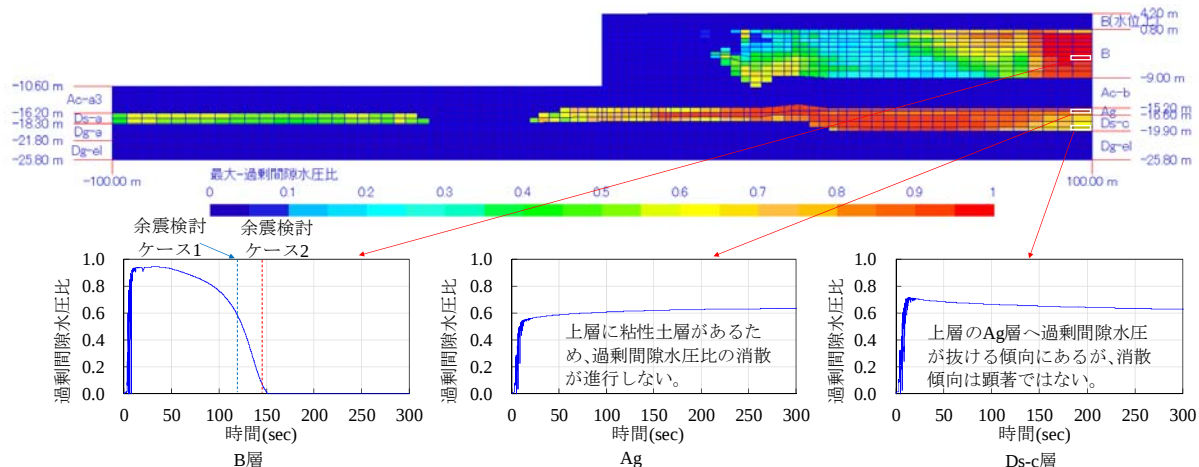


図-1 本震のみ入力した時の過剰間隙水圧の最大値分布と各要素の過剰間隙水圧比の時刻歴

キーワード 地震応答解析, 岸壁, 余震

連絡先 〒531-0074 大阪市北区本庄東 2-3-20 株式会社ニュージェック港湾・海岸グループ TEL06-6374-4038

1 と ケース 2 の最大水平変位及び残留水平変位はほぼ同じとなった。液状化対象層の位置関係によって、過剰間隙水圧の状況が余震時の地震挙動に与える影響が異なることが考えられたが、今回は B 層の過剰間隙水圧の違いが余震時の地震挙動に与える影響は小さい結果となった。余震時の地震時挙動における過剰間隙水圧の影響は小さいと判断し、一般的に透水条件の FLIP よりも水平変位及び鋼材に発生する応力が大きくなると考えられている非排水条件の FLIP を用いて、本震の地震動と余震の地震動をつなげた波形(本震後直ぐに余震が作用する波形)を入力した検討を行った。検討対象は、施設の供用性に鋼材の応力評価が必要となる

栈橋式係船岸と矢板式係船岸とした。一例として栈橋式係船岸の結果を以下に示す。岸壁天端の残留水平変位と最大曲率比(発生最大曲率/全塑性モーメント発生時の曲率)の関係を図-3 に示す。本震のみ(1 波)で取りまとめた評価線(岸壁天端の残留水平変位と最大曲率比の関係)で、本震+余震の結果を評価できることがわかった。

中部地方整備局は、地震動情報即時伝達システムで得られる地震動の情報より短時間で係留施設の供用可否判定を行うシステム(施設診断システム)を構築している³⁾。このシステムでは、野津ら⁴⁾が提案する式(1)で算定される速度の PSI 値と残留水平変位の関係、及び速度の PSI 値と最大曲率比の関係を評価線として取りまとめ、速度の PSI 値が入手できると瞬時に施設の供用可否判定ができる簡易判定手法を用いている。本震と余震を考慮した PSI 値(地震動の連続性を考慮した速度の PSI 値)を式(2)で算定すると、本震+余震の FLIP 解析結果は図-4 及び図-5 に示す本震のみ(1 波)で取りまとめた評価線で評価できることがわかった。これを施設診断システムに取り入れることとした。

$$\text{速度の } PSI \text{ 値} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} v^2(t) dt} \quad (1)$$

$$\text{地震動の連続性を考慮した速度の } PSI \text{ 値} = \sqrt{(\text{第1波目の速度の } PSI \text{ 値})^2 + \dots + (\text{第 } n \text{ 波目の速度の } PSI \text{ 値})^2} \quad (2)$$

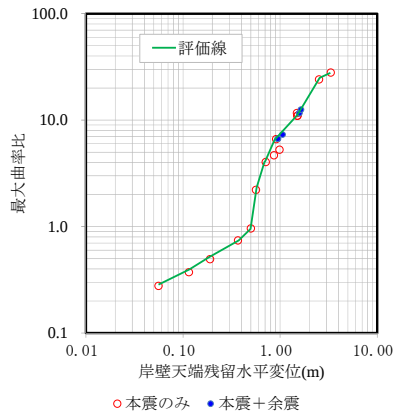


図-3 残留水平変位と最大曲率比

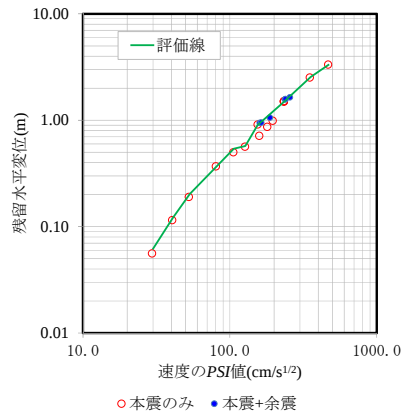


図-4 速度の PSI 値と残留水平変位

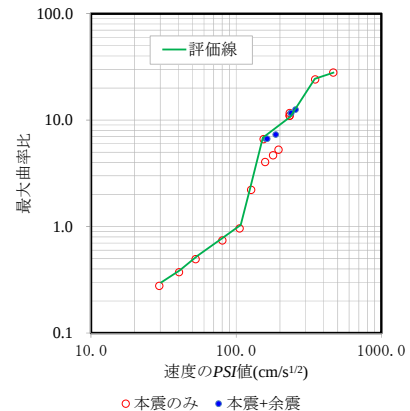


図-5 速度の PSI 値と最大曲率比

3. まとめ

本震と余震のように地震動が連続する際の速度の PSI 値を式(2)で算定し、種々の地震動(1 波)を用いた FLIP 解析結果から設定した、速度の PSI 値と残留水平変位の評価線と速度の PSI 値と最大曲率比の評価線を用いることで、本震と余震を考慮した係留施設の供用可否判定が実施できることを明らかにした。

参考文献

- 1) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol. 29, No. 4, 1990.
- 2) Iai, S., Tobita, T., Ozutsumi, O. and Ueda, K.: Dilatancy of granular materials in a strain space multiple mechanism model, international journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 35, pp. 360-392, 2010.
- 3) 曾根照人, 宇野健司, 淵ノ上篤史, 鷲見直子, 澁木哲人, 山本芳生, 山本龍: 強震計観測情報を用いた係留施設の供用可否判定に関する研究, 第 51 回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 1465-1466, 2016.
- 4) 野津厚, 井合進: 岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察, 第 28 回関東支部技術研究発表会講演概要集, 土木学会関東支部, pp. 18-19, 2001.