

三次元の弾性 FEM 解析を用いた係留施設の構造変化部分周辺の法線出入り量の推定

香川大学大学院(国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所) 正会員 ○小泉勝彦
(株)ニュージェック 正会員 村上巧一
香川大学 工学部 正会員 山中 稔

1. はじめに

係留施設に代表される港湾構造物の地震時変形量の推定には、ひずみ空間における多重せん断ばねモデルを用いた 2 次元の動的変形解析 (FLIP ROSE 2D)¹⁾ が使用されている。しかしながら、構造が変化する部分で地震時変形量 (構造物法線の出入り) がどのように変化していくかを推定することは、ほとんど行われていない。このような法線出入りの推定には、3 次元の動的有効応力解析 (例えば FLIP ROSE 3D) が有効な手法であると考えられる。しかしながら、3 次元の動的有効応力解析は長い演算時間が必要であることから構造物の照査実務で使用されるには至っていない。このことから、計算時間が比較的短い 3 次元の弾性 FEM 解析を用いて、1995 年兵庫県南部地震の係留施設の被災に関して、構造変化部分周辺の法線出入りの推定方法を検討した。

2. 検討施設

検討施設は、図 1 に示すポートアイランド (第 2 期)、岸壁 PC13 および PC14 である。PC13 は図 2(a) に示すとおり、粘性土を床掘置換した断面である。PC14 は図 2(b) に示すとおり粘性土を SCP 改良した断面である。両施設の地震後の法線出入りを図 3 に示す。PC13 の水平変位は約 3.4m であるのに対し、PC14 の水平変位は約 2.5m であることがわかる。この差は、主として地盤改良断面の相違によって生じているものと考えられる。

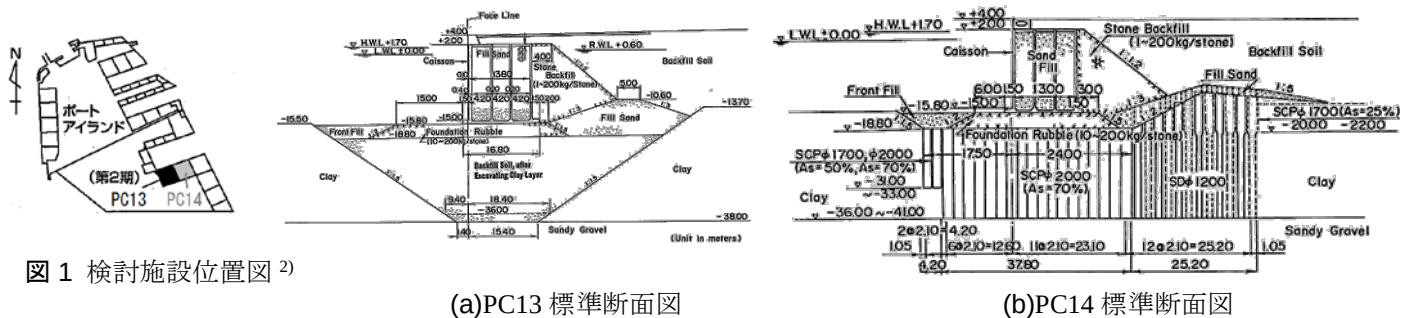


図 1 検討施設位置図²⁾

(a) PC13 標準断面図

(b) PC14 標準断面図

3. 法線出入り量の推定

施設の構造変化部分の法線出入りの推定手順を(1)~(6)に、(7)には推定結果を示す。

(1) PC13 と PC14 の 2 つの断面

に対して、地盤を線形弾性体と仮定し、水平方向に一樣な加速度を加えた自重解析を

行い、施設の水平変位と沈下量を再現する水平方向加速度と地盤の弾性係数を算定する。この計算には FLIP ROSE 2D の自重解析機能を用いた。手順(1)を含む以後の解析において、基礎捨石と裏込石の物性はその下の置換砂や SCP 改良地盤と同じとした。図 4 に PC13 と PC14 の計算結果を示す。

(2) 図 4 に示したように、水平変位・沈下量と調和する水平加速度は PC13 と PC14 で異なっている。PC13 と PC14 の境界領域を扱うため、水平方向加速度を両者の水平方向加速度の平均値に設定する。

(3) 手順(2)で求めた加速度を用いて、2 次元自重解析を行って、図 4 のメッシュで PC13 断面と PC14 断面の水平変位が一致する地盤の弾性係数をあらためて求める。このとき、沈下量を合せ込むことはしない。

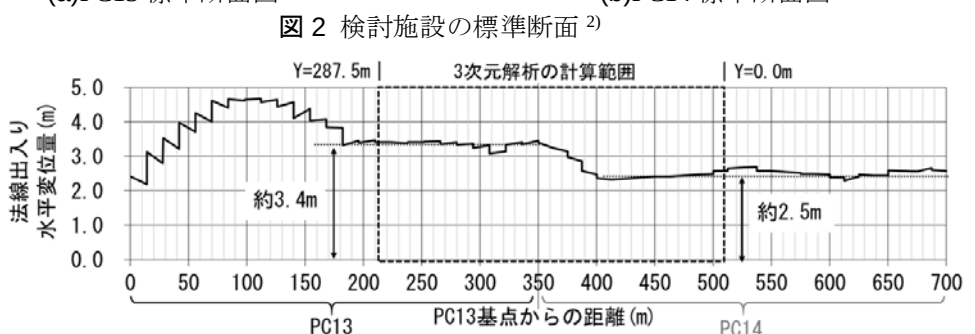
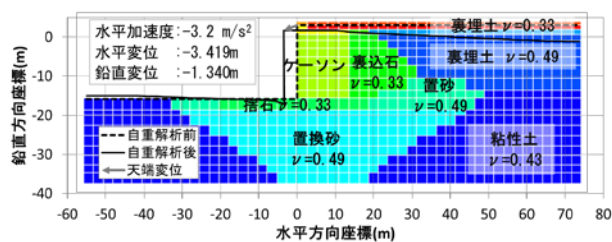


図 3 PC13 および PC14 の法線出入り (文献²⁾より作図)

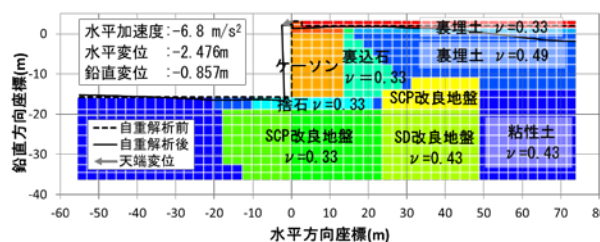
キーワード 3 次元 FEM, 線形弾性体, 港湾施設被害, 1995 年兵庫県南部地震

連絡先 〒760-0017 香川県高松市番町一丁目 6 番 1 号 住友生命ビル 2F

国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 TEL087-811-5660 FAX087-811-5670



(a)PC13



(b)PC14

図4 手順(1)の2次元FEM解析の結果

(4)手順(1)および(3)で用いたメッシュを断面方向に押し出し、2つの断面を結合した3次元メッシュを作成する。ここで、床掘置換え断面の擦り付けもモデル化した。また、ケーソンの目地を再現するため、Y軸方向の5列に1列の割合でケーソンが存在しないものとし、ケーソンの単位体積重量は1.25倍とした。図5に解析の基本とした3次元のメッシュを示す。

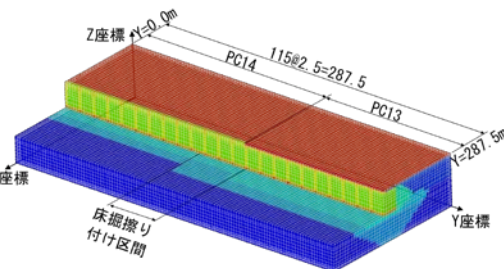


図5 3次元解析の基本メッシュ

(5)3次元の解析メッシュに、手順(2)で求めた加速度、(3)で求めた弾性係数を入力し、3次元の変形解析を行う。著者らはFLIP ROSE 3Dの自重解析機能を用いた。PC13の3次元解析の水平変位は2次元解析の水平変位に対して9%程度小さく、2次元解析および実測値に一致するように弾性係数の調整が必要であった。計算された護岸の水平変位の分布を実測値の法線出入りとともに、図7の青い実線で示す。図7を見ると、330m~390m辺りで計算値が実測値よりも小さく、この辺りでは、入力した地盤の弾性係数よりも実際の地盤の平均的な弾性係数が小さいことが示唆された。

(6)3次元解析結果を見ると捨石および裏込石のせん断歪 γ_{zx} は0.022~0.057であり、平均的には0.037程度のせん断歪が生じていた。PC13とPC14の実測値の水平変位の差が約0.9m、同じく鉛直変位の差が約0.6mである。これらの変位の差が図6の水平変位の変化の大きい330m~390mの青色破線の範囲で生じていると考え、この範囲では平均的に $\sqrt{(0.9^2+0.6^2)}\div60=0.018$ 程度のせん断ひずみが生じているものと考えられる。これに加えるとケーソン周辺のせん断ひずみは概ね $\sqrt{(0.037^2+0.018^2)}=0.041$ となる。せん断ひずみが0.037から0.041に増加した際のせん断剛性の低下を北澤ら³⁾の用いたせん断ひずみと G/G_0 の関係から求めると、図7に示すとおり約15%の低下となる。このことから、330m~390mの区間について、地盤の弾性係数を85%に低下させて再計算を行った。

(7)推定結果：330m~390mの弾性係数を85%に低下させた場合の法線出入りの計算結果を図6の赤線で示す。図6の黒い実線で示した護岸の法線出入りとよく一致する結果が得られた。

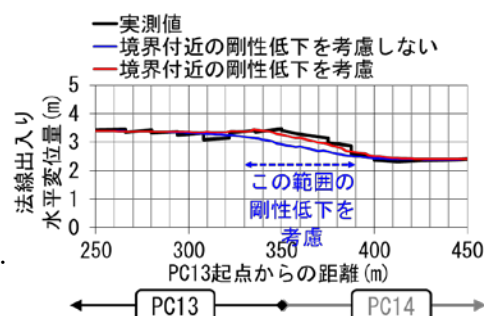


図6 法線出入りの計算結果

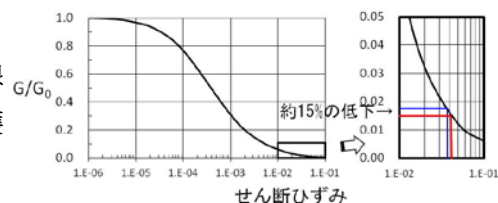


図7 境界部の剛性低下の算定

4. まとめ

水平方向加速度を考慮した3次元の弾性FEM解析に水平方向と鉛直方向の変位差から算出したせん断ひずみによる剛性低下を考慮することで、岸壁の構造変化部分周辺の法線の変化を精度良く計算することができた。3次元の非線形動的FEM解析が実務で用いられるようになるまでの間、このような方法による構造変化部分周辺の法線出入りの推定計算も試す価値があるものと考えられる。

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, pp. 27-56, 1990.
- 2) 稲富隆昌, 善功企, 外山進一, 他: 1995年兵庫県南部地震による港湾施設被害報告, 港湾技研資料, No.857, 1977
- 3) 北澤壮介, 檜垣典弘, 野田節男: 沖縄県および奄美諸島の大地震時における地盤加速度, 港湾技研資料, No.396, 1981