

III-190

地盤—構造物—水連成系の二次元液状化解析

大林組技術研究所 正会員 伊藤 浩二
 “ 正会員 鳥井原 誠
 “ 正会員 松田 隆

1. まえがき

本研究は、地震・波浪等の変動荷重に対して、地盤の非線形挙動が構造物ならびに地盤の動的安定性に与える影響や構造物に作用する動的外力を評価しうる地震・波浪応答解析手法を開発することを目的とする。

本報告では、新たに開発した二次元有効応力解析プログラムの概要と検証結果を述べる。次に、同プログラムによるケーソン等の海洋構造物を想定した二次元液状化解析を実施し、動水圧が作用する構造物の動的応答に対する予測手法として、本解析法の適用性を検討した結果を述べる。

2. プログラム概要

本プログラムは、Biotにより提案された飽和多孔質体の釣り合い式と間隙水の連続式から誘導される土粒子骨格、間隙水変位を変数とする u - U 形式を基本式とし、波浪応答解析は慣性項を考慮しない圧密方程式を基本式とする。また流体のみについては、Biot式において、骨格変位 $u=0$ 、間隙率 $n=1$ 、透水係数 $k=\infty$ と仮定した圧縮性流体のEuler式を基本式とする。

3. 動水圧に関する検証

鉛直剛体壁に作用する動水圧の理論応答解と本プログラムによる地震応答解析との比較から、流体のみの材料に対する検証を行なう。

解析モデルを図-1に、入力緒元と材料定数を表-1に示す。解析では、対象流体(20m×10m)を20×10(X,Z方向)の二次元要素でモデル化し、剛体壁(X=0)で水平非排水、底面(Z=-10m)で鉛直非排水条件を設定している。

剛体壁に作用する動水圧振幅Pの深度分布のWestergaard理論曲線と地震応答解析結果を図-2に示す。理論曲線と解析結果はほぼ一致した結果を示し、本プログラムにより動水圧の効果を適切に表現できようである。

4. 変動水圧による地盤応答に関する検証

進行波による地表面変動水圧が線形飽和地盤に作用する場合の理論応答解¹⁾と本プログラムによる波浪応答解析との比較から、線形二相材料に対する検証を行なう。

解析モデルを図-3に、変動水圧緒元と地盤定数を表-2に示す。解析では、対象地盤(40m×40m)を32×10(X,Z方向)の二次元要素でモデル化し、左右境界の同一深度の骨格ならびに間隙水のX, Z変位を等しくする繰返し境界を設定している。

変動水圧振幅 P_0 、せん断弾性係数G、波数 λ 、波長Lで正規化した有効応力 $\sigma'_x, \sigma'_z, \tau_{zx}$ 、

間隙水圧P、骨格変位 u, w の最大振幅深度分布の理論曲線と波浪応答解析結果を図-4～9に示す。理論曲線と解析結果はほぼ一致した結果を示し、本プログラムに適切な地盤構成モデルを導入することにより、液状化を含む二次元問題への適用が可能と考えられる。

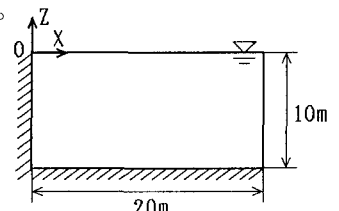


図-1 解析モデル

表-1 入力緒元と材料定数

最大加速度振幅 A_{max}	1.0	m/sec ²
周期 T	1.0	sec
間隙水体的弾性係数 K_f	2.0×10^8	kPa
間隙率 n	1.0	
透水係数 k	∞	m/sec

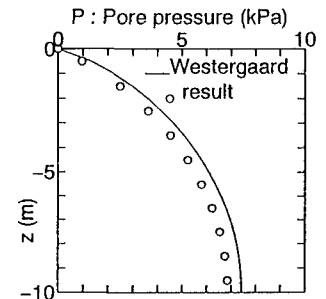


図-2 p-z 関係

表-2 入力緒元と地盤定数

変動水圧振幅 P_0	11.42	kPa
波長 L	40	m
周期 T	7	sec
波数($=2\pi/L$) λ	0.1571	m ⁻¹
骨格ヤング係数 E	26600	kPa
ポアソン比 ν	0.33	
土粒子体的弾性係数 K_s	1.0×10^{10}	kPa
間隙水体的弾性係数 K_f	2.0×10^8	kPa
間隙率 n	0.5	
透水係数 k	5.0×10^{-4}	m/sec

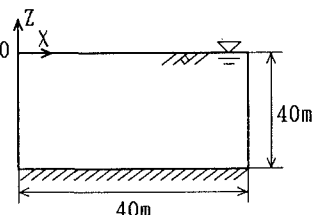


図-3 解析モデル

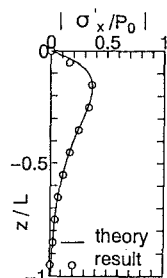


図-4 $\sigma'_x - z$

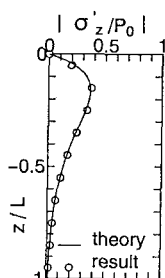


図-5 $\sigma'_z - z$

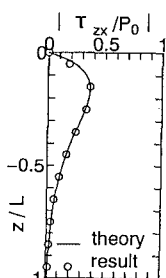


図-6 $\tau_{zx} - z$

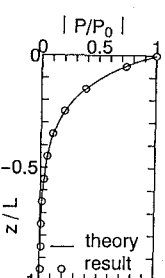


図-7 $p - z$

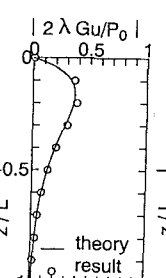


図-8 $u - z$

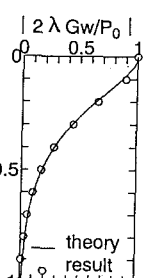


図-9 $w - z$

5. 地盤—構造物—水連成系の液状化解析

解析ケースは、緩い砂地盤に支持されるケーソン構造物を想定した動水圧を考慮した場合(Case1)と考慮しない場合(Case2)とし、それぞれの解析モデルを図-10に示す。また地盤構成モデルは、弾性成分を考慮した松岡モデル²⁾を採用し、せん断応力比 $L=0.12$ で $N_1=5$ 相当のモデルパラメータを設定している。入力波は、最大加速度振幅 1.0m/sec^2 、継続時間10秒の八戸波NS成分をX方向に基盤入力している。

基盤(A)の入力加速度、Case1の構造物側面(B)における加速度応答と動水圧応答の経時変化を図-11, 12に示す。加速度応答に対する動水圧応答の振幅ならびに位相特性は、図-2のWestergaard 理論解に対応した結果を示しており、本解析における動水圧算定が適切であると考えられる。

次に構造物天端(C)の水平・鉛直変位応答の経時変化を図-13, 14に示す。Case1の変位応答は、Case2の1割程度増加した応答を示しており、動水圧を考慮した本解析手法の妥当性を示唆するものと考えられる。

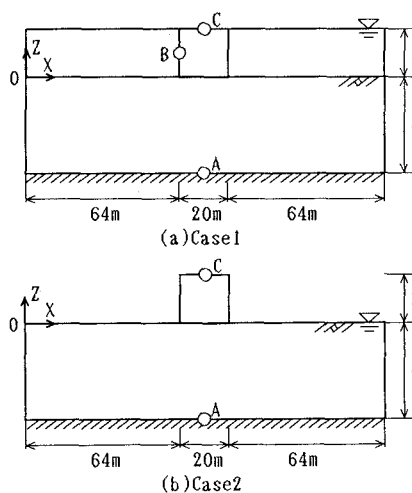


図-10 解析モデル

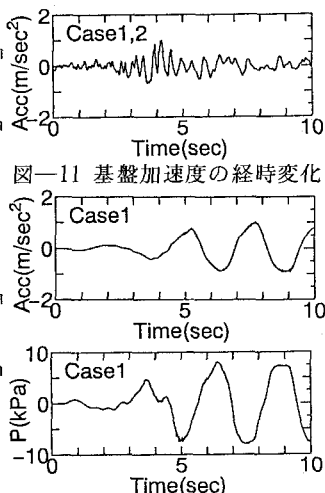


図-11 基盤加速度の経時変化

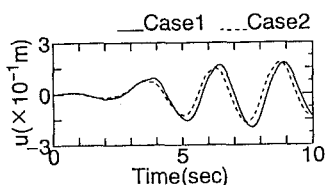


図-12 加速度・動水圧の経時変化

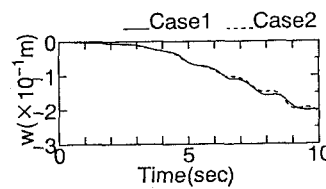


図-13 水平変位の経時変化

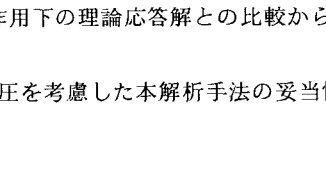


図-14 鉛直変位の経時変化

6. まとめ

- ①動水圧に関するWestergaard問題ならびに進行波による地表面変動水圧作用下の理論応答解との比較から、二次元有効応力解析プログラムの妥当性を検証した。
- ②海洋構造物を想定した地盤—構造物—水連成系の液状化解析から、動水圧を考慮した本解析手法の妥当性を確認した。

参考文献

- 1) Gatmiri, B. (1990). A simplified finite element analysis of wave-induced effective stresses and pore pressures in permeable sea beds. Geotechnique 40, No. 1, 15-30.
- 2) 伊藤他(1992). 三次元応力下の砂の繰返しせん断挙動の解析. 第27回土質工学研究発表会, 1101-1102