

砂時計不安定が発生した液状化解析の事例

港湾空港技術研究所 正会員 ○大矢陽介

東北学院大学 正会員 吉田望

港湾空港技術研究所 正会員 菅野高弘

1. はじめに

これまでに行われてきた液状化に関するブラインドテストや一斉解析の結果(例えば, 吉田¹⁾)を見ると, 現状の液状化解析は同一地盤の挙動を対象として解析すると多くのばらつきがある. 特に, 変位に関してはばらつきが多い(例えば, 土木学会²⁾). これには, 地盤の減衰特性や液状化が地盤の破壊現象であり, 構成モデルの破壊付近の挙動が少しでも異なれば, 大きな変位の違いになるということも理由と考えられるが, それ以外に有限要素法の定式化の問題もある. 本論文では, 定式化の問題のうち砂時計不安定が発生した液状化解析の事例を報告する.

2. 定式化における問題

多くの液状化解析では, 地震の継続時間は短いのでこの間の間隙水の動きは少ないとして, 土骨格と間隙水が一体として挙動する非排水条件を仮定した解析が多く行われている. 間隙水の体積弾性係数は土骨格のそれと比べて大きいことから, 土骨格と間隙水の混合体の見かけのポアソン比は 0.5 近くになる. ポアソン比が 0.5 に近づくと体積ロッキングという現象が発生し, 地盤は見かけ上非常に大きな剛性を持つようになる. そのため, 体積ロッキングを回避するために要素積分に次数低減積分を用いることが有効であるが, 砂時計不安定と呼ばれる別の問題が発生する.

砂時計不安定は, ゼロエネルギーモードと呼ばれる変形に対しては, 積分点でひずみが生じないために剛性が無くなってしまいう現象で, 長方形の要素では等体積の台形状の変形に対して剛性が無くなる. 安田ら³⁾は, 1995 年兵庫県南部地震で被害を受けた魚崎浜のサイトの重力式ケーソン護岸の解析事例において, ロッキングと砂時計不安定が発生した解析結果を示し, またこれらの回避法を用いた解析結果を示した. この事例では解析手法として液状化に伴う残留変形解析 ALID³⁾が用いられている. ALID は静的な解析であるがゆえ, 砂時計不安定は顕著に表れ, 地震応答解析のように加振方向が逐次変化するような状況においては, 砂時計不安定はそれほど顕著では無いと考えることもできる.

3. 液状化解析の事例

1983 年日本海中部地震で被害を受けた秋田港の大浜地区-10m・2 号岸壁を対象とした解析を行った. 解析手法は有効応力を考慮した地震応答解析(液状化解析)であり, 基礎方程式として土骨格と間隙水の変位が未知数の u - U 形式を用いている. 図 1 に解析モデルを示す. 解析条件等は Iai, S. and Kameoka, T.⁴⁾を参考にした.

図 2 に検討した各積分方法の残留変形図を示す. a)は 2 点積分を用いたケースの結果であるが, ロッキングの発生によって他のケースより変形がかなり小さいことがわかる. 次数低減積分(1 点積分)を用いたケース (b)) では液状化層および地表面の非液状化層において砂時計変形が現れ, 個々の要素の変形形状が不自然になっていることがわか

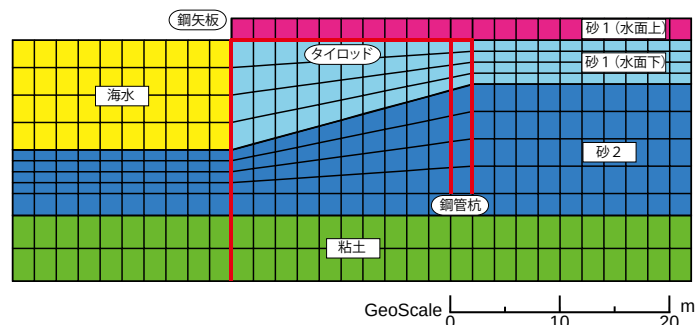
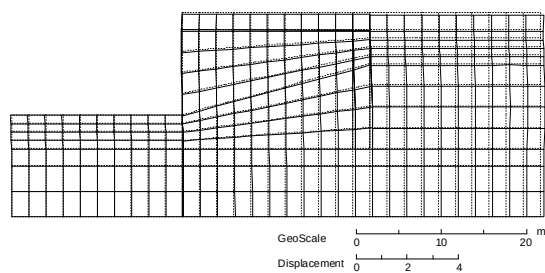


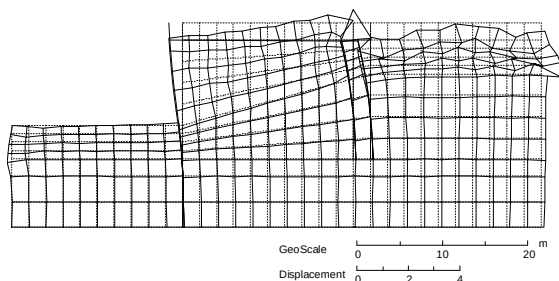
図 1 解析モデル

キーワード 有効応力解析, 液状化, 有限要素法, 地震時動水圧

連絡先 〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤・構造部耐震構造研究チーム tel 046-844-5058



a) 2点積分



b) 次数低減積分 (1点積分)

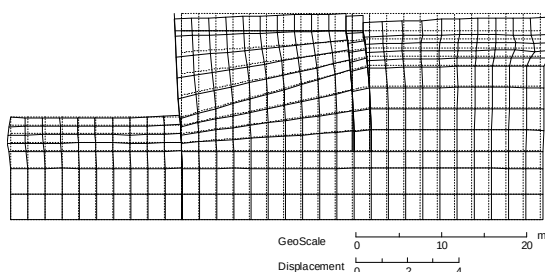
c) $u-U$ 形式

図2 残留変形図

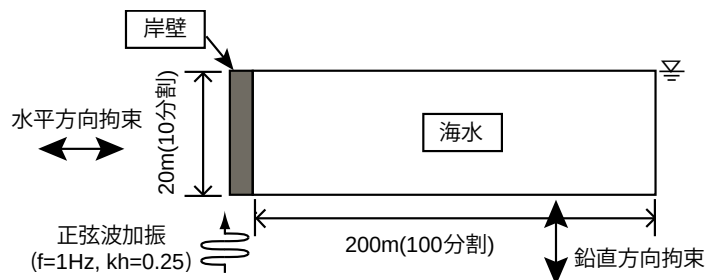


図3 地震時動水圧の検証モデル概要

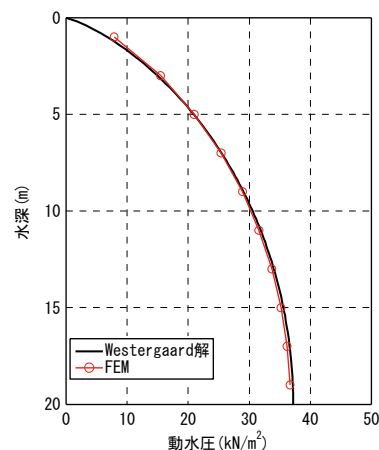


図4 岸壁の地震時動水圧

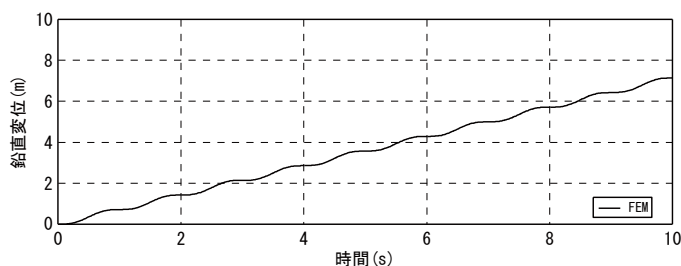


図5 水面の鉛直変位時刻歴 (岸壁より1節点隣)

る。つまり、静的解析と同様に地震応答解析においても砂時計不安定は発生し、その影響は変

形図に顕著に表れる。c)はロッキングと砂時計不安定を回避できるよう $u-U$ 形式において土骨格は2点、連成項や間隙水は1点積分を用いた方法⁵⁾の結果である。鋼矢板、鋼管杭および鋼矢板背後地盤が海側に変形し、鋼矢板の背後地盤は沈下する変形となり、被害を受けた岸壁の代表的な変形形状と同じである。

4. 変位量の評価

図3に示す検証モデルを用いて岸壁の地震時動水圧の検証を行った。基礎方程式は $u-U$ 形式、積分法は次数低減積分 (1点積分) であり、海水は砂時計変形とせん断変形に対する剛性は持っていない。図4に示す水深と岸壁に働く地震時動水圧の関係は理論解と一致した。また、図5に示す岸壁近くの水面の鉛直変位は、正弦波加振にもかかわらず水面より上方向へ時間と共に累積して大きくなった。

地震応答解析においては、砂時計変形やせん断変形に対して抵抗しない要素の変位は、加振方向と関係なく時間と共に一方向へ累積して大きくなることがわかった。

参考文献

- 1) 吉田望：数値解析の精度、液状化を考慮した地盤と構造物の性能設計、地盤工学会関東支部 液状化を考慮した地盤と構造物の性能設計に関する研究委員会、pp.91-103, 2008.
- 2) 土木学会 地震工学委員会：レベル2 地震動による液状化に関するシンポジウム論文集、土木学会、2003.
- 3) 安田進、吉田望、安達健司、規矩大義、五瀬伸吾、増田民夫：液状化に伴う流動の簡易評価法、土木学会論文集、No.638/III-49, pp.71-89, 1999.
- 4) Iai, S. and Kameoka, T.: Finite element analysis of earthquake induced damage to anchored sheet pile quay walls, Soils and Foundations, Vol.33, No.1, pp.71-91, 1993.
- 5) 大矢陽介、吉田望：ロッキングと砂時計不安定を避ける有効応力解析法の定式化、構造工学論文集、Vol. 54B, pp.45-50, 2008.