

相互作用を考慮した DEM による飽和粒状体の側方流動に関する検討

豊橋技術科学大学

正員 河邑 眞

日建技術コンサルタンツ

正員 藤木 博明

豊橋技術科学大学大学院

学生員 岡村 達人

1. 緒言

1995年1月17日に生じた兵庫県南部地震において、兵庫県、大阪府など、多くの港湾施設で大きな被害が生じた。被害状況としては、岸壁が海側へ移動すると共に前傾し、ケーソンの背後が大きく沈下するもの多く見られた。この場合、液状化現象により岸壁背後地盤に大変形が生じた。本研究では、土粒子・間隙水の2相モデルを考慮した3次元DEMを用いて、境界変位が間隙水圧の変化に与える影響についての検討を行い、液状化現象の微視的機構の把握、及び、側方境界変位による内部粒子の変位と間隙水圧の変化について検討を行った。また、粒径の影響についても検討した。

2. 解析方法

2-1 解析モデル

解析の対象として図1に示すようにX方向に長さ12cm、Y方向に幅4cm、Z方向に高さ4cmの解析モデルを考える。この容器内に半径0.5cmの球状要素を図2に示すような4層の正規配列として隙間なく充填する。要素の総数は192個である。また、要素の間隙は、8個の要素からなる間隙モデルにより表現され、この間隙要素は、計325個配置する。このDEM解析では、土粒子の変位と間隙水の運動との相互作用を考慮している。解析に用いた材料定数を表1に示す。

2-2 解析過程

解析の順序は図3に示すように2つの過程からなる。発生過程で空間内に粒子を発生させる。そして、境界要素の変位を拘束し、間隙水圧を5.0N/cm²の大きさにして、その状態で保持する。変位過程では、側方の境界をX方向へ変位させる。この変位過程において、側方境界の拘束についての2つの条件に対して、それぞれ各粒子

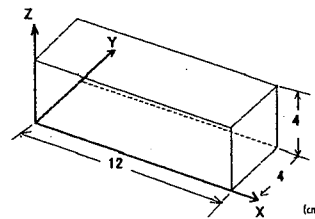


図1 解析モデル

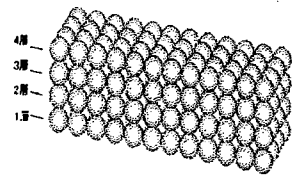


図2 球状要素

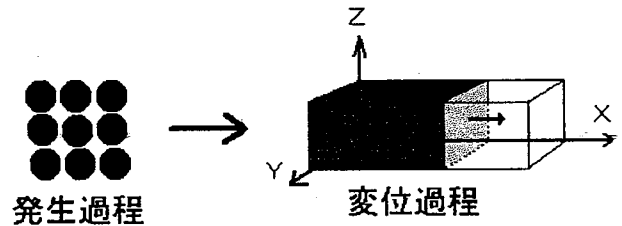


図3 解析過程

表1 材料定数

要素	半径	r	0.5 (cm)
	密度	ρ	2.5 (g/cm ³)
	粘着力	c	0.0
	摩擦係数	μ	1.0
	垂直剛性	K_n	1000 (N/cm)
	せん断剛性	K_s	500 (N/cm)
間隙水	体積弾性係数	E_w	2.4×10^2 (N/cm ²)
	粘性	μ_w	10^{-7}

表2 解析ケース

	物体力なし	物体力あり
境界変位自由	CaseA	CaseB
境界変位強制	CaseC	CaseD

Subject: DEM analysis of lateral movement of saturated granular material considering interaction.

Makoto Kawamura, Michihito Okamura, Toyohashi University of technology

Hiroaki Fujiki, Nikken-Gijutu consultants

に作用する横方向 (X 方向) の物体力を作用させた場合と作用させない場合を考え表2に示すような合計4つのケースを作り検討を行った。物体力は粒子の移動状況を比較するために 10 G の大きさを与えた。

3. 解析結果及び考察

3-1 間隙水圧の変化

図4は、各ケースにおける、奥行き側から変位境界側への間隙水圧の変化を示す。この図をみるとケース D 以外では、奥行き側の間隙水圧が高く、変位境界側では奥行き側と比べ低い値になっている。これは、間隙水圧差による動水勾配を形成していることを表し、間隙水が変位境界側へ移動することを表している。また、微小ではあるが、内部の粒子を変位境界側へ押し出そうとする力が作用していることを表している。図5は、境界変位に伴う間隙水圧の変化を示す。この図を見ると境界の変位に伴い間隙水圧が減少していること示している。図6は境界を変位させてからの内部間隙要素中央における間隙水圧変化の時刻歴を示す。この図より時間の経過に伴い間隙水圧の減少する程度がわかる。これより、水圧の減少率は境界の変位速度に依存している。

3-2 粒子の移動

図7は各ケースにおける境界変位終了時の粒子移動量を示す。図8は各ケースにおける境界変位終了時の境界移動量を示す。この図を見ると2層目と3層目の粒子の移動が大きく境界変位による影響を最も受けていると考えられる。また、物体力を加えることにより、粒子の水平方向への移動は大きくなる。ケース B, ケース D において、内部粒子の移動を比較すると、奥行き側の粒子の移動量が変位境界側の移動量より大きく、変位境界側の粒子を押しだそうとしていると考えられる。また、物体力を加えることにより粒子の移動が大きくなったことから、粒子の移動に対して物体力による影響が大きいと考えられる。物体力がない場合には、境界変位に伴う粒子の移動は、今回の解析においてほとんど見られなかった。

4. 粒径 0.1mm による解析

4-1 解析モデル

ここでは、実際のレベルでの解析を行うために解析の対象として図9に示すような X, Y, Z 方向に長さ

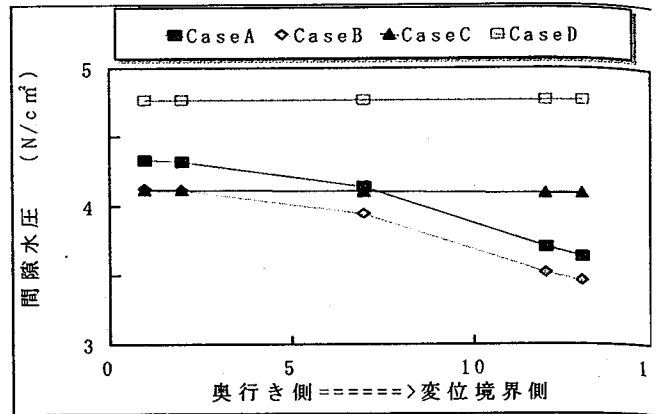


図4 奥行き側から X 方向への間隙水圧の変化

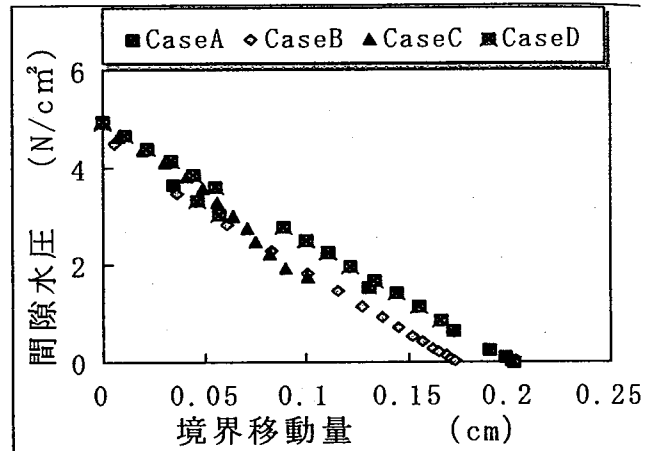


図5 境界の移動に伴う間隙水圧変化

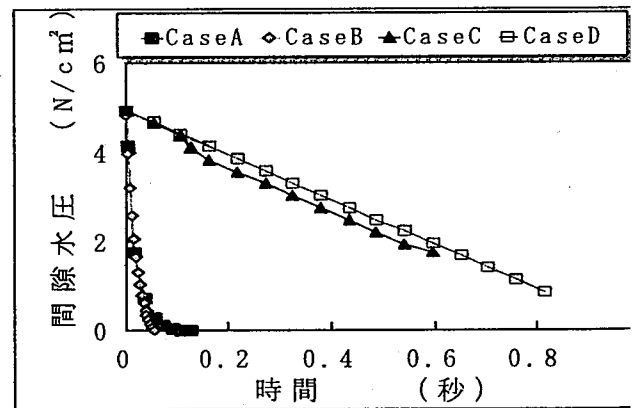


図6 間隙水圧変化の時刻歴

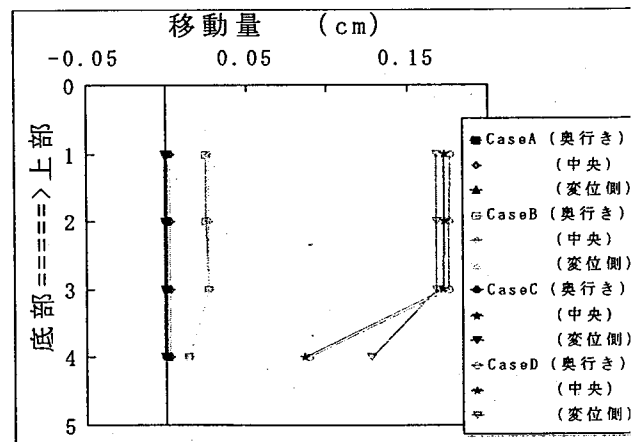


図7 各ケースにおける粒子移動量

0.04cm の解析モデルを考え、この容器内に半径 0.005cm の球状要素 4 層の正規配列として隙間なく充填させる。要素の総数は全部で 64 個である。また要素の間隙は 8 個の要素からなる間隙モデルにより表現され、この間隙要素は計 125 個配置する。本解析では土粒子と間隙水の運動との相互作用を考慮している。ここで用いた材料定数は、表 1 と同じであるが、粒子半径は 0.005cm となっている。

4-2 解析過程

解析の順序としては、図 3 に示すような 2 つの過程からなっている。本解析では粒径が 10mm の解析と同じ方法により行っているが、変位過程において表 2 に示す条件の下で CaseA, CaseB についての解析をおこなっている。また、ここで与えた物体力は実際の現象に近づけることを目的として 1.0G の大きさで与えた。

5. 解析結果及び考察

5-1 間隙水圧の変化

図 10 はケース A, ケース B における奥行き側から変位境界側への間隙水圧分布の時刻歴を示す。これより間隙水圧の分布状況は奥行き側の間隙水圧が高く、変位境界側の間隙水圧が低くなっていることがわかる。両方のケースにおいて間隙水圧の分布状況は、ほぼ同じような値であった。また、この間隙水圧の分布状況より粒径の大きなものと比べ水圧差による動水勾配が大きいこともわかる。この水圧差により間隙水が変位境界側へ移動するということを表している。また、内部粒子を変位境界側へ押しだそうとする力が作用する。図 11 に境界の移動に伴うモデル中央の間隙における間隙水圧の変化を示す。これより両方のケースにおいて境界の変位に伴い間隙水圧が減少することがわかる。また、境界の移動に伴う間隙水圧の変化は、ほぼ同じ割合で減少している。図 12 は間隙水圧変化の時刻歴を示している。この図より時間の経過に伴う間隙水圧の減少の割合がわかる。この図からも奥行き側の間隙水圧よりも移動境界側の間隙水圧の方が、間隙水圧の減少の速度が大きいということがわかる。また、これらのことより水圧の減少率は境界の変位速度に依存していると考えられる。図 13 に境界の移動速度を補足までに付け加えておく。

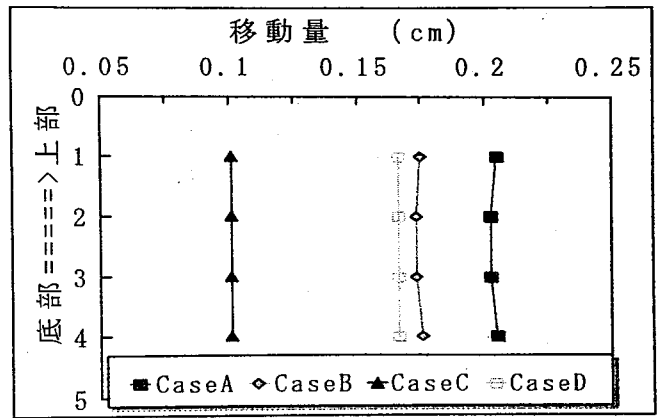


図-8 各ケースにおける境界移動量

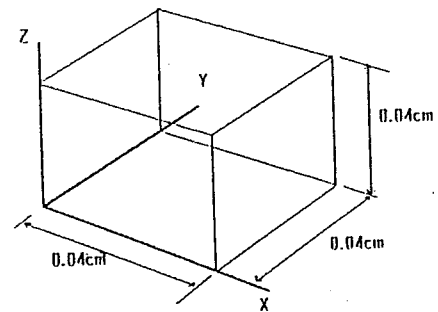


図-9 解析モデル

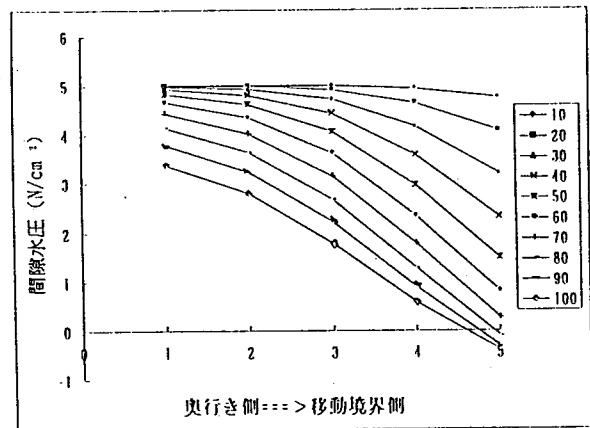


図 10 間隙水圧分布の時刻歴

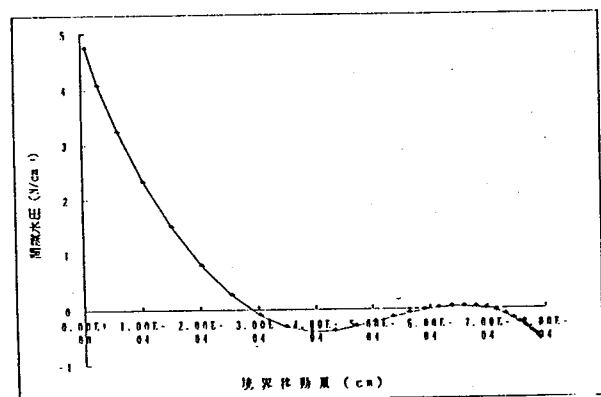


図 11 境界の移動に伴う間隙水圧の変化

5-2 粒子の移動

図 14, 15 は両方のケースにおける目標解析サイクル終了時の内部粒子及び、移動境界の変位量を示す。これより両方のケースにおいて粒子の移動量について見てみると移動量については、ほぼ同じであるといえる。また、粒径の移動の割合は、粒径 10mm の解析では物体力を加えたケースでは粒径の約 3/100 であった。これに対して粒径 0.1mm での解析においての土粒子の移動量は、物体力を加えないケースで粒径の約 5/100 であった。粒子の移動する割合が粒径 0.01cm の場合大きくなっている。このことより、実地盤における砂の粒径ぐらい粒径が小さくなると間隙水圧差により間隙水が移動境界側へ流れること、すなわち浸透流による影響を受けやすくなるために、粒子の移動する割合が大きくなったと考えられる。また、粒径が小さくなると物体力による粒子移動はあまり見られず、粒径が小さくなると物体力よりむしろ間隙水圧差による間隙水の移動による影響のほうが大きくなる。

6.まとめ

本解析では、粒径 10mm のモデルにより定性的な現象を調べ、そして実地盤のレベルで検討を行うために粒径を 0.1mm として解析を行った。解析によって明らかになった点は以下のようなものである。

- ①間隙水圧の減少率は境界の変位速度に依存する。
- ②間隙水圧差による作用力が粒子に作用する。
- ③粒径の大きな場合には土粒子の移動は物体力による影響を大きく受けた。これに対し、粒径が小さい場合には土粒子の移動に対して間隙水の側方への浸出による影響が大きくなった。

本解析においては、正規配列のモデルを考慮しての解析を行い、粒径の違いによる側方境界変位による影響を検討した。しかし、より実際の地盤及び現象に近づけるために、今後の課題として以下のことに取り組んでいく予定である。

- ①ランダム配列での検討
- ②振動台実験との比較
- ③実構造レベルへの応用

参考文献:河邑 眞,羽上田 裕章,野瀬 達哉: 粒状体のせん断挙動に関する 3 次元 DEM 解析,地盤破壊の三

次元的評価に関するシンポジウム,発表論文集,pp.243-246,1995 年 3 月

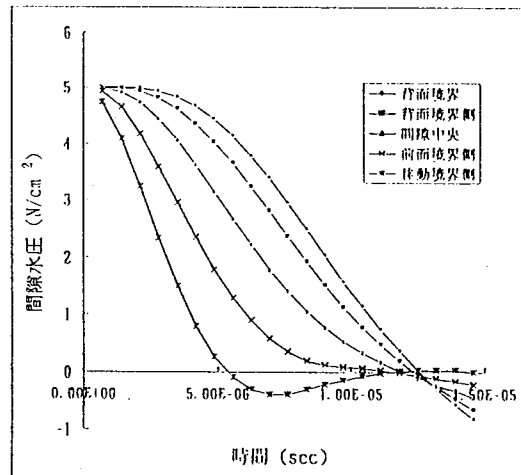


図 12 間隙水圧変化の時刻歴

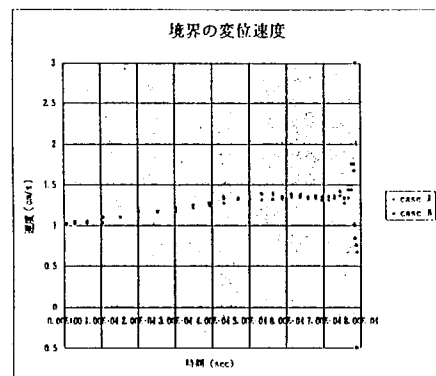


図 13 境界の移動速度

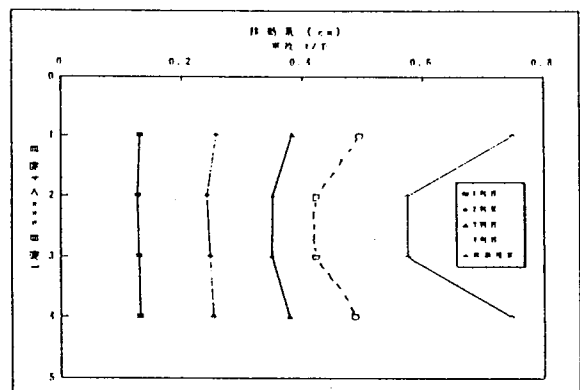


図 14 CaseA における粒子移動量

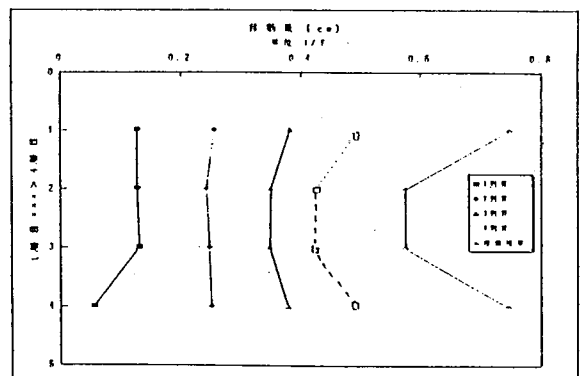


図 15 CaseB における粒子移動量