

(株) 竹中工務店 正会員 恒川 裕史
塩見 忠彦

1.はじめに 1964年新潟地震、1983年日本海中部地震等では、多くの液状化による被害が報告されている。その中で近年特に注目されている現象に『地盤変状』がある。浜田・安田ら¹⁾によって指摘されたこの現象は、液状化によって地盤が大規模な変形を起こし、結果的に10mにも及ぶ永久変形を引き起こすというものである。こうした、地盤が数mも移動するという、いささかショッキングな現象に対して、実験・数値解析を用いてそのメカニズムを解明する動きがすすんでいる。²⁾

本研究は、この『地盤変状』のメカニズムを、有効応力解析を用いて説き明かす事を目的としている。

2.解析対象 新潟地震において大規模な永久変位がみられた『大形小学校』付近を解析の対象とした。ここでは、最大8mもの永久変位が起きたことが、報告されている。この大形小学校から通船川までの地域の地盤構成としては、地表面はほぼ平らであり、地下部分の液状化が予想される層の下端は、大形小学校から通船川にかけて、若干傾斜している。

3.解析モデル 液状化が予想される層の傾斜による影響を検討するため、図-1に示すようにモデルA：完全な水平成層地盤と、モデルB：傾斜地盤の2つのモデルについて解析を行った。地層の傾斜は、最大で0.5%とした。解析は1次元で行ない、側方の境界は、両側の節点の動きが同じであるとした。また、モデル下部は固定とし、地盤条件を考慮して補正した秋田県庁での新潟地震の地震波を、最大加速度90galで入力した。図-2に、入力加速度を示す。地盤の初期応力は、モデルAとBとで同じとし、土圧相当分を $K_0=0.5$ として与えた。地層の傾斜による初期せん断力は、無視した。なお、解析には、DIANA J2を用い、液状化予想層のみを2相系とし、構成式にはPZモデルを採用した。また、非排水条件として、2相の要素と1相の要素の間は水の変形を拘束した。

4.解析ケース 以下に示す3ケースの解析を行った。

- 1)モデルBで12秒間加振
- 2)モデルBで12秒間加振後12秒間自由振動、入力地震波を正負逆に入力する
- 3)モデルAで12秒間加振後12秒間自由振動

ケース2は、地震波の性質による変位の偏りと、液状化予想層の傾斜による影響を考察するために実施した。

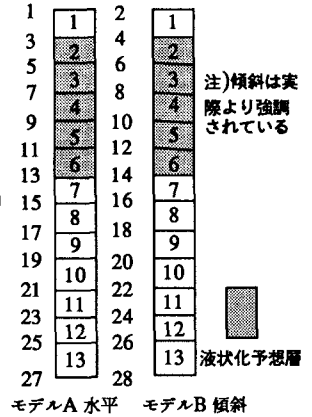


図-1 FEMモデル

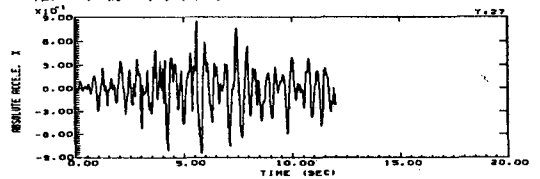
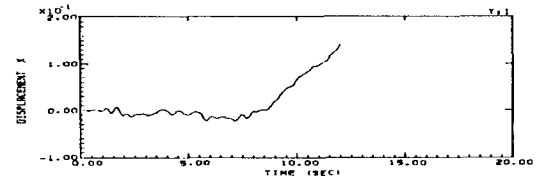
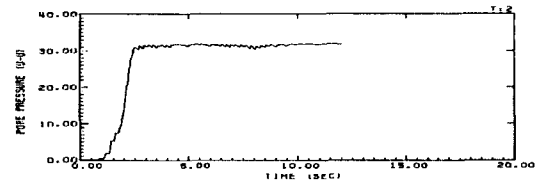


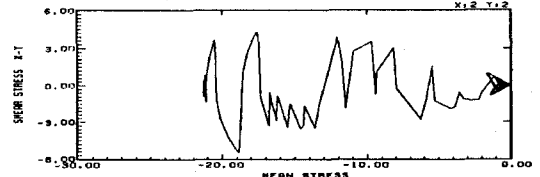
図-2 入力加速度



a)変位時刻歴(地表面)



b)間隙水圧時刻歴(要素2)



c)平均応力とせん断応力の応力経路(要素2)

図-3 ケース1の解析結果

5.解析結果 図-3a),b),c)に、ケース1のa)地表面の変位の時刻歴、要素2のb)間隙水圧の時刻歴、c)平均応力とせん断力の応力経路を示す。図-3b),c)よりわかる様に、2.5秒付近が液状化している。しかし、図-3a)に見られる様に、変位は9秒付近まで大きく伸びない。変位の方向は、液状化予想層の傾斜方向と一致している。

図-4a),b)に、ケース2におけるa)地表面の変位の時刻歴、b)要素2の間隙水圧の時刻歴を示す。このケースでは、傾斜方向へ一旦変位が進んだ後、逆方向へ戻り、その後再度傾斜方向へ変位が進んでいる。図-3a)との大きな違いは、図-4a)では9秒以前にも変位が見られることである。本解析で用いた地震波は、初期の段階(9秒まで)では、ケース1において傾斜と逆方向(ケース2においては順方向)へ変位が進む特性を持っている。しかし、液状化層の傾斜によって、その動きが妨げられたものと考えられる。

図-5に、ケース3の同様な図を示す。図-5a)を図-3a)と比較すると、初期における変位が負方向に進んでおり、前述した地震波の特性を裏付けている。また、図-4a)では、更に変位が進む事が予想されるのに対して、図-5a)では変位は収束の方向へ向っており、液状化層に傾斜が無い場合には、大規模な永久変位は発生しない事が予想される。

図-6に、ケース2の要素4の間隙水圧と、節点13の加速度の時刻歴を示す。この図から、加振終了の12秒を過ぎても、微小な振動によって間隙水圧が上昇している事がわかる。

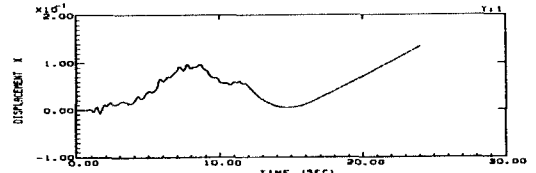
6.まとめ 微小変形理論を用いた本解析では、歪が100%を越える地盤変状の最終ステップまで正確に議論することはできない。しかしながら、本研究では液状化による地盤変状の初期の解析(歪数%まで)を行う事によって、そのメカニズムを解明しうる事を示した。すなわち、

- 1)液状化層と、非液状化層との境界が全く非透水である場合には、完全液状化によって液状化層の傾斜方向へ上部地盤の変位が進む傾向がある。
- 2)加振終了後にも、地盤の微小な自由振動によって間隙水圧が上昇し、完全液状化の原因となる。これが、地層の傾斜方向へ大きく変形する原因となっている。

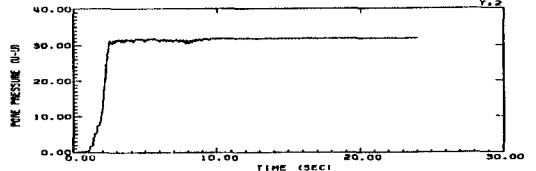
今回の解析では、液状化層と、その上部の非液状化層の境界を不透水であると仮定した。しかし、今後はこの境界より間隙水圧の消散がある場合、及び地盤変状の終了(すべりの停止)のメカニズムの解明を中心に、更に解析を進める所存である。

参考文献

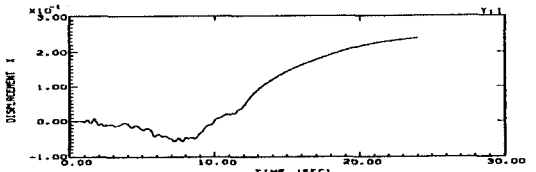
- 1)浜田・安田他「液状化による地盤の永久変位の測定と考察」土木学会論文集,第376号/III-6,pp.211~220,1986
- 2)規矩・安田他「新潟地震により発生した永久変位の簡易解析」土木学会年次学術講演会,III,pp.452~453,1988



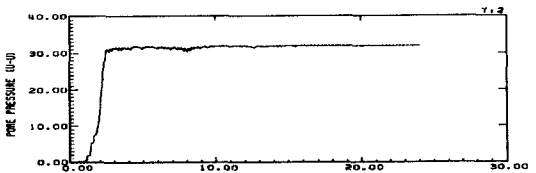
a) 変位時刻歴(地表面)



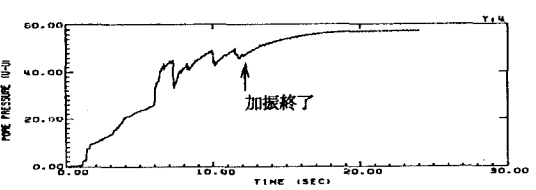
b) 間隙水圧時刻歴(要素2)
図-4 ケース2の解析結果



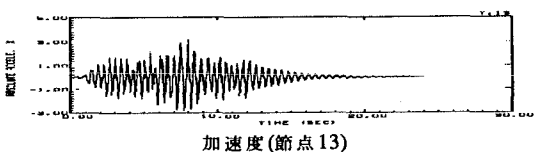
a) 変位時刻歴(地表面)



b) 間隙水圧時刻歴(要素2)
図-5 ケース3の解析結果



間隙水圧(要素4)



加速度(節点13)

図-6 ケース2の解析結果