

非排水条件下の地震応答解析結果を用いた過剰間隙水圧消散-応力変形連成解析

(株)奥村組 本社情報システム室 正会員 ○ 曾田 暁、森尾 敏、森田修二
 本社土木部 正会員 柳原純夫
 本社土木設計部 正会員 三木英通

1. まえがき

近年、有効応力法に基づく液状化解析が実務設計でも頻繁に行われるようになってきている。その中には非排水条件を前提としたプログラムも多く、それらでは間隙水圧の migration とそれに伴う地盤変形を評価することができない。本研究では、非排水条件での地震応答解析結果と応力-浸透連成解析を連繋させることにより、地震動継続中および地震動終了後の過剰間隙水圧の消散を評価する手法を考案した。ここでは、その概要および適用事例について報告する。なお、地震応答解析には FLIP（沿岸開発技術研究センター）¹⁾を用いた。

2. 消散解析手法の概要

地震動継続中の消散を考慮する手法（以下手法 1）の考え方を図-1 に示す。この手法は、まず地震応答解析を行い、各時間刻みごとの有効応力、間隙水圧の変化分を求め、それを応力浸透解析の入力値として時間刻みごとに過剰間隙水圧の消散、地盤変形を評価する手法である。

地震動終了後の消散のみ考慮する手法（以下手法 2）は、地震動終了時点での有効応力、間隙水圧を応力浸透解析の初期値として与えることにより、地震動終了後の過剰間隙水圧の消散、地盤変形を評価する手法である。

3. 解析事例

3.1 解析モデル

解析対象地盤モデル、土質条件、および地震応答解析から得られた地震動終了直後の各要素の過剰間隙水圧比（手法 2 の解析における初期条件）を図-2 に示す。地盤モデルは、兵庫県南部地震における神戸ポートアイランド（PI）の地盤特性に基づいた一次元モデルとした。透水係数については、砂質土では 1.0E-04(m/s)、粘性土では 1.0E-08(m/s)と簡易的に定め、地盤の非線型特性は、FLIP と同様に平均有効拘束圧依存型とした。

図-3 に地震応答解析で用いた入力地震波を示す。ここでは神戸 PI の GL-32m 波（Max=543.594gal、継続時間 30 秒）を用いた。

要素 1	
要素 2	
要素 3	
要素 4	
要素 5	
要素 6	
要素 7	
要素 8	
要素 9	
要素10	
要素11	
要素12	

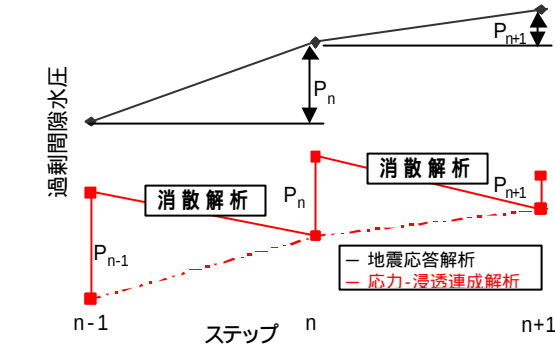


図-1 地震動継続中の消散解析の考え方

土質	層厚 (m)	深度 (m)	透水係数 (m/s)	過剰間隙水圧比
砂質土	3.0	3.0	1.0E-04	0.000
砂質土	3.3	6.3	1.0E-04	0.916
砂質土	3.3	9.6	1.0E-04	0.903
砂質土	3.3	13.0	1.0E-04	0.901
砂質土	3.4	16.4	1.0E-04	0.926
砂質土	1.6	18.0	1.0E-04	0.932
粘性土	2.0	20.0	1.0E-08	0.228
粘性土	2.0	22.0	1.0E-08	0.069
粘性土	3.0	25.0	1.0E-08	0.069
粘性土	3.0	28.0	1.0E-08	0.066
粘性土	2.0	30.0	1.0E-08	0.058
粘性土	2.4	32.4	1.0E-08	0.054

図-2 解析対象地盤モデルおよび土質条件

キーワード：液状化、応力浸透連成解析、過剰間隙水圧 連絡先：〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2
 (株)奥村組 本社情報システム室、TEL 06-6625-3796、FAX 06-6623-7699

3.2 解析結果

手法 1、2 による過剰間隙水圧比（要素 4）と鉛直方向変位（沈下量）の時刻歴比較を図-4、5 に示す。なお、手法 2 の 0～30(s)までの結果は地震応答解析結果による。

図-4 より、 $t=5\sim 10(s)$ 付近では手法 1 の方が手法 2 よりも大きい過剰間隙水圧比を示しているが、これは間隙水圧の migration の影響によるものと考えられる。また、手法 2 の $t=30(s)$ 直後（解析開始直後）でも過剰間隙水圧比の上昇が見られるが、これも同様な理由による。

地盤の沈下に着目すると、 $t=180(s)$ までは図-5 のような経過を辿るが、それ以降の沈下過程、最終沈下量（約 25mm）はほぼ同じであった。

参考として、手法 1、2 それぞれの過剰間隙水圧比の時系列変化を図-6 に示す。

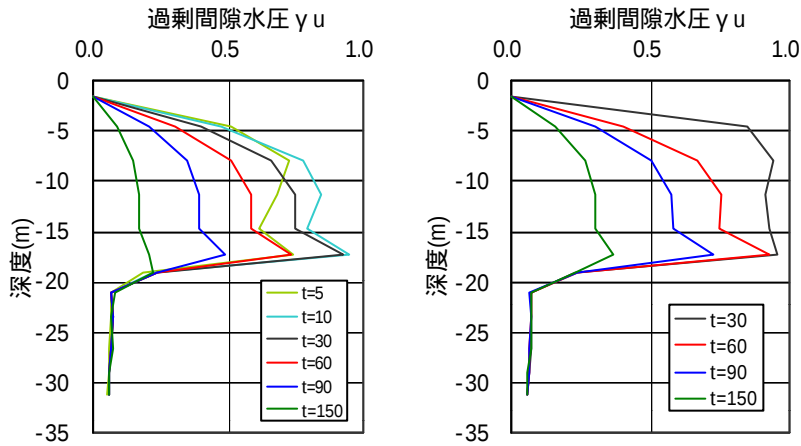


図-6 過剰間隙水圧比時系列変化（左：手法 1、右：手法 2）

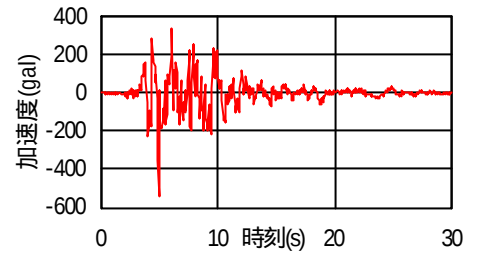


図-3 入力地震波

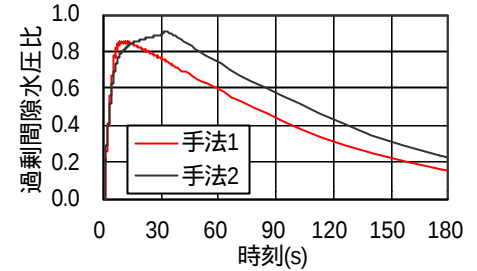


図-4 過剰間隙水圧比比較(要素 4)

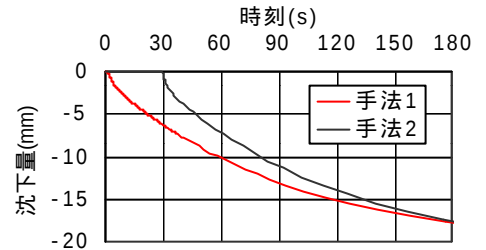


図-5 鉛直方向変位比較

4. 結論、今後の課題

本論で示した 2 つの手法により、非排水条件での地震応答解析結果を用いて、地震動継続中、ならびに地震動終了後の過剰間隙水圧の消散過程を近似的に評価することができた。ただ、今回の事例では対象地盤が砂質土と粘性土のみで構成されているため、結果に大きな違いは見られなかった。今後は本研究の成果を基に、グラベルドレーン工法のような排水による液状化対策工法の効果を評価したいと考えている。

地盤変形という点では、実際の PI での推定沈下量（20～40cm 程度）と比べ、かなり小さい結果となった。これは地震応答解析により得られた液状化時の地盤剛性が実際のそれよりもかなり大きく、応力浸透解析でこの地盤剛性をそのまま使用したためと思われる。実際、PI で予想される地震動終了時の埋立土層の地盤剛性は、地震応答解析により得られた地盤剛性の 1/6 程度であった。今後は地盤剛性や非線型特性の取扱いに着目する必要があると考えられ、その一案として、図-7 に示すような体積圧縮係数-過剰間隙水圧比関係モデル（ $m_v-\gamma_u$ モデル）を考慮した解析²⁾を検討している。

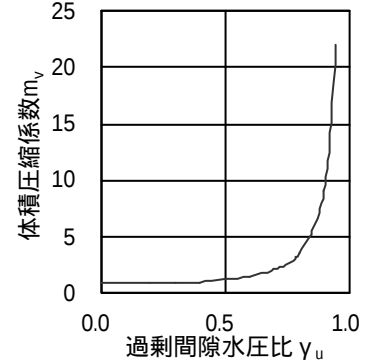


図-7 $m_v-\gamma_u$ 関係

【参考文献】

- 1) Iai, S. , Matsunaga, Y. and Kameoka, T. : Strain space plasticity model for cyclic mobility , Soils and Foundations , Vol.32 , No.2 , pp.1-15 , 1992
- 2) 高橋直樹他：排水条件を考慮した液状化時の砂の体積圧縮係数について（その 2） 第 33 回地盤工学研究発表会、pp.723～724、1998.7