

清水建設(株)研究所 正会員 清川哲志
清水建設(株)研究所 正会員 小林 浩
清水建設(株)研究所 霜田英磨

1. はじめに

地震による砂質地盤の液状化現象の研究は、1964年の新潟地震のさい、地盤の液状化が広範囲にわたって大規模な災害を引き起した事から、これを契機に数多くの研究者によって精力的に進められて来た。しかし、これらの研究を概観してみると基礎的な研究と応用研究の間に必ずしも一貫した流れがあるとは言えず、基礎研究の成果を応用面で生かしきれていないというのが実情であろう。著者等は前報において、振動¹⁾3軸試験の結果を用い、さらに発生した間隙水圧のアンバランスによって生じる浸透流による圧力の伝播を拡散理論によって考慮した液状化解析法を提案した。その後前報で用いた2次元プログラムを3次元に拡張し種々の液状化解析を試みて来たが、本報告は特に液状化防止対策としての排水管の設置の効果について検討した結果について述べたものである。

2. 解析方法

地盤の液状化は繰返し剪断によって発生する過剰間隙水圧が有効応力を減少させその結果地盤が支持力を失うために生じる。したがって、液状化現象を定量的に予測するためには地震時の間隙水圧の挙動を把握すれば良い。このために間隙水圧に注目し地震による繰返し剪断によって発生した過剰間隙水圧が拡散理論にしたがって伝播すると仮定して次の基礎方程式を得た。

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u_g}{\partial t} = \frac{1}{m_v} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_x}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k_y}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k_z}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\}$$
 (1)

ここに、u：過剰間隙水圧、ug：繰返し剪断により発生する間隙水圧、mv：体積圧縮係数、γw：間隙水の単位体積重量、kx、ky、kz：透水係数である。

次に境界条件について簡単に触れておく。境界は(i)不透水境界、(ii)自由表面境界、(iii)排水境界に大別でき、構造物底面、砂層底面などは不透水境界として鏡像法によって処理した。また、自由表面境界、排水境界では過剰間隙水圧を0とおいた。

解析は(1)式を差分化し数値解法によった。また、このとき体積圧縮係数のように拘束圧に関して非線型性を有するものは、これを考慮し逐時計算を進めた。

3. 解析結果および検討

解析方法の妥当性はすでに前報において実験値と比較する事によって確めてあるが、今回はプログラムを拡張した事と排水管の効果を検討する目的もあり、再度実験値と比較して解析法の妥当性を検討した。実験および解析の条件を表1に示す。図1にJ301の実験値と解析値の1例を示す。図中で○印および△印は実験値を表わし実線、一点鎖線は解析値を示している。A01、J801の比較結果は省略したが、いずれも良く一致している。なお、A01は排水管が無い場合、J301は構造物下に4本の排水管を設けた場合、J801は地盤中に排水管を多数埋め込んだ場合である。次に排水管の効果を示すためにJ301の場合を例にとりて、排水管の有無以外の条件をすべて同一にしてシミュレーションを行ない横軸

表1 実験およびシミュレーションの条件

条 件	ケース	A01	J301	J801	(単位)
土 層 厚		3.00	3.00	3.00	(cm)
土 層 幅		16.00	16.00	15.00	(cm)
液体の単位重量		1.0	1.0	1.0	(g/cm ³)
土の水中単位重量		0.88	0.88	0.88	(g/cm ³)
振 動 数		1.00	1.00	1.00	(Hz)
加 速 変		9.60	9.00	8.80	(gal)
X方向の節点数		33	33	31	
Y方向の節点数		7	7	7	
Z方向の節点数		—	11	10	
X、Y、Z方向の刻み幅		5.0	5.0	5.0	(cm)
時間の刻み		0.05	0.05	0.02	(sec)
追跡時間		6.00	6.00	3.00	(sec)
加震時間		5.0	3.00	3.10	(sec)
構造物の埋地圧		2.00	2.00	2.00	(g/cm ²)
透 水 係 数		0.0023	0.00228	0.00224	(cm/sec)

に時間、縦軸に水圧上昇度をとって比較をした。この結果の1例を図2に示す。実線は排水管を設置した場合の解析値を示し、1点鎖線は排水管の無い場合の解析値を示している。これらの結果から、本解析法によれば実用上十分な精度で排水管の効果も考慮した液状化予測が可能であると考えられる。

次に、実物大の場合の排水管の効果をも底面100m×100m、高さ50mのタンクに排水管を1本、4本、9本設置した場合について検討したのでこれについて述べる。地震の規模は関東大地震程度とし地表面で約280galの加速度が得られるように入力加速度を設定した。ただし入力波は正弦波である。また、地盤は大井川河口砂で構成され、相対密度は70%であるとした。この結果を図3に示す。図中で1点鎖線は排水管の無い場合、実線、破線、2点鎖線はそれぞれ排水管1本、4本、9本の場合の水圧上昇度を表わしている。図からわかるように排水管9本の場合を除いて、タンク下の水圧上昇度はほぼ1となり完全液状化に到る事が予測される。9本の場合は水圧上昇度は0.6であり効果が表われている。液状化防止に有効な排水管の本数を決めるときの目安を得るために排水管までの距離と最大水圧上昇度の関係をプロットしたのが図4である。図中で○印は深さ10m●印はそれぞれ20m、30mの位置における値を示している。深さ10mの位置における値が距離40mで急激に落ちているが、これはタンク周辺の地盤表面への排水効果の影響である。図中のグラフから排水管までの距離を約5mとする事によって水圧上昇度を0.5以下におさえられると考えられる。このためには排水管の設置間隔を10mにすれば良く、想定タンクの場合排水管の必要本数は81本である。

4. 結 論

拡散理論による基礎方程式(1)により、排水管設置による排水効果も含めて液状化現象を解析できる。そして、本解析法を適用した例では、相対密度70%のかなり締まった地盤でも関東大地震程度の地震によってタンクの支持地盤はほぼ全域にわたって液状化し、排水管を30m間隔で設置した場合に防止効果が表われた。支持地盤全体の水圧上昇度を0.5以下におさえるためには排水管を10m間隔で設置すれば良く、排水管の設置は液状化防止対策として有効な工法となり得る事が期待できる。

5. おわりに

本解析は、通産省より(社)日本海洋開発産業協会が委託を受けた模型実験における理論解析の1部である。2年間にわたりこの機会を与えていただいた関係者各位に感謝致します。

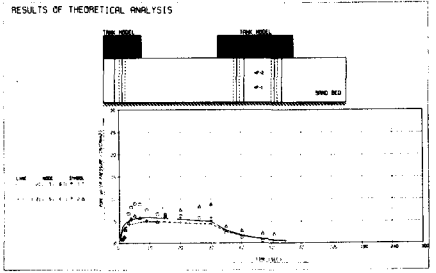


図1 解析値と実験値の比較 J301

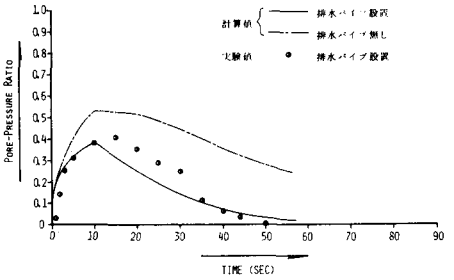


図2 排水パイプの有無による比較
(中心タンク下右20cm、深さ20cm)

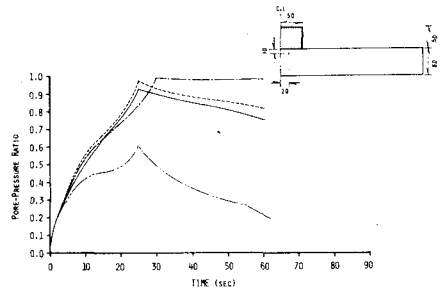


図3 原型水圧上昇度比較

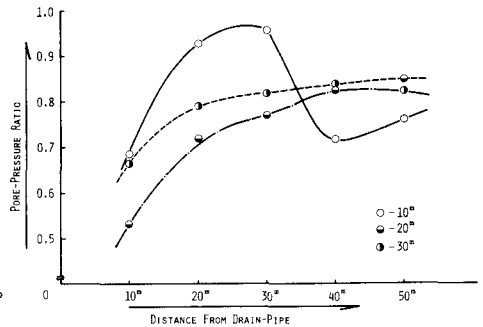


図4 排水パイプまでの距離と水圧上昇度の関係

1) 清川哲志・小林浩 「浸透流を考慮した液状化解析」, 第33回土木学会年次講演会講演集Ⅲ-108(1978)。