

液状化時の地中埋設管の動特性に関する解析

金沢大学大学院 学生員 ○鈴木 広士

金沢大学工学部 正 員 北浦 勝

金沢大学工学部 正 員 宮島 昌克

1. はじめに

地震時における地盤の液状化現象を把握することは、地中埋設管の液状化対策を考える上で重要である。従来から、地盤の液状化による間隙水圧の発生・消散の過程に関するさまざまな研究がなされており、これを用いた地中埋設管の液状化地盤中での動的応答も研究されている。これらの地中埋設管の液状化対策に関する研究においては、地中埋設管は地下水位下の飽和領域に位置するとの前提条件でなされている。しかし液状化した地盤でしばしば見られる噴砂噴水現象から明らかなように、地盤の液状化によって飽和層の間隙水が不飽和層へ浸透し、液状化する区域が上層へ拡大する可能性が十分考えられる。そこで、本研究では、不飽和領域への間隙水浸透を考慮して液状化時における地盤と地中埋設管の応答解析を行った。なお、本文では紙面の関係上、地盤の応答を中心に解析結果を述べる。

2. 解析方法

液状化時の間隙水浸透による過剰間隙水圧の消散を考慮するために、従来からの研究では、Terzaghiの圧密方程式を用いるものと、Biotの多孔質物体変形理論を用いるものがある。しかし、これらは共に地下水位下の飽和領域のみを議論する場合には有効であるが、液状化時での不飽和領域への間隙水の浸透を議論するにはこれらは適切でなく、別の取り扱い方法が必要になってくる。このため、本研究では、不飽和領域への間隙水の浸透を考慮するために、飽和-不飽和領域の透水方程式³⁾を用いた。

飽和領域の透水場では

$$\frac{\partial h_p}{\partial t} = \frac{1}{\alpha \gamma_w} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right\} \quad (1)$$

不飽和領域の透水場では

$$\frac{\partial h_p}{\partial t} = \frac{1}{c} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x^* \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y^* \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z^* \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right\} \quad (2)$$

ここで、 h ；全水頭、 h_p ；圧力水頭、 $k_{x,y,z}$ ；飽和領域での透水係数、 $k_{x,y,z}^*$ ；不飽和領域での透水係数、 α ；土の圧縮率、 c ；比水分容量、 γ_w ；水の単位重量である。ところで、式(1)において、鉛直方向のみを考え、透水係数を定数とし、 $\alpha = m_v$ とすると、Terzaghiの圧密方程式となる。比水分容量 c および不飽和領域の透水係数 k^* は、Brooks・Corey⁴⁾の式を用いると、

$$\frac{k^*}{k} = \left(\frac{P_b}{S} \right)^{\frac{3\lambda+2}{\lambda+1}} \quad (3)$$

$$c = \frac{\partial \theta}{\partial h_p} = \lambda(n - \theta_r) \frac{P_b^\lambda}{S^{(\lambda+1)}} \quad (4)$$

となる。ここで、 θ ；土の体積含水率、 n ；間隙率、 θ_r ；浸透、排水によって移動しない含水状態での体積含水率、 P_b ；Bubbling Pressure、 S ；サクション、 λ ；間隙径分布指数である。式(3)、(4)では、間隙水の浸透による地下水位の上昇でサクション S が低下することに伴い、 c 、 k^* が時々刻々と変化することを意味している。

解析の手順としては、式(1)、(2)の差分式を用いて、地震動により発生する過剰間隙水圧の浸透による消散量を求め、これにより、各地点での間隙水圧を求める。そして、間隙水圧がゼロになる地下水位面を求め、この地下水位面をもとに、ある時刻での過剰間隙水圧を決定する。また、解析には、有効応力法による地盤応答解析を有限要素法を用いて行った。

3. 解析例

解析には、新潟地震（1964年）で液状化の発生が顕著であった新潟市川岸町の地盤を用い、Fig.1のようにモデル化し、土質定数は各層一定と仮定した。地下水位は深さ2mとした。また、入力地震動には、Taft記録波を用い、解析ピッチ0.02秒、ステップ数1250で解析した。

<解析Ⅰ> 不飽和領域への間隙水の浸透を考慮した本解析と他の解析とを比較するために、Table 1に示すような3ケースについて解析を行った。Case-1では、間隙水の浸透による消散を考慮していないため消散せず完全液状化に至っているが、間隙水の浸透による消散を考慮したCase-2,3では、完全液状化にまでは至っていない。

また、Case-3の方が、Case-2より消散していないのは、不飽和領域へ間隙水が浸透し、地下水位面が上昇していることが反映されているためによるものと思われる。

<解析Ⅱ> 次に、Case-3の場合について、入力最大加速度を30, 35, 40, 45, 50galと変化させて解析を行った。Fig.

3は第4層での過剰間隙水圧比、Fig.4は地下水位面上昇を示している。Fig.4において、入力最大加速度が増大するにつれて地下水位面上昇が大きくなっており、最大約0.32m上昇している。

3. 結論

本研究では、不飽和領域への間隙水の浸透を考慮することにより、液状化時における地下水位面上昇を明らかにした。したがって、地中埋設管が地下水位面より上に埋設されていたとしても、液状化による被害を受ける可能性が十分に考えられる。この点についての詳細な検討は、講演時に議ることとする。

参考文献 1) たとえば、Finn,W.D.L. Lee,K. W. and Martin,G.R.: An Effective Stress Model for Liquefaction, Proc. ASCE, GT6, pp.517 ~ 533, 1977. 2) 柿谷敏久, 北浦勝, 宮島昌克: 地盤の液状化を考慮した地中埋設管の地震応答特性, 第39回年次学術講演会講演概要集, pp.655~656, 1984. 3) 吉国洋, 宇野尚雄, 柳澤栄司: 新体系土工学 17 土の力学 (Ⅱ), 技報堂出版, pp.215~224, 1984. 4) Brooks,R.H. and A.T. Corey: Properties of Porous Media Affecting Fluid Flow, Proc. ASCE., Vol.92, No.1R2, pp.61~88, 1966. 5) Martin,G.R. Finn,W.D.L. and Seed,H.B.: Fundamentals of Liquefaction Under Cyclic Loading, Proc. ASCE, Vol.101, GT5, pp.423~438, 1975.

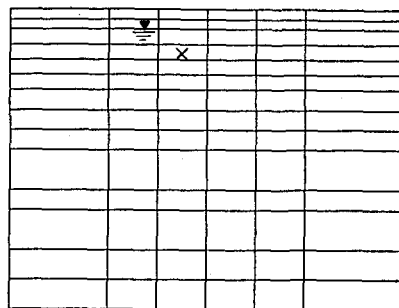


Fig.1 Finite Element Network

Table 1 Analytical Conditions

	Input Maximum Acceleration	Stress-Strain Model	Generation of Excess Pore Water Pressure	Infiltration of Pore Water
Case-1	40 gal	Hardin-Drnevich	Martin,Finn,Seed ⁵⁾	—
Case-2	40 gal	Hardin-Drnevich	Martin,Finn,Seed ⁵⁾	Terzaghi's Eq.
Case-3	40 gal	Hardin-Drnevich	Martin,Finn,Seed ⁵⁾	Eq. (1), (2)

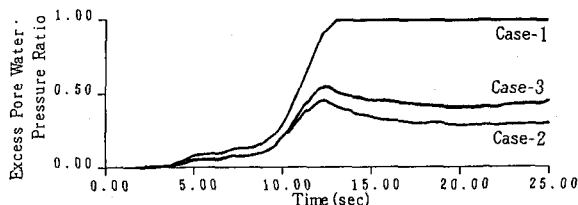


Fig.2 Excess Pore Water Pressure Ratio (Layer4, Element21)

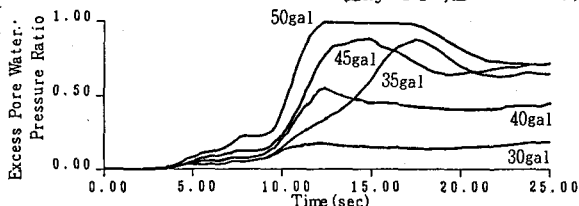


Fig.3 Excess Pore Water Pressure Ratio (Layer4, Element21)

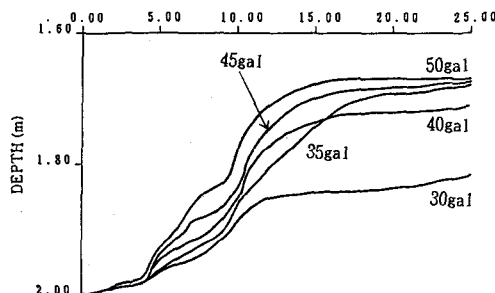


Fig.4 Advance of Zero Pressure Surface