

LIQCA の概要

計算プログラム LIQCA (Computer Program for Liquefaction Analysis) は、Biot の 2 相混合体理論(Biot, 1941; Biot,1955;Biot, 1956; Biot,1962)と砂の構成式を用いた有効応力解析法に基づく有限要素解析プログラムであり、京都大学、岐阜大学、徳島大学を中心として産官学のサポートのもとで開発されている。定式化には以下のことが仮定されている。なお、LIQCA では動的解析後の排水解析が可能であり、過剰間隙水圧の消散に伴う圧密解析を行うことができる。

- 1) ひずみは微小ひずみ
- 2) 間隙率，液相（間隙水）の密度、透水係数の空間に対する勾配は十分小さい
- 3) 液相の固相に対する相対加速度は、固相の加速度に比べて十分に小さい
- 4) 土粒子は非圧縮性である
- 5) 温度変化は無視する

支配方程式は、Oka ら(1994)により誘導された固相の変位 u と間隙水圧 p を未知数とした u - p 定式化 (u - p formulation) を用いている。空間の離散化には、有限要素法 (FEM) と有限差分法 (FDM) を用いている。つりあい式の空間的な離散化には有限要素法、連続式の間隙水圧の項の空間的な離散化には直交格子に対する有限差分法 (赤井・田村, 1978) を拡張した有限体積法 (例えば, 河村, 1995) を用いている。時間離散化には陰解法である Newmark の β 法を用いている。

式 1 に混合体に対するつり合い式を、式 2 に連続式を示す。

$$r \ddot{u}_i = \frac{\partial s_{ij}}{\partial x_j} + r b_i \quad (1)$$

$$\frac{k}{g_w} \frac{\partial}{\partial t} r^f \dot{u}_i - \frac{\partial^2 p}{\partial x_i^2} + \dot{u}_i + \frac{n}{K^f} \dot{p} = 0 \quad (2)$$

ここで、 r は土の密度、 u^s_{ii} は固相の変位ベクトル、 s_{ij} は全応力テンソル、 b_i は物体力、 r^f は液相の密度、 k は透水係数、 K^f は液相の体積弾性係数、 e^s_{ii} は固相の体積ひずみである。

式(1)および式(2)中のドット (\cdot) は物質時間微分を示す。

構成式として 弾性モデル、砂の繰返し弾塑性モデル(例えば、渦岡, 2000)、修正 R-O モデル、粘土の繰返し弾粘塑性モデル(Oka and Kimoto, 2012)の 4 つの構成式が準備されている。構成式の詳細については、各種論文を参照されたい。

【参考文献】

- [1]Biot, M.A.(1941): General theory of three-dimensional consolidation, Journal of Applied Physics, Vol.12,No.4, pp.155-164, 1941.
- [2]Biot, M.A.(1955): Theory of elasticity and consolidation for a porous anisotropic solid, Journal of Applied Physics, Vol.26, No.2, pp.182-185.
- [3]Biot, M.A.(1956): Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid, Journal of the Acoustical Society of America, Vol.28, No.2, pp.168-191.
- [4]Biot, M.A. (1962): Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media, Journal of Applied Physics, Vol.33, No.4, pp.1482-1498.
- [5]Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M., and Uzuoka, R.(1994): FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, Applied Scientific Research, Vol.52, pp.209-245.
- [6]赤井浩一, 田村武(1978): 弾塑性構成式による多次元圧密の数値解析, 土木学会論文報告集, 第 269 号, pp.98-104.
- [7]河村哲也(1995): 非圧縮流体解析, 第 2 章, 数値流体力学編集委員会編, 東京大学出版会.
- [8]渦岡良介(2000): 地盤の液状化発生から流動までを予測対象とする解析手法に関する研究, 岐阜大学学位論文.
- [9]Oka, F. and Kimoto, S.(2012): Computational Modeling of Multi-phase Geomaterials, Taylor & Francis.