

III-64 応力・浸透連成解析による立坑掘削解析

西松建設 正会員 ○荒井紀之、西田孝吉、平田篤夫

1. はじめに

従来、立坑の掘削解析は、応力解析のみが行われ浸透流の影響を考慮したものは少ない。本研究は、応力・浸透流の連成解析を行い、立坑の掘削安定性について検討するとともに、弾性解析と連成解析の比較を行った。今回、解析の対象とした地盤は、第3紀層の砂岩や泥岩、大谷石等の堆積軟岩である。

2. 基礎式および数値解析手法

解析に使用した基礎式は、Biotの3次元圧密方程式¹⁾であり、有効応力の応力ひずみ関係と不飽和領域に拡張したダルシー則を代入することにより以下の式が得られる。²⁾

$$\{1/2D_{ijkl}(u_{k,i}+u_{l,j})+\delta_{ij}\gamma_w h\}_{,j}+(\rho_s-\delta_{ij}\gamma_w\delta_{is})b_i=0$$

$$\{K(\theta)h_{,i}\}_{,i}=S_r\gamma_w u_{i,i}+c(\phi)\gamma_w h$$

ここで、 D_{ijkl} は弾性係数テンソル、 u は変位、 h は水頭、 b_i は物体力、 ρ_s は地盤の密度、 $K(\theta)$ は透水係数、 θ は体積含水率($=nS_r$)、 n は間隙率、 S_r は飽和度、 ϕ は圧力水頭、 $c(\phi)$ は比水分容量($=\gamma_w(\theta)$)、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタである。数値解析手法としては、これらを有限要素法的一种であるガラーキン法により離散化して解いた。軟質岩盤に対してBiotの式が適用できるか、あるいは有効応力パラメータの値については議論のあるところではあるが、地盤の透水係数や有効間隙率が比較的大きい場合には、近似的に成り立つと考えられる。

3. 解析モデル

立坑掘削に対する浸透流の影響を検討するために、以下の解析を行った。まず、一般的な立坑掘削工程に従って図-4中に示すように12段の掘削ステップを設定した。掘削期間は約183日である。この掘削ステップに従い、弾性解析と応力・浸透連成解析を行った。なお、支保工は無視している。

立坑は、直径約16m、深さ約27mの円筒形状とした。解析領域は、立坑の中心から水平方向に72m、地表から鉛直方向に75mである。解析に使用する地盤の物性値は、堆積軟岩相当の地山を想定し表-1のように設定した。応力ひずみ関係としては、第一次近似として均質等方性の線形弾性体を仮定した。解析メッシュおよび境界条件は図-1のように設定し、立坑の中心を軸とする軸対象3次元解析を行った。なお、掘削面については、浸出点の条件を与え、地表面からの降雨浸透量は、ゼロとした。初期応力は、自重計算により求め、初期水位はGL-2.0mとした。また、地盤の飽和・不飽和特性は図-2のように仮定した。

4. 解析結果

図-3は、応力・浸透連成解析による掘削後183日時点のポテンシャル分布および地下水面の位置である。立坑側壁の浸出点の位置は、GL-2.0m からGL-15.2mに低下していることがわかる。

図-4は、地表面の定点における鉛直方向の変位量を掘削経過時間に対してプロットしたものである。定点としては、それぞれの解析の最終掘削ステップにおいて最大の鉛直変位を示したもの

表-1 入力パラメータ

弾性係数	tf/m ²	26000
ポアソン比		0.33
静止土圧係数		0.5
単位体積重量	tf/m ³	2.23
内部摩擦角	度	31.1
粘着力	tf/m ²	42.3
初期間隙比 (間隙率)		0.25 (0.20)
透水係数	cm ² /s	4.47×10 ⁻⁴

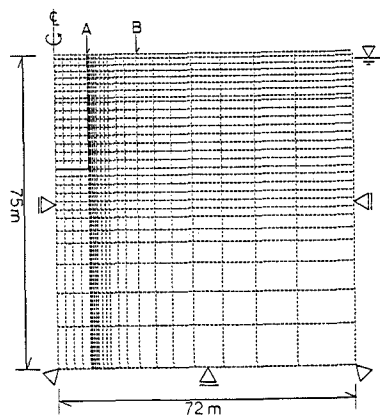


図-1 解析メッシュ、境界条件

を選んだ。弾性解析については図-1中のA点、連性解析についてはB点である。弾性解析結果については、掘削がすすむにつれて地盤が上向きに変位し、最終変位量は4.46mmである。一方、連性解析では掘削ステップ初期においては、変位量は正の値を示し、その後は下向きに変位し最終変位量は-5.09mmとなった。これは立坑の掘削に伴い立坑周辺の地下水位が低下することにより、有効応力が増加し圧縮変形が進行したものと考えられる。

図-5は、掘削終了後の立坑側壁の水平変位量を、弾性解析と連性解析結果についてプロットしたものである。側壁の水平変位量は、両者の解析において大きな違いは認められず、その最大変位量はそれぞれ6.65mm、6.97mmである。

モール・クーロンの破壊強度式に基づく要素安全率の最小値は、両解析とも底盤と接している側壁要素において認められ、それぞれ1.95、2.54の値をとる。

おわりに、今回の解析の問題点として、堆積軟岩に対するBiotの式の適用性、有効応力の定義、岩盤の不飽和特性の設定等があげられる。今後は、具体的な施工事例に対して解析を行い、以上の問題点について検討していきたい。

参考文献

- 1) Biot, M. A.: General Theory of Three-dimensional Consolidation, Jour. Appl. Phys., Vol.12, pp.155-164, 1941.
- 2) 大西有三、柴田裕章、小林晃：有限要素法による応力-浸透-熱移動連成問題解析手法，土木学会論文集第370号／Ⅲ-5，pp.151-158, 1986.

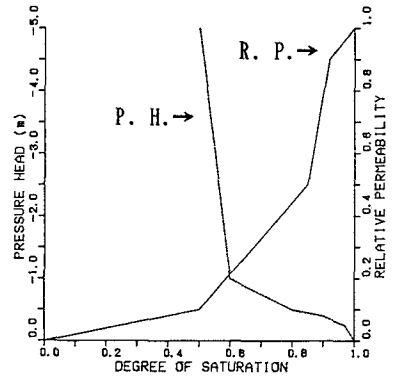


図-2 飽和不飽和特性

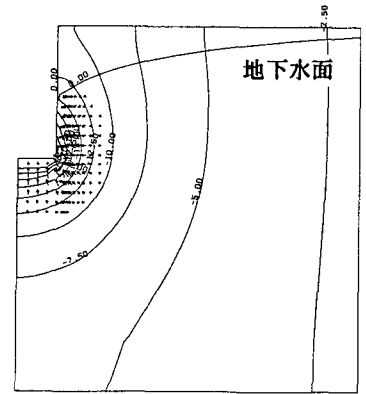


図-3 掘削後183日後の水頭分布

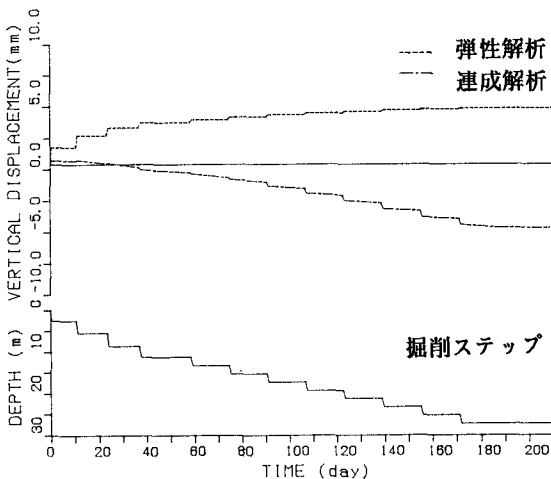


図-4 地表面の鉛直方向変位の経時変化および掘削ステップ

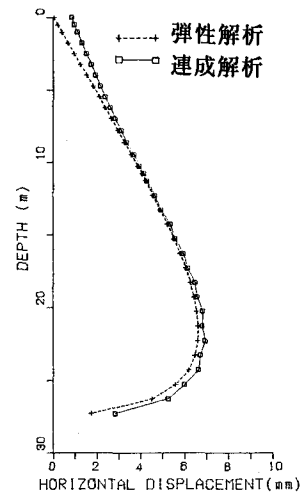


図-5 側壁の水平変位（掘削後183日後）