

III-592 一般化平面ひずみ解析による節理性岩盤内空洞の最適な方位の検討

東電設計(株)

正会員

宇野 晴彦

//

//

蔡 明

//

//

田坂 嘉章

1. はじめに

トンネルや地下空洞などの地下構造物の設計に当たっては、FEMを主体とする解析手法が、空洞形状、岩盤の不連続性、空洞に作用する地圧および掘削過程での変化などの諸条件を解析に反映しやすいことから、地下構造物の設計には欠かせない手段となった。節理性岩盤において、図1に示すような初期主応力と空洞軸が異なる場合や卓越方向を持つ節理群が空洞軸に斜交する場合には、この地質的条件に起因する三次元的な挙動を考慮する必要があり、解析的な挙動予測手法としては、三次元解析が必要となる。しかし、一般的には、構造的に複雑な節理性岩盤に対して三次元解析を適用することは、効率性、経済性を考えてもかなり困難と考えられ、解析そのものをより現実的に簡便化する必要があると思われる。

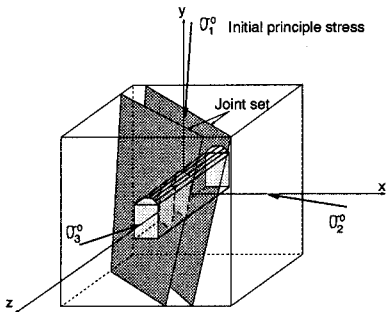


図1 地下空洞掘削における地質的3次元問題

文献[1]では、節理性岩盤におけるトンネルや地下空洞の掘削問題での初期応力の主応力方向と空洞軸方向の違いおよび節理群が空洞軸に斜交することにより生じる三次元効果を一般化平面ひずみ解析により評価でき、三次元解析に比べ経済性に優れていることを報告した。本報では、この解析手法を用いて工学的な応用性を目的として、任意の節理分布と初期応力条件下の節理性岩盤の掘削挙動における岩盤変形の最も少なくなる空洞軸方向の選定について検討を行い、その有効性を評価する。

2. 一般化平面ひずみFEM解析手法

節理の空間的分布と初期応力が空洞軸に沿ってほぼ一様であれば、これらの地質条件下における節理性岩

盤の三次元的な問題に対して、次の一般化平面ひずみ条件^[2]を適用できる。

$$\frac{\partial u_x}{\partial z} = \frac{\partial u_y}{\partial z} = \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

ここで、 u_i ($i=x, y, z$)は空間変位成分である。この条件を用いて有限要素法の定式化を行うことができる。詳細は文献[1]に述べているのでここでは省略する。

3. 節理性岩盤内空洞の最適な方位

地下空洞などの地下構造物の設計に当たっては、その軸方向の決定が重要となる。一般的には、平面上の第一主応力方向と空洞軸を一致させることが理想的な空洞配置であると考えられているが、複雑な地質条件の場合において、同様の考え方が適用できるかどうかは明らかでない。そこで、任意節理の方向、密度および力学特性や任意初期応力場の岩盤を対象として、掘削時の空洞周辺の変位が最も少ない空洞軸方向(最適な空洞軸方向)について、一般化平面ひずみ解析手法を用いて検討することとした。

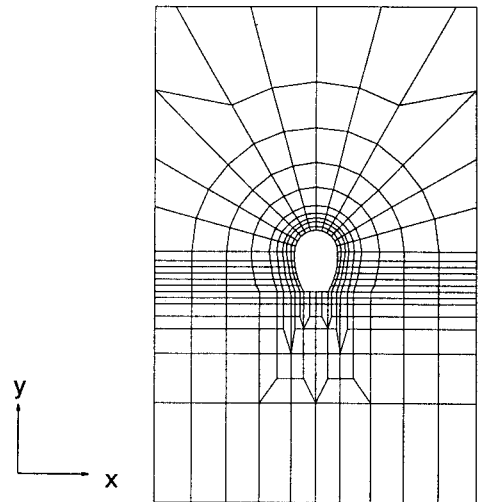


図2 地下空洞掘削解析FEMモデル

解析モデルを図2に示す。空洞の高さは10mとし、モデルの領域は、横52m、縦80mとした。解析入力物性値は、 $E=2,000,000 \text{ tf/m}^2$ 、 $\nu=0.2$ 、 $k_a=1.0$ 、 $k_s=0.1$ (crack tensor model) である。

図3に節理の分布を示す。節理群1(間隔 $d_1=0.2\text{m}$)がx-o-y面と平行、節理群2(間隔 $d_2=0.385\text{m}$)が節理群1と 30° で斜交、節理群3(間隔 $d_3=0.8\text{m}$)がx-o-z面と平行となっている。初期応力は $\sigma_{11}^0=-640\text{ tf/m}^2$, $\sigma_{22}^0=-540\text{ tf/m}^2$, $\sigma_{33}^0=-440\text{ tf/m}^2$, $\tau_{12}^0=\tau_{23}^0=\tau_{31}^0=0$ と仮定した。解析において、初期応力の主応力軸は、絶対座標X、Y、Zと一致するものとし、空洞軸zのX軸とのなす角度を ϕ とした。

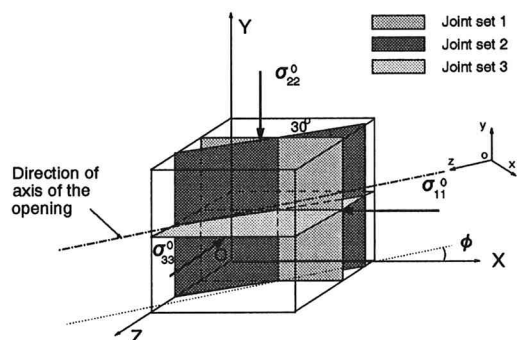


図3 三方向卓越節理群の空間的分布と地下空洞軸方向

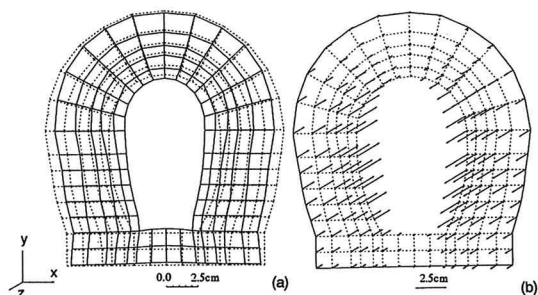


図4 (a)岩盤面内変位図、(b)岩盤面外変位図

$\phi=120^\circ$ の場合の空洞周辺の面内および面外変位図を図4に示す。空洞周辺の変位を全周において評価するために、空洞壁面すべての節点のx, y, z方向の変位、x-o-y面内変位および空間変位のそれぞれの絶対値の総和を S_x , S_y , S_z , S_{xy} , S_{yz} とし、空洞軸方向との関係として表したものを図5に示す。同図によれば、空洞軸の最適な方向は $\phi=100^\circ$ であり、面内変位 S_{xy} 、空間変位 S_{yz} ともに最小値となっている。

4. おわりに

岩盤の挙動は節理の挙動に大きく影響され、特に、節理の密度が高く、節理の剛性(力学特性)が小さい場合には、節理の方向が空洞軸選定時の重要な役割を果たしているものと考えられる。本検討の結果により、節

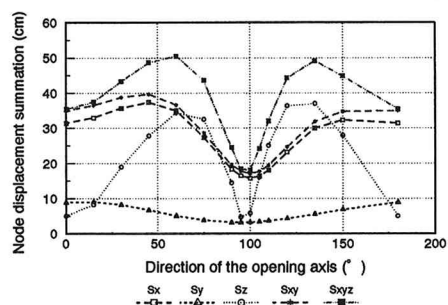


図5 空洞周辺節点変位成分の総和と軸方向の関係

理の影響は、密度と力学特性によって表していることから、次のような節理影響指数 JIF(Joint Influence Factor)の概念を考えることができる。

$$\text{節理影響指数 } JIF = \frac{\text{節理密度}}{\text{節理力学特性}} \quad (2)$$

例えば、別途行った検討結果によれば、一方向卓越節理群を有する岩盤については、JIFが高い場合には、空洞軸方向と節理面の法線方向との角度が最小の時に、JIFが低い場合には、空洞軸方向と最大主応力方向とが一致した時に空洞面内の変位が小さい値となった。

岩盤内に多数の節理群を有する場合の空洞掘削時の岩盤挙動は、きわめて複雑であるため、最適な空洞軸方向の決定は困難を要する。この場合、節理の空間分布や初期応力の異方性などによって最適な空洞軸方向を決める必要がある。一般化平面ひずみFEM解析では、地質状況が空間的に連続している場合に、対象地点の概略的な初期応力と節理の調査結果が得られれば、3次元相当の検討を2次元メッシュにより実施することができる。また、主応力方向と節理方向が複雑な地盤においても、図5のような空洞周辺変位の総和と空洞軸方向の関係図を得た上で、空洞変形が最も小さくなる軸方向が決定でき、トンネルや地下空洞等の軸方向選定の有効手段と考えられる。

5. 参考文献

- [1] 蔡、田坂、宇野、南部、(1993)、平面解析による節理性岩盤の三次元効果の評価手法について、第28土質工学研究発表会論文集、pp.1443-1446。
- [2] Lekhnitskii, S.G. (1963), *Theory of elasticity of an anisotropic elastic body*, Holden Day, Inc.