

岩盤の異方性と空洞掘削後の力学的挙動

八戸工業大学 正会員 長谷川 明

1. はじめに

地下空洞の容積の拡大を断面積を広げることによって行うものとする、貯蔵を目的とした地下空洞では応力や変位などの力学的な変化が少ない条件のもとで、断面積を最大化したいという問題が発生する。この問題を検討するためには空洞を掘削した後の空洞周辺の変位や応力の状況が、岩盤の性質と空洞の形とどのような関係にあるのかを調べておく必要がある。この点について著者はこれまで空洞掘削後の空洞周囲の変位を制約条件とし、等方弾性岩盤内に建設される空洞断面積を最大化する空洞形状を求めることを試みている¹⁾。本文は、このような考察を異方弾性岩盤内に建設される貯蔵を目的とした地下空洞について検討することを目的とし、岩盤を直交異方性弾性岩盤と考え、直交する2方向の弾性係数比と岩盤の傾きを異方性を表現するパラメータが空洞掘削後の空洞周辺の力学的挙動にどのような影響を与えるのか検討したものである。

2. 解析手法

解析は有限要素法を用いて行った。初期地圧は解析領域の自重および土被り圧によって発生しているものとして取り扱うものとし、1) 掘削開始前の状態で、解析領域の自重と領域上部の土被り圧による初期応力解析、2) 得られた空洞周辺部分の応力を空洞周辺に逆方向に作用させ、周辺部応力を解放させる解析の2回の有限要素解析を行って掘削後の変位、応力を求めた。こうして求められた変位は、自重による初期変位を除いた空洞を掘削することによって発生する変位であり、応力は初期の応力と空洞掘削によって変化した応力の合成応力が計算される。

2. 1 異方性の取扱い

直交異方性弾性地盤の平面ひずみ状態における応力とひずみの関係は、1) 地盤を層状とし、その面内では等方性を有すると考え、2) せん断弾性係数は方向に無関係であると仮定すれば²⁾、岩盤の異方性は、岩盤の傾き β 、水平方向の弾性係数 E_H と鉛直方向の弾性係数 E_V の比 $n (= E_H/E_V)$ およびポアソン比によって表現されることとなる。

2. 2 計算モデル

図-1は使用した計算モデルで、空洞は地下150mを中心とする断面積 225m^2 の2つの異なる偏平率の半楕円とした。空洞面積は常に一定で2つの偏平率 $b_1/a, b_2/a$ を変えることによって様々な形状を発生できるものと考えた。岩盤は、単位体積重量 $\gamma = 2.6\text{tf/m}^2$ と考え、異方性解析に使われる弾性係数などは、水平方向の弾性係数 $E_H = 1 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 、水平ひずみに対する水平ひずみによるポアソン比 $\nu_{HH} = 0.3$ 、鉛直ひずみに対する水平ひずみによるポアソン比 $\nu_{HV} = 0$ とした³⁾。

なお、地下空洞の掘削に伴う力学的挙動の解析には、岩盤の節理、段階的な掘削等、多数の項目を考慮する必要があるが、本論では岩盤を単純化し弾性体であるものとして解析している。また、初期地圧は解析領域の自重および土被り圧によって発生しているものとして取り扱っている。

3. 計算結果と考察

空洞掘削後の変位について述べる。空洞が円断面の場合の空洞周辺部の変位が、弾性係数比 n によってどのように変化するかを図-2に示す。図は空洞周辺変位を拡大して描いているが、天端および底盤の鉛直変位が大きい値となることがわかる。これら2つの変位は n が大きい場合には小さな変位となっている。これに対し、側壁中央水平変位は逆に n が大きいと大きい値となっている。 n が大きいとは、鉛直方向の弾性係数より水平方向の弾性係数が大きいことを意味し、水平方向への応力分散が大きいことを意味する。このため、掘削による応力解放による影響が水平方向に大きく現れることになる。これが、空洞掘削後の水平変位が n の増大とともに大きい値を与え、逆に鉛直変位が小さい値となる大きな理由と考えられる。

岩盤の層の傾き β による影響の一例を図-3に示す。岩盤の層の傾きが掘削後の空洞周辺変位に影響を与えているのわかる。

天端鉛直変位、底盤鉛直変位および側壁水平変位の、空洞形状と n による変化を調べたのが図-4、5および6である。これらの計算は $\beta = 0$ で、空洞の主軸も傾いていないものとして行った。 n による変化は前述した通りで、いずれの場合も n が大きいときは鉛直変位は小さく水平変位は大きくなることが示されている。形の影響についてみると、図-4は等変位線が鉛直方向になっていることから、上半の楕円の偏平率の影響が大きく、楕円が鉛直方向に長いとき小さな変位となることがわかる。図-5では逆に等変位線が水平になっていることから下半分の楕円の偏平率の影響が大きく、楕円が縦長になっているほど変位は小さいことがわかる。さらに、図-6では2つの偏平率の影響を受け、水平方向に長い形の時変位は小さいことがわかる。したがって、偏平率を変化させることは、これら3つの変位に対し異なる影響を与えることがわかる。

4. おわりに

本文は、岩盤を直交異方性弾性体とみた時の、空洞形状と異方性パラメータが掘削後の力学的挙動に与える影響を調べたものである。扱った解析モデルが弾性体であること、岩盤内の節理等が考慮されていないこと、限られた範囲の形での検討であること、あるいは初期地圧の検討など多くの課題を残している。今後はこれらの検討事項をも含めた形状の最適化を考察したいと考えている。

参考文献

- 1) 長谷川明: 変位制約を受ける地下空洞の形状最適化について, 第2回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集, pp.257-262, 1991
- 2) 川本眺万, 藤田益夫: 自由斜面の変形と応力状態について (その1. 等方性および異方性線形弾性斜面), 土と基礎, 16-8, pp.37-46, 1968
- 3) 土木学会編: 土木技術者のための岩盤力学, pp.276-280, 土木学会, 1975

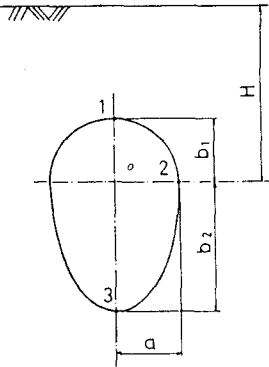


図-1 解析モデル

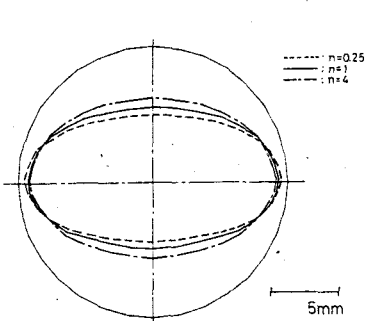


図-2 空洞周囲の変位 ($a:b = 1:1, \beta = 0$)

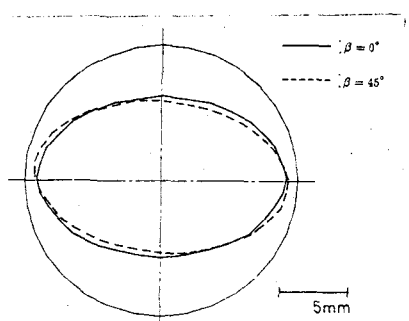


図-3 空洞周囲の変位
($a:b = 1:1, n = 2$)

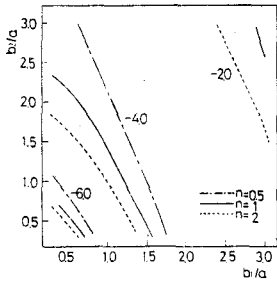


図-4 天端鉛直変位

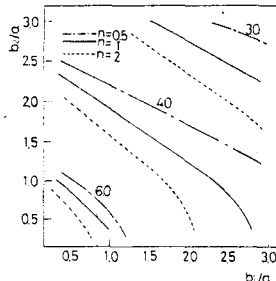


図-5 底盤鉛直変位

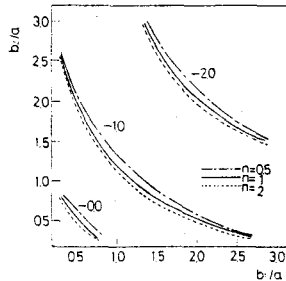


図-6 側壁水平変位