

I—26

変位制約を受ける地下空洞の形状最適化について

○ 八戸工業大学 正会員 長谷川 明
 学生員 有村 義広

1. はじめに

地下空間は、その建設に優れた掘削技術と多額の建設費を必要とするにも関わらず、地上空間に比べ安全性が高いこと、地上構造物と共存できること、周辺景観への影響が少ないことなどの理由により種々の目的に利用されている。ここでは、これらの空洞の中で、岩盤内に建設される石油備蓄タンクのように貯蔵を目的として建設される地下空洞の形状最適化を検討する。

この地下空洞は、空洞を掘削することにより、周辺地盤に対して応力や変位などの力学的変化を与えるが、その影響はできるだけ少ないように建設することが安全のために期待されると考えられる。一方、貯蔵の目的を満足させるためには、地下空洞の容積をできるだけ大きくしたい要求がある。地下空洞は通常かまぼこ形をしており、このため容積の拡大は断面積の拡大を意味する。したがって、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最適化問題が発生する。

そこで、空洞掘削による空洞周辺の変位に着目し、この変位と空洞形状の関連を調べ、変位拘束を受け空洞断面積を最大とする形状を検討したので報告する。

2. 計算モデル

解析モデルは、図-1に示すような地下空洞とし、岩盤内の地下150mの位置を中心に空洞が掘削されるものと考えた。岩盤は、異方性、節理、掘削による岩盤の緩みの発生また段階的な掘削等、多数の項目を考慮する必要があるが、ここでは簡単にヤング率 $E = 1.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、単位体積重量 $\gamma = 2.6 \text{ tf/m}^3$ の平面ひずみ状態の弾性体とした。

3. 計算結果

変位を拘束された最適空洞形状

初期形状として正方形断面 ($A = 225 \text{ m}^2$) を与え、天端中央の鉛直変位、側壁中央の水平変位および底盤部中央の鉛直変位の3変位が制約されたとき断面積が最大となる形状を求めた。その許容値は正方形断面の時の各変位とし、設計変数として天端周辺の鉛直座標を選んだ。

図-2に初期形状と最適形状の空洞周辺変位を示す。最適形状は天端を斜めにして空洞全体が長方形の上に三角形がある形をなす。このとき目的関数である空洞断面積を10%増大させることができる。最適化された形状の空洞掘削時の変位を調べると、側壁中央の水平変位が制約条件値と一致しアクティブな制約となっており、他の2条件に対しては余裕のある設計となっている。

掘削後の変位を最小化する楕円型最適空洞形状

次に、掘削後変位の中で大きい値を示す天端中央鉛直変位、側壁中央水平変位および底盤中央鉛直変位のいずれもが小さな変位となる形状を求める計算を行った。空洞断面は、上半分と下半分が異なる縦横比 b/a の半楕円をなす形で（上半と下半の縦横比をそれぞれ $b_1/a, b_2/a$ とする）、空洞の断面積は同一 ($A = 225 \text{ m}^2$) であり、縦横比 b/a は上半、下半も掘削を考慮して、 $1/3 < b/a < 3$ と上下限を設けている。

得られた最適形状を図-3に示す。空洞中心深度が地下150mの時は鉛直方向に長く、特に下半分が縦長な形が選ばれている。空洞が縦長となるのは、大きな変位を発生させている天端中央と底盤中央の鉛直変位を小さくするためであって、その縦長の限界は与えられた上限値である場合もあるが、縦に長くなるにつれて側壁中央水平変位が増大し、この変位が3変位の中で最大となるからである。

つぎに、初期地圧が深度に比例していることから、鉛直変位は上下対称な空洞断面では底盤側の方が大きい値となっており、下半分の楕円を上半分の楕円に比べ縦長となるように選択されている。

空洞の中心深度が50mの場合は、空洞形状は設計変数の上限値となっている。500mの場合にはこれに対し縦長の程度が小さい。これは、空洞中心深度が深くなると、空洞上部と下部の初期地圧の相対的な差が少なくなるため、これにともなって変位の天端部、底盤部の相対的な差は少ないものとなり、最適形状も上半分と下半分の楕円の b/a が近い値を選ぶものと考えられる。

4. おわりに

本文は連続構造の形状最適化の具体的な事例として、貯蔵のために利用される地下空洞の形状に注目し、その形状と力学的な変化ここでは変位との関係について考察したものである。扱った解析モデルが弾性体であること、限られた範囲の形での検討であること、あるいは最適化での制約が変位だけであることなど多くの課題を残している。今後の課題としたい。

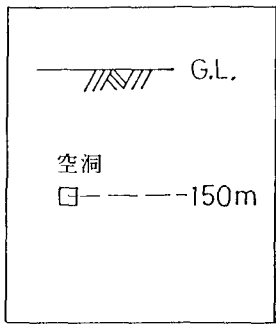
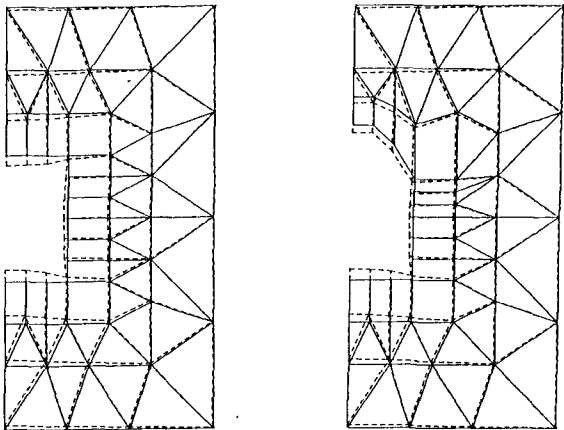


図-1 解析空洞

図-2

初期形状と最適形状の変位
左から、初期形状、最適形状



構造縮尺 → 10m
変位縮尺 → 10mm

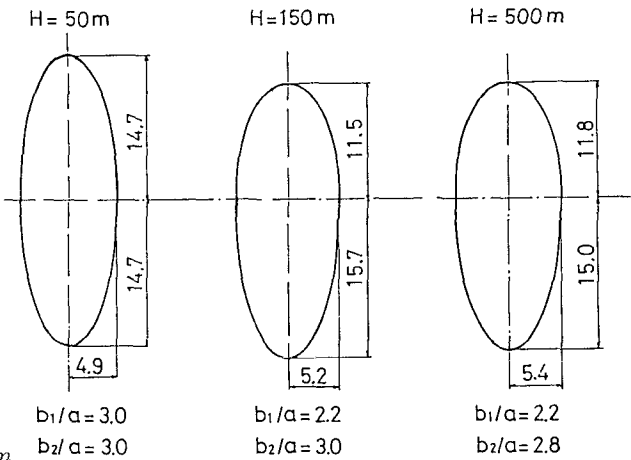


図-3

空洞中心深度による最適空洞形状
の変化（寸法の単位はm）
左から深度が50m、150m および 500m
空洞断面積はいずれも225m²