

○ 千葉工業大学 学生員 菅原 健太郎

東京大学 正 員 堀井 秀之, 吉田 秀典

1. はじめに

地下発電所に代表されるような大規模地下空洞を掘削する際には、本体空洞とは別に種々の空洞掘削が行われ、この点が普通の山岳トンネルの掘削と大きく異なる。例えば地下発電所空洞の場合、発電所(本体空洞)の他に水路系トンネル、搬入トンネル、ケーブルトンネルといった複数の周辺トンネルによって構成され、本体空洞掘削においてはこれら周辺トンネルの影響を無視することはできないであろう。そこで本研究では本体空洞のみの場合と、併設空洞がある場合の掘削解析を行い、両解析結果の比較を通して、併設空洞が本体空洞に及ぼす影響を明確にすることを目的とした。

2. 解析条件

大規模地下空洞の掘削例として地下発電所空洞掘削問題を取り上げ、空洞掘削解析を行った。解析コードとしてはMBC解析¹⁾を採用した。本解析ではきのこ型の断面形状を有する本体空洞を想定、しその規模を幅19.1m、高さ41.3m、長さ45m、とした。併設空洞は、幅5.5m、高さ5.5mの馬蹄形トンネルとし、本体空洞と併設空洞の離間距離を7.0mとした。(図1参照)。発電所断面内の地山の初期応力としては、本体空洞が土被り200m程度の地下深度にあるものと仮定し、最大主応力を 46.0kgf/m^2 、最小主応力を 42.9kgf/m^2 、最大主応力の方向を鉛直方向から反時計回りに14度と設定した。本体空洞のみの解析をCase1、併設空洞がある場合の解析をCase2とし、縦250m×横220mの矩形領域において2次元平面ひずみの条件下で解析を行った。

解析で考慮する卓越ジョイントセットは、その走行が発電所長軸とほぼ平行な2種類(右落ち80度、左落ち70度)と考え、その卓越ジョイントの有効寸法は、空洞掘削の規模に対して比例的にして増大させた。卓越ジョイントの物性パラメータを表1に示す。また、卓越ジョイントを除いた連続体として取り扱われる基質岩盤の弾性係数を $100,000\text{kgf/m}^2$ 、ポアソン比を0.25という値を用いた。

解析は、頂設導坑掘削、アーチ部切り上げ掘削を行い(アーチ部)、その後9ステップのベンチ掘削を設け、合計11ステップに分けて掘削解析を行った。ただし、Case2では併設トンネルの掘削をアーチ部掘削とベンチ掘削の間で行い、合計12ステップとした。

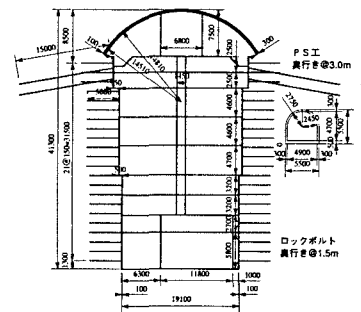


図1 地下発電所と併設空洞の規模

表1 ジョイントの物性パラメータ

傾斜	右落ち80度	左落ち70度
走行	空洞軸に平行	空洞軸に平行
平均間隔	1.0m	1.0m
有効寸法	1~5.0m	1~5.0m
摩擦角度	25度	25度
起伏角度	10度	10度

3. 解析結果

併設空洞の有無の影響を促える目的、で本稿では紙面の都合上空洞壁面変位の経時変化を比較項目として取り上げ、その解析結果を以下に示す。

本体空洞と併設空洞に挟まれる区間において(図1にて右側)、併設空洞の上部(top)、併設空洞の中腹部左横(middle)及び併設空洞の下部(bottom)にそれぞれ基準点(零クリアをする点)にとって本体空洞の壁面変位を求め、その経時変化をCase1については図2に、Case2については図3にプロットした。基準点と本体空洞の離間距離は、上部(top)で8.393m、中腹部(middle)で5.0m下部(bottom)で7.943mであり、それぞれの基準点の高さ方向の距離差を約6.0m

キーワード: MBC 解析, ジョイント, 併設空洞

〒113 東京都文京区本郷3-7-1 TEL:03-3812-2111 FAX:03-3812-4977

とした。また、併設空洞の無い側(図1にて左側)でも同様の箇所に基準点を取り、その壁面変位の経時変化を Case1 で図4に、Case2については図5にプロットした。

図2及び図3より、併設空洞の有無で壁面変位に差が生じるのは下部の点であり、しかもその点の真横のベンチが掘削された5ベンチ以降に差が生じていることがわかる。併設空洞が無い場合に比べ、併設空洞が有る場合の下部点の変位は最大で約5mm大きい。他の2点では両者の差がほとんど無く、しかも変位は収束に向かっており、下部の点の挙動と大きく異なる。特筆すべき点は、併設空洞(ケーブル坑)を掘削直後ではその影響が生じないが、空洞掘削が併設空洞よりも下へ進んだ掘削が進んだ時に、しかも併設空洞よりも下側に位置する箇所で差が生じていることである。この原因としては、不連続面(ジョイント)の変形などで相関があると思われる。図4及び図5(図1にて左側)に関しては併設空洞の影響が直接に影響しない為、両者の差は全ての点でほとんど無く、しかも変位は全ての点で収束に向かっていている。

紙面の都合上、応力分布、変位分布、ひずみ分布、そしてジョイントの開口変位量分布は載せることが出来ないが、その概略としては、それらの分布図にはそれほど大きな差はなく、併設空洞の影響でその周辺でやや分布が乱れるという傾向があるのみだった。しかしながら、わずかの差でも局所的には異なる現象が生じていることが本解析で判明した。

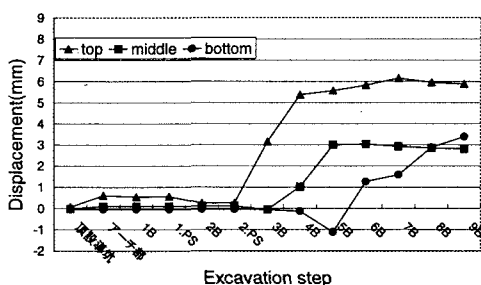


図2 Displacement of Case1

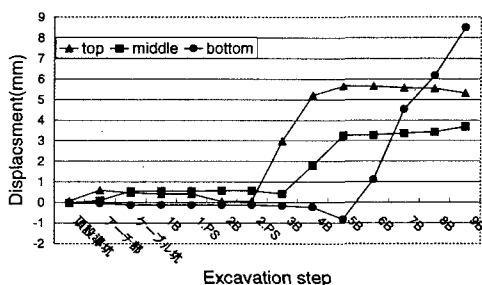


図3 Displacement of Case2

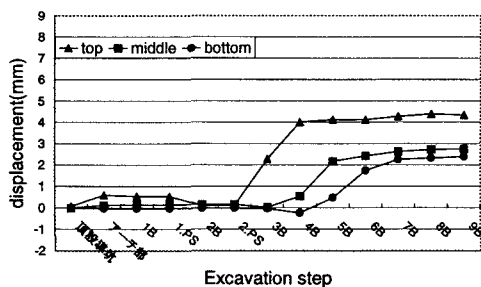


図4 Displacement of Case1

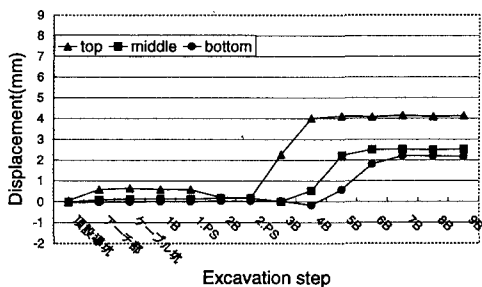


図5 Displacement of Case2

4. まとめ

本解析によって、併設空洞は本体空洞(地下発電所空洞)に影響を及ぼすことがわかった。一般的に地下発電所は、地質調査や岩盤試験等の結果をもとに空洞の位置、断面形状、規模や併設空洞の位置などが決定されるが、その決定法については、実績が重視されることが多い。本解析はこうした決定法に客観的根拠や指標を与えることができるものと考えられる。

参考文献

- 1) 吉田秀典、堀井秀之:マイクロメカニクスに基づく岩盤の連続体理論と大規模空洞掘削の解析、土木学会論文集、No535/III-34, pp.23-41, 1996.