

III-B 182

山腹に建設される地下空洞の地震時の安定性に関する一考察

飛島建設 技術研究所 正会員 小林 薫 正会員 近久 博志  
 同上 正会員 松元 和伸 正会員 中原 博隆  
 同上 正会員 筒井 雅行

1. はじめに

国内における大規模な地下空洞は、地下式揚水発電所をはじめ、地下石油備蓄タンクなど数多く建設されてきた。国土の狭いわが国において、地下空間を活用することは、国土の有効利用や環境保全などの観点から有効であると考えられる。しかし、エネルギー関連以外の文化・スポーツ施設などは、堅固緻密な岩盤が主体である北欧諸国を中心に建設されてきたが、不特定多数の利用者の利便性などの見地から、比較的浅いところに地下空洞を建設するため、地震国であるわが国での建設については課題が残されている<sup>1)</sup>。

そこで本稿は、土被りの浅い山腹に建設される地下空洞の地震時の安定性に与える斜面の影響について、動的応力変形解析を用いて検討を行い考察を加えた。

2. 解析条件

岩盤中に建設された半円形の地下空洞を例として地震時の安定性を検討する。岩盤はCグラスの一樣岩盤を想定する。図-1に示すような地表面水平モデルと地表面傾斜モデル(傾斜角=20°)を用いる。表-1に検討時に用いた岩盤の力学特性を示す。

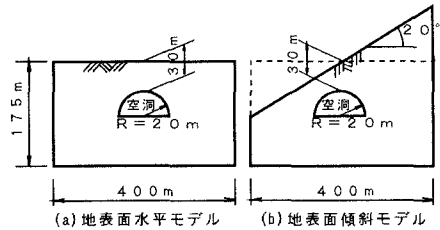


図-1 検討モデルの概略模式図

入力地震動は、レベル2地震動<sup>2)</sup>を想定して地表面での最大速度を50kineに基準化したEL CENTRO-NS波を解析モデルの底面境界に作用させる。

表-1 岩盤の力学特性

単位体積重量 $\gamma t$ ( $kN/m^3$ )	粘着力 $C$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )	引張強度 $\sigma t$ (MPa)	静的解析用		動的解析用		
				弾性係数 $E_s$ (MPa)	ポアソン比 $\nu_s$	せん断弾性係数 $G_0$ (MPa)	ポアソン比 $\nu_d$	減衰比 $h$ (%)
2.55	2.45	51	0.92	5,360	0.29	11,450	0.39	1.5

※せん断弾性係数(G)と減衰定数(h)は歪依存なし

3. 解析方法

解析は、複素応答解析法による動的解析プログラム(修正 FLUSH)を用いて実施する。境界条件は、解析モデルの側面をエネルギー伝達境界、底面を粘性境界とする。また、岩盤は線形弾性体を仮定する。解析手順は、表-2に示す通りである。

表-2 解析手順の概要

地下空洞の地震時の安定性は、ステージ3の動的応力変形解析による増加応力を常時応力に足し合わせた応力状態を用いて検討する。

解析ステージ	ステージ 1	ステージ 2	ステージ 3
解析ステージの模式図	地表面 水平固定 水平・鉛直固定	地表面 水平固定 水平・鉛直固定	地表面 水平固定 水平・鉛直固定
解析ステージの内容	初期応力場 ( $k_h=0.75$ ) 自重計算を実施する	空洞掘削時 掘削に伴う周辺地山の 応力状態を表す	地震時 動的による地震時の増加応力を 常時応力に足し合わせる

4. 検討結果

(1) 地下空洞周辺の水平加速度

図-2は、地表面水平モデルと地表面傾斜モデルの地下空洞中心断面での水平加速度分布を示す。本図より、応答加速度は地表面水平モデルの方が空洞天端付近で6%程度、底盤付近で4%程度大きい結果となった。

(2) 地下空洞周辺の地震時引張応力

図-3には、両モデルの代表的な地震時引張応力コンターを示す。両図とも空洞の肩部と脚部に大きな引張応力が生じている。特に、地表面傾斜モデルでは、土被りの浅い側の肩部と反対側の脚部に非常に大きな引張応力が生じている。また、地下空洞の設計等に重要な天端付近(肩部)の引張応力は、地表面水平モデルと比較して地表面傾斜モデルは約1.9倍の値になっている。

(3) 地下空洞周辺の局所安全率

図-4は、両モデルの代表的な地震時の地下空洞周辺岩盤の局所安全率コンターを示す。地表面傾斜モデルは、 $F_s \leq 1$ の領域が空洞天端付近に大きく広がっているが、地表面水平モデルでは $F_s \leq 1.5$ の領域はなく、地下空洞周辺岩盤の局所安全率に及ぼす斜面の影響が大きいことがわかる。

5. まとめ

土被りの浅い山腹に建設される地下空洞の地震時安定性について、動的な応力変形解析により検討した結果、本検討の範囲では以下のことがわかった。

(1) 地表面の傾斜が、地震時の地下空洞周辺の水平加速度に及ぼす影響は小さい。

(2) 地震時に発生する引張応力は、半円形の場合には地下空洞の肩部と脚部に発生しやすく、特に地表面が傾斜している場合には、土被りの浅い側の肩部に非常に大きな引張応力が発生しており、設計・施工時には留意が必要と考えられる。

(3) 地下空洞の周辺岩盤の局所安全率は、両モデルとも掘削時には $F_s \leq 1.5$ は発生していないが、地震時には大きく異なる。

これらの結果から、地下空洞周辺岩盤の地震時の安定性検討は、加速度分布だけに着目するのではなく、地震時応力についても検討を行うことが重要と考えられる。今後は、掘削時の安定性に加え地震時の安定性検討も重要課題となってきており、岩盤の動力学特性の把握や地震時の地下空洞の補強法など残された課題について取り組んで行く所存である。

(参考文献)

- 1) 西村直志、清水則一他：岩盤地下空洞の耐震設計と動的挙動に関する問題点、土木学会関西支部講習会テキスト、PP. 241～258、1994。
- 2) (社)土木学会：土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」、PP. 2～4、1996.1.10

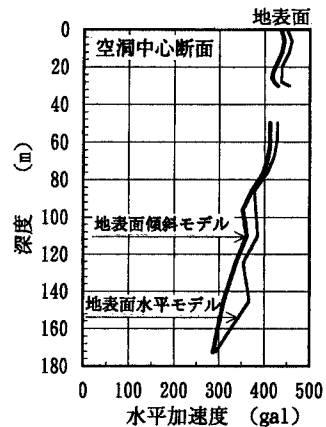


図-2 応答解析結果

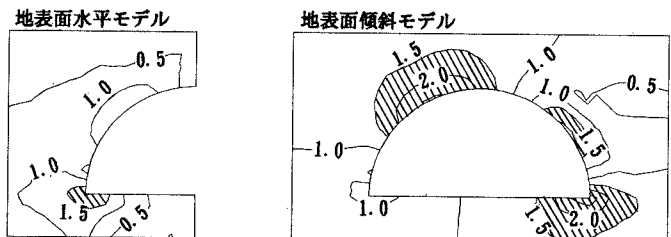


図-3 地震時の引張応力コンター（斜線部：引張応力  $\sigma_t \geq 1.5\text{MPa}$ ）

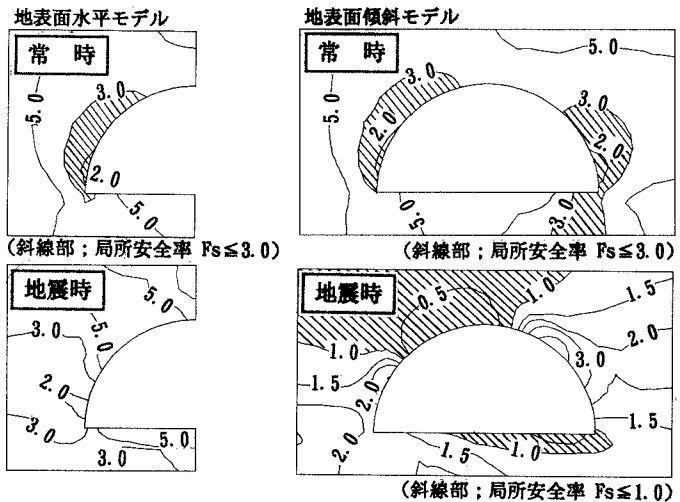


図-4 常時および地震時の局所安全率コンター