

## 地震時の岩盤地下空洞の挙動に及ぼす土被りの影響

飛鳥建設(株) 技術研究所 正○小林 薫、正 近久 博志  
 飛鳥建設(株) 技術研究所 正 松元 和伸、正 中原 博隆  
 飛鳥建設(株) 技術研究所 正 筒井 雅行

### 1. はじめに

地下発電所や地下石油備蓄タンク等の岩盤地下空洞は、建設位置が比較的深い岩盤内部に計画・施工されるため、地震時においては震動の増幅が小さく、また岩盤地下空洞全体が同位相で変位挙動を示す。したがって、従来の地下発電所等では地震によって岩盤地下空洞の安定性等の挙動に影響を与えることは少なかった。しかし、近年の建築構造物のニーズの多様化や複合化にともなって、土被りが比較的浅い場所に岩盤地下空洞を構築し、完成後には不特定多数の一般客が利用するような計画が見られるようになってきた<sup>1) 2)</sup>。このような構造物については、今まで岩盤地下空洞の安定性等にあまり影響を与えていなかった地震時の影響が大きくなるものと考えられる<sup>3)</sup>。そこで本稿は、地震時の岩盤地下空洞の挙動に対する土被りの影響を二次元静的解析により検討し考察を加えたものである。

### 2. 検討モデル

地震時の岩盤地下空洞の挙動検討の対象とした構造物は、建築構造物のニーズの多様化等にともなって、比較的土被りの浅いところに建設される岩盤地下空洞を利用した半円状構造物とした。図-1は二次元平面ひずみを仮定した検討モデルを構造物の概略寸法とともに示す。解析領域は、岩盤空洞周辺の応力状態を調べるため、周辺境界の影響をできる限り排除する様に設定した。また、本検討では地表面を平坦とし、斜面の影響がない場合についての検討を行った。

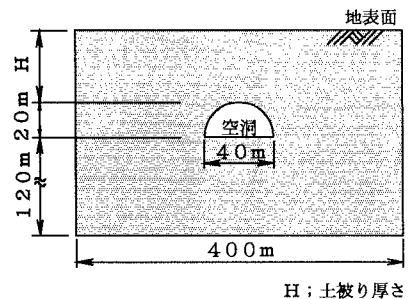


図-1 検討モデル概念図

### 3. 検討条件と検討手順

地震時の挙動検討は、有限要素法を用いた連続体解析により実施した。表-1は検討時に用いた岩盤の力学特性を示す。表-2は、検討ケースごとの初期応力状態、土被り及び作用震度(水平、鉛直震度)の大きさを示す。なお、作用震度については、一次元重複反射理論(解析コード:SHAKE)による解析結果を参考に空洞の深度に拘らず同一とした。また、表-3は地震時の岩盤内応力(全応力)の算定手順を示す。

表-1 検討時岩盤物性値

単重 $\gamma_s$ ( $\text{tf}/\text{m}^3$ )	ポアソン比 $\nu$	C ( $\text{tf}/\text{m}^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	E ( $\text{tf}/\text{m}^2$ )
2.60	0.27	40	55	$4 \times 10^5$

\* C Ⅱ級岩盤を想定(原位置岩盤およびせん断試験の指針(土木学会'83.12))

表-2 検討ケース

	初期応力状態 ( $\sigma_h / \sigma_v$ )	土被り H (m)	作用震度	
			水平	鉛直
ケース1-1	0.5	4.0	0.50	0.25
ケース1-2		8.0		
ケース1-3		16.0		
ケース2-1	1.5	4.0	0.50	0.25
ケース2-2		8.0		
ケース2-3		16.0		

表-3 応力算定手順

解析ステージの模式図	解析ステージの内容
(STAGE1) 	初期応力場 掘削前の応力状態を表す。要素作用後に自重計算を実施する。
(STAGE2) 	空洞掘削時 空洞掘削に伴う周辺地山の応力状態を表す。
(STAGE3') 	鉛直地震力作用時 掘削後に鉛直の地震慣性力が作用した時の応力状態を表す。
(STAGE3) 	水平地震力作用時 掘削後、鉛直と水平の地震慣性力が作用した時の応力状態を表す。

4. 検討結果と考察

図-2、図-3は、各ステージの空洞天端部と45°付近の要素安全率(以下、Fs)を同一要素の掘削時Fs(STAGE2のFs)で除したFs比率を示す。ここで、掘削時Fsで基準化したのは、Fsに及ぼす掘削時及び地震慣性力作用時(以下、地震時)の影響度を把握しやすくするためである。

図-2(a)の空洞天端付近については、土被りが小さいほど掘削によるFs低下率が小さく、逆に地震時にはFs低下率は大きくなる傾向を示す。また、図-2(b)の空洞45°付近については、掘削によりFs低下率に大差はないが、地震時については空洞天端同様、土被りが小さいほどFs低下率は大きくなっている。

図-3に示す初期応力状態(以下、 $\sigma_h/\sigma_v$ )の異なる場合(ケース2)には、掘削によるFs低下率は大きく、地震時のFs低下率はほとんどないことがわかる。このFs低下率の傾向は、空洞天端および45°付近とも同様の傾向を示したが、 $\sigma_h/\sigma_v$ が小さい(ケース1)場合に示したような土被りの違いによるFs低下率の差はほとんどなかった。

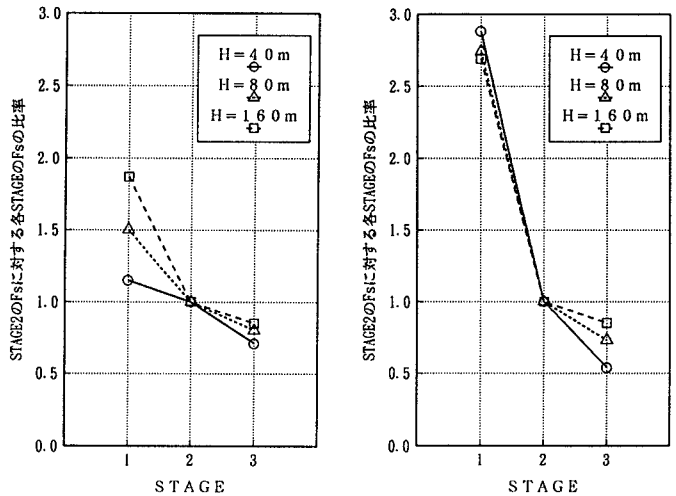
以上より、岩盤地下空洞の地震時挙動に与える土被りの影響は、土被り(H)が小さいほど、地震慣性力作用時にFs低下率が顕著になり、地震動の影響を大きく受けることがわかった。特に、この影響は、 $\sigma_h/\sigma_v$ の小さい方が大きくなる傾向にある。

5. おわりに

従来の地下発電所等の地下空洞に比較して、建築構造物としての土被りが小さい岩盤地下空洞は、地震慣性力作用によりFsがかなり低下することがわかった。土被りの小さい岩盤地下空洞を計画する場合、今まで以上に地震時挙動に対する検討が重要になってくるものと考えられる。今後は、岩盤地下空洞の地震時挙動について、空洞形状や斜面の影響等についても検討を加え、土被りの小さい岩盤地下空洞の合理的な設計法を確立していきたい。

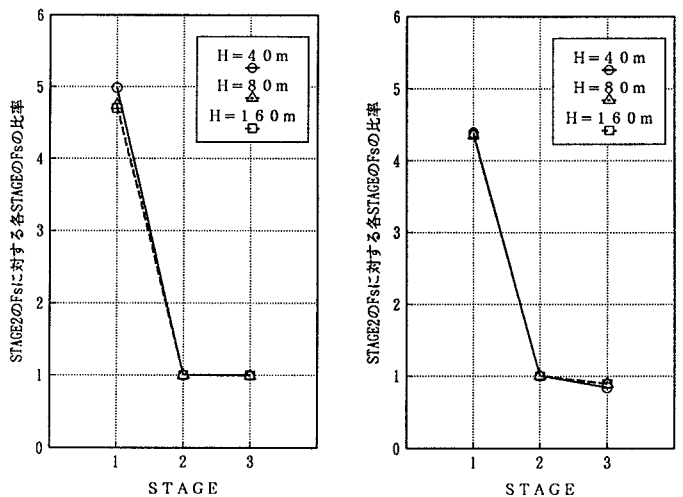
【参考文献】

- 1) 近久、木村、小林; 岩盤の中に美術館を築く、NIKKEI ARCHITECTURE、PP. 158~161、1995. 1
- 2) 小室、近久、木村、小林; 岩盤地下空洞を利用した高山祭屋台美術館、日本建築センター、ビルディング・ブレイク、通巻第326号、PP. 7~15、1995. 1
- 3) 近久、小林、松元、筒井、桜井; 岩盤空洞を利用した地下式展示館の地震時安定性評価、第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、PP. 296~300、1995. 1



(a) ケース1 (天端部) (b) ケース1 (45°付近)

図-2 空洞各部のSTAGE安全率(Fs)の比率



(a) ケース2 (天端部) (b) ケース2 (45°付近)

図-3 空洞各部のSTAGE安全率(Fs)の比率