

III-593

不連続性岩盤における地下空洞の安定性評価

(財)電力中央研究所 正会員 伊藤 洋

1. はじめに

原子力発電所の地下立地においては、断層・破砕帯や節理を有する岩盤内に大規模な空洞が掘削される。そこで、本研究では地下空洞の安定性と密接に係わりのある岩盤内不連続面の開口、ずれ、回転などの力学的挙動を反映した、地下空洞の掘削時および地震時の安定性を連続体解析と不連続体解析により数値解析的に検討した。本報告はこれらの解析結果の比較・検討で得られた知見の概要をとりまとめたものである。

2. 研究モデル、検討条件と解析方法

安定性評価の対象とした地下空洞は、原子炉建屋地下空洞(高さ $h=82.5\text{m}$ 、幅 $b=33.0\text{m}$)とタービン建屋地下空洞(高さ $h=54.8\text{m}$ 、幅 $b=33.0\text{m}$)であり、図-1はこれら地下空洞の概略寸法をもとに作成した掘削時、地震時の安定解析モデルの一部を示したものである。

一方、数値解析は不連続面の開口、閉塞、ずれおよび回転等の特性をジョイント要素でモデル化した不連続体解析法と、FEMを用いた連続体解析法とで行った。表-1は安定解析に用いた物性値の一例を示したものである。

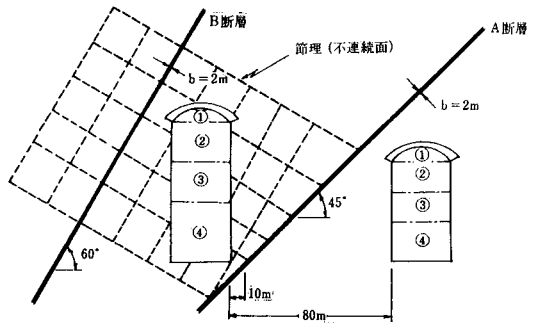


図-1 解析モデル概念図

表-1 安定解析用物性値一覧

特性値	岩 盤 実 質 部*					断 層 部					不連続面 (ジョイント部)**					境界条件
	E (t/m^2)	ν	γ_t (t/m^2)	C (t/m^2)	ϕ (度)	E (t/m^2)	ν	γ_t (t/m^2)	C (t/m^2)	ϕ (度)	kn (t/m^2)	ka (t/m^2)	Cu (t/m^2)	ϕ_u (度)		
解析段階																
地 圧 時	1.0×10^6	0.45	2.56	150	45	1.0×10^6	0.45	2.0	10.0	25	1.0×10^6	3.3×10^5	10.0	25	(側方境界) 鉛直ローラ (底部境界) 固定	
掘 削 時 (4段階の掘削)	1.0×10^6	0.25	2.56	150	45	4.0×10^4	0.4	2.0	10.0	25	5.0×10^4	1.79×10^4	10.0	25	同 上	
地 震 時 ($K_H=0.4$) ($K_H=0.2$)	3.0×10^6	0.25	2.56	150	45	1.2×10^5	0.4	2.0	10.0	25	15.0×10^4	5.37×10^4	10.0	25	(側方境界) 水平ローラ (底部境界) 固定	

* 地下立地方式原子力発電所検討委員会「地下式原子力発電所に関する調査報告書」のデータを参考にした。
** 湯水発電所地点の下記の断層材料のデータを参考にした。

3. 検討結果とその考察

図-2および図-3は空洞掘削に伴う原子炉建屋地下空洞側壁のはらみ出し量の変化、および掘削終了時のゆるみ域と局所安全係数の分布を比較したものである。また、図-4は掘削終了時の地下空洞周辺岩盤の変形挙動を示したものである。さらに、図-5には水平震度 $K_H=0.2$ が作用した地震時のゆるみ領域と局所安全係数の分

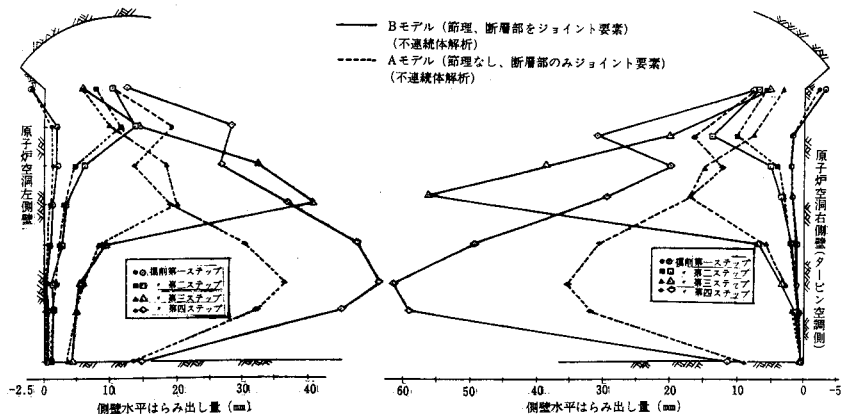


図-2 原子炉空洞側壁のはらみ出し量の変化

布を示した。これらの結果から、以下の傾向が認められる。

- 1) 原子炉建屋地下空洞側壁のはらみ出し量は、空洞周辺に不連続面としての節理がある場合の方が大きく、空洞高さの下方約2/3以降の掘削で顕著に現われる。しかも、タービン空洞側に節理が少ないにも係わらず、タービン空洞側の側壁のはらみ出し量は反対側の側壁に比較して大きい。また、節理がある場合、掘削に伴い側壁岩盤がずり下る現象が顕著となり、しかも特にタービン空洞側で節理のずれや開口が明確に現われる。これらの原因はタービン空洞の掘削による影響よりも側壁に対して流れ目となる傾斜角（今回のモデルでは（60度））の節理分布の存在の影響が大きいものと考ええる。
- 2) 節理がある場合、掘削初期の段階からゆるみ領域が発生し、節理の多い側壁左側の岩盤内で多くなる傾向を示す。また、ゆるみ領域の発生する場所も若干、異なる。節理を考慮しない場合、側壁岩盤のずり下りが発生する時に岩盤実質部が応力負担をしタービン側の側壁中央下部にゆるみ域が発生しているが、節理がある場合には節理の開口等により岩盤実質部で無理な応力分担をしないため、側壁中央付近でゆるみ域は発生せず、応力集中する隅角部でのゆるみ域が現われたものと考えられる。
- 3) 水平震度 $K_H=0.2$ の地震力に対して、若干ゆるみ領域が増え、節理がある場合の方が多くなるものの、今回のモデルでは原子炉地下空洞とタービン地下空洞とのゆるみ領域の相互干渉は生じていない。

4. おわりに

本報告では断層、節理などの不連続面が地下空洞の挙動に及ぼす影響の一例を紹介したが、これら挙動の妥当性を解明するための実証的な研究が今後必要である。なお、不連続面の分布（傾斜角、間隔）ならびに初期地圧の大きさの影響、断層の存在が動的応答特性に及ぼす影響などについての検討結果の詳細については別途報告する予定である。

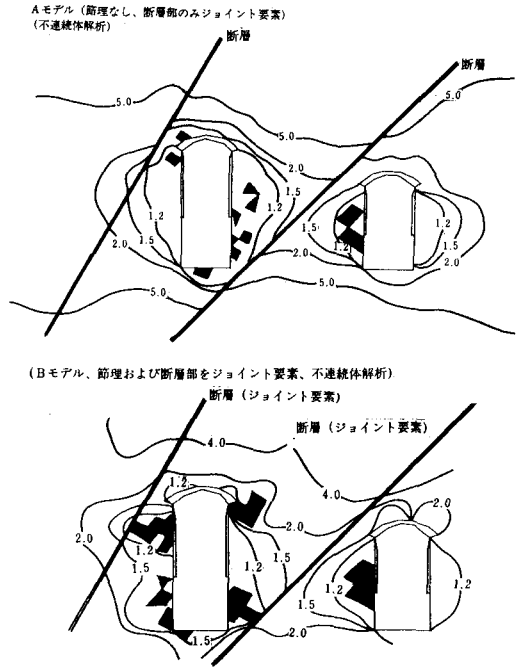


図-3 ゆるみ領域と局所安全係数

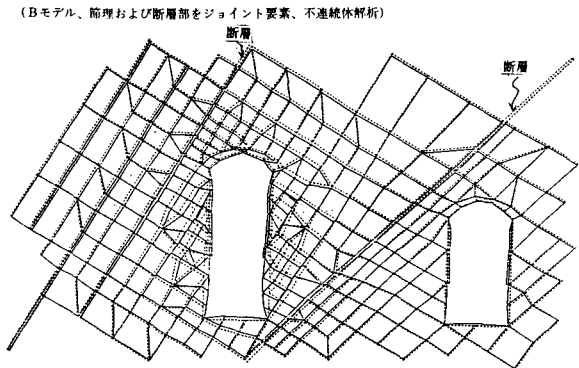


図-4 掘削終了時の変形挙動

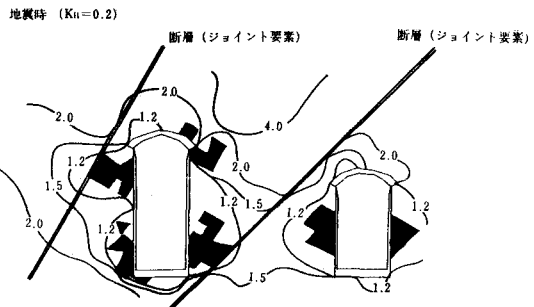


図-5 ゆるみ領域と局所安全係数（地震時）