

地層処分施設地下空洞の耐震性評価

大成建設（株） 正会員 窪田 茂
 大成建設（株） 正会員 杉原 豊
 東京電力（株） 正会員 小野文彦

1. はじめに

岩盤中に構築される地下空間は一般に地震の影響を受けにくいことが知られているが、その耐震性評価手法については必ずしも確立されたものがあるわけではない。また、地層処分施設のような大深度地下空洞については、掘削時の力学的安定性評価が重要課題として検討されてきたものの、耐震安定性についてはあまり着目されていなかったのが実状である。

地層処分施設を構成するアクセス坑道や水平坑道の地震時挙動は、周辺地盤の変形に支配されると予想されるが、地層処分施設は、大深度、大規模という点で従来の地下構造物とは相違しており、これまでの地下構造物を対象とした耐震設計手法の適用性に関する検討が必要であると考えられる。本報告では、処分坑道のような大深度連接坑道群に対する応答震度法の適用性評価、仮想モデルサイトで設計された地層処分場の立坑及び処分坑道に対する地震の影響評価、掘削による坑道周辺の緩みが耐震性に及ぼす影響評価について解析検討を行った。

2. 応答震度法の適用性評価

地下構造物は、一般に見かけの質量が周辺地盤の質量に比べて軽いいため、構造物の自重に起因する慣性力の影響は小さく、地震時に周辺地盤の変形に追従して挙動することが知られている。応答震度法は、このような知見をベースに、自由地盤の地震時応答値を静的な力に置き換え、岩盤 - 空洞連成モデルに物体力として作用させるものである。単一空洞のように見かけの

質量や剛性が周辺地盤より小さい地下構造物に対しては、動的解析と良く整合した結果が得られることが知られている。しかし、連接坑道群（特に近接した場合）のような場合は地盤の欠損部が多く、自由地盤の応答値と坑道群が存在する地盤の応答値は有為な差が生じると予想された。そこで、表-1

表-1 解析条件

項目	設定条件
坑道断面	立坑 形状：円形、内径：6.5m、コンクリート支保：0.2m 処分坑道 形状：円形、内径：5.0m、コンクリート支保：0.15m、坑道中心間距離：12m
坑道の深度	G.L.-500m
検討用地震動	改良標準波No.5水平動、M：8.4、 τ ：90km、最大加速度：286gal、T：39.3sec
地層条件	仮想地質で $V_s=0.5 \sim 1.31$ kmの砂岩泥岩の互層を設定
応答震度	坑道設置レベルで最大せん断ひずみが発生する時刻のせん断応力分布から算定

表-2 解析結果（応答震度法と動的解析の比較）

解析ケース	支保工					岩盤 最大 せん断ひずみ
	有効 断面積 (m^2)	断面 係数 (m^3)	断面 力 曲げモーメント ($kN \cdot m$)	軸力 (kN)	支保工応力度 σ_c (N/mm^2)	
簡便法適用性 動的解析 (最大応答値)	0.15	0.0038	3.295	648	5.20	3.501E-04
動的解析 (応答震度法と同一時刻)	0.15	0.0038	3.217	626	5.03	3.421E-04
応答震度法	0.15	0.0038	3.266	652	5.22	3.461E-04

結果、表-2に示すように両者は良く一致する結果を与えることが確認され、地層処分場で想定しているような坑道規模や離間距離の条件では、連接空洞の耐震性評価において応答震度法は十分に適用性があると判断される。

3. 地層処分施設の耐震性評価

地層処分施設の耐震性を評価するため、代表部位として処分坑道及び立坑を選び、自重解析、掘削解析、耐震解析を実施した。掘削解析では、掘削解放率として一律 70%を考慮することとし、耐震解析は応答震度法により行った。なお、掘削解析より局所安全率が 1.2 を下回ると判断された領域を緩み領域と見なし、当該領域の剛性低

下率をパラメータとして耐震解析を行った。パラメータとしては、剛性低下を考慮しない、50%低下、90%低下の3種類を考慮した。解析結果を表-3に示す。これより、掘削時からの地震時増分応答は軽微であり、地震の影響が少ないこと、緩み領域の剛性を低下させることによる耐震性への影響はほとんどないことが確認された。

また、同様の条件で実施した立坑の解析結果として、立坑周辺岩盤のせん断ひずみ分布を図-1に示す。同図より、水平面内において地震の影響はなく、立坑は変形せずに並進運動をしていることが分かる。また、鉛直面内において地震の影響は軽微であり、坑口付近、地層境界前後、切羽付近で若干の影響が見られる程度である。なお、坑口付近の大きめの応答は、深部岩盤の掘削解放率を第4紀地盤にも同様に考慮したための結果であり、詳細に検討するためには施工方法を考慮した適切な荷重を考慮する必要がある。

4. まとめ

今回の解析検討を通じ、地層処分施設に対する地震の影響が軽微であることが確認できた。また、接続空洞に対する応答震度法の適用性が確認できたことは、今後地下空洞の耐震性を概略評価する場合に有用であると考えられる。

5. あとがき

本報告は、電力10社による電力共通研究の成果の一部である。

参考文献

1) (財)電力中央研究所、電気事業連合会：高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術，H11.3. 2) 核燃料サイクル開発機構：地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊2 地層処分の工学技術，H11.11. 3) 土木学会 原子力土木委員会：原子力発電所の立地多様化技術-第3編 地下立地技術，1994.3. 4) 土木学会：開削トンネルの耐震設計，H10.10. 5) 土木学会 原子力土木委員会：「原子力発電所地質・地盤の調査・試験法および地盤の耐震安定性の評価手法」報告書-第6編 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価，1985.8.

表-3 解析結果（処分坑道の耐震性）

解析ケース	支保工					岩盤	
	有効断面積 (m ²)	断面係数 (m ²)	断面力		支保工応力度 c (N/mm ²)	最大せん断ひずみ	最小局所安全率
			曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
掘削時	0.15	0.0038	2.795	4491	30.69	9.742E-03	0.968
掘削+水平震度 (緩み領域剛性低下なし)	0.15	0.0038	4.305	4903	33.83	9.762E-03	0.962
掘削+水平震度 (緩み領域剛性50%低下)	0.15	0.0038	4.786	4835	33.51	9.771E-03	0.963
掘削+水平震度 (緩み領域剛性90%低下)	0.15	0.0038	6.149	4590	32.24	9.823E-03	0.967

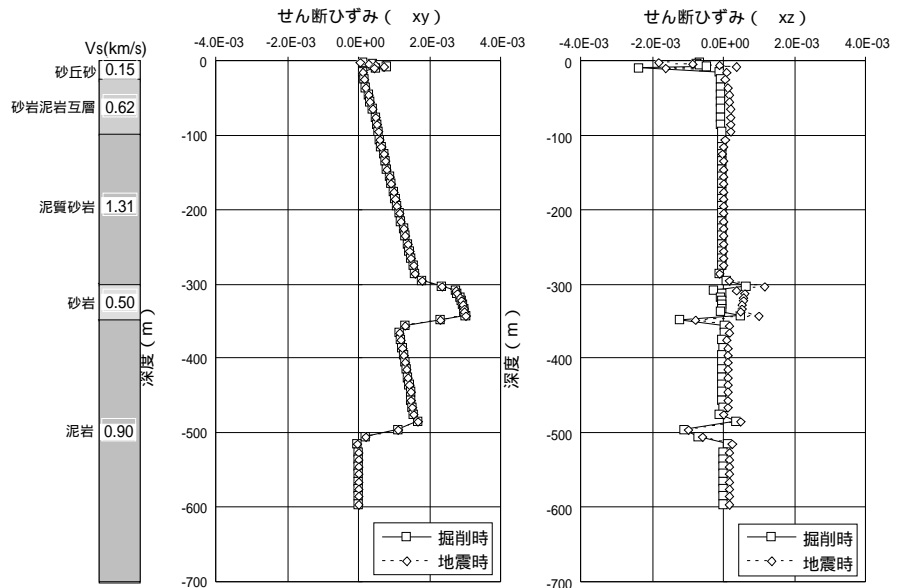


図-1 立坑周辺岩盤のせん断ひずみ分布（左： xy、右： xz）