地層処分施設の耐震性評価における地盤不整形性の影響の基礎的検討

原子力発電環境整備機構 正会員 〇山本陽一,フェロー会員 末広俊夫,正会員 窪田茂 清水建設株式会社 正会員 奥村俊彦,藤川智,非会員 吉田一博

1. はじめに 高レベル放射性廃棄物の地層 処分施設は、数km四方の平面的な拡がりを有 する施設であり、地下 300m以深の地下深くに 建設される.近年、深部の地質構造が褶曲構 造や傾斜構造などを有する場合に、地中およ び地表における地震動が空間的に変化する事 例が報告¹⁾されており、地層処分施設において も、地震動の空間的な変動の影響の程度を把 握しておくことが有効である.本稿では、深 部地盤の傾斜構造や褶曲構造を想定した二次 元地盤モデルを用いて、地中の地震動の分布 を評価し、耐震性評価における地下深部の地 盤不整形性の影響について基礎的な検討を 行った.

2. 検討概要 3 層で構成されるモデル地盤 に対して,不整形性の種類として深部地盤の 傾斜構造と褶曲構造を考慮し,二次元FEMで 基盤から地表までをモデル化した.図-1 およ び図-2 に深部地盤の不整形性の検討モデルを, 表-1 に各層の物性を示す.入力に用いた地震 動は,Mj=8.0,等価震源距離Xeq=25kmの場合 の図-3 に示す耐専スペクトルの適合波とし, メッシュサイズを勘案して下段に示す 5Hz以

上の成分をカットした波を入力した.解析は周波数領 域で行うこととし,減衰は式(1)で表される振動数依存 型のものを用いる²⁾.この際,αは平均的な値とされる 0.7に固定た.

 $h(f) = h_0 \times f^{-\alpha} \tag{1}$

地震応答解析を実施し,地層処分施設の深度におけ る地震動の変動の程度と併せて深度方向(鉛直方向) の地震動の分布を把握した.この際,最大加速度の分 布のみならず,施設への影響を考慮して最大ひずみの分 布も評価した.さらに,深部の不整形性がない成層地盤 の場合の結果との比較により,地下深部の耐震性評価に おける不整形性の影響に対する考慮の必要性を検討した.

3. 地中の地震動分布に関する検討 図-4 は,深部地盤 が傾斜している場合の最大加速度に対する水平成層構造 との比較を示したもので,左に最大加速度の値,右に水









(d) 高い丘 図-2 褶曲構造モデル

表−1 各層の物性

層番号 想定岩盤	層厚 (m)	密度 (t/m³)	V _s (m/s)	V _P (m/s)	ポアソン 比	減衰定数 (×f ^{-0.7})
1 軟岩	300	2.5	700	1200	0.25	0.050
2 泥岩	2700	2.6	1200	2100	0.25	0.025
3 花崗岩	500	2.7	3000	5200	0.25	0.008



平成層に対する比の、それぞれ地表面と地層処分相当深度の GL-1000mにおける水平分布を示す. 傾斜の影響はモ

キーワード 地層処分施設,地中,地震動,最大加速度,最大ひずみ 連絡先 〒108-0014 東京都港区芝4丁目1-23 原子力発電環境整備機構 技術部 TEL:(03)6371-4004



デルの中心より左側で大きい.最大加速度が最も大きくなるのは,傾斜が 1:2 の場合には中心より左側 500m 付近 で約4割程度の増加,1:4 の場合には中心より左側 300m 付近で約2割の増加となっている.これは,基盤が水平 なモデル左半分で鉛直方向に上昇する波と,右側の傾斜基盤により左上方向に屈折する波の重なりの影響で生じて いるものと推測され,傾斜が強くなると焦点効果も高くなることを表している.図-5 に,最大せん断ひずみの分 布について,実際の値(左側)と水平成層構造の結果に対する比(右側)を示した.最大加速度の比の分布と比較 すると,中心より左側で大きくなる点は共通するものの,応答値の変化は最大加速度よりも緩やかで,左側 1000mでも比が1よりやや大きい一方で,水平成層に対する比のピークが小さい.

図-6 は、褶曲構造の深部地盤が存在する場合の最大加速度分布の比較を示す. 谷構造(向斜)の場合はその上 部で最大加速度が顕著に大きくなり、中心から±400m 程度の範囲では増加,それより外側では減少している(図 の実線). 谷の深さそのものは浅い場合と深い場合とで約2倍の違があるが増加範囲が若干狭くなる程度である. 水平成層の場合に対する比の最大値は、1.5~1.7倍と傾斜構造の場合よりも大きく焦点効果も高くなっていること が分かる.一方、丘構造(背斜)の場合、中心から±500m 程度の範囲において最大加速度が水平成層に対して一 律 20%前後減少している(図の破線). 丘の高さの違いは中央部付近では顕著でないものの、図示した領域の端部 で顕著である. 低い丘の場合には中心から±500m の範囲で比率はほぼ一定、それより外側で比の値が上昇し、中 心から 800~900m で水平成層より大きくなる.一方、高い丘では中心から 500m~800m で中央付近よりもさらに 減少し、1000m でやや上昇に転じるものの水平成層よりは小さい値のままである. 谷構造では屈折した波が中心 に向かって集中するためモデルの中心付近で最大加速度が大きくなったと推測される. これとは逆に、丘がある場 合には屈折した波が左右に分散され、中心付近で加速度が小さくなっているものと考えられる. 図-7 に、最大せ ん断ひずみの分布を水平成層地盤の結果と対比して示した. 場所による応答値の変化は緩やかであり、水平成層に 対する増分も小さく、谷構造の場合の成層構造に対するひずみの増加は、最大加速度が5割から7割程度あったの に対して、ひずみでは2割程度の増加にとどまる.

4. おわりに 地下深部の地盤に傾斜構造ならびに褶曲構造を有する場合について,二次元 FEM による解析に基づき地中と地表の応答に対する影響を検討し,単純化したモデルによる限られた検討ケースではあるが,地層処分施設の耐震性評価に対する地盤の不整形性の影響について,その傾向を把握することができた.

参考文献:1)植竹ほか:柏崎刈羽原子力発電所の褶曲構造が新潟県中越沖地震の地震動特性に与えた影響,日本建築学会構造系論文集,Vol. 76,No.660,311-318,2011.2)吉田:振動数依存の減衰を考慮した FEM による地盤振動解析,日本建築学会大会梗概集,21061,121-122,2012.