使用済燃料中間貯蔵施設の第四紀層立地への免震化適用

戸田建設(株)正会員神山 義則フェロー 桑原 洋正会員村井 和彦稲井 慎介

1. **はじめに** 原子炉建屋と同等の耐震安全性が要求される使用済燃料中間貯蔵施設(リサイクル燃料備蓄センター)は、原子炉建屋の場合と同様に岩盤立地の敷地選定が問題となると考えられる。本報告は中間貯蔵施設の立地の選定拡大を目指し、我が国に広く分布する第4紀層(洪積層)を支持地盤とする免震貯蔵建屋の構造的な可能

性と有意性について試算検討したものである。検討はモデル建屋に対する地震応答解析によった。

免震構造は、現在、広く一般建築物で利用されている確証技術である。免震構造は地震入力の低減が計られることから、厳しい設計条件が課せられる原子力施設に対し、 立地選定の拡大, 上部主構造部材低減, 免震層設計による設計対応の柔軟性, キャスク等支持構造型式の簡略化, 耐震安全性向上に伴う PA の容易性が見込まれる等が期待される。

2.解析条件 支持地盤の設定については、第4紀層のうち比較的硬い 洪積層(Vs=500m/sec)を対象とし、支持地盤が比較的浅い直接基礎の場合と、深い杭基礎の場合の2タイプを設定した。

検討建屋モデルは、キャスク型およびボールト型貯蔵施設を対象とした。建屋と基礎構造概念を図1に、用いた地盤定数を表1に示す。地盤は表層,第4紀層,第3紀層の3層構造とし、第4紀層の深さを直接基礎でGL-5m、杭基礎でGL-20mとした。第3紀層の深さはいずれもGL-50mとした。なお、杭は場所打ち杭とし、免震装置は高減衰積層ゴムを採用した

- 3.建屋概要 乾式貯蔵キャスク建屋は、縦横 30m×75m、主要耐震壁厚 0.5m(免震用) 0.7m(非免震用)の鉄筋コンクリート構造で、貯蔵容量を 1,000MTU クラスとした。ボールト貯蔵建屋は縦横 80m×125m、主要耐震壁厚1.0~2.0mの鉄筋コンクリート構造で、貯蔵容量を 5,000MTU クラスとした。建屋概略断面を図 2 に示す。なお、基礎マット厚さは 2~3m、杭基礎の場合の杭径はいずれも 1.5~2.0m、杭長は基礎根入れ深さにより非免震で 17m、免震で 13m~15m とした。
- 4.解析方法 地震応答解析は質点系SRモデルで行なった。基礎入力動は地盤と杭を2次元にモデル化して応答解析により求め、埋込み部のインピーダンス(水平、回転)は単位加振により算出した。ここで、地盤系解析モデルでは側方にエネルギー伝達境界を、基礎底面に粘性境界を設定した。解析手順を図3に示す。入力地震動としてはGL-50mの解放基盤面に限界地震動S2相当の基準地震動(最大加速度293gal,M8、等価震源距離50km、図4)を策定した。地盤、杭は弾性、SRモデルの減衰は5%で一律とした。耐震性能目標については基準地震動に対

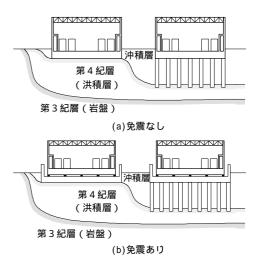
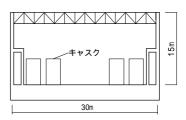


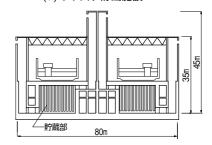
図1 建屋と基礎構造概念

表 1 地盤定数一覧

	Vs	Vp			減衰
	(m/s)	(m/s)	(t/m³)		h(%)
表層	200	400	1.8	0.33	5
第4紀層	500	1660	2.0	0.45	3
第3紀層	1500	3670	2.2	0.40	2



(a)キャスク貯蔵施設



(b)ボールト貯蔵施設

図2 貯蔵建屋モデル概念図

キーワード : 使用済燃料中間貯蔵施設、第4紀層立地、免震

連絡先 : 〒104-0032 東京都中央区八丁堀 4-6-1 戸田建設㈱ TEL:03-3206-7114 FAX:03-3206-7185

して、免震層のせん断ひずみを 150%以下、上部構造の応力を弾性範囲内とした。上部建屋は Ai 分布によるフレーム漸増加力結果を質点系のバネマスモデルに置換、減衰定数は剛性比例型とした。免震層は免震層上部の固有周期が 2.5 秒以上、面圧が平均で約 7MPa になるようゴム層厚 20cm、直径 1.1m あるいは 1.0m の高減衰積層ゴムの免震装置を配置した。

5.解析結果 地盤杭建屋連成系 1 次固有周期は、非免震構造の場合、キャスク貯蔵建屋の直接基礎で 0.13sec、杭基礎で 0.22sec、ボールト 貯蔵建屋では直接基礎で 0.30sec、杭基礎で 0.43sec と比較的剛な構造物となっている。免震構造の場合、直接基礎、杭基礎ともキャスク貯蔵建屋で約 2.8sec、ボールト貯蔵建屋で約 3.0sec と 3sec 程度の 1 次固有周期となっている。免震構造とすることにより、周期が大幅に延びた構造物となり、地震荷重低減につながっている。

最大応答せん断力と最大応答変位についてキャスク貯蔵建屋の例を 図5に示す。免震建屋の応答せん断力は杭基礎、直接基礎ともほぼ同 じであり、非免震構造に対し大幅な応答せん断力減(直接基礎55%減、 杭基礎52%減)となっている。変位に関しては免震構造では大きいが、 免震層でそのほとんどが発生しており、上部建屋の層間変形はほとん どなく、ほぼ剛体モードの変形に近いものになっている。免震層の最 大応答変位は杭基礎の場合の方がやや大きいが、いずれも23cm程度と 耐震性能目標(30cm以下)を満足し十分設計可能な値となっている。

図 6 に杭基礎の場合の最大応答せん断力と変位の関係を示す。各ケースとも非免震建屋の場合、上部構造が塑性域に入っており、厳しい 気設計条件となっているのに対し、免震建屋の場合は、耐震性能目標で ある弾性範囲におさまっている。

図 7 は、免震構造のボールト貯蔵建屋モデルにおける地震応答解析結果に基づく杭の配置、免震装置の配置例である。免震装置は縦横約5m間隔、杭は約4.5~6.5m間隔の配置となっている。なお、杭断面算定については、いずれも杭体の曲げモーメント、せん断力、支持力の終局強度の検討を加え安全性を確認した。

免震構造での大幅な地震荷重の低減が計られたこれらの検討結果および、免震層設計により上部構造の柔軟な設計対応が考えられることから、第4紀地盤への貯蔵施設立地の可能性が示された。特に、機能上遮へい壁が厚く非常に重い構造物となっており、大きな地震応答せん断力を生じているボールト型貯蔵建屋に対して、本ケースの場合、免震構造による大幅な入力低減が計られ、構造体の安全性向上により有効となっている。

6. **まとめ** 第4紀層を支持地盤とする使用済燃料貯蔵施設への免震構造導入の 構造成立性の見通し得た。特に、より厳しい設計条件となる杭基礎構造形式にお いても免震構造の構造的成立の可能性があることは、立地点拡大への可能性及び PAの容易性を示すものである。

謝辞 本論文作成に際して、(財)電力中央研究所殿より貴重なご助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献 1)電中研『原子力発電所使用済燃料貯蔵技術確証試験報告書』、H9.3 2)有冨他;『使用済み燃料中間貯蔵施設に関する研究(1)~(3)』,原子力学会春の年会予稿集,H6.3

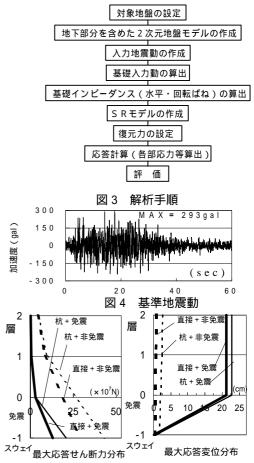


図5 応答解析結果例(キャスク貯蔵建屋)

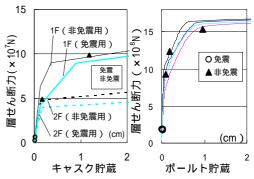


図6 応答せん断力と変位

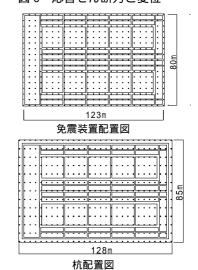


図7 杭及び免震装置配置例(ボールト)