

ニューマチックケーソン工法による放射性固体廃棄物の地下貯蔵庫の提案

オリエンタル白石（株） 正会員 ○坂東直哉，正会員 鈴木忠勝，正会員 本間美湖
早稲田大学 正会員 小峯秀雄，フェロー会員 後藤茂，正会員 阿部慎太郎

1. 目的

福島第一原子力発電所では，瓦礫類の放射性固体廃棄物を金属コンテナに入れて屋外の一時保管エリアに積み重ねて保管している．しかし，経年劣化によりコンテナが腐食すると放射性物質が漏洩する危険性があるため，瓦礫類を地中に保管する必要性が指摘されている¹⁾．さらに，今後の原子炉建屋解体等で大量に発生する高線量の放射性固体廃棄物を安全に保管するためには，原子力発電所の敷地内に，放射線に対して遮蔽性能の高い地下貯蔵庫を築造することが必要となる．2022 年 9 月に土木学会が発表した声明²⁾のとおり，エネルギー分野における地盤の利活用は，放射性廃棄物処分と同時に，原子力発電所で発生した副産物の処分に対しても喫緊の課題である．

本論文では，浅深度から大深度（地下水位以下 70m 程度）の広範囲の地下に，大空間を築造できる工法として実績が豊富なニューマチックケーソン工法により，放射性固体廃棄物の地下貯蔵庫を築造する方法を提案する．

2. 放射性固体廃棄物の保管計画の現状

（1）廃棄物発生量：東京電力ホールディングス（株）は，震災後に発生した放射性固体廃棄物量を，2021 年度末までの発生量に，当面 10 年程度（2033 年度末）で発生する可能性のある予測量を加え，80.5 万 m^3 と試算している³⁾．この廃棄物は，再利用と減容対策により 27.2 万 m^3 に減容される．このうち，表面線量率が 1mSv/h を超える高線量の瓦礫類（金属，コンクリート等）は約 6 万 m^3 としている．将来，廃炉作業が進展すると，1～4 号機周辺の建屋の解体等により，燃料デブリ等の高線量の撤去物量を除き，約 30 万 m^3 の廃棄物が発生し，さらに，その他 ALPS 処理水放出後の溶接タンク等により，約 15 万 m^3 の廃棄物が発生すると試算されている．

（2）保管管理方法：放射性固体廃棄物貯蔵庫が必要とする主な機能は，外部に対する放射線の遮蔽と作業員の被ばく線量の低減である．現在，発災以前から運用されていた固体廃棄物貯蔵庫第 1～8 棟に加え，2018 年に地上 2 階，地下 2 階の第 9 棟が建設され運用が開始している⁴⁾．計画では表面線量率が 1 mSv/h を超える高線量のものは地下の貯蔵庫に保管することとしており，第 9 棟では 1～30 mSv/h の廃棄物は地下 1 階に，30 mSv/h～10 Sv/h の廃棄物は無人遠隔フォークリフトを用いて地下 2 階に保管される．現在，1 mSv/h 以下の廃棄物を速やかに建屋内に保管するための第 10 号棟⁵⁾および線量の高い廃棄物を貯蔵する第 11 棟の建設が計画されているが，2031 年頃には廃棄物発生量が保管容量を超える可能性があることから，地下貯蔵庫をさらに追加して設置する必要がある．

3. ニューマチックケーソン工法による地下貯蔵庫の検討

瓦礫類の必要保管容量を確保するための地下貯蔵庫を，次のとおり検討する．

（1）ニューマチックケーソン工法の優位性：原子力発電所内の地下貯蔵庫の施工法として，本工法は次の特長により優れている．①躯体を地上で構築するため品質が高く遮水性能が高い，②沈下掘削と躯体構築を並行作業できるため工期が短い，③施工時に圧縮空気により地下水を抑えるため，遮水壁や揚水が不要で周囲の地下水を変動させない．④ICT を活用した掘削機械の地上遠隔操作により，放射線による作業員への負担が小さい．

（2）地下貯蔵庫の仕様：放射性固体廃棄物の収納容器は，第 10 号棟と同様に 10ft ハーフハイトコンテナ（3.0×2.4×1.3 m， $v=9.36 \text{ m}^3$ ）を用いるものとする．コンテナへの瓦礫の収納方法として，瓦礫を直接コンテナに収納する方法と，瓦礫を 200 L ドラム缶に収納しドラム缶をコンテナに収納する方法を想定する．後者は，

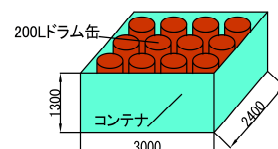


図-1 10 ft ハーフハイトコンテナと 200 L ドラム缶

表-1 地下貯蔵庫の寸法

	寸法(m)	
	ケース1	ケース2
長辺長	35.8	53.2
短辺長	24.0	32.0
高さ	20.0	25.0
側壁厚	1.5	2.0

キーワード：福島第一原子力発電所・放射性廃棄物・保管・地下構造物・ニューマチックケーソン

連絡先：オリエンタル白石(株)（東京都江東区豊洲五丁目 6 番 52 号 NBF キャナルフロント・03-6220-0630）

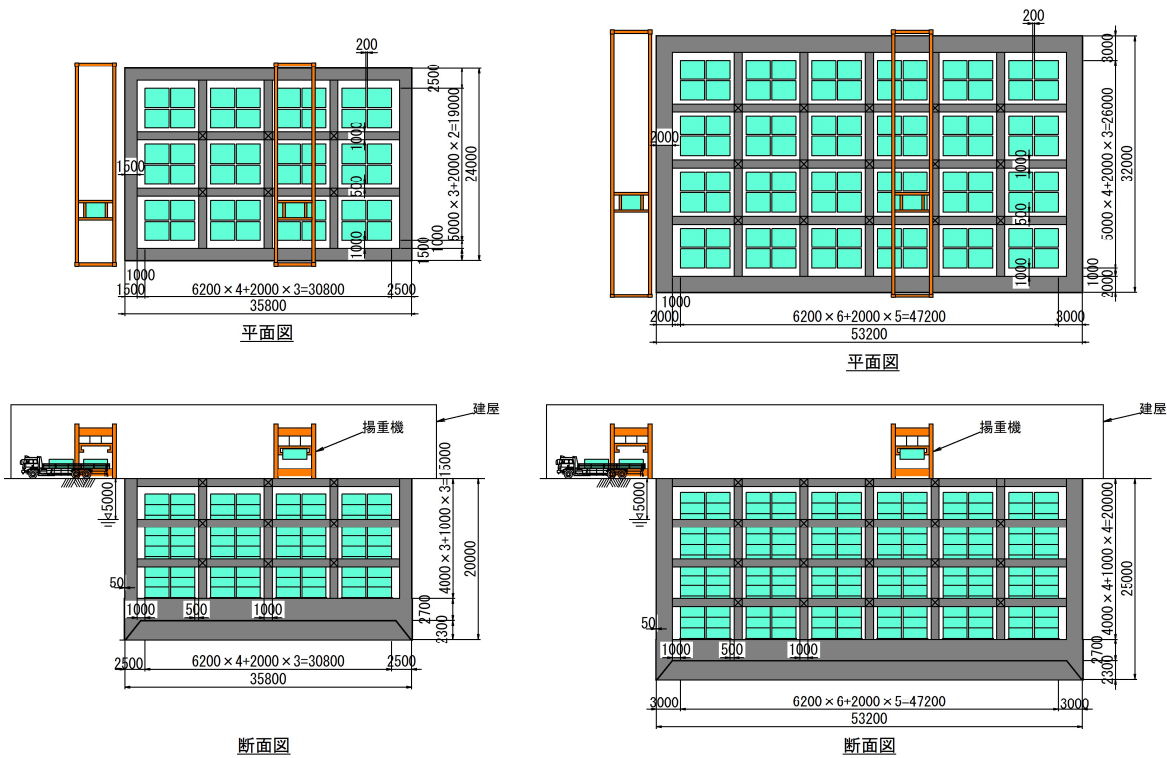


図-2 ケーソン概要図（ケース 1）

図-3 ケーソン概要図（ケース 2）

図-1 に示すようにコンテナ 1 台あたり 12 個の 200 L ドラム缶 ($v=0.2\times12=2.40\text{ m}^3$) を収納することができる。地下貯蔵庫は、表-1、図-2～3 に示すように平面寸法および高さの異なる 2 ケースを想定した。ケーソンの部材厚は、ケーソンに作用する浮力に対してケーソンの自重により抵抗できるように設定した。地下貯蔵庫にコンテナを積み上げる方法は、無人遠隔操作による門型クレーンを用いる方法とすることで、フォークリフトの通路が不要となるため、保管容量を大きくすることができる。

（3）廃棄物貯蔵性能の試算：表-2 は、貯蔵庫 1 基あたりの貯蔵可能容量の試算結果である。表面線量が 1 mSv/h を超える瓦礫等の必要保管量を 6 万 m^3 と仮定すると、必要貯蔵基数は表-3 のとおりとなる。掘削地盤を表層 8m が砂礫、それ以深が軟岩Iと想定すると、ケース 1 およびケース 2 のケーソン 1 基あたりの工期はそれぞれ 12 箇月、16 箇月であり、コストの比は 1：2.5 であるが、瓦礫 6 万 m^3 あたりのコストではケース 2 の方が優位となる。

4. おわりに

本論文では、ニューマチックケーソン工法による地下貯蔵庫の有用性を示した。放射性固体廃棄物貯蔵施設の他に、将来、燃料デブリの中間保管施設や使用済燃料の中間貯蔵施設⁶⁾を原子力発電所の限られた敷地内に設けざるを得ない状況においては、安全かつ放射線に対して遮蔽性能が高い地下空間を計画的に有効活用する必要がある。

参考文献

1) 福島第一原発で増える放射能汚染がれき「地下埋設保管の検討を」規制委員長が指摘、東京新聞、2022.2.2、<https://www.tokyo-np.co.jp/article/157802>
2) 土木学会 地盤の課題と可能性に関する総合検討会、地盤の課題と可能性に関する声明、2022.9.20
3) 福島第一原子力発電所の固体廃棄物の保管管理計画、2023 年 2 月版、東京電力ホールディングス（株）、2023.2.22、https://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/roadmap_progress/pdf/2023/d230222_09-j.pdf
4) 固体廃棄物貯蔵庫第 9 棟について、東京電力ホールディングス（株）、2018.1.31、https://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2018/images1/handouts_180131_14-j.pdf
5) 固体廃棄物貯蔵庫第 10 棟の設置に係る実施計画の変更について、東京電力ホールディングス（株）、2021.12.1、<https://www2.nra.go.jp/data/000374413.pdf>
6) 小峯秀雄・阿部慎太郎・鈴木忠勝・本間美湖：被災原子力発電所の廃炉措置に向けた基礎工の応用、基礎工、2021.11

表-2 貯蔵庫 1 基あたりの貯蔵可能容量の試算結果

記号	内容	収納方法	単位	数量	
				ケース1	ケース2
$V_{container}$	コンテナ1台あたりの収納容量	コンテナ直接収納	$\text{m}^3/\text{台}$	9.36	9.36
		ドラム缶収納	$\text{m}^3/\text{台}$	2.40	2.40
$n_{container}$	1段当たりのコンテナ数	-	台/段	48	96
s	コンテナ設置段数	-	段	10	14
$V_{storage}$	地下貯蔵庫1基あたりの貯蔵可能容量	コンテナ直接収納	m^3	4,493	12,580
		ドラム缶収納	m^3	1,152	3,226

※ $V_{storage}=V_{container}\times n_{container}\times s$

表-3 貯蔵庫の必要基数と工期・コストの比較

	ケース1				ケース2			
	必要基数	工期 (月)	コスト		必要基数	工期 (月)	コスト	
			1基あたり	瓦礫6万 m^3 あたり			1基あたり	瓦礫6万 m^3 あたり
コンテナ直接収納	14	12	1	14.0	5	16	2.5	12.5
ドラム缶収納	53			53.0	19			47.5