

資料1-2

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び 設備の基準に関する規則への適合性 について(第十三条 安全評価) 【参考資料】

2024年10月28日

日本原子力発電株式会社



参考資料

1. 地質環境等の状態設定

一水理一



✓防潮堤等の設置が廃棄物埋設施設位置の地下水流動に与える影響を把握するため、三次元地下水流動解析を実施した。

■現況再現解析

✓ 現況再現解析の結果,廃棄物埋設施設周辺の一部において再現しきれていない範囲が認められるが,廃棄物埋設施設位置付近では西から東へ向かう流れは再現されており,廃棄物埋設施設底面に配置した粒子発生点からの流線は海へ向かう結果となった。



(背景:地理院タイル)



(背景:地理院タイル)

水理状況 防潮堤等の設置による地下水流動への影響(2/2) 参考資料

■防潮堤等設置後の予測解析

- ✓ 防潮堤等をモデル化し、当該設備が地下水流動へ与える影響を確認するための予測解析を行った。
- ✓ 年平均雨量を入力とした解析の結果,防潮堤外の地下水位に大きな変化は認められない。
- ✓ 豪雨時の解析の結果,廃棄物埋設施設位置も含めて<u>地下水位が上昇</u>する傾向が認められるが,その上昇量は<u>廃棄物埋設施設</u> 位置及び近傍において1 m未満であり,廃棄物埋設施設底面レベルを上回ることはない。
- ✓ いずれの解析においても<u>廃棄物埋設施設に配置した粒子発生点からの流線は海へ流出する</u>。
- ✓ ただし、再現解析で部分的に再現しきれていない範囲があり、予測解析についても限られた条件での検討であることから、<u>廃棄物</u> <u>埋設施設の西側に地下水が流入した場合の念のための線量評価を実施する。また、地下水の流向を確認できるようにモニタリン</u> グを継続する。





参考資料

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足)

ー影響評価によって影響なしと判断した根拠ー

OH1:ベントナイト混合土の乾湿

- ✓ 飽和・不飽和の繰り返しによる乾湿の影響が、ベントナイト混合土の低透水性に与える影響を評価するため、乾湿影響確認試験装置を利用して、乾湿影響確認試験を実施した。
- ✓ 地表面温度が約50℃で保たれた評価期間(18~50日目)において、ベントナイト混合土の体積含水率の変化はほぼ見られなかった。また、温風送風開始前後(0~50日目)のベントナイト混合土の体積含水率の差分については、深度に係らず0.3%未満であった。
- ✓ 本施設の原位置環境よりも厳しい試験条件において、1 m以深のベントナイト混合土に乾燥影響は及ばないことを 確認したことから、「H1:ベントナイト混合土の乾湿」は影響事象として考慮しない。





OM1:廃棄物層(金属類及び鉄箱)の金属腐食による膨張変形及びガス発生 ①金属腐食による膨張変形

- ✓ 金属の腐食膨張(金属周辺の環境条件に依存した電気化学 反応によって金属が腐食し,腐食生成物が生成されること) は、力学的影響としてベントナイト混合土を変形させることで 低透水性に影響を与える可能性があるため、金属腐食によ る化学的反応の量的関係から、埋設トレンチ内における金属 の腐食膨張量について評価した。
- ✓ 腐食生成物は、環境条件及び文献を参考に、金属腐食に伴う膨張に大きく寄与すると考えられるFe(OH)₂を設定。
- ✓ 金属のみが埋設される状態を想定した埋設トレンチとし、収納された鉄箱は一定間隔で定置されるため、鉛直及び水平 方向に平均的に膨張することを想定して埋設トレンチ1区画における腐食膨張量を評価した。
- ✓ 鉛直・水平方向への変形による膨張量は、鉛直方向の合計で約0.98 mm、水平方向の合計で約5.2 mmであることからベントナイト混合土に作用する変形量は軽微であり、「金属腐食による膨張変形」は影響事象として考慮しない。

第3-1表 鉛直・水平方向への変形 による腐食膨張量

酸素の要因	方向	腐食膨張量 (mm)
埋設完了後の埋設ト	鉛直	0.69
レンチ内に存在する 酸素による腐食	水平	3.6
浸透水の溶存酸素に	鉛直	0.29
よる腐食	水平	1.6
소크	鉛直	0.98
	水平	5.2

OM1:廃棄物層(金属類及び鉄箱)の金属腐食による膨張変形及びガス発生

②金属腐食によるガス発生

- ✓ 埋設トレンチ内の環境条件では,酸素消費型の好気性条件の腐食環境と考えられるため,炭素鋼の腐食に伴う水 素ガスの発生は考えられない。
- ✓ アルミニウムは埋設量が少ないだけでなく、アルカリ環境下に暴露されるリスクを低減するため、コンクリート類の放射性廃棄物と一緒に埋設しないよう埋設管理を行うことから、アルミニウムの腐食に伴う水素ガスの発生も考えられない。
- ✓ 埋設トレンチ内は、上部を遮水シート及び低透水性覆土、側部を側部低透水性覆土に覆われ、地下水面より上に位置するため、内部は不飽和状態が維持される。このため、仮にガスが発生した場合でも下部の周辺土(通気層)から抜けるものと考えられるため、ガス圧が上昇を続ける可能性は低い。さらに、埋設トレンチ内で発生したガスは上部及び側部への散逸や充塡砂での圧力損失が生じることでガス圧は減少すると考えられ、急激なガス加圧が生じることはなく、ガス破過による低透水性への影響は生じないことから、「金属腐食によるガス発生」は影響事象として考慮しない。
- ✓ <u>以上のことから、「M1:廃棄物層(金属類及び鉄箱)の金属腐食による膨張変形及びガス発生」は影響事象として考慮しない。</u>

→→→ 3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) 参考資料

OM2:ベントナイト混合土の膨潤

- ✓ 浸透した雨水等によるベントナイト混合土の吸水膨潤が、ベントナイト混合土の低透水性に与える影響を評価するため、三軸圧縮試験装置を利用して、変形挙動の確認及び変形後の透水試験を実施した。
- ✓ 最終覆土の施工計画における土被り圧に相当する拘束圧20 kPaにおける透水試験後の膨潤率は、0.21%(有効モン モリロナイト乾燥密度は0.44%低下)、膨潤後の透水係数の推定は1.01×10⁻¹⁰ m/sとなり、初期の透水係数からほ とんど増加はなく、透水係数への影響は小さいことから、「<u>M2:ベントナイト混合土の膨潤」は影響事象として考慮しな</u>い。



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) 参考資料

OM4:地すべり

- ✓ 廃棄物埋設地では、豪雨時の降雨は排水層により排水されることから、廃棄物埋設地が飽和状態となることはない。
- ✓ しかし、仮に飽和状態を想定した場合、廃棄物埋設地及び周辺盛土の安定性が低下することで地すべりが発生し、バリア機能である側部低透水性覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響を与える可能性がある。
- ✓ このため,保守的に廃棄物埋設地の地表面まで地下水位が 上昇した条件を設定し,廃棄物埋設地が安定性を有すること を確認した。
- ✓ 地すべり安定性評価については、地震力に対するすべり安定性確認と同様に解析コード「COSTANA 斜面安定計算システム(Ver.20.1D)」により行い、簡便法を用いた。
- ✓ なお、地震力に対するすべり安定性確認と異なる評価条件 は、以下のとおりである。
 - ·解析手法(評価式)
 - •計画安全率
 - ·地下水位
 - ·荷重条件



第3-6図 廃棄物埋設施設評価断面及び 投影する地質断面位置図

3. 廃棄物埋設地の状態設定影響事象分析(補足) 参考資料

OM4:地すべり

項目	評価条件
	豪雨に伴う地すべりの評価における安定計算は、以下の評価式を用いる。
	$F_{S} = \frac{\Sigma\{c \cdot l + (W - u \cdot b)cos\alpha \cdot tan\phi\}}{\Sigma W \cdot sin\alpha}$
解析手法 (評価式)	<pre>ここで, F_S:安全率 c:粘着力(kN/m²) φ:せん断抵抗角(度) l:スライスで切られたすべり面の長さ(m) W:スライスの全重量(kN/m) u:間隙水圧(kN/m²) b:スライスの幅(m) α:スライスで切られたすべり面の中点とすべり円の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角(度)</pre>
計画安全率	豪雨に伴う地すべりの評価における計画安全率は,盛土工指針(平成22年度版)における降雨の 作用に対する許容安全率を参考に1.2以上とする。
地下水位	豪雨に伴う地すべりの評価における地下水位は,豪雨によって覆土及び盛土が飽和状態である ことを解析上で模擬するため,保守側に地表面とする。
荷重条件	豪雨に伴う地すべりの評価において考慮する荷重は,固定荷重及び上載荷重とし,地震力に対 するすべり安定性確認における地震荷重については,地震と豪雨は重畳しないものとして考慮し ない。また,豪雨時に積雪はないものとして,積雪荷重は考慮しない。

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) 参考資料 OM4:地すべり





(「「「「「「「「「」」」」。 (読書) (1997) (1977)

OM4:地すべり

第3-3表 豪雨に伴う地すべりの評価における安定性確認結果(2/3)



3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) 参考資料

OM4:地すべり

第3-4表 豪雨に伴う地すべりの評価における安定性確認結果(3/3)



- ✓ 豪雨に伴う地すべりの評価における安定性確認の結果,最小安全率が計画安全率以上となっていることから,廃棄 物埋設地の地表面まで水位が上昇した場合でも安定であることを確認した。
- ✓ このため、豪雨時に地すべりが発生することはなく、人工バリアの低透水性が損なわれることは考えられない。以上のことから、「M4:地すべり」は影響事象として考慮しない。

→ 3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) 参考資料

OM5:侵食

- ✓ 最終覆土の表面は植生により保護され侵食は抑制されるが、長期的に降雨による侵食が発生し、側部低透水性 覆土、低透水性覆土及び遮水シートの低透水性に影響を与える可能性がある。
- ✓ 廃棄物埋設地では、雨滴は植生に落下することから、植生の下部の保護土層においては、雨滴衝撃による侵食の 影響は小さく、表流水に雨滴が当たる可能性も低いため、雨水流による侵食の影響は小さい。また、EPA(1993)⁽¹⁾ では、「天然の植物の成長を維持することができる最低6インチ(約15 cm)の土質材料を含む侵食層を使用するこ とで覆土の侵食を最小限に抑える」としている。
- ✓ 以上を踏まえると、植生を敷設した保護土層においては、人工バリアの低透水性に影響を与えるほどの侵食の発生は考えられないが、IAEA(2020)⁽²⁾に基づき植生を敷設した保護土層における侵食量について評価した。
- ✓ 一般的に植生は、高木、低木、芝生・草花等があるが、保護土層(上層)の厚さは約30 cmであることを考慮し、これに適合する植生として芝生・草花を想定すると、IAEA(2020)⁽²⁾における「Grassland」に相当する。この「Grassland」のうち、保守的に最も侵食量が多い「Grassland A」の値を用いた。
- ✓ 侵食量の評価対象は、保護土層のうち最も面積が大きい東側埋設トレンチの東面(勾配5%の面及び勾配1:1.8の 面を合わせて以下「侵食面」という。)を対象とし、「Grassland A」の侵食量0.028(kg/m²/y)に侵食面の面積を乗 じて、年間侵食重量を求めた。
- ✓ また,年間侵食重量及び保護土層(上層)の湿潤密度を用いて年間侵食体積を求めた。保護土層(上層)の湿潤密度は,地盤工学会⁽³⁾に基づき,関東ロームの湿潤密度より保守的に設定した。
- (1) Environmental Protection Agency (1993): Solid Waste Disposal Facility Criteria, Technical Manual
- (2) IAEA(2020):IAEA-TECDOC-1927, Environmental Transfer of Radionuclides in Japan following the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant
- (3) 地盤工学会:土質試験の方法と解説 第一回改訂版

3. 廃棄物埋設地の状態設定影響事象分析(補足) 参考資料

第3-5表 侵食量の評価パラメータ

侵食量の評価パラメータ	勾配5%	勾配1:1.8
侵食面の勾配(°)	2.86	29.05
侵食面の水平長さ(m)	18.75	2.13
侵食面の傾斜長(m)	18.77	2.44
勾配5%の面の上底(m)	58.78	-
勾配5%の面の下底(m) 勾配1:1.8の面の上底(m)	96.30	96.30
勾配1:1.8の面の下底(m)	_	100.56
侵食面の面積(m ²)	1,456	240
保護土層(上層)の湿潤密度 (g/cm ³)	1	.2
保護土層(上層)の厚さ(m)	0	.3





第3-10図 東側埋設トレンチ 断面図

| 3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) | 参考資料

OM5:侵食

- ✓ 植生を敷設した保護土層における侵食量について, I AEA(2020)⁽¹⁾に基づき評価した結果, 保護土層(上 層)に占める年間侵食体積割合は0.008%となった。
- ✓ このため、長期的な侵食を想定しても、保護土層が 喪失することは考えられない。
- ✓ なお、侵食面の年間侵食量は0.28 t/ha/yであり、 廃棄物処分場の最終カバー⁽²⁾における土壌侵食の 速さの許容水準である4.5 t/ha/yよりも十分に低い 結果となった。
- ✓ 以上のことから、侵食によって人工バリアの低透水性 が損なわれることは考えられない。よって、「M5:侵 食」は影響事象として考慮しない。

第3-6表 保護土層の侵食量の評価結果

項目	評価結果
保護土層(Grassland A)の侵食量 (kg/m ² /y)	0.028
1 ヘクタールあたりの年間侵食重量 (t/ha/y)	0.28
年間侵食重量(kg/侵食面/y)	47.48
年間侵食体積(m ³ /侵食面/y)	0.04
保護土層に占める年間侵食体積 割合(%/y)	0.008

- (1) IAEA(2020):IAEA-TECDOC-1927, Environmental Transfer of Radionuclides in Japan following the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant
- (2) Robert M. Koerner and David E. Daniel (2004): 廃棄物処分場の最終カバー, 技報堂出版

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) 参考資料

OC2:廃棄物層の金属腐食(放射性廃棄物と浸透水の反応)

✓ 埋設トレンチ内の酸化還元環境は、金属腐食によって還元的となることが想定され、収着性に影響を与える可能性があるが、還元雰囲気下の分配係数は、酸化雰囲気下と比較して大きな値となる傾向があることから、還元雰囲気下における核種の分配係数に影響を与えるような金属腐食の収着影響はないことから、「C2:廃棄物層の金属腐食(放射性廃棄物と浸透水の反応)」は影響事象として考慮しない。

OC3:モンモリロナイト溶出(ベントナイト混合土と浸透水の反応)

- ✓ 雨水等の浸透水がコンクリート類の放射性廃棄物と接触し、カルシウム成分が溶脱することで、浸透水のpHが変化し、 高アルカリ性の間隙水が発生する。これにより、ベントナイト混合土中のモンモリロナイトが溶出し、側部低透水性覆 土及び低透水性覆土の低透水性に影響を与える可能性がある。
- ✓ 低透水性覆土は、埋設した放射性廃棄物より上部に位置するためコンクリート類の放射性廃棄物から溶脱した成分を 含む浸透水の影響を受けない。また、側部低透水性覆土は、充填砂により埋設した放射性廃棄物と離隔が取られる ため、コンクリート類の放射性廃棄物から溶脱した成分を含む浸透水の影響を受けない。このため、「C3:モンモリロナ イト溶出(ベントナイト混合土と浸透水の反応)」は影響事象として考慮しない。。

→ 3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) 参考資料

OC4:バリア材料中でのコロイド生成

- ✓ 金属類の放射性廃棄物, コンクリートブロックに含まれる鉄筋及び鉄箱を起源として, 金属腐食に伴って鉄酸化物及び鉄水酸化物コロイドが生成することによって, 放射性物質の移動挙動が変化し, 収着性に影響を与える可能性がある。また, 側部低透水性覆土及び低透水性覆土に用いるベントナイト系材料中のモンモリロナイト成分等を起源として, 雨水等の浸透水との反応によって, ベントナイトコロイドが生成することで, 放射性物質の移動挙動が変化し, 収着性に影響を与える可能性がある。
- ✓ 収着性に関連する地下水移行において被ばく線量寄与の大きい放射性物質のうち, H-3, CI-36は, 収着性を期待できないため, 収着分配係数を0としている。また, C-14は保守的に収着分配係数を0と設定することで, 収着性を期待していないことから, 影響事象として考慮しない。
- ✓ また、地下水中にベントナイトコロイドが分散するには、10⁻⁵ m/s~10⁻⁴ m/sの地下水流速が必要とされているが、 10⁻⁵ m/sより低流速条件下においてもベントナイトコロイドの生成が確認されており、流速の低下にともなって、生成 されるコロイド量も減少する傾向であるとされている⁽¹⁾。本施設では側部低透水性覆土及び低透水性覆土の透水係 数を1.0×10⁻¹⁰ m/sと設定しており、埋設トレンチ内を流下する浸透水の流れは極めて遅いことことに加え、本施設 のベントナイト混合土の内側は不飽和であり、ベントナイトコロイドは地下水中に分散し難いと考えられる。
- ✓ したがって, 「C4: バリア材料中でのコロイド生成」は影響事象として考慮しない。

(1) 松本一浩, 飯島和毅, 棚井憲治(2009): JAEA-Research2008-097, 緩衝材の侵食現象評価-ベントナイトコロイドの生成挙動-

3. 廃棄物埋設地の状態設定 影響事象分析(補足) 参考資料

OC5:バリア材料中の有機物(錯体形成含む)

- ✓ 放射性廃棄物に含まれる有機物は、主にプラスチックシートに用いるポリエチレン等であり、固相として存在する有機物が放射性物質を収着する媒体として核種移行を遅延する可能性がある。一方で、有機物及びその分解生成物が浸透水中に存在する場合には、放射性物質と錯体を形成し、放射性物質の収着の低減により移動を促進することで、収着性に影響することが考えられる。
- ✓ 収着性に関連する地下水移行において被ばく線量寄与の大きい放射性物質のうち, H-3及びCI-36は, 収着性を期待できないため, 収着分配係数を0としている。また, C-14は保守的に収着分配係数を0と設定することで, 収着性を期待していない。また, 有機物の影響が大きいものとして挙げられるものは, 主に遷移元素及びα核種であるが, これらの放射性物質は被ばく線量寄与が小さい。
- ✓ したがって、「C5:バリア材料中の有機物(錯体形成含む)」は影響事象として考慮しない。

OC6:バリア材料中の微生物

- ✓ 廃棄物埋設地近傍に存在する微生物の活動によって, 有機物が無機化し, 収着性が低下することが考えられる。
- ✓ 無機化によって影響を受けるC-14の収着性については、保守的に収着分配係数を0と設定しており、微生物の影響 を考慮しても収着性は変わらないことから、「C6:バリア材料中の微生物」は影響事象として考慮しない。

参考資料

3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(補足)

ーDEM解析に用いる諸条件の設定ー

→→→ 3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(1/7) 参考資料

✓ 解析に用いる諸条件の設定

DEM解析における検討断面は、東側埋設トレンチのN-S断面を対象とした。

陥没現象を保守的に評価するために、陥没対象となる放射性廃棄物の数量が多くなるように、<u>東側埋設トレンチに収</u> <u>納される放射性廃棄物が、全て鉄箱である場合を想定</u>した。なお、コンクリート類(コンクリートガラを除く)は、生体遮へ い体の鉄筋コンクリートブロックであるため、鉄箱のような砂充塡による空隙は生じないものであり、廃棄物層の沈下に 対して影響は与えない。

(1) 解析モデル

<u>断面のセンターラインを中心として左右の変形挙動は対称と仮定し、断面の左側のみをモデル化</u>した。解析における 各材料のモデル化は、各材料の試験結果を用いて設定した。解析における各材料のモデル化を第3-7表に、解析モデ ルの詳細及びDEM解析モデルを第3-11図に示す。



部材	使用材料・モデル化方針	設定根拠	
保護土層 (上層・下層)	設定密度は, 上層 : 関東ローム, 下層 : 砂質土の等価密度 その他は久慈川砂の物性値	保護土層は, 評価対象よりも上 部に位置しているため, 荷重が 再現できれば問題ない	水平方向固定
フィルタ層	クラッシャーラン(C-20)	三軸圧縮試験結果より設定	
排水層	単粒度砕石(S-30)	三軸圧縮試験結果より設定	粒子固定 (上層・下層)
遮水シート	モデル化しない※	-	[2007]:フィルタ暦
低透水性覆土	ベントナイト混合土	三軸圧縮試験結果より設定	: 低遗水性覆土, 侧部低遗水性 [////]: 基礎材 [////]: 中間覆土
基礎材	粒度調整砕石	三軸圧縮試験結果より設定	
側部低透水性覆土	ベントナイト混合土	三軸圧縮試験結果より設定	
中間覆土	久慈川砂	三軸圧縮試験結果より設定	
放射性廃棄物	_	鉄箱内の空隙の圧縮変形を, 放 射性廃棄物の粒子を強制的に 変位させることで再現	第3-11図 解析モデルの詳細(上),[
親杭	変形挙動を生じない材料(剛体)	_	

第3-7表 解析における各部材のモデル化

※初期段階で遮水シートの位置に相当する粒子を選定し、モニタリングすることで引張ひずみを出力し、引張応力を文献値と比較する。

→→→ 3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(3/7) 参考資料

(2) 解析用物性値の設定

DEM解析に用いるフィルタ層, 排水層, 低透水性覆土, 側部低透水性覆土, 基礎材及び中間覆土のパラメータは, 三軸圧縮試験を行い, 試験結果を再現できるパラメータをフィッティング解析で求め, DEM解析における解析用物性値を設定した。ただし, 保護土層については, 粒子密度以外は久慈川砂(自然含水比)の解析用物性値を設定した。

各部材の解析用物性値

各部材の解析用物性値を第3-8表に示す。

部材	粒子密度 (kg ∕ m ³)	粒子半径 (m)	バネ係数 (N∕m)	粘性減衰係数 (N/m▪s)	粒子間摩擦角 ([°])	転がり摩擦係数 (一)	引張限界力 (N)
保護土層 (上層·下層)	2,350	0.084~0.12	4.00 × 10 ⁶	7.42 × 10 ³	20	0	0
フィルタ層	3,250	0.084~0.12	3.40×10^{6}	8.04 × 10 ³	30	0.12	0
排水層	2,100	0.084~0.12	1.00 × 10 ⁶	3.55 × 10 ³	30	0.01	0
低透水性覆土, 側部低透水性覆土	3,250	0.084~0.12	5.00 × 10 ⁶	9.75×10 ³	30	0.05	7,700
基礎材	3,400	0.084~0.12	3.40×10^{6}	8.23 × 10 ³	30	0.09	0
中間覆土	2,500	0.084~0.12	4.00×10^{6}	7.65 × 10 ³	20	0	0
中間覆土 (廃棄物間)	2,500	0.034~0.049	1.63 × 10 ⁶	1.28 × 10 ³	20	0	0

第3-8表 各部材の解析用物性値

解析用物性値の設定の詳細については、「補足説明資料4 廃棄物埋設地の状態設定(状態変化の評価)」(補4-11~補4-22)参照。



(3) 強制変位量

鉄箱が変形することによって発生する陥没量は,鉄箱を考慮しない放射性廃棄物をモデル化した粒子に強制的に変位量 を与えることでモデル化した。放射性廃棄物の陥没のモデル化のイメージを第3-12図に示す。強制変位量(陥没量)の設定 については次頁以降を参照。
/放射性廃棄物のモデル化範囲





第3-12図 放射性廃棄物の陥没のモデル化のイメージ

(4) 解析における上載荷重

解析における上載荷重を第3-13図に示す。 ^{積雪荷重(0,6 kN/m²)*²}



※1:車両等による荷重を考慮する。なお, 覆土の 1:1.8勾配の法面には, 車両等が通行すると考え にくいことから, 作用させない。

※2:「建築基準法施行令第86条」及び「茨城県建築基 準法等施工細則第16条の4」に従って設定する。 積雪時には、車両等は通行しない、又は除雪をし てから車両等が通行すると想定し、積雪荷重と上 載荷重を重畳させないこととする。両者の荷重を 比較すると、常時の積雪荷重よりも上載荷重が大 きいことから、上載荷重を作用させる範囲では、 荷重値が大きい上載荷重のみを考慮し、積雪荷 重は考慮しない。したがって、積雪荷重を考慮す る範囲は、覆土の1:1.8勾配の法面となる。

3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(5/7) 参考資料

✓ 状態変化の評価(陥没現象)に用いる初期条件

- 状態変化の評価は、廃棄物層の沈下に起因した物理的・化学的相互作用を踏まえて、側部低透水性覆土、低透水性 覆土及び遮水シートの低透水性への力学的影響評価を行う。
- 第3-9表に廃棄物埋設地に埋設する放射性廃棄物及び鉄箱に係る初期条件を整理する。

	対象	放射性廃棄物及び鉄箱に係る初期条件
	金属類	配管などの金属廃棄物を切断し, 鉄箱に収納する。
放射性 廃棄物	コンクリート類	原子炉建屋の生体遮へい体であり、鉄筋コンクリートをある程度の大きさに切断し、 プラス <u>チックシートでこん包</u> する。ただし、コンクリートコアなどを破砕したコンクリートガラは、鉄箱に 収納する。
	鉄箱	金属類及びコンクリートガラの収納には,約1.4 m×約1.4 m×約0.9 mの鉄箱を用いる。収納 する際には, <u>有害な空隙が生じないように砂を充塡</u> する措置を施す。

第3-9表 放射性廃棄物及び鉄箱に係る初期条件

✓ 状態変化における陥没量の設定

- 鉄箱に金属類及びコンクリートガラを収納する際には、有害な空隙が生じないように砂を充塡する措置を施すが、地震の振動や応力によって、充塡砂の見かけ密度が上昇することにより微小な空隙が発生し、放射性廃棄物が陥没する可能性が考えられる。ただし、コンクリート類(コンクリートガラを除く)は、生体遮へい体の鉄筋コンクリートブロックであるため、鉄箱のような砂充塡による空隙は生じないものと考えた。
- 見かけ密度の上昇を想定するに当たっては、砂の相対的な締まり具合いを示す指標として、相対密度D_rがある。
 *e_{max}*及び*e_{min}*はJIS A 1224「砂の最小密度・最大密度試験方法」によって求められる。

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad \cdots \quad (1) \quad e = \frac{\rho_{\rm S}}{\rho_d} - 1 \quad \cdots \quad (2) \quad e_{\rm max}: 砂質 \pm 0$$

$$e_{\rm max}: 砂g \pm 0$$

$$e_{\rm max}: 0$$

・鉄箱に砂を充塡する際には、加振による充塡を行う(以下「振動充塡」という。)。振動充塡により、鉄箱全体での充塡 砂の相対密度が0.9以上になるように放射性廃棄物を製作する。陥没量の設定においては、鉄箱に充塡した砂の相 対密度が地震の振動や応力によって0.9から1.0になったと仮定して算出した値を、鉄箱内に生じる可能性がある空隙 として設定する。ただし、陥没量を保守的に設定するため、鉄箱内は全て砂で充塡されている状態を想定して、算定した。

> 鉄箱当たりの陥没量(m)={最大密度の充填量(kg)-相対密度の充填量(kg)} ÷ 最大密度(kg/m³) ÷ 鉄箱の底面積(m²)

- 鉄箱内に生じる可能性がある空隙からの陥没量は,0.02 mとなる。放射性廃棄物は中間覆土を間において3段で埋設 する計画であることから、廃棄物層の沈下量は放射性廃棄物を3段分で算定し、0.06 mと設定する。
- ・ したがって, <u>廃棄物層に生じる可能性がある沈下量を0.06 mと設定</u>する。

参考資料

3. 廃棄物埋設地の状態設定 状態変化の評価(補足)

ー室内試験で取得したベントナイト混合土の透水係数と 有効モンモリロナイト乾燥密度の関係の補足-



✓ 室内試験で取得したベントナイト混合土の透水係数と有効モンモリロナイト乾燥密度の関係の補足



(1)地盤工学会(2016):低透水性土質系材料の活用と性能評価技術に関する研究委員会 研究報告書

参考資料

7. 線量評価パラメータ(補足) 年間浸透水量

-浸透流解析に用いる遮水シートの透水係数の 設定について-

第二7.線量評価パラメータ(補足) 年間浸透水量(1/7) 参考資料

▶ 年間浸透水量の設定(モデル・解析パラメータ)

以下の考え方を踏まえて、EPAガイド⁽¹⁾を参考に、遮水シートに対する最大水頭を算出し、HELPにおける遮水シートからの漏えい量を 算出し、それを換算した透水係数を求める。漏えい量は、損傷の程度別に求めた漏えい量の合計である。

- ✓ 高密度ポリエチレン(HDPE)の透水係数と厚さ
 HELPマニュアル⁽²⁾のジオメンブレンの物質移行特性より、2×10⁻¹⁵ m/sと設定する。厚さは1.5 mmと設定する。
- ✓ <u>遮水シートの上下層の透水性</u>
 - ・ 遮水シートに対する最大水頭
 EPAガイドを参考に、排水層の最大流量及び飽和透水係数より最大水頭を算出する。
 - 下層の透水係数 低透水性覆土上:1.0×10⁻¹⁰ m/s(最も可能性が高い), 2.0×10⁻¹⁰ m/s(最も厳しい) 基礎材上 :1.22×10⁻⁴ m/s
- ✓ <u>遮水シートと下層との接触状態</u>

低透水性覆土上:Good(遮水シートの下層の圧縮がしっかりされており,遮水シートに若干のたわみがある状態) 基礎材上 :Poor(遮水シートの下層の圧縮が不十分であり,遮水シートに一定のたわみがある状態)

- ✓ <u>遮水シートの損傷状態</u>
 - ・ 遮水シートの穴及び設置不具合の個数 損傷密度n=0.0025(個/m²)と設定する(JAEA報告書⁽³⁾を参考に, Poorの状態で設定)。
 - ・ 遮水シートの穴及び設置不具合の大きさ HELPマニュアル⁽²⁾において遮水シートの穴の大きさは遮水シートの厚み以下と想定しており, 遮水シートの厚みは米国において一般的に40 mil(≒1.0 mm)であるため, 直径を0.001 m(半径0.0005 m), 面積を7.84×10⁻⁷ m²と設定している。また, HELPにおいて 遮水シートの設置不具合の大きさは1 cm²(20 mm×5 mm)の使用を推奨しているため, 面積が1 cm²となる円の直径0.0113 m(半径 0.00565 m)を設置不具合の直径として設定する。

(1) United States Environmental Protection Agency (2004) : (Draft) Technical Guidance For RCRA/CERCLA Final Covers, 2004.4

(2) Paul R, Schroeder, Tamsen S. Dozier, Paul A. Zappi, Bruce M. McEnroe, John W. Sjostrom and R. Lee Peyton (1994) : : The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: B (Set Includes, A- User's Guide for Version 3 w/disks, B-Engineering Documentation for Version 3

(3)黒澤亮平,坂井章浩,仲田久和,天澤弘也,坂本義昭(2014):研究施設等廃棄物のトレンチ処分施設の上部覆土内への浸透水量の評価, JAEA-Technology 2014-013

参考資料

7. 線量評価パラメータ(補足) 年間浸透水量

ー代表断面における浸透流解析結果-(遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合)

7. 線量評価パラメータ(補足) 年間浸透水量(2/7)

- チ年間浸透水量の設定(解析結果)
- ✓ 飽和度分布(第7-1図)より,保護土層(上層)については,降雨を設定する層であることに加え粘性土で保水性が高いため,低透水性覆土を除く その他の材料よりも飽和度が高くなっていることが分かる。保護土層(下層)及びフィルタ層については,降雨量に対して排水性が高いため飽和 度が比較的小さくなっていることが分かる。排水層については,保護土層(下層)及びフィルタ層と同様に排水性が高く飽和度が小さくなっている が,浸透水が流れる排水層底面要素の飽和度が大きくなっており,浸透水の排水を表現できていることが分かる。基礎材,基盤材,中間覆土及 び原地盤については,遮水シート及び低透水性覆土による浸透水量の低減により,飽和度が小さくなっていることが分かる。
- ✓ 比透水係数分布(第7-2図)より、浸透水がほとんど流入しない箇所で比透水係数の下限値が参照されているが、下限値を設定しない場合、参照 される比透水係数が非常に小さな値となり低透水な領域が生じることになる。一方で、砂礫層や砂地盤が測定できないような低透水となるのは現 実的ではないと考えられるため、実験値を踏まえた下限値を設定したことにより、より現実的な評価ができていると考えられる。
- ✓ 全水頭分布(第7-3図)より,低透水性覆土よりも下側の領域の全水頭が,設定した地下水位と等しい2 mからおおむね変化していないことが分かる。この結果は,低透水性覆土よりも下側の領域から地下水面へ向かう流れがほとんどないことを示しており,低透水性覆土を通過する浸透水量が非常に少ないことが考察される。
- ✓ 圧力水頭分布(第7-4図)より,以下のように考察される。
 - ① 地下水面として設定した標高2 m地点で圧力水頭が0になっていることから, 設定した解析条件(地下水位)が正しく反映されている。
 - ② 保護土層(上層)の圧力水頭が大きくなっており,排水層の圧力水頭が排水層底面に向かうほど大きくなっていることから,保護土層(上層)は 降雨を設定する層であることに加え,粘性土で保水性が高く,また,排水層は排水性が高く,透水係数が小さい遮水シート上部である排水層 底面に浸透水が集まっている。
 - ③ 低透水性覆土よりも下側の領域の圧力水頭の標高に対して直線的に小さくなっており、おおむね自然状態(地下水面からの距離と負の圧力 水頭が等しい状態)になっていることから、比較的高透水性の材料で構成されており浸透水量に対する排水性が高いため、自然状態から飽和 度が変化せず圧力水頭も変化していない。
 - ④ 排水層と低透水性覆土の間(遮水シート)で圧力水頭が大幅に小さくなっていることから,比較的透水係数が大きい排水層までは降雨が浸透するため圧力水頭が大きくなるが,透水係数が小さい遮水シートにより下層への浸透水量が低減され,低透水性覆土上部の圧力水頭が小さくなっている。



> 年間浸透水量の設定(解析結果)



参考資料

7. 線量評価パラメータ(補足) 年間浸透水量

ー浸透流解析結果-(遮水シートによる浸透水低減を考慮しない場合)



チ年間浸透水量の設定(解析結果)

(m)



第7-5図~第7-12図に<u>最も可能性が高い自然事象シ</u> ナリオにおいて,遮水シートによる浸透水低減を考慮 しない場合の解析結果を示す。

第7-5図より, 遮水シートによる浸透水低減を考慮す る場合と比較して, 施設通過流量が増加し, 廃棄物 層の全水頭が大きくなっている。



第7-5図 全水頭コンター図(遮水シートによる浸透水低減を考慮しない場合)

第7-6図より, 排水層底面付近の要素の流速が大きく なっており, 浸透した降雨が排水層を選択的に流れ た後, 低透水性覆土の端部付近の基礎材から地盤 に浸透していくことが分かる。また, 浸透水の一部が 水平移行部付近まで流れた後, 地盤へと浸透してい くことを示している。





第7-7図より, 遮水シートによる浸透水低減を考慮す る場合と比較して基礎材への浸透量が大幅に増加し た結果, 低透水性覆土の端部付近の基礎材から地 下に向かうように体積含水率が高くなっており, 低透 水性覆土の端部付近の基礎材から地盤へ浸透して いることを示している。

第7-8図から、以下のことが考察される。 遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合では、 排水層の水平移行部から地盤に浸透しているのに対 して、遮水シートによる浸透水低減を考慮しない場合 では、低透水性覆土の端部から地盤に向かって浸透 している。この結果は、遮水シートによる浸透水低減 を考慮する場合では、水平移行部まで浸透水が低減 されているのに対して、遮水シートによる浸透水低減 されているのに対して、遮水シートによる浸透水低減 されているのに対して、遮水シートによる浸透水低減 が低透水性覆土

(注)ここで示す流線図は施設通過流量と対応関係にあるものではなく、モデル全体のおおまかな水の 挙動を示すための図として示している。

7.線量評価パラメータ(補足) 年間浸透水量(6/7) 参考資料

- チ年間浸透水量の設定(解析結果)
- ✓ 飽和度分布(第7-9図)より,保護土層(上層)については,降雨を設定する層であることに加え粘性土で保水性が高いため,低透水性覆土を除く その他の材料よりも飽和度が高くなっていることが分かる。保護土層(下層)及びフィルタ層については,降雨量に対して排水性が高いため飽和 度が比較的小さくなっていることが分かる。排水層については,保護土層(下層)及びフィルタ層と同様に排水性が高く飽和度が小さくなっている が,浸透水が流れる底面要素の飽和度が大きくなっており,浸透水の排水を表現できていることが分かる。低透水性覆土については,遮水シート による浸透水低減を考慮する場合と比較して飽和度が大きくなっており,遮水シートによる浸透水の低減を表現できていることが分かる。基礎材, 基盤材,中間覆土及び原地盤については,低透水性覆土による浸透水量の低減により,飽和度が小さくなっていることが分かる。
- ✓ 比透水係数分布(第7-10図)より,浸透水がほとんど流入しない箇所で比透水係数の下限値が参照されているが,下限値を設定しない場合,参照される比透水係数が非常に小さな値となり低透水な領域が生じることになる。一方で,砂礫層や砂地盤が測定できないような低透水となるのは現実的ではないと考えられるため,実験値を踏まえた下限値を設定したことにより,より現実的な評価ができていると考えられる。
- ✓ 全水頭分布(第7-11図)より、低透水性覆土よりも下側の領域から地下水面へ向かう流れが少ないことを示しており、低透水性覆土の浸透水の低減効果が表現されている。
- ✓ 圧力水頭分布(第7-12図)より,以下のように考察される。
 - ① 地下水面として設定した標高2 m地点で圧力水頭が0になっていることから, 解析条件(地下水位)が正しく反映されている。
 - ② 保護土層(上層)の圧力水頭が大きくなっているのは、保護土層(上層)は降雨を設定する層であることに加え、粘性土で保水性が高い。また、 排水層の圧力水頭が排水層底面に向かうほど大きくなっているのは、排水性が高く、透水係数が小さい低透水性覆土上部である排水層底面 に浸透水が集まっている。
 - ③ 遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合では排水層と低透水性覆土の間(遮水シート)で圧力水頭が大幅に小さくなっているのに対して, 低透水性覆土で圧力水頭が大幅に小さくなっている。これは,遮水シートによる浸透水低減を考慮する場合では,厚さ1.5 mmの遮水シートに よる浸透水の低減効果により,遮水シートの上下で圧力水頭が大きく変化する結果となっている。一方で,遮水シートによる浸透水低減を考 慮しない場合では,遮水シートの機能が喪失しており,低透水性覆土の浸透水低減効果により厚さ1.0 mの低透水性覆土上下で圧力水頭が 大きく変化するため,相対的に緩やかな圧力水頭の変化となっている。



▶ 年間浸透水量の設定(解析結果)



参考資料

7.線量評価パラメータ(補足) 埋設する廃棄物の種類 及び放射能量の設定

か射性廃棄物の種類及び数量



放射性廃棄物は、東海発電所から発生する固体状の廃棄物であって、<u>中性子線の作用によって放射化されたも</u> の(以下「放射化放射性物質」という。)、<u>原子炉冷却材等で汚染されたもの</u>(以下「汚染放射性物質」という。)又は その両方を含むものである。東海発電所における汚染移行経路としては、<u>気体が循環する原子炉冷却系</u>(以下「ガ ス系」という。)と<u>廃液が循環する廃液系</u>がある。放射性廃棄物の種類は、これらの汚染形態に応じて分類された<u>金</u> 属類及びコンクリート類がある。

故射性感奋物の插粨		无处形能 无处形能		物量(t)			
瓜利工产未初		パネル窓	小計	合計		生政时间安	
今日和		放射化放射性物質	約600	<u> </u>	%ካፍ 100	<u> </u>	
业周炽		汚染放射性物質	約5,500	നി90,100 100		(鉄箱内に砂を充塡 鉄箱	
	ブロック	放射化放射性物質	約9,400		約16,000	プラスチックシート	
コンクリート類	ガラ	放射化放射性物質	約100	約9,900	約9,900		
		汚染放射性物質	約400				(鉄箱内に砂を充塡) 鉄箱

第7-1表 放射性廃棄物の種類及び数量

主要な放射性物質ごとの総放射能量の設定



 ✓ 廃棄確認における分析・測定の精度など、<u>今後の評価における放射能量の変動を踏まえて1.2倍(全α</u> <u>についてはビルドアップを考慮して更に1.2倍)</u>し、有効数字2桁となるように切り上げた値で設定。
 ✓ <u>CI-36</u>はガス系金属が大部分であり、除染によって低減を行うため、一定の放射能濃度を上限として 管理することが可能であることから、裕度を見込まない。

		区画別放射能量			
瓜豹汪彻貝	芯瓜別配重(BQ)	金属類の放射能量(Bq)※	コンクリート類の放射能量(Bq)		
H-3	1.4 × 10 ¹²	5.3×10^{11}	8.2 × 10 ¹¹		
C-14	1.2 × 10 ¹⁰	8.6 × 10 ⁹	2.8 × 10 ⁹		
CI-36	1.8 × 10 ¹⁰	1.8 × 10 ¹⁰	4.5 × 10 ⁸		
Ca-41	3.4 × 10 ⁹	_	3.4 × 10 ⁹		
Co-60	1.3 × 10 ¹¹	1.2×10^{11}	9.7 × 10 ⁹		
Sr-90	1.7 × 10 ⁹	1.5 × 10 ⁹	1.2 × 10 ⁸		
Cs-137	9.1 × 10 ⁸	8.1 × 10 ⁸	1.0 × 10 ⁸		
Eu-152	5.5 × 10 ¹⁰	_	5.5 × 10 ¹⁰		
Eu-154	2.5 × 10 ⁹	_	2.5 × 10 ⁹		
全 α	1.4 × 10 ⁸	7.1 × 10 ⁷	6.4 × 10 ⁷		

第7-2表 主要な放射性物質の総放射能量及び区画別放射能量

※「-」は主要な放射性物質に選定されないため、設定なし。

主要な放射性物質ごとの最大放射能濃度の設定



✓ 主要な放射性物質の最大放射能濃度は、廃棄確認における外部非破壊測定の精度など、<u>今後の評</u> <u>価における放射能量の変動を踏まえて、機器ごとの最大の放射能濃度を10倍にして設定</u>。

第7-3表 主要な放射性物質の最大放射能濃度

放射性物質	最大放射能濃度(Bq/t)
H-3	3.0 × 10 ⁹
C-14	5.0 × 10 ⁷
CI-36	1.0 × 10 ⁸
Ca-41	2.0 × 10 ⁷
Co-60	8.0×10 ⁹
Sr-90	1.0 × 10 ⁷
Cs-137	7.0 × 10 ⁶
Eu-152	3.0 × 10 ⁸
Eu-154	9.0 × 10 ⁶
全 α	4.0 × 10 ⁶

- ✓ CI-36については、放射能濃度が高いものは、 ガス系金属の汚染放射性物質であり、除染により放射能濃度の低減を図ったうえで、埋設する計 画であるため、一部の機器に極端に高い放射能 濃度が含まれるものではない。
- ✓ このため、「低レベル放射性固体廃棄物の埋設 処分に係る放射能濃度上限値について」(原子力 安全委員会)に示されたトレンチ処分の区分値充 足性の評価の値を参考として、最大放射能濃度 を1×10⁸ Bq∕tと設定。



参考資料

8. 線量評価結果(補足)

※ 8. 線量評価結果(1/6)(補足)



第8-1表 線量評価結果(1/6)

目的外使用·複製·開示等禁止 2024.10 日本原子力発電株式会社

※ 8. 線量評価結果(2/6)(補足)



第8-2表 線量評価結果(2/6)

目的外使用·複製·開示等禁止 2024.10 日本原子力発電株式会社

※ 8. 線量評価結果(3/6)(補足)



第8-3表 線量評価結果(3/6)

目的外使用·複製·開示等禁止 2024.10 日本原子力発電株式会社

※ 8. 線量評価結果(4/6)(補足)



第8-4表 線量評価結果(4/6)

目的外使用·複製·開示等禁止 2024.10 日本原子力発電株式会社

※ 8. 線量評価結果(5/6)(補足)



第8-5表 線量評価結果(5/6)

目的外使用·複製·開示等禁止 2024.10 日本原子力発電株式会社

50

※ 8. 線量評価結果(6/6)(補足)



第8-6表 線量評価結果(6/6)

目的外使用·複製·開示等禁止 2024.10 日本原子力発電株式会社

51