

## 2013年4月に発生した東京電力福島第一原子力発電所内地下貯水槽の遮水性能に関する ダルシー則に基づくトラベルタイムの観点からの考察

早稲田大学 正会員 ○小峯秀雄

### 1. 背景・目的

本論文では、2013年4月上旬に発生した東京電力・福島第一原子力発電所内の地下貯水槽の汚染水漏洩に関して地盤工学的な視点から考察し、一部風評的な評価を受けたであろうベントナイト系遮水技術の信頼を回復することを目的とする。本遮水技術は、一般・産業廃棄物処分場の底部遮水層として多くの実績があり、2030年代の実施予定を目指して技術開発を行ってきた高レベル放射性廃棄物地層処分をはじめとする各種放射性廃棄物処分プロジェクトにおいて人工バリア・緩衝材として期待されている<sup>1)~7)</sup>。土木工学分野で真摯に技術開発されてきたベントナイト系遮水技術の信頼性が正当に評価されるためにも、本論文を記すこととする。

### 2. 問題点の再確認と当該地下貯水槽の遮水性能のトラベルタイムによる評価

一般的な地下貯水槽に要求される性能は「水を貯める機能」であり、内容水の漏洩を可能な限り防止するという性能は要求されていない。すなわち地下貯水槽とは、外部から流入する水量が外部に流出する水量よりも大きくなる程度の遮水工を敷設することにより、「水を貯める機能」を達成している。したがって、「内容物を可能な限り外部に漏洩させない機能」は、当該地下貯水槽の設計において、そもそも要求されていなかった可能性がある。なぜなら、一般的な地下貯水槽では、環境に負荷を与えることの少ない浄化された水を貯留し、たとえ内容物が漏洩しても外部の環境への影響は小さいからである。当該地下貯水槽の当初の設計における前提条件も、読売新聞2013年4月10日社説より原文「貯水槽にはもともと、浄化した水を入れる方針だったが、審査の遅れで、汚染水のまま貯めざるを得なくなった経緯がある。」と報じられていることから、浄化した水を保管する計画であったと推測される。しかし2013年4月10日現在では、放射性ストロンチウムを含む汚染水を貯留していたという点において、上述の貯水槽としての要求性能では不十分であった。この運用において、施設に要求される性能は「内容物を可能な限り漏洩させない」という性能に変更されなければならないことを強く認識すべきである。すなわち、当該施設の設計段階で求めていたであろう「水を貯める機能」という性能から「内容物を可能な限り漏洩させない」という性能の観点から設計変更と、再施工もしくは補強対策が行われるべきである。その場合、「内容物を可能な限り漏洩させない」性能を有する管理型廃棄物処分場の遮水工設計と施工に関する実績が有効な情報となる。上述の論理展開に関しては、参考文献1), 2)に詳述している。

管理型廃棄物処分場の遮水工の性能を評価する方法の一つに、トラベルタイムの計算がある<sup>3)</sup>。トラベルタイムとは、ダルシー則に従って、水分子が遮水層を通過し外部に漏出するまでに要する時間を、一次元問題と仮定し算出するものである(図1参照)。現状の6.4mmのベントナイトシートの透水係数を $10^{-9}$ cm/secと仮定し<sup>4)</sup>、地下貯水槽内の水位を6mおよび8mと想定して<sup>4)</sup>、トラベルタイムを計算すると以下ようになる。

$$\text{貯水水位が6mの場合: } T = \frac{L^2}{k(L+H)} = \frac{0.64^2}{10^{-9} \times (0.64 + 600)} = \frac{0.4096}{0.00000060064} = 681939.3(\text{sec}) = 7.9(\text{day})$$

$$\text{貯水水位が8mの場合: } T = \frac{L^2}{k(L+H)} = \frac{0.64^2}{10^{-9} \times (0.64 + 800)} = \frac{0.4096}{0.00000080064} = 511590.7(\text{sec}) = 5.9(\text{day})$$

以上のように、2枚の高密度ポリエチレンシート(HDPE)と6.4mmのベントナイト遮水シートにより構成される現状の遮水工では、一週間程度と極めて短時間に外部に、水分子は流出する可能性があることが分かる。なお、上記の計算では、HDPEの遮水性能は考慮していないが、HDPEの遮水性能は、不可抗力的な事象(HDPE

キーワード ベントナイト, 汚染水対策, 透水係数, 原子力発電所, 事故対応

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学術院 E-mail: hkomine@waseda.jp

の接合部の破損など)により遮水性能は失うという前提のものである。

以上の計算結果は、2013年4月10日現在、報道された当該地下貯水槽の現状と、ほぼ整合していると考えられる。すなわち「ベントナイトの層厚が、“内容物を可能な限り漏洩させない”という要求性能の観点から不足している」ことが原因の一つであると言える。

3. 例えばどのような対策が考えられるか。

そこで管理型廃棄物処分場の遮水工を参考に、締固めたベントナイト層を、施設底部に敷設し直し、あらためて、現状のような遮水シートを敷設するという方法が有効な対策として考えられる。粒状ベントナイトを乾燥密度1.6g/cm<sup>3</sup>程度に締固めることにより、10<sup>-10</sup>~10<sup>-11</sup>cm/sec程度の透水係数を確保できるという実績は数多くある<sup>5),6)</sup>。一般・産業廃棄物処分場の建設においても、数多くの実績がある<sup>7)</sup>。これらを参考に、例えば50cm程度の層厚に、粒状ベントナイトを乾燥密度1.6g/cm<sup>3</sup>程度に敷設することにより、相当な遮水性能を確保できると考えられる。前述のトラベルタイムにより、このような相当厚のベントナイト層の遮水性能を以下に試算する。すなわち、貯水水位8mを想定して、

$$\text{透水係数 } k=10^{-10} \text{ cm/sec の場合: } T = \frac{L^2}{k(L+H)} = \frac{50^2}{10^{-10} \times (50+800)} = \frac{2500}{0.000000085} = 29411764705.9(\text{sec}) = 933(\text{year})$$

$$\text{透水係数 } k=10^{-11} \text{ cm/sec の場合: } T = \frac{L^2}{k(L+H)} = \frac{50^2}{10^{-11} \times (50+800)} = 9326(\text{year})$$

以上のように、漏水するまでに要する時間は、現状よりも格段に改善できることになる。100年以上のトラベルタイムを有する遮水層の設計・施工は十分実施可能と考えられる(図2参照)。

実用の遮水性能から考えて、上記の材料仕様は、設計上、過剰と考えられるが、トラベルタイムが20年、50年もしくは100年となるように、材料仕様と層厚を上記の方法と同様に設計することができる。施工性を踏まえると、層厚を減じるよりも、透水係数の性能を減じた材料仕様(ベントナイトの配合割合や乾燥密度)を設計するのが現実的と考える。また、鉛直遮水壁を設ける方法も有効と考えられる。前述の新規の締固めベントナイト層相当の透水係数と層厚の鉛直遮水壁を建設できれば、上記のトラベルタイム計算結果相当の遮水工も十分可能である。鉛直遮水壁の施工は、TRD工法が高い実績を有している。原位置土とベントナイトを混合することにより難透水性壁体を構築するソイルベントナイト連続遮水壁工法も開発されている<sup>8)</sup>。以上に想定した対策工に関しての施工実績は、数多くあり、十分実現可能なものとする(図2参照)。

参考文献

- 1) 小峯秀雄: ベントナイト系遮水材の性能評価に関する地盤工学的見解—2013年4月に発生した東京電力福島第一原子力発電所内地下貯水槽からの汚染水漏洩に関する風評的評価を払しょくするために—, 第10回地盤工学会関東支部発表会, 2013/10/04.
- 2) 小峯秀雄: 産業廃棄物処分における粘土の利用, 粘土科学(日本粘土学会誌), 第43巻, 第3号, pp.162-167, 2004.
- 3) 嘉門雅史, 勝見武: 廃棄物処分における地盤工学的諸問題, 第44回地盤工学シンポジウム発表論文集, 地盤工学会, pp.35-40, 1999.
- 4) 東京電力ホームページ: 地下貯水槽の概要, 平成25年度4月6日)
- 5) 矢田 勤, 秋山吉弘, 中島昌樹, 中島貴弘, 竹内 信, 石井健嗣, 小林一三: 放射性廃棄物処分における狭隙部ベントナイト緩衝材の吹付けによる施工結果評価について—平成23年度地下空洞型処分施設性能確認試験による—, 第47回地盤工学研究発表会発表論文集, 2012.
- 6) 中島貴弘, 秋山吉弘, 中島昌樹, 矢田勤, 千々松正和, 山田淳夫: 放射性廃棄物処分における狭隙部ベントナイト緩衝材の小型振動ローラによる施工結果評価について—平成23年度地下空洞型処分施設性能確認試験による—, 第47回地盤工学研究発表会発表論文集, 2012.
- 7) 成島誠一, 水野正之: ベントナイト碎石の締固め度に関する土質特性, 第47回地盤工学研究発表会, pp. 1969-1970, 2012.
- 8) 高井敦史, 乾徹, 勝見武, 嘉門雅史, 荒木進: ソイルベントナイト連続遮水壁の遮水性能に及ぼす影響因子, 土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 68, No. 1, pp. 1-14, 2012.

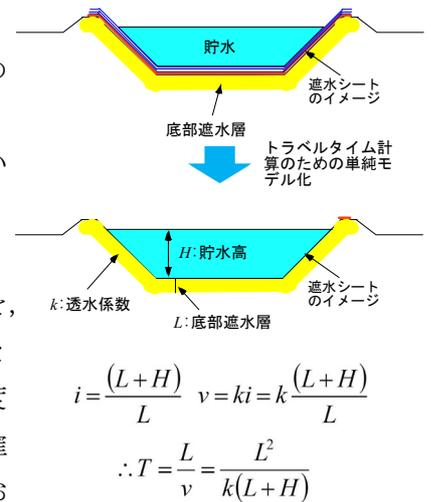


図1 トラベルタイムの概念図

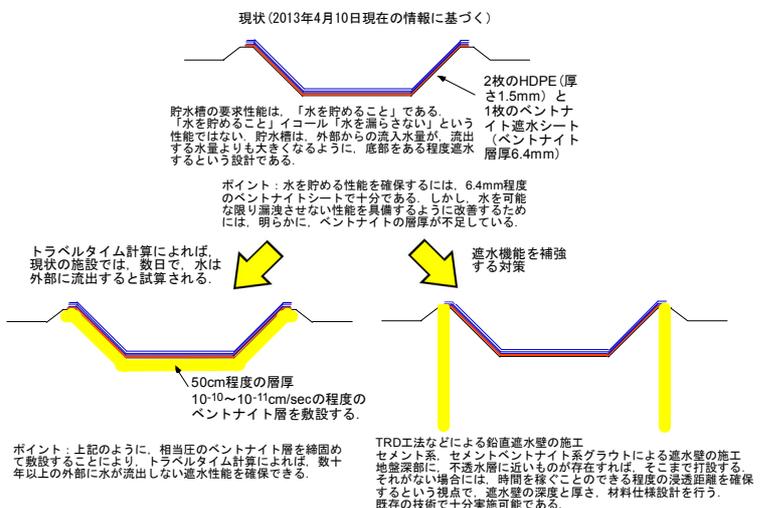


図2 今後考えられる対策のたたき台の一案