

大気圧条件におけるバライト粉末混合ベントナイトスラリーの遮水性能の評価

早稲田大学 学生会員 ○吉川絵麻 正会員 小峯秀雄 フェロー会員 後藤茂
 (株)ホーゲン 正会員 氏家伸介 西武建設(株) 正会員 成島誠一
 (株)テルナイト 正会員 長江泰史 ソイルアンドロック E 正会員 吉村貢

1. はじめに 福島第一原子力発電所は、2011年東北地方太平洋沖地震によって深刻な被害を受けた。損傷した原子炉からの放射性物質の漏洩防止のため、厳しい放射線環境下で実現可能な液相部閉じ込めシステムの構築が必要とされている¹⁾。このような放射線環境下において、迅速かつ確実に廃止措置を実行するためには、複数の性能を有する補助材料の使用が望ましい。本研究では、透水性の低いNa型ベントナイトのスラリーに対して加重材であるバライト粉末を添加することで遮水材料に放射線遮蔽性能を付加した充填型土質材料であるバライト粉末混合ベントナイトスラリーを検討した²⁾。図1に原子炉建屋と施工イメージを示す。本論文では、バライト粉末混合ベントナイトスラリーの変水位透水試験について述べた。

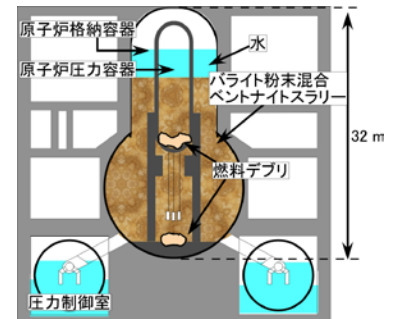


図1 原子炉建屋と施工イメージ

2. 使用した試料および変水位透水試験の条件 バライト粉末混合ベントナイトスラリーは、分散媒である二リン酸ナトリウム水溶液に対して、粒子沈降を防ぐNa型ベントナイトおよび高比重を付加するための加重材バライト粉末を添加した泥水である。本研究では、バライトを添加しない比重1.1のベントナイトスラリーおよび比重1.8、比重2.5の2種類のバライト粉末混合

表1 使用スラリーの配合 (仕上がり 1 m³)

比重	水道水 (kg)	バライト (kg)	Na型ベントナイト (kg)	二リン酸ナトリウム (kg)
1.1	980	0	118	2.0
1.8	719	1007	71.9	1.4
2.5	493	1972	34.5	0.99

ベントナイトスラリーを使用した。表1は、本実験で使用した材料の組成配合を示す。本試験では、JIS A 1218: 2009「土の透水試験」に従い変水位透水試験を行った。材料が損傷部の上流側から亀裂に充填された状況を想定し、試験条件は、供試体上方から流入、下方から流出とした。供試体寸法は、直径 $D=10$ cm、初期供試体高さ $L_0=10$ cm である。鉛直方向非拘束の条件の下で、透明アクリルモールドの側面から供試体高さ L の経時変化を測定した。最大試験日数は14日間で、図2の装置を用いて流入出量を測定し、式(1)および(2)により透水係数を算出した³⁾。

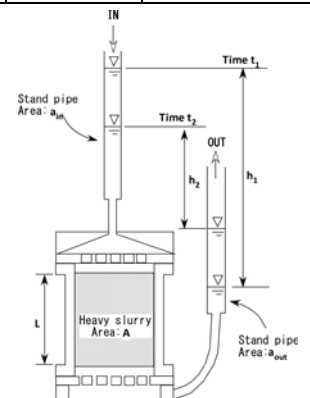


図2 変水位透水試験

$$k_T = 2.303 \frac{(a_{in} \times a_{out})L}{(a_{in} + a_{out})A(t_2 - t_1)} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \times \frac{1}{100} \quad (1) \quad k_{15} = k_T \cdot \frac{\eta_T}{\eta_{15}} \quad (2)$$

ここで、 k_T : $T^\circ\text{C}$ における透水係数(m/s)、 L : 時刻 t_2 における供試体の高さ(cm)、 a_{in} : 流入側のビュレットの断面積(cm^2)、 a_{out} : 流出側のビュレットの断面積(cm^2)、 A : 供試体の断面積(cm^2)、 $t_2 - t_1$: 測定時間(s)、 h_1 : 時刻 t_1 における水位差(cm)、 h_2 : 時刻 t_2 における水位差(cm)、 k_{15} : 温度 15°C の透水係数(m/s)、 η_T/η_{15} : 温度 15°C の透水係数を算出するための補正係数である。

3. 透水係数と止水性能発現メカニズムの考察 図3に経過時間と透水係数の関係を示す。試験開始直後において、比重1.1のスラリーの透水係数は 10^9 m/sec オーダー、比重1.8は 10^8 m/sec オーダー、また比重2.5は 10^9 m/sec オーダーを示した。バライトを添加していない比重1.1のベントナイトスラリーには、流入側ビュレットへの給水による影響が生じた。給水による動水勾配の急激な変化により、供試体内部の微細な構造が乱されることで、定常状態に至るまでに時間を要したと考えられる。一方、比重1.8および比重2.5のスラリー

キーワード 泥水、ベントナイト、バライト、遮水、変水位透水試験

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 社会環境工学科 TEL 03-5286-2940

一の透水係数は、試験時間の経過とともに低下し、最大 14 日間の試験で 10^{-10} m/sec オーダーまで低下した。したがって、これらのスラリーは、粒子が流出しない状況において、時間経過と共に実質的にほぼ不透水とされる高い遮水性を発現することが示された。このようなスラリー材料における透水係数の経時的な低下の要因として、圧密による空隙径の減少および含有粒子間の結合による内部構造の形成が考えられる。

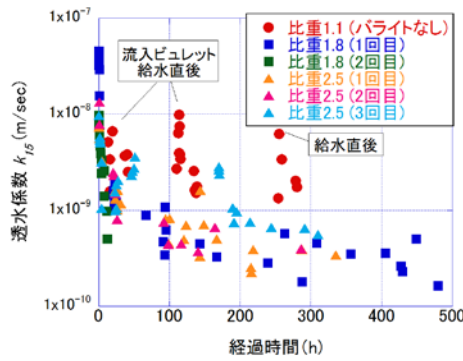


図 3 経過時間と透水係数の関係

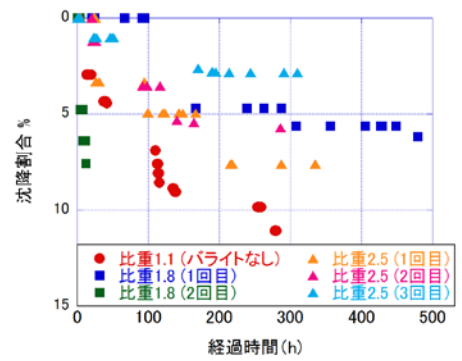


図 4 経過時間と沈下割合の関係

試験中の供試体高さは、上部からの透水に伴い経時的に減少した。図 4 に経過時間と沈下割合(=L/L₀×100)の関係を示す。供試体中の粒子間距離や空隙径の経時変化の代替指標として間隙比 *e* を用いた。図 5、図 6 および図 7 に間隙比と透水係数の関係を示す。図 5 より、比重 1.1 のベントナイトスラリーが示した透水係数は、ばらつきが大きく、間隙比の変化による影響がほとんど見られなかった。図 6 および図 7 より、バライト粉末を添加したスラリーには、2 段階の透水係数減少過程が存在することが示された。図 6 および図 7 より、初期の急激な透水係数低下後のゆるやかな変化は、圧密による間隙比の減少に起因すると考えられる。このとき、土粒子の密度が大きいバライト粒子が、透水係数の低下促進に寄与していると考えられる。

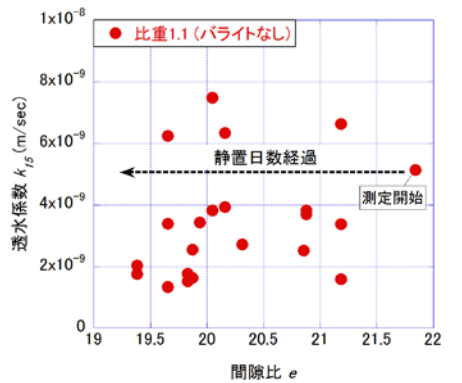


図 5 間隙比の減少に伴う透水係数の変化(比重 1.1)

本材料を損傷した建屋内部に充填した場合、最大 40 m 分の水圧あるいは自重により圧密が促進されことから、実際に発揮される性能は、本試験結果と比較して透水係数が小さくなり安全側の透水係数を示すと予想される。

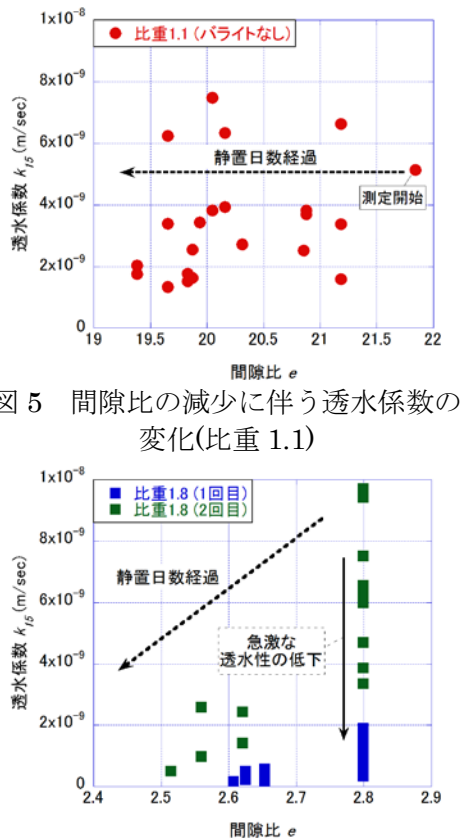


図 6 間隙比の減少に伴う透水係数の変化(比重 1.8)

4. 結論

本研究では、変水位透水試験を行うことで以下の結論が得られた。

- 1) 非拘束、大気圧条件下の透水試験において、バライト粉末混合ベントナイトスラリー比重 1.8 および比重 2.5 の透水係数は 24 時間以上の通水により、実質上不透水とされる 10^{-10} m/sec まで低下した。一方、バライト粉末を含有しないベントナイトスラリーは、時間経過による透水係数の減少は確認できなかった。
- 2) バライト粉末混合ベントナイトスラリーの透水試験では、試験開始直後の急激な透水係数低下に加え、間隙比の減少に起因するゆるやかな透水性低下が存在する。
- 3) ベントナイトスラリーの遮水性に関して、バライト粉末の添加が透水係数の低下促進に寄与した可能性がある。

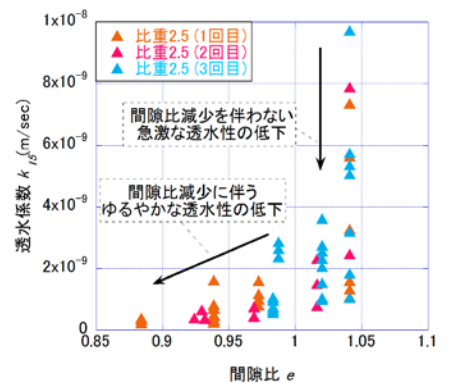


図 7 間隙比の減少に伴う透水係数の変化(比重 2.5)

謝辞：本研究の一部は、文部科学省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」の採択課題「福島第一原子力発電所構内環境評価・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的な新技術開発と人材育成プログラム（地盤工学会）」の支援により得られたものである。ここに感謝いたします。【参考文献】1) 原子力損害賠償・廃炉等支援機構：東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2017, pp.4-35-4-37, 2017. 2) 吉川絵麻, 小峯秀雄, 後藤茂ら：土質系材料の放射線遮蔽性能の定量評価, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol. 73, No. 4, pp. 342-354, 2017. 3) 公益社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と開設-二分冊の 1-, pp. 447-459, 丸善出版株式会社, 2009.