

## 圧密試験を援用した超重泥水の加圧に伴う排水量および透水係数の定量評価

早稲田大学 学生会員 ○宮路将人 学生会員 吉川絵麻 学生会員 瀬川一義  
早稲田大学 正会員 小峯秀雄 フェロー会員 後藤茂  
NB 研究所 正会員 氏家伸介 正会員 成島誠一 正会員 長江泰介

### 1. 序論

平成 23 年東北地方太平洋沖地震とそれに伴う事故により大きく損壊した福島第一原子力発電所では現在も廃止措置に向けた取り組みが進められている<sup>1)</sup>。この取り組みでは放射性物質によるリスクの低減が重要な課題となっており、そこで氏家ら<sup>2)</sup>により充填型土質系材料「超重泥水」が提案された。超重泥水は高い放射線遮蔽性能、遮水性能を有する高比重・高含水の泥水であり、燃料デブリ取出し等の作業において、被爆リスクの低減、汚染水の漏洩防止、放射性物質の長期保管といった適用が期待される。超重泥水の実現場への導入を想定した場合、ポンプによる輸送・充填の際や充填後の状況により超重泥水に圧力が加わり、超重泥水を構成する水の排水が生じる可能性がある。このとき圧力載荷時の排水量を定量的に把握することが可能であれば、施工管理における指標として有効に利用できる可能性がある。また、排水に伴い超重泥水の透水係数の減少が予想され、圧力が加わった後に超重泥水が有する遮水性能の評価が必要と考えられる。本研究では超重泥水に一定圧力が継続的に加わる状況を想定し、圧密試験を援用した排水量と透水係数の定量的な評価を行った。

### 2. 超重泥水の概要および実験方法

本研究で用いる超重泥水は水に Na 型ベントナイトおよびバライト（重晶石）の微粉末を加え、分散剤のピロリン酸ナトリウムと共に攪拌・混合したものである。超重泥水を現場に適用する際は、これらの配合割合を要求性能に応じて調節して使用する。本研究では表 1 に示す 3 種の配合の超重泥水を作製した。これは比重を設定し、超重泥水がフロー試験の基準を満たす流動性を有するように Na 型ベントナイトの量を調整したものである。Na 型ベントナイトにはスーパークレイ（ホージュン製）を、バライトにはテルバー（テルナイト製）を使用した。

図 1 は実験に用いたフレーム型標準圧密試験機（誠研舎製）を示したものである。供試体は 5A の定量濾紙を敷いた圧密リングに超重泥水を充填して作製し、実験は JIS A1217 土の段階載荷による圧密試験方法に従って行った。

また、両面排水条件で 24 時間載荷とし、荷重増分比は 1 とした。

各段階の載荷圧力は表 2 に示す通りである。

### 3. 圧密試験による排水量および透水係数の定量評価

図 3 は、比重 1.8 の超重泥水において、各段階における供試体高さの時間変化を示したものである。各載荷段階において超重泥水の供試体高さは経過時間の平方根に比例して減少し、数時間ほど経過した後

には一定値を取って、それ以上の変化を生じなくなった。これは全ての配合の場合に共通する傾向であった。この結果から、超重泥水に一定の圧力が継続的に加わる場合、最終的に生じ得る排水量は超重泥水に加わる圧力の大き

キーワード 福島第一原子力発電所、廃止措置、放射線遮蔽材、泥水、ベントナイト、圧密試験

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-401 早稲田大学理工学術院 社会環境工学科 TEL 03-5286-2940

表 1 実験に使用した超重泥水の組成配合

比重	水 (g)	Na 型ベントナイト (g)	バライト 微粉末 (g)	ピロリン酸 ナトリウム (g)
2.5	100	7	400	0.2
1.8	100	10	140	0.2
1.1	100	12	10	0.2



図 1 標準圧密試験機

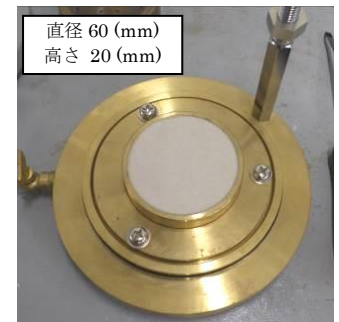


図 2 供試体作製の様子

表 2. 載荷段階と圧密圧力

載荷段階	載荷圧力 [kPa]	載荷段階	載荷圧力 [kPa]
1 段階	5	5 段階	80
2 段階	10	6 段階	160
3 段階	20	7 段階	320
4 段階	40	8 段階	640

さに従って一義に決定すると考えられる。そこで、次に圧力と排水量の定量的な関係について考察を行った。

図4は各载荷段階における超重泥水の最終的な供試体高さを示したものである。ここで载荷圧力に対する最終供試体高さには、配合ごとに载荷圧力の対数に比例した減少が認められた。すなわち、超重泥水の排水挙動には正規圧密過程にある地盤材料の圧密排水と同様の傾向が認められた。図4は超重泥水の組成配合と加わる圧力に対して生じ得る体積変化、排水の最大量を表していると考えられ、この結果は実現場における排水量管理のための指標として用いられる可能性がある。

また、組成配合ごとに超重泥水の供試体高さの減少量を比較すると、同じ载荷圧力に対し、添加したバライト微粉末の体積割合が小さく、Na型ベントナイトの体積割合が大きい配合ほど排水量に増加が認められた。これは超重泥水に占める土粒子の体積割合が大きい配合ほど排水に伴う土粒子同士の接触を生じやすく、次第に粒子同士が構造骨格を形成して供試体の体積圧縮性を失うためと考えられる。また、配合におけるバライト微粉末の増加およびNa型ベントナイトの減少に伴い図4の傾きには減少が認められた。これは水を保持する能力の小さいバライト微粉末が多く、保持する能力の大きいNa型ベントナイトが少ない配合では、载荷圧力の小さい初期の段階で排水が進行し、早い段階で供試体が排水を生じにくい状態に至るためと考えられる。

次に、図5は超重泥水の圧密特性から算出した透水係数と各段階の平均圧密圧力との関係を示したものである。超重泥水の透水係数は载荷圧力の増加に伴って減少し、その減少量は比重の小さい配合ほど大きくなった。これは排水に伴う超重泥水の構成粒子間の距離の減少と超重泥水全体に占めるNa型ベントナイトの体積割合の増加に起因する現象と考えられる。添加したバライト微粉末の体積割合が大きい配合では载荷圧力の小さい段階で排水が進行すると考えられ、早い段階で供試体の体積減少を生じなくなると考えられる。一方、試験中の超重泥水全体に占めるNa型ベントナイトの体積割合は、作成時に添加したNa型ベントナイトの体積割合が大きいほど、また供試体体積が減少するほど大きい。超重泥水の透水係数はNa型ベントナイトの全体に占める体積割合に大きく依存すると考えられ、その結果、比重の小さい配合で透水係数の減少が大きくなったと考えられる。また以上の結果から、加圧に伴う超重泥水の透水係数の減少が認められ、加圧時においても超重泥水の遮水性能が維持することが可能であることが確認された。

#### 4. 結論

本研究では圧密試験を援用し、加圧に伴う超重泥水の排水量および透水係数の変化を定量的に評価した。実験の結果、超重泥水から生じる排水は配合と圧力に応じて一義に定まり、その量は载荷圧力の対数に比例した。また、添加したバライト微粉末の体積割合が小さく、Na型ベントナイト体積割合が大きいほど、圧力に対して排水量が多い傾向が認められた。加えて、加圧と排水に伴い超重泥水の透水係数には減少が認められた。

**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・人材育成水深事業 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新技術開発と人材育成プログラム」の支援により実施したものです。関係各位に感謝申し上げます。

**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、福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2016, 2016. 2) 氏家伸介, 長江泰史, 成島誠一, 新井靖典, 稲元裕二, 水野正之, 佐古田又規, 齋藤麻磨, 小峯秀雄: 変形追従型放射線遮蔽材の開発, 第11回環境地盤工学シンポジウム, pp.471-479, 2015.

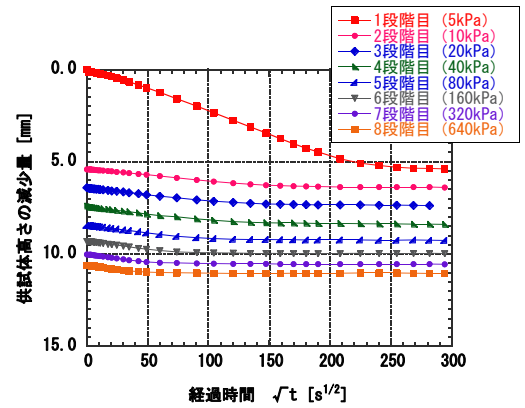


図3 各段階における排水量の時間変化

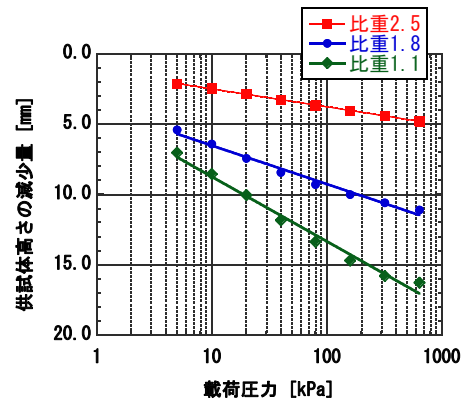


図4 载荷圧力に対する供試体高さの変化

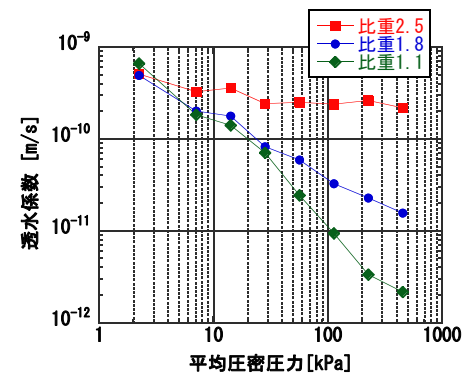


図5 平均圧密圧力と透水係数の関係