

側方圧および間隙水圧の測定による重泥水内部の液体的-固体的挙動の評価

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, 正会員 王海龍
 ソイルアンドロックエンジニアリング (株) 正会員 吉村 貢
 電力中央研究所 正会員 渡邊 保貴

1. はじめに

重泥水は、バライト粉末を混合したベントナイト泥水であり、従来、地盤掘削時の安定液として用いられてきた。現在、福島第一原子力発電所の廃止措置の一環として、比重が大きく流動性が高い重泥水の性質を利用した汚染水の封じ込めが検討されている²⁾。本工法は、損傷箇所の内側に重泥水を充填することで、水みち上に固体層を形成し、内部の汚染水の流出を抑制するものである³⁾。図1は、本研究で用いた重泥水である。



図1 使用した重泥水

重泥水は、使用後に充填箇所からの取り出し・回収が想定されることから、水みち上に生じる固体層の形成とともに、流体部の挙動を把握することが重要である。重泥水のような懸濁液に関して、液体的-固体的挙動の変化を評価するためには、土粒子骨格の形成、すなわち土粒子間の接触の有無を把握する必要がある。本研究では、通水時に重泥水内部で生じる液体的-固体的挙動の変化を調査するため、通水に伴い側方圧および間隙水圧の分布が変化する過程から、泥水内部における液体部と骨格の形成を評価した。

2. 試料および通水に伴う供試体内部の圧力分布の測定

本研究で使用した重泥水は、水 100 g に対しピロリン酸ナトリウム 0.2 g を溶解した分散液に、材料の粘性と安定を保つための Na 型ベントナイト 10 g と加重材であるバライトを 140 g 添加したものである。本研究では、比重 1.8 である上述の重泥水を用いて試験を実施した。

図2は圧力測定用カラムの概略図である。本試験では、高さ 1000 mm、内径 200 mm、厚さ 5 mm のカラムに、重泥水を初期供試体高さ $L_0=750$ mm まで充填し、供試体上方から給水、下方から排水の条件で通水を行った。本試験では、マリオットサイフォンを用いて、排水面から 1515 mm の位置において定水位を保った。通水開始から 240 時間後に下端のバルブを閉じ、排水を停止した。

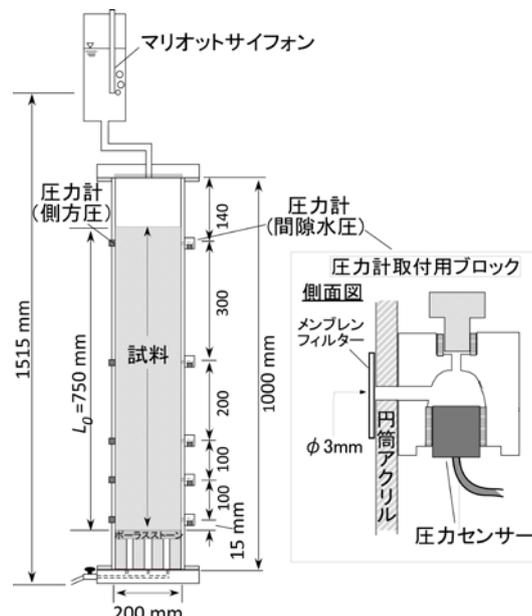


図2 圧力測定用カラム

圧力計は、アクリル側壁およびメンブレンフィルターを介した取付用ブロックに設置した。これらを用いて計測した値を、本論文ではそれぞれ側方圧および間隙水圧と記す。計測は、鉛直方向 5 か所 ($H=15$ mm, 115 mm, 215 mm, 415 mm および 715 mm) において行った。使用した圧力計の規格は、定格容量 50 kPa, 最小目盛 0.25 kPa である。

3. 通水に伴う圧力の深度分布の変化

図3は、通水に伴う重泥水内部圧力(側方圧, 間隙水圧)の深度分布の変化である。図3(a)は側方圧の深度分布を示したものであるが、通水開始から 1 時間経過後までは泥水および通水液の比重に応じた静液圧的な分布を示した。また、通水開始から 67 時間以降、最下測定点において側方圧が低下した。これは試料の下端付近

キーワード 泥水, ベントナイト, 有効応力

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学大学院 創造理工学研究所 建設工学専攻 TEL03-5286-2940

で重泥水に含まれる土粒子が骨格形成したことを示唆している。すなわち、側方圧が等方圧である液体圧，すなわち泥水圧から異方圧である側方土圧と間隙水圧の和に変化したことにより，測定値の減少が生じたと考えられる。また，最下点の泥水圧は，240 時間経過後に排水バルブを閉じた後，多少増加した。

図 3(b)は泥水中の間隙水圧の深度分布であり，通水開始から 1 時間経過後まで側方圧と同様の泥水の比重に応じた静液圧分布を示し，67 時間経過以降に最下測定点における低下が生じた。これは，カラム下端付近における土粒子骨格の形成により動水抵抗が生じたことで，測定圧が泥水圧と同義の圧力から，土粒子骨格中の間隙水圧に転じたと解釈できる。また，下部の間隙水圧が経時的に減少しており，最下測定点($H=15$ mm)の上部で土粒子骨格の厚みが増加したことが推察される。最下測定点における間隙水圧は，通水開始から 240 時間経過後に排水バルブを閉じた後に多少増加した。通水停止後の間隙水圧の増加は，下方への運動状態であった間隙水が静水状態に変化する過程と考えられる。一方，側方圧，間隙水圧ともに，測定最上点の $H=715$ mm から 115 mm において，通水時間の経過に伴う深度分布の変化は生じなかった。これは，最下部を除く重泥水の大部分において，通水後も土粒子骨格を有さない分散状態を保ったことを示唆している。

図 3(c)は側方圧と間隙水圧の差である有効応力的な圧力を示しており，通水開始から 1 時間経過後までほとんど変わらず 1 kPa 以下であった。これは，側方圧と間隙水圧がほぼ等しい等圧状態であり，泥水中の土粒子が分散状態であることを示す。67 時間経過後から，最下測定点において値が徐々に増加しており，土粒子骨格における有効応力の発現位置が上昇した，すなわち重泥水の下部における土骨格の形成およびその厚みの増加が示唆された。また，167 時間から 225 時間において，有効応力の増加が顕著でないことから，この際，カラム内部の土骨格の形成は，ほぼ収束していたと考えられる。また，240 時間経過後の排水バルブ閉鎖に伴って圧力値が多少減少した。これは運動状態であった間隙水は土粒子骨格に下方への圧力を作用しており，それが通水を停止することによって解除されたことの反映と考えられる。

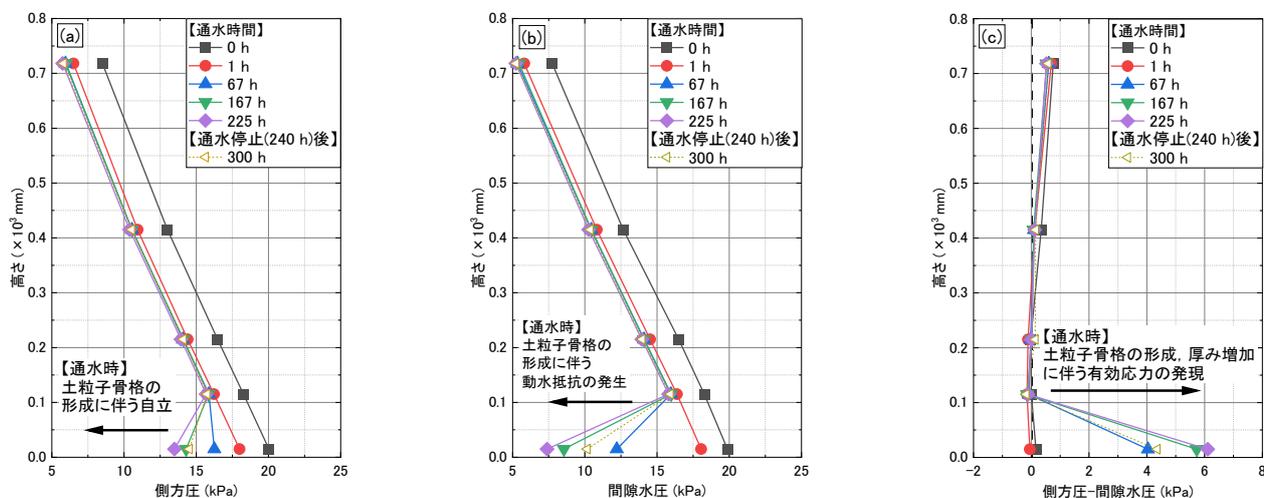


図 3 圧力の深度分布の時間変化((a)側方圧，(b)間隙水圧，(c)側方圧-間隙水圧)

5. まとめ

本研究では，通水時の重泥水内部における側方圧および間隙水圧を測定することで，以下の結論が得られた。

- 1) 上部からの通水に伴い，重泥水の最下部において，側方圧および間隙水圧が低下した。また，通水を停止すると，最下測定点における各圧力は増加した。
- 2) 上部からの通水に伴い，重泥水の最下測定点において，側方圧と間隙水圧の差が増加した，すなわち有効応力が発現した。一方，最下部を除く大部分では，側方圧と間隙水圧は同等であり，分散状態を保った。

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）」(JPMX 15H15664915)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) Darley, H.C.H., Gray, G.R (1988) Composition and properties of drilling and completion fluids, 5th edn. Gulf Professional Publishing, Houston, TX, USA. 2) IRID (International Research Institute for Nuclear Decommissioning) (2016) Development of repair technology for reactor containment leak point (PCV lower part repair). Outline and problems of vent pipe water stop and S / C filling water stop. pp. 1-44. 3) Yoshikawa, E. et al. (2019) Evaluation of properties of soil-based filling material for radiation shielding and water sealing, 16th ARC, S15-003_JGS-088. 4) 雷浦豊，多田敦：降下浸透が代かき土壌の沈下に及ぼす影響について—ハス田の土壌工学に関する研究(I)—，農業土木学会論文集，第 132 号，pp.35-42. 1987.