

低レベル放射性廃棄物処分施設における 難透水性覆土の品質評価方法に関する検討（その1） —覆土の平均的な透水係数の評価目的とその方法について—

日本原燃(株) 正会員 工藤 淳

東電設計(株) 正会員 田坂嘉章, 矢込吉則

鹿島建設(株) フェロー会員 ○森川誠司, 笹倉 剛, 正会員 並川 正, 須山泰宏

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物処分施設における難透水性覆土が所定の遮水性能を有していることの確認方法の一つとして、転圧後の覆土の所定位置での透水係数もしくはその代替指標の計測値が目標値を満足していることを確認しながら覆土施工を進めていくことが考えられている。しかし、覆土の材料成分や締固め度合にはある程度の不均質性が存在することは否めないため、目標透水係数に達しない計測値が現れた場合の扱いや計測位置以外の品質評価をどう考えるか等の点には課題が残っている。そこで、覆土の品質評価方法に地球統計学に基づく確率論手法を導入し、数値解析により覆土全体の平均的な透水係数を求めることで所定の遮水性能が確保できているか否かを判断する品質評価方法を検討した。以下、本報文中では覆土の平均的な透水係数を算出する方法とその事例を報告するとともに、算出結果の妥当性に関する検討結果を示す。また計測値の統計量の変化が平均的な透水係数の分布に与える影響についても感度解析によって検討したので、その結果を併せて簡単に報告する。

2. 覆土の平均的な透水係数の算出方法

覆土の平均的な透水係数の算出フローを図-1に示す。まず、覆土の各計測位置での透水係数からそれらの統計量である対数平均値・標準偏差・相関長（図-2に示すように近接した地点の値がどれだけ似ているかの性質を表す値）を求める。次に、計測による透水係数の統計量と乱数に基づいて不均質に透水係数が分布する覆土のFEMモデルを多数生成し、浸透流解析のモンテカルロシミュレーションによって覆土の平均的な透水係数の期待値と標準偏差を求める。浸透流解析は覆土モデルに対し地下水の流れ方向に単位動水勾配を与える条件で行い、解析で得られた総流量Qを断面積Aで除した値が各覆土モデルの平均的な透水係数となる（図-3参照）。

3. 覆土の平均的な透水係数の算出例と妥当性検証

図-4は平均的な透水係数の試算に用いた計測による透水係数の頻度分布である。相関長は0.17mと算定されている。なおこの計測による透水係数は、覆土の試験施工時に計測した密度データを透水係数に換算したものである。本報文中ではこれを計測による透水係数の基本ケースとし、試行回数300回のモンテカルロシミュレーション

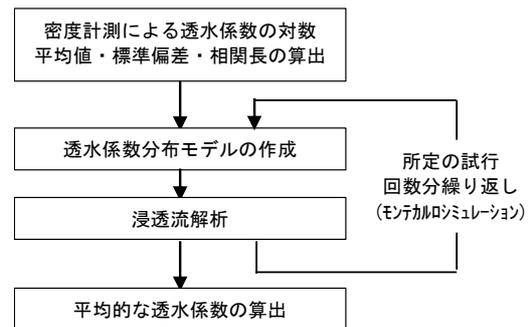


図-1 平均的な透水係数の算出フロー

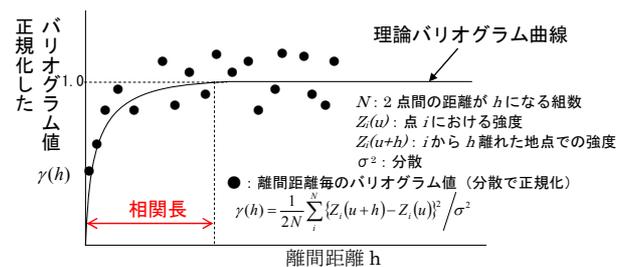


図-2 相関長

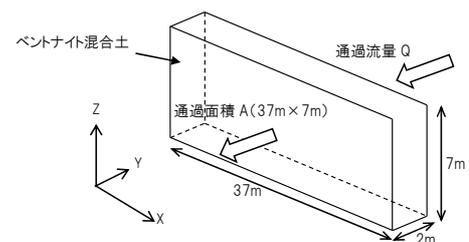


図-3 覆土の浸透流解析モデル

キーワード 放射性廃棄物処分施設、難透水性覆土、平均的な透水係数、モンテカルロシミュレーション、地球統計学

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 KIビル 鹿島建設(株)土木設計本部解析技術部 TEL:03-6229-6793

から平均的な透水係数を求めた結果を表-1に示す。覆土の通過流量を評価するという視点においては、その期待値に対応する平均的な透水係数の算術平均値は計測による透水係数の対数平均値に比べて若干大きくなるが、標準偏差は大幅に小さくなるのが分かる。モンテカルロシミュレーションの試行回数に対する平均的な透水係数の算術平均値ならびに標準偏差の収束状況を図-5.1と図-5.2に示す。このケースでは100回程程度の試行回数で平均的な透水係数の算術平均値と標準偏差は落ち着くことが分かる。表-2は今回算出した平均的な透水係数の算術平均値と理論解(Daganの式¹⁾とMatheronの式²⁾)との比較であり、いずれの理論解とも有意な差異はないことが分かる。

4. 感度解析による計測による透水係数と平均的な透水係数の関係

感度解析によって計測による透水係数の統計量の変化が平均的な透水係数に与える影響を調べた。①基本ケースの透水係数の対数平均値を変化させた場合、②基本ケースの対数標準偏差を変化させた場合、③基本ケースの相関長を変化させた場合、それぞれの結果を表-3に示す。これらの結果から透水係数の標準偏差が大きくなると平均的な透水係数の算術平均値と標準偏差がともに大きくなり、相関長が大きくなると平均的な透水係数の標準偏差のみ大きくなるのが分かる。

5. おわりに

以上の検討結果より、覆土の平均的な透水係数は計測した透水係数のばらつきを低減させ、合理的な覆土の品質評価に資する可能性のあることが分かった。ただし、平均的な透水係数を施工中の覆土の品質管理に用いるには、計算労力が大きく効率性の観点からは改善する必要がある。なお、本報文での相関長の計算や不均質な覆土モデルの生成には、汎用地球統計学ソフトであるGSLIB³⁾を用いた。

参考文献 1) G. Dagan: Models of Groundwater Flow in Statistically Homogeneous Porous Formations, Water Resource Research, Vol. 15, No. 1, pp.47-63, 1979. 2) Matheron, G., Elements Pour une Theorie des Milieux Poreux, Masson et Cie, Paris, 1967. 3) Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press, 1992.

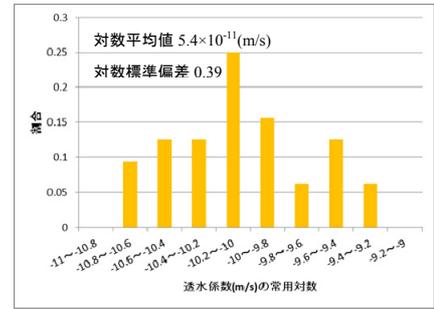


図-4 計測した透水係数の頻度分布

表-1 平均的な透水係数の算出結果

	計測による透水係数データ (m/s)	平均的な透水係数 (m/s)
平均値	5.4×10^{-11} (対数平均)	7.2×10^{-11} (算術平均)
対数標準偏差	0.39	0.0014

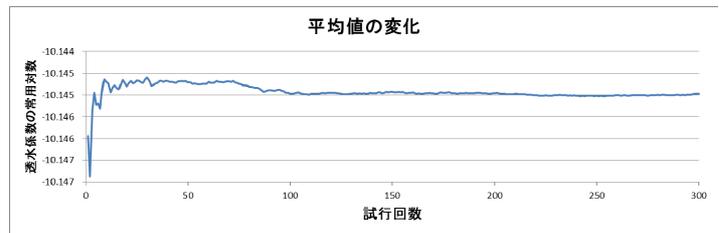


図-5.1 試行回数に対する平均的な透水係数の算術平均値の収束状況

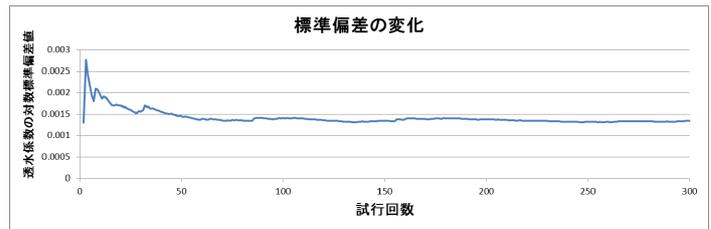


図-5.2 試行回数に対する平均的な透水係数の標準偏差の収束状況

表-2 理論解との比較

	平均な透水係数の算出方法	平均的な透水係数 (m/s)
解析結果	モンテカルロシミュレーション	7.2×10^{-11}
Daganの式 ¹⁾	$K_{ef} = K_G \left(1 + \frac{\sigma_Y^2}{6} \right)$	6.1×10^{-11}
Matheronの式 ²⁾	$K_{ef} = K_G \exp \left(\frac{\sigma_Y^2}{6} \right)$	6.2×10^{-11}

K_{ef} : 平均的な透水係数の常用対数値
 K_G : 透水係数の常用対数平均値
 σ_Y : 透水係数の自然対数標準偏差

表-3 感度解析結果

変化させたパラメータ	平均的な透水係数の算術平均値と対数標準偏差	基本ケースと比較した結果
基本ケース	7.2×10^{-11} m/s, 0.0014	—
①透水係数 1.85 倍(1.0×10^{-10} m/s)	1.3×10^{-10} m/s, 0.0014	透水係数は変化割合に応じて増加、標準偏差(σ)は変わらず
②対数標準偏差 1.5 倍(0.585)	9.7×10^{-11} m/s, 0.0023	透水係数、 σ 両者ともに増加
③相関長約 30 倍(5.0m)	7.2×10^{-11} m/s, 0.088	透水係数は変わらず、 σ が増加