

審査の結果の要旨

論文提出者氏名

カジ ウマール ファルーク

本研究では、工場などの設備や、パイプラインなどから漏れ出す油を、撥水性の細粒土を使って吸収し、周辺地盤への拡散を防ぐことで、地盤環境の汚染を防ぐ方法を提案した。地盤材料の水と油に対する親和性、の性質を調べるとともに、その組み合わせによる構造が油を吸収できる容量の評価方法を考え、小型の模型実験によって検証した。

提案した方法では、漏れ出した汚染油が周辺地盤へ流出すると想定される経路（地上の設備であればその基礎の部分、地中のパイプラインであればそれを取り巻く範囲）に、撥水処理を施した乾燥した細粒土の層を配置する。細粒土は土粒子の表面積が大きく、間隙の径が小さいため、油を効率的に吸収する。周辺が、比較的粒径の大きな砂地盤の場合、細粒土と砂との油の吸収特性の差から生じるキャピラリバリアによって、油が周辺地盤へしみ出すのを防ぐ。一方、油漏れが起きるよりも前に、降雨や水漏れなどによって細粒土が水を含んで間隙が満たされてしまうと、その後、油を吸収できなくなってしまうので、撥水性を持たせて、間隙に水が入らないようにする。

本論文の第1章、第2章は序論であり、上記の問題を提起し、撥水性土を使った汚染油の吸収構造を提案している。また、浸水性、撥水性の発現の原理、細粒土の吸収特性、異種材料の境界での油の保持特性（キャピラリバリア）、油を含む土の力学特性について、文献調査を行い、既存の知識をまとめている。

第3章は、以後に行う実験で用いた細粒土（藤森粘土）と砂（豊浦砂）について記述し、細粒土に撥水性能を与えるための処理方法を示している。固体の表面を撥水処理するには、シリカ系の化合物を高温で焼き付ける方法や、フッ素系の薬剤を使う方法があるが、熱を使ったり、高価な薬剤を使ったりするため、コストやエネルギー消費の問題がある。本研究では、比較的安価なシラン系の薬剤をアルコール系の溶剤に分散させ、常温で細粒土と混ぜて乾かすことで、安価、低エネルギーで安全に処理する方法を採用した。これは、自動車のフロントガラスなどの撥水処理に使われている方法を流用した物だが、細粒土粒子に適用しても、十分な撥水性が得られることが分かった。

第4章では、撥水処理した細粒土と、撥水処理していない通常の砂について、水と油の2つの流体について、それぞれの吸収特性を実験により求めた。これは油または水の含有量と間隙流体圧の関係であり、不飽和土の力学のサクショ

ン特性に相当する。撥水性細粒土と通常の砂の油の吸収特性の比較から、両者が接している境界で、油を漏らさずに保持できる圧力（キャピラリバリア）の限界値を推定し、撥水性細粒土の部分に吸収できる油の容量を計算する方法を提案した。また、撥水性細粒土であっても、数kPaの正の水圧をかけると水が侵入し、その後は水圧を除荷しても自然には排水しないことから、撥水性細粒土は地下水面より高い場所で用いる必要がある。

第5章では、小型の模型地盤に、撥水性細粒土と通常の砂を使った油の吸収構造を作成し、水や油を滴下して、その吸収や撥水の機能を観察した。この際、模型内の各部分の水と油の吸収量を連続的に測定するため、水と油をそれぞれ青と赤に着色して写真撮影し、画像解析する手法を用いた。これにより、水と油が混合して含まれていても、それぞれの吸収量を別々に測ることができる。撥水性細粒土の部分は、水をはじき、油は吸収すること、また水と油の混合物を滴下した場合でも、油だけを吸収し、水は分離されて周辺へ流出することが確かめられた。一方、油を吸収する速度には上限があり、一度に多量の油を滴下すると、周辺に漏れることもある。さらに、撥水性細粒土と通常の砂を積層した1次元カラム模型で、油を少しずつ滴下していき、両者の境界でのキャピラリバリアが壊れて油が砂地盤に漏れ出す時の油の最大吸収量を測定した。その結果、前章で推定したキャピラリバリアの限界値と一致する値が得られた。

第6章では、油を吸収した細粒土の圧縮、せん断特性について、圧密試験と三軸圧縮試験により調べた。撥水性細粒土は、施設の基礎の部分や埋設されたパイプラインの周辺など、構造物の重さがかかる部分に設置されるため、油を吸収することで力学特性が変化し、圧縮したり、せん断変形や破壊を起こしたりすると問題となる。圧縮特性については、水と油を様々な割合で混合したもので飽和した細粒土試料を圧縮したところ、油の混合割合が高い方が、同じ圧力に対して大きな間隙比を保った。また、乾燥した撥水性細粒土に圧力をかけた状態で油を吸収させても、新たな圧縮変形は起こらず、その後の圧力増加に対する圧縮性も少なくなった。このことから、圧縮特性については、油の吸収に伴う有害な変化はないと考えられる。一方、せん断特性については、油を多く含む試料の方が、せん断変形しやすく、強度も低くなった。このため、設計において、基礎構造としての支持力を検討するときに、注意する必要がある。

以上、撥水性細粒土を用いた、低コストかつ簡単な構造で、汚染油を効率的に吸収して、地盤汚染を防ぐ構造を提案し、その性質を調べ、性能を評価した。細粒土の撥水処理や、画像解析による油と水の含有量の測定など、新しい実験手法も試みて、良好な結果を得ている。本研究は、まだ基礎的なことがらを調べた段階で、実用化に向けての課題が残されているが、地盤汚染を抑制する新しい方式を提案しており、今後の技術開発に貢献することが大である。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。