

氏 名	スフブヤン Sukhbuyan	ルフサンドルジ LUVSANDORJ
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)	
学 位 記 番 号	工 博 第 2427 号	
学位授与の日付	平成 16 年 11 月 24 日	
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当	
研究科・専攻	工 学 研 究 科 土 木 シ ス テ ム 工 学 専 攻	
学位論文題目	Study of Ground Behavior in Mongolian Permafrost Area for Pipeline Construction (モンゴルにおけるパイプライン建設に対する永久凍土地帯の地盤挙動に関する研究)	
論文調査委員	(主 査) 教 授 小 野 紘 一	教 授 大 西 有 三 教 授 宮 川 豊 章

論 文 内 容 の 要 旨

比較的クリーンなエネルギーとしてシベリアの天然ガスの活用が囑望されており、このためには北東アジアにガスパイプライン網を建設する必要がある。これらのパイプラインは永久凍土地帯を通過するため、合理的で安全な設計や建設には永久凍土地帯特有の地盤挙動を把握する必要がある。

本論文は、東北アジアの永久凍土地帯の地勢や西シベリアにおいて数多く発生しているパイプラインの損傷を調査するとともに、変位量計測によってモンゴル永久凍土地帯の地盤挙動を把握し、これらの寒冷地帯におけるパイプラインの設計と建設に有効な情報を提供することを目的とする。本論文は、結論を含む7章で構成されており、各章の内容は以下の通りである。

第一章は序論であり、研究背景、既往の研究、論文の構成について示している。

第二章では、提案されている東北アジアパイプライン網のルートに沿って行った調査に基づき、永久凍土地帯の分布図と工学的特徴を示している。調査の結果、パイプラインルートとなるロシア、中国、モンゴルでは、連続凍土、不連続凍土、点状的凍土、高山凍土が存在し、その規模や分布は地形、地表面温度、植生に依存することを示している。

第三章では、永久凍土地帯に埋設された石油およびガスパイプラインに多く見られる損傷事例を調査している。調査対象として既設のロシアパイプラインおよび北アメリカパイプラインを選定し、永久凍土帯活動層に埋設されたパイプラインの設計や施工について示すとともに、パイプラインの損傷が多く生じている地盤の特徴やパイプライン損傷の形態についてまとめている。またパイプラインにおける年間の損傷発生率を示しており、多くの損傷は永久凍土帯の活動層が大きく変動する季節に生じていることを明らかにしている。またパイプラインと永久凍土との相互作用は、活動層の凍上、融解沈下、融解に伴う吸水現象、凍結融解の繰り返しにより発生する浸食、融解に伴う斜面崩壊などにより引き起こされることを明らかにしている。また原因不明の損傷事例も多いことから、凍上現象が活発に地域において、凍土層の挙動を把握する必要があることを指摘している。

第四章では、モンゴルにて行われた凍上および融解沈下の原位置計測と、採取試料による室内凍上試験について示している。計測現場では、季節凍土帯を含む異なる五箇所を選定し、10ヶ月に渡る凍上および融解沈下の計測結果を示している。またボアホールにおける温度計測に基づき、永久凍土の厚さが5~7mであること、活動層の厚さが3~6mであること、凍結深さが最大で2.5mであることを示している。これらの測定結果から、地盤の凍上性は、地盤内温度、凍結深さ、土質特性や含水比、活動層の厚さ、地下水位などに関係があることを明らかにしている。また、計測地点のボアホールより採取された試料を用いて行った室内凍上試験では、凍結速度および地盤に作用する有効応力と凍上量との関係を明らかにするとともに、測定現場の地盤凍上が主に凍結速度に依存することを明らかにしている。これらの結果から、凍上性を示すローム層にパイプラインを敷設する場合には、凍上性の低い砂質土で置換することが有効であるという結論を導いている。

第五章では、凍上予測手法の現状を示したのち、永久凍土帯の活動層や季節凍土地盤における凍上の予測法として有効な

モデルを選定している。飽和土に対して適用される既往の予測式を修正し、不飽和土に対して拡張を行っている。さらに地下水が存在しない地盤に対しても拡張を行っている。これらの提案式は、第四章において示されたモンゴルにおける凍上計測結果により検証し、凍上量が予測可能であることを示している。

第六章では、モンゴルにおける凍上量測定に基づいて、解析モデルを用いたパイプラインの安全性照査を行っている。Tereljにて得られた凍上量分布を強制変位として骨組み構造モデルに入力した結果、当該地点でのパイプラインの破断の可能性が低いことを明らかにしている。また両端固定梁モデルにより、凍上によりパイプの破断が生じる条件を検討した結果、凍上量と許容範囲との関係を明らかにしている。これらの検討の結果、パイプラインの力学的安全性の照査には、活動層の凍上や沈下量およびこれらの分布を把握することが重要であることを提唱している。

第七章は、本論文の結論と今後の展望が示されている。

論文審査の結果の要旨

比較的クリーンなエネルギーとしてシベリアの天然ガスの活用が囑望されており、このためには北東アジアにガスパイプライン網を建設する必要がある。これらのパイプラインは永久凍土地帯を通過するため、合理的で安全なパイプラインの建設には永久凍土地帯特有の地盤挙動を把握しておく必要がある。本論文は西シベリアにおいて多発しているパイプライン損傷の調査と要因分析、北東アジアの永久凍土地帯の調査、長期計測によるモンゴル永久凍土地帯の地盤挙動の把握、凍上量の定量的予測手法の開発などによって、これら寒冷地帯におけるパイプラインの設計と建設に有効な情報を提供したものであり、主に以下の成果を得ている。

- 1) 北東アジアパイプライン網の想定ルートに沿った永久凍土地帯の調査を行った結果、ロシア、中国、モンゴルにおける永久凍土の規模や分布は周辺地形、地表面温度、植生などに関連していることを明らかにしている。
- 2) 永久凍土地帯における埋設パイプラインの損傷は、活動層で繰り返起こる凍上や融解沈下によりパイプに導入される不等変位、土被り地盤の浸食の結果露出したパイプの浮力による浮上り、融解に伴う斜面のすべりや崩壊、パイプの腐食などにより引き起こされることを明らかにしている。
- 3) モンゴル永久凍土地帯における地盤計測の結果、活動層の厚さは、地盤内の温度分布とその変化より推定できることを示している。また、地盤の凍上や融解沈下の大きさは、地盤内温度、凍結深さ、地盤の土質特性と含水比、活動層の厚さ、地下水位などが関係することを明らかにしている。
- 4) モンゴル地盤から採取した試料の室内凍上試験の結果、凍上量は主に地盤の凍結速度および地盤内有効応力に関係することを明らかにしている。また、現場計測結果との照合も合わせ、従来の凍上予測法を不飽和土へ拡張した簡易予測式を提案している。

以上、本論文はモンゴルにおけるパイプライン建設のための基礎データを提供するものであり、永久凍土研究という観点からも、学術上、實際上、寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年9月24日、論文内容とそれに関連した試問を行なった結果、合格と認めた。