

14.4 泥炭性軟弱地盤における盛土の戦略的維持管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ（寒地地盤）

研究担当者：西本 聡、林 宏親、橋本 聖、梶取真一

【要旨】

北海道のような寒冷地には、極めて軟弱で特異な工学的性質を有する泥炭性軟弱地盤が広く分布している。本研究は、維持管理関連の予算が削減されている中、泥炭性軟弱地盤上の盛土を合理的に維持管理する技術、あるいは複雑な現場条件を考慮した対策技術を確立するものである。具体的には、道路の重要度に応じた泥炭性軟弱地盤上の盛土の許容残留沈下量ならびに、長期沈下予測技術を活用した道路盛土の維持管理方法を提案するとともに、既設盛土のかさ上げや拡幅工事に適用可能な対策工法の設計法・施工管理法を提案する。

研究初年度にあたる平成 23 年度では、泥炭性軟弱地盤上の盛土の補修実態調査および泥炭性軟弱地盤の特異な性質を考慮した長期沈下解析を行い、地盤を過圧密にすることによって長期沈下を抑制する技術の可能性を明らかにした。さらに、新しい対策工法の確立を目指して、二次元熱伝導解析によりセメント改良地盤に生じる低温域の再現を行った結果、冬期にセメントを用いた中層混合処理工法などを確実に施工するため、温度緩衝材としての覆土の適用性を明らかにした。

キーワード：泥炭性軟弱地盤、盛土、維持管理、長期沈下、セメント安定処理、冬期施工

1. はじめに

北海道のような寒冷地には、極めて軟弱な泥炭性軟弱地盤が広く分布している。泥炭は沖積粘土などの一般的な軟弱土とは異なる特殊な工学的性質を有しており¹⁾、長期的な沈下やすべり破壊などの問題が生じる。寒地土木研究所の既往研究により、泥炭性軟弱地盤の特殊性を考慮した沈下予測式や強度算定式が示され、実務に広く活用されてきている²⁾。

しかし、大きな長期沈下が発生する泥炭性軟弱地盤上の盛土では、供用後の許容残留沈下量（段差）の設定が重要であるが、管理する期間と値は経験的に決められている。結果として、構造物との取り付け部等でのオーバーレイが繰り返され、通常の地盤よりも多額の維持管理コストが必要となっており、許容残留沈下量の（段差）の見直しが求められている。当該地盤上には、既に相当な延長の道路盛土などが供用・管理されており、これらの盛土を合理的に維持管理していく技術が求められている。また、新しい軟弱地盤対策工法の開発や既存技術の改善が進められているが、全ての工法が特異な工学的性質を有する泥炭性軟弱地盤に対して効果があるとは限らず、その適用性の検証が必要である。

以上の背景を受けて、本研究では、道路の重要度に応

じた泥炭性軟弱地盤の盛土の許容残留沈下量ならびに、長期沈下予測技術を活用した道路盛土の維持管理方法をそれぞれ提案するとともに、既設盛土のかさ上げや拡幅工事に適用可能な新工法・新技術の泥炭性軟弱地盤に対する適用性を明らかにし、泥炭性軟弱地盤における設計法・施工管理法を提案する。

2. 泥炭性軟弱地盤上の盛土の長期沈下

泥炭性軟弱地盤の工学的な特徴のひとつである長期にわたる顕著な沈下現象が、土木施設の維持管理コストに大きな影響を与えることは明らかである。しかし、現行の設計法においては、供用後の許容残留沈下量などが経験的に設定されており、最適化を図る必要がある。

2.1 泥炭性軟弱地盤上に建設された高規格道路における沈下および補修の実態調査

北海道の泥炭性軟弱地盤（図 1）上に建設されている高規格幹線道路（図 2）ならびに一部の地域高規格道路の管理担当者に対し、供用後の沈下やその補修工事の実態調査を行った。その結果、深川留萌自動車道、日高自動車道、道央圏連絡道路において、供用後も沈下が発生しており、その沈下に伴う路面の段差解消などのため補修工事を要していることがわかった。

2.2 長期沈下シミュレーションによる地盤の過圧密化の長期沈下抑制効果の検討

過年度まで実施した重点プロジェクト研究「泥炭性軟弱地盤対策工の最適化に関する研究」において、泥炭性軟弱地盤の長期沈下解析法として粘弾塑性モデルを用いた有限要素解析が有効であることを明らかにするとともに、泥炭の特異な工学的性質に対応した解析用土質パラメータの決定法を提案した。ここでは、サーチャージ荷重の除荷によって過圧密となった泥炭性軟弱地盤の長期沈下が、除荷しない場合と比較することで、地盤を過圧密にすることによって長期沈下を抑制する技術の可能性を検討した。

図3に長期沈下の解析結果の経時変化を示す。地盤の過圧密化の程度（過圧密比）が増えるに伴って、時間の対数に直線的に生じる長期沈下（二次圧密）が少なくなっていることがわかる。図3の結果を過圧密比OCRと二次圧密の低減率（無対策の時の二次圧密に対する率）で整理したのが図4である。OCRと二次圧密の低減率の間にOCR=1.3程度で最大曲率を持つ双曲線的な関係が認められた。

2.3 泥炭性軟弱地盤の長期沈下における課題

今後は、道路の重要度などに応じた許容残留沈下量の設定や地盤の過圧密化による長期沈下抑制技術の確立に向けた検討が必要と考えている。

3. 冬期におけるセメント改良地盤の強度発現

既設盛土のかさ上げや拡幅工事に適用可能な新工法・新技術の泥炭性軟弱地盤に対する適用性を明らかにし、泥炭性軟弱地盤における設計法・施工管理法を提案することを目的に、冬期におけるセメント改良の検討を行った。これは、地盤改良工事が寒冷地である北海道においても通年にわたって実施されることが多いことと、河川堤防のかさ上げや拡幅工事が渇水期の冬期に行われることを考慮したものである。

過去に実施した調査によって、冬期中層混合処理工法で施工された改良地盤の地表面が低温の外気に晒されたために強度発現が阻害され、設計基準強度を大きく下回る事象が顕在化した（図5）³⁾。

改良地盤の地表面に覆土して強度発現に必要な養生温度を確保すれば良いが、覆土材の違いによって改良地盤の強度発現に必要な覆土厚が異なることが想定され、最適化に向けて検討の余地が残されている。

3.1 二次元熱伝導解析によるセメント改良地盤の凍結指数に応じた温度分布

過年度まで実施した重点プロジェクト研究「泥炭性軟



図1 泥炭性軟弱地盤の分布



図2 高規格幹線道路の路線図

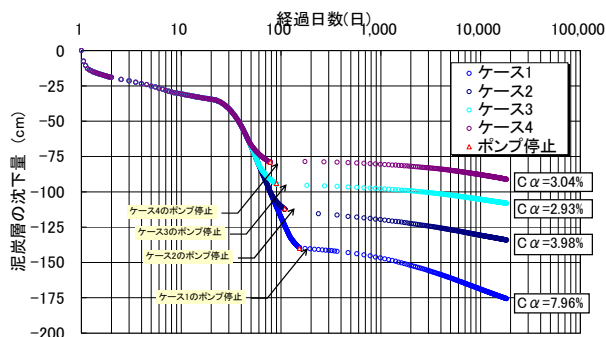


図3 長期沈下の解析結果

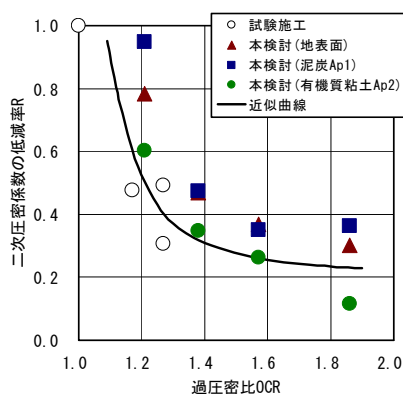


図4 過圧密比OCRと二次圧密の低減率

弱地盤対策工の最適化に関する研究」において、拡幅盛土の安定対策で実施した中層混合処理工法による改良地盤（改良深度 $z = 3.3\text{m}$ ）を解析モデルとして、改良地盤内の温度分布や最大凍結深さ、改良地盤の強度発現に必要な覆土厚を把握するために、素地盤および無対策の改良地盤を対象として二次元熱伝導解析を実施した^{4,5)}。

解析の結果、地盤内の温度分布を概ね再現することができた（図6）。ただし、対策工として用いた覆土材料の熱物性値は推定値を採用していたため、解析精度に課題が残されていた。また、対策工の効果を定量的に評価するためには、主要な解析パラメータ（熱伝導率、凍結潜熱、体積熱容量）が解析結果に与える影響を明らかにする必要があることがわかった。



図5 冬期施工の様子

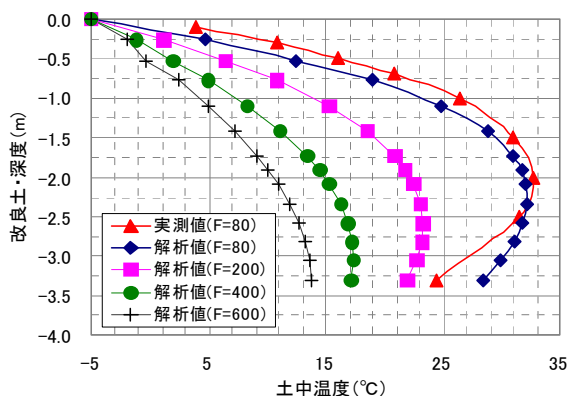


図6 改良地盤内温度分布の再現と予測

3.2 解析精度向上へ向けた検討

対策工（覆土）の効果を把握するためには、主要な解析パラメータ（熱伝導率、凍結潜熱、体積熱容量）が解析結果に与える影響を定量的に評価する必要がある。上記パラメータのうち、Kerstenの実験式で導出される熱伝導率の精度について検証した。

熱伝導率の検証は、熱伝導率計測機器を用いて、3種

類の覆土材（砂質土、粘性土、火山灰土）の熱伝導率を計測し、計測結果と Kersten の実験式から導出された数値と比較した（図7）。その結果、未凍土の計測値は

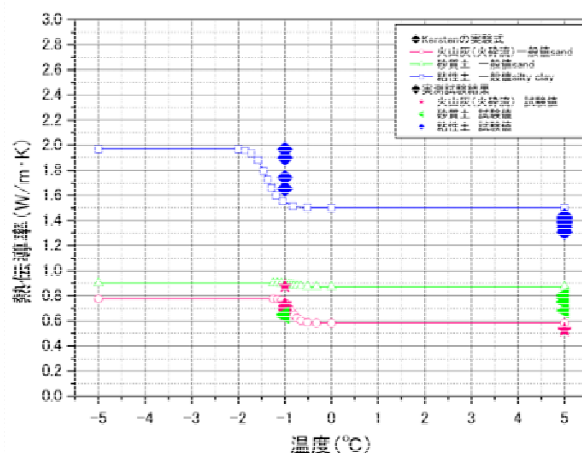


図7 覆土材の熱伝導率の比較

Kersten の実験式とほぼ一致した。凍土の計測値は計測時に供試体の温度が変化するため多少のバラツキはあったが概ね合致していた。これらから、熱伝導率の値は各覆土材の地盤条件の①乾燥密度 ρ_t 、②含水比 w をパラメータとした Kersten の実験式で導出した熱伝導率を用いることとした。

3.3 対策工の検討

一般的に実績の多い軟弱地盤（粘性土）をセメント改良した現場を再現したモデル断面に対して、3.2で述べた3種類の覆土の効果把握するために、セメント改良地盤の温度変化を凍結指数の大きさに応じて二次元熱伝導 FEM 解析を実施した（図8）。

解析の流れとして、はじめに定常解析を行ってから非定常解析を実施する。定常解析は地表面に位置する上面境界温度を $+5^\circ\text{C}$ 、下面境界温度を $+10^\circ\text{C}$ に設定し、土中

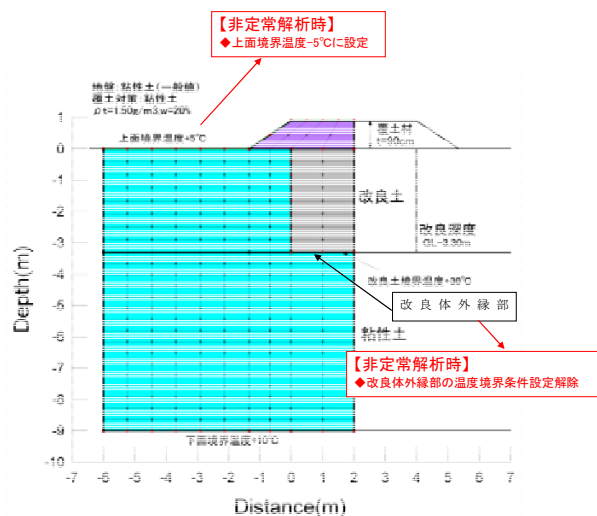


図8 温度境界条件（定常解析 → 非定常解析）

の深度方向に温度勾配を持たせ、改良土の外縁部を+30℃に設定して実施した。なお、これらの温度設定は過年度に実施した試験施工で得られた実測データより決定した。土中温度分布が定常状態になった解析モデル断面に、上面境界温度を-5℃にして非定常解析を実施した。なお、下面境界温度は10℃の状態を継続している。これらの温度条件も実測データより決定した。非定常解析時の積算寒度は、上面境界温度（地表面温度）に凍結指数(F) = 600℃・days まで実施し、100℃・days ごとに整理した。

二次元熱伝導 FEM 解析パラメータを表 1 に示す。解析は 3.2 で検証した Kersten の実験式から熱伝導率を導出した。この熱伝導率を用いて、凍結指数の大きさに応じて、改良体上面の温度が 0℃となる覆土厚を覆土材料の違いごと（土質区分、乾燥密度、含水比）に整理した（図 9）。

解析を実施した結果、次のような知見が得られた。

- (1) 覆土厚を決定するには、覆土材料の熱伝導率が支配的である。
- (2) Kersten の実験式から導出された熱伝導率と実測値は概ね一致した。
- (3) 覆土の地盤定数の決定方法は、突固め試験（最大乾燥密度 ρ_{dmax} と最適含水比 W_{opt} ）により、軽く敷き均す程度で放置する覆土の乾燥密度 $\rho_d = 0.8\rho_{dmax}$ 程度、含水比 w は自然含水比 w_n を用いて Kersten の実験式により熱伝導率を導出する。熱伝導率は凍土と未凍土の平均値を用いる。

以上の知見より、覆土材の乾燥密度 ρ_d と含水比 w から求まる熱伝導率（凍土と未凍土の平均値）で、現場の凍結指数に応じた必要な覆土厚を決定できる。

3.4 冬期におけるセメント改良地盤の強度発現における課題

今回の解析結果より、今後の課題について述べる。① 一般的な改良モデル断面にて、熱伝導率の異なる覆土材料での凍結指数とそれに必要な覆土厚を検討し、平均熱伝導率の関係を明確にする。② 雪やセメント改良土（ふけ上がり土）を代替の覆土材としたときの効果、については、今後の課題と考えている。

4. まとめ

本研究において、泥炭性軟弱地盤上の盛土の補修実態調査および泥炭性軟弱地盤の特異な性質を考慮した長期沈下解析を行い、地盤を過圧密にすることによって長期沈下を抑制する技術の可能性を検討した。その結果、以下のことがわかった。

表 1 二次元熱伝導 FEM 解析の解析パラメータ

材料名	凍土 or 未凍土	含水比	乾燥密度	熱伝導率 【Kersten】	凍結潜熱	体積熱容量 【伊福部】	体積含水率
		w (%)	ρ_d (g/cm ³)	λ (W/m·K) (J/sec·m ² ·°C)			
軟弱地盤 粘性土	未凍土	50.00	1.153	1.006	193.2E+06	3.235E+06	57.7
	凍土			1.884			
改良土	未凍土	44.56	1.141	0.950	170.3E+06	2.939E+06	50.8
	凍土			0.800			
覆土材 粘性土 (W=20%)	未凍土	20.00	1.250	0.844	83.9E+06	1.936E+06	25.0
	凍土			0.956			
覆土材 粘性土 (W=80%)	未凍土	60.00	0.938	0.777	188.4E+06	3.022E+06	56.3
	凍土			1.452			
覆土材 粘性土 (W=100%)	未凍土	100.00	0.750	0.678	251.3E+06	3.673E+06	75.0
	凍土			1.645			

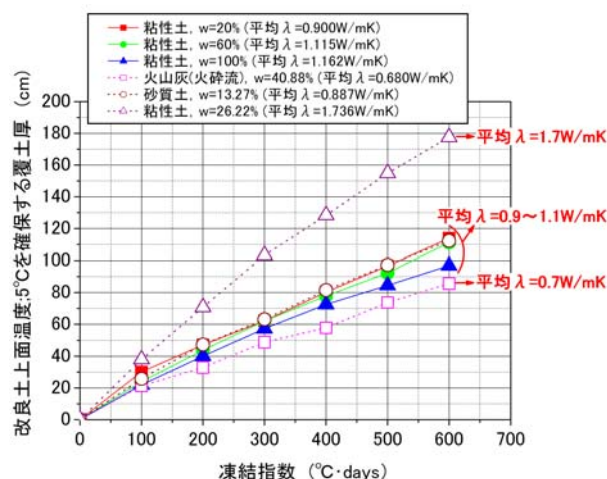


図 9 任意の凍結指数における改良土上面温度 0℃を確保する覆土厚

- ① 深川留萌自動車道、日高自動車道、道央圏連絡道路において、供用後も沈下が発生しており、その沈下に伴う路面の段差解消などのため補修工事を要していることがわかった。
- ② サーチャージ荷重の除荷によって泥炭性軟弱地盤を過圧密化することで、長期沈下を抑制できることがわかった。
さらに、二次元熱伝導解析によりセメント改良地盤に生じる低温域の再現を行い、強度発現に資する対策工（覆土材料）の効果を検討した。その結果を要約すると以下の通りである。
- ③ 養生温度を確保するためには、覆土の熱伝導率が覆土厚の決定に支配的である。ただし、熱伝導率は覆土材料の土質区分には依存しない。
- ④ 覆土材の乾燥密度 ρ_d と含水比 w から得られる熱伝導率（凍土と未凍土の平均値）を求めることで、現場の凍結指数に応じた改良地盤の強度発現に資する覆土厚を決定できる。

参考文献

- 1) 能登繁幸：泥炭地盤工学、技報堂出版、pp.1-54、1991
- 2) 北海道開発土木研究所：泥炭地盤対策工マニュアル、2002
- 3) 橋本 聖、西本 聡、林 宏親：トレンチャー式攪拌工法による改良強度のばらつきについて、第7回地盤改良シンポジウム論文集、pp.81-84、2006
- 4) 梶取真一、西本 聡、林 宏親、橋本 聖、牧野昌己、伊藤浩邦、松下恭司：冬期におけるトレンチャー式攪拌工法の試験施工、地盤工学会北海道支部技術報告集第50号、pp.121-126、2010
- 5) 梶取真一、西本 聡、林 宏親、橋本 聖：セメント改良地盤の凍結深さの推定に関する一考察、地盤工学会北海道支部技術報告集第51号、pp.137-144、2011

STRATEGIC METHOD FOR MAINTENANCE MANAGEMENT OF EMBANKMENT ON PEATY SOFT GROUND

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Cold-Region Construction

Engineering Research Group

(Geotechnical)

Author : NISHIMOTO Satoshi

HAYASHI Hirochika

HASHIMOTO Hijiri

KAJITORI Shin'ichi

Abstract : Peaty soft ground, which is commonly found in cold regions, is extremely soft and has unique engineering properties. The purpose of this study is development of a strategic method for maintenance management of embankments (e.g. road embankment and river levee) constructed on peaty soft ground. Concretely the following issues are examined.

- 1) Development of the new technologies for maintenance management of road embankments using the advanced prediction solution of long-term settlement for peaty soft ground.
- 2) Proposal of the design and the quality control method for new ground improvement technologies which can apply to a rising or a widening embankment construction on peaty soft ground.

In this financial year as the first year, an investigation of the settlement of the existing road embankments, feasibility study of the surcharge method as a countermeasure against a residual settlement and a heat conduction FE analysis were conducted. It was found that the surcharge method can mitigate long-term settlement of peat. And also the effects of a cover fill as a mitigation material of low temperature for cement stabilization method executed in winter were revealed.

Key words : peaty soft ground, embankment, maintenance management, long-term settlement, cement stabilization, execution in winter