

真空圧密ドレーン工法研究会 国際会員 新舎 博
同上 正会員 ○白神新一郎

1. はじめに

札幌市の豊平川下流域においては、治水安全度の向上を図る目的で、高水敷の切り下げを実施している（図1参照）。通常、高水敷を切り下げ際には、地表付近の土を掘削することが多いが、掘削土の受入場所が確保できない場合には、原位置で圧密沈下させる方法（減容化）が有効となる。本下流域においては、2009年度と2010年度に、盛雪と真空圧密を併用した地盤の減容化試験施工が実施された¹⁾²⁾。盛雪は、試験施工の周辺部が札幌市に降った雪の排雪場になっていることから、雪を圧密荷重として利用するという試みであり、雪は夏場に溶けてなくなるため撤去の必要がないという利点がある。また、真空圧密は地盤に直接負圧を作用させる方法である。本試験施工においては、キャップ付ドレーン材（以下、キャップ付PBD）を利用した真空圧密工法³⁾が採用された。雪を上載荷重として圧密に利用する方法は北海道などの降雪地域で利用できる方法であり、盛雪と真空（負圧）の併用による圧密効果を調べることは、今後の減容化方策を考慮する際に役立つものと考えられる。本文では、その1として、施工について記述する。

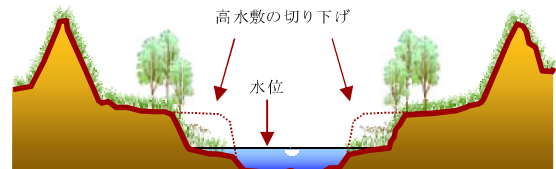


図1 高水敷の切り下げ

2. 施工概要

施工場所を図2に示す。2009年度は40m×60m（本工区）と20m×20m（追加工区）の区域、および2010年度は50m×200mの区域で試験施工が行われた。試験施工の断面図を図3に示す。2009年度は改良幅と盛雪天端幅を同一にしたが、盛雪の剛性により、盛雪法部の地盤が盛雪の重さの一部受け止め、中央部の沈下量が計画よりも減少するという現象が生じたので、2010年度は改良幅を盛雪の法尻よりも5m大きくして、盛雪荷重が改良域にすべて作用するように配慮した。



図2 施工場所

3. 真空圧密の施工方法

キャップ付PBDを利用した真空圧密工法概念図を図4に示す。キャップ付PBDは所定の長さに切断したPBD（幅94mm×厚さ3.9mmのプラスチックボードドレーン）に、キャップを介して、φ39mmの排水ホースを連結したものであり、8～10本のキャップ付PBDを1巻きのロール状（最大長約200m、写真1）にして現地に搬入し、ドレーン打設機に取り付けて、所定の場所に打設した。打設深度は、図3に示すようであり、負圧改良層は両年度とも、AscとAc2層である。ドレーンの打設が終了すると、地盤上に突出している排水ホースを集水管、ヘッダーパイプおよび真空ポンプに連結し、真空ポンプを稼働して地盤に負圧を作用させた。キャップ付PBDの打設間隔は1.0m（正方形配置）であり、地盤に負圧を作用させると、すべての区域（2010年度は、200m長を4ブロック分けし、4台の真空ポンプを使用した）において、-60kN/m²以上の負圧が作用していることが確認された。

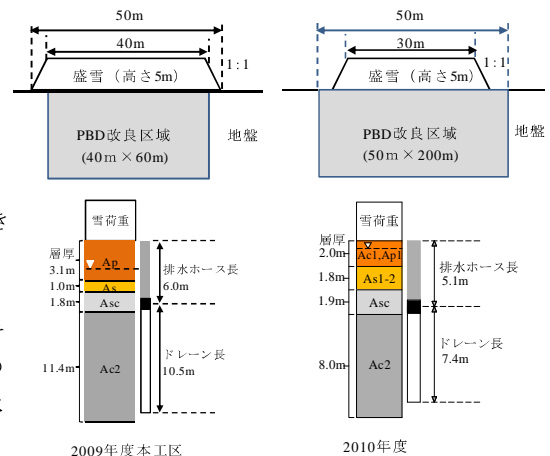


図3 断面図

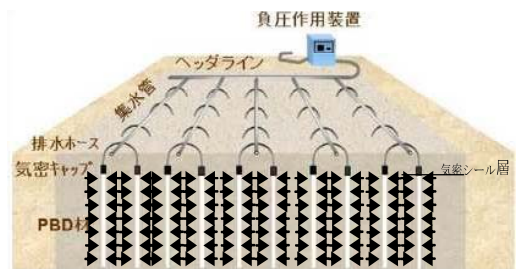


図4 真空圧密ドレーン工法概念図

本試験施工においては、表層が砂質シルト層あるいは泥炭層で、軟弱

Execution for volume reduction of soft ground using both snow weight and vacuum (Part.1):

H.Shinsha & S. Shiraga (Vacuum Consolidation Drain Association)

であったので、地盤上に敷き鉄板を置き、ドレーン打設機の支持力を確保した。写真2に、ドレーンの打設状況を示す。また、冬場施工であったので、排水ホースからヘッダーパイプまでの負圧配管をすべて地中に埋設し、負圧作用時の凍結防止を図った。

4. 盛雪の築造方法

2009年度において、高さ5mの盛雪の築造にあたっては盛雪の密度、すなわち圧密荷重をできるだけ大きくする目的で、事前に転圧試験を実施した。その方

法は、札幌市内から運ばれた雪を0.6m厚でまき出し、湿地ブルドーザ（接地圧：33kN/m²）

で数回転圧する方法である。表1に、転圧試験の結果を示す。締め固めた雪の密度は2回転圧

時において、0.55g/cm³程度（新雪の密度は約0.30g/cm³、雪捨て場の密度はやや湿気を帯びて、0.48～0.55g/cm³程度）になり、それ以上転圧回数を増加しても、密度がほとんど変わらない結果となった。そこで、盛雪の築造に際しては、1層のまき出し厚さは0.6m、転圧回数は2回とし、締め固め後の層厚0.5mを10層積み上げて、高さ5mの盛雪を築造するように計画した。しかしながら、層厚0.5mの盛雪築造時には、上層部の施工のための重機のトラフカビリティを確保する目的で散水を行ったため、盛雪の平均密度は0.72g/cm³（標準偏差0.104g/cm³）にまで増加した。盛雪は最後に法勾配を1：1に成形して完成した。写真3に完成した盛雪の全景を示す。

2010年度は、盛雪を0.60g/cm³程度で築造した。その方法は0.7m³バックホウで排雪場に運ばれた雪をすくい上げて1層1m厚で立ち上げ、D65ブルドーザ（接地圧：62kN/m²）で敷き均しと転圧を行うものである。盛雪は2009年度よりも剛性をやや低下させるために（沈下に追従するように）、散水は実施していない。写真4に完成した盛雪の全景を示す。

5. まとめ

札幌市の豊平川下流域において、盛雪と真空圧密を併用した軟弱地盤の減容化試験施工を実施した。本文は、施工についてまとめたものであり、主な要点は次のようである。

- (1)真空圧密には、キャップ付ドレーン材を利用した真空圧密工法を適用したが、ドレーンの打設から負圧作用において、大きなトラブルは生じなかった。
- (2)盛雪の築造に際しては、2009年度は試験施工を行い、1層当たり0.6m厚でまき出し、2回転圧することを決定した。2009年度は、支持力補強のための散水を行ったことから、平均密度は0.72g/cm³となり、2010年度は散水を行わず、0.60g/cm³程度で築造した。

参考文献

- 1) 新舎博他：盛雪と真空圧密を併用した軟弱地盤の減容化施工，地盤工学ジャーナル，Vol.6, No.3，pp.427～438，2011。
- 2) 政田博康他：盛雪を上載荷重とした真空圧密ドレーン工法による軟弱地盤の減容化試験施工（その1），（その2）：第67回年次学術講演会，pp.303～306，2012。
- 3) 真空圧密ドレーン工法技術資料，真空圧密ドレーン工法研究会，2010。

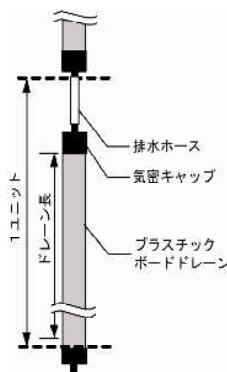


写真1 キャップ付PBD



写真2 ドレーン打設状況

表1 盛雪の転圧試験

雪の状態	ρ_s (g/cm ³)	備考	
新雪	0.299		
雪捨て場-1	0.484	下部の雪塊を採取	
雪捨て場-2	0.552	下部の雪塊を採取	
転圧+散水（運搬路）	0.603		
試験転圧	転圧なし	0.525	
	2回転圧時	0.548	層厚70cm→60cm
	4回転圧時	0.550	層厚60cm→55cm
	6回転圧時	0.551	層厚変化なし
8回転圧時	0.550	層厚変化なし	



写真3 盛雪全景（2009年度，本工区）



写真4 盛雪全景（2010年度）

真空圧密ドレーン工法研究会 国際会員 ○新舎 博
同上 正会員 白神新一郎

1. はじめに

札幌市の豊平川下流部においては、2009年度と2010年度に、盛雪と真空圧密を併用した地盤の減容化試験施工が実施された。地盤は、両年度とも、表層に軟弱な腐植土(A_p)層があり、中間砂層を挟んで、下部に沖積粘土(A_{c2})層がある。5m高の盛雪は、図1に示すように、2009年度は盛雪の天端幅とドレーン改良幅を同一としたため、盛雪の法部が改良域の外側にまで及んだ事例(改良面積は40m×60m)¹⁾であり、2010年度は盛雪の天端幅よりもドレーン改良幅を大きくして、盛雪の法部をすべて改良域内に取り込んだ事例(改良面積は50m×200m)である。改良域については、両事例とも、キャップ付PBDを1.0mの正方形配置で打設し、 -60kN/m^2 の負圧を地盤に作用させた。本文では、実測とFEM解析(プログラム名:Dacsar)による沈下形状を比較して考察する。なお、施工については、その¹⁾を参照されたい。

2. 改良断面

2009年度および2010年度のドレーン打設深度を図2に示す。2009年度は排水ホース長6.0m、およびドレーン長10.5mであり、2010年度は排水ホース長5.1m、およびドレーン長7.4mである。両事例のドレーン長は地盤条件の相違によりやや異なっているが、ドレーンを通じて負圧が作用する粘土層は、両事例とも、 A_{sc} 層(砂質シルト)～ A_{c2} 層である。

3. FEM解析

(1) 解析条件：2009年度と2010年度のFEMメッシュ図を、図3と図4に示す。土の構成モデルとしては、表1に示すように、2009年度は A_p 層と A_{c2} 層はCam-Clayモデルを用い、盛雪、 A_{s1} 層(A_{sc} 層は砂分が多いことから A_s 層に含めた)および地盤表層部で観測された凍土層は線形弾性体と仮定した。凍土は盛雪施工前には存在しなかったが、圧密期間中の日最低温度が $-5\sim-15^\circ\text{C}$ であったことから新たに形成されたものであり、サンプリングして厚さを調べたところ25cmであった。また、盛雪中央部において、盛雪下部の地盤表面の温度を測定すると常に 0°C であったことから、凍土は盛雪の直下には存在しないものと判断した。2010年度においては、 A_{p1} 層、 A_{c1} 層、 A_{sc} 層および A_{c2} 層は関口・太田の弾塑性モデル(異方性を考慮)を用い、盛雪と A_{s1-2} 層は線形弾性体と仮定した。圧密荷重としては、盛雪荷重と負圧が会領域に作用する。2009年度は、盛雪の単位体積重量 γ_1 は 7.0kN/m^3 であり、剛性は現地サンプリングした盛雪の曲げ強度試験(JIS A 1106)の結果から、 $E=90\text{KN/m}^2$ と設定した。2010年度は盛雪を $\gamma_1=6.0\text{kN/m}^3$ で作製したことから、 $E=7\text{KN/m}^2$ を用いた。

(2) 実測と解析結果の比較：改良域中央部における実測と解析の沈下曲線を、2009年度は図5、2010年度は図6に示す。負圧停止時において、2009年度は全層で79.0cm、および2010年度は56.2cmの沈下が観測された。図5と図6によると、実測と解析の沈下曲線はよく一致する傾向がある。なお、両年度の沈下量の相違は主に、改良粘土層厚が異なるためである。また、負圧停止時における地表面の沈下形状を、2009年度は図7、2010年度は図8に示す。実測と解析の地表面沈下形状を比較する

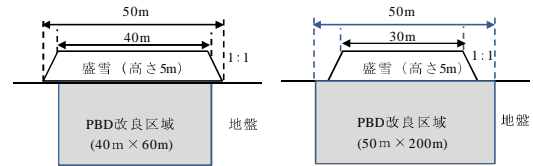


図1 盛雪幅と改良幅の関係

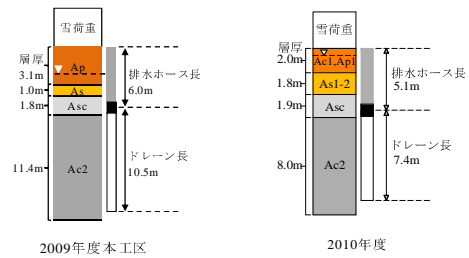


図2 ドレーン打設断面

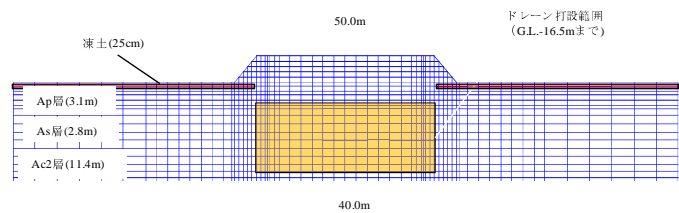


図3 FEMメッシュ (2009年)

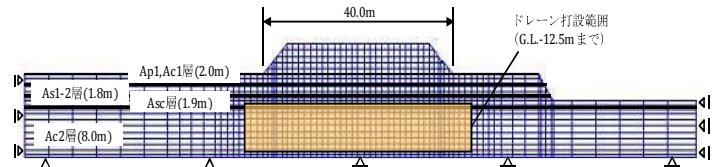


図4 FEMメッシュ (2010年)

2009年度

材料名	e	γ_s (kN/m ²)	ν	λ	κ	M	k (m/sec)
Ap-1	8.77	9.0	0.333	2.04	0.204	1.8	1×10^{-3}
Ap-2	7.47	11.0		1.81	0.181	1.8	1×10^{-3}
As	-	18.0		E(MN/m ²)=2.8			1×10^{-3}
Ac2-1	1.59	16.0		0.26	0.026	1.2	1×10^{-5}
Ac2-2	1.94	16.0		0.36	0.036	1.2	1×10^{-6}
Ac2-3	1.78	16.0		0.41	0.041	1.2	1×10^{-6}
凍土	-	11.0		E(MN/m ²)=90.0			1×10^{-3}
盛雪	-	7.0		E(MN/m ²)=90.0			1×10^{-3}

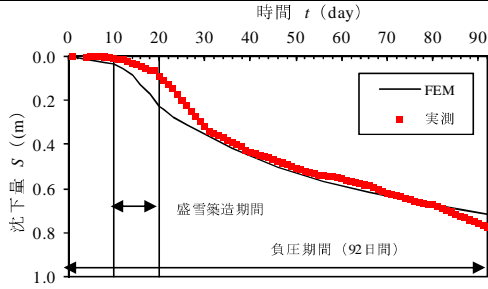


図5 改良域中央部の沈下曲線 (2009年度)

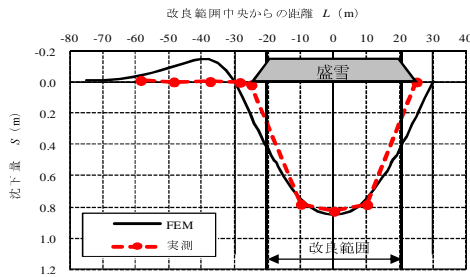


図7 地表面形状 (2009年度)

と、図7および図8とも、両者は比較的良好に一致する傾向がある。しかしながら、両年度の、盛雪の剛性と改良範囲の相違が地表面沈下形状に与える影響については、両年度の結果を比較しても明確でない。

そこで、2009年度の断面を対象として、盛雪の剛性を变化させた解析を実施した。解析は、ケース1が盛雪のEが5MN/m²、ケース2が盛雪のEが90MN/m²(凍土なし)、およびケース3が盛雪と凍土のEが90MN/m²である。解析結果を示した図9によると、盛雪の剛性が大きい場合には、盛雪の法部下部の地盤に応力が集中するため、中央部の沈下が減少し、一方、盛雪の剛性を小さくすると、盛雪の荷重が改良域内に全量作用し、改良域の中央部で大きな沈下が得られることが明らかである。このように、盛雪の剛性および盛雪幅と改良幅の関係により、改良域内の沈下が大きく異なるものになると考えられる。

4. まとめ

札幌市の豊平川下流部において、2009年度と2010年度に、盛雪の剛性および盛雪幅と改良幅が異なる減容化試験施工が実施された。沈下に関して、実測とFEM解析の結果を比較すると、次の結論を得た。

- (1) 粘土に弾塑性モデル、砂と盛雪(凍土も)に弾性モデルを用いたFEM解析を行うと、実測と解析の沈下がよく一致した。
- (2) 改良域内の沈下は、盛雪の剛性および盛雪幅と改良幅の関係により、大きく異なるものになる。

参考文献 1) 新舎博他：盛雪と真空圧密を併用した軟弱地盤の減容化施工，地盤工学ジャーナル，Vol.6，No.3，pp.427～438，2011。 2) 新舎博他：高水敷の切り下げを目的とした盛雪・真空圧密併用の減容化試験施工(その1)，地盤工学会北海道支部，第53回年次技術報告会，投稿中。

表1 入力定数

2010年度

材料名	e	γ_s (kN/m ²)	ν	λ	κ	M	k (m/sec)
Ac-1, Ap-1	2.305	14.5	0.33	0.29	0.029	1.2	1.27×10^{-8}
As1-1	-	18.0		E(MN/m ²)=16.0			1×10^{-6}
Asc	1.177	17.6		0.15	0.015	1.2	2.61×10^{-8}
Ac2	1.775	16.0		0.36	0.036	1.2	5.73×10^{-10}
盛雪	-	6.0		E(MN/m ²)=7.0			1×10^{-6}

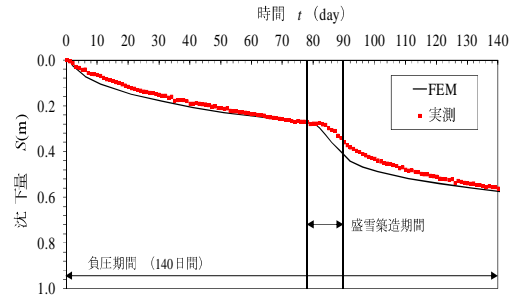


図6 改良域中央部の沈下曲線 (2010年度)

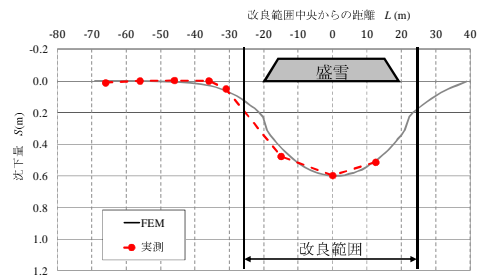


図8 地表面の形状 (2010年度)

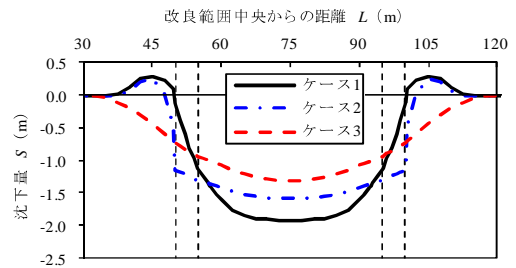


図9 地表面沈下形状 (FEM解析)