

真空圧密工法を適用した泥炭地盤の長期沈下挙動予測

秋田工業高等専門学校 非会員 ○佐藤 こまち 非会員 柳田 紘希 正会員 山添 誠隆
 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 林 宏親

1. はじめに

泥炭地盤の主要対策工である真空圧密工法は、鉛直ドレーンを介して地盤内に負圧を与え、圧密促進と強度増加を図る。また、真空解除後に過圧密領域を生成し、供用後の維持管理で問題となる長期沈下を低減する試み¹⁾も原位置ではなされている。筆者らは別報²⁾で、除荷履歴を受けた泥炭の圧縮特性がアイソタック則に従うことを明らかにした。本研究ではその知見に基づき、事前照査法の確立を目的に、真空圧密工法で改良された泥炭地盤の長期沈下挙動の予測を試みる。また、真空ポンプの運転期間を変化させたシミュレーションも行い、これが長期沈下挙動に及ぼす影響を検討する。

2. 解析対象

解析対象は北海道江別市美原で実施された。盛土形状および基礎地盤は図1のとおりで、深度20m程度まで泥炭性軟弱地盤が堆積する。このうち、泥炭層(Ap)は表層に厚さ4.5m程度で堆積しており、含水比の大きさから、上部層(Ap-u)と下部層(Ap-l)に分けられる。Ap-uの自然含水比は $w_n=656\%$ 、強熱減量は $L_t=70\%$ （ともに平均値）である。またAp-lは $w_n=291\%$ 、 $L_t=31\%$ である。基礎地盤は、砂分を含む粘土層(Acs)を除いてほぼ正規圧密状態にある。

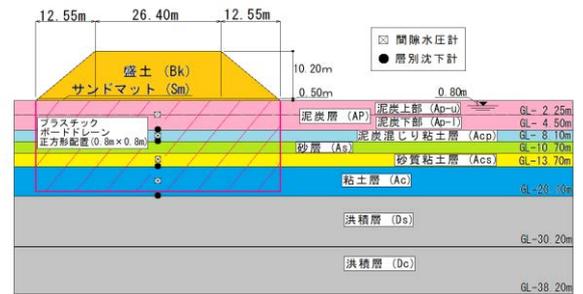


図1 盛土形状および基礎地盤

3. 解析条件

FEM解析に用いた有限要素メッシュおよび境界条件を図2に示す。解析に用いた構成モデルは超過応力型のCam-clayモデルで、粘塑性変形はアイソタック則に従うものと仮定している。表1はパラメータの一覧で、多くは試験結果により決めたが、一部推定式を用いた。除荷後の挙動で重要となる膨張指数 κ については、別報²⁾より圧縮指数 λ の0.2倍とした。真空圧密による集排水効果にはマクロエレメント法を用いた。

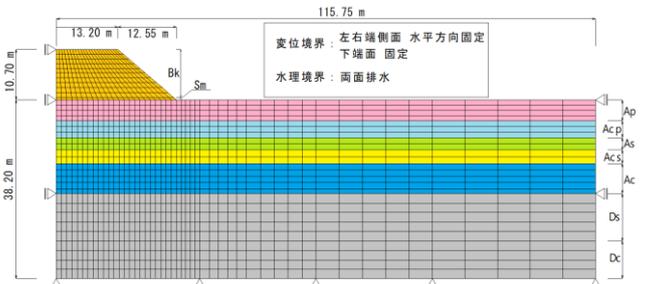


図2 有限要素メッシュおよび境界条件

表1 パラメータ一覧

記号	深度 (m)	適用モデル	γ (kN/m ³)	OCR	E (kN/m ²)	ν	λ	κ	e_0	M	K_{0NC}	K_{0OC}	k_{v0} (m/s)	k_{h0} (m/s)	λk	λac	ϵ_{v0}^{VP} (1/s)
Bk	-10.70 ~ -0.50	B	17.0		14,000	0.3											
Sm	-0.50 ~ 0.00	B	17.0		14,000	0.3											
Ap-u	0.00 ~ 2.25	A	11.5	1.5		0.1	2.864	0.573	11.6	1.86	0.29	0.41	1.2×10^{-7}	2.3×10^{-7}	1.085	0.201	1.0×10^{-10}
Ap-l	2.25 ~ 4.50	A	11.5	1.1		0.1	1.259	0.252	6.3	1.54	0.39	0.42	4.6×10^{-9}	9.3×10^{-9}	0.803	0.0881	1.0×10^{-10}
Acp	4.50 ~ 8.10	A	14.5	1.0		0.3	0.334	0.067	2.35	1.37	0.44	0.44	6.0×10^{-9}	6.0×10^{-9}	0.334	0.0134	1.0×10^{-11}
As	8.10 ~ 10.70	B	18.0		21,000	0.3					0.46		8.1×10^{-6}	8.1×10^{-6}			
Acs	10.70 ~ 13.70	A	17.5	4.0		0.3	0.178	0.036	1.17	1.20	0.50	0.93	6.5×10^{-9}	6.5×10^{-9}	0.178	0.0071	1.0×10^{-11}
Ac	13.70 ~ 20.10	A	16.5	1.0		0.3	0.339	0.068	1.65	1.20	0.50	0.50	7.3×10^{-10}	7.3×10^{-10}	0.339	0.0136	1.0×10^{-11}
Ds	20.10 ~ 30.20	B	18.0		23,800	0.3					0.50		1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}			
Dc	30.20 ~ 38.20	A	16.5	1.0		0.3	0.191	0.038	1.07	1.20	0.50	0.50	3.4×10^{-9}	3.4×10^{-9}	0.191	0.0076	1.0×10^{-12}

モデル A:カムクレイ, B:弾性体, γ :単位体積重量, OCR:過圧密比, E :弾性係数, λ, κ :圧縮, 膨張指数, e_0 :初期間隙比, M :限界状態応力, K_{0NC}, K_{0OC} :正規, 過圧密状態の静止土圧係数, $k_{v0}, k_{h0} \cdot e_0$ に対応する鉛直, 水平方向の初期透水係数, λk :透水係数指数, λac :二次圧密係数, ϵ_{v0}^{VP} :初期体積ひずみ速度

キーワード：泥炭, プレロード, 沈下, FEM, Peat, Preload, Settlement, FEM

連絡先：〒011-8511 秋田県秋田市飯島文京町1番1号

4. 解析結果および考察

図3は泥炭層(Ap)で計測された沈下量および過剰間隙水圧の経時変化とFEM解析結果を比較したものである。Ap層では、負圧の载荷によって過剰間隙水圧が低下し、その後の盛土施工によって正の値に転じる。真空ポンプを運転し続けた結果、再び負の値となり、真空ポンプの停止とともにゼロ（静水圧）に戻る。ポンプ停止後の沈下量は約2mで、その後ほとんど沈下は発生していない。FEM解析値は、この原位置挙動を概ね一致しており、真空ポンプ停止後の沈下挙動も概ね再現できている。

5. 真空ポンプの運転期間が長期沈下に及ぼす影響

真空ポンプの運転期間がポンプ停止後の残留沈下に及ぼす影響を把握するため、表2に示す3ケースのシミュレーションを行った。FEMによって得られたひずみ速度と時間の関係を図4に示す。同図には「泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル³⁾」に示される構造物接続部における供用3年目の残留沈下量の許容値20mm/yearを参照し、目安として示したひずみ速度の許容値($1.4 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$)も示してある。この図から、地盤内に正の過剰間隙水圧が残留したCase1および過圧密効果が小さいCase2では、真空解除によるひずみ速度の低下が小さく、真空解除時点では許容値を上回っていることがわかる。一方、過圧密履歴を与えることができたCase3では、真空ポンプの解除直後に許容値を下回り、見かけ上の時間を大幅に増加させていることがわかる。

6. 結論

除荷後を含む圧縮則がアイソタック則に従うものと仮定し、真空圧密工法を適用した泥炭地盤の長期沈下挙動の予測精度を検証した。その結果、実務的に許容される精度での予測が可能であること、また真空ポンプの稼働日数を変化させたシミュレーション結果から、真空ポンプの延長で長期沈下を大幅に低減できる可能性を指摘した。

<参考文献>

- 1) 林宏親、西本聡、橋本聖、梶取真一：真空圧密工法によって改良された泥炭性軟弱地盤の長期沈下挙動、地盤工学ジャーナル、Vol.8, No.3, pp.415-424, 2013.
- 2) 小坂龍河、熊地純人、山添誠隆、花田智秋、荻野俊寛：除荷を受けた有機質土の長期沈下挙動と解析、令和3年度土木学会東北支部技術研究発表会
- 3) (独)土木研究所 寒地土木研究所:泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル、pp.46-47, 2017.

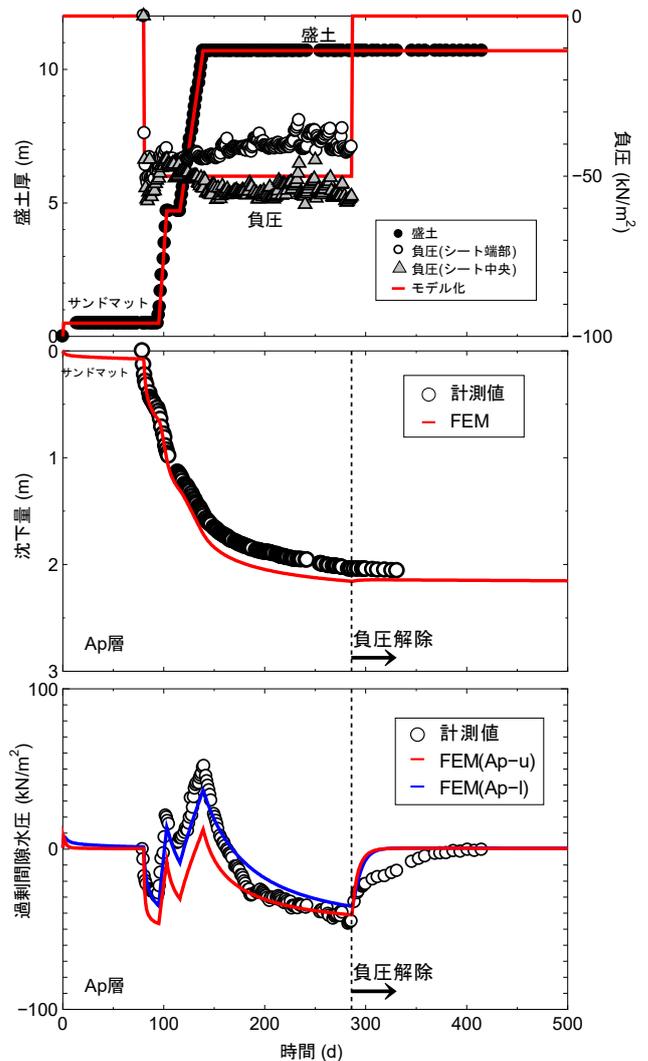


図3 泥炭層(Ap)で計測された沈下量および過剰間隙水圧の経時変化とFEM解析結果の比較

表2 各ケースの真空ポンプ運転期間

ケース	真空ポンプの停止時期	備考
Case1	盛土完了時点	—
Case2	盛土完了後1ヶ月	—
Case2	盛土完了後5ヶ月	4章の解析結果

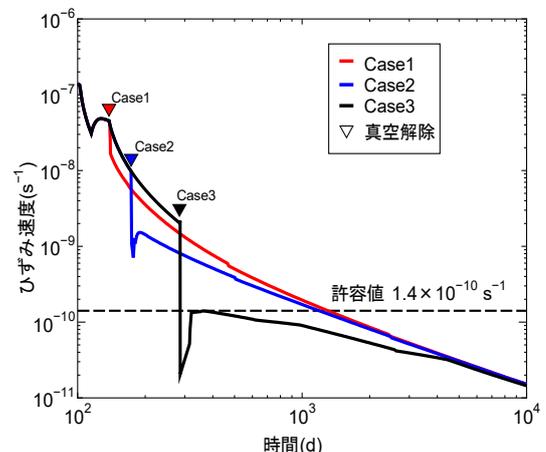


図4 真空ポンプの運転期間を変化させた場合のひずみ速度の経時変化