

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760438

研究課題名(和文) 高有機質土地盤における盛土併用真空圧密工法の最適設計に関する研究

研究課題名(英文) Study of Optimizing Control of Embankment Construction on Peaty Ground Combinedly using Vacuum Consolidation Method

研究代表者

荻野 俊寛 (OGINO, Toshihiro)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80312693

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：泥炭地盤上に施工される盛土併用真空圧密工法を念頭に、盛土の荷重速度および荷重時期の最適化による地盤の引込み変形制御の可能性を検討するため、その応力状態を再現した室内三軸試験を実施した。一連の実験結果から負圧や軸応力の荷重によって発生する側方ひずみが、軸応力の荷重速度や荷重時期によって影響を受けることを示し、これらの荷重条件を適切に設定することによって側方変形をほとんど生じない盛土施工実現の可能性を示している。また、泥炭の非排水強度および変形係数が負圧の荷重履歴による過圧密効果によって著しく増加すること、また、その非排水強度増加率が粘性土に対する推定式とよく一致することを示している。

研究成果の概要(英文)：A series of laboratory triaxial tests which simulated embankment construction on peaty ground combinedly using vacuum consolidation method were performed to confirm that optimizing the rate and starting time of the embankment loading can suppress lateral deformation of the ground during construction. The test results revealed that the rate and start time of axial stress loading strongly affected the resulting lateral strain of the samples. Possibility that optimization of the loading condition of vacuum pressure and embankment allows one to construct the embankment with almost no lateral deformation was indicated.

Combined loading of vacuum pressure and axial stress also strongly improved strength and deformation characteristics of peat samples. A prediction method proposed so far for clayey soil could successfully be applied to undrained shear strength of peat soils under the combined loading.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：真空圧密 高有機質土

1. 研究開始当初の背景

かつて Kjellman によって考案された真空圧密工法は近年見直され、1990 年代後半から施工事例が急速に伸びている。きわめて軟弱な泥炭地盤においてこの工法は特に有効であり、既存の対策工法に置き換わって積極的に用いられるようになってきている。特に、真空圧密工法によって改良された地盤上に盛土を施工した場合(以下、盛土併用真空圧密工法と呼ぶ)、両者の相乗効果による圧密促進が期待できることから、両者の複合的な施工が一般的になっている。このような施工において圧密促進と工期短縮の程度を決めるのは負圧および盛土荷重の大きさと盛土の載荷時期および載荷速度である。実施工では盛土自体のすべり破壊に対する安定性と工期の短縮を重視してこれらの値が設計されているが、過度な負圧の載荷によってしばしばすべり変形とは正反対の「改良域を内側へ引き込むような変形」が発生し、これによる周辺地盤への影響が問題となっている。

この工法が見直されて以降、そのメカニズムについての研究も行われるようになり、真空圧密は間隙水圧の減少による有効応力の増加という新たな解釈によって説明されるようになった。この考え方にもとづいて真空圧密を模擬した室内三軸試験や数値解析が数多く実施されている。これまでに真空圧密による地盤の引き込み変形の問題はその発生メカニズムが明らかにされるとともに、要素試験や数値解析上でもその現象が確認されている。

負圧載荷と盛土荷重載荷によって生じる側方変形の符号は互いに逆であることから、この真空圧密のメカニズムは暗に、結果として発生する側方変形が真空圧や盛土荷重

の載荷条件によってコントロール可能であると示唆している。しかし、負圧と盛土荷重の複合的な載荷を受けた泥炭の変形挙動は明らかにされておらず、真空圧や盛土荷重の最適な載荷条件は土要素レベルでもわかっていない。

2. 研究の目的

泥炭地盤における盛土併用真空圧密の最適な設計とは、側方への変形を最小にしつつ盛土を安定に盛り立て、かつ工期を最短にするような真空圧の大きさや盛土圧の載荷時期および載荷速度の設定にある。本研究の研究目標はそのような設計の実現性の確認と設計法の確立および妥当性の検討であり、具体的には3年の研究期間で以下のことを明らかにする。

1. 真空圧・盛土圧の大きさおよび盛土の載荷時期・載荷速度を様々な組み合わせた三軸シミュレーション実験によって側方変形を押さえつつ高有機質土の圧密を促進させることが可能であることを示し、側方変位を最小にコントロールするための負圧や盛土の載荷条件を明らかにする。
2. 各種構成モデルによる三軸要素の有限要素解析によって上記シミュレーション実験の再現性を検討し、仮想地盤に対し数値解析を行って最適な真空圧および盛土圧の載荷時期・載荷速度を設計する。
3. 上記の仮想地盤の模型に対して数値解析結果反映した実験を行い、模型実験によって提案する設計法の妥当性を検証する。

3. 研究の方法

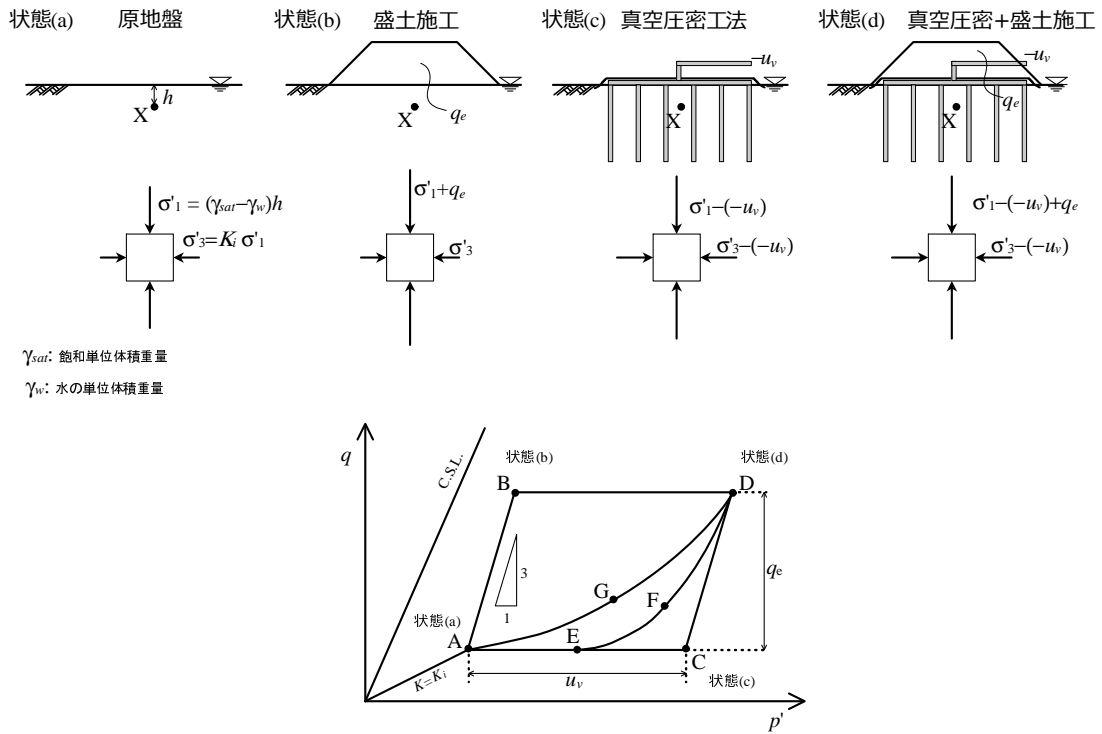


図 1: 各工法の模式図と想定した地盤内要素の応力状態および応力経路

当初計画していた研究の流れは以下のとおりである。

1. 盛土併用真空圧密工法の三軸シミュレーション実験の実施
2. 真空圧・盛土の最適な载荷条件の検討
3. 各種構成則によるシミュレーション実験の再現性検討と仮想地盤に対する数値解析
4. 模型実験による妥当性の検討

なお、3の過程で泥炭の堆積構造に起因する変形の異方性が大きく、想定していたカムクレイ系の構成モデルの適用が困難であることがわかった。そのため、4についてはいったん保留し、泥炭の盛土併用真空圧密に適用しうる構成則の検討を行うこととした。

図 1 は盛土併用真空圧密工法とそれを模倣した三軸シミュレーション実験の応力経路の模式図である。初期状態である原地盤(状態 (a))において、点 X の応力状態は図中の要素によって示される。この地盤に荷重 q_e の盛土が築造されるとその状態は (b) のようになり、点 X の鉛直方向の応力状態は σ'_1 から $\sigma'_1 + q_e$ へと変化する。この時の応力経路は図中の経路 AB に対応する。盛土荷重の载荷速度が過剰間隙水圧の消散速度に比べて小さい場合は経路 AB は有効応力経路に等しくなる。次に、原地盤を真空圧密工法によって改良した場合は状態 (c) のようになり、地盤内の間隙水圧は载荷した負圧 u_v と等しい分だけ減少し、全応力に変化が生じないため、点 X の有効応力状態は σ'_1 から $\sigma'_1 - (-u_v)$ へ、 σ'_3 から $\sigma'_3 - (-u_v)$ へと変化する。このときの有効応力経路は経路 AC で表される。この状態から負圧を

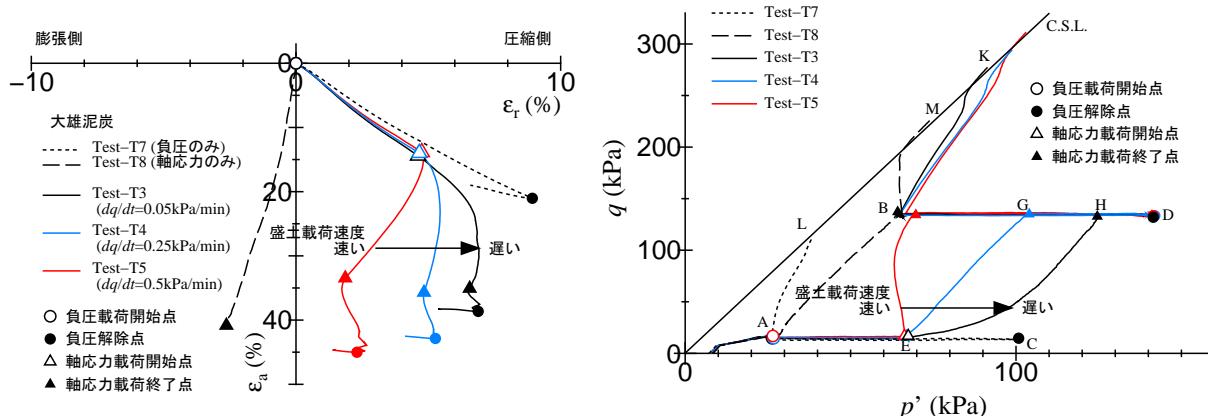


図 2: 盛土荷重条件の違いが泥炭の側方変形におよぼす影響

解除すると、有効応力が減少し再びもとの状態に戻る (経路 CA). 次に、原地盤を真空圧密工法で改良した後、負圧荷重を継続したまま盛土を施工する場合は (c) の状態の後に (b) を重ね合わせることになり、最終的に (d) の状態に至る. この状態から負圧を解除するとふたたび (b) の状態に戻り、このときの応力経路は経路 ACDB となる. 負圧荷重と盛土の盛立てを組合わせて行った場合は状態 (b) と状態 (c) が複合的に発生する. たとえば盛土の盛立てを負圧荷重と同時に始めた場合は AGD のような経路になり、負圧がある程度荷重された段階で盛土を盛立て始めた場合は AEFD のようになる.

4. 研究成果

(1) 平成 23 年度の成果

① 泥炭地盤に対する真空圧密の効果の確認と三軸シミュレーション実験による泥炭の変形挙動の検証

研究の前提を再確認するため、泥炭地盤上に施工した真空圧密の現場を視察した. 次に、室内で真空圧密を模擬した三軸試験を実施し、真空圧によって「側方への引き込み変形」が再現されることを確かめた.

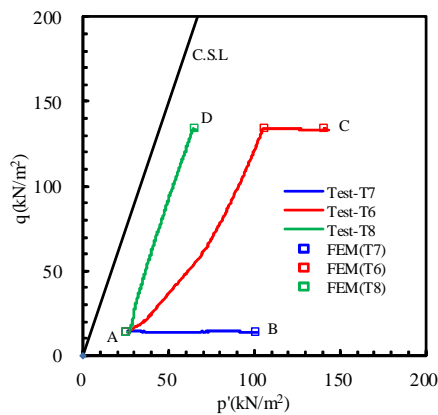
その後、「真空圧および盛土荷重による側方変形の制御」の可能性を確かめるため、秋田県内で採取した不かく乱泥炭試料を用いて荷重条件を変化させた一連のシミュレーション実験を実施した. 図 2 に代表的な実験結果を示す. 実験結果から側方への引き込み変形は盛土荷重の荷重条件に大きく依存し、盛土の盛立てを適切に行うことで荷重条件の最適化が可能であることがわかった. これらの成果は【雑誌論文】 [3], 【学会発表】 [2] で発表している.

② 真空圧および盛土荷重の荷重による泥炭の変形特性の変化

一連のシミュレーション実験では実験中の泥炭の強度増加を評価するため、連続的に弾性波速度の測定を実施し、強度の指標としてせん断弾性係数 G を求めた. 真空圧密された泥炭の G は有効応力の関数として表され、その関係は通常の圧密の場合とほぼ等しい関係にあることが確認された. なお、泥炭の変形係数については【雑誌論文】 [2], 【学会発表】 [2] で発表されている.

(2) 平成 24 年度の成果

① 実験結果をふまえた最適な真空圧・盛土荷重の荷重条件の検証



経路①：A→B(Test・T7)
真空単独載荷を想定した応力経路

経路②：A→C(Test・T6)
真空と盛土を同時に載荷した場合の応力経路

経路③：A→D(Test・T8)
載荷盛土が主体となる応力経路

ひずみの算出結果 (単位：%)

構成モデル	経路①(Tes-T7)			経路②(Tes-T6)			経路③(Tes-T8)		
	ϵ_a	ϵ_r	ϵ_v/ϵ_s	ϵ_a	ϵ_r	ϵ_v/ϵ_s	ϵ_a	ϵ_r	ϵ_v/ϵ_s
試験値	24	6	40/11	58	2	65/33	53	-2	48/33
OCC	26	6	43/12	56	4	71/30	53	-1	49/33
MCC	16	13	48/2	37	9	69/15	36	2	43/20
SO	3	21	54/(-10)	56	4	71/29	51	-1	49/31

図 3: 実験結果と各種構成則によるひずみの比較

前年度の結果から盛土荷重の載荷条件が側方変形に大きく寄与することが明らかとなった。そこで、最適な載荷条件を明らかにするため、盛土荷重の載荷時期、載荷速度を様々に変化させたシミュレーション実験を実施した。実験結果から、盛土荷重の載荷時期を変化させても側方変形はあまり変化しないが、載荷速度載荷速度が大きいほど、側方への引き込み変形は抑制されること、また、その条件は試料による違いが顕著であること、が明らかとなった。これらの結果は【学会発表】[1]で発表されている。

② 盛土併用真空圧密を受ける泥炭の変形挙動に対する既存の構成則の適用性の検討

実務では数値解析によって地盤の変形問題を取り扱う。したがって、三軸シミュレーション実験で得られた変形挙動が数値解析に用いる構成モデルによってどの程度反映されるかが解析の精度を左右することになる。このことを念頭に、実務で用いられているいくつかの一般的な構成則であるオリジナルカムクレイモデル(OCC)、修正カム

クレイモデル(MCC)および関口・太田モデル(SO)の変形挙動と本研究で得られた一連の三軸試験結果を比較した(図3)。その結果、これらのモデルは、泥炭の堆積のしかたに由来する構造異方性によって生じる著しい変形異方性を表現することができないため、真空圧と盛土圧を複合的に受ける泥炭の変形挙動を記述するのが難しいことがわかった。この変形異方性の程度は研究当初に想定していた範囲を超えており、この問題の本質的な解決には異方性モデルの開発が必要となることがわかった。そのため、当初予定していた模型実験の実施をいったん保留し、異方性モデル開発の端緒として、真空圧密で用いられるプラスチックボードドレーン周辺の透水を想定した泥炭の圧密係数の異方性について解析的な手法からのアプローチに着手した。この成果は【雑誌論文】[1]で発表されている。

(2) 平成 25 年度の成果

① 研究成果の総括および今後の展望

一連の研究成果の総括として実験結果と解析結果を再検討した。その結果、新たに、

施工時間を最短にするためには少なくとも真空圧の载荷が定常状態に達する前に盛土の盛立てを終了させる必要があること、泥炭の強度や変形特性におよぼす真空圧密の载荷履歴の効果は盛土荷重に匹敵し、強度増加率の予測にはこれまでに提案されている粘性土の予測式が適用可能であることなどがわかった。これらの知見は論文としてとりまとめられ、2014年5月に土木学会論文集に投稿されている。

5. 主な発表論文等

【雑誌論文】(3件)

- [1] 山添 誠隆, 田中 洋行, 林 宏親, 荻野 俊寛, 三田地 利之: プラスチックボードドレーン工法を適用した泥炭地盤の圧密沈下予測に用いる水平方向圧密係数, 地盤工学ジャーナル, 査読有, **16:Vol. 8, No. 4**, (2012), 517-532.
- [2] 佐藤望真, 荻野 俊寛, 高橋貴之, 林宏親, 及川 洋: 有機分を含む土の初期せん断剛性率および規準ひずみの定式化, 地盤工学ジャーナル, 査読有, **16:Vol. 8, No. 1**, (2013), 133-142.
- [3] 荻野 俊寛, 清原 雄康, 仙頭 紀明: 東北地方の特色ある地盤, 地盤工学会誌, 査読無, **16:Vol. 60, No. 10**, (2012), 17-19.

【学会発表】(2件)

- [1] 柳田 陽平, 荻野 俊寛, 高橋 貴之, 山添 誠隆, 及川 洋: 真空圧密盛土工法をシミュレートした三軸試験による高有機質土の変形挙動, 土木学会東北支部技術研究発表会, (2014年3月8日, 八戸市)
- [2] 三浦 豪太, 荻野 俊寛, 高橋 貴之, 三田地 利之, 及川 洋: 盛土併用真空圧密工法を模擬した三軸試験による高有機質土の変形挙動, 第46回地盤工学研究発表会発表講演集, (2011年3月5日, 仙台市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荻野 俊寛 (OGINO, Toshihiro)
秋田大学・大学院工学資源学研究科
・准教授
研究者番号: 80312693

(2) 研究協力者

山添 誠隆 (YAMAZOE, Nobutaka)
(株)シーウェイエンジニアリング
・技術部次長