

大阪大学大学院 正会員 阿部信晴
 大阪大学大学院 学生員 加藤智章
 大阪大学工学部 学生員 ○橋本雅司

1. まえがき

真空圧密工法 (vacuum preloading method) は、鉛直ドレーンを打設した地盤表面を気密シートで覆い、真空圧を作用させて間隙水や空気を強制的に排出して軟弱地盤を改良する方法である。最近、この方法が軟弱地盤改良工法として採用されるケースが増加しており、その有用性についても数多く報告されている。しかし、真空載荷を用いる場合の軟弱地盤の沈下や安定性等の予測については、現在においてもなお解明すべき課題は多い。本報告は、真空圧密工法により改良された粘土地盤の圧密挙動を弾粘塑性モデル (流動曲面履歴変数モデル) を用いた土・水連成圧密解析手法により検討したものである。

2. 真空載荷を用いる盛土工における圧密挙動解析

(1) 解析の概要

解析は、厚さ 10m の軟弱粘土地盤上に高さ 2 m の盛土 (天端幅 16m, 底面幅 28m, 盛土の単位体積重量 $2.0\text{t}/\text{m}^3$) を施工するケースについて実施している。図-1 は平面ひずみモデルの要素分割を示したものであり、境界条件等は図に示すとおりである。軟弱地盤は有明粘土が自重堆積したものを想定している。また、鉛直ドレーンは板状ドレーンとしてモデル化している。施工は、鉛直ドレーンを打設した地盤に、まず $0.2\text{kgf}/\text{cm}^2$ の真空圧を 1 日で载荷し、45 日後、 $0.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ の盛土荷重を 10 日で载荷している (急速施工: 盛土速度 $20\text{cm}/\text{day}$)。そして、盛土荷重による圧密が圧密度 70% (施工開始後 108 日/盛土载荷後 53 日), 80% (135 日/80 日), 90% (181 日/126 日), 100% (314 日/259 日) に達した時点で真空圧を 3 日で解除して、それぞれのケースの残留沈下を計算している。解析では、粘土の構成モデルとして流動曲面履歴変数モデル、土・水連成圧密解析法として連成圧密有限要素解析法を用いている。

(2) 間隙水圧挙動・真空載荷時の変形挙動

図-2 は、盛土工における地盤内の間隙水圧分布を示したものである。真空載荷によって地盤の改良域に負の間隙水圧が生じ、盛土荷重によって正の間隙水圧が発生する。しかし、真空載荷によって正の間隙水圧の発生が低く抑えられ、盛土载荷時の地盤安定性が増加する。真空圧の解除によって間隙水圧は消散し、地盤は過圧密化する。また、真空載荷によって沈下と地盤中心 (改良域中心) に向かう側方変形が生じるが、図-3 に示すように、地盤の非改良域での影響範囲は、沈下ではドレーン長の 1.0 倍、側方変形はドレーン長の 1.5 倍程度である。

(3) 応力経路挙動・安定性

図-4 は要素 43 の有効応力経路・全応力経路を示したものである。真空載荷を用いるもの以外に、鉛直ドレーン打設のみの緩速施工 (盛土速度 $2\text{cm}/\text{day}$) と急速施工 (盛土速度 $20\text{cm}/\text{day}$)、無処理地盤の緩速施工 (盛土速度 $2\text{cm}/\text{day}$) の応力経路も示されている。真空載荷により盛土の急速施工時の有効応力経路が限界状態線に近づくなくなり、盛土

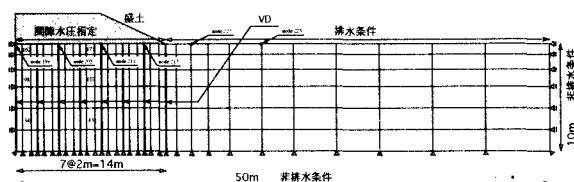


図-1 解析モデル (平面ひずみ)

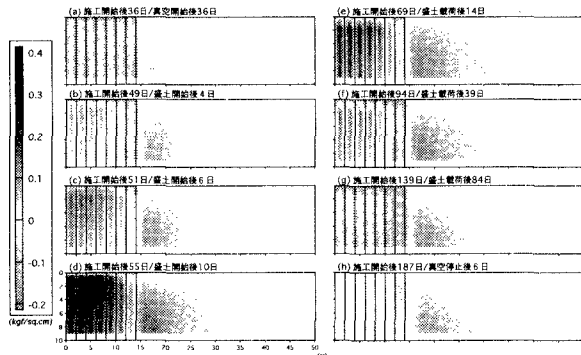


図-2 間隙水圧分布

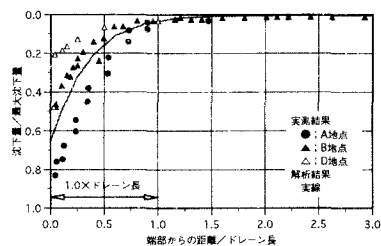


図-3(a) 地表面沈下影響範囲

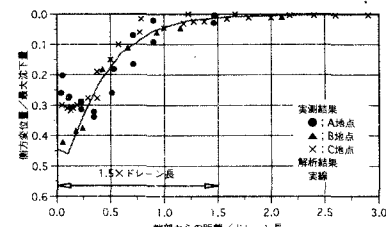


図-3(b) 側方変位影響範囲

工における地盤の安定性が改善される。

(4) 地盤沈下挙動・残留沈下

図-5は真空圧密工法により改良された粘土地盤の沈下挙動を示したものである。圧密度 70%, 80%で真空停止するケースでは早期に残留沈下が発生しているのに対して、圧密度 90%, 100%では残留沈下の発生が遅れることがわかる。図-6は真空停止時の地盤内の間隙水圧分布であるが、真空停止時に盛土による正の間隙水圧が残留しているケースにおいて沈下が早期に発生している。また、図-7は地表面の沈下形状を示したものである。鉛直ドレーンのみの緩速施工では施工開始後半年からの15年間に25cm程度の沈下が発生するのに対して、真空圧密工法(圧密度 90%で真空停止)では地盤を過圧密化することによって残留沈下を大幅に低減することができる。

(5) 真空載荷の停止時期

真空圧密工法では真空載荷装置の稼働期間が施工コストに大きく係わるため、コストの縮減、残留沈下の低減という両面から真空載荷の停止時期を適切に設定することが必要である。これまでの結果によれば、地盤の改良域内に正の間隙水圧が消散した状態で真空停止すると、残留沈下の発生が遅れることが明らかになっているので、間隙水圧の消散は適切な停止時期の指標になりうる。また、地盤表面の沈下速度も停止時期の指標になりうると思われる。たとえば、改良域中心における地表面から1.75mでの間隙水圧がゼロとなるときの圧密度は86%であり、また、改良域中心の地表面での沈下速度が0.2cm/day, 0.3cm/dayとなるときの圧密度は、それぞれ86%, 79%である。図-5に示すように、これらの指標にもとづいて真空停止すれば残留沈下を小さなものに抑えることができる。

3. まとめ

流動曲面履歴変数モデルおよび土・水連成有限要素圧密解析法を用いて真空圧密工法により改良された粘土地盤の圧密挙動解析を行なった。真空圧密工法では真空載荷の停止時期の設定が重要であり、現在、間隙水圧や沈下速度にもとづく手法が提案されている。たとえば、沈下速度では、0.2~0.3cm/dayの速度が3日間継続した時点真空載荷停止時期の目安とすることが多い。解析結果はこれらの手法をよく説明するものとなっている。

4. 参考文献

- 1) 川井田 実他：真空圧密工法の地盤改良効果，第34回地盤工学研究発表会発表講演集，1999，pp1089-1090.
- 2) 安部 哲生他：真空圧密工法を用いた軟弱地盤の沈下対策，第35回地盤工学研究発表会発表講演集，2000，pp1361-1362.

