

残留沈下を考慮した真空圧密工法の真空載荷期間の設定手法について

ハザマ 正会員 松本江基
九州大学 正会員 落合英俊、安福規之

1. はじめに

真空圧密工法は、多数の鉛直ドレーンが打設された地盤の表面を気密シートで覆い、真空ポンプで地盤内の間隙水圧を低下させるとともに間隙水を強制的に排出し軟弱地盤の圧密を促進する工法である。盛土構築時に真空圧密を併用する方法は、盛土前に真空載荷を開始し盛立て完了後所定の期間が経過した時点で真空載荷を停止する方法であるが、地盤破壊を引き起こさずに急速な盛立てが可能となるので工期短縮やコスト縮減に大変効果的である。一方、盛土完了後の残留沈下が問題となるケースでは、残留沈下を出来るだけ生じさせないよう盛土開始や真空載荷停止のタイミングを合理的に設定する必要がある。本報告では、このような施工タイミングを地盤内の間隙水圧変化に着目して設定する手法を提案するとともに、土/水連成 FEM 手法によって提案手法の妥当性を調べた。

2. 残留沈下を生じさせない真空載荷停止時刻のモデル化

図-1 に示す地盤内の点 X に着目すると、真空載荷や盛土載荷工程に伴う全水頭（過剰間隙水圧）の変化が図-2 のように生じると考えられる。時刻ゼロから真空載荷が始まり、時刻 t_f (P 点) で盛土載荷が瞬時になされるとする。盛立てによって増加した間隙水圧 (Q 点) が時間経過とともに消散し、時刻 t_R (R 点) で初期水頭状態（ゼロ）に達する。時刻 t_R で真空載荷を停止すると、それ以降の残留沈下が生じないと仮定すれば、真空載荷停止時刻 t_R が以下のように表せる。

$$U(t_R - t_f) = \frac{(B)}{(C)} = \frac{-p_v \cdot U(t_f) + \gamma_t \cdot H}{p_v + \{-p_v \cdot U(t_f) + \gamma_t \cdot H\}} \quad (1)$$

$$t_R = \frac{1}{A} \ln \left\{ \frac{1}{1 - U(t_f) + L} \right\} + t_f \quad (2)$$

Barron 解に基づけば(1)式より t_R が次式で求まる。

ここで、 p_v ; 真空載荷圧, $U(t_f)$; 盛土開始 (t_f) 時点の圧密度, $\gamma_t H$; 盛土荷重

$$L = \frac{\gamma_t \cdot H}{p_v}, \quad A = -8 \frac{c_h}{d_e^2} F(n)$$

(2)式より残留沈下を生じさせない真空載荷停止時刻 t_R は、盛土開始のタイミング $U(t_f)$ や真空載荷圧 p_v に対する盛土荷重 $\gamma_t H$ の比 L の関数で表されることがわかる。これらをパラメータとして時刻 t_R を求めると、図-3 が得られる。なお、(2)式中の定数 A は圧密係数 c_h やドレーン配置から得られるが、ここでは図-3 中の数値を用いた。図-3 によると、真空載荷停止時刻 t_R は真空載荷圧に対する盛土荷重が大きいほど大きくなり、盛立て開始のタイミング (t_f) が早いほど小さくなる。

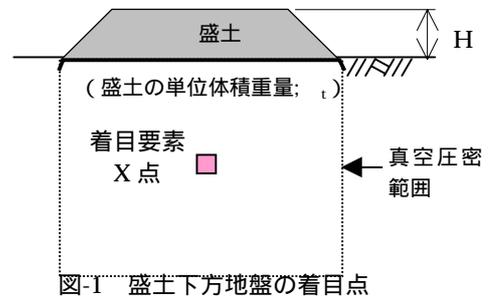


図-1 盛土下方地盤の着目点

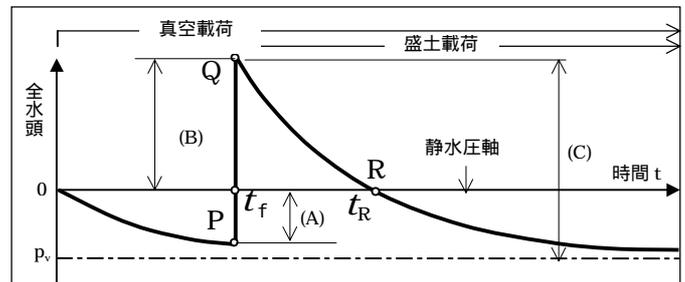


図-2 施工に伴う間隙水圧の時間変化のモデル化

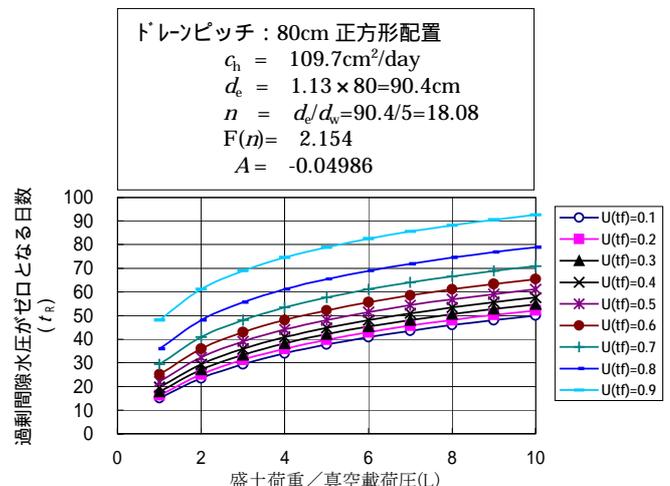


図-3 真空載荷停止時刻 t_R と盛土開始のタイミング $U(t_f)$ および盛土荷重と真空載荷圧の比 L の関係

キーワード：真空圧密工法、盛土、残留沈下、鉛直ドレーン、有限要素法

連絡先：茨城県つくば市荻間西向 515-1 TEL 0298-58-8813 FAX 0298-58-8819

3. FEMによる提案モデル式のチェック

提案モデル式(2)は、過剰間隙水圧の消散速度が図-2中の原点やQ点を初期とする Barron 解に従うものとして導かれた。ここでは、まず、土/水連成 FEM 手法を用いて間隙水圧の消散挙動が Barron 解と一致することを確かめる。次に真空載荷停止後の地盤内水圧の経時変化と残留沈下挙動について調べる。以下のような検討条件で Barron 解と FEM 結果を比較した。

真空載荷圧 p_v ; 全水頭が 1m 低下(9.8kPa)

盛土載荷圧 t_H ; 19.6kPa

盛土載荷圧 / 真空載荷圧 L ; 2

盛土開始のタイミング $U(t_f)$; 盛土開始直前 $U=50\%$

FEM による解析モデルは、1本の鉛直ドレーンとそのドレーンが負担する等価な円筒状の地盤領域を解析対象とし軸対称条件とした。ドレーン配置は図-3中の検討条件と一致させ80cm²の正方形配置とした。地盤モデルは関口・太田モデルと線形弾性モデルの2種類を用い、間隙水圧挙動の検討に線形弾性モデルを用い、残留沈下挙動の検討に関口・太田モデルを用いた。入力パラメータは両モデルともに図-3中の圧密係数と等価な値とした(図-4参照)。なお、粘性に関するパラメータをゼロとしたので二次圧密挙動は考慮されていない。さらに間隙比の減少に伴う透水性の低下を考慮しなかった。

図-5は全水頭の時間的変化を示している。FEM結果はGL-4.5m要素群(図-4中の影部)における間隙水圧の平均値である。Barron解とFEMによる全水頭の時間的変化はよく一致することが確認された。盛土載荷後に全水頭がゼロとなる時刻 t_R は、提案モデル式(2)とFEM結果で一致し32.3日となる。

4. 真空載荷停止を伴う間隙水圧と残留沈下の挙動

図-6は盛土完了後、所定の期間が経過した時点で真空載荷を停止した時の全水頭の時間変化をFEMを用いて調べた結果である。全水頭がゼロの時点($t_R=32.3$ 日)で真空載荷を停止するとその後の間隙水圧変化はほとんど生じない。一方、全水頭がゼロに到達する前に真空載荷を停止すると、間隙水圧は全水頭ゼロになるまで徐々に低下し、全水頭がゼロを下回る時点で真空載荷を停止すると、間隙水圧は全水頭ゼロになるまで徐々に増加する。図-7は真空載荷停止を伴う残留沈下挙動を示している。時刻 t_R 到達前に真空載荷を停止すると停止後も沈下が継続して生じるが、時刻 t_R 以上の時点で真空載荷を停止すれば、停止直後にリバウンドが生じ、その後の沈下は生じないことがわかる。以上より、残留沈下を生じさせないような盛土開始時刻(t_f)や真空停止時刻(t_R)が、提案式(2)によって合理的に設定できる可能性があることがわかった。

5. おわりに

今回の検討では、二次圧密挙動や間隙比の減少に伴う透水性の低下が考慮されていないため、実測データとの比較を行いながら、これらの影響を考慮してより現実的な施工工程の設定手法の確立を目指したい。

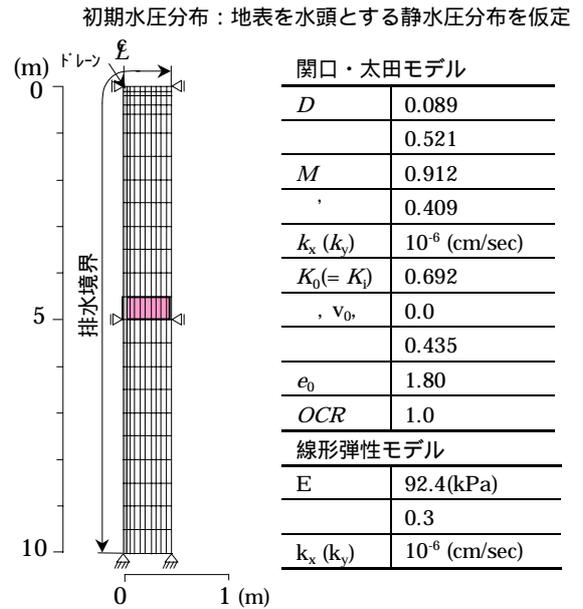


図-4 FEMメッシュと解析に用いたパラメータ

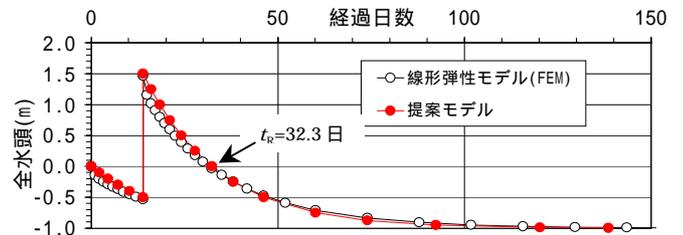


図-5 全水頭の経時変化の比較

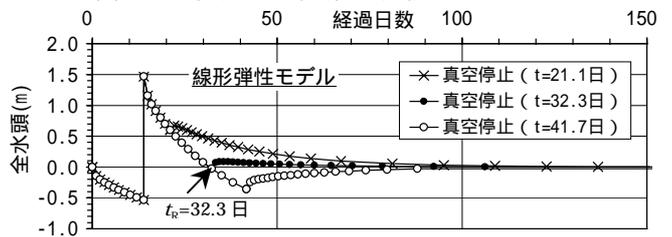


図-6 真空載荷停止を伴う全水頭の経時変化 (FEM)

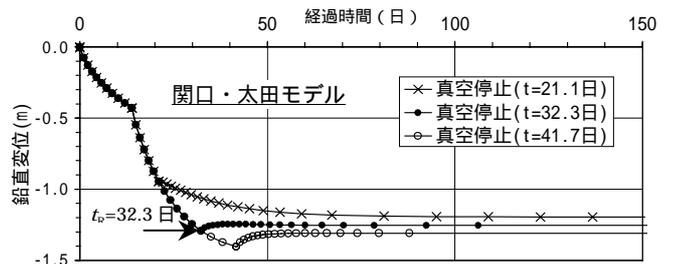


図-7 真空載荷停止を伴う鉛直変位の経時変化 (FEM)