

III-172 グラベルドレーンによる改良地盤の 間隙水圧算定法に関する2, 3の考察

岐阜大学工学部 岡二三生 岐阜大学工学部 八嶋 厚
岐阜大学大学院 〇加藤 満 岐阜大学大学院 高野正年
(鶴) 鴻池組
(鶴) 鴻池組 中島 豊

1. はじめに

グラベルドレーン工法は、低振動・低騒音で周辺地盤への影響が少ないという特長を有しており、いまやサンドコンパクション工法と並ぶ代表的な液状化対策工法となっている。最近では、締固めと排水の複合効果をもつ新工法の開発や釧路沖地震時における液状化対策効果の実証などが報告されており、その進展は著しい。しかし、数値解析法では、Seedら¹⁾の手法をはじめ幾つかの提案がなされているものの、必ずしも十分でなく、改良範囲の合理的な決定法とともに依然として重要な課題として残されている。そのような背景から、著者らは詳細検討が可能なFEM連成解析法²⁾(有効応力法)の開発とともに、その簡便的手法(以後、簡便法という)について検討を行っている。言うまでもなく簡便法は取扱いの容易さに優れており、これまで種々のものが提案され、適用されている。しかしながら、従来の簡便法ではドレーンからの排水を考慮する際に砂の塑性的な成分を取り入れたものが殆ど無く、その影響についての議論は十分になされていなかった。そこで、本稿では有効応力解析結果との比較を通してその影響に関する2, 3の考察を示す。

2. 間隙水圧算定の推定式

ここでは、ドレーンからの排水流量を考慮して定式化を行い、間隙水圧算定のための推定式を得る。まず、体積ひずみ ϵ_v は弾性ひずみ $d\epsilon_{ii}^e$ と塑性ひずみ $d\epsilon_{ii}^p$ の和で表され、非関連流動則によって次のように変形できる²⁾。

$$d\epsilon_v = d\epsilon_{ii}^e + d\epsilon_{ii}^p = \frac{1}{K} d\sigma_m' + \Lambda \frac{\partial g}{\partial \sigma_{kk}'} \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}'} d\sigma_{ij}' = \left(\frac{1}{K} + m^p \right) d\sigma_m' \quad \dots \textcircled{1}$$

ここに、 K はせん断弾性係数、 σ_m' は平均有効応力、 Λ は硬化パラメータ、 f は降伏関数、 g は塑性ポテンシャル関数である。

単位時間にドレーンによって排水される間隙水の流量 Q は間隙水圧 u_w を用いて②式で得られ、流量とひずみの関係は①式を用いて③式のように変形できる。ただし、ここでは全応力の変化なしとしている。

$$Q = \beta u_w \quad \dots \textcircled{2}$$

$$= \int \epsilon_v dA = A \frac{\partial \epsilon_v}{\partial t} = \frac{A}{K'} \frac{\partial \sigma_m'}{\partial t} = - \frac{A}{K'} \dot{u}_w \quad \dots \textcircled{3}$$

ここに、 $\frac{1}{K'} = \frac{1}{K} + m^p$ $\dots \textcircled{4}$ である。また、 β は流出入係数であ

り、グラベルドレーンのウェルレジスタンスを考慮することによって次式で表される^{2) 3)}。

$$\beta = \frac{1}{C_a} \frac{k \Delta t}{r_w r_e} \frac{s_y}{\ln(n) - \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \left(3 - \frac{1}{n^2} \right)} \quad \dots \textcircled{5}$$

ここに、 C_a はドレーン自体の透水性による消散遅れの程度を表すパラメータ、 k は半径方向の透水係数、 r_e は有効円半径、 n は杭径比である。

表-1 材料パラメータ

圧縮指数	λ	0.065
膨潤指数	κ	0.006
ポアソン比	ν	0.3
間隙比	e	1.231
破壊応力比	M_f^*	1.23
変相応力比	M_m^*	0.98
移動硬化パラメータ	B^*	2000
透水係数	k cm/sec	0.0613

後退差分を用いると、②式と③式から次式が得られる。

$$u_{w|t+\Delta t} = \frac{A}{A + \beta \Delta t K'} u_{w|t} \quad \dots \textcircled{6}$$

ここで、排水時に塑性成分を考慮しない場合には⑥式の K' を K に置き換えれば良い。④式より、 $K' \leq K$ となることが容易に分かる。したがって、排水時(間隙水圧消散時)の塑性成分を考慮しない場合の方が危険側の設計になるといえる。

3. 解析例による検討

塑性成分の影響を検討するため、同じ条件の下で、有効応力解析法による解析結果と簡便式による解析結果とを比較し、考察する。まず、図-1は有効応力法(プログラムコード"LIQCA")による未改良地盤(実線)と改良地盤(破線)の間隙水圧比 $u/\sigma'_m \sim$ 時間 t 関係である。用いた解析モデルは、幅5m、高さ1mの飽和砂地盤であり、解析結果はモデル中央付近(深さ50cm)での応答である。また、入力加速度は10Hzの正弦波(最大100gal)であり、砂のパラメータは秋田港外港のものを参考にしている(表-1)。透水係数は排水効果を明確にするためにやや大きく設定している。改良地盤は、直径9cmのグラベルドレンが30cm間隔で16本打設しており、図-1ではドレンによる排水効果が顕著に現れている。

図-2は簡便式による解析結果である。ここでは、未改良地盤の定量的傾向を有効応力解析結果に近似させ、改良地盤の解析を行った。図-2中の実線および破線は簡便式による改良地盤の解析結果を示している。破線は $K'=K$ の場合であり、先述のように排水時の塑性成分を考慮していないものである。この場合、図-1の有効応力解析法の結果に比べて明らかに間隙水圧が小さく(排水量が大きく)危険側となっている。一方、排水時の塑性成分を考慮して $K'=K/8$ とした場合には有効応力解析結果と定量的に一致している。また

ここには示していないが、他の深さにおける解析結果も $K'=K/\alpha$ (α :定数)とすることによって有効応力解析結果を再現できた。したがって、グラベルドレンによる改良地盤の間隙水圧を算定する場合には、排水時にも塑性成分を考慮する必要があり、排水時における塑性成分を考慮すれば、簡便法によっても有効応力解析結果(間隙水圧)と同等の結果を得ることが可能であると考えられる。なお、定数 α は弾塑性構成式の塑性成分 m' によって定量的に表現しうると考えられるが、透水係数を本解析の1/10にした場合には、 α は1に近い値を示した。

4. おわりに

グラベルドレン工法は、その有効性が実証されるなど著しい発展を遂げているが、検討課題もいくつか残されている。本稿では、排水時における塑性成分を無視した場合には間隙水圧消散量が大きくなり、危険側の設計になる場合があることを数値解析によって指摘した。従来、グラベルドレンによる排水の評価を体積圧縮係数 m_v によって与える場合が多いが、上記の指摘は m_v の決定に再考の必要があることと等価である。今後は、簡便法のより詳細な検討を行なうとともに、有効応力解析法の実証などを進める予定である。

参考文献 1)Seed, H. B. and Booker, J. R.: Stabilization of potentially liquefiable sand deposits using gravel drain, J. of Geotechnical division, ASCE, Vol. 103, No. GT7, pp. 757-768, 1977. 2)Oka, F., Yashima, A., Kato, M. and Sekiguchi, K.: A constitutive model for sand based on the non-linear kinematic hardening rule and its application, Proc. of 10WCEE, pp. 2529-2534, 1992. 3)田中・国生・江刺・松井: グラベルドレンの液状化防止効果(その2)グラベルドレンの透水性を考慮した設計法, 電中研報告, 382058, 1983.

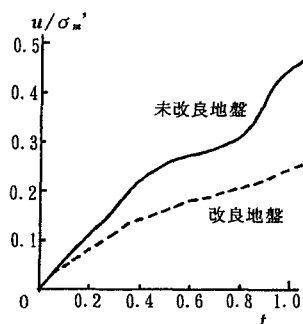


図-1 有効応力解析法による $u/\sigma'_m \sim t$ 関係

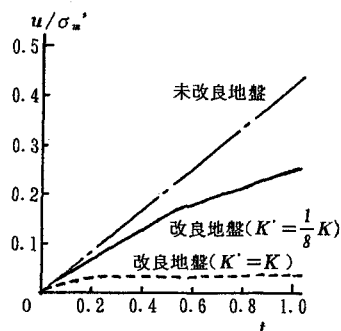


図-2 簡便式による $u/\sigma'_m \sim t$ 関係