

III-99 一次元圧密における載荷時間の影響について

大阪大学工学部 正会員 阿部 信晴
 大阪大学工学部 正会員 松井 保
 大阪大学大学院 学生会員 喜多 直之
 大阪大学工学部 学生会員 平尾 謙一

1. まえがき

本報告は、時間-負荷履歴の影響を考慮することができる弾粘塑性モデルにより一次元圧密解析を行い、その結果に基づいて一次元圧密における載荷時間の影響を考察するとともに、モデルの適用性を検討している。

2. 弾粘塑性圧密解析の概要

一次元圧密解析は有限要素法によって行われており、弾粘塑性構成式としては次式で示される流動曲面モデルが用いられている。

$$(1) F = \mu \ln \left[\frac{1}{\delta} \left\{ \left[1 - \exp \left(-\frac{\delta \cdot v}{\mu} t \right) \right] \exp \left(\frac{\bar{F}}{\mu} \right) + \delta \exp \left(-\frac{\delta \cdot v}{\mu} t \right) \right\} \right] - v^p p = 0$$

また、 K_0 正規圧密粘土の基準状態における変形特性は松井・阿部による弾塑性モデルによって記述されるものと仮定している。

$$(2) f = \begin{cases} \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \left[\ln \left(\frac{p}{p_0} \right) + \left(\frac{\alpha}{\alpha - 1} \right) \ln \left\{ \frac{M_a + (\alpha - 1) \eta}{M_a + (\alpha - 1) \eta_{ko}} \right\} \right] & \eta \geq \eta_{ko} \\ \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \left[\ln \left(\frac{p}{p_0} \right) + \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) \ln \left\{ \frac{M_p + (1 - \alpha) \eta}{M_p + (1 - \alpha) \eta_{ko}} \right\} \right] & \eta < \eta_{ko} \end{cases}$$

3. 一次元圧密挙動に与える載荷時間の影響

層厚の異なる粘土層の一次元圧密挙動

層厚の異なる粘土層の一次元圧密挙動に関して、図-1に示すような2つの考え方があことはよく知られているが、ここでは層厚が異なることによって生じる前段階での一次圧密時間の違いが圧密挙動に影響するものとして、その履歴効果を考察する。

解析は2cm, 10cm, 50cmの3つの粘土層について行った。粘土層は10要素に等分割されており、排水面は上面のみである。粘土の力学定数は表-1に示している。前段階圧密として、初期状態(0.1 kgf/cm²)に圧密圧力0.1 kgf/cm²を加える。そして、一次圧密終了時(非排水面での残留間隙水圧2%)に圧密圧力0.2 kgf/cm²を載荷する。

図-2は3つの粘土層の沈下曲線を示したものである。図中の*は一次圧密終了点を示している。図から明らかなように、一次圧密終了時の沈下ひずみはほぼ等しくなっており、一次圧密時間に関しても H^2 則が成立している。すなわち、前段階での一次

圧密時間の影響を考慮すると、図-1の曲線Aの挙動となることが分かる。前段階の一次圧密終了時に生じている粘性体積ひずみ v^* は図-2に示す値となっており、沈下挙動はこの履歴パラメータの違いを反映したものとなっている。図-3は履歴パラメータによる沈下挙動の相違を示したものである。層厚2cm, 10cmの粘土層について、一次圧密時間の影響を考慮した場合(図-2と同じもの)と影響を考慮しない場合(v^* を零としたもの)の沈下曲線を比較したものである。圧密時間の影響を考慮しない場合は曲線Bの挙動となること、また、影響を考慮した場合、 $v^* < 0$ では一次圧密時の沈下が考慮しない場合より大きくなること、 $v^* > 0$ では逆に小さくなる事が分かる。

段階載荷一次元圧密挙動

標準圧密試験のような段階載荷一次元圧密では前段階での載荷時間がその後の圧密挙動に影響する。段階載荷試験における載荷時間の影響を明らかにするために、24時間載荷と一次圧密終了載荷の段階載荷一次元圧密解析を行った。解析モデルは層厚2cmの粘土層であり、排水面は上面のみである。

図-4は両解析ケースの要素5(排水面から5番目の要素)の応力-間隙比面での状態経路を示している。2本の状態経路は載荷直後を除いた部分で一致しているが、上が一次圧密終了載荷、下が24時間載荷のものである。段階載荷は初期応力0.2 kgf/cm²から荷重増加倍率1.0で4段階の載荷を行っている。載荷段階①は24時間圧密の予圧密からの載荷である。図中の破線は載荷終了時の状態点を結んだものであり、一点鎖線は基準状態において仮定されている状態経路である。載荷段階②~④での2本の破線はほぼ平行になっており、またこれらは基準状態における状態経路に平行になっている。したがって、各載荷段階におけるひずみはほぼ等しく(僅かに24時間載荷の方が大きい)、体積圧縮係数 m_v も等しくなっている。図-5は載荷段階②における両解析ケースの沈下曲線を示したものである。載荷時間によって沈下性状の違いが生じることが分かる。すなわち、一次圧密終了載荷の方が一次圧密時のひずみが大きくなっている。しかし、載荷終了時のひずみはほぼ等しい。また、 $\sqrt{t}$ 法によって得られる圧密係数 c_v もほぼ等しくなっている。このような載荷時間の

異なる段階荷重一次元圧密挙動は圧密試験においても認められており、解析結果はこれらの実験事実をよく説明している。

4. まとめ

(1) 層厚の異なる粘土層の一次元圧密挙動に関して、流動曲面モデルによる解析結果は、前段階での一次圧密時間の影響を考慮すれば、図-1の曲線Aの挙動となり、考慮しなければ、曲線Bの挙動となる。

(2) 標準圧密試験のような段階荷重一次元圧密では荷重時間が圧密挙動に影響するが、時間-負荷履歴を考慮できる弾粘塑性モデルはこの履歴効果を表現することができる。

(3) 時間-負荷履歴を考慮した弾粘塑性モデルの適用性は、定ひずみ速度せん断、クリープ、応力緩和挙動に関しては既に明らかになっているが、一次元圧密に関してもその適用性が明らかとなった。

参考文献

〔1〕 Matsui and Abe: Elasto/viscoplastic constitutive equation of normally consolidated clays based on flow surface theory, Proc. Int. Conf. on Num. Methods in Geomech., Nagoya, 1985. 〔2〕 Matsui and Abe: Multi-dimensional elasto-plastic consolidation analysis by finite element method, Soils and Foundations, Vol.21, No.1, 1981. 〔3〕 Matsui and Abe: Applications of elasto-plastic and elasto-viscoplastic models to multi-dimensional consolidation analysis, Proc. Int. Symp. on Num. models in Geomech., Zurich, 1982. 〔4〕 Matsui, Abe and Hayashi: Viscoplastic modelling of time-dependent behaviour of clays, Proc. 3rd Int. Symp. on Num. Models in Geomech., Niagara Falls, 1989. 〔5〕 松井・阿部・喜多・大島: 流動曲面理論に基づく弾粘塑性モデルの時間-負荷履歴特性, 第24回土質工学研究発表会発表講演集, 平成元年. 〔6〕 特殊圧密試験方法に関する研究委員会: 段階荷重圧密試験について, 特殊圧密試験に関するシンポジウム発表論文集, 昭和63年.

表-1

λ	κ	M	e_0	k (cm/min)	C_k	μ	$v \frac{d}{dt}$ (1/min)	δ
0.2	0.03	1.65	1.358	0.3×10^{-5}	0.68	0.0027	1.0×10^{-6}	0.001

