

対数体積比 $\log f$ による自然堆積粘土の圧密特性の表し方の再検討

神戸市建設局 ○正 岡田広久
 大阪市立大学大学院 正 大島昭彦
 J R 東海(株) 村本大輔

1. 研究の背景と目的

粘土の圧密特性とは、一般に圧縮性と圧密速度をいう。圧縮性は、圧縮曲線として一般に間隙比 e または体積比 $f (=1+e)$ を算術目盛りに、圧密圧力 p を常用対数目盛りにとった $f \sim \log p$ 関係（あるいは $e \sim \log p$ 関係）として表す。この $f \sim \log p$ 関係は正規圧密領域では直線となる（その勾配が圧縮指数 C_c ）とされているが、自然堆積粘土では骨格構造の発達により正規圧密領域で下に凸な曲線となることが多い。したがって、 C_c の決定が困難となり、圧密降伏応力 p_c の決定についても個人誤差が入り易いといえる。これに対して、 f を常用対数目盛りにとった $\log f \sim \log p$ 関係の方が過圧密、正規圧密領域の直線性が良いこと、またそれらの直線の交点が p_c であると報告されている¹⁾。特に、高有機質土や浚渫粘土のような超軟弱粘土で、 $\log f \sim \log p$ 関係の直線性がよいことが報告されている²⁾。

一方、圧密速度は圧密量～時間関係に圧密理論を適用して求まる圧密係数 c_v で表し、一般に $\log c_v \sim \log p$ 関係として表すが、圧密解析で c_v の変化を考慮する場合には $f \sim \log c_v$ 関係として表す³⁾。しかし、 c_v は透水性と圧縮性の比（ $c_v = k/(m_v \gamma_w)$ 、 k : 透水係数、 m_v : 体積圧縮係数）で定義されたもので、本来は k と m_v が独立した土質定数であり、両者も対数 f による整理の方が合理的であることが報告されている⁴⁾。

本稿では、自然堆積粘土である洪積、沖積粘土を対象に、算術 f および対数 f で圧密特性を整理・比較し、対数 f による表し方の妥当性を検証した結果を報告する。

2. 研究の方法

検討対象とした洪積、沖積粘土は図-1 に示す東大阪地域（新庄、門真）、西大阪地域（京町堀、泉尾、西島）である。これらの圧密試験のデータを基に、対数 f による再整理を行い、圧縮曲線、 $f \sim c_v$ 関係、 $f \sim k$ 関係、さらに $C_c \sim w_L$ 関係について算術 f による整理結果と比較・検討を行う。なお、ここでは対数 f による圧密特性の定数には*を添えることとする。

対数 f で整理した際の圧縮曲線の例を図-2 に示す。圧縮指数 C_c^* は正規圧密領域の直線勾配とするが、後述の 3. に示すように、鋭敏性の高い粘土、塑性の高い粘土では、対数 f で表してもやや曲線をもつ傾向となった。その場合の C_c^* を求める際には、以下の3点に留意して求めた。

- ① 高圧力域において勾配が緩やかになる場合、土骨格の圧縮に起因すると考えられるため、その勾配（ C_{cr}^* ）は考慮しない。
- ② 洪積粘土のような強度が大きい粘土の場合は、低応力域では体積比 f の変化が小さい。そこで、過圧密領域は体積比 f が変化する部分を直線近似することとする。
- ③ 上記のことを考慮した上でも直線性が見受けられない場合は、最小二乗法によって直線近似する。

なお、対数 f による p_c^* は正規圧密と過圧密領域のそれぞれの近似直線の交点として求めた。

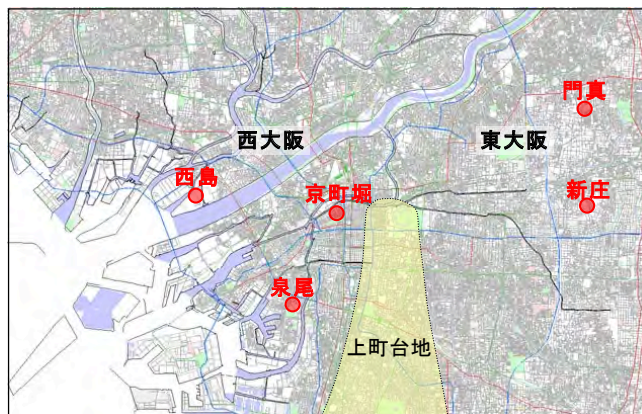


図-1 研究対象地点（大阪地域）

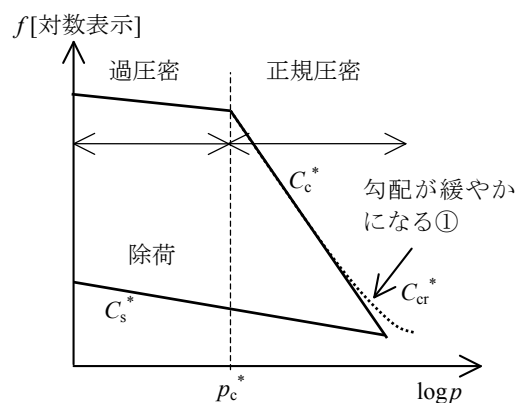


図-2 圧縮曲線の例

Key Words: 体積比, 圧縮曲線, 圧密係数, 透水係数, 沖積粘土, 洪積粘土

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 TEL 06-6605-2996 FAX 06-6605-2726

3. 算術 f と対数 f による圧密特性の比較

図-3に算術 f と対数 f で表した圧縮曲線の代表例を示す。全体的に $f \sim \log p$ 曲線は下に凸な曲線となる場合が多く、塑性が大きい粘土ほどその曲線傾向が強く見られた。また、鋭敏性が異なる東大阪と西大阪とで圧縮曲線に違いがみられ、図(a)に示すように鋭敏性の高い新庄では骨格構造の影響から高塑性の粘土で特に逆S字の形となるものが見られた。逆に、図(b)に示すように鋭敏性が低い泉尾では曲率があまり変化せず、緩やかに下に凸な曲線となる傾向が見られた。したがって、 $\log f \sim \log p$ 曲線は、西大阪では直線的であったが、東大阪では直線近似が困難である場合もあった。また、図(c)に示す高塑性の洪積粘土についても同様の傾向が見られた。

図-4に代表例として泉尾沖積粘土の p_c 、 p_c^* の深度分布を示す。 p_c^* の方がやや小さくなる。他の粘土でも同様であった。なお、下部で p_c が大きいのは過去の地下水位低下による圧密進行の影響による。

次に、算術 f と対数 f による $\log c_v$ 、 $\log k$ 関係、及び $w_L \sim C_c$ 、 $w_L \sim C_c^*$ 関係の線形性について整理し、地点ごとに平均した相関係数 R を表-1に示す。 $f \sim \log c_v$ 、 $\log f \sim \log c_v$ 関係は、沖積粘土と洪積粘土で傾向が異なり、全体としては $\log f \sim \log c_v$ 関係の方が相関性は高い結果となった。しかし、 c_v は沈下量～時間曲線に圧密理論を適用して図解的に求めるものであり、不均質性の高い地盤においては代表値としての c_v を決定することは困難である。改めて c_v の整理方法について検討する必要がある。

一方、 $f \sim \log k$ 関係は、下に凸な曲線となる傾向があり、ほとんどの粘土において $\log f \sim \log k$ 曲線の方が線形性は向上した。

また、 $w_L \sim C_c$ 、 $w_L \sim C_c^*$ 関係は、ほとんどの粘土において、対数 f による C_c^* の方が相関性は高くなった。これは、対数 f で整理することによって骨格構造による影響が低減され、 w_L との相関性をより強く表すことができるようになったためと考えられる。

4. まとめ

圧縮曲線の直線性については、粘土の鋭敏性が影響を与えるということがわかった。 p_c 、 C_c および k については、対数 f による整理の合理性が示された。今後も対数 f による再整理を行い、 $\log f \sim \log p$ 曲線で直線近似が困難である場合の整理方法と c_v の整理方法を再検討したいと考えている。

参考文献

- Butterfield, R.: A natural compression law for soils (an advance on $e \sim \log p$), Géotechnique, Vol. 29, No. 4, pp. 469-480, 1979.
- 今井五郎・山内裕元・今泉正次・緒方一成：一次元圧密問題の新しい数値解析法による2,3の検討, 第24回土質工学研究発表会, pp. 395-398, 1989.
- 三笠正人：軟弱粘土の圧密—新圧密理論とその応用—, 鹿島出版会, 1963.
- 大島昭彦・岡田広久：粘土の圧密特性の表し方の再検討, 第46回地盤工学研究発表会, No.376, pp. 757-758, 2011.

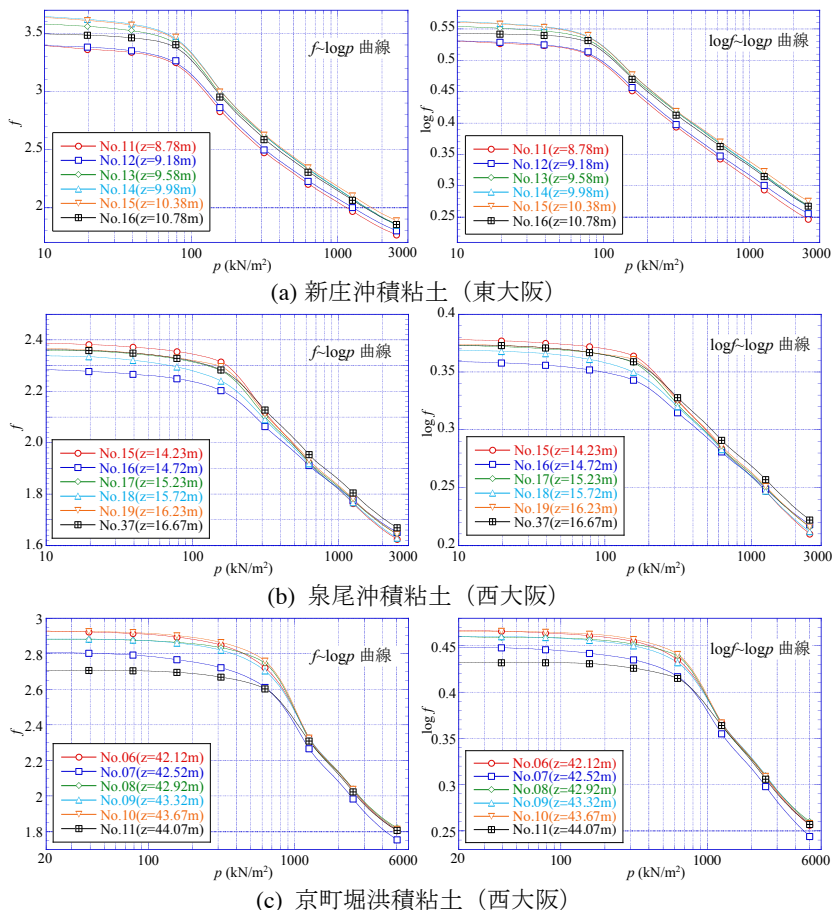


図-3 $f \sim \log p$ 曲線と $\log f \sim \log p$ 曲線

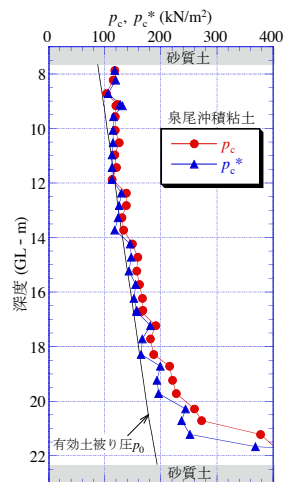


図-4 p_c 、 p_c^* の深度分布

表-1 算術 f と対数 f による相関性の比較

地点		$\log c_v$		$\log k$		$w_L \sim C_c, w_L \sim C_c^*$	
		f	$\log f$	f	$\log f$	f	$\log f$
新庄	沖積	0.8990	0.8956	0.9871	0.9905	0.947	0.972
	洪積	0.9090	0.9129	0.9923	0.9926	0.909	0.934
門真	沖積	0.9181	0.9170	0.9859	0.9915	0.917	0.918
	洪積	0.7946	0.8000	0.9876	0.9903	0.721	0.748
京町堀	沖積	0.9491	0.9467	0.9905	0.9894	0.945	0.938
	洪積	0.9007	0.9070	0.9943	0.9949	0.973	0.979
泉尾	沖積	0.9605	0.9597	0.9939	0.9950	0.824	0.849
	洪積	0.9515	0.9537	0.9949	0.9955	0.909	0.912
西島	沖積	0.9135	0.9131	0.9953	0.9960	0.968	0.968
	洪積	0.8625	0.8676	0.9973	0.9985	0.968	0.971
平均	沖積	0.9280	0.9264	0.9905	0.9925	0.920	0.929
	洪積	0.8837	0.8883	0.9933	0.9944	0.896	0.909
	全体	0.9059	0.9073	0.9919	0.9934	0.908	0.919