

圧密計算における層厚換算法と層別層厚換算法の検討

キーワード：圧密，沈下，軟弱地盤

独立行政法人土木研究所 国際会員 ○ 阪上最一
正会員 小橋秀俊 正会員 堤 祥一

1. はじめに

土工指針の軟弱地盤対策工指針¹⁾の改訂作業が行われており、近く出版される予定である。圧密沈下速度の設計照査には、層別換算法と層別層厚換算法が用いられる。層別層厚換算法では、平均的な一層でモデル化する層厚換算法を介して、さらに土層ごとの圧密度を考慮し精度の高い計算を行うことができる。しかし、この手法は図解法に基づく手計算によるもので、図解法によらず直接計算できる方法があれば、今後計算機による計算での大幅な精度向上が期待される。そこで、本研究では、具体的な事例で層厚換算法と層別層厚換算法の違いを調べ、さらに、その直接的な計算方法を導出した。

2. 軟弱地盤対策工指針の層厚換算法と層別層厚換算法

土工指針の事例となる、表層、ピート層、有機質土層の3層からなる軟弱地盤（図1）を想定する。式(1)で、(a)層厚換算前の地盤を、(b)層厚換算し一層の地盤に換算する。そして、(c)層厚換算法で、その平均圧密度を計算し、沈下速度を求める。この方法を基本とし、より高い精度の検討として、(d)層別層厚換算法で、層毎の圧密度を図解法で求め^{1,2)}（図2）、る方法を、ピート層など C_v 値の大きな地層が表層に存在する場合に推奨している。

$$H_0 = H_1 \sqrt{C_{v3}/C_{v1}} + H_2 \sqrt{C_{v3}/C_{v2}} + H_3 \sqrt{C_{v3}/C_{v3}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 C_{v1}, C_{v2}, C_{v3} は、それぞれ、表層、ピート層、有機質土層の圧密係数であり、 C_{v3} を代表値としている。

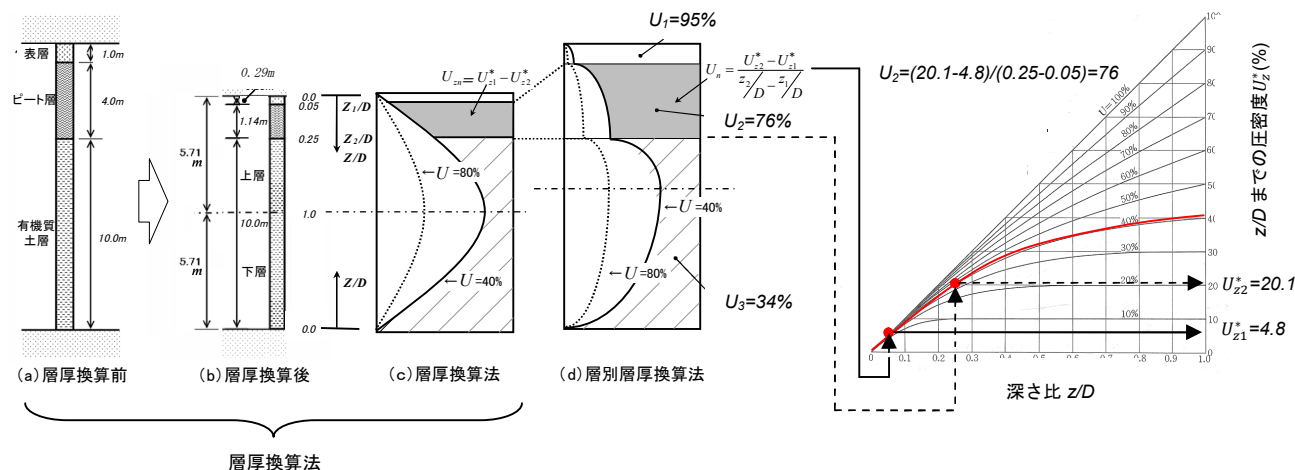


図1 地盤モデル、層厚換算法と層別層厚換算法

図2 土層毎の圧密度の図解

表1 土質物性及び圧密沈下量

土層	$H(\text{cm})$	e_0	$w_n (\%)$	$P_0 (\text{kN/m}^2)$	C_c	$Scn(\text{cm})$	層厚換算	
							$Cv(\text{cm}^2/\text{day})$	$H_0(\text{cm})$
表層	100	2.5	100	3.1	0.8	29 (Sc_1)	238	29
ピート層	400	8.0	400	11.6	5.3	179 (Sc_2)	238	114
有機質土層	1000	3.6	130	43.5	1.2	92 (Sc_3)	19.4 (代表値)	1000
合計	1500	—	—	—	—	300(ΣScn)		1143

表2 平均圧密度～時間～沈下量

平均圧密度 U			20	40	60	80	90
$t = 1683Tv(\text{day})$ (Tv)			53 (0.031)	211 (0.126)	482 (0.286)	954 (0.567)	1427 (0.848)
(A) 厚換算法	$U(t) \cdot \Sigma Scn$		60	120	180	240	270
(B) 層別層厚 換算法 (差分法)	表層	U_1	90	95	97	99	99
		$U_1 \cdot Sc_1$	26.2	27.6	28.1	28.6	28.8
	ピート層	U_2	54	76	85	92	96
		$U_2 \cdot Sc_2$	97.5	135.9	152	165.5	172.3
	有機質土層	U_3	14	34	56	78	89
		$U_3 \cdot Sc_3$	12.8	31.6	51.7	72	82
	全体	$\Sigma Un(t) \cdot Scn$	136.5	195.2	231.8	266.1	283.1

注) Un は、層別圧密度である。

A study on the equivalent thickness method assuming a single layer and multi-layers for consolidation design, SAKAJO Saichi, KOHASHI Hidetoshi, TSUTSUMI Shouichi, Public Works Research Institute

表1は、物性と一次圧密沈下量の計算結果、表2は平均圧密度に応じた沈下量の計算結果である。図3はその結果を図示したものである。今回の計算では、上部の排水面に C_v 値の大きな表層・ピート層があるため、(B)層別層厚換算法の方が、(A)層厚換算法より沈下速度が速くなっている。現場の条件をより詳細に検討するには、(B)法が有効であることが分かる(同図には、差分法³⁾の結果を(C)として表示している)。この計算(B)は図2の図解法の深度毎の圧密度 U_z^* の曲線を、その曲線を数式化し平均圧密度10%毎に補完して求めたもので、沈下速度精度が確保されている。しかし、実際に表から読み取るのは困難なため、新たに直接計算する方法を以下に示す。

3. 両法の計算式

(1) 沈下量と沈下速度

軟弱地盤の1次圧密終了時の全沈下量 S_c は、式(3)の各層の沈下量 S_{cn} の合計で計算される。

$$S_c = \sum S_{cn} \dots\dots\dots (2) \quad S_{cn} = \int_{z_1}^{z_2} \left(\frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right) dz \dots\dots\dots (3)$$

そして、沈下速度 S_t は、1) 全沈下量に全層の平均圧密度 U を掛けて求める S_{t1} と 2) 各層の沈下量に各層の圧密度を掛けて求める S_{t2} の2種類の方法がある。前者を層厚換算法と後者を層別層厚換算法と呼ぶ。

$$S_{t1} = U(t) \times \sum S_{cn} \dots\dots\dots (4) \quad S_{t2} = \sum (U_n(t) \times S_{cn}) \dots\dots\dots (5)$$

(2) 平均圧密度と層別圧密度

荷重 Δp が載荷された軟弱地盤には、過剰間隙水圧 $u_0 (= \Delta p)$ が発生する。層厚換算法で一層に換算した層(図4)の過剰間隙水圧 $u(z, t)$ は、式(6)の Terzaghi の圧密式の解として、式(8)で求められる。従って、全層の平均圧密度 $U(t)$ は式(10)から求められる。層厚換算法では、この圧密度を用いる。これに対して、層別層厚換算法では、式(11)から求められる各土層 ($z_1 \sim z_2$ 間)の圧密度 $U_n(t)$ を用いる。土工指針では、この式の積分が煩雑なため、式(12)から式(13)に展開し、その分子の U_z^* を求める図解表を採用している。なお、以下は、排水距離 $D = H_0/2$ (両面排水) の場合を示している。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots\dots (6) \quad T_v = \frac{C_v}{D^2} t \dots\dots (7) \quad u = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2u_0}{M} \sin \left(M \cdot \frac{z}{D} \right) \exp \left(-M^2 \cdot T_v \right) \dots\dots (8) \quad M = \frac{\pi(2m+1)}{2} \dots\dots (9)$$

$$U(t) = \frac{\int_0^{2D} (1-u/\Delta p) dz}{\int_0^{2D} (u_0/\Delta p) dz} \dots\dots (10) \quad U_n(t) = \frac{\int_{z_1}^{z_2} (1-u/\Delta p) dz}{\int_{z_1}^{z_2} (u_0/\Delta p) dz} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2D}{(z_2-z_1)M^2} \left\{ \cos \left(M \frac{z_1}{D} \right) - \cos \left(M \frac{z_2}{D} \right) \right\} \exp \left(-M^2 \cdot T_v \right) \dots\dots (11)$$

$$U_n(t) = \frac{\int_0^{z_2} (1-u/\Delta p) dz - \int_0^{z_1} (1-u/\Delta p) dz}{\int_{z_1}^{z_2} (u_0/\Delta p) dz} \dots\dots (12) \quad U_n(t) = \frac{1/D \left\{ \int_0^{z_2} (1-u/\Delta p) dz - \int_0^{z_1} (1-u/\Delta p) dz \right\}}{1/D(z_2-z_1)} = \frac{U_{z2}^* - U_{z1}^*}{z_2/D - z_1/D} \dots\dots (13)$$

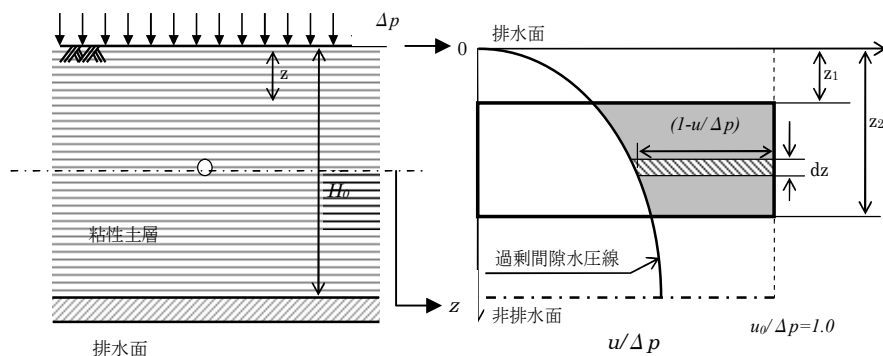


図4 層別圧密度の算定方法(両面排水)

$$U_z^* = 1/D \int_0^z (1-u/\Delta p) dz \dots\dots (14)$$

【参考文献】

- 1) 日本道路協会(昭和61), 道路土工-軟弱地盤対策工指針.
- 2) 稲田倍穂(1981): 軟弱地盤の調査から設計・施工まで, 鹿島研究所出版会.
- 3) 最上武雄(1969): 土質力学, 技報堂, pp. 398-401.