盛土における圧縮沈下量の簡易算定法について

A simplified procedure for predicting compressive settlement of embankment

伊藤 徹\* (Tetsu Ito) 藤村 尚\*\* (Hisashi Fujimura)

盛土の圧縮沈下量は比較的小さいオーダーであることから、軟弱な粘土地盤における圧密沈下ほど問題となる ことは少ない。しかし、大規模宅地造成工事等では、切土・盛土バランス,宅地としての機能上から盛土体の沈 下が無視できない場合がある。しかし、盛土の圧縮沈下量の算定法は確立されているとはいえず、各種沈下予測 法により求められているのが実状である。本稿では、標準圧密試験結果を用いた風化粘性土盛土材において、い わゆるクリーブひずみ法により精度のよい盛土の圧縮沈下量を算定できることを示す。また、クリーブひずみ法 における定数a,bは圧密圧力p及びコンシステンシー指数I。との間に相関関係がみられることを用い、個人差 が少なく、時間経過を考慮した盛土の圧縮沈下量が求められることを示す。ただし、本稿で示したa,b,p, I。の関係はごく限られた土質についてのみの関係であり、この点に関しては今後とも資料を補足して行く必要が あると考えている。ただし、同様な土質と地質特性を有する細粒土盛土材の場合についての適用性は高いものと 考える。

キーワード:圧縮/クリープ/コンシステンシー限界/沈下/盛土/風化土 IGC:D2/D5/E2

## 1. まえがき

盛土の圧縮沈下量は比較的小さいオーダーであることから、軟弱粘土地盤における圧密沈下ほど問題となるこ とは少ない。しかし、大規模な宅地造成工事等では切土・盛土量のパランスにおける問題や、造成後の宅地とし ての機能上の問題から、盛土体の沈下が無視できない場合がある。特に、含水性の高い火山灰質粘性土あるいは スレーキングを生じやすい凝灰岩・泥岩などを盛土材として用いる場合にあっては、施工時の即時沈下量及び施 工後の残留沈下量を定量的に予測する必要がある。

しかし、不飽和盛土の圧縮沈下の発生機構には未解明な部分が多く、盛土の沈下量・沈下速度の量的把握に関 しては、軟弱粘土地盤における圧密沈下量の算定方法ほどは確立されているとはいえない。一般には、施工実績 等にもとづいた各種の沈下予測法により算定しているのが現状である。

本文では、沈下予測法の一つであるクリープひずみ法に着目し、室内標準圧密試験結果を利用した盛土の圧縮 沈下量の算定方法についてまとめた。また、クリープひずみ法による沈下量算定結果と施工中実測沈下量とによ い一致がみられた事例をもとにして、圧縮沈下量の簡易算定法について整理した。これは、コンシステンシー指 数 I c, クリープひずみ法における定数 a, bと圧密圧力 pの間には相関関係がみられることから、土の物理特性 を示すコンシステンシー指数 I cを調べることにより、盛土の圧縮沈下量を簡便的に求める方法である。

2. 盛土の圧縮沈下量の算定方法

盛土の圧縮沈下量の算定方法は、軟弱粘土地盤の圧密沈下量の算定法ほどは確立されたものはなく、一般には 以下に示す各種の方法により推定し、一応の目安を求める場合が多い。

\*株式会社ウエスコ鳥取支社 地質調査部次長、\*\*鳥取大学工学部土木工学科 助教授

伊藤 藤村



3. コンシステンシー指数 I 。を利用した計算方法

コンシステンシー指数 I 。は次式で定義されており、細粒土の安定度を示す指標として用いられ、 I 。が小さい ほど(負もありうる)不安定であり、 I 。が大きいほど(I 。>1.0もありうる)安定である。細粒土を盛土材とし て用いる場合にも、 I 。が大きいほど良質な盛土材料といえる。

 $I_{c} = (W_{L} - W_{R}) / (W_{L} - W_{P}) \cdot \cdot \cdot (12)$ 

ここに、w<sub>L</sub>:液性限界 w<sub>n</sub>:自然含水比 w<sub>P</sub>:塑性限界

従って、I。が小さいほど盛土の圧縮沈下量も大きくなることが概念的に理解される。I。と沈下のパラメーターとの間に何らかの関係がみられるならば、極めて簡易的に盛土の圧縮沈下量を算定することができる。

沈下量の算定方法には各種の提案があるが、施工中の沈下を含めて経時的にとらえる手法としてはクリープひ ずみ法<sup>6)</sup>が有利であり、かつ、実務上では標準圧密試験の結果を利用することができる。

(1)標準圧密試験結果を利用したクリープひずみ法

標準圧密試験は定荷重載荷試験の一つであり、この試験によれば十分時間がたてばひずみが一定値に近づくこ ととなり、その経過時間 t とひずみ量 ε とは式(4)で示され、層厚H なる盛土の沈下量は式(5)及び式(6) で表すことができる。

標準圧密試験の結果より、ひずみ  $\varepsilon$ と時間 t との関係をプロットすると、図-1に示すように各荷重段階において t = 10分以降では  $\varepsilon$  ~ log t はほぼ直線で示された。これは石井<sup>60</sup>の行った圧縮試験の結果と一致している。 これより、クリープひずみは荷重載荷して10分経過後から生じるものと仮定し、各圧密荷重 p での10分と24時間 経過時点のひずみを  $\varepsilon_{10}$ ,  $\varepsilon_{24}$ とする。つぎに、次式によりa · b を求め、 p - a, p - b 関係を作成する。こ れらの図より、盛土層中位点 Z · における土被り圧  $\sigma_{z1}$ に対応する a · b を読みとり、盛土厚 H の圧縮沈下量(即時沈下量 S 。, クリープ沈下量 S b) を求めることができる。

$b = (\varepsilon_{24} - \varepsilon_{10}) / \log (t_{24} / t_{10})$	·	•	•	(13)
$a = \varepsilon_{24} - b \log t_{24}$			•	(14)

盛土の圧縮沈下量算定を行った事例における土質データーは表-1の通りであり、標準圧密試験結果にもとづ いて上記の方法で求めた a, bの値は表-2に示す通りである。

(2) コンシステンシー指数 I cとクリープ沈下係数a, b

コンシステンシー指数 I 。とクリーブ沈下係数 a, b とを図-2, 図-3にまとめて示す。

データー数としては少ないものの、概ね次のような傾向を読みとることができる。

- ① a, bともに圧密圧力pに対応して大きくなる。即ち、圧縮沈下量は盛土高に比例する。
- ② クリーブ沈下係数aは、コンシステンシー指数I eとは負の増加関係を示す。即ち、I eが大きく土が安定 となるほど即時沈下量は少ない。
- ③ クリープ沈下係数bは、コンシステンシー指数I。とは明瞭な増加関係は認められず、p=0.8~
   3.2kgf/cm<sup>2</sup>に対して、b ≒0.001~0.002の範囲にある。
   このbの値は、島、今川<sup>5)</sup>が泥岩等の脆弱岩について、乾湿条件を与えない場合の圧縮試験で求めた
   b ≒ 1 × 1 0<sup>-4</sup>~1×1 0<sup>-3</sup>に近似している。
   また、石井<sup>6)</sup>はb ≒ αPの関係を示しており、この傾向は本図からもうかがえる。
- ④ a, bの値について、石井<sup>6)</sup>は、土の種類・含水比・土の強度・締固め度などによって変化することを指摘している。そこで、図-2,図-3から平均的な傾向値を設定すれば、図-4,5のような関係図を作成することができる。
- ⑤ 従って、I cを物理試験によって求めることにより、図-4,5を用いてクリープひずみ法に準じた盛土の圧縮沈下量を簡便に求めることができる。

表 - 1	1	盛土材	の土:	質	
地区名		A 地	X		B地区
地 質	安山岩	「質岩の強風	1化土		砂岩,礫岩 泥岩の風化土
採取状況	不攪乱	试料		攪乱試料	攪乱試料
採取深度 (m)	3.00 $\sim 3.75$	$^{10.8}_{\sim 11.6}$	$^{16.0}_{\sim 16.4}$	地表部	地表部
資料番号	A - 1	A – 2	A – 3	A - 4	B-1
図表示記号			0	•	×
湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.673	1.755	1.749	1.684	1.94
粗粒土分 (%)	20	12	9	5	58
細粒土分 (%)	80	88	91	95	42
液性限界wェ (%)	62.9	64.8	72.5	88.2	49.0
塑性限界wp (%)	41.2	34.5	40.3	46.7	27.0
自然含水比w <sub>n</sub> (%)	49.0	47.1	46.4	50.0	23.1
コンシステンシー指数 Ic	0.64	0.58	0.81	0.92	1.18
比重 G <sub>s</sub>	2.778	2.716	2.702	2.679	2.698
E密降伏応力 p <sub>c</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	1.40	1.45	1.90	5.30	2.54
圧縮指数 C。	0.399	0.328	0.372	0.38	0.21
初期間ゲキ比e。	1.483	1.277	1.261	1.387	0.711
強度定数	$q_u = 0.259$	U U c = 0.34	U U c = 0.59	$q_{u} = 1.96$	U U c = 0.7
$\phi$ (°)	VRT\CM_	Ø = 1.25	Ø = 4.5	VRI\CHI-	$\phi = 6.5$

感ナ材のナ質

表 - 2 圧密試験結果から求めたクリープ沈下係数 a.b

					-	
資料	番号	A – 1	A – 2	A – 3	A – 4	B — 1
$kgf/cm^2$	a (×10 <sup>-2</sup> )	4.04	4.34	2.60	3.41	2.19
p = 0.0	b (×10 <sup>-3</sup> )	1.25	1.09	0.996	1.18	1.30
$n = 1.6^{\text{kgf/cm}^2}$	a (×10 <sup>-2</sup> )	6.71	6.54	4.41	4.71	3.52
p = 1.0	b (×10⁻³)	1.62	1.58	1.85	1.61	1.46
$p = 3 \frac{\text{kgf/cm}^2}{2}$	a (×10 <sup>-2</sup> )	1.04	9.69	7.60	6.39	5.70
P = 0.2	b (×10 <sup>-3</sup> )	1.81	1.62	1.97	2.55	1.62

- 38 -



4. 計算例

(1)各種算定式による圧縮沈下量

標準圧密試験結果にもとづき、各種算定式による圧縮沈下量の算定結果を表-3に示す。尚、クリーブひずみ 法の計算には表-2を用いた。施工実績による方法を別とすれば、沈下率(=沈下量/盛土高)についてはA B地区での差がみられているが、これは盛土材料特性の違いによるものと考えることができ、単純に施工実績に おける沈下率のみで盛土の圧縮沈下量を算定しておくことには問題があると思われる。

算定方法	A 地 区 (盛土高H=28m アt=1.7tf/m <sup>3</sup> , I c=0.92)	B 地区 (盛土高H=10.2m, アt=2.0tf/m <sup>3</sup> , Ic=1.18)
<ol> <li>①施工実績に</li> <li>よる方法</li> </ol>	施工中沈下量 = 84~140cm (3~5%) 完了後沈下量 = 14~ 22cm (0.5~0.8%)	施工中沈下量=20~ 30cm (2~3%) 完了後沈下量=5~ 8cm (0.5~0.8%)
②圧密理論法	全 沈 下 量=64~118cm (2.3~4.2%) 沈下速度・t = 980 T <sub>v</sub> (日)	全 沈 下 量=17~ 28cm (1.7~2.8%) 沈下速度・t=105 T <sub>v</sub> (日)
③クリーブ ひずみ法	瞬時載荷・2段階 (施工期間 330日) 施工中沈下=236cm(8.4%) 即時沈下=215.6cm(7.7%) グリープ沈下=20.4cm(0.7%) 施工後沈下 t=100日 0.7cm(0.03%) t=10000日 7.6cm(0.3%)	瞬時載荷 即時沈下 = 28.5cm (2.8%) 施工後沈下 t = 100 日 5.5cm (0.5%) t = 10000 日 8.2cm (0.8%)
④鉄道盛土法	盛立後=65cm (2.3%)	盛立後= 8.5cm (0.8%)
⑤ アースダム 法	盛立後=39cm(1.4%)	盛立後=10 cm (1.0%)

表-3 各種算定式による圧縮沈下量算定結果

表中()数量は沈下率を示す。

次に、表-4のように、平均I<sub>c</sub>=0.70として図-4,5によりクリープ沈下係数を求め、図-6の計算モデル によりA地区についての沈下計算を行った。A地区においては、盛土完了後のチェックボーリング、施工中のレ ペル測量により沈下量チェックを行っており、この結果との比較を表-5,6に示す。このように、I<sub>c</sub>を用いた クリープひずみ法による沈下量算定の結果は、盛土天端高の実測値と非常によい一致がみられる。また、B地区 については施工中の沈下実測記録はないが、施工後の地表面沈下は3年間で4~6㎝発生している。この沈下量 はクリープひずみ法で算出した値よりも若干少ないが、ほぼ一般的な沈下率の範囲にある。従って、I<sub>c</sub>が小さい 場合には、盛土の沈下率は一般的な値よりも大きくなるものと考えられる。このように、盛土の圧縮沈下量の算 定においてクリープひずみ法の有意性があるものと考える。

-		11 7	, ,	2 1/L   B	家 奴 我 (五地区)	
ʻi		j	1	2	3	4
	σz	tf∕m²	5.396	14.464	19.998	34.945
1		a	$3.0 \times 10^{-2}$	$5.5 \times 10^{-2}$	$6.7 \times 10^{-2}$	$9.5 \times 10^{-2}$
		b	1.07×10 <sup>-3</sup>	$1.45 \times 10^{-3}$	1.6 × 10 <sup>-3</sup>	1.9 ×10 <sup>-3</sup>
	σz	tf∕m²		4.534	15.464	25.015
2		а	1	$2.7 \times 10^{-2}$	$5.8 \times 10^{-2}$	$7.8 \times 10^{-2}$
		b		$1.02 \times 10^{-3}$	1.47×10 <sup>-3</sup>	$1.7 \times 10^{-3}$
	σz	tf∕m²			5.465	15.016
3		а			$3.0 \times 10^{-2}$	$5.6 \times 10^{-2}$
		b			$1.07 \times 10^{-3}$	1.46×10 <sup>-3</sup>
	σz	tf∕m²				4.775
4		а				$2.8 \times 10^{-2}$
		b				1.04×10 <sup>-3</sup>

表-4 クリープ沈下係数表(A地区)



図-6 計算モデル(A地区)

i	1 層	2 層	3 層	4 層	計算時期
j j	第1サンドマット 天端高(m)	第2サンドマット 天端高(m)	岩砕透水層 天端高(m)	最 終 天端高(m)	昭和 年.月.日
1	29.74				58. 8.12
2	29.561	35.00			58. 9.10
3	29.451	34.706	41.34		58.11.14
4	29.231	34.347	40.786		
5	29.180	34.258	40.657		59.8.2
59.8確認高	29.23~29.18	$34.39 \sim 34.10$	40.78~?	46.88~47.82	

表-5 盛 土 天 端 高 追 跡 計 算 結 果 (A地区)

表-6 施工中沈下量のまとめ(S58.8.12~S59.8.2) (A地区)

第 1 層	$ \begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$
第 2 層	$ \begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$
第3層	$\begin{array}{rllllllllllllllllllllllllllllllllllll$
第 4 層	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	施工中全沈下量=74.8+50.3+42.5+18.0=185.6 cm 沈下率=1.856/23.40=7.9% 59.8.2から10000日後の沈下量=6.6 cm 沈下率=0.3%

5.まとめ

本文で示したコンシステンシー指数 I cとクリーブ沈下係数 a, bを用いて求める圧縮沈下量算定法は、実測値 の結果ともよい一致がみられ、本計算法の有意性があることを示した。 しかし、 I c~a, b 関係図は限られた 資料から求めた関係であり、資料の補足を今後とも行う必要があると考えている。ただし、同様な土質と地質特 性を有する細粒土盛土材の場合についての適用性は高いものと考える。尚、今回の事例としたA, B地区ともに、 軟らかい谷底堆積物の分布厚は2 m 以下と薄く、かつ、これらの大部分は置き換え処理がされていた。このため、 含水比の高い風化土を材料とした盛土の圧縮沈下量が問題となった。

一般に、盛土の圧縮沈下量は問題とされることは少なく、圧縮沈下量算定のための高価な土質試験等が行われ ることはほとんどないといえよう。しかしながら、大規模な宅地造成等にあっては土工上や宅地としての機能上 の点から盛土の沈下量等を算定しておくことは大切なことである。このような場合、簡便な物理試験(含水比, 液性限界,塑性限界試験など)を積極的に多用することによって、本文で示した程度の精度での概略の沈下量 (施工中、施工後沈下量)を土質特性に応じて求めることができる、という点において本計算法の有意性がある と考えている。

6. 参考文献

1) 土質工学会編(1982):土質工学ハンドブック,1982年版,p.811

2) 土質工学会(1979):盛土の調査・設計から施工まで, pp.129-130

3) 土質工学会(1979):盛土の調査・設計から施工まで, pp.131-135

4) 土 質 工 学 会(1979): 土と基礎の沈下と変形の実態との予測, pp.169-170

5)島 博保,今川史郎(1980):スレーキング材料(ぜい弱岩)の圧縮沈下と対応策,「土と基礎」, vol.28, N0.7, p.51

6)石井恒久(1977):道路盛土の圧縮沈下について、土と基礎、vol.25, NO.5, pp.13-20