

十勝南部の段丘面に堆積した 高地泥炭の圧密特性

佐田 頼光
福田 正裕
福横 尾裕孝

1. はじめに

既往資料^{注-1)}によれば、十勝中央構造帯の上昇活動が始動して以降、それまで北進して広大な扇状地形成の一翼を担った歴舟川が南進を強いられることとなった。忠類村の東側を迂回する当縁川^{とうべりがわ}は歴舟川^{りふねがわ}の旧流路と見る説もある。

南進を強いられた歴舟川は、新期扇状地を形成しつつ、河岸段丘崖を刻み、後背地性堆積物を残して漸次、直接太平洋に注ぐ現在の姿に移行したという。今、朝日段丘面では、扇状地に源を発する数条の小河川が忠類村の近傍で当縁川に合流する静穏な地貌を呈するが、当該地は地盤高が標高120～160mを有する扇状性台地であり、いわゆる高地泥炭層が顕在化する箇所が認められる。町道31号線と北10線が交差する付近では朝日面砂礫層(As-Ds₂)を覆って6～8mの厚さの泥炭が認められる。朝日

面砂礫層には、被圧性地下水が存在し、圧力水頭(hp)は8mを超え、上部の泥炭層に対して動水勾配(i)は1.0前後が作用しており、自重圧密を妨げる要因のひとつをなしている。(図2参照)

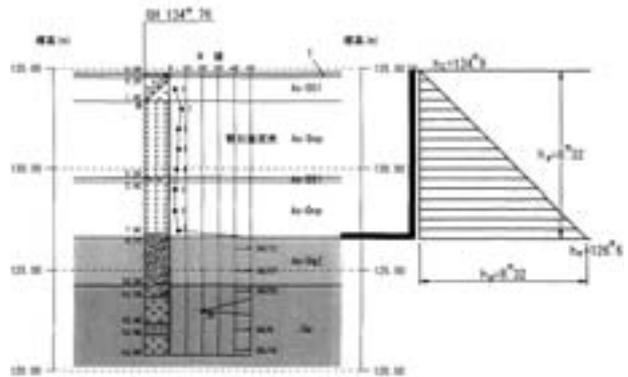


図2 朝日面砂礫層に分布する被圧性地下水



図1 調査位置図

2. 泥炭の試験結果

乱さない試料による一般的な土質試験結果を表1に示した。試験値のなかにあつて注目すべきは、自然含水比(Wn)と強熱減量(Li)の関係である。当該泥炭は、高地泥炭であることから、被圧性地下水の作用が残るもの・脱水作用が侘いたことにより、有機物の含有に対して自然含水比が低い傾向が顕著である。

図3は、宮川博士^{注-2)}によって提示された圧密荷重(p)による強熱減量比($f = Wn/Li$)の推移を示した実験結果である。図示のグラフは $f = 10 - F(p)$ なる関係で表わすこともできるが、これに朝日面泥炭の試験値 $f = 4.44 \sim 6.58$ を対比すると、平均値として $p \approx 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の圧密履歴を想定することができよう。

表-1 泥炭の土質試験結果一覧

試料番号 (試料採取深度)	24-1 (2.70~3.48 m)	24-2 (4.30~5.30 m)	24-3 (6.80~7.34 m)	25-1 (1.50~1.98 m)	25-2 (4.00~4.75 m)	忠類(構)1-2 (5.50~6.50 m)	
土層名	Dop	Dop	Dop	Dop	Dop	Dop	
一般	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.081 1.093	1.419、1.422 1.157	1.123、1.082 1.080	1.231、1.077 1.141	1.367、1.471 1.255	-
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	1.781	2.029	1.770	2.052	2.204	1.937
	自然含水比 Wn %	285.9	156.2	272.8	201.6	117.0	196.5
	強熱減量 Li %	57.7	34.5	61.4	30.6	28.7	-
圧密	圧縮指数 Cc	2.700	2.150	3.370	2.350	1.290	-
	圧密降伏応力 Pc kN/m ²	78.5	95.3	109	87.5	178	-
分類	飽和度 %	96.1	95.9	96.5	87.5	-	-
	分類記号	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(Pt)	(OH-S)
強熱減量比 Wn/Li	4.95	4.52	4.44	6.58	4.07	-	

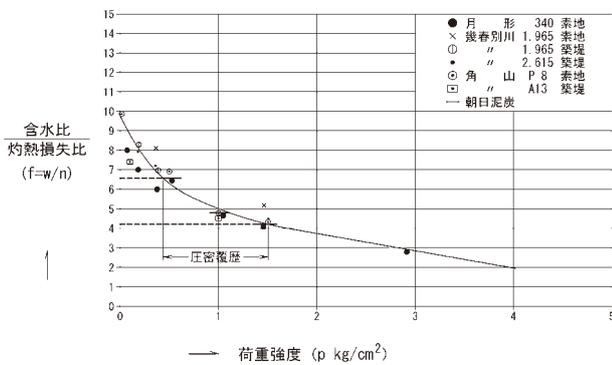


図3 圧密荷重(p)による強熱減量比(f)の推移

以下に、高地泥炭の圧密特性について述べるが、圧縮係数 (mea、mep、mt) は、「Fitting Method」と称する整理法による値であり、この整理方法の原理は資料^{注-3)}に詳しいのでここでは重複を避けたい。

[即時沈下に対する圧縮係数 mea の特性]

図4は、対雁泥炭の mea と当該泥炭のそれを対比したものである。当該泥炭の mea の範囲は灰色で着色した。圧密荷重 p が 0.5 kg/cm² 以下の範囲では朝日泥炭の方が 1 オーダ程低い値を示す傾向がある。これは前述した圧密履歴による影響と考えられる。

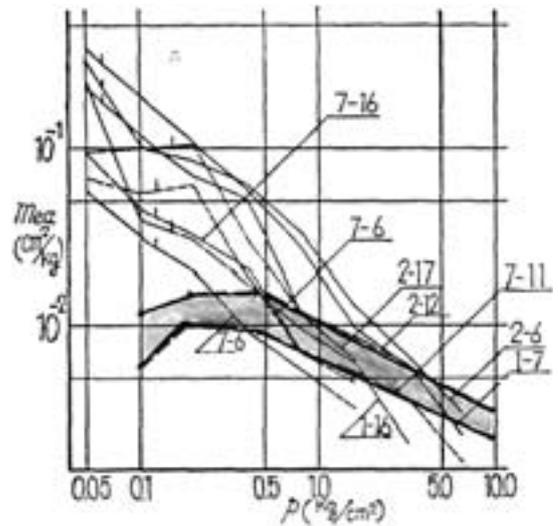


図4 対雁泥炭との対比図

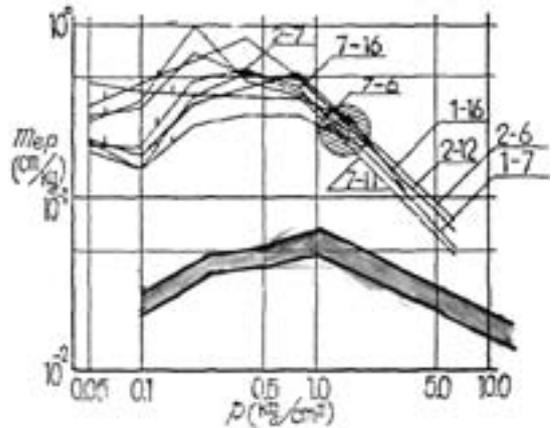


図5 対雁泥炭との対比図

[一次圧密に対する圧縮係数 mep の特性]

図5によれば、当該泥炭の mep は、圧密荷重の全域に亘って 1 オーダ程低い領域に分布する。圧密履歴の顕著な効果を示す例として特徴がある。

[二次圧密に対する圧縮係数 mt の特性]

分布域は前述の mea、mep と同じ傾向を示すが、mt の最高値を示す圧密荷重 p の位置が対雁泥炭に較べて大きい方に移行する傾向がある。この傾向は

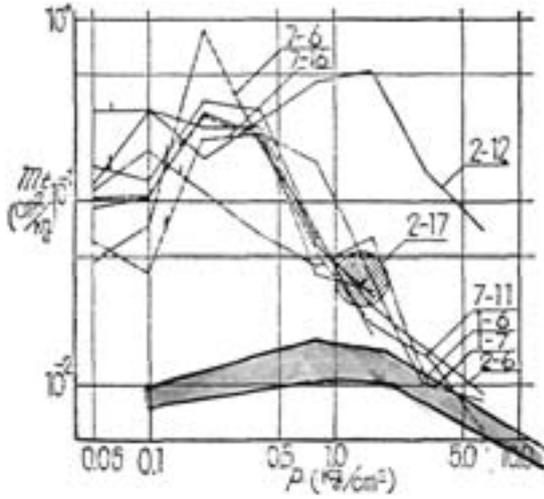


図6 対雁泥炭との対比図

mep の場合も同様であり、圧密履歴を示す泥炭の
特徴的傾向といえるであろう。

【圧密係数 Cv の特性】

図7に Cv を対比した。圧密荷重 p の低い段階
に於ては、朝日面泥炭は、2 オーダ程低い Cv 値を
示すが、 $p > 1.0 \text{ kg/cm}^2$ では対雁泥炭と同様に
急激な低下傾向を示す。

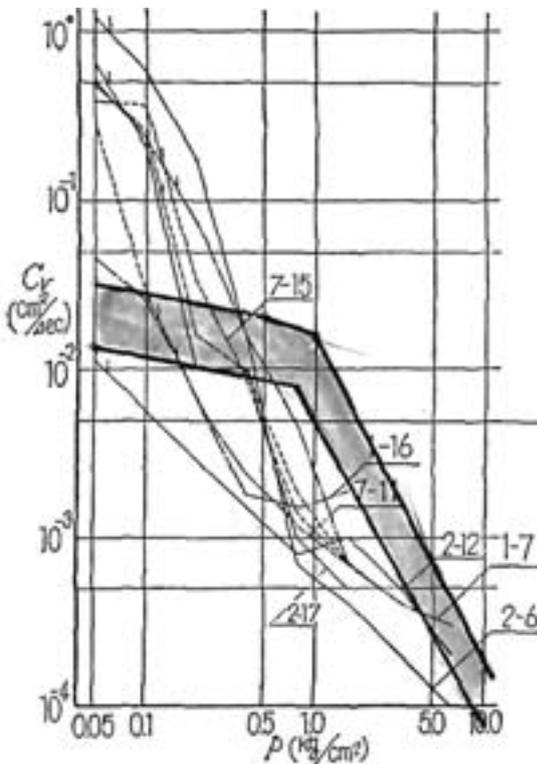


図7 対雁泥炭との対比図

3. 圧密沈下計算例

表-2 は「Fitting Method」による沈下計算の手
順を一括したものである。同表は要するに、即時沈
下 (Immediate Settlement)、一次圧密沈下
(Primary consolidation Settlement) 及び二次圧
密沈下 (Secondary consolidation Settlement)
に対する平均ヒズミ ($\bar{\epsilon}$) を荷重条件に対して計算
し、加え合わせることを示しているに過ぎない。も
ちろん、荷重条件 (瞬間荷重か漸増荷重か) によつて、 T_{01} 、 A_1 、 A_2 、 a_2 が必要となるので計算の繁雑さ
は否めないが、コンピュータに任せれば瞬時に終る。

表-2 「Fitting Method」による沈下計算表

Loading condition	Δp	
	t	t
icm		
Consolidation parameter	$m e a, m e p, m t$ $\beta = \frac{m t}{m e p}, K = \frac{m e a}{m e p}$ \bar{C}_v, h	$m e a, m e p, m t$ $\beta = \frac{m t}{m e p}, K = \frac{m e a}{m e p}$ \bar{C}_v, h
Immediate settlement	$\bar{\epsilon}_i = m e a \cdot \Delta p \{ 1 - F(T_v) \}$	$0 < T_v < T_{v c}$ $\bar{\epsilon}_i = m e a \frac{\Delta p}{t c} \{ 1 - \phi(T_v) \}$ $T_v > T_{v c}$ $\bar{\epsilon}_i = m e a \cdot \Delta p \{ 1 - F(T_v - T_{01}) \}$
Primary consolidation settlement	$\bar{\epsilon}_{c1} = m e p \cdot \Delta p \cdot F(T_v)$	$0 < T_v < T_{v c}$ $\bar{\epsilon}_{c1} = m e p \cdot \frac{\Delta p}{t c} \cdot t \cdot \phi(T_v)$ $T_v > T_{v c}$ $\bar{\epsilon}_{c1} = m e p \cdot \Delta p \cdot F(T_v - T_{01})$
Secondary consolidation settlement	$\bar{\epsilon}_{c2} = m t \cdot \Delta p \cdot \log \left(1 + \frac{4.62}{\beta} T_v \right)$	$0 < T_v < T_{v c}$ $\bar{\epsilon}_{c2} = \frac{1}{2.3} m t \cdot \Delta p \cdot \frac{t}{t c} \cdot A_1$ $T_v > T_{v c}$ $\bar{\epsilon}_{c2} = m t \cdot \Delta p \cdot \log \left(1 + \frac{4.62}{\beta} (T_v - T_{v c} \cdot A_2) \right)$
Combined value of the three types of settlement	$\bar{\epsilon}_i = m e p \cdot \Delta p \left\{ K(1 - F(T_v)) + F(T_v) + \beta \log \left(1 + \frac{4.62}{\beta} T_v \right) \right\}$ $\bar{\epsilon}_i = \bar{\epsilon}_i + \bar{\epsilon}_{c1} + \bar{\epsilon}_{c2}$	$0 < T_v < T_{v c}$ $\bar{\epsilon}_i = m e p \cdot \Delta p \frac{t}{t c} \left\{ \phi(T_v) + K(1 - \phi(T_v)) + \frac{\beta}{2.3} A_1 \right\}$ $T_v > T_{v c}$ $\bar{\epsilon}_i = m e p \cdot \Delta p \left\{ K(1 - F(T_v - T_{01})) + F(T_v - T_{01}) + \beta \log \left(1 + \frac{4.62}{\beta} (T_v - T_{v c} \cdot A_2) \right) \right\}$
Common values for all the relevant functions	$T_{v0} = \frac{C_v \cdot t}{(n \cdot h)^2}, T_{01} = \frac{4}{\pi^2} \text{Ln} \frac{4 \left(e^{-\frac{\pi^2 A}{4}} \right) T_{v c}}{\pi^2 \cdot T_{v c}}, a_2 = \left(1 + 4.62 \frac{T_{v c}}{\beta} \right)^{-1/4.42(T_{v c} \beta)}$ $A_1 = 1 - \frac{\beta}{4.62 T_v} \text{Ln} \left(1 + \frac{4.62}{\beta} T_v \right), A_2 = 1 - \frac{2.72 a_2 - 1}{4.62 \cdot \epsilon}, \epsilon = \frac{T_{v c}}{\beta}$ $F(T_v) = \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{8}{(2m+1)^2 \pi^2} e^{-\frac{(2m+1)^2 \pi^2 T_v}{4}} \right\}$ $\phi(T_v) = \left\{ 1 - \frac{1}{T_v} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{32}{(2m+1)^4 \pi^4} (1 - e^{-\frac{(2m+1)^2 \pi^2 T_v}{4}}) \right\}$	

ここで初心者に染みの薄い係数について若干の補
足をしたい。

図8は、漸増荷重の場合の一次圧密沈下の推移
を示す。

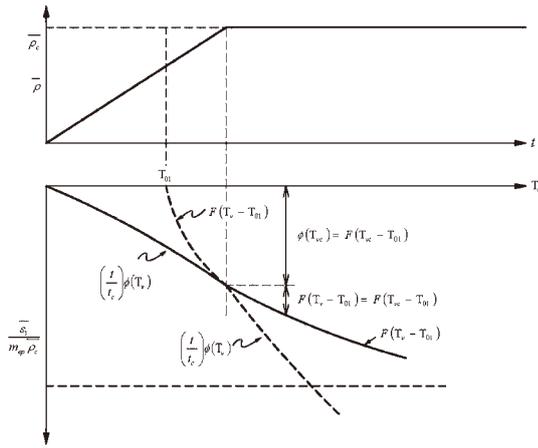


図8 一次圧密沈下に対する説明図

図中、 T_{01} は従来の思想にない仮想起点 (Virtual time starting point) を示すもので、 T_{01} を求めることにより、従来 $t = 0 \sim t_c$ 間における近似的計算に代えて、沈下の推移を合理的に求めることができる。

図9も同様に $T_{02} = T_{vc} \cdot A_2$ の仮想起点を計算することにより $t = 0 \sim t_c$ 及び $t > t_c$ 間の沈下推移を合理的に計算することができるのである。

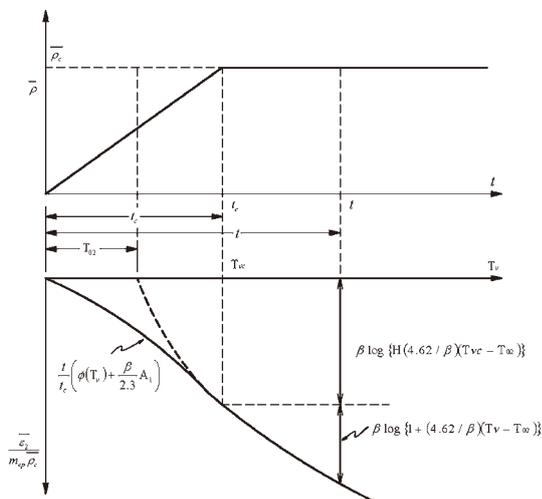


図9 二次圧密沈下に対する説明図

T_{01} 及び T_{02} の誘導の詳細は資料^{注-4)}に詳しいので、興味のある方は資料を参考されることをお勧めしたい。

説明が横道に過ぎた。

今、当該朝日面泥炭地に 14 m 程度の盛土が施工される場合の沈下の推移を表 2 の手順に従って

計算した例を示そう。盛土施工速度は 1 日当たり 5 cm/day ($t_c = 280 \text{ days} \doteq 300 \text{ days}$) と 10 cm/day ($t_c = 140 \text{ days} \doteq 150 \text{ days}$) の 2 種を比較することとする。圧密試験結果から圧縮定数は以下の値が提示されよう。

即時沈下の圧縮係数	$m_{ea} = 2.15 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kg}$
一次圧密の圧縮係数	$m_{ep} = 4.25 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kg}$
二次圧密の圧縮係数	$m_t = 1.65 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kg}$
一次圧密、二次圧密の係数比	$\beta = 0.388$
一次圧密、即時沈下の係数比	$K = 0.505$
圧密係数	$C_v = 135 \text{ cm}^2/\text{day}$

このほか、沈下対象層厚 $h = 670 \text{ cm}$ (両面排水条件とすれば $n = 2$) となる。

図 10 は、漸増荷重 ($t_c = 150 \text{ days}$ or $t_c = 300 \text{ days}$) の場合について即時、一次及び二次圧密沈下の時間経過を表 2 の手順に従って計算したものである。

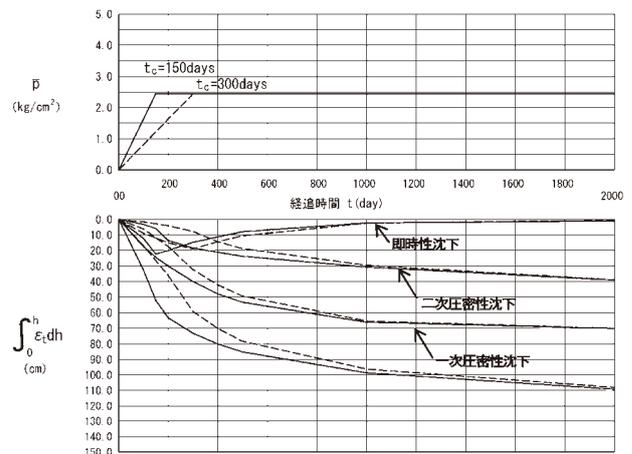


図10 表-2 「Fitting Method」による沈下計算結果

図示の沈下経過は、盛土施工速度により若干の変化を示すが際立った差異はないようである。 $t = 1000 \text{ days}$ 以降では即時及び一次圧密沈下は一定値に収束し、二次圧密の沈下が顕在化して、総沈下量の時間経過の勾配を支配するようになる。また即時沈下の最大値は t_c 時に発生し、短時間で施工した方がゆっくり施工した場合よりも大きくなるのがわかる。また二次圧密沈下量は、一次圧密沈下量の約 45 ~ 50% に相当するがこれは時間の経過によって増大することになる。したがって、沈下低減

を計る場合には、二次圧密沈下の低減を第一義に考えて対応策を考えるべきである。

4. むすび

以上、十勝南部に分布する高地泥炭(朝日面泥炭)の圧密特性について概要を述べた。脱稿するに当り、拙文が貴重な紙面を汚す結果を招いたことには、大いに恥じるものであるが、ここで述べた「Fitting Method」なる整理法により泥炭の圧密現象を低地泥炭との比較において力学的統一性をもって論じ得たことに一抹の安堵感を禁じ得ない。

多忙な折にも拘らず、圧密データの抽出に多大の御尽力いただいた土質試験協同組合の山内昇氏には感謝申し上げる次第である。

参考資料

- 注- 1) 山口ほか：忠類地域の地質(平成 15 年独立行政法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター)
田中 富男：数値地図で見る北海道の地形(平成 20 年 4 月)
- 注- 2) 宮川 勇：泥炭地における土質工学上の 2、3 の問題(宮川勇博士論文選集 186 P)
- 注- 3) 佐田 頼光：泥炭土の圧縮についての Rheology 的考察(コンサルタンツ北海道 第 118 号 P42 ~ 48)
- 注- 4) Leonardo Zeevaert : Foundation Engineering, (Second Edition)
(VAN NOSTRAND REINHOLD P82 ~ 85、P90 ~ 107)

佐田 頼光(さだ よりみつ)

技術士(建設部門)

拓北地下開発 株式会社



福田 正人(ふくだ まさと)

技術士補

拓北地下開発 株式会社



横尾 裕孝(よこお ひろたか)

拓北地下開発 株式会社

