

第7章 施工完了後の試験盛土の挙動

堆積年代の計算値 t_i は、過圧密比 OCR の他、式 (5-47) におけるべき指数 $(C_c - C_s)/C_\alpha$ の影響を強く受ける。とりわけ、分母となる二次圧密係数 C_α の影響は大きい。もし、 C_α が時間の経過とともに小さくなり無限小となるとすれば、 t_i は無限大となる。前章で示したとおり、網干らは約 10 年間継続した圧密実験の結果^{[1]、[2]、[3]}を報告している。この実験結果によれば、実験開始から 10 年後にはそれ以前の数年間に比べて、二次圧密係数が約 1/3 に低下することになる。前章では、二次圧密係数が仮に時間経過 10 倍ごとに 10% ずつ継続して低下するとした場合、式 (5-47) を用いても、 t_i を求めることができなくなることを示した。この仮定は、網干らの実験結果と比較して現実的でないと言いきれないものと考えられる。

Mesri は二次圧密係数に影響する要因として、"Time"、"Consolidation Pressure"、"Precompression"、"Sustained Loading"、"Remolding"、"Shear Stresses"、Rate of Increase in Effective Stress"、"Sample Thickness"、"Temperature"を挙げたうえ、時間の影響は室内試験では確認が困難であることを指摘している^[4]。二次圧密係数の時間経過にともなう変化に関しては、網干らの実験ほど長期間に渡り観察した事例が見当たらない。実際の原位置の二次圧密係数はどの程度で、どのような挙動を示すのだろうか。それが分からなければ t_i を求めることはできない。これでは、本当の意味では長期沈下予測などできないということを意味しているのではないだろうか。

例えば、時間経過と沈下量の関係が分かれば、一次元で考えればひずみと時間の関係を整理できる。深層型の沈下計が各土層の境界部に設置されていれば、大まかではあるが原位置の二次圧密係数を知ることができるはずである。第4章で述べた試験盛土では、深層型沈下計が概ね各土層の境界付近に設置してあり、施工完了後も観測を継続している。本章では、試験盛土の施工完了後の挙動を整理することにより、原位置の二次圧密係数を求めることができなにか試みた結果を示すものとした。

7-1 深層型沈下計による挙動の確認

7-1-1 地表面沈下量

図 7-1 に、各試験工事エリアの地表面沈下量の比較を示す。図は、深層型沈下計（第4章参照）のうち、盛土施工前の地表面付近に設置した計器の測定データを整理したものである。Area3を除き、負圧载荷停止以降、各エリアの沈下挙動はほぼ停止しているように見える。

図 7-2 は、各エリアの施工完了日（Area1 は矢板撤去日、Area2,3 は負圧载荷停止日）以降の地表面沈下量を整理したもので、南北に設置した沈下計の測定値とその平均値の他、地表面沈下板の測量結果も併せて示してある。地表面沈下板の測量結果は深層型沈下計の測定値と乖離している。沈下計と沈下板は相互に3.5mの離隔があるため、数センチ程度の乖離はやむを得ないものと考えるが、Area3では特に顕著に乖離している状況にある。また、Area1とArea2では、南北の沈下計の値にも乖離があるが、Area3は逆に南北の沈下計の測定値はほぼ一致している。

次項から深層型沈下計の測定値を整理して最終的に原位置の二次圧密係数を求めるが、測定値にはバラつきがあることを念頭に置く必要がある。

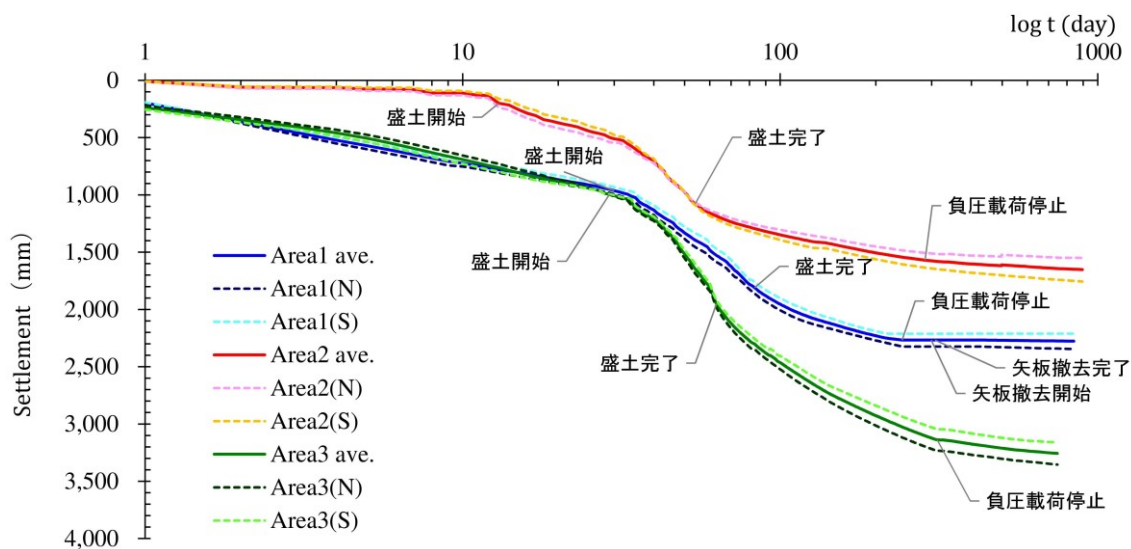


図 7-1 深層型沈下計による各エリアの地表面沈下量の比較

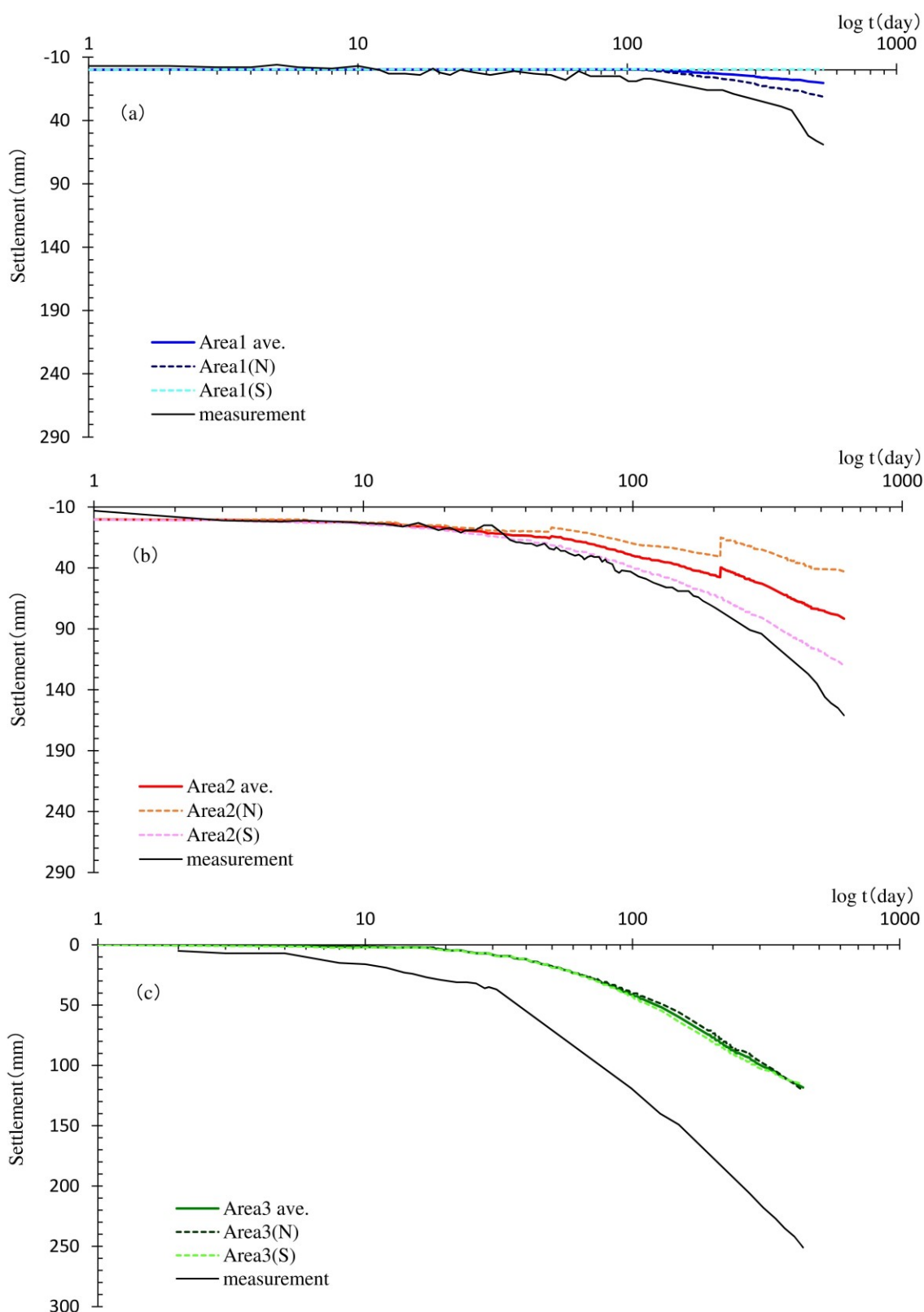


図 7-2 施工完了後の地表面沈下量の比較

7-1-2 評価対象の土層と深層型沈下計

原位置の二次圧密係数は、3箇所の試験盛土施工位置（第4章参照）に設置した深層型沈下計を用いて整理するものとした。図7-3に、各エリアの試験盛土中心位置の想定土層断面図と深層型沈下計の設置位置を示した。それぞれ、試験盛土の施工前の状態で示したもので、施工に伴う沈下量は反映していない。また、深層型沈下計は各エリアの試験盛土中心位置を挟んで南北3.5mずつの離隔をとり、2セットを同深度で設置してある。深層型沈下計は、センサーの移動量を相対的に知るものであるが、第4章での整理と同様に上下のセンサーの変位差をその間の沈下量として把握することができる。ただし、センサーの出力は異常値となる場合も多いため、評価対象とするセンサーは選別が必要である。

図7-3では、計器の選別をした結果を「評価対象」として強調してある。データの整理や選別の過程は次項に示すものとし、評価対象の計器の組み合わせを表7-1に示した。評価対象計器間にある粘性土層が主な評価対象土層になる。対象の位置には小文字のアルファベットを付した。試験盛土では、各エリアとも完新統の有機質土（Apt, Apc）を対象に、真空圧密工法による地盤改良を施しているため、本章の評価対象は、第5章、第6章と同様に主に更新統の粘性土とするが、一部で有機質土についても評価対象計器間に含まれている場合（例えばArea1南側の*h*やArea2北側の*k*など）がある。また、Area3の南側については、評価時点で完新統の各計器がいずれも沈下挙動を示していたため、参考に改良対象深度以深の粘性土（図中*t*）を一部評価に加えた。なお、評価対象計器間に砂層が含まれる場合は、その層の沈下はないものとして評価対象層厚から除外している。

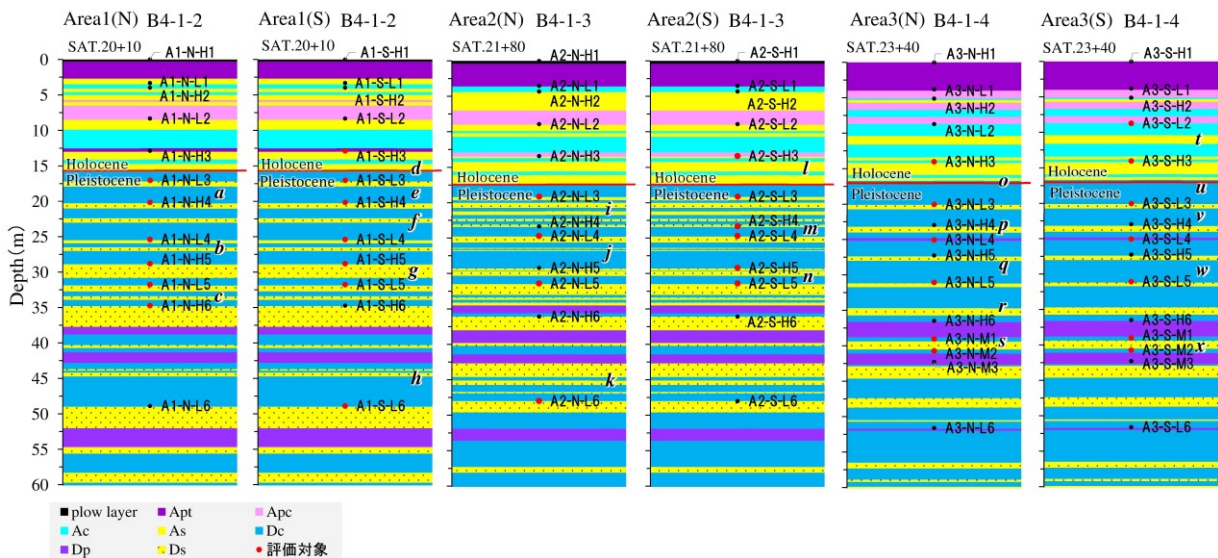


図7-3 評価対象箇所の想定土層断面図と評価対象の深層型沈下計

表 7-1 評価対象の深層型沈下計の一覧

Area1 (N)						Area1 (S)					
No.	北側 機器No.		対象土層厚 (mm)	中間砂層厚 (mm)	h ₀ (mm)	No.	南側 機器No.		対象土層厚 (mm)	中間砂層厚 (mm)	h ₀ (mm)
	上端	下端					上端	下端			
a	A1-N-L3	A1-N-H4	3,100	750	2,299.6	d	A1-S-H3	A1-S-L3	4,150	2,250	1,869.1
b	A1-N-L4	A1-N-H5	3,400	900	2,475.3	e	A1-S-L3	A1-S-H4	3,100	750	2,326.5
c	A1-N-L5	A1-N-H6	2,950	1,300	1,637.1	f	A1-S-H4	A1-S-L4	5,250	1,250	1,637.1
Area2 (N)						Area2 (S)					
No.	北側 機器No.		対象土層厚 (mm)	中間砂層厚 (mm)	h ₀ (mm)	No.	南側 機器No.		対象土層厚 (mm)	中間砂層厚 (mm)	h ₀ (mm)
	上端	下端					上端	下端			
i	A2-N-L3	A2-N-L4	5,550	5,150	357.0	l	A2-S-H3	A2-S-L3	5,700	3,050	2,502.6
j	A2-N-L4	A2-N-L5	6,850	1,150	5,672.6	m	A2-S-H4	A2-S-L4	1,350	0	1,299.9
k	A2-N-L5	A2-N-L6	16,550	7,100	9,433.5	n	A2-S-H5	A2-S-L5	2,200	850	1,311.2
Area3 (N)						Area3 (S)					
No.	北側 機器No.		対象土層厚 (mm)	中間砂層厚 (mm)	h ₀ (mm)	No.	南側 機器No.		対象土層厚 (mm)	中間砂層厚 (mm)	h ₀ (mm)
	上端	下端					上端	下端			
o	A3-N-H3	A3-N-L3	6,000	2,600	3,208.4	t	A3-S-L2	A3-S-H3	5,300	1,550	3,383.9
p	A3-N-L3	A3-N-L4	5,000	750	4,189.3	u	A3-S-H3	A3-S-L3	6,000	2,600	3,270.3
q	A3-N-L4	A3-N-L5	6,000	600	5,328.1	v	A3-S-L3	A3-S-L4	5,000	750	4,175.6
r	A3-N-L5	A3-N-M1	7,954	1,450	6,490.4	w	A3-S-L4	A3-S-L5	6,000	600	5,335.0
s	A3-N-M1	A3-N-M2	1,700	1,100	588.9	x	A3-S-M1	A3-S-M2	1,700	1,100	522.9

各エリアの施工履歴を、表 7-2 に改めて示す。表 7-2 には、施工完了後に隣接した工区で施工が始まった時期も併せて示した。評価の対象期間は、Area1 は矢板撤去完了を、Area2 と Area3 は負圧载荷停止を基準日に隣接した工区で施工が開始されるまでの間とする。各エリアで施工開始期間が異なっているため、評価対象期間は、Area1 で 550 日間、Area2 で 608 日間、area3 で 435 日間となった。

表 7-2 各試験盛土エリアの施工履歴

	Area1 シート式+矢板		Area2 キャップ式		Area3 シート式	
	発生日	経過日数	発生日	経過日数	発生日	経過日数
負圧载荷開始	2012. 6.11	0	2012. 4.19	0	2012.9.14	0
目標負圧到達日	2012. 6.13	2	2012. 5.24	35	2012.9.15	1
盛土開始	2012. 7.11	30	2012. 5. 2	13	2012.10.12	28
盛土完了	2012. 9. 2	83	2012. 6.12	54	2012.11.15	62
負圧载荷停止	2013. 2. 8	242	2013. 1.30	286	2013. 7.22	311
矢板撤去(開始)	2013. 4. 6	299				
矢板撤去(完了)	2013. 4.13	306				
隣接工区 ドレーン打設開始	2014. 10. 17	858	2014.10.1	895	2014. 10.1	747

7-1-3 データ整理の手順

以下に、深層型沈下計を用いて、工学ひずみ ε 並びに ひずみで表現した二次圧密係数 $C_{\alpha\varepsilon}$ を求めるためのデータ整理手順を示す。

- (1) 負圧を除荷した日（Areal は矢板撤去完了日）を基準に、それ以降の各試験エリアの各深度の深層型沈下計の移動量を整理する。測定値は、増減を繰り返しながら変化（減少）する。データのブレが大きいため、この時点で測定値の回帰式を求める。この際、異常値を記録している計器は評価の対象から除外（第一次選定）する。
- (2) 上位の深層型沈下計の設置深度と下位の深層型沈下計の設置深度の差を層厚とする。この際、砂層は層厚から除外する。上記(1)で除外対象となった沈下計のデータは、無視する。
上記の(1)で基準とした日の層厚を初期層厚とし、それ以降の層厚変化から工学ひずみを求める。この際、層厚変化が合理的でない場合は、当該層を評価対象から除外（第二次選定）する。（例えば、層厚がわずかに増加する場合などがあるが、層厚変化がないものとして評価の対象として扱わないものとする。）
- (3) 記(2)で求めた層厚変化から、 ε を求める。
 ε の変化と経過時間（対数軸）の関係を整理し、二次圧密係数 $C_{\alpha\varepsilon}$ を求める。

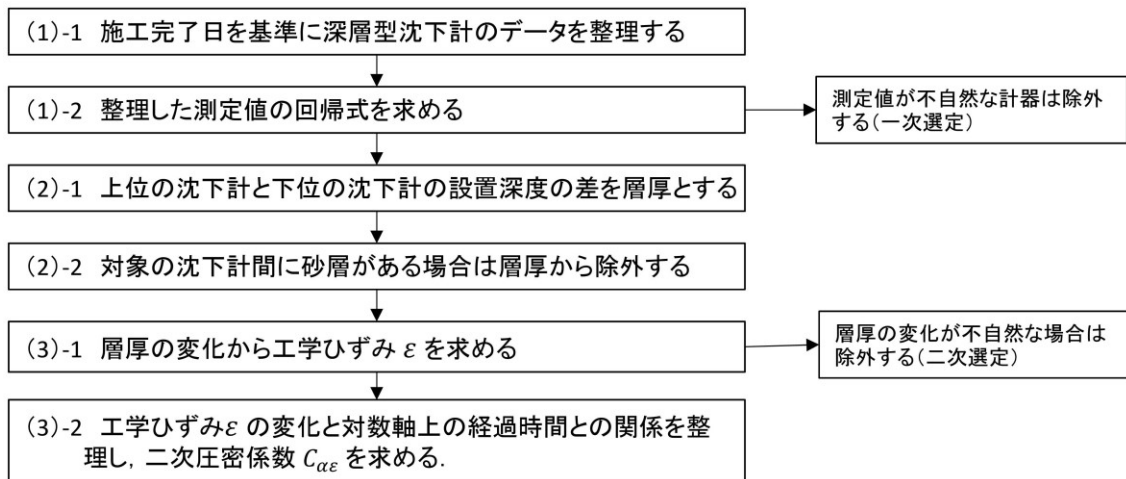


図 7-4 データ整理の手順

7-1-4 深層型沈下計の変位

図 7-5～図 7-10 に、各試験施工エリアにおける施工完了後の深層型沈下計の変位と評価対象機器の一次選別の結果を示す。評価の対象とした計器の測定値には、各々以降のデータ整理に用いる回帰式を記載してある。それぞれ、決定係数を併記しているが、何れも相関係数が 0.9 を超えており、概ね測定結果を十分に近似できているものとする。

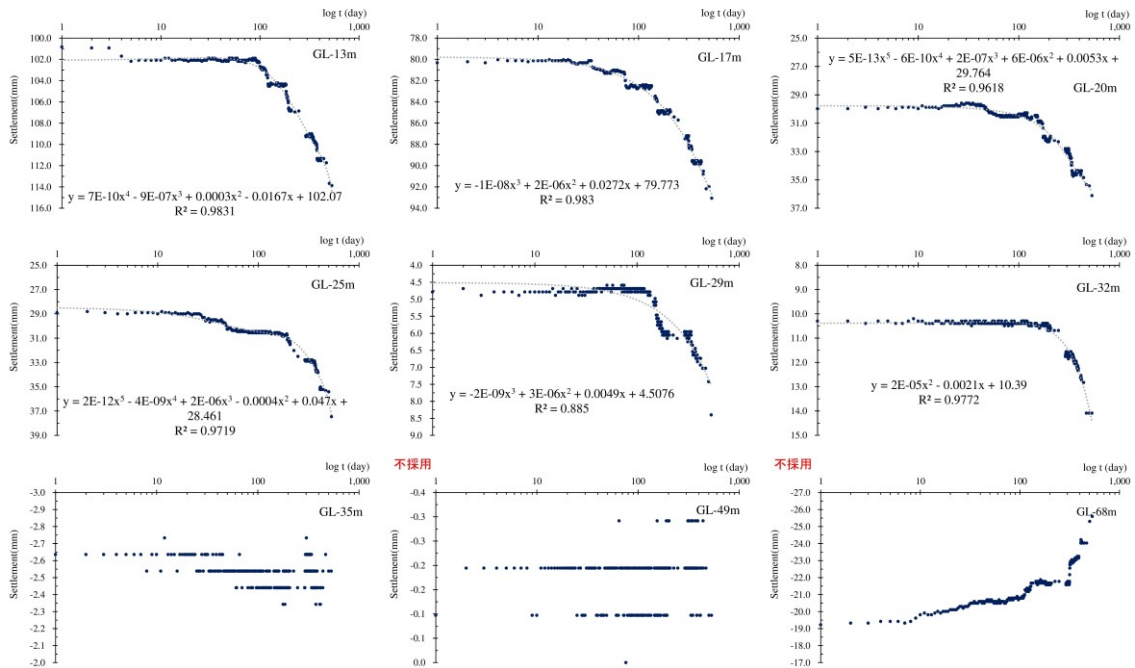


図 7-5 矢板撤去完了後の深層型沈下計の変位と評価対象計器の選別 (Area1 北側)

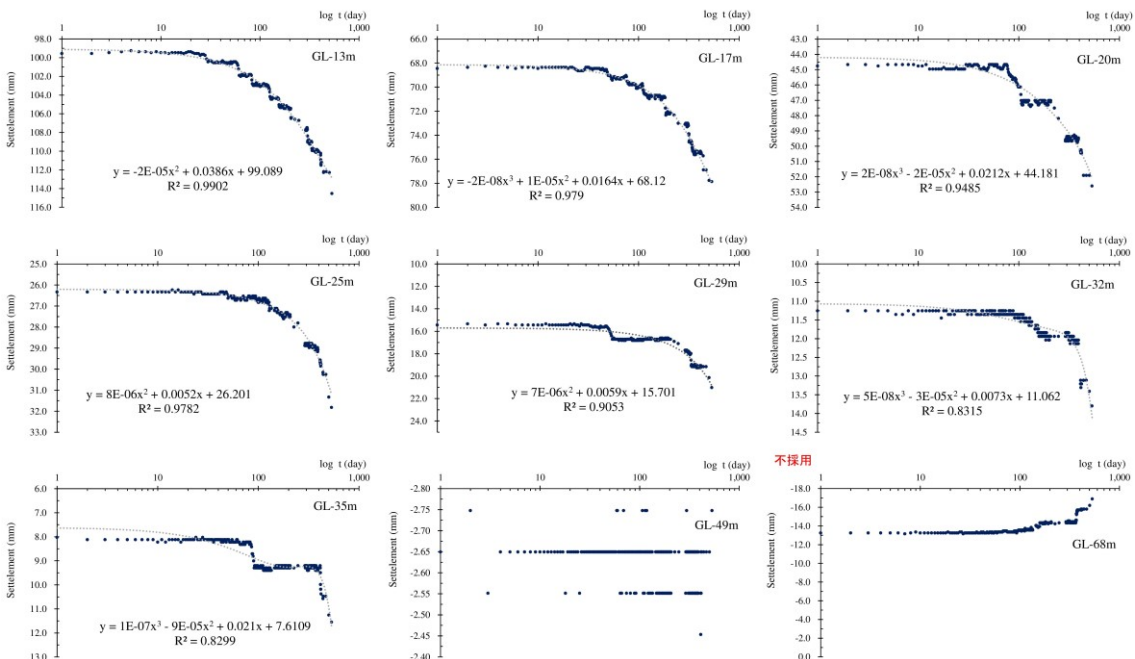


図 7-6 矢板撤去完了後の深層型沈下計の変位と評価対象計器の選別 (Area1 南側)

第7章 施工完了後の試験盛土の挙動

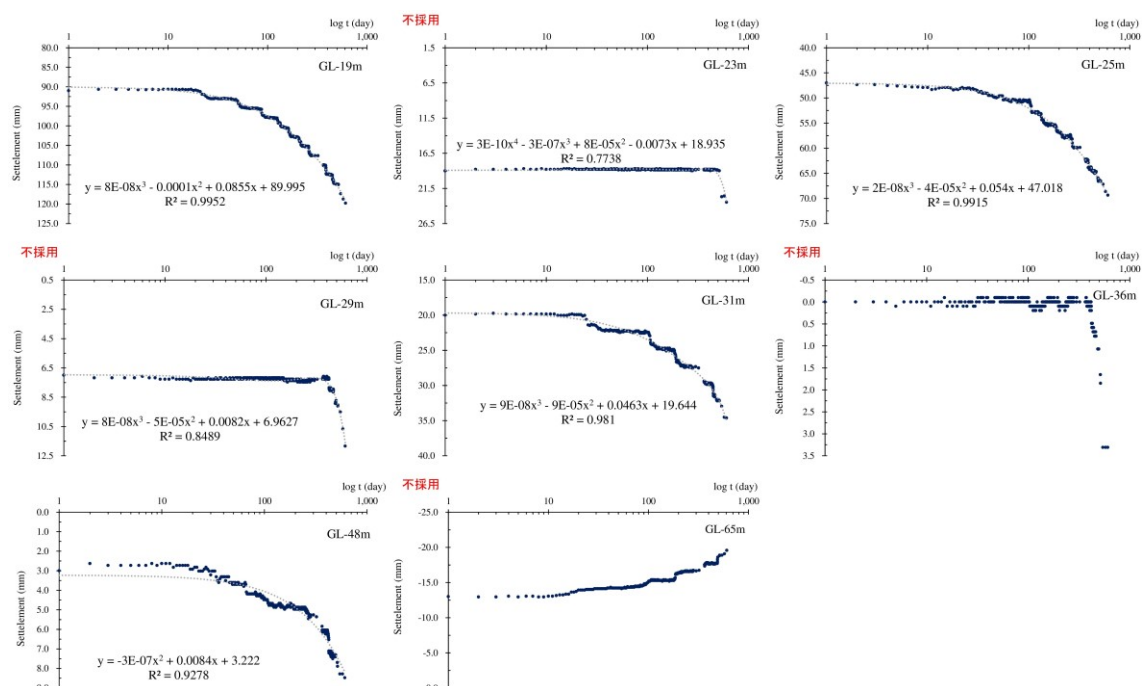


図 7-7 負圧載荷停止後の深層型沈下計の変位と評価対象計器の選別 (Area2 北側)

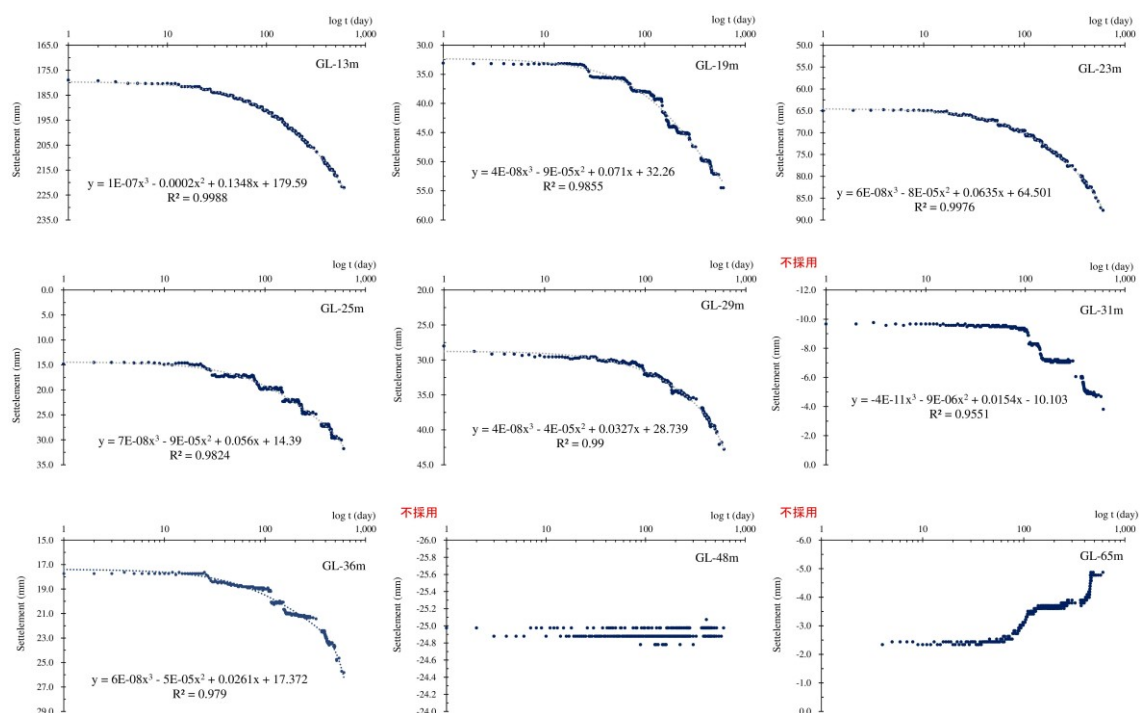


図 7-8 負圧載荷停止後の深層型沈下計の変位と評価対象計器の選別 (Area2 南側)

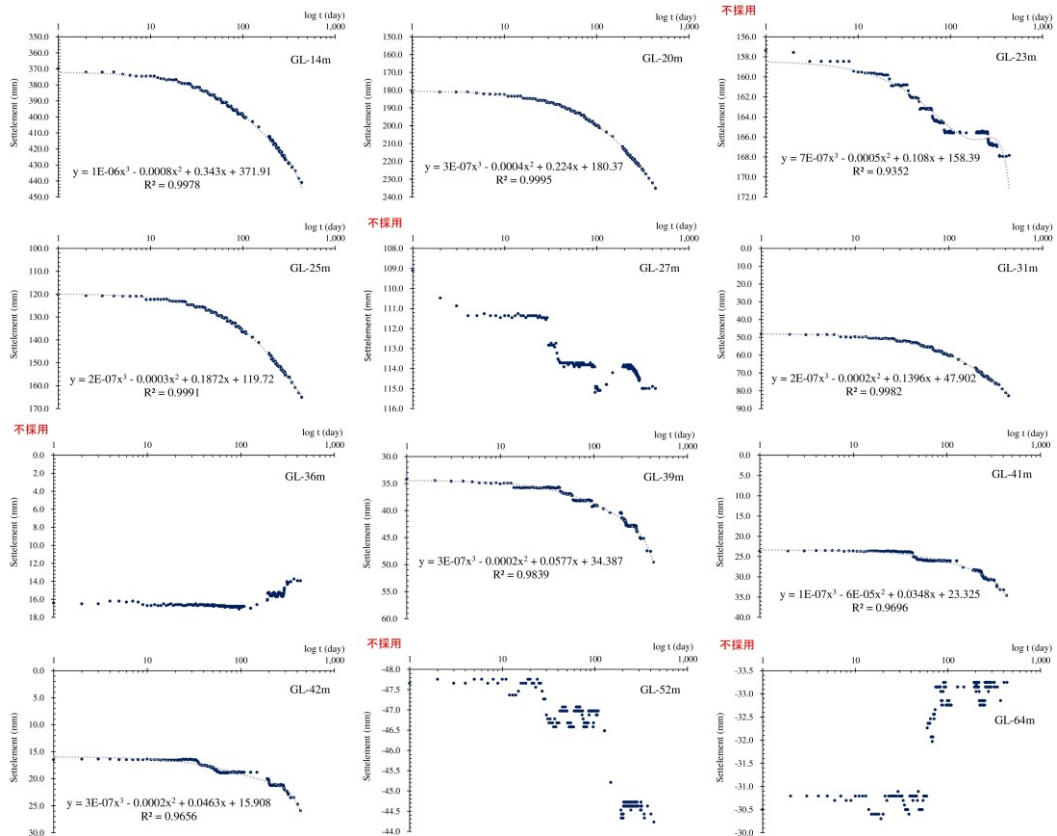


図 7-9 負圧荷停止後の深層型沈下計の変位と評価対象計器の選別 (Area3 北側)

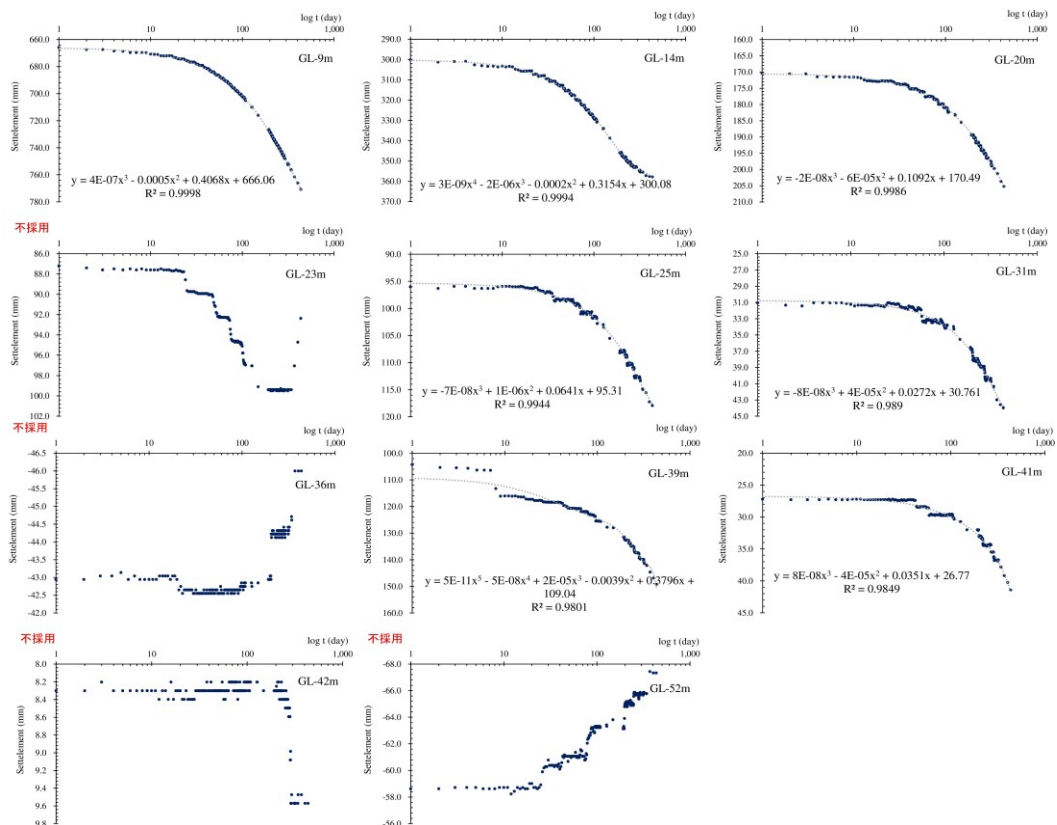


図 7-10 負圧荷停止後の深層型沈下計の変位と評価対象計器の選別 (Area3 南側)

7-2 原位置の二次圧密係数

7-2-1 圧縮量の変化

図 7-1 1～図 7-1 6 に、各試験エリアの深層型沈下計の変位から求めた、沈下計設置深度間の土層の圧縮量を整理した結果を示す。

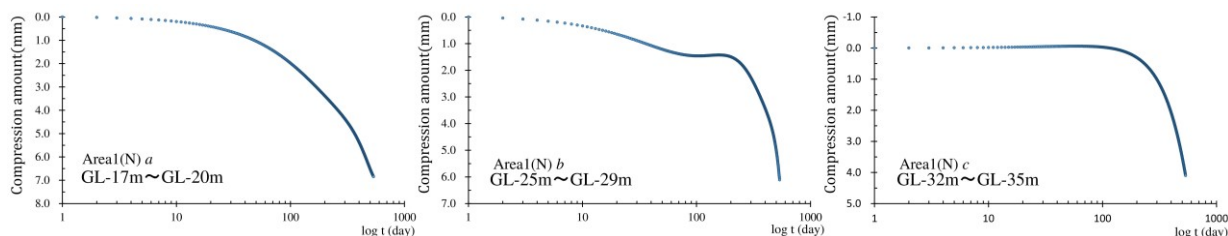


図 7-1 1 圧縮量の変化 (Area1 北側)

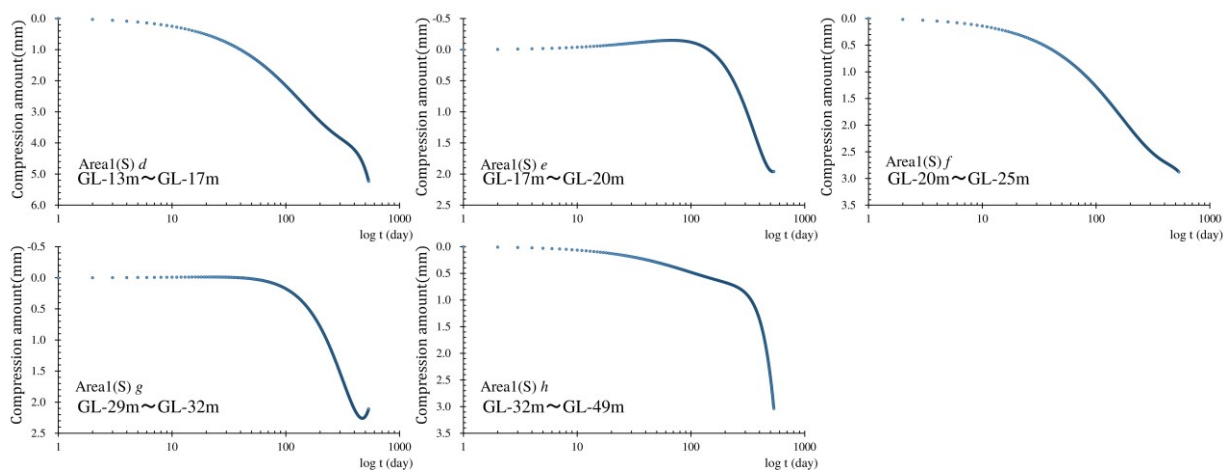


図 7-1 2 圧縮量の変化 (Area1 南側)

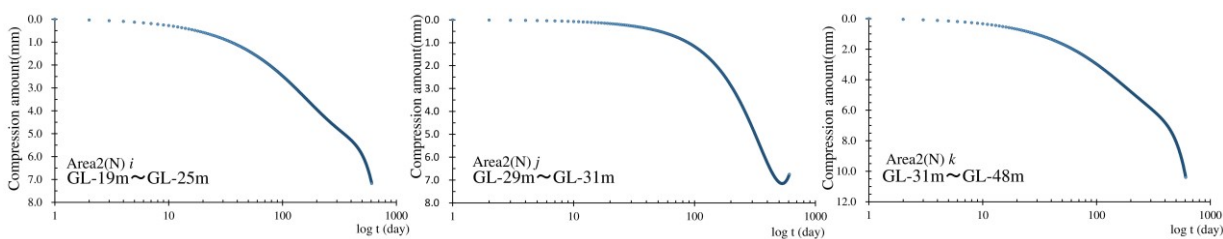


図 7-1 3 圧縮量の変化 (Area2 北側)

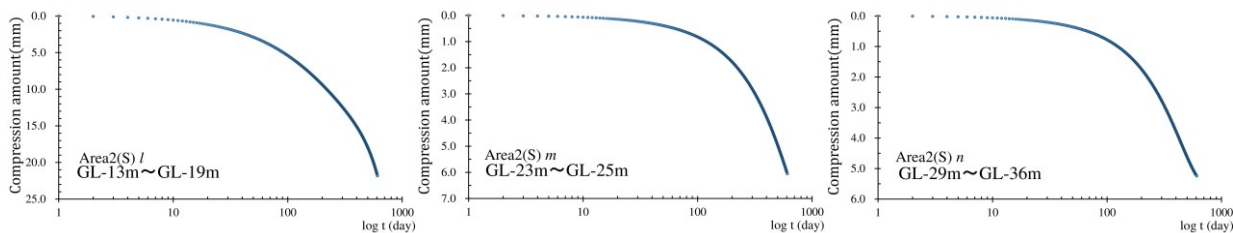


図 7-1 4 圧縮量の変化 (Area2 南側)

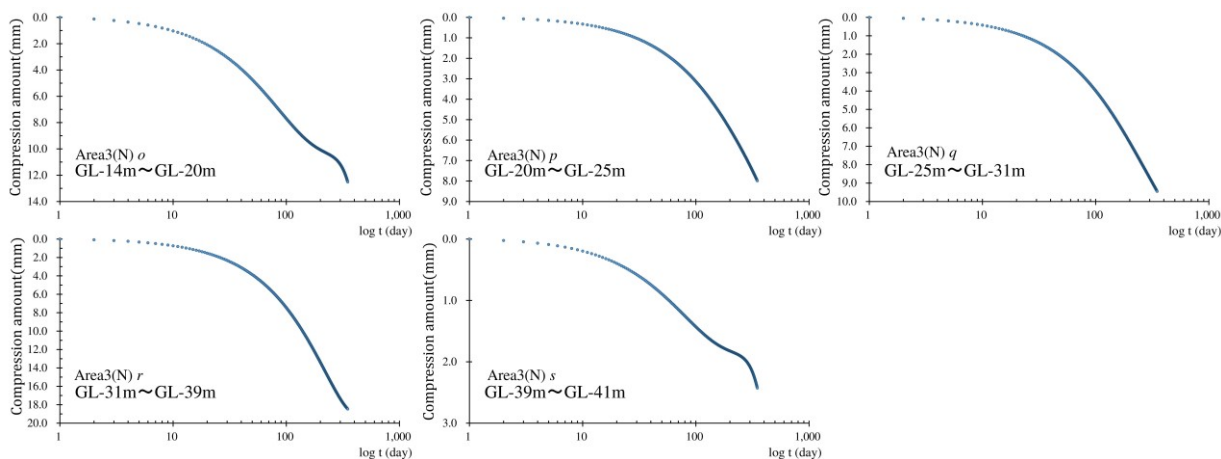


図 7-1 5 圧縮量の変化 (Area3 北側)

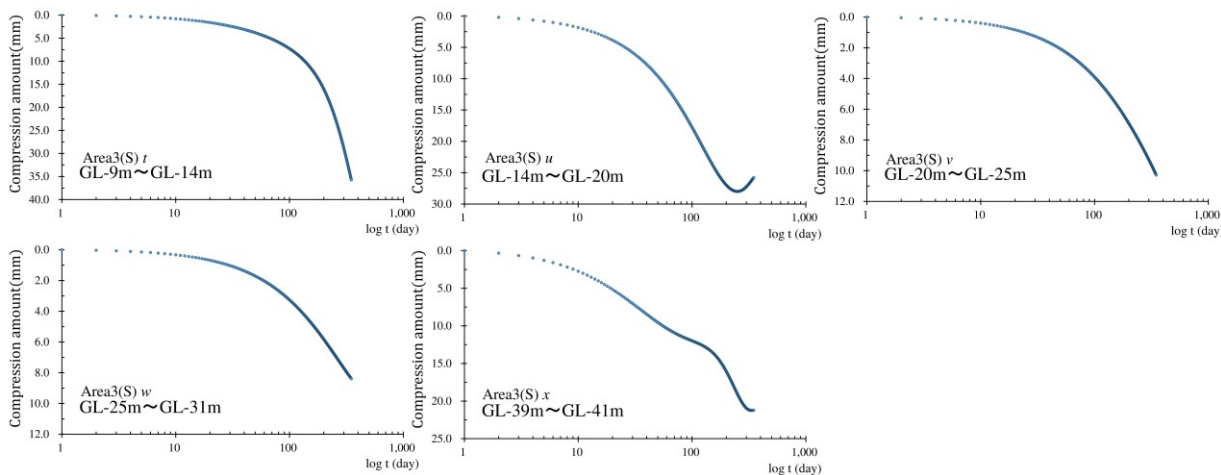


図 7-1 6 圧縮量の変化 (Area3 南側)

表 7-3 圧縮量の最大値の比較

Area1					Area2					Area3				
北側			南側		北側			南側		北側			南側	
No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)	No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)	No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)	No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)	No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)
—	—	—	<i>d</i>	13~17	5.2	—	—	—	—	—	—	<i>t</i>	9~14	35.7
<i>a</i>	17~20	6.8	<i>e</i>	17~20	2.0	—	—	—	<i>l</i>	13~19	21.8	<i>o</i>	14~20	12.5
—	—	—	<i>f</i>	20~25	2.9	<i>i</i>	19~25	7.2	<i>m</i>	23~25	6.1	<i>p</i>	20~25	8.0
<i>b</i>	25~29	6.1	—	—	—	<i>j</i>	29~31	8.5	—	—	—	<i>q</i>	25~31	9.4
<i>c</i>	32~35	4.1	<i>g</i>	29~32	2.1	—	—	—	<i>n</i>	29~36	5.2	<i>r</i>	31~39	18.5
—	—	—	<i>h</i>	32~49	3.0	<i>k</i>	31~41	10.4	—	—	—	<i>s</i>	39~41	2.4
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

図 7-1 1～図 7-1 6 では、縦軸のスケールを一致させていないため、形状を見比べることは可能であるが、圧縮量を比較する場合は留意が必要である。このため、表 7-3 に、

各試験エリアで概ね同深度となる深層型沈下計間の圧縮量の最大値の比較を示した。Area1では何れも数ミリの圧縮量となっているが、Area2とArea3については、完新統を含む l や t などを除いてもArea2の k で10mm以上、Area3の r や x で約20mmの圧縮量を記録している。完新統を含む場合は、Area2の l やArea3の u で20mm以上となっている。さらに、Area3の t に至っては、完新統の粘性土のみの評価となるが、35mm以上の圧縮量となっている。

図7-11～図7-16で、それぞれ形状に着目すると、何れも前章で示した網干らの実験結果^[2]のような逆S字型の形状には至っていない。一方で、Area1南側とArea2北側の深度30m付近で、評価期間の終盤に不自然な跳ね上がり（1mmに満たない）が生じており、圧密の進行が停止したように見える。また、Area3南側の深度14m～20mでは、5mm程度の跳ね上がりが生じている。

図7-17は、図7-11～図7-16において、評価期間の終盤に不自然な跳ね上がりが生じたArea1南側の g 、Area2北側の j およびArea3北側の u について、7-1-3で示したデータ整理の手順において図7-4(1)-2の回帰式を用いた整理を行わなかった場合（青色のプロット）と、回帰式を用いて整理した結果（黒色の実線）を比較したものである。特にArea1の g では、データのバラつきが大きいように見えるが、全体で3mm程度の挙動であるため、バラつきが強調されているに過ぎない。逆にArea3の u では、Area1の g の約10倍の挙動となっているが、黒色の実線はプロットに良く一致している。Area3の u のプロット試験盛土の負圧荷停止から300日前後で明らかに挙動を停止したか、あるいはリバウンドを生じているようにさえ見える。

今回は、隣接工区での施工に着手したため、これ以降の評価はできなかった。このため、ここでは土層の圧縮量の整理において評価期間終盤にデータの跳ね上がりが生じている場合については、それを無視して二次圧密係数を求めるものとする。

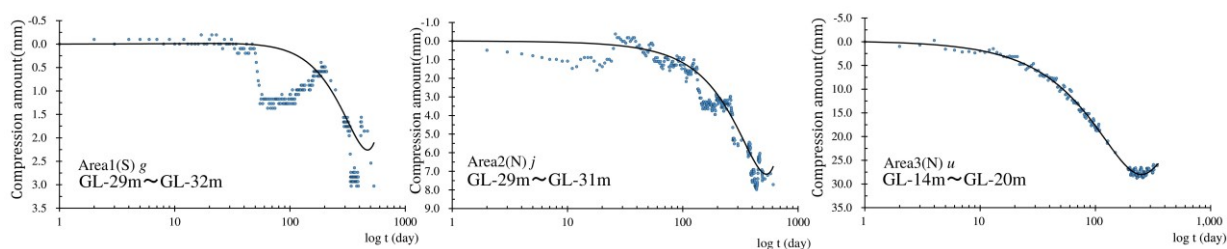


図 7-17 データ整理に回帰式を用いなかった場合との比較

7-2-2 ひずみの変化と二次圧密係数

図 7-18～図 7-23 に、ひずみの経時変化と二次圧密係数を求めた結果を示す。縦軸の縮尺が異なるため、各々を単純には比較できないが、 $\varepsilon - \log t$ 曲線の形状を見ると、施工完了から概ね 100 日後辺りから勾配が大きくなり、評価期間終盤でさらに勾配が変化する場合が多い。ここでは、最初に勾配が変化した後、期間終盤で再度勾配が変化するまでの間の $\varepsilon - \log t$ 曲線の傾きを $C_{\alpha\varepsilon}$ として整理した。

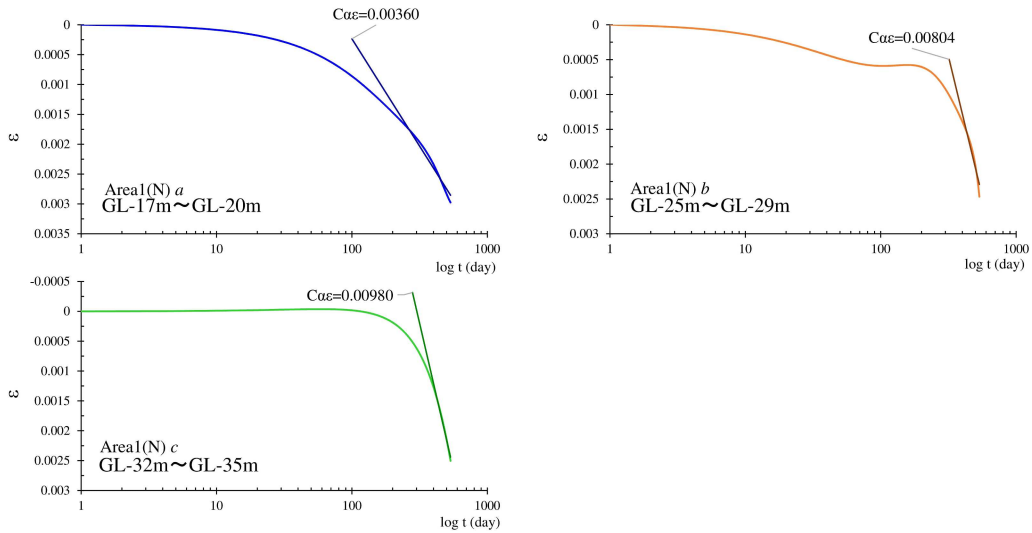


図 7-18 ひずみの変化と二次圧密係数 (Area1 北側)

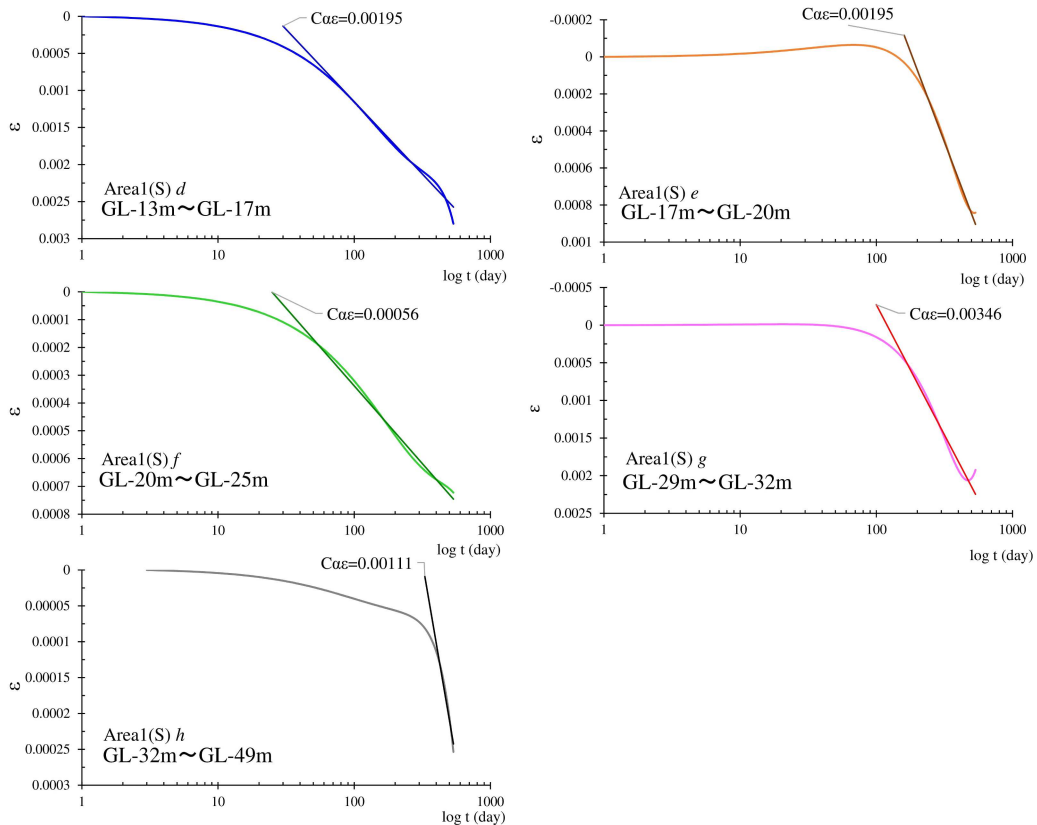


図 7-19 ひずみの変化と二次圧密係数 (Area1 南側)

第7章 施工完了後の試験盛土の挙動

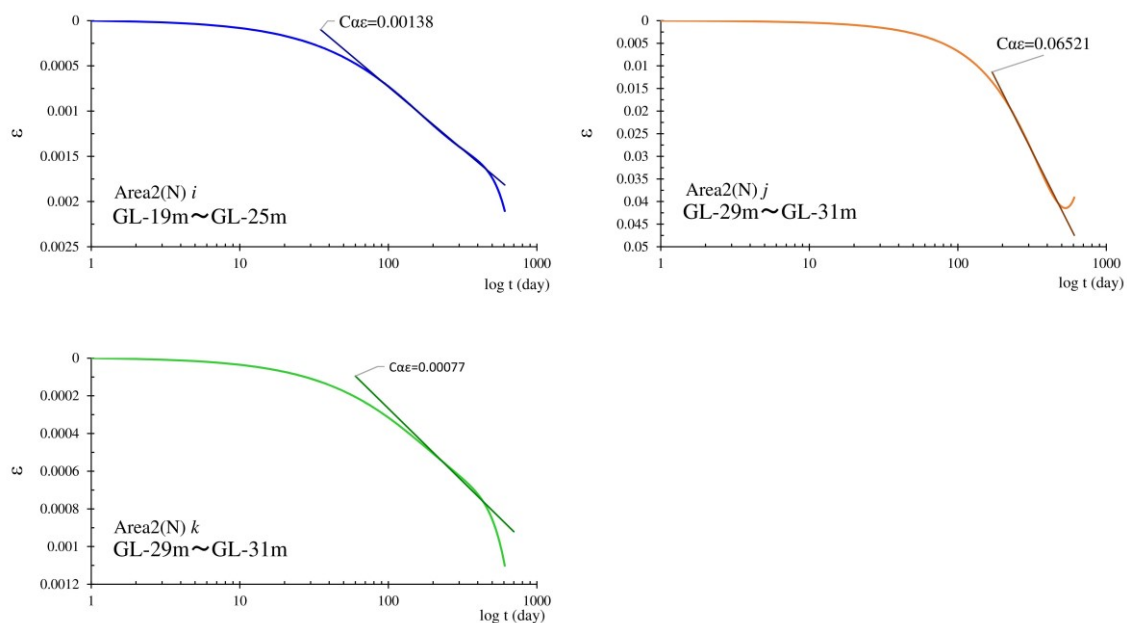


図 7-20 ひずみの変化と二次圧密係数 (Area2 北側)

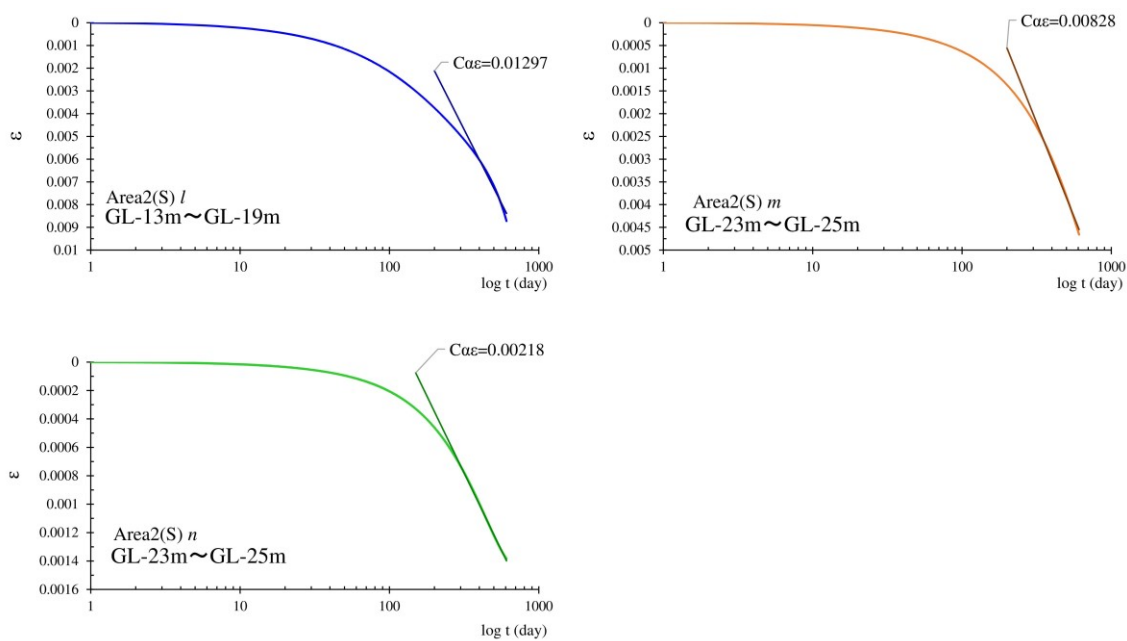


図 7-21 ひずみの変化と二次圧密係数 (Area2 南側)

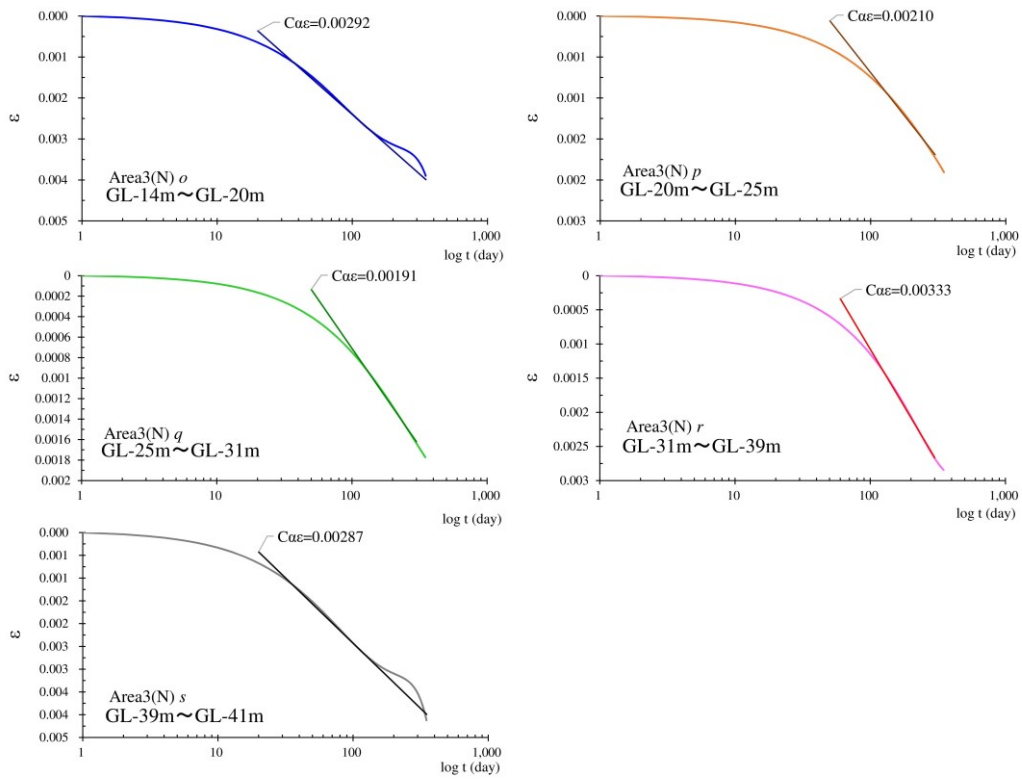


図 7-22 ひずみの変化と二次圧密係数 (Area3 北側)

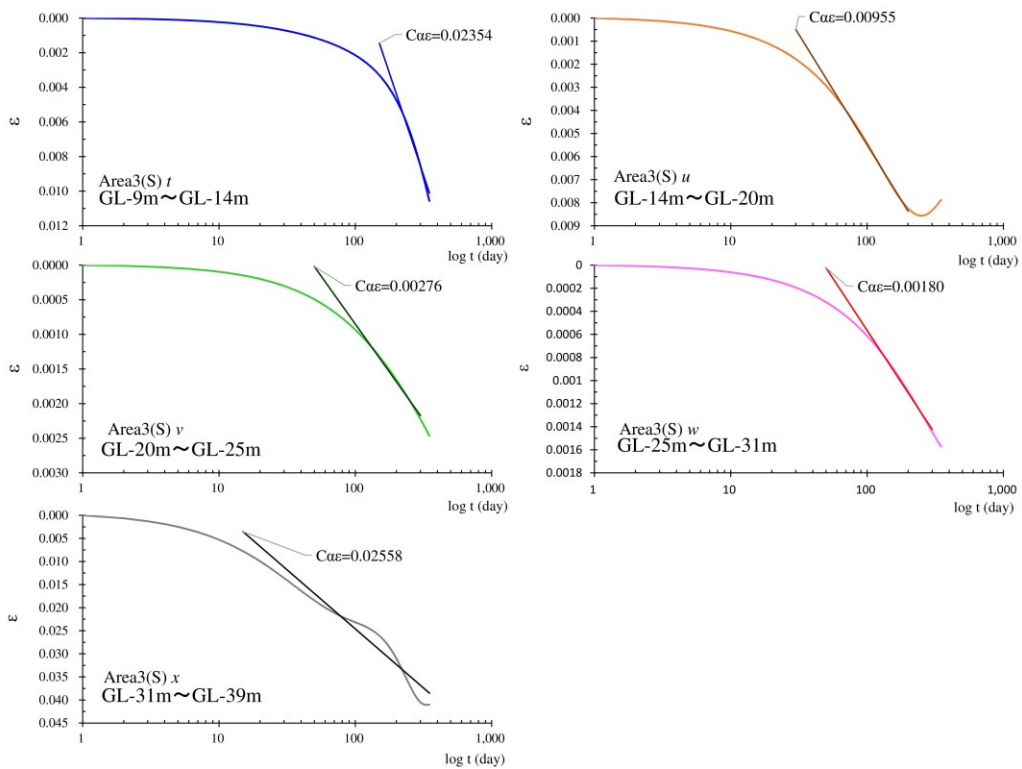


図 7-23 ひずみの変化と二次圧密係数 (Area3 南側)

図 7-2 4～図 7-2 6 に、試験エリアごとに縦軸の縮尺を合わせたうえで、図 7-1 8～図 7-2 3 を再描画した。

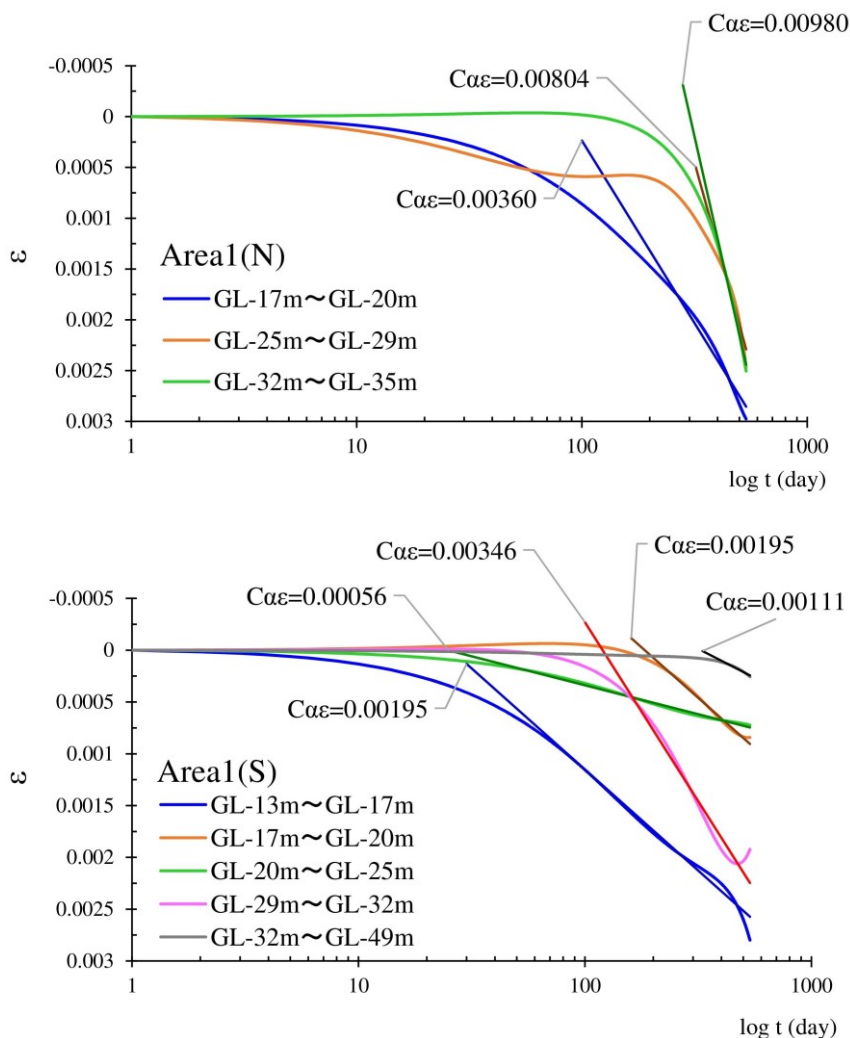


図 7-2 4 二次圧密係数の比較 (Area1 上図 ; 北側 下図 ; 南側)

図 7-2 4 は、Area1 のひずみの経時変化と二次圧密係数を求めた結果を整理したもので、上図が北側に設置した深層型沈下計、下図が南側に設置した深層型沈下計の測定値を整理したものである。それぞれ、上図のひずみの経時変化は図 7-1 1、下図は図 7-1 2 から求めている。Area1 の場合、北側と南側の計器で、測定値結果に差異が生じている。また、二次圧密係数も、北側は深度 17m～20m の層より深度 25m～29m、32m～35m の層の方が大きな値を示しているが、南側は深度 20m～25m の層が極端に小さく、深度 29m～32m の層では逆に大きく、それらを除けば他は深度によらず概ね同等で北側と傾向が異なっている。

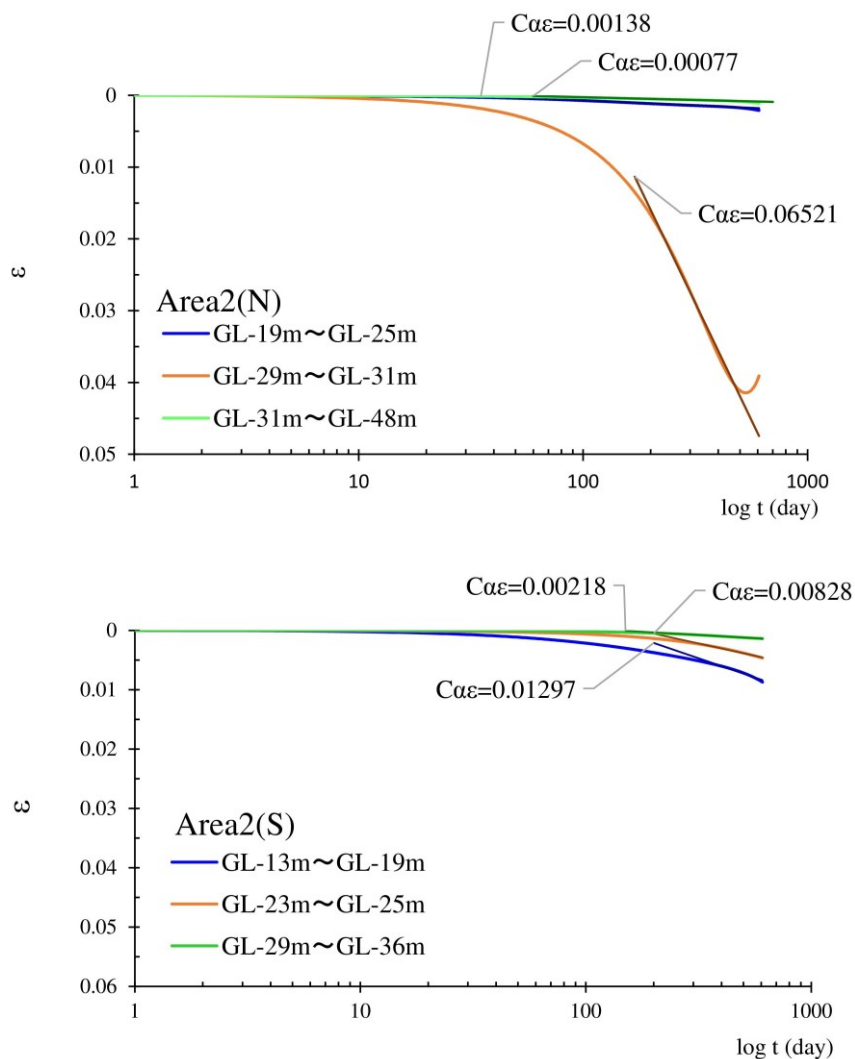


図 7-25 二次圧密係数の比較 (Area2 上図 ; 北側 下図 ; 南側)

Area2 では、北側の深度 29m~31m の範囲で他より大きな圧縮（沈下）が生じており、二次圧密係数も大きい。当該の範囲では、観測期間終盤で不自然な跳ね上がりが生じている。Area1 南側の深度 30m 付近で生じている同様の傾向に比較して、当該の範囲の跳ね上がりはより顕著である。

北側の深度 19m~25m の層は、南側の 13m~19m および 23m~25m の層と比べて挙動が小さく、二次圧密係数も小さい。概ね 30m 以深では挙動がほぼない。

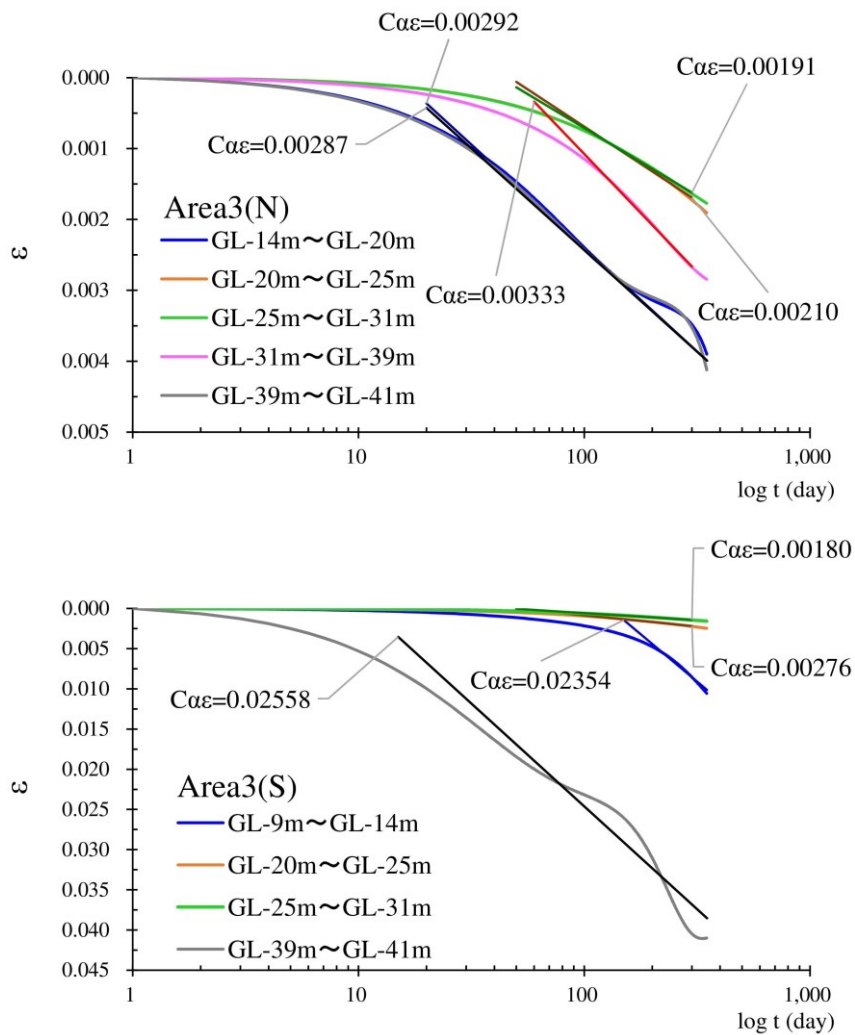


図 7-26 二次圧密係数の比較 (Area3 上図 ; 北側 下図 ; 南側)

Area3 は、南側の深度 39m~41m の層で他と比較して大きな挙動（ひずみの変化）を示しており、二次圧密係数も大きくなっている。このため、図 7-26 は上図と下図で縦軸の縮尺が異なっている。また、南側の深度 9m~14m の完新統の粘性土に相当する層の挙動も大きく、二次圧密係数は深度 39m~41m の層と同等である。

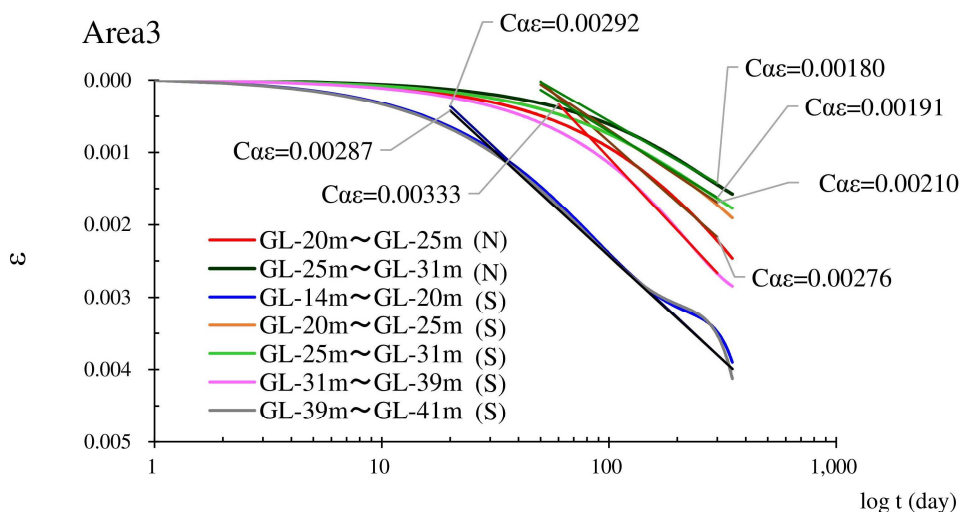


図 7-27 二次圧密係数の比較 (Area3 t と x を除く)

図 7-26 について、南側の深度 9m~14m と 39m~41m の層のデータを除いたうえで、図 7-27 のとおりひとつのグラフに再描画した。Area3 の更新統粘性土においては、 $C_{\alpha\varepsilon} \cong 0.003$ となる場合と、 $C_{\alpha\varepsilon} \cong 0.002$ となる場合に大別できる。

表 7-4 に、今回整理したすべての二次圧密係数の一覧を示した。

表 7-4 圧縮量の最大値と二次圧密係数の測定結果 一覧

Area1				Area2				Area3																
北側		南側		北側		南側		北側		南側														
No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)	$C_{\alpha\varepsilon}$	No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)	$C_{\alpha\varepsilon}$	No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)	$C_{\alpha\varepsilon}$	No.	深度 (m)	最大圧縮量 (mm)	$C_{\alpha\varepsilon}$									
—	—	—	—	d	13~17	5.2	0.00195	—	—	—	—	—	t	9~14	35.7	0.02354								
a	17~20	6.8	0.00360	e	17~20	2.0	0.00195	—	—	—	—	l	13~19	21.8	0.01297	o	14~20	12.5	0.00292	u	14~20	28.0	0.00955	
—	—	—	—	f	20~25	2.9	0.00056	i	19~25	7.2	0.00138	m	23~25	6.1	0.00828	p	20~25	8.0	0.00210	v	20~25	10.3	0.00276	
b	25~29	6.1	0.00804	—	—	—	—	j	29~31	8.5	0.06521	—	—	—	—	—	q	25~31	9.4	0.00191	w	25~31	8.4	0.00180
c	32~35	4.1	0.00980	g	29~32	2.3	0.00346	—	—	—	—	n	29~36	5.2	0.00218	r	31~39	18.5	0.00333	—	—	—	—	
—	—	—	—	h	32~49	3.0	0.00111	k	31~41	10.4	0.00077	—	—	—	—	—	s	39~41	2.4	0.00350	x	39~41	21.2	0.02558