

GeoFem によるバーチカルドレーン工法のモデル化

平成 17 年 12 月

独立行政法人 港湾空港技術研究所

地盤・構造部土質研究室

目 次

第 1 章 概要	1
1.1 概要	1
1.2 目的	1
1.3 検討項目	1
第 2 章 サンドドレーン改良地盤の軸対称一次元圧密解析	2
2.1 検討条件	2
2.2 サンドドレーンのモデル化方法	3
2.3 FEM 解析条件	6
2.4 GeoFem 入力データの作成手順	10
2.5 FEM 解析結果	23
第 3 章 最適なモデル化手法に関する検討	26
3.1 メッシュの粗密の影響	26
3.2 深度方向にモデルを分離した場合	31
3.3 まとめ	37
第 4 章 感度解析	38
4.1 検討ケース	38
4.2 入力データの変更内容	39
4.3 初期体積ひずみ速度の影響	40
4.4 サンドドレーンの透水係数の影響	42
付録 A 入力データ	
A1 軸対称一次元圧密解析(File=1d-model_01.dat, 粗メッシュ)	
A2 軸対称一次元圧密解析(File=1d-model_02.dat, 密メッシュ)	
A3 軸対称一次元圧密解析(File=1d-model_03.dat, 2.5m ピッチ分離モデル)	
A4 軸対称一次元圧密解析(File=1d-model_04.dat, 0.5m ピッチ分離モデル)	
付録 B 有限要素メッシュ図	
Model-01(File=1d-model_01.dat, 粗メッシュ)	
Model-02(File=1d-model_02.dat, 密メッシュ)	
Model-03(File=1d-model_03.dat, 2.5m ピッチ分離モデル)	
Model-04(File=1d-model_04.dat, 0.5m ピッチ分離モデル)	

第1章 概要

1.1 概要

本解説書は、地盤解析汎用プログラム **GeoFem** を用いて、サンドドレーン工法に代表されるパーティカルドレーン工法によって地盤改良された粘性土地盤に対する圧密沈下解析のモデル化手法や解析データの作成方法などを検討したものである。

1.2 目的

軟弱粘性土地盤に土構造物を建造する場合、圧密時間の短縮と粘性土の強度増加を目的として、サンドドレーン工法やプラスチックボードドレーン工法などのパーティカルドレーン工法が採用される場合が多い。このような改良地盤に対する地盤変形挙動を予測する手法として、有限要素解析が使用される頻度は高まっており、設計ツールとして一般的なものになっている。しかし、有限要素解析は解析ソフトや解析技術者の違いで、結果が倍半分変わってくると言われており、設計業務においては、合意形成がとりにくいといった問題点があることも指摘されている。本業務で対象とするパーティカルドレーン工法による改良地盤についても、既往の解析事例では、ドレーン部のモデル化の仕方や排水境界の設定方法について、さまざまな方法が見受けられる。これらの設定方法の違いが解析結果に及ぼす影響を解析技術者が事前に理解し、実務に携わることは極めて重要であると考えられる。

本解説書は、このような背景から、沿岸域の軟弱地盤の圧密変形解析に多くの使用実績を持つ **GeoFem** について、サンドドレーン工法による改良地盤のモデル化の方法を整理するとともに、境界条件の設定方法の違いが解析結果に及ぼす影響について感度解析を実施することを目的としている。

1.3 検討項目

広大な埋立地盤のように荷重が一様に作用する場合は、圧密問題を一次元モデルで扱う場合が多い。この場合、改良地盤中の間隙水はパーティカルドレーンに向かう放射求心流れであることを考慮して、軸対称問題として対象地盤をモデル化することが理想である。一方、盛土や護岸の築堤のように作用荷重による側方変形が問題となる場合は、多次元の圧密解析を行う必要がある。この場合、盛土や護岸構造が法線方向に一様な場合を想定して、二次元平面ひずみ問題として対象地盤をモデル化するのが一般的な方法である。3次元的に配置された砂杭を平面ひずみ状態へ換算する必要があるが、これについては既往の換算式を適用する方法がよく用いられる。

本業務は、このうち一次元軸対称圧密問題について、以下の項目について検討を行うものである。

- 1) サンドドレーンを中心軸とした軸対称モデルの作成方法
- 2) 層別沈下量を精度良く求めるための最適なモデル化手法の検討
- 3) 各種パラメータによる感度解析

第2章 サンドドレーン改良地盤の軸対称一次元圧密解析

2.1 検討条件

図-2.1に検討モデル図(仮想地盤)を示す。対象地盤は、水深-5.0m~-15.0mに10mの厚さで粘性土、その下部には砂質土が堆積するものとする。圧密対象となる粘性土は正規圧密状態を仮定し、圧密促進を目的としたサンドドレーン工を図-2.2に示す改良仕様(砂杭径:0.5m、ピッチ:正方配置2.5m)で施工するものとする。原地盤粘性土上には、敷砂を厚さ1.0mで敷設し、埋土層厚は5.0mとする。水位は+1.0mの位置とし、埋土は全て水面以下に投入されるものとする(水中単位体積重量とする)。

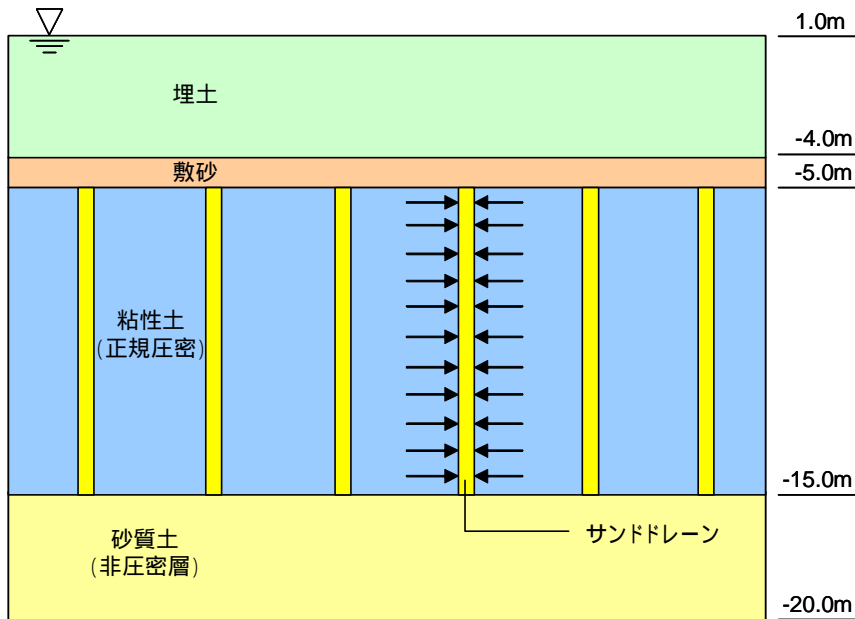


図-2.1 検討モデル図(断面図)

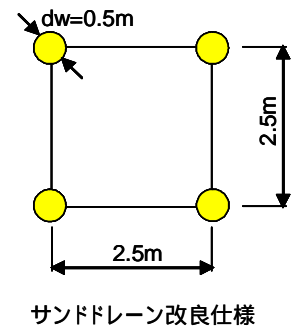


図-2.2 SDの改良仕様

2.2 サンドドレーンのモデル化方法

(1) 解析対象範囲

図-2.1 に示した検討モデルに対するサンドドレーン 1 本分の集水範囲は、図-2.3 に示す有効径 d_e ($=1.128 \times d = 1.128 \times 2.5 = 2.82$) の範囲となる。一次元軸対称解析では、砂杭の中心を中心軸として有効円の半径 (1.41m) を解析モデルとすればよい。

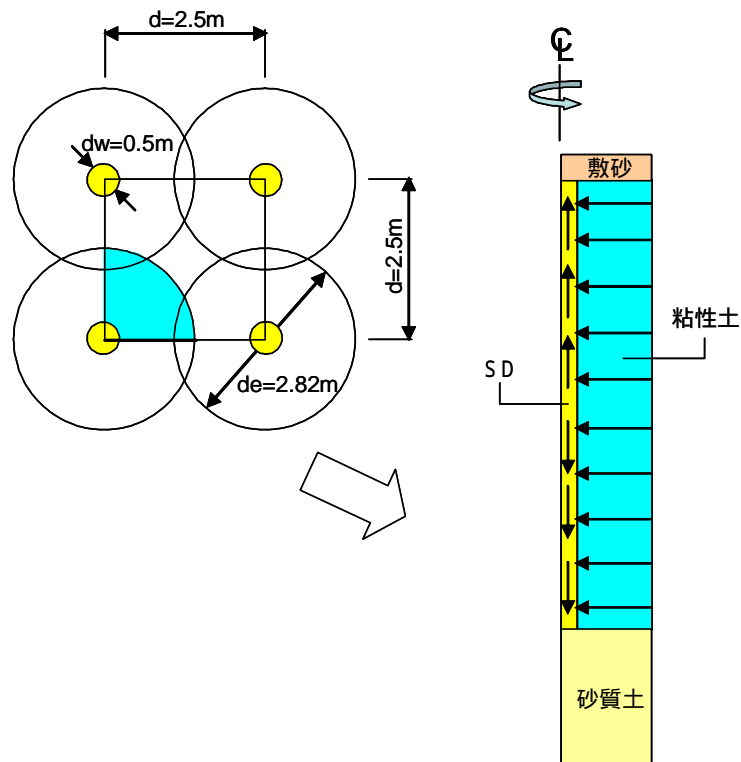


図-2.3 サンドドレーン 1 本分の集水範囲と軸対称モデルの模式図

(2)モデル化に対する工夫

図-2.3の軸対称モデルを有限要素解析モデルで表現する場合、サンドドレーンの扱いが問題となる。図-2.4(a)はサンドドレーンを「要素」としてモデル化した場合の有限要素解析モデルの模式図を示したものである。図-2.4(b)はサンドドレーンを「排水境界 ($u=0$)」としてモデル化した場合の有限要素解析モデルの模式図を示したものである。

図-2.4(b)のような排水境界としてのモデル化は、サンドドレーンの透水性を無限大と仮定しているため、ドレーン材の透水性（透水係数）の違いによる圧密沈下の変化を考慮することができない。しかし、モデルは単純であるため、モデルの構築が非常に簡単な点が利点である。サンドドレーンの透水性に問題がない場合やウェルレジスタンスが問題とならない場合は、図-2.4(b)のような排水境界モデルを使用することが望ましい。

一方、図-2.4(a)のような要素としてのモデル化は、サンドドレーンからの間隙水の排水を厳密にモデル化しているため、ウェルレジスタンスの検討を行える点が利点である。しかし、サンドドレーンと粘性土のように剛性の異なる材料が要素間で接している場合は、圧密解析のような非線形問題を解く際に計算が不安定となる点が問題である。あるいは、サンドドレーンの剛性の違いにより解析結果が大きく変わり、適用に際して注意すべき問題点が多い。

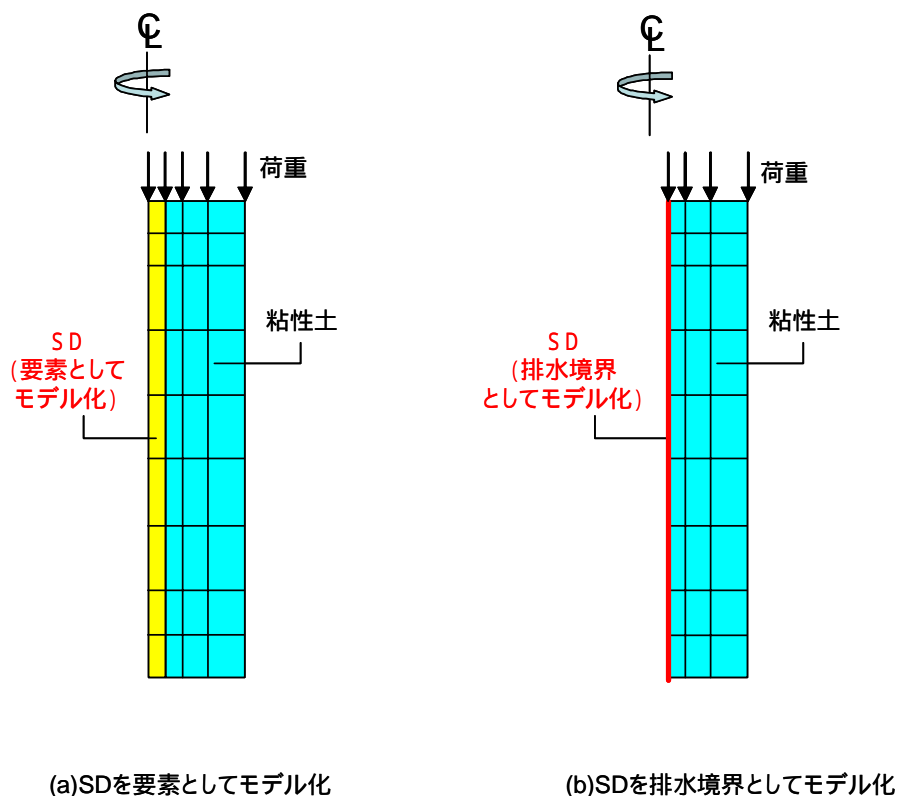


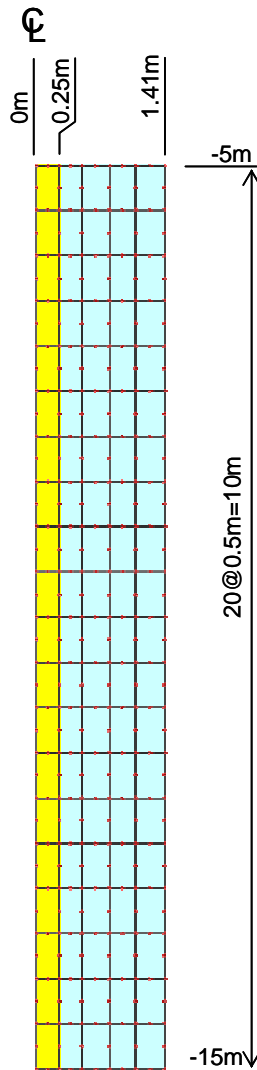
図-2.4 サンドドレーンのモデル化方法

2.3 FEM 解析

(1)有限要素メッシュ

図-2.6 に解析に使用した有限要素メッシュ図を示す。解析メッシュが結果に与える影響については、第3章で詳述する。

図-2.6 のモデルは、敷砂および埋立土荷重を分布荷重 (GeoFem では解析領域右端の節点に集中荷重を作用させる。具体的な設定方法は「2.4 GeoFem 入力データの作成手順」で詳述する。) として与えるものとしている。原地盤砂質土は非圧密層と考え、解析モデルに含めないものとし、粘性土下端深度までをモデル化した。また、GeoFem で軸対称解析を行う場合は、対称軸の x 座標を x=0 の位置としなければならない。1つのメッシュができるだけ正方形に近くなるようにするため、解析メッシュの鉛直方向の分割幅は、50cm とした。



(a)メッシュ図(縦/横の比率:1)

41	62	392	102	124	155	166	227	246	257	110	251
40	20	391	101	40	164	60	226	20	256	100	250
39	61	390	101	123	163	151	225	247	257	309	249
38	19	389	100	39	162	59	224	79	256	99	248
37	60	388	99	122	161	154	223	246	256	308	247
36	18	387	98	38	160	58	222	78	255	98	246
35	59	386	97	121	159	153	221	245	255	307	245
34	17	385	96	37	158	57	220	77	254	17	244
33	58	384	95	120	157	152	219	244	254	306	243
32	16	383	94	36	156	56	218	76	253	16	242
31	57	382	93	119	155	151	217	243	253	305	241
30	15	381	92	35	154	55	216	75	252	15	240
29	56	380	91	118	153	150	215	242	252	304	239
28	14	379	90	34	152	54	214	74	251	14	238
27	55	378	89	117	151	149	213	241	251	303	237
26	13	377	88	33	150	53	212	73	250	13	236
25	54	376	87	116	149	148	211	240	250	302	235
24	12	375	86	32	148	52	210	72	249	12	234
23	53	374	85	115	147	147	209	239	249	301	233
22	11	373	84	31	146	51	208	71	248	11	232
21	52	372	83	114	145	146	207	238	248	300	231
20	10	371	82	30	144	50	206	70	247	10	230
19	51	370	81	113	143	145	205	237	247	299	229
18	9	369	80	29	142	49	204	69	246	9	228
17	50	368	79	112	141	144	203	236	246	298	227
16	8	367	78	28	140	48	202	68	245	8	226
15	49	366	77	111	139	143	201	235	245	297	225
14	7	365	76	27	138	47	200	67	244	7	224
13	48	364	75	110	137	142	199	234	244	296	223
12	6	363	74	26	136	46	198	66	243	6	222
11	47	362	73	109	135	141	197	233	243	295	221
10	5	361	72	25	134	45	196	65	242	5	220
9	46	360	71	108	133	140	195	232	242	294	219
8	4	359	70	24	132	44	194	64	241	4	218
7	45	358	69	107	131	139	193	231	241	293	217
6	3	357	68	23	130	43	192	63	240	3	216
5	44	356	67	106	129	138	191	230	240	292	215
4	2	355	66	22	128	42	190	62	239	2	214
3	43	354	65	105	127	137	189	229	239	291	213
2	1	353	64	21	126	41	188	61	238	1	212
1	42	352	63	104	125	136	187	228	238	290	211

(b)節点・要素番号(縦/横の比率:0.2)

図-2.6 有限要素メッシュ図(軸対称一次元モデル)

(2)境界条件

図-2.7はGeoFemにおける境界条件の指定方法を境界別に示したものである。

GeoFemの入力データにおいては、「BOUN」コマンドを用いて節点毎に境界条件を指定する方法と「STBO」コマンドを用いて座標値で境界条件を指定する方法がある。本例では、サンドドレーン要素と杭間粘土要素の接する面で「変位は分離し、間隙水圧を共通にする」ことが解析上の重要なポイントである。したがって、これに対応するためには「BOUN」コマンドを用いて境界条件を設定した方が便利である。具体的な入力データ作成方法は、「2.4 GeoFem 入力データの作成手順」で詳述する。

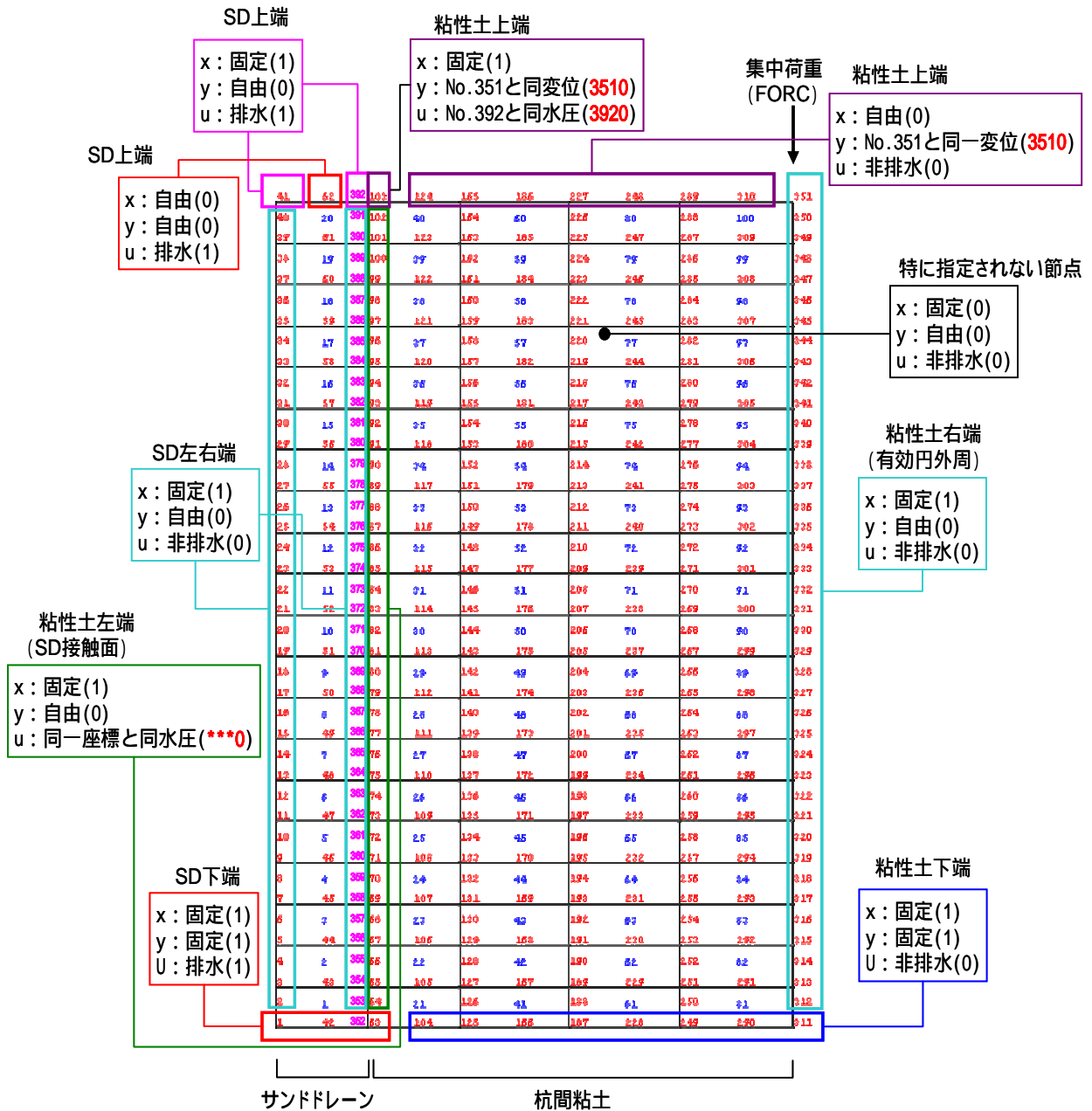


図-2.7 境界条件の設定方法

(3)土質定数

表-2.1 に粘性土の解析用地盤定数一覧を示す．本検討では，粘性土を関口・太田の弾・粘塑性モデルとして解析を行う．表-2.2 にサンドドレーン，敷砂および埋土の地盤定数一覧を示す．

表-2.1 解析用地盤定数一覧（原地盤粘性土）

構成モデル (IRT)	ポアソン比 ²⁾ ν'	限界応力比 ³⁾ M	圧縮指数 ⁴⁾ λ	膨張指数 ⁵⁾ κ	初期間隙比 e_0	異方性指数 ⁶⁾ η_0
弾塑性 (315100)	0.302	1.40	0.500	0.050	2.00	0.30
過圧密比 OCR	二次圧縮指数 ⁷⁾ α	粘塑性ひずみ 速度 $\dot{\nu}_0$	静止土圧係数 ¹⁾ K_0	内部摩擦角 ϕ' (度)	圧密係数 c_{vx} (cm ² /day)	圧密係数 c_{vy} (cm ² /day)
1.0	0.0083	1×10^{-4}	0.432	34.6	100	100
単位重量 γ' (t/m ³)						
0.7						

1) $K_0=1 - \sin\phi'$

2) $\nu'=K_0/(1+K_0)$

3) $M=6 \sin\phi' / (3 - \sin\phi')$

4) $\lambda=0.434C_c$

5) $\kappa=0.434C_s$

6) $\eta_0=(1 - K_0) / (1 + 2K_0)$

7) $\alpha=0.434C_\alpha / (1+e_0)=0.434 \cdot 0.05C_c / (1+e_0)$

表-2.2 解析用地盤定数一覧（サンドドレーン，敷砂，埋土）

材料	構成モデル (IRT)	単位体積重量 γ' (t/m ³)	弾性係数 E (tf/m ²)	ポアソン比 ν'	透水係数 k (cm/sec)
サンドドレーン	線形弾性 (0)	1.0	14000	0.33	1.0×10^{-2}
敷砂	FORC	1.0	-	-	-
埋土	FORC	1.0	-	-	-

(4) 載荷条件

図-2.8 に載荷工程図を示す。実際の施工では、敷砂工の後にサンドドレーン工が行われるが、解析では敷砂工の荷重による沈下も考慮するために、サンドドレーン改良後の地盤を初期状態と見なし、この初期状態に対して、敷砂工と埋立工の荷重を作用させるものとする。

敷砂：1m/20日（0日～20日）

埋土：5m/200日（100日～300日）

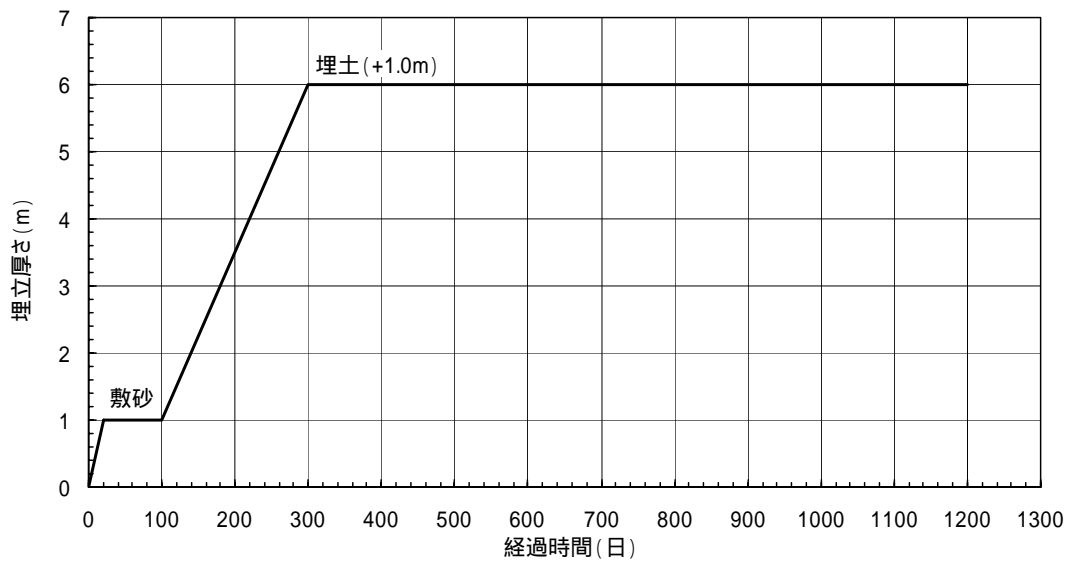


図-2.8 載荷工程図

2.4 GeoFem 入力データの作成手順

以下では、軸対称 1 次元圧密解析に関する GeoFem 入力データの作成手順を説明する。以下の説明で□で囲んだ箇所が GeoFem 入力データである。なお、完成された入力データファイルは、付録 A1 に収録している。

付録 A1: 軸対称一次元圧密解析モデル

File=1d-model_01.dat

(1) 単位系

GeoFem で使用する単位系は、重力単位系である。その組み合わせとして、(tf, m), (gf, cm) などがあるが、実地盤の解析を行う場合は、(tf, m) でデータを作成すると良い。また、時間に関する単位は日 (day) を使用する。

(2) 作成フロー

図-2.9 に GeoFem 入力データの作成フローを示す。図-2.9 は入力データの記述順序でもある。

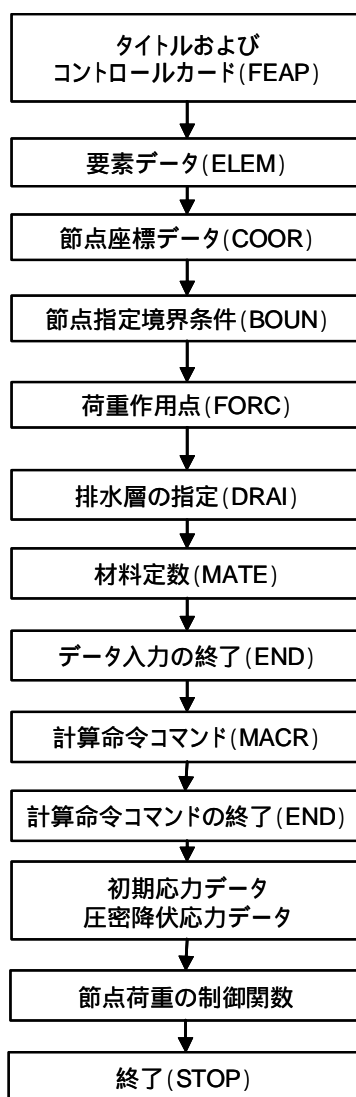


図-2.9 入力データ作成フロー

(3) タイトルおよびコントロールカード

FEAP (1-dimensional axi symmetric consolidation, rough mesh)								
392	100	2	2	3	8	3	1	2
RNUM								

一行目 (FEAP): コントロールカードの宣言、その後にデータファイルのタイトルを記述する。

二行目 (NP, NE, NMAT, NDM, NDF, NEN, KIND, IFLAG, NFORC): コントロールカード, 915

NP	: 節点数	=	392
NE	: 要素数	=	100
NMAT	: 材料数	=	2
NDM	: 次元数	=	2 (2次元)
NDF	: 節点自由度数	=	3 (x変位、y変位、間隙水圧)
NEN	: 要素最大節点数	=	8 (8節点アイソパラメトリック要素)
KIND	: 応力状態フラグ	=	3 (軸対称解析)
IFLAG	: 圧密解析フラグ	=	1 (圧密を考慮)
NFORC	: 荷重条件制御数	=	2 (節点集中荷重を与える制御関数 PROP の数)

三行目 (RNUM): リナンバリング処理の実行

(4)要素データ

ELEM									
1	2	1	352	354	3	42	353	43	2
2	2	5	3	354	356	4	43	355	44
3	2	7	5	356	358	6	44	357	45
4	2	9	7	358	360	8	45	359	46
5	2	11	9	360	362	10	46	361	47
6	2	13	11	362	364	12	47	363	48
7	2	15	13	364	366	14	48	365	49
8	2	17	15	366	368	16	49	367	50

途中省略

93	1	335	337	275	273	336	303	274	302
94	1	337	339	277	275	338	304	276	303
95	1	339	341	279	277	340	305	278	304
96	1	341	343	281	279	342	306	280	305
97	1	343	345	283	281	344	307	282	306
98	1	345	347	285	283	346	308	284	307
99	1	347	349	287	285	348	309	286	308
100	1	351	289	287	349	310	288	309	350

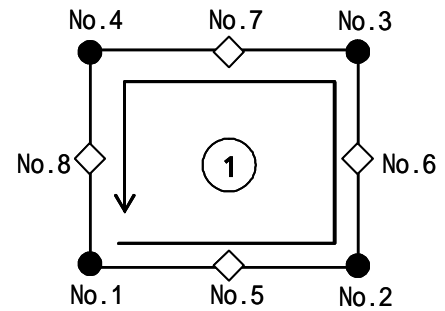


図-2.10 節点番号の振り方

一行目 (ELEM): 要素カードの宣言

二行目以降 (要素番号, 材料番号, 節点 No. 1, No. 2, No. 3, No. 4, No. 5, No. 6, No. 7, No. 8), 1615

要素構成節点の節点 No. は、ある端点 (No. 1) から 4 つの端点 を半時計回りに記述し、次いで No. 1 端点と No. 2 端点の中間節点を No. 5 として、反時計回りに 4 つの中間節点 を記述する(図-2.10 参照).

(5) 節点データ

COOR

1	0.0000	-15.0000
2	0.0000	-14.7500
3	0.0000	-14.5000
4	0.0000	-14.2500
5	0.0000	-14.0000

途中省略

346	1.4100	-6.2500
347	1.4100	-6.0000
348	1.4100	-5.7500
349	1.4100	-5.5000
350	1.4100	-5.2500
351	1.4100	-5.0000

352	0.2500	-15.0000
353	0.2500	-14.7500
354	0.2500	-14.5000
355	0.2500	-14.2500
356	0.2500	-14.0000
357	0.2500	-13.7500

途中省略

385	0.2500	-6.7500
386	0.2500	-6.5000
387	0.2500	-6.2500
388	0.2500	-6.0000
389	0.2500	-5.7500
390	0.2500	-5.5000
391	0.2500	-5.2500
392	0.2500	-5.0000

No.1 ~ No.351 : 砂杭要素と杭間粘土要素を分離する前

No.352 ~ No.392 : 砂杭要素と杭間粘土要素を分離するため追加した節点 (座標は、No.63 ~ No.103 と同値)
要素 No.1 ~ 20 は、節点の追加に併せて要素構成節点を更新している。

一行目 (COOR) : 節点座標カードの宣言

二行目以降 (節点番号, 増分値, x座標, y座標), 2I5,3F10.5

単位は m としている。全節点座標を記述しているので2カラム目の増分値はゼロとしている。

(6)節点指定の境界条件 (重要)

一行目 (BOUN): 節点指定による境界条件の入力の宣言

二行目以降 (節点番号, 増分値, x 変位拘束条件, y 変位拘束条件, u 水理条件), 215, 3F10.5

変位拘束条件: 拘束 = 1, 自由 = 0, 節点番号 × 10 を入力すると, その節点と値を等しくする.

水理条件: 排水 = 1, 非排水 = 0, 節点番号 × 10 を入力すると, その節点と値を等しくする.

以下に示す入力データは, 図-2.7 の境界条件図に対応している.

BOUN による指定がない節点は, 変位自由・非排水境界となる.

BOUN					
1	0	1	1	1	SD 下端: x 固定(1), y 固定(1), 排水(1)
42	0	1	1	1	
352	0	1	1	1	
63	0	1	1	1	粘性土下端: x 固定(1), y 固定(1), 非排水(0)
104	0	1	1	0	
125	0	1	1	0	
166	0	1	1	0	
187	0	1	1	0	
228	0	1	1	0	
249	0	1	1	0	
290	0	1	1	0	粘性土右端: x 固定(1), y 自由(0), 非排水(0)
311	0	1	1	0	
312	1	1	0	0	
351	0	1	0	0	SD 左端: x 固定(1), y 自由(0), 非排水(0)
2	1	1	0	0	
40	0	1	0	0	SD 右端: x 固定(1), y 自由(0), 非排水(0)
353	1	1	0	0	
391	0	1	0	0	SD 上端: x 固定(1), y 自由(0), 排水(1)
41	0	1	0	1	
62	0	0	0	1	
392	0	1	0	1	SD 上端: x 自由(0), y 自由(0), 排水(1)
103	0	1	3510	3920	SD 上端: x 固定(1), y 自由(0), 排水(1)
124	0	0	3510	0	粘性土上端: x 自由(1), y 共通(No.351), 水圧共通(No.392)
165	0	0	3510	0	
186	0	0	3510	0	
227	0	0	3510	0	
248	0	0	3510	0	
289	0	0	3510	0	
310	0	0	3510	0	

(次ページへ続く)

(前ページからの続き)

64	0	1	0	3530
65	0	1	0	3540
66	0	1	0	3550
67	0	1	0	3560
68	0	1	0	3570
69	0	1	0	3580
70	0	1	0	3590
71	0	1	0	3600
72	0	1	0	3610
73	0	1	0	3620
74	0	1	0	3630
75	0	1	0	3640
76	0	1	0	3650
77	0	1	0	3660
78	0	1	0	3670
79	0	1	0	3680
80	0	1	0	3690
81	0	1	0	3700
82	0	1	0	3710
83	0	1	0	3720
84	0	1	0	3730
85	0	1	0	3740
86	0	1	0	3750
87	0	1	0	3760
88	0	1	0	3770
89	0	1	0	3780
90	0	1	0	3790
91	0	1	0	3800
92	0	1	0	3810
93	0	1	0	3820
94	0	1	0	3830
95	0	1	0	3840
96	0	1	0	3850
97	0	1	0	3860
98	0	1	0	3870
99	0	1	0	3880
100	0	1	0	3890
101	0	1	0	3900
102	0	1	0	3910

粘性土左端：x 固定(1)，y 自由(0)，水圧共通(No. 353 ~ 391)
(SD 接触面)

粘性土左端の水圧は、接触するサンドドレーン要素の節点
の水圧と同値になるように水圧共通条件とする。

(7)荷重作用条件 (重要)

FORC

351,0,0.0,-1.0,0.0,0.0,-1.0,0.0,

一行目 (FORC): 荷重作用条件の値を入力。変位を拘束した場合は既知の集中荷重の値, 排水条件を固定した場合は既知の流量の値である。

二行目以降(節点番号, 増分値, 制御関数 1 の x 方向の集中荷重, 制御関数 1 の y 方向の集中荷重, 制御関数 1 の間隙水圧値, 制御関数 2 の x 方向の集中荷重, 制御関数 2 の y 方向の集中荷重, 制御関数 2 の間隙水圧値), カンマ区切り

このデータでは, 時間の一次関数によって節点 No.351 (杭間粘土の上面外側の節点) の y 方向に集中荷重を与える。杭間粘土上面のその他の節点 (No.103,124,165,186,227,248,289,310) は BOUN コマンドによって節点 No.351 と共通の集中荷重が作用される(図-2.11 参照)。

FORC の入力では集中荷重のベクトル方向「-1」のみ入力しておき, 具体的な集中荷重の時間関数値は, 後述の制御関数 PROP ((12)節点荷重の制御関数、p.22 参照) で与えている。なお, 載荷工程に応じて制御関数を 2 つ導入しているため, コントロールカードの NFORC は「2」となっている。各制御関数は以下の工程に対応している。

制御関数 1: サンドマット

制御関数 2: 埋土

FORCで入力するのは、最も右側の節点(No.351)
その他の節点はBOUNコマンドで、No.351と同じ変位・荷重条件となるよう指定する。

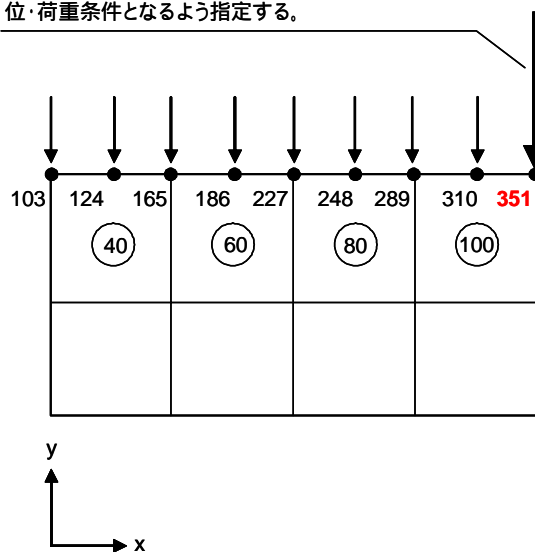


図-2.11 FORC による集中荷重の作用方法

(8)排水層の指定

DRAI

- 一行目 (DRAI) : 排水層の入力宣言
- 二行目 : 排水層の数
- 三行目以降 : 排水層として定義する材料 No.

本モデルは、要素としての排水層はない。サンドドレーン要素についても透水係数を与えており、ウェルレジスタンスの影響が考慮できるモデルとなっている。

(9)材料定数

MATE								
1	1							
315200	0	0.3020000	0.00000	2	0	0	1.40	
0.500	0.0500	2.00	0.00000	0.30	1.0e-04	0.0083	-0.010	
-0.010								
2	1							
0	14000.00	0.3300000	0.00000	2				
0	0	0	0.00000	0	0	0	8.6400	
8.6400								

一行目 (MATE) : 材料定数の入力宣言

二行目 (材料 No., 要素種類番号) : 平面 8 節点要素の場合, 要素種類番号 = 1, 215

< 材料 No.1 : 関口・太田の弾・粘塑性モデル (杭間粘性土層) >

三行目 (IRT, 0, , , NI, , 0, M), 8F10.5

四行目 (, , e₀, 0, , 0, v̇₀, , C_{vx}), 8F10.5

五行目 (C_{vy}), F10.5

IRT : 315200 (二次元の関口・太田弾・粘塑性モデル)

: ポアソン比

: 有効単位体積重量 = 0、初期応力データで入力するため, ここではゼロとする.

NI : 積分次数 = 2

: 動解オプション = 0

M : 限界応力比

: 圧縮指数 (=0.434C_c)

: 膨張指数 (=0.434C_s)

e₀ : 初期間隙比

₀ : 異方性指数 (₀=(1 - K₀) / (1 + 2K₀))

v̇₀ : 初期体積ひずみ速度 (1/day)

: 二次圧縮指数

C_{vx} : x 方向圧密係数 (m²/day), 負値で入力する.

C_{vy} : y 方向圧密係数 (m²/day), 負値で入力する.

< 材料 No.2 : 弾性モデルの場合 (サンドドレーン) >

三行目 (IRT, E, , , NI), 5F10.5

四行目 (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, k_x), 8F10.5

五行目 (k_y), F10.5

IRT : 0 (線形弾性モデル)

E : 弾性係数 (tf/m²)

: ポアソン比

: 有効単位体積重量 = 0、初期応力データで入力するため, ここではゼロとする.

NI : 積分次数 = 2

k_x : x 方向透水係数 (m/day)

k_y : y 方向透水係数 (m/day)

(10) 計算命令コマンド

MAIN		FEM2 でメインデータ出力するためのコマンド (*.mai ファイル作成)
END		データ入力コマンドの終了
MACR		計算命令コマンドの開始
INIT		初期応力・圧密降伏応力・静止土圧係数データの読込 [END]の後 2 行
PROP	1.0	節点荷重の制御関数の読込 (INIT データの後 2 行)
STRF	1.0	初期状態 (応力) を応力ファイル (str) へ出力
DISF	1.0	初期状態 (変位) を変位ファイル (dsp) へ出力
DT	1.0	解析時間ステップ t=1.0day
LOOP	20.0	計算回数 20 回, 経過時間 1.0 × 20=20day, [NEXT]までを 20 回繰り返す.
NTIM		新しい時刻の設定
FORM		外力ベクトルと残差ベクトルの計算
UTAN		剛性マトリックス (非対称) の計算
SOLV		連立方程式を解き, 未知変位ベクトルを計算
INCR		新しい応力と変位に更新
STRF	2.0	応力を 2STEP (2day) おきに応力ファイル (str) へ出力
DISF	2.0	変位を 2STEP (2day) おきに变位ファイル (dsp) へ出力
NEXT		LOOP に対応した NEXT
DT	1.0	解析時間ステップ t=1.0day
LOOP	80.0	計算回数 80 回, 経過時間 1.0 × 80=80day, [NEXT]までを 80 回繰り返す.
NTIM		新しい時刻の設定
FORM		外力ベクトルと残差ベクトルの計算
UTAN		剛性マトリックス (非対称) の計算
SOLV		連立方程式を解き, 未知変位ベクトルを計算
INCR		新しい応力と変位に更新
STRF	10.0	応力を 10STEP (10day) おきに応力ファイル (str) へ出力
DISF	10.0	変位を 10STEP (10day) おきに变位ファイル (dsp) へ出力
NEXT		LOOP に対応した NEXT
DT	2.0	解析時間ステップ t=2.0day
LOOP	100.0	計算回数 100 回, 経過時間 2.0 × 100=200day, [NEXT]までを 100 回繰り返す.
NTIM		新しい時刻の設定
FORM		外力ベクトルと残差ベクトルの計算
UTAN		剛性マトリックス (非対称) の計算
SOLV		連立方程式を解き, 未知変位ベクトルを計算
INCR		新しい応力と変位に更新
STRF	10.0	応力を 10STEP (20day) おきに応力ファイル (str) へ出力
DISF	10.0	変位を 10STEP (20day) おきに变位ファイル (dsp) へ出力
NEXT		LOOP に対応した NEXT

(次ページへ続く)

(前ページからの続き)

DT	2.0	解析時間ステップ t=2.0day
LOOP	100.0	計算回数 100 回 経過時間 $2.0 \times 100=200\text{day}$, NEXT までを 100 回繰り返す.
NTIM		新しい時刻の設定
FORM		外力ベクトルと残差ベクトルの計算
UTAN		剛性マトリックス (非対称) の計算
SOLV		連立方程式を解き, 未知変位ベクトルを計算
INCR		新しい応力と変位に更新
STRF	5.0	応力を 5STEP (10day) おきに応力ファイル (str) へ出力
DISF	5.0	変位を 5STEP (10day) おきに変位ファイル (dsp) へ出力
NEXT		LOOP に対応した NEXT
DT	5.0	解析時間ステップ t=5.0day
LOOP	200.0	計算回数 200 回 経過時間 $5 \times 200=1000\text{day}$, NEXT までを 200 回繰り返す.
NTIM		新しい時刻の設定
FORM		外力ベクトルと残差ベクトルの計算
UTAN		剛性マトリックス (非対称) の計算
SOLV		連立方程式を解き, 未知変位ベクトルを計算
INCR		新しい応力と変位に更新
STRF	10.0	応力を 10STEP (50day) おきに応力ファイル (str) へ出力
DISF	10.0	変位を 10STEP (50day) おきに変位ファイル (dsp) へ出力
NEXT		LOOP に対応した NEXT
END		計算命令コマンドの終了
1, 3.50, 0.70, 0.432, 3.50, 0.70, 0.432,		初期応力データ (材料 1 : 杭間粘土)
2, 5.00, 1.00, 0.50,		初期応力データ (材料 2 : サンドレーン)
0, 0, 0.000, 20.00, 0.0000, 0.04970, 0, 0, 0,		節点集中荷重制御関数 (敷砂)
0, 0, 100.0, 300.0, -2.485, 0.02485, 0, 0, 0,		節点集中荷重制御関数 (埋土)
END		全ての入力コマンドの終了
STOP		

(11)初期応力，圧密降伏応力，静止土圧係数

1,3.50,0.70,0.432,3.50,0.70,0.432,

2,5.00,1.00,0.50,

材料 No., a, b, K_i , , , K_0

初期応力と圧密降伏応力は深度（標高座標値）の関数として与える．

初期応力関数 : $P_y = a + b \times y$, $P_x = K_i \cdot P_y$

圧密降伏応力関数 : $P_{cy} = + \times y$, $P_{cx} = K_0 \cdot P_{cy}$

ここに， y は座標値、 K_0 は静止土圧係数（正規圧密時） K_i は静止土圧係数（過圧密時）である。 P_y, P_{cy} ともに関数値が負の値となるように入力する必要がある。

表-2.3 初期応力，圧密降伏応力に対する設定値

材料 No.	土層	a	b	K_i			K_0
1	粘性土	3.50	0.70	0.432	3.50	0.70	0.432
2	SD	5.00	1.00	0.50	-	-	-

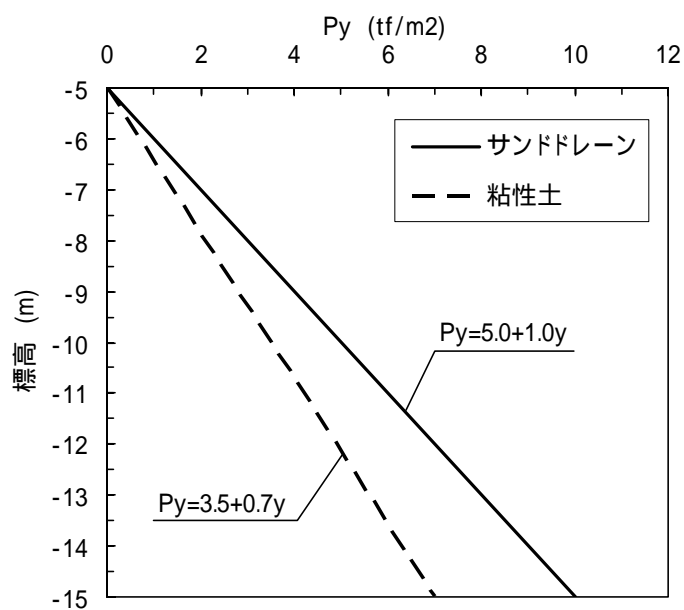


図-2.12 初期応力関数

(12) 節点荷重の制御関数

0,0,0.000,20.00,0.0000,0.04970,0,0,0,	敷砂
0,0,100.0,300.0,-2.485,0.02485,0,0,0,	埋土

K, n, t_{min}, t_{max}, A₁, A₂, A₃, A₄, A₅,

制御関数の一般式: PROP=A₁+A₂t+A₃{sin(A₄t+A₅)ⁿ}

ここに, K, n, A₁, A₂, A₃, A₄, A₅: 関数を定義する定数

t_{min}: 載荷開始時間, t_{max}: 載荷終了時間

< 敷砂 >

t_{min}=0 で PROP=0, t_{max}=20 で PROP=0.994 とするためには (表-2.4),
PROP=0.0497t

< 埋土 >

t_{min}=100 で PROP=0, t_{max}=300 で PROP=4.970 とするためには (表-2.4),
PROP=-2.485+0.02485t

表-2.4 載荷荷重の制御関数に対する設定値

工種	単重 (tf/m ³)	層厚 (m)	分布荷重 (tf/m ²)	節点集中荷重 (tf/rad)	載荷速度 (tf/rad/day)	載荷開始日 t _{min} (day)	載荷終了日 t _{max} (day)
敷砂	1.0	1.0	1.0	0.994	0.04970	0	20
埋土	1.0	5.0	5.0	4.970	0.02485	100	300

節点集中荷重 (軸対称解析) = 分布荷重 × 1.41²/2 (図-2.13 参照)

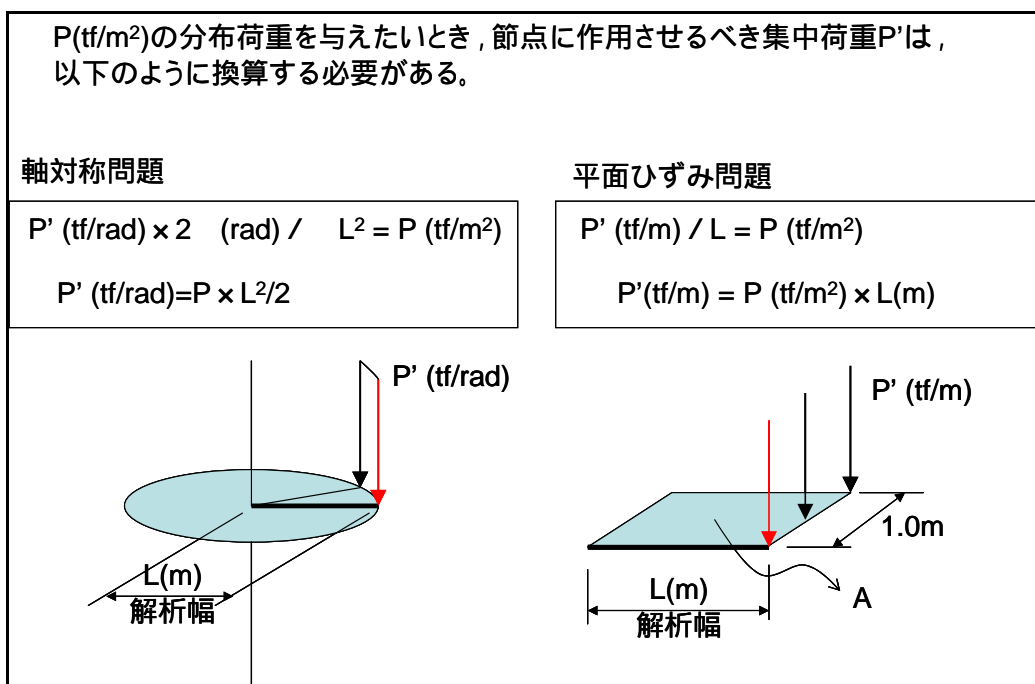


図-2.13 節点集中荷重の考え方

2.5 FEM 解析結果

(1) 時間～沈下量関係

図-2.14, 図-2.15 は、解析によって得られたモデル右端（有効円の外周位置）およびサンドドレーンと杭間粘土の接触面における時間～沈下量関係を示したものである。黒い実線は全沈下量を表し、色つきの実線は2.5mを一区切りとした場合の層別沈下量を表している。また、図中には、Cc法で算出した全沈下量，層別沈下量を併せて示している。

FEM 解析は弾・粘塑性モデルを適用しており二次圧密沈下が含まれているため，Cc法と一概に比較はできないが，全沈下量に対しては FEM と Cc 法はほぼ一致している。しかし，層別沈下量を見ると，図-2.14 に示す有効円の外周においては，最上層（-5m～-7.5m）では FEM が Cc 法を下回っているのに対し，第2（-7.5m～-10m），第3（-10m～-12.5m）および最下層（-12.5m～-15m）では，FEM が Cc 法を上回る結果となっている。一方，図-2.15 に示すサンドドレーンと杭間粘土の接触面の層別沈下は，最上層において有効円外周の沈下量を上回り，第2層において下回る結果となっている。

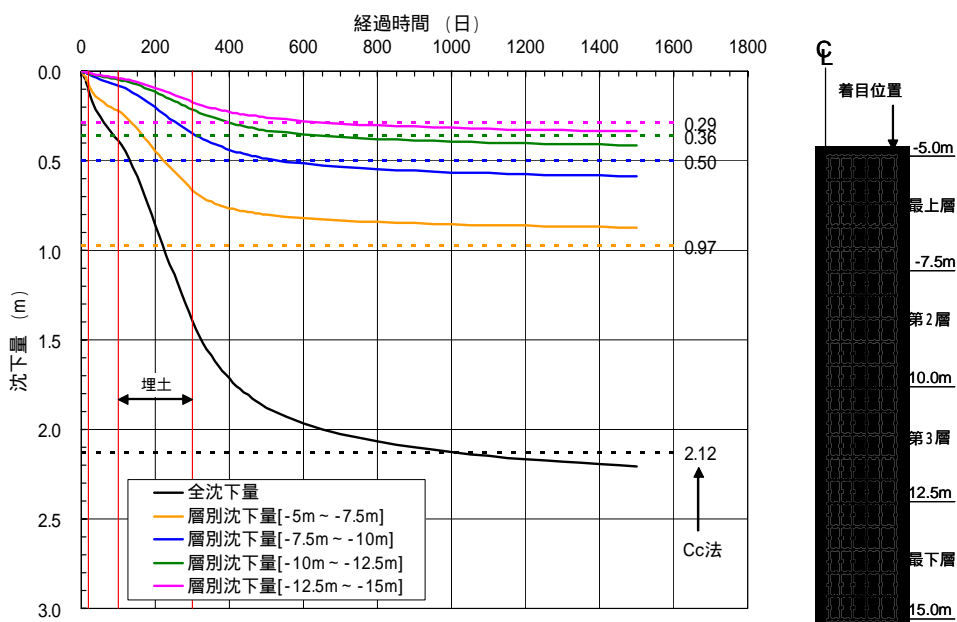


図-2.14 時間～沈下量（有効円外周位置）

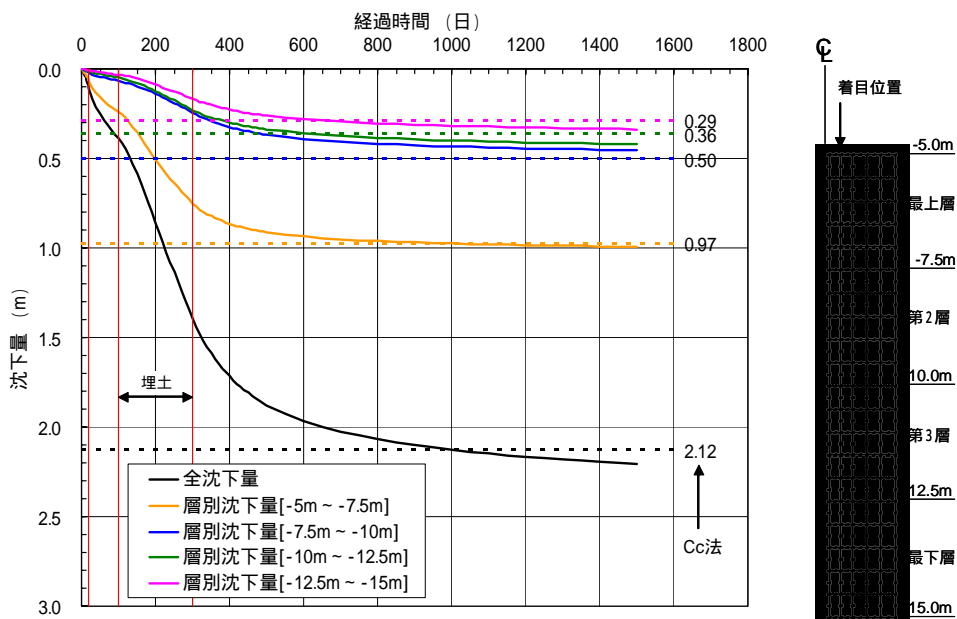
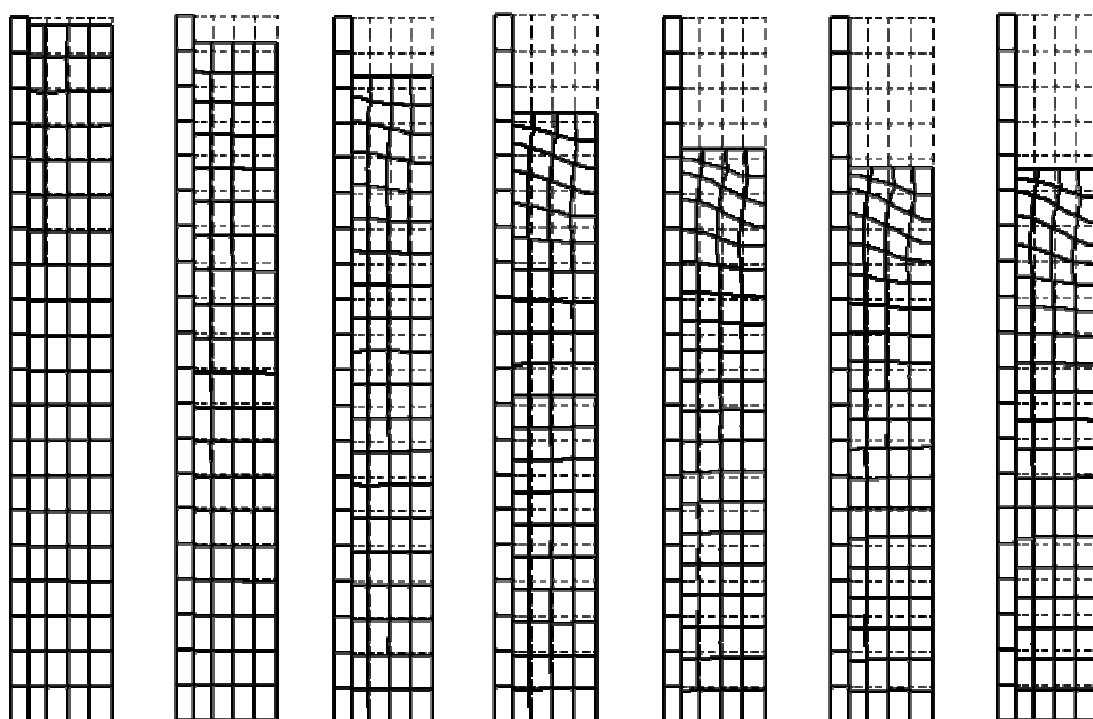


図-2.15 時間～沈下量（SD と杭間粘土の接触面）

(2)地盤変形図

図-2.16 は、FEM 解析による地盤変形図を示したものである。サンドドレーン要素が変形していないのは、今回の解析において、サンドドレーン要素には荷重を作用させず、排水材としての機能のみを持たせているからである。

変形図を見ると、上部のメッシュほどサンドドレーン有効円の外周位置よりサンドドレーンに近い内側の方が沈下量が小さいことがわかる。実際の現象は、サンドドレーンに近いほど排水距離が短く間隙水圧の消散が早いため、沈下が早く生じるはずである。FEM では、内部の節点の変位拘束条件は自由とし、かつ荷重作用点(上端部)の鉛直変位が等しくなるような拘束条件を課しているために、特に上端部でこのような現象が生じたと考えられる。したがって、層別沈下に着目する必要がある場合は、このモデルの適用に注意を払う必要がある。なお、この現象の対処方法とその効果については、第3章で考察する。



(a) t=20day (b) t=100日 (c) t=200日 (d) t=300日 (e) t=500日 (f) t=1000日 (g) t=1500日

図-2.16 変形図

(3) 過剰間隙水圧

図-2.17 は、FEM 解析による過剰間隙水圧分布を示したものである。

図より、過剰間隙水圧は、サンドドレーン有効円の外周位置よりサンドドレーンに近い内側の方が早く消散している様子が見られる。また、-7.0m 以深（海底面下 2m 以深）では、過剰間隙水圧の消散速度にほとんど差がないことが分かる。

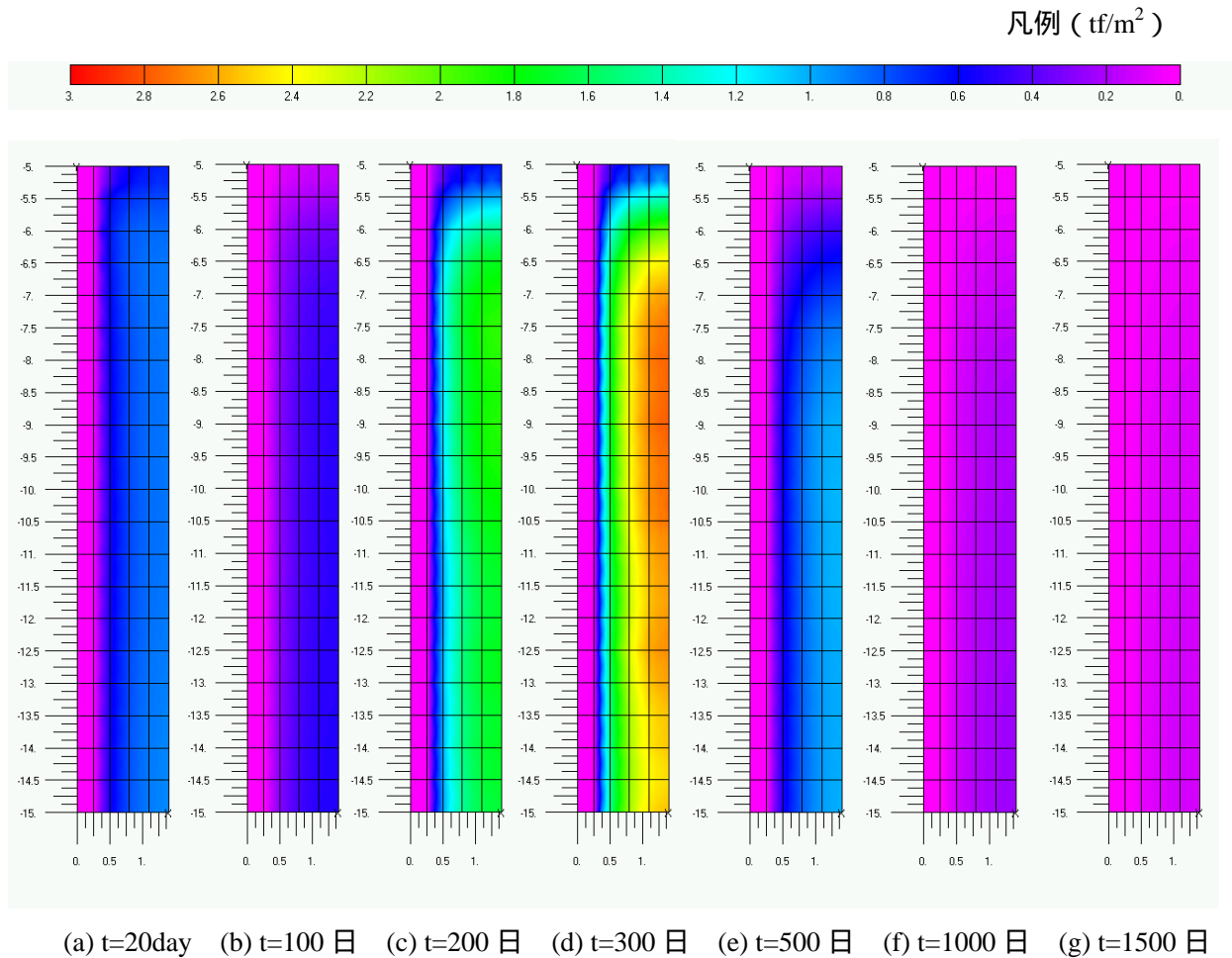


図-2.17 過剰間隙水圧分布図

第3章 最適なモデル化手法に関する検討

3.1 メッシュの粗密の影響

(1)有限要素メッシュ

メッシュの粗密が、沈下量や変形モードに及ぼす影響について検討する。

検討に用いた有限要素メッシュを図-3.1 に示す。Model-01 は第2章にて使用した深度方向 50cm ピッチに分割したメッシュである。Model-02 は、Model-01 に対して最上層を細かく分割したメッシュである。境界条件の設定方法はどちらも全く同じである。なお、Model-02 の入力データファイルは、付録 A2 に収録している。

付録 A2：軸対称一次元圧密モデル（メッシュ細分化）

File=1d-model_02.dat

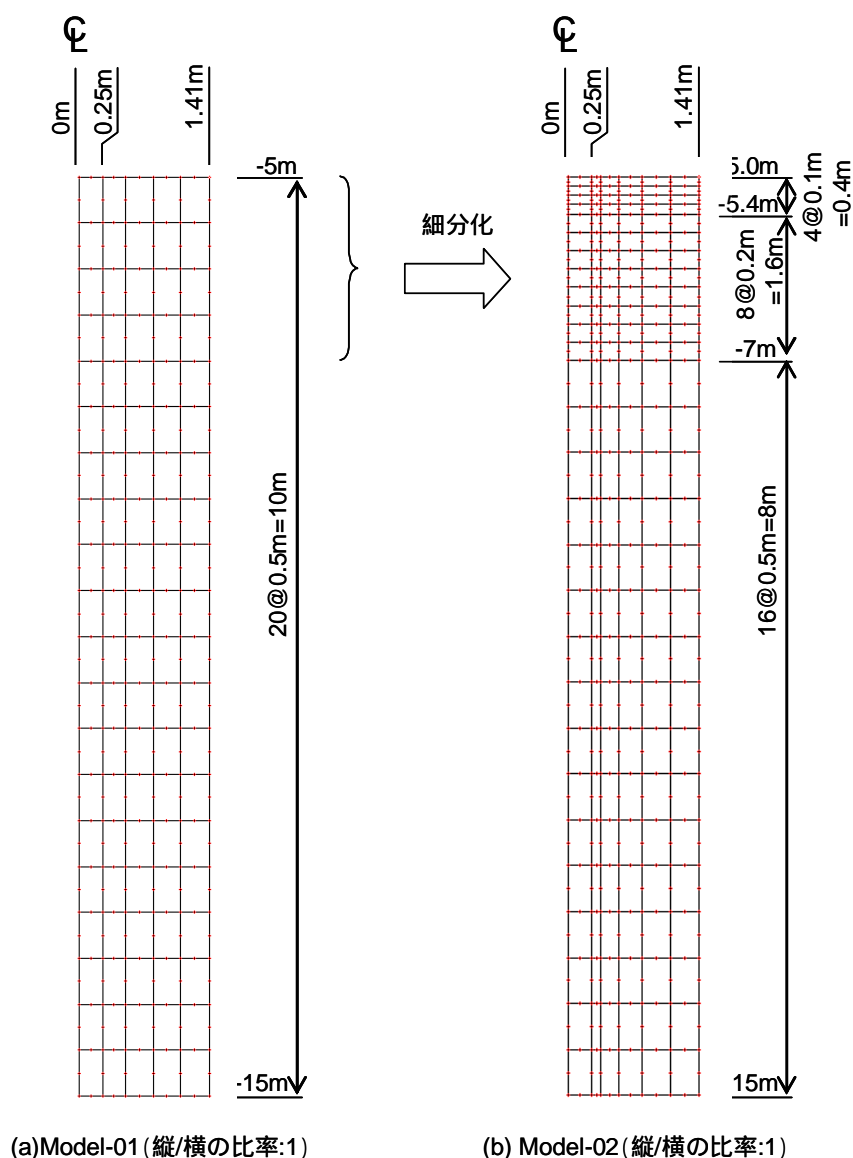


図-3.1 有限要素メッシュ（メッシュの粗密）

(2)時間～沈下量関係

図-3.2, 図-3.3 は, Model-02 によるモデル右端 (有効円の外周位置) およびサンドドレーンと杭間粘土の接触面における時間～沈下量関係を示したものである。図-2.14 と図-3.2, 図-2.15 と図-3.3 を比較すると, 最上層のメッシュが粗い Model-01 とメッシュが細かい Model-02 の違いで, 全沈下, 層別の時間～沈下量関係はほとんど変化しないことが分かる。

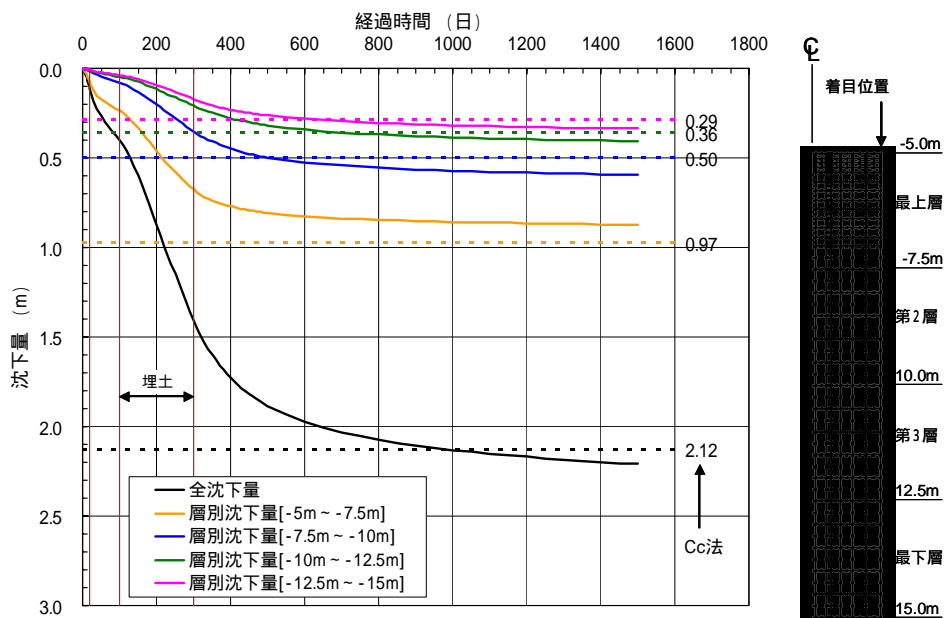


図-3.2 時間～沈下量 (Model-02, 有効円外周位置)

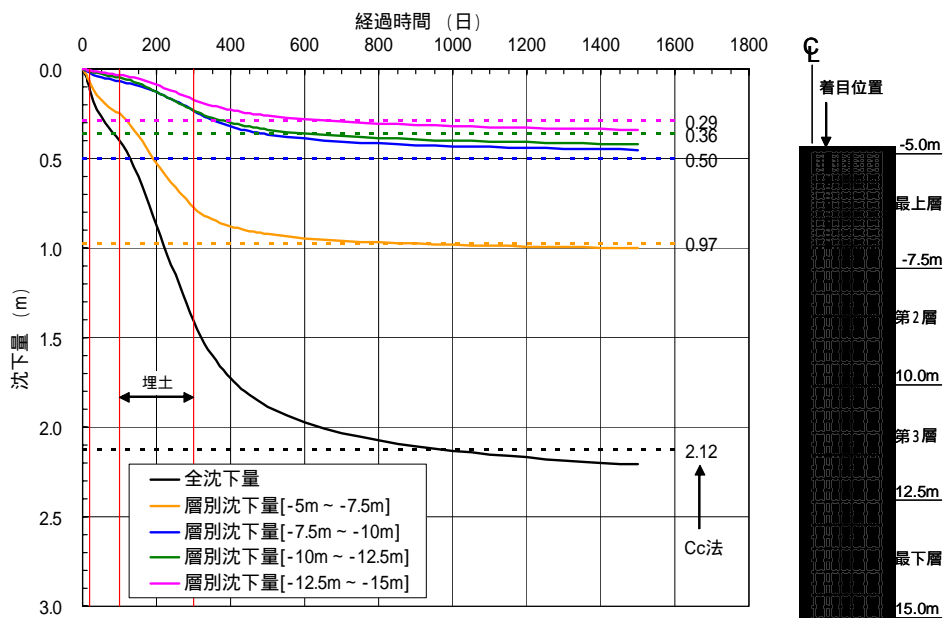


図-3.3 時間～沈下量 (Model-02, SD と杭間粘土の接触面)

(3)地盤変形図

図-3.4 は、Model-02 による地盤変形図を示したものである。

図-2.16 と図-3.4 を比較すると、どちらのモデルも上部のメッシュほどサンドドレーン有効円の外周位置よりサンドドレーンに近い内側の方が、沈下量が小さい結果となっている。すなわち、全体の变形モードは、上部のメッシュを細分化してもほとんど変化がなく、その結果、予測される層別の沈下量もほとんど同じ答えとなっていると考えられる。

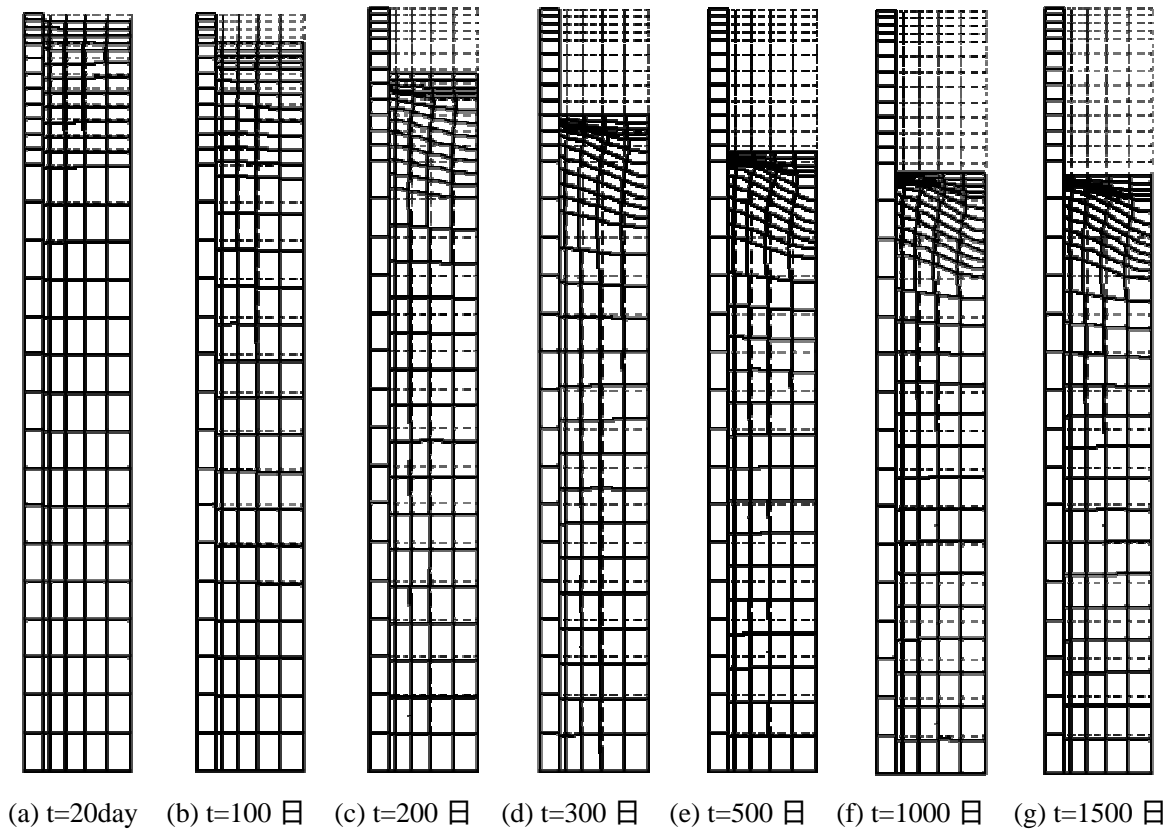


図-3.4 変形図 (Model-02)

(4)過剰間隙水圧

図-3.5 は、Model-02 による過剰間隙水圧分布を示したものである。

図-2.17 と図-3.5 を比較すると、どちらのモデルも過剰間隙水圧は、サンドドレーン有効円の外周位置よりサンドドレーンに近い内側の方が早く消散しており、メッシュの細分化による変化がほとんどないことが分かる。

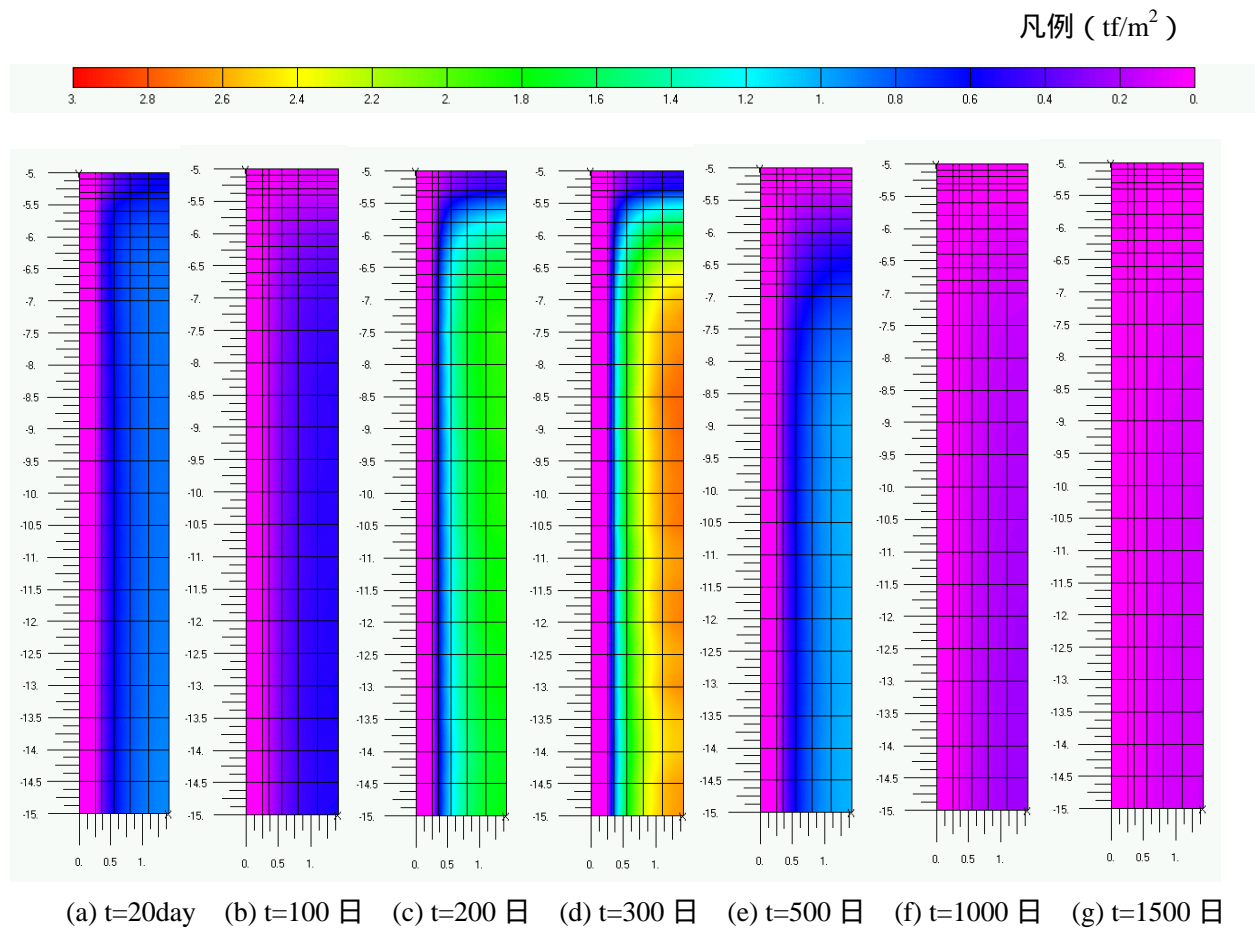


図-3.5 過剰間隙水圧分布図 (Model-02)

3.2 深度方向にモデルを分離した場合

(1)有限要素メッシュ

サンドドレーン要素と杭間粘土要素を分離した方法と同等の方法で、深度方向についても層別にメッシュを分離したモデルを作成し、解析結果に及ぼす影響について検討する。ここでも、上下のモデルの接触面では間隙水圧が等しくなるような境界条件とする必要がある。

図-3.6 に有限要素メッシュを示す。Model-01 (粗いメッシュ) をベースに、層厚 10m の粘土層を着目している層毎に 4 つに分離したモデル (厚さ 2.5m) を Model-03 と呼ぶ。層厚 10m の粘土層を 20 に分離し、1 メッシュ毎に独立に変形計算を行うモデル (厚さ 0.5m) を Model-04 と呼ぶことにする。また、Model-03 や Model-04 で分離した各粘土層へ作用させる載荷重は Model-01 と同じ値とする。なお、Model-03 および Model-04 の入力データファイルは、付録 A3, A4 に収録している。

付録 A3：軸対称一次元圧密モデル (深度方向を 4 ブロックに分離) File=1d-model_03.dat

付録 A3：軸対称一次元圧密モデル (深度方向を 20 ブロックに分離) File=1d-model_04.dat

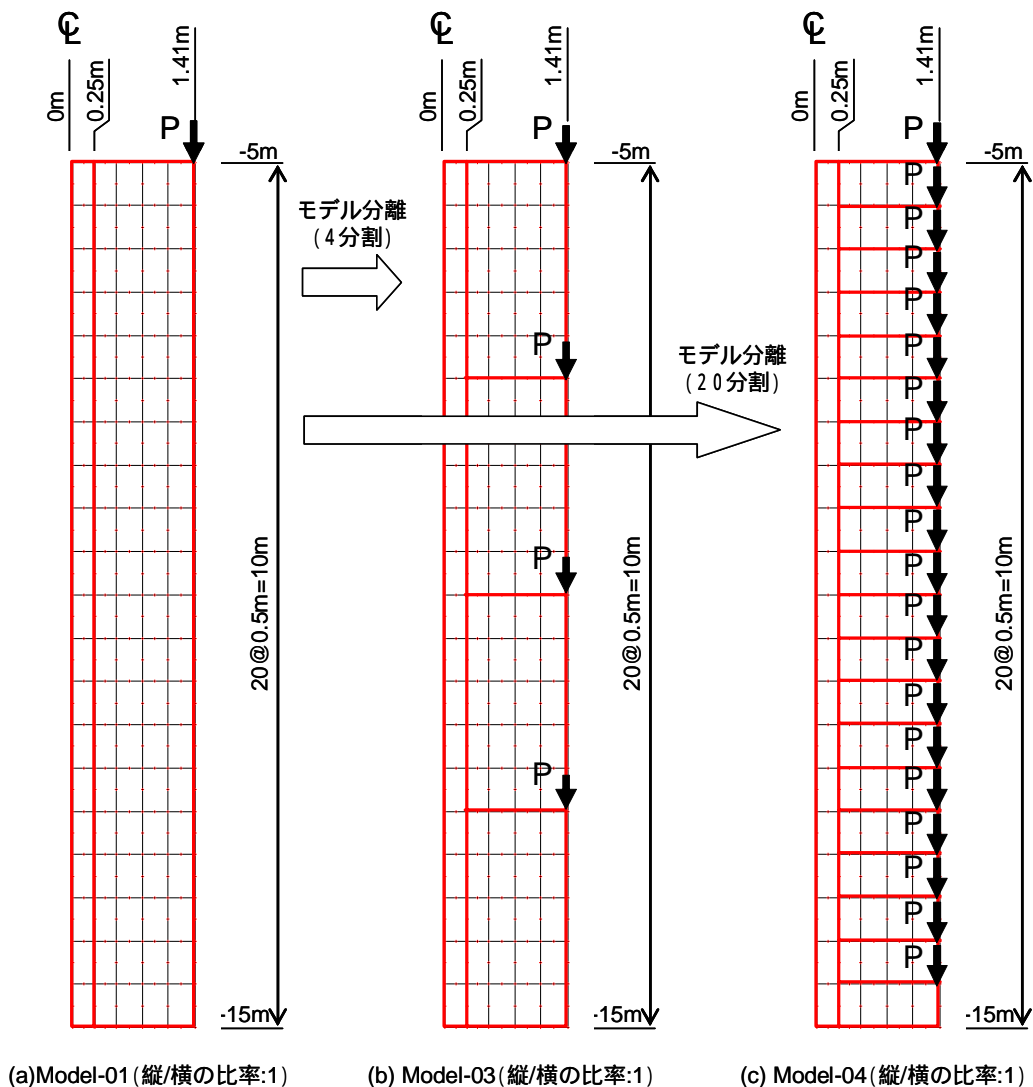


図-3.6 有限要素メッシュ (メッシュの分離)

(2)時間～沈下量関係(Model-03)

図-3.7, 図-3.8 は, Model-03 によるモデル右端 (有効円の外周位置) およびサンドドレーンと杭間粘土の接触面における時間～沈下量関係を示したものである。図中の実線は Model-03 の解析結果を示し, マーカー表示は Model-01 (分離前モデル) の解析結果を示している。

図-3.8 より, モデルを層毎に分離することにより最上層と第2層の層別沈下量が連続モデル (Model-01) に比して増減しているのがわかる。第3層および最下層については, モデルの分離による影響はほとんどないと言える。また, 全沈下量についてもモデルの分離による影響はほとんどない。次ページの地盤変形図からも判断されるように, この程度のモデルの分離を行っても, 最上層におけるメッシュの乱れは改善されてないことが分かる。

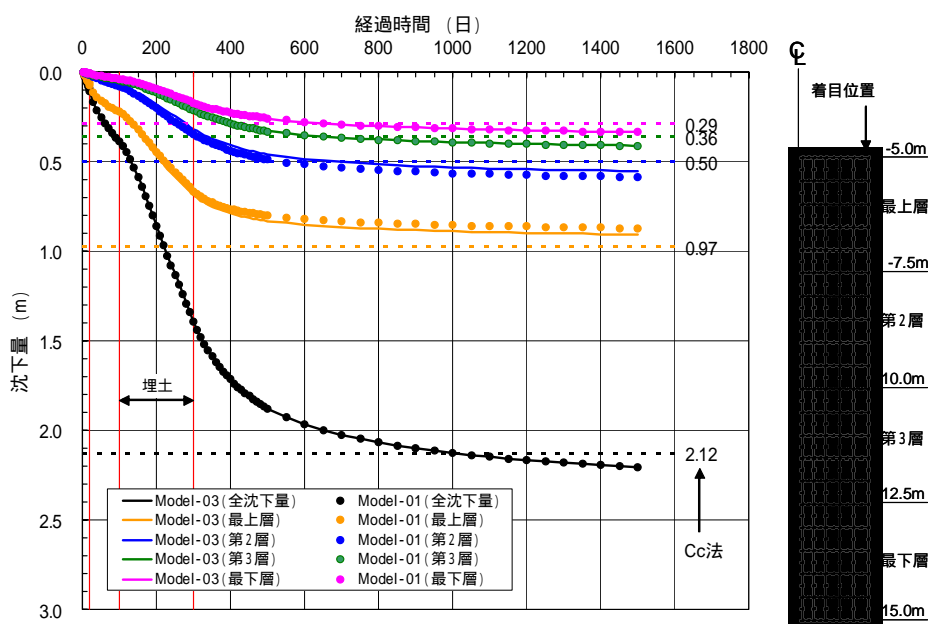


図-3.7 時間～沈下量 (Model-03, 有効円外周位置)

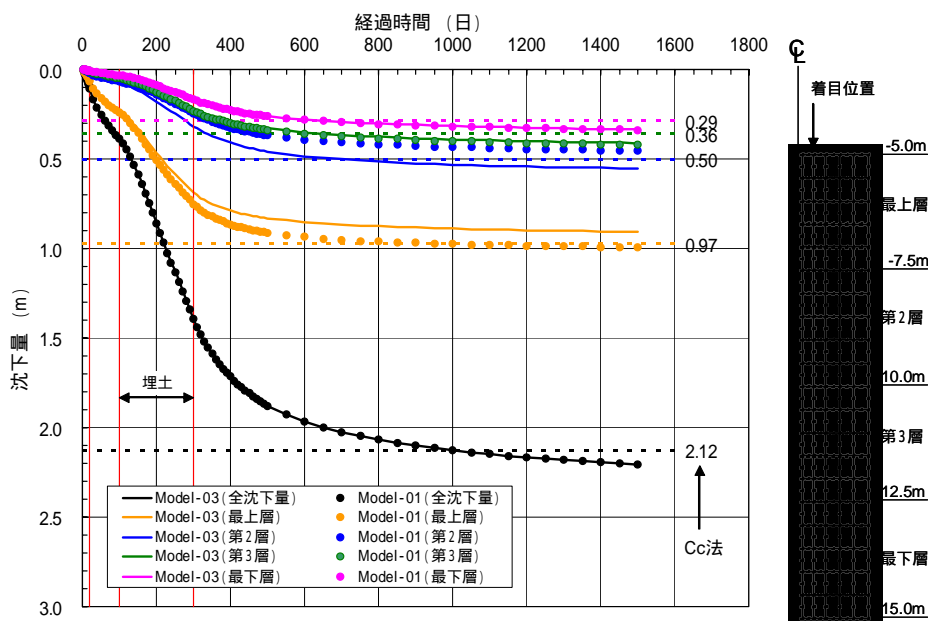
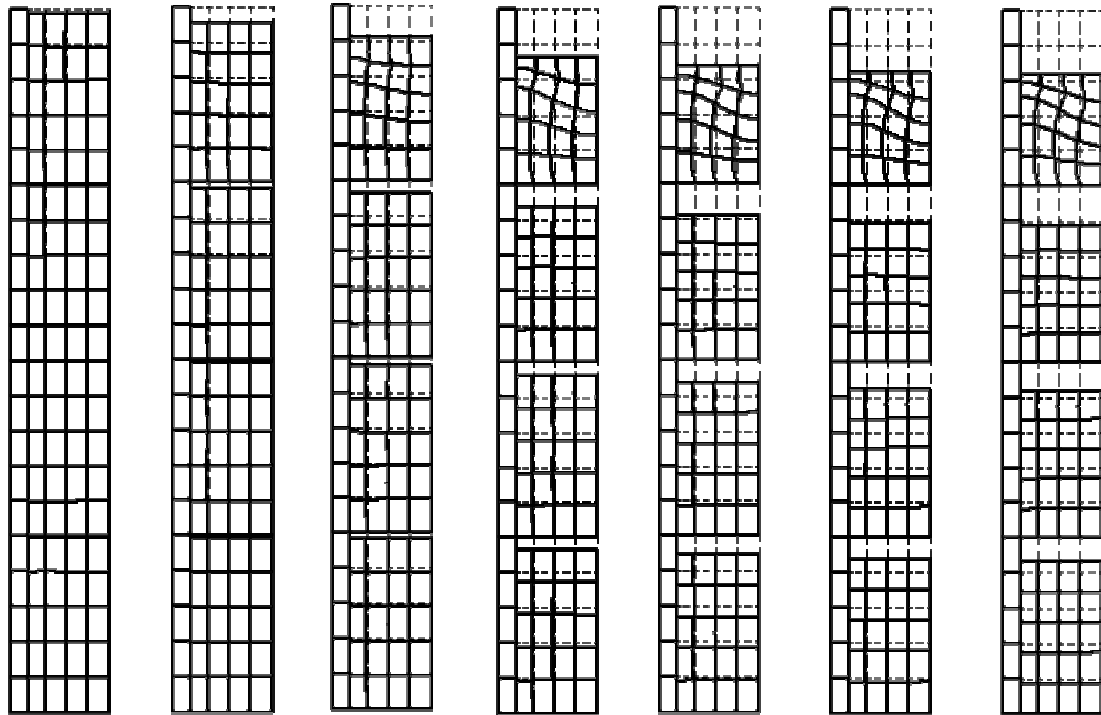


図-3.8 時間～沈下量 (Model-03, SD と杭間粘土の接触面)

(3)地盤変形図(Model-03)

図-3.9 は，Model-03 による地盤変形図を示したものである．

図-3.9 を見ると，分離した最上層ではメッシュが依然として乱れている様子が分かる．また，図-3.7 および図-3.8 から判断されるように，第2層，第3層，最下層では，内部の変形がほぼ一様となっていることが分かる．



(a) t=20day (b) t=100日 (c) t=200日 (d) t=300日 (e) t=500日 (f) t=1000日 (g) t=1500日

図-3.9 変形図 (Model-03)

(4) 過剰間隙水圧 (Model-03)

図-3.10 は，Model-03 による過剰間隙水圧分布を示したものである。

図-2.17 と図-3.10 を比較すると，どちらのモデルも過剰間隙水圧は，サンドドレーン有効円の外周位置よりサンドドレーンに近い内側の方が早く消散しており，メッシュの分離による変化がほとんどないことが分かる。なお，過剰間隙水圧を図-3.10 のようにコンター表示で見ると，境界条件の設定に間違いがなかったかどうかをチェックする意味で重要である。

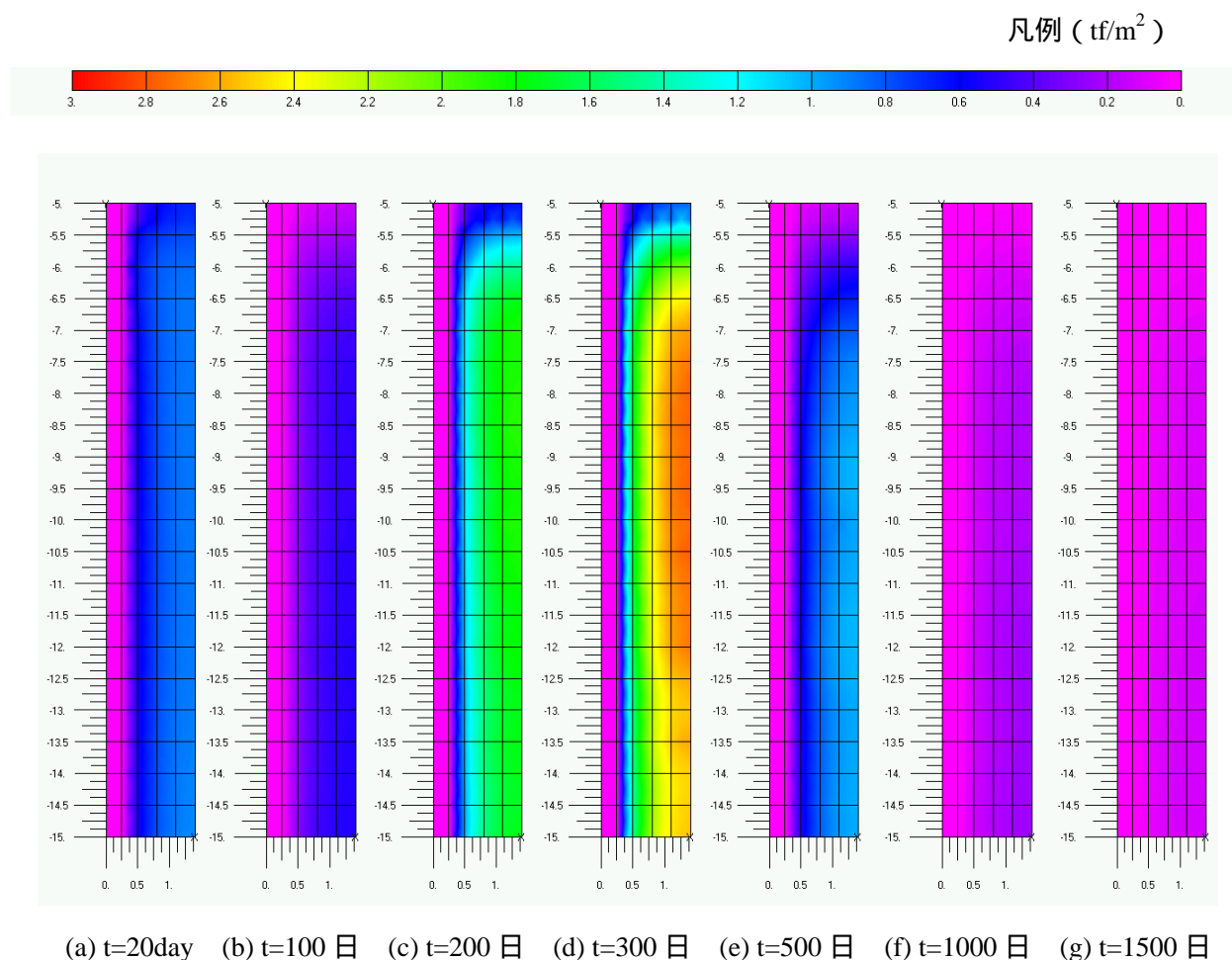


図-3.10 過剰間隙水圧分布図 (Model-03)

(5)時間～沈下量関係(Model-04)

図-3.11, 図-3.12 は, Model-04 によるモデル右端 (有効円の外周位置) およびサンドドレーンと杭間粘土の接触面における時間～沈下量関係を示したものである。図中の実線は Model-04 の解析結果を示し, マーカー表示は Model-01 (分離前モデル) の解析結果を示している。

図-3.11 および図-3.12 より, モデルを1メッシュ毎に分離することにより, 特にサンドドレーンと杭間粘土の接触面における最上層と第2層の層別沈下量が連続モデル (Model-01) に比して増減しているのがわかる。第3層および最下層については, モデルの分離による影響はほとんどないと言える。また, 全沈下量はモデルの分離による影響はほとんどない。Model-04 は有効円の外周位置とサンドドレーンと杭間粘土の接触面位置において, 時間～沈下量関係が等しくなっていることが分かる。分離した層は1メッシュで構成されており, 下端は変位拘束され, 上端は左右で等しく変位するような境界条件となっているので, 変形量が左右で等しくなるのは当然のことである。Model04 では, 最上層の沈下量はCc法より小さい値となっているが, Model-01 に見られた層別の時間～沈下関係の不安定性は解消されていると言える。

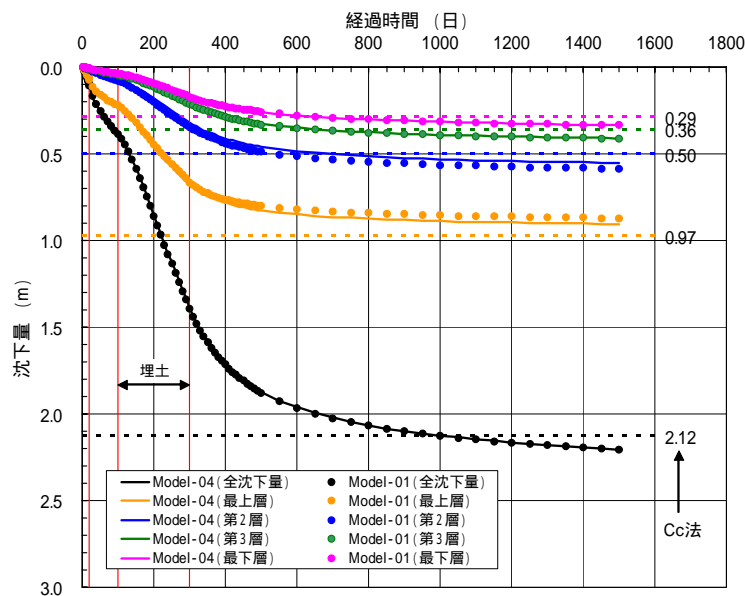


図-3.11 時間～沈下量 (Model-04 , 有効円外周位置)

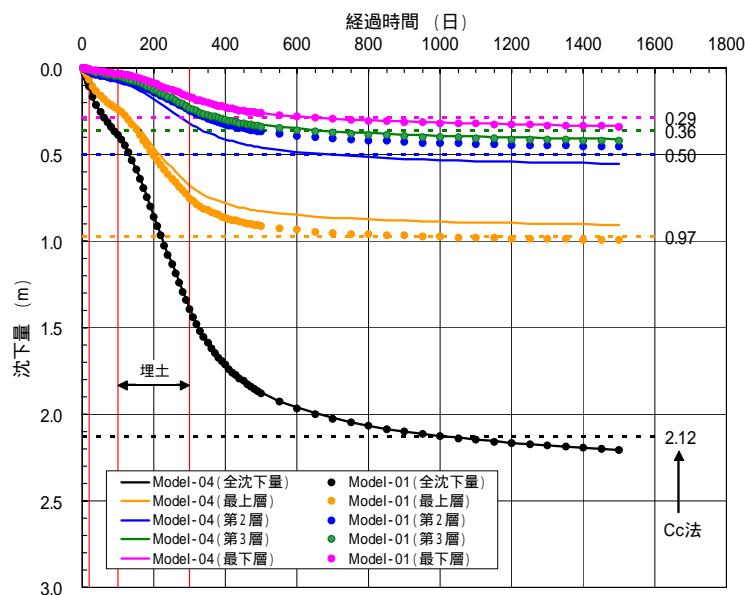


図-3.12 時間～沈下量 (Model-04 , SD と杭間粘土の接触面)

(6)地盤変形図(Model-04)

図-3.13 は、Model-04 による地盤変形図を示したものである。1メッシュ毎にモデルを分離しているために、Model-01～Model03に見られたメッシュの不安定現象は現れていないことがわかる。

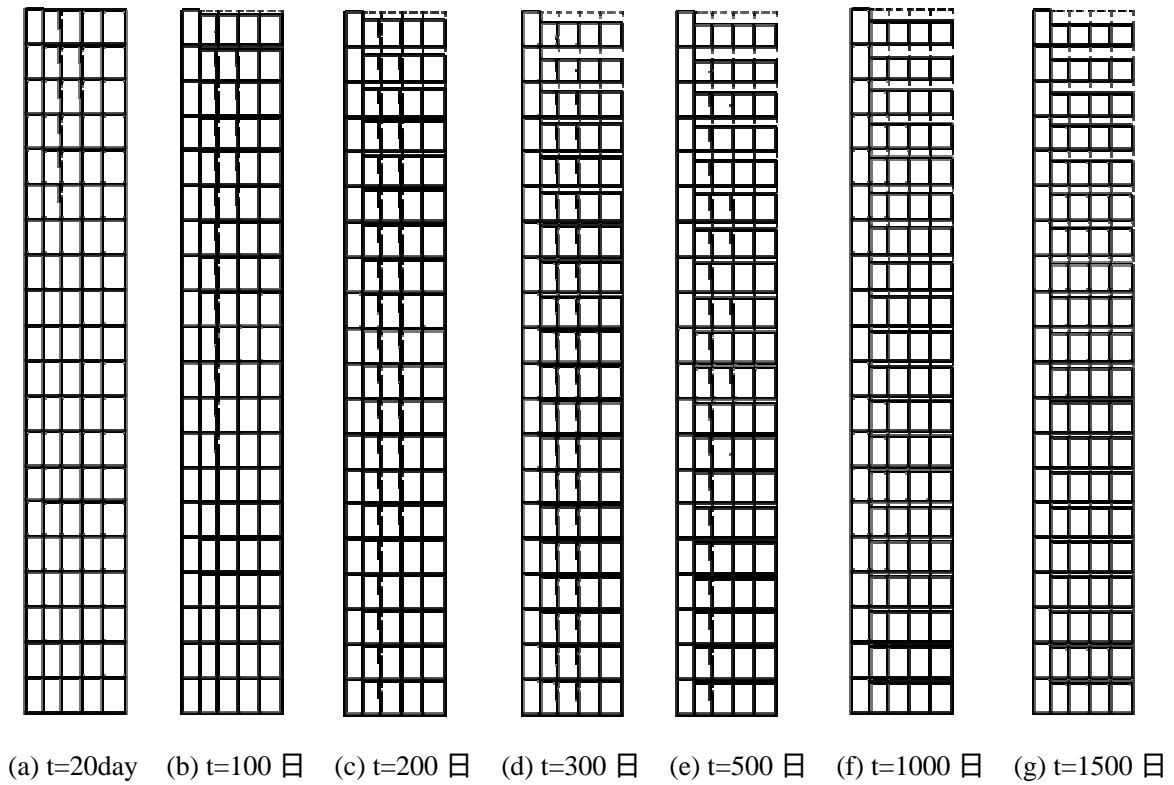


図-3.13 変形図 (Model-04)

(7) 過剰間隙水圧 (Model-04)

図-3.14 は，Model-04 による過剰間隙水圧分布を示したものである。

Model-03 と同様，過剰間隙水圧は，サンドドレーン有効円の外周位置よりサンドドレーンに近い内側の方が早く消散しており，メッシュの分離による変化がほとんどないことが分かる。

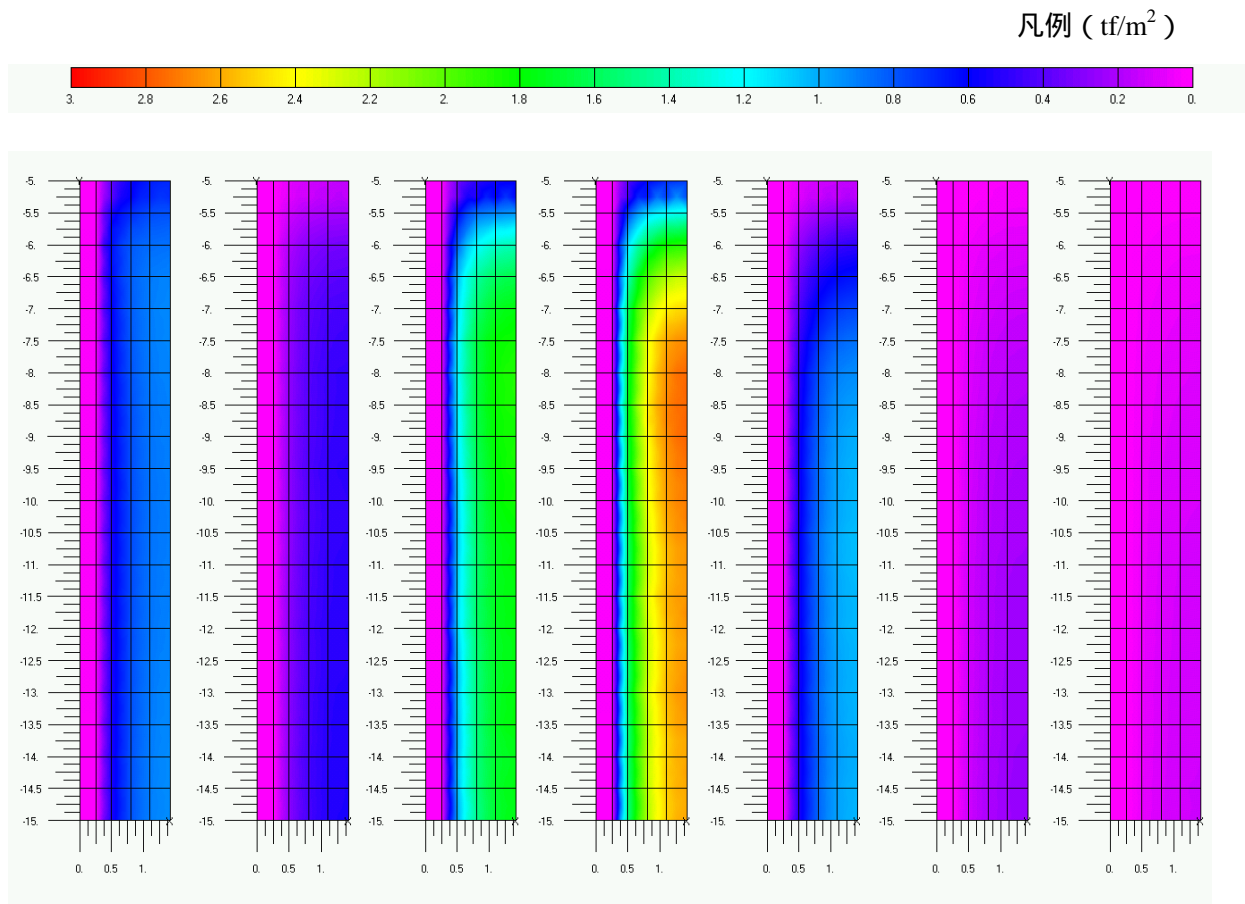
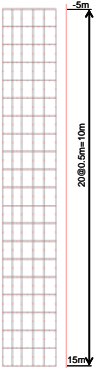
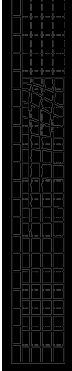
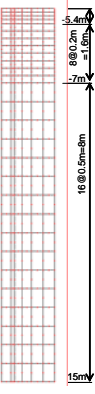
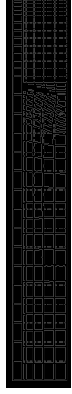
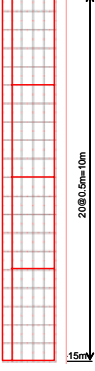
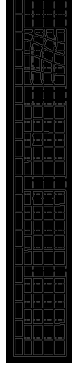
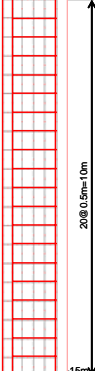
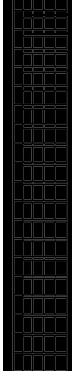


図-3.14 過剰間隙水圧分布図 (Model-04)

3.3 まとめ

本章では、サンドドレーンを中心軸とした1次元軸対称圧密解析を行う場合に、モデル化の方法の違いが解析結果に及ぼす影響を把握するため、幾つかの解析メッシュを作成し比較解析を行った。その結果は表-3.1に示すとおりにまとめられる。

表-3.1 モデル化の違いが解析結果に及ぼす影響

モデル		メッシュ図	変形(最終)	解析結果の特徴
Model-01 (基本モデル)	メッシュサイズ 50cm ピッチ SD と杭間粘土 分離 杭間粘土 連続(非分離)			<ul style="list-style-type: none"> 全沈下量はCc法とほぼ一致。 層別沈下は、最上層、第2層において、有効円の外周位置とSDとの境界位置で不一致。 上部における変形形状が、有効円の外周位置 > SD境界となっており、過剰間隙水圧の消散による沈下とは逆の傾向を示しており、不自然。
Model-02 (Model-01 に対して最 上層のメッ シュを細分 化)	メッシュサイズ 最上層を細分 化 SD と杭間粘土 分離 杭間粘土 連続(非分離)			<ul style="list-style-type: none"> 全沈下量、層別沈下量、変形形状はModel-01と変わらない。 すなわち、最上層のメッシュを細分化してもModel-01に見られた問題点は改善されない。
Model-03 (Model-01 に対して、粘 土を層別に 分離)	メッシュサイズ 50cm ピッチ SD と杭間粘土 分離 杭間粘土 深度方向に4 つ(層別)に 分離			<ul style="list-style-type: none"> 全沈下量はModel-01と変わらない。 層別沈下(2.5m毎の沈下)は、有効円の外周位置とSDとの境界位置で一致する。 しかし、各層の内部の変形は、最上層において、依然として不自然な形状となっている。
Model-04 (Model-01 に対して、粘 土を1メッ シュ毎に分 離)	メッシュサイズ 50cm ピッチ SD と杭間粘土 分離 杭間粘土 深度方向に20 に分離			<ul style="list-style-type: none"> 全沈下量はModel-01と変わらない。 層別沈下(2.5m毎の沈下)は、有効円の外周位置とSDとの境界位置で一致する。 各層は1メッシュで構成されたため、変形形状は一樣となる。

第4章 感度解析

4.1 検討ケース

3章の検討結果より解析モデルとして Model-04 を採用し，各種感度解析を検討する．検討ケースの一覧を表-4.1 に示す．変動パラメータは，初期体積ひずみ速度 \dot{v}_0 およびサンドドレーンの透水係数 k とし，それぞれ独立に変化させる．

関口・太田の弾・粘塑性モデルを構成するパラメータの内，初期体積ひずみ速度 \dot{v}_0 は，その物理的意味が曖昧で土質試験結果から直接求めることができない．そのため，初期体積ひずみ速度 \dot{v}_0 の設定値に悩む場合が少なくない．GeoFem のマニュアルには， $\dot{v}_0 = 10^{-5} \sim 10^{-8}$ の値を用いればよいと記述されているが，サンドドレーン改良地盤にどの程度の値を採用すべきかは定かではない．そこで，サンドドレーン改良地盤の一次元軸対称圧密モデルに対して， \dot{v}_0 の感度解析を実施し，最終沈下量，圧密度に及ぼす影響について検討を行う．

サンドドレーンの透水係数の感度解析は，ここまで検討してきたモデルによって，ドレーン材の透水性によるウェルレジスタンス(鉛直排水の遅れ)を分析できるかどうかを確認するために行うものである．

表-4.1 感度解析ケース

パラメータ	値	単位	解析ファイル
初期体積ひずみ速度	1×10^{-4}	(1/day)	1d-model_04.dat
	1×10^{-5}	(1/day)	1d-model_04_v2.dat
	1×10^{-6}	(1/day)	1d-model_04_v3.dat
サンドドレーンの透水係数	1×10^{-2}	(cm/sec)	1d-model_04.dat
	1×10^{-3}	(cm/sec)	1d-model_04_k2.dat
	1×10^{-4}	(cm/sec)	1d-model_04_k3.dat

4.2 入力データの変更内容

(1) 初期体積ひずみ速度 \dot{v}_0

初期体積ひずみ速度を変更する場合は、入力データファイルの MATE の入力を以下のように変更すればよい。

< 変更前 (1d-model_04.dat) >

MATE								
1	1							
315200	0	0.3020000	0.00000	2	0	0	1.40	
0.500	0.0500	2.00	0.00000	0.30	1.0e-04	0.0083	-0.010	
-0.010								

< 変更後 (1d-model_04_v2.dat), $\dot{v}_0 = 1 \times 10^{-4}$ $\dot{v}_0 = 1 \times 10^{-5}$ >

MATE								
1	1							
315200	0	0.3020000	0.00000	2	0	0	1.40	
0.500	0.0500	2.00	0.00000	0.30	1.0e-05	0.0083	-0.010	
-0.010								

(2) サンドドレーンの透水係数 k

サンドドレーンの透水係数を変更する場合は、入力データファイルの MATE の入力を以下のように変更すればよい (透水係数の入力単位は m/day であることに注意)

< 変更前 (1d-model_04.dat) >

MATE								
2	1							
0	14000.00	0.3300000	0.00000	2				
0	0	0	0.00000	0	0	0	8.6400	
8.6400								

< 変更後 (1d-model_04_k2.dat), $k = 1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ (8.64m/day) $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ (0.864m/day) >

MATE								
2	1							
0	14000.00	0.3300000	0.00000	2				
0	0	0	0.00000	0	0	0	0.8640	
0.8640								

4.3 初期体積ひずみ速度の影響

図-4.1 に時間～沈下量関係の比較図，図-4.2 に時間～圧密度関係の比較図を示す．なお，任意時刻 t の圧密度 $U(t)$ は，計算終了時（1500 日目）の沈下量を最終沈下量 S_f とし， $U(t)=S(t)/S_f \times 100$ で定義したものである．図-4.1 より，初期体積ひずみ速度の値が小さいほど沈下量の値は小さくなり，初期体積ひずみ速度が1 オーダー違うと，最終沈下量が1 割弱変化していることがわかる．図-4.2 の時間～圧密度関係を見ると，下部の層ほど圧密の進行は遅く，初期体積ひずみ速度の影響を大きく受けていることが分かる．

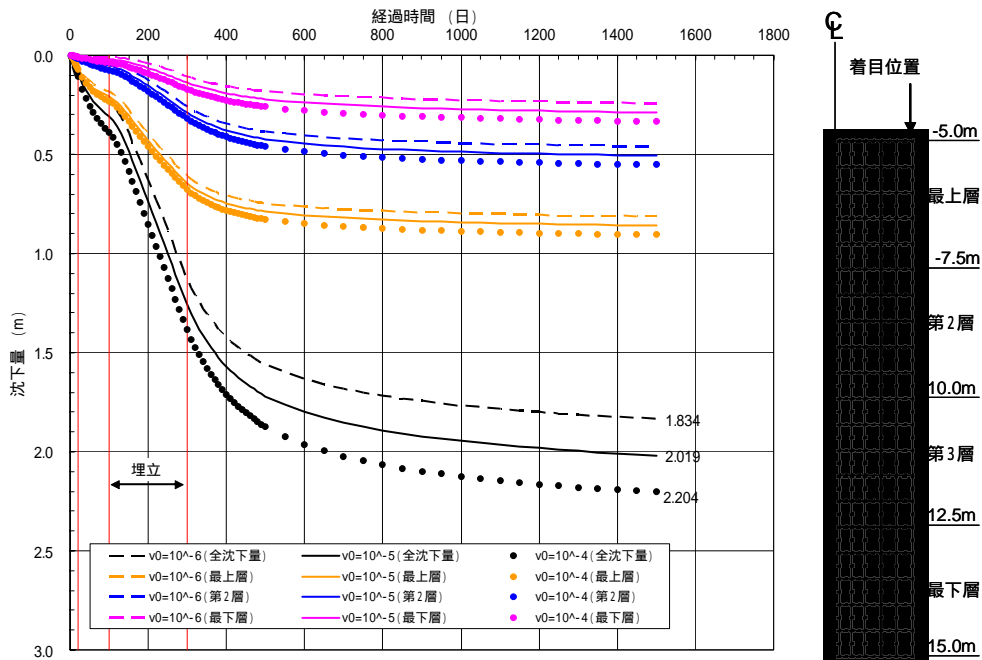


図-4.1 時間～沈下量関係（初期体積ひずみ速度の影響）

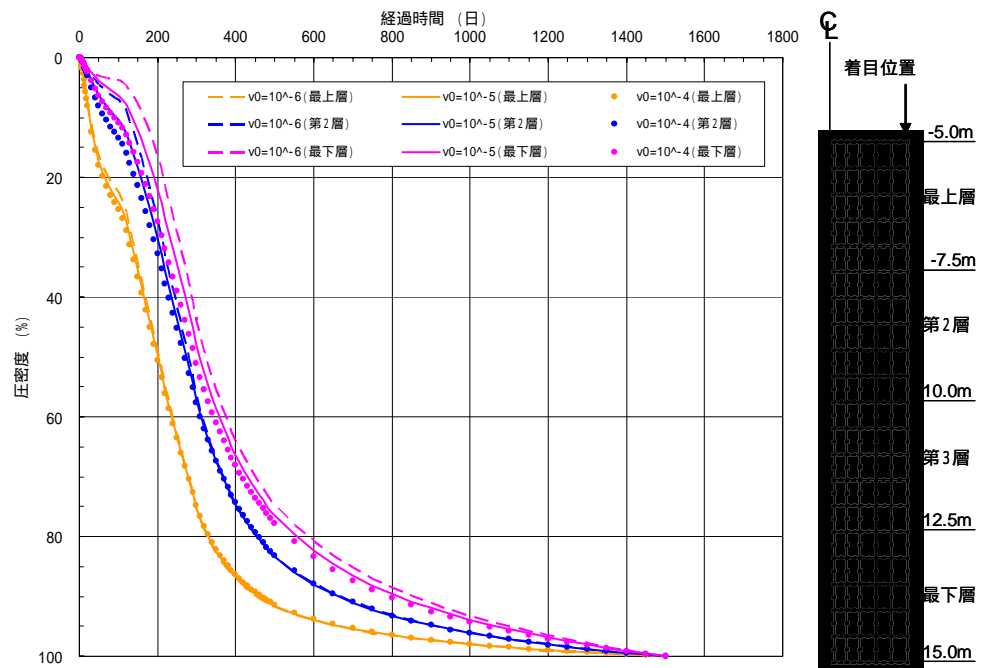


図-4.2 時間～圧密度関係（初期体積ひずみ速度の影響）

図-4.3 は過剰間隙水圧分布の比較を示したものである。初期体積ひずみ速度の値が小さいほど、過剰間隙水圧は上昇せず（あるいは消散が早く）、沈下量の差に影響を及ぼしていると考えられる。

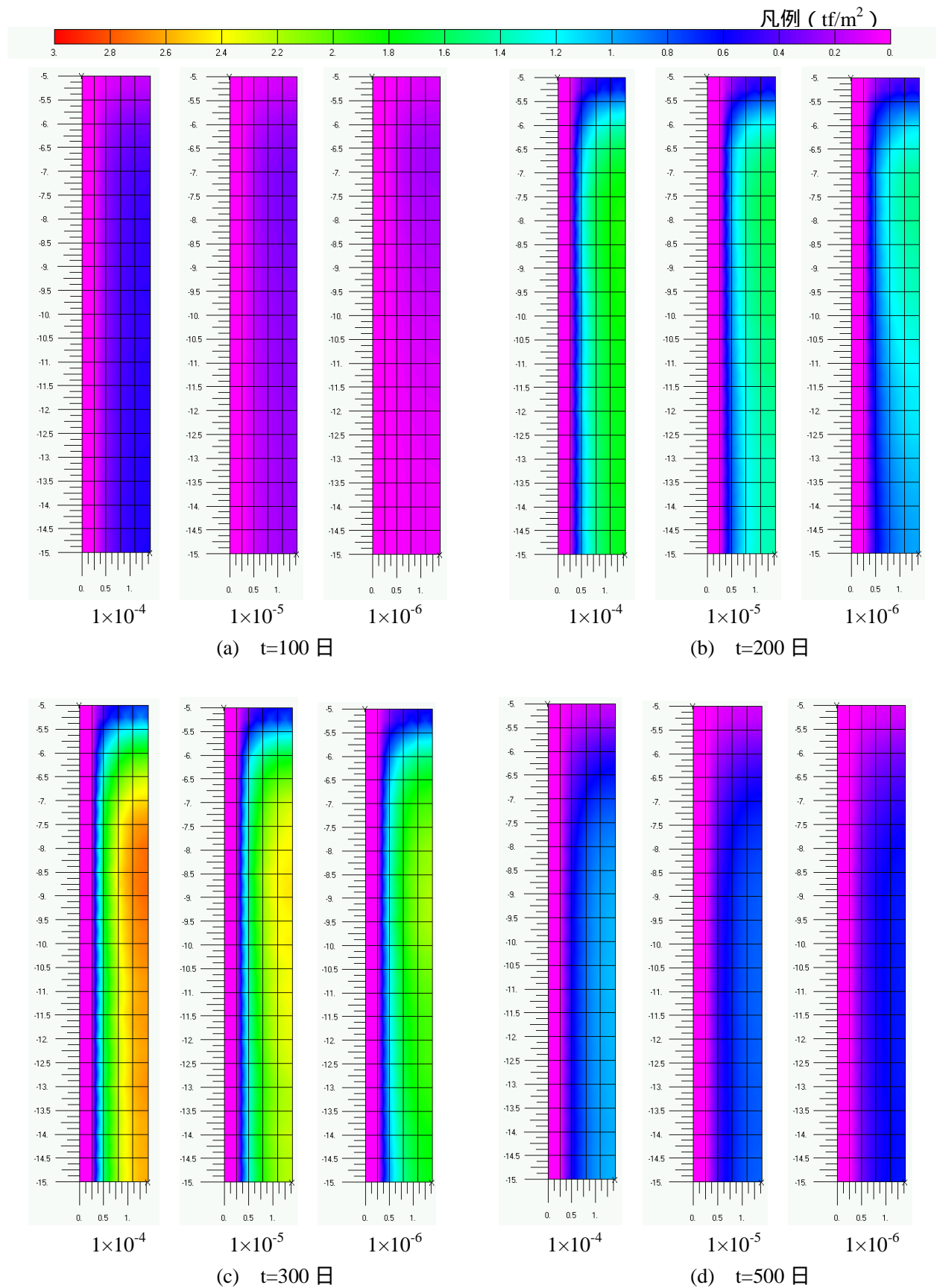


図-4.3 過剰間隙水圧分布（初期体積ひずみ速度の影響）

4.4 サンドドレーンの透水係数の影響

図-4.4 に時間～沈下量関係の比較図，図-4.5 に時間～圧密度関係の比較図を示す．図-4.4 より，サンドドレーンの透水係数が $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ の場合と $1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ の場合は，時間～沈下量関係にほとんど変化がなく， $1 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ まで透水係数が低下すると圧密遅れが顕著に生じることが分かる．図-4.5 の時間～圧密度関係を見ると，排水境界までの距離が長い第2層にて圧密遅れが大きく生じていることが分かる．

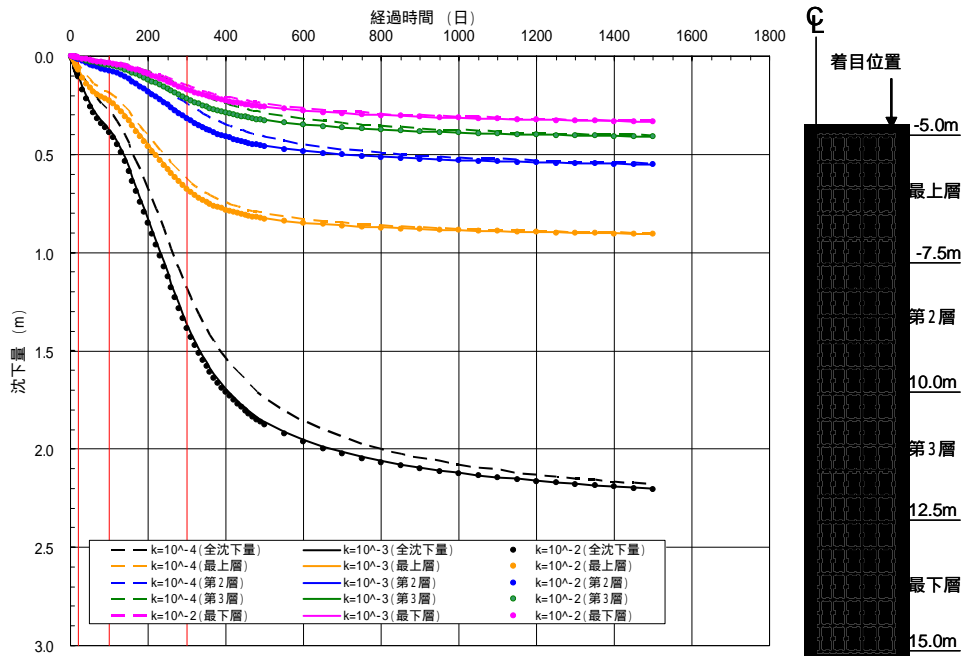


図-4.4 時間～沈下量関係 (サンドドレーンの透水係数の影響)

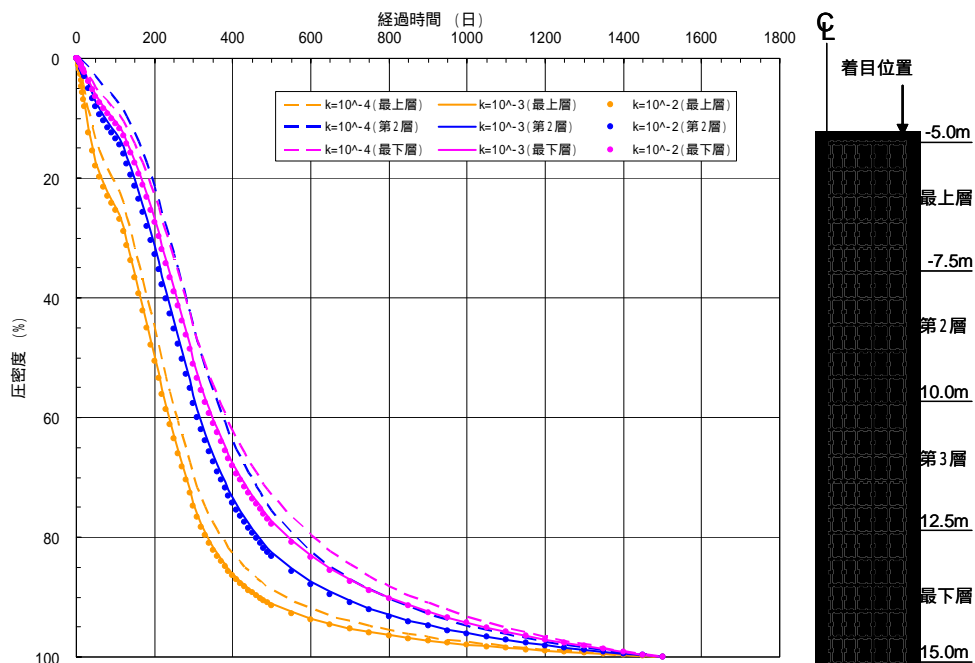


図-4.5 時間～圧密度関係 (サンドドレーンの透水係数の影響)

図-4.6 は過剰間隙水圧分布の比較を示したものである。透水係数が $1 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ の場合に、粘土層中央部で間隙水圧の消散が遅れて、圧密遅れの原因となっている様子が分かる。

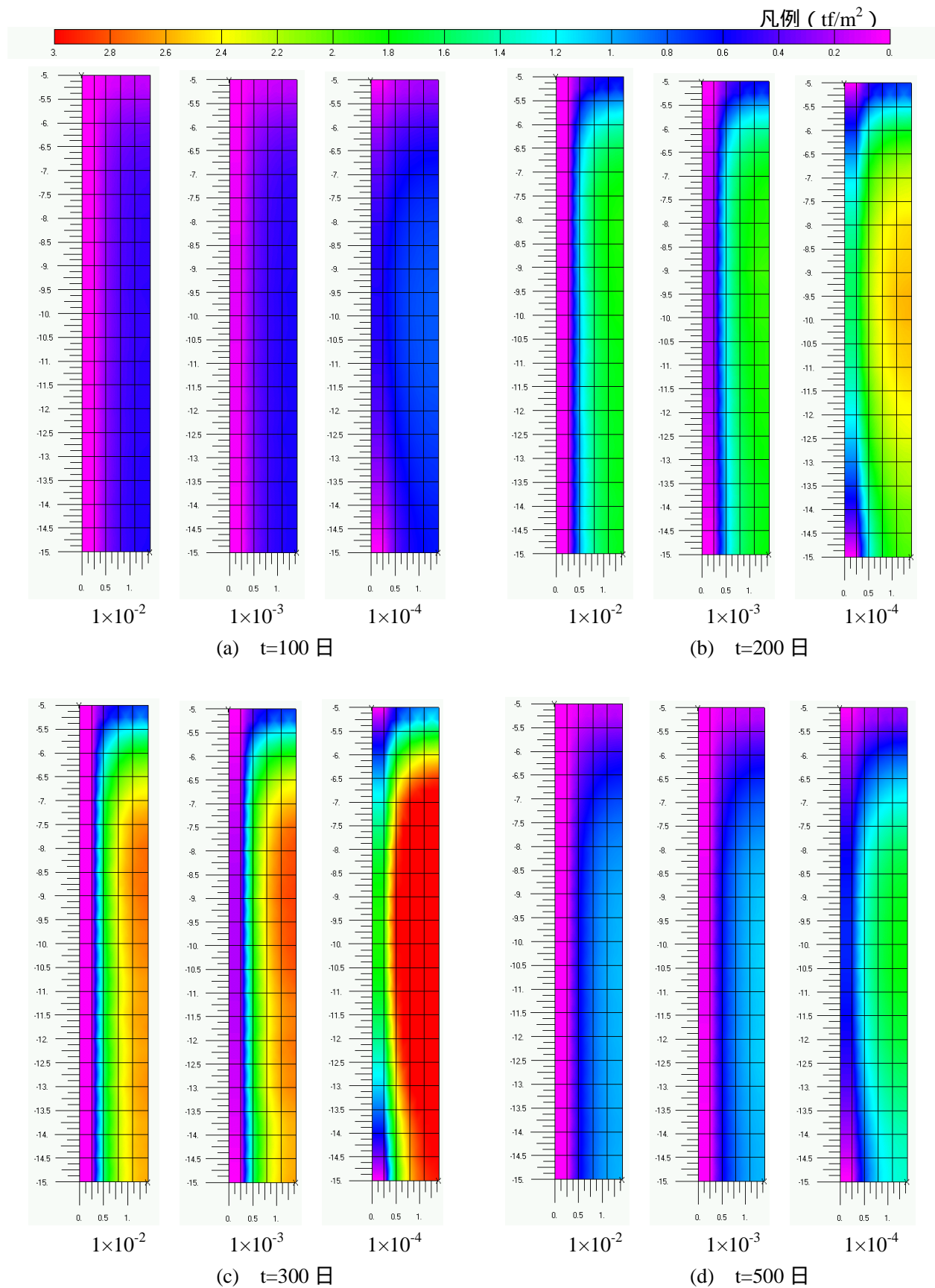


図-4.6 過剰間隙水圧分布 (サンドドレーンの透水係数の影響)