地下水位低下工法検討 WG（WG1）検討報告

1. 検討事項

今回行った検討は、表 1-1に示すモデル地盤、物性値を用いて行った以下の事項についてである。なお、地下水位低下検討及び、圧密沈下検討は図 1.1に示す 390m×310m 区画（500 棟タイプ）を対象としたケースで行った。

・液状化判定
・地盤の許容応力度算出
・地下水位低下検討：浸透流解析
・圧密沈下検討

表 1-1　解析用地盤モデルと地盤物性値

モデル地盤の条件　　*1　　*2　*3　　*4　*5　　*6

土質名	層厚 (m)	N値	細粒分含有率 (%)	密度 (t/m3)	せん断波速度(m/s)	初期せん断剛性(kPa)	ポアソン比	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kPa)	間隙比	最大間隙比	最小間隙比	相対密度	20%粒径 (mm)	液状化強度 DA5%	透水係数 (cm/s)
			Fc	ρ	Vs	G_0	ν	ϕ'	c	e_0	e_{max}	e_{min}	Dr	D20	RL_{20}	k
Bs (乾燥)	1	6	18	1.8	145	38,038	0.3	31	0.00	0.79	1.01	0.61	54.0	0.090	-	1.4E-03
Bs (飽和)	1	6	18	1.8	145	38,038	0.3	31	0.00	0.79	1.01	0.61	54.0	0.090	0.253	1.4E-03
Fs	6	4	22	1.8	127	29,029	0.3	30	0.00	1.02	1.47	0.88	75.8	0.070	0.204	7.7E-04
As1	2	15	21.9	1.8	197	70,067	0.3	35	0.00	1.03	1.4	0.8	62.0	0.069	0.375	7.4E-04
As2	2	7	31	1.7	153	39,813	0.3	30	0.00	1.25	1.76	1.06	74.0	0.030	0.226	1.1E-04
Ac1	20	2	93.6	1.5	133	26,534	0.3	0	13.00	2.34	2.87	1.35	34.7	-	-	5.1E-06
Ac2	13	14	93.6	1.5	220	72,600	0.3	0	91.00	2.58	2.87	1.35	19.5	-	-	2.8E-06
Ds	5	74	10	2.0	388	301,088	0.3	38	0.00	-	-	-	-	0.110	-	2.2E-03

*1 砂質：Vs=80*N^(1/3)
粘性：Vs=100*N^(1/3)
*2 道示
*3 c=6.5*N
*4 emax=0.02*Fc+1
*5 emin=0.008*Fc+0.6
*6 クレーガーの方法
表中の赤字は、各種推定式により推定された値である。

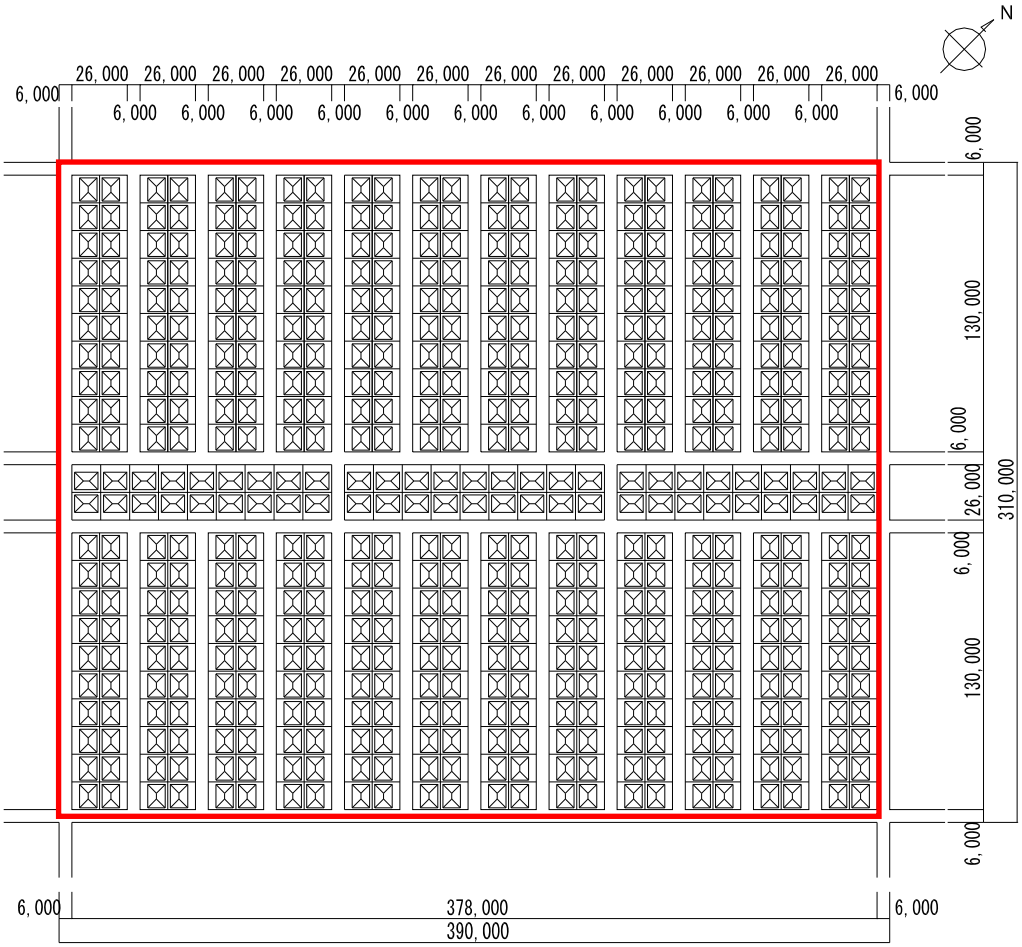


図 1.1　検討対象モデル（500 棟タイプ）

2. 液状化判定

液状化判定は、以下の手順で行う。

- L1 地震動、L2 地震動の基盤波を、地下水位を低下させた 1 次元モデル地盤に入力し、等価線形解析により最大せん断応力を求め、FL 値を算定する。
- 実地盤の液状化強度 R と繰返し三軸強度比 RL_{20} との関係は、岩崎・龍岡・常田・安田[1)]によると、以下の式で求めることができる。

〔L2 地震動対応〕

$$R=C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot RL_{20} \qquad (1)$$

C_1　：拘束圧の補正係数
C_2　：地震動のランダム性に対する補正係数
C_3　：試料の攪乱の影響に対する補正係数
C_4　：試料の密度化に対する補正係数
C_5　：地震動の水平面での 2 次元性に対する補正係数

通常の検討に用いる値を以下に示す。

$C_1=(1+2K_0)/3=2/3=0.67$　（$K_0=0.5$ と仮定）
$C_2=1/0.55$～$1/0.70=1.82$～1.43→平均的に 1.62
$C_3 \cdot C_4 \fallingdotseq 1.0$
$C_5=0.9$

$$R=0.67\times1.62\times1.0\times0.9\times RL_{20} \fallingdotseq RL_{20} \qquad (2)$$

〔L1 地震動対応〕

本検討では、建築基礎構造設計指針として M=9.0 を与えることとなっているため、補正係数 C_2 を変更する。2011 年東北地方太平洋沖地震における浦安砂に対する補正係数 C_2 については、下記の 2 つの研究成果を参考とし、$C_2=1.25$ とすることとした。

- 安田ら[2)3)]の研究により、$C_2=1.24$ 程度である可能性が示唆されている。ただし、文献より、対象となった浦安砂の液状化強度は $RL_{20}=0.270$ である。
- 新井[4)]の研究により、東北地方太平洋沖地震に対する東京湾岸では Neq=20～60 であり、対数平均値は 34.6 回であることから、これまでの提案式から求められる M=9.0 のときの Neq=34 とほぼ同じであり、前述のように提案式の外挿が可能と考えられる。
- 次に、建築構造設計指針における等価な繰返し回数に関する補正係数の算定式 $r_n=0.1(M-1)$ は、$N_1=10$～15 の砂に対応した式であり[5)]、本検討の Fs 層が $N_1=7$（Na=15）ゆえに適用性があると判断して、M=9.0 を代入すると $r_n=0.80$ と求められる。これは、RL_{15} に対する補正係数であるが、RL_{20} に対しても同程度であると考えると、$C_2=1/r_n=1.25$ となる。

したがって、L1 地震動検討時の液状化強度は以下のように求める。

$$R=0.67\times1.25\times1.0\times0.9\times RL_{20} \fallingdotseq 0.8\cdot RL_{20} \quad (3)$$

・ 過剰間隙水圧比 r_u は、建築基礎構造設計指針より、$r_u=FL^{-7}$ で算出する。

1) 岩崎・龍岡・常田・安田：砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例、第 5 回日本地震工学シンポジウム講演集、pp.641-648、1978.
2) 安田進・石川敬祐・青柳貴是：東京湾岸エリアで液状化した砂の強度や変形特性の影響要因に関する研究、第 47 回地盤工学研究発表会、No.203、pp.403-404、2012.
3) 安田進・萩谷俊吾：地震動特性に関する補正係数 Cw が液状化判定結果に与える影響の試算、第 47 回地盤工学研究発表会、No.786、pp.1563-1564、2012.
4) 新井洋：2011 年東北地方太平洋沖地震における東京湾岸の液状化に関する等価繰返し回数、第 47 回地盤工学研究発表会、No.784、pp.1559-1560、2012.
5) 時松孝次：耐震設計とＮ値―建築―、基礎工、Vol.25、No.12、pp.61-66、1997.

(1) 計算条件

a) 検討用地震動

等価線形解析による液状化判定には、L1 地震動相当として 2011 年東北地方太平洋沖地震（基盤波）を用いる。地震動の波形を次項に示す。また、有効応力動的解析により地下水位低下工法の成立性を評価する際に用いる、L2 地震動の基盤波（東京湾北部地震）についても併せて示す。

なお、等価線形解析における入力波形は、2011 年東北地方太平洋沖地震および東京湾北部地震の全時刻歴のうち、0～180 秒、および 10～60 秒（次項に示す地震動の波形の赤線部分）をそれぞれ対象とする。

1)　東北地方太平洋沖地震：夢の島

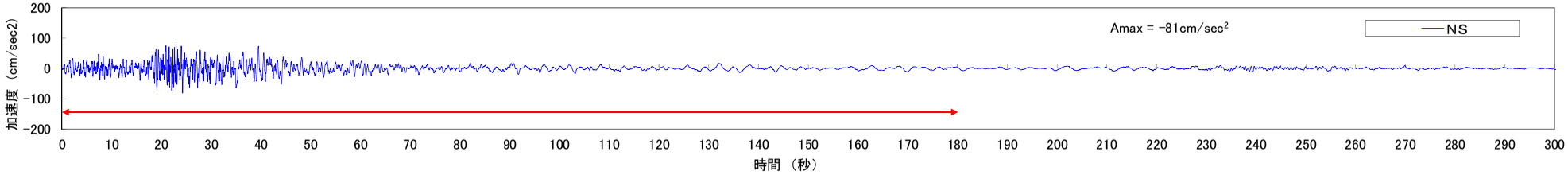


図 2.1　2011 年東北地方太平洋沖地震（NS 成分）

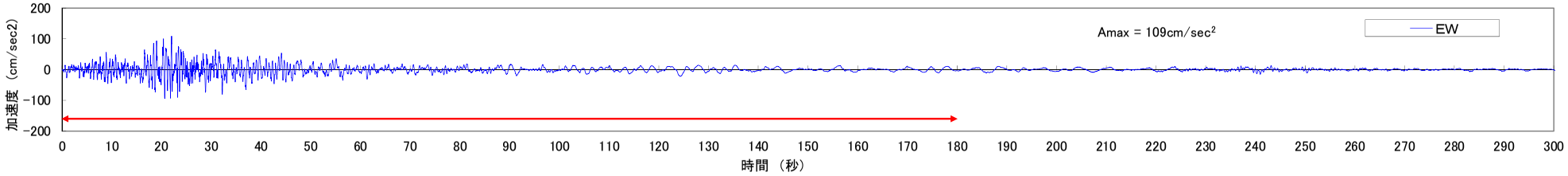


図 2.2　2011 年東北地方太平洋沖地震（EW 成分）

2)　東京湾北部地震：猫実

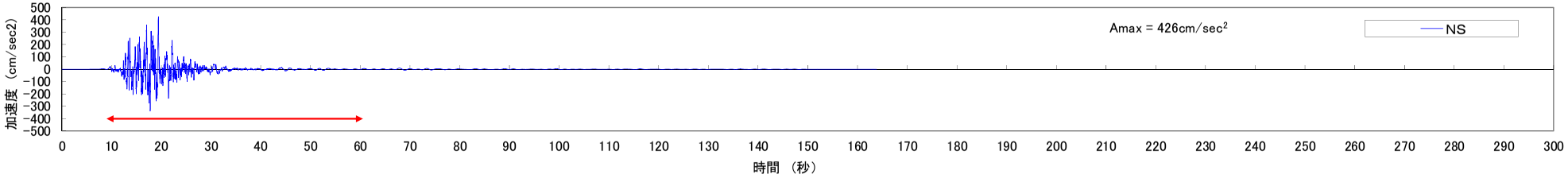


図 2.3　2011 年東京湾北部地震（NS 成分）

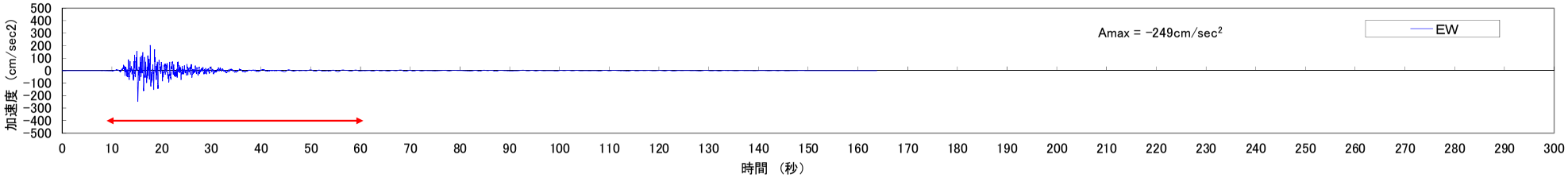


図 2.4　2011 年東京湾北部地震（EW 成分）

b） 解析用モデル地盤と地盤物性値

等価線形解析および液状化判定に用いるモデル地盤は、浅層部から Bs 層、Fs 層、As1 層、As2 層、Ac1 層、Ac2 層および Ds 層とし、Ds 層上端を工学的基盤面とする。また、地下水位は GL-1.0m とする。

各土層の地盤物性値は表 2-1に示す。

表 2-1　解析用地盤モデルと地盤物性値

土質名	層厚 (m)	N値	飽和・湿潤単位体積重量 (kN/m3)	水中単位体積重量 (kN/m3)	せん断波速度 (m/s)	初期せん断弾性係数 (kN/m2)
			γsat or γt	γ'	Vs	G_0
Bs(乾燥)	1	6	17.6	17.6	145	38,038
Bs(飽和)	1	6	17.6	7.8	145	38,038
Fs	6	4	17.6	7.8	127	29,029
As1	2	15	17.6	7.8	197	70,067
As2	2	7	16.7	6.9	153	39,813
Ac1	20	2	14.7	4.9	133	26,534
Ac2	13	14	14.7	4.9	220	72,600
Ds	5	74	19.6	9.8	388	301,088

c） 動的変形特性

等価線形解析に用いる動的変形特性は、H23 年度に実施された土質試験結果を H－D モデルによりフィッテングし設定する。なお、試験結果が得られていない Bs 層および As2 層については、それぞれ Fs 層、As1 層と同様の試験結果を用いることとし、Ds 層は線形材料とする。

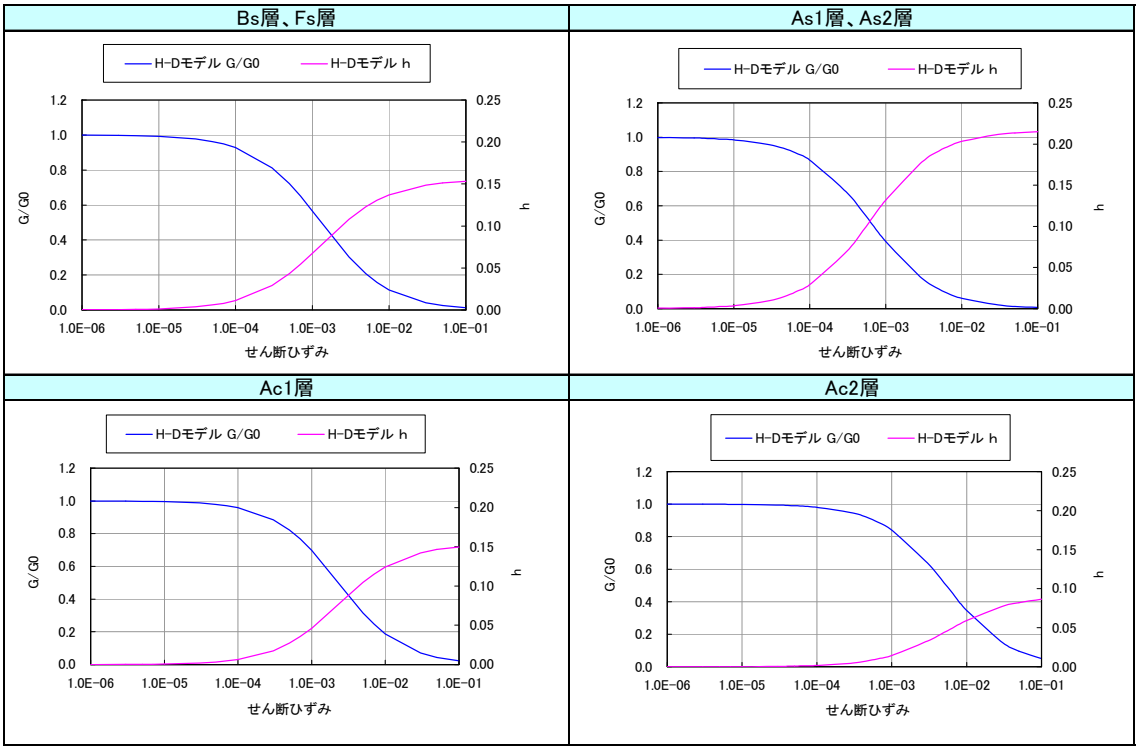


図 2.5　各土層の動的変形特性

(2) 等価線形解析結果

等価線形解析による液状化判定には、L1 地震動相当として 2011 年東北地方太平洋沖地震（基盤波）を用いる。地震動の波形を次項に示す。また、有効応力動的解析により地下水位低下工法の成立性を評価する際に用いる、L2 地震動の基盤波（東京湾北部地震）についても併せて示す。

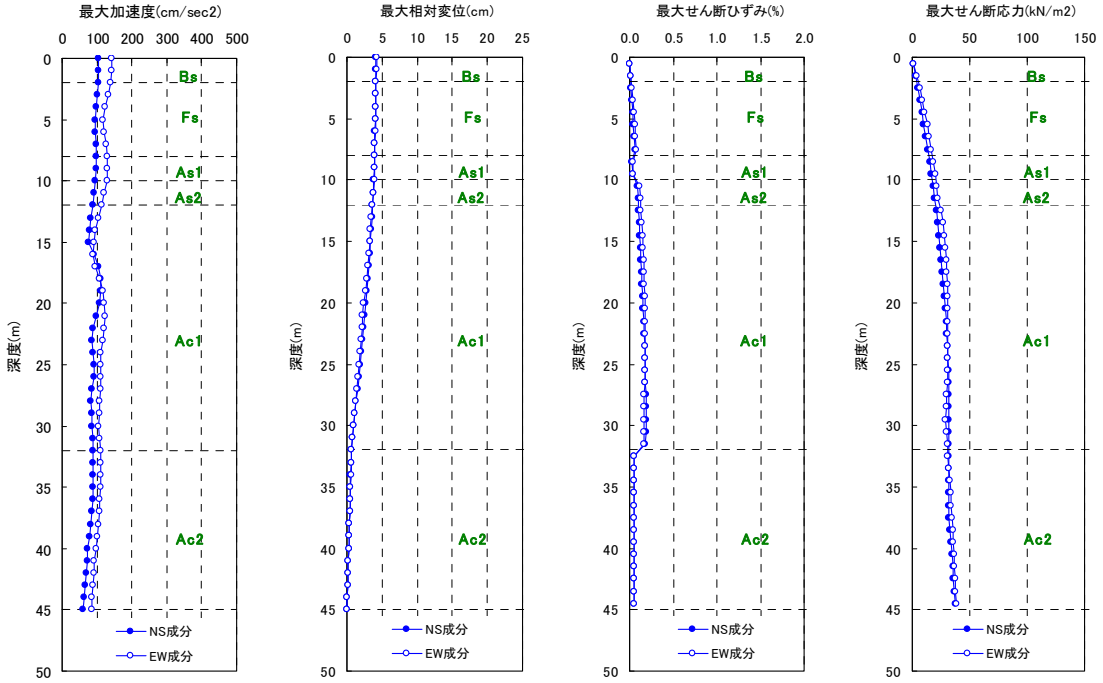


図 2.6 時刻歴最大値の深度分布（東北地方太平洋沖地震：夢の島）

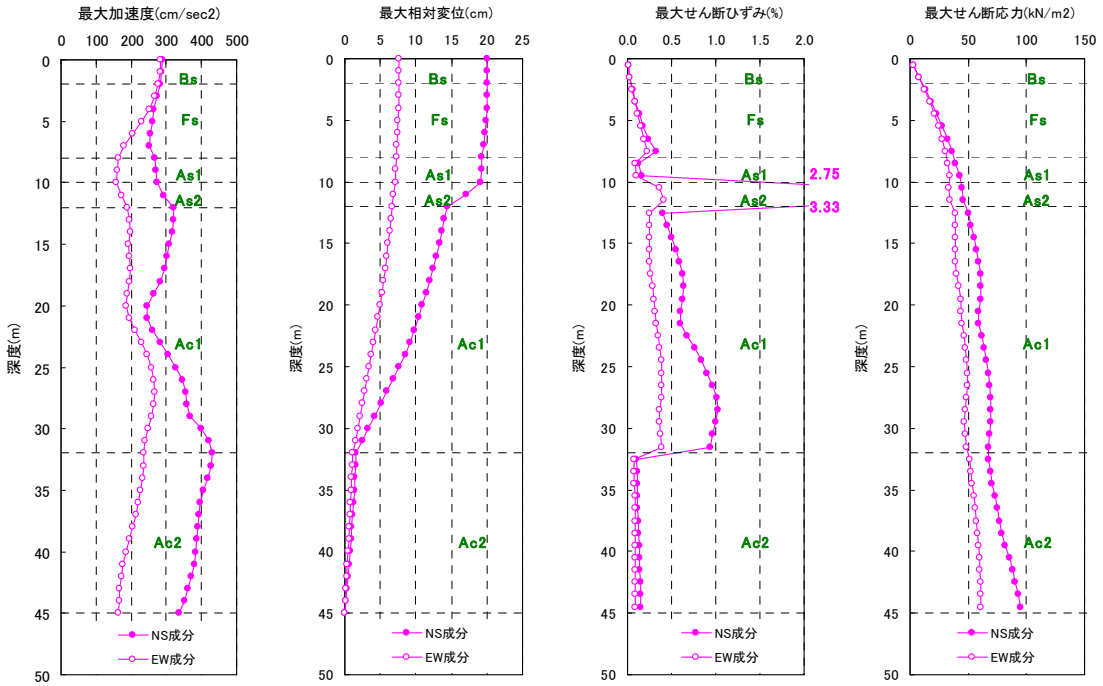


図 2.7 時刻歴最大値の深度分布（東京湾北部地震：猫実）

(3) FL 値の算定結果（原地盤：地下水位 GL-1.0m）

a) 東北地方太平洋沖地震（夢の島）

表 2-2 液状化判定結果（NS 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	–	–	R=0.8RL20	–	–	–
Bs	0.5	8.82	8.82	0.95	0.107	0.253	0.202	–	対象外	–
	1.5	26.46	21.56	2.84	0.132	0.253	0.202	1.54	OK	0.049
Fs	2.5	44.10	29.39	4.71	0.160	0.204	0.163	1.02	OK	0.885
	3.5	61.74	37.22	6.55	0.176	0.204	0.163	0.93	NG	1.000
	4.5	79.38	45.05	8.34	0.185	0.204	0.163	0.88	NG	1.000
	5.5	97.02	52.88	10.06	0.190	0.204	0.163	0.86	NG	1.000
	6.5	114.66	60.71	11.72	0.193	0.204	0.163	0.84	NG	1.000
	7.5	132.30	68.54	13.35	0.195	0.204	0.163	0.84	NG	1.000
As1	8.5	149.94	76.37	14.95	0.196	0.375	0.300	1.53	OK	0.050
	9.5	167.58	84.20	16.57	0.197	0.375	0.300	1.52	OK	0.052
As2	10.5	184.73	91.54	18.14	0.198	0.226	0.181	0.91	NG	1.000
	11.5	201.39	98.39	19.64	0.200	0.226	0.181	0.91	NG	1.000

表 2-3 液状化判定結果（EW 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	–	–	R=0.8RL20	–	–	–
Bs	0.5	8.82	8.82	1.28	0.145	0.253	0.202	–	対象外	–
	1.5	26.46	21.56	3.83	0.178	0.253	0.202	1.14	OK	0.400
Fs	2.5	44.10	29.39	6.33	0.216	0.204	0.163	0.76	NG	1.000
	3.5	61.74	37.22	8.72	0.234	0.204	0.163	0.70	NG	1.000
	4.5	79.38	45.05	10.96	0.243	0.204	0.163	0.67	NG	1.000
	5.5	97.02	52.88	13.01	0.246	0.204	0.163	0.66	NG	1.000
	6.5	114.66	60.71	14.87	0.245	0.204	0.163	0.67	NG	1.000
	7.5	132.30	68.54	16.52	0.241	0.204	0.163	0.68	NG	1.000
As1	8.5	149.94	76.37	18.09	0.237	0.375	0.300	1.27	OK	0.192
	9.5	167.58	84.20	19.72	0.234	0.375	0.300	1.28	OK	0.177
As2	10.5	184.73	91.54	21.03	0.230	0.226	0.181	0.79	NG	1.000
	11.5	201.39	98.39	22.57	0.229	0.226	0.181	0.79	NG	1.000

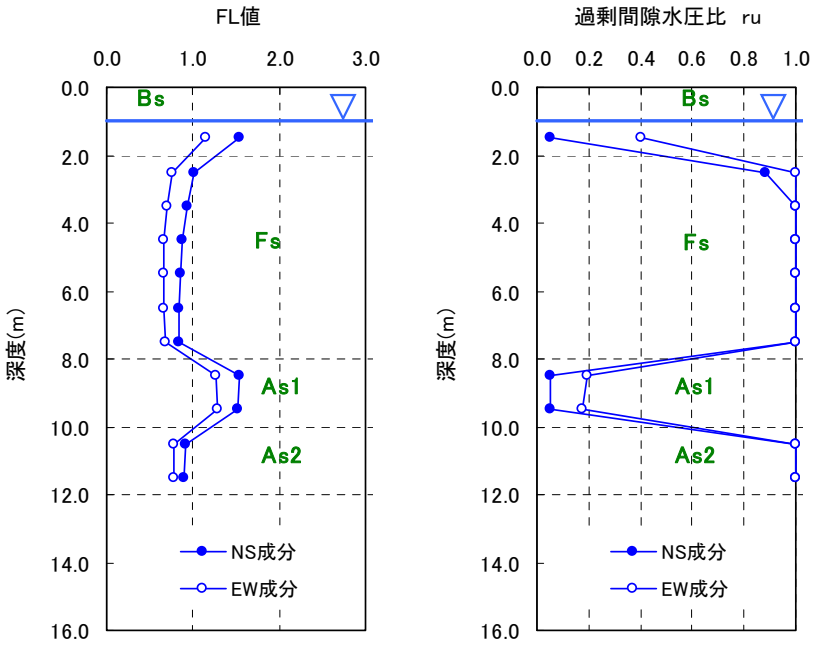


図 2.8 FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

b） 東京湾北部地震（猫実）

表 2-4　液状化判定結果（NS 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	–	–	R=RL20	–	–	–
Bs	0.5	8.82	8.82	2.60	0.295	0.253	0.253	–	対象外	–
	1.5	26.46	21.56	7.83	0.363	0.253	0.253	0.70	NG	1.000
Fs	2.5	44.10	29.39	13.08	0.445	0.204	0.204	0.46	NG	1.000
	3.5	61.74	37.22	18.19	0.489	0.204	0.204	0.42	NG	1.000
	4.5	79.38	45.05	23.09	0.513	0.204	0.204	0.40	NG	1.000
	5.5	97.02	52.88	27.70	0.524	0.204	0.204	0.39	NG	1.000
	6.5	114.66	60.71	31.91	0.526	0.204	0.204	0.39	NG	1.000
	7.5	132.30	68.54	35.69	0.521	0.204	0.204	0.39	NG	1.000
As1	8.5	149.94	76.37	39.01	0.511	0.375	0.375	0.73	NG	1.000
	9.5	167.58	84.20	42.89	0.509	0.375	0.375	0.74	NG	1.000
As2	10.5	184.73	91.54	44.43	0.485	0.226	0.226	0.47	NG	1.000
	11.5	201.39	98.39	45.44	0.462	0.226	0.226	0.49	NG	1.000

表 2-5　液状化判定結果（EW 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	–	–	R=RL20	–	–	–
Bs	0.5	8.82	8.82	2.54	0.288	0.253	0.253	–	対象外	–
	1.5	26.46	21.56	7.52	0.349	0.253	0.253	0.72	NG	1.000
Fs	2.5	44.10	29.39	12.29	0.418	0.204	0.204	0.49	NG	1.000
	3.5	61.74	37.22	16.84	0.452	0.204	0.204	0.45	NG	1.000
	4.5	79.38	45.05	21.01	0.466	0.204	0.204	0.44	NG	1.000
	5.5	97.02	52.88	24.72	0.468	0.204	0.204	0.44	NG	1.000
	6.5	114.66	60.71	27.96	0.461	0.204	0.204	0.44	NG	1.000
	7.5	132.30	68.54	30.65	0.447	0.204	0.204	0.46	NG	1.000
As1	8.5	149.94	76.37	32.20	0.422	0.375	0.375	0.89	NG	1.000
	9.5	167.58	84.20	34.05	0.404	0.375	0.375	0.93	NG	1.000
As2	10.5	184.73	91.54	33.27	0.363	0.226	0.226	0.62	NG	1.000
	11.5	201.39	98.39	34.11	0.347	0.226	0.226	0.65	NG	1.000

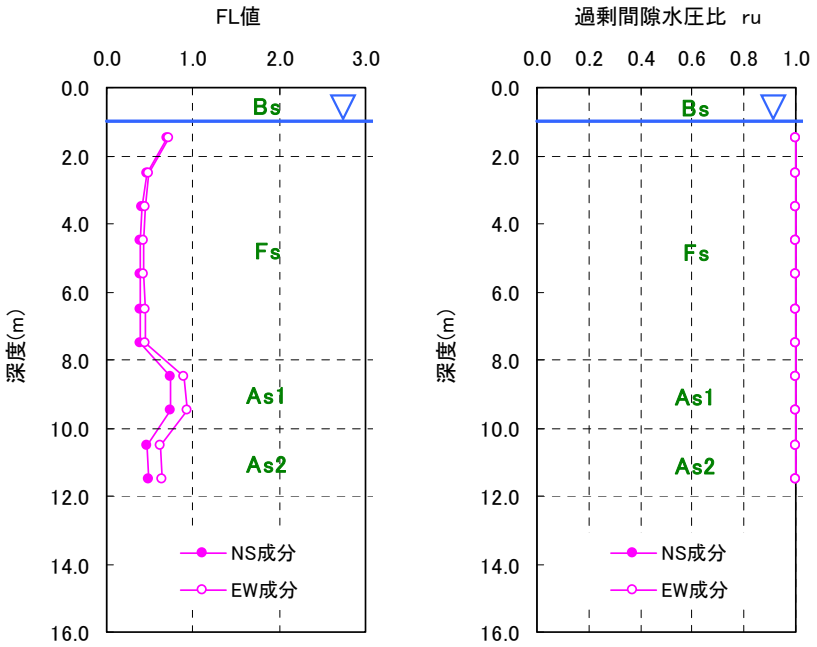


図 2.9　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

(4) FL 値の算定結果（地下水位 GL-4.0m、地下水位 3m 低下）

a) 東北地方太平洋沖地震（夢の島）

表 2-6 液状化判定結果（NS 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	–	–	R=0.8RL20	–	–	–
Bs	0.5	8.82	8.82	0.95	0.107	0.253	0.202	–	対象外	–
	1.5	26.46	26.46	2.84	0.107	0.253	0.202	–	対象外	–
Fs	2.5	44.10	44.10	4.71	0.107	0.204	0.163	–	対象外	–
	3.5	61.74	61.74	6.55	0.106	0.204	0.163	–	対象外	–
	4.5	79.38	74.48	8.34	0.112	0.204	0.163	1.46	OK	0.071
	5.5	97.02	82.31	10.06	0.122	0.204	0.163	1.34	OK	0.132
	6.5	114.66	90.14	11.72	0.130	0.204	0.163	1.25	OK	0.204
	7.5	132.30	97.97	13.35	0.136	0.204	0.163	1.20	OK	0.283
As1	8.5	149.94	105.80	14.95	0.141	0.375	0.300	2.12	OK	0.005
	9.5	167.58	113.63	16.57	0.146	0.375	0.300	2.06	OK	0.006
As2	10.5	184.73	120.97	18.14	0.150	0.226	0.181	1.21	OK	0.270
	11.5	201.39	127.82	19.64	0.154	0.226	0.181	1.18	OK	0.320

表 2-7 液状化判定結果（EW 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	–	–	R=0.8RL20	–	–	–
Bs	0.5	8.82	8.82	1.28	0.145	0.253	0.202	–	対象外	–
	1.5	26.46	26.46	3.83	0.145	0.253	0.202	–	対象外	–
Fs	2.5	44.10	44.10	6.33	0.144	0.204	0.163	–	対象外	–
	3.5	61.74	61.74	8.72	0.141	0.204	0.163	–	対象外	–
	4.5	79.38	74.48	10.96	0.147	0.204	0.163	1.11	OK	0.484
	5.5	97.02	82.31	13.01	0.158	0.204	0.163	1.03	OK	0.800
	6.5	114.66	90.14	14.87	0.165	0.204	0.163	0.99	NG	1.000
	7.5	132.30	97.97	16.52	0.169	0.204	0.163	0.97	NG	1.000
As1	8.5	149.94	105.80	18.09	0.171	0.375	0.300	1.75	OK	0.020
	9.5	167.58	113.63	19.72	0.174	0.375	0.300	1.73	OK	0.022
As2	10.5	184.73	120.97	21.03	0.174	0.226	0.181	1.04	OK	0.760
	11.5	201.39	127.82	22.57	0.177	0.226	0.181	1.02	OK	0.848

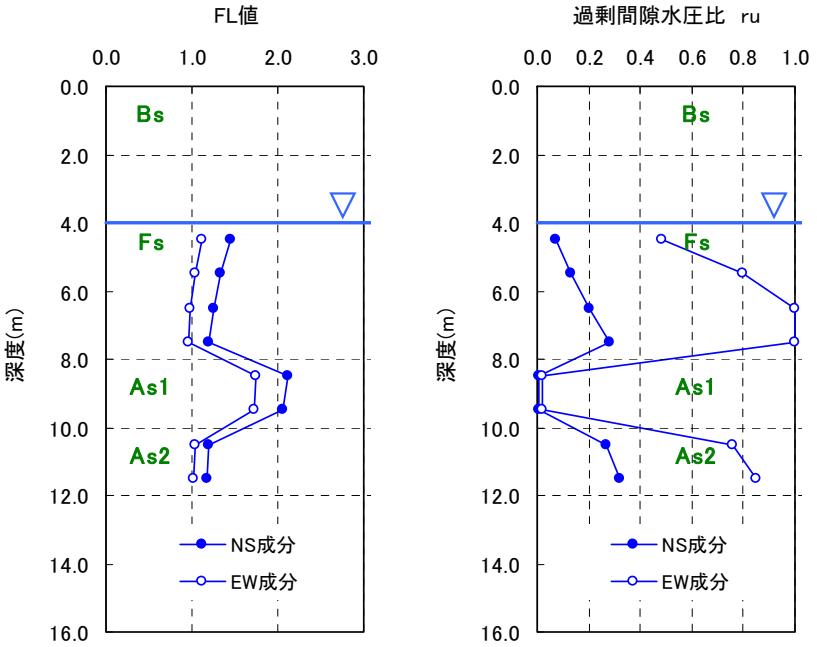


図 2.10 FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

b） 東京湾北部地震（猫実）

表 2-8　液状化判定結果（NS 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	－	－	R=RL20	－	－	－
Bs	0.5	8.82	8.82	2.60	0.295	0.253	0.253	－	対象外	－
	1.5	26.46	26.46	7.83	0.296	0.253	0.253	－	対象外	－
Fs	2.5	44.10	44.10	13.08	0.297	0.204	0.204	－	対象外	－
	3.5	61.74	61.74	18.19	0.295	0.204	0.204	－	対象外	－
	4.5	79.38	74.48	23.09	0.310	0.204	0.204	0.66	NG	1.000
	5.5	97.02	82.31	27.70	0.337	0.204	0.204	0.61	NG	1.000
	6.5	114.66	90.14	31.91	0.354	0.204	0.204	0.58	NG	1.000
	7.5	132.30	97.97	35.69	0.364	0.204	0.204	0.56	NG	1.000
As1	8.5	149.94	105.80	39.01	0.369	0.375	0.375	1.02	OK	0.888
	9.5	167.58	113.63	42.89	0.377	0.375	0.375	0.99	NG	1.000
As2	10.5	184.73	120.97	44.43	0.367	0.226	0.226	0.62	NG	1.000
	11.5	201.39	127.82	45.44	0.356	0.226	0.226	0.64	NG	1.000

表 2-9　液状化判定結果（EW 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	－	－	R=RL20	－	－	－
Bs	0.5	8.82	8.82	2.54	0.288	0.253	0.253	－	対象外	－
	1.5	26.46	26.46	7.52	0.284	0.253	0.253	－	対象外	－
Fs	2.5	44.10	44.10	12.29	0.279	0.204	0.204	－	対象外	－
	3.5	61.74	61.74	16.84	0.273	0.204	0.204	－	対象外	－
	4.5	79.38	74.48	21.01	0.282	0.204	0.204	0.72	NG	1.000
	5.5	97.02	82.31	24.72	0.300	0.204	0.204	0.68	NG	1.000
	6.5	114.66	90.14	27.96	0.310	0.204	0.204	0.66	NG	1.000
	7.5	132.30	97.97	30.65	0.313	0.204	0.204	0.65	NG	1.000
As1	8.5	149.94	105.80	32.20	0.304	0.375	0.375	1.23	OK	0.232
	9.5	167.58	113.63	34.05	0.300	0.375	0.375	1.25	OK	0.208
As2	10.5	184.73	120.97	33.27	0.275	0.226	0.226	0.82	NG	1.000
	11.5	201.39	127.82	34.11	0.267	0.226	0.226	0.85	NG	1.000

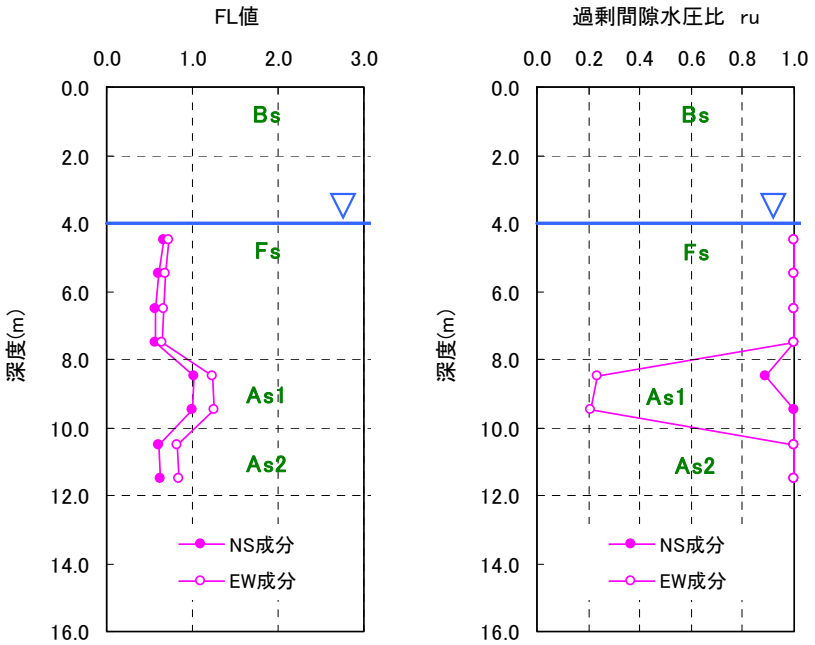


図 2.11　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

(5) FL 値の算定結果（地下水位 GL-5.0m、地下水位 4m 低下）

a) 東北地方太平洋沖地震（夢の島）

表 2-10 液状化判定結果（NS 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	–	–	R=0.8RL20	–	–	–
Bs	0.5	8.82	8.82	0.95	0.107	0.253	0.202	–	対象外	–
	1.5	26.46	26.46	2.84	0.107	0.253	0.202	–	対象外	–
Fs	2.5	44.10	44.10	4.71	0.107	0.204	0.163	–	対象外	–
	3.5	61.74	61.74	6.55	0.106	0.204	0.163	–	対象外	–
	4.5	79.38	79.38	8.34	0.105	0.204	0.163	–	対象外	–
	5.5	97.02	92.12	10.06	0.109	0.204	0.163	1.49	OK	0.060
	6.5	114.66	99.95	11.72	0.117	0.204	0.163	1.39	OK	0.099
	7.5	132.30	107.78	13.35	0.124	0.204	0.163	1.32	OK	0.145
As1	8.5	149.94	115.61	14.95	0.129	0.375	0.300	2.32	OK	0.003
	9.5	167.58	123.44	16.57	0.134	0.375	0.300	2.23	OK	0.004
As2	10.5	184.73	130.78	18.14	0.139	0.226	0.181	1.30	OK	0.157
	11.5	201.39	137.63	19.64	0.143	0.226	0.181	1.27	OK	0.191

表 2-11 液状化判定結果（EW 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	–	–	R=0.8RL20	–	–	–
Bs	0.5	8.82	8.82	1.28	0.145	0.253	0.202	–	対象外	–
	1.5	26.46	26.46	3.83	0.145	0.253	0.202	–	対象外	–
Fs	2.5	44.10	44.10	6.33	0.144	0.204	0.163	–	対象外	–
	3.5	61.74	61.74	8.72	0.141	0.204	0.163	–	対象外	–
	4.5	79.38	79.38	10.96	0.138	0.204	0.163	–	対象外	–
	5.5	97.02	92.12	13.01	0.141	0.204	0.163	1.16	OK	0.364
	6.5	114.66	99.95	14.87	0.149	0.204	0.163	1.10	OK	0.522
	7.5	132.30	107.78	16.52	0.153	0.204	0.163	1.06	OK	0.645
As1	8.5	149.94	115.61	18.09	0.157	0.375	0.300	1.92	OK	0.011
	9.5	167.58	123.44	19.72	0.160	0.375	0.300	1.88	OK	0.012
As2	10.5	184.73	130.78	21.03	0.161	0.226	0.181	1.12	OK	0.440
	11.5	201.39	137.63	22.57	0.164	0.226	0.181	1.10	OK	0.505

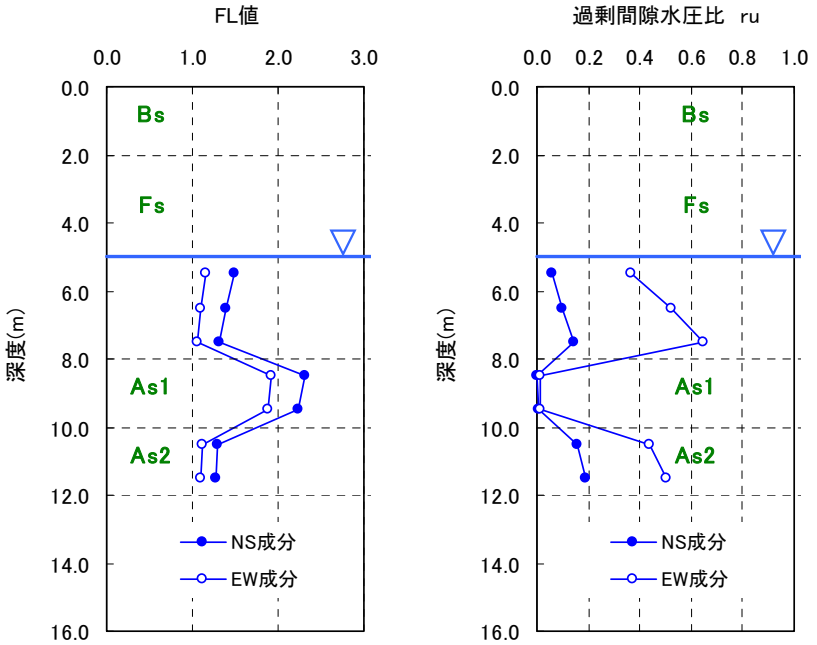


図 2.12 FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

b） 東京湾北部地震（猫実）

表 2-12　液状化判定結果（NS 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	－	－	R=RL20	－	－	－
Bs	0.5	8.82	8.82	2.60	0.295	0.253	0.253	－	対象外	－
	1.5	26.46	26.46	7.83	0.296	0.253	0.253	－	対象外	－
Fs	2.5	44.10	44.10	13.08	0.297	0.204	0.204	－	対象外	－
	3.5	61.74	61.74	18.19	0.295	0.204	0.204	－	対象外	－
	4.5	79.38	79.38	23.09	0.291	0.204	0.204	－	対象外	－
	5.5	97.02	92.12	27.70	0.301	0.204	0.204	0.68	NG	1.000
	6.5	114.66	99.95	31.91	0.319	0.204	0.204	0.64	NG	1.000
	7.5	132.30	107.78	35.69	0.331	0.204	0.204	0.62	NG	1.000
As1	8.5	149.94	115.61	39.01	0.337	0.375	0.375	1.11	OK	0.477
	9.5	167.58	123.44	42.89	0.347	0.375	0.375	1.08	OK	0.586
As2	10.5	184.73	130.78	44.43	0.340	0.226	0.226	0.67	NG	1.000
	11.5	201.39	137.63	45.44	0.330	0.226	0.226	0.68	NG	1.000

表 2-13　液状化判定結果（EW 成分）

	計算深度	σv	σv'	τxy,max	L	RL20	R	FL	判定	ru=FL^{-7}
	Z(m)	kN/m2	kN/m2	kN/m2	－	－	R=RL20	－	－	－
Bs	0.5	8.82	8.82	2.54	0.288	0.253	0.253	－	対象外	－
	1.5	26.46	26.46	7.52	0.284	0.253	0.253	－	対象外	－
Fs	2.5	44.10	44.10	12.29	0.279	0.204	0.204	－	対象外	－
	3.5	61.74	61.74	16.84	0.273	0.204	0.204	－	対象外	－
	4.5	79.38	79.38	21.01	0.265	0.204	0.204	－	対象外	－
	5.5	97.02	92.12	24.72	0.268	0.204	0.204	0.76	NG	1.000
	6.5	114.66	99.95	27.96	0.280	0.204	0.204	0.73	NG	1.000
	7.5	132.30	107.78	30.65	0.284	0.204	0.204	0.72	NG	1.000
As1	8.5	149.94	115.61	32.20	0.279	0.375	0.375	1.35	OK	0.125
	9.5	167.58	123.44	34.05	0.276	0.375	0.375	1.36	OK	0.116
As2	10.5	184.73	130.78	33.27	0.254	0.226	0.226	0.89	NG	1.000
	11.5	201.39	137.63	34.11	0.248	0.226	0.226	0.91	NG	1.000

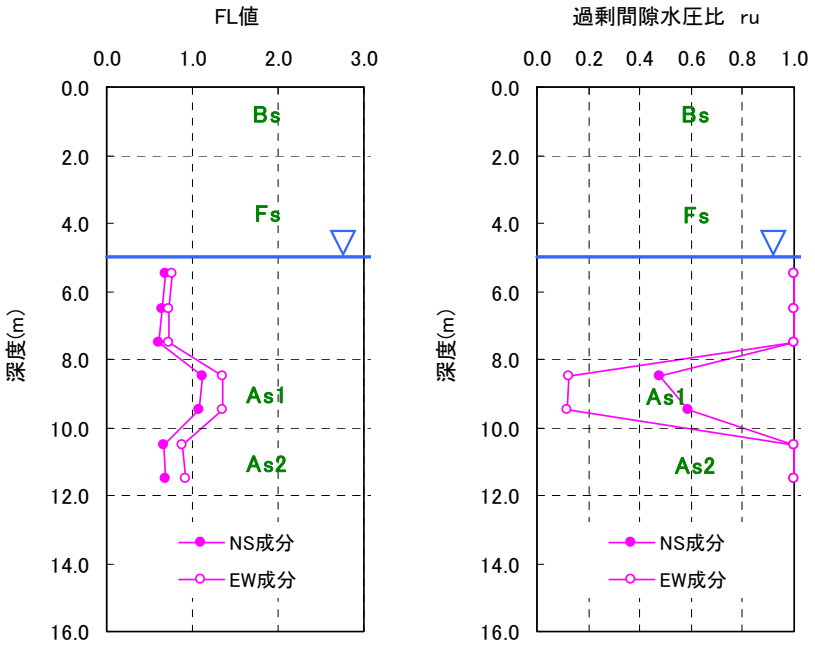


図 2.13　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

(6) D_{cy}の算定結果

「建築基礎構造設計指針」に基づき D_{cy} を算定する。但し、等価繰り返しせん断応力比については、等価線形解析から求められたせん断応力の時刻歴最大値 τ_{max} を用いる。等価繰り返しせん断応力比は、次式から求める。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d = r_n \frac{\tau_{max}}{\sigma'_z} \qquad (4)$$

r_n　：等価繰返し回数に関する補正係数（=0.1(M-1)）

M　：マグニチュード

σ'_z　：鉛直有効応力（kN/m^2）

上式から算定したD_{cy}、およびD_{cy}に対応する液状化の程度を表 2-14に併せて示す。なお、応力比および補正N値から求まる繰返しせん断ひずみ γ_{cy} が 0.5%より小さい場合は、一律 0.5%として計算する。補正N値と繰返しせん断ひずみの関係図を表 2-14に示す。

表 2-14　D_{cy} の算定結果

地震動	成分	GL-1.0m（原地盤）		GL-4.0m（地下水位低下量:3.0m）		GL-5.0m（地下水位低下量:4.0m）	
		cm	液状化の程度	cm	液状化の程度	cm	液状化の程度
東北地方太平洋沖地震	NS	6.5	小	4.0	軽微	3.5	軽微
	EW	15.0	中	4.0	軽微	3.5	軽微
東京湾北部地震	NS	20.5	大	13.0	中	9.0	小
	EW	20.5	大	9.0	小	7.0	小

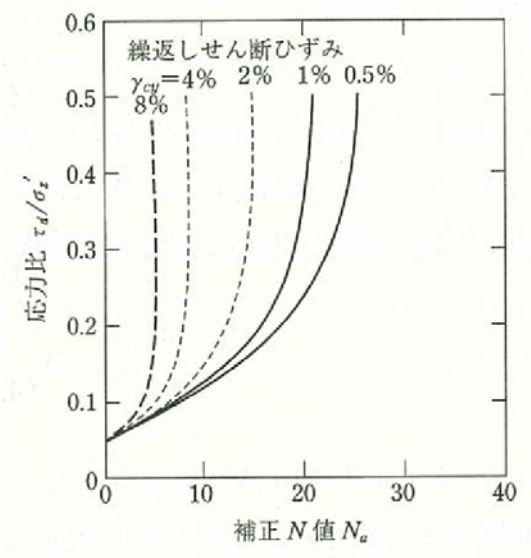


図 2.14　補正N値と繰返しせん断ひずみの関係

（出典：建築基礎構造設計指針　p.66　図 4.5.7）

3.　地盤の許容応力度算出

3.1　地下水位低下工法の許容支持力度算出方法

第 1 回委員会において、別添資料 1-3 で示された手順に準拠し、地盤の許容応力度を算出する。地盤の許容支持力の照査については、「**2. 液状化判定**」を考慮して、東北地方太平洋沖地震の EW 成分、かつ、地下水位低下量 3.0m および 4.0m の 2 ケースについて検討する。

別添資料 1-3 で示された地下水位上昇量算出手順を図 3.1に示す。

【計算手順】

(a)液状層における沈下量を Dcy 法により求める。

(b) この沈下量に相当する水体積が、As1 層から上部に移動することとし、その移動量（上昇水位）を上部層の間隙比と飽和度から求める。

(c)上昇した地下水位面の静水圧を過剰間隙水圧とする。

(d)液状化層からの浸透水力についても、過剰間隙水圧とする。

なお、この方法を採用するにあたっては、数値解析結果との比較により、当該方法が安全側に設定されていることの確認が必要である。

【算定条件(例)】

改良範囲 GL-0～7m	層厚	7	m
	間隙比	0.9	
	飽和度	80	%
液状化層 GL-7～9m	層厚	2	m
	間隙比	0.9	
	飽和度	100	%

【算定結果】

・Fs 層（GL-7.0～9.0m）の沈下量 ： S＝10cm

・地下水位上昇量 ： Δz＝1.0m

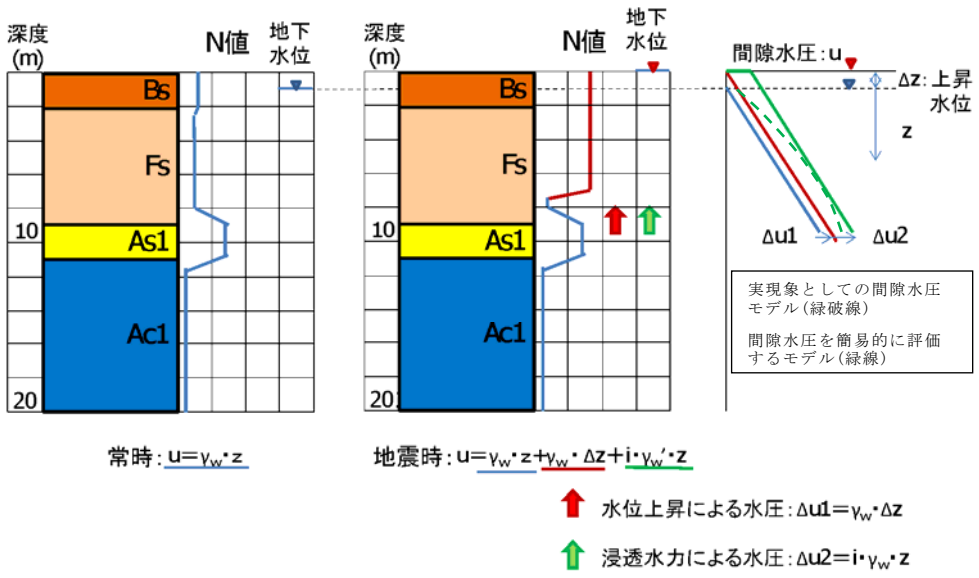


図 3.1　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

(1) 地震後の過剰間隙水圧消散による地下水位上昇量(Δz)

地下水位上昇量(Δz)の計算式を以下に示す。但し、以下の計算方法は、間隙比 e が同一の土層の場合に限る。

液状化時地下水位以深から排出される地下水の量は、以下の式より求める。

$$\frac{V_w}{V} = \frac{eSr}{1+e} = \frac{e}{1+e} \quad (5)$$

$$V = D_{cy} \times A \quad (6)$$

$$V_w = \frac{e}{1+e} D_{cy} A \quad (7)$$

V ：土の全体積
V_w ：水体積
e ：間隙比
S_r ：飽和度
D_{cy} ：沈下量
A ：土中の断面積

これより、地下水位以浅に侵入する地下水の量を次式より求める。

$$\frac{V_a}{V} = \frac{e(1-Sr)}{1+e} \quad (8)$$

$$V = \Delta z \times A \quad (9)$$

$$V_a = \frac{e(1-Sr)}{1+e} \Delta z A \quad (10)$$

V_a ：空隙の体積

空隙に水が浸入するので Vw=Va より、地下水位上昇量(Δz)は以下のようになる。

$$\Delta z = \frac{1}{1-S_r} D_{cy} \quad (11)$$

以上により算定した地下水位上昇量(Δz)を表 3-1に示す。なお、地下水位上昇量(Δz)を算定する際の飽和度 Sr は 80%と仮定する。

表 3-1 地下水位上昇量(Δz)の算定結果

地震動	成分	GL-1.0m（原地盤）	GL-4.0m（低下量:3.0m）	GL-5.0m（低下量:4.0m）
		cm	cm	cm
東北地方太平洋沖地震	NS	32.5	20.0	17.5
	EW	75.0	20.0	17.5
東京湾北部地震	NS	102.5	65.0	45.0
	EW	102.5	45.0	35.0

(2) 液状化層からの浸透水力

液状化層からの浸透水力は、1 次元非定常浸透流解析を実施することにより求める。なお、浸透流解析に用いる透水係数などの各種パラメータについては、**「4. 地下水位低下検討：浸透流解析」**と同様とする。

以下に計算手順を示す。

【計算手順】

(a) 初期の地下水位は、(1)において算出した水位上昇位置とする。（表 3-1参照）

(b) **「2. 液状化判定」**において算出した過剰間隙水圧を水頭値に換算し、圧力水頭の初期値として与える。1 次元土層モデルと過剰間隙水圧による圧力水頭の増加量の関係を図 3.2に示す。

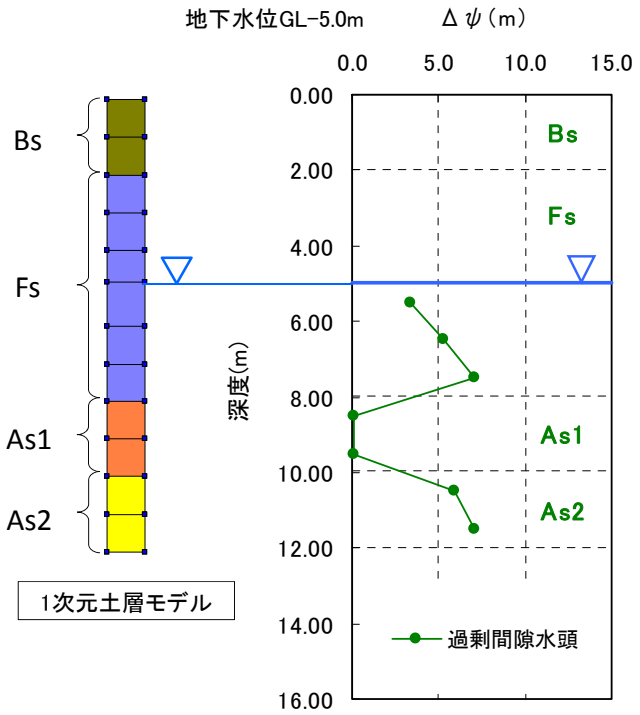


図 3.2　1 次元土層モデルと過剰間隙水圧による圧力水頭の増加量

（例：地下水位 GL-5.0m の場合）

(c) 非定常解析を行い、過剰間隙水圧差による浸透力の時刻歴を深度方向に求める。

(d) 図 3.3および図 3.4に示す動水勾配の深度方向分布から、上向きの浸透力が最も厳しくなる時間断面として 1 秒後の動水勾配の深度分布を用いて浸透力を算定する。なお、下向きの浸透力については安全側に考慮しないこととする。

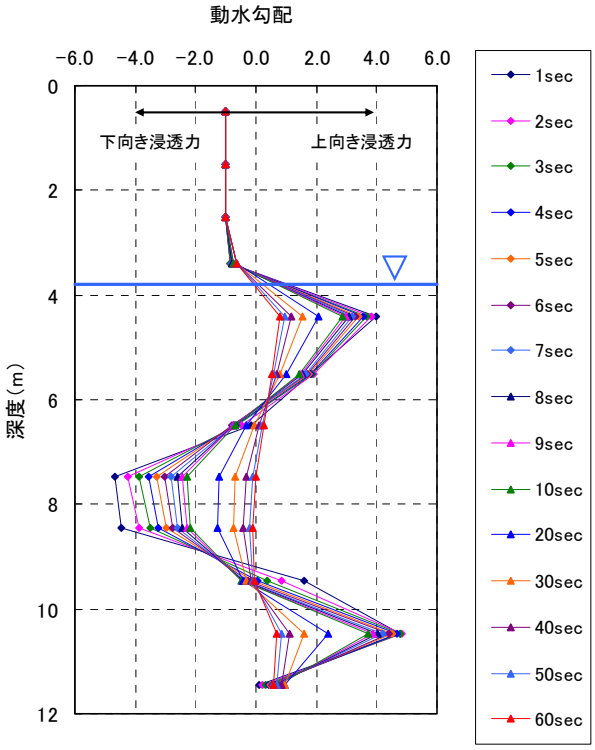


図 3.3　動水勾配の深度分布（地下水位 GL-4.0m の場合）

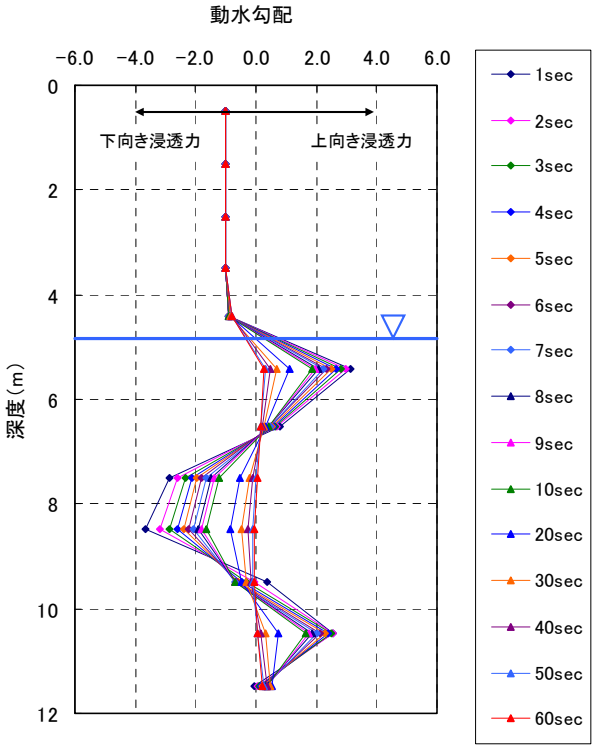


図 3.4　動水勾配の深度分布（地下水位 GL-5.0m の場合）

(1) 地震後の最小有効鉛直応力（検討中）

(1) および (2) より、液状化層からの浸透水力による過剰間隙水圧の算定結果と換算有効上載圧の算定結果を図 3.5および図 3.6 に示す。

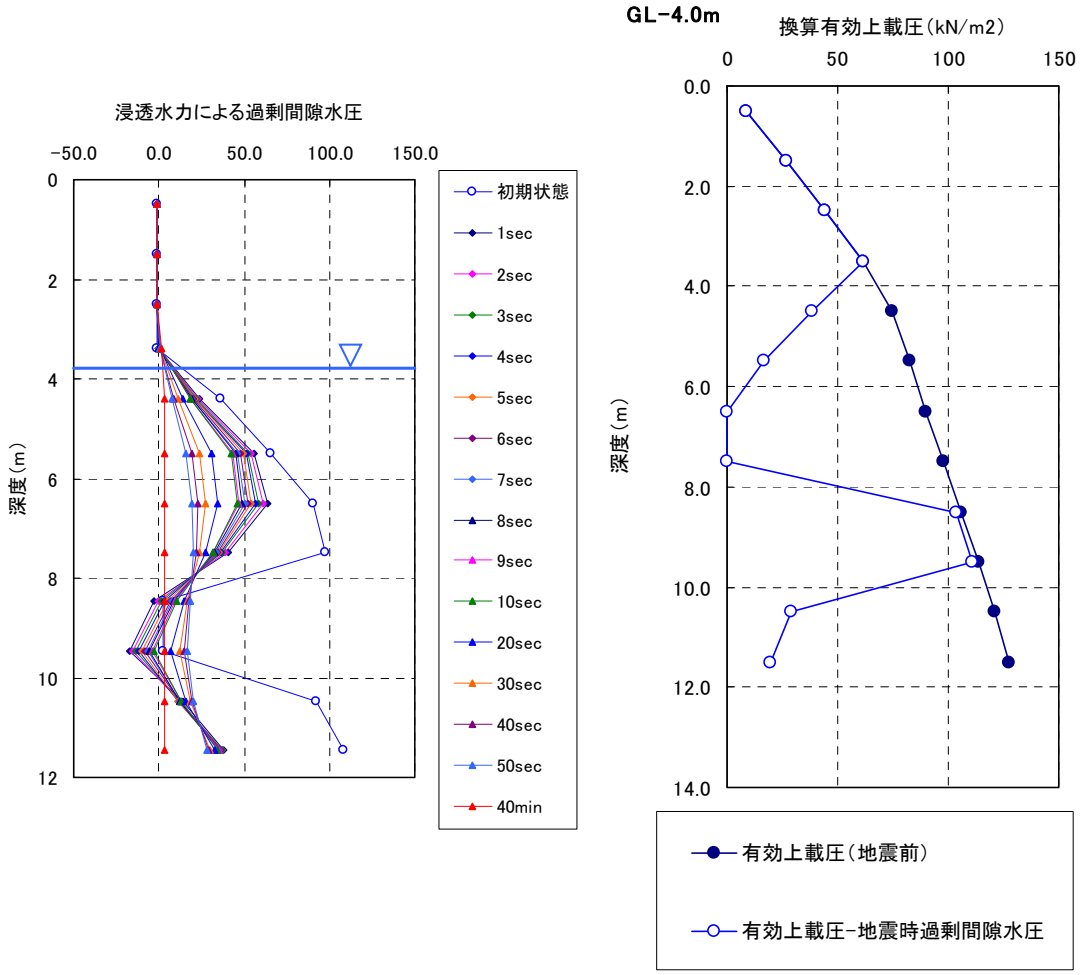


図 3.5　浸透水力による過剰間隙水圧の深度分布および換算有効上載圧の算定結果

（地下水位 GL-4.0m の場合）

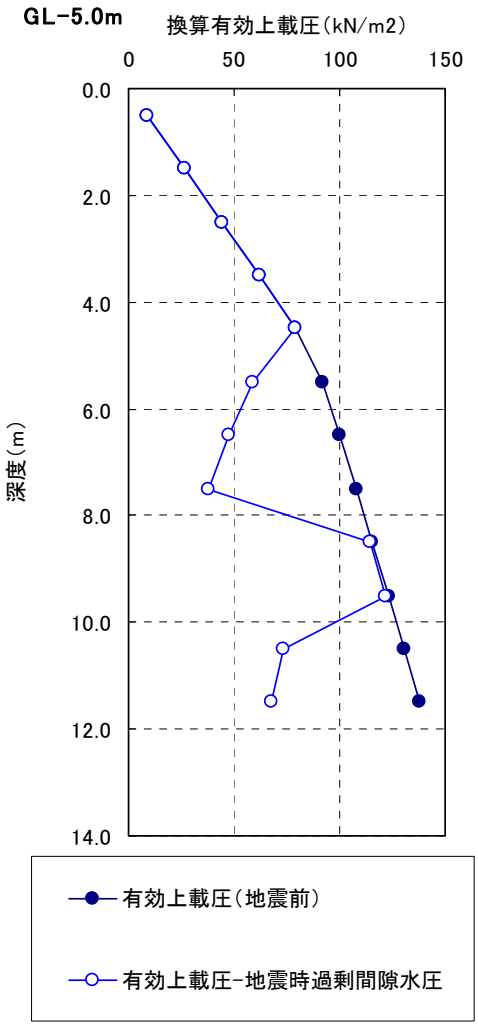


図 3.6　換算有効上載圧の算定結果（地下水位 GL-5.0m の場合）

(4) 地盤の許容応力度の検討（検討中）

別添資料 1-3 の許容応力度の算出方法例に基づき、地盤の許容応力度（図 3.7参照）について検討する。なお、支持力の検討は長期接地圧に対してのみ検討する。

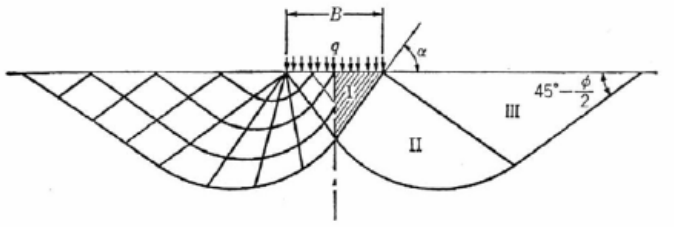


図 3.7　全般せん断破壊の概念図

(a) 図 3.5および図 3.6において求めた過剰間隙水圧消散時の有効鉛直鉛直応力深度分布から、換算単位体積重量を求める。

(b) 換算単位体積重量を用いて、国交告 1113 号第 2 に規定されている算定式より、短期の地盤の許容応力度を検討する。以下に短期の許容応力度の算出式を示す。なお、支持地盤および根入れ部分の単位体積重量は、換算単位体積重量とする。

$$q_a = \frac{2}{3}(i_c \alpha c N c + i_\gamma \beta \eta \gamma'' B N_\gamma + i_q \gamma'' D_f N_q) \qquad (12)$$

N_c, N_q, N_γ：支持力係数
c　：支持地盤の粘着力
γ''：支持地盤および根入れ部分の換算単位体積重量
α、β：基礎の形状関数
η　：基礎幅補正係数
B　：基礎幅
D_f　：根入れ深さ

(5) 地下水位低下時のパンチせん断の検討結果（検討中）

下部地盤が液状化するおそれがある場合等においては、図の赤線部に沿って砂層が破壊するパンチ破壊についても検討する。

パンチ破壊に対する短期許容支持力 R_a は、資料 No.2-6 に基づき検討する。

$$R_a = \frac{2}{3} R_f \tag{13}$$

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot K_0 \cdot \gamma'' \cdot H_1^2 \cdot \tan\phi \cdot (B + L) \cdot 2 \tag{14}$$

R_f ：パンチ面上の摩擦力
K_0 ：静止土圧係数
γ'' ：基礎荷重面下にある地盤の換算単位体積重量
r_u ：過剰間隙水圧比
H_1 ：基礎荷重下面の非液状化層厚摩擦考慮地盤の厚さ
ϕ ：内部摩擦角
B ：基礎幅
L ：基礎長さ

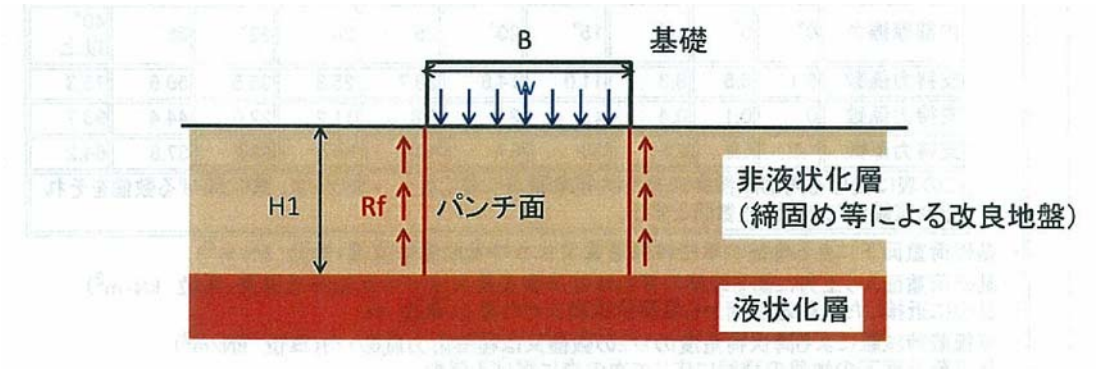


図 3.8 パンチ破壊の概念図

地下水位位置が GL-5.0m の場合、**「2.液状化判定」**より全深度の FL 値が 1.0 より大きいため、パンチ破壊の照査は省略する。

4.　地下水位低下検討：浸透流解析

3 次元非定常浸透流解析を実施することにより、地下水位低下過程の揚水量、および定常運転時の揚水量から、必要となる揚水井戸本数と配置を決定する。

本検討では、図 4.1に示す揚水井戸の配置に対する定常解析結果（地下水位を 3m 低下および 4m 低下させた場合の 2 ケース）、および非定常解析結果（地下水位を 3m 低下させた場合の 1 ケース）について示す。

4.1　解析方法

3 次元非定常浸透流解析は、下式に示す飽和・不飽和浸透の支配方程式に基づく。

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(K_r\left(K_{ij}{}^{S}\frac{\partial\psi}{\partial x_j}+K_{i3}{}^{S}\right)\right)-q=(\beta S_S+C)\frac{\partial\psi}{\partial t} \qquad (15)$$

ψ	：圧力水頭
q	：流出入流量（排出時 q>0）
C	：比水分容量
Ss	：比貯留係数
K^s	：飽和透水係数
K_r	：相対透水係数
q	：不飽和領域では β=0、飽和領域では β=1

なお、解析プログラムは 3 次元浸透流解析プログラム AC-UNSAF3D を用いる。

4.2　解析モデル

解析モデルは、図 4.1に示す検討対象モデル（500 棟モデル）に遮水壁を設けた平面範囲に基づき作成する。また、3 次元浸透流解析を行う際、地下水位低下による影響範囲を考慮したモデルを作成する必要があるが、Sichardt の経験式により影響範囲を推定し、遮水壁から 50m の範囲までを解析対象とした。

また、表 4-1に示す通り、GL-12.0m 以深の Ac1 層の透水係数が 5.1×10^{-6}(cm/sec)、かつ、層厚が 20m であることから、不透水層とみなしモデル化には反映しないこととする。

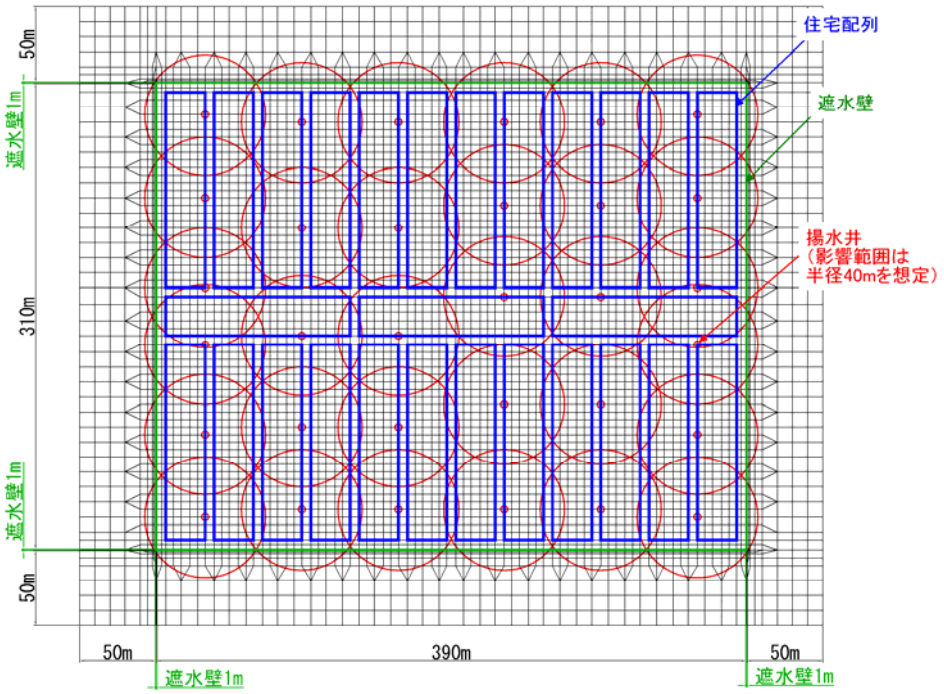


図 4.1　浸透流解析モデル（平面図）

4.3　解析パラメータの設定

(1)　基本物性値

3 次元浸透流解析に必要となる基本物性値を表 4-1に示す。なお、モデル化において遮水壁幅（平面長さ）は 1.0m とし、透水性は 1.0×10^{-6}(cm/sec)を 50cm 厚相当確保できるように設定する。

表 4-1　3 次元浸透流解析におけるパラメータ

土質名	層厚	N値	透水係数	間隙比	間隙率	比貯留係数
			k	e0	n	Ss
	m		cm/s	−	−	1/m
Bs	2	6	1.4E−03	0.794	0.443	4.9×10^{-4}
Fs	6	4	7.7E−04	1.019	0.505	4.9×10^{-4}
As1	2	15	7.4E−04	1.027	0.507	1.3×10^{-4}
As2	2	7	1.1E−04	1.246	0.555	4.9×10^{-4}
遮水壁	12	−	2.0E−06	−	−	−
Ac1	20	2	5.1E−06	−	−	−

(2)　比貯留係数

比貯留係数については、表 4-2に示す既往の文献を参考に設定する。各層の N 値から、Bs 層、Fs 層および As2 層をゆるい砂、As1 層を密な砂と判断する。各層に設定した比貯留係数は表 4-1に併せて示す。

表 4-2　比貯留係数の代表値（Domenico ら）

材質	Ss(1/m)
塑性粘土	2.0×10^{-2}～2.6×10^{-3}
締まった粘土	2.6×10^{-3}～1.3×10^{-3}
やや硬い粘土	1.3×10^{-3}～9.2×10^{-4}
ゆるい砂	1.0×10^{-3}～4.9×10^{-4}
密な砂	2.0×10^{-4}～1.3×10^{-4}
密な砂礫	1.0×10^{-4}～4.9×10^{-5}
割れ目のある岩石	6.8×10^{-6}～3.2×10^{-6}
固結岩石	3.2×10^{-6}　以下

(3)　不飽和浸透特性

水分特性曲線および比透水係数曲線の試験値は得られていないため、以下に示す van Genuchten の式（以下、VG モデル）から設定する。

$$\theta=\theta_r+\frac{\theta_s-\theta_r}{\left(1+|\alpha\phi|^n\right)^m} \tag{16}$$

$$k_r=\frac{k}{k_s}=S_e\left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2 \tag{17}$$

$$S_e=\frac{\theta-\theta_r}{\theta_s-\theta_r} \tag{18}$$

θ_s　　：飽和体積含水率
θ_r　　：最小容水量
k_r　　：比透水係数（cm/sec）
k　　：不飽和透水係数（cm/sec）
k_s　　：飽和透水係数（cm/sec）
α,m,n　：VG モデルパラメータ

地下水位低下の対象層である、Bs 層、Fs 層、As1 層および As2 層は、透水係数が 1.0×10^{-3}～1.0×10^{-4}(cm/sec)、また、細粒分含有率 Fc が 15%以下の砂質土であることから、VG モデルの各パラメータは既往の文献を参考に、α=5.74（1/m）、n=1.629 とした。VG モデルにより設定した、不飽和浸透特性を図 4.2に示す。

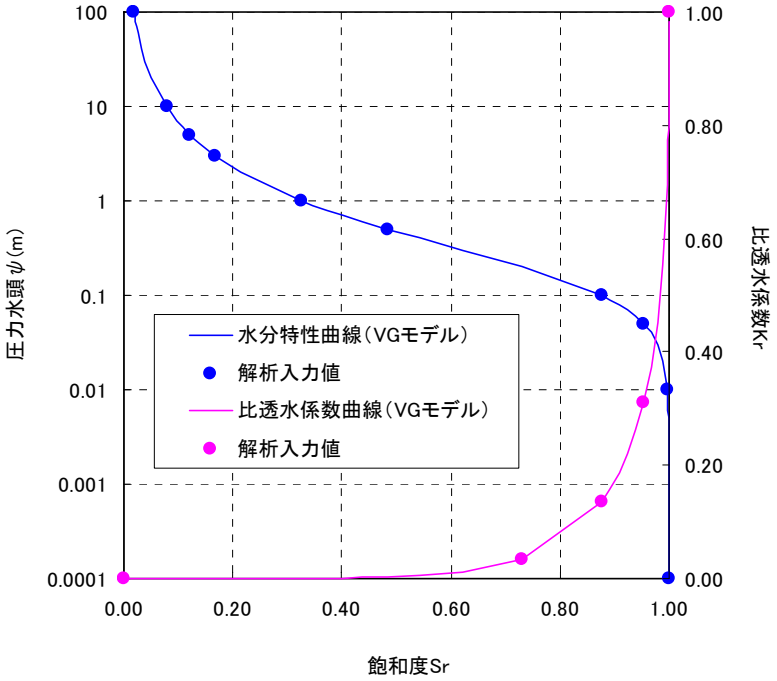


図 4.2　解析に用いる不飽和浸透特性

4.4　定常解析（地下水位低下量 3.0m）

(1)　解析条件

a)　揚水井戸の水位

地下水位低下量を区画範囲全体で 3.0m とする場合、揚水井戸水位を以下の通り設定する。

・4 隅の揚水井戸：GL-5.5m における圧力水頭 ϕ=0（地下水位低下量 4.5m）
・上記以外の揚水井戸：GL-5.0m における圧力水頭 ϕ=0（地下水位低下量 4.0m）

b)　モデル外周

モデル外周は水頭固定境界（地下水位 GL-1.0m）とする。

(2)　定常解析結果

a)　圧力水頭コンター図

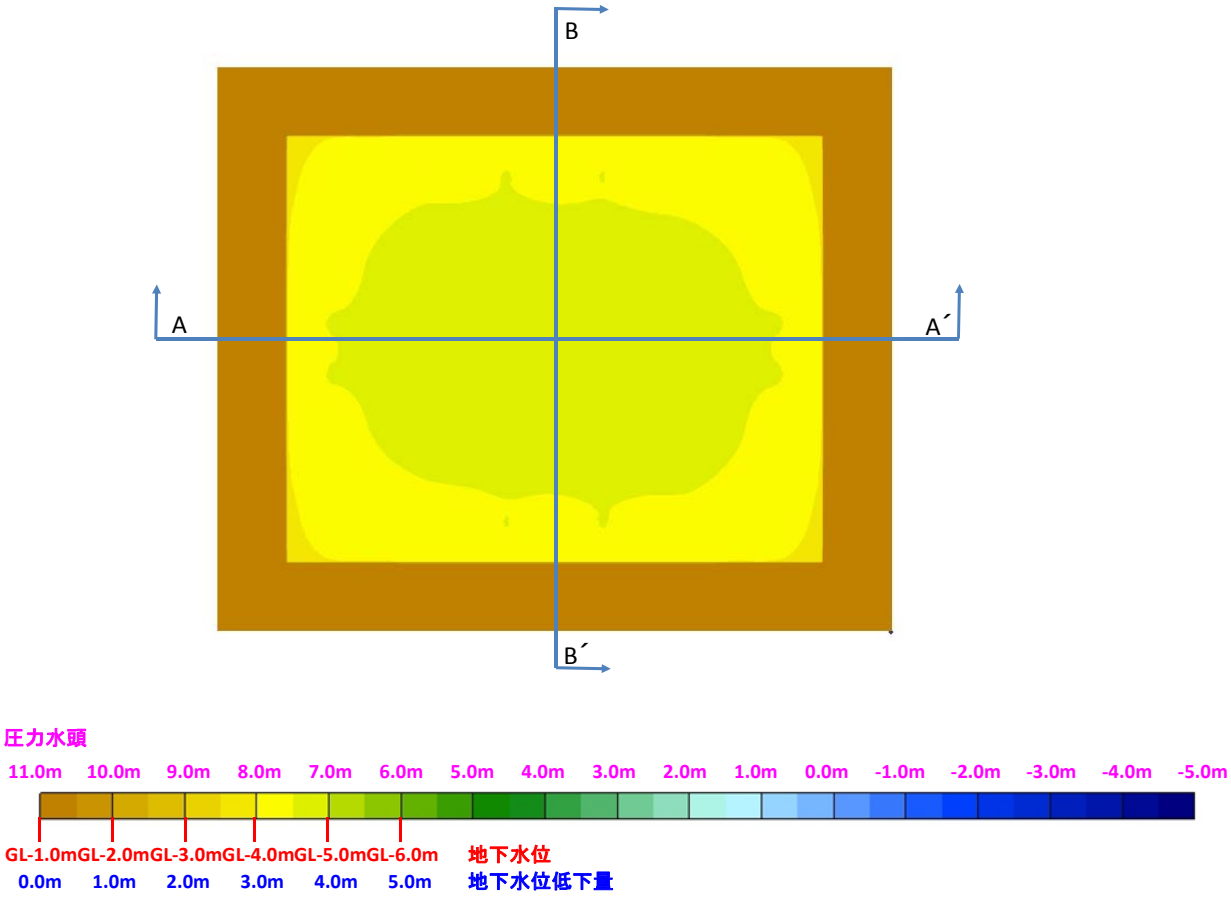


図 4.3　圧力水頭コンター平面図（モデル下端 GL-12.0m）

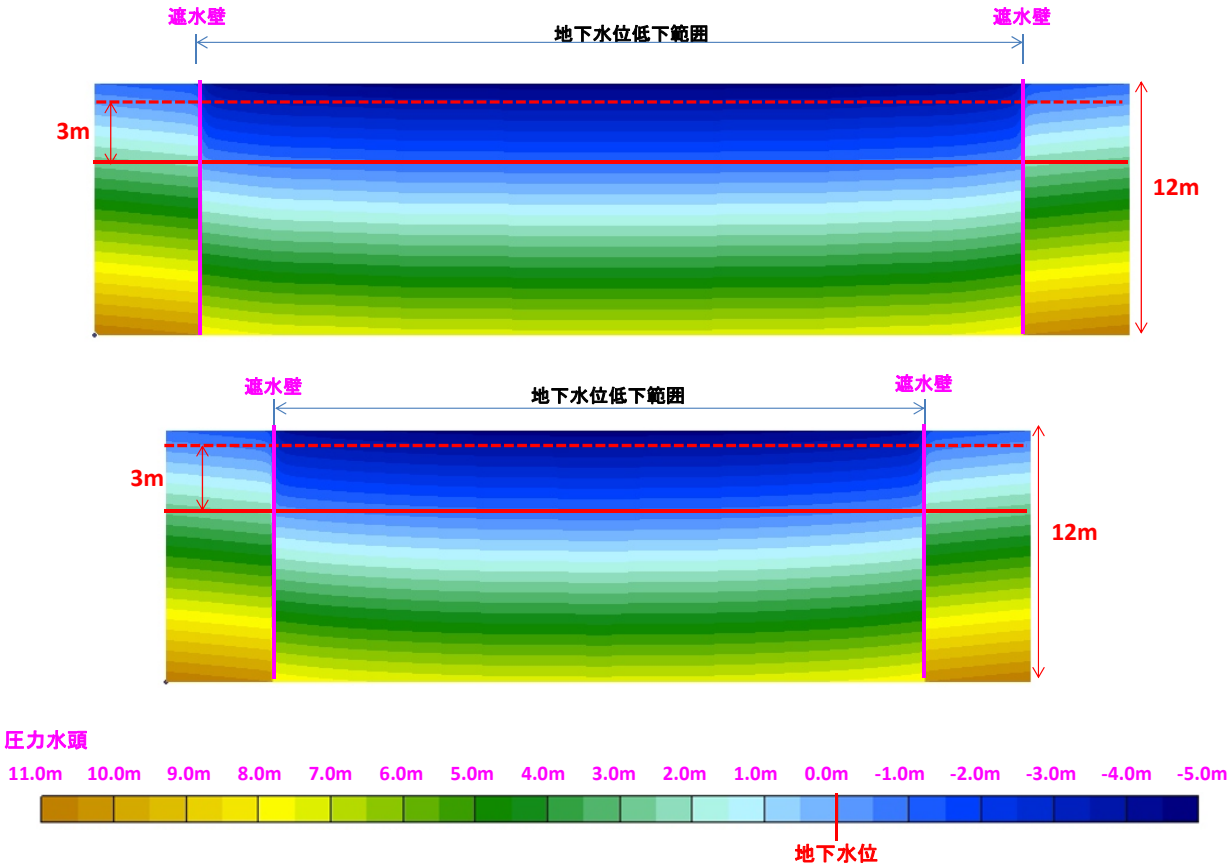


図 4.4　圧力水頭コンター断面図（上：A-A’断面、下：B-B’断面）

b）定常時揚水量の算定結果

定常時の揚水量は、各揚水井戸によって異なるが、4 隅の揚水井戸の揚水量は、3.3～3.4（L/min）4 隅以外の揚水量は 0.5～1.7（L/min）となり、定常時の全体揚水量は 70.5m^3/day（49.0 L/min）となった。

4.5　定常解析（地下水位低下量 4.0m）

(1)　解析条件

a)　揚水井戸の水位

地下水位低下量を区画範囲全体で 4.0m とする場合、揚水井戸水位を以下の通り設定する。

・最外縁の揚水井戸：GL-7.0m における圧力水頭 ϕ=0（地下水位低下量 6.0m）

・上記以外の揚水井戸：GL-6.0m における圧力水頭 ϕ=0（地下水位低下量 5.0m）

b)　モデル外周

モデル外周は水頭固定境界（地下水位 GL-1.0m）とする。

(2)　定常解析結果

a)　圧力水頭コンター図

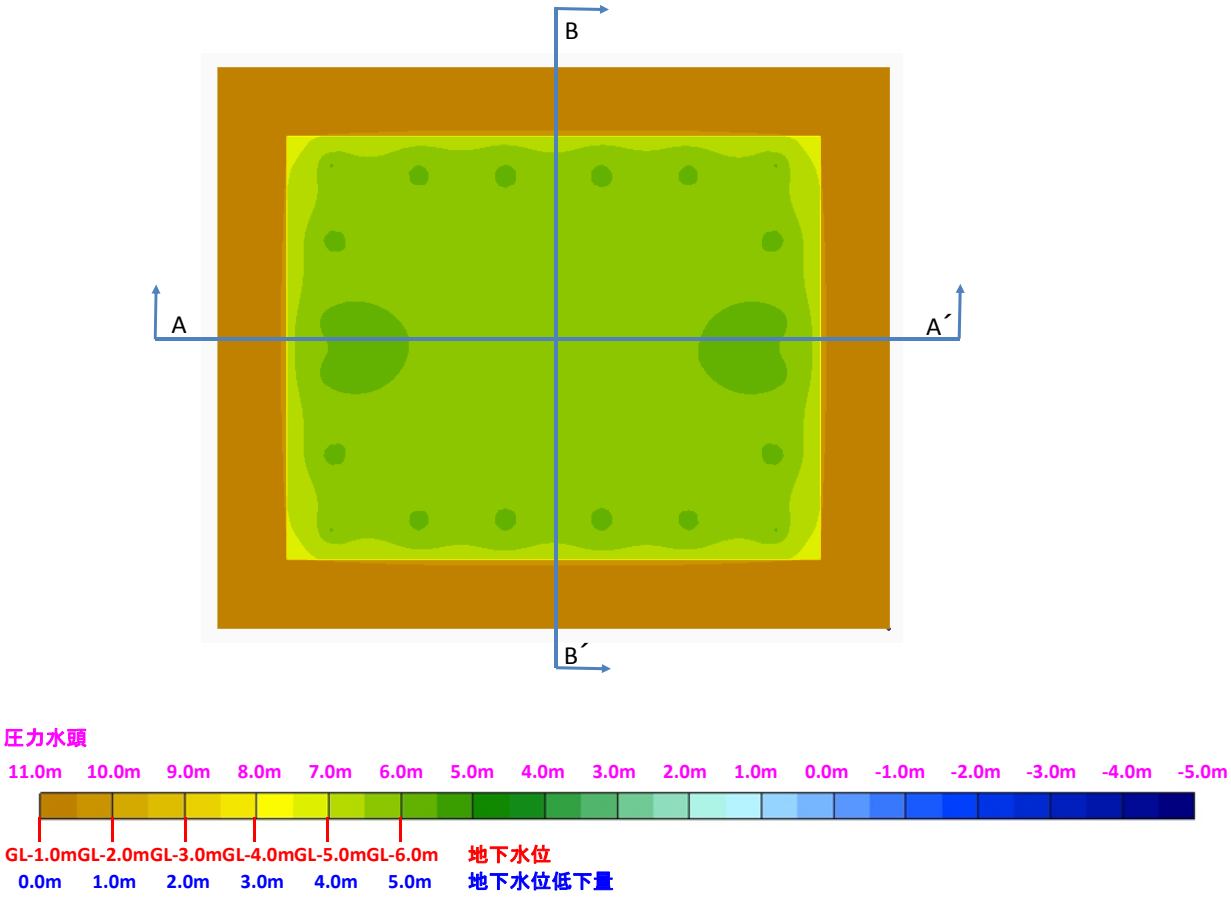


図 4.5　圧力水頭コンター平面図（モデル下端 GL-12.0m）

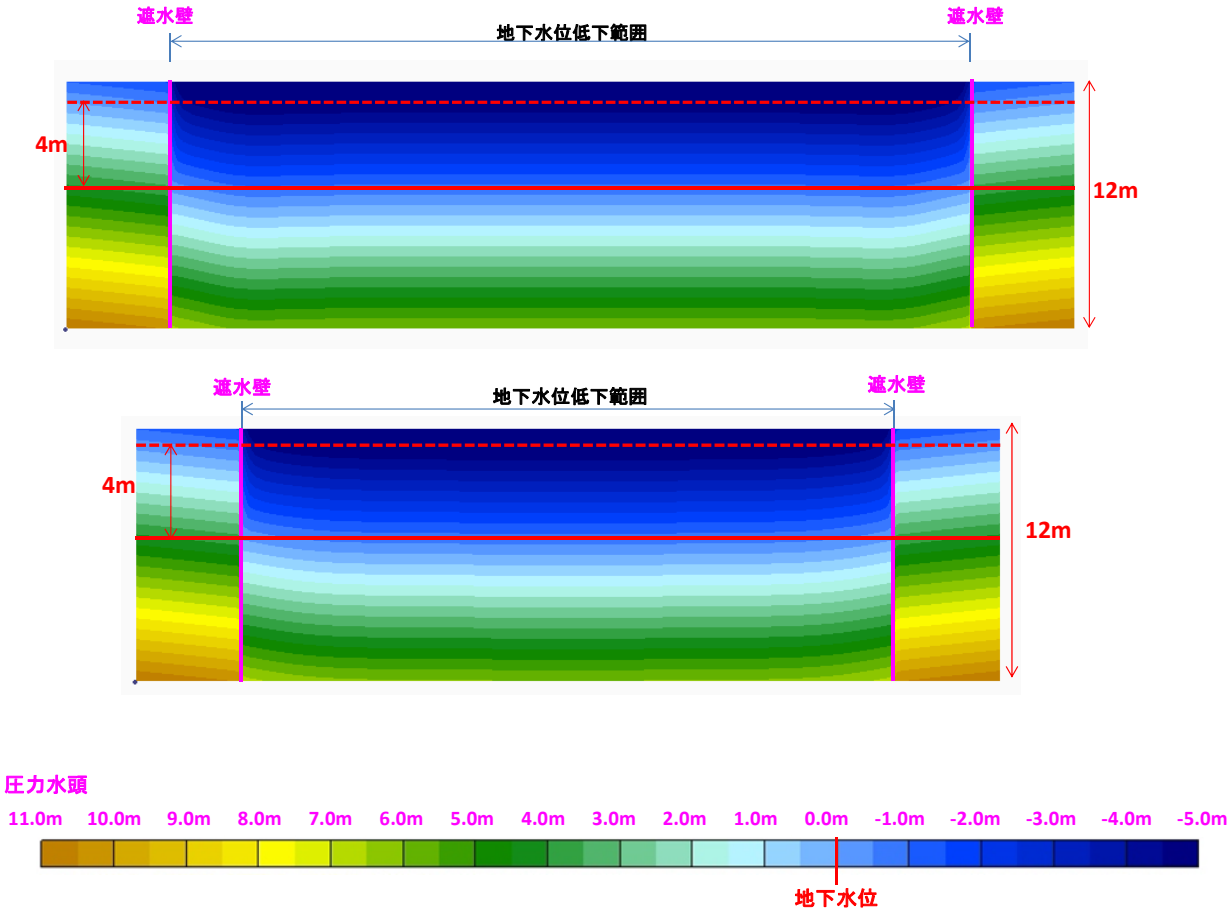


図 4.6　圧力水頭コンター断面図（上：A-A’断面、下：B-B’断面）

b)　定常時揚水量の算定結果

定常時の揚水量は、各揚水井戸によって異なるが、最外縁の揚水井戸の揚水量は、2.7～4.2（L/min）、最外縁以外の揚水量は 0.1（L/min）程度となり、定常時の全体揚水量は 94.0m^3/day（65.3L/min）となった。

4.6　非定常解析

(1)　解析条件

a)　揚水井戸の条件

揚水井戸の条件は、ディープウェルのストレーナを GL-10.0m まで設置することとし、GL-10.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

b)　モデル外周

モデル外周は水頭固定境界（地下水位 GL-1.0m）とする。

(2)　非定常解析結果（圧力水頭コンター図）

揚水開始から 90 日後及び 180 日後の圧力水頭コンター平面図を図 4.7に、圧力水頭コンター断面図を図 4.8、図 4.9にそれぞれ示す。図 4.7～図 4.9より、本検討における条件下では、90 日後に 2m 程度、180 日後に 3m 程度の地下水位低下量が予想される。

したがって、90 日後の地下水位低下量を 3m あるいは 4m とする場合には、揚水井戸 1 本あたりの影響範囲を見直し、図 4.1に示す揚水井戸の本数を増やす必要があると考えられるため、継続して検討する予定である。

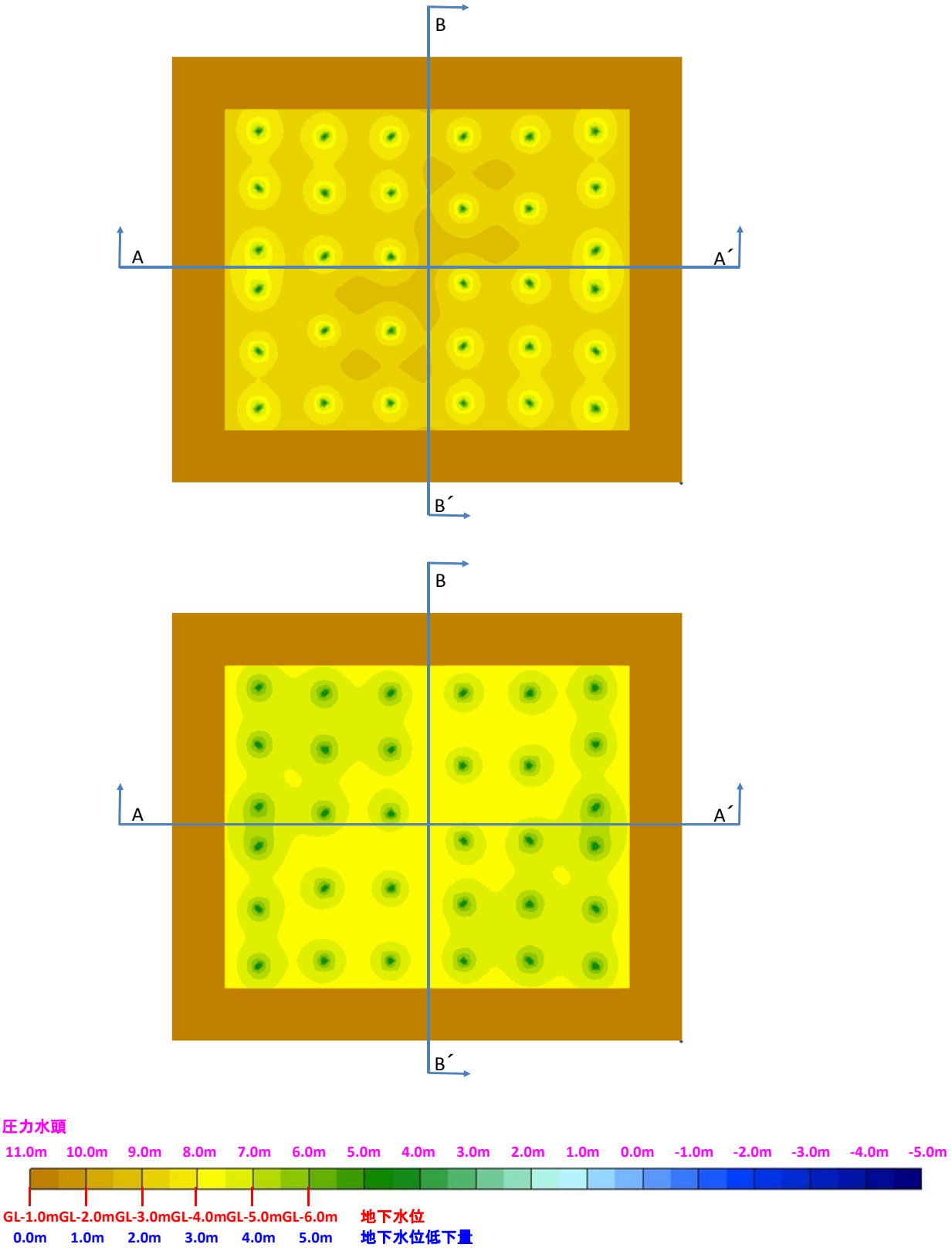


図 4.7　圧力水頭コンター平面図（モデル下端 GL-12.0m、上:90 日後、下：180 日後）

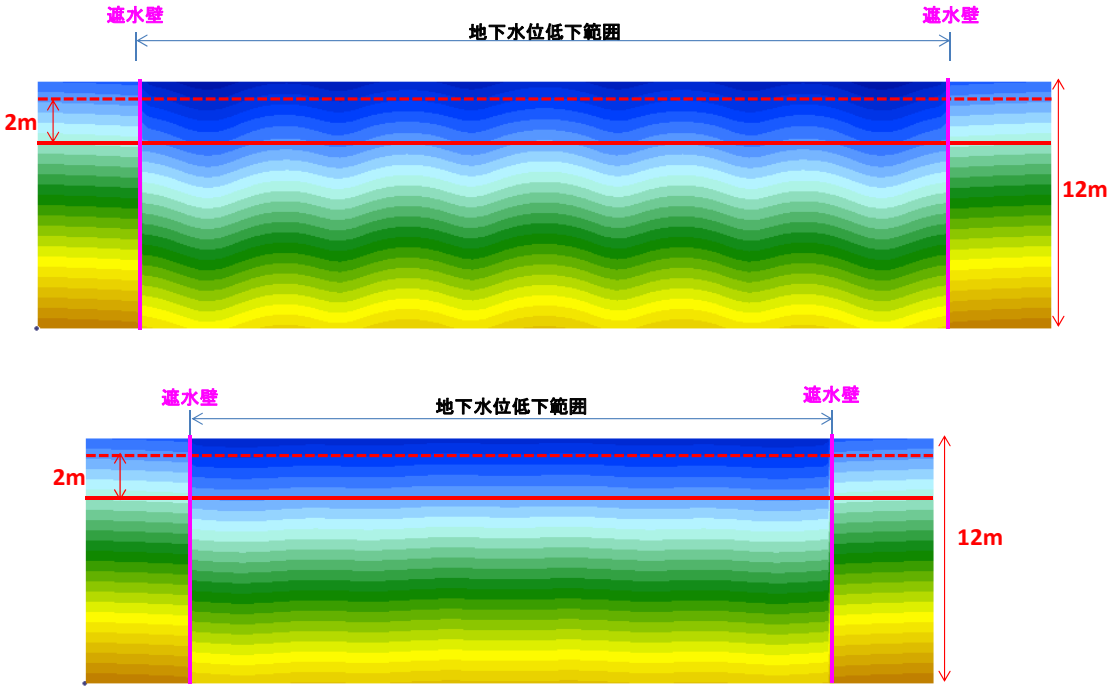


図 4.8　90 日後 圧力水頭コンター断面図（上：A-A’断面、下：B-B’断面）

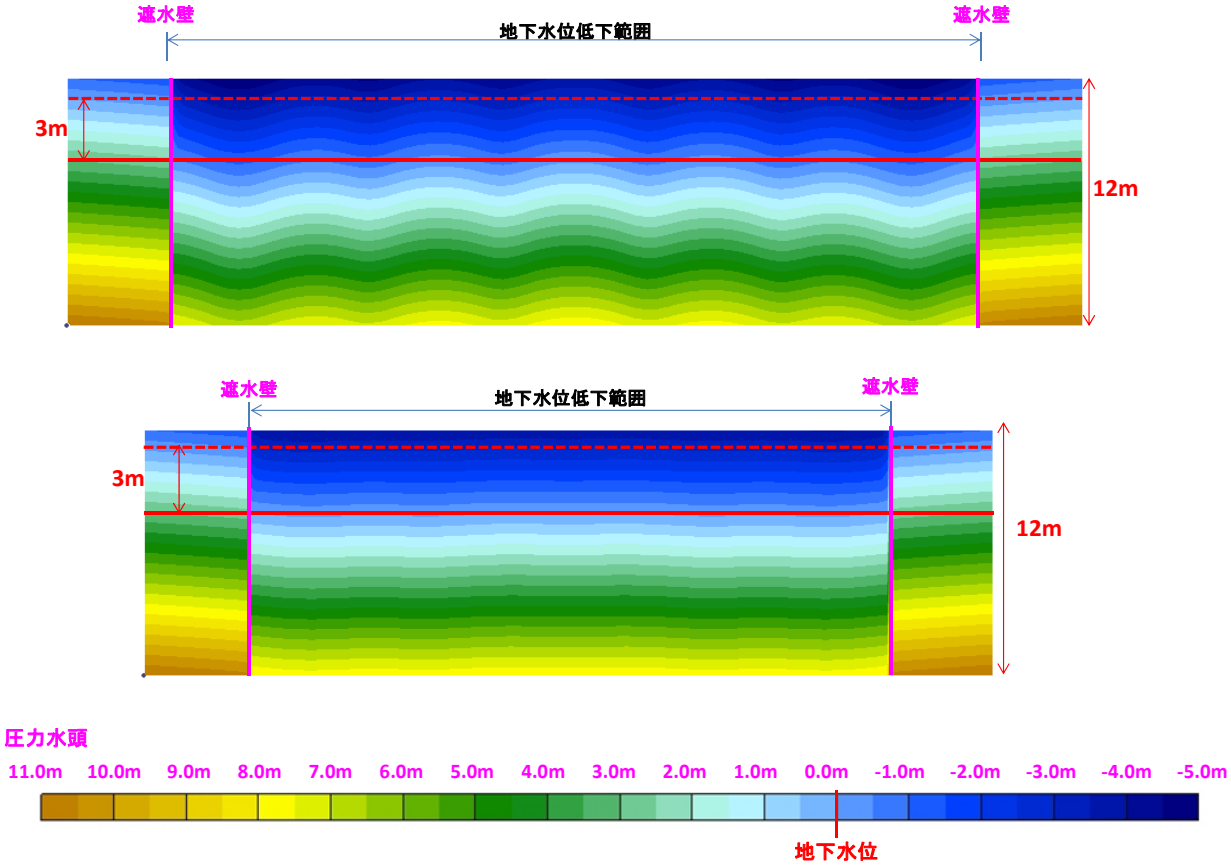


図 4.9　180 日後 圧力水頭コンター断面図（上：A-A’断面、下：B-B’断面）

5. 地下水位低下による圧密沈下検討

5.1 解析方法

地下水位の低下に伴い、有効上載圧が増加するため、粘性土の圧密沈下が懸念される。2 次元弾粘塑性 FEM 解析を実施することにより、圧密沈下量を確認する。

解析プログラムは、土/水連成 FEM 解析の DACSAR を用いる。DACSAR は弾粘塑性構成則に関口・太田モデルを用いている。なお、関口・太田モデルは Cam-Clay モデルを修正し、初期に異方圧密状態にある自然堆積粘土の異方性と主応力の回転に伴う塑性ひずみの表現、また、二次圧密やクリープ・リラクセーションといった粘土の時間依存性挙動の表現が可能となる。関口・太田モデルの降伏関数を以下に示す。

$$f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \frac{p'}{p_0'} + D\eta^* - \alpha \ln \left[\frac{t_0}{t} \left\{ \exp\left(\frac{\varepsilon_v{}^p}{\alpha} \right) - 1 \right\} \right] = 0 \qquad (19)$$

関口・太田モデルは体積変化を等方的な応力による体積変化（圧密）と、せん断応力による体積変化（ダイレタンシー）に分けて表現している点、降伏関数および硬化/軟化パラメータを塑性体積ひずみ $\varepsilon_v{}^p$ によって表現している点では Cam-Clay モデルと同様である。

5.2 解析モデル

圧密解析を実施する検討断面を図 5.1に、解析用のメッシュを図 5.2にそれぞれ示す。

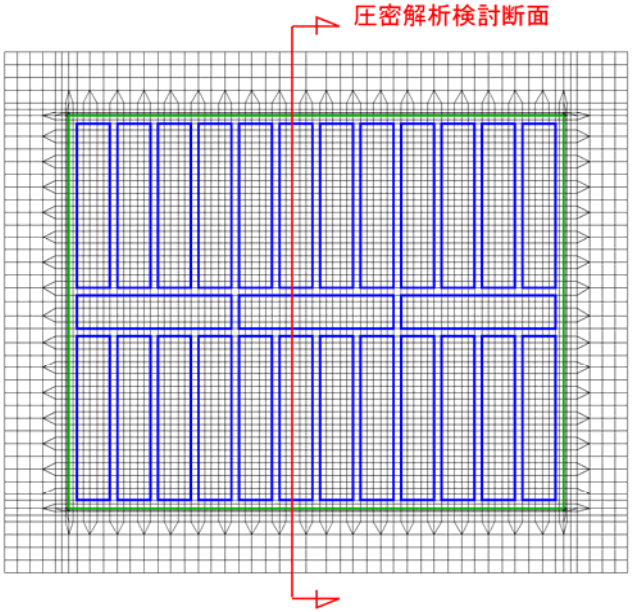


図 5.1　圧密解析検討断面

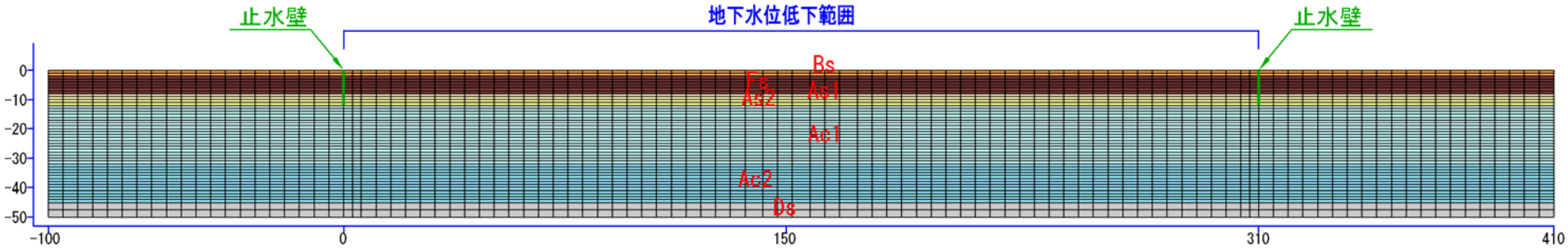


図 5.2　圧密解析用メッシュ

資料No.2-2

5.3　解析条件

(1)　基本物性値

基本物性値は、H23 年度の土質試験結果から設定することを基本とするが、Ac1 層および Ac2 層の圧密特性などの物性値については、**「平成 22 年度　仮称浦安市立第 9 中学校建設地質調査業務委託」**における試験結果を参考に設定する。なお、同報告書における、Ylc1 層、Ylc2 層、Nas 層および Nac2 層の土層分類に対して、サンプリング深度、N 値などの物性値と、本検討のモデル地盤の物性値を比較することで試験結果を参照している。

表 5-1　基本物性値

土層		層厚	N値	飽和・湿潤単位体積重量	水中単位体積重量	原地盤における間隙比	塑性指数	圧縮指数	過圧密比	透水係数
				γsat or γt	γ'	ei	IP	Cc	OCR	k
				kN/m3	kN/m3	–	–	–	–	cm/sec
Bs		2	6	17.6	7.8	0.790	–	–	–	1.4E-03
Fs		6	4	17.6	7.8	1.020	–	–	–	7.7E-04
As1		2	15	17.6	7.8	1.030	–	–	–	7.4E-04
As2		2	7	16.7	6.9	1.250	–	–	–	1.1E-04
Ac1	Ac1-1※1	6	2	14.7	4.9	1.534	31.3	0.525	1.25	5.1E-06
	Ac1-2※2	5	2	14.7	4.9	2.491	50.2	1.153	1.00	5.1E-06
	Ac1-3※3	5	2	14.7	4.9	1.833	33.6	0.714	1.00	5.1E-06
	Ac1-4※4	4	2	14.7	4.9	1.758	39.6	0.668	1.16	5.1E-06
Ac2※5		13	14	14.7	4.9	2.608	51.7	0.986	1.78	2.8E-06
Ds		5	74	19.6	9.8	–	–	–	–	2.2E-03

※1　「平成22年度　仮称浦安市立第9中学校建設地質調査業務委託」における**Ylc1上層**の試験結果を参照
※2　「平成22年度　仮称浦安市立第9中学校建設地質調査業務委託」における**Ylc1中層**の試験結果を参照
※3　「平成22年度　仮称浦安市立第9中学校建設地質調査業務委託」における**Ylc1下層**の試験結果を参照
※4　「平成22年度　仮称浦安市立第9中学校建設地質調査業務委託」における**Ylc2層**の試験結果を参照
※5　「平成22年度　仮称浦安市立第9中学校建設地質調査業務委託」における**Nac2層**の試験結果を参照

「平成 22 年度　仮称浦安市立第 9 中学校建設地質調査業務委託」より抜粋

ボーリングNo.1地点　　地下水位 GL－ 1.70 m

地層区分	基底深度 (GL-m)	層厚 (m)	湿潤密度 (kN/m³)	全土圧 (kN/m²)	有効土圧 (kN/m²)	初期間隙比 eo	圧縮指数 Cc	圧密降伏応力 Pc(kN/m²)
Bs	1.40	1.40	18.00	12.60	12.60			
Bc	6.70	5.30	16.50	68.93	45.87			
Yus	14.90	8.20	18.00	186.45	97.18			
Ylc1上	21.00	6.10	15.50	307.53	148.11	1.534	0.525	185.6
Ylc1中	26.00	5.00	15.50	393.55	179.69	2.491	1.153	160.1
Ylc1下	31.75	5.75	15.50	476.86	210.28	1.833	0.714	175.5
Ylc2	35.80	4.05	16.00	553.83	239.17	1.758	0.668	277.1
Nas	36.50	0.70	18.00	592.53	254.57			
Nac2	41.80	5.30	14.50	637.25	269.87	2.608	0.986	481.4

(2) 解析パラメータの設定方法

圧密解析に必要となる解析パラメータとその設定方法について表 5-2にまとめて示す。

表 5-2 解析パラメータの設定方法

解析用パラメータ			パラメータ設定方法
初期応力解析	ヤング係数(kN/m2)	E	・E=700N
	原地盤における静止土圧係数	Ki	・$Ki=K_0(OCR)^{0.54\exp(-Ip/122)}$【Alpan(1967)】
圧密解析	圧縮指数	λ	・λ＝0.434Cc
	膨潤指数	κ	・κ＝0.434Cs ※CsはCcの1/10とする。
	先行時の間隙比	e0	・試験値（ei、OCR、Cc）から設定
	クリティカルステート・パラメータ	M	・非可逆比Λ＝1−κ／λを用いてΛ＝M/1.75【軽部(1975)】
	ダイレイタンシー係数	D	・D＝(λ−κ)/(M(1+e_0))
	先行時の静止土圧係数	K0	・M＝6sinΦ'/(3−sinΦ')から内部摩擦角Φ'を算出し、K_0＝1−sinΦ'【Jaky(1944)】
	ポアソン比	ν	・ν＝K_0/(1+K_0)で設定
	二次圧密係数	α	・α＝0.434Cα/(1+e_0) ・Cα＝0.04Cc ※一般的にCα=0.03～0.05Cc（港湾基準ではCα=0.04Cc）
	基準時間(day)	t0	・解析モデルにおける標準的なメッシュ高さ1mと標準圧密試験の供試体高さ（≒0.02m）により$t0=(1/0.02)^2tc$＝2500tcで補正して設定
	初期体積ひずみ速度（1/day）	v0・	・v_0＝α/t_0

※【】内は参考文献を示す。

(3) 解析パラメータ

a) 初期応力解析

初期応力解析に必要となる解析用物性値を表 5-3に示す。

表 5-3 初期応力解析用物性値

土層	モデル	ヤング係数	ポアソン比	原位置における静止土圧係数
		E	ν	Ki
		kN/m2	–	–
Bs	弾性モデル	4200	0.333	0.50
Fs	弾性モデル	2800	0.333	0.50
As1	弾性モデル	10500	0.333	0.50
As2	弾性モデル	4900	0.333	0.50
Ac1-1	弾性モデル	1400	0.333	0.42
Ac1-2	弾性モデル	1400	0.333	0.38
Ac1-3	弾性モデル	1400	0.333	0.38
Ac1-4	弾性モデル	1400	0.333	0.41
Ac2	弾性モデル	9800	0.333	0.51
Ds	弾性モデル	51800	0.333	0.50

b) 圧密解析

圧密解析に必要となる解析用物性値を表 5-4に示す。

表 5-4 圧密解析用物性値

土層	モデル	ヤング係数	ポアソン比	原位置における静止土圧係数	水平方向透水係数	鉛直方向透水係数
		E	ν	Ki	kx	kz
		kN/m2	–	–	m/day	m/day
Bs	弾性モデル	4200	0.333	0.50	1.18E+00	1.18E+00
Fs	弾性モデル	2800	0.333	0.50	6.64E-01	6.64E-01
As1	弾性モデル	10500	0.333	0.50	6.42E-01	6.42E-01
As2	弾性モデル	4900	0.333	0.50	9.52E-02	9.52E-02
Ds	弾性モデル	51800	0.333	0.50	1.87E+00	1.87E+00

土層	モデル	圧縮指数	膨張指数	原位置における静止土圧係数	水平方向透水係数	鉛直方向透水係数
		λ	κ	Ki	kx	kz
		–	–	–	m/day	m/day
Ac1-1	弾粘塑性モデル	0.228	0.023	0.42	4.41E-03	4.41E-03
Ac1-2	弾粘塑性モデル	0.501	0.050	0.38	4.41E-03	4.41E-03
Ac1-3	弾粘塑性モデル	0.310	0.031	0.38	4.41E-03	4.41E-03
Ac1-4	弾粘塑性モデル	0.290	0.029	0.41	4.41E-03	4.41E-03
Ac2	弾粘塑性モデル	0.428	0.043	0.51	2.43E-03	2.43E-03

土層	クリティカルステート・パラメータ	過圧密比	ポアソン比	ダイレイタンシー係数	先行時の間隙比	先行時の静止土圧係数	二次圧密係数	初期体積ひずみ速度
	M	OCR	ν	D	e0	K0	α	v_0
	–	–	–	–	–	–	–	1/day
Ac1-1	1.575	1.25	0.273	0.052	1.529	0.38	3.60E-03	1.44E-06
Ac1-2	1.575	1.00	0.273	0.081	2.549	0.38	5.64E-03	2.26E-06
Ac1-3	1.575	1.00	0.273	0.061	1.889	0.38	4.29E-03	1.72E-06
Ac1-4	1.575	1.16	0.273	0.060	1.754	0.38	4.21E-03	1.68E-06
Ac2	1.575	1.78	0.273	0.068	2.583	0.38	4.78E-03	1.91E-06

(4) 初期条件および境界条件

初期応力解析および圧密解析における境界条件は以下の通りとする。

・モデル下端　：完全固定
・モデル側面　：鉛直ローラー
・地下水位　　：排水境界

(5) 解析ステップ

地下水位の低下量は、3.0m および 4.0m として計算する。また、地下水位の経時変化は、下記の期間で一定に低下させることとしてステップ解析を実施する。

・地下水位低下量 3.0m の場合：100 日（約 3 ヶ月）　180 日（約半年）
・地下水位低下量 4.0m の場合：100 日（約 3 ヶ月）　180 日（約半年）

5.4 解析結果

表 5-5に各解析ケースの沈下量を示す。それぞれのケースにおいて、1 次圧密終了時の沈下量（地下水低下時に発生した最大過剰間隙水圧の 90%消散時）及び供用期間である 7000 日後の沈下量を示す。

表 5-5　各解析ケースの沈下量

地下水低下量	低下期間	一次圧密 終了時 沈下量(mm)	7000日後の 沈下量 (mm)
3m	100日	159	274
3m	180日	178	278
4m	100日	229	373
4m	180日	222	375

5.5　圧密解析結果（地下水位低下量：3.0m、低下期間：100 日）

(1)　過剰間隙水圧の消散過程

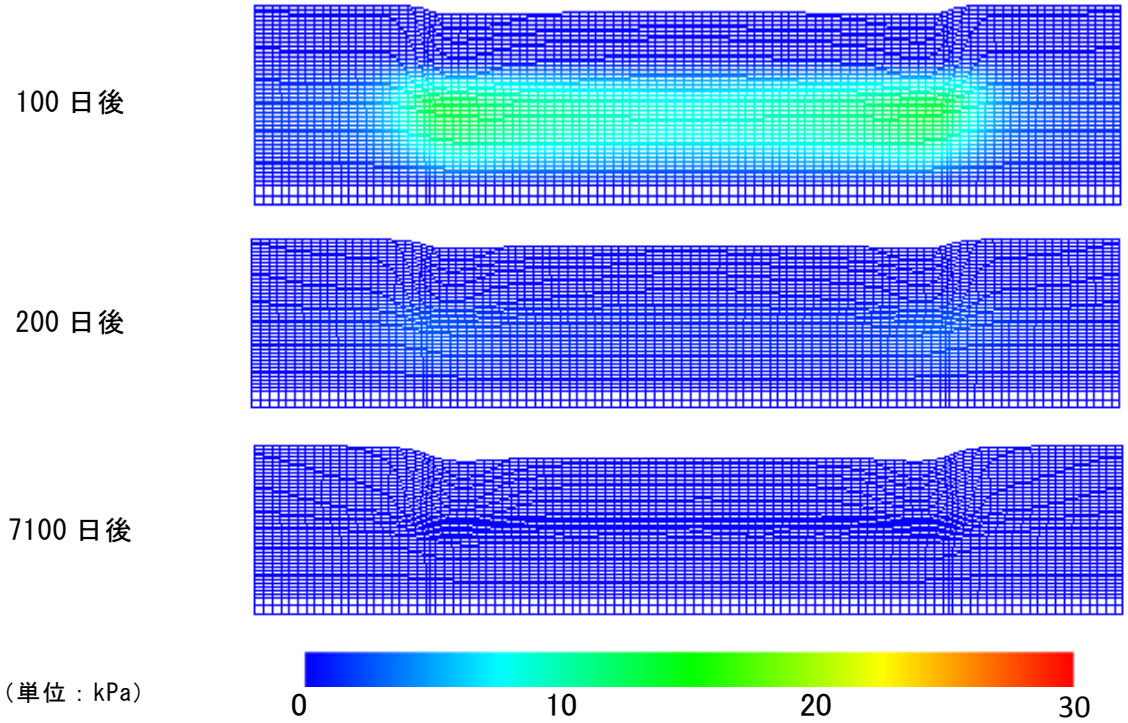


図 5-3　過剰間隙水圧コンター図

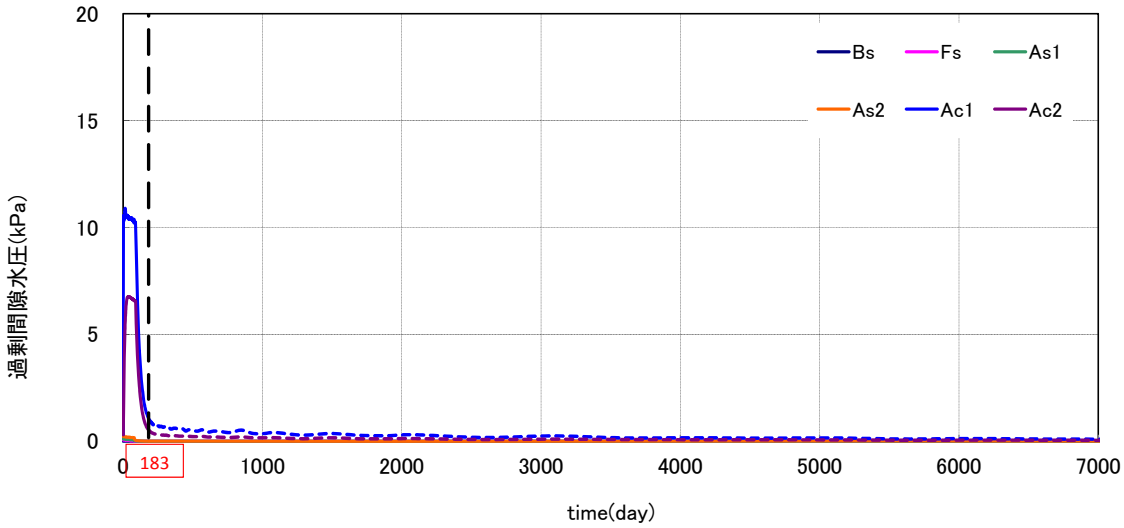
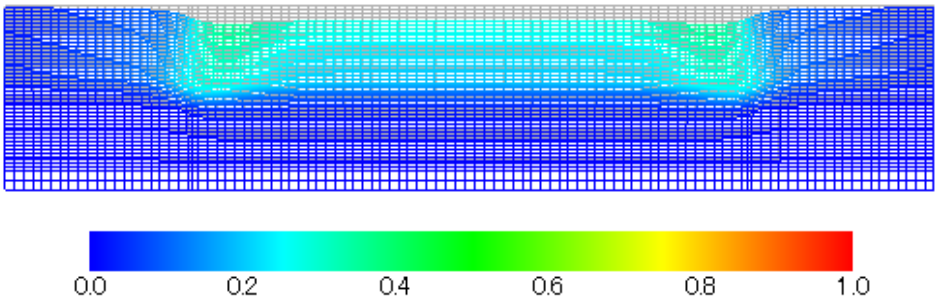


図 5-4　過剰間隙水圧時刻歴

(2) 沈下量の算定結果（地下水位低下量：3.0m、低下期間：100 日）

7100 日後



（単位：m）

図 5-5 変形図（変形倍率：15 倍）

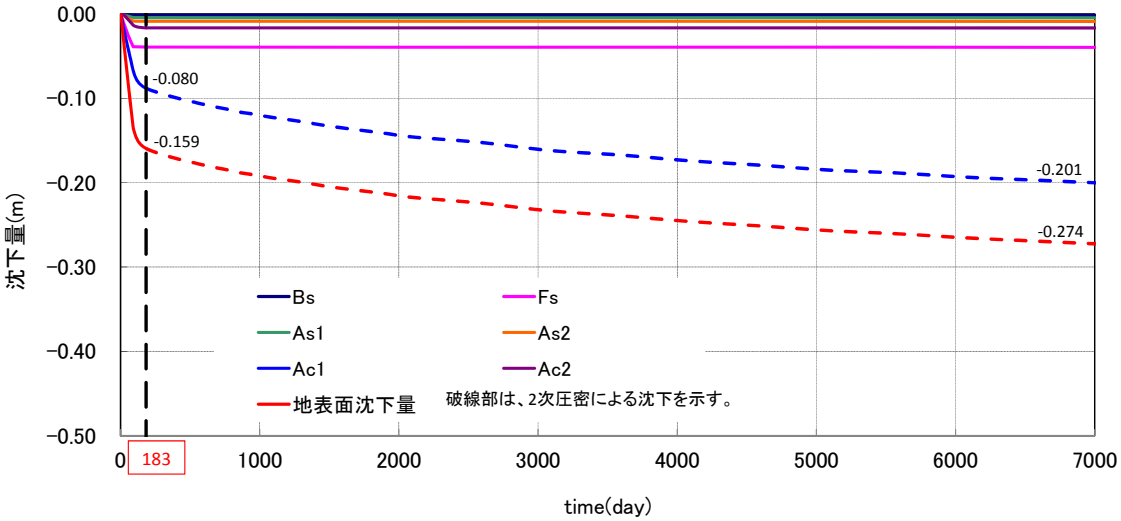


図 5-6 地表面沈下量および層別沈下量の時刻歴変化

5.6　圧密解析結果（地下水位低下量：3.0m、低下期間：180 日）

(1)　過剰間隙水圧の消散過程

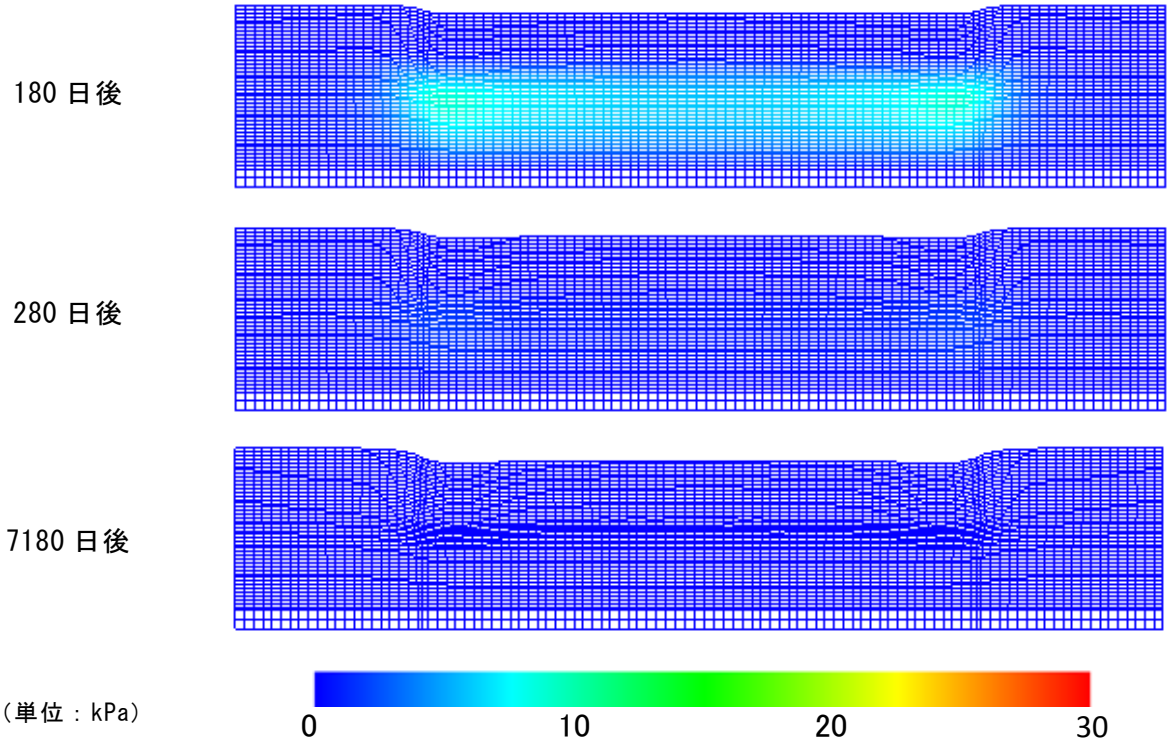


図 5-7　過剰間隙水圧コンター図

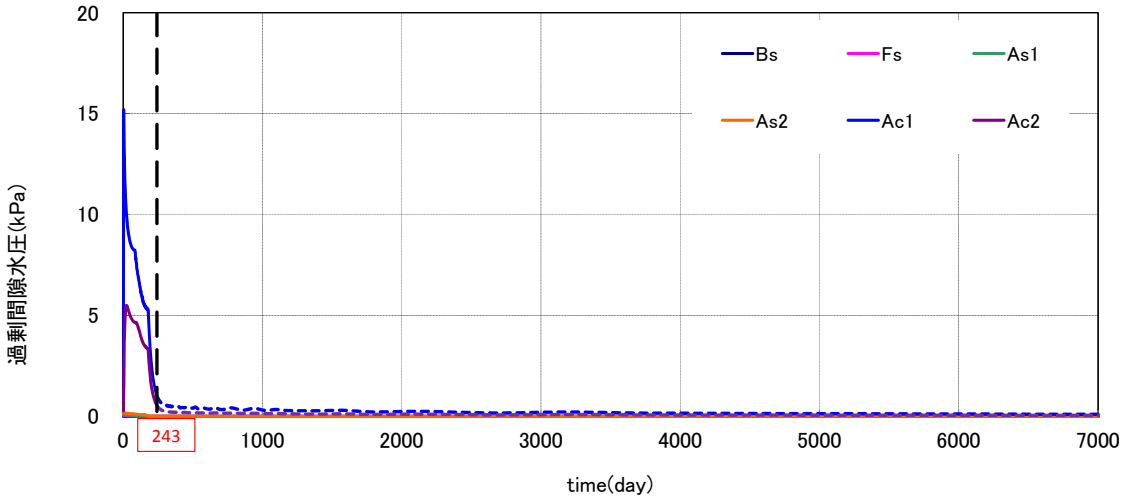
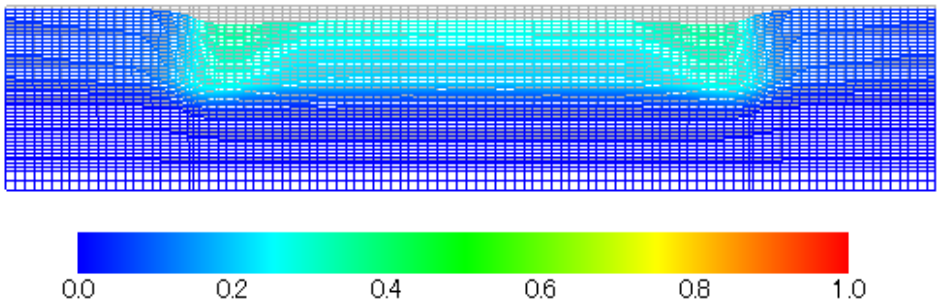


図 5-8　過剰間隙水圧時刻歴

(2) 沈下量の算定結果（地下水位低下量：3.0m、低下期間：180 日）

7180 日後



（単位：m）

図 5-9 変形図（変形倍率：15 倍）

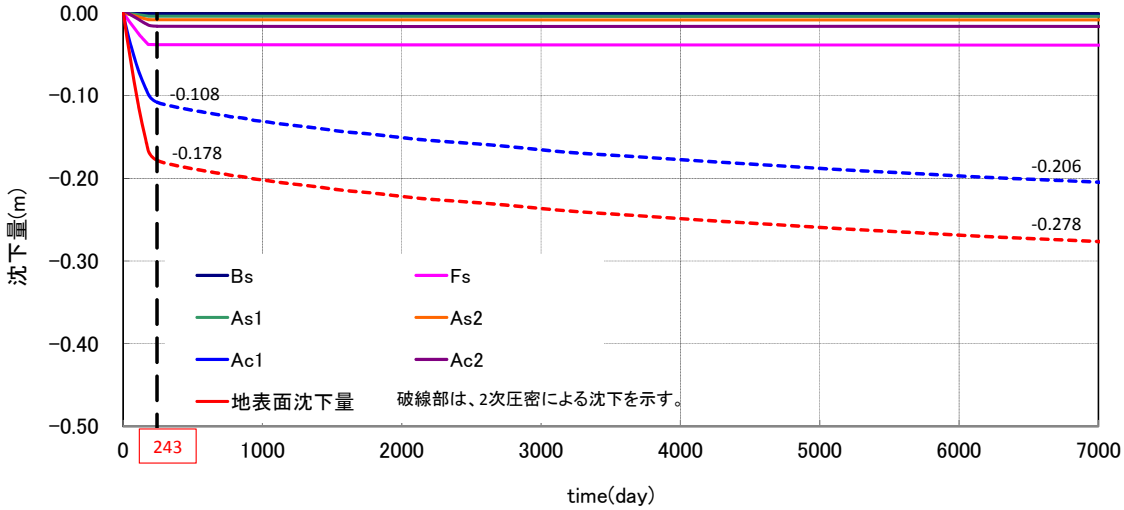


図 5-10 地表面沈下量および層別沈下量の時刻歴変化

5.7　圧密解析結果（地下水位低下量：4.0m、低下期間：100 日）

（1）　過剰間隙水圧消散過程

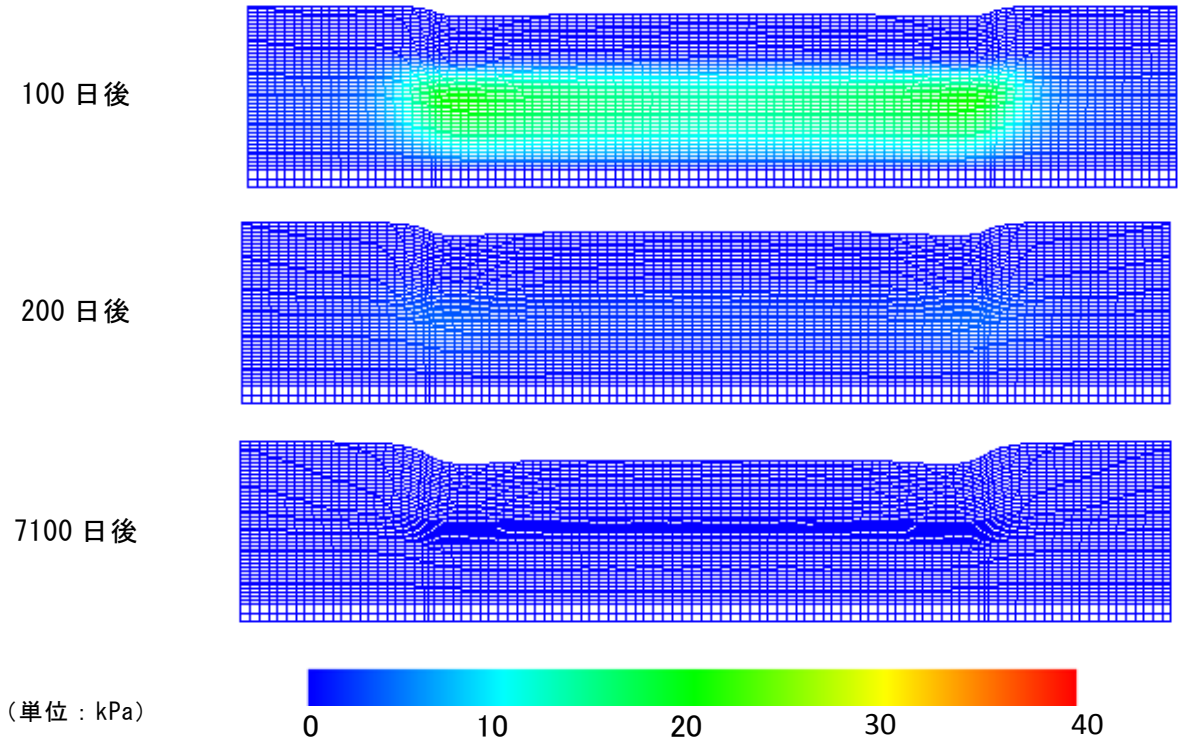


図 5-11　過剰間隙水圧コンター図

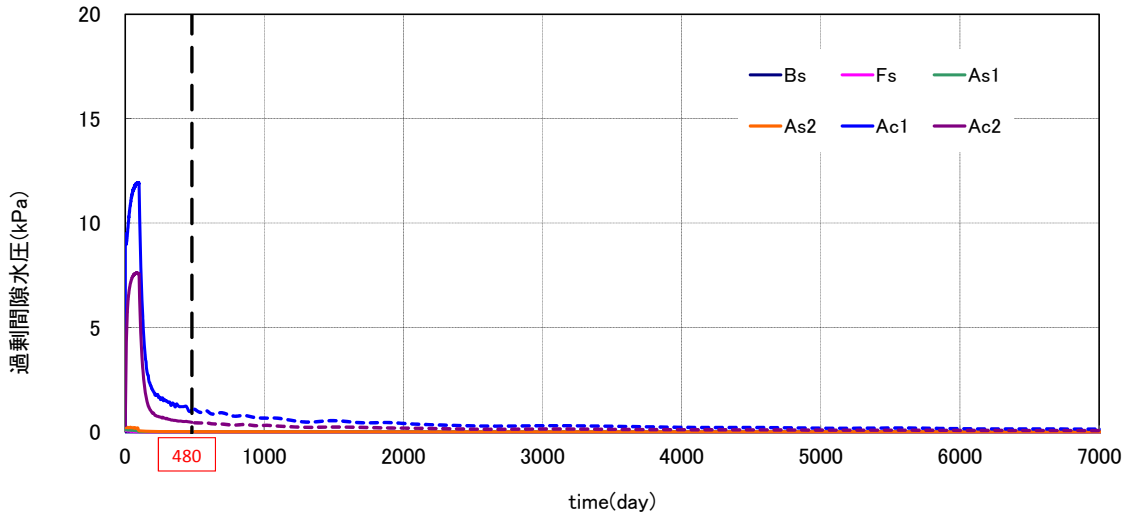
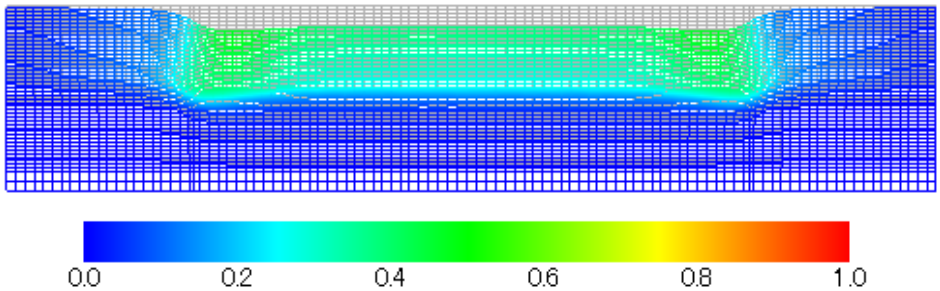


図 5-12　過剰間隙水圧時刻歴

(2) 沈下量の算定結果（地下水位低下量：4.0m、低下期間：100 日）

7100 日後



（単位：m）

図 5-13 変形図（変形倍率：15 倍）

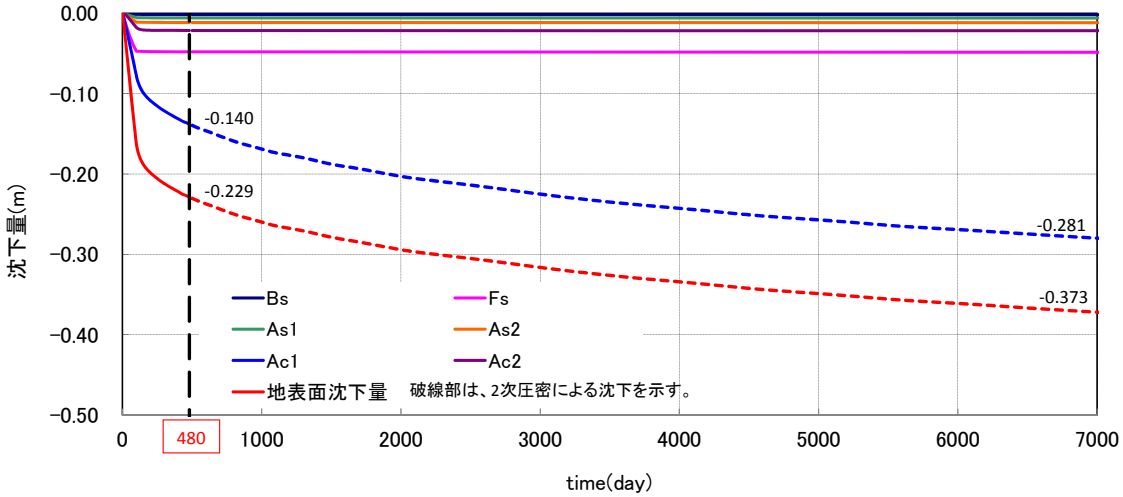


図 5-14 地表面沈下量および層別沈下量の時刻歴変化

5.8　圧密解析結果（地下水位低下量：4.0m、低下期間：180 日）

(1)　過剰間隙水圧の消散過程

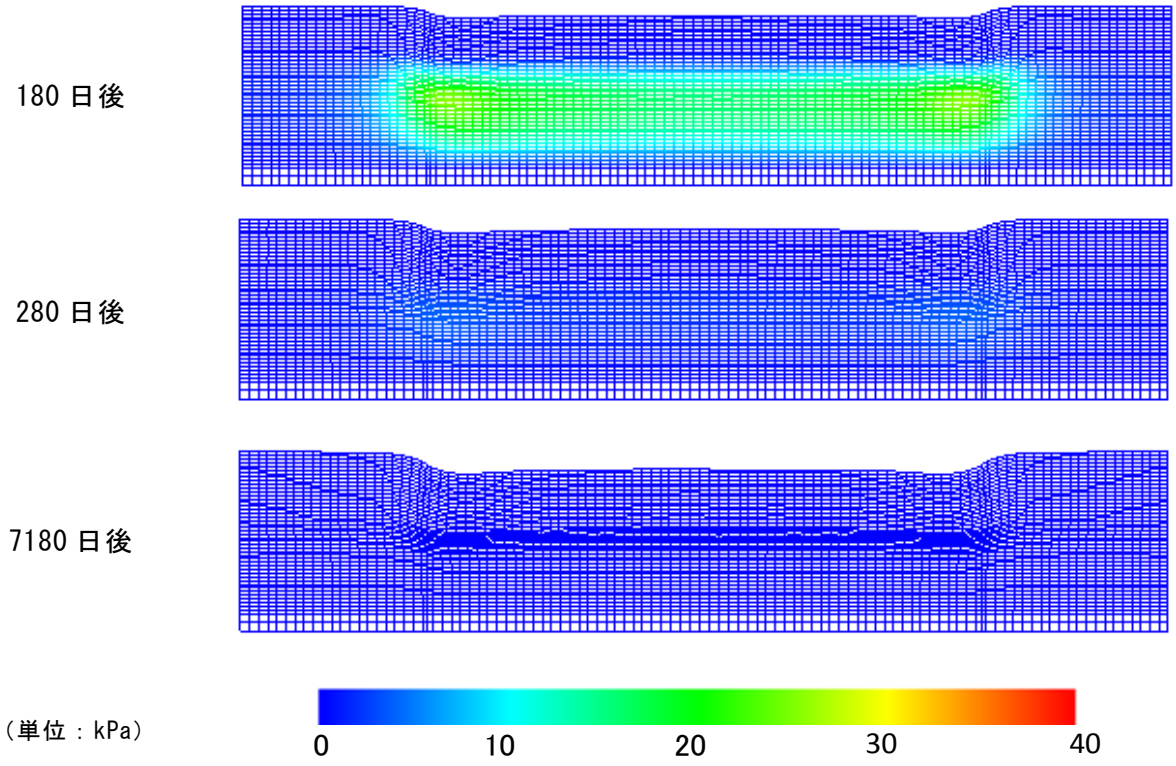


図 5-15　過剰間隙水圧コンター図

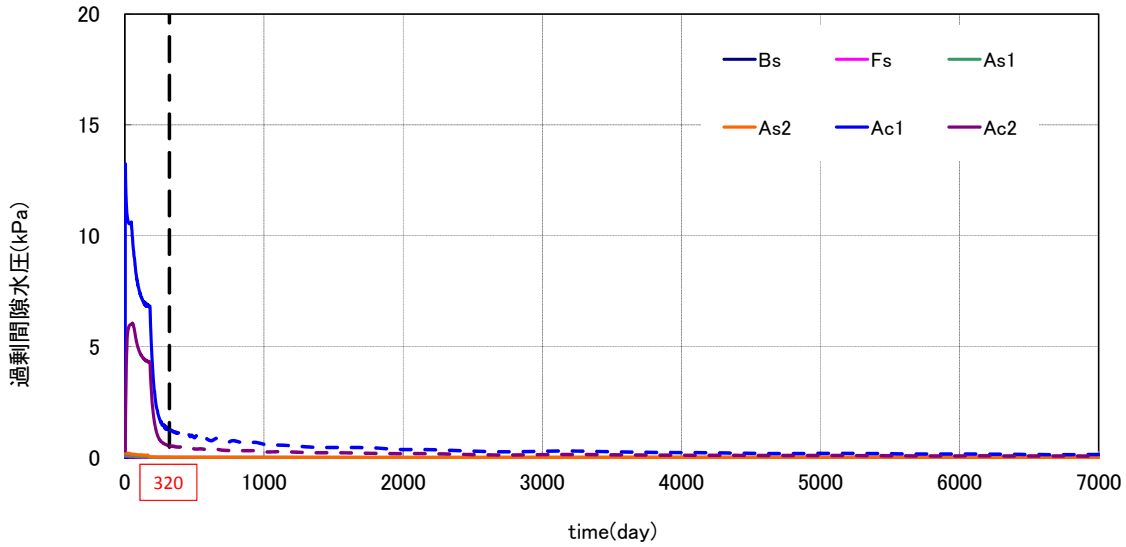
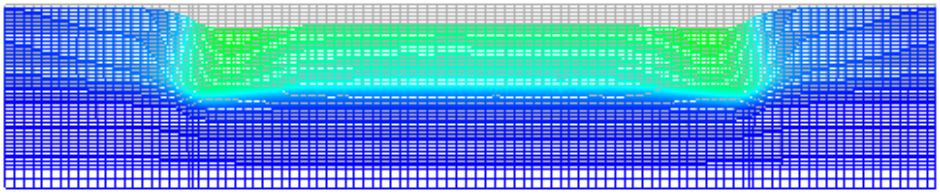


図 5-16　過剰間隙水圧時刻歴

(2) 沈下量の算定結果（地下水位低下量：4.0m、低下期間：180 日）

7180 日後



（単位：m）

図 5-17 変形図（変形倍率：15 倍）

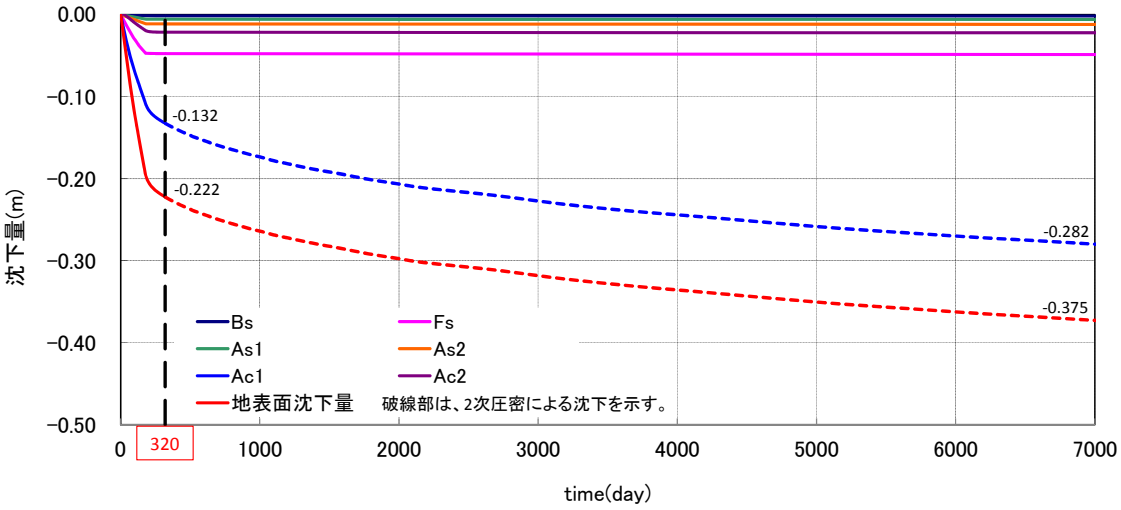


図 5-18 地表面沈下量および層別沈下量の時刻歴変化

6.　地下水位低下工法に伴うリスク

6.1　地下水位低下に伴うリスク

・　地盤物性値にばらつきがある場合、地下水位低下量がエリア内で不均一になる恐れがある。

・　浦安のような細粒分を多く含む地盤においては、対象エリア全域の水位が低下できない可能性がある。

・　地下水位低下時、圧密層の不陸や物性値のばらつきがある場合に不同沈下が生じる恐れがある。

6.2　圧密沈下に伴うリスク

・　揚水井戸周りで局所的に地下水位が低下するなど、対象エリア全域の地下水位低下量にばらつきが生じ、圧密沈下量にも各所でばらつきが生じる。

・　地下水位低下時、地下水位低下エリアに生じる圧密沈下によりエリア外と段差が生じ、埋設管などに影響を及ぼす恐れがある。

WG1（地下水位低下工法検討 WG）検討報告（補足資料）

1.　検討概要

本編資料の「**3. 地盤の許容応力度算出**」の補足検討として、円弧すべり法を用いて支持力の検討を実施する。

2.　すべり安全率算定方法

すべり安全率は「**宅地耐震設計指針（案）**」に規定されている次式により算定する。

$$F_s = \frac{\sum R\left(C' \cdot l + \left(W - U \cdot b\right)\cos\alpha \cdot \tan\phi'\right)}{\sum\left(R \cdot W \sin\alpha\right)} \qquad (1)$$

ここに、F_s：安全率

R：すべり面の半径(m)

W：各スライスの単位長さ重量(kN/m)

U：液状化による過剰間隙水圧を考慮した各スライスのすべり面上に働く間隙水圧(kN/m^2)

【図 2-1 参照】

b：スライスの幅(m)

α：すべり面の中点とすべり面を円弧とする円の中心とを結ぶ直線が鉛直線となす角度(°)

l：すべり面の長さ(m)

ϕ'、C'：有効応力により求めた内部摩擦角および粘着力

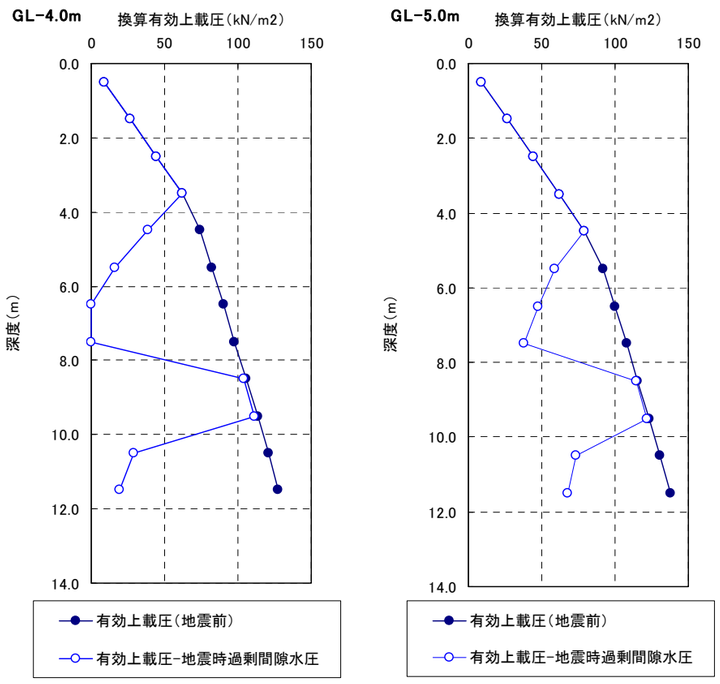


図 2-1　すべり計算に用いる換算有効上載圧

（左：地下水位低下量 3.0m、右：地下水位低下量 4.0m）

3.　すべり安全率算定結果

すべり安全率の算定結果を図 3-1 および図 3-2 に、各種照査結果を表 3-1 に示す。

GL-4.0m（地下水位低下量:3.0m）		常時
最小安全率	Fs	2.28
円の中心座標	X(m)	-6.0
	Y(m)	1.0
円の半径	R(m)	8.0
抵抗モーメント	(kN・m)	717
起動モーメント	(kN・m)	314

すべり円弧

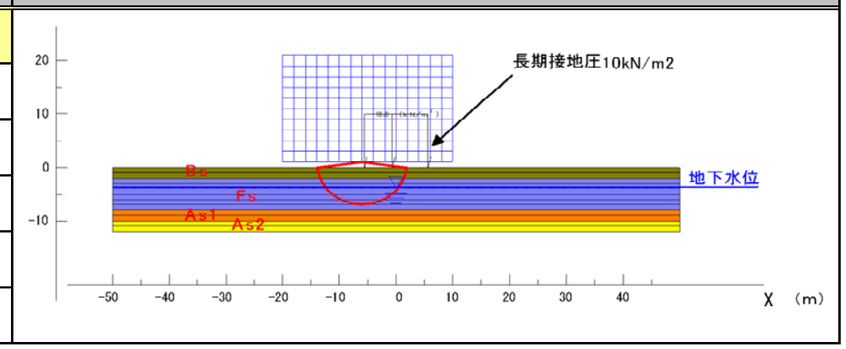


図 3-1　すべり計算結果（地下水位低下量 3.0m）

GL-5.0m（地下水位低下量:4.0m）		常時
最小安全率	Fs	3.32
円の中心座標	X(m)	-6.0
	Y(m)	1.0
円の半径	R(m)	2.0
抵抗モーメント	(kN・m)	47
起動モーメント	(kN・m)	14

すべり円弧

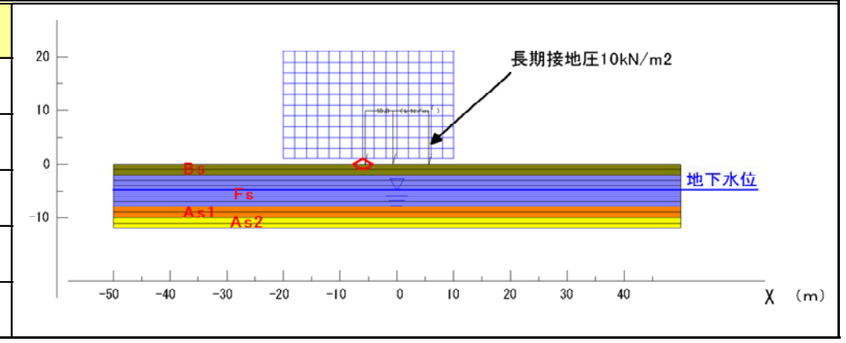
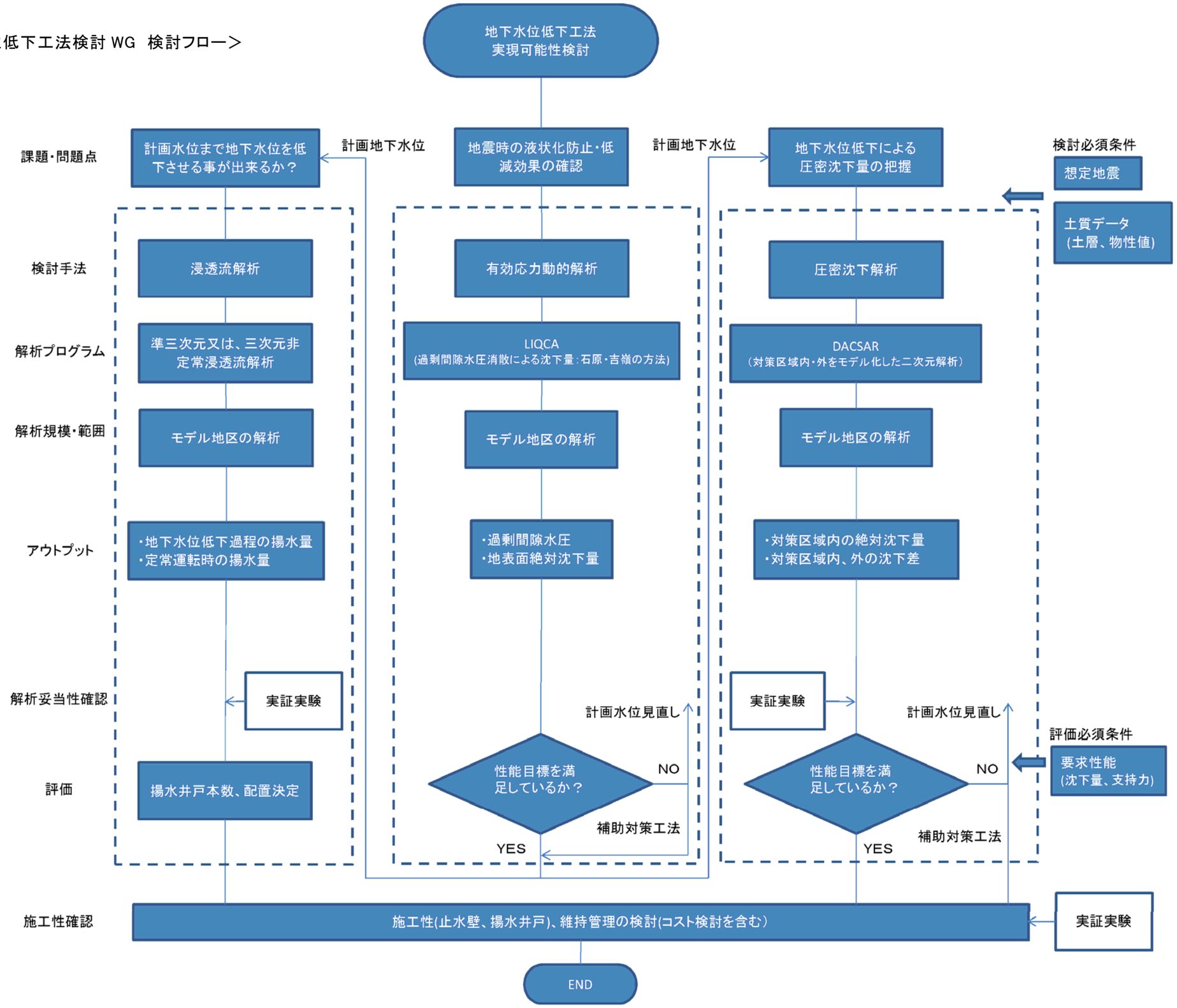


図 3-2　すべり計算結果（地下水位低下量 4.0m）

表 3-1　照査結果まとめ

検討項目	GL-4.0m（地下水位低下量:3.0m）	GL-5.0m（地下水位低下量:4.0m）
円弧すべり	OK	OK

＜地下水位低下工法検討 WG　検討フロー＞