３．地下水位低下工法による液状化防止・軽減効果とリスクの検討

３．１　地下水位低下工法の概要

３．１．１　工法の概要と期待される効果

地下水位の低下によって地盤の有効応力を増加させ、地盤の液状化安全率の改善を図るとともに、地下水位を低下させた分の不飽和化（水の一部または全部を空気と置き換えること）により、液状化の発生を抑え、建物被害を軽減する工法[1)]である（図 3.1.1 参照）。

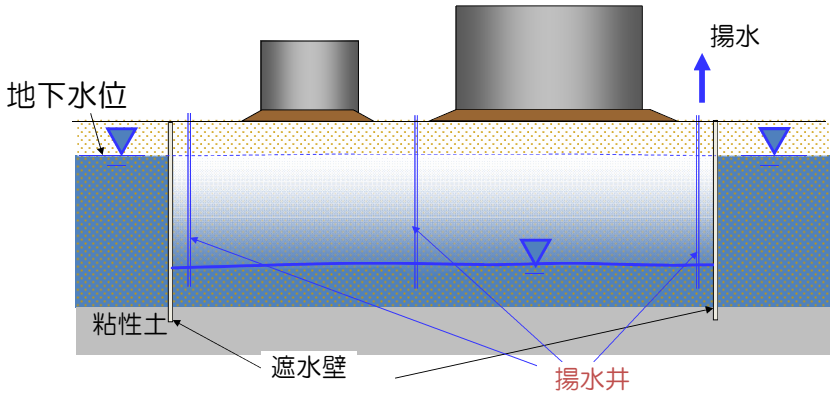


図 3.1.1 地下水位低下工法の概念図

（１）工法の特徴と改良効果

本工法による改良効果[2)]は大別して以下の三つからなる（図 3.1.2 参照）。

①地下水位を低下することにより、液状化対象層の一部が地下水位より上部に位置することにより不飽和領域となり、液状化しなくなる。

②地下水位を低下することにより、対象層の有効拘束圧が増加し、せん断応力比が低下して液状化が発生する可能性が低くなる。

③地下水位を低下することにより、表層部の非液状化層が増加し、液状化層の表層への影響が軽減する。

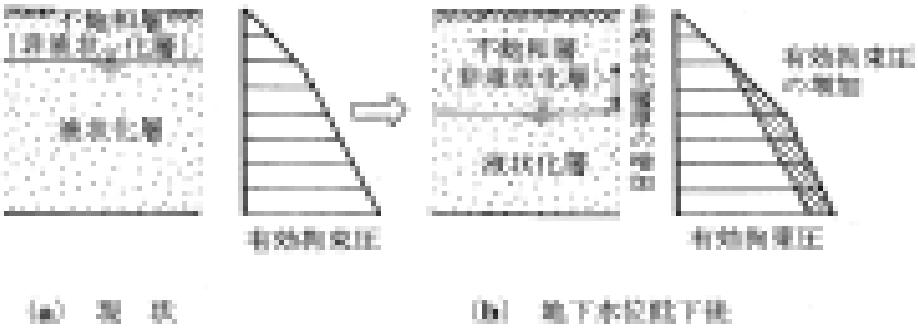


図 3.1.2 地下水位低下に伴う地層変化[2)]

また、本工法の検討すべき項目としては、以下が挙げられる。

・地下水位低下量と液状化軽減効果（液状化安全率、液状化沈下量）の定量的な評価が必要である。

・既設構造物下であっても、適用可能であるが、水位低下がもたらす構造物自体や周辺への影響の把握が必要である。

・地下水位を常時低下し続けるため、排水ポンプの維持管理が必要である。

（２）施工実績

①宅地

液状化被害が発生した兵庫県尼崎市、新潟県柏崎市の住宅地の液状化対策として実施された事例がある（図 3.1.3 参照）。

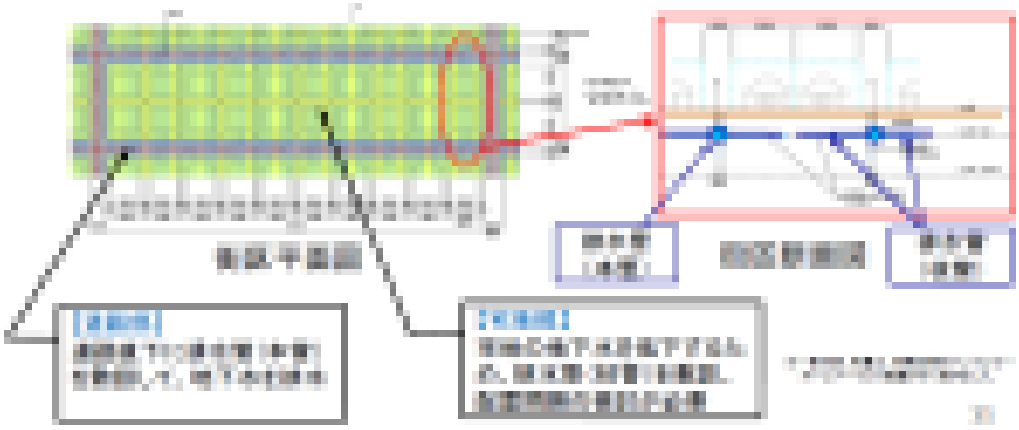


図 3.1.3 宅地への地下水位低下工法の適用 [1)]

②石油タンク

川崎市の臨海埋立て地盤に立地している石油タンク群の液状化対策として、実施された（図 3.1.1 参照）。

３．１．２　施工概要

地下水位を低下させるためには、対象とするエリアを止水壁で囲み、揚水設備により地下水を汲み上げることが必要である。

地下水位低下工法の施工フローを図 3.1.4 に示す。

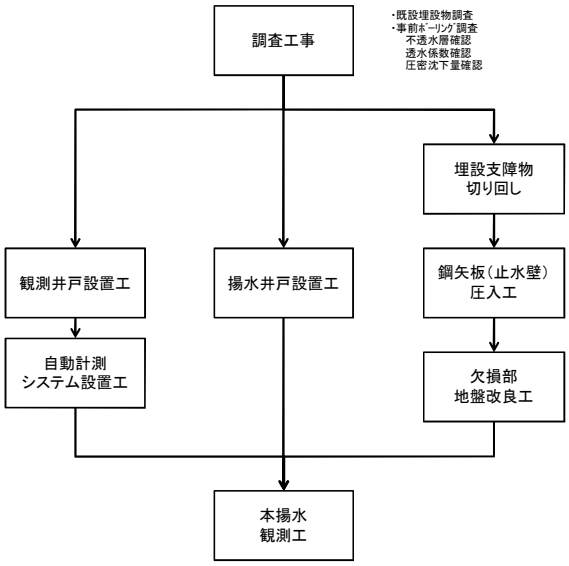


図 3.1.4　地下水位低下工法の施工フロー

（１）施工箇所

道路-宅地を一体化した広範囲の液状化軽減対策が可能であるが、施工は道路部のみで行えば良いという利点がある。

（２）鋼矢板（止水壁）

止水壁は要求する透水特性を満足すれば、鋼矢板でなくてもよいが、本検討では鋼矢板を対象とする。鋼矢板を用いる場合には、以下の施工上の利点がある。

・排泥が発生しない。

・圧入施工により、振動・騒音を抑制できる。

施工フローを図 3.1.5 に示す。

図 3.1.5　鋼矢板圧入フロー

（３）揚水井戸

地盤に 0.5～1.2m 程度の径で削孔し、直径 0.3～0.8m 程度のストレーナー管を挿入する。その周囲をフィルター材で充填し、揚水井戸をつくる（図 3.1.6 参照）。

図 3.1.7 に揚水井戸の構造図の一例を示す。

図 3.1.6　揚水井戸の施工手順 [3)]

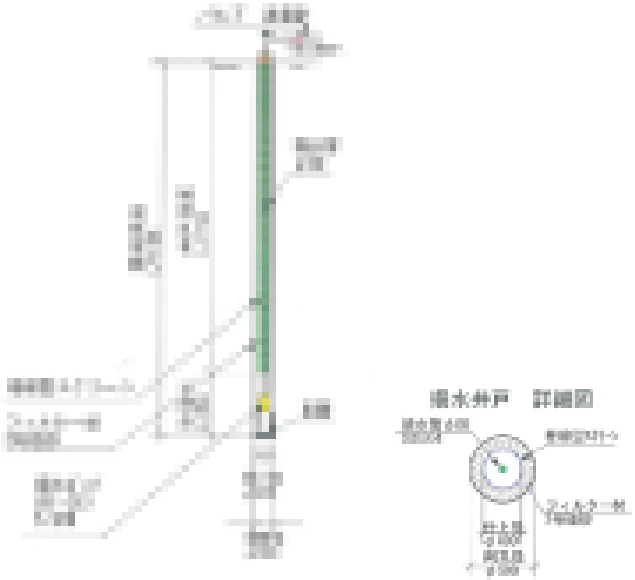


図 3.1.7　揚水井戸の構造

３．２　液状化防止・軽減対策としての地下水位低下工法の設計

３．２．１　目標性能を満足するための基本的な設計方針

地下水位低下工法の設計は、L1 相当地震動として、2011 年東北地方太平洋沖地震における観測波に基づく基盤波を用い、以下の手順で行うこととする。

・地下水位低下後の液状化判定により、液状化が発生しない（FL≧1.0）ことが、確認できた場合は、宅地及び公共施設に対し、当該地下水位は対策として成立したと評価する。
・地下水位低下後の液状化判定により、液状化が発生する土層がある場合は、検討対象とする住宅に対して地盤の短期許容応力度を満足するかどうかを検討する。許容値を満足していると確認できた場合は、宅地に対し、当該地下水位は対策として成立したと評価する。

（詳細については２．２参照）

３．２．２　道路-宅地一体化対策としての設計仕様の検討

戸建て住宅地区において、道路と隣接宅地（既存戸建て住宅）を一体的に液状化対策する場合の工法を検討する。

（１）検討事項

今回行った検討は、表 3.2.1 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 3.2.1 に示す 390m×310m 区画（500 戸タイプ）を対象としたケースで行った（ただし、住宅荷重については考慮していない）。

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

表 3.2.1　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	1.44	0.78	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	-	-	-	-	-	5.1E-06
Ac2	13	14	93.6	1.5	220	72,600	0.3	0	91.00	2.58	-	-	-	-	-	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。

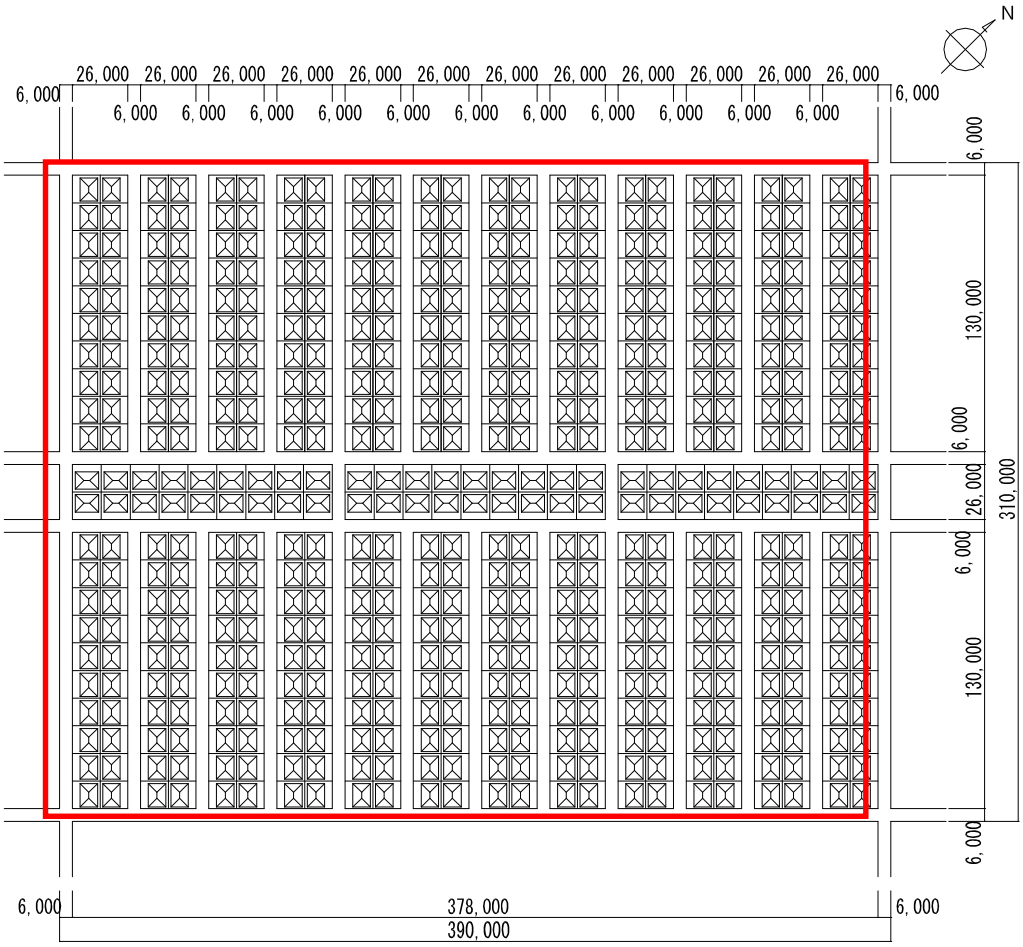


図 3.2.1　検討対象モデル（500 戸タイプ）

（２）液状化判定

１）液状化判定の手順

液状化判定は、以下の手順で行う。

・L1 相当地震動、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[4)]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）

$C_2=1/0.55 \sim 1/0.70=1.82 \sim 1.43 \rightarrow$ 平均的に 1.62

$C_3 \cdot C_4 \fallingdotseq 1.0$

$C_5=0.9$

$$R=0.67 \times 1.62 \times 1.0 \times 0.9 \times RL_{20} \fallingdotseq RL_{20} \qquad (2)$$

〔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[5)6)]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[7)]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、$N_1=10 \sim 15$ の砂に対応した式であり[8)]、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 相当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。

２）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 相当地震動として 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

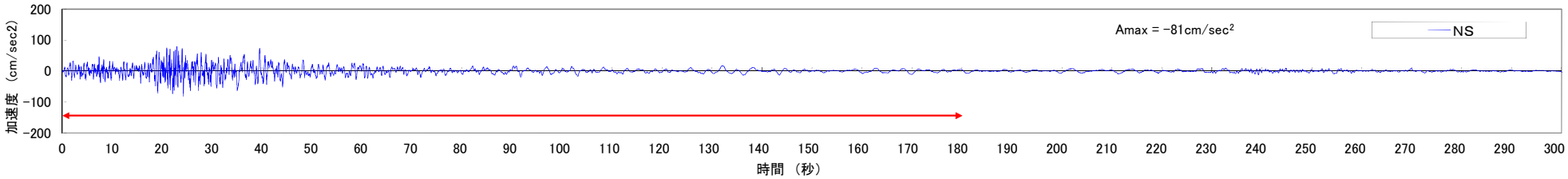


図 3.2.2　2011 年東北地方太平洋沖地震（NS 成分）

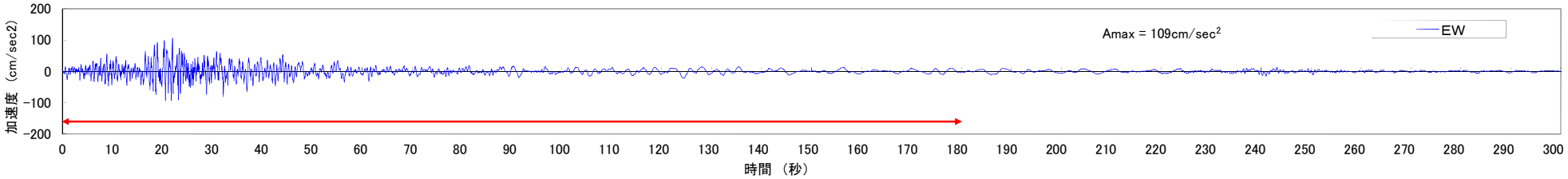


図 3.2.3　2011 年東北地方太平洋沖地震（EW 成分）

②東京湾北部地震：猫実

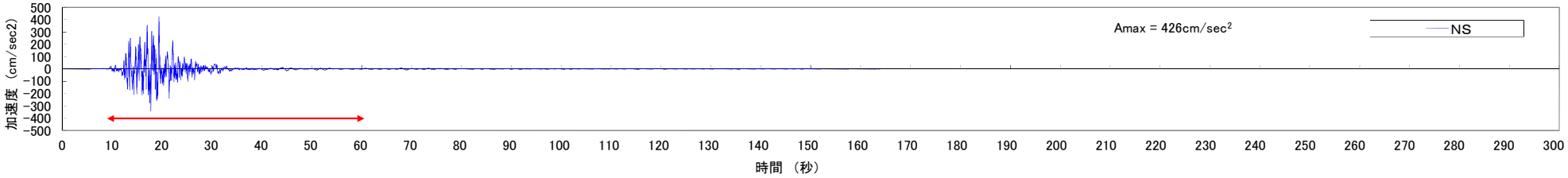


図 3.2.4　2011 年東京湾北部地震（NS 成分）

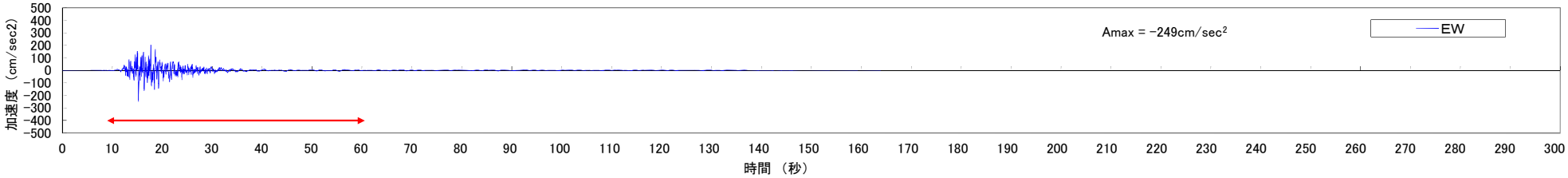


図 3.2.5 2011 年東京湾北部地震（EW 成分）

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 3.2.2 に示す。

表 3.2.2　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。

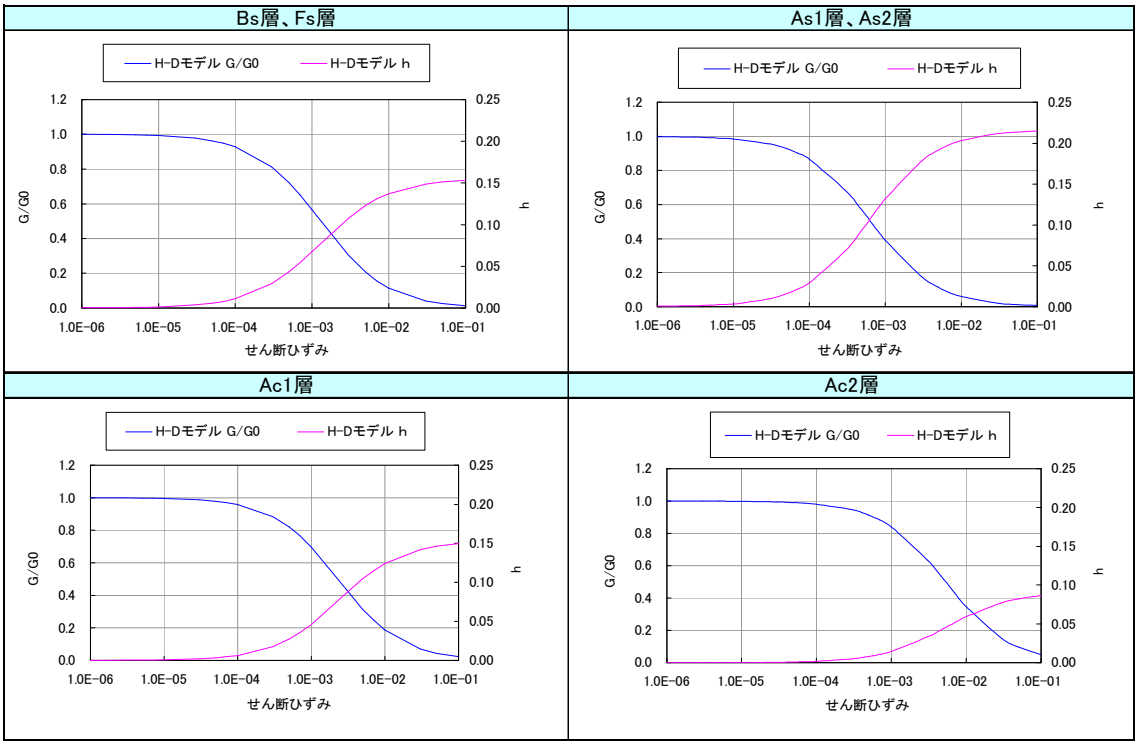


図 3.2.6　各土層の動的変形特性

d）等価線形解析結果

2011 年東北地方太平洋沖地震（基盤波）の解析結果を図 3.2.7 に、L2 地震動の基盤波（東京湾北部地震）の解析結果を図 3.2.8 に示す。

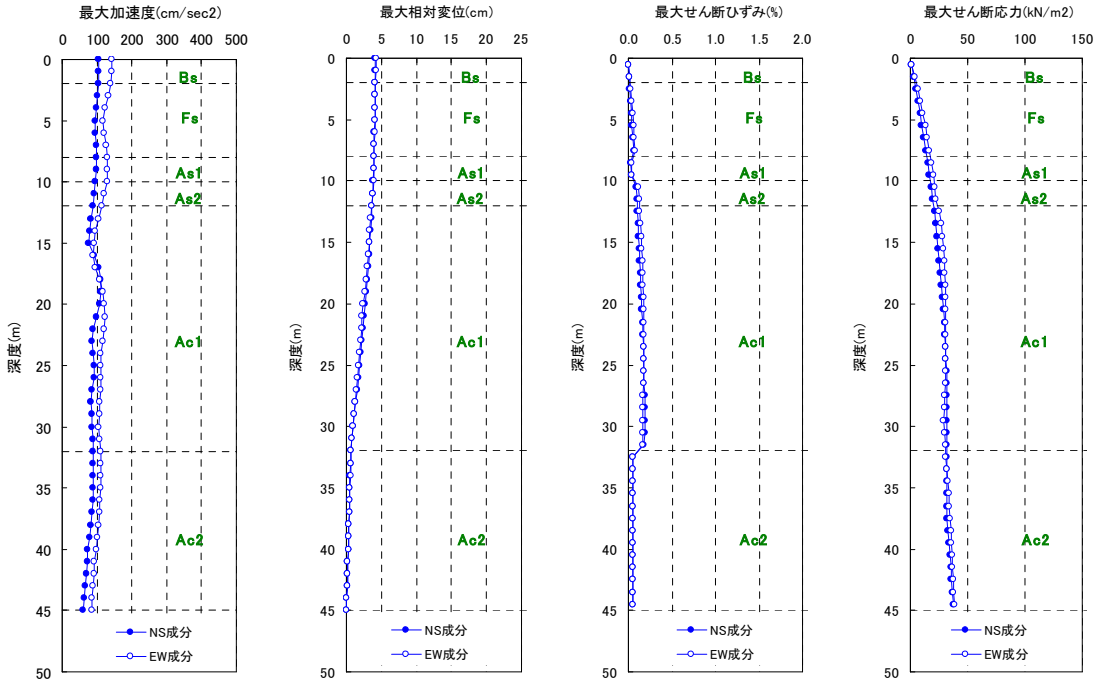


図 3.2.7　時刻歴最大値の深度分布（東北地方太平洋沖地震：夢の島）

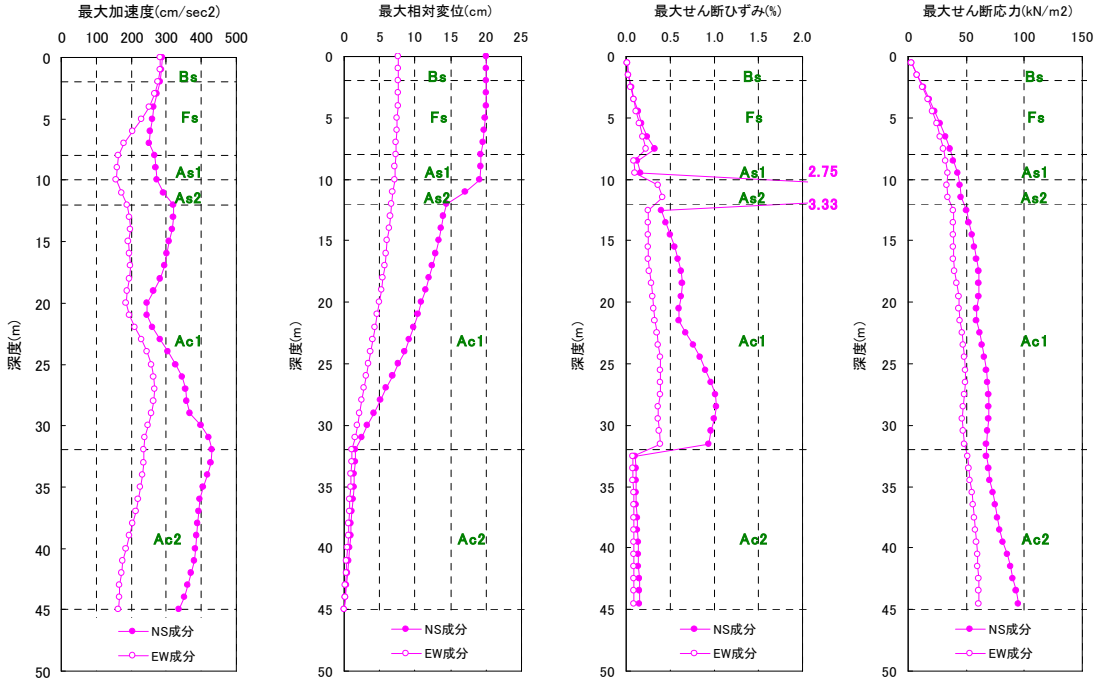


図 3.2.8　時刻歴最大値の深度分布（東京湾北部地震：猫実）

e）FL 値の算定結果（原地盤：地下水位 GL-1.0m）

e-1）東北地方太平洋沖地震（夢の島）

表 3.2.3　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 3.2.4　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

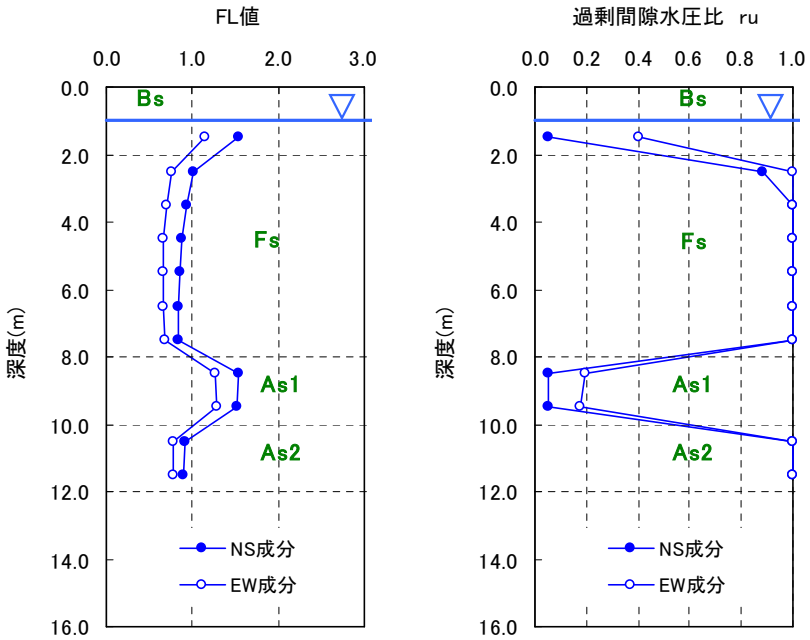


図 3.2.9　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

e-2）東京湾北部地震（猫実）

表 3.2.5　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 3.2.6　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

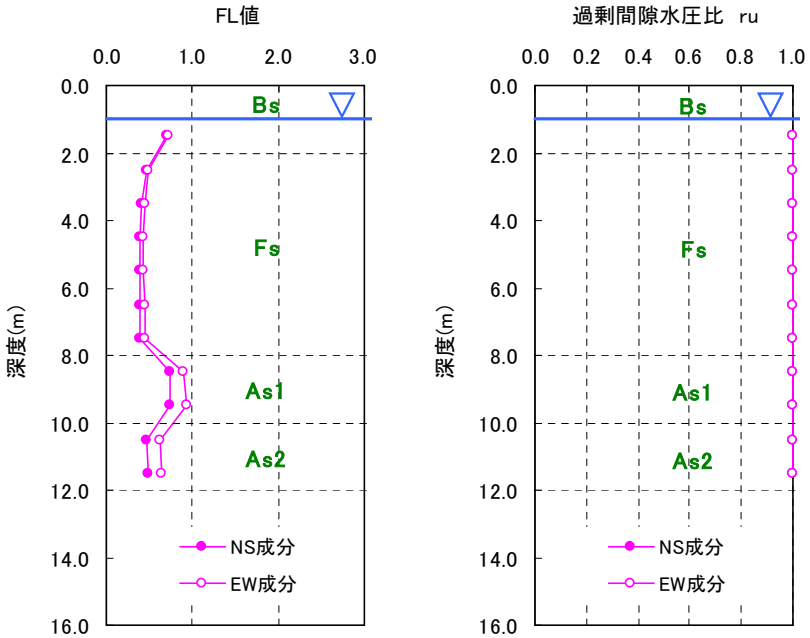


図 3.2.10　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

f ）FL 値の算定結果（地下水位 GL-3.0m、地下水位 2m 低下）

f-1）東北地方太平洋沖地震（夢の島）

表 3.2.7　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	56.84	6.55	0.115	0.204	0.163	1.42	OK	0.088
	4.5	79.38	64.67	8.34	0.129	0.204	0.163	1.27	OK	0.192
	5.5	97.02	72.50	10.06	0.139	0.204	0.163	1.18	OK	0.321
	6.5	114.66	80.33	11.72	0.146	0.204	0.163	1.12	OK	0.458
	7.5	132.30	88.16	13.35	0.151	0.204	0.163	1.08	OK	0.593
As1	8.5	149.94	95.99	14.95	0.156	0.375	0.300	1.93	OK	0.010
	9.5	167.58	103.82	16.57	0.160	0.375	0.300	1.88	OK	0.012
As2	10.5	184.73	111.16	18.14	0.163	0.226	0.181	1.11	OK	0.488
	11.5	201.39	118.01	19.64	0.166	0.226	0.181	1.09	OK	0.560

表 3.2.8　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	56.84	8.72	0.153	0.204	0.163	1.06	OK	0.651
	4.5	79.38	64.67	10.96	0.169	0.204	0.163	0.96	NG	1.000
	5.5	97.02	72.50	13.01	0.179	0.204	0.163	0.91	NG	1.000
	6.5	114.66	80.33	14.87	0.185	0.204	0.163	0.88	NG	1.000
	7.5	132.30	88.16	16.52	0.187	0.204	0.163	0.87	NG	1.000
As1	8.5	149.94	95.99	18.09	0.188	0.375	0.300	1.59	OK	0.039
	9.5	167.58	103.82	19.72	0.190	0.375	0.300	1.58	OK	0.041
As2	10.5	184.73	111.16	21.03	0.189	0.226	0.181	0.96	NG	1.000
	11.5	201.39	118.01	22.57	0.191	0.226	0.181	0.95	NG	1.000

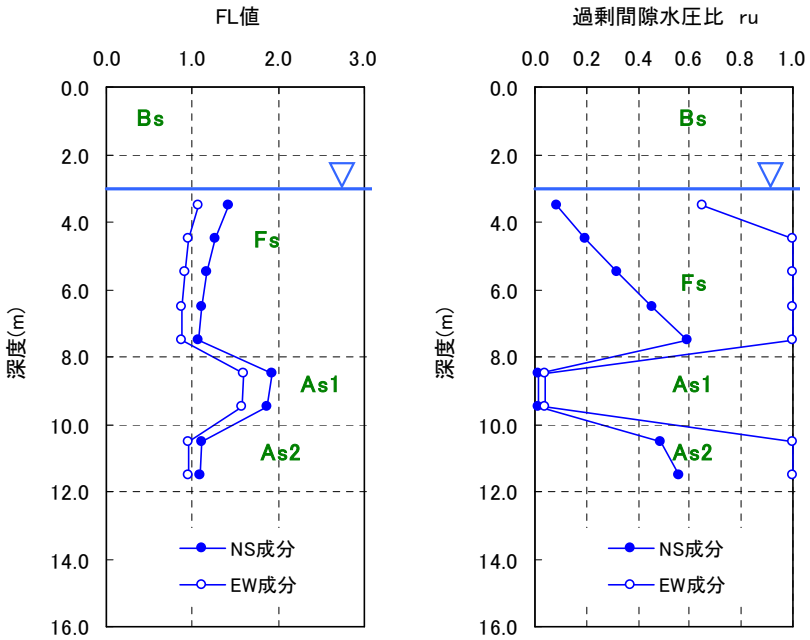


図 3.2.11　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

f-2）東京湾北部地震（猫実）

表 3.2.9　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	56.84	18.19	0.320	0.204	0.204	0.64	NG	1.000
	4.5	79.38	64.67	23.09	0.357	0.204	0.204	0.57	NG	1.000
	5.5	97.02	72.50	27.70	0.382	0.204	0.204	0.53	NG	1.000
	6.5	114.66	80.33	31.91	0.397	0.204	0.204	0.51	NG	1.000
	7.5	132.30	88.16	35.69	0.405	0.204	0.204	0.50	NG	1.000
As1	8.5	149.94	95.99	39.01	0.406	0.375	0.375	0.92	NG	1.000
	9.5	167.58	103.82	42.89	0.413	0.375	0.375	0.91	NG	1.000
As2	10.5	184.73	111.16	44.43	0.400	0.226	0.226	0.57	NG	1.000
	11.5	201.39	118.01	45.44	0.385	0.226	0.226	0.59	NG	1.000

表 3.2.10　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	56.84	16.84	0.296	0.204	0.204	0.69	NG	1.000
	4.5	79.38	64.67	21.01	0.325	0.204	0.204	0.63	NG	1.000
	5.5	97.02	72.50	24.72	0.341	0.204	0.204	0.60	NG	1.000
	6.5	114.66	80.33	27.96	0.348	0.204	0.204	0.59	NG	1.000
	7.5	132.30	88.16	30.65	0.348	0.204	0.204	0.59	NG	1.000
As1	8.5	149.94	95.99	32.20	0.336	0.375	0.375	1.12	OK	0.459
	9.5	167.58	103.82	34.05	0.328	0.375	0.375	1.14	OK	0.391
As2	10.5	184.73	111.16	33.27	0.299	0.226	0.226	0.76	NG	1.000
	11.5	201.39	118.01	34.11	0.289	0.226	0.226	0.78	NG	1.000

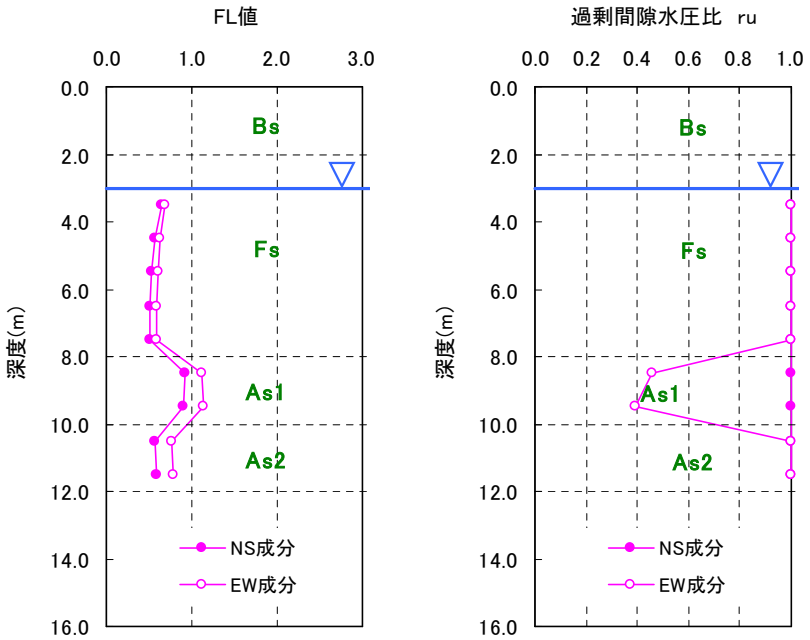


図 3.2.12　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

g）FL 値の算定結果（地下水位 GL-4.0m、地下水位 3m 低下）

g-1）東北地方太平洋沖地震（夢の島）

表 3.2.11　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 3.2.12　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

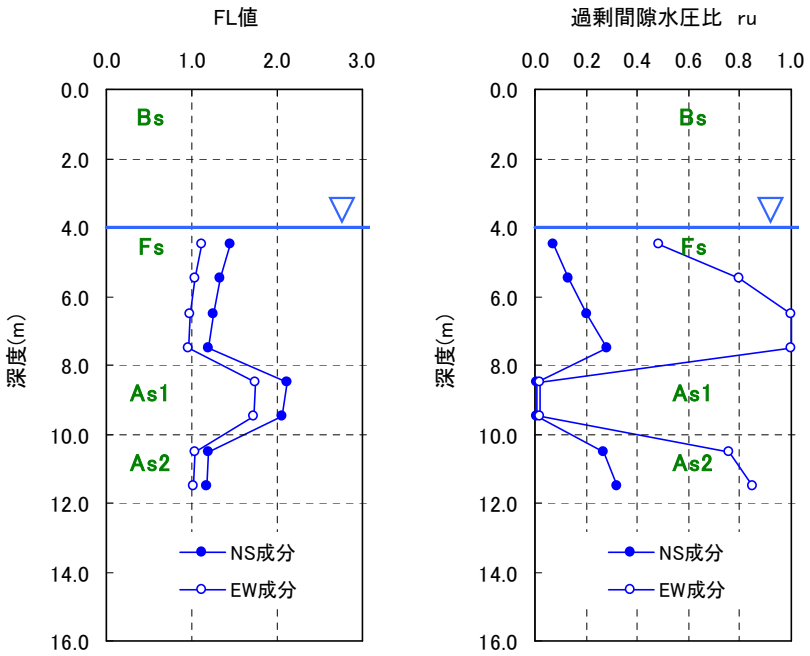


図 3.2.13 FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

g-2）東京湾北部地震（猫実）

表 3.2.13　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 3.2.14　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

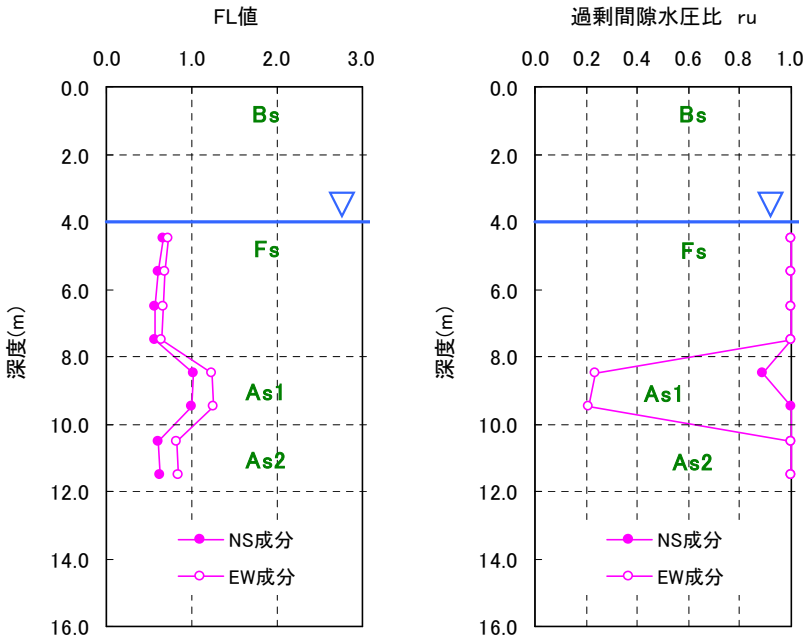


図 3.2.14　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

h）FL 値の算定結果（地下水位 GL-5.0m、地下水位 4m 低下）

h-1）東北地方太平洋沖地震（夢の島）

表 3.2.15　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 3.2.16　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

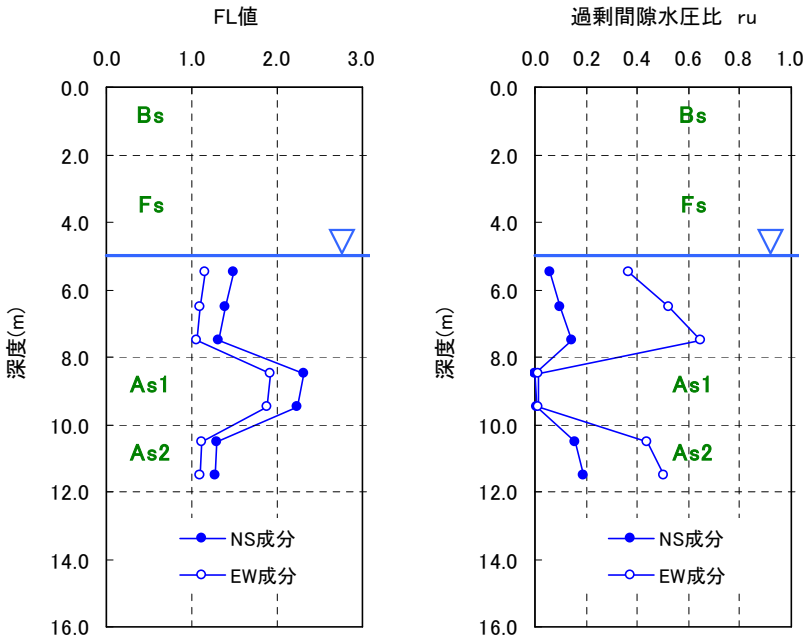


図 3.2.15　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

h-2）東京湾北部地震（猫実）

表 3.2.17　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 3.2.18　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

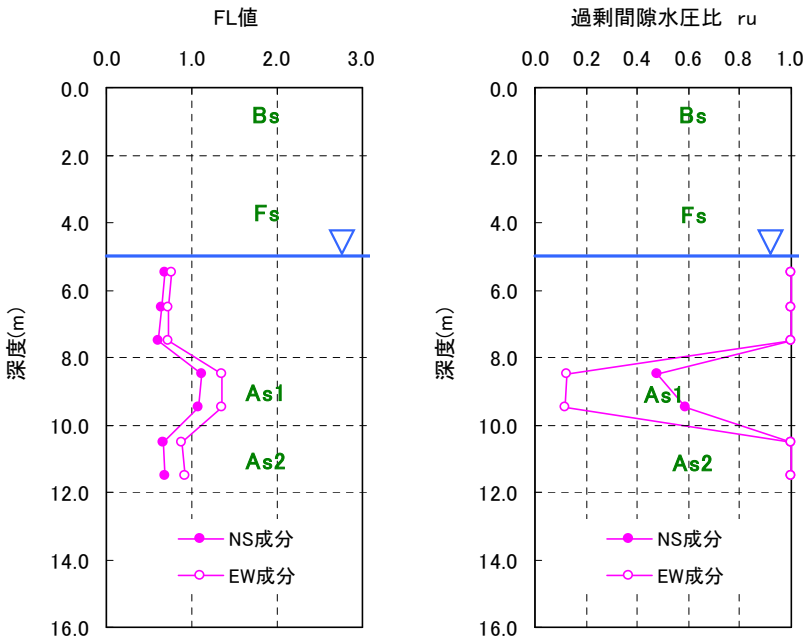


図 3.2.16　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

ｉ）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3.2.19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図3.2.17に示す。

表3.2.19　D_{cy}の算定結果

地震動	成分	GL-1.0m（原地盤）		GL-3.0m（地下水位低下量:2.0m）		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	cm	液状化の程度
東北地方太平洋沖地震	NS	6.5	小	4.5	軽微	4.0	軽微	3.5	軽微
	EW	15.0	中	5.5	小	4.0	軽微	3.5	軽微
東京湾北部地震	NS	20.5	大	16.0	中	13.0	中	9.0	小
	EW	20.5	大	12.0	中	9.0	小	7.0	小

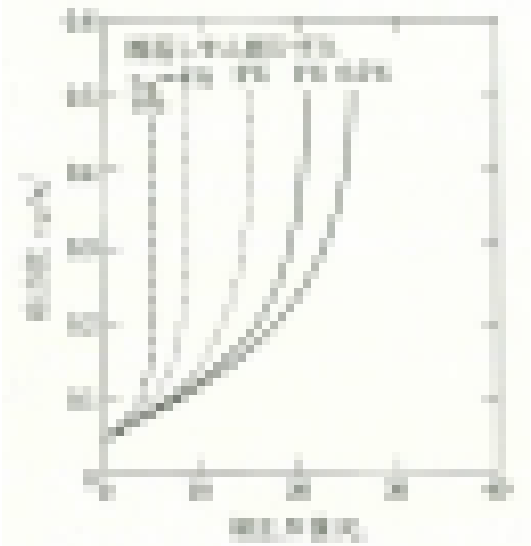


図3.2.17　補正N値と繰返しせん断ひずみの関係
（出典：建築基礎構造設計指針 p.66 図4.5.7）

（３）地盤の許容応力度算出

液状化対策実現可能性技術検討委員会において検討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 2.0m、3.0m および 4.0m の 3 ケースについて検討する。

上記、別添資料 1-3 で示された地下水位上昇量算出手順を図 3.2.18 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

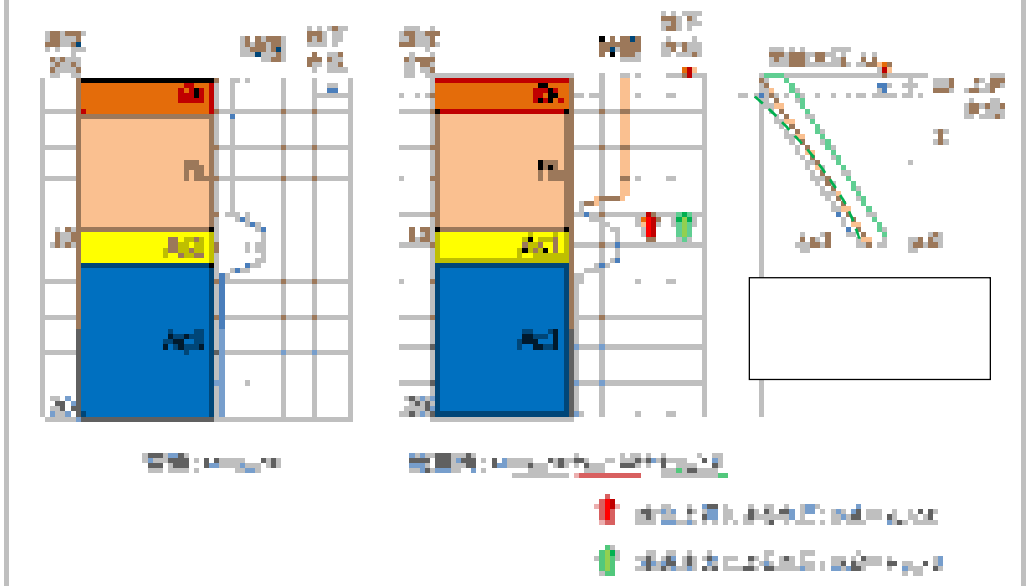


図 3.2.18　FL 値および過剰間隙水圧比の深度分布

ａ）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。

$$\frac{V_w}{V} = \frac{eSr}{1+e} = \frac{e}{1+e} \tag{5}$$

$$V = D_{cy} \times A \tag{6}$$

$$V_w = \frac{e}{1+e} D_{cy} A \tag{7}$$

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、地下水位以浅に浸入する地下水の量を次式より求める。

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

$$V = \Delta z \times A \tag{9}$$

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

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。

$$\Delta z = \frac{1}{1-S_r} D_{cy} \tag{11}$$

以上により算定した地下水位上昇量（Δｚ）を表 3.2.20 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 3.2.20　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−3.0m（低下量：2.0m）	GL−4.0m（低下量：3.0m）	GL−5.0m（低下量：4.0m）
		cm	cm	cm	cm
東北地方太平洋沖地震	NS	32.5	22.5	20.0	17.5
	EW	75.0	27.5	20.0	17.5
東京湾北部地震	NS	102.5	80.0	65.0	45.0
	EW	102.5	60.0	45.0	35.0

ｂ）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」にて用いるものと同様とする。なお、本検討では、過剰間隙水圧の消散に伴う土の圧縮性については考慮せず、消散過程のみを検討対象とする。

以下に計算手順を示す。

【計算手順】

①初期の地下水位は、ａ）地震後の過剰間隙水圧消散による地下水位上昇量(Δz)において算出した水位上昇位置とする（前掲 表 3.2.20 参照）。

②「（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 3.2.19 に示す。

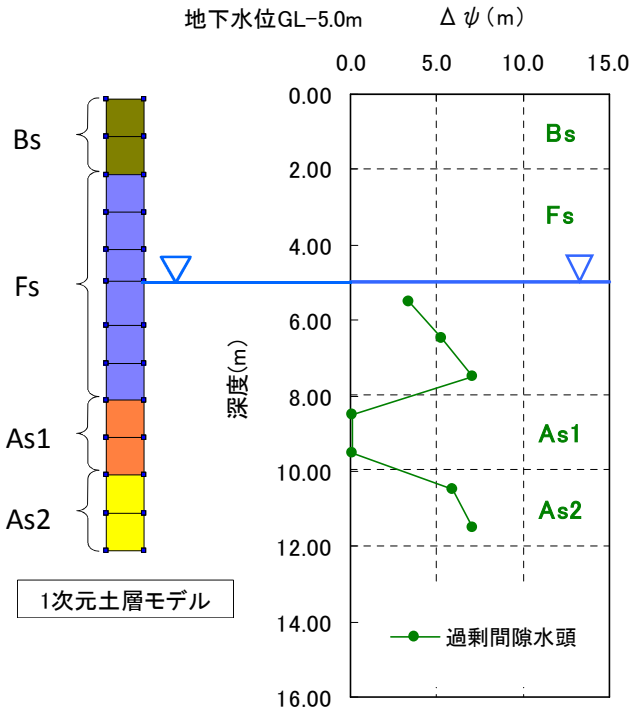


図 3.2.19　1 次元土層モデルと過剰間隙水圧による圧力水頭の増加量

（例：地下水位 GL-5.0m の場合）

③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、浸透水力による過剰間隙水圧を算定する。

④初期の過剰間隙水圧と浸透水力による過剰間隙水圧を比較し、許容支持力を算定する上で最も厳しくなる時間断面の過剰間隙水圧の深度分布を求める（図 3.2.20～図 3.2.22 参照）。

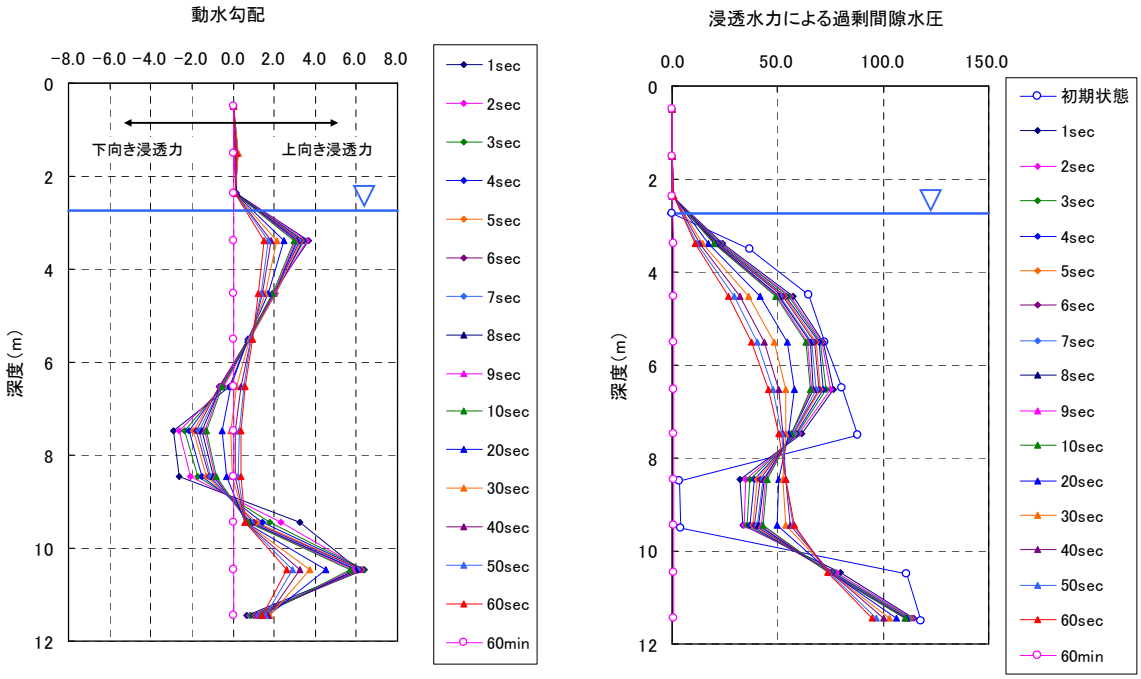


図 3.2.20　動水勾配および過剰間隙水圧の深度分布（地下水位 GL-3.0m の場合）

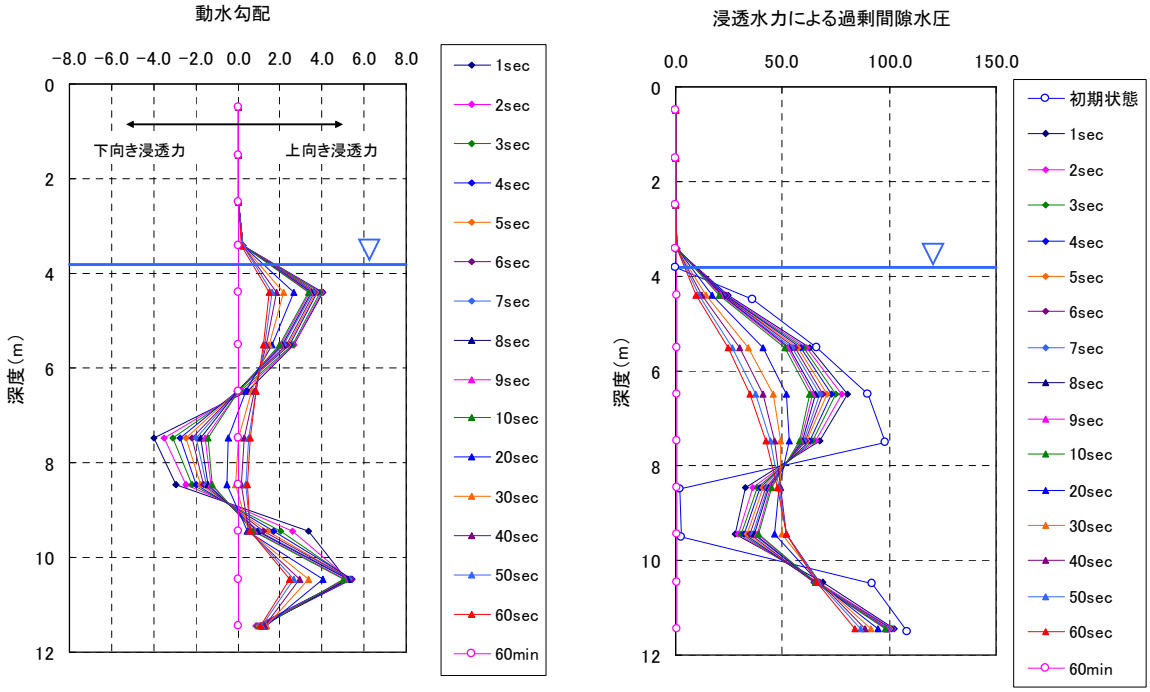


図 3.2.21　動水勾配および過剰間隙水圧の深度分布（地下水位 GL-4.0m の場合）

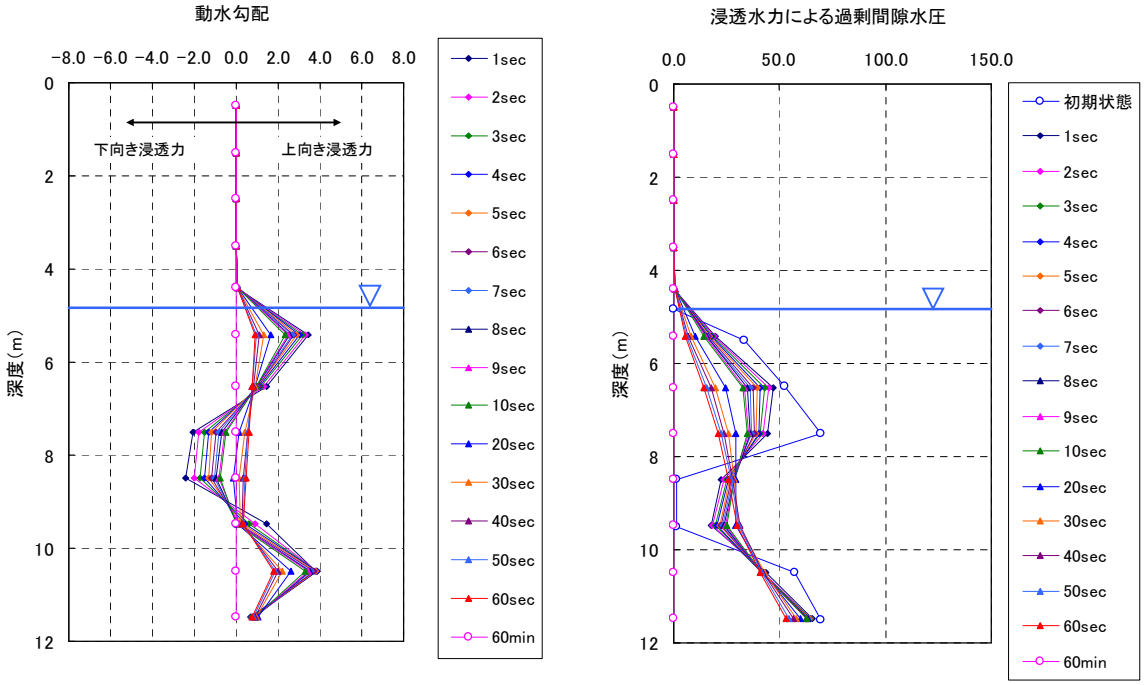


図 3.2.22　動水勾配および過剰間隙水圧の深度分布（地下水位 GL-5.0m の場合）

ｃ）地震後の最小有効鉛直応力

地震後の最小有効上載圧は、（１）および（２）より、有効上載圧から地震時の過剰間隙水圧を差し引いた換算有効上載圧とする。換算有効上載圧の算定結果を図 3.2.23 に示す。

算定した換算有効上載圧及び地震時の過剰間隙水圧は、地盤の支持力検討、地盤のパンチせん断の検討に用いる。

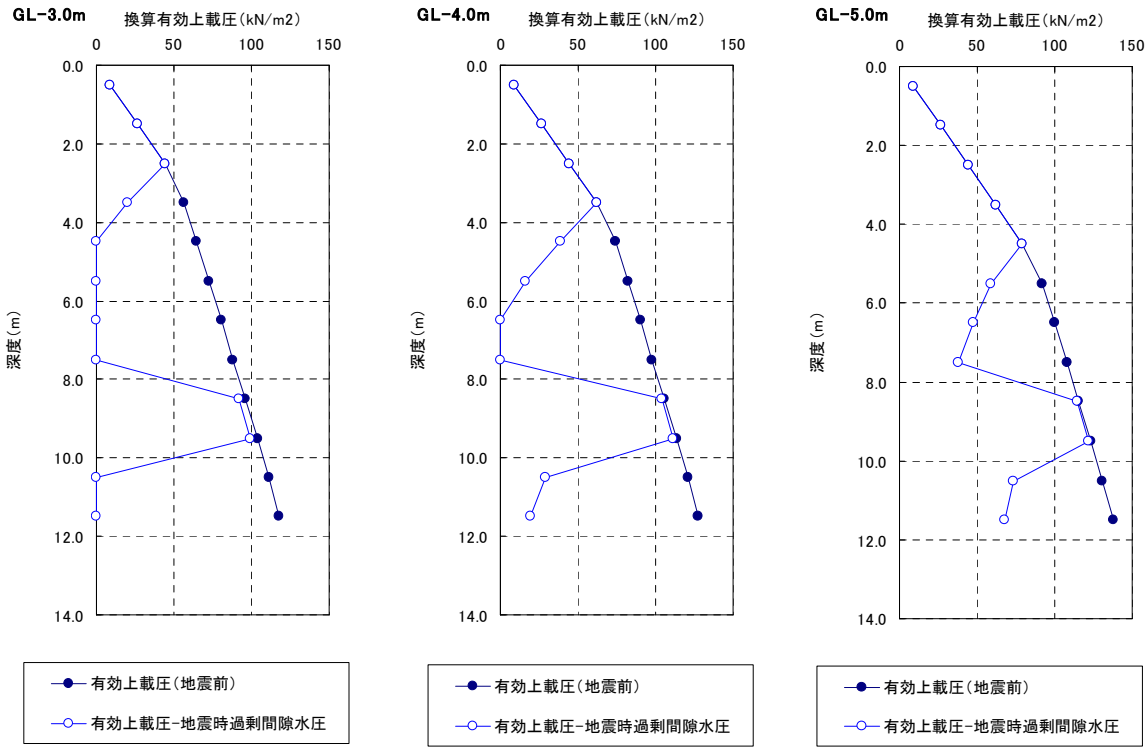


図 3.2.23　換算有効上載圧の算定結果

d）地盤の許容応力度の検討

地盤の許容応力度（図 3.2.24 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。

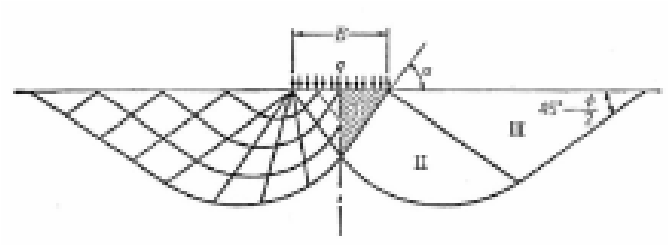


図 3.2.24　全般せん断破壊の概念図

国土交通省告示第 1113 号第 2 に規定されている算定式より、短期の地盤許容応力度を検討する。以下に短期の地盤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、次頁の方法により算出する。

$$q_a = \frac{2}{3}(i_c \alpha c N c + i_\gamma \beta \eta \gamma_1 B N_\gamma + i_q \gamma_2 D_f N_q) \qquad (12)$$

N_c, N_q, N_γ：支持力係数
c　：支持地盤の粘着力
γ_1　：基礎底面以深の土の単位体積重量
γ_2　：基礎底面以浅の土の単位体積重量
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

地下水位が高いと、破壊面上の有効圧力と摩擦力が減少し、支持力も減る。図 3.2.25 に示す塑性域の深さ d は d ≒ B とされており、塑性域における平均単位体積重量 γ は、以下の式により表される。

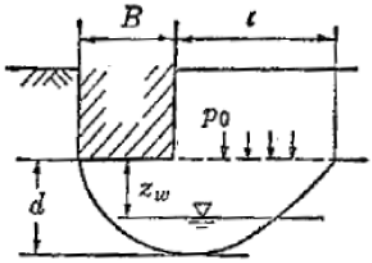


図 3.2.25　地盤の許容応力度に対する地下水位の影響

$$\gamma_1 = \gamma_1' + \frac{z_w(\gamma - \gamma_1')}{B} \qquad (z_w < d \fallingdotseq B) \tag{13}$$

γ_1　：基礎底面以深の土の換算単位体積重量

γ_1’：基礎底面以深の土の水中単位体積重量
（液状化層は 0 とする）

γ　：基礎底面以深の土の単位体積重量

z_w　：基礎底面から地下水位面までの深さ

B　：基礎幅

d　：塑性域の深さ

本検討（地盤の許容応力度の検討）では、地下水位以深は液状化するものとみなし、基礎底面以深の土の単位体積重量を算出している。

表 3.2.21　破壊面上に地下水位が存在する場合の地盤の許容応力度検討結果

地下水位	液状化による上昇水位	基礎底面から地下水面までの深さ	単位体積重量						土質定数 長期		土質定数 短期（液状化時）*		長期支持力係数			短期支持力係数（液状化時）			長期許容応力度		短期許容応力度（液状化時）	
	Δz	Zw	γ	γ1'	γ1''	γ1L	γ1S	γ2	c	φ	c'	φ'	Nc	Nr	Nq	Nc'	Nr'	Nq'	qaL	判定(>w_L)	qaS	判定(>w_L)
	m	m	kN/m3	kN/m3	kN/m3	kN/m3	kN/m3	kN/m3	kN/m2	deg	kN/m2	deg							kN/m2		kN/m2	
GL-3.0m（2m低下）	0.275	2.225	17.6	7.8	0.0	10.4	4.6	17.6	0	30	0	20	30.1	15.7	18.4	14.8	2.9	6.4	121.6	OK	48.6	OK
GL-4.0m（3m低下）	0.200	3.300	17.6	7.8	0.0	11.6	6.8	17.6	0	30	0	20	30.1	15.7	18.4	14.8	2.9	6.4	129.7	OK	53.9	OK
GL-5.0m（4m低下）	0.175	4.325	17.6	7.8	0.0	12.8	9.0	17.6	0	30	0	20	30.1	15.7	18.4	14.8	2.9	6.4	137.4	OK	59.0	OK

表 3.2.22　基礎諸元

基礎幅	B	(m)	8.49
基礎長さ	L	(m)	11.22
建物重量	W	(kN)	802
長期接地圧	wL	(kN/m2)	10
根入れ深さ	Df	(m)	0.5
基礎底面の形状係数	α		1.2
	β		0.3
基礎幅補正係数	η		0.49

単位体積重量

γ　：基礎底面以深の土の単位体積重量　（Fs 層）

γ1'　：基礎底面以深の土の水中単位体積重量　（Fs 層）

γ1"　：基礎底面以深の土の水中単位体積重量

（過剰間隙水圧考慮　液状化する場合…γ1"= 0）

γ1L　：基礎底面以深の土の長期換算単位体積重量

γ1L＝γ1'＋zw（γ－γ1'）/B

γ1S：基礎底面以深の土の短期換算単位体積重量

γ1S＝γ1"＋zw（γ－γ1"）/B

γ2　：基礎底面以浅の土の単位体積重量　（Bs 層）

ｅ）円弧すべり法による支持力検討

「（４）地盤の許容応力度の検討」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。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。

$$F_s = \frac{\sum R\left(C' \cdot l + \left(W - U \cdot b\right)\cos\alpha \cdot \tan\phi'\right)}{\sum\left(R \cdot W \sin\alpha\right)} \tag{14}$$

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）

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（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

なお、すべり安全率算定における抵抗モーメントは、極限状態のせん断抵抗を対象としているため、許容支持力と同等の評価をするために、下式の通り抵抗モーメントを許容値に換算（3 分の 2 倍）する。

$$F_s^{*} = \frac{\frac{2}{3} \times \sum R\left(C' \cdot l + \left(W - U \cdot b\right)\cos\alpha \cdot \tan\phi'\right)}{\sum\left(R \cdot W \sin\alpha\right)} \tag{15}$$

また、検討する円弧すべり面としては、図 3.2.24（前掲）に示す支持力の検討方法と同様に基礎幅端部から生じるすべり面、および基礎内部から生じる任意すべり面の双方を対象とする。基礎内部から生じる任意すべり面の検討結果については、別添資料３－１に示す。なお、基礎幅端部から生じるすべり面の検討においては、すべての接地圧が起動モーメントに寄与するすべり面について検討する。

・基礎幅端部から生じるすべり面

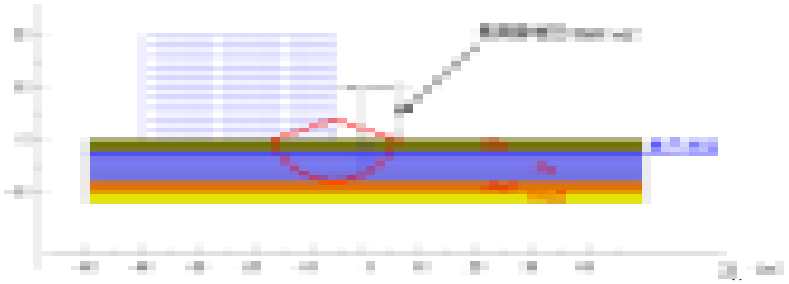
GL-3.0m （地下水位低下量：2.0m）		常時	すべり円弧
最小安全率	Fs	0.66	
円の中心座標	X(m)	-5.6	
	Y(m)	4.0	
円の半径	R(m)	11.9	
抵抗モーメント	(kN・m)	418	
許容抵抗モーメント	(kN・m)	278	
起動モーメント	(kN・m)	629	
換算安全率	Fs*	0.44	判定：NG

図 3.2.26　すべり計算結果（地下水位 GL-3.0m の場合）

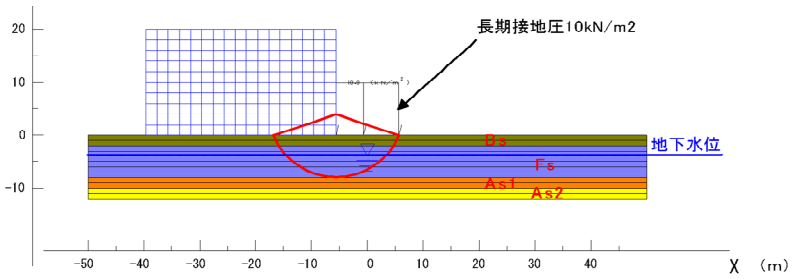
GL-4.0m （地下水位低下量：3.0m）		常時	すべり円弧
最小安全率	Fs	2.12	
円の中心座標	X(m)	-5.6	
	Y(m)	4.0	
円の半径	R(m)	11.9	
抵抗モーメント	(kN・m)	1,332	
許容抵抗モーメント	(kN・m)	888	
起動モーメント	(kN・m)	629	
換算安全率	Fs*	1.41	判定：OK

図 3.2.27　すべり計算結果（地下水位 GL-4.0m の場合）

GL-5.0m （地下水位低下量：4.0m）		常時	すべり円弧
最小安全率	Fs	9.18	
円の中心座標	X(m)	-5.6	
	Y(m)	4.0	
円の半径	R(m)	11.9	
抵抗モーメント	(kN・m)	5,777	
許容抵抗モーメント	(kN・m)	3,852	
起動モーメント	(kN・m)	629	
換算安全率	Fs*	6.12	判定：OK

図 3.2.28　すべり計算結果（地下水位 GL-5.0m の場合）

ｆ）地下水位低下時のパンチせん断の検討結果

パンチング破壊に対する短期許容支持力 R_a は、別添資料２－２に基づき検討する。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 3.2.29 の赤線部に沿って砂層が破壊するパンチング破壊についても検討する。

なお、塑性域における変形の進んだ残留時の状態を考慮し、tan φ を 2/3 倍に低減させる。

$$R_a = \frac{2}{3} R_f \tag{16}$$

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot K_0 \cdot \gamma'' \cdot H_1^{\ 2} \cdot (2/3) \cdot \tan\phi \cdot (B + L) \cdot 2 \tag{17}$$

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（単棟を想定し 8.49m とする）
L　：基礎長さ（単棟を想定し 11.22m とする）

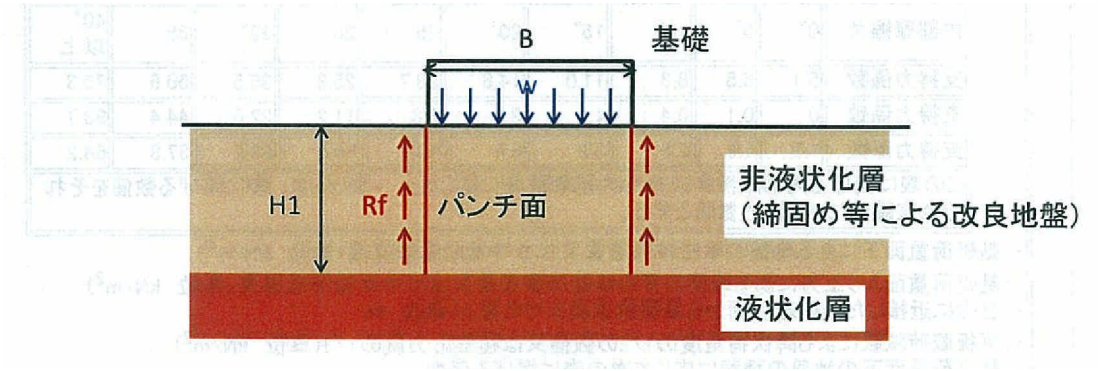


図 3.2.29　パンチ破壊の概念図

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。

表 3.2.23　パンチせん断検討結果（地下水位 GL-3.0m の場合）

土層	上端	下端	層厚	FL値	過剰間隙水圧比	有効単位体積重量	有効上載圧	換算単位体積重量	換算有効上載圧	換算有効上載圧	パンチ面摩擦力	許容支持力	建家重量	判定
	GL	GL		FL	$ru=FL^{-7}$	γ'	σz'	γ″	σz″	Σσz″*H	Rf	Ra	W	
	m	m	m	−	−	kN/m3	kN/m2	kN/m3	kN/m2	kN/m2	kN	kN	kN	
Bs	0.0	−1.0	1.0	−	−	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	139.0	92.6		
Bs	−1.0	−2.0	1.0	−	−	17.6	35.2	17.6	35.2	52.8	416.9	277.9		
Fs	−2.0	−3.0	1.0	−	−	17.6	52.8	17.6	52.8	105.6	801.1	534.1		
Fs	−3.0	−4.0	1.0	1.06	0.65	7.8	60.6	2.7	21.2	126.8	961.7	641.2	952.6	NG
Fs	−4.0	−5.0	1.0	0.96	1.00	7.8	68.4	0.0	0.0	126.8	961.7	641.2		
Fs	−5.0	−6.0	1.0	0.91	1.00	7.8	76.2	0.0	0.0	126.8	961.7	641.2		
Fs	−6.0	−7.0	1.0	0.88	1.00	7.8	84.0	0.0	0.0	126.8	961.7	641.2		
Fs	−7.0	−8.0	1.0	0.87	1.00	7.8	91.8	0.0	0.0	126.8	961.7	641.2		
As1	−8.0	−9.0	1.0	1.59	0.04	7.8	99.6	7.5	95.8	222.5	3071.0	2047.4		
As1	−9.0	−10.0	1.0	1.58	0.04	7.8	107.4	7.5	103.0	325.5	4492.9	2995.3		
As2	−10.0	−11.0	1.0	0.96	1.00	6.9	114.3	0.0	0.0	325.5	3704.6	2469.7		
As2	−11.0	−12.0	1.0	0.95	1.00	6.9	121.2	0.0	0.0	325.5	3704.6	2469.7		

表 3.2.24　パンチせん断検討結果（地下水位 GL-4.0m の場合）

土層	上端	下端	層厚	FL値	過剰間隙水圧比	有効単位体積重量	有効上載圧	換算単位体積重量	換算有効上載圧	換算有効上載圧	パンチ面摩擦力	許容支持力	建家重量	判定
	GL	GL		FL	$ru=FL^{-7}$	γ'	σz'	γ″	σz″	Σσz″*H	Rf	Ra	W	
	m	m	m	−	−	kN/m3	kN/m2	kN/m3	kN/m2	kN/m2	kN	kN	kN	
Bs	0.0	−1.0	1.0	−	−	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	139.0	92.6		
Bs	−1.0	−2.0	1.0	−	−	17.6	35.2	17.6	35.2	52.8	416.9	277.9		
Fs	−2.0	−3.0	1.0	−	−	17.6	52.8	17.6	52.8	105.6	801.1	534.1		
Fs	−3.0	−4.0	1.0	−	−	17.6	70.4	17.6	70.4	176.0	1335.2	890.1		
Fs	−4.0	−5.0	1.0	1.11	0.48	7.8	78.2	4.0	40.4	216.4	1641.5	1094.4		
Fs	−5.0	−6.0	1.0	1.03	0.80	7.8	86.0	1.6	17.2	233.6	1772.1	1181.4	952.6	OK
Fs	−6.0	−7.0	1.0	0.99	1.00	7.8	93.8	0.0	0.0	233.6	1772.1	1181.4		
Fs	−7.0	−8.0	1.0	0.97	1.00	7.8	101.6	0.0	0.0	233.6	1772.1	1181.4		
As1	−8.0	−9.0	1.0	1.75	0.02	7.8	109.4	7.6	107.3	340.8	4704.0	3136.0		
As1	−9.0	−10.0	1.0	1.73	0.02	7.8	117.2	7.6	114.7	455.5	6286.5	4191.0		
As2	−10.0	−11.0	1.0	1.04	0.76	6.9	124.1	1.7	29.8	485.3	5522.3	3681.6		
As2	−11.0	−12.0	1.0	1.02	0.85	6.9	131.0	1.0	19.9	505.2	5749.1	3832.7		

g）検討結果まとめ

地盤の許容応力度の検討結果、円弧すべり法による支持力の検討結果およびパンチせん断の検討結果を以下にまとめる（表 3.2.25 参照）。

表 3.2.25　検討結果まとめ

検討項目	GL-3.0m （地下水位低下量：2.0m）	GL-4.0m （地下水位低下量：3.0m）	GL-5.0m （地下水位低下量：4.0m）
許容支持力	OK （Fs=4.86）	OK （Fs=5.39）	OK （Fs=5.90）
円弧すべり	NG （Fs*=0.44）	OK （Fs*=1.41）	OK （Fs*=6.12）
パンチせん断	NG （Fs=0.67）	OK （Fs=1.24）	OK （液状化層なし）

※Fs*は換算安全率を示す

また、液状化判定および D_{cy} の算定結果を表 3.2.26 に示す。

表 3.2.26　液状化判定および D_{cy} 算定結果

検討項目	GL-3.0m （地下水位低下量：2.0m）	GL-4.0m （地下水位低下量：3.0m）	GL-5.0m （地下水位低下量：4.0m）
液状化判定	液状化の可能性あり （Fs層：GL-4.0m～-8.0m）	液状化の可能性あり （Fs層：GL-6.0m～-8.0m）	液状化の可能性なし
D_{cy}※	5.5cm （液状化の程度：小）	4.0cm （液状化の程度：軽微）	3.5cm （液状化の程度：軽微）

※道路部に対するDcyの許容値を5～10cmとした場合、全ケースにおいて許容値を満足する

ｈ）既往の事例調査

地盤被害を対象として調査された、表層の非液状化層厚および深部液状化層厚と被害状況をまとめたものを図 3.2.30 に示す。

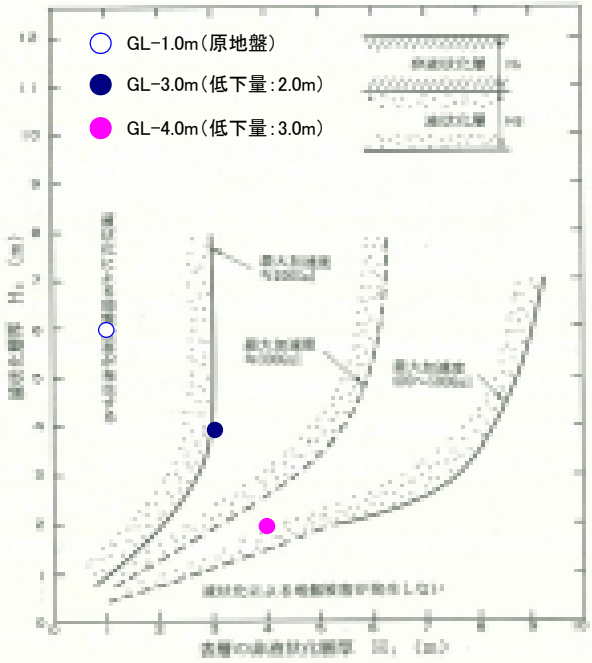


図 3.2.30　液状化による地盤被害が発生する条件

（出典：埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）　p.386 付図 2-1）

（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。

1）検討ケース

揚水井戸の配置（本数）およびストレーナの設置範囲は、地下水位低下量および低下期間に依る。本検討では、非定常解析により低下期間を 3 ヶ月、6 ヶ月、1 年を想定し、地下水位を 3m、4m 低下させるために必要となる揚水井戸の配置（本数）およびストレーナの設置範囲を決定する。また、地下水位低下後の定常運転時に必要となるストレーナの設定範囲は、定常解析により決定する。

本検討では、表 3.2.27 に示す検討ケースに対して検討を実施する。

表 3.2.27　浸透流解析検討ケース

	地下水位低下量	低下期間	解析方法	降雨
ケース1	3m	1年	非定常解析→定常解析（定常運転時）	考慮する
ケース2	3m	6ヶ月	非定常解析→定常解析（定常運転時）	考慮する
ケース3	3m	3ヶ月	非定常解析→定常解析（定常運転時）	考慮する
ケース4	4m	1年	非定常解析→定常解析（定常運転時）	考慮する
ケース5	4m	6ヶ月	非定常解析→定常解析（定常運転時）	考慮する
ケース6	4m	3ヶ月	非定常解析→定常解析（定常運転時）	考慮する
参考ケース	3m	6ヶ月	非定常解析	考慮しない

2）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。

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(K_r\left(K_{ij}{}^{s}\frac{\partial\psi}{\partial x_j}+K_{i3}{}^{s}\right)\right)-q=(\beta S_S+C)\frac{\partial\psi}{\partial t} \qquad (18)$$

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 $\beta=0$、飽和領域では $\beta=1$

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。

３）解析モデル

解析モデルは、図 3.2.31 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。

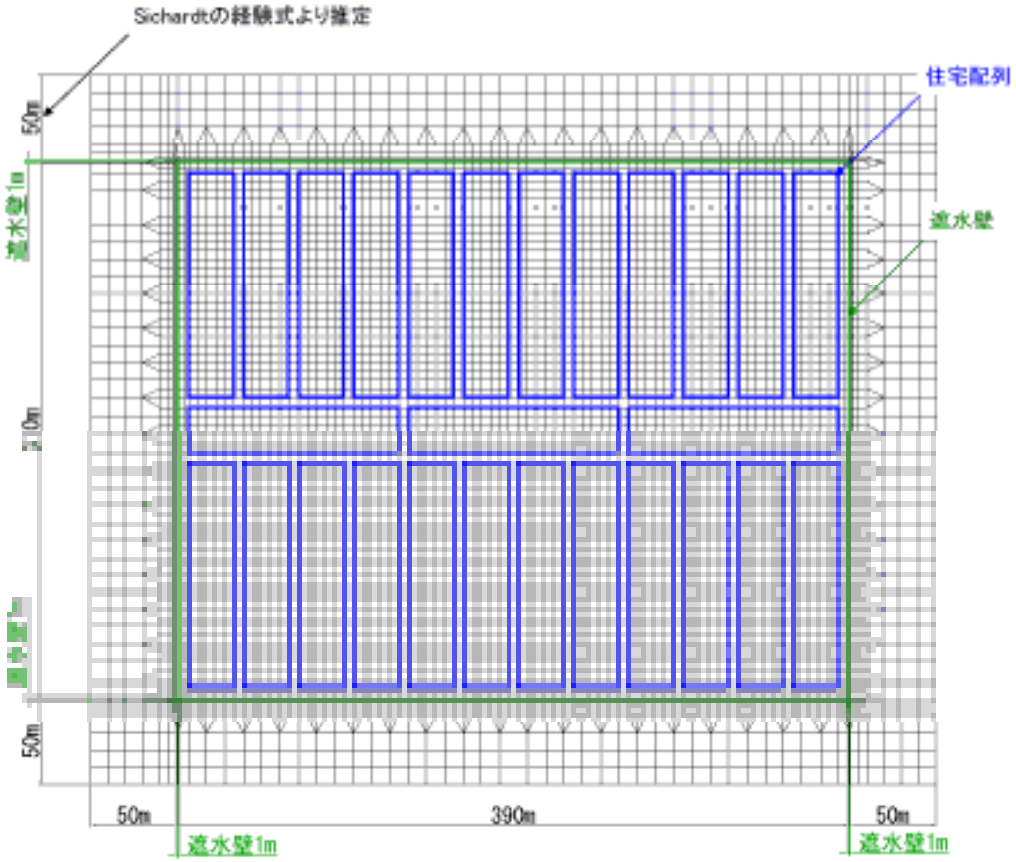


図 3.2.31　浸透流解析モデル（平面図）

また、3 次元浸透流解析を行う際、地下水位低下による遮水壁の外側への影響範囲を考慮したモデルを作成する必要があるが、下式の 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。

$$R = C(H - h_w)\sqrt{k} \qquad (19)$$

R：影響半径（m）
k：透水係数（m/sec）
C：重力井戸の場合は 3000

また、表 3.2.28 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。

各検討ケースに用いる揚水井戸の配置図については、６）～１２）にそれぞれ示す。

４）解析パラメータの設定

ａ）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 3.2.28 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 3.2.28　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	－	－	－

ｂ）比貯留係数

比貯留係数については、表 3.2.29 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に表 3.2.28（前掲）に併せて示す。

表 3.2.29　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

ｃ）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。

$$\theta=\theta_r+\frac{\theta_s-\theta_r}{\left(1+|\alpha\phi|^n\right)^m} \tag{20}$$

$$k_r=\frac{k}{k_s}=S_e\left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2 \tag{21}$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \tag{22}$$

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 3.2.32 に示す。

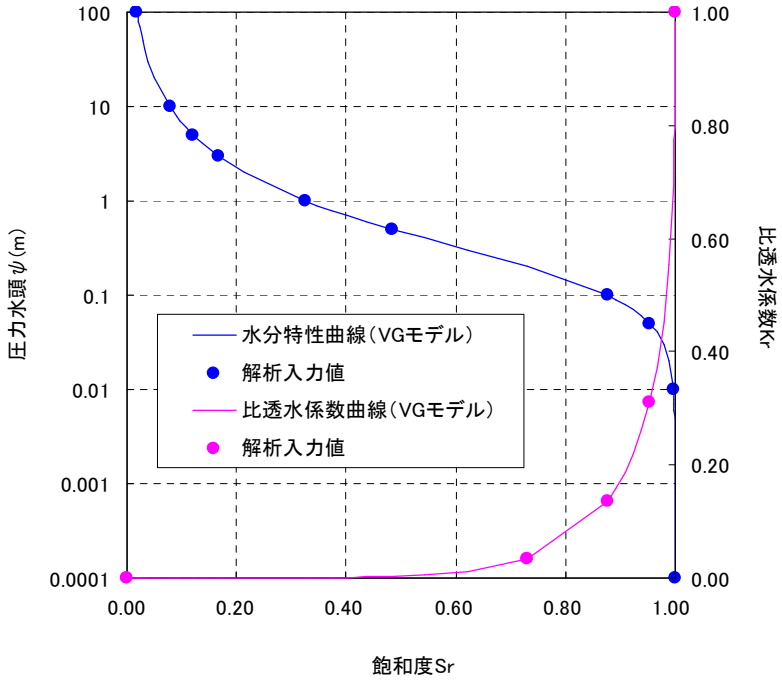


図 3.2.32　解析に用いる不飽和浸透特性

５）降雨条件

ａ）浦安市における降水量

浦安市ホームページ（http://www.city.urayasu.chiba.jp/）を参照に、浦安市における 2001 年～2011 年の 10 年間の月降水量を整理した結果を表 3.2.30 に示す。なお、2005 年および 2007 年については、月降水量の記載がなかったため除いて整理した。

月降水量の年ごとの比較結果を図に示すが、月平均降水量はこの 10 年間ではほとんど変わらない。また、月降水量の月ごとの比較結果を図 3.2.34 に示すが、10 月の降水量が比較的多いことを除けば、概ね平均的な降雨である。

また、前述した通り、揚水井戸の配置（本数）およびストレーナの設置範囲は、地下水位低下量および低下期間に依るため、配置等の条件を決定する上では平均的な降水量を対象に検討する。

以上から、平均降水量である 116mm/月（3.9mm/日）を用いて浸透流解析を実施する。

表 3.2.30　浦安市における月降水量（2001 年～2011 年）

月	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2006年	2008年	2009年	2010年	2011年	平均降水量
1月	57.6	87.6	82.4	102.4	5.8	63.4	18	51.5	12.5	10.5	49
2月	3.8	29.6	26.8	57.2	16.6	107.6	71	47	97	107.5	56
3月	64.4	58.4	66	136.6	120.2	71.6	87.5	76.5	143.5	66	89
4月	116.2	44.6	47.2	107.2	63	134.8	209	141.5	130.5	61	106
5月	122	129.2	90	150.6	144.2	109.4	202.5	160	112	187.5	141
6月	235	118	131	54.8	111.6	127.8	207.5	221.5	100.5	129	144
7月	268.2	7	120.8	125.8	14.4	143.2	32.5	78.5	73	41	90
8月	69.6	124	120.8	332	89.4	112.6	151.5	133.5	12	151.5	130
9月	176.8	171.6	194.8	123	181	155	129.5	21.5	347.5	128.5	163
10月	143.8	327	154.4	135.8	668.4	311.4	140	222.5	186.5	136	243
11月	98.4	104	18.6	210.8	104.2	121	64.5	128.5	84.5	114	105
12月	7.8	33.6	81.4	52.6	71.8	208.4	66	80	126	50	78
年降水量	1363.6	1234.6	1134.2	1588.8	1590.6	1666.2	1379.5	1362.5	1425.5	1182.5	1392.8
月平均	114	103	95	132	133	139	115	114	119	99	116.3

単位：mm

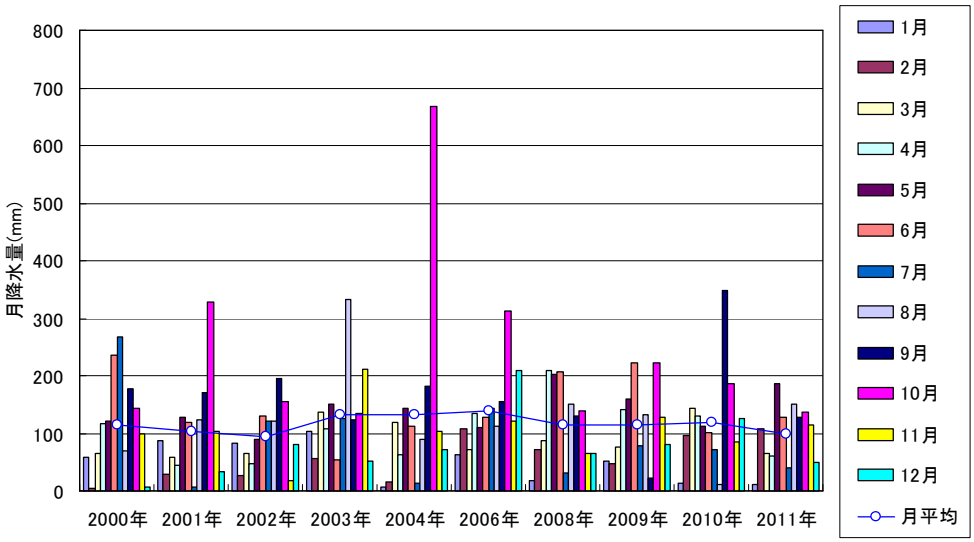


図 3.2.33　浦安市における月降水量の年比較

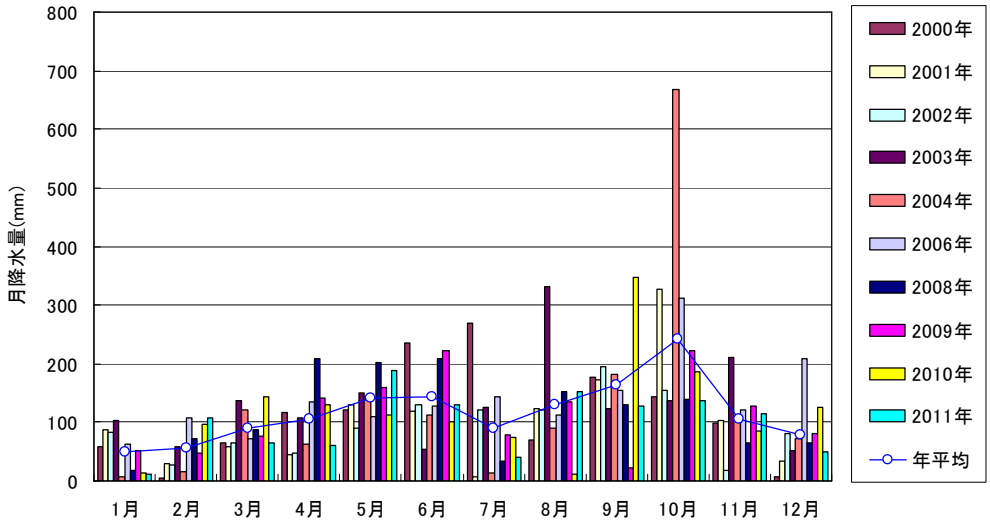


図 3.2.34　浦安市における月降水量の月比較

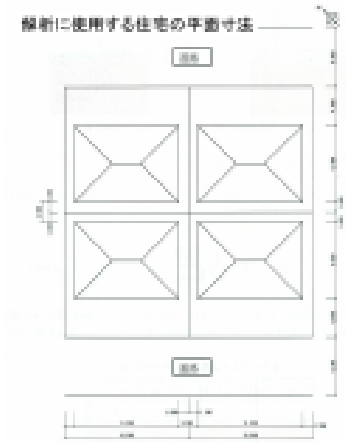
b）雨水浸透率の設定

道路および住宅建物の範囲に降った雨水が完全に排水されると想定した場合、検討対象範囲における雨水浸透率は、面積比率から下記の通り 36.2%と概算される。揚水井戸の本数を決定する上では安全側に雨水浸透率を 50%として浸透流解析を実施する。

検討対象領域：310×390　=120900　m2
住宅領域：130×26×27　=91260　m2　（全体の75.5%）
道路領域：120900-91260　=29640　m2　（全体の24.5%）

住宅1棟当たりの面積：13×13　=169　m2
住宅1棟当たりの住宅面積：11×8　=88　m2
住宅1棟当たりの浸透面積：169-88　=81　m2

雨水浸透率：75.5×81/169=36.2%



6）ケース１検討結果（地下水位低下量 3.0m、低下期間１年）

a）解析条件（非定常解析）

①揚水井戸の配置

地下水位低下量を区画範囲全体で 3.0m、かつ、低下期間を１年とする場合の揚水井戸の配置図を図 3.2.35 に示す。

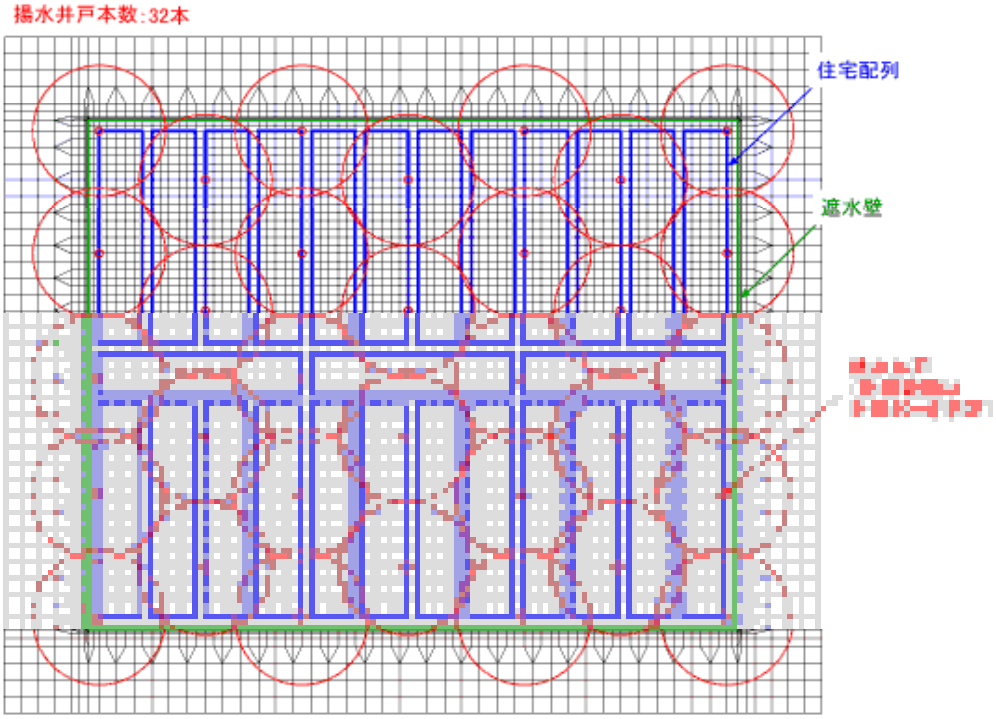


図 3.2.35　ケース１における揚水井戸の配置図

②揚水井戸の水位

揚水井戸の条件は、ディープウェルのストレーナを GL-9.0m まで設置することとし、GL-9.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

③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。

b）解析条件（定常解析）

①揚水井戸の配置

非定常解析と同じとする。

②揚水井戸の水位

揚水井戸の条件は、以下の通りとする。

②-1：外周 14 本の揚水井戸

ディープウェルのストレーナを GL-8.0m まで設置することとし、GL-8.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

②-2：その他 18 本の揚水井戸

ディープウェルのストレーナを GL-7.0m まで設置することとし、GL-7.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

③モデル外周

非定常解析と同じとする。

c）解析結果（ケース１）

①圧力水頭コンター（平面図）

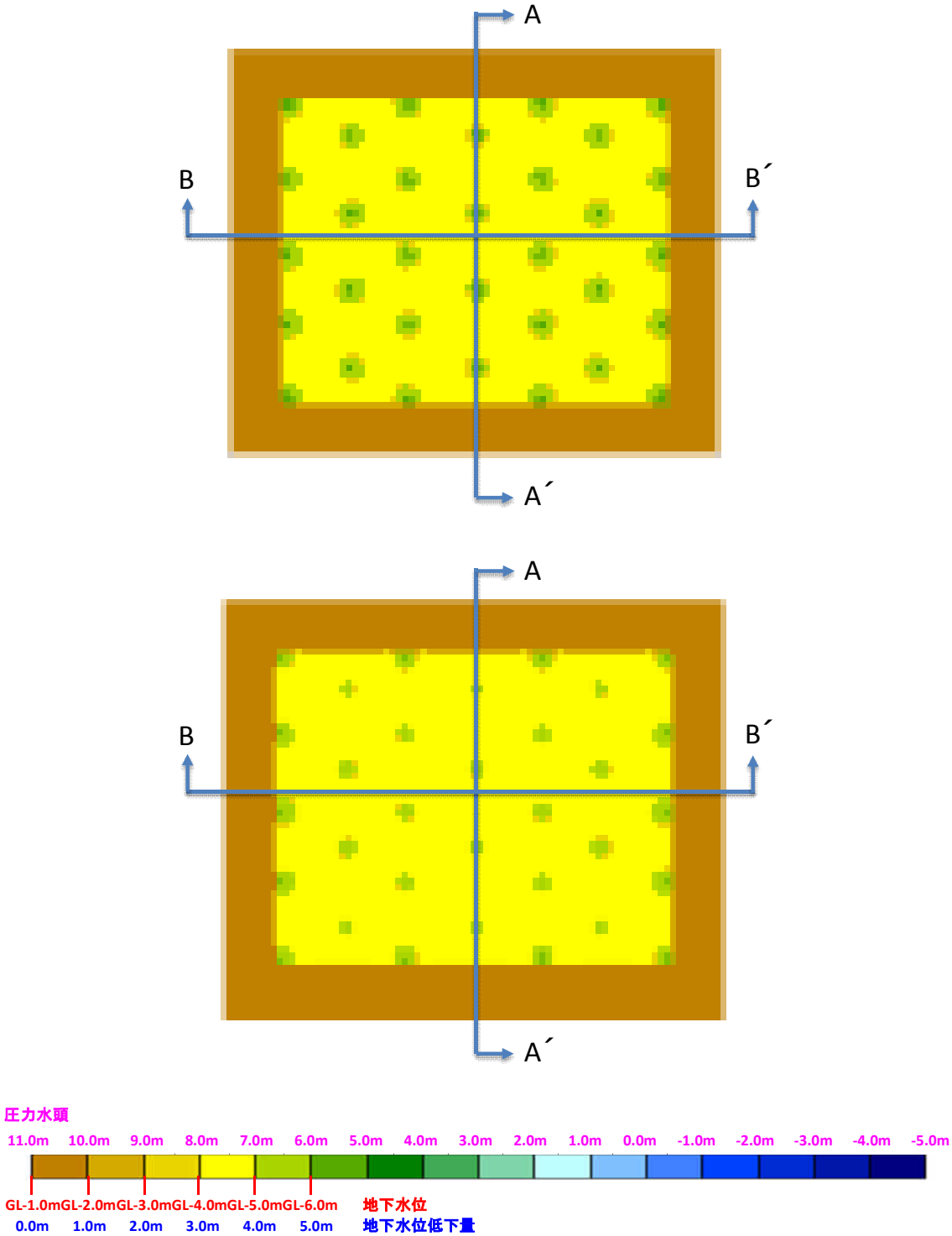


図 3.2.36　モデル下端 GL-12.0m における圧力水頭コンター図

（上：非定常解析 1 年後、下：定常運転時）

②圧力水頭コンター（断面図）

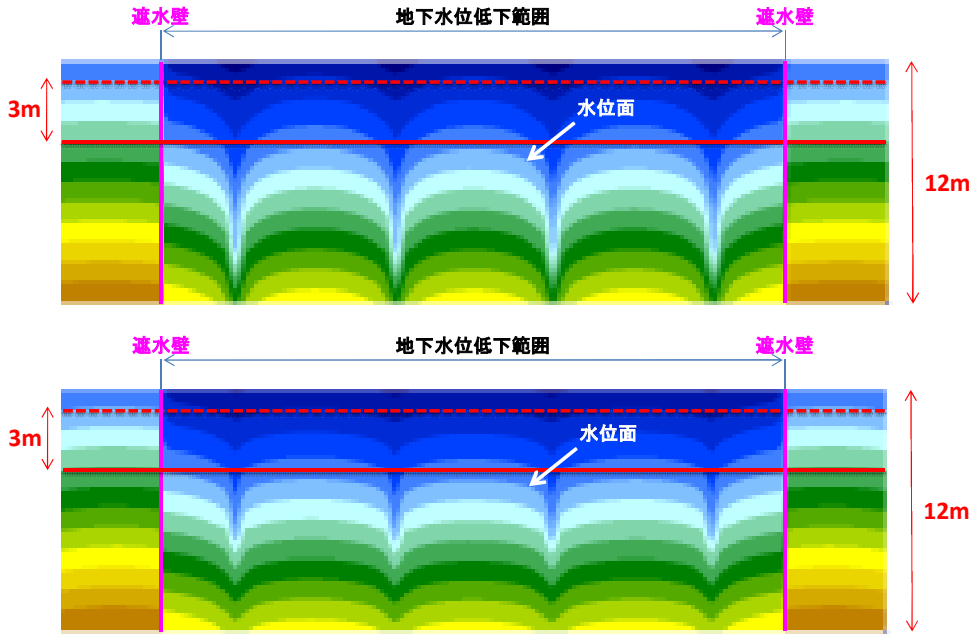


図 3.2.37　A-A’断面図（上：非定常解析 1 年後、下：定常運転時）

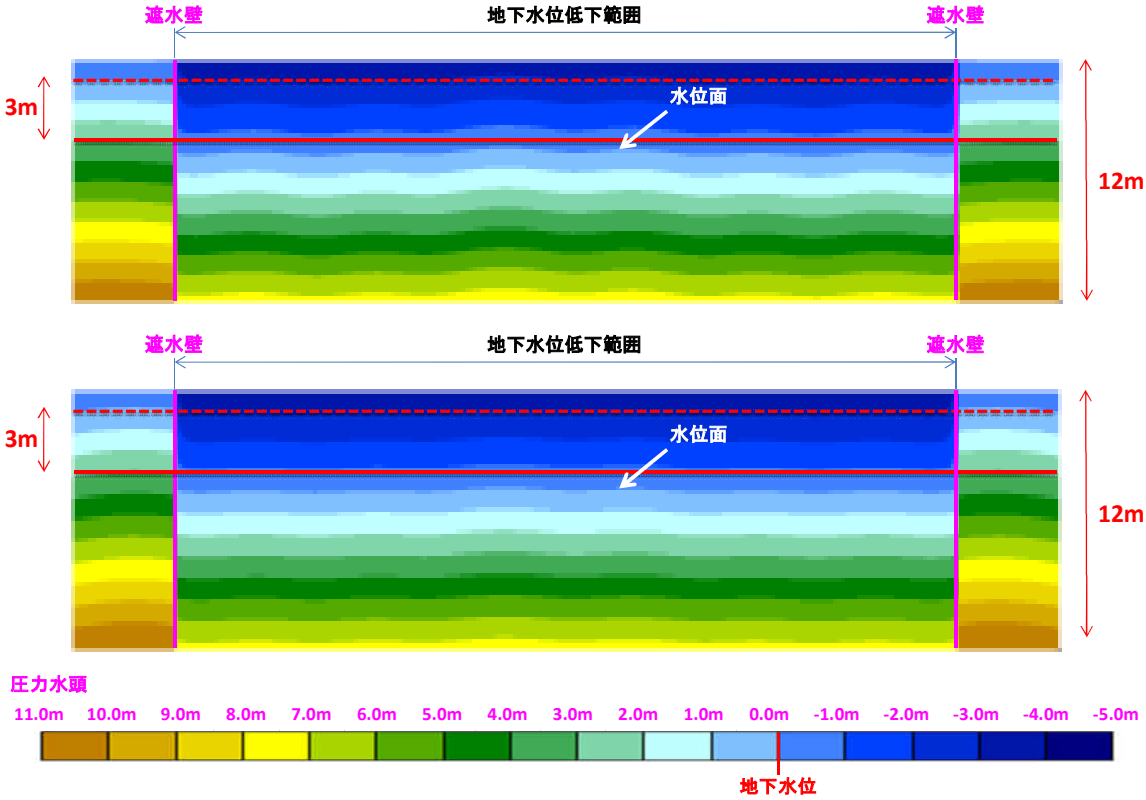


図 3.2.38　B-B’断面図（上：非定常解析 1 年後、下：定常運転時）

③定常運転時揚水量の算定結果

定常運転時の揚水量は、各揚水井戸によって異なるが 3.5～5.0（L/min）の範囲となり、全体揚水量は 186.8m^3/day（129.7L/min）となった。

7）ケース２検討結果（地下水位低下量 3.0m、低下期間 6 ヶ月）

a）解析条件（非定常解析）

①揚水井戸の配置

地下水位低下量を区画範囲全体で 3.0m、かつ、低下期間を 6 ヶ月とする場合の揚水井戸の配置図を図 3.2.39 に示す。

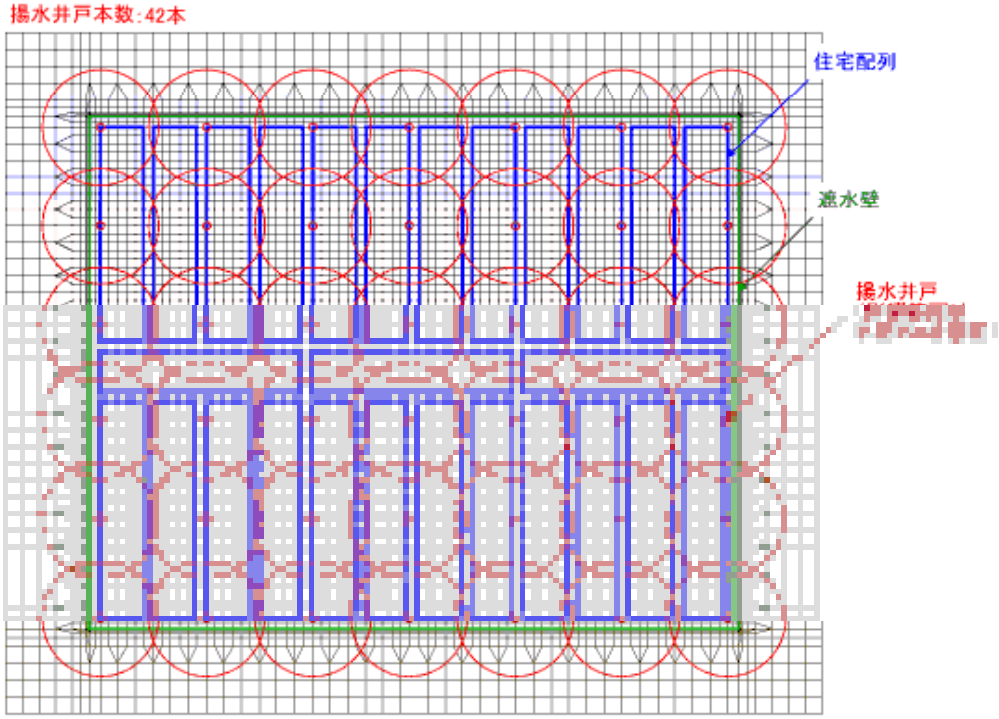


図 3.2.39　ケース 2 における揚水井戸の配置図

②揚水井戸の水位

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。

③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。

b）解析条件（定常解析）

①揚水井戸の配置

非定常解析と同じとする。

②揚水井戸の水位

揚水井戸の条件は、以下の通りとする。

②-1：中央 6 本の揚水井戸

ディープウェルのストレーナを GL-6.0m まで設置することとし、GL-6.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

②-2：その他 36 本の揚水井戸

ディープウェルのストレーナを GL-7.0m まで設置することとし、GL-7.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

③モデル外周

非定常解析と同じとする。

c）解析結果（ケース２）

①圧力水頭コンター（平面図）

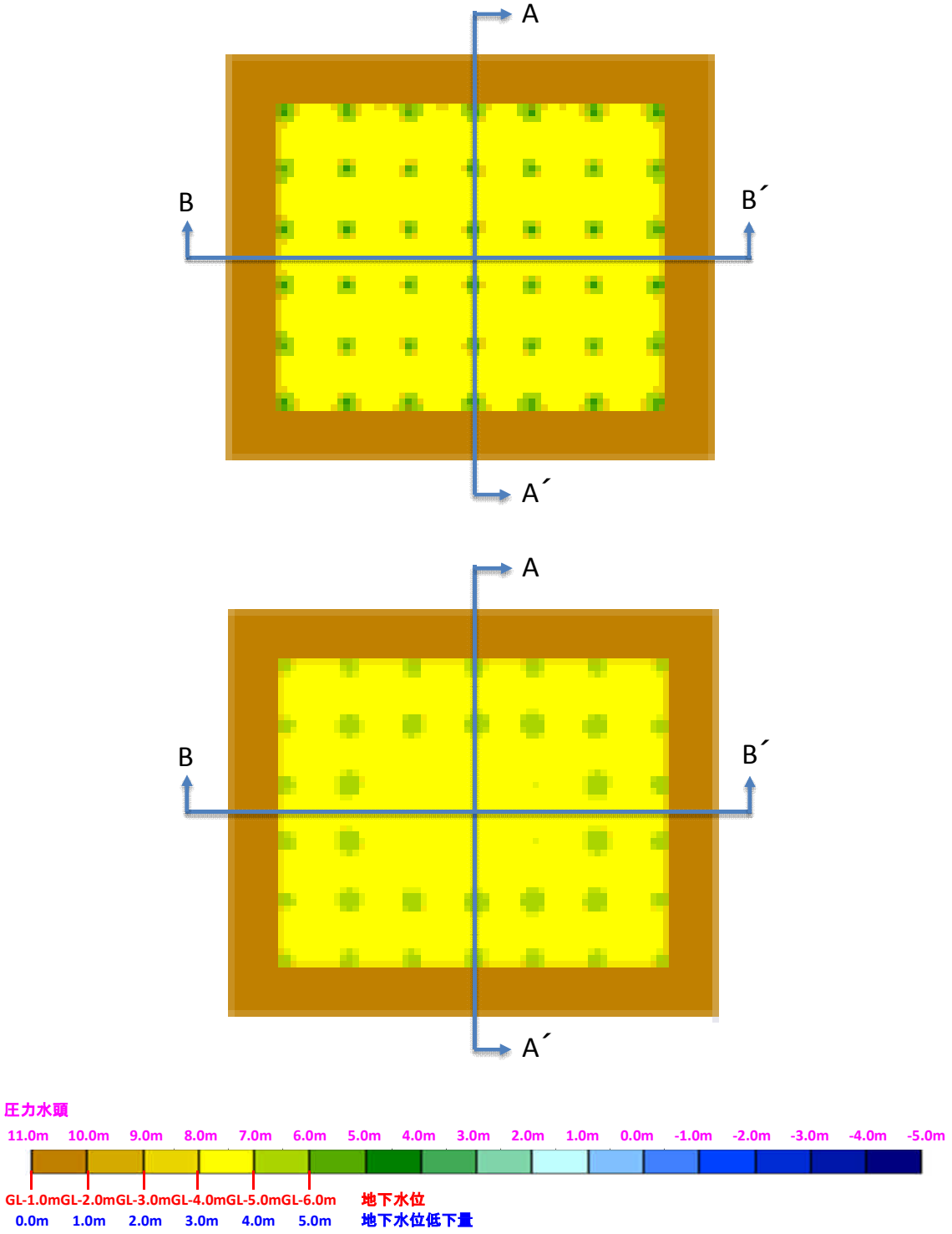


図 3.2.40　モデル下端 GL-12.0m における圧力水頭コンター図

（上：非定常解析 6 ヶ月、下：定常運転時）

②圧力水頭コンター（断面図）

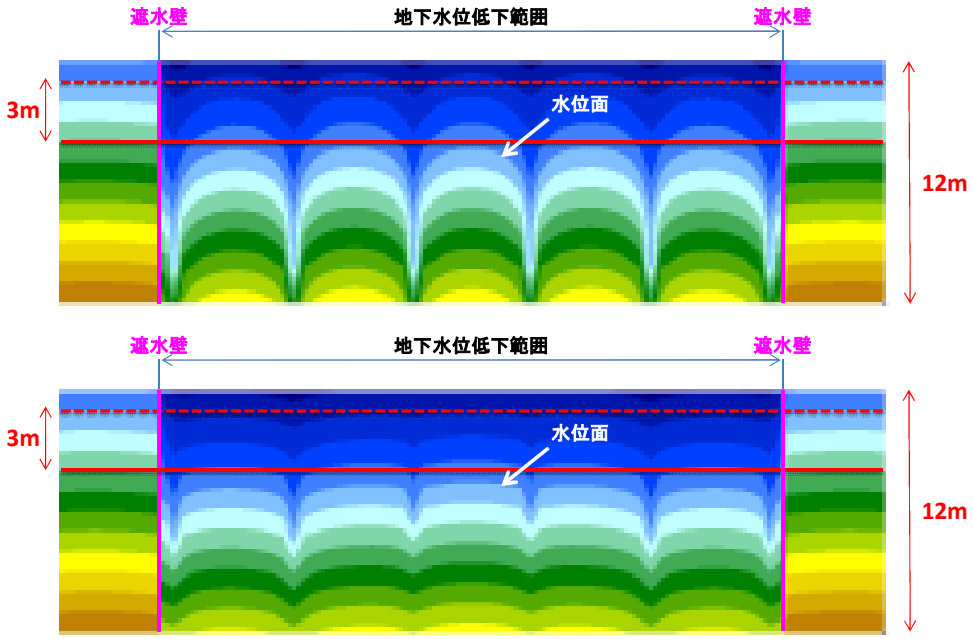


図 3.2.41　A-A’断面図（上：非定常解析 6 ヶ月後、下：定常運転時）

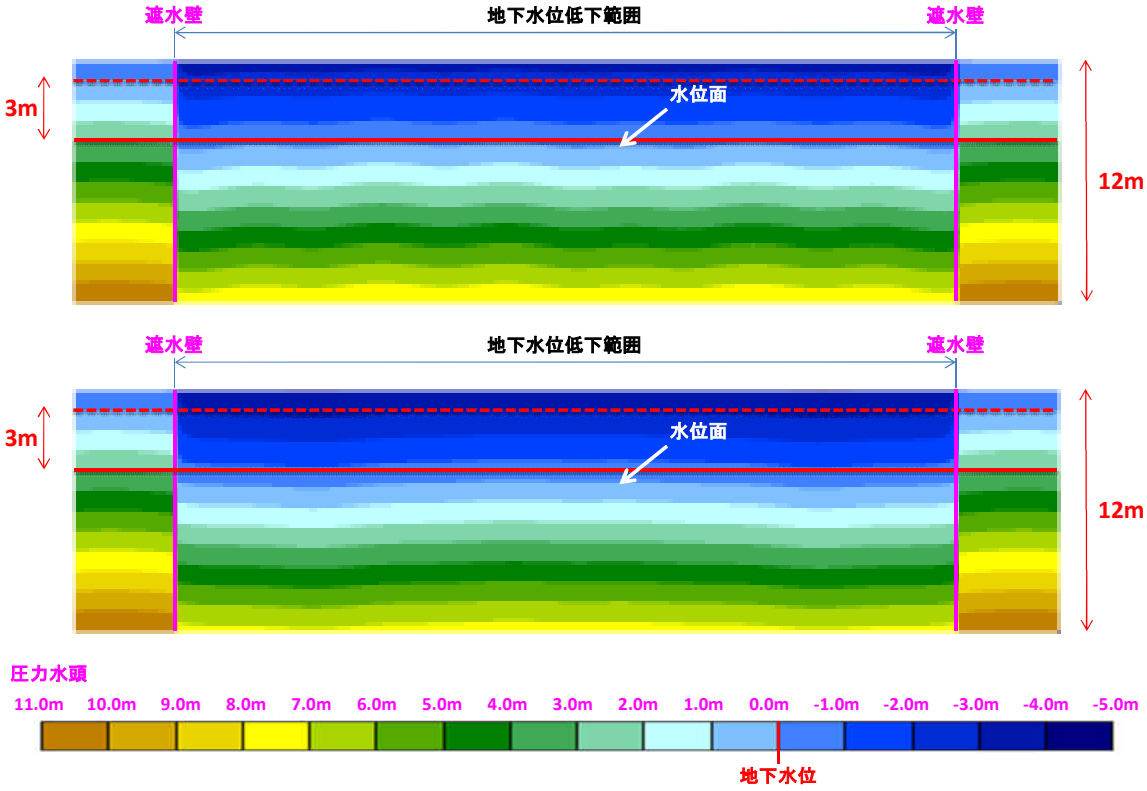


図 3.2.42　B-B’断面図（上：非定常解析 6 ヶ月後、下：定常運転時）

③定常運転時揚水量の算定結果

定常運転時の揚水量は、各揚水井戸によって異なるが 2.1～3.4（L/min）の範囲となり、全体揚水量は 180.9m^3/day（125.6L/min）となった。

８）ケース３検討結果（地下水位低下量 3.0m、低下期間 3 ヶ月）

ａ）解析条件（非定常解析）

①揚水井戸の配置

地下水位低下量を区画範囲全体で 3.0m、かつ、低下期間を 3 ヶ月とする場合の揚水井戸の配置図を図 3.2.43 に示す。

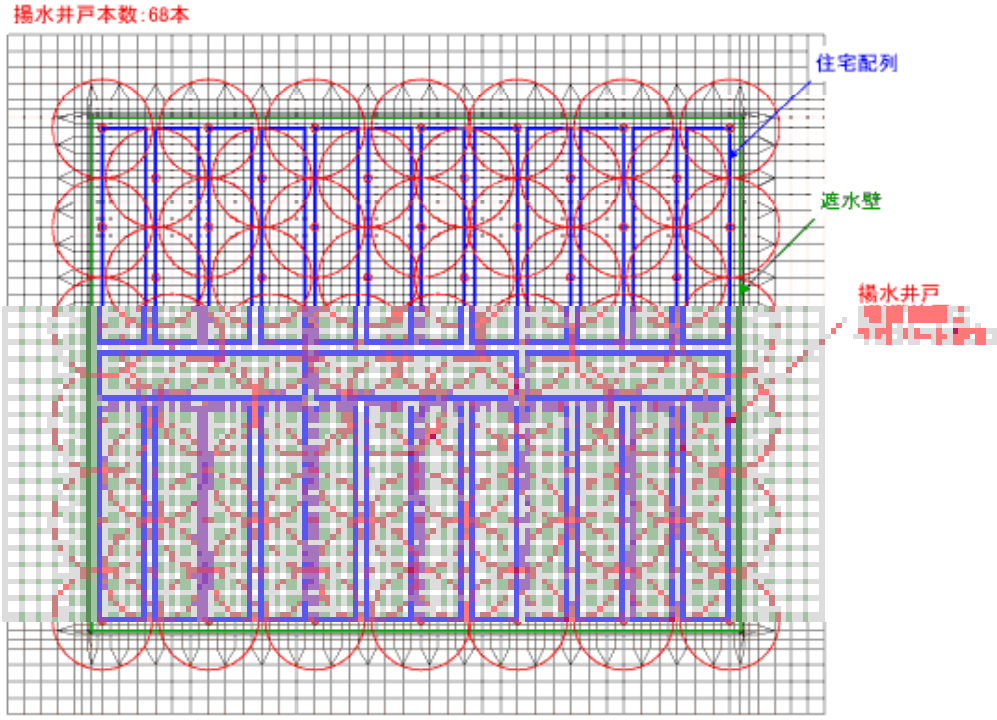


図 3.2.43　ケース 3 における揚水井戸の配置図

②揚水井戸の水位

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。

③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。

ｂ）解析条件（定常解析）

①揚水井戸の配置

非定常解析と同じとする。

②揚水井戸の水位

揚水井戸の条件は、ディープウェルのストレーナを GL-6.0m まで設置することとし、GL-6.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

③モデル外周

非定常解析と同じとする。

c）解析結果（ケース３）

①圧力水頭コンター（平面図）

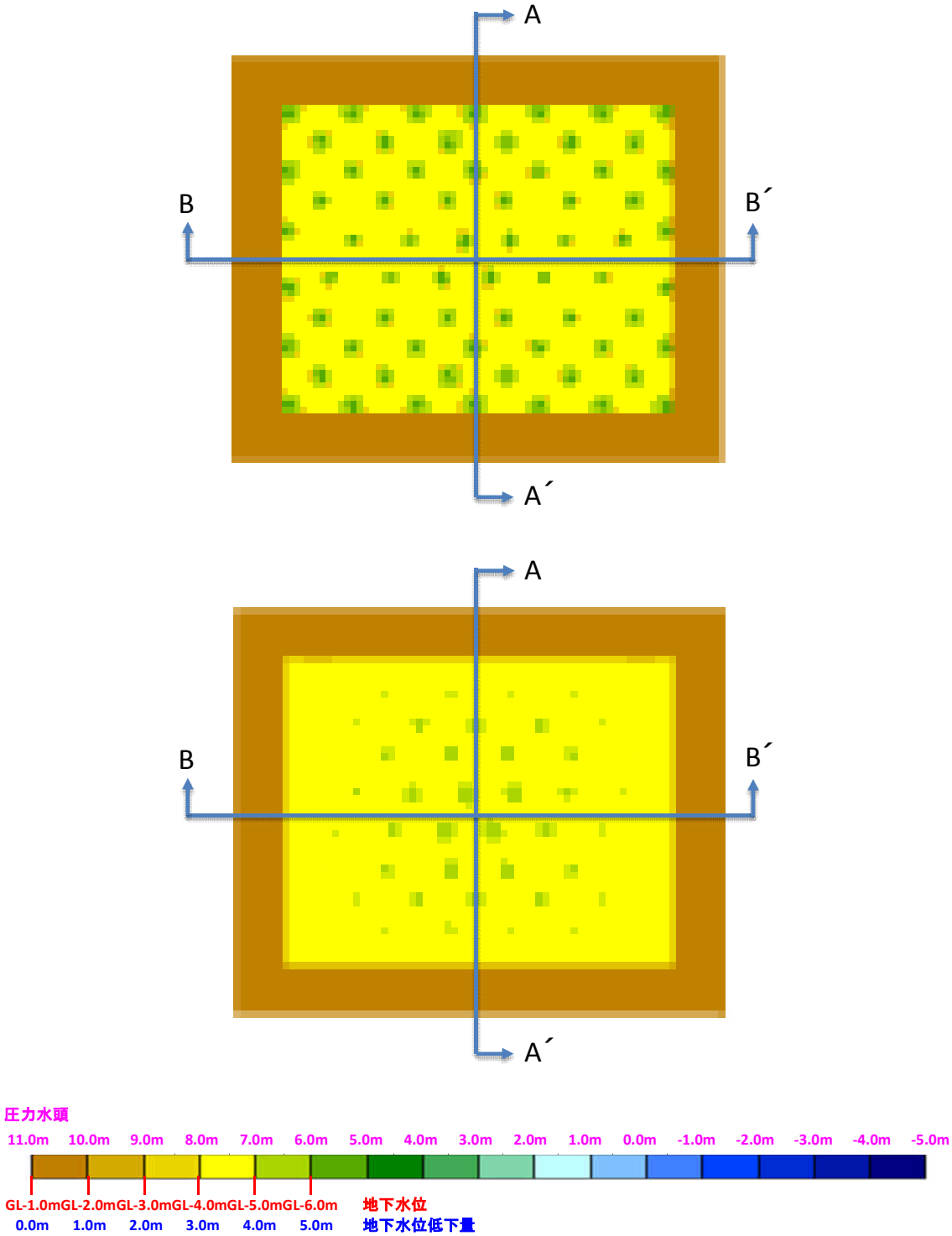


図 3.2.44　モデル下端 GL-12.0m における圧力水頭コンター図

（上：非定常解析 3 ヶ月後、下：定常運転時）

②圧力水頭コンター（断面図）

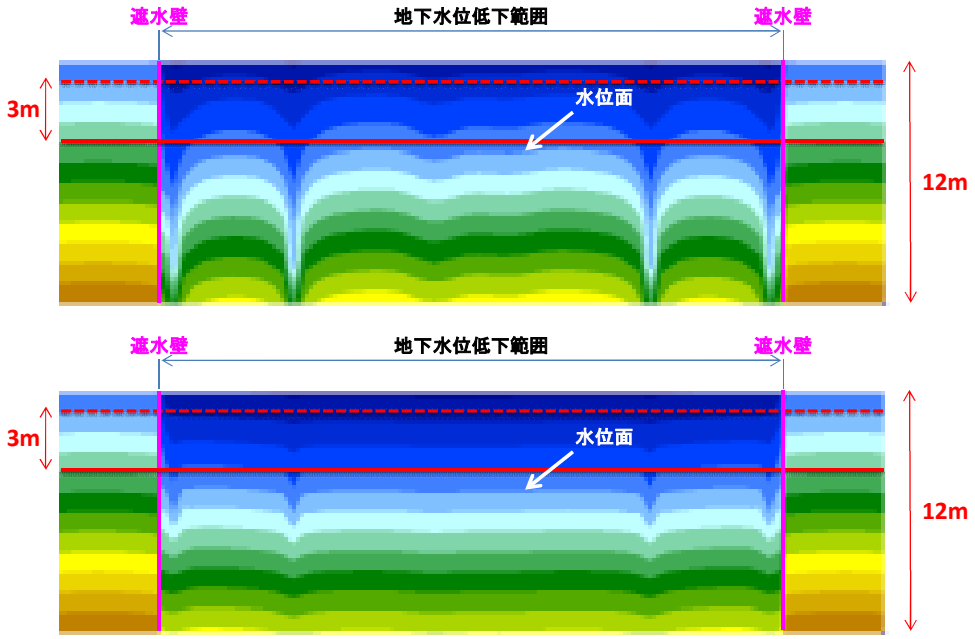


図 3.2.45　A-A’断面図（上：非定常解析 3 ヶ月後、下：定常運転時）

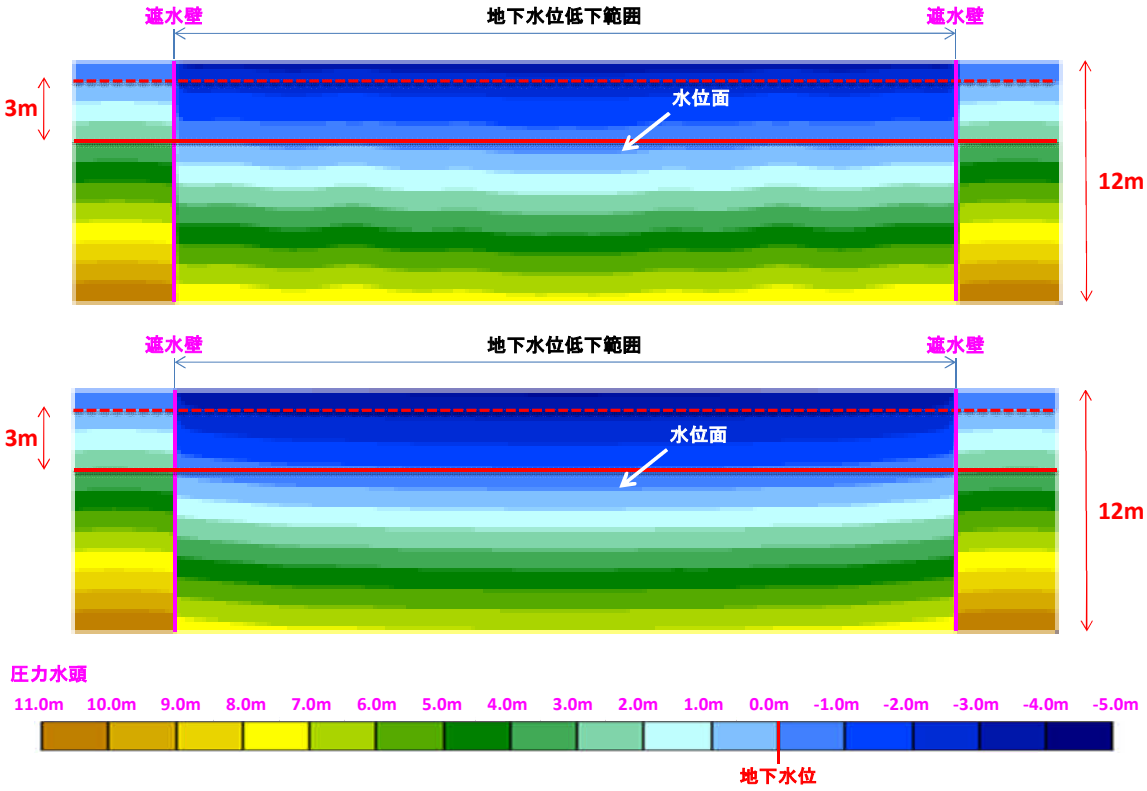


図 3.2.46　B-B’断面図（上：非定常解析 3 ヶ月後、下：定常運転時）

③定常時揚水量の算定結果

定常運転時の揚水量は、各揚水井戸によって異なるが 1.7～2.4（L/min）の範囲となり、全体揚水量は 200.1m^3/day（138.9L/min）となった。

9）ケース４検討結果（地下水位低下量 4.0m、低下期間１年）

a）解析条件（非定常解析）

①揚水井戸の配置

地下水位低下量を区画範囲全体で 4.0m、かつ、低下期間を１年とする場合の揚水井戸の配置図を図 3.2.47 に示す。

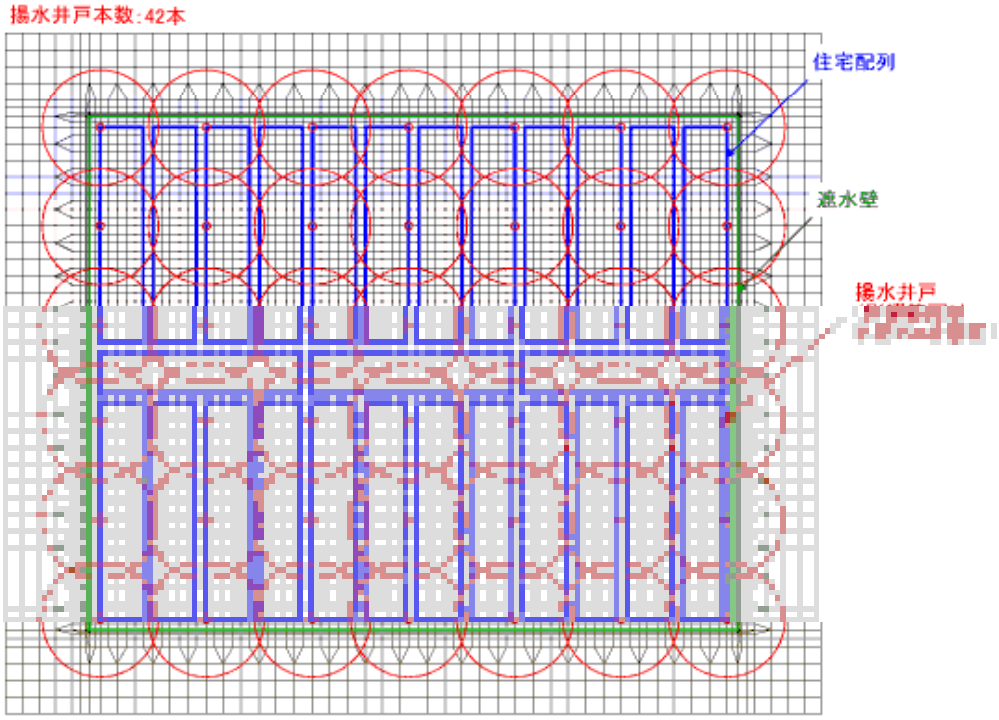


図 3.2.47　ケース４における揚水井戸の配置図

②揚水井戸の水位

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。

③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。

b）解析条件（定常解析）

①揚水井戸の配置

非定常解析と同じとする。

②揚水井戸の水位

揚水井戸の条件は、ディープウェルのストレーナを GL-8.0m まで設置することとし、GL-8.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

③モデル外周

非定常解析と同じとする。

c）解析結果（ケース４）

①圧力水頭コンター（平面図）

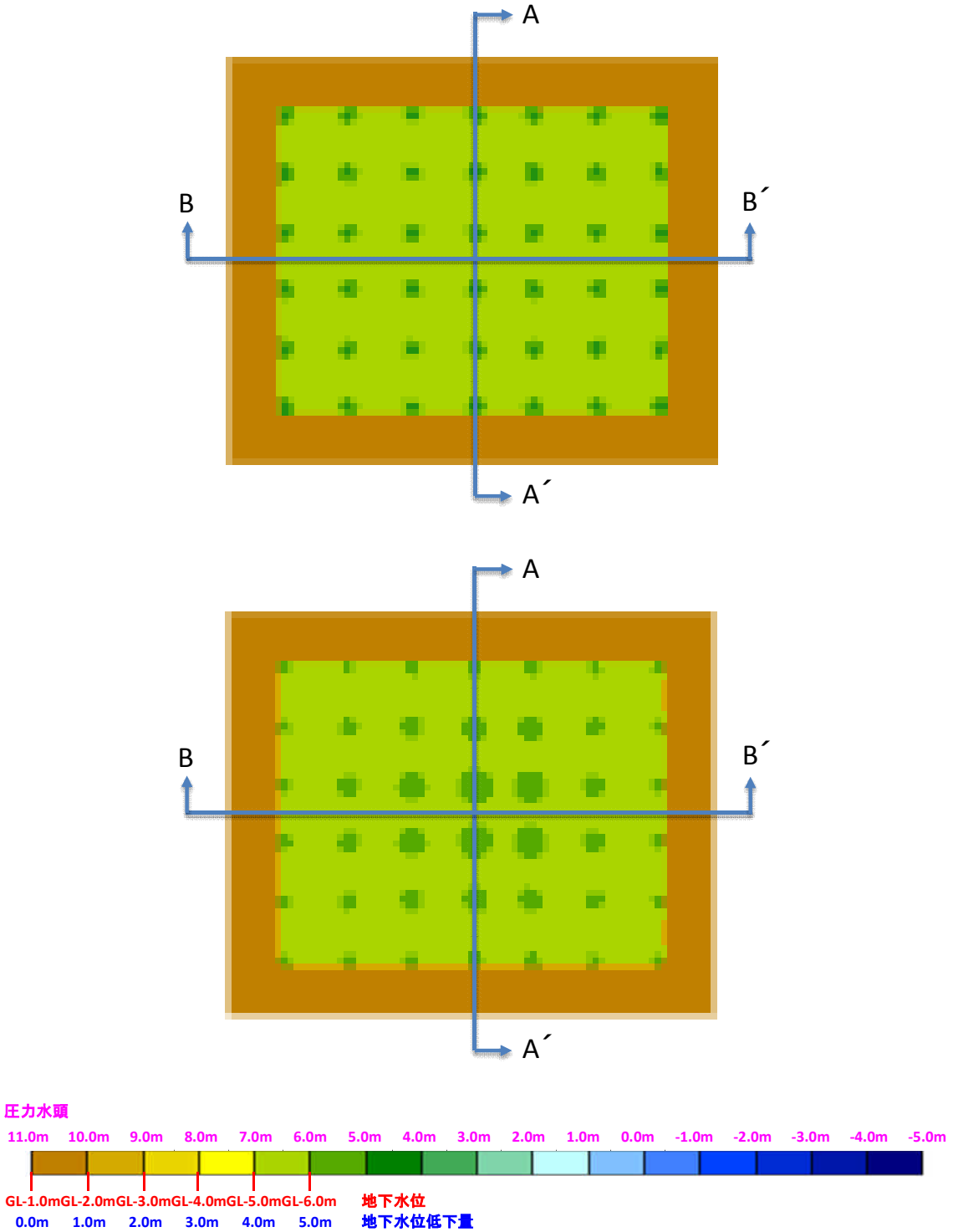


図 3.2.48　モデル下端 GL-12.0m における圧力水頭コンター図

（上：非定常解析 1 年後、下：定常運転時）

②圧力水頭コンター（断面図）

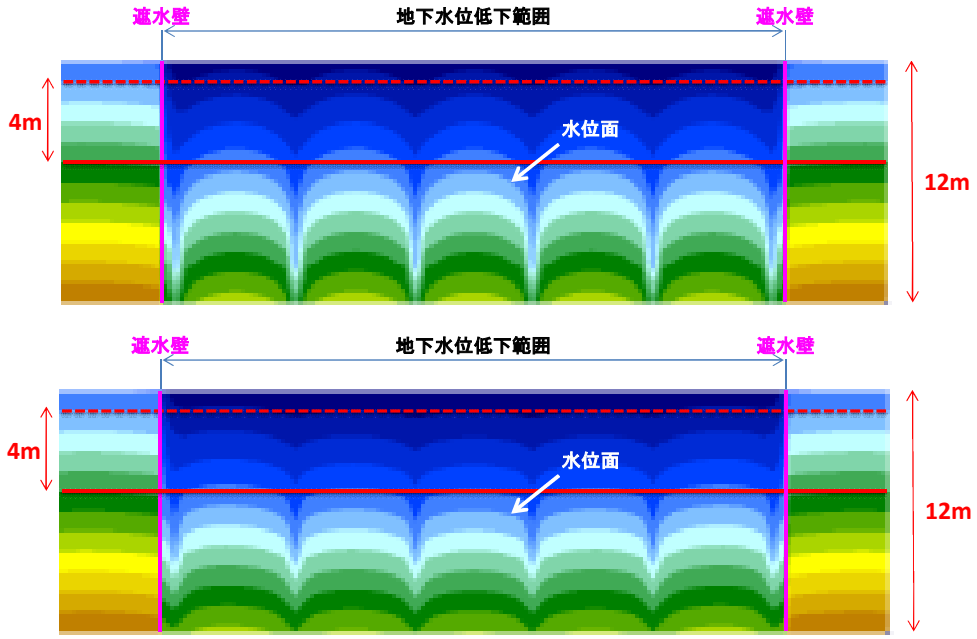


図 3.2.49　A-A’断面図（上：非定常解析 1 年後、下：定常運転時）

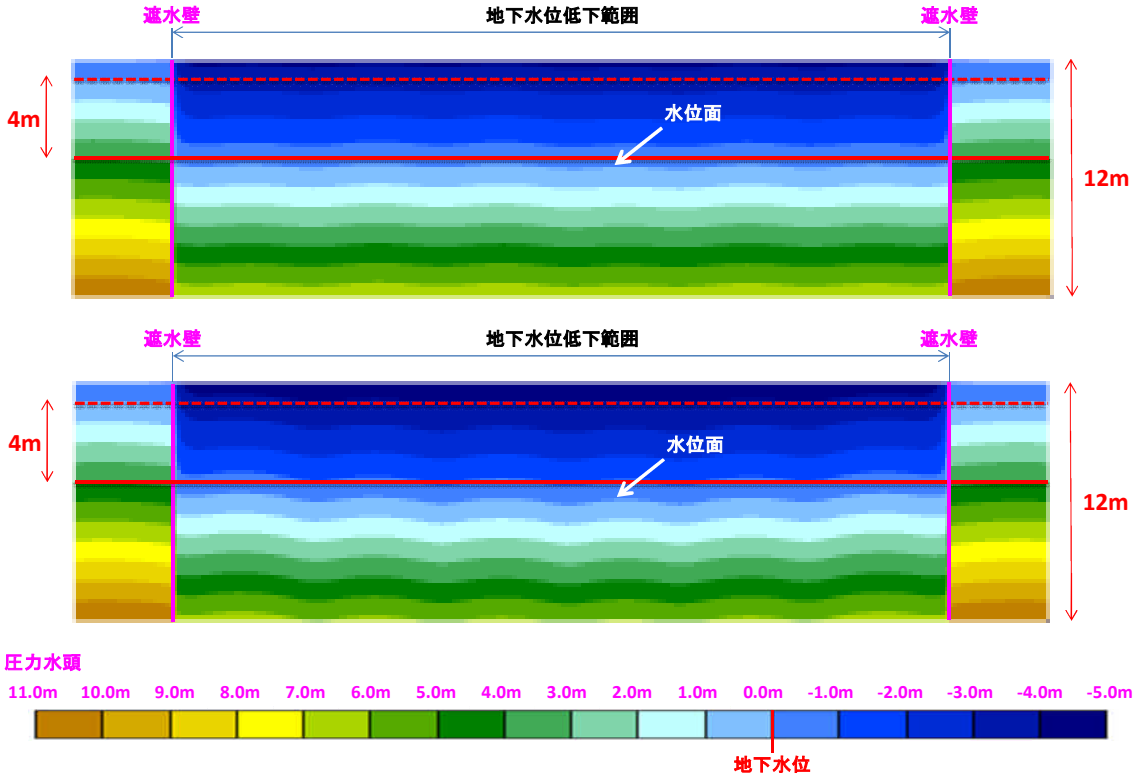


図 3.2.50　B-B’断面図（上：非定常解析 1 年後、下：定常運転時）

③定常時揚水量の算定結果

定常運転時の揚水量は、各揚水井戸によって異なるが 2.8～3.2（L/min）の範囲となり、全体揚水量は 183.1m^3/day（127.1L/min）となった。

１０）ケース５検討結果（地下水位低下量 4.0m、低下期間 6 ヶ月）

ａ）解析条件（非定常解析）

①揚水井戸の配置

地下水位低下量を区画範囲全体で 4.0m、かつ、低下期間を 6 ヶ月とする場合の揚水井戸の配置図を図 3.2.51 に示す。

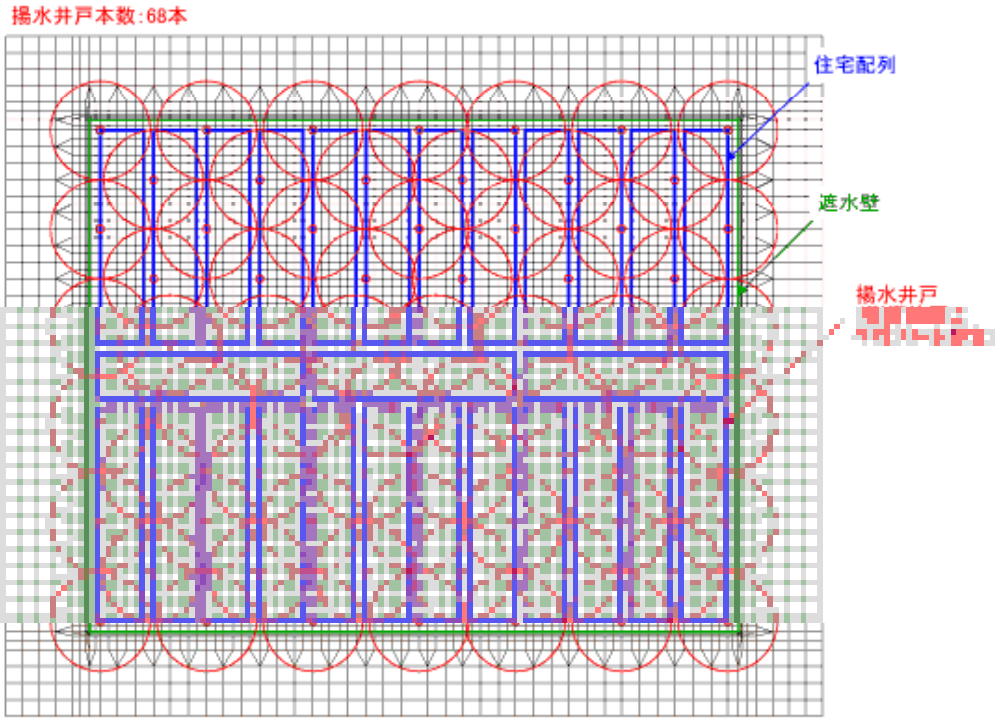


図 3.2.51　ケース 5 における揚水井戸の配置図

②揚水井戸の水位

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。

③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。

ｂ）解析条件（定常解析）

①揚水井戸の配置

非定常解析と同じとする。

②揚水井戸の水位

揚水井戸の条件は、以下の通りとする。

②-1：外周 22 本の揚水井戸

ディープウェルのストレーナを GL-8.0m まで設置することとし、GL-8.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

②-2：その他 46 本の揚水井戸

ディープウェルのストレーナを GL-7.0m まで設置することとし、GL-7.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

③モデル外周

非定常解析と同じとする。

b）解析結果

①圧力水頭コンター（平面図）

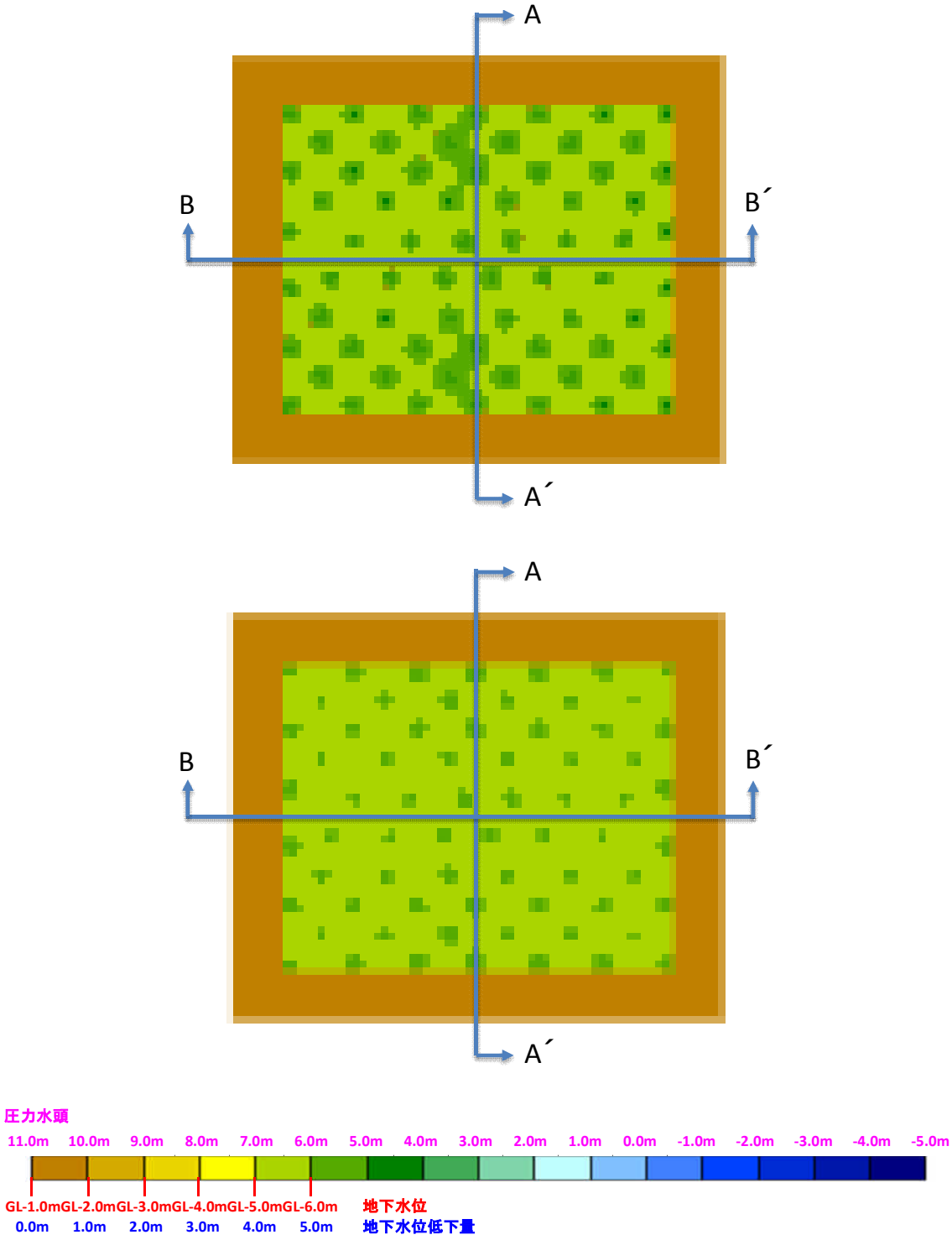


図 3.2.52　モデル下端 GL-12.0m における圧力水頭コンター図

（上：非定常解析 6 ヶ月後、下：定常運転時）

②圧力水頭コンター（断面図）

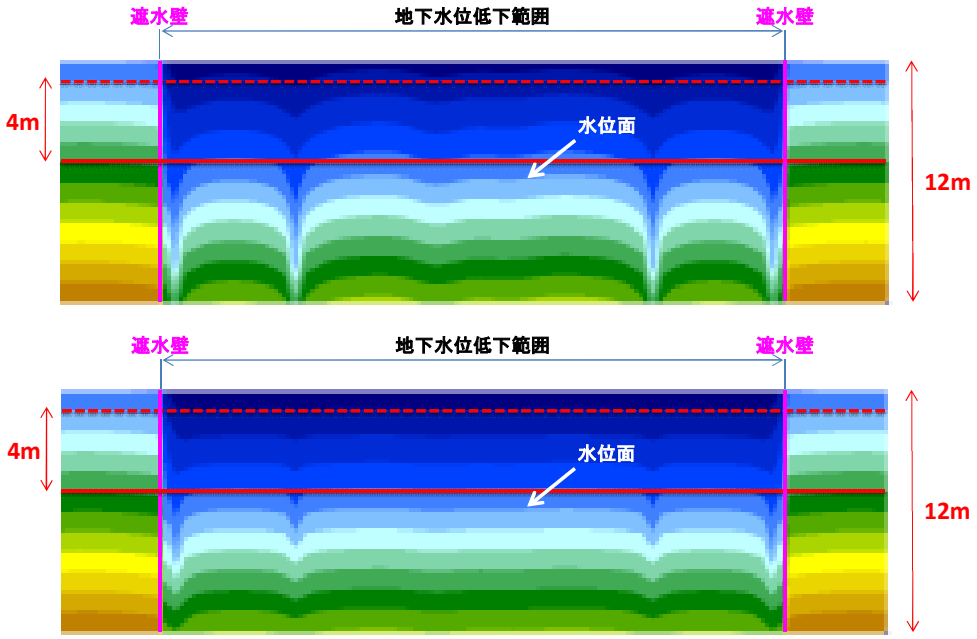


図 3.2.53　A-A’断面図（上：非定常解析 6 ヶ月後、下：定常運転時）

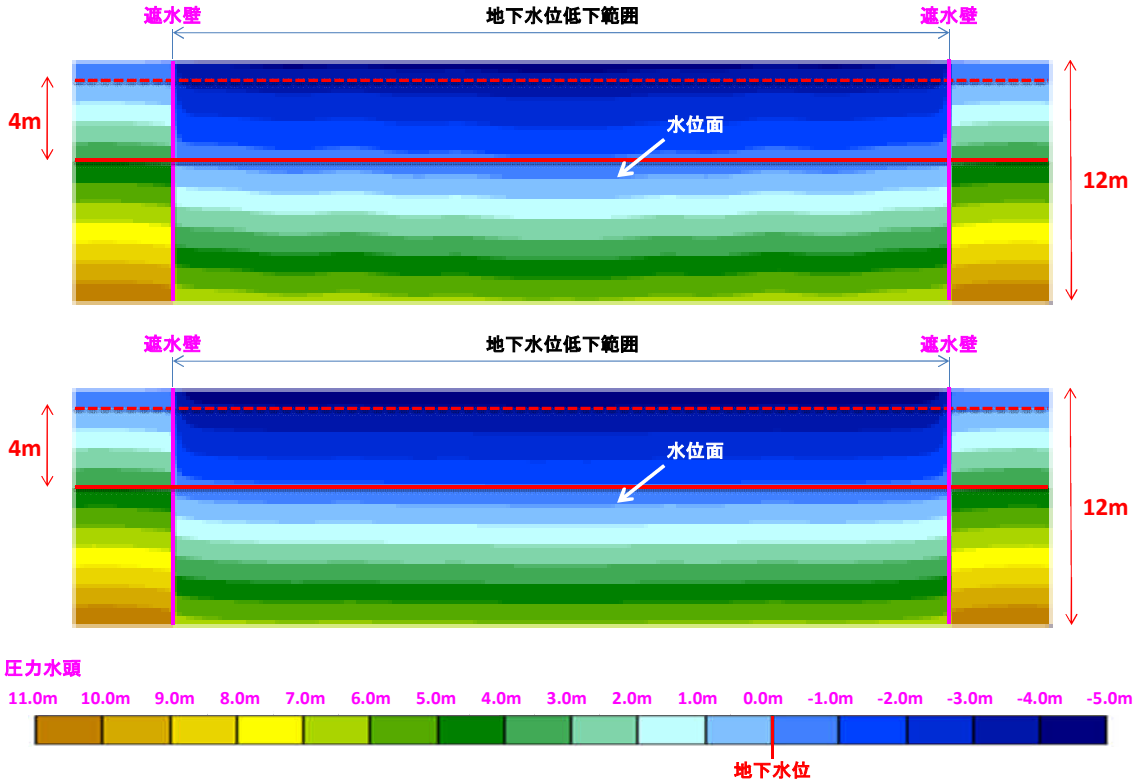


図 3.2.54　B-B’断面図（上：非定常解析 6 ヶ月後、下：定常運転時）

③定常時揚水量の算定結果

定常運転時の揚水量は、各揚水井戸によって異なるが 1.6～2.8（L/min）の範囲となり、全体揚水量は 198.4m^3/day（137.8L/min）となった。

１１）ケース６検討結果（地下水位低下量 4.0m、低下期間 3 ヶ月）

ａ）解析条件（非定常解析）

①揚水井戸の配置

地下水位低下量を区画範囲全体で 4.0m、かつ、低下期間を 3 ヶ月とする場合の揚水井戸の配置図を図 3.2.55 に示す。

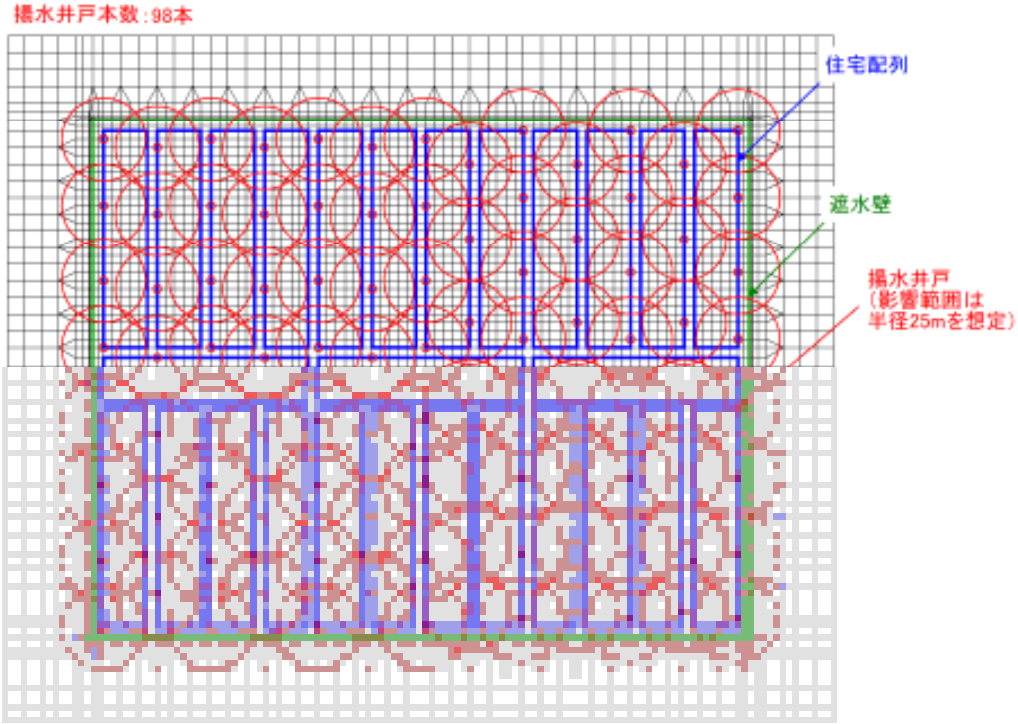


図 3.2.55　ケース 6 における揚水井戸の配置図

②揚水井戸の水位

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。

③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。

ｂ）解析条件（定常解析）

①揚水井戸の配置

非定常解析と同じとする。

②揚水井戸の水位

揚水井戸の条件は、以下の通りとする。

②-1：外周 38 本の揚水井戸

ディープウェルのストレーナを GL-7.0m まで設置することとし、GL-7.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

②-2：その他 60 本の揚水井戸

ディープウェルのストレーナを GL-6.0m まで設置することとし、GL-6.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

③モデル外周

非定常解析と同じとする。

b）解析結果（ケース６）

①圧力水頭コンター（平面図）

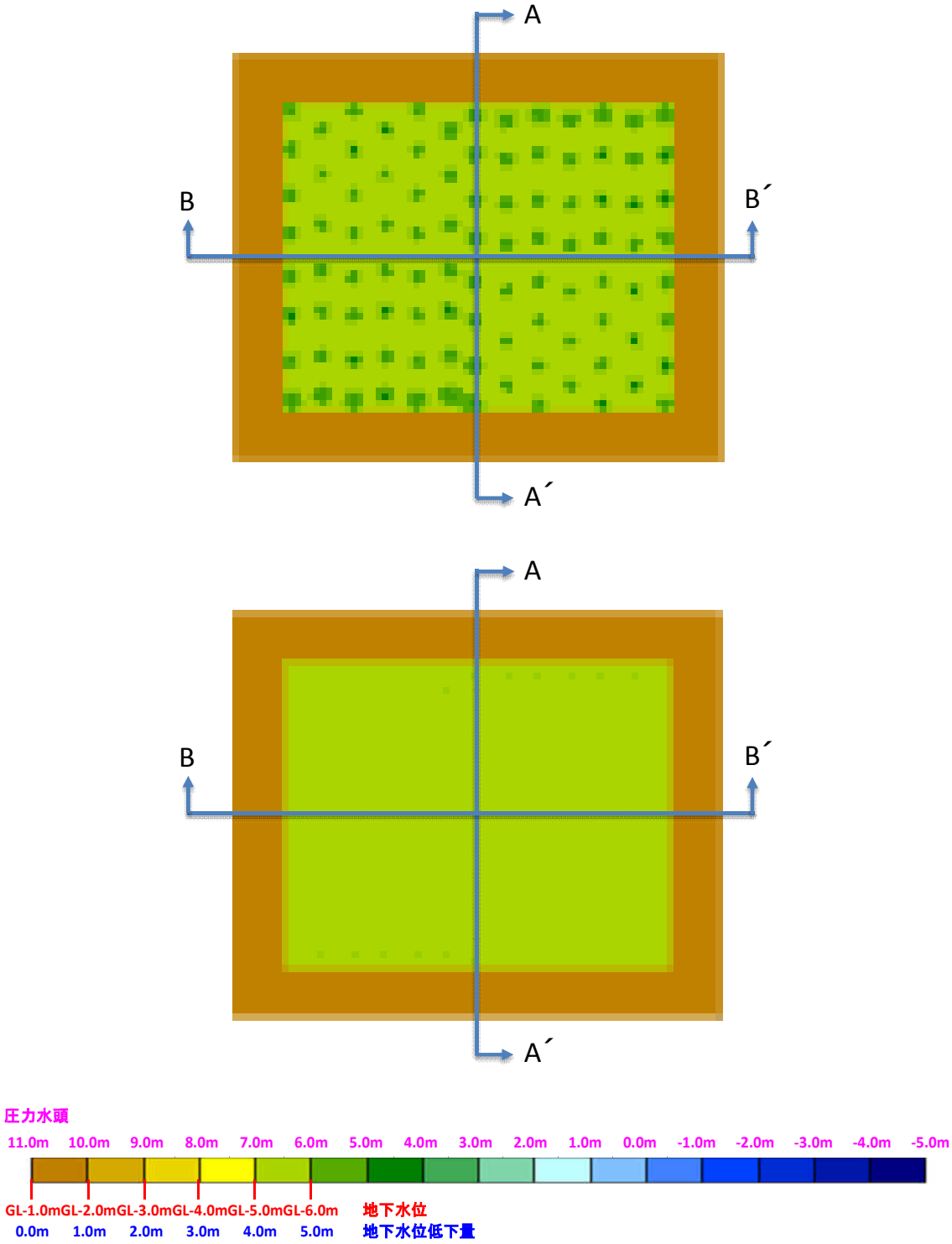


図 3.2.56　モデル下端 GL-12.0m における圧力水頭コンター図

（上：非定常解析 3 ヶ月後、下：定常運転時）

②圧力水頭コンター（断面図）

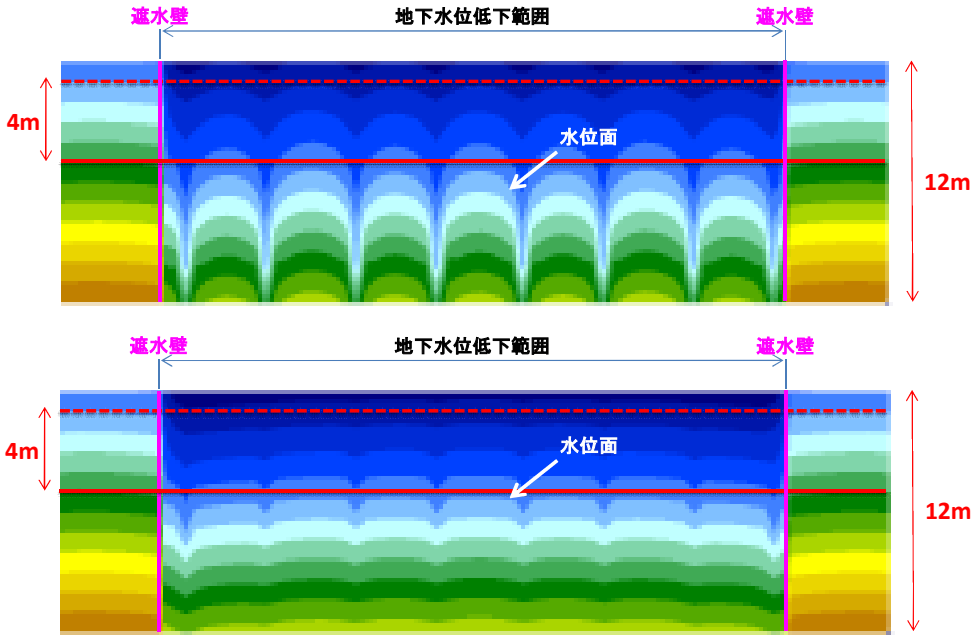


図 3.2.57　A-A’断面図（上：非定常解析 3 ヶ月後、下：定常運転時）

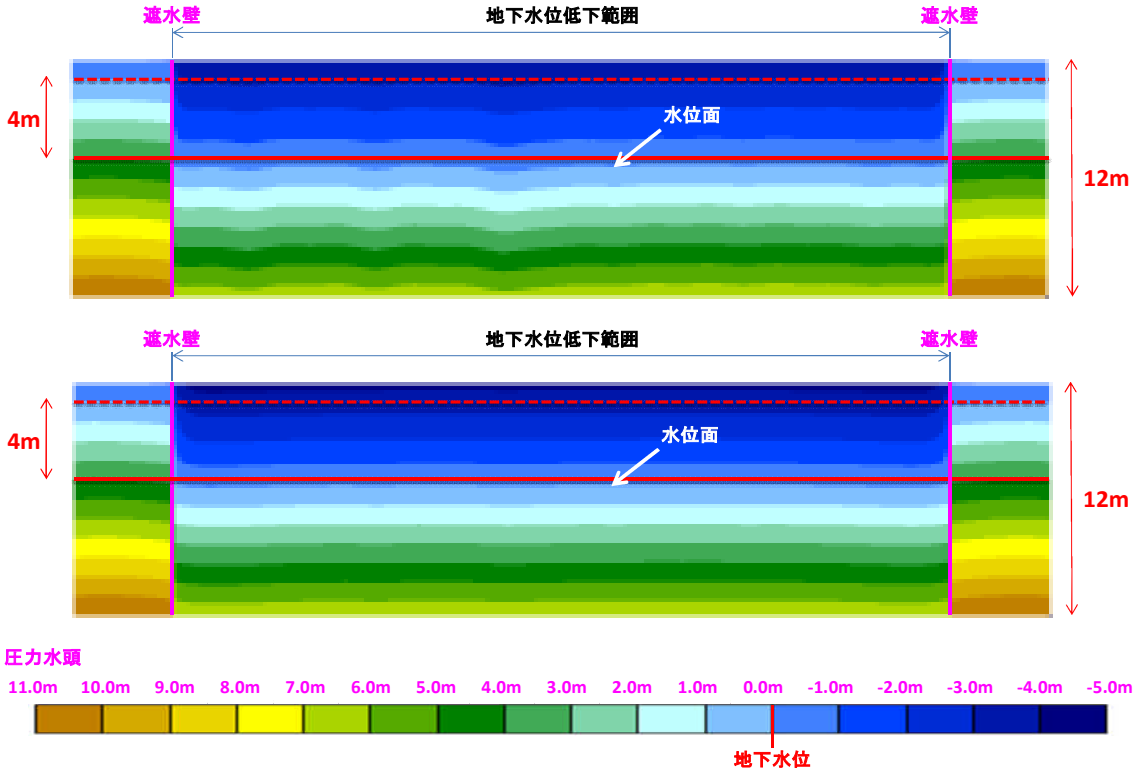


図 3.2.58　B-B’断面図（上：非定常解析 3 ヶ月後、下：定常運転時）

③定常時揚水量の算定結果

定常運転時の揚水量は、各揚水井戸によって異なるが 0.5～2.4（L/min）の範囲となり、全体揚水量は 204.9m^3/day（142.3L/min）となった。

１２）参考ケース検討結果（地下水位低下量 3.0m、低下期間 6 ヶ月、降雨なし）

ａ）解析条件（非定常解析）

①揚水井戸の配置

地下水位低下量を区画範囲全体で 3.0m、かつ、低下期間を 6 ヶ月とする場合の揚水井戸の配置図を図 3.2.59 に示す。

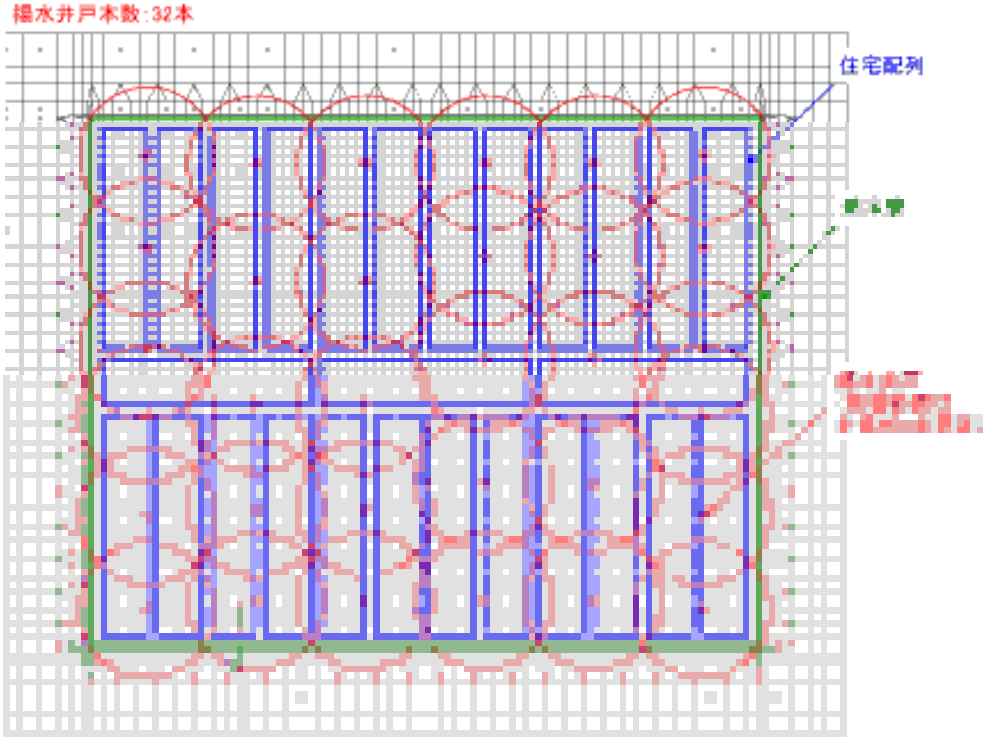


図 3.2.59　参考ケースにおける揚水井戸の配置図

②揚水井戸の水位

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。

③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。

④降雨条件

雨水浸透を考慮しない。

b）解析結果（非定常解析）（参考ケース）

①圧力水頭コンター（平面図）

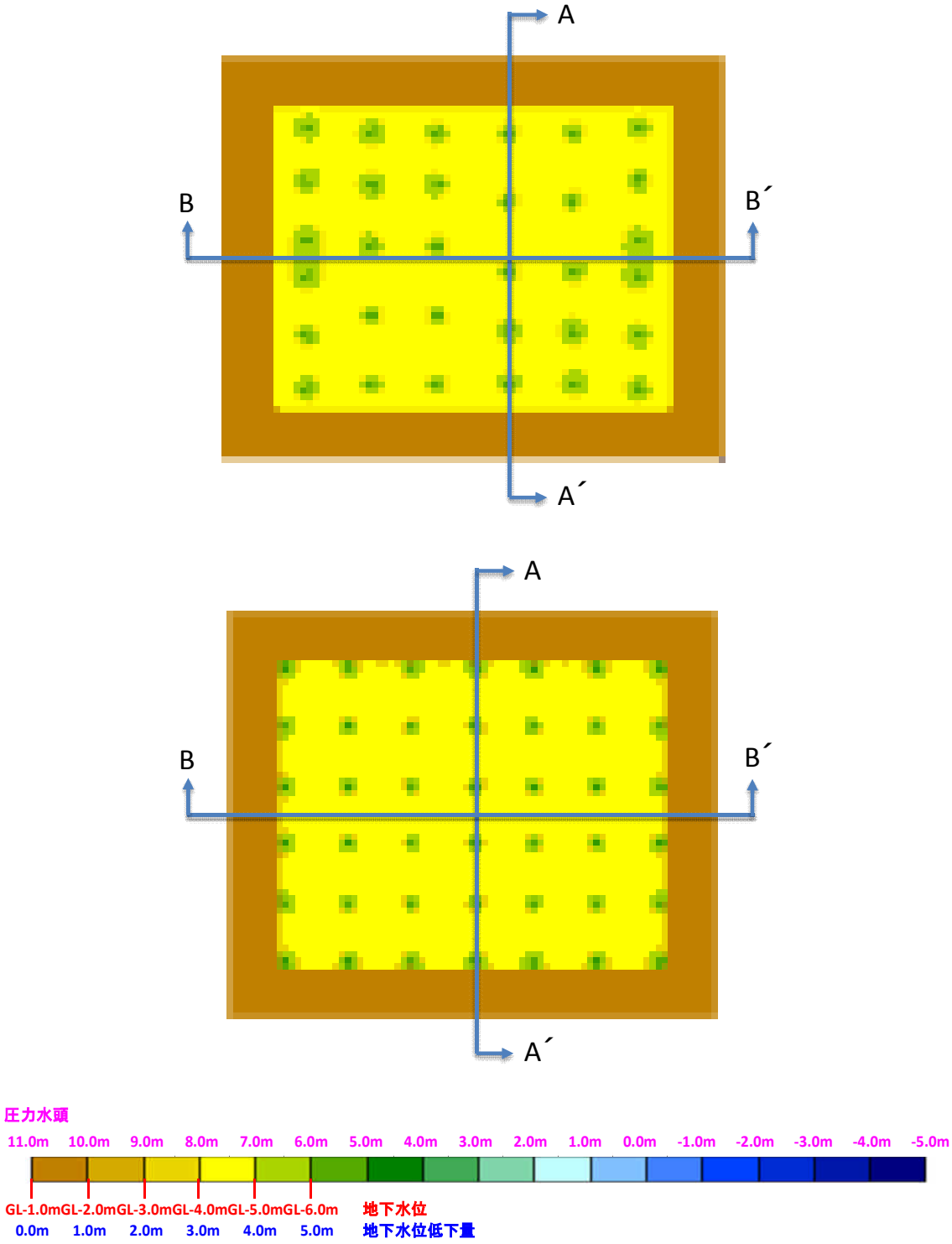


図 3.2.60　モデル下端 GL-12.0m における圧力水頭コンター図　非定常解析 180 日後

（上：雨水浸透なし、下：雨水浸透あり）

②圧力水頭コンター（断面図）

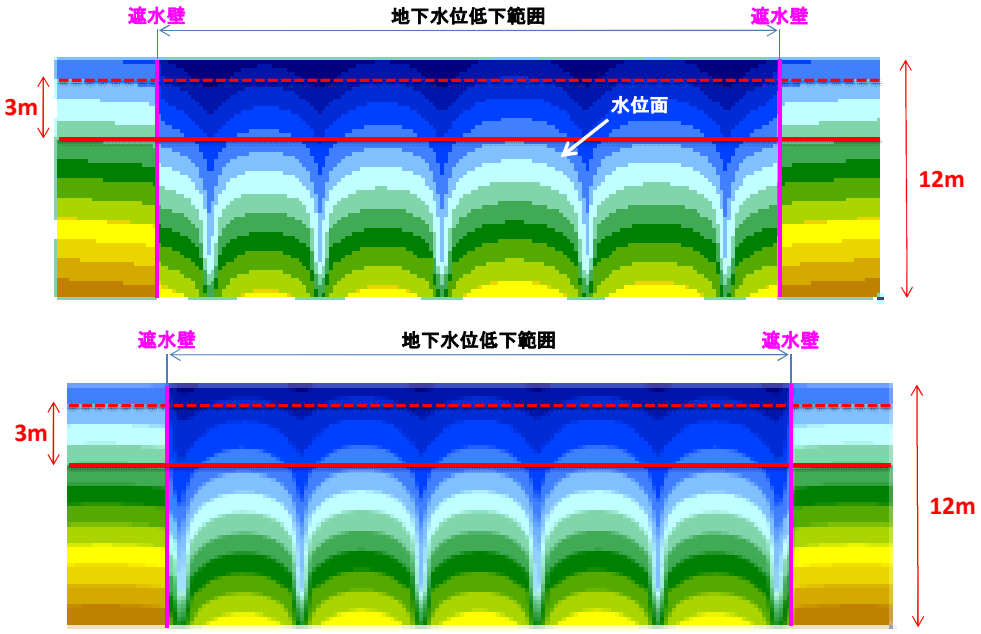


図 3.2.61　A-A’断面図 非定常解析 6 ヶ月後（上：雨水浸透なし、下：雨水浸透あり）

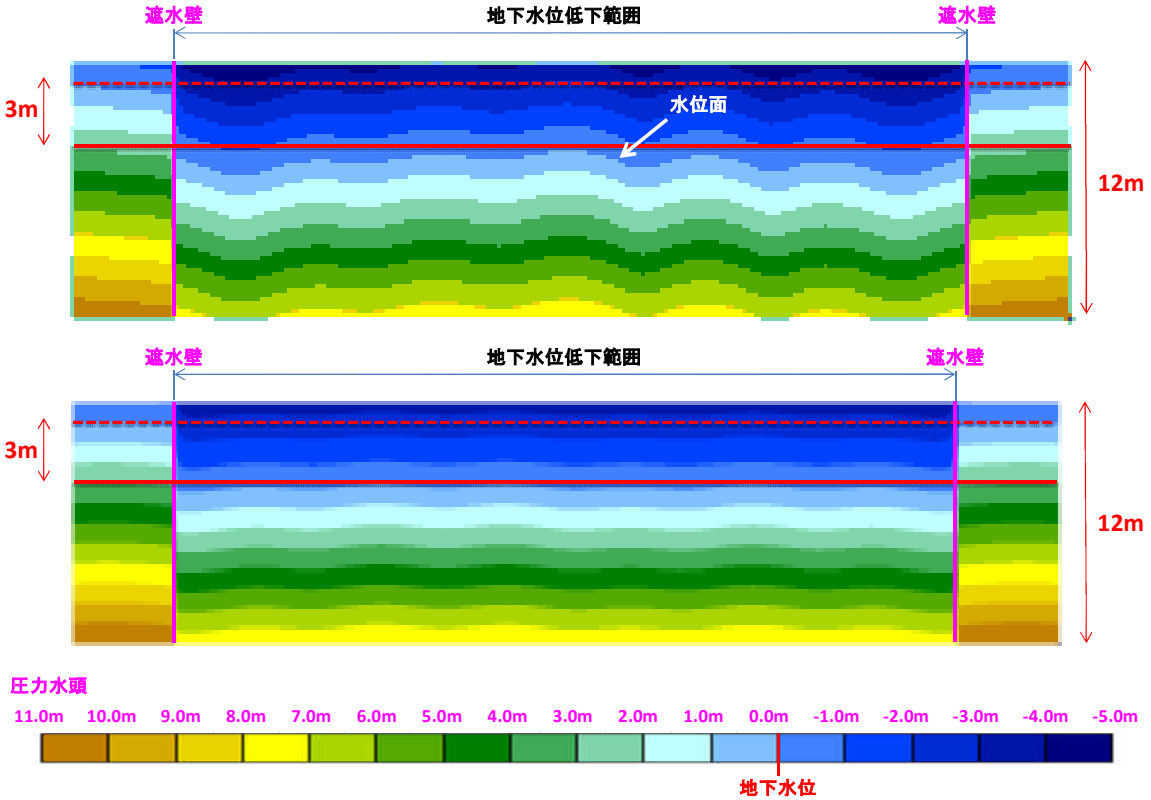


図 3.2.62　B-B’断面図 非定常解析 6 ヶ月後（上：雨水浸透なし、下：雨水浸透あり）

１３）検討結果まとめ

ケース１～ケース６により決定した、必要となる揚水井戸の配置（本数）およびストレーナの設置範囲を表 3.2.31 にまとめて示す。また、定常運転時の揚水井戸一本当たりの揚水量および全体揚水量についても併せて示す。

表 3.2.31 浸透流解析結果まとめ

ケース	非定常解析				定常解析		
	水位低下量	低下期間	揚水井戸本数	ストレーナ	ストレーナ	揚水井戸1本当たりの揚水量	全体揚水量
ケース1	3m	1年	32	GL-1.0m～GL-9.0m	・外周14本：GL-1.0m～GL-8.0m ・その他18本：GL-1.0m～GL-7.0m	3.5～5.0（L/min）	129.7（L/min） 186.8（m^3/day）
ケース2	3m	6ヶ月	42	GL-1.0m～GL-10.0m	・中央6本：GL-1.0m～GL-6.0m ・その他36本：GL-1.0m～GL-7.0m	2.1～3.4（L/min）	125.6（L/min） 180.9（m^3/day）
ケース3	3m	3ヶ月	68	GL-1.0m～GL-10.0m	・全68本：GL-1.0m～GL-6.0m	1.7～2.4（L/min）	138.9（L/min） 200.1（m^3/day）
ケース4	4m	1年	42	GL-1.0m～GL-10.0m	・全42本：GL-1.0m～GL-8.0m	2.8～3.2（L/min）	127.1（L/min） 183.1（m^3/day）
ケース5	4m	6ヶ月	68	GL-1.0m～GL-10.0m	・外周22本：GL-1.0m～GL-8.0m ・その他46本：GL-1.0m～GL-7.0m	1.6～2.8（L/min）	137.8（L/min） 198.4（m^3/day）
ケース6	4m	3ヶ月	98	GL-1.0m～GL-10.0m	・外周38本：GL-1.0m～GL-7.0m ・その他60本：GL-1.0m～GL-6.0m	0.5～2.4（L/min）	142.3（L/min） 204.9（m^3/day）
参考	3m	6ヶ月	32	GL-1.0m～GL-10.0m			