

7. 地下水位低下工法における検討結果のまとめ

7.1 本検討モデルについてのまとめ

表 1-1に示すモデル地盤、物性値について以下の事項の検討を行った。

- ・液状化判定 (2. 液状化判定参照)
- ・地盤の許容応力度算出 (3. 地盤の許容応力度算出参照)
- ・地下水位低下検討：浸透流解析 (4. 地下水位低下検討：浸透流解析参照)
- ・地下水位低下による圧密沈下検討 (5. 地下水位低下による圧密沈下検討参照)
- ・圧密による不同沈下の検証 (6. 圧密による不同沈下の検証参照)

各項目についてのまとめを示す。

〔液状化判定 地震波：東北地方太平洋沖地震（基盤波）〕

無対策の場合、モデル地盤の地下水以深は、ほぼ液状化する事を確認した（表 2-2、表 2-3）。

対策工として地下水位を 2m 低下させるケース、3m 低下させるケース、4m 低下させるケースについて検討した結果を表 7-1に示す。地下水位を 4m 低下させることにより、FL 値 > 1.0（液状化の可能性なし）となることを確認した。

表 7-1 液状化判定および D_{cy} 算定結果（再掲）

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 D_{cy} 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

〔地盤の許容応力度算出〕

宅地の許容応力度検討として、支持力検討、円弧すべり検討、パンチせん断検討を行った結果を表 7-2に示す。地下水位低下量を 3.0m 以上とすることで、宅地の目標性能を満足することを確認した。

表 7-2 宅地の目標性能確認（再掲）

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)

〔地下水位低下検討：浸透流解析〕

地下水位を 3m 低下させるケース及び、地下水位を 4m 低下させるケースについて 3次元浸透流解析を実施し、揚水井戸の配置・本数についての検討を行った。その際、揚水井戸の配置・本数は、地下水位低下量及び低下期間に依存するため、低下させる期間を 3ヶ月、6ヶ月、1年とした場合の検討とした。

検討結果を表 7-3に示すが、地下水位低下期間によって揚水井戸本数に大きな差異がでる結果となった。適用にあたっては、地下水位低下期間を事前に取り決めておく必要がある。

表 7-3 地下水位低下量、低下期間と揚水井戸本数（再掲）

地下水位 低下量	地下水位 低下期間	水位低下エリア内の 揚水井戸本数
3.0m	1年	32本
	6ヶ月	42本
	3ヶ月	68本
4.0m	1年	42本
	6ヶ月	68本
	3ヶ月	98本

〔地下水位低下による圧密沈下検討〕

粘性土の圧密沈下量は、2次元弾粘塑性 FEM 解析（DACSAR：関口・太田モデル）を実施することにより確認を行った。その際の粘性土層圧密特性は、「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」の試験値を参考に設定したが、圧縮指数 C_c が 1 を超える範囲や過圧密比 OCR が 1 の範囲があり、沈下が大きくでるような圧密特性で解析を行っている。

表 7-4 解析用粘性土圧密特性（再掲）

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
			γ_{sat} or γ_t	γ'	ei	IP	C_c	OCR	k
			kN/m ³	kN/m ³	-	-	-	-	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	14.7	4.9	1.534	31.3	0.525	1.25	5.1E-06
	Ac1-2 ^{※2}	5	14.7	4.9	2.491	50.2	1.153	1.00	5.1E-06
	Ac1-3 ^{※3}	5	14.7	4.9	1.833	33.6	0.714	1.00	5.1E-06
	Ac1-4 ^{※4}	4	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

解析結果を表 7-5に示すが、地下水位低下期間による、5年後、20年後（解析最終時）の沈下量に差異は見られなかった。20年後の沈下量は、地下水位低下量 3m で約 18cm、地下水位低下量 4m で約 25cm となった。

表 7-5 圧密沈下量（再掲）

解析ケース	載荷方法	地下水位 低下量	地下水位 低下期間	1次圧密終了時沈下量 (m) (1次圧密終了日)	5年後の沈下量 (m)	解析最終時沈下量 (m)
1	間隙水圧 の 低下	3.0m	1年	0.099 (377日)	0.136	0.184
2			6ヶ月	0.097 (210日)	0.136	0.183
3			3ヶ月	0.095 (126日)	0.136	0.184
4		4.0m	1年	0.127 (377日)	0.183	0.246
5			6ヶ月	0.123 (218日)	0.186	0.247
6			3ヶ月	0.121 (140日)	0.185	0.246

〔圧密による不同沈下の検証〕

浸透流解析結果に基づいた水面形状を模擬し、圧密による不同沈下の検討を行った。

なお、浸透流解析は3次元モデルにより水面形状を算出しているため、その水面形状を圧密沈下解析の2次元モデルに反映させると、沈下量及び不同沈下量は大きくなる傾向を示す。

地下水位低下範囲内の住宅地における最大傾斜角を表 7-6に示す。止水壁側で大きな傾斜角となる傾向を示し、長期許容傾斜角 3/1000 を超過する結果となった。（ただし、止水壁部の沈下差は 30cm 以内）

表 7-6 住宅地の最大傾斜角（止水壁内）（再掲）

解析ケース	載荷方法	地下水位 低下量	地下水位 低下期間	揚水井戸本数	5年後の住宅地内 最大傾斜 (/1000)	20年後の住宅地内 最大傾斜 (/1000)
1	間隙水圧の低下及び 質量密度の増加	3.0m	1年	32本	4.39	5.23
2			6ヶ月	42本	3.60	4.50
3			3ヶ月	68本	3.17	3.86
4		4.0m	1年	42本	3.48	3.69
5			6ヶ月	68本	3.53	3.92
6			3ヶ月	98本	4.72	4.88

なお、本検討より地下水低下エリアにおける揚水井戸の本数が多いほど、全体的に不同沈下が低減される傾向にあることがわかった。

また、止水壁外の 10m～25m 範囲においても長期許容傾斜角 3/1000 を超過する。

表 7-7 止水壁外への影響範囲

解析ケース	載荷方法	地下水位 低下量	地下水位 低下期間	揚水井戸本数	止水壁外への 影響範囲(m)
1	間隙水圧の低下及び 質量密度の増加	3.0m	1年	32本	20.0
2			6ヶ月	42本	15.0
3			3ヶ月	68本	10.0
4		4.0m	1年	42本	25.0
5			6ヶ月	68本	20.0
6			3ヶ月	98本	20.0

7.2 地下水位低下工法を適用する際に考慮すべきリスク

地下水位低下工法を適用する際には、以下の点をリスクとして考慮する必要がある。

① 地下水位低下による圧密沈下の影響

・住宅などの地表構造物への影響

不同沈下が発生するリスクがあるため、事前対策方法（沈下抑制装置の設置等）、又は事後補修方法（ジャッキアップによる補修等）を考慮しておく必要がある。

・ライフラインへの影響

➤ 地下水位低下エリア内部と外部の沈下量差によりライフライン（上水道、下水道、ガス等）が損傷するリスクがあるため、可とうジョイントの事前設置や沈下時の補修方法について、事前に計画する事が必要である。

➤ 地下水位エリア内部の不同沈下により、排水機能が損なわれるリスクがあるため、道路及び下水管の定期的な補修計画を考える必要がある。

・杭基礎を有する大型構造物への影響

ネガティブ・フリクションが発生する懸念があるため、杭基礎構造物を避けて地下水位低下工法適用範囲を設定する事が必要である。

② 揚水継続の影響

ポンプの運転費、設備維持費（細粒子砂の洗浄、ポンプの整備）、定期的な水位観測等の維持管理費用が発生する。

③ 止水壁にシートパイルを用いる場合には、耐用年数（腐食代の厚さ等）を考慮した設計を行う必要がある。

添付資料 1 円弧すべり法による支持力検討（基礎内部から生じる任意すべり面）

基礎内部から生じる任意すべり面に関する検討結果を示す。

GL-3.0m (地下水位低下量:2.0m)		常時	すべり円弧
最小安全率	F_s	0.36	
円の中心座標	X(m)	-6.0	
	Y(m)	1.0	
円の半径	R(m)	9.0	
抵抗モーメント	(kN・m)	144	
許容抵抗モーメント	(kN・m)	96	
起動モーメント	(kN・m)	399	
換算安全率	F_{s^*}	0.24	判定:NG

添付図 1-1 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	F_s	1.46	
円の中心座標	X(m)	-6.0	
	Y(m)	1.0	
円の半径	R(m)	9.0	
抵抗モーメント	(kN・m)	583	
許容抵抗モーメント	(kN・m)	389	
起動モーメント	(kN・m)	399	
換算安全率	F_{s^*}	0.97	判定:NG

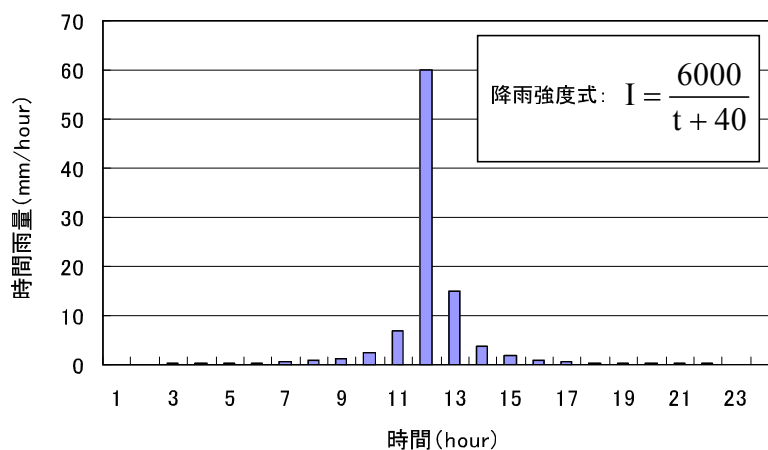
添付図 1-2 すべり計算結果（地下水位 GL-4.0m の場合）

GL-5.0m (地下水位低下量:4.0m)		常時	すべり円弧
最小安全率	F_s	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	
許容抵抗モーメント	(kN・m)	32	
起動モーメント	(kN・m)	14	
換算安全率	F_{s^*}	2.21	判定:OK

添付図 1-3 すべり計算結果（地下水位 GL-5.0m の場合）

添付資料 2 5年確率降雨に対する検討

地下水位低下に伴うリスクに対する検討の一環として、豪雨時における地下水位の挙動を非定常浸透流解析により把握する。なお、ディープウェルのストレナーの設定は定常運転時（本編におけるケース 1）とし、豪雨として示す 5 年確率降雨（97.3mm/日）を対象とする。

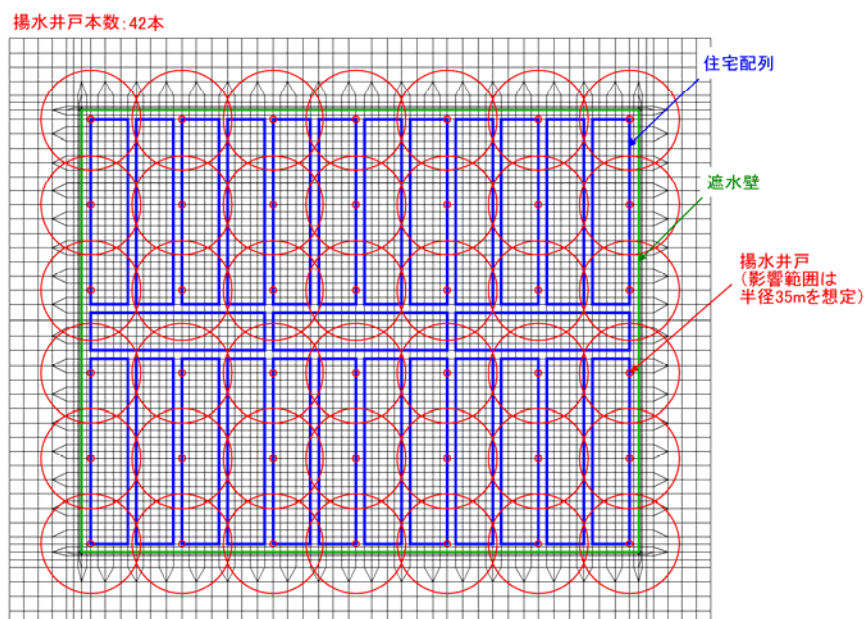


添付図 2-1 地表面沈下量および層別沈下量の時刻歴変化
(出典：第 2 回浦安市の雨水対策を考える懇談会検討資料)

(1) 解析条件（非定常解析）

a) 揚水井戸の配置

本編図 4.5と同様とする。



添付図 2-2 ケース 1 における揚水井戸の配置図

b) 揚水井戸の水位

揚水井戸の条件は、以下の通りとする。

- ・ 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。

- ・ その他 36 本の揚水井戸

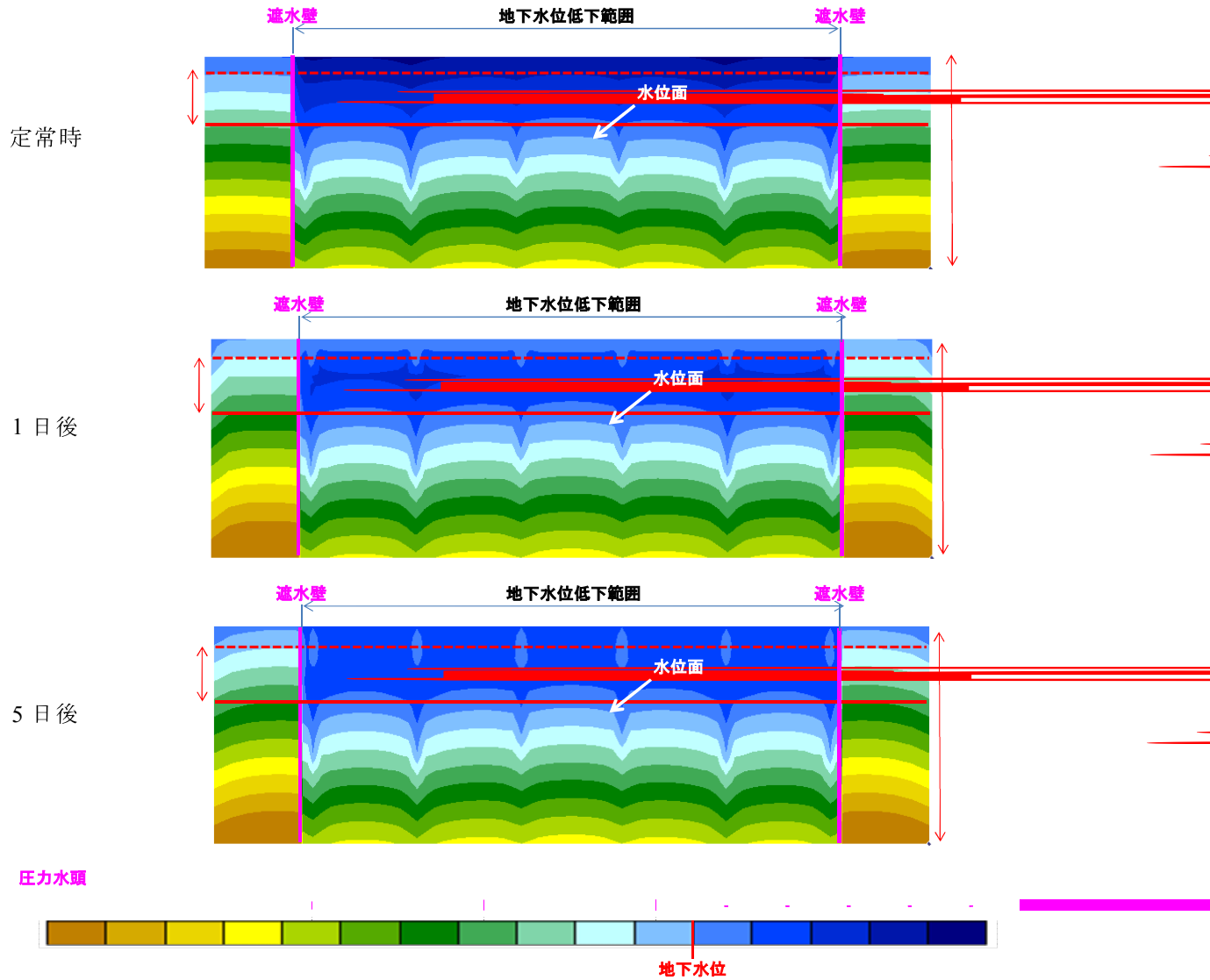
ディープウェルのストレーナを GL-7.0m まで設置することとし、GL-7.0m～GL-1.0m の間を浸出面境界とする。

c) モデル外周

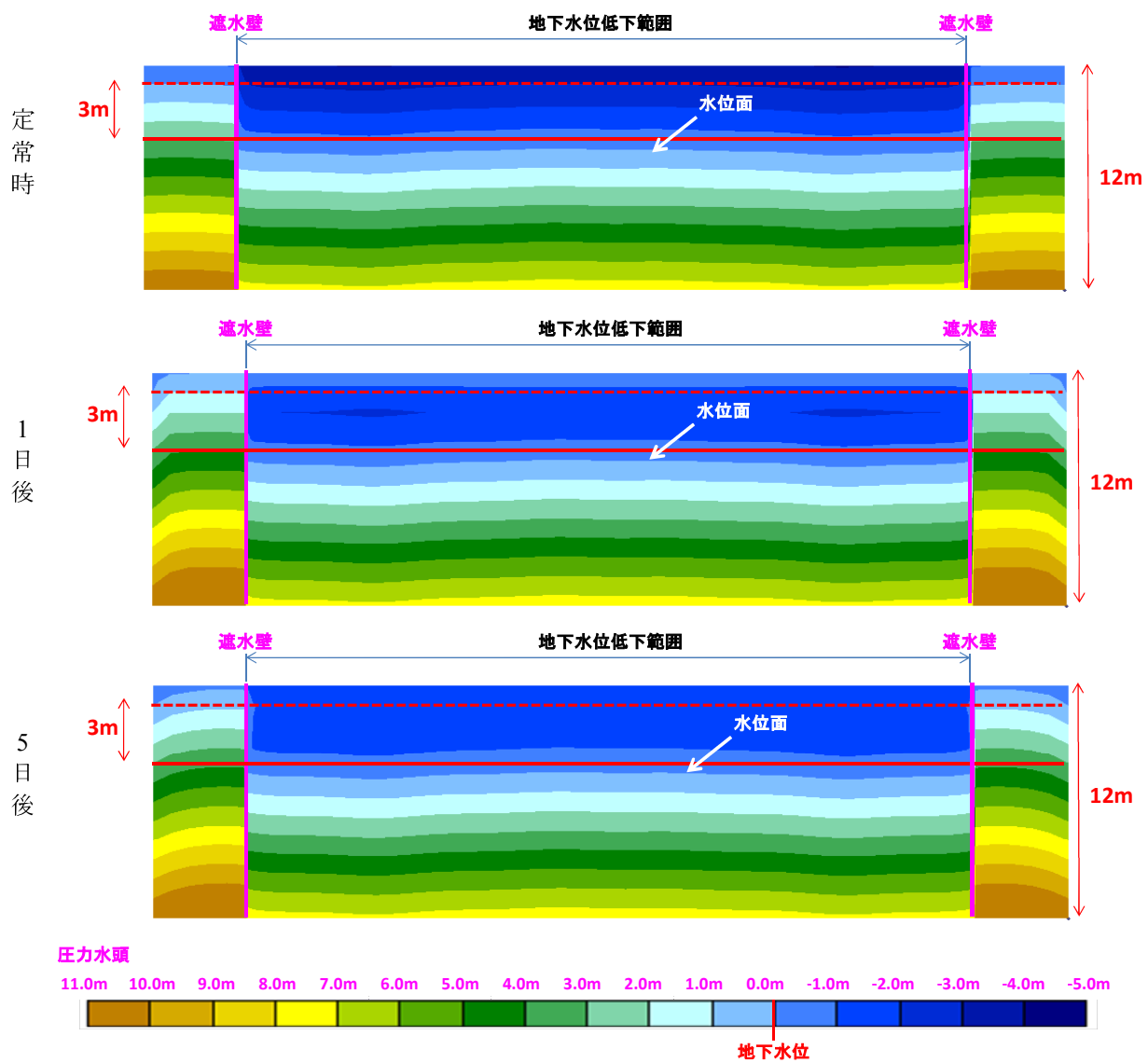
モデル外周は水頭固定境界（地下水位 GL-1.0m）とする。

(2) 解析結果

上記条件下における非定常解析結果を添付図 2-3および添付図 2-4に示す。揚水井戸の断面および揚水井戸間の断面の双方において、1日後で地下水位（GL-4.0m）以浅の圧力水頭が増加するが、圧力水頭が正に転じることはない。以上から、豪雨時においても、想定している揚水井戸の配置、およびストレナの条件で十分に揚水可能であり、湛水することはないことが確認された。



添付図 2-3 圧力コンター断面図（揚水井戸の断面）



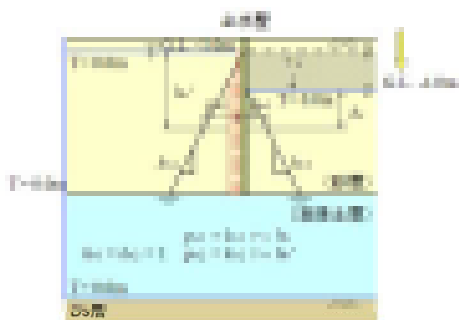
添付図 2-4 圧力コンター断面図（揚水井戸間の断面）

添付資料 3 圧密検討（载荷方法：質量密度の増加）

第5章の検討ケース（添付表 3—1参照）の解析ケース6の载荷方法を質量密度の増加にした場合の検討をする。

添付表 3—1 検討ケース(再掲)

解析ケース	载荷方法	地下水位 低下量	地下水位 低下期間
1	間隙水圧の 低下	3.0m	1年
2			6ヶ月
3			3ヶ月
4		4.0m	1年
5			6ヶ月
6			3ヶ月



添付図 3-1 解析モデル(質量密度増加)

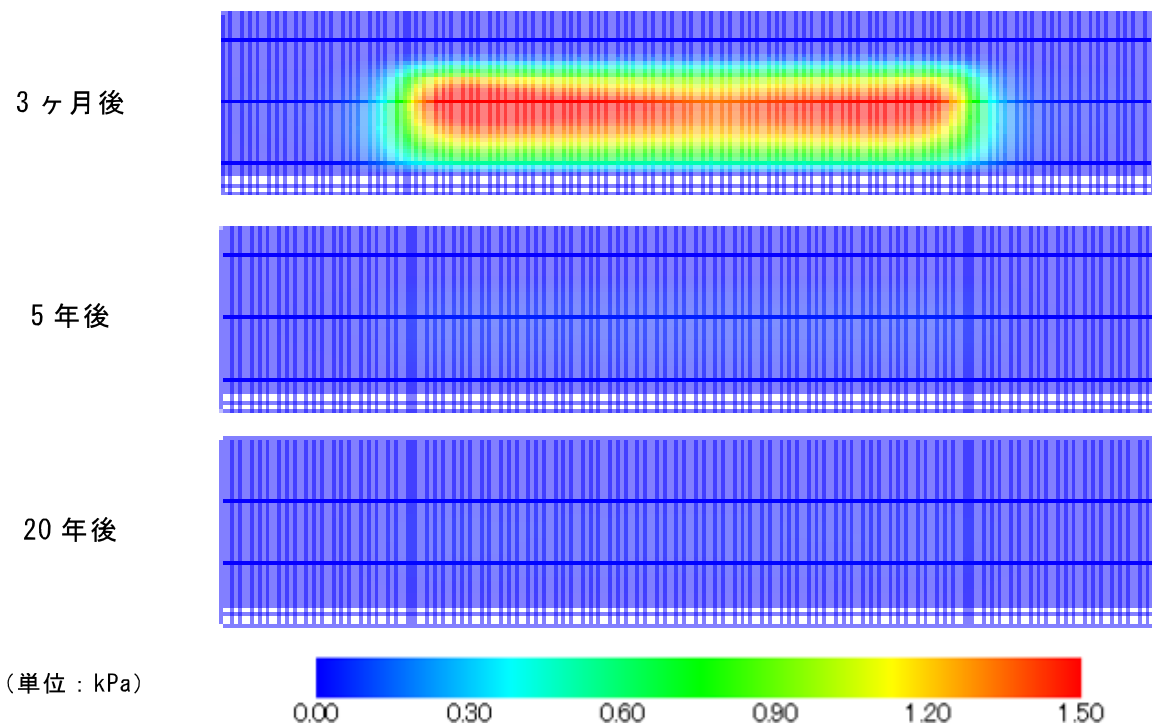
(1) 解析結果

添付表 3—2に、载荷方法を間隙水圧の低下にした場合と併せて解析結果を示す。

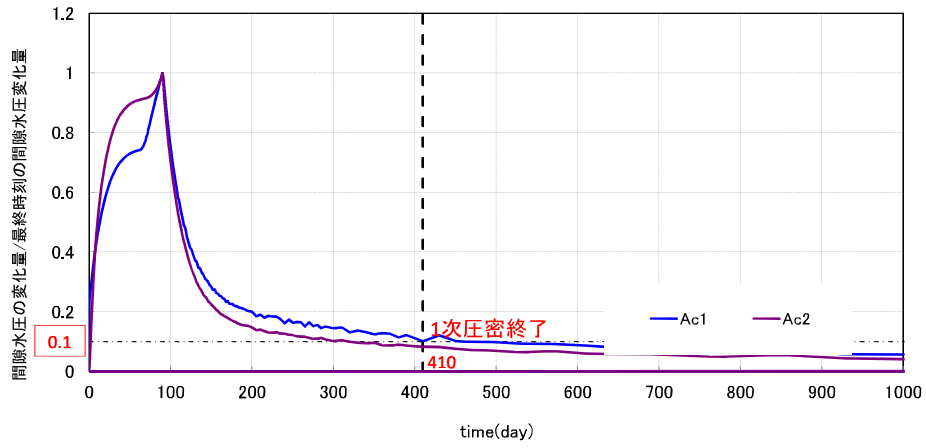
添付表 3—2 解析結果

解析ケース	载荷方法	地下水位 低下量	地下水位 低下期間	1次圧密終了時沈下量 (m) (1次圧密終了日)	5年後の沈下量 (m)	解析最終時沈下量 (m)
1	間隙水圧の 低下	3.0m	1年	0.099 (377日)	0.136	0.184
2			6ヶ月	0.097 (210日)	0.136	0.183
3			3ヶ月	0.095 (126日)	0.136	0.184
4		4.0m	1年	0.127 (377日)	0.183	0.246
5			6ヶ月	0.123 (218日)	0.186	0.247
6			3ヶ月	0.121 (140日)	0.185	0.246
6'	密度増加	4.0m	3ヶ月	0.200 (410日)	0.266	0.352

(2) 間隙水圧の変化（地下水位低下量：4.0m、低下期間：3ヶ月）

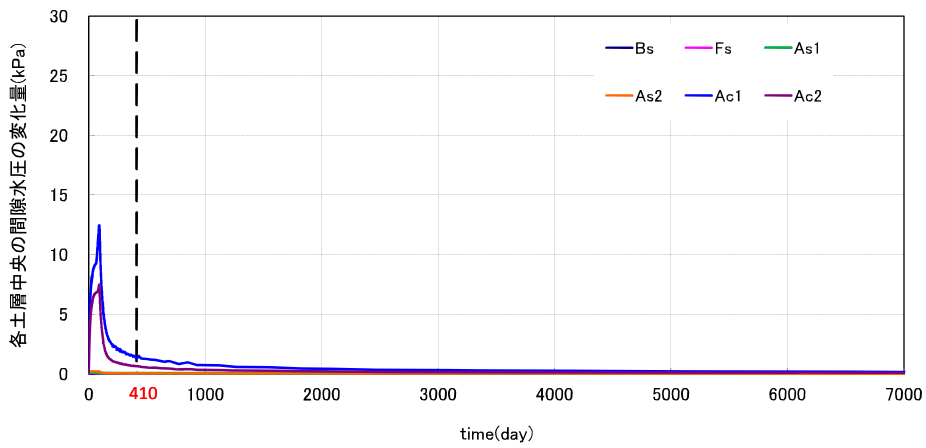


添付図 3-2 間隙水圧変化量のコンター図



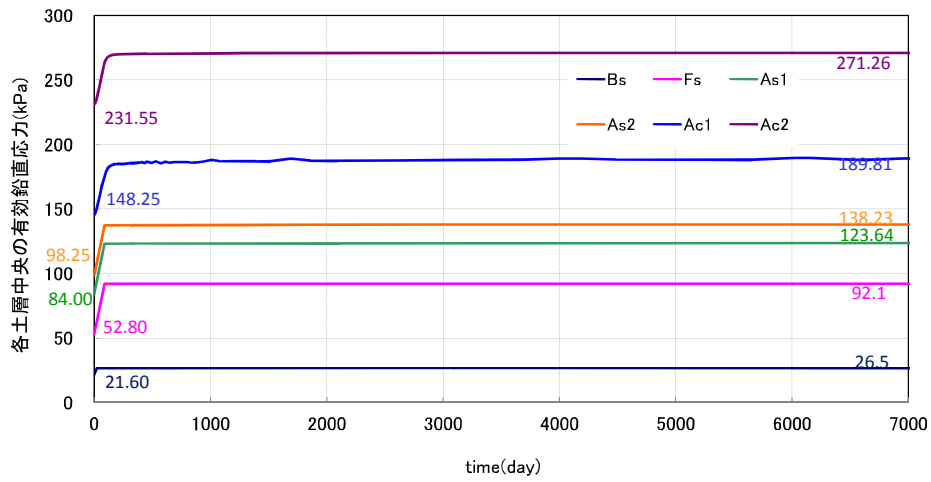
1 次圧密終了時…間隙水圧変化量の最大値の 90%が消散したとき

a) 間隙水圧比時刻歴



b) 間隙水圧の変化量の時刻歴

添付図 3-3 各土層中央の間隙水圧の変化量の時刻歴

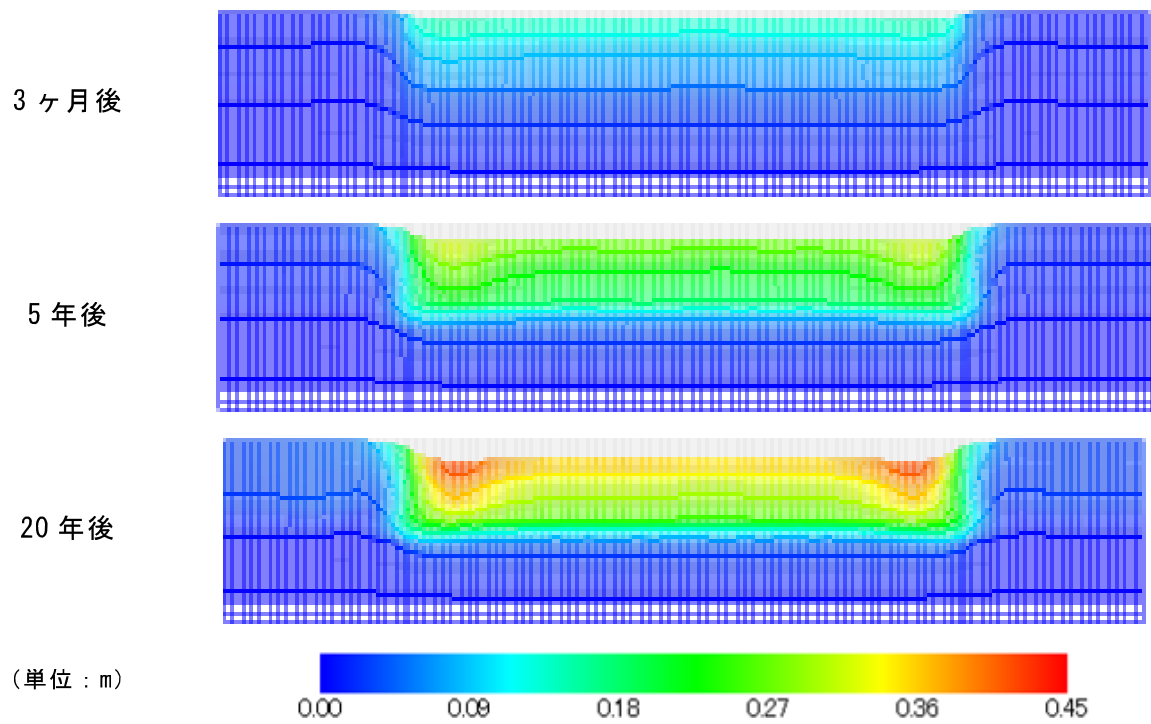


添付図 3-4 各土層中央の有効鉛直応力の変化量の時刻歴

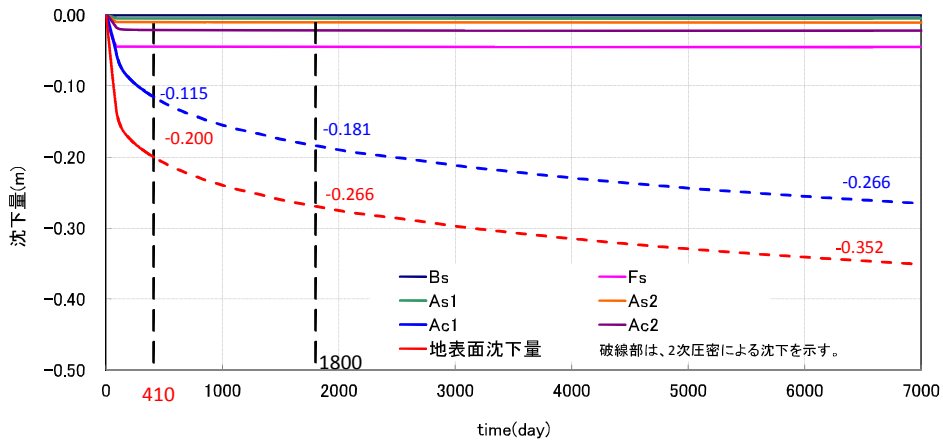
添付表 3-3 各土層中央の有効鉛直応力の増加量

	初期有効鉛直応力 (kPa)	解析最終時刻の有効鉛直応力 (kPa)	有効鉛直応力の増加量 (kPa)
Bs	21.60	26.51	4.91
Fs	52.80	92.17	39.37
As1	84.00	123.64	39.64
As2	98.25	138.23	39.98
Ac1	148.25	189.81	41.56
Ac2	231.55	271.26	39.71

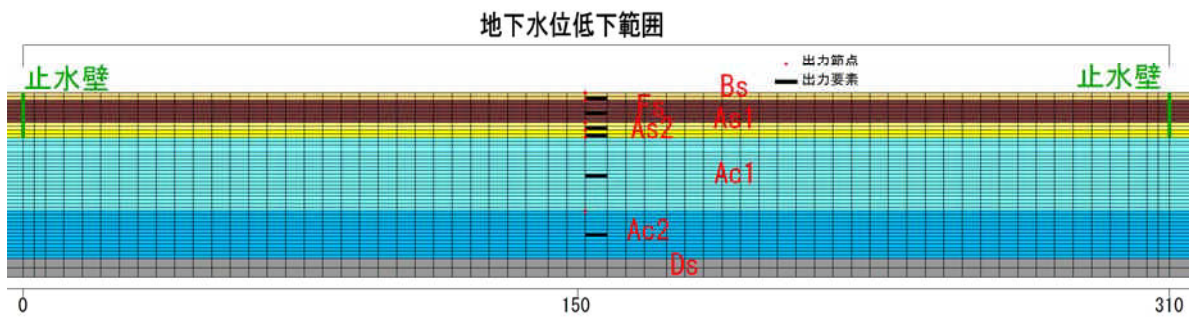
(3) 沈下量の算定結果（地下水位低下量：4.0m、低下期間：3ヶ月）



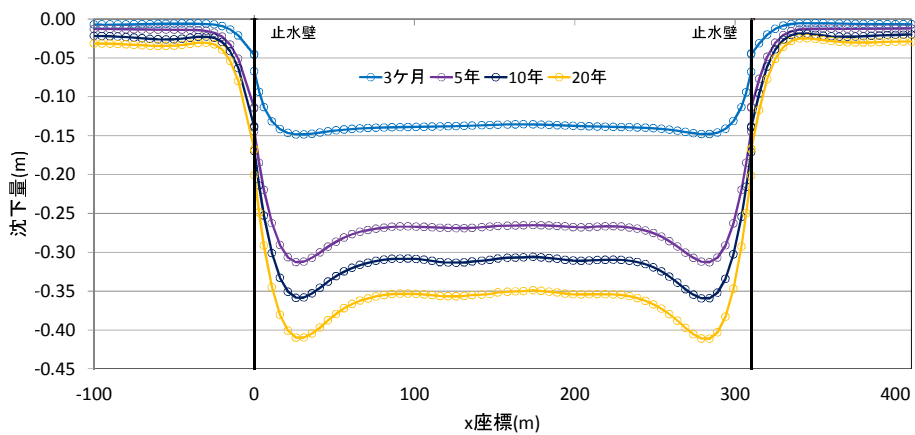
添付図 3-5 変形図（変形倍率：15倍）



添付図 3-6 地表面沈下量および層別沈下量の時刻歴変化



添付図 3-7 出力節点・要素位置



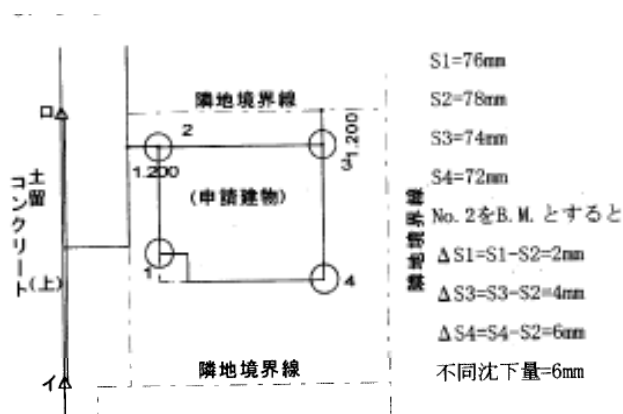
添付図 3-8 代表時刻における地表面沈下

添付資料 4 既往の文献に基づいた沈下量の算定

藤井ら¹⁾は、長野県諏訪市の新築住宅の圧密による不同沈下を5年にわたり追跡調査を行った。諏訪市は、腐植土層、浚渫土層からなる軟弱地盤が表層から分布する地域である。

不同沈下量、総沈下量の定義を以下に示す。

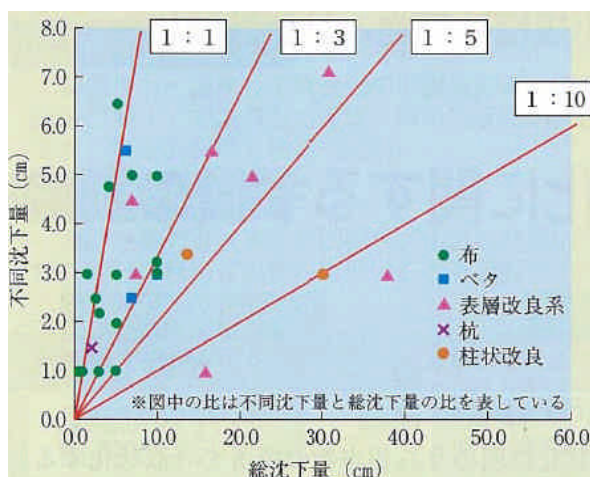
- ・ 不同沈下量…建物四隅の沈下量の差の最大値（添付図 4—1参照）
- ・ 総沈下量 …建物四隅の沈下量の平均値とし、基準点は橋脚下部などの不動点を用いる。



添付図 4—1 不同沈下量の求め方¹⁾

調査結果に基づいた圧密による総沈下量と不同沈下量の関係を、添付図 4—2に示す。

添付図 4—2より、対象とする基礎が布基礎及びべた基礎の場合、不同沈下量と総沈下量の比は、1：1～1：3の範囲内にあることが分かる。



添付図 4—2 総沈下量と不同沈下量の関係¹⁾

これより、本検討で得られた解析結果より、地下水低下時から5年後及び20年後の沈下量の1:1~1:3を不同沈下量として算定した値を、添付表4—1及び添付図4—2に示す。

添付表4—1 各解析ケースにおける5年後の不同沈下量

解析ケース	载荷方法	地下水位低下量	地下水位低下期間	5年後の沈下量 (m)	不同沈下量 (m)
1	間隙水圧の低下	3.0m	1年	0.136	0.045 ~ 0.136
2			6ヶ月	0.136	
3			3ヶ月	0.136	
4		4.0m	1年	0.183	0.062 ~ 0.186
5			6ヶ月	0.186	
6			3ヶ月	0.185	
6'	密度増加	4.0m	3ヶ月	0.266	0.089 ~ 0.266

添付表4—2 各解析ケースにおける20年後の不同沈下量

解析ケース	载荷方法	地下水位低下量	地下水位低下期間	20年後の沈下量 (m)	不同沈下量 (m)
1	間隙水圧の低下	3.0m	1年	0.184	0.061 ~ 0.184
2			6ヶ月	0.183	
3			3ヶ月	0.184	
4		4.0m	1年	0.246	0.082 ~ 0.247
5			6ヶ月	0.247	
6			3ヶ月	0.246	
6'	密度増加	4.0m	3ヶ月	0.352	0.117 ~ 0.352

- 1) 藤井衛，田村昌仁，後藤年芳，伊集院博：諏訪湖周辺における低層住宅の不同沈下事例による基礎の沈下抑制効果について，日本建築学会構造系論文集，第583号，pp. 93~100，2000年12月