(6) 圧密による不同沈下の検証

地下水位低下時に、粘性土の圧密による不同沈下が懸念される。本検討では、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する。 なお、既往の文献に基づいた沈下量算定については、別添資料3-4に示す。

- 1) 浸透流解析結果に基づいた圧密による不同沈下の検討
- a)検討ケース

検討ケースを表 3.2.45表 3.2.45に示す。載荷方法については、次頁に示す。

解析ケース	載荷方法	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
1			1年	32本
2		3.0m	6ヶ月	42本
3	間隙水圧の低下及び		3ヶ月	68本
4	質量密度の増加		1年	42本
5		4.0m	6ヶ月	68本
6			3ヶ月	98本

表 3.2.45 解析検討ケース

b)載荷方法

載荷方法について、以下に示す。

- ・地下水位が均一に低下している部分…間隙水圧の増加
- ・揚水井周辺部分(周囲より局所的に水位低下している部分)…質量密度の増加

図 3.2.114 に示した地下水位低下量 3.0m 低下期間 1 年の浸透流解析結果に基づいた載荷 方法を図 3.2.115 に示す。



図 3.2.114 定常状態時の浸透流解析結果(地下水位低下量 3.0m 低下期間 1 年)





c)検討結果

各解析ケースの検討結果を表 3.2.46 に示す。

傾斜は、地下水位低下対象エリア内の地表面の隣接する節点間の傾斜(図 3.2.116 参照) で、5 年後と 20 年後の住宅地内における最大傾斜を示す。

本検討により、地下水位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 下が軽減される傾向にあることがわかった(図 3.2.121、図 3.2.126、図 3.2.131、図 3.2.136、 図 3.2.141、図 3.2.146 参照)。

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			1年	32本	4.39	5.23
2		3.0m	6ヶ月	42本	3.60	4.50
3	間隙水圧の低下及び	び	3ヶ月	68本	3.17	3.86
4	質量密度の増加		1年	42本	3.48	3.69
5		4.0m	6ヶ月	68本	3.53	3.92
6			3ヶ月	98本	4.72	4.88

表 3.2.46 検討結果



図 3.2.116 傾斜の算出法



①ケース1検討結果(地下水位低下量:3.0m、低下期間:1年)

図 3.2.117 揚水井戸の配置図(地下水位低下量 3.0m 低下期間 1年)



図 3.2.118 定常時浸透流解析結果 A-A'断面(地下水位低下量 3.0m 低下期間 1 年)





図 3.2.120 代表時刻における地表面沈下



図 3.2.121 代表時刻における傾斜角



②ケース2検討結果(地下水位低下量:3.0m、低下期間:6ヶ月)

図 3.2.122 揚水井戸の配置図(地下水位低下量 3.0m 低下期間 6 ケ月)



図 3.2.123 定常時浸透流解析結果 A-A'断面(地下水位低下量 3.0m 低下期間 6 ヶ月)









図 3.2.126 代表時刻における傾斜角



③ケース3検討結果(地下水位低下量:3.0m、低下期間:3ヶ月)

図 3.2.127 揚水井戸の配置図(地下水位低下量 3.0m 低下期間 3 ケ月)



図 3.2.128 定常時浸透流解析結果 A-A'断面(地下水位低下量 3.0m 低下期間 3 ヶ月)







図 3.2.131 代表時刻における傾斜角



④ケース4検討結果(地下水位低下量:4.0m、低下期間:1年)

図 3.2.132 揚水井戸の配置図(地下水位低下量 4.0m 低下期間 1 年)



図 3.2.133 定常時浸透流解析結果 A-A'断面(地下水位低下量 4.0m 低下期間 1 年)



図 3.2.134 変形図 (変形倍率: 15 倍)







図 3.2.136 代表時刻における傾斜角



⑤ケース5検討結果(地下水位低下量:4.0m、低下期間:6ヶ月)

図 3.2.137 揚水井戸の配置図(地下水位低下量 4.0m 低下期間 6 ヶ月)



図 3.2.138 定常時浸透流解析結果 A-A'断面(地下水位低下量 4.0m 低下期間 6 ヶ月)



図 3.2.139 変形図 (変形倍率: 15 倍)







図 3.2.141 代表時刻における傾斜角



⑥ケース6検討結果(地下水位低下量:4.0m、低下期間:3ヶ月)

図 3.2.142 揚水井戸の配置図(地下水位低下量 4.0m 低下期間 3 ヶ月)



図 3.2.143 定常時浸透流解析結果 A-A'断面(地下水位低下量 4.0m 低下期間 3 ヶ月)



図 3.2.145 代表時刻における地表面沈下



図 3.2.146 代表時刻における傾斜角

(7)本検討モデルについてのまとめ

表 3.2.1 に示したモデル地盤、物性値について以下の事項の検討を行った。

1) 液状化判定:(2) 液状化判定 を参照。

2) 地盤の許容応力度算出: (3) 地盤の許容応力度算出 を参照。

3)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 を参照。

4)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を参照。

5) 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 を参照。 各項目についてのまとめを以下に示す。

1) 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 3.2.3、表 3.2.4)。

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、7m 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 3.2.47 に示す(表 3.2.26 を再掲)。

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。

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)	
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 <sub>oy</sub> *	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)	

表 3.2.47 液状化判定および D<sub>ev</sub>算定結果(表 3.2.26 に同じ)

※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

2) 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 3.2.48(表 3.2.25を再掲)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 3.2.48 宅地の目標性能確認(表 3.2.25 に同じ)

検討項目	GL−3.0m	GL−4.0m	GL−5.0m
	(地下水位低下量∶2.0m)	(地下水位低下量∶3.0m)	(地下水位低下量∶4.0m)
許容支持力	ОК	ОК	ОК
	(Fs=4.86)	(Fs=5.39)	(Fs=5.90)
円弧すべり	NG	OK	OK
	(Fs <b>≭=0.4</b> 4)	(Fs≭=1.41)	(Fs <b>≭</b> =6.12)
パンチせん断	NG	ОК	OK
	(Fs=0.67)	(Fs=1.24)	(液状化層なし)

※Fs\*は換算安全率を示す

3) 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 3.2.49 (表 3.2.45 の一部を再掲)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。

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

表 3.2.49 地下水位低下量、低下期間と揚水井戸本数(表 3.2.45 の一部)

4)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:関ロ・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」(表 3.2.50 参照)の試験値を参考に設定したが、圧縮 指数 Cc が1を超える土層や過圧密比 OCR が1 程度しかない土層があり、沈下が大きくでる ような圧密特性で解析を行っている。

飽和·湿潤単位 水中単位 原地盤における 過圧密比 塑性指数 圧縮指数 透水係数 体積重量 間隙比 体積重量 土層 層厚 N値 IΡ Cc OCR k  $\gamma$  sat or  $\gamma$ t Y' ei kN/m3 kN/m3 cm/sec 1.4E-03 17.6 0.790 Bs 2 6 7.8 Fs 6 4 17.6 7.8 1.020 \_ \_ 7.7E-04 15 As1 2 17.6 7.8 1.030 7.4E-04 2 7 6.9 1.1E-04 As2 16.7 1.250 <u>Ac</u>1-1<sup>※1</sup> 6 2 14.7 4.9 1.534 31.3 0.525 1.25 5.1E-06 Ac1-2\*\* 5 2 14.7 4.9 2.491 50.2 1.153 1.00 5.1E-06 Ac1 Ac1-3<sup>\*\*3</sup> 14.7 4.9 1.833 33.6 0.714 1.00 5.1E-06 5 2 Ac1-4\*\* 0.668 4.9 1.758 39.6 1.16 5.1E-06 4 2 14.7 <u>A</u>c2<sup>×5</sup> 13 14 14.7 4.9 2.608 51.7 0.986 1.78 2.8E-06 74 2.2E-03 Ds 5 19.6 9.8

表 3.2.50 解析用粘性土圧密特性(表 3.2.32 を再掲)

解析結果を表 3.2.51 (表 3.2.38 を再掲)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。

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 <sup>(m)</sup>	解析最終時沈下量 (m)
1			1年	0.099 (377日)	0.136	0.184
2		3.0m	6ケ月	0.097 (210日)	0.136	0.183
3	間隙水圧		3ケ月	0.095 (126日)	0.136	0.184
4	低下		1年	0.127 (377日)	0.183	0.246
5		4.0m	6ケ月	0.123 (218日)	0.186	0.247
6			3ケ月	0.121 (140日)	0.185	0.246

表 3.2.51 圧密沈下量(表 3.2.38 に同じ)

5) 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 以内であった。

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			1年	32本	4.39	5.23
2	間隙水圧の低下及び	3.0m	6ヶ月	42本	3.60	4.50
3			3ヶ月	68本	3.17	3.86
4	質量密度の増加		1年	42本	3.48	3.69
5		4.0m	6ヶ月	68本	3.53	3.92
6			3ヶ月	98本	4.72	4.88

表 3.2.52 住宅地の最大傾斜角(止水壁内)(表 3.2.46 を再掲)

なお、本検討により、地下水位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 不同沈下が軽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 3.2.53 参照)。

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			1年	32本	20.0
2		3.0m	6ヶ月	42本	15.0
3	間隙水圧の低下及び		3ヶ月	68本	10.0
4	質量密度の増加		1 年	42本	25.0
5	1	4.0m	6ヶ月	68本	20.0
6			3ヶ月	98本	20.0

表 3.2.53 止水壁外への影響範囲

止水壁外への影響は、止水壁外部と内部との水圧差により、底部軟弱粘土層である Ac1-2 層及び Ac1-3 層が止水壁内部に押し込まれる変形が起こることにより、生じている(図 3.2.147 参照)。

したがって、底部に堆積している粘土層(底部遮水層)が過圧密粘土の様に沈下・変形が 生じにくい土層の場合には、止水壁外への影響は軽減するものと考えられる。



図 3.2.147 止水壁周辺の変形図 (変形倍率:15倍)

(8) 概算費用に関する検討

概算費用の検討は、対策規模が 500 棟のケースと 100 戸のケースについて行う。



1)対策規模 500 戸の場合

図 3.2.148 500 戸タイプ

2) 対策規模 100 戸の場合

止水辟	-	κ.
		ł
_	安田田田	T
		ł
	田田田田	Ĩ
		ł
		P

図 3.2.149 100 棟タイプ

揚水井戸本数:32~98本 リスク対策: 住宅、道路、埋設物の沈下・傾斜対策

- ·対策費:25~45 億円
- ・維持管理費 :43 百万/年
- ・リスク対策費:50~60億円

揚水井戸本数:7~19本 リスク対策: 住宅、道路、埋設物の沈下・傾斜対策

- ·対策費 :8~12 億円
- ・維持管理費 :12百万/年
- ・リスク対策費:15~20億円

## 3.3 地下水位低下工法実施上の課題

## 3.3.1 地下水位低下工法設計上の課題

地下水位低下工法の設計にあたっては、以下の事項について留意する必要がある。

- (1) 揚水井戸の本数は、地盤の透水特性や降雨量(特に豪雨など)の影響を受けるとともに、 地表面の不同沈下に影響を与える。地下水位低下工法実施時に、揚水井戸本数を決定す る際には対象地点の地盤条件や気象状況をよく確認し、適切な設計を行う必要がある。
- (2)地下水位低下エリア外の沈下量、傾斜角は、止水壁の剛性や根入れ長及び平面形状の影響を受ける場合がある。実施設計を行う際に、変位を抑えるための止水壁の特性(剛性・根入れ長など)を検討することや、3次元効果(止水壁の形状効果など)を考慮した検討を行う等の対応が考えられる。
- 3.3.2 地下水位低下工法実施上のリスク 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

①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。あわせて、 住民への周知と、トラブル回避のための方策を講じておく必要がある。

②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。

地下水位低下エリア内部の不同沈下により、道路が損傷するリスク及び下水管の排水 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。

③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。

④地下水位低下エリア外部(止水壁外)への影響

止水壁近傍では、地下水位低下エリア外部にも沈下が発生するリスクがある。近隣の 住宅については、不同沈下対策を考慮する必要がある。 (2) 揚水継続の影響

半永久的に地下水の揚水を継続する必要があるため、固定費としてポンプの運転費、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)止水壁の耐久性について

止水壁に鋼矢板を用いる場合には、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。

(4) 降雨による効果減少の可能性について

降雨によって一時的に地下水位が上昇すると、地下水位低下による液状化抵抗効果が阻害 される場合がある。この可能性は、地下水位の低下が回復するまでの時間と、降雨量との関 係によって決まるものである。降雨期などにはこのリスクが高まる可能性がある。

## 3.4 まとめ(地下水位低下工法)

- ・地下水位を4m低下させる(地下水位:GL-5mとする)ことにより、公共施設の目標性能
  (FL≥1.0)及び宅地の目標性能(地盤の短期許容応力度 q<sub>a</sub>≥建物荷重 w)を満足することができた(表 3.2.25~26、表 3.2.47~48 参照)。
- ・地下水位を 3m 低下させる(地下水位:GL-4mとする)場合には、宅地側における目標性 能を満足することができる(表 3.2.25、表 3.2.48)。ただし、公共施設においては、液 状化の恐れのある地盤が残るため、公共施設や地下埋設物の機能確保について検討対策が 別途必要となる。
- ・道路部分のみにおける施工により、宅地を含む広範囲への対策が可能である。
- ・地下水位低下による圧密沈下の影響として、住宅や道路、地下埋設物の傾斜、対策範囲外における沈下などが懸念される。このため適用にあたっては揚水井戸の位置や本数、揚水期間等について留意すると共に、傾斜等が生じた場合についても事前に取り決めておく必要がある。

<3の参考文献>

- 1) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会:道路・宅地の一体的な液状化対策工法の比較検討、 http://www.city.urayasu.chiba.jp/secure/26052/06\_hosoku2.pdf
- 2) 社団法人 地盤工学会:液状化対策工法、pp. 345~353、2004
- 3)社団法人地盤工学会:液状化対策の調査・設計から施工まで、pp. 285~298、1993
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8)時松孝次:耐震設計とN値-建築-、基礎工、Vol.25、No.12、pp.61-66、1997.