第5章 地下水位低下工法の検討

5-1 地下水位低下工法の考え方

地下水位低下工法は、地下水が抜けた浅層部の非液状化層の厚さを増大させるとともに、地下水位以深についても有効上載圧が増すことで液状化しにくくなる効果を有し、地盤条件によっては効果の高い液状化対策となる。また、地下水位の低下は、官民境界を越えて道路・宅地の区別なく及ぶことから、公共施設と宅地の一体的な液状化対策の枠組みになじみやすい工法である。

この工法には深層にある粘土層の圧密沈下による建物やライフラインの不具合を招くおそれがあるので、事前に圧密沈下量が少ない地盤であることを確認しておく必要がある。また、施工後に観測を行い事業効果の確認を行う必要がある。

地下水位低下工法には、大別して、①排水管方式と、②井戸方式の工法があり、地下水位低下に伴う圧密沈下に及ぼす影響に配慮して、施工性、維持管理コストについて十分に調査・検討して工法を採用する必要がある。

1. 地下水位低下工法の特徴

地下水位低下工法は、住宅地や道路部分の地下水位の高さを強制的に低下させて液状化による被害を軽減させたり、地表面下の数メートルを非液状化層とすることにより、液状化が発生する可能性を軽減し、液状化の被害を抑制する工法である。液状化は、地下水に浸かっている砂が、地震の振動で高まった水圧に耐えきれずに破壊されて発生する現象である。このため、地下水が抜けた層では、水がないために液状化の発生が抑制されるとともに、その下の層も従前の浮力相当分の重さが砂粒子を抑えつける力として加わるため、液状化し難くなる。また、工事は基本的に道路などの公共施設の区域内で行うことが可能であるため、宅地内の工事が無くても実施することが可能である。このため「公共施設・宅地一体型」事業の枠組みになじみやすい工法である。

本工法による改良効果は、図5-1に示される。

① 表層部非液状化層厚の増加

地下水位を低下させることにより、表層が不飽和層となり、表層部の非液状化層厚が増加するため、下部の層が液状化しても地表での被害が軽減される。

② 液状化対象層の有効上載圧の増加

地下水位を低下させることにより、液状化対象層の有効上載圧が増加し、地盤内での発生せん断 応力比が小さくなるため、液状化の発生する可能性が少なくなる。

このように、本工法は低下した地下水面より浅い地盤のみならず、地下水面以深の地盤の液状化をしにくくする効果がある。

一方、このようなメリットがある反面、この工法には、有効上載圧の増加によって深層にある粘土 層の圧密沈下を引き起こすことがあり、圧密沈下量が大きい場合には建物やライフラインの不具合を 招くおそれがあるというデメリットがある。

図5-1は、地下水位低下による圧密沈下対象層の有効上載圧の増加量(増加量は平行移動)を示したものであり、地下水位の低下によって間隙水圧が深さ方向に一律に低下すると仮定した(b)では、この増加量によって粘土層の圧密沈下が大きく発生する。しかし、東北地方太平洋沖地震後に各地区で実施された市街地液状化対策事業による実証実験¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾では、間隙水圧を考慮しない(b)の仮定で推定した圧密沈下量より小さい沈下量を示している。その理由としては(c)に示すように、圧密沈下対象層下部に砂礫層や砂層がある場合、地下水が流れており被圧もしているため、圧密沈下対象層下部の間隙水圧が変化し難く、水圧は深さ方向に一律に下がらないので、有効上載圧の増加量も多くないことから小さい沈下量になるものと考えられる。

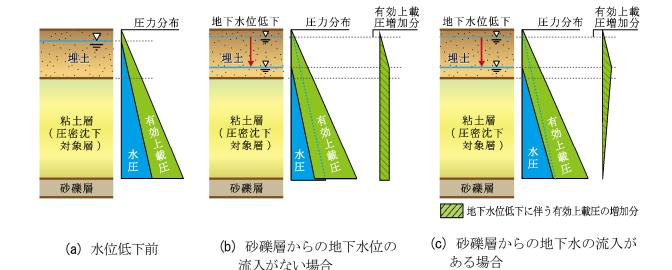


図 5-1 地下水位低下による有効上載圧の増加概念図

地下水位低下工法を工法別に区分した場合は以下の工法に代表される。

- ①排水管方式 → 開削工法「自然流下およびポンプアップ (流末)」(※以降、開削工法と呼ぶ)
 - → 推進工法「自然流下およびポンプアップ (流末)」(※以降、推進工法と呼ぶ)
- ②井戸方式 → 井戸「ポンプアップ」
 - → 井戸による不飽和化「ポンプアップ」

2. 地下水位低下工法の流れ

地下水位低下工法の検討においては、**図5-2**のように液状化対象層の透水試験や揚水試験を実施し、 適用可能な地盤条件に対して、**<資料編 5-3 液状化被害軽減策の考え方>**を参考に工法タイプ の選定を行う。

地下水位低下工法の設計にあたっては、液状化判定をもとに適切なる地下水位低下量を決定する。 ただし、下部に軟弱粘土層がある場合には地下水位低下に伴う地盤沈下量も推定し、水位低下によって有害な沈下が生じないことを確認しておく必要がある。

地下水位低下工法の事業効果の確認方法は、地下水位が想定通り低下しているか、それに伴う地盤 沈下等が生じていないか、地下水位が予定よりも下がらない場合の対処方針や地下水位低下工法の留 意事項を参考にして、事業の効果について確認する必要がある。

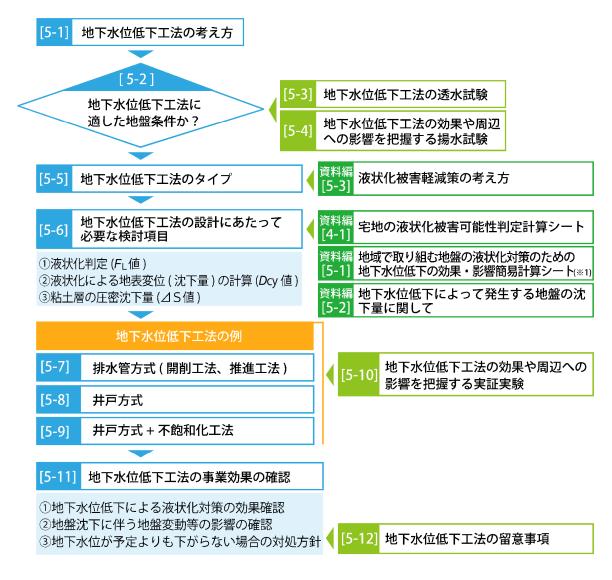


図5-2 地下水位低下工法の全体フロー

(※1)本シートでの圧密沈下量は「5-6 地下水低下工法の設計にあたって必要な検討項目」 で後述するように地下水位低下によって間隙水圧が深さ方向に一定値減少すると仮定し ており、実際より大きな沈下量を示す場合もあることに留意する必要がある。

また、地下水位低下工法の設計・施工にあたっては、この他に以下の項目の検討をしておく必要がある。これらは東日本大震災の後の復興でいくつかの都市で行われてきている「市街地液状化対策事業」によって、設計、施工方法が明らかになってきており、茨城県潮来市、神栖市、鹿嶋市、等の事例を参考にすると良い。

- ①排水管や井戸の設置間隔
- ②排水開始時の地下水位低下の時間変化
- ③排水量
- ④降雨と地下水位の関係
- ⑤施工時の周囲への影響

5-2 地下水位低下工法に適した地盤条件について

地下水位低下工法は、以下のような地盤条件に適した比較的安価な液状化対策工法である。

- ①液状化層(地下水位)が比較的浅いところにある地盤
- ②下層部に軟弱な粘性土層が厚く堆積していない地盤
- ③液状化対象層の透水係数が高い地盤

1. 液状化層(地下水位)が比較的浅い地盤

ボーリング調査を行い、液状化層が比較的浅い地盤であることをあらかじめ確かめておく。液状化層が深い場合の地下水位低下工法は、非液状化層の厚さを増し、地震時のめり込み沈下や建物の傾斜には有効ではあるが、下部の液状化層が残り大きな沈下を及ぼす恐れがある。特に砂利や砂鉄の採掘跡地において緩い砂で深く埋戻しがなされているなど適用が困難な場合もある。

2. 下層部に粘性土層が厚く堆積していない地盤

液状化層の下部に軟弱な粘性土層が厚く堆積していると、地下水位が低下した層の地盤の浮力が低下し、上載荷重が増加することで、地域一帯において圧密沈下が生じるおそれがある。ボーリング調査によって、下層部の粘性土層の厚さを確認し、不攪乱試料の圧密試験等により圧密沈下量の推定をする必要がある。ただし、以前に造成時点でサーチャージ工法やプレロード工法の圧密沈下対策工法が施工されていた場所や、工場等の建物が存在した場所で地下水の汲み上げによって既に荷重のかかった状態であった過圧密地盤等となっている場合には、地下水位の低下に伴う圧密沈下による影響が小さく、地下水位低下工法が有効な場合もある。

3. 液状化対象層の透水係数が高い地盤

地下水位低下工法を検討する場合には、表5-1~3に示すように地下水位面を特定するためのボーリング調査や砂質地盤の透水試験により透水係数k≥1×10⁻⁵ (m/s) であることを確認する必要がある。この値は、地下暗渠排水管の配置等の検討にも影響する。また、地下水位は経年変化をするため、簡易な観測井戸を設けることが望ましい。ボーリング孔を利用する場合は、途中に沖積粘性土層で地下水位面が上部砂層と下部砂層に分かれて異なる値を示すので注意しなければならない。一般的に、浅層と深層で地下水の流れが異なっていることがあり、液状化対策としての地下水位の低下は3~4mの深さまでなので、観測井戸の深さは地表面から3~4m程度の深さが想定される。

	粘土	シルト	微細砂	細砂	中砂	粗砂	小砂利
粒径(mm)	0~0.01	$0.01 \sim 0.05$	$0.05 \sim 0.10$	$0.10 \sim 0.25$	$0.25 \sim 0.50$	$0.50 \sim 1.0$	$1.0 \sim 5.0$
k ₀ (m/s)	3.0×10^{-8}	4.5×10^{-6}	3.5×10^{-5}	1.5×10^{-4}	8.5×10^{-4}	3.5×10^{-3}	3.0×10^{-2}

表 5-1 粒径と透水係数の関係例 2)

表 5-2 土質と透水係数の関係例 2)

k ₀ (m/s)	1.0	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	10 ⁻¹⁰
土壌の種類	きれい	な砂利	きれいな砂、 きれいな砂利 まじりの砂		り、シルト、 こシルトの混合砂	難透水性土 粘 土

表 5-3 土質と透水係数の関係例 3)

透力	火 度	透水係数の範囲 k(m/s)	土 質
高	V	10-3以上	レキ
中	位	$10^{-3} \sim 10^{-5}$	粗砂、中砂、微砂
低	V	10-5~10-7	極微砂、シルト質砂、ゆるいシルト
きわめ	て低い	$10^{-7} \sim 10^{-9}$	かたいシルト、粘土質シルト、粘土
不透	秀 水	10-9 以下	完全な均一粘土

5-3 地下水位低下工法の透水試験について

地下水位低下工法は、以下のような砂地盤の調査を行い、透水係数の算出を行う必要がある。

- 1)現場透水試験方法
- ②粒度試験より透水係数を算出する方法
- ③不攪乱試料を採取して室内透水試験を行う方法

1. 現場透水試験方法

現場透水試験は、地盤の自立性や地下水の状況により、**図5-3**のように、試験孔の測定用パイプの有無や透水試験部分の形状などによって試験方法や透水係数の算出方法も異なる。**図5-2(b)**のピエゾメーター法(別名ケーシング法)が一般的に実施される。

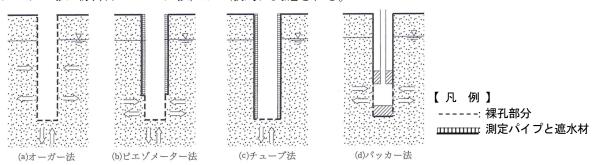


図 5-3 試験孔仕様による試験法の分類 4)

測定は以下の手順で行う。

- ①試験区間上部まで掘削及び遮水し、測定パイプを挿入する。
- ②測定パイプの先端から必要な試験区間を掘削し、清水を用いて十分洗浄する。
- ③測定パイプ内の水位を、ベーラーを用いて汲み上げ、測定パイプ内の水位上昇を水位測定器で経 時的に測定する。(回復法)

透水係数は図5-4のようにプロットした後、次式により算出する。

① 不圧帯水層

$$k = \frac{0.66d^2 \log \left(2L/D\right)}{L} m$$

d:測定用パイプの内径(cm)

D:試験区間(孔)の直径(cm)

L:試験区間の長さ(cm)

t:経過時間(s)

m: logs-t 曲線の直線部の勾配(s⁻¹)

② 被圧帯水層

$$k = \frac{0.66d^2 \log\left(4L/D\right)}{L} m$$

$$m = \frac{\log(s_1/s_2)}{t_2 - t_1}$$

$$\lim_{s \to 0} \frac{s_1}{s_2}$$

$$\lim_{s \to 0} \frac{s_1}{s_2}$$

$$\lim_{s \to 0} \frac{s_1}{s_2}$$

$$\lim_{s \to 0} \frac{s_1}{s_2}$$

図5-4 透水係数の算出方法5)

2. 粒度試験より透水係数を算出する方法

粒度試験より透水係数を求める推定式は、表5-4に示すように土の有効径より透水係数を簡単に求める方法がいくつかある。そのうちCreager(クレーガー)の関係式がよく用いられる。

関係式名	推定式(m/s)	適用条件
H の間板	$k=D_{10}^2$	①均等係数 Uc < 5 の砂
Hazen の関係	$D_{10}: ({ m cm})$	②普通に締まった砂
Crosser OBLK	$k=0.00036D_{20}^{2.37}$	$\bigcirc D_{20} > 0.03$ mm
Creager の関係	D_{20} : (mm)	②砂分含有率 70%以上
Harral OFFICE	$k=0.065D_{20}^{0.5}$	$\bigcirc D_{20} > 0.3$ cm
Hough の関係	$D_{20}:$ (cm)	②砂礫

表 5-4 透水係数を求める推定式 6

3. 不撹乱試料を採取して室内透水試験を行う方法

締め固めた試料および不撹乱試料を用いた室内透水試験により、ダルシーの法則に基づき飽和状態における透水係数を求めることができる。現場透水試験は水平方向の透水性を計測しているが、下層からの地下水の流入を検討する場合には鉛直方向での透水係数となることから、図 5-5 を用いて水平方向と鉛直方向の両方について透水係数を試験しておく必要がある。

試験は、定水位透水試験と変水位透水試験に区分される。前者は透水性の高い土 $(k=10^{-5}\sim10^{-3}m/s)$ に、後者は透水性の低い土 $(k=10^{-9}\sim10^{-4}m/s)$ に適用される。

試験方法は JIS A 1218 に規定されている。

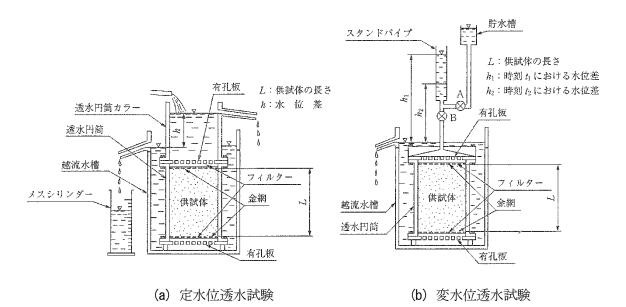


図 5-5 不撹乱試料を用いた室内透水試験

5-4 地下水位低下工法の効果や周辺への影響を把握する揚水試験について

揚水試験は、地下水位低下工法を液状化対策とする場合に課題となる、以下の点を 把握するために実施する。

- ①現位置での水位低下の可能性の確認及び水位低下影響圏の把握
- ②水位低下量を算定するために必要な透水係数 k、貯留係数 S など水理定数の把握
- ③地下水位低下による周辺地盤の沈下影響の把握

1. 現位置での地下水位低下工法の可能性の確認及び水位低下影響圏の把握

地下水位低下工法を採用するためには、現地で地下水位を低下出来るか否かを把握することが必要である。また、地下水位低下工法の効果の影響範囲を把握することが重要となる。現地に設置する揚水井と観測井で、段階揚水試験や連続揚水試験を実施し、揚水量と観測孔の水位低下量を確認することにより、揚水井の配置間隔など基本緒元に関する情報を得ることができる。

2. 水位低下量を算定するために必要な透水係数k、貯留係数Sなどの水理定数の把握

透水係数は、ボーリング孔での透水試験でも求められるが、ピンポイントでの値となるのに対し、 揚水試験での透水係数は層としての値であり、より現実に近い値となる。また、貯留係数は、地下水 位低下の時間的変化を算定する場合に必要な値である。また、浸透流解析などの計算を実施する場合には、解析に必要な値を揚水試験の実施で得ることができる。

3. 地下水位低下工法による周辺地盤の沈下影響の把握

液状化対象層の下部に軟質なシルト層が分布する場合には、地下水位低下に伴う圧密沈下発生の大きさが課題となる。この沈下量は、室内の圧密試験結果等を用いて算定することとなるが、揚水試験時に地表の高さを計測し、実際に生じる沈下量を把握しておくことが望ましい。

4. 揚水試験実施手順

揚水試験は、①試験準備、②予備試験、③本試験、④連続揚水試験、⑤解析の各段階に分けて、**図** 5-6の手順で行う。

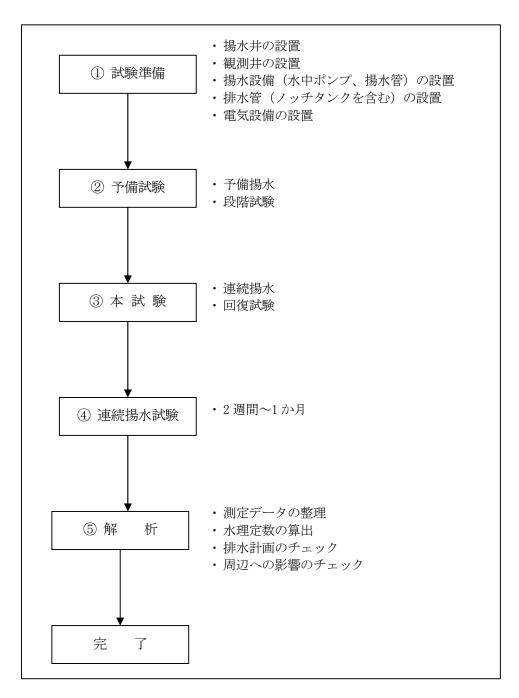


図 5-6 揚水試験フロー

5. 揚水井·観測井設置例

仮に液状化対象層厚が3.0m程度とした場合、液状化層厚や低下水位を考慮し、揚水井の掘削深度は概ね5m程度と想定される。また水位観測井の設置位置は、揚水井の影響圏半径を考慮し、揚水井戸を中心に3m、9m、及び27mの位置に十文字の配列とする。その深さは、液状化対象層の水位低下を確認するために約3.0mとする。

地下水位の観測は、季節変動があるので、渇水期だけでなく梅雨期まで長期的な変動を観察する必要がある。ボーリング孔を利用する場合は、途中に沖積粘性土層があると地下水位面が上部砂層と下部砂層に分かれて異なる値を示すので注意しなければならない。したがって、観測井戸の深さは、地表面から3~4m程度の液状化対策層とすることが想定される。また、液状化層の下部に沖積粘性土層がある場合は、地下水位低下に伴う圧密沈下が生じる。そこで、あらかじめ各地層に沈下計を設置してどの層がどれだけ沈下しているかを観測しておくことも想定される。

以下の諸元の揚水井及び水位観測井の配置図例を示すと図5-7のようになる。

①揚水井 掘進工: φ350mm×5m×1か所 計5m

②井戸仕上げ: φ200mm仕上げ (仕様ストレーナー2m、ケーシング3m SUS管)

③水位観測井 掘進工: φ116mm×3m×12か所 計36m

④観測井戸設置:3m×6か所(仕様 有孔管2m、無孔管1m)

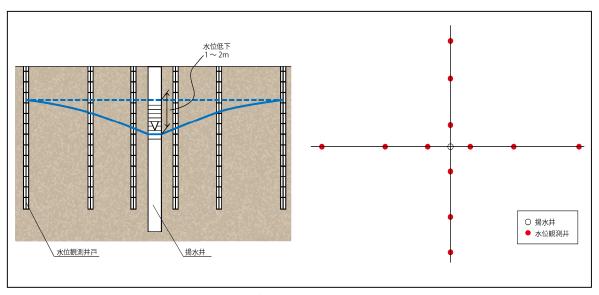


図 5-7 揚水井・観測井配置図

6. 予備試験(予備揚水・段階試験)

本試験に先立って予備試験を行い、本試験に使用する揚水量を決定する。予備試験は段階揚水試験 法により、後述の一定試験を行う際の妥当な揚水量を推定するために行う。段階試験は揚水量をいく つかの段階に分け、一つの段階の揚水で水位が安定した後、揚水量を次の段階に上げて引き続き揚水 を行う方法である。段階揚水試験の結果を参考に一定試験の揚水量を決定する。

各段階の測定時間は、水位安定が確認された時点で次の段階に移るものとする。測定間隔は、最初は短い間隔で測定し、水位変化速度が小さくなったら次第に広げる。揚水量は三角堰で計測し、揚水井と揚水井周辺に設置した観測井12か所で同時に水位測定を行う。

7. 本試験(連続試験・回復試験)

本試験は、段階試験の結果を参考に、2種類の揚水量で本試験を行うと、適正な影響半径の把握が可能となる。連続試験によって生じる水位効果と時間の関係を揚水井、観測井とも測定し、水位の観測方法は段階試験と同様に行う。連続試験終了後、直ちに回復試験を行う。回復試験は、水位上昇が少なくなるか、ほぼ安定した状態をもって終了とする。

5-5 地下水位低下工法のタイプについて

地下水位低下工法のタイプには、①排水管方式(開削工法、推進工法)と、②井戸方式の2つのタイプがある。さらには、流末の排水施設での処理により、自然流下排水方式とポンプアップ排水方式の2つがある。工法の選定にあたっては、それぞれの特徴と地域の状況を踏まえ、検討を行う必要がある。

①排水管方式は、一般に道路の路面下数メートルの位置に排水管を配置して、管路より上方の地下水を浸透により集めて排水させる方法で、維持管理コストが安く済む自然流下排水方式が可能かを検討する。ポンプアップ排水方式は地区単位で集めた水が行き着く流末にのみ必要な場合に設置する。ただし、水位低下量が現状路面から3m程度の範囲であれば築造しやすいが、大幅に低下させる場合は、その分、管路を深く設置する必要があり、工事費のコストが大きくなる。

②の井戸方式のメリットは、地下水位の低下幅を任意に設定することができ、比較的大きな低下幅も可能であり、この場合、複数のポンプの働きを調節して、地下水の水位や低下速度を調整することも比較的容易である。また、この方式は、局所的に採用可能なほか、当初地下水位を目標高(深度3.0m~5.0m)よりも余分に引き下げて間隙に空気をある一定期間取り入れた後、水位を目標値に戻すことによって残留空気による不飽和化を図り、地下水位以深の液状化強度を増加させる工法をあわせて講じることができるというメリットもある。

デメリットは、ポンプ稼働の電力や器具の維持管理コストが継続的に発生すること等であり、ポンプ機器の更新周期は10年~15年とされている。なお、地下水位低下工法を導入する際に、住宅の建替え時には地盤改良工事等を実施する考えることもあり得る。これにより、一定期間の経過後にはポンプを稼働させなくても個々の宅地で液状化対策が講じられたものとなる(参考:図2-2)。

上記の①排水管方式と、②井戸方式のいずれの工法を採用する際にも、施工性、維持管理コストについて十分に検討し、計画案の作成を行う。

さらに、住民に対してどの位の期間でどの程度の沈下が生じるかの説明を行い、住民側に維持管理を含めた費用負担を求める場合には、同意形成を図る際に十分な説明を要する。

5-6 地下水位低下工法の設計にあたって必要な検討項目

地下水位低下工法の設計にあたっては、液状化判定をもとに適切な地下水位低下量を決定する。ただし、下部に軟弱粘土層がある場合には地下水位低下に伴う地盤沈下量も推定し、水位低下によって有害な沈下が生じないことを確認しておく必要がある。

1. 検討が必要な項目と簡易計算シートの利用方法

地下水位低下工法の設計にあたっては、まず、液状化の判定を行い、適切なる地下水位の低下量を決定する。さらに、下部に軟弱な粘土層がある場合には、水位低下によって軟弱粘土層が圧密し地盤沈下が生じて家屋やライフラインなどに害を及ぼすことも懸念されるため、地盤の沈下量も推定しておく必要がある。これらの値は国土交通省・国土技術〈政策総合研究所ホームページから「地域で取り組む地盤の液状化対策のための地下水位低下の効果・影響簡易計算シート」が等により、その概略値を簡易に試算することができる。この計算シートは、地盤調査の結果と想定する地震規模をExcelに入力することで、地下水位低下の量(現状より何メートル低下させるか)に対応した液状化対策の概略の効果、及び副作用である下部粘土層の圧密沈下量を簡易に求めることを支援するツールである。簡易シートの作成手順は、図5-8に示すように、地盤定数等のパラメータを入力すると、①液状化簡易判定結果(F_L 値の深度分布と P_L 位)、②建築基礎構造設計指針による液状化による沈下量計算(DCcy値)、③粘土層の圧密沈下量($\triangle S$ 値)が算出される。

ただし、この計算シートは、東日本大震災による液状化被災市街地における迅速な対応を支援するため、概ねの対策効果を簡易に把握するために作成したシートであり、対象地区の具体的な対策の検討にあたっては、地盤調査・土質試験を実施し、圧密解析などを行って、液状化の判定、被害軽減のために必要な水位低下量、水位低下による地盤沈下量とそれによる障害の有無を詳細に検討する必要がある。

液状化の判定方法に関しては「4-1震災前地盤状況の再現及び液状化発生の確認」に、また、被害軽減のための地下水位低下量に関しては「4-3液状化対策の目標値」に示してあるので参照されたい。

2. 粘土層の圧密による地盤沈下量の推定方法の留意点

粘土層の圧密沈下量の算出は地盤工学で確立されている圧密理論に従って行えば良いが、地下水位を3m程度の深さまで下げるだけの場合には「5-1地下水位低下工法の考え方」に示したように水位の深度分布に関して特別な留意が必要である。過去に地下水を汲み上げた時や、埋立を行った時に大きく沈下したとかといった事例をもとに、ここで扱っている地下水位低下でも大きく沈下するのではないかと懸念されているが、これらにおける水圧分布の変化や有効応力の増加はメカニズムが異なる。これに関しては、図5-1を参照されたい。上述した簡易計算シートでは、図5-1に示した水圧の深度分布のうち図5-1(b)のように地下水位低下にともなって水位は深度方向に一定値で減少すると仮定してある。ところが、東日本大震災後に行われた実証試験では図5-1(c)のように深い所では水圧は減少しなかったため、有効上載圧の増加量が少なく地盤沈下量も簡易シートで計算した値より少なかった。このように、簡易シートで計算するよりは小さい地盤沈下量となることがあるので、地下水位

の深度分布の仮定には留意する必要がある。対象地盤で地下水位低下の現場実験を行えば、地盤沈下量や水圧の深度分布が直接求まるが、それが出来ない場合には東日本大震災後に行われた実証実験 12)13)14)での結果を参照すると良い。

3. 粘土層の圧密に伴う地盤沈下が建物に与える影響に関して

地下水位低下に伴う圧密沈下により、建物の不同沈下による傾斜が生じないようにする必要がある。

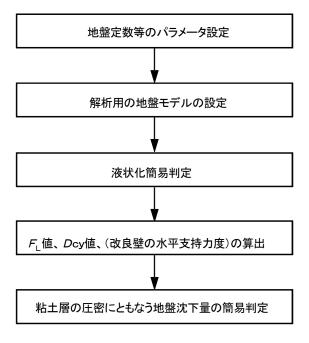


図5-8 簡易シート作成フロー

日本建築学会の「建築基礎構造設計指針」®及び「小規模建築物基礎設計指針」®では、表 5-5 に示す通り、沈下の種類、基礎形式などに応じて、限度とする沈下量の値が示されているので、地盤の圧密沈下量がこれらを上回らないことをまず確認することが必要である。ただし、地下水位低下に伴う粘性土地盤の圧密沈下の影響は、敷地単位または公共施設用地と宅地にまたがるため、均等に圧密沈下が生じる場合においては、傾斜または高低差による機能障害等への影響は比較的小さいと想定される。

次に、地盤の沈下による構造物への影響や支障を検討する際には、複数の地点において推定した 圧密沈下量 (△s) の平面分布より地表面の傾斜または高低差を推定し、表 5-6 を参照して、これら の傾斜量等による構造物への影響が生じないか、あるいは生じても軽微であることを確認する必要 がある。この場合、例えば地質状況が比較的広域に均質な状態であることが期待される地域につい ては、工法の選択にあたり確認したボーリングデータ等から傾斜量等を推定することが考えられる が、地質状況が複雑であったり、不連続が発生していることが想定される場合等にあっては、必要 に応じてより精度の高いボーリングデータから傾斜量等を推定するなど、入念な調査が行われるこ とが望ましい。

表 5-5 沈下量の限度値の参考値^{8)、9)}(cm)

沈下の種類	即時沈下		圧密	沈下
基礎形式	布基礎	べた基礎	布基礎	べた基礎
標準値	2.5	3~ (4)	10	10~ (15)
最大値	4	6~ (8)	20	20~ (30)

標準地:不同沈下による亀裂がほとんど発生しない限度値

最大値:幾分かの不同沈下亀裂が発生するが障害には至らない限度値

():剛性の高いべた基礎の値

表 5-6 傾斜角と機能的障害程度の関係 9)

傾斜角	障害程度	区分
3/1,000 以下	品確法技術的基準レベル-1 相当	1
4/1,000	不具合が見られる	
5/1 000	不同沈下を意識する	2
5/1,000	水はけが悪くなる	
6/1,000	品確法技術的基準レベル-3相当。	
6/1,000	不同沈下を強く意識し申し立てが急増する。	3
7/1,000 建具が自然に動くのが顕著に見られる		
8/1,000 ほとんどの建物で建具が自然に動く		4
10/1,000 配水管の逆勾配		4
17/1,000	生理的な限界値	5

なお、傾斜角と健康障害については、日本建築学会の住まいづくり支援建築会議の復旧・復興支援 WG「液状化被害の基礎知識」10)でこれまでに報告された学術研究を調査され、床の傾斜角と健康障害の対応が表 5-7 のようにまとめられている。ここでは、床の傾きだけではなく、柱や壁の傾き、窓や窓の外に見える景色の傾きなどの視覚的刺激からも生理的・精神的影響を判断するようになっている。これによると、6/1,000 を超えると不同沈下を意識し始め、8/1,000 を超えると傾斜に対して強く意識、1/100 程度では、めまいや頭痛が生じることになり、健康障害から判断した場合、傾斜角の限界値は、8~10/1,000 程度と考えられる。なお、この調査の中にも含まれている 2,000 年鳥取県西部地震における液状化被災住宅の調査では、沈下量や傾斜角と復旧の関係について、傾斜角が 10/1,000 程度以上になると生活に支障が現れて水平化復元工事をせざるを得なかった旨の報告もある 11)。

表 5-7 床の傾斜角と健康障害 10)

傾斜角				
度	分数 (ラジアン)	健康障害	文献	
0.29°	5/1,000 (=1/200)	傾斜を感じる。	藤井ほか(1998)	
0.34°	6/1,000 (=1/167)	不同沈下を意識する	藤井ほか(1998)	
0.46°	8/1,000 (=1/125)	傾斜に対して強い意識、苦情の多発。	藤井ほか(1998)	
0.60° 程度	1/100 程度	めまいや頭痛が生じて水平復元工事を行わざる得ない	安田·橋本(2002) 安田(2004)	
~1°	~1/60	頭重感、浮動感を訴える人がある。	北原·宇野(1965)	
1.3°	1/44	牽引感、ふらふら感、浮動感などの自覚症状が見られる。	宇野・遠藤(1996)	
1.7°	1/34	半数の人に牽引感。	宇野・遠藤(1996)	
2° ~3°	1/30~1/20	めまい、頭痛、はきけ、食欲不振などの比較的重い症状。	北原·宇野(1965)	
4° ~6°	1/15~1/10	強い牽引感、疲労感、睡眠障害が現れ、正常な環境でも、 ものが傾いて見えることがある。	北原·宇野(1965)	
7° ~9°	1/8~1/6	牽引感、めまい、はきけ、頭痛、疲労感が強くなり、半数 以上で睡眠障害。	北原·宇野(1965)	

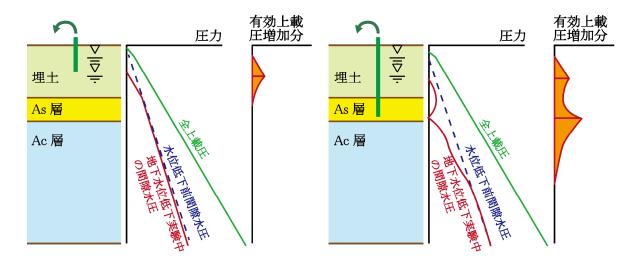
4. 地下水位低下の実証実験方法

市街地液状化対策事業において地下水位を低下することを検討するため、いくつかの地域で地下水位低下の実証実験が行われており、以下の2種類の方法で水位を低下させている。

<排水管方式>:深さ4m程度の溝を掘り、そこに有孔管を入れて地下水位を低下させる。

<井戸方式>:井戸を掘り、地下水を汲み上げて地下水位を低下させる。

これらのうち、排水管方式では液状化層だけを対象にしており、尼崎や柏崎で行われた工事と同じ方法になる。したがって実験結果そのものから地盤の沈下量や地下水の排水量が分かることになる。これに対し、井戸方式の場合には井戸の深さに留意する必要がある。液状化対象層より深くまで地下水を汲み上げると間隙水圧の分布が実工事と異なってくる可能性がある。図5-9に浅い所と深い所に井戸を設置した場合の水圧および有効上載圧の増加量の違いの模式図を示す。ここではAs層に地下水が流れている場合を想定している。図5-9(b)のように地下水位を下げる深さより深い位置に井戸を設置すると、有効上載圧の増加量が大きく、地下水位を同じ値だけ下げたといえども、地盤の沈下量を過大に見積もる可能性があるので注意が必要と考えられる。



(a) 浅い位置に井戸を設置して地下水位低下 実験を行った場合

(b) 深い位置に井戸を設置して地下水位低下 実験を行った場合

図 5-9 井戸による地下水位低下実験時における井戸の深度の影響(As 層を地下水が流れている場合)

5. 地下水位低下工事の方法

排水管方式で3、4mの深さにパイプを設置する場合、下水道管埋設工事と同様の方法で施工すれば良い。ただし、開削方法では掘削時や埋戻し時に近接した構造物に悪影響を与えないように留意する必要がある。集めた地下水はポンプで汲み上げるのが一般的であるが、自然流下で放水できれば維持費が安くなる。一方、井戸方式では道路を掘り返す必要がなく、小口径の浅い井戸を沢山設置して側溝に放流するといった方法だと施工は簡単になる。ただし、それぞれの井戸でポンプが必要となる。

なお、地下水位低下に伴う地盤の沈下に関して、上述したように、①地表面の絶対沈下量、②家屋の傾斜角、つまり地表面の不同沈下量に留意する必要がある。例えば地表面を水平に保ちながらある区域で圧密沈下させた場合には、家屋に被害を与えないので、①よりは②の不同沈下量で地盤の沈下が家屋に与える影響を評価する必要がある。この観点から、地盤の沈下が発生する場合でも、溝や井戸の配置を工夫することによって、圧密による地盤の沈下の家屋への影響を軽減することが出来るであろう。また、埋立地といえども周囲の海水面より地下水位の標高が高く、表層の地下水は雨水によって供給されるのが一般的であるため、地下水位低下のために必要な排水量は降雨量に関係すると考えられる。尼崎市築地地区における排水量の実績としては降雨量の約1/4程度であった。ただし、地域の地形、地盤の影響により排水量が定まるので、あらかじめ実施、実験によって確認しておく必要がある。必要な排水量は降雨量の約1/3程度とも考えられている。

ただし、ある区画を矢板で仕切って地下水位を下げる場合、矢板先端深さ付近の層から地下水が流入してこないことも検討する必要がある。不透水の粘土層が矢板先端付近にあれば問題ないが、砂質シルト層のように完全に不透水層でない場合には、鉛直方向の透水係数を試験して下部からの流入量を検討するといったことが必要である。

5-7 排水管方式による地下水位低下工法

道路内に暗渠管等を埋設する排水管方式による地下水位低下工法には、排水管の埋設手法により①開削工法と②推進工法の2つの工法があり、3m程度の非液状化層の確保に適した工法である。

いずれの工法も、道路の下に深さ3m程度の位置に排水管を敷設し、ネットワークにして末端に流下させるものである。流末では自然流下排水方式で河川へ放流できる場合とポンプアップ排水方式により地区外へ放流する場合がある。

なお、①開削工法の場合は開削における施工性より深さ3m程度を超えると対策が 大がかりとなるが、②推進工法は深さ3m以深での設置も可能である。

1. 基本仕様

排水管方式による地下水位低下の主工法は**表5-8**に示すように、道路の下に深さ2~3m程度の位置に排水管を敷設し、ネットワークにして末端に流下させるものである。副工法としては、建替え時に1.0m程度の盛土を行うことなどが想定される。

	X = = = = = = = = = = = = = = = = = = =				
	公共施設部分	宅地部分			
主工法	道路の下に排水管を敷設				
副工法	_	建替え時に若干の盛土			
町上伝	低下後の下部地下水	層の不飽和化			

表 5-8 公共施設と宅地部分における地下水位低下工法

2. 地盤条件

地盤条件は、下記の条件を満足することを確認する。

- ①透水係数k≥1×10-5 (m/s) 程度の透水性が高い地盤であること
- ②水が速やかに流れる砂層・細砂層の均一な地盤で粘性土地盤でないこと
- ③細粒分の含有が少なく、透水管の目詰まりを起こしにくいこと
- ④下部に軟弱な粘土層がある場合でも圧密沈下量が大きくないこと

3. 組合せ工法

浅層部の非液状化層を厚くするため、1m程度の盛土を組み合わせる方法が考えられる。この場合、 宅地部分については、住宅の建替え時に順次盛土を施していくことにより、20~30年程度かけて地区 全体の防災性の向上を図る方法も考えられる。

4. 主な得失

一般的に、流末が自然流下排水方式の場合はポンプを使わないため、維持管理費が小さく、ランニングコストがほとんどかからない。逆に、流末がポンプアップ方式の場合は、ポンプの点検・補修が必要となるためランニングコストが発生する。施工は基本的には道路部分のみとなるため、宅地所有者の負担が比較的小さくなることが想定される。ただし、宅地の盛土により浅層部の非液状化層厚を

増す対策を行う場合には、原則として個々の宅地所有者による対応となるとともに、下部粘土層の圧 密沈下について、あらかじめ予測し住民の理解と協力を得ることが必要である。

5. 開削工法における実施例

1995 年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)の際に尼崎市築地地区は液状化によって甚大な被害を受けた。その復旧にあたって、地下水位低下と盛土によって液状化の対策が施された**〈資料編5** - 6 >。地下水位低下工法としては**図 5-11 (a)** に示すように開削して透水管を設置し、流末でポンプアップする方法がとられた。これが宅地において地区全体の地下水位を低下することが行われた初めての例である。

2番目は柏崎市山本団地の例である。この団地は2007年新潟県中越沖地震で液状化により被害を受け、その復旧にあたっては $\mathbf Z$ 5-11(b)のように排水パイプが設置された**〈資料編5-7〉**。この地区は砂丘背後の緩やかな斜面に位置し、下方には川が流れているため、自然流下排水方式で川に放流する方法がとられた。

2011年東北地方太平洋沖地震により液状化で被災した都市のうち、「市街地液状化対策事業」によって地下水位低下による液状化対策を施しつつある茨城県潮来市・神栖市・鹿嶋市地域¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾では、**図**5-12(a)(b)(c)のように開削により暗渠排水管を設置する工法が採用されている。

開削工法によって暗渠排水管を設置する一般的な方法や長・短所などを表5-9に示す。この表に示すように道路に幅約1.3m、深さ約3.5mの溝を掘削し、基底部にφ200mmの暗渠パイプを設置した後、深度1mまで単粒度砕石で埋め、その上は発生土などで埋め戻す。ある間隔ごとにマンホールも設置し、排水管全体のネットワークを組む。そして終末にピットを設置しポンプにより水を汲み上げて川や海に放流する。柏崎市山本団地のように自然流下で川や海に放流できるとポンプ代が不要になる。なお、鹿嶋市では、図5-10に示すように暗渠排水管周りの砕石層の範囲については既設管や土留切梁等による施工の困難性より暗渠排水管上1.0mまでとしている。

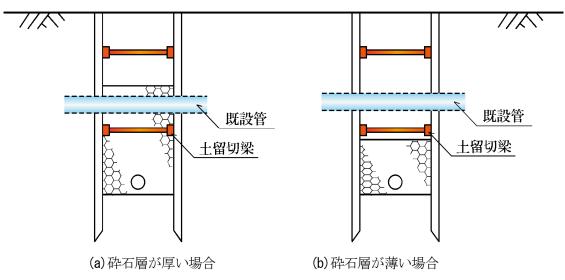
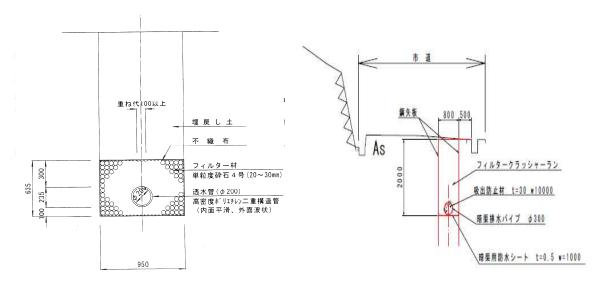
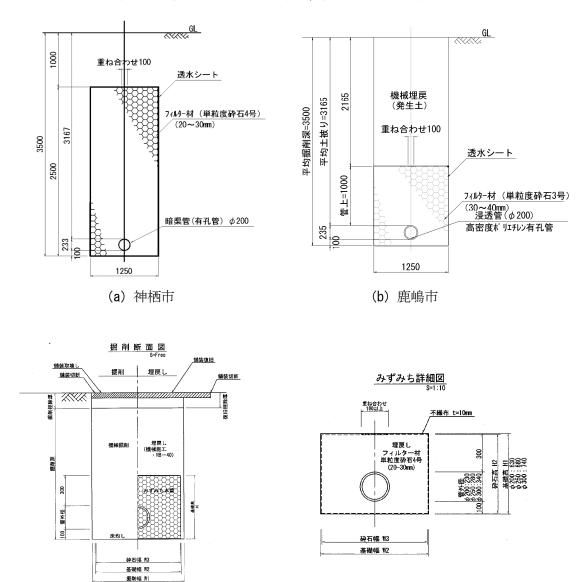


図 5-10 暗渠排水管の砕石層が厚さの違いによる施工性 注) 砕石層が厚いと既設管と土留切梁が重なる



- (a) 尼崎市(阪神·淡路大震災後)
- (b) 山本団地地区(新潟県中越沖地震後)

図5-11 開削工法による地下水位低下工法の実施例

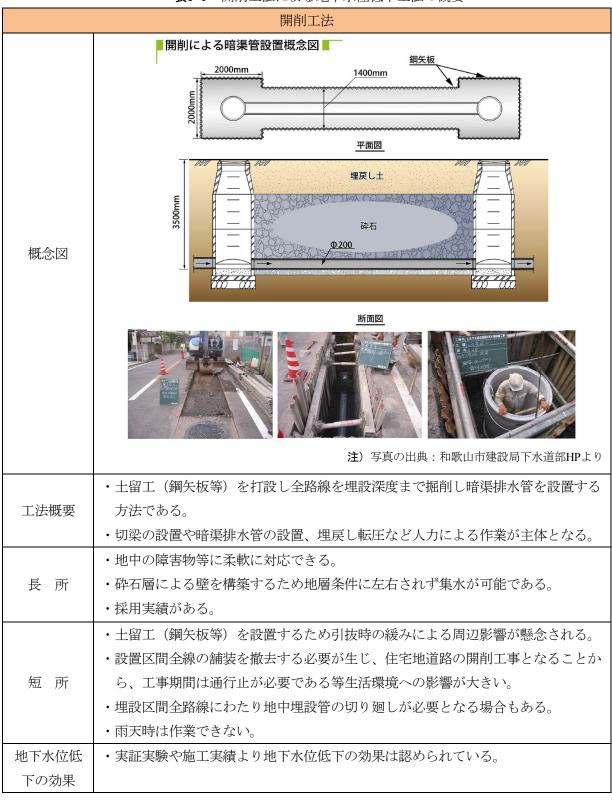


(c) 潮来市

図5-12 東日本大震災後における開削工法による地下水位低下工法の実施例

液状化で被害を受け易い地盤は一般に地下水位が浅く地盤も緩いことが考えられる。このため、開削により暗渠排水管を設置する際には簡易土留めや土留鋼矢板を用いて掘削する必要があるが、掘削時に土留め壁が変形して近傍の地盤に変状を生じたり、土留壁撤去時に地盤を緩めたりといった懸念がある。このように工事中に地盤変状を生じさせ、周辺構造物(宅地や宅地擁壁)に悪影響をもたらすことがないように留意しつつ施工する必要がある。

表5-9 開削工法による地下水位低下工法の概要



6. 推進工法における実施例

推進工法による地下水位低下工法は、立坑を掘削し立坑間を推進工法で連結させ道路掘削を最小限に止めた工法である。

(1) 試験施工の概要

東北地方太平洋沖地震で液状化により被害が発生した千葉市美浜区磯辺4丁目では、市街地液状化対策事業の液状化対策として「地下水位低下工法」の適用が可能と判断された。しかし、開削工法による地下水位低下工法では、設置する道路幅や宅地との離隔距離を考慮すると開削に伴う周辺家屋への影響が懸念された。そこで家屋への影響を最小限に止めるために、道路下に透水性パイプ(φ300mm)を設置する推進工法による地下水位低下工法について試験施工²¹⁾を行い、その排水効果及び周辺への影響を検証した。その結果、開削工法による暗渠排水管の地下水位低下工法と同様に排水効果があり、かつ、建物への沈下・傾斜等の影響が少ないことが明らかとなった。

(2) 工法の概要

表5-10に推進工法による暗渠排水管の地下水位低下工法の概要や長・短所を示す。この工法では下 記のような特殊なドレーン管と立坑を使用する。

①ドレーン管

推進工法による暗渠排水管(ドレーン管)を設置するが、暗渠排水管の材料は**写真 5-1** 及び**写 真 5-2 の**とおりである。



写真 5-1 ドレーン管 (立体網目状集排水管:自立管)



写真 5-2 ドレーン管 (挿入前、立体網目状集排水管 に透水シート、ジオテキスタイルを巻いた状況)

②立坑

実証実験では、立坑から推進工法によりドレーン管を地中に埋設し、ドレーン管から排出された地下水を立坑から汲みだすことで周辺の地下水位を低下させた。しかし、本施工では立坑をドレーン管で連結させ、流末において自然流下排水方式で河川へ放流するか、ポンプアップ排水方式により地区外に放流することで地下水位を低下させることになる。

なお、立坑の直径は推進機材や作業空間より以下の大きさが想定される。

両側発進立坑: φ 2500mm
 片側発進立坑: φ 2000mm
 到達立坑: φ 1500mm

試験施工で行った推進工法によるドレーン管設置の施工手順を**図 5-13** に示す。本施工でもこの手順に従って行われる予定である。

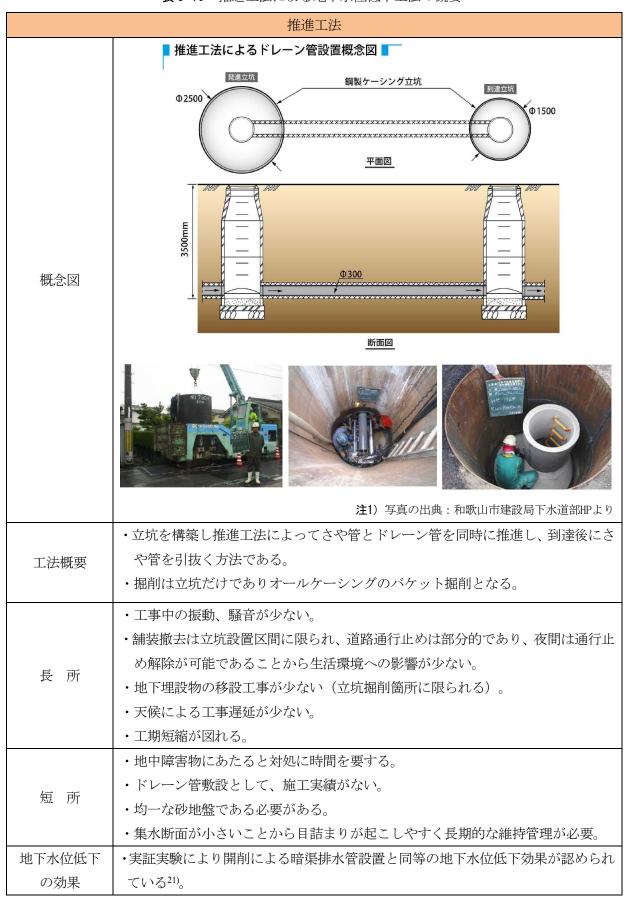


図5-13 試験施工で行った施工の手順

(3) 留意事項

本工法の工事費は開削工法より高いが、施工性に優れることから工期短縮が図れ、地下埋設物の移設費用が抑えられるため全体工事費の低減が図られる。また、周囲の掘り乱しが少ないため、掘削時の周辺地盤変形や土留鋼矢板撤去時の地盤の緩みによる周辺構造物(宅地や宅地擁壁)に影響をもたらす懸念が少なくなるのが特徴である。ただし、その採用に当っては、集水断面が小さいことから土質条件として均一な砂地盤で粘性土を含まないことが望ましい。

表 5-10 推進工法による地下水位低下工法の概要



5-8 井戸方式による地下水位低下工法

井戸方式による地下水位低下工法は、地下水の汲み上げ区画を鋼矢板等で囲った上で、公園・広場等を利用して地下水の井戸(ポンプ付き)を数か所に設置して、汲み上げた地下水を道路側溝に流すものである。また、排水管方式による地下水位低下工法において、対策効果が少ない場合には本工法を追加対策として実施する場合もある。

ただし、工法選定に当って、事前に所定の地下水位に低下させても圧密沈下量が少ない地盤であること等を確認しておく必要がある。

1. 基本仕様

井戸方式にする地下水位低下工法は地下水の汲み上げ区画をシートパイル等で形成した上で、**表** 5-11に示すように公園・広場等を利用して地下水の井戸(ポンプ付き)を数か所に設置して、汲み上げた地下水を道路側溝に流すものである。副工法としては、低下後の下部地下水層の不飽和化、または宅地部分の盛土等が想定される。

	公共施設部分	宅地部分
主工法	公園等に井戸+ポンプ	_
副工法	_	盛土
削上伝	低下後の下部地下	が層の不飽和化

表 5-11 公共施設と宅地部分における地下水位低下工法

2. 地盤条件

地盤条件は、下記の条件を満足することを確認する。

- ①比較的水が速やかに流れる透水性が高い地盤であること
- ②揚水試験などにより井戸と井戸の間の地盤までの水位が低下することを確認できていること
- ③下部に軟弱な粘土層がある場合でも圧密沈下量が大きくないこと

また、井戸の深さは地下水位を下げる深さまでで留めることが大切である。必要以上に深くすると圧密層まで達したことで地盤沈下を誘発してしまうので注意が必要である。

3. 組合せ工法

地下水位低下後になお残る下部液状化層について、ポンプを使って地下水位を短期的に上下させて 不飽和化(空気混入状態)を図ることにより、液状化強度を増す方法を組み合わせることも考えられ る。あるいは、宅地部分の住宅周りについては、この下部液状化層までドレーンパイプを挿入するこ とにより、水圧消散により支持力の低下を抑制する方法も考えられる。

4. 主な得失

井戸とポンプの設置となるため、工事費用は比較的安いが、井戸を密に掘る必要がある場合には、そのための場所の確保が必要となる。水位低下はポンプに依存するため、ランニングコストが必要である。また、ポンプは消耗するため、10~15年程度の周期で取り換え費用も発生する。公共施設を含む地区全体を対象とした地下水汲み上げとなるため、比較的、宅地所有者の負担が少ないものの、宅地部分において盛土やドレーンパイプの設置といった対策を付加する場合等にあっては、原則として個々の宅地所有者による対応となる。また、下部粘土層の圧密沈下という副作用について、あらかじめ予測し、理解と協力を得ることが必要である。ただし、各井戸の汲み上げ速度の調節により、不同沈下とならないような制御を検討することも想定される。

5. 実施例

実施例としては、川崎市の臨海埋立地のコンビナートにおいて井戸方式による地下水位低下工法 実施例があるので、**〈資料編5-13〉**を参照とされたい。

5-9 井戸方式における不飽和化工法との組合せ

不飽和化工法は土粒子内に空気を注入し、飽和度を90%程度にすることで、土粒子内の空気が液状化発生時の過剰間隙水圧を低下させ、液状化の発生を抑制する工法である。

宅地と公共施設の一体型液状化対策工法における不飽和化工法は、「井戸方式による地下水位低下工法」と同様に、区画を鋼矢板等で囲い地下水位を低下させ、地盤内に空気を注入し地盤を不飽和化し、その後地下水位を戻す工法が想定される。したがって、地下水位を低下させ続ける維持管理が不要で、シートパイルも撤去することができる。しかしながら、実用における施工実績がほとんどないことから、施工実績の蓄積等が必要な工法である。

1. 基本仕様

不飽和化工法は、表5-12に示すように「井戸方式による地下水位低下工法」と同様な施設設置に加え、空気吸引と注入のための施設が必要である。副工法としては、低下後の下部地下水層の不飽和化、または宅地部分の盛土がある。

	公共施設部分	宅地部分	
主工法	・公共施設部分に井戸+ポンプ+ 空気注入(一時的に利用)	・道路間隔が広い場合は、公共施設部 分と同様に井戸+ポンプ+空気注 入(一時的に利用)	
副工法		・盛土	
削上伝	低下後の下部地	下水層の不飽和化	

表 5-12 公共施設と宅地部分における不飽和化工法

2. 地盤条件

地盤条件は、下記の条件を満足することを確認する。地下水位を数メートル低下させても圧密沈下 量が小さい地盤であること等を確認しておく必要がある。

- ①比較的水が速やかに流れる透水性が高い地盤であること
- ②揚水試験により井戸から十分に遠方までの水位低下効果が確認できていること
- ③下部粘土層が薄いか、比較的締まっていること

3. 組合せ工法

宅地部分の住宅周りについては、この下部液状化層までドレーンパイプを挿入することにより、水 圧消散により支持力の低下を抑制する方法も考えられる。

4. 主な得失

井戸とポンプの設置となるため、工事費用は比較的安いが、排水管方式による地下水位低下工法より高価で、井戸を密に掘る必要がある場合には、そのための場所の確保が必要となる。公共施設を含む地区全体を対象とした地下水汲み上げとなるため、比較的宅地所有者の負担が少ないものの、民間家屋部分において盛土やドレーンパイプの設置といった対策を付加する場合等にあっては、原則として個々の宅地所有者による対応となる。また、下部粘土層の圧密沈下という副作用について、あらかじめ予測し、理解と協力を得ることが必要である。ただし、各井戸の汲み上げ速度の調節により、不同沈下とならない制御を検討することも想定される。

また、実用における施工実績がほとんどないので、施工技術や不飽和状態の継続方法などの蓄積が必要な工法である。

5. 実施例

実用における施工実績が少ない。

5-10 地下水位低下工法の効果や周辺への影響を把握する実証実験

液状化対策工法として地下水位低下工法を採用した場合、地盤性状によっては粘土の圧密沈下や砂の短時間の沈下が生じる可能性がある。工法の選定にあたっては、周辺地盤への影響を把握する目的で実証実験を行う必要がある。

実証実験で確認すべき項目は、以下の通りである。

- ①地下水位の低下
- ②地盤の沈下
- ③排水量

1. 実証実験の目的

地下水位低下工法は下層にある粘土層の圧密沈下を引き起こさせることがあると伴に、砂層でも短時間の沈下を生じさせることがある。そして、圧密沈下量が大きい場合には建物やライフラインの不具合を招くおそれがあるというデメリットがある。したがって、本工法の採用を検討するにあたっては、実証実験を行い、地盤の圧密沈下量や地下水位の低下量、その際の排水量などを把握し、工法の適否を判断することが望まれる。

2. 実証実験での計測箇所

地盤の透水性、圧密特性などは側方変化があるため、実証実験の計測箇所は地下水位低下工法を採用する街区内、あるいは、地盤性状が同一とみなせる箇所で実施するものとする。

3. 計測機器

(1) 水位計

地盤の水位変化を把握するため、**図 5-14** のように水位観測孔を設けて水位計を設置して地下水位を計測する。

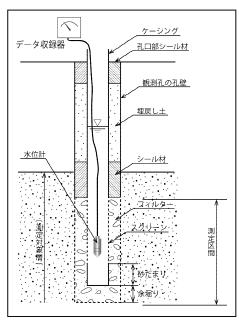


図 5-14 水位計

(2) 間隙水圧計

地層中の間隙水圧の変化を把握するため、**図 5-15** のように地層毎に間隙水圧計を設置する。 粘性土は間隙水圧計を地中に押し込み、砂質土では埋め戻す。

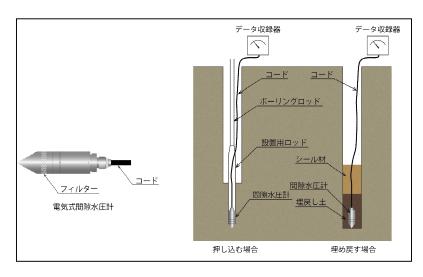


図 5-15 間隙水圧計

(3)層別沈下計

地層の沈下を把握するため、図 5-16 のように層別沈下計を設置する。水圧式アンカーを地層境界に固定し、地表とアンカーを結ぶ測定ワイヤーの長さを計測して、地層の縮み(沈下量)を求める。

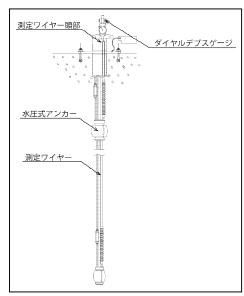


図 5-16 層別沈下計

(4) 変位杭

地表面の沈下量を把握するため、図 5-17 のように変位杭を設置する。試験区域外に基準点を設け、水準測量により変位杭の水平変位を求める。

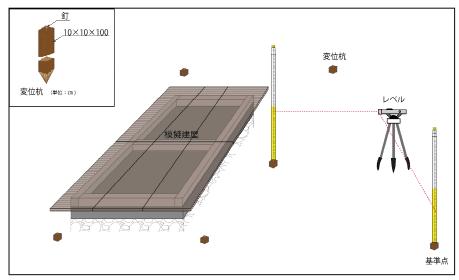


図5-17 変位杭

(5)雨量計

近年、ゲリラ豪雨の多発により、アメダスなどの観測点と試験区域の降雨量が異なることがある。試験区域の降雨と排水量の関係を正確に把握する目的で図 5-18 のように雨量計を設置する。

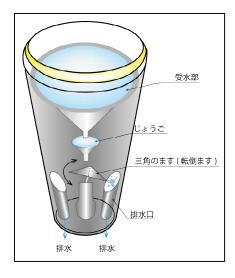


図5-18 雨量計

4. 模擬建屋

(1) 模擬建屋の設定の考え方

模擬家屋の仕様は、戸建て住宅に用いられる「布基礎」と「べた基礎」を構築し、基礎上に実際の 建物荷重に相当する"荷重"を載荷するものとする。この"荷重"の例として、偏載が自在で撤去も 容易な敷鉄板が有効である。

(2) 敷鉄板枚数の設定

模擬家屋では、基礎部分について実際の建築基礎を再現し、基礎上には建物荷重に相当する"敷鉄板"を載荷することで、実際の荷重状況を再現する。この荷重値の設定には、表5-13のように日本建築学会の「小規模建築物基礎設計指針」に記載せれている参考値を適用する。

日本建築学会の「小規模建築物基礎設計指針」に記載されている基礎設計荷重のならし荷重の参考値は屋根や壁の仕様により幅がある。

	20	- 10 - 10 mil	ようし同主でき	
	荷重条件	重い屋根	軽い屋根	
	何里木什		+軽い外壁	
	屋根	1.53	0.83	
	外壁	1.78	0.70	
平 屋	床	1.96	1.96	
	一般地域	5.27	3.49	
	多雪区域(積雪 1m)	7.37	5.59	
	屋根	1.53	0.83	
	外壁	5.34	2.10	
2 階建	床	3.92	3.92	
	一般地域	10.79	6.85	
	多雪区域(積雪 1m)	12.89	8.95	
	屋根	1.53	0.83	
	外壁	8.01	3.15	
3 階建	床	5.88	5.88	
	一般地域	15.42	9.86	
	多雪区域(積雪 1m)	17.52	11.96	

表5-13 上部構造ならし荷重の参考値9

平屋建て 3.49kN/m²~5.27kN/m²

二階建て 6.85kN/m²~10.79kN/m²

これより、戸建て住宅の単位床面積当りの荷重を以下の様に設定すると、荷重用敷鉄板の枚数は、表5-14に示す通りとなる。

表 5-14 鉄板の枚数

戸建て住宅の単位床面積当り荷重		戸建て住宅の面積当り荷重相当の鉄板(t=22mm)
平屋建て	5.00kN/m ²	5.00kN/m ² ÷1.7kN/m ² =3 枚
二階建て	10.00kN/m ²	10.00kN/m²÷1.7kN/m²=6枚

実荷重に準じた二階を偏載する部分では、基礎面積部6枚の敷鉄板を載荷し、他の平屋相当部には、 3枚の敷鉄板を載荷することにより偏載する建築状況を再現する。

(3) 簡易的な方法

現場条件等の制約から簡易的に実験を行う場合は、大型土嚢(10kN/m²)を設置し沈下量のみ計測する。

5. 排水管方式による実験手順

(1) 実験の手順

図5-19は排水管方式の模式図である。実験の基本的な手順は以下の通りとする。

- ①試験区域の設定
- ②試験計画の立案
- ③試験区域外の地下水位観測、変位杭観測 の実施
- ④止水矢板の打設
- ⑤立坑及び暗渠排水管の設置
- ⑥模擬建屋の設置
- ⑦試験区域内の地下水位観測、変位杭観測の実施
- ⑧立坑から地下水位の汲み上げ

なお、実験終了後は計測機器、立坑、暗渠排水管、止水矢板等を撤去し、現況復旧する。

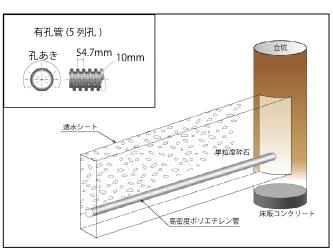


図 5-19 排水管方式の模式図

(2) 実験の事例

東北地方太平洋沖地震後に行われた茨城県神栖市鰐川地区と千葉県千葉市美浜区磯辺地区で行われた地下水位低下の実証実験事例を**〈資料編5-12〉、〈資料編5-11〉**に示す。このうち千葉市における実証実験の平面配置図を**図5-20**に示す。

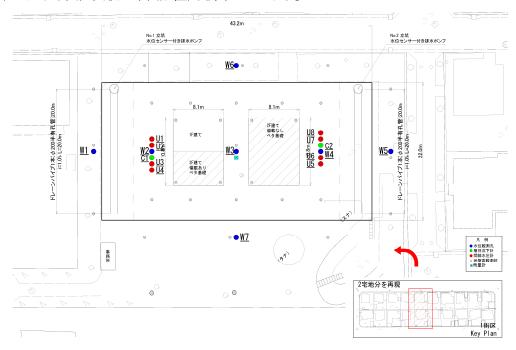


図 5-20 排水管方式による実証実験の平面図 (千葉市)

なお、前述したように排水管方式による地下水位低下工法実施例として、1995年阪神・淡路大震災の尼崎市築地地区**<資料編5-8>**と2007年新潟県中越沖地震の山本団地地区**<資料編5-9>**があるので参照されたい。

6. 井戸方式による実験手順

図5-21は井戸方式の模式図である。

(1) 実験の手順

- ①試験区域の設定
- ②試験計画の立案
- ③試験区域外の地下水位観測、変位杭観測の実施
- ④止水矢板の打設
- ⑤井戸の設置
- ⑥模擬建屋の設置
- ⑦試験区域内の地下水位観測、変位杭観測の実施
- ⑧井戸から地下水位の汲み上げ

なお、実験終了後は計測機器、井戸、止水矢板等を撤去し、現況復旧する。

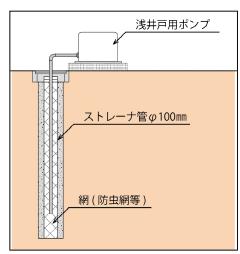


図 5-21 井戸の模式図

(2) 実験の事例

東北地方太平洋沖地震後に行われた千葉県我孫子市布佐東部地区で行われた実験の平面配置図を 図 5-22 に示す。

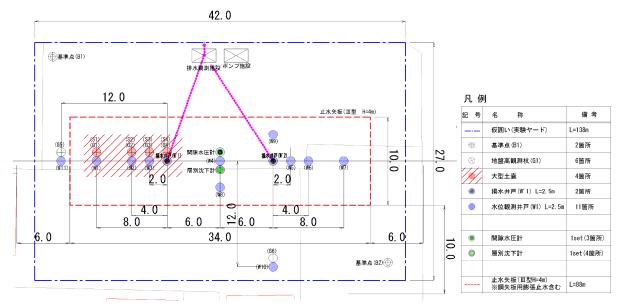


図 5-22 井戸方式による実証実験の平面図 (我孫子市)

なお、井戸方式による地下水位低下工法実施例としては、前述したように川崎市の臨海埋立地の コンビナートで行われた例があり**<資料編5-13>**を参照されたい。

7. 実証実験結果の整理および利用方法

(1) 計測結果の整理方法

- ①水位計、間隙水圧計の計測結果を整理する。
- ②層別沈下計、変位杭の計測結果を整理する。
- ③雨量計の計測結果を整理する。

④上記3項目を時系列に整理し、その因果関係を把握する。

(2) 実証実験結果の利用方法

①地下水位の低下量に関して

水位低下した後の地下水位の季節変動、降雨量との関係をもとに、設定した地下水位の低下量の 妥当性を確認する。

②地盤の沈下量に関して

地下水位低下にともなう地盤沈下の時間変化に関して、予め土質試験結果を用いて行っていた圧 密解析値と層別沈下量の実測値を比較し、圧縮係数や圧密係数の修正を行い、地区全体の圧密解析 などに用いる。

③排水管のネットワークおよびポンプによる汲み上げ量に関して

地下水位低下量の空間分布をもとに排水管や井戸の設置間隔の設計を行う。また、排水量の実験 結果をもとに地区全体の地下水位低下に必要な排水量を推定し、終末で汲み上げるポンプの容量な どに用いる。

5-11 地下水位低下工法の事業効果の確認

液状化対策工事の地下水位低下工法により地下水位を低下させた場合には、その地下水位が想定通り低下しているか、それに伴う地盤沈下による家屋への影響が生じていないかなど、一定期間、モニタリング調査を行い、事業実施による効果等について確認する必要がある。

そのために、市街地液状化対策事業の工事前やポンプ稼働前の地下水位・地盤高について観測し、ポンプ稼働後のデータと比較することで地下水位低下による液状化対策効果の確認及び地盤沈下に伴う地盤変動等の影響の検証を行う。

1. モニタリング調査の必要性

液状化対策事業として実施する地下水位低下工法については、地下水位低下による非液状化層厚の増加を目的としたものであり、場所によっては不均質な地盤等によって地下水位が想定通り低下しないという事象も想定されることから、排水後に地下水位低下工法により確保された非液状化層厚の確認や地区毎に発現した事業効果の確認をする必要がある。その検証にあたっては、液状化のメカニズムやその対策工法について検討してきた学識経験者等からなる検討委員会で検討することが重要である。

モニタリング調査で確認する主な事項は、以下のものがある。

- 1) 工事により発現した効果を確認するための事項 ⇒ 地下水位観測
 - ①非液状化層厚の確認 (ポンプ稼働後の地下水位低下の確認)
- 2) 地下水位低下前後における地盤沈下に伴う地盤変動を確認するための事項 ⇒ 沈下観測
 - ①地下水排水管設置工事中における沈下量の確認 (工事中の沈下量)
 - ②地下水排水開始後の沈下量の確認(地下水位低下後の沈下量)

検討委員会は、**図5-23**のように一般的にモニタリング調査後に開催し、事業効果の確認を行い、必要に応じて追加対策工事の要否の検討を行う。追加工事が必要な場合は、工事後に再度、事業効果の確認等を行う。

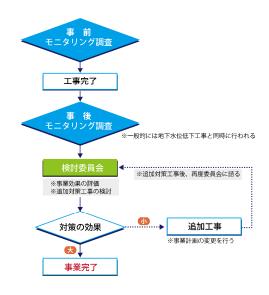


図5-23 事業完了までのフロー (イメージ)

2. 事業効果の確認等の仕方

地下水位低下工法については、地区毎に対策によってどのような事業効果が面的に得られたか一定期間の観測データに基づいた検証が必要である。

(1) 施工後の事業効果の確認の目的

地下水位低下工法の事業効果の確認の目的としては、主に以下の3つがある。

- ①地下水位がどの程度低下し、地区単位にどのような事業効果が発現しているかの確認
- ②粘性土地盤がある場合に圧密沈下による地盤沈下が生じていないかの確認
- ③発現した事業効果が想定より小さい場合の対応の検討

そのため、その施工後の効果検証としては、**表5-15**に示すような計測管理による各調査項目の確認を行い、それでも効果が得られない場合は技術指針に基づく判定において、判定基準や評価方法の見直しを行い総合的な検討を行う。

確認が必要な事項	確認方法	計測·対応等	
地下水位低下状況	どの程度地下水位が低下しているかを確認するための地	自記水位計	
	下水位観測を行う。	降雨量	
地下水位低下に伴	施工時および地下水位低下に伴う地盤沈下状況を確認す	地盤沈下計	
う地盤沈下状況	るための沈下量の観測を行う。	間隙水圧計 ^{注1)}	
	・モニタリング調査結果を基に詳細に検討を行う。		
想定していた効果	・技術指針に基づく判定において他の地震動により評価を	判定方法の見直し	
が得られない場合	行う。	簡易井戸等の設置	
の対応策	・地区として必要な効果が得られない場合はその原因を推	はその原因を推し間の弁尸等の設置し	
	定し、追加対策の検討を行う。		

表5-15 地下水位低下工法施工後の事業効果の確認

(2) 地下水位等の観測・収集

地盤特性によって地下水位の低下状況が異なるため、地区毎に地下水位観測や降雨量(近接のアメダスや公共観測箇所)の収集、地盤沈下観測を行う。

(3) 地下水位観測期間と頻度

地下水位観測期間は、降雨量等の季節変動等を考慮し、**図5-24**に示すように地下水排水開始前から 地下水位の低下が落ち着いた後1年間の観測を行うことを基本とする。

- ①地下水位及び地盤沈下量の観測頻度は、数時間単位又は同一時間に日単位で計測する。
- ②地盤のクラックや沈下等など異常な変状が発生した場合には、地下水位への降雨量の影響の確認や、排水量の調整、計測間隔の調整(例えば1時間毎にする)など、状況に応じて家屋等への影響が出ないように排水量や観測の仕方を調整する。

注1) 実証実験を実施していない地区は設置するのが望ましい。

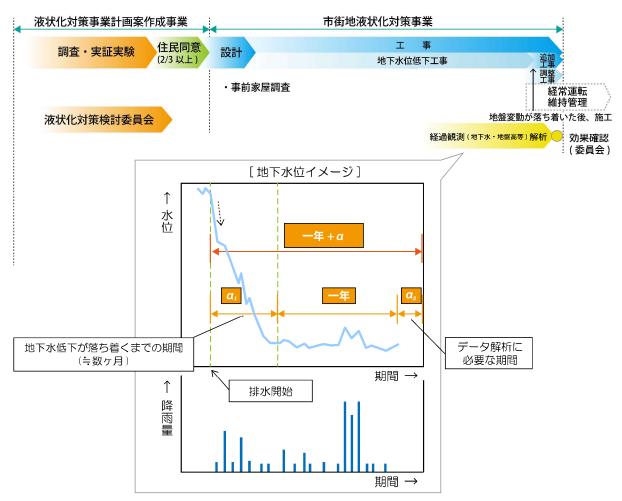


図5-24 事業完了までの流れと地下水位低下工事施工後の経過観測方法(イメージ)

(4) 地下水位等の観測

施工後の地下水位や地盤沈下の状況の経過観測を行うためには、施工前の観測もしておく必要がある。ただし、施工前は必ずしも施工後と同じ観測点でなくても良く、近傍のボーリングデータが活用できるものがあればそれを用いて観測する。

図 5-25 は、地下水位低下工法の効果およびその影響を確認するための地下水位観測孔と地盤沈下計の設置計画例である。地下水位観測孔と地盤沈下計の設置間隔及び位置については、各地区の地盤条件が異なるために各検討委員会で効果の確認に必要となる箇所や方法手段等を検討し、地盤の均一性や長期的な観測が可能な地点などを考慮して設定する。計器の設置箇所は、図 5-26 に示すように排水管から離れた地点の地下水位の低下、排水管近くの地盤の沈下量などを確認する。

なお、自動計測システムについては、**<参考編5-10>**を参照して設置間隔、設置場所、観測 頻度等、異常値発生時の対応及び、地下水位低下時の対処等を考慮して設置の検討を行う。

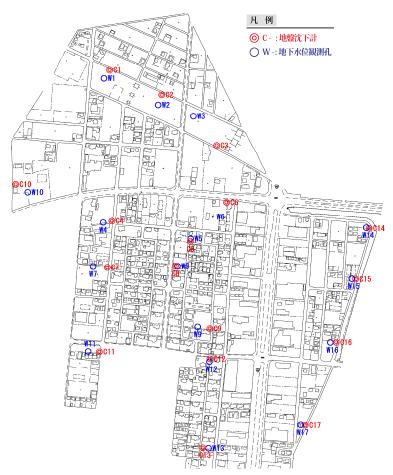


図 5-25 地下水位低下工法の効果検証のための観測位置例(神栖市)

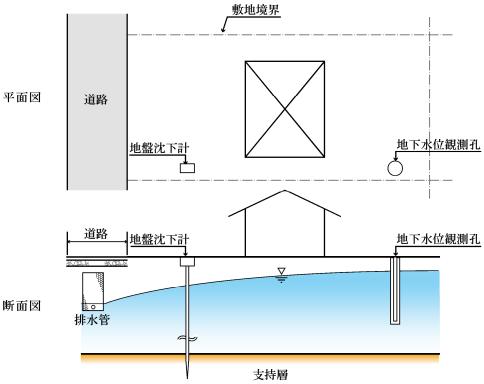


図 5-26 地下水位観測孔と地盤沈下計の設置計画のイメージ

注1) 地下水位観測孔は排水路間の中央部(宅地の背割側)に設置するのが望ましい。

注2) 地盤沈下計は排水管近傍に設置するのが望ましい。

1) 地下水位測定

地下水位観測にあたっては、図 5-27 に示すようにボーリングで削孔した孔にスクリーン加工したケーシングを建て込み、スクリーンの周囲にフィルター材(豆砂利)を挿入し、その上位をシール材により止水して地下水位観測孔を作製する。そして、ケーシング内の水位を触針式水位計で定期的に測定するか、あるいはケーシング内に自記水位計を設置して地下水位の連続観測を行う。

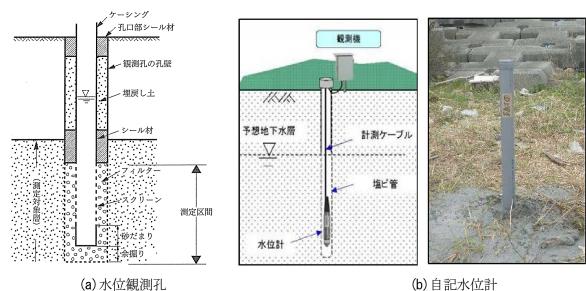


図 5-27 地下水位観測孔及び自記水位計の設置例

注 1): 地下水位観測孔用の必要掘削径は直径 12cm 程度であり、水位低下させる深度の数 m 下まで観測孔を設置する。

注2):ケーシングには直径5cm程度の塩ビ管にスクリーン加工をしたものを用いる。

2) 地盤沈下計

地盤沈下量の計測にあたっては、ボーリングで支持層上端まで削孔した孔の先端から、図 5-28 に示すように基線ロッドにスクリューアンカーを接続したものをねじ込んで支持層に固定する。そして、基線ロッドの動きを地盤沈下計で測定して地盤沈下量を求める。また、支持層が深い場合でもスクリューアンカーを支持層に設置する方法が最も精度が高く適切であり、測定ロッドの高さを不動点からレベル測量を行って沈下量を求め数値チェックを行うこともある。

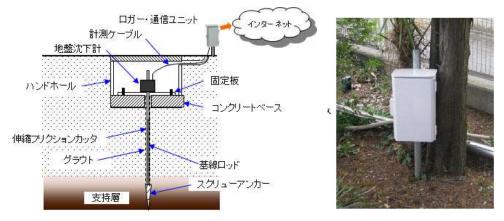


図5-28 地盤沈下計の設置例

注1):ボーリングで必要な直径は直径 7cm 程度により支持層上端まで削孔する。

3) 間隙水圧計

地下水位低下工法により地下水位を下げることにより、下部の粘性土の間隙水圧が下がり有効上 載圧が増すために圧密沈下を生じる。ただし、5-1で前述したように、東北地方太平洋沖地震後 に行われた実証実験結果によると、従来仮定していた有効上載圧の増加の仕方と実際は異なったり、 軟弱粘土層といえども少し過圧密になっていたりして、予測した地盤沈下量より少ない結果が得ら れたりしている。このため、実証実験で間隙水圧計を設置していない地区は、間隙水圧計を設置し て計測したデータを基に、実際の間隙水圧の分布の変化を考慮して圧密沈下量を推定することが望 ましい。間隙水圧を考慮した圧密沈下量の推定手法は**〈資料編5-14〉**を参照されたい。

間隙水圧計の設置例を**図 5-29** に示す。まず、間隙水圧計を設置する深度より 50cm 浅い深度までボーリングにより削孔する。その後、ボーリングロッドに間隙水圧計を設置し孔底まで静かに沈めていく。孔底に達した所で、間隙水圧計の計器チェックのため、地上の指示器に接続しチェック測定を行う。チェック測定終了後、ボーリング機械によりゆっくりと力を加え所定の深度まで間隙水圧計器を圧入する。

計器の埋戻しについては、以下のとおりである。

- ①圧入後、計器天端+1.0m 程度まで孔内に小礫を投入する。
- ②孔内にベントナイトペレットを投入する(小礫天端+50cm 程度)。
- ③膨張性グラウト材を地表まで投入する。

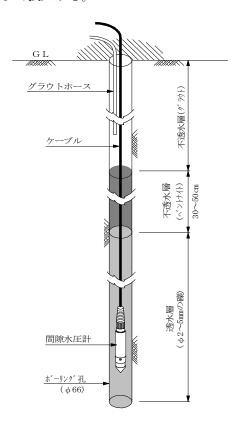


図 5-29 間隙水圧計の設置例

3. 検討委員会による対策効果の評価

検討委員会では、対策により確保された非液状化層厚や事業の効果等について以下のように評価する。

- ①各観測点の評価だけでなく、地区全体としての評価
- ②地下水位及び地盤沈下の観測データを利用した総合的な評価
- ③地下水位が予定よりも下がらなかった場合、他の地震動による評価や判定方法の見直し
- ④地下水位が予定よりも下がらなかった場合の原因の推定、追加対策の検討(効果が出るかどうかの確認は必要)

地下水位低下工法の対策効果は、例えば**図5-30**に示すように降雨・降雪の影響を除いた平均低水位等(年平均水位以下の日平均した水位)で比較し、地下水位低下が図られたことを確認して判断する。 その結果、目標とする地下水位まで安定した低下等が図られたことを確認し、検討委員会による最終判断をもって液状化対策事業の完了とする。

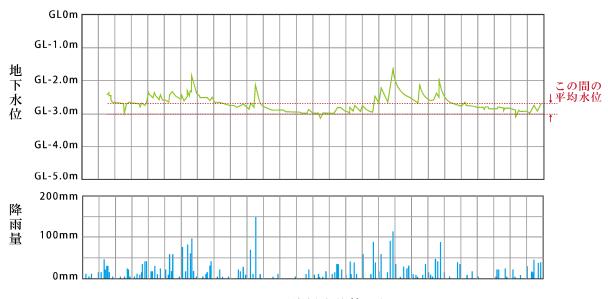


図 5-30 平均低水位算出例

4. 検証結果の説明

検証結果については、住民にわかりやすく説明し、個々の対策に活用する。

5. 地下水位が予定よりも下がらない場合の対処方針

モニタリング調査結果から、地下水位が想定よりも下がらない場合は、観測期間の延長や追加調査、 判定基準・評価方法等の見直しを行う。想定していた効果が得られない場合にはその原因を推定する とともに必要に応じて別の対策工法の検討を行う。

そのためには、全ての観測地点において、地下水位が目標まで下がりきらない場合(ばらつきがあっても)においても、面的に地区全体の評価を行い、その効果について総合的に確認することが重要である。

(1) 他の地震動による評価

想定する地震動の検討例としては、大きく以下の3つのタイプがある。

①タイプ1 (最低限の地震動): 200gal、M7.5

(宅地液状化被害判定指針に示す想定地震動)

②タイプ 2 (今次災害を考慮した地震動): 200gal、M9.0

(東日本大震災による東京湾岸における地震動)

③タイプ3 (地域防災計画に定める地震動、既往最大の地震動等): 350gal、M7.5

(今後想定される直下型地震による大きな地震動)

※galは「想定地表面最大加速度」、Mはマグニチュードを示している。

表5-16は建築基礎構造設計指針(2001年、日本建築学会)による地表変位量(Dcy)と液状化の程度の関係であり、これによればDcy<5.0 cmでは軽微な液状化の程度と示されている。

液状化対策の目標値を設定するに当たっては、原則として「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針」の想定する「タイプ 1 (最低限の地震動)のマグニチュード7.5、200gal」の条件下でDcy<5.0 cmを採用している。タイプ 1 のDcy<5.0 cmは「タイプ 2 (今次災害を考慮した地震動): 200gal、M9.0」のDcy<10.0 cm程度に相当するため、タイプ 2 の地震動以上でDcy<5.0 cmとして検討されている場合は、かなり厳しい条件となっている可能性もあることから、他の地震動による総合的な評価を行う。

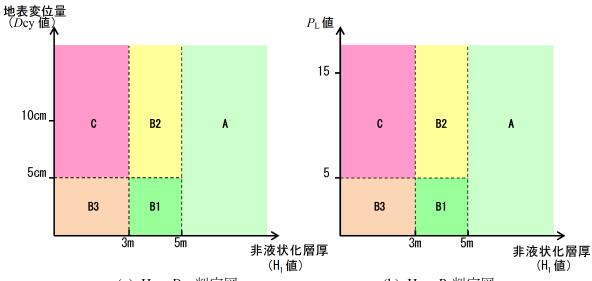
(2) 判定基準 (B3) の判定方法の見直し

図5-31は公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準であり、表5-17は、その際の効果の目標値の設定である。図5-32、図5-33は東北地方太平洋沖地震(タイプ2:今次災害)で液状化被害が顕著であった5地区(我孫子市、潮来市、神栖市、習志野市、千葉市美浜区:計62本の被災前ボーリング結果)の判定結果である。この図を見ると若干のバラツキは認められるものの、B3に分布する家屋は「一部損壊か被害なし」となっており、B3に分布しても被害が少ないことが想定される。

そこで、タイプ 2 で検証しDcy<5.0 cm のB3に入らない場合の対応策としては、タイプ 1 の想定 地震動で検証しDcy<5.0 cm のB3であることを確認して、その効果について検討委員会で評価する と良い。

Dcy(cm)	液状化の程度	
0	なし	
~ 05	軽微	
05 ~ 10	小	
10 ~ 20	中	
20 ~ 40	大	
40 ~	甚大	
10	巨八	

表5-16 地表変位量 (Dcy) と液状化の程度の関係®



(a) $H_1 \sim D$ cy判定図 (b) $H_1 \sim P_L$ 判定図 図5-31 公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準 22)

表 5-17 公共施設・宅地一体型液状化対策工法における効果の目標値の設定

判定結果	H ₁ の範囲	Dcyの範囲	PL値の範囲	地下水位低下工法	格子状地中壁工法
С	3m 未満	5cm 以上	5 以上	不可	不可
В3		5cm 未満	5 未満	不可 (※)	不可
B2	3m 以上	5cm 以上	5 以上	液状化被害軽減の 目標として可	不可
	5m 未満			日保として明	
B1	JIII / 代 両	5cm 未満	5 未満	液状化被害抑制の目標として可	
A	5m 以上	_	_		

※専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行うなど、慎重な判断が必要。

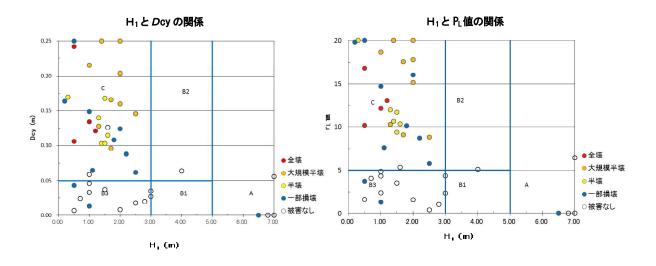


図5-32 H₁とDcyの関係^{23) 24) 25)}

図5-33 H₁とP_Lの関係^{23) 24) 25)}

(3) 非液状化層厚H₁と液状化層厚H₂の関係による判定方法の見直し

図 5-35 は、小規模建築物基礎設計指針に示されている簡易判定法で、沖積層を対象として土質と地下水位を確認することにより、液状化によって発生する地表面の変状の程度を推定しようとするものである。具体的には、確認した土質と地下水位によって図 5-35 (b) に基づき、非液状化層厚 H_1 とその下部の液状化層厚 H_2 を設定し、図 5-35 (a) によって液状化の影響が地表面に及ぶ程度を判定する。ここで、非液状化層とは地下水位より浅い砂層、または粘性土(細粒分含有率 Fc>35% の粒度の土層)であり、液状化層とは非液状化層下面から地表面下 5m までの砂層をいう。この図から、少なくとも非液状化層厚 H_1 が 2.0m あれば「タイプ 1 (最低限の地震動): 200 gal、M7.5 」相当の地震で、液状化による地表面に被害がおよぶ程度は中または小である。液状化による地表面の変状が建物の被害に大きな影響をおよぼすことを考えれば、この判定方法は簡易判定方法として有効であるため、この図を用い地下水低下工法の効果について各液状化対策委員会において評価・検討する。

なお、図 5-34 は図 5-32、図 5-33 の判定結果を H_1 と H_2 の関係に表わしたものである。この図から東北地方太平洋地震(タイプ 2: 今次災害)においても、 H_1 が 3.0m あれば家屋の被害が「一部損壊か被害なし」となっている。

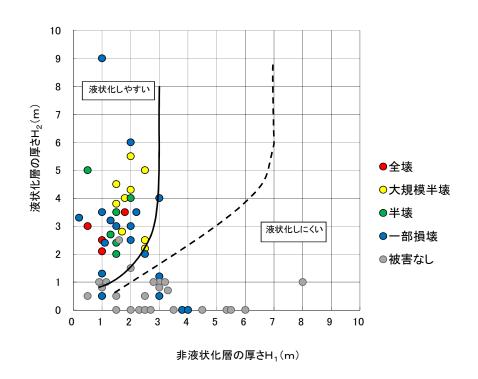


図 5-34 H₁と H₂の関係 ^{23) 24) 25)}

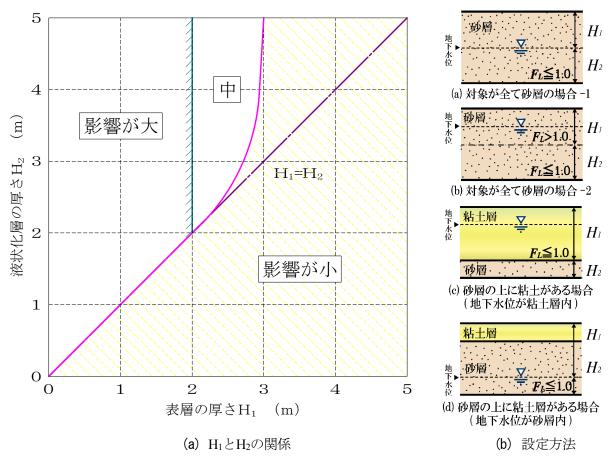


図5-35 液状化の影響が地表面に及ぶ程度の判定⁹⁾ 注1) 地表面水平加速度値200cm/s²相当する。

(4)対策工法の追加

上記 (2) ~ (3) の判定基準評価方法の見直しでも地区として必要な効果が得られない場合は、その原因を推定し、簡易井戸の設置等の追加対策の検討を行う。住宅地における井戸の設置に関しては前述したように我孫子市で実証実験が行われ¹⁸⁾¹⁹⁾それをもとに設置計画の検討が行われたため、以下に紹介する。ここでは図5-36に示すような平面配置で以下に示すように浅井戸を設置することが検討された。

- ①実証実験の結果から、1本の揚水井戸で地下水位低下が見込める範囲は、半径20mとなる。
- ②区域内に設置する井戸は、面積(ha)÷半径20m/箇所×1.5 (設置場所が限られるため一部重複する箇所を想定) =設置箇所で設ける。
- ③約1平方メートルの敷地、ポンプ設備、揚水井戸、電源引込み柱を設置する。
- ④具体的に井戸を設置する箇所と使用するポンプとしては、i)道路内の側溝下などに井戸を設置し水中ポンプで汲み上げるか、ii)宅地内に井戸を設置して家庭用浅井戸で汲み上げる。両者の比較をすると表5-18となる。

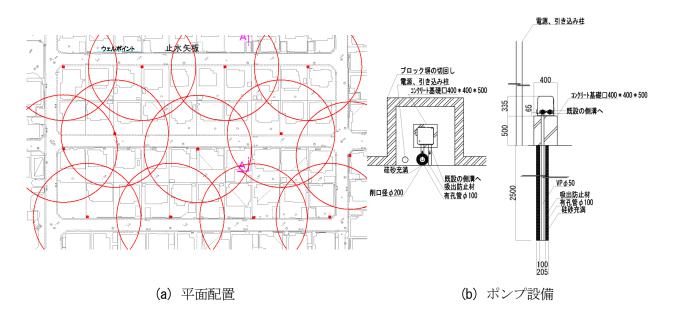
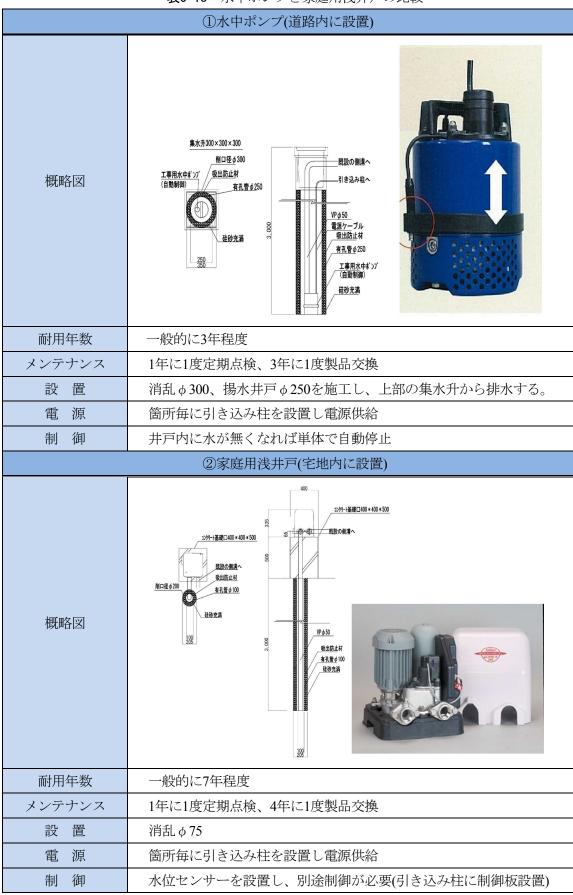


図 5-36 揚水井戸の設置

表5-18 水中ポンプと家庭用浅井戸の比較



5-12 地下水位低下工法の留意事項

地下水位低下工法を採用する場合、開削工法で土留めをする際には、簡易土留めや 土留綱矢板を用いて掘削する時に家屋等への影響が生じる恐れがあることから、予め 施工計画には地下水位及び沈下量を監視する基準値を設定し、基準値を超過した場合 には、施工計画等を見直す必要がある。

地下水位を低下させる際に、その地下水位を急激に低下させると、排水管近傍と離れた所に水位差が生じ、圧密沈下量が異なって不同沈下が発生して家屋等への影響が生じるおそれがある。そのために、排水を開始した場合には、この沈下を緩和させるためにモニタリングを行いながら段階的に時間をかけて地下水を低下させる等、初期排水量を調整することも考慮する必要がある。

一方、地下水位は降雨・積雪により季節変動し、粘性土が厚い場合には長期的な圧 密沈下が生じることも考えられるため、長期的なモニタリングにより地下水位や地盤 沈下量を計測することが望ましい。

また、ポンプや排水管の維持管理を行い、必要な機能を維持できるよう留意する。

1. 施工時の留意点

開削工法で土留め工をする際に、ボイリング、パイピング、盤膨れ対策としてウェルポイント等により地下水を低下させる場合、地下水の低下により周辺地盤の不同沈下が発生して家屋などの周辺構造物に影響を与える恐れがある。また、簡易土留めや土留綱矢板を用いて掘削する時に土留め壁が変形して近傍の地盤に変状が生じたり、土留め矢板撤去時に地盤を緩めたりして家屋などの周辺構造物に影響を与える恐れがある。

このため、施工計画には予め地下水位と沈下量の基準値を設定するとともに監視体制を定めておく必要があり、施工時において基準値を超えた場合には、直ちに施工を中止し、土留め工法の変更や土留め矢板の存置など施工計画を見直す必要がある。

図5-37に地下水位低下工法における確認事項のフローを示す。

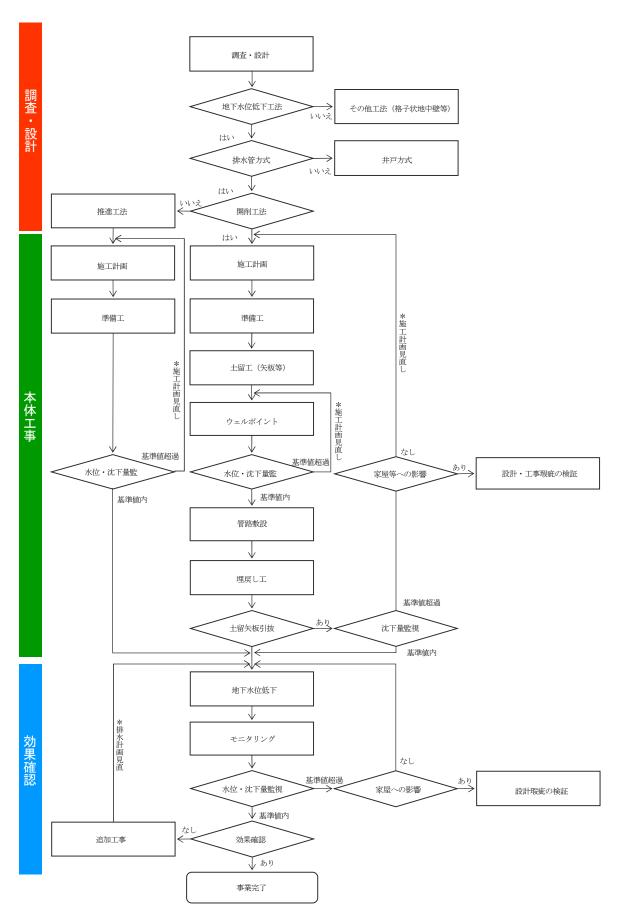


図 5-37 地下水位低下工法における確認事項(本体工事および効果確認)

2. 排水時の留意点

地下水位低下工法は地下水位を低下させることによって地盤の沈下が発生し、建物の不同沈下に影響を及ぼすおそれがある。この影響を軽減するためには、不同沈下量を少なくさせることが重要となる。つまり、水位低下開始初期は、急激な地下水位低下に伴って排水管近傍と離れた所に水位差が生じ、圧密沈下量が異なって不同沈下が発生して家屋等が影響を受ける可能性があるため、図5-38及び図5-39に示すように段階的に地下水位を低下させる等、地下水位と地盤の変位を確認しながら初期排水量を調整することが望ましい。自然排水の場合においてもマンホール内に新たに排水量調整器具を設置する等地下水位の低下量を調整することが望ましい。

なお、地下水位低下にかける時間や調整方法等については、各液状化対策事業地区で地盤の特徴が 異なることから、検討委員会による検討を行い、その目安等を検討することが重要である。

また、急激な地盤の沈下等が確認された場合、排水を中断して検討会で確認することや、当初目標とする地下水位に達しなくとも、これ以上水位を低下させると地盤沈下等が生じる場合には、その影響と液状化対策効果について再検討し、目標とする地下水位を状況に応じたものとすることも考えられる。

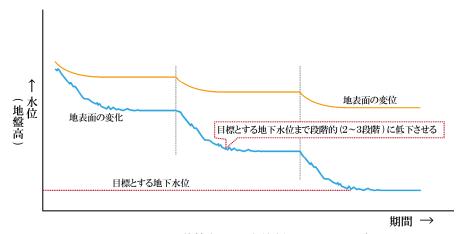
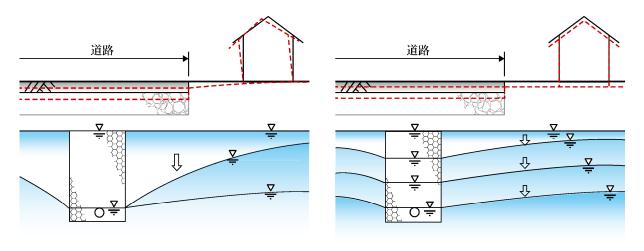


図 5-38 段階的な地下水位低下のイメージ



- (a) 急激に水位低下させた場合
- (b) 段階的に水位低下させた場合

図 5-39 地下水を急激に下げた場合と段階的に下げた場合のイメージ

注) 家屋への影響をできるだけ少なくするために段階的に地下水を下げることが望ましい

2. 施設等の調整工事について

不同沈下に留意しながら地下水位を下げた場合でも、地盤の条件によっては地盤の変位は生じる可能性もあることから、地表面や配管等の施設に生じた段差や勾配等の解消については、地盤変動が落ち着いた後、事業完了に向けて工事等により対応するのが望ましい。

3. 事業完了後の施設管理のあり方

地下水位低下工法の事業完了後の施設管理は、地下水位の低下状況や集水管の清掃タイミングなどの確認のため、長期的モニタリングを継続して行うことが望ましい。長期的な観測にあたっては、それまでの観測データや土地利用状況を考慮し、具体的な密度や頻度について、かかるコストにも十分配慮し、メンテナンスの実施時期等判断できるよう将来の管理方法とその費用、管理者についても検討しておくことが望ましい。

<参考文献>

- 1) 地盤工学会:液状化対策工法、第3章、pp.345、2004.
- 2) 雨水貯留浸透技術協会:雨水浸透施設技術指針【案】調査・計画編、第3章、pp.25、2006.
- 3) 山海堂: 実例・経験に基づく掘削のための地下水調査法、1990.
- 4) 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説、第6章、pp.381、2004.
- 5) 地盤工学会:地盤調査法、pp.289~290、1996.
- 6) 鹿島出版会:土質調査の基礎知識、第5章 pp.37、1986.
- 7) 国土交通省・国土技術政策総合研究所:宅地の液状化被害可能性判定計算シート、http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/downloads.html (2014年1月15日閲覧))
- 8) 日本建築学会:建築基礎構造設計指針、2001.
- 9) 日本建築学会:小規模建築物基礎設計指針、2008.
- 10) 日本建築学会の住まいづくり支援建築会議の復旧・復興支援 WG「液状化被害の基礎知識」、 http://news-sv.aij.or.jp/shien/s2/ekijouka/
- 11) 安田進、橋本隆雄:鳥取県西部地震における住宅の液状化による沈下について、土木学会第57 回年次学術講演会、pp.1029-1030、2009.
- 12) 橋本隆雄・安田進・伏見修: 我孫子市における汲み上げ方式による地下水位低下工法の実証実験について、地盤工学会関東支部第11回地盤工学会関東支部発表会、2014.10
- 13) 橋本隆雄・安田進・伏見修: 我孫子市における地下水位低下工法による液状化対策の実験、第 59 回地盤工学シンポジウム 2014.11
- 14) 安田進・橋本隆雄: 水位低下による液状化対策における地盤の沈下量と水圧低下、第 50 回地盤 工学研究発表会平成 27 年度発表講演集、CD-ROM、2015.9
- 15) 安田進・石川敬祐・橋本隆雄・内田秀明: 埋立地盤における地下水位の時間変化と液状化被害、 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集、CD-ROM、1015.10
- 16) 橋本隆雄・安田進・山田 恭央・和田 陽介: 鹿嶋市平井東部地区の砂利採取跡地における液状 化軽減対策、第14回日本地震工学シンポジウム、CD-ROM、2014.12
- 17) 地盤工学会関東支部 造成宅地の耐震対策に関する研究委員会:造成宅地の耐震対策に関する研究・ 究小委員会報告書-液状化から戸建て住宅を守るための手引き-、 2013.5
- 18) 橋本隆雄: 神栖市地下水位低下液状化対策工法の実験について、Geo-Kanto2013 第 10 回地盤工 学会関東支部研究発表会発表講演集、CD-ROM、2013.10
- 19) 橋本隆雄・安田進・内田秀明: 地下水位低下による液状化対策地盤における降雨と水位の関係、 地盤工学会関東支部第12回地盤工学会関東支部発表会、地盤工学会関東支部第12回地盤工学会 関東支部発表会、1015.10
- 20) 橋本隆雄・安田進: 液状化対策としての広域な地下水位低下方法と排水量、第 50 回地盤工学研究発表会平成 27 年度発表講演集、CD-ROM、2015.9
- 21) 橋本隆雄・森口 剛・清水敏孝: 非開削敷設型(推進)集排水管による地下水位低下工法実験の検証、地盤工学会関東支部第12回地盤工学会関東支部発表会、1015.10
- 22) 国土交通省都市局:宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針、http://www.mlit.go.jp/common/000993582.pdf

- 23) 橋本隆雄・宗川清・明石達生・大橋征幹: 東北地方太平洋沖地震における宅地の液状化被害可能性の簡易判定手法の検証、土木学会 第33回地震工学研究発表会講演論文集、CD-ROM、2013.10
- 24) 橋本隆雄・宗川清・明石達生・大橋征幹: 東北地方太平洋沖地震における宅地液状化被害可能性の検証、日本地震工学会第10回年次大会梗概集、CD-ROM、2013.11
- 25) 橋本隆雄・宗川清・明石達生・大橋征幹:液状化ハザードマップのための液状化被害可能性簡易判定手法の研究-東北地方太平洋沖地震における検証-、「地盤工学会特別シンポジウム-東日本大震災を乗り越えて-| 論文集、2014.5
- 26) 橋本隆雄・安田進・山口亮: 東北地方太平洋沖地震による液状化被災地区における住宅の傾斜 とめり込み沈下量の関係、第47回地盤工学研究発表、pp.1487-1488, 2012.