

# 液状化対策詳細設計に係る調査・設計について

1. 調査・設計の目的	1
2. 対象箇所	2
3. 佐原市街地地区、府馬地区の被害状況 対策箇所	5
4. 市街地液状化対策に関する動向	7
5. 調査・設計項目	9
6. 調査・設計フロー	12
7. 調査・設計内容	15
8. 佐原市街地地区の調査・設計	15
9. 府馬地区（おおくすニュータウン）の調査・設計	15
10. 事業計画の作成	15
11. 調査・設計スケジュール	15

# 液状化対策事業詳細設計業務委託

## 液状化対策詳細設計に係る調査・設計について

### 目 次

1. 調査・設計の目的
2. 対象箇所
3. 佐原市街地地区、府馬地区の被害状況 対策箇所
4. 市街地液状化対策に関する動向
5. 調査・設計項目
6. 調査・設計フロー
7. 調査・設計内容
8. 佐原市街地地区の調査・設計
9. 府馬地区（おおくすニュータウン）の調査・設計
10. 事業計画の作成
11. 調査・設計スケジュール

平成 27 年 2 月 6 日

パシフィックコンサルタンツ株式会社



# 液状化対策詳細設計に係る調査・設計について

## 1. 調査・設計の目的

詳細設計に必要な調査を実施し、詳細な対策工仕様を求めると共に対策工に必要な工費を算出することを目的とする。

## 2. 対象箇所

調査・設計の実施に関する住民の同意が得られた以下の地区を対象とする。

- 佐原市街地地区の十間川・小野川周辺
- 府馬地区のおおくすニュータウン



図-1(a) 調査・設計対象箇所図 (佐原市街地地区の側方流動対策)

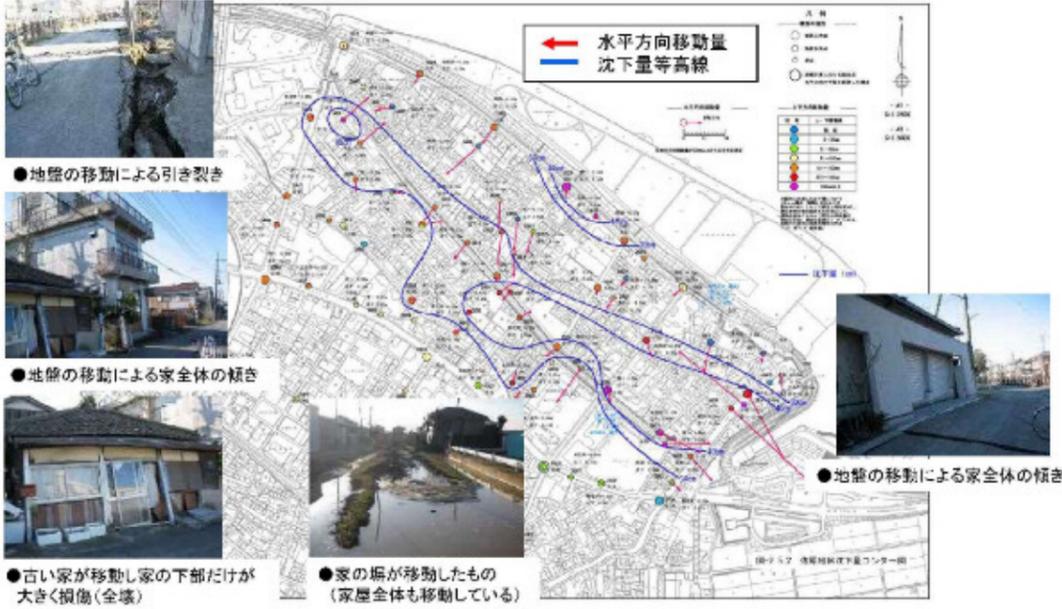


図-1(b) 調査・設計対象箇所図 (おおくすニュータウンの地下水低下工法対策)

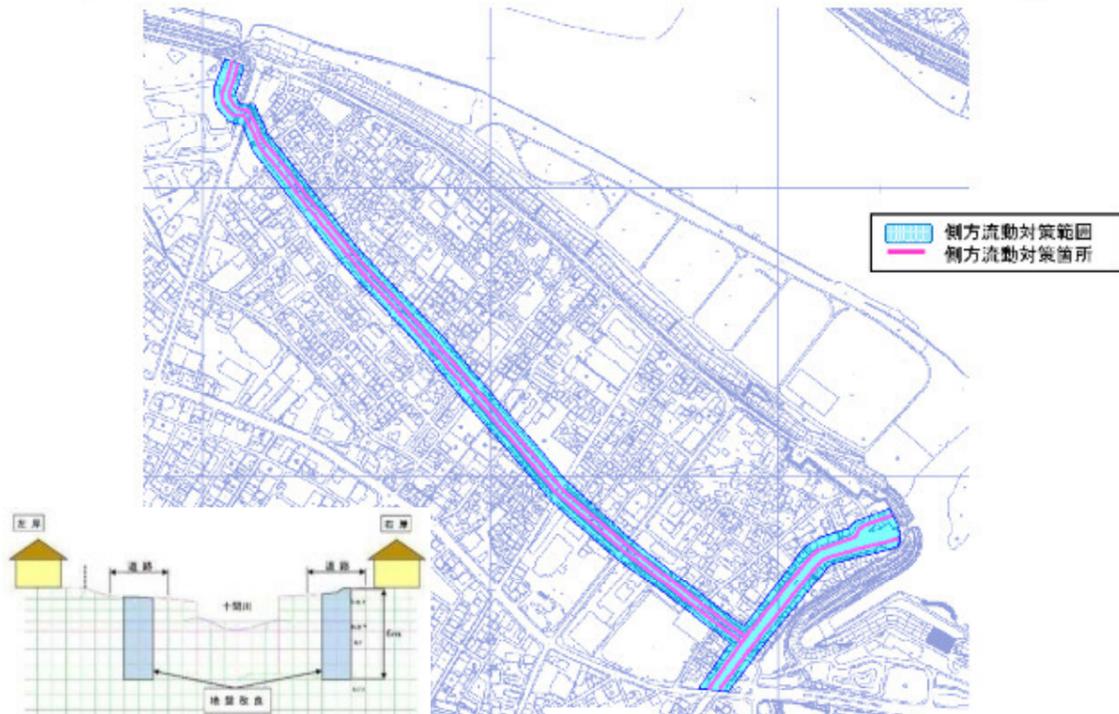
3. 佐原市街地地区、府馬地区の被害状況 対策箇所

佐原市街地地区における地盤変状

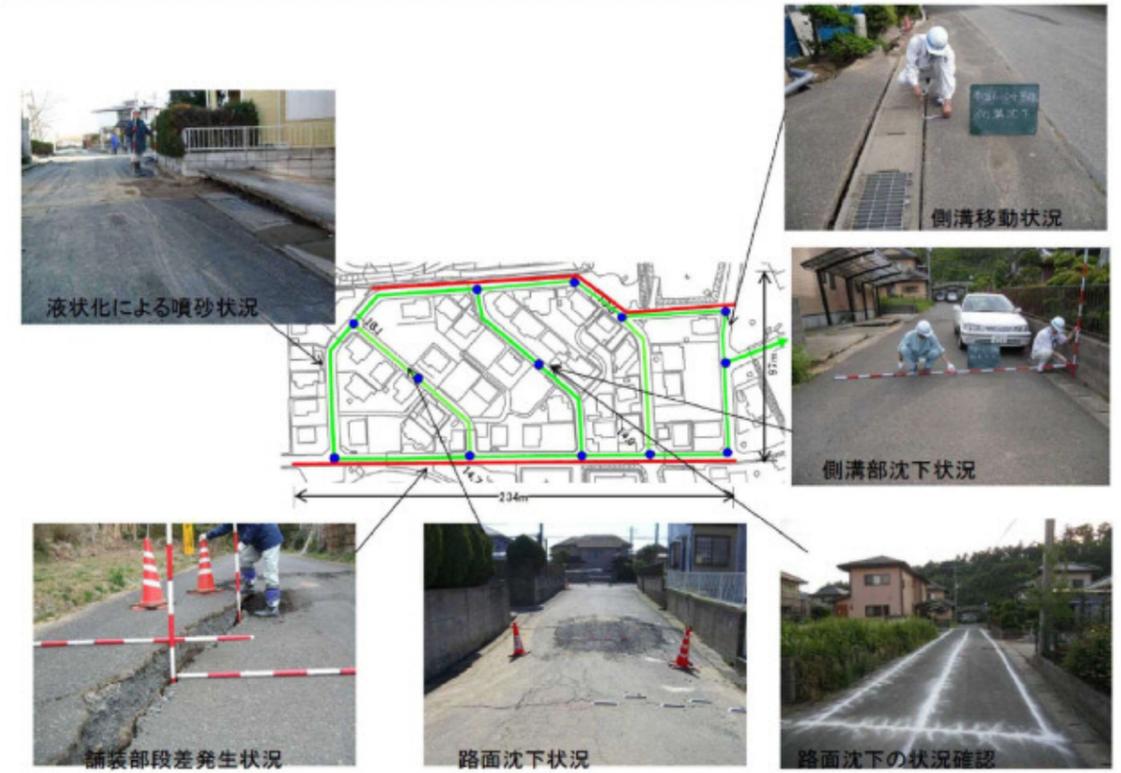
佐原市街地では、鉛直沈下に加え側方流動を併発し、大きな被害が発生  
 液状化した地盤が、低地に2m以上流動したことで、宅地地盤が引き裂かれ、家屋が傾くなど大きな被害が発生



佐原市街地地区における側方流動対策箇所



府馬地区おおくすニュータウンにおける被害状況



府馬地区おおくすニュータウンにおける対策箇所



#### 4. 市街地液状化対策に関する動向

平成 24 年度～平成 25 年度に実施した「香取市市街地液状化対策事業計画検討業務」では、液状化対策についての国土交通省の以下のガイドンス(案)に基づき「液状化対策検討委員会」において審議を行い、地区の特性を踏まえて対策工法を選定し、概算の工事費を求めた。

- 液状化被災市街地における地下水位低下工法の検討・調査について（ガイドンス(案)）（2013/01）
- 液状化被災市街地における格子状地中壁工法の検討・調査について（ガイドンス(案)）（2013/04）

平成 26 年 3 月に国土交通省から、ガイドンス(案)を公表後の最新の知見を踏まえ上記ガイドンスを統合した以下のガイドンスが公表された。

- 市街地液状化対策推進ガイドンス(平成 26 年 3 月)（以降、ガイドンスという）
- ガイドンスでは、ガイドンス(案)に比べ、対策目標等に異なる考えが示されている。ガイドンス及びガイドンス(案)での想定地震動を表-1 に、目標性能の比較を表-2 に示す。

表-1 ガイドンスとガイドンス(案)における想定地震

想定地震動	市街地液状化対策推進ガイドンス H26.3	地下水低下工法 ガイドンス(案) H25.1	格子状地中壁工法 ガイドンス(案) H25.4
タイプ 1 : 200gal、M7.5	◎	○	○
タイプ 2 : 200gal、M9.0	○	○	○
タイプ 3 : 350gal、M7.5	△	△	△

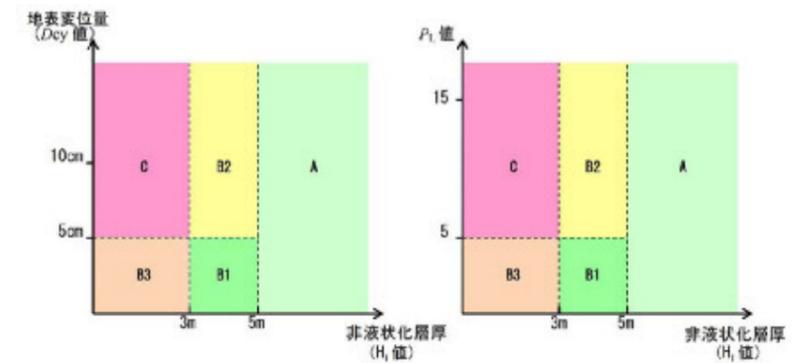
**【凡 例】**

- ◎ : 基本的に検討対象とする
- : 東日本大震災の被害状況により考慮する
- △ : 専門家からなる委員会で検討し、設定する

表-2 ガイドンスとガイドンス(案)における目標性能の比較

対策工法	想定地震動	目標性能	ガイドンス H26.3	地下水低下ガイ ダンス(案) H25.1	格子状地中壁 ガイドンス(案) H25.4
地下水低下工法	タイプ 1	$H_1 \geq 3m$	—	○	—
	タイプ 2	$D_{cy} \leq 10cm$	—	○	—
格子状地中壁工法	タイプ 3	$H_1 \geq 5m$	—	—	○
		$D_{cy} \leq 10cm$	—	—	○
地下水低下工法と 格子状地中壁工法	タイプ 1 地震動	A ランク : $H_1 \geq 5m$	○	—	—
		B1 ランク : $3m \leq H_1 < 5m$ 、 $D_{cy} \leq 5cm$ 、 $PL \leq 5$	公共と宅地の一体 対策に適用	—	—
		B2 ランク : $3m \leq H_1 < 5m$ 、 $D_{cy} > 5cm$ 、 $PL > 5$	地下水低下工法 では、特例として 適用可能	—	—
タイプ 1 を上回る 地震動	タイプ 1	委員会等で検討	○	—	—
		$H_1 \geq 3m$ かつ $D_{cy} \leq 10cm$	東日本大震災被災 地での設定例	—	—
		B2 ランク : $3m \leq H_1 < 5m$ 、 $D_{cy} > 5cm$ 、 $PL > 5$	地下水低下工法 では、特例として 適用可能	—	—

出典 : ガイドンス



(a)  $H_1 \sim D_{ey}$ 判定図 (b)  $H_1 \sim P_L$ 判定図  
図4-27 公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準

表 4-8 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	$D_{cy}$ の範囲	$P_L$ 値の範囲	地下水低下工法	格子状地中壁工法
C	3m 未満	5cm 以上	5 以上	不可	不可
B3		5cm 未満	5 未満	不可(※)	不可
B2	3m 以上 5m 未満	5cm 以上	5 以上	液状化被害軽減の 目標として可	不可
B1		5cm 未満	5 未満		
A	5m 以上	—	—	液状化被害抑制の目標として可	

(※) 原則不可であるが、専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行った結果の

判断についてはこの限りではない。

## 5. 調査・設計項目

- 調査・設計に関する委員会の設置と運営
- 想定地震と対策目標の設定
- 佐原市街地地区側方流動対策の調査・設計
- おおくすニュータウンの調査・設計

## 6. 調査・設計フロー

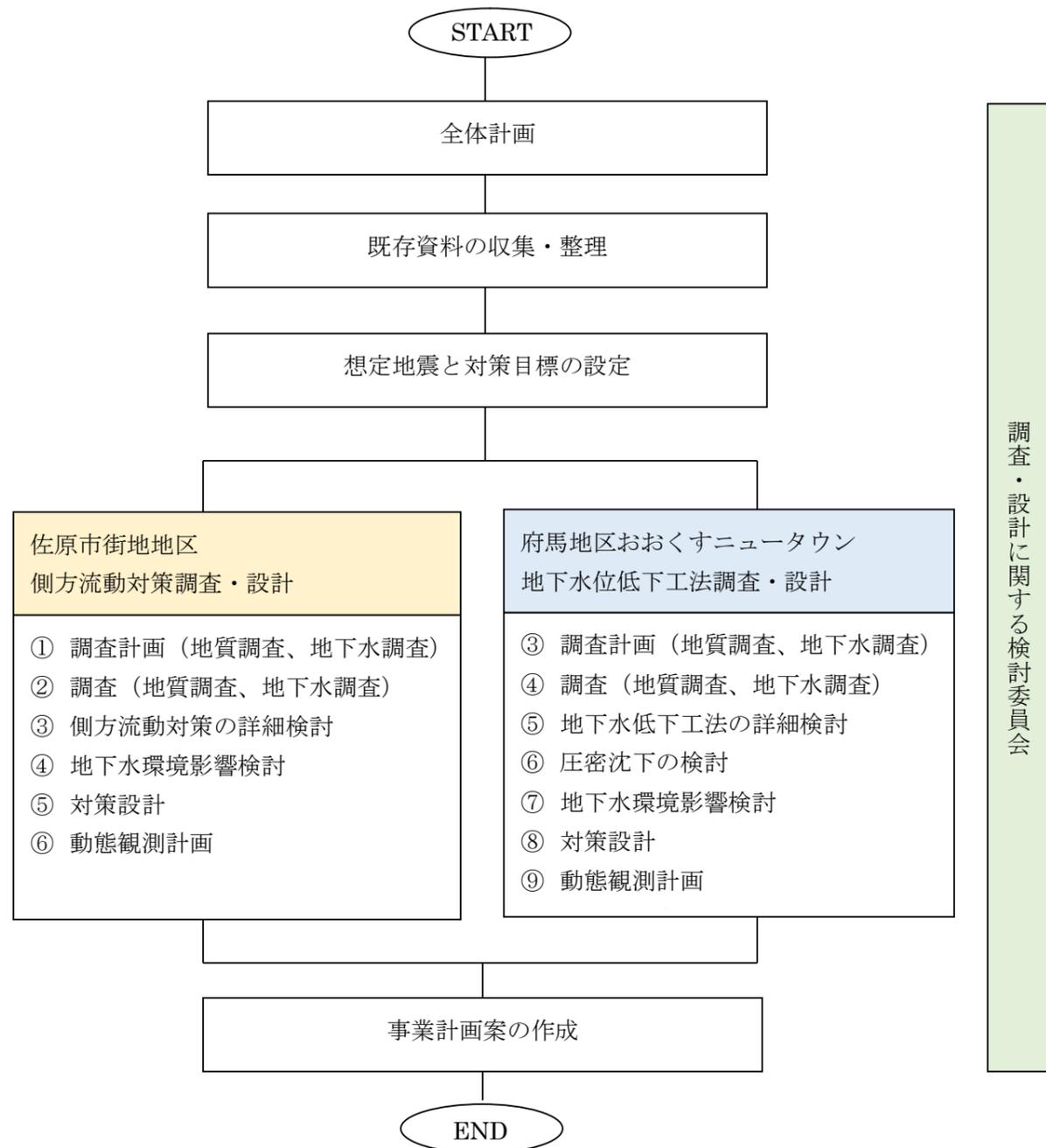


図-2 調査・設計全体フロー

## 7. 調査・設計内容

### (1)全体計画

調査・設計の目的を踏まえ、調査・設計の全体計画を立案し、調査計画書を作成する。

### (2)既存資料の収集・整理

既往の調査・検討資料を収集・整理する。また、市街地液状化対策に関する最新の基準、研究成果、他自治体の情報についても収集・整理する。

### (3)委員会の設置・運営

詳細設計においては、ガイダンスや最新の知見、他自治体の動向を踏まえて、対策工法・対策仕様を決定することが望ましい。このため、専門家で構成される「液状化対策検討委員会」を設置し、最新の知見を踏まえて最適な対策工法・対策仕様を決定することとする。

委員会は、以下の段階での開催を想定する。

- 第1回：想定地震と対策目標、調査計画（地質調査、地下水調査）
- 第2回：検討結果の評価、対策設計の承認

### (4)想定地震と対策目標の設定

最新の研究や他自治体の動向を踏まえ、想定地震と対策目標を設定する。

#### 1)想定地震の設定

平成24年～平成25年に実施した「香取市市街地液状化対策事業計画検討業務」では、ガイダンス(案)に従い、タイプ1、タイプ2を対象とした想定地震を設定した。

一方、首都直下地震に対する危険性が高まる中で、首都直下地震に相当するタイプ3地震動を考慮に加える自治体もあることから、これらの動向を踏まえて想定地震を設定する。

また、設定した想定地震について対策工の検討に用いる入力地震動を設定する。

#### 2)対策目標の設定

最新の知見を踏まえ、想定地震に対する対策目標を設定する。

## 8. 佐原市街地地区の調査・設計

佐原市街地地区では、十間川と小野側沿いの側方流動対策についての調査・設計を実施する。

### 8.1 調査

#### (1)地質調査

##### 1)調査の目的

平成 24 年度に実施した地質調査では、佐原市街地地区全体で詳細部 4 箇所、一般部 11 箇所の調査を実施した。ここでは、十間川と小野川の側方流動対策設計に必要な地層構成の把握と 2 次元有効応力法地震応答解析による側方流動対策検討に必要な地盤物性値を得ること、側方流動対策による地下水流動阻害の検証のための地下水環境影響解析に必要な、地下水状況の把握を目的とする。

##### 2)地質調査位置

地層構成及び地盤物性値を把握するための地質調査は、十間川及び小野川沿いに概ね 200m に 1 箇所を実施する。地下水状況把握のためのボーリングは、地質調査を実施したボーリング孔を利用すると共に、周辺の地下水状況把握のために調査孔を設置する。地質調査及び地下水調査計画位置を図-3 に示す。

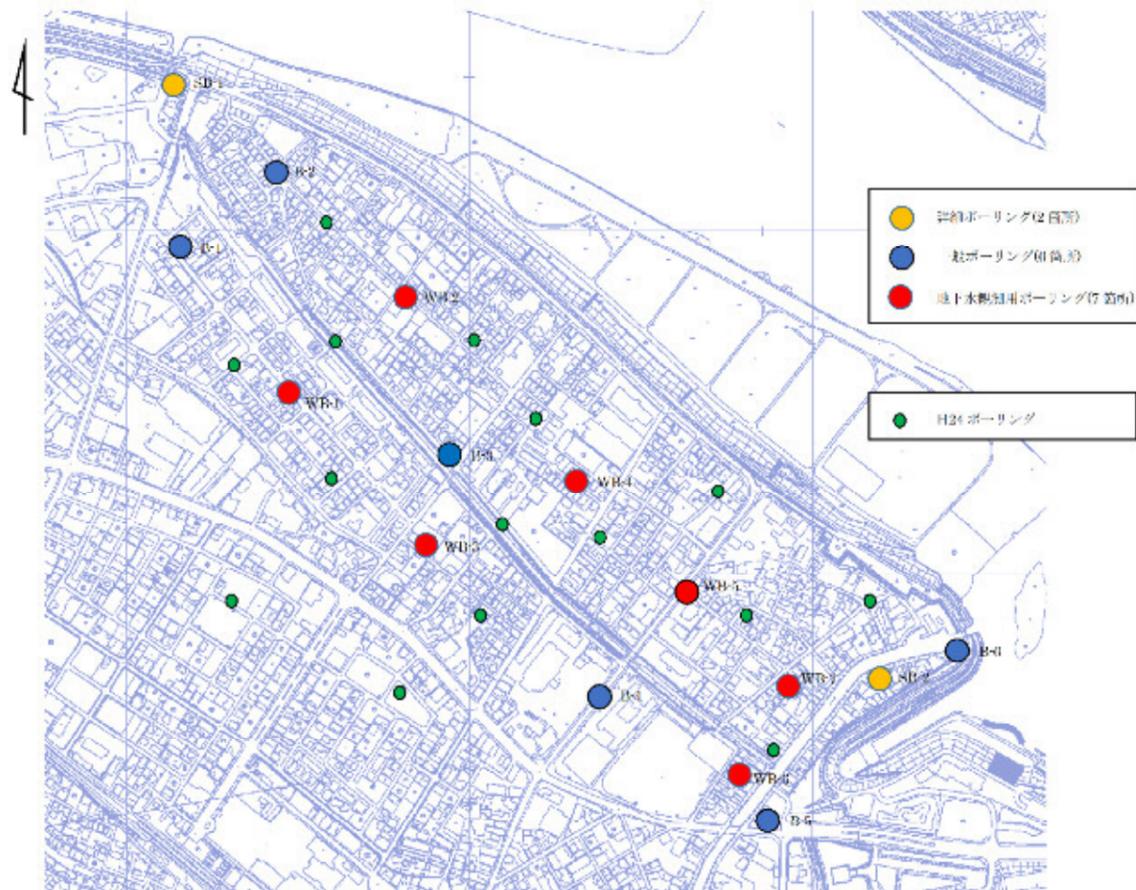


図-3 佐原市街地地区地質・地下水調査位置図

#### 3)土質試験

##### a)一般部

- 機械ボーリング：深度 20m
- 標準貫入試験
- 物理試験（粒度試験、液塑性試験）
- 現場透水試験

##### b)詳細部

- 機械ボーリング：深度 60m
- 標準貫入試験
- 物理試験（粒度試験、液塑性試験）
- 力学試験（液状化強度試験、動的変形特性試験、圧密試験）
- 現場透水試験

#### 4)地下水観測

- ボーリング孔は、井戸仕上げとして、地下水観測を 1 年間実施する。

#### (2)地下水調査

##### 1)調査の目的

側方流動対策としては、十間川と小野川に沿って深層混合処理による地盤改良を行うことが想定され、地表付近の地下水の流れを阻害する可能性がある。

このため、現況の地下水の状況について把握すると共に地盤改良が実施された場合に地下水の流れへの影響検討に必要な地盤物性値等を把握することを目的に調査を実施する。

##### 2)調査位置

図-3 に示す位置で調査を実施する。

##### 3)地下水調査

- 現場透水試験
- 地下水位観測（月に 1 回、1 年間）

##### 4)井戸調査

対策工事実施時には、現況の井戸への影響の有無について確認する必要がある。このため、動態観測計画立案に必要な対象地区及び周辺の井戸設置状況について調査する。

#### (3)測量

側方流動対策設計を実施するための十間川・小野川沿いの断面、平面測量を実施する。

調査数量総括表

地区	区分	調査地点	削孔長 合計	削孔長内訳									標準貫入試験 合計	標準貫入試験 内訳			P S 検層	現場透水試験	地下水計設置・観測	トリプルサンブロー 乱さない試料採取	デニンサンブロー 乱さない試料採取	シンオールサンブロー 乱さない試料採取	室内土質試験														
				φ116			φ86			φ66				砂	粘性土	固結シルト							物理試験					力学試験									
				砂	粘性土	固結シルト	砂	粘性土	固結シルト	砂	粘性土	固結シルト											土粒子の密度	含水比	(フルイ) 粒度	(フルイ+沈降) 粒度	液性限界	塑性限界	湿潤密度	最大・最小密度試験	圧密試験	C U 三軸圧縮試験 bar	C D 三軸圧縮試験	(動的変形特性) 繰り返し三軸	(繰り返し三軸) 液状化特性		
佐原市街地	詳細部	SB-1	56	13	2	0				41	0	0	51	50	1	0	0	3	1	4	0	1	24	24	22	2	2	2	5	0	1	1	4	5	4		
		SB-2	53	18	0	0				22	13	0	49	36	13	0	0	2	1	4	0	0	25	25	23	2	2	2	4	0	0	0	4	4	4		
	一般部	B-1	20				8	2	0	10	0	0	20	18	2	2	0	1	1	0	0	0	20	20	18	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0		
		B-2	20				8	2	0	10	0	0	20	18	2	2	0	1	1	0	0	0	20	20	18	2	2	2	0	0	0	0	0	0			
		B-3	20				8	2	0	10	0	0	20	18	2	2	0	0	1	0	0	0	20	20	18	2	2	2	0	0	0	0	0	0			
		B-4	20				8	2	0	10	0	0	20	18	2	2	0	1	1	0	0	0	20	20	18	2	2	2	0	0	0	0	0	0			
		B-5	20				8	2	0	10	0	0	20	18	2	2	0	1	1	0	0	0	20	20	18	2	2	2	0	0	0	0	0	0			
		B-6	20				8	2	0	10	0	0	20	18	2	2	0	1	1	0	0	0	20	20	18	2	2	2	0	0	0	0	0	0			
	地下水観測井	WB-1	10				8	2	0				10	8	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		WB-2	10				8	2	0				10	8	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		WB-3	10				8	2	0				10	8	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		WB-4	10				8	2	0				10	8	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		WB-5	10				8	2	0				10	8	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
		WB-6	10				8	2	0				10	8	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
WB-7		10				8	2	0				10	8	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
合計			299	31	2	0	104	26	0	123	13	0	290	250	40	26	0	15	15	8	0	1	169	169	153	16	16	16	9	0	1	1	8	9	8		







## 8.2 対策工設計

### (1)側方流動対策詳細検討

#### 1)検討方法

想定地震に対する目標性能を満足するために必要な地盤改良仕様（対策範囲、改良強度）を求める。検討は、地盤及び地盤改良体を2次元の有限要素でモデル化を行い、有効応力法による地震応答解析（FLIP）で実施する。また、地震終了後の過剰間隙水圧消散に伴う地盤沈下についても過剰間隙水圧消散解析（FLIPDIS）により算定する。

- ・2次元 FEM 有効応力法による地震応答解析（解析コード：FLIP）
- ・2次元 FEM 過剰間隙水圧消散解析（解析コード：FLIPDIS）

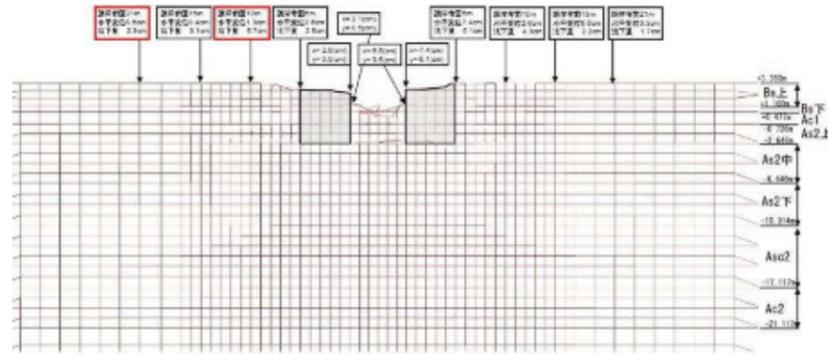


図-4 2次元 FEM 有効応力法による地震応答解析イメージ

#### 2)検討断面

検討は、概ね400mに1断面の割合で実施する。

- ・十間川（延長約1300m）：3断面
- ・小野川（延長約400m）：2断面

#### 3)検討ケース

断面ごとに以下のケースを実施する。

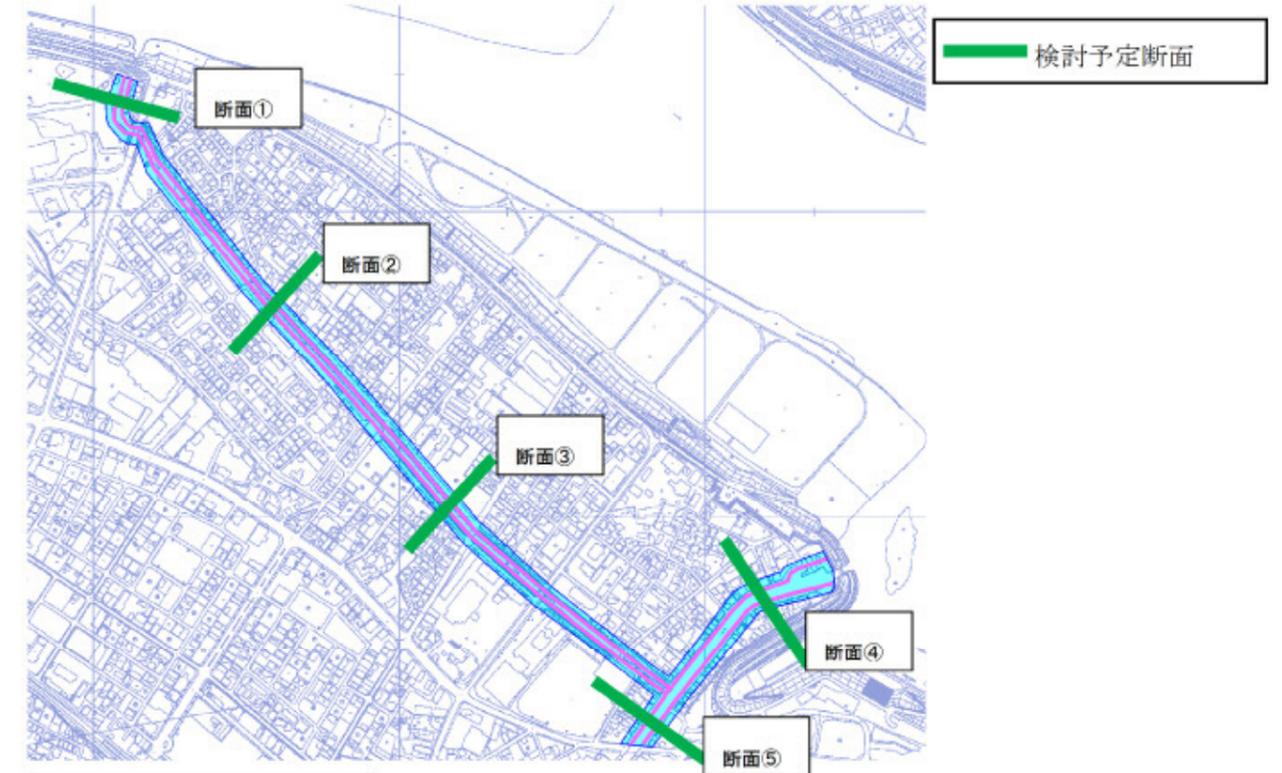
- ・現況：対策実施前
- ・対策後：対策範囲や改良強度を3ケース程度想定する。

#### 4)入力地震動

委員会審議により決定するが、以下の2地震動を想定する。

- ・タイプ2：目標性能を満足するように対策仕様を決定する。
- ・タイプ3：タイプ2で設定した対策仕様に対して限定した損傷にとどまることを確認する。

### 側方流動対策詳細検討実施予定断面



十間川検討予定断面位置

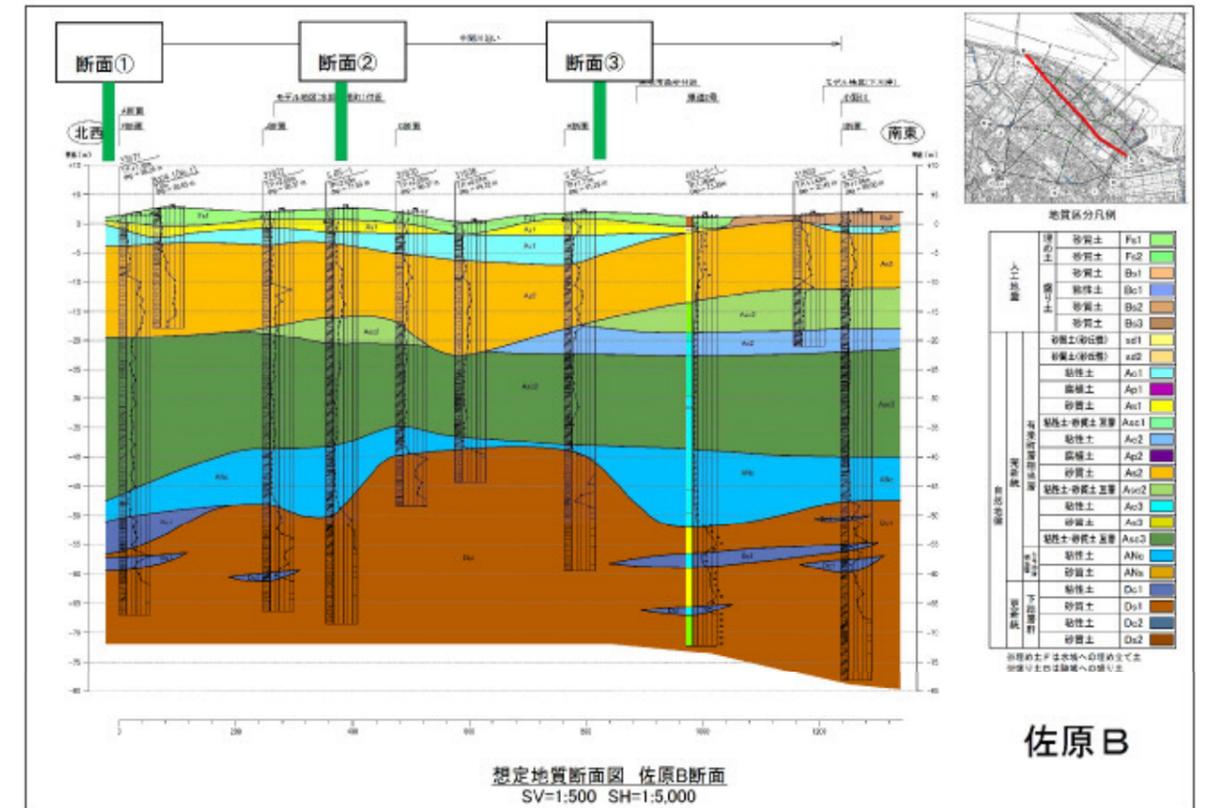


図-5(a) 解析断面位置図(1)

小野川検討予定断面位置

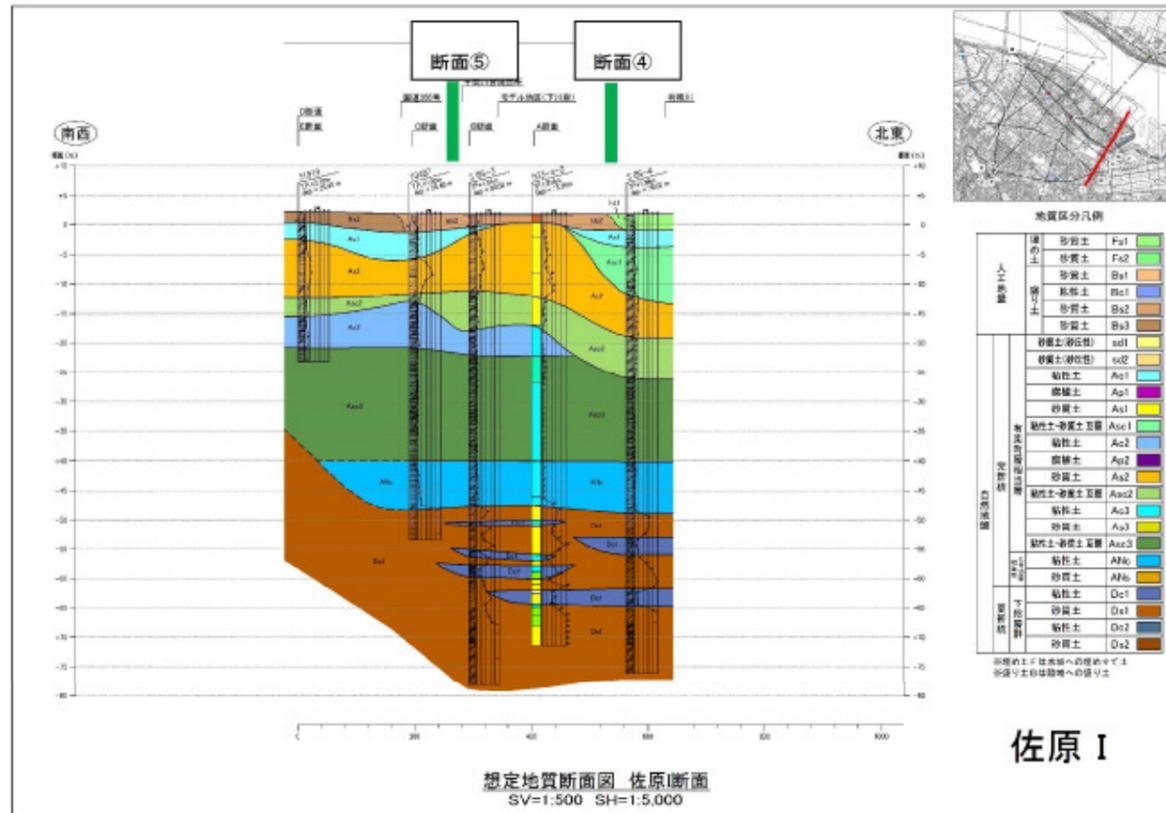


図-5(b) 解析断面位置図(2)

(2)地下水環境影響検討

1)検討方法

対策実施後の周辺環境への影響について3次元浸透流解析により検討する。

・3次元 FEM 浸透流解析

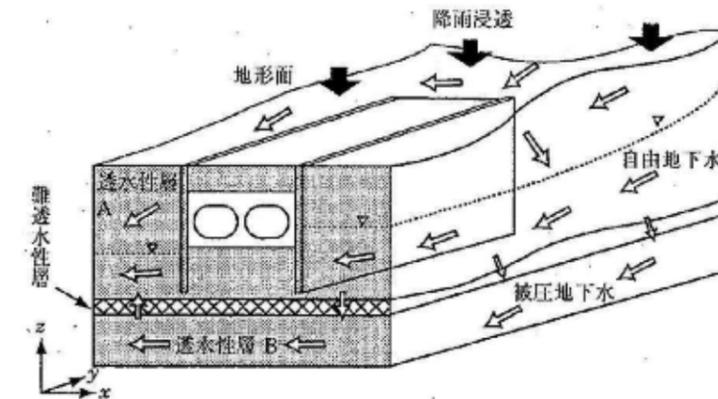


図-6 3次元浸透流解析イメージ

2)検討断面

佐原市街地地区

3)検討ケース

- ・現況：対策実施前
- ・対策後：対策範囲を2ケース程度想定する。

(3)対策設計

- 地盤改良対策工配置検討
- 道路埋設物移設・復旧検討
- 適用可能な地盤改良工法の抽出と最適工法の選定
- 対策工図面、数量
- 概略施工計画

(4)動態観測計画

対策工事においては、周辺地下水への影響や地盤変状が設計値以内であることを確認しながら実施することが求められる。このため、施工時における周辺地下水の状況や地盤返上についての動態観測計画を作成する。

## 9. 府馬地区（おおくすニュータウン）の調査・設計

平成 24 年度に実施した「香取市市街地液状化対策事業計画検討業務」において府馬地区（おおくすニュータウン）では、地下水位低下工法が選定されている。このため、地下水位低下工法を対象に調査・設計を実施する。

### 9.1 調査

#### (1)地質調査

##### 1)調査の目的

平成 24 年度に実施した地質調査では、おおくすニュータウン内で詳細部 1 箇所、一般部 2 箇所の調査を実施した。ここでは、おおくすニュータウン全体の液状化対策設計に必要な対象地区全体の詳細な地層構成の把握と地下水位低下による圧密沈下への影響を 1 次元あるいは 2 次元 FEM 弾粘塑性圧密解析により検討を行うために必要な地盤物性値を得ることを目的とする。

##### 2)地質調査位置

おおくすニュータウン内の詳細な地層構成と設計に必要な地盤物性値を把握するために、対象箇所の外周部で地質調査を実施する。地下水状況把握のためのボーリングは、地質調査を実施したボーリング孔を利用すると共に、周辺の地下水状況把握のために山側 2 箇所、上流側 1 箇所の調査孔を設置する。地質調査及び地下水調査計画位置を図-7 に示す。

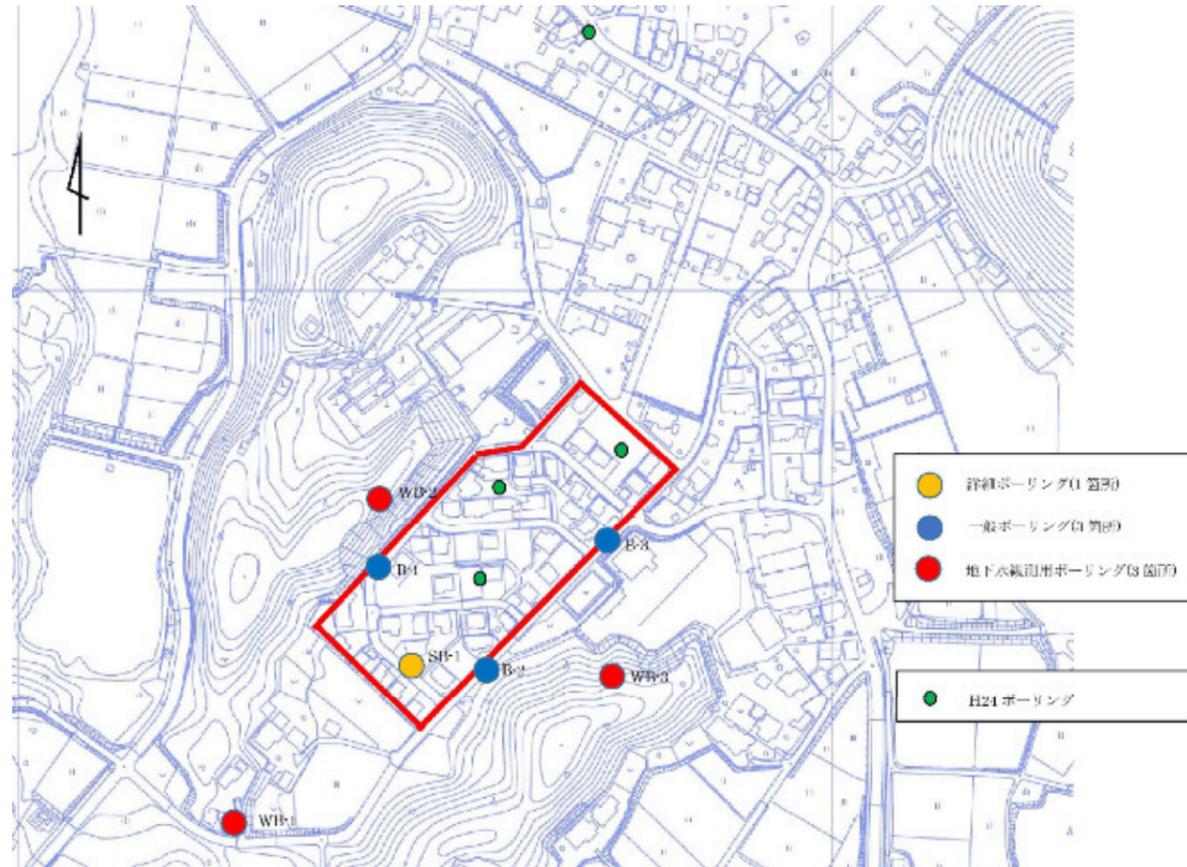


図-7 府馬(おおくすニュータウン)地質・地下水調査位置図

#### 3)土質試験

##### a)一般部

- 機械ボーリング：深度 20m
- 標準貫入試験
- 物理試験（粒度試験、液塑性試験）
- 現場透水試験

##### b)詳細部

- 機械ボーリング：深度 40m
- 標準貫入試験
- 物理試験（粒度試験、液塑性試験）
- 力学試験（液状化強度試験、動的変形特性試験、圧密試験）
- 現場透水試験

#### 4)地下水観測

- ボーリング孔は、井戸仕上げとして、地下水観測を 1 年間実施する。

### (2)地下水調査

#### 1)調査の目的

当該箇所の地下水位低下工法においては、基本的に対象範囲を止水矢板で囲い込み外部からの地下水の流入を防止し、止水矢板で囲まれた内部の地下水を自然流下方式により低下させる。従って、止水矢板で地下水の流れを遮断することによる周辺への影響が懸念される。

このため、現況の地下水の状況について把握すると共に止水矢板が設置された場合の地下水の流れへの影響検討に必要な地盤物性値等を把握することを目的に調査を実施する。

#### 2)調査位置

図-7 に示す位置で調査を実施する。

#### 3)地下水調査

- 現場透水試験
- 地下水位観測（月に 1 回、1 年間）

### (3)測量

対策設計を実施するための当該地区の断面、平面測量を実施する。

調査数量総括表

地区 区分 調査地点			削孔長 合計	削孔長内訳									標準貫入試験 合計	標準貫入試験 内訳			P S 検層	現場透水試験	地下水位計設置・水位観測	トリプルサンブロー 乱さない試料採取	デニンサンブロー 乱さない試料採取	シンオールサンブロー 乱さない試料採取	室内土質試験														
				φ116			φ86			φ66				砂	粘性土	固結シルト							物理試験					力学試験									
				砂	粘性土	固結シルト	砂	粘性土	固結シルト	砂	粘性土	固結シルト											土粒子の密度	含水比	(フルイ) 粒度	(フルイ+沈降) 粒度	液性限界	塑性限界	湿潤密度	最大・最小密度試験	圧密試験	C U・b a r 三軸圧縮試験	C D 三軸圧縮試験	(動的変形特性) 繰り返し三軸	(液状化特性) 繰り返し三軸		
おおくす ニュータウン	詳細部	SB-1	27	11	3	0				13	0	0	22	20	2	0	0	2	1	4	0	1	21	21	18	3	3	3	5	0	1	1	4	5	4		
	一般部	B-1	20				7	3	0	10	0	0	20	17	3	0	0	0	1	0	0	0	20	20	17	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0		
		B-2	20				7	3	0	10	0	0	20	17	3	0	0	0	1	0	0	0	20	20	17	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0		
		B-3	20				7	3	0	10	0	0	20	17	3	0	0	1	1	0	0	0	20	20	17	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0		
	地下水観測井	WB-1	10				7	3	0				10	7	3	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		WB-2	10				10	0	0				10	10	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		WB-3	10				10	0	0				10	10	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
合計			117	11	3	0	48	12	0	43	0	0	112	98	14	3	0	7	7	4	0	1	81	81	69	12	12	12	5	0	1	1	4	5	4		



ボーリングNo. WB-1 おおくすニュータウン

地層区分	土質区分	削孔径(mm)	土質別			標準貫入試験			土質別			PS検層	現場透水試験	地下水位計設置・観測	トリプルコア	標準貫入試験	標準貫入試験	室内土質試験													備考					
			φ86			φ86												物理試験						力学試験												
			砂	粘土	固結シルト	砂	粘土	固結シルト	砂	粘土	固結シルト							土粒子の密度	含水比	(フルイ) 粒度	(フルイ+沈降) 粒度	液性限界	塑性限界	湿潤密度	最大・最小密度試験	圧密試験	C三軸圧縮試験	U・b圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験		動的変形特性	繰り返し三軸	繰り返し三軸	(液状化特性)	
GL±0m	Bs	砂質土	○			○	○																													
	Ac1	粘性土		○				○			○																									
-5m	As2	砂質土	○			○	○																													
	Ds1	砂質土	○			○	○																													
-10m			○			○	○																													
-15m			○			○	○																													
	合計		7	3	0	10	7	3	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

図- 想定土質柱状図(府馬地区)

ボーリングNo. WB-2 おおくすニュータウン

地層区分	土質区分	削孔径(mm)	土質別			標準貫入試験			土質別			PS検層	現場透水試験	地下水位計設置・観測	トリプルコア	標準貫入試験	標準貫入試験	室内土質試験													備考						
			φ86			φ86												物理試験						力学試験													
			砂	粘土	固結シルト	砂	粘土	固結シルト	砂	粘土	固結シルト							土粒子の密度	含水比	(フルイ) 粒度	(フルイ+沈降) 粒度	液性限界	塑性限界	湿潤密度	最大・最小密度試験	圧密試験	C三軸圧縮試験	U・b圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験		動的変形特性	繰り返し三軸	繰り返し三軸	(液状化特性)		
GL±0m	Ds1	砂質土	○			○	○																														
	Ds2	砂質土	○			○	○																														
-5m			○			○	○																														
			○			○	○																														
-10m			○			○	○																														
-15m			○			○	○																														
	合計		10	0	0	10	10	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

図- 想定土質柱状図(府馬地区)

ボーリングNo. WB-3 おおくすニュータウン

地層区分	土質区分	削孔径(mm)	土質別			標準貫入試験			土質別			PS検層	現場透水試験	地下水位計設置・観測	トリプルコア	標準貫入試験	標準貫入試験	室内土質試験													備考						
			φ86			φ86												物理試験						力学試験													
			砂	粘土	固結シルト	砂	粘土	固結シルト	砂	粘土	固結シルト							土粒子の密度	含水比	(フルイ) 粒度	(フルイ+沈降) 粒度	液性限界	塑性限界	湿潤密度	最大・最小密度試験	圧密試験	C三軸圧縮試験	U・b圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験		動的変形特性	繰り返し三軸	繰り返し三軸	(液状化特性)		
GL±0m	Ds1	砂質土	○			○	○																														
	Ds2	砂質土	○			○	○																														
-5m			○			○	○																														
			○			○	○																														
-10m			○			○	○																														
-15m			○			○	○																														
	合計		10	0	0	10	10	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

図- 想定土質柱状図(府馬地区)

## 9.2 対策工設計

### (1) 地下水位低下工法の詳細検討

#### 1) 検討方法

想定地震に対する目標性能を満足するために必要な地下水位低下量を算定する。検討方法は、国総研から示されている簡易評価シートによる方法と詳細な動的解析による方法で実施する。

- ・簡易評価シート（国総研）
- ・2次元 FEM 全応力法動的解析（解析コード：FLUSH）

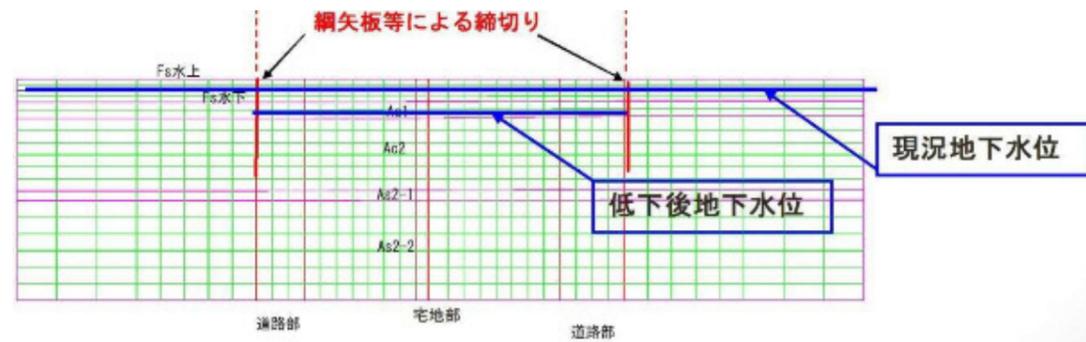


図-8 2次元 FEM 全応力法動的解析イメージ

#### 2) 検討断面

##### a) 簡易評価シート

- ・地区内 11 箇所のボーリング位置

##### b) 2次元 FEM 全応力法動的解析（FLUSH）

当該地点は、谷部を埋めて造成されており、横断方向に大きく地層が変化している。このため、横断方向に 1 断面、縦断方向に 1 断面で検討を実施する。

- ・横断方向：1 断面
- ・縦断方向：1 断面

#### 3) 検討ケース

断面ごとに以下のケースを実施

- ・現況：対策実施前
- ・対策後：2 ケース程度の水位低下量を想定する。

#### 4) 入力地震動

委員会審議により決定するが、以下の 2 地震動を想定する。

- ・タイプ 2：目標性能を満足するように対策仕様を決定する。
- ・タイプ 3：タイプ 2 で設定した対策仕様に対して限定した損傷にとどまることを確認する。

### (2) 圧密沈下の検討

#### 1) 検討方法

地下水位を低下させた場合、圧密沈下が生じ、地上の建物への影響が懸念される。このため、圧密沈下解析を実施し建物への影響について評価する。

検討は、解析地点の沈下を簡易に算定できる 1 次元圧密沈下解析と地表面における沈下や傾斜を詳細に算定できる 2 次元 FEM 弾粘塑性圧密解析により実施する。

- ・1次元圧密沈下解析
- ・2次元 FEM 弾粘塑性圧密解析（解析コード：DACSAR）

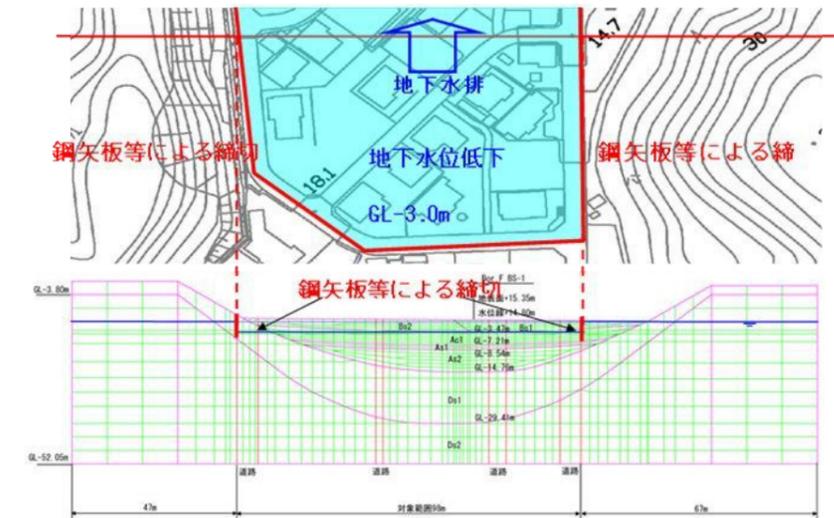


図-9 2次元 FEM 弾粘塑性圧密解析イメージ

#### 2) 検討断面

##### a) 1次元圧密沈下解析

- ・地区内 11 箇所のボーリング位置

##### b) 2次元 FEM 弾粘塑性圧密解析

- ・横断方向：1 断面
- ・縦断方向：1 断面

#### 3) 検討ケース

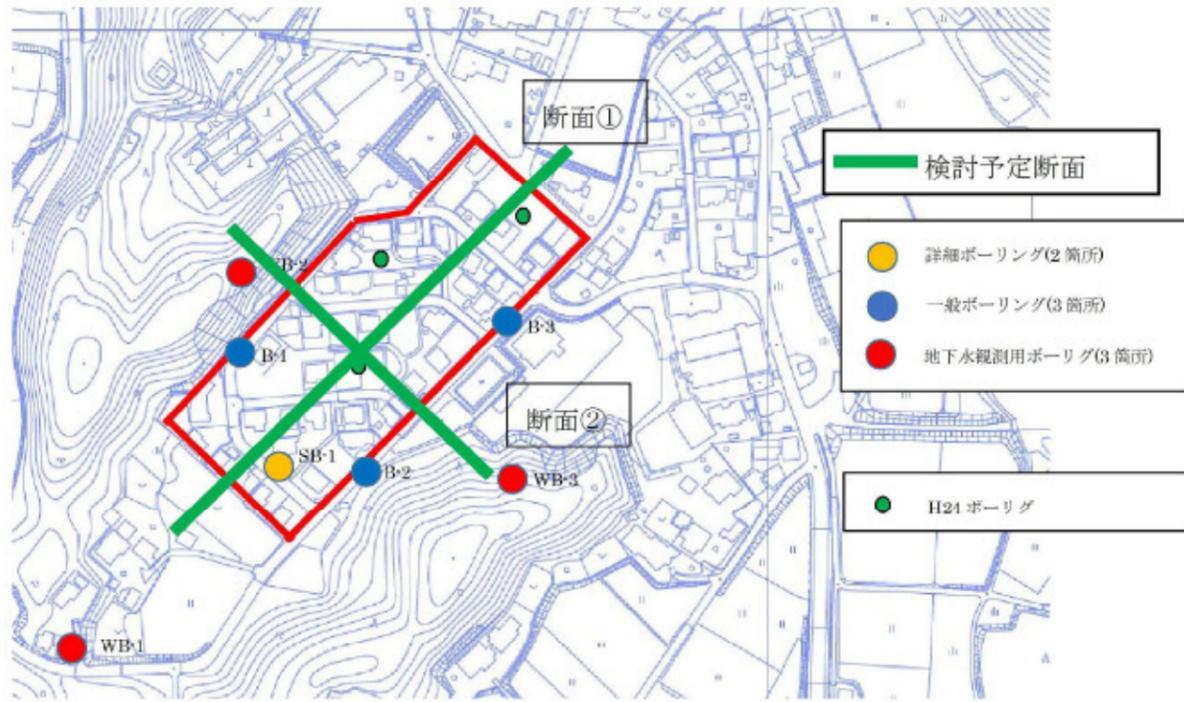
断面ごとに以下のケースを実施

- ・対策後：2 ケース程度の地下水位を想定する。

#### 4) 建物への影響評価

圧密沈下解析により算定される地表面の沈下や傾斜を踏まえ、建物への影響について評価する。

地下水位低下工法詳細検討予定断面  
 圧密沈下検討予定断面



断面①付近の想定地層断面図

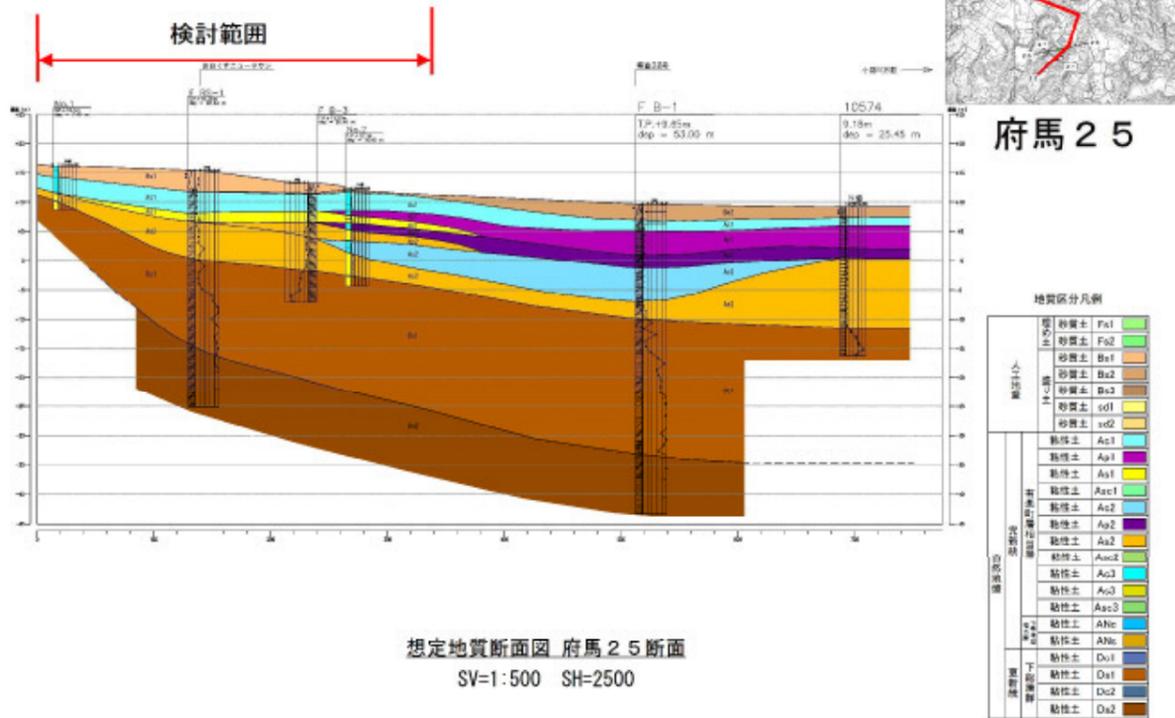


図-10(a) 解析断面位置図(1)

断面②付近の想定地層断面図

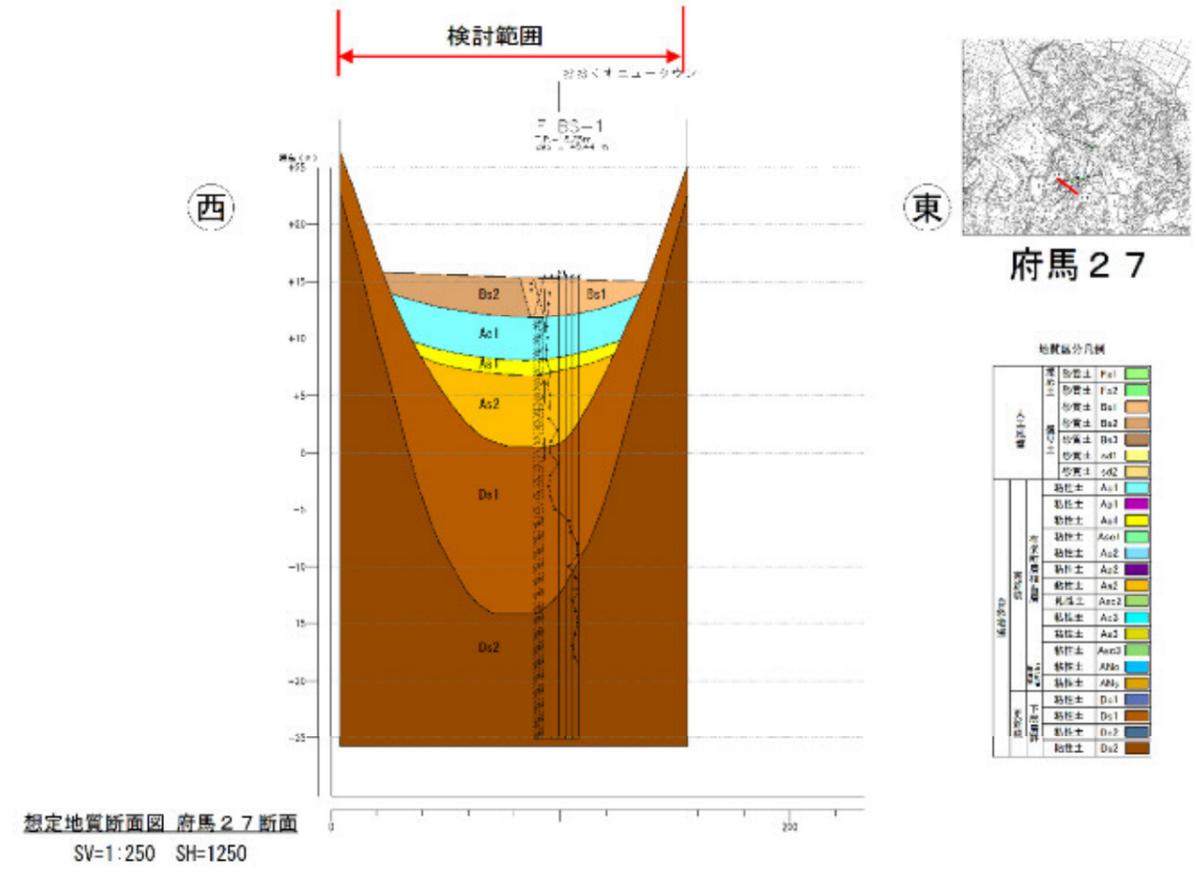


図-10(b) 解析断面位置図(2)

(3)地下水環境影響検討

1)検討方法

対策工法による効果を検証すると共に対策実施後の周辺環境への影響について3次元浸透流解析により検討する。

・3次元 FEM 浸透流解析

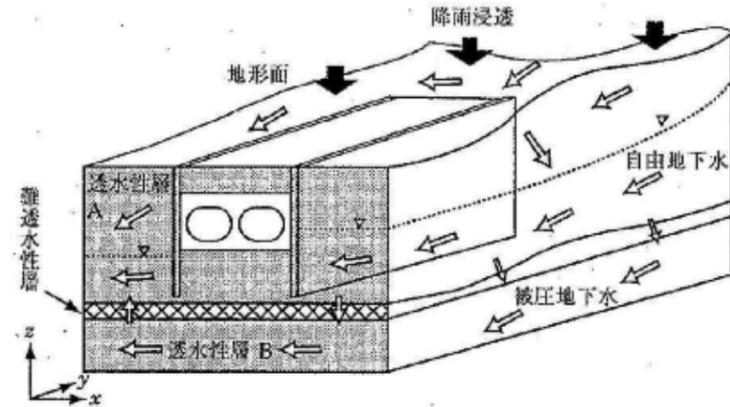


図-11 3次元 FEM 浸透流解析イメージ

2)検討断面

府馬地区(おおくすニュータウン)

3)検討ケース

- ・現況：対策実施前
- ・対策後：止水壁の設置や地下水位について2ケース程度を想定する。

(4)対策設計

- 道路埋設物移設・復旧検討
- 集排水管詳細設計（設計計算、図面、数量）
- 集水用立坑詳細設計（設計計算、図面、数量）
- 施工法等の比較検討

(5)動態観測計画

対策工事においては、周辺地下水への影響や地盤変状が設計値以内であることを確認しながら実施することが求められる。このため、施工時における周辺地下水の状況や地盤返上についての動態観測計画を作成する。

10. 事業計画の作成

以上の調査・設計に基づき、事業計画案を作成する。

また、調査・設計の検討結果についての住民説明のための資料及び関係機関との協議資料を作成する。

11. 調査・設計スケジュール

表-1 調査・設計スケジュール

	H27					備考
	1月	2月	3月	4月	5月	
1.全体計画	■					
2.想定地震と目標性能の設定	■					
3.佐原市街地地区の調査・設計						側方流動対策
① 調査計画	■					
② 調査						
・地盤調査		■	■			現地作業 室内試験
・地下水状況調査		■	■	■	■	観測は1年間実施
③ 対策工設計						
・側方流動対策詳細検討		■	■	■		
・地下水環境影響検討		■	■	■		
・対策設計			■	■		
・動態観測計画				■		
4.府馬地区の調査・設計						地下水位低下工法
① 調査計画	■					
② 調査						
・地盤調査		■	■			現地作業 室内試験
・地下水状況調査		■	■	■	■	観測は1年間実施
③ 対策工設計						
・地下水位低下工法詳細検討		■	■	■		
・圧密沈下の検討		■	■	■		
・地下水環境影響検討		■	■	■		
・対策設計			■	■		
・動態観測計画				■		
5.事業計画案の作成		■	■	■		
6.液状化対策検討委員会		○		○		
7.住民説明会				○		

4-5 液状化対策の目標値

公共施設・宅地一体型液状化対策における目標値は、街区全体での液状化被害を抑制するために必要かつ整合のとれたものとする。

その際には、想定する地震動として中地震は下回らないものとし、今次災害の規模等を考慮し、地域の社会的、経済的状況を踏まえ液状化対策の目標値を設定するものとする。

公共施設・宅地一体型液状化対策において液状化被害を抑制するための目標値としては、原則として「宅地液状化被害判定指針」における「顕著な被害の可能性が低い」を指し、指針判定図におけるAランクの範囲とし、液状化対策後にB1ランクの範囲になる場合も「顕著な被害の可能性が低い」と同等の扱いとする。

ただし、技術面や経済性において目標値を満たすことが困難と想定される場合には、地域の合意を経て、液状化被害を軽減するために特例として液状化対策後にB2ランクの範囲を目標値とすることができる場合がある。

液状化対策においては、公共施設や宅地が地震発生後でも確保すべき性能を考慮し、街区全体で性能を確保するために必要かつ整合のとれた地盤の目標値を設定することが重要である。

なお、宅地に求める地震に対する目標性能は、宅地防災マニュアルによると以下のように定められている。

- 中地震相当：宅地の機能に重大な支障が生じない
- 大地震相当：人命及び宅地の存続に重大な影響を与えない

1. 想定地震動の大きさ

液状化対策の目標値を定める場合、対象とする地震動の大きさとその荷重に対する応答値として何を対象とするかを決めておく必要があり、東日本大震災の液状化被害の実態も考慮すると、震度5程度から被害が発生していることから、中地震に相当する地震動を下回らないものとする。ただし、想定地震動を大きくすると液状化対策に要する費用もまた大きくなるため、経済性も考慮し、民生安定上必要があれば今次災害規模等とすることができる。

想定する地震動の検討例として、以下のものを示す。

- ・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)
- ・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)
- ・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。

なお、各地方公共団体では地域防災計画を策定しており各地域の地震環境に配慮した地震動を設定している場合もあるため、対策の想定地震動の設定は、専門家からなる委員会で計算条件等を慎重に

検討した上、費用対効果も考慮して設定する必要がある。

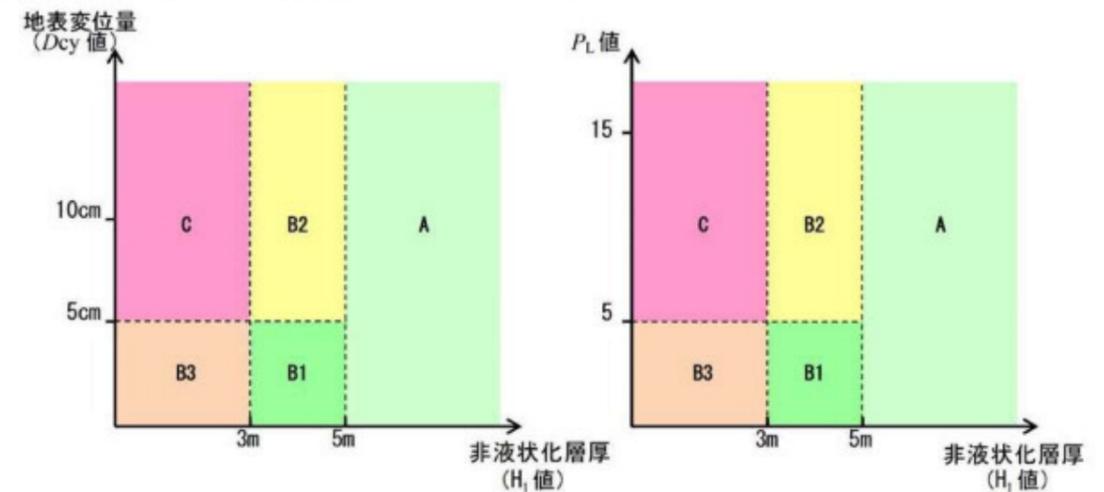
2. 液状化対策の目標値に対する基本的な考え方

液状化対策の目標値を設定するに当たっては、原則として宅地液状化被害判定指針における、マグニチュード7.5、200galの条件下で、「顕著な被害の可能性が低い（Aランク）」の範囲に相当する非液状化層厚 $H_1 \geq 5.0m$ を目標とする。また、公共施設・宅地一体型液状化対策の目標値に限り、図4-27に示すB1ランクの範囲をAランクと同等に「顕著な被害の可能性が低い」として扱うこととする。これは、対策工事を行った場合、自然地盤に比べて一様に非液状化層厚 $H_1$ が確実に確保されることが想定されるためである。

また、タイプ1を上回る地震動における液状化対策の目標値設定に当たっては、宅地液状化被害判定指針の判定図が東日本大震災の液状化被害を分析した結果設定されたしきい値であることから、そのしきい値はマグニチュード9.0、最大加速度 $\alpha_{max}=200(gal)$ の地震動まで用いることができるため原則に従ったタイプ1の設定が可能である。

なお、タイプ1を上回る地震動で原則によらない目標値とする場合は、専門家からなる委員会等での検討を行うことが望ましい。

例えば、東日本大震災の被災地においてはタイプ2の地震動を想定としており、専門家の意見を聴いた結果、非液状化層厚 $H_1 \geq 3.0m$ を確保しつつ、表4-7のように建築基礎構造設計指針（2001年、日本建築学会）に定める地表変位量（Dcy）と液状化の程度を用い、液状化の程度を「小」となる地表変位量 $Dcy < 10cm$ を目標値としていることが多い。



(a)  $H_1 \sim Dcy$ 判定図 (b)  $H_1 \sim P_L$ 判定図  
図4-27 公共施設・宅地一体型液状化対策工法の判定基準

表4-7 地表変位量（Dcy）と液状化の程度の関係<sup>4)</sup>

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

ただし、技術的実現性や経済性を考慮した場合、B1ランクの範囲であっても液状化対策の目標値を設定する場合が困難なことがあるため、特例として液状化被害を軽減するための目標値を図4-27に示すB2ランクの範囲に相当するものとするができる。このB2ランクの範囲は、宅地液状化被害判定指針における「顕著な被害の可能性が比較的低い」に相当するため、何らかの液状化被害が発生する可能性は否定できない。そのため、液状化対策の目標を設定するに当たっては、専門家の意見を聞くとともに、液状化対策効果の限界に対する地域住民の理解と合意が必要である。

なお、建築被害と液状化可能性の関係（液状化被害地区における実態調査）については、＜資料編4-8＞を参照とされたい。

### 3. 工法ごとの液状化対策効果の目標値の考え方

現在のところ、公共施設・宅地一体型液状化対策工法としては地下水位低下工法と格子状地中壁工法があるが、図4-27による液状化対策効果の目標値の設定については表4-8のとおりとする。各工法の概要については、「5-1 地下水位低下工法の考え方」及び「6-1 格子状地中壁工法の考え方」を参照されたい。

表 4-8 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 <sub>l</sub> の範囲	Dcyの範囲	P <sub>l</sub> 値の範囲	地下水位低下工法	格子状地中壁工法
C	3m 未満	5cm 以上	5 以上	不可	不可
B3		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
B1	5m 未満	5cm 未満	5 未満	液状化被害抑制の目標として可	
A	5m 以上	—	—		

(※) 原則不可であるが、専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行った結果の判断についてはこの限りではない。

#### (1) 地下水位低下工法

地下水位低下工法では、Aランク及びB1ランクの範囲について液状化被害を抑制するための目標値とする。

また、液状化層が非常に厚い等の特殊な場合は、一様に非液状化層厚H<sub>l</sub>が確実に確保されり込み沈下の液状化被害を軽減するための目標値をB2に設定を行うこともできる。

#### (2) 格子状地中壁工法

格子状地中壁工法においても、Aランク及びB1ランクの範囲について液状化被害を抑制するための目標値とし、2次元地震応答解析等を用いてF<sub>l</sub>値が1以上となる層厚を非液状化層厚として確保することとする。目標値の設定に当たっては、計算方法を明記し、地層の条件や設定定数については、各自自治体の専門家からなる委員会別途設定を行うことが望ましい。

また、格子状地中壁工法を実施した場合でも、地下水位の高さは対策前と同程度であったり地中壁

の上端まで上がってきたりするので、地下水位が高い地域にあつては、り込み沈下に対する影響についても十分に考慮する必要がある。

#### (参考)

タイプ1を上回る地震動を設定した場合、マグニチュード9.0、最大加速度 $\alpha_{max}=200(\text{gal})$ の地震動まで図4-27のしきい値を用いることができる（図中の点線ラインは動かない）ものの、液状化に対する安全率F<sub>l</sub>の計算に当たってマグニチュードが変数となっているため、地盤条件によっては同一地点であっても液状化に対する安全率F<sub>l</sub>値の計算値が変わり、それに従い非液状化層厚H<sub>l</sub>や地表変位量Dcyの計算値も変わること留意されたい。具体的には以下のような計算例となる。

地点Aの計算例：

M7.5 200galの場合：H<sub>l</sub>=3.0m、Dcy=4.5cm

M9.0 200galの場合：H<sub>l</sub>=2.0m、Dcy=11.5cm

想定地震動が大きくなれば、非液状化層厚H<sub>l</sub>は小さく、地表変位量Dcyは大きくなるため、目標値の範囲内に納めるためには対策の工事費が大きくなったり、場合によっては技術的に対策困難となったりする場合もあるため、地震動の設定に当たっては対策の費用対効果や技術的な実現性も十分考慮されたい。

(1)地下水水位低下工法

(6) 地下水水位低下工法による液状化抑制効果の目安について

液状化対策の検討を行うにあたっては、同工法により期待される地盤の液状化の抑制効果を把握しておくことが必要となる。  
 その際、対象とする地震動の大きさを設定した上で、下記の指標等を用いながら、地盤の液状化による家屋への被害の低減の目安とすることが想定される。

①非液状化層厚  $H_1 \geq 3.0\text{m}$  の確保  
 ②地表変位 ( $D_{cy}$ )  $\leq 10\text{cm}$  の確保

【解説】

1) 想定地震動の大きさ

液状化対策の検討を行うためには、目標とする地盤の液状化による被害の抑制効果を想定することが必要となる。液状化対策として期待される水準を定めるには、対象とする地震動の大きさとこの荷重に対する応答値としてどのような指標により液状化の抑制効果を把握するかを想定しておくことが必要となる。

地震動の大きさとしては、各被災自治体(市町村等)において地域の社会的、経済的状況を踏まえた検討に資するため、基本的に以下の3タイプの検討が想定される。

- ① タイプ1: 200gal, M7.5 (中地震による中程度の揺れ)
- ② タイプ2: 200gal, M9.0 (巨大地震による中程度の揺れ)
- ③ タイプ3: 350 gal, M7.5 (直下型地震による大きな揺れ)

ここで、道路等の公共施設と宅地の一体的な対策を講じることを考えると、公共施設用地における要求水準と宅地における要求水準に一定の整合性が図られていることが求められる。地続きである公共施設と宅地の一体的な対策を考える場合には、液状化現象への対応を考慮する基本的な外力としては、まずは、中程度の揺れに対して安全性が確保されていることが重要となる。

ただし、即地的な状況を踏まえながら、例えば、被災を受けた地域における今次災害での地震動(東日本大震災において記録された巨大地震動のM9.0の等価繰返し回数による影響)や、既往最大の地震(巨大地震による大きな揺れ)が発生した場合における地盤状況等についても把握し、液状化対策の効果や、液状化が発生した場合に想定される被害についても想定をしておくことで、事業に対する市民の理解の促進、合意形成等における目安とすることも考えられる。

2) 一定の非液状化層厚の確保

地盤の液状化による家屋のめり込み沈下量や不同沈下量・傾斜量を推定することは、地震動や地質状況のみならず、基礎の構造形式、家屋の平面・立面形状、荷重分布、敷地条件等によって大きく異なり、個別の家屋についてそれらを定量的に把握することは困難であるが、まずは、液状化に対する宅地における対策の水準として、中程度の揺れに対して、家屋に軽微な損傷が生じる程度を目安とすることが考えられる。

また、これまでの研究成果等によると、

- ①一般的に、建築物の基礎の構造設計は地盤の許容応力度に基づいていることから、基礎下から2.0m以上の支持地盤を確保することが望ましいこと
- ②非液状化層厚  $H_1$  を最低3.0m以上確保すれば、200gal程度の揺れによる影響が少ないこと
- ③実験・解析等から、表層盤上改良等により、めり込み沈下による影響を軽減できることが想定されること

などから、図-6に示すように非液状化層厚  $H_1 \geq 3.0\text{m}$  を確保すれば、地盤の液状化の抑制効果が見られ、中程度の揺れに対しての公共施設・家屋の安全性を確保するための条件の一つとなるものと見込まれる。

以上のような観点に留意しつつ、個別の被災市街地における地盤状況や家屋の被災状況の分布等を勘案しながら、より詳細な検討を行うことで、所要の非液状化層厚を設定することも想定される。

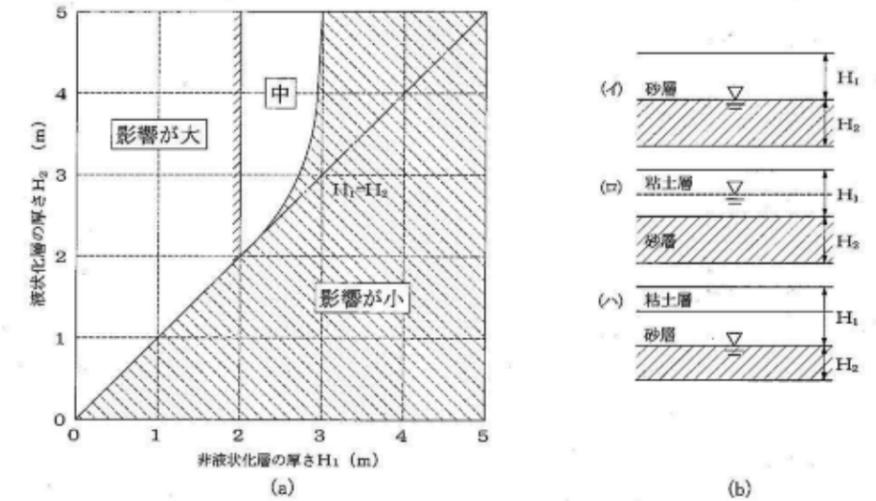


図-6 液状化の影響が地表面に及ぶ程度の判定(地表面水平加速度値200cm/s<sup>2</sup>相当<sup>7)</sup>

3) 地表変位  $D_{cy}$

道路、下水道などの公共施設(土木構造物)は、中程度の揺れに対して施設が損傷することなく、あるいは軽微な損傷があっても施設に求められる一定の性能が継続的に発揮できることが期待される。このため、公共施設と宅地の一体的な液状化対策を行う場合、公共用地については、これらの地震動に対して原則として液状化による被害が発生しないこと、または液状化による地盤の変形量が一定程度以下であることが想定される。また、宅地は、表-5のように建築基礎構造設計指針(2001年、日本建築学会)に定める液状化判定法( $F_L$ 法)に基づき、沖積砂層を含む地盤の変形を考慮した地表変位  $D_{cy}$  が小さい(概ね5~10cm以内)ことが期待される。

道路と宅地の一体的な対策を講じる場合、それぞれの期待される要求水準に整合が図られることが求められるが、ここでは、地盤の変形を考慮した地表変位  $D_{cy} \leq 10\text{cm}$  を目安としつつ、この他の照査方法でも適切な方法があれば、その方法で検討を行うことも考えられる。例えば、過剰間隙水圧の消散に伴う体積圧縮ひずみによる地盤の沈下量の推定方法については、 $D_{cy}$  から推定する方法以外にも、室内繰返しせん断試験により非排水状態で液状化試験を行った後に、排水状態にして過剰間隙水圧を消散させて液状化後の体積圧縮ひずみを直接求めた試験結果をもとに、液状化に対する安全率  $F_L$  をパラメータとした図-7に示す関係が、石原・吉嶺により提案されているので、これを用いることもできる。

表-5 地表変位 ( $D_{cy}$ ) と液状化の程度<sup>8)</sup>

$D_{cy}$ (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

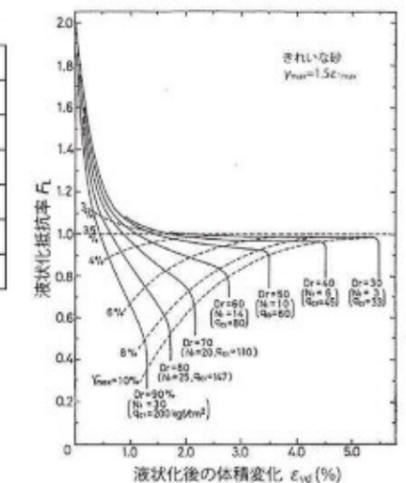


図-7 石原・吉嶺による  $F_L$ 、相対密度と体積ひずみ

(2)格子状地中壁工法

(5) 格子状地中壁工法による液状化抑制効果の目安について

格子状地中壁工法による液状化対策の検討を行うにあたっては、同工法により期待される地盤の液状化の抑制効果を把握しておくことが必要となる。

その際、対象とする地震動の大きさを設定した上で、下記の指標等を用いながら、地盤の液状化による家屋への被害の低減の目安とすることが想定される。

- ①液状化判定指標 ( $F_L$  値) が1以上の層厚を地表面から5m以上確保
- ②地表変位量 ( $D_{cy}$  値)  $\leq 10\text{cm}$  の確保

【解説】

1) 想定地震動の大きさ

液状化対策の検討を行うためには、目標とする地盤の液状化による被害の抑制効果を想定することが必要となる。液状化対策として期待される水準を定めるには、対象とする地震動の大きさと、この荷重に対する応答値としてどのような指標により液状化の抑制効果を把握するかを想定しておくことが必要となる。

地震動の大きさとしては、各地方自治体(市町村等)における地域の社会的、経済的状況を踏まえた検討に資するため、基本的に以下の3タイプが想定される。

- ① タイプ1: 200gal, M7.5 (中地震による中程度の揺れ)
- ② タイプ2: 200gal, M9.0 (巨大地震による中程度の揺れ)
- ③ タイプ3: 350gal, M7.5 (直下型地震による大きな揺れ)

ここで、道路等の公共施設と宅地の一体的な対策を講じることを考えると、公共施設用地における要求水準と宅地における要求水準に一定の整合性が図られていることが求められる。地続きである公共施設と宅地の一体的な対策を考える場合には、液状化現象への対応を考慮する基本的な外力としては、まずは、中程度の揺れに対して安全性が確保されていることが重要となる。

ただし、即地的な状況を踏まえながら、例えば、被災を受けた地域における今次災害での地震動(東日本大震災において記録された巨大地震動のM9.0の等価繰返し回数による影響)や、既往最大の地震(巨大地震による大きな揺れ)が発生した場合における地盤状況等についても把握し、液状化対策の効果や、液状化が発生した場合に想定される被害についても想定しておくことで、事業に対する市民の理解の促進、合意形成等における目安とすることも考えられる。

2) 地表面から一定の層厚における地盤の液状化の抑制

地盤の液状化による家屋のめり込み沈下量や不同沈下量・傾斜量を推定することは、地震動や地質状況のみならず、基礎の構造形式、家屋の平面・立面形状、荷重分布、敷地条件等によって大きく異なり、個別の家屋についてそれらを定量的に把握することは困難である。そこでまずは、液状化に対する宅地における対策の水準として、中程度の揺れに対して、家屋に軽微な損傷が生じる程度までに被害を抑制することを目安とすることが考えられる。

一般的に、一定の層厚について建築物の支持地盤を確保することで、地震時のめり込み沈下による家屋への影響を軽減できることが想定される。しかし、格子状地中壁工法においては、地下水位の高さは対策前と同程度であるものと考えられ、地下水位が高い地域にあっては、めり込み沈下に対する影響についても十分に考慮する必要がある。

これらの状況を踏まえ、格子状地中壁工法の効果の発現にあたっては、一定以上の改良深さとする事で、 $F_L$  値が1以上となる層厚について、地表面から5m程度を確保することが必要となるものと想定される。なお、5mより深い層が液状化する場合にめり込み沈下は発生し難いものの液状化後に圧縮による地盤の沈下は発生するので、その影響に関して留意が必要である。

3) 地表面水平変位および沈下

道路、下水道などの公共施設(土木構造物)は、中程度の揺れに対して施設が損傷しない、あるいは軽微な損傷があっても施設に求められる一定の性能が継続的に発揮できることが期待される。このため、公共施設と宅地の一体的な液状化対策を行う場合、公共用地については、これらの地震動に対して原則として液状化による被害が発生しないこと、または液状化による地盤の変形量が一定程度以下であることを想定する。また、建築基礎構造設計指針(2001年、日本建築学会)では、液状化判定結果の  $F_L$  値

に応じてせん断ひずみ  $\gamma_{cy}$  を求め、さらに地表変位量 ( $D_{cy}$  値) を求め、表-6 にしたがって液状化の程度を判断するようになっている。また、同様な液状化の程度を表す指標として液状化指数  $F_L$  のような考えもある。

道路と宅地の一体的な対策を講じる場合、それぞれの期待される要求水準に整合が図られることが求められるが、ここでは、地盤の変形を考慮した地表変位量  $D_{cy} \leq 10\text{cm}$  を目安としつつ、この他の照査方法でも適切な方法があれば、その方法で検討を行うことも考えられる。

また、液状化した後過剰間隙水圧の消散に伴って体積圧縮に伴う沈下が発生するので、この点も考慮しておく必要がある。建築基礎構造設計指針では  $\gamma_{cy}$  を体積ひずみ  $\epsilon_v$  と読み換え表-6の地表面の水平変位量より算出した  $D_{cy}$  値から地表面沈下量を推定するようにしている。

一方、室内繰返しせん断試験により、非排水状態で液状化試験を行った後に、排水状態にして過剰間隙水圧を消散させて液状化後の体積圧縮ひずみを直接求めた試験結果をもとに、液状化に対する安全率  $F_L$  と換算N値 ( $N_e$ ) をパラメータとした図-11 に示す関係が、石原・吉嶺により提案されているので、これを用いることもできる。

表-6 地表変位量 ( $D_{cy}$  値) と液状化の程度の関係<sup>19)</sup>

$D_{cy}$ (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

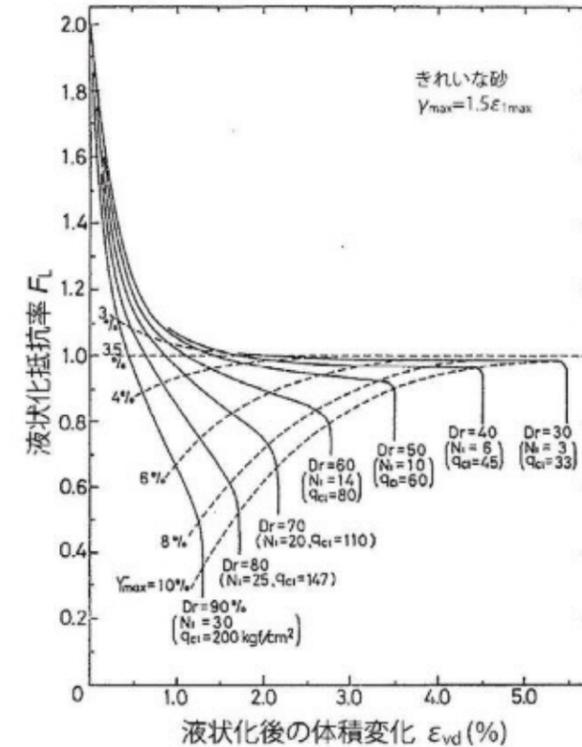


図-11 石原・吉嶺による  $F_L$ 、相対密度と体積ひずみの関係<sup>10)</sup>