

## 2. 2 建物側で実施する対策についての効果の検討

前項 1. にて (7) ~ (9) で示された対策工法に関しては、直接地盤に施す対策とは異なり、建物基礎構造として、あるいは建物基礎構造と一体となって、杭による支持や浮力を考慮するなどして効果を期待する工法である。

(7) 建物荷重を安定した地盤に伝達する工法として杭基礎や柱状改良等があり、これらの工法は、液状化地盤への対応として従来から住宅以外の多くの建築物において採用されている。なお、地盤の液状化判定に際しては、杭や柱状改良体の剛性は考慮せず、現地盤のみ（無対策地盤として）のせん断強度に対して行った。

(8) 浮き基礎工法の場合、地盤の液状化に伴い発生する過剰間隙水圧による浮力の影響等を考慮して、適切にモデル化して FEM 解析に組み込むことはかなり困難であった。そのため、別途浮力と建物自重等の荷重とのつり合いを考慮した計算方法を導入することとし、FEM 解析での検証は行わないこととした。

(9) 深層・浅層混合処理組み合わせ工法については、現時点においては対策仕様の検討対象から外している。これは、支持力機構に関する考え方方が整理されていないためであるが、浅層改良部分を軽量化するなどの対応により、(8) に示す浮き基礎工法と同様の考え方方が適用できる可能性がある。

なお、(7) ~ (9) はいずれも既存の建物が存在する状態では導入できない工法であるため、新築時または建替え時での導入を前提としている。

上記個別対策工法に関して、目標性能を満足する対策仕様の検討を行った内容及び結果を以下のように示す。

### 【対策仕様の検討を行った工法】

- 2. 2. 1 杭基礎工法
- 2. 2. 2 柱状地盤改良工法
- 2. 2. 3 浮き基礎工法

## 2.2.1 杭基礎工法

杭基礎工法には、打撃工法、埋込み工法、回転埋設工法等の施工方法があるが、住宅への対策実施にあたっては、施工可能なスペースを考慮して、比較的小型の施工機械により施工が可能である小口径の羽根付き鋼管杭を用いた回転埋設工法について検討を行った。本工法は、螺旋状の羽根等を杭の先端部付近に1枚または複数枚取り付けた鋼管杭を、回転により地盤中に貫入させる工法である。地盤を杭周囲に押し広げながら回転貫入により施工するため残土がほとんど発生しない。

### a) 検討条件

検討した適用条件を表2.2.1.1に示す。

また、対策仕様の検討に用いる外力は、本検討業務における住宅モデルの計算用設定値とする（表2.2.1.2参照）。なお、住宅において杭基礎の適用事例として布基礎の下に杭を用いる場合における検討を行う。

表2.2.1.1 杭基礎工法における検討条件

一体対策の有無	<input type="checkbox"/> 有り（地下水位低下・格子状改良）・ <input checked="" type="checkbox"/> 無し
入力地震動	<input checked="" type="checkbox"/> L1相当・ <input type="checkbox"/> L2
建物条件	<input type="checkbox"/> 有り・ <input checked="" type="checkbox"/> 無し（曳家の実施含む）
施工条件	<input checked="" type="checkbox"/> 1戸・ <input checked="" type="checkbox"/> 4戸・ <input checked="" type="checkbox"/> 20戸（1街区）・ <input checked="" type="checkbox"/> 100戸（5街区） 特記事項 本工法の適用対象は、既存住宅が無い場合とする。 施工スペースは、1戸の敷地内（13m×13m）で可能であり、 施工単位の増加による施工効率、施工単価への影響はない。

表2.2.1.2 杭基礎の仕様検討に用いる外力等

建物重量 W (kN)	杭の負担する 総せん断力 Q (kN)	基礎の最大 接地圧 $\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	杭1本あたりの 支配面積 A (m <sup>2</sup> )	杭に作用する 最大軸力 Pmax (kN)
511.7	120.8	35	2.444	85.5

b) 対策仕様

a) の検討条件を考慮して設定した杭基礎の対策仕様を表 2.2.1.3 に、杭基礎の配置及び断面図を図 2.2.1.1 に、それぞれ示す。

表 2.2.1.3 杭基礎の対策仕様

項目	寸法等
杭径	101.6mm
鋼管厚	4.2mm
杭本体の材質	STK400
羽根径	300mm
羽根の厚さ	16.0mm
羽根の材質	SS400
杭の先端深度	8.5m
杭本数	27 本

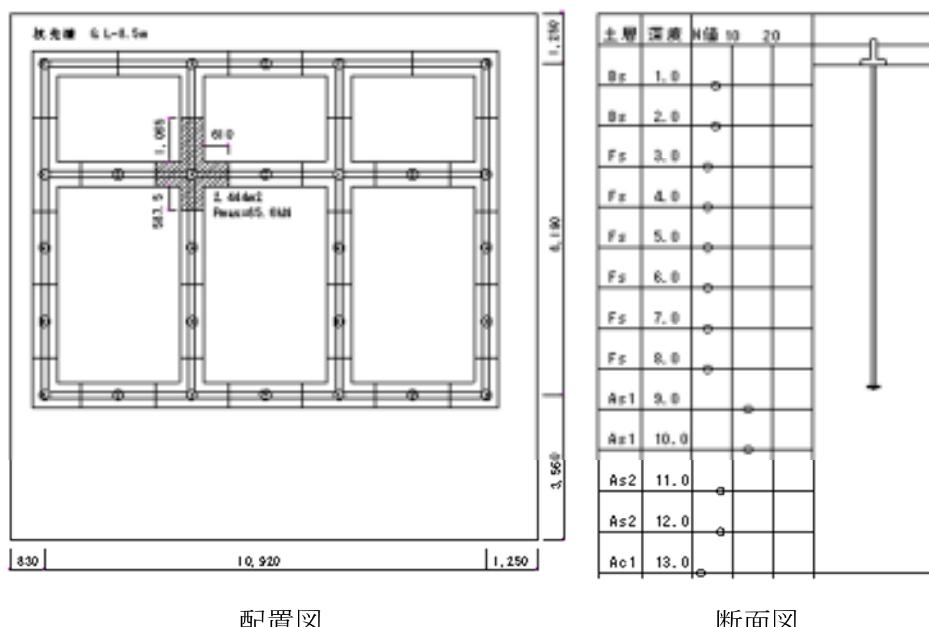


図 2.2.1.1 杭の配置及び断面図

### c) 地盤の液状化判定

杭基礎を用いる場合における過剰間隙水圧比は、杭の剛性を考慮しないこととして、無対策地盤における数値解析結果より求めた。結果を図 2.2.1.2 に示す。また、FL 判定法から得られた FL 値と過剰間隙水圧比  $r_u$  の関係式 ( $r_u = FL^{-7}$ ) より、算定した  $r_u$  についても合わせて示す。

数値解析の結果、GL-3.0m～6.0m の Fs 層における過剰間隙水圧比が 1.0 となった。

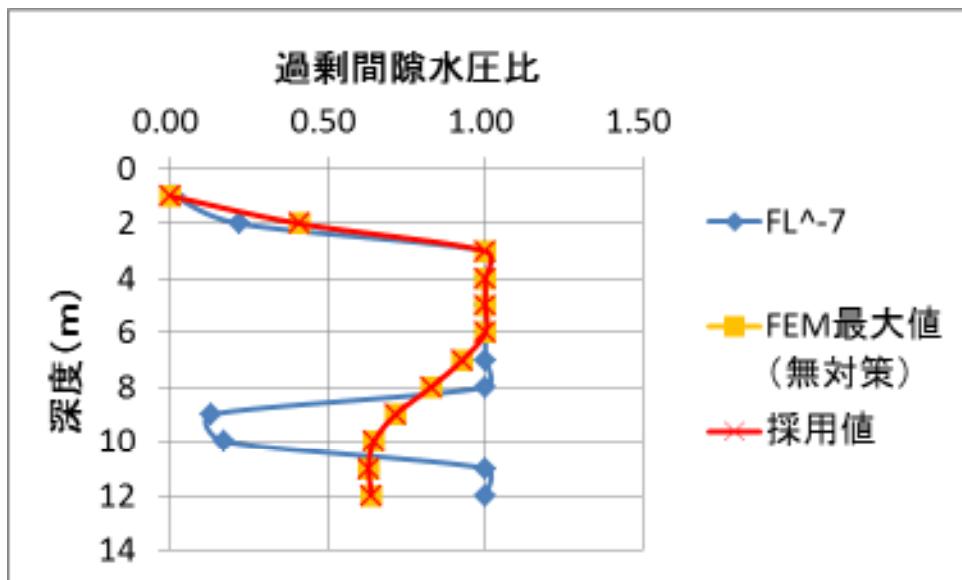


図 2.2.1.2 過剰間隙水圧比算定結果

### c) 杭の短期許容支持力に関する検討

杭の短期許容支持力に関する検討においては、鉛直方向に対する杭の短期許容支持力が設計荷重以上であること及び杭本体の短期許容曲げモーメントが水平荷重により杭本体に発生する曲げモーメント以上であることを確認を行う。

#### イ) 鉛直力に対する検討

鉛直方向に対する杭の短期許容支持力は、地盤から決まる短期許容支持力と杭体から決まる短期許容支持力のうち小さい値を採用する。

地盤から決まる杭の短期許容支持力算定式を 2.2.1 式、2.2.2 式に、杭体から決まる杭の短期許容支持力算定式を 2.2.3 式、2.2.4 式に、それぞれ示す。

$$R_{a1L} = \frac{1}{3} \left\{ \alpha \cdot N \cdot A_p + \left( \sum \tau_{si} \cdot L_{si} + \sum \tau_{ci} \cdot L_{ci} \right) \cdot \psi \right\} \quad \cdots 2.2.1 \text{ 式}$$

$$R_{a1S} = \frac{2}{3} \left\{ \alpha \cdot N \cdot A_p + \left( \sum \tau_{si} \cdot L_{si} + \sum \tau_{ci} \cdot L_{ci} \right) \cdot \psi \right\} \quad \cdots 2.2.2 \text{ 式}$$

$R_{a1L}$  : 地盤の長期許容支持力 (kN)

$R_{a1S}$  : 地盤の短期許容支持力 (kN)

$\alpha$  : 先端支持力係数 (ここでは、性能評価を取得している代表的な工法の値である 300とした。)

$N$  : 杭先端より下方  $1D_w$ 、上方  $1D_w$  の平均  $N$  値 (=15)

$A_p$  : 杭先端有効面積( $m^2$ )  $A_p = 0.5 \cdot \pi / 4 \cdot D_w^2$

$D_w$  : 羽根部外径  $D_w = 0.3$  (m)

$\beta$  :  $\beta \cdot N_s = 15$  を満足する  $\beta$

$N_s$  : 砂質地盤の標準貫入試験における打撃回数 ここでは、 $N_s = 0$  とする

$L_s$  : 砂質地盤に接する杭の有効長 (m)

$\gamma$  : 粘土質地盤におけるくい周面摩擦力係数  $\gamma \cdot q_u = 15$  を満たす  $\gamma$

$q_u$  : 粘性土の地盤の一軸圧縮強さ (kN/m<sup>2</sup>) ここでは、 $\overline{q_u} = 0$  とする

$L_c$  : 粘性土地盤に接する長さの合計 (m)

$\phi$  : 杭の周囲の長さ  $\phi = \pi \cdot D_w$  (m)

$$R_{a2L} = f_e \cdot A_e \quad \cdots 2.2.3 \text{ 式}$$

$$R_{a2S} = 1.5 \cdot R_{a2L} \quad \cdots 2.2.4 \text{ 式}$$

$$f_e = \frac{F^*}{1.5} = \frac{1}{1.5} \left( 0.8 + 2.5 \frac{t_e}{r} \right) \cdot \sigma_s \quad \text{かつ} \quad F^* \leq \sigma_s$$

$R_{a2L}$  : 杭体から決まる杭の長期許容支持力(kN)

$R_{a2S}$  : 杭体から決まる杭の短期許容支持力(kN)

$F^*$  : 杭体の許容圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_s$  : 鋼管の基準強度 (N/mm<sup>2</sup>) (=235)

$t_e$  : 腐食しろを考慮した杭材の有効鋼管厚(mm)  
ここで腐食しろは、1 mmとする。

$r$  : 杭材の半径 (mm) (=D/2)

$A_e$  : 腐食しろを考慮した杭材の有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

2.2.1 式～2.2.4 式により鉛直方向に対する杭の許容支持力を算定した結果、長期及び短期の許容支持力は、いずれも設計荷重を上回る結果となった。鉛直方向に対する杭の許容支持力判定結果を表 2.2.1.4 に示す。

表 2.2.1.4 鉛直支持力に対する検討結果

長期			短期		
杭1本あたりの 長期許容支持力 $R_{aL}$ (kN/本)	建物荷重／杭本数 $W/n$ (kN/本)	判定 $R_{aL} > W/n$	杭1本あたりの 短期許容支持力 $R_{as}$ (kN/本)	杭に作用する 地震時最大軸力 $P_{max}$ (kN/本)	判定 $R_{as} > P_{max}$
53.0	19.0	OK	106.0	85.5	OK

#### ロ) 水平力に対する検討

水平力に対する検討は、杭を曲げ剛性を有する線材、地盤をばねと仮定した解析モデルを用いて行った。ここでは、多層地盤中の杭を対象とし、杭及び地盤を弾性と仮定しているが、杭頭変位の増加に伴い、水平方向地盤反力係数を低下させることによって地盤の非線形性を考慮している。また、FL 値が 1.0 以下となる場合には各深度の FL 値を基に、水平方向地盤反力係数を低減している水平方向地盤反力係数の算定方法を以下に示す。

$$k_{ho} = \alpha \cdot E_o \cdot (D \times 100)^{-3/4} \times 100$$

$$k_h = \gamma_k \cdot k_{ho} \cdot y^{-0.5}$$

$k_h$  : 水平方向地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$k_{ho}$  : 基準水平方向地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$\alpha$  : 粘性土 = 0.6, 砂質土 = 0.8 とする。

$E_o$  : 変形係数 (kN/m<sup>2</sup>) (ここでは、 $E_o=700N$  とする。)

$N$  : 各層における地盤の N 値

$D$  : 杭直径 (m)

$\gamma_k$  : 水平地盤反力係数に乘じる低減係数

$y$  : 杭水平変位量(cm)

なお、液状化層より上部に堆積する地層（Bs 層）においても水平方向地盤反力係数を低減することとし、その値は、液状化層における支配的な数値 0.1 を採用することとした。水平方向地盤反力係数低減係数の検討結果を表 2.2.1.5 に示す。

表 2.2.1.5 の低減係数を採用したときの地中部における杭に発生する曲げモーメントは杭本体の短期許容曲げモーメント  $M_a$  以内である（図 2.2.1.3 参照）。

表 2.2.1.5 水平方向地盤反力係数低減係数の検討結果

深度 (m)	検討条件	検討結果		
		地盤種別	FL値	$\gamma_k$
1.50	Fs	Bs	1.629	1.0→0.1
2.50			0.965	0.2→0.1
3.50			0.854	0.1
4.50			0.803	0.1
5.50			0.778	0.1
6.50			0.769	0.1
7.50			0.767	0.1
8.50		As1	2.170	1.0
9.50			1.933	1.0
10.50	As2		0.909	0.2
11.50			0.893	0.2
12.50	Ac1	対象外	1.0	

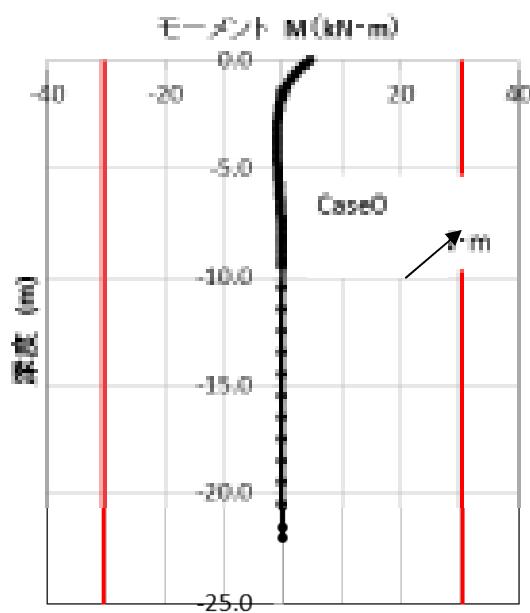


図 2.2.1.3 杭本体の発生曲げモーメント

## 2.2.2 深層混合処理（柱状改良）

本工法は、スラリー状にしたセメント系固化材を地盤に注入しながら土と機械的に攪拌することによりソイルセメントコラムを築造する地盤改良工法である。構造物の荷重を下部地盤に伝達し、建物の沈下を抑制する効果が期待できる工法である。

### a) 検討条件

検討した適用条件を表 2.2.2.1 に示す。

また、対策仕様の検討に用いる外力は、本検討業務における住宅モデルの計算用設定値とする（表 2.2.2.2 参照）。

表 2.2.2.1 柱状改良工法における検討条件

一体対策の有無	<input type="checkbox"/> 有り（地下水位低下・格子状改良）・ <input checked="" type="checkbox"/> 無し
入力地震動	<input checked="" type="checkbox"/> L1相当 ・ <input type="checkbox"/> L2
建物条件	<input type="checkbox"/> 有り ・ <input checked="" type="checkbox"/> 無し（曳家の実施含む）
施工条件	<input checked="" type="checkbox"/> 1戸・ <input checked="" type="checkbox"/> 4戸・ <input checked="" type="checkbox"/> 20戸（1街区）・ <input checked="" type="checkbox"/> 100戸（5街区）
	本工法の適用対象は、既存住宅が無い場合とする。 施工は、1戸の敷地分のスペース（13m×13m）があれば可能である。

表 2.2.2.2 柱状改良の仕様検討に用いる外力

鉛直荷重：W (kN)	総せん断力：Q (kN)
801.53	164.28

### b) 対策仕様

a) の適用条件を考慮して設定した柱状改良体の仕様を表 2.2.2.3 に、改良体の配置及び断面図を図 2.2.2.1 に、それぞれ示す。

表 2.2.2.3 柱状改良体の仕様

項目	寸法等
改良体直径	700mm
掘削深度	13.3m
改良実長	13.0m
改良本数	33 本
設計基準強度	600N/mm <sup>2</sup>

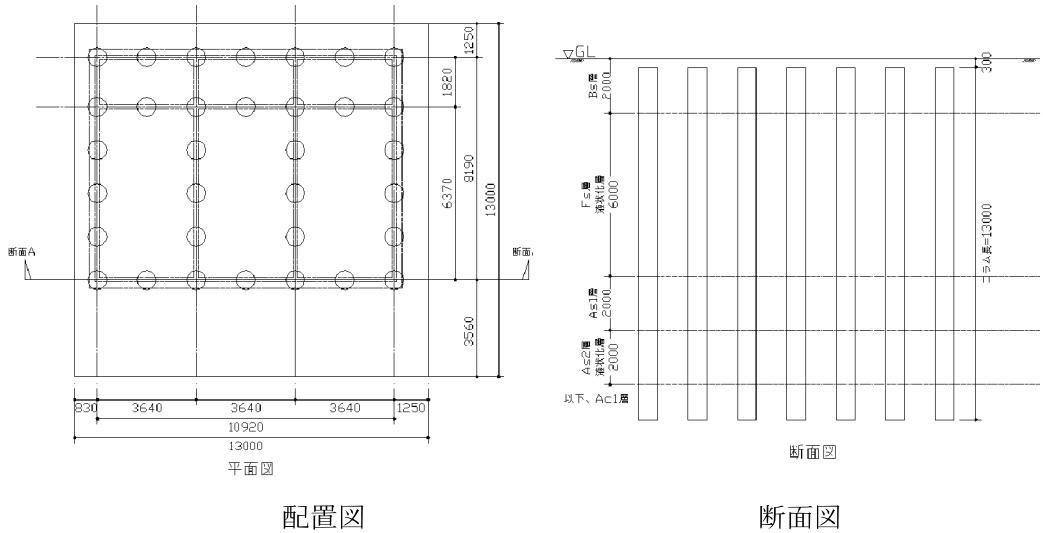


図 2.2.2.1 柱状改良体の配置及び断面図

### c) 短期許容支持力に関する検討

柱状改良を用いた場合の短期許容支持力に関する検討においては、鉛直方向に対する改良体の短期許容支持力が設計荷重以上であること及び改良体の短期許容曲げモーメントが水平荷重により改良体に発生する曲げモーメント以上であることの確認を行う。

#### イ) 鉛直荷重に対する検討

鉛直支持力の算定にあたっては、「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針（一般財団法人日本建築センター）」に従い、改良体の短期許容支持力が設計荷重を上回ることを確認する。なお、FL値の判定の結果、Fs層及びAs2層のFL値は1.0未満となるため、改良体の周面摩擦抵抗力は考慮しないこととした。

#### 【地盤から決まる改良体の短期許容支持力】

改良体断面積	: $A_p = 0.7^2 \times \pi / 4 = 0.384 \text{m}^2$
改良体先端の粘着力	: $C = 56.0 \text{ kN/m}^2 \quad (C = q_u / 2 = 113.9 / 2 = 56.0)$
改良体 1 本の先端支持力	: $R_a = 6C \cdot A_p = 129 \text{ kN/本}$
	$R_a = 2/3 \times 129 = 86 \text{ kN/本}$
改良体本数	: $n = 33 \text{ 本}$
改良体の短期許容支持力	: $R_a \cdot n = 86 \times 33 = 2,838 \text{ kN}$
建物総重量	: $W = 801.53 \text{ kN}$
判定	: $R_a \cdot n > W$

また、改良体の短期許容圧縮応力度から決まる鉛直方向の短期許容支持力は設計荷重以上である。

#### 【改良体の短期許容圧縮応力度から決まる短期許容支持力】

改良体断面積	: $A_p = 0.7^2 \times \pi / 4 = 0.384 \text{m}^2$
設計基準強度	: $F_c = 600 \text{kN/m}^2$
許容圧縮応力度	: $f_c = F_c \times 2/3 = 400 \text{kN/m}^2$
改良体の本数	: $n = 33$ 本
改良体の短期許容支持力	: $f_c \cdot A_p \cdot n = 400 \times 0.384 \times 33 = 5,068 \text{kN}$
建物総重量	: $\Sigma W = 801.53 \text{kN}$
判定	: $f_c \cdot A_p \cdot n > \Sigma W$

以上の結果より、柱状改良体の鉛直方向における短期許容支持力は設計荷重以上である。

#### ロ) 水平荷重に対する検討

改良体の水平力に対する検討は、「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」に従い、杭体に発生する曲げ及びせん断応力度が短期許容応力度以下であることを確認を行う。

#### 【曲げ応力度の検討】

設計基準強度	: $F_c = 600 \text{kN/m}^2$
断面 2 次モーメント	: $I_p = 0.012 \text{m}^4, I_p = (\pi \cdot D^4 / 64)$
改良体の直径	: $D = 700 \text{mm}$
短期許容圧縮応力度	: $f_c = F_c \times 2/3 = 400 \text{kN/m}^2$
短期許容引張応力度	: $f_t = -0.2 \cdot f_c = -80 \text{kN/m}^2$
発生曲げモーメント	: $M_d = (Q/2 \beta) \cdot R_{Mmax} = 5.0/(2 \times 0.50) \times 0.645 = 3.2 \text{kN} \cdot \text{m}$ $Q = 164.28 \text{kN} / 33 \text{set} = 5.0 \text{kN/本} (\text{Co}=0.3)$ $\beta = 0.50 \text{m}^{-1}, R_{Mmax} = 0.645$
曲げによる縁応力度	: $\sigma = (\Sigma W/n) / A_p \pm M_d / (2 \cdot I_p / b)$ $= (801.53/33) / 0.384 \pm 3.2 / (2 \times 0.012 / 0.7)$ $\sigma_{\text{max}} = 157(\text{kN/m}^2) < f_c = 400 \text{kN/m}^2$ $\sigma_{\text{min}} = -30(\text{kN/m}^2) < f_t = -80 \text{kN/m}^2$

### 【せん断応力度の検討】

$$\begin{aligned}\text{短期許容せん断応力度} &: F_{\tau} = 0.3F_c + Q/A_p \cdot \tan 30 = 188 \text{ kN/m}^2 \\ \text{改良体のせん断応力度} &: \sigma_s = 4/3 \cdot (Q/A_p) \\ &= 4/3 \times (5/0.384) \\ &= 156 \text{ kN/m}^2 < 188 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

以上の結果より、杭体に発生する曲げ及びせん断応力度は、短期許容応力度以下である。

### 2.2.3 浮き基礎工法

浮き基礎工法の場合においては、地盤の液状化の判定、パンチング破壊に対する抵抗力の有無の判定を行った。図 2.2.3.1 に浮き基礎における力の釣り合いの概念図を示す。

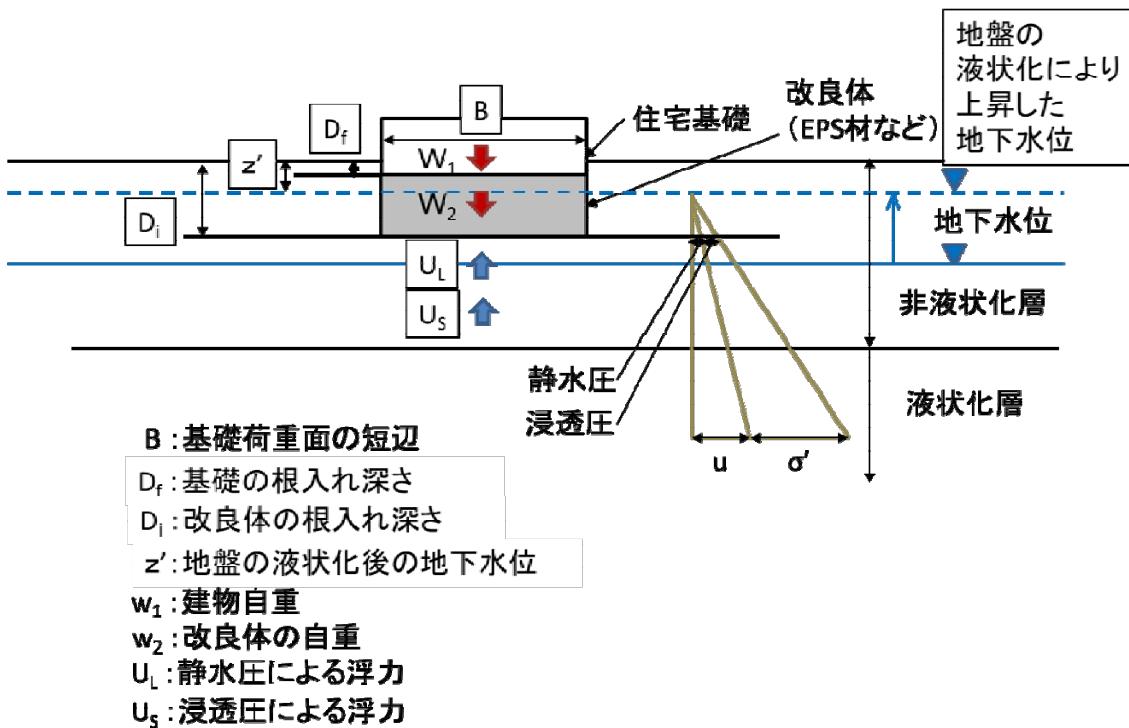


図 2.2.3.1 浮き基礎における力の釣り合いの概念図

#### a) 検討条件

検討した適用条等を表 2.2.3.1 に示す。

表 2.2.3.1 浮き基礎工法における検討条件

一体対策の有無	<input type="checkbox"/> 有り (地下水位低下・格子状改良) · <input checked="" type="checkbox"/> 無し				
入力地震動	<input checked="" type="checkbox"/> L1相当 · <input type="checkbox"/> L2				
建物条件	<input type="checkbox"/> 既存住宅の有無				
施工条件	<table border="1"> <tr> <td>施工単位</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> 1戸 · <input checked="" type="checkbox"/> 4戸 · <input checked="" type="checkbox"/> 20戸 (1街区) · <input checked="" type="checkbox"/> 100戸 (5街区)</td> </tr> <tr> <td>特記事項</td> <td>本工法の適用対象は、既存住宅が無い場合とする。 施工スペースは、1戸の敷地内 (13m × 13m) で可能であり、施工単位の増加による施工効率、施工単価への影響はない。</td> </tr> </table>	施工単位	<input checked="" type="checkbox"/> 1戸 · <input checked="" type="checkbox"/> 4戸 · <input checked="" type="checkbox"/> 20戸 (1街区) · <input checked="" type="checkbox"/> 100戸 (5街区)	特記事項	本工法の適用対象は、既存住宅が無い場合とする。 施工スペースは、1戸の敷地内 (13m × 13m) で可能であり、施工単位の増加による施工効率、施工単価への影響はない。
施工単位	<input checked="" type="checkbox"/> 1戸 · <input checked="" type="checkbox"/> 4戸 · <input checked="" type="checkbox"/> 20戸 (1街区) · <input checked="" type="checkbox"/> 100戸 (5街区)				
特記事項	本工法の適用対象は、既存住宅が無い場合とする。 施工スペースは、1戸の敷地内 (13m × 13m) で可能であり、施工単位の増加による施工効率、施工単価への影響はない。				

b) 対策仕様

a) の適用条件を考慮して設定した本工法の対策仕様を表 2.2.3.2 に示す。

表 2.2.3.2 浮き基礎の対策仕様

項目	対策仕様
改良範囲	8m × 11m (基礎下全面)
改良深さ	GL-0.4m
改良体の 単位体積重量	0.3kN/m <sup>3</sup> (EPS 材の場合) 10kN/m <sup>3</sup> (軽量ソイルセメントの場合)

c) 原地盤の許容応力度に関する検討

イ) FL 値の算定

FL 値の算定は、「建築基礎構造設計指針」((社) 日本建築学会) に従った。なお、FL 値が 1.0 を上回る場合においては、過剰間隙水圧比の影響を考慮した地盤の単位体積重量についても合わせて算定した。これらの算定結果を表 2.2.3.3 に示す。

表 2.2.3.3 原地盤における FL 値等

深度	N値	土質種類	$\gamma$	$\gamma'1'$	F <sub>c</sub>	u	$\sigma'z$	$\sigma z$	r <sub>d</sub>	N <sub>a</sub>	$\Delta N_f$	N <sub>1</sub>	C <sub>N</sub>	R	L	F <sub>L</sub>	r <sub>u</sub>	$\gamma'1''$	地下水位
0	—	—	0	0	—	0	0.0	0.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	6	B	17.7	—	18.0	0.0	17.7	17.7	0.99	21.7	7.6	14.1	2.4	0.25	0.13	—	—	—	↓ GL-1.0m
2	6	B	17.7	7.7	18.0	9.8	25.5	35.3	0.97	19.4	7.6	11.8	2.0	0.22	0.18	1.24	0.22	6.0	
3	4	Fs	17.7	7.7	22.0	19.6	33.4	53.0	0.96	15.1	8.2	6.9	1.7	0.17	0.20	0.86	—	—	
4	4	Fs	17.7	7.7	22.0	29.4	41.2	70.6	0.94	14.4	8.2	6.2	1.5	0.16	0.21	0.77	—	—	
5	4	Fs	17.7	7.7	22.0	39.2	49.1	88.3	0.93	13.9	8.2	5.7	1.4	0.16	0.22	0.73	—	—	
6	4	Fs	17.7	7.7	22.0	49.0	56.9	105.9	0.91	13.4	8.2	5.2	1.3	0.15	0.22	0.70	—	—	
7	4	Fs	17.7	7.7	22.0	58.8	64.8	123.6	0.90	13.1	8.2	4.9	1.2	0.15	0.22	0.68	—	—	
8	4	Fs	17.7	7.7	22.0	68.6	72.6	141.2	0.88	12.8	8.2	4.6	1.2	0.15	0.22	0.67	—	—	
9	15	As1	17.7	7.7	21.9	78.4	80.5	158.9	0.87	24.7	8.2	16.6	1.1	0.30	0.22	1.34	0.13	6.7	
10	15	As1	17.7	7.7	21.9	88.2	88.3	176.5	0.85	24.0	8.2	15.8	1.1	0.29	0.22	1.29	0.17	6.4	
11	7	As2	16.7	6.7	31.0	98.0	95.2	193.2	0.84	16.2	9.1	7.1	1.0	0.18	0.22	0.82	—	—	
12	7	As2	16.7	6.7	31.0	107.8	102.1	209.9	0.82	16.0	9.1	6.9	1.0	0.18	0.22	0.81	—	—	
13	2	Ac1	14.7	4.7	93.6	117.6	107.0	224.6	0.81	17.3	15.4	1.9	1.0	0.19	0.22	—	—	—	
14	2	Ac1	14.7	4.7	93.6	127.4	111.9	239.3	0.79	17.2	15.4	1.9	0.9	0.19	0.22	—	—	—	
15	2	Ac1	14.7	4.7	93.6	137.2	116.8	254.0	0.78	17.2	15.4	1.8	0.9	0.19	0.22	—	—	—	
16	2	Ac1	14.7	4.7	93.6	147.0	121.7	268.7	0.76	17.2	15.4	1.8	0.9	0.19	0.22	—	—	—	
17	2	Ac1	14.7	4.7	93.6	156.8	126.6	283.4	0.75	17.1	15.4	1.8	0.9	0.19	0.22	—	—	—	
18	2	Ac1	14.7	4.7	93.6	166.6	131.5	298.1	0.73	17.1	15.4	1.7	0.9	0.19	0.22	—	—	—	
19	2	Ac1	14.7	4.7	93.6	176.4	136.5	312.9	0.72	17.1	15.4	1.7	0.8	0.19	0.21	—	—	—	
20	2	Ac1	14.7	4.7	93.6	186.2	141.4	327.6	0.70	17.0	15.4	1.7	0.8	0.19	0.21	—	—	—	

ロ) 地盤の許容応力度

前出の 2.2 式(p18)を用いて地盤の短期許容応力度を算定した。算定結果を表 2.2.3.4 に示す。

なお、改良体（EPS 材）を設置することにより置き換えられる地盤と EPS 材との重量の差分を鉛直荷重から差し引いた。この結果、短期の許容応力度が接地圧以上であることを確認した。

$$\text{EPS 材の体積} : V_{\text{eps}} = (D_i - z') \times B \times L = (0.6 - 0.12) \times 8.49 \times 11.22 = 45.7 \text{m}^3$$

$$\text{EPS 材の単位体積重量} : \gamma_{\text{eps}} = 0.3 \text{kN/m}^3$$

$$\text{地盤の単位体積重量} : \gamma = 17.7 \text{kN/m}^3$$

$$\text{置換により差し引かれる重量} : \Delta W = V_{\text{eps}} \times (\gamma - \gamma_{\text{eps}}) = 795.59 \text{kN}$$

$$\text{鉛直荷重} : W' = W - \Delta W = 801.53 - 795.59 = 5.94 \text{kN}$$

表 2.2.3.4 地盤の短期許容応力度算定結果

基礎幅	基礎長さ	鉛直荷重	長期接地圧	EPSの根入れ深さ	基礎底面の形状係数	基礎下の非液状化層の厚さ	地盤の単位体積重量				N値	土質定数	支持力係数			基礎幅補正係数	短期許容応力度			
							液状化層	非液状化層	基礎下	基礎上			c	φ	Nc	Nγ	Nq	η	qa	判定(>W')
B	L	W'	w_L	Di	α	β	Z	γ_1''	γ_1''	γ_1	γ_2									
m	m	kN	kN/m <sup>2</sup>	m			m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>		°						kN/m <sup>2</sup>	
8.5	11.2	5.94	0.1	0.60	1.2	0.3	1.40	0	6.0	1.0	17.7	6	0	21.0	15.8	3.4	7.1	0.49	52.9	OK

#### d ) パンチング破壊に対する抵抗力

基礎荷重面下部に液状化のある地盤があるためパンチング破壊に対する検討を行った。検討結果を表 2.2.3.5 に示す。

表 2.2.3.5 パンチング破壊に対する検討結果

設計用基礎幅	基礎長さ	鉛直荷重	EPSの根入れ深さ	基礎下の非液状化層の厚さ	単位体積重量	N値	土質定数	静止土圧係数	パンチング破壊面上の摩擦抵抗	判定		
B	L	W'	Di	z	γ_1''		c	φ	Ko	Rf	Ra	(>W')
m	m	kN	m	m	kN/m <sup>3</sup>			°		kN	kN	
8.5	11.2	5.94	0.60	1.40	6.0	6	0	21.0	0.50	44	30	OK

パンチング破壊に対する検討の結果、パンチング破壊面上の摩擦抵抗力は鉛直荷重を上回る。

e) パンチング破壊する場合における想定沈下量（参考）

地盤の液状化によって地下水位が上昇し、地下水位面が建物基礎底面（GL-0.60m）よりも高くなると基礎底面に浮力が作用する。また、パンチング破壊する場合には、建物が沈下することにより建物に作用する浮力が上昇する。この場合に作用する浮力は、静水圧による浮力と液状化層からの浸透力による浮力がある。

イ) 液状化により上昇する地下水位

地盤の液状化判定の結果、GL-3.0m～8.0m の Fs 層及び GL-11.0m～12.0m の As2 層で FL 値が 1.0 を下回った。また、当該層における地盤変形量の合計  $\Delta D_{cy}$  は、12.8cm であった。

不飽和層の飽和度 Sr を 80% と仮定すると、下式により求められる地下水位上昇量  $\Delta Z$  は、64cm となった。

$$\Delta Z = \frac{1}{1 - Sr} \cdot D_{cy}$$

よって、液状化による地下水位上昇後の地下水位を GL-0.36m とする。

ロ) 静水圧による浮力の算定

基礎底面に作用する静水圧による浮力を、2.3.1 式により算定した。

$$U_L = (D_i - Z') \times B \times L \times \gamma_w \quad \cdots 2.3.1 \text{ 式}$$

$U_L$  : 静水圧による浮力 (kN)

$D_i$  : 改良体底面の深さ (m) (=0.40m とする。)

$Z'$  : 液状化後の地下水位面の深さ (m) (=0.36m)

B : 基礎荷重面の短辺 (m) (=8.5m)

L : 基礎荷重面の長辺 (m) (=11.2m)

$\gamma_w$  : 水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>) (=10.0)

2.3.1 式により算定の結果、 $U_L = 228.5$  (kN) となった。

ハ) 浸透力による浮力の算定

基礎底面に作用する浸透力による浮力を、2.3.2 式により算定した。

$$U_s = j \times B \times L \quad \cdots 2.3.2 \text{ 式}$$

$$j = i \times \gamma_w \times (D_i - z')$$

$$i = -\frac{\Delta h}{\Delta S}$$

j : 透水圧力 (kN/m<sup>2</sup>)

i : 動水勾配

— Δh : 損失水頭 (GL-3.0m (液状化層) と GL-0.4m (改良体底面) との全水頭差 (m))

$$-\Delta h = h_{3.0} - h_{0.4}$$

$h_{3.0}$  : GL-3.0m (液状化層) の全水頭(m)

$$h_{3.0} = z_{3.0} + u_{3.0} / \gamma_w$$

$z_{3.0}$  : GL-3.0m (液状化層) の位置水頭(m) (=2.64=3.0-0.36)

$u_{3.0}$  : GL-3.0m (液状化層) の圧力 (kN/m<sup>2</sup>) (=33.4 (表 2.2.3.3 より))

$h_{0.4}$  : GL-0.4m (改良体底面) の全水頭(m)

$$h_{0.4} = z_{0.4} + u_{0.4} / \gamma_w$$

$z_{0.4}$  : GL-0.4m (改良体底面) の位置水頭(m) (=0.04=0.4-0.36)

$u_{0.4}$  : GL-0.4m (改良体底面) の圧力 (kN/m<sup>2</sup>) (=0.0)

ΔS : 動水距離 (m) (=2.6=3.0-0.4)

2.3.2 式により算定の結果、改良体底面 (GL-0.40m) における  $U_s=86.2$  (kN) となつた。

ここで、

$W_1$  : 建物重量 (kN) (=801.53)

$W_2$  : 改良部分の重量 (kN)

$$W_2 = (D_i - D_f) \times B \times L \times \gamma_i (=8.0)$$

$D_f$  : 基礎の根入れ深さ (m) (=0.12)

$\gamma_i$  : 改良体の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>) (=0.30 … EPS 材の場合)

$\Sigma W$  : 建物側重量 (kN) (=W<sub>1</sub>+W<sub>2</sub>=809.5)

$\Sigma U$  : 全浮力 (kN) (=U<sub>L</sub>+U<sub>S</sub>=124.3)

$W > \Sigma U$  より、建物は沈下する。

## ニ) 建物沈下量の算定

パンチング破壊が発生した場合、建物は沈下挙動を示すが、沈下に伴い建物基礎が受ける浮力は増加するため、ある沈下量が生じると浮力と建物側の重量が釣合うことになる。なお、建物に沈下もしくは浮上りが生じる際には、建物及び改良体と地盤との間に摩擦力が作用するが、改良体設置に伴い建物周囲の地盤には埋め戻し土が用いられることが多く、この場合、発揮される摩擦力は荷重に対して十分に小さいことが想定されるため、ここでの検討ではこれを考慮していない。

- ・建物重量と釣り合うまでに必要な浮力 :  $\Delta U = \Sigma W - \Sigma U = 685.3 \text{ (kN)}$   
 $= \Delta U_L + \Delta U_S$

- ・ $\Delta S$  沈下時における静水圧による浮力 :  $\Delta U_L$

$$\Delta U_L = \gamma_w \times (D_i - Z' + \Delta S) \times B \times L$$

- ・ $\Delta S$  沈下時における透水圧による浮力 :  $\Delta U_S$

$$\Delta U_S = i \times \gamma_w \times (D_i - Z' + \Delta S) \times B \times L$$

- ・建物重量と浮力が釣り合う場合の建物沈下量 :  $\Delta S = 0.022 \text{ (m)}$

以上の結果、建物荷重と浮力が釣り合うまでに生じる建物の沈下量  $\Delta S$  は、22mm となつた。

また、参考として改良体を設置しない（原地盤の）場合及び、入力地震動を L2 とした場合の沈下量を算定した結果を表 2.2.3.6 に示す。

表 2.2.3.5 建物側荷重と浮力の釣り合い時における建物の沈下量算定例

		浮き基礎改良体の設置	
		なし（原地盤）	あり
入力地震動	L1 相当 (M=9.0, $\alpha_{max}=160$ )	498mm	22mm
	L2 (M=7.3, $\alpha_{max}=540$ )	183mm	-95mm

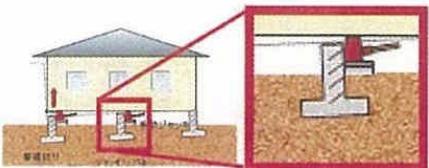
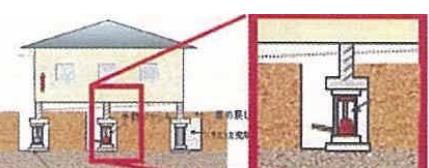
## 2. 3 復旧工法（発生した沈下や傾斜を修正するための工法）

発生した沈下や傾斜を修正する工法は、一般的には個別の被災時に適用されるものであるが、「新築時または建替え時に予め沈下・傾斜修正のためのシステムを建物側に組み込んでおく」ことにより「複数回の被災に対して修復作業を遅滞なく、容易に行えるようにする」という点で、広義の液状化対策のひとつとして採用可能である。

液状化による建物（地盤を含む）沈下・傾斜等は、建物側に大きな損傷を与えるなくても、その沈下・傾斜等は所有者の生活に支障があることが多くの調査結果等で紹介されている。

沈下量に応じた「沈下・傾斜修正方法」のうち、新築時あるいは既存建物基礎（基礎梁）補強にともない「沈下・傾斜修正システムを組み込む」方法の代表例を表 2.3.1 に示す。表中の赤文字部が従来型の方法（主に個別の被災時に適用されている方法）からの改良点である（詳細は別紙 1～3 を参照）。

表 2.3.1 沈下・傾斜修正システムを組み込む方法の改良点の概要

方法	工法概要図および写真	概要	特徴
土台修正 ヒンジ付 アンカー ボルトの 先組工法 【別紙 1】	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来型の改良（赤線枠内改良対象）</li> </ul>  <p>*伸長可能なヒンジ機能付アンカーボルト</p>	基礎と土台の間にジャッキを挿入し土台から修正 アンカーボルトの伸長を容易にする工夫を付加	<ul style="list-style-type: none"> <li>沈下量 100mm 程度以下</li> <li>内外装材の撤去復旧費大</li> <li>地下水位が高くても対応可能</li> </ul>
ジャッキ アップ用 反力版 先組工法 【別紙 2】	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来型の改良（赤線枠内改良対象）</li> </ul>  <p>*ジャッキアップシステムと反力版を先組</p>	基礎から建物をジャッキアップするための耐圧版とジャッキセットシステムを工夫して付加する	<ul style="list-style-type: none"> <li>沈下量 100～300mm 程度以下</li> <li>内外装材の撤去復旧費小（比較的）</li> <li>地下水位が高くても対応可能</li> </ul>
新築時 システム 対応 【別紙 3】	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来型</li> </ul> 	新築時の対応として、修正システムを組み込む 基礎梁に沈下・傾斜修正用の梁あるいは補強を施しジャッキアップを容易にする	<ul style="list-style-type: none"> <li>沈下量毎に修正箇所を変更可能</li> <li>内外装材の撤去復旧費ほぼ無し</li> <li>地下水位の影響は無し</li> <li>沈下量大に対応した反力杭の配置</li> </ul>