

6-1 地域で取り組む地盤の液状化対策のための格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート

(出典：国土交通省 都市局国土技術政策総合研究所)

<http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/takuti/takuti.html> よりダウンロード可能

格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート

<入力条件>

- 各地区の地盤条件をドロップダウンリストから選択します。選択できる数は下記の通りです。該当する条件がこの範囲を超える場合は適用対象外となります。
- N値: 3.5, 10, 15
- 液状化層厚: 1.5, 10, 15, 20m
- 細粒分含有率 f_c : 0.10, 20, 30%
- 地下水位: 1.2m
- *N値は液状化層となる砂層のN値を選択します。
- *液状化層厚は地表からの砂層の厚さです。
- *細粒分含有率は地盤調査の結果に基づいて設定します。30%を超える場合は20%としてください。
- *地下水位は季節変動を考慮しない平均的な水位を選択します。2mより深い場合は2mとしてください。
- *地中壁のメニューでは地中壁の幅と隣接きの組み合わせをドロップダウンリストから選択します。例えば12×15とは幅12m、隣接15mのこと。地中壁があるという条件になります。対象面積が大きいものを優先してください。
- *地中壁の強度は0.75、1.0、1.5、3.0N/mm²の4種類から選択できます。
- *地中壁の強度は1.8N/mm²を標準とさせていただきます。
- *改築深さは液状化層厚と同じです。壁厚は85cmを想定しています。これは円形の改築深1mを一周ラップさせたながら壁状に改築する工法を想定したものです。

入力条件

項目	値
N値	5
液状化層厚	10 m
細粒分含有率 f_c	20 %
地下水位	1.2 m
マグニチュード	9
想定地震動加速度 a_m	200

液状化判定係数: $1.2 \times 1.5 = 1.8$ (1.0未満) N_c (mm)

計算位置

- FL値の計算位置は地中壁がある場合の、壁間の中央地点です。
- 無対策と対策後の液状化による沈下量が建築学基準で計算されます。
- 液状化による沈下量はFL値が0より小さい地域に対して計算されますが、住宅の重さは考慮されていません。
- この数値もFL値とともに工法の適用可否を判断する目安となります。

深度 (m)	無対策 (M=7.3)		地中壁a (M=9.0)		地中壁b (M=7.3)	
	無対策	対策後	無対策	対策後	無対策	対策後
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5
16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5
17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0

<計算結果>

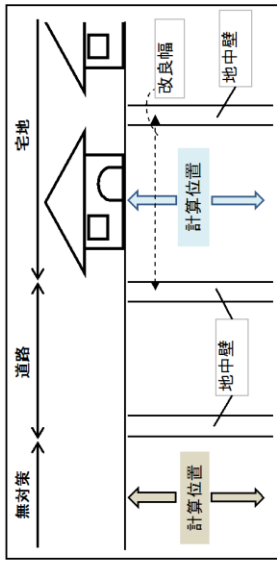
- 深さ/地表面からの深さ0.5mごとに液状化安全率FL値を計算します。
- FL値が0より小さい場合は「液状化」と判断され空欄となります。
- 0より大きい場合は「液状化しない」と判断され空欄となります。
- 計算結果は地盤深さの2つに対して行われます。
- 対策効果の確認のため、無対策の場合の計算結果も表示されます。
- 格子状地中壁が地盤により覆われる可能性がある場合は「検討対象外」である旨が表示されます。この表示が出た場合は地盤の強度を減らしてください。

格子状地中壁工法の効果の簡易評価シート

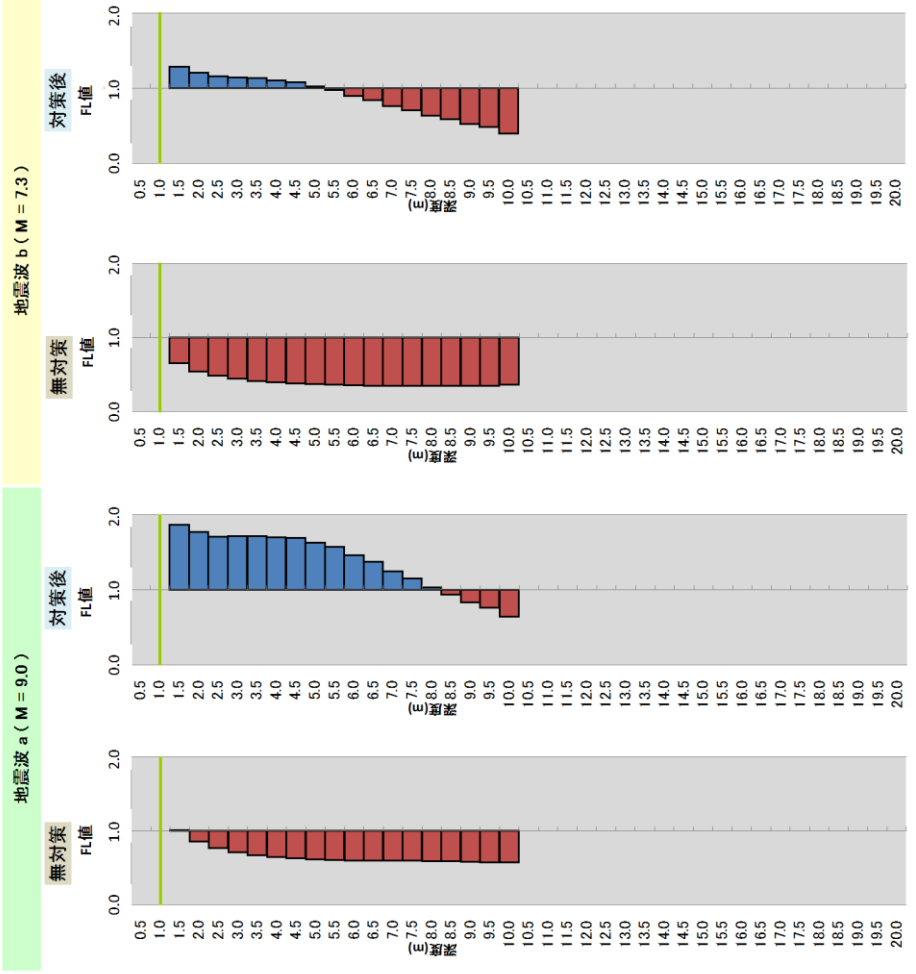
入力条件	
地盤	地中壁
N値	5
液状化層厚	10 m
細粒分含有率Fc	20 %
地下水位	1 m
改良間隔(幅×奥行)	12×15 m ²
強度	1.5(標準) N/mm ²

地震波	a	b
マクニチュード	9.0	7.3
想定地震加速度(gal)	200	350

液状化による沈下量Dey値 (cm)		
地震波 a (M=9.0)	地震波 b (M=7.3)	
無対策	無対策	無対策
14.3	2.9	17.9
		8.3



深度 (m)	土質	細粒分含有率 Fc (%)	地震波 a (M = 9.0)		地震波 b (M = 7.3)	
			無対策	対策後	無対策	対策後
0.5	表土					
1.0	砂質土	20.0	液状化 安全率 FL値 (赤)	液状化 安全率 FL値 (赤)	液状化 安全率 FL値 (赤)	液状化 安全率 FL値 (赤)
1.5	砂質土	20.0	1.01	1.86	0.65	1.28
2.0	砂質土	20.0	0.85	1.77	0.55	1.21
2.5	砂質土	20.0	0.76	1.71	0.48	1.16
3.0	砂質土	20.0	0.71	1.71	0.44	1.14
3.5	砂質土	20.0	0.67	1.72	0.42	1.13
4.0	砂質土	20.0	0.64	1.70	0.40	1.11
4.5	砂質土	20.0	0.62	1.69	0.38	1.08
5.0	砂質土	20.0	0.61	1.63	0.37	1.02
5.5	砂質土	20.0	0.60	1.57	0.36	0.97
6.0	砂質土	20.0	0.60	1.46	0.36	0.90
6.5	砂質土	20.0	0.59	1.38	0.35	0.84
7.0	砂質土	20.0	0.59	1.25	0.35	0.76
7.5	砂質土	20.0	0.59	1.15	0.35	0.70
8.0	砂質土	20.0	0.59	1.03	0.35	0.64
8.5	砂質土	20.0	0.58	0.94	0.35	0.58
9.0	砂質土	20.0	0.58	0.83	0.35	0.53
9.5	砂質土	20.0	0.57	0.76	0.35	0.48
10.0	砂質土	20.0	0.57	0.64	0.36	0.40
10.5	砂質土					
11.0	砂質土					
11.5	砂質土					
12.0	砂質土					
12.5	砂質土					
13.0	砂質土					
13.5	砂質土					
14.0	砂質土					
14.5	砂質土					
15.0	砂質土					
15.5	砂質土					
16.0	砂質土					
16.5	砂質土					
17.0	砂質土					
17.5	砂質土					
18.0	砂質土					
18.5	砂質土					
19.0	砂質土					
19.5	砂質土					
20.0	砂質土					



・ここでの解析計算は、N値を深さによらず一定としています。このため、実地震では深くなる程N値が大きくなる傾向があります。また、地中壁格子の幅と奥行きの比が1:1.5を超えるケースについては、地震波の入力も縦横の方向で行い、厳しい方の値を採用していますが、幅・奥行き比が大きいケースの検討に当たっては、幅・奥行き比が大きいケースの検討に当たっては、幅・奥行き比が大きいケースの検討を要します。

表の最上段は
 ・無対策の場合の地震時沈下量
 です。

・このメニューから地震波、地中壁強度、細粒分含有率Fc、地下水位の条件を選択します。
 ・選択できる数値は下記の通りです。
 地震波: a,b
 地中壁強度: 0.75、1.0、1.5、3.0N/mm²
 細粒分含有率Fc: 0.10, 20, 30%
 地下水位: 1.2m
 ・地震波aは、東日本大震災の夢の島観測地震波(地震のマグニチュード9.0)を用いて、地表加速度200gal相当の入力としています。
 これは、震度5程度の揺れが長時間継続するケースです。
 ・地震波bは中央防災会議が想定している東京湾北部地震波(地震のマグニチュード7.3、地表加速度350gal相当)です。
 これは、いわゆる直下型地震を想定したものです。

・液状化による沈下量の値は、日本建築学会基準による液状化の程度の区分に基づいて色で表示しました。
 液状化による沈下量の目安を10cmとした場合、
 白～水色～緑色までが「効果あり」、
 黄色～橙～赤は「効果が小さい」と判断できます。

沈下量(cm)	液状化の程度
0	なし
0 - 5	軽微
5 - 10	小
10 - 20	中
20 - 40	大
40 -	甚大

沈下量(cm)	液状化の程度																		
	0	なし	0-5	軽微	5-10	小	10-20	中	20-40	大	40-	甚大							
	N値																		
	液状化の程度																		
無対策	6×10	11.6	29.4	48.3	64.4	7.0	19.7	35.4	51.1	0.9	5.7	13.5	21.9	0.0	0.0	0.0	3.0	6.0	0.4
対策後	6×10	1.9	2.0	2.3	1.9	1.9	2.8	3.2	3.2	0.3	0.9	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	
	8×10	2.4	2.9	4.2	2.0	1.5	2.7	3.5	3.2	0.3	0.9	1.7	1.7	0.0	0.0	0.4	0.7	0.7	
	10×10	3.6	4.0	4.6	4.1	2.3	3.1	4.5	3.6	0.3	1.0	1.9	2.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.0	
	12×10	6.4	5.2	5.9	5.4	3.6	3.9	5.6	4.7	0.3	1.4	2.4	2.6	0.0	0.0	0.7	1.0	1.1	
	14×10	8.0	6.4	7.1	5.9	4.4	4.8	6.1	5.7	0.6	1.7	2.9	3.2	0.0	0.0	1.0	1.1	1.4	
	16×10	9.7	8.0	9.9	9.7	5.4	6.0	8.5	7.8	0.6	1.9	3.5	3.8	0.0	0.0	1.0	1.4	1.7	
	20×10	10.6	18.5	38.9	51.2	6.2	10.0	23.0	34.1	0.9	2.8	4.7	7.9	0.0	0.0	0.3	1.3	1.7	
改良間隔 (幅×奥行) (m ²)	6×5	2.2	3.7	7.6	3.8	1.4	2.8	6.0	3.3	0.3	0.9	1.7	1.7	0.0	0.0	0.4	0.4		
	8×5	3.1	4.1	6.5	4.2	2.0	3.1	5.9	4.3	0.3	1.0	2.1	2.2	0.0	0.0	0.6	0.7		
	10×5	5.0	5.2	7.1	5.6	2.8	3.9	6.4	5.4	0.3	1.3	2.7	2.8	0.0	0.0	0.6	1.0		
	12×5	7.7	6.5	8.3	7.1	4.2	4.9	7.5	6.5	0.3	1.7	3.0	3.2	0.0	0.0	0.9	1.0		
	14×5	8.9	7.8	9.5	8.6	4.9	5.7	8.0	7.0	0.6	1.8	3.4	3.8	0.0	0.0	0.9	1.3		
	16×5	10.1	10.2	11.5	10.2	5.6	7.4	9.8	9.0	0.6	2.2	4.0	4.4	0.0	0.0	1.0	1.4		
	20×5	10.6	19.5	28.0	15.8	6.2	12.0	14.2	12.1	0.9	3.1	5.0	5.4	0.0	0.0	1.2	1.6		
40×30	15×30	10.1	20.3	36.0	42.1	5.6	12.0	22.7	26.9	0.6	2.9	5.7	6.7	0.0	0.0	1.2	1.6		
	20×30	11.0	21.3	29.9	24.0	6.5	13.7	20.8	18.1	0.9	3.6	6.6	7.7	0.0	0.0	1.5	2.3		
	30×30	11.4	26.1	36.8	36.7	7.0	16.8	26.0	23.9	1.0	5.0	9.0	9.9	0.0	0.0	1.8	2.6		
	40×30	11.5	28.0	44.6	57.2	7.1	19.2	30.4	40.5	1.0	5.6	11.2	14.3	0.0	0.0	2.4	3.3		

表の数字は
 ・格子状地中壁実施後の地震時沈下量です。
 ・改良間隔ごとの沈下量を示しています。

沈下量(cm) 液状化の程度 0 なし 0-5 軽微 5-10 小 10-20 中 20-40 大 40- 甚大

地震波 a	地中壁強度 (N/mm ²) 1.5(基準)	細粒分含有 率Fc(%) 20	地下水位(m) 1	液状化の程度																							
				0			なし			0-5 軽微			5-10 小			10-20 中			20-40 大			40- 甚大					
				5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15	5	10	15						
N値				8.8	23.1	38.5	48.8	1.2	1.4	1.5	1.4	0.8	1.0	1.6	1.1	5.2	14.3	26.5	38.1	0.3	3.2	8.7	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0
液状化層厚(m)				1.2	1.9	2.2	1.4	0.8	1.5	2.3	1.6	0.8	1.5	2.3	1.6	0.8	1.5	2.3	1.6	0.0	0.4	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.3
無対策				2.3	2.2	3.0	2.1	1.5	2.0	2.6	2.2	1.5	2.0	2.6	2.2	0.0	0.4	1.2	1.0	0.0	0.4	1.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.3
				3.9	3.0	3.3	2.9	2.2	2.3	3.3	2.5	2.2	2.3	3.3	2.5	0.0	0.7	1.3	1.4	0.0	0.7	1.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.3
				5.0	3.7	4.1	3.2	2.7	2.9	4.0	3.2	2.7	2.9	4.0	3.2	0.0	0.7	1.7	1.8	0.0	0.7	1.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.5
				6.8	4.8	5.9	4.1	3.6	3.7	4.9	4.0	3.6	3.7	4.9	4.0	0.3	1.0	1.8	1.9	0.3	1.0	1.8	1.9	0.0	0.0	0.0	0.5
対策後				7.7	8.8	25.8	31.5	7.7	8.8	25.8	31.5	4.3	6.1	12.9	19.6	0.3	1.4	2.5	2.2	0.3	1.4	2.5	2.2	0.0	0.0	0.0	0.5
				1.2	2.0	2.8	1.4	0.8	1.4	2.3	1.6	0.8	1.4	2.3	1.6	0.0	0.4	0.8	0.6	0.0	0.4	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3
				1.7	2.6	3.1	2.1	1.1	2.0	3.0	2.2	1.1	2.0	3.0	2.2	0.0	0.4	1.2	0.9	0.0	0.4	1.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.3
改良間隔 (幅×奥行) (m ²)				2.6	3.0	4.0	2.9	1.6	2.2	3.7	2.5	1.6	2.2	3.7	2.5	0.0	0.7	1.3	1.3	0.0	0.7	1.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.3
				4.7	3.7	4.8	3.8	2.6	2.9	4.1	3.3	2.6	2.9	4.1	3.3	0.0	0.7	1.7	1.7	0.0	0.7	1.7	1.7	0.0	0.0	0.0	0.3
				5.8	4.6	5.2	4.8	2.9	3.5	4.8	4.0	2.9	3.5	4.8	4.0	0.0	1.0	2.0	2.1	0.0	1.0	2.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.5
				7.1	5.8	7.0	5.8	3.7	4.3	5.8	4.9	3.7	4.3	5.8	4.9	0.0	1.0	2.1	2.2	0.0	1.0	2.1	2.2	0.0	0.0	0.0	0.5
				7.7	11.8	12.3	7.4	4.3	7.2	7.9	6.3	4.3	7.2	7.9	6.3	0.3	1.6	2.8	2.6	0.3	1.6	2.8	2.6	0.0	0.0	0.0	0.5
				7.1	12.6	22.9	16.7	3.7	6.9	12.9	9.5	3.7	6.9	12.9	9.5	0.0	1.3	2.9	3.3	0.0	1.3	2.9	3.3	0.0	0.0	0.0	0.5
				8.1	14.4	14.8	13.1	4.5	8.7	11.4	10.4	4.5	8.7	11.4	10.4	0.3	1.7	3.7	4.0	0.3	1.7	3.7	4.0	0.0	0.0	0.0	0.8
				8.6	18.7	25.0	20.3	5.2	11.6	17.1	14.0	5.2	11.6	17.1	14.0	0.3	2.7	4.9	5.3	0.3	2.7	4.9	5.3	0.0	0.0	0.0	0.8
				8.8	21.3	33.3	39.9	5.2	13.1	21.4	27.4	5.2	13.1	21.4	27.4	0.3	3.1	6.6	7.8	0.3	3.1	6.6	7.8	0.0	0.0	0.0	1.0

6-2 2次元等価線形解析手法

格子状改良を含む地盤の地震応答解析は、再現性があり検討実績も多く改良壁による拘束効果をモデル化できる2次元等価線形解析が有効である。解析結果から地盤の液状化に対する安全率 (F_L 値) や地表変位量 (D_{cy} 値) を算出し液状化の有無を判断できる。

(1) 地盤と改良体の非線形特性

無対策地盤および改良地盤とも非線形性を考慮する。非線形特性は地層毎に不攪乱試料を採取し室内土質試験「土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験：地盤工学会基準 (JGS0543-2009)」より求めることを標準とするが、室内土質試験値が得られない場合については、以下の日本建築学会で紹介された定数¹⁾ (図-1) や、改良体については建築センター指針の値²⁾ (図-2、図-3) を用いることができる。

表-1 非線形特性

土質	G~ γ 、h~ γ 曲線
砂	日本建築学会の一般値 ¹⁾
粘土	日本建築学会の一般値 ¹⁾
改良体	建築センター指針 ²⁾

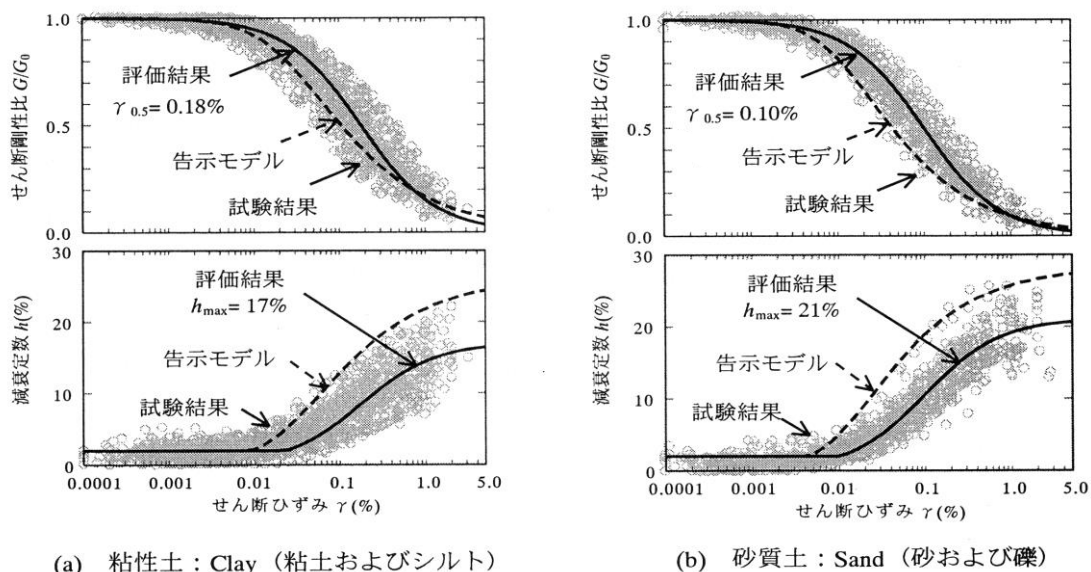


図-1 地盤の非線形特性¹⁾

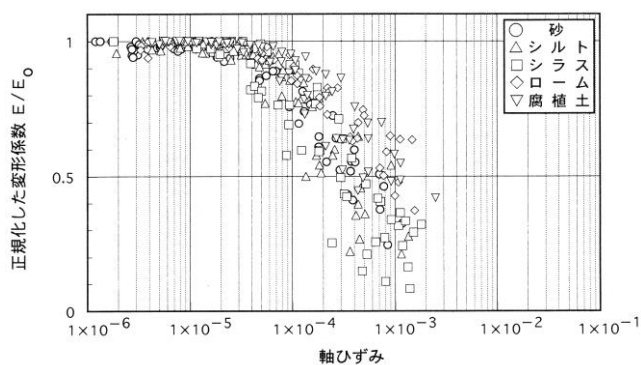


図-2 変形係数のひずみ依存性²⁾

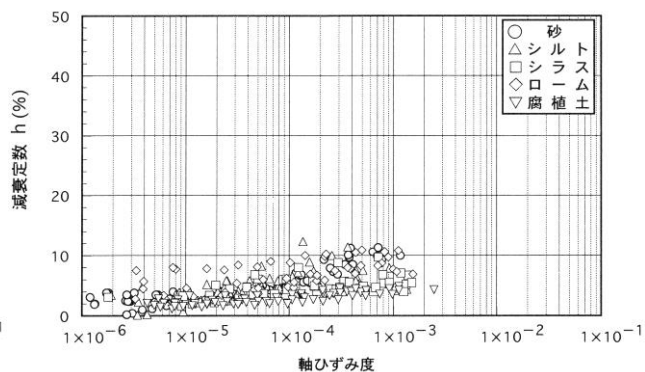


図-3 減衰定数のひずみ依存性²⁾

(2) 改良体の設計基準強度

格子状地中壁工法の施工は、機械攪拌式深層混合処理工法で施工されることが多い。しかし、既設住宅地の液状化対策に格子状地中壁工法を適用する場合、隣接する家屋間の狭い部分では、噴射攪拌式深層混合処理工法を用いる必要がある。機械攪拌式と噴射攪拌式で施工された改良体の剛性は、改良体の設計基準強度から設定される。噴射攪拌式深層混合処理工法で施工された改良体の強度については、機械攪拌式深層混合処理工法で施工した改良体と同程度の強度を発揮することができる。

したがって、改良体剛性は機械攪拌式深層混合処理工法の施工データから設定することとした。

図-4は、財団法人日本建築総合試験所で取得した「CDM-L工法-スラリー系機械攪拌式深層混合処理工法-(改定)」建築技術性能証明の技術資料に掲載されているもので、設計基準強度 F_c と現場平均強度より逆算した F_c の値の関係を示している。現場強度が全て設計基準強度 F_c より算出される必要強度を上回り、設計基準強度 F_c が500~3000(kN/m^2)の範囲にあることを示している。本解析においては改良体の設計基準強度をこの範囲で規定することとした。

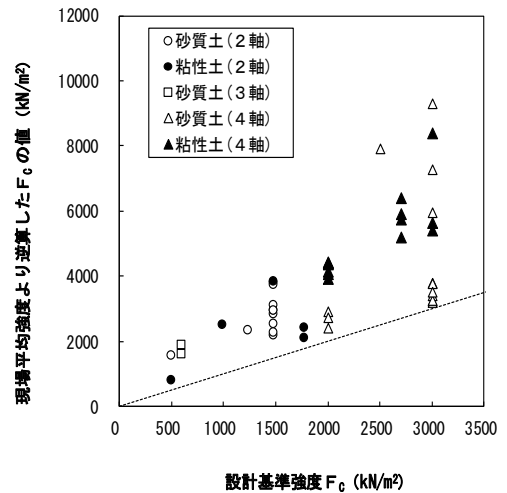


図-4 設計基準強度 F_c と現場平均強度より逆算した F_c の値の関係

◇改良体の初期せん断剛性 G_0

改良体の初期せん断剛性 G_0 は建築センター指針の考え方に従って設定する。

$$F_c = (1 - 1.3V_{quf}) \times quf$$

V_{quf} : quf の変動係数であり、施工実績が乏しい場合は0.45とする。

quf : 一軸強度の平均値

よって、

$$quf = F_c / (1 - 1.3 \times 0.45) = 2.4F_c$$

改良体のヤング係数 E_{50} , E_0 と一軸強度 q_u の間に次の相関が提案されている。

$$E_{50} = 130q_u \text{ (砂)}$$

$$E_{50} / E_0 = 0.2$$

また、ヤング係数とせん断剛性の関係は次の通りである。

$$E_0 = 2(1 + \nu)G_0$$

$$\nu = 0.26 \text{ (改良体)}$$

以上より、 $G_0 = E_0 / 2(1 + \nu) = 5E_{50} / 2(1 + \nu) = 258q_u$

$$G_0 = 258 \times 2.4F_c$$

改良体の F_c は機械攪拌式工法による格子状改良の実績が多い1.5 N/mm^2 を標準とし、0.75~3.0 N/mm^2 の範囲で表-2に示す値のように設定する。

表-2 改良強度と剛性の関係

強度 $F_c(\text{N/mm}^2)$	剛性 $G_0(\text{N/mm}^2)$
0.75	464
1.00	619
1.50	929
3.00	1857

(3) 等価線形解析法

等価線形解析とは、歪に依存するせん断剛性係数および減衰定数を定義しておき、計算の結果として得られる歪と、計算に用いられた物性値が適合するまで繰り返し計算を行う手法で、繰り返し計算の1ステップごとに線形解析を行うので、重ね合わせの原理に基づく複素応答解析法をそのまま利用できる。計算は図-5に概要を示すように以下の手順となる。

- ①初期の物性値としてせん断剛性 G_0 及び減衰定数 h_0 を定義する。
- ②応答解析を行い要素の有効ひずみ $e_{\gamma 1}$ を求める。ここに有効ひずみは図-6に示すように最大せん断ひずみ γ_{max} の時刻歴における最大値の65%として計算する。
- ③物性値のひずみ依存カーブより $e_{\gamma 1}$ に対する G_1 及び h_1 を求める。
- ④ G_0 と G_1 及び h_0 と h_1 の収束性をチェックし、収束している場合には解析を終了し、収束していない場合には G_1 、 h_1 を物性値として②、③、④を繰り返す。

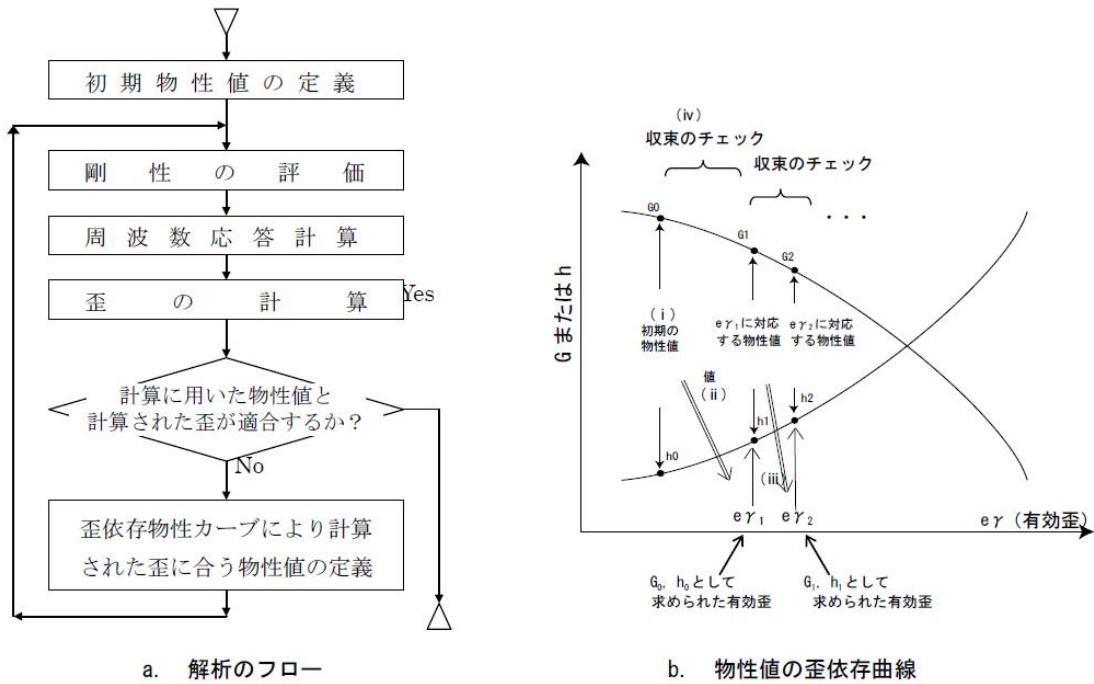


図-5 等価線形解析法の概念図

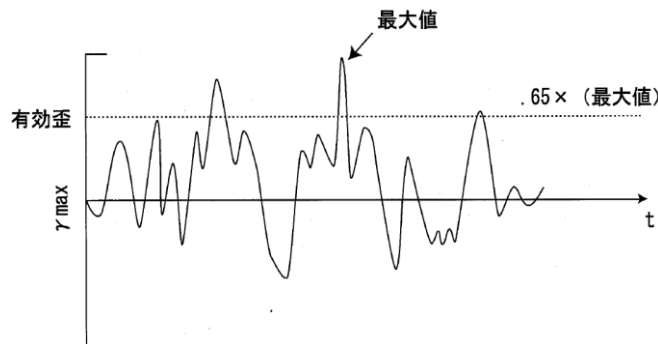


図-6 有効ひずみの算定概念図

(4) 解析結果に基づく液状化判定

工学的基盤から地震動を入力してFEMモデル全体の地震応答解析を行い、地盤の最大せん断応力を求め、その値を用いて液状化判定を行う。検討手順を以下に示す。

地震応答解析結果から、検討位置における最大せん断応力 τ_{xy} の深度分布を求める。ただし、格子壁近傍の浅い部分では地盤は水平方向だけでなく鉛直方向にも変位するため、最大せん断応力の向きは水平ではなく傾く。したがって、その向きに注意して最大せん断応力を求める必要がある。なお、地盤のせん断応力評価において、地震応答解析で得られる最大せん断応力 τ_{xy} を液状化判定の外力として用いる等価なせん断応力 τ_{eff} に換算する際の補正係数は地震のマグニチュード (M) を考慮した次式を用いる。

$$\gamma_n = 0.1(M-1) \quad (1)$$

したがって、M=9.0に対しては $\gamma_n=0.8$ 、M=7.3に対しては $\gamma_n=0.63$ となる。

以上より、等価なせん断応力比は次式で表される。

$$\tau_{eff} / \sigma'_z = \gamma_n \times \tau_{xy} / \sigma'_z \quad (2)$$

ここに、 σ'_z は検討深さにおける有効応力である。

一方、液状化強度については、格子状改良を実施しても格子内地盤の液状化強度は変化しないものとし、建築基礎構造設計指針に基づいて以下の通り算定する。

対応する深度の補正N値 (N_a) を、次式から求める。ただし、乱さない試料を採取して室内土質試験を行うと液状化強度比 (R_{L20}) が直接求まるので、このような試験を行うことが望ましい。

$$N_1 = C_N \cdot N \quad (3)$$

$$C_N = \sqrt{98 / \sigma'_z} \quad (4)$$

$$N_a = N_1 + \Delta N_f \quad (5)$$

ここに、 N_1 は換算N値、 C_N は拘束圧に関する換算係数、 ΔN_f は細粒土含有率FCに応じた補正N値増分で、図-8による。Nはトンビ法または自動落下法による実測N値とする。

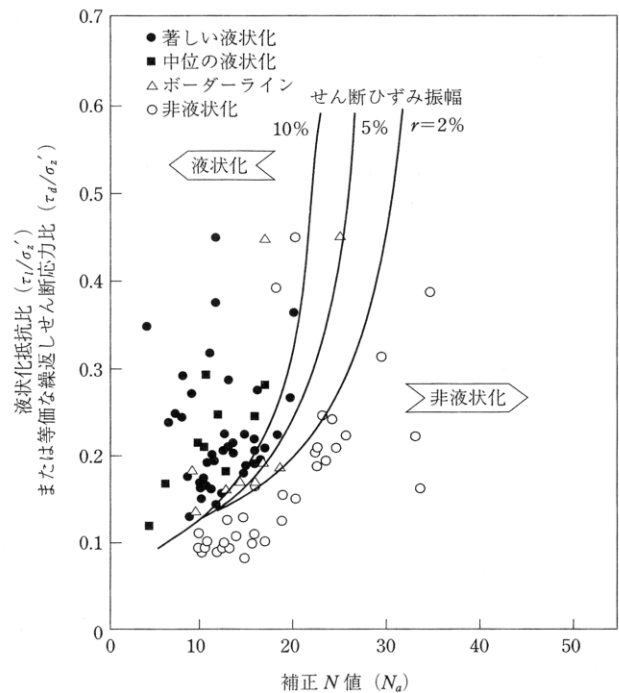


図-7 補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係³⁾

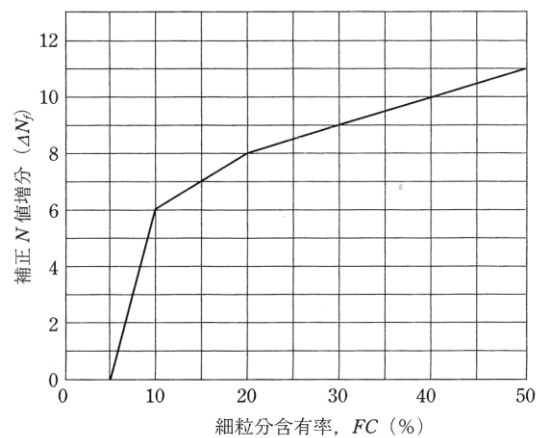


図-8 細粒分含有率とN値の補正係数³⁾

液状化強度比は τ/σ'_z と表されるので、液状化に対する安全率 F_L は下記の式で求められる。

$$F_L = (\tau_1/\sigma'_z) / (\tau_{eff}/\sigma'_z) \quad (6)$$

(5) 液状化による地表変位量 (D_{cy} 値) の算定

F_L 値が1.0未満となった地層について液状化による地表変位量 (D_{cy} 値) を算定する。建築基礎構造指針では、 $F_L < 1.0$ の層に対し図-9を用いて繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を求め、深さ方向に累積することによって地表変位量 (D_{cy} 値) を計算し、沈下量 S を求めたい場合、 γ_{cy} を体積ひずみ ε_v と読み換えればよい、とされている。

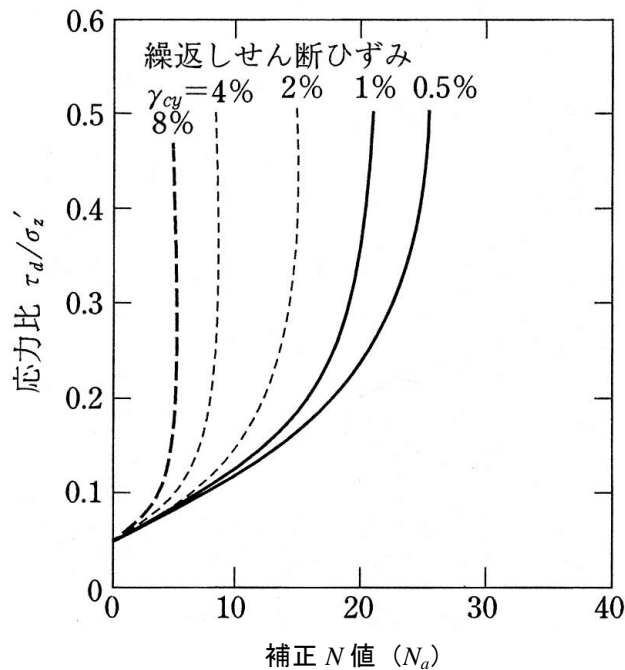


図-9 補正N値と繰返しせん断ひずみの関係³⁾

表-3 地表変位量 (D_{cy} 値) と液状化の程度の関係³⁾

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

<参考文献>

- 1) 日本建築学会：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計,2006.2.
- 2) 日本建築センター：改訂版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固着材を用いた深層・浅層混合処理工法—,pp.354～357,2004.4.
- 3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針,第4章,pp.61～72,2001.

6-3 阪神・淡路大震災を経験した格子状地盤改良による液状化対策を施した建築基礎の調査

(出典：鈴木， 齊藤， 木村， 細見(1995年)：格子状地盤改良による液状化対策を施した建築基礎の調査報告，基礎工，Vol. 23, No. 10)

(1)はじめに

神戸市内の港湾地区の埠頭に高層建築物が計画された。地盤は緩い砂質地盤であり、地震時に液状化が懸念された。このため、改良杭まわりの地盤を陸上深層混合処理工法(DCM-L工法)により格子状に改良する液状化対策を採用した。

このような地盤改良を施した建物基礎の、兵庫県南部地震後の状況を現地調査した²⁰⁾ので以下に報告する。

(2)基礎の設計

1)建物概要

この建物は地上14階、高さ60mの旅客船ターミナルを兼ねたホテルであり、幅約90m、長さ約260m、海底面から約12mの高さで造られた埠頭上に建設されている。

1月17日早朝の地震発生時において、建物躯体はほぼできており、内装・外構工事を進めているところであった。建物の配置を図-1に、全景を写真-1に示す。

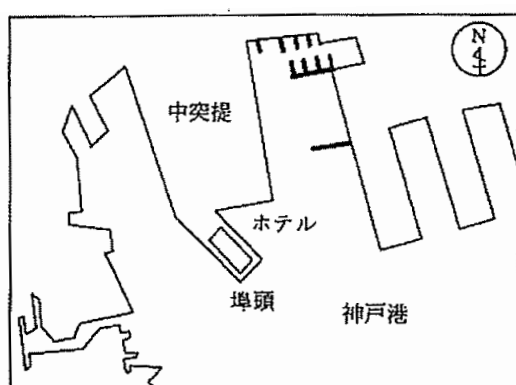


図-1 建物配置図



写真-1 建物全景

2)地盤概要

建物敷地地盤の南北方向の土層断面を図-2に示す。場所により差はあるが、地表面から深さ12mの海底面付近までは、礫混りの砂を多く含んだ埋土層であり、その下に厚さ4m程度と比較的薄い沖積粘性土層が続いている。いずれも標準貫入試験によるN値10以下の軟弱層である。これより以深に第1洪積層(Dsc1層)が分布し、地表面下33m程度以深から礫質土と粘性土の互層からなる第2洪積層(Dsc2層)がほぼ水平に分布する。地下水位は潮位とともに変化し、最も浅いときには地表面-1.3m付近まで上昇する。

建物は場所打ち杭の独立基礎で計画され、支持層は第2洪積層(平均N値50程度の礫質土)としている。敷地地盤の液状化の可能性の検討は建築基礎構造調指針¹⁹⁾に従っている。入力地震動にTAFT1952EWを用い、地表面最大加速度200galとなるよう基盤入力振幅を設定し、液状化に対す

る安全率 F_L を計算している²¹⁾。結果は図-3に示すように、埋土層において安全率 F_L は 1.0 を下回り、液状化の可能性が予測された。同図には液状化に影響する N 値および細粒分含有率も併せて示している。

3) 液状化対策

建物は埠頭に立地するため三方が海に面している。埠頭の岸壁はコンクリートケーソン式である。地震時に埋土層が液状化すると、建物下の土は地震によるケーソンの変位とともに周囲の海に流れ出し、致命的な被害を受けることが十分予想される。

液状化の抑制と、土の海への流出を防ぐための対策工法として、建物基礎杭の周囲を陸上深層混合処理工法 (DCM-L 工法) を用いて格子状に地盤改良する工法を計画した。陸上深層混合処理工法は、セメントスラリーを原地盤と混合することにより、一軸圧縮強さで数 10kgf/cm^2 の強さをもつ強固な改良地盤をつくりあげる工法である。この工法により改良杭を互いにラップさせて施工し、連続ができる。格子状地盤改良工法は建設省土木研究所および当社を含む 5 社で、1985 年から 1992 年にかけて実施された共同研究で開発された²²⁾。

改良壁は図-4に示すように、埋土層以深の第 1 洪積層(場所により地表面下 12~19m)まで構築している。図-5に格子状地中壁および建物基礎杭の配置を示す。液状化抑制を特に重視した杭に対しては、杭 1 本ごとに格子状地中壁で囲み、その他の杭に対しては杭数本ごとに改良壁で囲んでいる。改良壁の施工は B 種高炉セメントを土 1m^3 当り 200kg の添加とし、所要強度は平均一軸圧縮強さで 24kgf/cm^2 以上と設定した。施工後の改良地盤の調査では、改良地盤の一軸圧縮強さは $40\sim 60\text{kgf/cm}^2$ であり、所要強度を十分に満足していることを確認している。

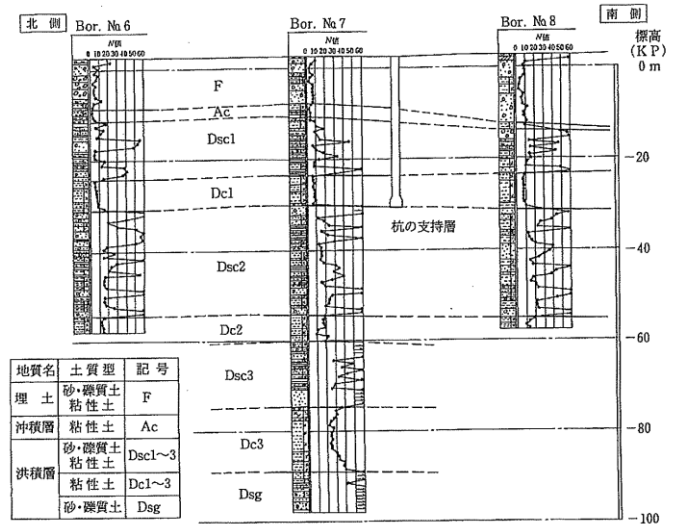


図-2 地盤概要

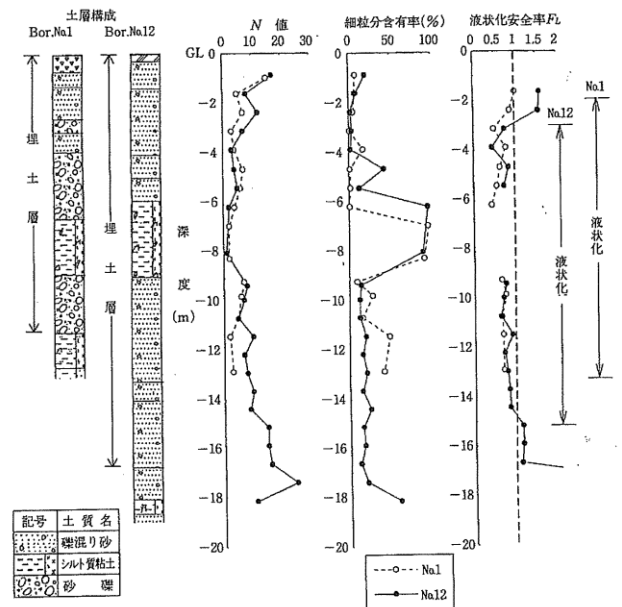


図-3 液状化安全率

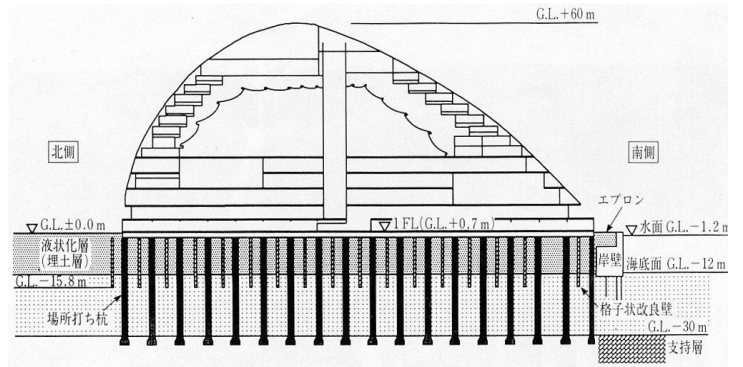


図-4 液状化対策工断面(南北断面)

(3) 建物種変の地震による被害

今回の地震による神戸港の重力式ケーソン岸壁の顕著な被害パターンは、ケーソン本体の海測への滑動・沈下と背後地盤の陥没である。建物が位置する埠頭の岸壁も例外ではなく、同様の大きな被害を受けている。写真-2に被災後の埠頭先端部の岸壁(南側岸壁)の状況を示す。岸壁ケーソンの天端の海側への水平変位量は約2m、沈下量は50~70cm程度である。また、岸壁背後のエプロン部分の沈下は2m程度であった。写真右側に建物に取付けた階段が見えるが、被災前はこのレベルが地表面であった。南側岸壁の被害が最も大きく、西側岸壁・東側岸壁の順に被害は小さくなっている。被害の小さい東側岸壁でも、ケーソン天端の水平変位量は50~60cm程度、沈下量は20~30cm程度見られた。

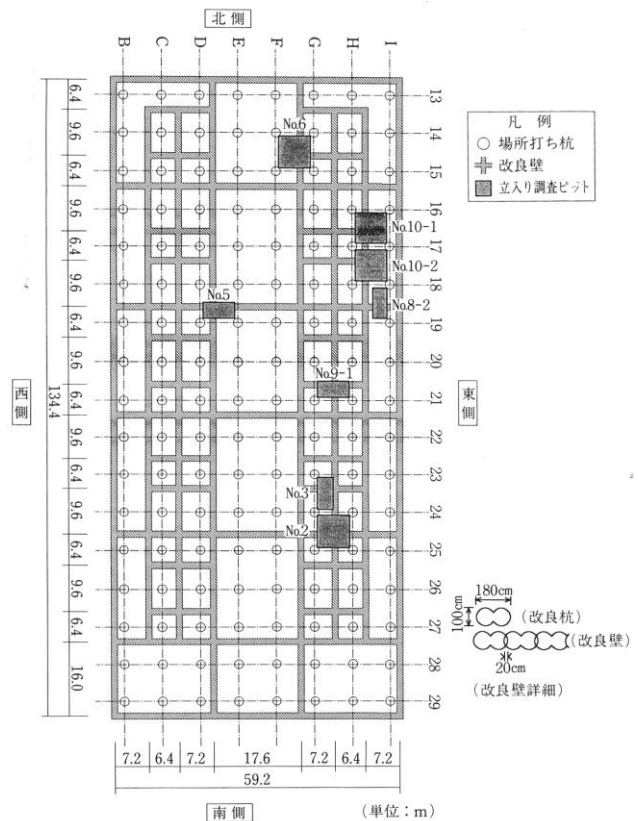


図-5 改良壁による格子の配置

(4) 建物基礎部の地震による影響調査

1) 改良壁外周部の状況

写真-2で示したように、南側岸壁では岸壁背後のエプロン部分のスラブが大きく陥没した。図-6の模式図に示すように、干潮時に建物底版面と水面との間に数10cmの差が生じたため、改良壁の南側外面を直接目視観察することができた。その状況を写真-3に示す。建物基礎コンクリートの下に改良壁の天端部分が見えている。改良体が破壊して、格子内の原地盤(埋土)が格子の外に流出した形跡は見られなかった。

2) 地下ピット内の状況

建物は地下階がないため、1階床スラブ下は基礎梁で囲まれた地下ピットとなっている。大部分のピットは表土が埋戻した土のまま放置されていた。格子状地中壁の内側の原地盤(埋土)の液状化の有無を調査するため、図-5に示すピットに入り、ピット内表土の目視観察を行った。いずれのピットにおいても、地表面にクラックや噴砂した砂の痕跡、液状化に伴う表土そのものの平坦化、大きな礫の沈み込みなどの現象は見られなかった。写真-4にピットの状況の1例を示す。ピット内表土は全般に10cm程度以下の礫を混えた土であった。

写真-5は地震前から壁に立てかけられていた鉄筋の切れ端が、写真-6は地震前から立てられていたさん木が各々倒れることなく、そのままであった様子を示す。液状化が生じたとすれば、これらの鉄筋の切れ端やさん木は倒れていたと推察される。



写真-2 埠頭の南側岸壁の被害

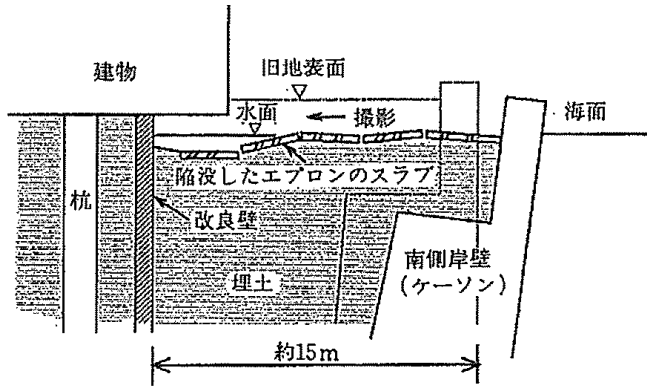


図-6 埠頭の南側岸壁の被災断面概要

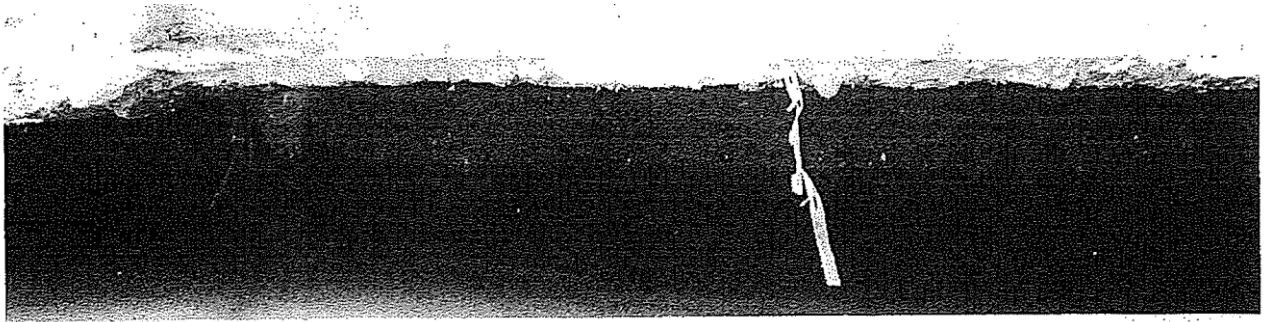


写真-3 埠頭の南側岸壁の格子状地中壁地盤の天端部分



写真-4 建物地下ピット(1)
(全体状況)



写真-5 建物地下ピット(2)
(壁に立てかけられた鉄筋の状況)



写真-6 建物地下ピット(3) (さん木の状況)

3) 改良壁頭部の状況

図-5に示すNo.5ピットにおいて、手掘りにより格子状地中壁の交差部分を露出させ、改良壁の様子を観察した。図-7にNo.5ピットの拡大図と掘削位置を示す。掘削深さは改良壁の天端から約50cmである。この付近まで掘削した際、施工時に改良壁の格子内にとり残されたと見られる地下水が出たため、これ以上の掘削は不可能であった。No.5ピットを選んだのは作業のしやすさからである。

改良壁は強固にできており、目視観察では改良体にクラック、表面の剥離、ラップ部および交差部の開きなどの異常は見られなかった。改良杭の間隔も計画どおりの施工であった。改良壁交差部の露出状況を写真-7に示す。同写真は、図-7中の矢印で示す方向から改良壁交差部を撮影したものである。

改良壁と反対側の原地盤(埋土)の掘削断面も目視観察した。原地盤の断面は、揚所により砂利の部分や海砂の部分が見られた。下層の砂の液状化およびそれに伴う上方への噴出等の痕跡は見られなかった。

図-7の⑬-⑭通りの場所打ち杭についても掘削調査を行った。掘削深さは改良壁の場合と同程度である。場所打ち杭頭部の目視観察についても、クラック、表面の剥離、基礎梁取合い部での亀裂などの異常はなかった。改良壁との位置関係も計画どおりであり、地震によるずれがなかったことを確認した。

4) 建物1階部の状況

建物の1階床スラブの相対レベルを測量した結果、1階床スラブにはレベルの変動は全くなかった。1階床スラブおよび1階部分は無損傷状態であり、局所的な水平変位もないと判断された。1階床スラブの状況を写真-8に示す。

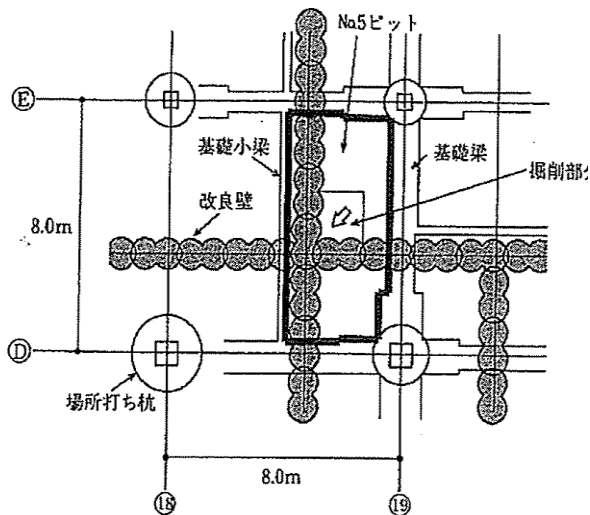


図-7 No.5ピット詳細



写真-7 No.5ピットの格子改良壁の交差部



写真-8 建物1階床スラブの状況

(5) おわりに

兵庫県南部地震は神戸地区に未曾有の大被害をもたらした。この地震に対する深層混合処理工法(DCM-L工法)を用いた格子状地盤改良による液状化対策の効果確認のため、埠頭に建設中のホテルの調査を行った。今回の調査は定量的に地震の影響を測るには至らなかったが、目視観察の範囲において建物基礎の被害は見られなかった。今回のような大地震に対して、上記のような液状化対策は地盤の液状化、およびそれに伴う土の流出抑制に十分機能したことを確認できた。

6-4 東北地方太平洋沖地震における格子状地盤改良を施した建物基礎の挙動

(出典 : Uchida, A., Yamada, T., Odajima, N. and Yamashita, K. : Piled raft foundation with grid-form ground improvement subjected to the 2011 earthquake, 9th International conference on urban earthquake engineering/4th Asia conference on earthquake engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, PP.151-156, 2012)

(1) はじめに

深層混合処理工法による格子状地盤改良は、改良壁による拘束効果で地震時の地盤のせん断変形を低減させ、液状化の発生を抑制する液状化対策工法の1つである。神戸市の埠頭の先端に建設された建物の液状化対策として適用された格子状地盤改良が、1995年の阪神・淡路大震災において液状化を抑制した事例²³⁾が報告され、近年建築物の液状化対策としての利用が増加している。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、広範囲な地域で液状化が確認された。特に震源から遠く離れた東京湾岸の埋立て地において戸建て住宅の沈下や傾斜などの甚大な液状化被害が発生し、液状化対策の重要性が改めて認識された。

本報では、液状化対策として格子状地盤改良を採用した千葉県浦安市内にある2つの建物基礎の概要と地震後に実施した現地調査について述べる。さらに、東北地方太平洋沖地震による観測波を用いた地震応答解析を実施し、格子状地盤改良の液状化抑制効果について確認した結果を報告する。なお、この報告は文献²⁴⁾に加筆を行い、追加検討を実施した結果を反映したものである。

(2) 建物及び地盤概要

1) A建物

建物はSRC造4階建て、地下なしの立体駐車場で、平均接地圧は 45kN/m^2 である。図-1に示すように、地盤は地表からGL-14mまで埋土層および沖積砂層が分布し、その下部に沖積粘土層が分布している。沖積粘土(七号層)の下端深度が敷地内で大きく変化しており、N値50以上の安定した支持層は建物①通り側でGL-39m、②通り側でGL-72mで出現する。また、対象地盤の地下水位はGL-1.8mである。地表から深度14m程度までの埋土層および沖積砂層はN値が10程度であり、液状化の可能性が高いため、格子状地盤改良を採用して液状化抑制を図った。さらに杭先端を過圧密粘土である七号層に定着させた沈下低減杭からなるパイルド・ラフト基礎とした。杭長および改良体長については敷地内で実施した13本のボーリング調査結果に基づいて決定した。格子状地中壁の仕様については文献¹⁾に基づき設定した。基本の格子間隔は $15.6\text{m} \times 16.5\text{m}$ 、改良深さはGL-13~-15mまでとし、図-2に示すように改良体を配置した。改良体の設計基準強度は 1.8N/mm^2 である。

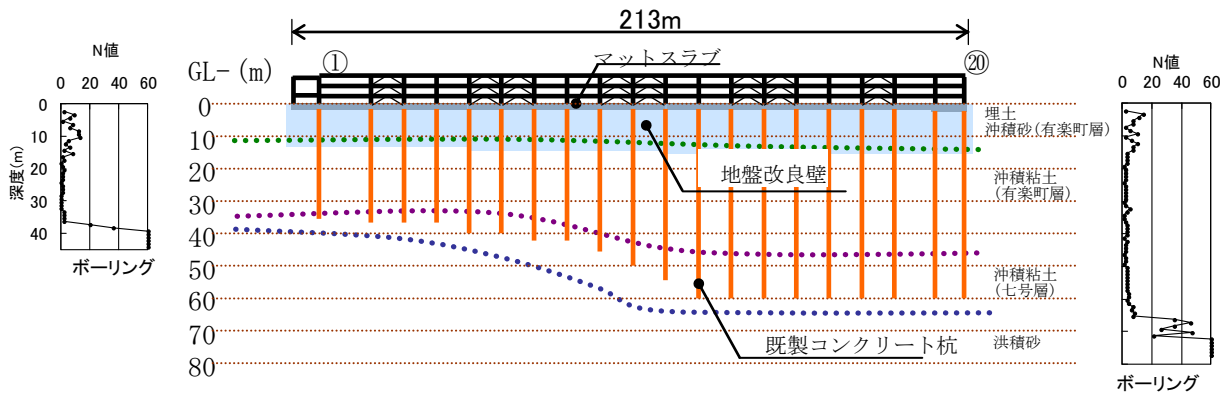


図-1 基礎構造と地盤の概要 (A 建)

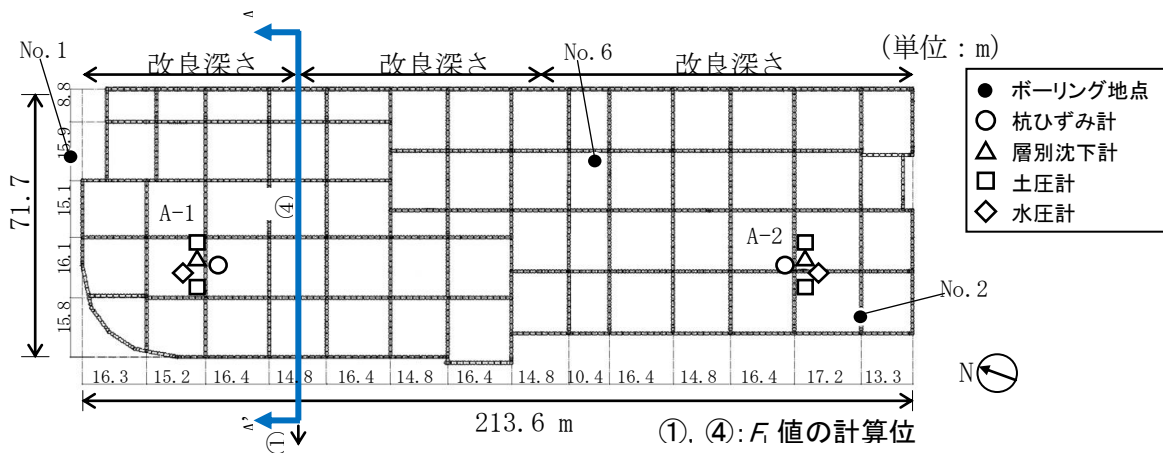


図-2 格子状地盤改良と計測器の配置

2) B 建物

建物はS+RC7階建て、地下なしの劇場施設であり、杭基礎が採用されている。A建物とは平面的に900m程度離れている。地盤概要を図-3に示す。基本的な地盤構成はA建物と同じであり、深度15m程度までは液状化の可能性が高い。そこで、液状化抑制を目的として格子状地盤改良を採用した。地盤改良の仕様はA建物と同様に文献¹⁾に基づいて設定した。格子間隔は15.5m×14.3m(最大)、改良深さはGL-16mまでとし、図-4に示すように改良体を配置した。改良体の設計基準強度は $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ である。

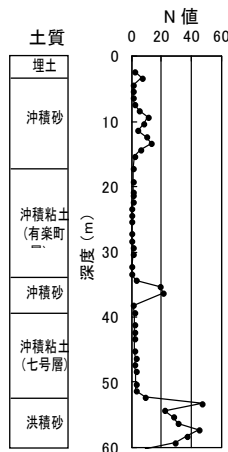


図-3 地盤概要 (B建物ボーリング No.1)



写真-1 A建物の地震直後の状況 (2011.3.13撮影)



写真-2 B建物の全景 (2011.5.18撮影)

(3) 東北地方太平洋沖地震直後の状況

東北地方太平洋沖地震では、浦安市内の埋立地を中心に液状化現象が確認された。2つの建物の近くでも未対策の部分では噴砂などが確認されている。格子状地盤改良による液状化対策を実施したA建物では、写真-1（2011.3.13撮影）に示すように建物から3~4m離れた地盤面に、地盤沈下に伴うわずかな段差が認められた。建物から離れた所では液状化に伴う噴砂が確認されたが、写真撮影の段階では既に撤去されていた。なお、建物の極近傍では噴砂などの液状化現象は確認されなかった。また、B建物(写真-2)では、建物と周辺地盤の間に段差などは認められず、建物近傍では噴砂などの液状化の痕跡は確認されなかった。

(4) 長期計測結果に基づく検証 (A建物)

A建物では、建物建設時からパイルド・ラフト基礎の沈下挙動に関わる長期計測を実施している。計測器の配置を図-2に示す。測定項目は層別沈下計による基礎スラブ直下の地盤の沈下、杭の軸力、基礎スラブ底面下の土圧、水圧である。図-5に地盤沈下量の経時変化を示す。計測開始から東北地方太平洋沖地震の発生前までの沈下量は16mmで、建物竣工後の沈下挙動はほぼ落ち着いた状態にあった。地震後約2ヶ月経過時の沈下量は23mmで地震により7mm増加したが、その後は再び安定している。図-6に基礎スラブ底面下の土圧、水圧の計測結果を示す。土圧については地震の前後で特に変化は見られず、基礎スラブと格子内の地盤は地震後も地震前と同様の接地状態にあり、両者の間に地盤沈下に伴う空隙が生じていないことを示している。地震前後の計測結果と建物外周の目視調査結果を総合すると、格子内部の地盤には今回の地震時において液状化が生じていないものと考えられる。

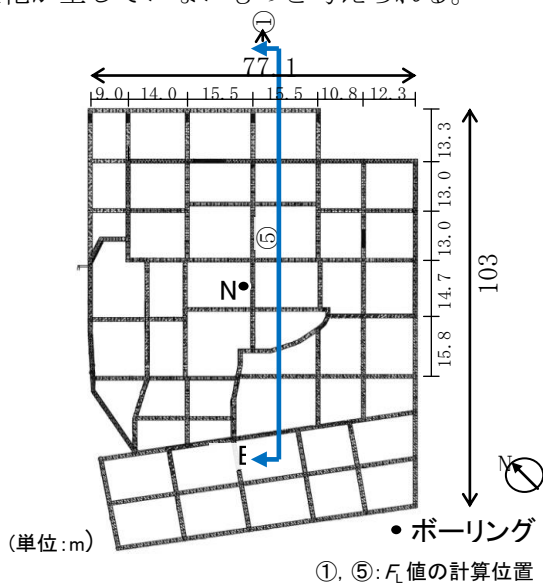


図-4 格子状地盤改良の配置図

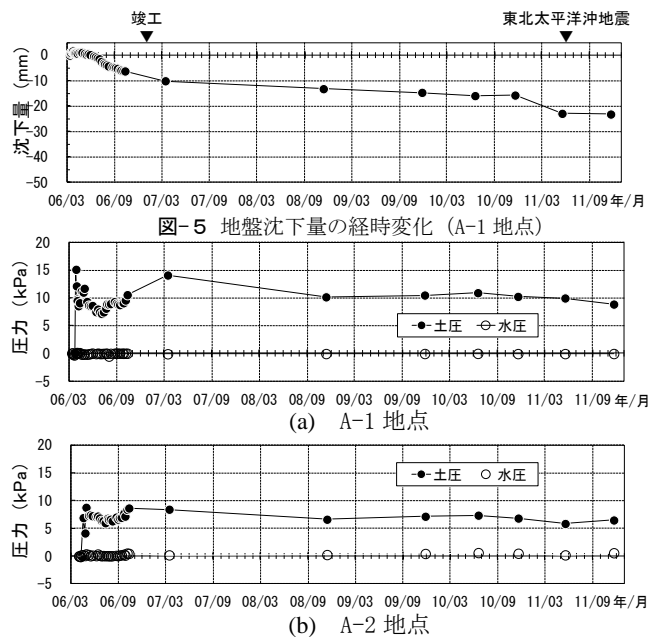


図-6 基礎スラブ底面下の土水圧の経時変化

(5) 観測地震波による格子状地盤改良の効果検証

東北地方太平洋沖地震で観測された実地震動を用いて、格子状地中壁の液状化抑制効果について検証を行った。解析プログラムはSuper-FLUSHを用いた。解析に用いた地震波はK-Net浦安において観測された本震の地表面加速度波形(EW)²⁾である(最大加速度157cm/s²)。K-Net浦安の観測点はA,B建物の北東約3kmにある。未改良地盤での地表応答最大加速度が観測記録の最大加速度と合うように工学的基盤(GL-67.1m)での入力波を調整した。A建物の検討方法を以下に述べる。

図-2に示す短辺方向(A-A'間)を検討断面として2次元FEMモデルで未改良地盤を含む改良地盤をモデル化した。地盤定数はPS検層結果に基づいて設定し、工学的基盤までは現地の土質試験結果に基づき地盤の非線形性を考慮した。改良体の地盤定数は、施工後に採取されたコアの一軸圧縮強度 q_u の平均値(5.8N/mm^2)から文献³⁾に基づき(1)~(3)式で初期せん断剛性 G_0 を設定し、改良地盤の非線形特性は文献⁴⁾を参照した。

$$E_{50} = 130q_u \text{ (砂)} \text{ ----- (1)}$$

$$E_{50}/E_0 = 0.2 \text{ ----- (2)}$$

$$E_0 = 2(1 + \nu)G_0 \text{ ----- (3)}$$

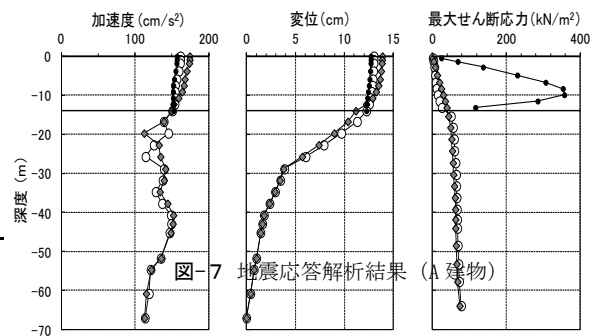
ここに、 ν = ポアソン比 (=0.5) である。

格子状地中壁による改良壁は、面外壁(紙面と直行方向の改良壁)と面内壁(紙面と平行方向の改良壁)に分けて、面内壁の左右端を面外壁と接点共有させた。改良体の面外壁は奥行き方向に連続しているものとして表-1の定数をそのまま当てはめた。また、格子内地盤と改良体の面内壁は2重要要素とし、格子内地盤は未改良地盤の定数を当てはめたが、面内壁は奥行き方向に格子

地下水位 GL-1.8m

土層番号	土質	層厚 m	境界深度 GL-m	密度 kN/m^3	S波速度 V_s m/s	初期剛性 G_0 MN/m^2	ポアソン比	備考
1	埋土	5.90	5.90	18.0	140	35	0.489	地盤改良層
2	砂	4.80	10.70	18.5	140	36	0.489	
3	砂	3.30	14.00	18.5	140	36	0.489	
4	シルト	2.75	16.75	17.0	140	33	0.493	工学的基盤
5	シルト	12.15	28.90	15.5	140	30	0.493	
6	シルト	2.90	31.80	17.0	210	75	0.493	
7	シルト	8.95	40.75	16.0	170	46	0.493	
8	砂	4.50	42.25	18.5	230	98	0.493	
9	砂	6.55	51.80	19.0	250	119	0.493	
10	シルト	2.90	54.70	18.0	230	95	0.493	
11	砂	6.15	60.85	19.0	270	139	0.493	
12	シルト	6.25	67.10	18.0	270	131	0.493	
13	砂			20.0	420	353	0.473	
14	改良土	14.00	14.00	18.0	-	1260	0.260	

て、改良体の地盤定数を換算した。



なお、B建物については、検討断面を図-4に示す

B-B'断面としてA建物と同じ方法でFEMによる地震応答解析を実施したが、施工後の改良強度が不明のため、設計基準強度 F_c から(4)式で改良体の一軸圧縮強度 q_u を推定し、初期せん断剛性を(1)~(3)式で設定した。

$$F_c = (1 - 1.3V_{qu}) q_u \text{ ----- (4)}$$

ここに、 V_{qu} は q_u の変動係数であり、施工実績に基づき $V_{qu} = 0.3$ とした。

液状化の評価は応答によって求めた地盤のせん断応力とN値に基づく建築基礎構造設計指針による液状化強度の比率(F_L 値)によって求め

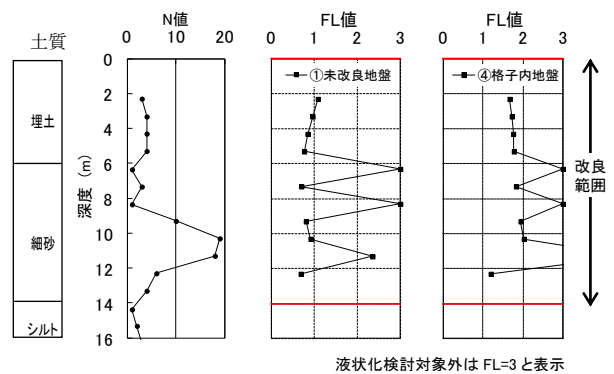


図-8 A建物の F_L 値の深度分布 (No. 6ボーリング)

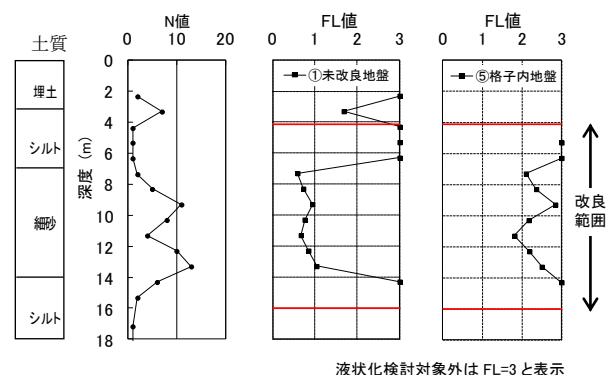


図-9 B建物の F_L 値の深度分布 (No. 1ボーリング)

た。なお、地盤のせん断応力評価において、今回の地震のマグニチュード ($M=9.0$) を考慮して、地震応答解析で得られる最大せん断応力 τ_{max} を液状化判定の外力として用いる等価なせん断応力 τ_{eff} に換算する際の補正係数は $\gamma_n=0.1(M-1)=0.8$ とした。

A 建物の地震応答解析結果を図-7に示す。格子内地盤の最大せん断応力は未改良地盤のせん断応力よりも小さくなっている。これは、改良体に大きな応力が発生し、格子内地盤のせん断応力を負担しているためと考えられる。なお、改良体の発生せん断応力は許容応力度以内であり、改良体の健全性に問題はないと考えられる。図-7の最大せん断応力を用いた F_L 値は図-8に示す通りである。未改良地盤では $F_L < 1$ と判定される部分があり、液状化が発生した可能性を示している。これに対して格子内部地盤は全ての深度について $F_L > 1$ となっており、液状化は発生していないと推測される。図-9はB建物の F_L 値分布である。A建物と同様に、未改良地盤では $F_L < 1$ となる部分があるものの、格子内部地盤は全ての深度について $F_L > 1$ となっており、液状化は発生していないと推測される。

これらの解析結果は地震後の目視調査の状況と概ね対応しており、今回の検討方法は格子状地盤改良の液状化抑制を評価する方法として有効であると言える。

(6) まとめ

液状化対策として格子状地盤改良が採用された2つの建物基礎の概要と東北地方太平洋沖地震後の状況を示すとともに、観測地震波による格子状地盤改良の液状化抑制効果について検証解析を実施した。地震後の建物周囲の目視調査や基礎の長期計測結果を総合すると、格子状地盤改良で囲まれた地盤では液状化が発生していない可能性が高いと考えられる。また、観測地震波を用いた解析では、改良範囲の外側の未改良地盤では液状化が生じるが、格子状地中壁に囲まれた地盤では液状化は生じないという評価となり、実測挙動と整合する結果が得られた。したがって本検討方法は格子状地盤改良の液状化抑制を評価する方法として有効であると言える。

<参考文献>

- 1) 田屋裕司, 内田明彦, 吉澤睦博, 鬼丸貞友, 山下清, 津國正一: 格子状地盤改良における格子間隔の簡易設定法, 地盤工学ジャーナル, Vol.3, No.3, pp.203-212, 2008
- 2) 防災科学技術研究所: K-NET, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 3) 日本建築センター: 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針, pp. 349-355, 2002
- 4) 黒田琢磨, 田中英朗, 富井隆, 鈴木康嗣: 深層混合処理工法による改良体の物性評価(その3) 改良体の動的変形特性に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp. 699-700, 2001.

7-1 公共事業に係る工事の施行に起因する地盤変動により生じた建物等の損害等に係る事務処理要領の制定について

昭和61年4月1日 建設省経整発第22号
建設事務次官から北海道開発局長・沖縄総合事務局長・各地方建設局長あて通知

最近改正 平成15年7月11日国土交通省国総国調第49号

地盤変動により生じた建物等の損害等に係る「公共用地の取得に伴う損失補償基準要綱の施行について（昭和37年6月29日閣議了解）」の第三の運用について、別紙のとおり定めたので、通知する。

(別紙)

公共事業に係る工事の施行に起因する地盤変動により生じた建物等の損害等に係る事務処理要領

(趣旨)

第1条 国土交通省の直轄の公共事業に係る工事の施行により不可避的に発生した地盤変動により、建物その他の工作物（以下「建物等」という。）に損害等が生じた場合の費用の負担等に関する事務処理については、この要領に定めるところによるものとする。

(事前の調査等)

第2条 公共事業に係る施設の規模、構造及び工法並びに工事箇所の地盤の状況等から判断して、工事の施行による地盤変動により建物等に損害等が生ずるおそれがあると認められるときは、当該損害等に対する措置を迅速かつ確に行うため、工事の着手に先立ち、又は工事の施行中に起業地及びその周辺地域において、次の各号に掲げる事項のうち必要と認められるものについて調査を行うものとする。

- 一 地形及び地質の状況
- 二 地下水の状況
- 三 過去の地盤変動の発生の状況及びその原因
- 四 地盤変動の原因となるおそれのある他の工事等の有無及びその内容
- 五 建物等の配置及び現況
- 六 その他必要な事項

(地盤変動の原因等の調査)

第3条 起業地の周辺地域の建物等の所有者又は使用貸借若しくは賃貸借による権利に基づき建物等を使用する者（以下「使用者」という。）から地盤変動による建物等の損害等（以下単に「地盤変動による損害等」という。）の発生の申出があつたときは、地盤変動による損害等と工事との因果関係について、速やかに調査を行うものとする。

2 前項の調査は、次の各号に掲げる事項のうち必要と認められるものについて行うものとする。

- 一 工事着手時の地形及び地下水位と地盤変動による損害等の発生時の地形及び地下水位との比較

- 二 工事着手前、工事中又は工事完了後における地形及び地下水位の変化
- 三 工事の工程と地盤変動による損害等の発生の時間的関連性
- 四 工事による湧水の発生時期及びその量
- 五 工事箇所と地盤変動による損害等の発生地点との平面的及び立体的な位置関係
- 六 地盤変動の原因と見込まれる他の工事等の影響の有無及びその程度
- 七 その他必要な事項

(損害等が生じた建物等の調査)

第4条 前条の調査の結果等から建物等の損害等が公共事業に係る工事の施行に起因する地盤変動により生じたものであると認められるときは、当該損害等が生じた建物等の状況について、速やかに調査を行うものとする。この場合において、地盤変動が継続しているときは、その状況を勘案して継続して調査を行うものとする。

(応急措置)

第5条 地盤変動が発生したことにより、建物等の所有者に第6条第2項に規定する社会生活上受忍すべき範囲（以下「受忍の範囲」という。）を超える損害等が生じ、又は生ずると見込まれる場合において、前3条の調査の結果等から当該損害等の発生が当該工事による影響と認められ、かつ、緊急に措置を講ずる必要があると認められるときは、合理的かつ妥当な範囲で、応急措置を講ずるものとする。

(費用負担の要件)

第6条 第3条及び第4条の調査の結果等から公共事業に係る工事の施行により発生したと認められる地盤変動により、建物等の所有者に受忍の範囲を超える損害等が生じた場合においては、当該損害等をてん補するために必要な最小限度の費用を負担することができるものとする。

2 前項に規定する「受忍の範囲を超える損害等」とは、建物等の全部又は一部が損傷し、又は損壊することにより、建物等が通常有する機能を損なわれることをいうものとする。

(費用の負担)

第7条 前条第1項の規定により負担する費用は、原則として、損害等が生じた建物等を従前の状態に修復し、又は復元すること（以下「原状回復」という。）に要する費用とするものとする。この場合において、原状回復は、建物等の使用目的及び使用状況、損害等の発生箇所及び発生状況並びに建物等の経過年数等を総合的に判断して、技術的及び経済的に合理的かつ妥当な範囲で行うものとする。

2 前項の規定により負担する原状回復に要する費用は、次の各号に掲げる方法のうち技術的及び経済的に合理的と認めるものによる費用とし、付録の式によって算定するものとする。

- 一 建物等の損傷箇所を補修する方法（建物等に生じた損傷が構造的損傷を伴っていないため、主として壁、床、天井等の仕上げ部を補修することによって原状回復を行う方法）
- 二 建物等の構造部を矯正する方法（建物等に生じた損傷が構造的損傷を伴っているため、基礎、土台、柱等の構造部を矯正したうえで前号の補修をすることによって原状回復を行う方法）
- 三 建物等を復元する方法（建物等に生じた損傷が建物等の全体に及び前二号に掲げる方法によっては原状回復することが困難であるため、従前の建物等に照応する建物等を建設することによって原状回復を行う方法）

(応急措置に要する費用の負担)

第8条 第5条に規定する場合において、建物等の所有者又は使用者が応急措置を講じたときは、当該措置に要する費用のうち適正に算定した額を負担するものとする。

(その他の損害等に対する費用の負担)

第9条 前2条の規定による費用の負担のほか、建物等が著しく損傷したことによって建物等の所有者又は使用者が仮住居の使用、営業の一時休止等を余儀なくされたことによる損害等については、その損害等の程度に応じて「国土交通省の公共用地の取得に伴う損失補償基準（平成13年1月6日付け国土交通省訓第76号）」に定めるところに準じて算定した額を負担することができるものとする。

(費用負担の請求期限)

第10条 費用の負担は、建物等の所有者又は使用者から当該公共事業に係る工事の完了の日から一年を経過する日までに請求があつた場合に限り行うことができるものとする。

(費用負担の方法)

第11条 費用の負担は、原則として、建物等の所有者又は使用者に各人別に金銭をもつて行うものとする。ただし、他の法令の定めがある場合においては、当該法令の定めるところによるものとする。

2 前項の負担は、渡し切りとするものとする。

(複合原因の場合の協議)

第12条 地盤変動による損害等が他の工事等の施行に係るものと複合して起因していることが明らかでない場合は、当該工事等の施行者と損害等に係る費用の負担の割合等について協議するものとする。

附 則

1 この要領は、昭和61年4月1日から適用する。

2 費用の負担について、既に協議を行っているものについては、この要領によらないことができるものとする。

3 建設省の直轄の公共事業に係る工事の施行により生じた工事振動により建物等に損害等が生じた場合の費用の負担については、当分の間、この要領に応じて処理するものとする。

付録

1 建物等の損傷箇所を補修する方法

費用負担額＝仮設工事費＋補修工事費＋その他経費

イ 仮設工事費は、建物等の補修工事を行うために必要と認められる足場の架設清掃跡片付け等に要する費用とする。

ロ 補修工事費は、建物等の補修工事を行うために必要と認められる亀裂の目地詰め、建具の調整等に要する費用とする。補修の方法と範囲については、別表修復基準を標準とするものとする。

ハ その他経費は、建物等の損傷箇所の補修に伴い必要となるその他の経費とする。

2 建物等の構造部を矯正する方法

費用負担額＝仮設工事費＋矯正工事費＋補修工事費＋その他経費

イ 仮設工事費は、建物等の矯正工事及び補修工事を行うために必要と認められる遣形墨出し、足場の架設、清掃跡片付け等に要する費用とする。

ロ 矯正工事費は、土台、柱等の構造部又は基礎の傾斜、沈下等の矯正工事に要する費用とする。ただし、土台、柱等の構造部又は基礎に係る従前の損傷が拡大した場合で、従前の状態、拡大の程度等を勘案して必要と認められるときは、適正に定めた額を減額するものとする。

ハ 補修工事費は、建物等の補修工事を行うために必要と認められる亀裂の目地詰め、建具の調整等に要する費用とする。補修の方法と範囲については、別表修復基準を標準とするものとする。

ニ その他経費は、建物等の構造部の矯正に伴い必要となるその他の経費とする。

3 建物等を復元する方法

費用負担額＝仮設工事費＋解体工事費＋復元工事費＋その他経費

イ 仮設工事費は、建物等の解体工事及び復元工事を行うために必要と認められる遣形墨出し、足場の架設、清掃跡片付け等に要する費用とする。

ロ 解体工事費は、従前の損壊した建物等の解体、撤去及び廃材処分に要する費用とする。

ハ 復元工事費は、従前の建物等に照応する建物等を建設する工事に要する費用とする。

ニ その他経費は、建物等の復元に伴い必要となるその他の経費とする。

別 表

損傷の発生箇所	修復の方法と範囲	
	損傷が新たに発生したもの	従前の損傷が拡大したもの
外 壁	発生個所に係る壁面を従前と同程度の仕上げ材で塗り替え、又は取り替える。ただし、ちり切れにあっては、発生個所を充てんする。	発生個所を充てんし、又は従前と同程度の仕上げ材で補修する。ただし、損傷の拡大が著しい場合は、発生箇所に係る壁面を従前と同程度の仕上げ材で塗り替え、又は取り替えることができるものとする。
内 壁 天 井	発生個所に係る壁面を従前と同程度の仕上げ材で塗り替え、又は張り替える。ただし、発生個所が納戸、押入れ等の場合はちり切れの場合にあっては、発生個所を充てんする。 経過年数が10年未満の建物及び維持管理の状態がこれと同程度と認められる建物で発生個所が納戸、押入れ等以外の居室等の場合は、当該居室等のすべての壁面を従前と同程度の仕上げ材で塗り替え、又は張り替えることができるものとする。	発生個所を充てんし、又は従前と同程度の材料で補修する。ただし、損傷の拡大が著しい場合は、発生箇所に係る壁面を従前と同程度の仕上げ材で塗り替え、又は張り替えることができるものとする。
建 具	建付けを調整する。ただし建付けを調整することが困難な場合にあっては建具を新設することができるものとする。	建付けを調整する。ただし、建付けを調整することが困難な場合にあっては建具を新設することができるものとする
タイル類	目地切れの場合にあっては、発生個所の目地めをし、亀裂又は破損の場合にあっては発生個所を従前と同程度の仕上げ材で張り替える。ただし、浴室、台所等の水を使用する箇所で漏水のおそれのある場合は、必要な範囲で張り替えることができるものとする。 玄関回り等で亀裂又は破損が生じた場合は、張り面のすべてを従前と同程度の仕上げ材で張り替えることができるものとする。	発生個所を充てんする。ただし、発生個所が浴室、台所等の水を使用する箇所で損傷の拡大により漏水のおそれがある場合は必要な範囲で張り替えることができるものとする。
コンクリート叩き	コンクリート又はモルタル充てんし、又は不陸整正する。ただし、損傷が著しい場合は、必要な範囲で解体し、新たに打設することができるものとする。	コンクリート又はモルタルで充てんし、又は不陸整正する。ただし、損傷の拡大が著しい場合は、必要最小限の範囲で解体し、新たに打設することができるものとする。
屋 根	瓦ずれが生じている場合は、ふき直し、瓦の破損が生じている場合は、従前と同程度の瓦を補足し、ふき直す。	瓦ずれが生じている場合は、ふき直し、瓦の破損等が生じている場合は従前と同程度の瓦を補足し、ふき直す。
衛生器具	従前と同程度の器具を新設する。	器具の種類及び損傷の状況を考慮して必要な範囲を補修する。ただし、補修では回復が困難と認められる場合は、従前と同程度の器具を新設することができるものとする。
その他	発生箇所、損傷の状況等を考慮して従前の状態又は機能に回復することを原則として補修する。	発生箇所、損傷の状況等を考慮して従前の状態又は機能に回復することを原則として補修する。

7-2 構造部を矯正する要否の判定基準

(1) 構造部を矯正する要否判定基準

構造的な損傷が生じることによる矯正の要否の判断は、「構造部を矯正する要否の判定基準表」(以下、「判定基準表」という。)のⅠ類及びⅡ類の各分類から1項目以上で、かつ、合計3項目以上が確認された場合について適用できるものとする。ただし、範囲を限定して構造部を矯正する部分的矯正については、要否判定基準表の各項目に関する工事期間中の変化の状況等を考慮して補修方法を判断するものとする。

なお、部分的に構造部を矯正するには、その範囲が1階部分において建物全体の過半数を超えず、さらに基礎について打替以外の方法によって十分に耐力が回復できる場合に限るものとする。

注： 要否の判定基準表における数値については、事後調査終了後における数値を示す。

よって、従前における変形・傾斜量を含む数値であるため、被害発生後における傾斜量・変形量等が、判定基準の数値を上回り、かつ、その変形・傾斜した量の概ね6割以上が、当該工事の原因となる場合に適用する。

また、建物全体又は部分的な矯正等の判断については、1階部分における判定基準表の規定値を超える変形量の箇所が、建物の1階部分の全体に対し過半数を超えるかどうかの判断によるものとする。

構造部を矯正する要否判定基準表

Ⅰ類	<ul style="list-style-type: none"> ①基礎天端又は、基礎の間近の床・敷居などにおいて、3.0 mm/M 程度の変形量が認められ、かつ当該工事に起因することが明らかで、さらに当該工事期間中による変形量が概ね6割以上を占める場合による。 ②基礎天端又は基礎の間近の床・敷居などにおいて6.0 mm/M 程度の傾斜量が認められ、かつ当該工事に起因することが明らかで、さらに当該工事期間中による傾斜量が概ね6割以上を占める場合による。 ③基礎の両端あるいは部分において15 mm以上の相対沈下量が認められかつ当該工事に起因することが明らかで、さらに当該工事期間中による相対沈下量が概ね6割以上を占める場合による。 ④柱の傾斜が7 mm/M 前後の傾斜が認められ、かつ当該工事に起因することが明らかで、さらに当該工事期間中による傾斜量が概ね6割以上を占める場合による。
Ⅱ類	<ul style="list-style-type: none"> ①基礎の損傷が著しく、破断が生じ、今後構造的な耐力が期待できない場合で、かつ当該工事期間中に起因することが明らかで、さらに損傷の変化の6割以上を占める場合による。 ②木工仕口部分に当該工事期間中による隙間の発生・拡大の原因の6割以上を占める場合による。 木工仕口部分に、当該工事に起因する著しい隙間の発生・拡大が生じている場合による。 ③建具に調整補修が出来ない程度の建付及び開閉の不良が生じている場合による。 ④内壁の損傷が下地面にまで及んでいる場合による。 ⑤建物の傾斜によって「床に置いたものが転がる」「建具が自然に動く」などの現象が見られる。

(注) 要否の判定基準法の運用について

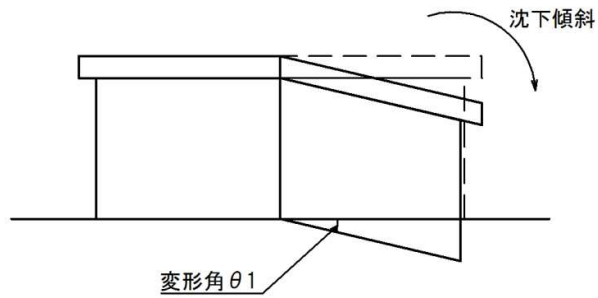
要否の判定基準表に示す基礎及び軸部の変形量・傾斜量の基準値を超え、さらに変形・傾斜量の増加数値が事前と事後の比較において、増加数値が6割に満たない場合には、全体矯正及び部分矯正に要する費用から、事項「減額方法」を参考により算定した額を減額するものとする。

(変形量における参考例)

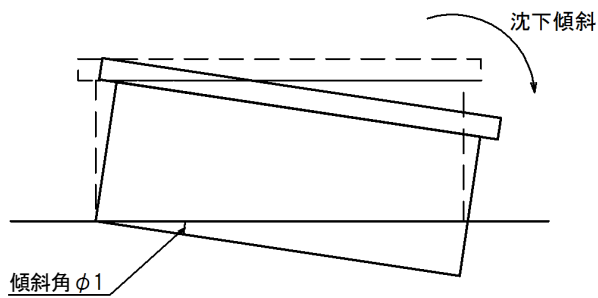
工事前(1M 当たり) の変形量	工事後(1M 当たり) の変形量	事後における 変化量の割合	矯正の要否	減額の有無
1 mm	3 mm	$2/3=65\%$ (6 割を超える)	要	無
2 mm	4 mm	$2/4=50\%$ (6 割を超えない)	要	有
4 mm	6 mm	$2/6=33\%$ (6 割を超えない)	着工前に検討する	有

変形角・傾斜角の説明資料

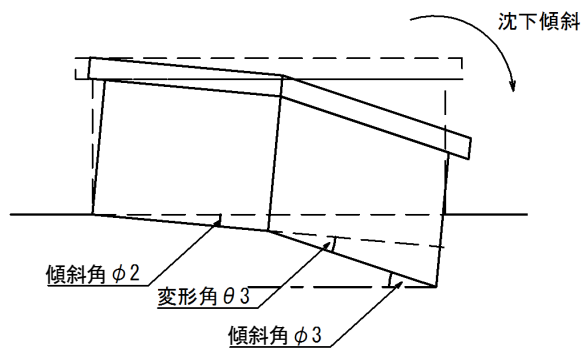
基礎に損傷が生じて上部構図が変形している場合



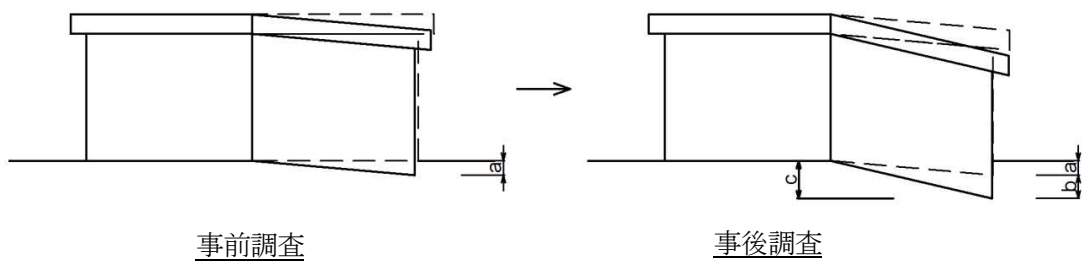
基礎に損傷がほとんど見られず建物全体が沈下傾斜している場合



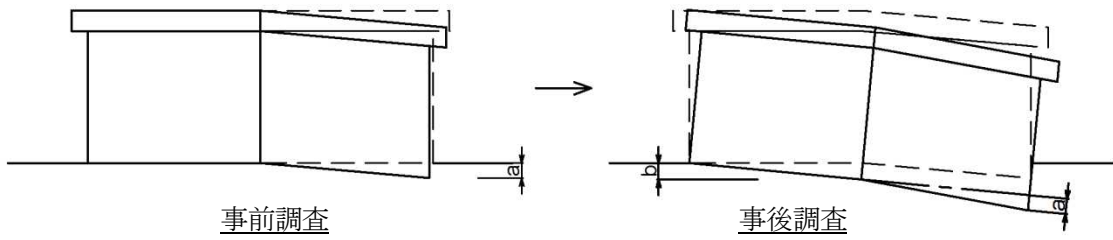
建物が沈下傾斜し、基礎に損傷が生じて上部構造が変形している場合



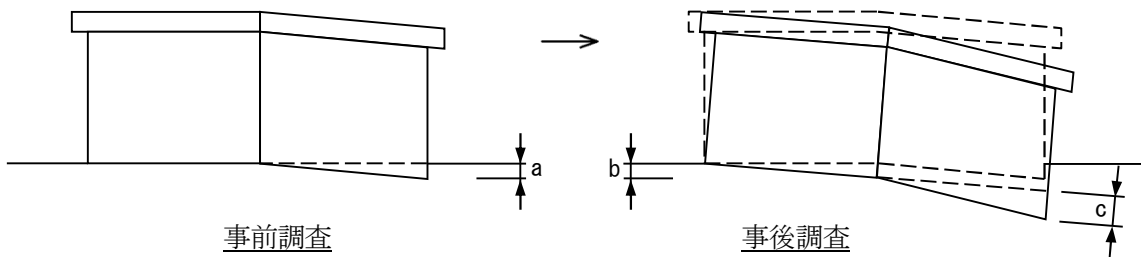
[変形量の凡例]



沈下傾斜がなく、上部構造が変形している場合
 変化量 $b = c$ (事後変形量) $- a$ (事前変形量)

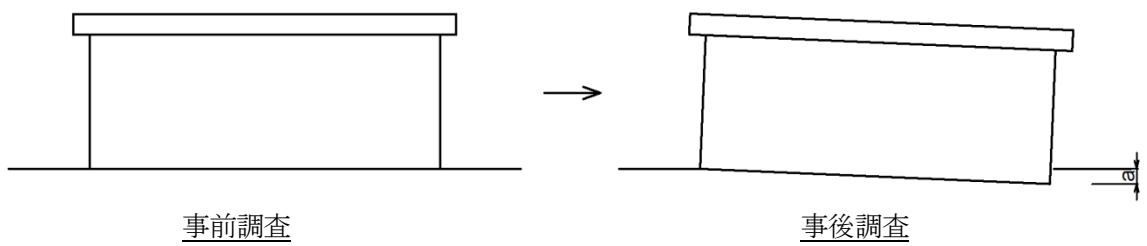


沈下傾斜のみで変形量に変わらない場合
 変化量 0 傾斜量 = b

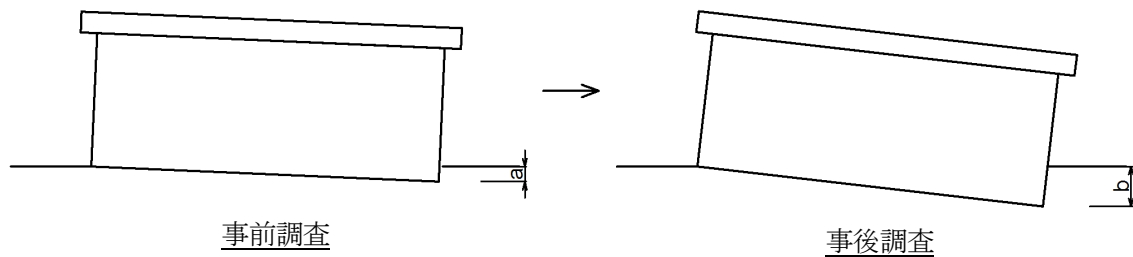


沈下傾斜があり、上部構図が変形している場合
 変化量 = c(事後変形量) - a(事前変形量) 傾斜量 = b

[傾斜量の凡例]



事前調査時に傾斜がない場合
 傾斜量(変化量) = a



事前調査時に沈下傾斜がある場合
 変化 = b (事後傾斜量) - a (事前傾斜量)

(2)減額方法 【援用】

○昭和 61 年 4 月 1 日付け建設経済局調整課事務連絡に基づく、従前の損傷の減額の方法については、従前の損傷が発生している構造部及び基礎を調査し、次式によって求めた額を矯正工事費から差し引く方法によるものとする。

式：A-(a × b+c × d)

A. 現状回復に要する矯正工事費

- a. 当該建物等の再調達額に対する当該構造部の構成比割合。
- b. 当該構造部全体に占める従前の損傷の発生している部分の割合。
- c. 当該建物等の再調達額に対する当該基礎の構成比割合。
- d. 当該基礎全体に占める従前の損傷の発生している部分の割合。

☆構成比割合

符号	部位	平屋建	二階建
a	軸部	12.5%	15.1%
b	基礎	5.4%	4.5%

となっているが、「公共事業に係る工事の施工に起因する地盤変動により生じた建物等の損害等に係る事務処理要領の制定について第 7 条(費用負担)」では、負担する費用は、原則として、損害等が生じた建物等を従前の状態に修復し、又は復元することに要する費用とするものとする。この場合において、原状回復は、建物等の使用目的及び使用状況、損害等の発生箇所及び発生状況並びに建物等の経過年数等を総合的に判断して、技術的及び経済的に合理的な範囲で行うものとする。との記載があり、建物の経過に伴う減額についても必要と認められる。さらに、公共事業に係る工事の施工に起因する地盤変動により生じた建物等の損害等に係る事務処理の制定について付録の二ロでは矯正工事費は、土台、柱等の構造又は基礎の傾斜、沈下等の矯正工事に要する費用とする。ただし、土台、柱等の構造又は基礎に係る従前の損傷が拡大した場合で、従前の状態、拡大の程度等を勘案して必要と認められるときは、適正に定めた額を減額するものとする。

ただし、土台、柱等の構造又は基礎の傾斜、沈下等における矯正工事に要する費用の算出に限り使用するものと限定する。

例：耐用年数50年 経過年数25年

軸部に於いて、全体の基礎長が40mで、損傷している部分が10mならば、

$10/40=25\%$ がdの割合となる。

基礎に於いて、全体の基礎長が40mで、損傷している部分が10mならば、

$10/40=25\%$ がdの割合となる。よって平屋建は

$(A=100万)\{100万(12.5\% \times 25\% + 5.4\% \times 25\%)\} =$

1,000,000 - 44,750 = 955,250

また、減額の判定について、上記構造部を矯正する要否の判定基準を参考に認定する。

(3)危険度認定について

○柱傾斜角の計算方式

1ラジアン $\div \pi \approx 57.3^\circ$

$\therefore 1/100$ ラジアン $=0.57^\circ \approx 0.6^\circ$ の表示。以下別紙傾斜角計算表参照

○不動沈下による布基礎の天端傾斜 3° ($\approx 1/20$ ラジアン)以上におよぶときは基礎は全損となり、進行中のものは傾斜 3° 未満であっても全損扱いとする。

また、「震災建築物の被災判定基準および復旧技術指針(木造編)((財)日本建築防災協会発行)における応急危険度損傷状況ランカー一覧では、1階の残留層間変形が $1/60$ ラジアンを超え、 $1/20$ ラジアン以下の物は、立ち入りに対しては注意が必要とのけんかもあるので、 $1/60$ ラジアンを超える場合は、従前の変形角が何度であっても、**応急措置<公共事業に係る工事に起因する地盤変動により生じた建物等の損害等に係る事務処理要領の運用について、4. 応急措置について(1)>**を参照として、仮住居の費用負担も可能とする。

ただし、当該応急措置等の運用については、建物の損傷程度等を総合的に判断し運用するものとし、変形角が $1/60$ ラジアン以上で構造部の矯正又は復元を必要(中央用対連監修の解説参照)とする場合について、仮住居を算入できるものとする。

また、不同沈下により傾斜角が認められる場合は、別紙木造建築物の不同沈下障害と変形角【日本建築学会「小規模建築基礎設計の手引き」】を参考とし、さらに通常の生活に支障が生じるか否かを総合的に考慮し判断できるものとする。

【日本建築学会「小規模建築物基礎設計の手引き」木造建築物不動沈下障害と変形角】

段階	不同沈下障害の状況	変形角(傾斜) の限界：rad
初期段階	モルタル外壁・コンクリート犬走りに亀裂が発生する。	1/1000
第1期段階	束建て床の不陸を生じ、布基礎・土間コンクリートに亀裂が入る。	3/1000
第2期段階	壁と柱の間に隙間が生じ、壁やタイルに亀裂が入る。窓・額縁や出入口の接合部に隙間が生じ、犬走りやブロック塀等外部構造に被害が生じる。	5/1000
第3期段階	柱が傾き、建具の開閉が不良になる。 床が傾斜して支障を生じる。	10/1000
第4期段階	柱の傾きが著しく倒壊の危険がある。 床の傾斜もひどく使用困難である。	15/1000

○上記、木造建築物の不同沈下障害と変形角表は、矯正・復元を行う上で、構造的な許容量の参考とする。

※【参考】一般的には、床の傾斜角が第2期段階の 5/100rad～第3期段階の 10/1000rad の中間値である 8/1000rad を境に、構造的に支障を及ぼす範囲として認定している。

(I) 傾斜のラジアン(rad)表示と 1m当りの傾斜度(mm)表示の関係

ラジアン 表示	(ラジアン)	(度)	円弧の長さ	1m当りの傾斜度(mm)	$\tan(\text{傾斜角}) \times 1000$
1/1	1000/1000	57.30	0.999	999/1000	1557/1000
1/5	200/1000	11.46	0.200	200/1000	203/1000
1/10	100/1000	5.73	0.100	100/1000	100/1000
1/15	67/1000	3.82	0.067	67/1000	67/1000
1/20	50/1000	2.86	0.050	50/1000	50/1000
1/25	40/1000	2.29	0.040	40/1000	40/1000
1/30	33/1000	1.19	0.033	33/1000	33/1000
1/35	29/1000	1.64	0.029	29/1000	29/1000
1/40	25/1000	1.43	0.025	25/1000	25/1000
1/45	22/1000	1.27	0.022	22/1000	22/1000
1/50	20/1000	1.15	0.020	20/1000	20/1000
1/55	18/1000	1.04	0.018	18/1000	18/1000
1/60	17/1000	0.95	0.017	17/1000	17/1000
1/65	15/1000	0.88	0.015	15/1000	15/1000
1/70	14/1000	0.82	0.014	14/1000	14/1000
1/75	13/1000	0.76	0.013	13/1000	13/1000
1/80	13/1000	0.72	0.012	12/1000	13/1000
1/85	12/1000	0.67	0.012	12/1000	12/1000
1/90	11/1000	0.64	0.011	11/1000	11/1000
1/95	11/1000	0.60	0.011	11/1000	11/1000
1/100	10/1000	0.57	0.010	10/1000	10/1000