

5-1 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

(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

(1) 地盤条件の入力

地盤状態入力シート

調査地点ID ○○地区

項目名	メモ等
初期地下水位	1 m
低下後地下水位	3 m

※ この色のセルに入力します。

条件

条件	地表面加速度 (gal)	震源 (マグニチュード)
1.0	200	9.0
2.0	350	7.5
3.0	160	9.0

メルクマールの地震規模が規定値で入力されています。

地表面加速度と震源のマグニチュードを任意に入力します。

○で示された範囲が液状化判定を行う対象層です。液状化判定を行う対象は、地下水位以下で、かつ細粒分含有率が50%以下である層です。
青色で塗られた層は地下水位以下であることを示しています。
(なお、一般的には細粒分含有率が35%を超えると液状化は起こりにくいとされています。)

深度 (m)	土質	細粒分含有率 FC (%)	N値	単位体積重量 (kN/m ³)	飽和度 (%)	砂礫 50%粒径 D ₅₀ (mm)	地盤内 空気 混入化
0.5	表土	66.0	2	15.68	100		
1.0	表土	66.0	2	15.68	100		
1.5	砂質土	21.0	4	15.68	100		有
2.0	砂質土	21.0	5	15.68	100		有
2.5	砂質土	21.0	5	15.97	100		有
3.0	砂質土	21.0	5	15.97	100		有
3.5	砂質土	21.0	5	15.97	95		有
4.0	砂質土	21.0	5	15.97	95		有
4.5	砂質土	21.0	6	15.97	100		有
5.0	砂質土	21.0	6	15.97	100		有
5.5	砂質土	21.0	6	15.97	100		有
6.0	砂質土	21.0	6	15.97	100		有
6.5	砂質土	21.0	7	16.37	100		有
7.0	砂質土	21.0	7	16.37	100		有
7.5	砂質土	21.0	7	16.37	100		有
8.0	砂質土	21.0	7	16.37	100		有
8.5	砂質土	21.0	7	16.37	100		有
9.0	砂質土	21.0	7	16.37	100		有
9.5	粘性土	45.0	2	16.76	100		
10.0	粘性土	45.0	2	16.76	100		
10.5	粘性土	45.0	2	16.76	100		
11.0	粘性土	45.0	2	16.76	100		
11.5	砂質土	6.0	22	16.46	100		
12.0	砂質土	6.0	22	16.46	100		
12.5	砂質土	6.0	22	16.46	100		
13.0	砂質土	6.0	22	16.46	100		
13.5	砂質土	6.0	22	16.46	100		
14.0	砂質土	6.0	22	16.46	100		
14.5	砂質土	6.0	43	16.86	100		
15.0	砂質土	6.0	43	16.86	100		
15.5	砂質土	6.0	43	16.86	100		
16.0	砂質土	6.0	43	16.86	100		
16.5	砂質土	6.0	43	16.86	100		
17.0	砂質土	6.0	43	16.86	100		
17.5							
18.0							
18.5							
19.0							
19.5							
20.0							

調査地点IDやメモなどを入力します。他のシートにも自動的に連動します。初期地下水位と、低下させる地下水位を地表面からの深さで入力します。地下水位低下を行わない場合には、初期地下水位と同じ値を、低下後地下水位として入力します。地下水位の低下量を変化させ、液状化抑制効果と圧密沈下の影響の双方を検討することができます。

深度(地表面からの深さ)0.5m毎に、土質と試験結果(細粒分含有率、N値、単位体積重量)を入力します。土質は、ドロップダウンリストから入力します。

土質を入力すると、デフォルト値として飽和度100%が入力されます。飽和度を100%以下にすると、地盤内空気混入化の列に「有」が表示され、液状化安全率の計算において、空気混入化処理に伴う補正を行います。

礫質土に関しては、砂礫50%粒径を入力することで、N値を補正します。礫質土の場合についてのみご利用ください。(理論シート参照)

(2) 圧密沈下量の入力

圧密沈下量入力・計算シート

調査地点ID	〇〇地区
項目名	メ等
初期地下水位	1 m
低下後地下水位	3 m
地下水低下	1 m

圧密沈下量	3 cm
e-logp法	8 cm
Cc法	cm

この色のセルに入力します。

二つの方法で計算された圧密沈下量を表示します。
Cc法は、圧密試験を行っていない場合に用いる簡易な計算法で、地下水位の低下量が小さい場合には、圧密沈下量が過大になる傾向があります(参考図参照)。

深度 (m)	土質	層厚 (m)	単位体積重量 (kN/m ³)	初期間隙比 e ₀	圧縮係数 C _c	e-logp曲線番号	地下水位低下後の有効応力 σ _{vz} (kPa)	地下水位低下前の有効応力 σ _{vz} (kPa)	Cc法による圧密沈下量 (cm)	e-logp法による圧密沈下量 (cm)
2.0	表土	2.0	16.0	0.7	0.00		16.00	16.00	0.00	0.00
4.0	砂質土	2.0	16.3	1.7	0.00		28.70	48.30	0.00	0.00
6.0	砂質土	2.0	16.3	1.1	0.00		41.70	61.30	0.00	0.00
9.0	粘性土	3.0	16.7	1.1	0.46	1	58.55	78.15	8.40	3.21
11.0	砂質土	2.0	17.1	0.9	0.00		76.20	95.80	0.00	0.00
14.0	砂質土	3.0	16.8	1.5	0.00		94.00	113.60	0.00	0.00
17.0	砂質土	3.0	17.2	0.9	0.00		115.60	135.20	0.00	0.00
32.0	砂質土	15.0	17.6	1.0	0.00		185.20	204.80	0.00	0.00
47.0	礫質土	15.0	17.6	1.0	0.00		302.20	321.80	0.00	0.00

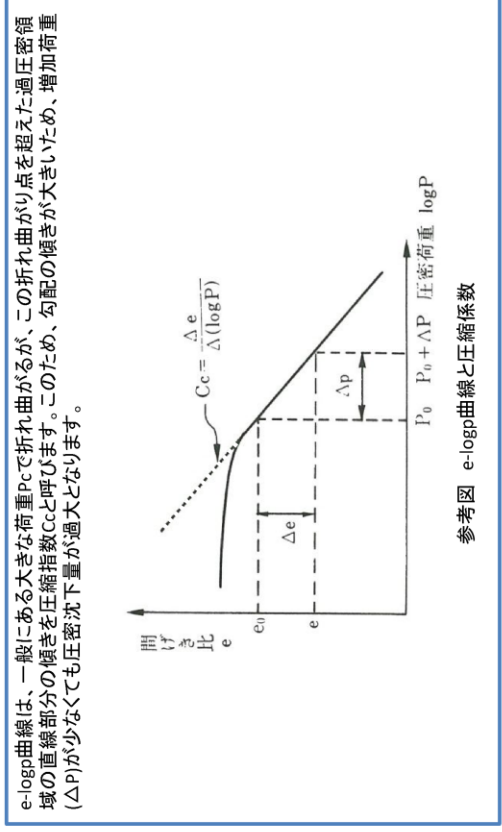
Cc法で地下水位低下に伴う圧密沈下量を計算するために、初期間隙比と圧縮係数を入力します。
e-logp法で圧密沈下量を計算するためには、右の表にe-logp曲線を入力した後、対応する曲線番号を入力します。
圧密沈下量の計算は、粘性土に対して行います。

深度(地表面からの深さ)と、土質を入力します。
土質は、ドロップダウンリストから入力します。層厚は計算されます。
圧密沈下は、基盤層より上部であれば相当深い圧密でも起こります。必ず十分な深さまで入力可能な地盤調査データを用いてください。

番号	1	2	3	4	5	
	p(kN/m ²)	e	p(kN/m ²)	e	p(kN/m ²)	e
1	0	1.528	0	1.528		
2	9.8	1.513	19.61	1.494		
3	19.61	1.494	39.22	1.46		
4	39.22	1.46	74.43	1.408		
5	74.43	1.408	156.9	1.309		
6	156.9	1.309	313.7	1.171		
7	313.7	1.171	627.5	1.038		
8	627.5	1.038	1255	0.907		
9	1255	0.907				
10	9.8	0.987				

土質試験により得られたe-logp曲線を折線で入力します。5種類の曲線まで入力可能です。曲線の番号は、左表の「e-logp曲線番号」に対応しています。

p: 圧縮応力 (kN/m²)
e: 間隙比



e-logp曲線は、一般にある大きな荷重P_cで折れ曲がるが、この折れ曲がり点を超えた過圧密領域の直線部分の傾きを圧縮指数Ccと呼びます。このため、勾配の傾きが大きいため、増加荷重(ΔP)が少なくても圧密沈下量が過大となります。

参考図 e-logp曲線と圧縮係数

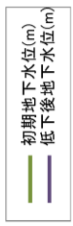
(3) プレゼンテーションシート

プレゼンテーションシート

調査地点ID		OO地区	
項目名	メモ等		
初期地下水水位	1	m	
低下後地下水水位	3	m	

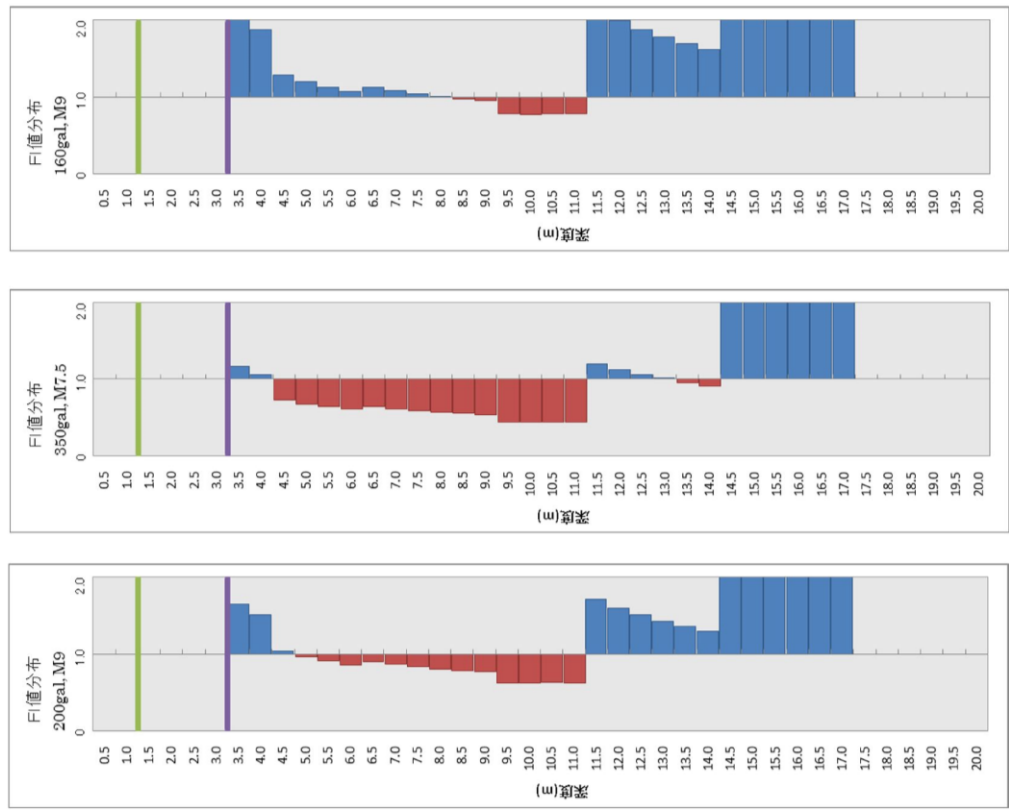
液状化による沈下量	
200gal, M9	8 cm
350gal, M7.5	13 cm
160gal, M9	4 cm

圧密沈下量	
e-log法	3 cm
Cc法	8 cm



深度 (m)	土質	細粒分含有率 FC(%)	N値 (m/s)	飽和度 (m/s)	地盤内空孔率情報	200gal, M9		350gal, M7.5		160gal, M9	
						液状化安全率 F値	液状化判定 (赤)	液状化安全率 F値	液状化判定 (赤)	液状化安全率 F値	液状化判定 (赤)
0.5	表土	66.0	2	100							
1.0	表土	66.0	2	100							
1.5	砂質土	21.0	4	100							
2.0	砂質土	21.0	5	100							
2.5	砂質土	21.0	5	100							
3.0	砂質土	21.0	5	100							
3.5	砂質土	21.0	5	95	有	1.65		1.16		2以上	
4.0	砂質土	21.0	5	95	有	1.50		1.06		1.88	
4.5	砂質土	21.0	6	100		1.03		0.73	×	1.29	
5.0	砂質土	21.0	6	100		0.96	×	0.68	×	1.20	
5.5	砂質土	21.0	6	100		0.90	×	0.64	×	1.13	
6.0	砂質土	21.0	6	100		0.86	×	0.60	×	1.07	
6.5	砂質土	21.0	7	100		0.90	×	0.64	×	1.13	
7.0	砂質土	21.0	7	100		0.88	×	0.64	×	1.13	
7.5	砂質土	21.0	7	100		0.88	×	0.64	×	1.13	
8.0	砂質土	21.0	7	100		0.88	×	0.64	×	1.13	
8.5	砂質土	21.0	7	100		0.88	×	0.64	×	1.13	
9.0	砂質土	21.0	7	100		0.88	×	0.64	×	1.13	
9.5	粘性土	45.0	2	100		0.62	×	0.44	×	0.78	×
10.0	粘性土	45.0	2	100		0.62	×	0.43	×	0.77	×
10.5	粘性土	45.0	2	100		0.63	×	0.44	×	0.79	×
11.0	粘性土	45.0	2	100		0.62	×	0.44	×	0.78	×
11.5	砂質土	6.0	22	100		1.71		1.20		2以上	
12.0	砂質土	6.0	22	100		1.60		1.12		2.00	
12.5	砂質土	6.0	22	100		1.50		1.06		1.88	
13.0	砂質土	6.0	22	100		1.42		1.00		1.78	
13.5	砂質土	6.0	22	100		1.35		0.95	×	1.69	
14.0	砂質土	6.0	22	100		1.30		0.91	×	1.62	
14.5	砂質土	6.0	43	100		2以上		2以上		2以上	
15.0	砂質土	6.0	43	100		2以上		2以上		2以上	
15.5	砂質土	6.0	43	100		2以上		2以上		2以上	
16.0	砂質土	6.0	43	100		2以上		2以上		2以上	
16.5	砂質土	6.0	43	100		2以上		2以上		2以上	
17.0	砂質土	6.0	43	100		2以上		2以上		2以上	
17.5											
18.0											
18.5											
19.0											
19.5											
20.0											

入力データと、これに基づいて行った計算結果を表とグラフで示します。入力項目はありません。



(4) 液状化抑制効果計算シート

液状化抑制効果計算シート

調査地点ID	〇〇地区
項目名	水毛等
初期地下水位	1 m
低下後地下水位	3 m
条件	地震
地表面加速度	(g)
200	9.0
350	7.5
160	9.0
修正係数	γ_n
0.80	
地表面変位量	Day(cm)
4	
0.65	
0.80	

深度 (m)	土質	細粒分含有率 FC (%)	N値	飽和度 (%)	砂礫 50%粒径 D50 (mm)	地盤内空隙率	層下層	層下層 鉛直全応力 (kPa)	層下層 水位低下前 鉛直有効応力 (kPa)	層下層 水位低下後 鉛直有効応力 (kPa)	換算N値	修正N値	修正N値/層分	補正N値	200gal. M9 液状化 安全性 F値	液状化せん断抵抗力	繰り返しせん断抵抗力	各層の水平変位量 (cm)	200gal. M9 液状化 安全性 F値	液状化せん断判定 (赤)	繰り返しせん断ひずみ	各層の水平変位量 (cm)	160gal. M9 液状化 安全性 F値	液状化せん断判定 (赤)	繰り返しせん断ひずみ	各層の水平変位量 (cm)		
0.5	表土	66.0	2	100			7.84	7.84	7.84	7.84	7.07	12.60	19.67	0.23	0.16	0.23	0.23	0.23	0.23		0.19	0.13	0.23	0.13	0.13	0.23	0.13	
1.0	表土	66.0	2	100			15.68	15.68	15.68	15.68	5.00	12.60	17.60	0.19	0.16	0.19	0.19	0.19	0.19		0.19	0.13	0.19	0.13	0.13	0.19	0.13	
1.5	砂質土	21.0	4	100			23.52	23.52	18.62	9.18	8.10	17.28	18.10	0.16	0.16	0.16	0.23	0.23	0.23		0.21	0.13	0.21	0.13	0.21	0.13	0.21	
2.0	砂質土	21.0	5	100			31.36	31.36	21.56	9.97	10.66	8.10	18.76	0.16	1.28	0.20	0.22	0.90	0.90		0.67	0.33	0.20	0.13	1.60	0.20	0.13	
2.5	砂質土	21.0	5	100			39.35	39.35	24.65	9.96	9.97	8.10	18.07	0.16	1.24	0.19	0.22	0.87	0.87		0.77	0.39	0.19	0.12	1.55	0.19	0.12	
3.0	砂質土	21.0	5	100			47.33	47.33	27.73	9.96	9.40	8.10	17.50	0.16	1.65	0.28	0.24	1.16	1.16			0.28	0.14	2.06	0.19	0.14	0.28	
3.5	砂質土	21.0	5	95	有		55.32	50.42	30.82	9.95	8.92	8.10	17.02	0.17	1.50	0.27	0.26	1.06	1.06			0.27	0.15	1.88	0.27	0.15	1.88	
4.0	砂質土	21.0	5	95	有		63.30	53.50	33.90	9.94	8.50	8.10	16.60	0.20	1.03	0.27	0.18	1.50	1.50			0.27	0.15	1.29	0.20	0.15	1.29	
4.5	砂質土	21.0	6	100			71.29	56.59	36.99	9.93	9.77	8.10	17.87	0.20	1.03	0.20	0.19	1.03	1.03			0.20	0.15	1.20	0.20	0.15	1.20	
5.0	砂質土	21.0	6	100			79.27	59.67	40.07	9.93	9.38	8.10	17.48	0.19	0.90	0.19	0.20	0.96	0.96			0.19	0.16	1.20	0.19	0.16	1.20	
5.5	砂質土	21.0	6	100			87.26	62.76	43.16	9.92	9.04	8.10	17.14	0.21	0.90	0.19	0.21	0.90	0.90			0.21	0.17	1.13	0.17	0.17	1.13	
6.0	砂質土	21.0	6	100			95.24							0.89	0.64	0.35	0.19	0.30	0.64			0.35	0.17	1.07	0.17	1.07	1.07	
6.5	砂質土	21.0	7	100			103.43							0.84	0.64	0.42	0.18	0.31	0.60			0.42	0.18	1.04	0.18	1.04	1.04	
7.0	砂質土	21.0	7	100			111.61							0.66	0.64	0.33	0.20	0.31	0.64			0.33	0.20	1.13	0.20	1.13	1.13	
7.5	砂質土	21.0	7	100			119.80							0.88	0.61	0.39	0.19	0.32	0.61			0.39	0.19	1.08	0.19	1.08	1.08	
8.0	砂質土	21.0	7	100			127.98							0.88	0.61	0.44	0.19	0.33	0.59			0.44	0.19	1.04	0.19	1.04	1.04	
8.5	砂質土	21.0	7	100			136.17							0.96	0.57	0.48	0.19	0.33	0.57			0.48	0.19	1.01	0.19	1.01	1.01	
9.0	砂質土	21.0	7	100			144.35							1.05	0.54	0.52	0.18	0.34	0.55			0.52	0.18	0.98	0.18	0.98	0.98	
9.5	粘性土	45.0	2	100			152.73							1.13	0.54	0.56	0.18	0.34	0.54			0.56	0.18	0.96	0.18	0.96	0.96	
10.0	粘性土	45.0	2	100			161.11	92.51	72.91	85	2.32	10.50	12.82	0.15	0.24	0.15	0.34	0.34				0.15	0.19	0.15	0.19	0.15	0.19	
10.5	粘性土	45.0	2	100			175.98	102.48	82.88	0.84	2.17	10.50	12.67	0.15	0.24	0.15	0.34	0.34				0.15	0.19	0.15	0.19	0.15	0.19	
11.0	粘性土	45.0	2	100			184.36	105.96	86.36	0.84	2.13	10.50	12.63	0.15	0.24	0.15	0.34	0.34				0.15	0.19	0.15	0.19	0.15	0.19	
11.5	砂質土	6.0	22	100			192.59	109.29	89.69	0.83	23.00	1.20	24.20	0.41	0.24	0.41	0.34	1.20	1.20			0.41	0.34	2.13	0.41	2.13	2.13	
12.0	砂質土	6.0	22	100			200.82	112.62	93.02	0.82	22.58	1.20	23.78	0.38	0.24	0.38	0.34	1.12	1.12			0.38	0.34	2.00	0.38	2.00	2.00	
12.5	砂質土	6.0	22	100			209.05	115.95	96.35	0.81	22.19	1.20	23.39	0.36	0.24	0.36	0.34	1.06	1.06			0.36	0.34	1.88	0.36	1.88	1.88	
13.0	砂質土	6.0	22	100			217.28	119.28	99.68	0.81	21.81	1.20	23.01	0.34	0.24	0.34	0.34	1.00	1.00			0.34	0.34	1.78	0.34	1.78	1.78	
13.5	砂質土	6.0	22	100			225.51	122.61	103.01	0.80	21.46	1.20	22.66	0.32	0.24	0.32	0.34	0.95	0.95			0.32	0.34	1.69	0.32	1.69	1.69	
14.0	砂質土	6.0	22	100			233.74	125.94	106.34	0.79	21.12	1.20	22.32	0.31	0.24	0.31	0.34	0.91	0.91			0.31	0.34	1.62	0.31	1.62	1.62	
14.5	砂質土	6.0	43	100			242.17	129.47	109.87	0.78	40.61	1.20	41.81	0.65	0.24	0.65	0.34	28.43	28.43			0.65	0.34	50.53	0.65	50.53	50.53	
15.0	砂質土	6.0	43	100			250.60	133.00	113.40	0.78	39.97	1.20	41.17	0.69	0.24	0.69	0.34	25.66	25.66			0.69	0.34	45.61	0.69	45.61	45.61	
15.5	砂質土	6.0	43	100			259.03	136.53	116.93	0.77	39.37	1.20	40.57	0.86	0.24	0.86	0.34	23.26	23.26			0.86	0.34	41.35	0.86	41.35	41.35	
16.0	砂質土	6.0	43	100			267.46	140.06	120.46	0.76	38.78	1.20	39.98	0.71	0.24	0.71	0.34	21.17	21.17			0.71	0.34	37.62	0.71	37.62	37.62	
16.5	砂質土	6.0	43	100			275.89	143.59	123.99	0.75	38.23	1.20	39.43	0.68	0.24	0.68	0.34	19.33	19.33			0.68	0.34	34.36	0.68	34.36	34.36	
17.0	砂質土	6.0	43	100			284.32	147.12	127.92	0.75	37.70	1.20	38.90	0.59	0.23	0.59	0.33	17.71	17.71			0.59	0.33	31.48	0.59	31.48	31.48	
17.5																												
18.0																												
18.5																												
19.0																												
19.5																												
20.0																												

入力データをもとに、液状化安全率やDcy値などを計算するためのシートです。ユーザーの入力に依存しません。計算のみが可能なシートです。各値の意味は、本ブック末尾に付いている「理論シート」を参照してください。

地下水位低下前後で、液状化抵抗比は一定であるとの考え方で計算しています。

5-2 地下水位低下によって発生する地盤の沈下量に関して

地下水位低下や盛土によって粘土層が圧密し地盤が沈下するが、施工条件などによって沈下量は以下のように大きく異なってくる。

(1) 洪積層からの地下水の汲み上げによって発生した地盤沈下

明治・大正時代から昭和30年代にかけて地下水を汲み上げて工業用水などに用いたため、東京の低地などで地盤沈下が発生した。東京の下町では沖積砂質土層（As層）の下部に厚い沖積粘性土層（Ac層）があり、その下部に洪積の砂礫層（Dsg層）が堆積している。洪積砂礫層の中には地下水が多く含まれ、また周囲の台地などから流れ込んでおり、明治・大正時代からの地下水位汲み上げは図-1に示すように、この洪積砂礫層の被圧水から行われていた。その場合、図に示すように、沖積粘性土層下部の水圧が下がったために圧密が発生し地盤沈下をもたらした。表層の地下水位はこれと連動してなく、地下水汲み上げ規制が行われて水圧が元に戻ってきた現在と地盤沈下が生じていた頃とで、表層の地下水位は変化していないと考えられている。したがって、圧密沈下を生じた深さは沖積粘性土層の下部にあたり、しかも水圧を大きく低下させたために数mもの地盤沈下を生じた。

(2) 埋め立てにより生じた圧密と地盤沈下

海岸の埋立地における埋め立て前後の全上載圧、間隙水圧の深度分布の変化を模式的に描くと図-2となる。なお、東京湾岸の洪積砂礫層は上記のように周囲の台地から地下水が流れてきており被圧水となっていることが多い。そのため、沖積粘性土層下部では静水圧より大きいことがあるので、この図では下部で静水圧より少し高い間隙水圧のイメージで描いてある。さて、埋め立て工事では埋立層の荷重が沖積粘性土層下部まで全層にわたって加わるため、全層で全上載圧が大きくなる。地下水位も少し上昇する（埋立地内の地下水位は周囲の海水面より高いのが一般的である）が、埋立層の荷重の方が一般に大きいので、図-2の右に示したように、全層にわたって有効上載圧が増加する。このため、沖積粘性土層の全層で圧密が生じて、大きな地盤沈下が発生することになる。

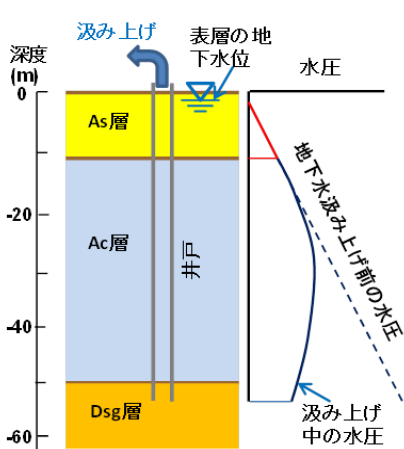


図-1 洪積砂礫層からの地下水汲み上げによる水圧低下

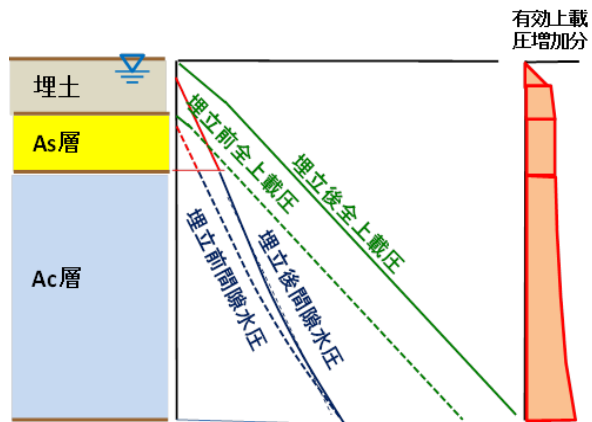


図-2 埋め立てによって増加する有効上載圧

(3) 表層の地下水位低下によって発生する圧密と地盤沈下

地表面下3m程度の深度から、浅井戸や排水溝で表層の地下水位を低下させた場合の有効上載圧の増加を模式的に描くと、図-3となる。地下水位の低下量に比例して有効上載圧の増加量は増す。ただし、数mの厚さで埋め立てを行った場合に比べ、1~2mほど水位低下（一般に地下水位が浅い場合でも宅地では地下水位は地表面下1m程度より深いので、地表面下3m程度まで地下水位を下げても、水位低下量は1~2mにしかならない）しただけでは有効上載圧の増加量は小さい。

また、市街地液状化対策事業による実証実験¹⁾²⁾³⁾が行われる前は、水位低下による水圧低下の分布は図-3(b)のように平行移動すると考えてきたが、実験を行ってみると実際には図-3(c)のように、下部に砂礫層や砂層がある場合にはその層の水圧は下がらず、平行移動ではない実験結果がいくつかでてきた。これは、東京湾岸などでは沖積粘性土層の下部の砂礫層では地下水が流れており被圧もしていたりするので、地下水位を下げてでも圧密対象層下部の間隙水圧は変化しないためと考えられる。このため、図-3(b)のように考えて計算シートなどで地盤の沈下量を予測していたのに反し、実験結果の沈下量が小さくなった地区が出てきた。それだけではなく、埋立層の下部に沖積砂層（As層）がある場合でも周囲の地盤から地下水が流れてくるのか、地下水位を下げてでも下部にある沖積粘性土（Ac層）の間隙水圧は変化しない結果も出てきている。この場合は地下水位を下げてでもAc層の圧密沈下は生じないことになる。したがって、実証実験で地下水位を低下した場合の水圧分布の変化や実際の沈下量を測定することが望まれる。

この他、詳細な地盤調査や実証実験を行って分かったこととして、沖積粘性土といえども一定の過圧密状態になっており、そのために地盤の沈下量が実際には小さく出たケースもある。したがって、実証実験を行えない地区でも、圧密試験も含む詳細な地盤調査をすれば地盤沈下の過大な心配をしなくてすむケースもある。

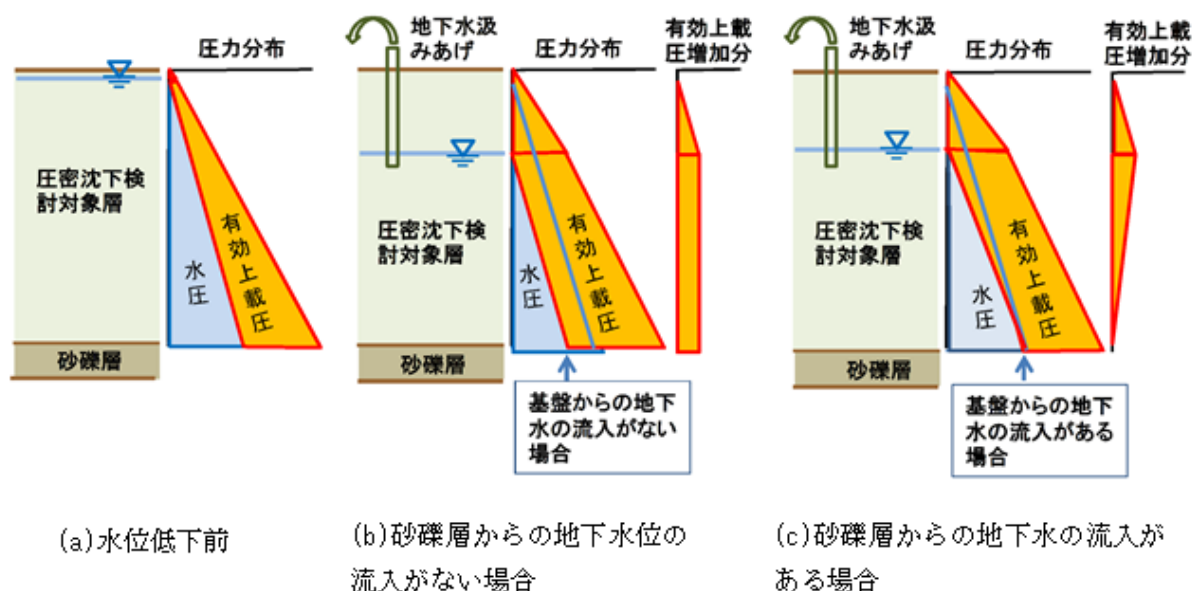


図-3 表層からの地下水汲み上げによる有効上載圧の増加

<参考文献>

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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

5-3 液状化被害軽減策の考え方

液状化被害地区の中には、地盤条件が特異なために、再液状化対策の目標水準を満足する設計を行うことが著しく困難な場合が存在する。そのような地区は、本来新規造成時であれば住宅地とすることを避けるべき土地であるが、被災地復興の場合には、集団移転など他の復興方策との比較において、地域の合意形成を図り、現地において不十分ながらも最低限の液状化被害軽減策を採用することが合理的と考えられる場合がある。

こうした特殊な地盤条件の地区においては、再液状化対策の目標水準を一部緩和することが必要となるが、その場合の新たな目標水準は、家屋の被害を最小限に止めるという観点から、地盤が支持力を失って建物が地盤面に潜り込む「めり込み沈下」を抑制できる水準を目標とすることが妥当である。

一部の液状化被害地区においては、液状化層が厚く堆積する場合、現行の「 $H_1 \geq 3\text{m}$ かつ $D_{cy} < 5\text{cm}$ 」の液状化対策が技術上困難である。ここでは、「 $H_1 \geq 3\text{m}$ のみ」を確保することで、住宅のめり込み沈下量を軽減し、住宅の液状化被害を抑制する方策を示す。

1. 地質タイプと液状化軽減策の考え方

(1) 液状化被害軽減の考え方

砂利採取跡地等で液状化層が非常に厚い場合は、地下水位をGL-3mまで低下しても、 $D_{cy} < 5\text{cm}$ をクリアできないなど液状化に伴う沈下量を小さくすることができない。

このため、「減災型」として、 $H_1 \geq 3\text{m}$ を確保すればめり込み沈下量が軽減され住宅の傾斜が低減できる「めり込み沈下の抑制のみ」の対策を容認する考えである。具体的には、ガイダンスにおいて「 $H_1 \geq 3\text{m}$ かつ $D_{cy} < 5\text{cm}$ 」を住宅が建ったままでは技術上困難な場合に「 $H_1 \geq 3\text{m}$ のみ」を認めることを示している。地区の大部分では液状化被災軽減策の基準を満足するが、局所的に満たない箇所がある場合は、専門家を含む委員会で軽減策の選択を行い、住民に十分説明したうえで合意形成を図る必要がある。

なお、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・影響については、＜資料編5-1＞簡易計算シートの入力・計算例を参照とされたい。

(2) 液状化発生しやすさの地質分類

液状化が発生しやすい条件には以下の3つがある。

- ①地下水位が浅い
- ②砂地盤
- ③緩い状態にある地盤

また、液状化が発生しやすい微地形は、海岸や池・沼などの水面を埋め立てた干拓地や埋立地、旧河道、自然堤防、砂丘と内陸の際などである。これらのことから地質分類からみて液状化発生しやすさは表-1に示す6つのタイプに分けられる。

表-1 液状化発生しやすさの地質分類

地質タイプ	内 容
タイプ-1	丘陵地、段丘面、扇状地
タイプ-2	谷底低地、後背湿地
タイプ-3	海岸平野、自然堤防、三角州、干拓地
タイプ-4	池・沼地跡、水深の浅い埋立地
タイプ-5	水深の深い埋立地、採掘跡地（地下水位が浅い場合）
タイプ-6	水深の深い埋立地、採掘跡地（地下水位が深い場合）

表-1は、液状化発生しやすい地質タイプと各地質タイプ別に応じた液状化対策工選定における留意点をまとめたものである。各地質タイプにおける液状化のしやすさと対策工法の考え方としては以下の通りとなる。ただし、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「地質タイプ-1、地質タイプ-2」

宅地基礎地盤が扇状地性の砂礫層や、後背湿地性の軟弱地盤（シルト・粘土主体）のため“液状化発生の可能性は少ない”と評価され、砂質土層の分布が確認されない場合には液状化における対策は不要と考えられる。

②「地質タイプ-3（図-1）、地質タイプ-4（図-2）」

宅地基礎地盤が緩い砂質土層や埋め立て土層のため、液状化発生の可能性が高い”、または、“液状化発生の可能性が非常に高い”と評価される。液状化対象層厚が比較的薄い（層厚概ね5m未満）ため液状化対策工としては、地下水位低下工法や格子状改良工法が適用可能な工法として挙げられる。

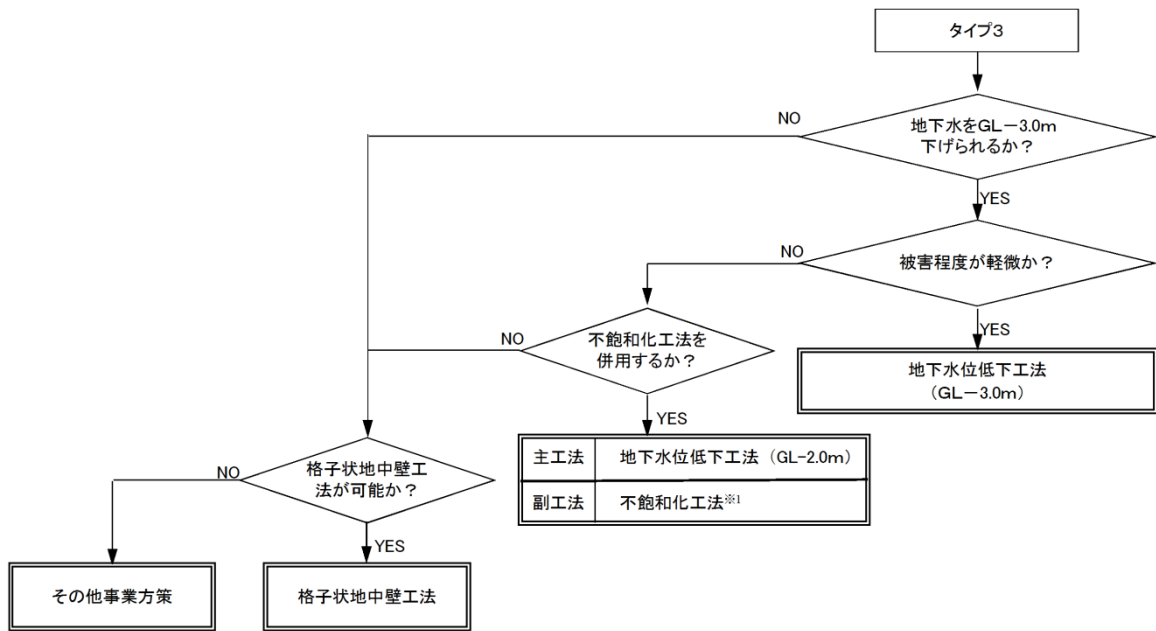
③「地質タイプ-5、地質タイプ-6」（図-3）

宅地基礎地盤が水深の深い埋立地や採掘跡地であり、埋め土層が厚く“液状化発生の可能性が非常に高い”と評価される。地下水位が高いタイプとGL-3m以深の深いタイプである。開削工法による排水管方式の場合地下水位低下はGL-3.0m程度までが適用可能な深さであるため、タイプ5では開削工法で地下水位低下対策が施される。それ以深のタイプ6で水位低下対策を施す場合は、推進工法による排水管方式や不飽和化工法等を適用することを検討する必要である。不飽和化工法等においては現段階で補助的な副工法扱いであり、抜本的な液状化対策工法の主工法とは評価できない。したがって、確実に対策できる工法がないため、改善の策として“液状化被害の軽減策”を考える必要がある。なお、液状化被害の軽減策を考

える必要がある場合については、＜資料編 5－4＞の例題を参照とされたい。

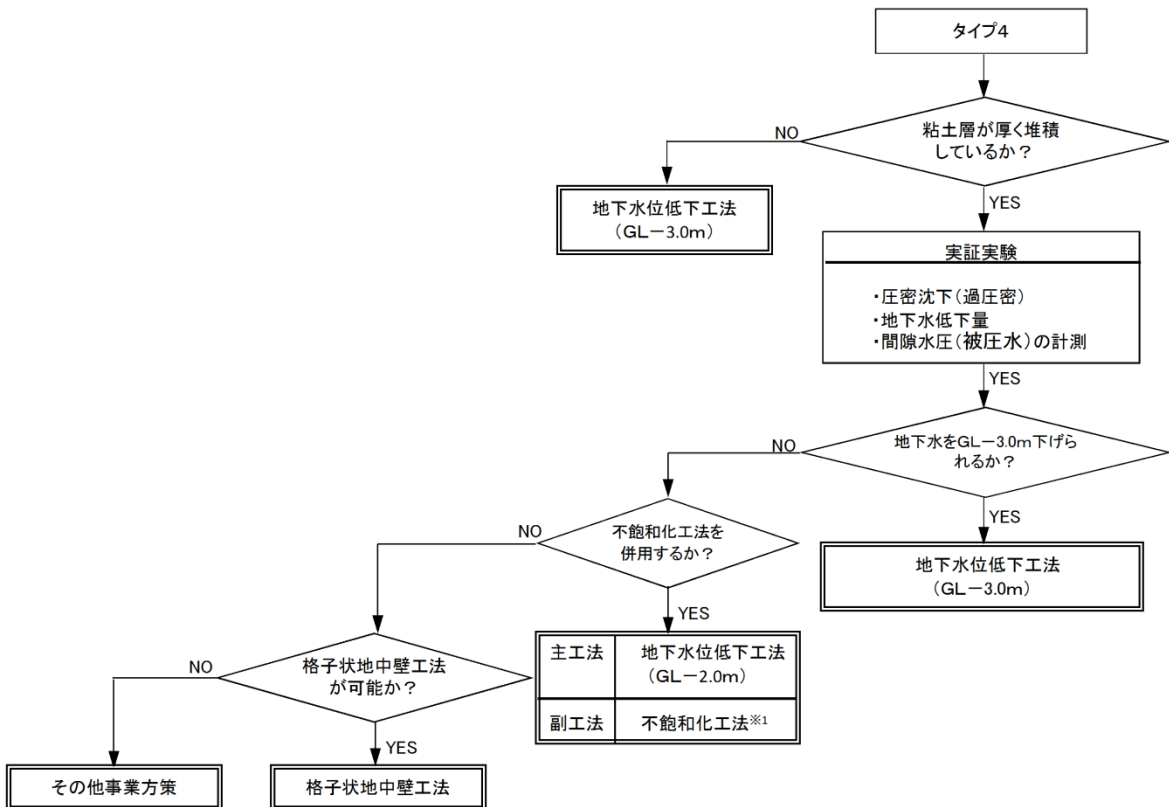
表-2 地質タイプ別に応じた液状化対策選定の留意点

	タイプ-1(丘陵地、段丘面、扇状地)	タイプ-2(谷底低地、後背湿地)	タイプ-3(海岸平野、自然堤防、砂州)	タイプ-4(干拓地、旧池、旧沼地跡、灌漑の埋立地)	タイプ-5(埋立地、探掘跡地)	タイプ-6(埋立地、探掘跡地)
模式図						
① 地質の特徴	水深の浅い、良く締まった砂礫層が厚く分布するタイプ	表層より、軟弱層(N値<4)と評価される沖積層の軟質なシルト層や粘性土層が厚く分布するタイプ	水深の浅い、緩い砂質土層(As)が表層より厚く分布するタイプ	水深の浅い、埋め立て層が緩い砂質土や浚渫土で構成され、以深には軟質な粘性土層(Ac)が分布するタイプ。F層の層厚は5~6m未満。	水深の浅い、自然地盤を何らかの理由で掘削し緩い砂質土主体の土を埋め戻したタイプ。F層の層厚は5~6m以上。	地質タイプ-5と同様な地質構成であり、地下水位がGL-3m以下より深いタイプ。F層の層厚5~6m以上。
② 液状化可能性の	液状化の可能性は少ない。	沖積粘土層は細粒分(Fc:粘土・シルト)の混入が多い為、液状化の可能性は少ない。	液状化の可能性が高い。ただし、東日本大震災では埋土層(F)以外の自然堆積物(As)での液状化履歴は少ない。	液状化の可能性が非常に高い。	液状化の可能性が非常に高い。	液状化の可能性が高い。
③ 適用可能な対策工	-	-	・地下水低下工法 ・格子状改良工法	・地下水低下工法 ・格子状改良工法	・地下水低下工法 ・不飽和工法	・液状化被害の軽減策
④ 対策工選定における留意点	-	細粒分の含水が多い場合でもシルト分が卓越する場合は、留意が必要。	地下水低下工法は、砂地盤のため沈下量も少なく安価工法で最も適した対策工法と評価される。採用を行う場合は以下の調査・解析を行うことが望ましい。 ・揚水試験 ・浸透流解析	地下水低下工法を採用する場合には、下位に分布する粘土層(Ac)の圧密沈下が懸念される。東日本大震災に行われた実証実験より、下位粘土層(Ac)への被圧地下水の影響等により、想定沈下量と報告されているが、採用に当たっては、以下の試験・解析や実証実験を行うことが望ましい。 ・圧密試験 ・浸透流と圧密の連成解析 ・間隙水圧計の設置	液状化の可能性が非常に高い。埋土層の層厚が比較的薄い場合(5~6m未満)は、2~3m程度の地下水低下工法でも有効である。しかし、埋土層が厚い場合(6~10m以上)は、液状化に伴う沈下量を軽減できない可能性が高い。この場合、液状化被害の軽減策を考える。	地下水位がGL-3m以下の場合、地下水低下工法が適用できない可能性がある。この場合、液状化被害の軽減策を考える。



※1 「不飽和化工法」については、現段階で研究途上のため工法ならびにその許容値が明確なものがないため、専門家を含む委員会で検討することが望ましい。

図-1 タイプ3 (砂質土層主体) の液状化対策工選定フロー



※1 「不飽和化工法」については、現段階で研究途上のため工法ならびにその許容値が明確なものがないため、専門家を含む委員会で検討することが望ましい。

図-2 タイプ4 (液状化層以深に軟弱層が分布) の液状化対策工選定フロー

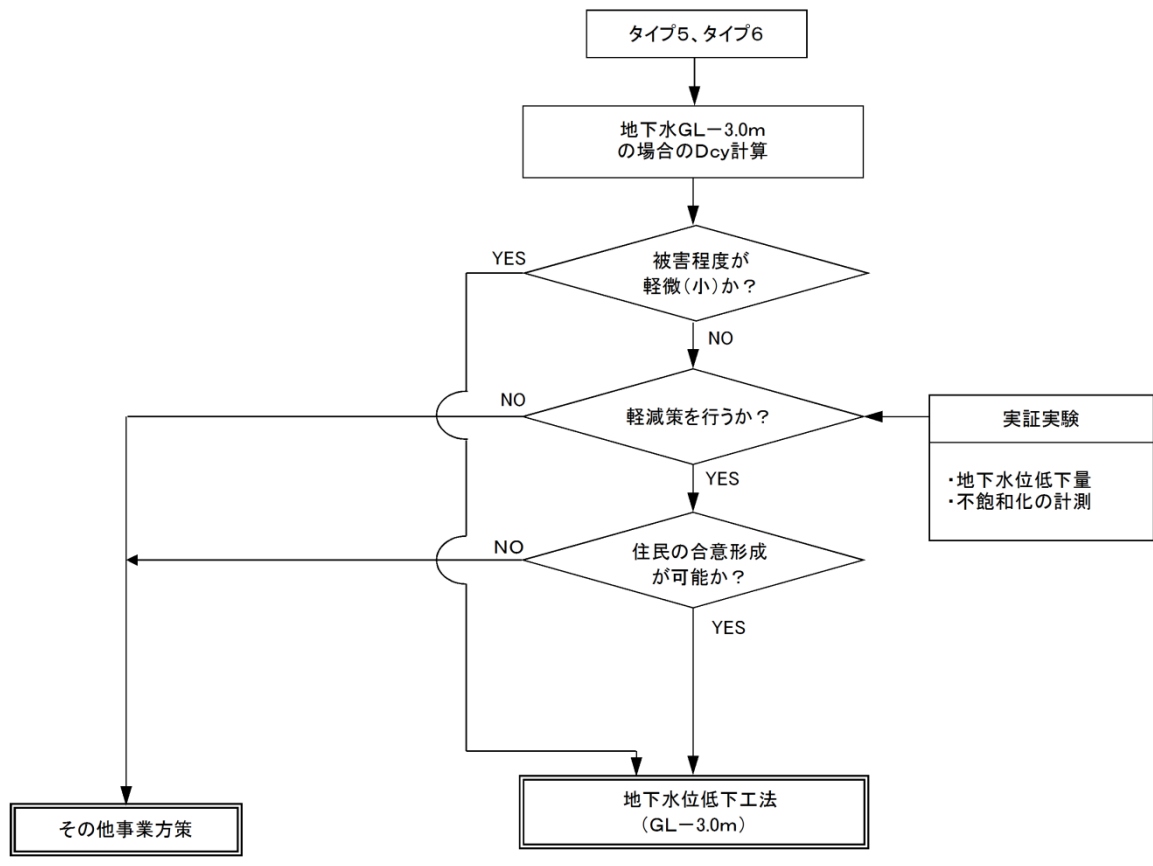


図-3 タイプ5、タイプ6（埋立地、採掘跡地）の液状化対策工選定フロー

2. 液状化によるめり込み沈下量の推定方法

これまでの被災事例から、全体に平均めり込み沈下量が大きくなると建物の傾斜角も大きくなる傾向がある¹⁾ので、平均めり込み沈下量を推定すると傾斜角も推定することができる。地盤中の構造物のめり込み沈下量の推定方法には、①被災例や実験から得られた経験式から推定する方法と、②解析によって推定する方法があるので、算定においては適切な推定を用いる必要がある。

(1) 液状化した地盤中の構造物のめり込み沈下量を推定する方法の種類

液状化した地盤中の構造物のめり込み沈下量や地盤の圧縮沈下量を推定するのは簡単ではない。それは液状化が地盤の破壊現象であり、液状化により物性が突然変わり、また液状化後も揺すられ続けると沈下量や傾斜角、流動量も増すからである。

しかし、近年、液状化によるこれらの変位・変形量を推定する試みが行われるようになってきた。その方法を大別すると、まず、表-3に示すように被災例や実験から得られた経験式から推定する方法と、解析によって推定する方法に分けられる。

解析による方法には時々刻々液状化の発生や地盤・構造物の変位・変形量を求めていく詳細な動的解析方法と、最終的に残留する変位・変形量だけを求める簡易的な静的解析方法がある。

なお、めり込み沈下が発生するメカニズム及び影響を与える要因については、〈資料編5-5〉を参照とされたい。めり込み沈下量から建物傾斜角を推定する方法については、〈資料編5-6〉を参照とされたい。弾性論の式を利用してめり込み沈下量を推定する方法については、〈資料編5-7〉を参照とされたい。

表-3 液状化に伴う地盤及び構造物の変位・変形量を推定する方法の分類²⁾

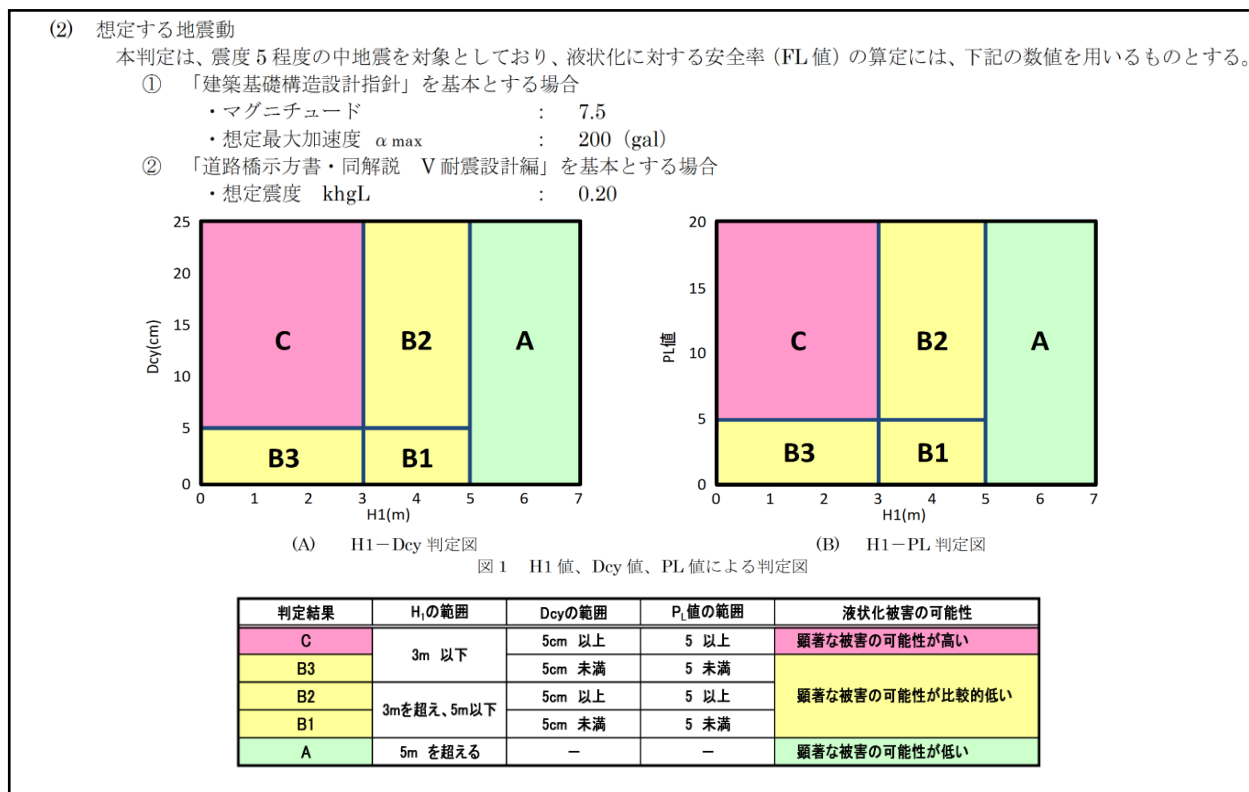
類		概要	特徴
経験にもとづいて推定する方法		過去の被災事例や模型実験などから出された経験式により推定する方法	簡易ではあるが適用できる構造物や地盤の条件に限られる。
解析を行って推定する方法	静的解析方法 (残留変形解析方法)	静的FEMなどを利用し、最終変形量だけを推定する方法	比較的簡易であり、ある程度の精度も有する。
	動的解析方法	過剰間隙水圧の発生・伝播を考慮できる時刻歴地震応答解析を行って変形量の時刻歴を詳細に解析する方法	精度は高く種々の条件に対応できる。ただし方法は複雑であり、また、精度に見合った詳細な地盤データが必要である。

〈参考文献〉

- 1) 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.
- 2) 公益社団法人 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報告書、液状化から戸建て住宅を守るための手引き、p67、2013.5

5-4 液状化被害の軽減策を考える必要がある場合の例題

戸建て住宅の液状化被害の可能性の判定は「宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針¹⁾」によると次のように示される。



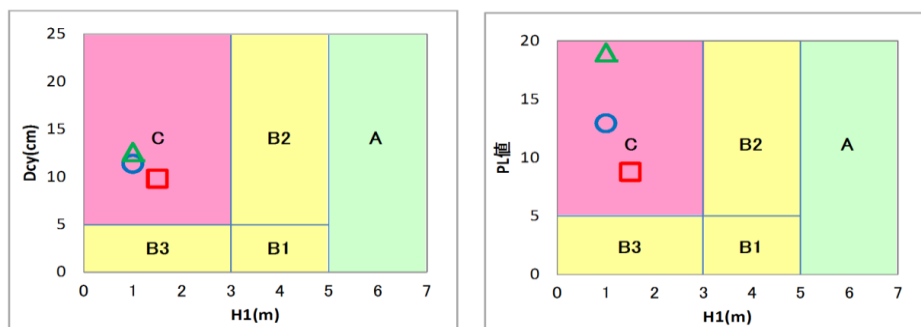
ここで、茨城県神栖市の砂利採掘跡地を例題に液状化被害の可能性について検討する。
 地質タイプについては、<資料編 5-3 表-2>に示す「タイプ-4およびタイプ-5」について
 想定し、いずれも地下水位はGL-1.0mに分布している。

(1) タイプ4：液状化層厚 5mを想定

1) 対策前の検討：地下水位 GL-1.0m

地表変位量（Dcy）および液状化指数（P_L）いずれにおいても、「c」に分類され「顕著な液状化被害の可能性が高い」と評価される。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液状化層 H1	地表変位量 Dcy		液状化指標値 PL値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (khgL)	地震動レベル		数値(cm)	判定	数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	1.5	9.8	C	8.80	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	1.0	11.4	C	12.96	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	1.0	12.6	C	19.03	C	△



2) 対策後の検討：地下水低下対策 GL-3m

中地震 (M7.5 200gal) を想定した場合は、地表変位量 (Dcy) および液状化指数 (PL) いずれにおいても、「B3」に分類され「顕著な液状化被害の可能性が比較的少ない」と評価され、地下水低下対策の有効性が高い。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液状化層 H1	地表変位量 Dcy		液状化指標値 PL値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kgL)	地震動レベル		数値(cm)	判定	数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	3.0	5.0	B3	2.39	B3	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	3.0	6.4	C	4.87	B3	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	3.0	7.4	C	8.07	C	△

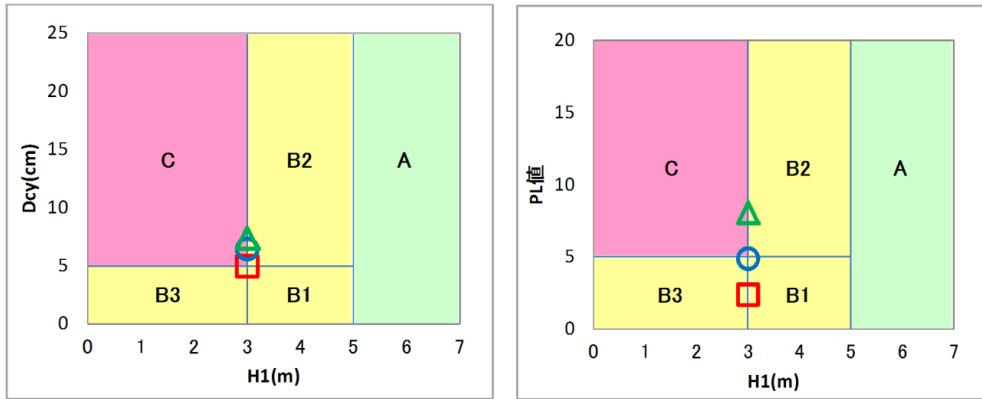


図-2 タイプ4 (液状化層厚 5m での再液状化の検討)

(2) タイプ5：液状化層厚 9m を想定

1) 対策前の検討：地下水位 GL-1.0m

地表変位量 (Dcy) および液状化指数 (PL) いずれにおいても、「c」に分類され「顕著な液状化被害の可能性が高い」と評価される。特に地表変位量 (Dcy) は中地震においても20cm以上を示し、液状化の程度は「大」に分類される。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液状化層 H1	地表変位量 Dcy		液状化指標値 PL値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kgL)	地震動レベル		数値(cm)	判定	数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	1.5	20.2	C	17.63	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	1.0	23.1	C	24.91	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	1.0	25.3	C	34.98	C	△

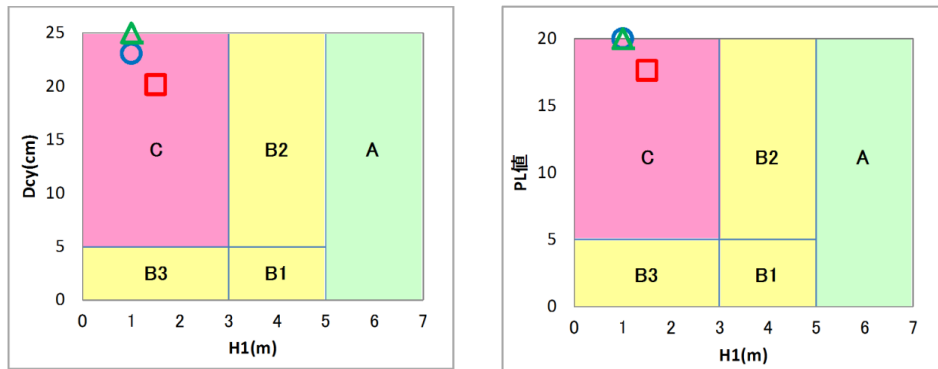


図-3 タイプ5 (液状化層厚 9m での再液状化の検討)

2) 対策後の検討：地下水低下対策 GL-3m

地下水低下対策を実施した場合においても、中地震（M7.5 200gal）では、地表変位量（ D_{cy} ）および液状化指数（ P_L ）いずれも、「c」に分類され「顕著な液状化被害の可能性が高い」となり対策の優位性がない。技術指針・同解説（案）に示される対策効果（ $D_{cy} < 5\text{cm}$ ）を評価した場合には、地下水低下量がGL-5.5m以上必要であり、現状における地下水低下工法では適用が困難であり、液状化による被害の軽減策を考える必要がある。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液状化層 H1	地表変位量 D_{cy}		液状化指標値 P_L 値		グラフ内 凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kkgL)	地震動レベル		数値(cm)	判定	数値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	3.0	13.7	C	7.49	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	3.0	17.6	C	13.79	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	3.0	20.3	C	21.96	C	△

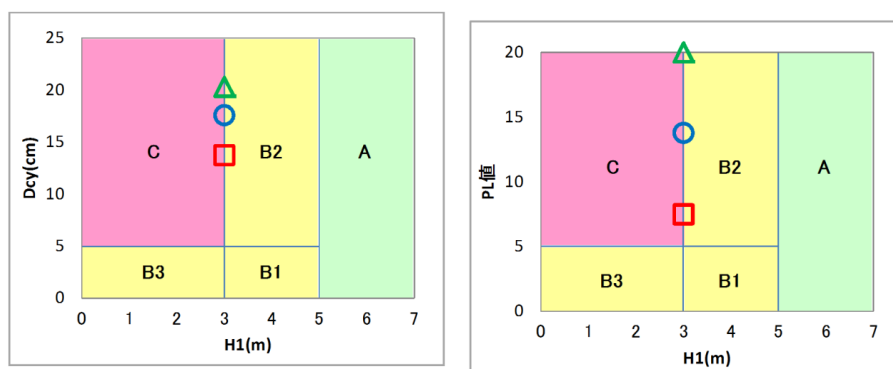


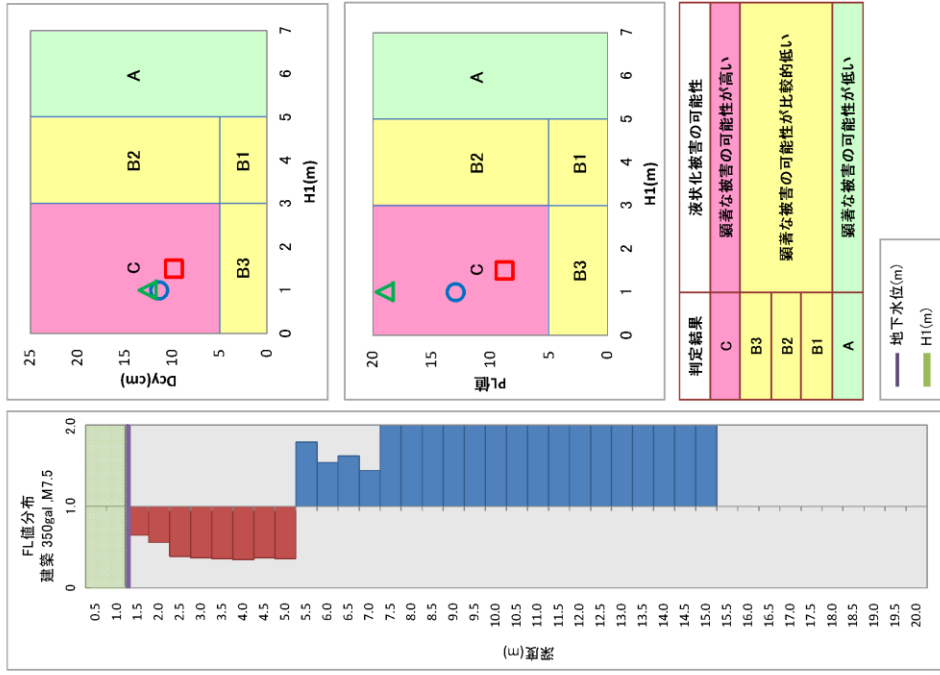
図-4 タイプ5（対策後の検討：地下水低下対策 GL-3m、液状化層厚 9m）

以上のことから、＜資料編 5-3 表-2＞に示す地質タイプ5およびタイプ6の場合においては、地表変位量（ D_{cy} ）および液状化指数（ P_L ）からの可能性の判定は難しく、液状化被害の軽減策を考慮した場合には別途検討手法を考える必要がある。

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液化化層		地素変位置		液化化指標値		グラブ内凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (khg/L)	地震動レベル	HI	Dey	数値 (cm)	判定	PL値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	1.5	C	9.8	C	8.80	C	□
2	建築	200.0	9.0	-	-	1.0	C	11.4	C	12.96	C	○
3	建築	350.0	7.5	-	-	1.0	C	12.6	C	19.03	C	△

ガイダンス例題1	
調査地点ID	自然水位
項目名	1.0 m
地下水位	

深度 (m)	土質	N値	建築 200gal_M7.5		建築 200gal_M9		建築 350gal_M7.5	
			FL値 (併)	液化化 安全率 判定	FL値 (併)	液化化 安全率 判定	FL値 (併)	液化化 安全率 判定
0.5	表土	6						
1.0	表土	6						
1.5	表土	5	1.13	×	0.92	×	0.65	×
2.0	表土	5	0.98	×	0.79	×	0.56	×
2.5	表土	2	0.69	×	0.56	×	0.39	×
3.0	表土	2	0.65	×	0.53	×	0.37	×
3.5	表土	2	0.63	×	0.51	×	0.36	×
4.0	表土	2	0.61	×	0.50	×	0.35	×
4.5	表土	3	0.64	×	0.52	×	0.37	×
5.0	表土	3	0.63	×	0.51	×	0.36	×
5.5	砂質土	20	2以上		2以上		1.79	
6.0	砂質土	20	2以上		2以上		1.54	
6.5	砂質土	21	2以上		2以上		1.62	
7.0	砂質土	21	2以上		2以上		1.44	
7.5	砂質土	25	2以上		2以上		2以上	
8.0	砂質土	25	2以上		2以上		2以上	
8.5	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
9.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
9.5	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.5	砂質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.5								
16.0								
16.5								
17.0								
17.5								
18.0								
18.5								
19.0								
19.5								
20.0								



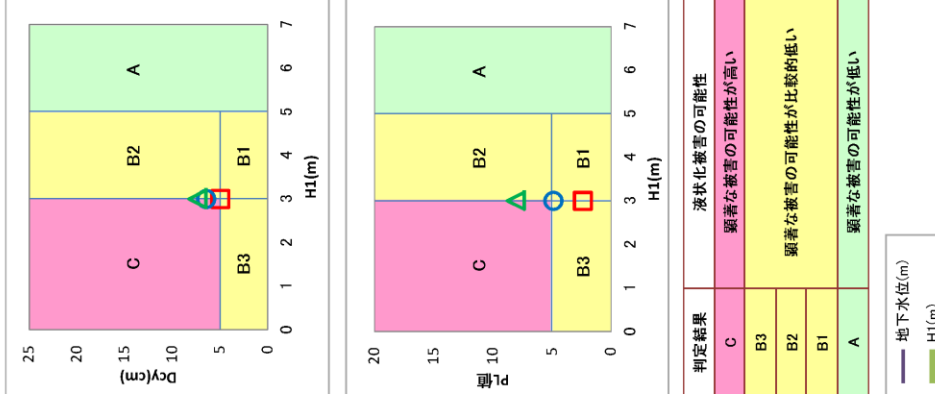
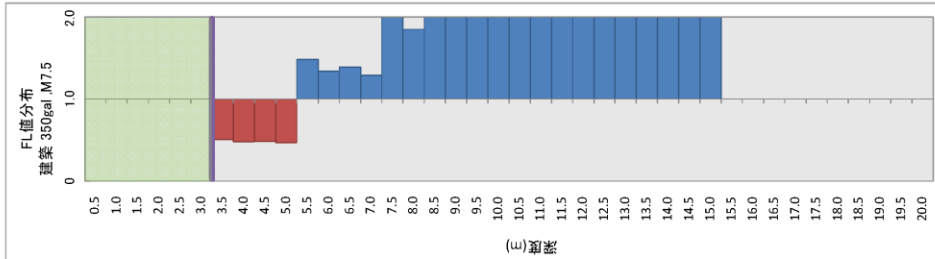
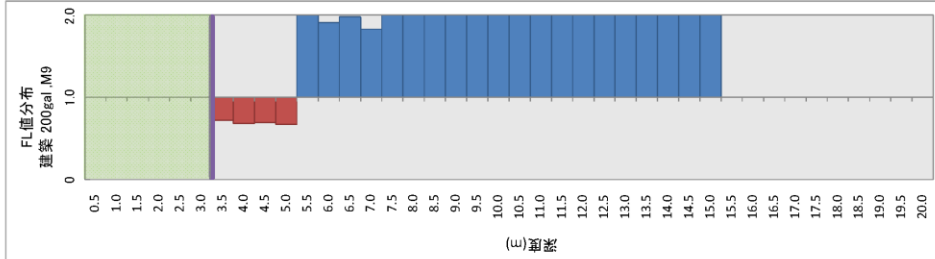
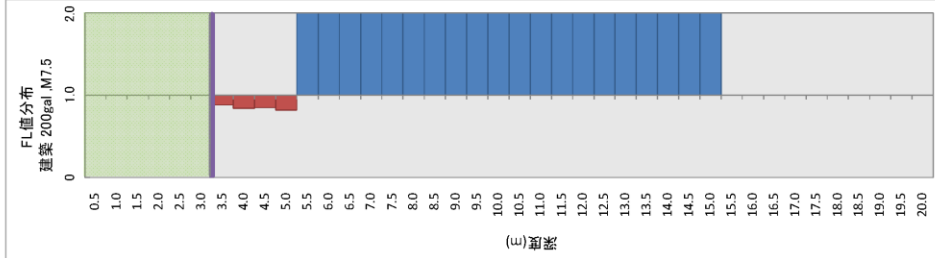
判定結果	液化化被害の可能性
C	顕著な被害の可能性が高い
B3	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	
B1	
A	顕著な被害の可能性が低い

— 地下水位(m)
— HI(m)

条件	計算	建築設定項目		道示設定項目		非液化化層		地表変位量		液化化指標値		グラフ内凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kkgL)	地震動レベル	HI	Dey	数値	判定	PL値	判定	
1	建築	200.0	7.5	-	-	3.0	5.0	B3	2.39	B3	□	
2	建築	200.0	9.0	-	-	3.0	6.4	C	4.87	B3	○	
3	建築	350.0	7.5	-	-	3.0	7.4	C	8.07	C	△	

調査地点ID	ガイダンス例題1-1
項目名	地下水低下-2m
地下水位	3.0 m

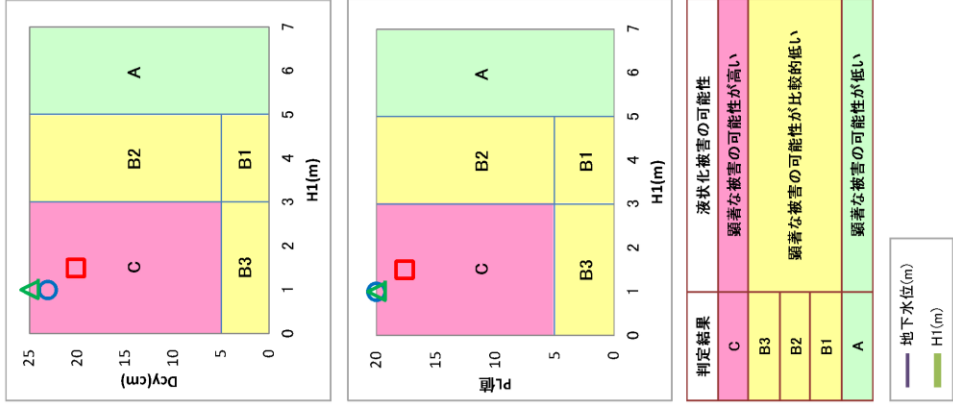
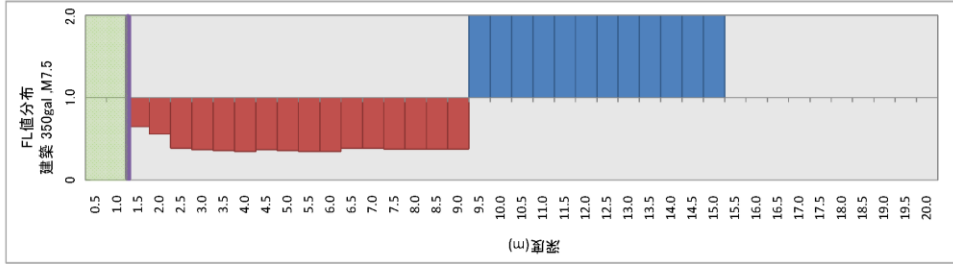
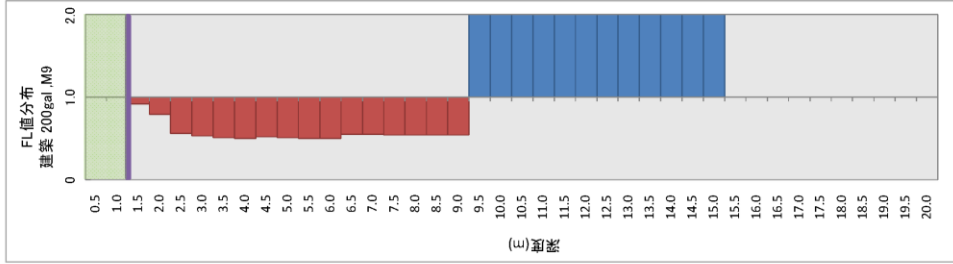
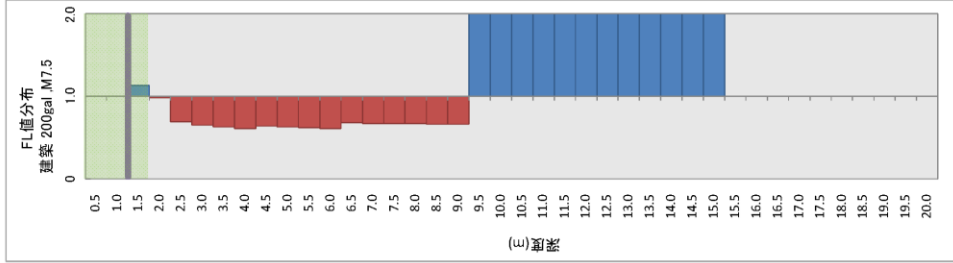
深度 (m)	土質	N値	建築 200gal.M7.5		建築 200gal.M9		建築 350gal.M7.5	
			液化化安全率 FL値	判定 (赤)	液化化安全率 FL値	判定 (赤)	液化化安全率 FL値	判定 (赤)
0.5	表土	6						
1.0	表土	6						
1.5	表土	5						
2.0	表土	5						
2.5	表土	2						
3.0	表土	2						
3.5	表土	2	0.88	×	0.72	×	0.51	×
4.0	表土	2	0.84	×	0.68	×	0.48	×
4.5	表土	3	0.85	×	0.69	×	0.49	×
5.0	表土	3	0.82	×	0.67	×	0.47	×
5.5	砂質土	20	2以上		2以上		1.48	
6.0	砂質土	20	2以上		1.91		1.34	
6.5	砂質土	21	2以上		1.98		1.39	
7.0	砂質土	21	2以上		1.83		1.29	
7.5	砂質土	25	2以上		2以上		2以上	
8.0	砂質土	25	2以上		2以上		1.85	
8.5	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
9.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
9.5	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.5	砂質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.5								
16.0								
16.5								
17.0								
17.5								
18.0								
18.5								
19.0								
19.5								
20.0								



条件	計算	建築設定項目		表示設定項目		非液化化層		地表変位量		液化化指標値		グラフ内凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度 (kkgL)	地震動レベル	H1	Dey	判定	PL値	判定		
1	建築	2000	7.5	-	-	1.5	20.2	C	17.63	C	□	
2	建築	2000	9.0	-	-	1.0	23.1	C	24.91	C	○	
3	建築	3500	7.5	-	-	1.0	25.3	C	34.98	C	△	

調査地点ID		ガイダンス例題2	
項目名	自然水位	1.0	m
地下水位			

深度 (m)	土質	N値	建築 200gal.M7.5		建築 200gal.M9		建築 350gal.M7.5	
			液化化安全率 FL値	液化化判定 (赤)	液化化安全率 FL値	液化化判定 (赤)	液化化安全率 FL値	液化化判定 (赤)
0.5	表土	6						
1.0	表土	5	1.13	×	0.92	×	0.65	×
1.5	表土	5	0.98	×	0.79	×	0.56	×
2.0	表土	5	0.69	×	0.56	×	0.39	×
2.5	表土	2	0.65	×	0.53	×	0.37	×
3.0	表土	2	0.63	×	0.51	×	0.36	×
3.5	表土	2	0.61	×	0.50	×	0.35	×
4.0	表土	2	0.64	×	0.52	×	0.37	×
4.5	表土	3	0.63	×	0.51	×	0.36	×
5.0	表土	3	0.62	×	0.50	×	0.35	×
5.5	表土	3	0.61	×	0.50	×	0.35	×
6.0	表土	3	0.68	×	0.55	×	0.39	×
6.5	表土	5	0.67	×	0.55	×	0.39	×
7.0	表土	5	0.67	×	0.54	×	0.38	×
7.5	表土	5	0.67	×	0.54	×	0.38	×
8.0	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
8.5	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
9.0	表土	5	0.66	×	0.54	×	0.38	×
9.5	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.0	砂質土	30	2以上		2以上		2以上	
10.5	砂質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
11.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
12.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
13.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
14.5	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.0	礫質土	50	2以上		2以上		2以上	
15.5								
16.0								
16.5								
17.0								
17.5								
18.0								
18.5								
19.0								
19.5								
20.0								



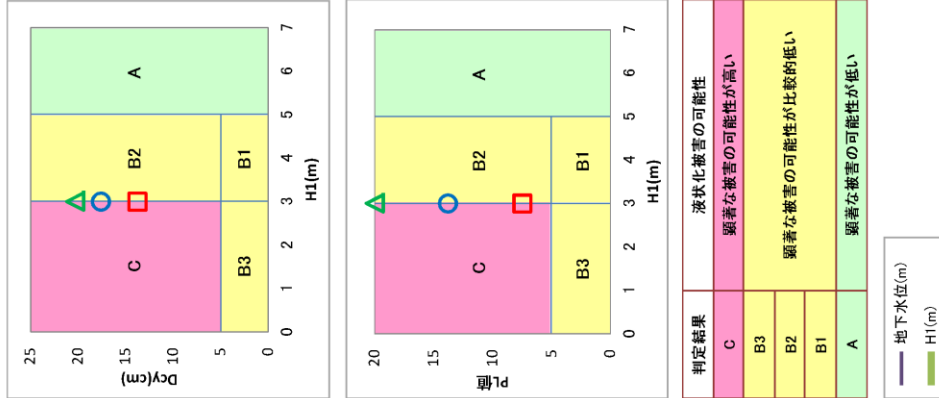
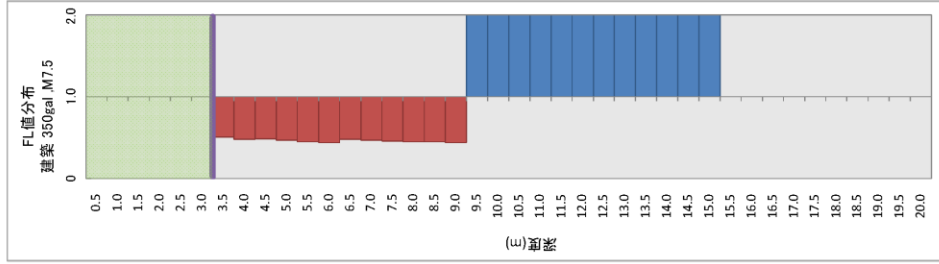
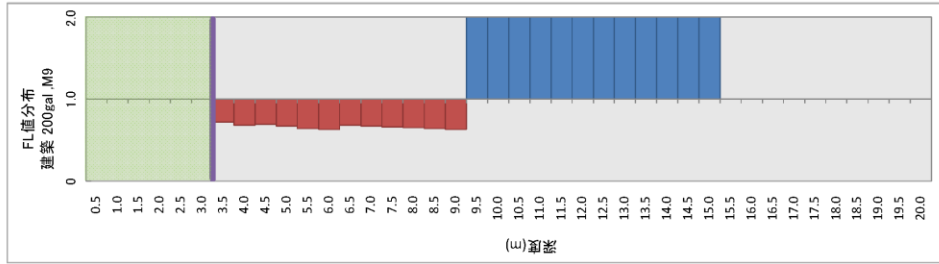
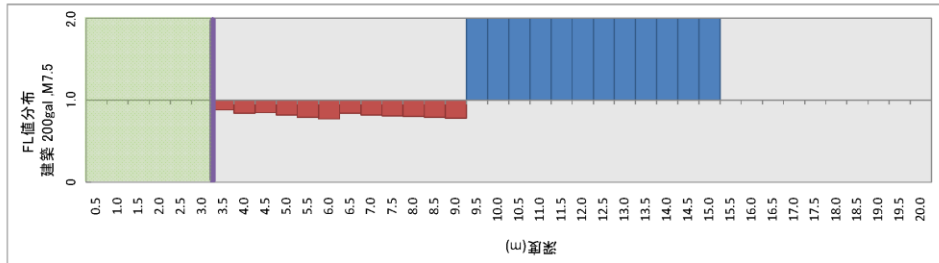
判定結果	液化化被害の可能性
C	顕著な被害の可能性が高い
B3	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	
B1	
A	顕著な被害の可能性が低い

— 地下水位(m)
— H1(m)

条件	計算	建築設定項目		表示設定項目		非液状化層		地表変位量		液状化指標値		グラフ内凡例
		最大加速度 (gal)	マグニチュード (M)	水平震度	地震動レベル	H1	Dey	判定	PL値	判定		
1	建築	2000	7.5	-	-	3.0	13.7	C	7.49	C	□	
2	建築	2000	9.0	-	-	3.0	17.6	C	13.79	C	○	
3	建築	3500	7.5	-	-	3.0	20.3	C	21.96	C	△	

調査地点ID	ガイダンス例題2-1
項目名	地下水低下-2m
地下水位	3.0 m

深度 (m)	土質	N値	建築 200gal, M7.5		建築 200gal, M9		建築 350gal, M7.5	
			液状化安全率	判定	液状化安全率	判定	液状化安全率	判定
0.5	表土	6						
1.0	表土	6						
1.5	表土	5						
2.0	表土	5						
2.5	表土	2						
3.0	表土	2						
3.5	表土	2	0.88	×	0.72	×	0.51	×
4.0	表土	2	0.84	×	0.68	×	0.48	×
4.5	表土	3	0.85	×	0.69	×	0.49	×
5.0	表土	3	0.82	×	0.67	×	0.47	×
5.5	表土	3	0.79	×	0.64	×	0.45	×
6.0	表土	3	0.77	×	0.63	×	0.44	×
6.5	表土	5	0.84	×	0.68	×	0.48	×
7.0	表土	5	0.82	×	0.67	×	0.47	×
7.5	表土	5	0.81	×	0.66	×	0.46	×
8.0	表土	5	0.80	×	0.65	×	0.45	×
8.5	表土	5	0.79	×	0.64	×	0.45	×
9.0	表土	5	0.78	×	0.63	×	0.44	×
9.5	砂質土	30	2以上	○	2以上	○	2以上	○
10.0	砂質土	30	2以上	○	2以上	○	2以上	○
10.5	砂質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
11.0	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
11.5	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
12.0	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
12.5	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
13.0	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
13.5	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
14.0	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
14.5	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
15.0	礫質土	50	2以上	○	2以上	○	2以上	○
15.5								
16.0								
16.5								
17.0								
17.5								
18.0								
18.5								
19.0								
19.5								
20.0								



<参考文献>

- 1) 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・同解説（案），
<http://www.mlit.go.jp/common/000993757.pdf>（2014年1月7日閲覧）

5-5 むり込み沈下が発生するメカニズム及び影響を与える要因

(出典 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報告書—液状化から戸建て住宅を守るための手引書—，平成25年3月)

(1) 液状化が戸建て住宅を沈下・傾斜させるメカニズム

液状化により戸建て住宅が沈下するメカニズムを考えると、液状化が発生した後間隙水が噴出することによって地盤全体が圧縮沈下し、建物はその中にさらにめり込んで沈下する。これを模式図で描くと図-1のようになる。このように沈下量は、以下を区別して考える必要がある。

- ①地盤自体の圧縮沈下量
- ②建物の絶対沈下量
- ③建物のめり込み沈下量

これらのうち①の地盤の圧縮沈下に関しては平面的に一様に沈下すれば建物の傾斜もあまり生じないので一般に建物に甚大な被害を与えない。これに対し、③の地盤にめり込んで建物が沈下するのは、もともと支持力がある地盤が急に泥水化し、支持力を失って沈下するため、沈下と同時に傾斜や家屋のゆがみなども生じ建物にとって甚大な被害をもたらす。②の絶対沈下量は①と③の合計である。したがって、重要なのは③のめり込み沈下量になる。

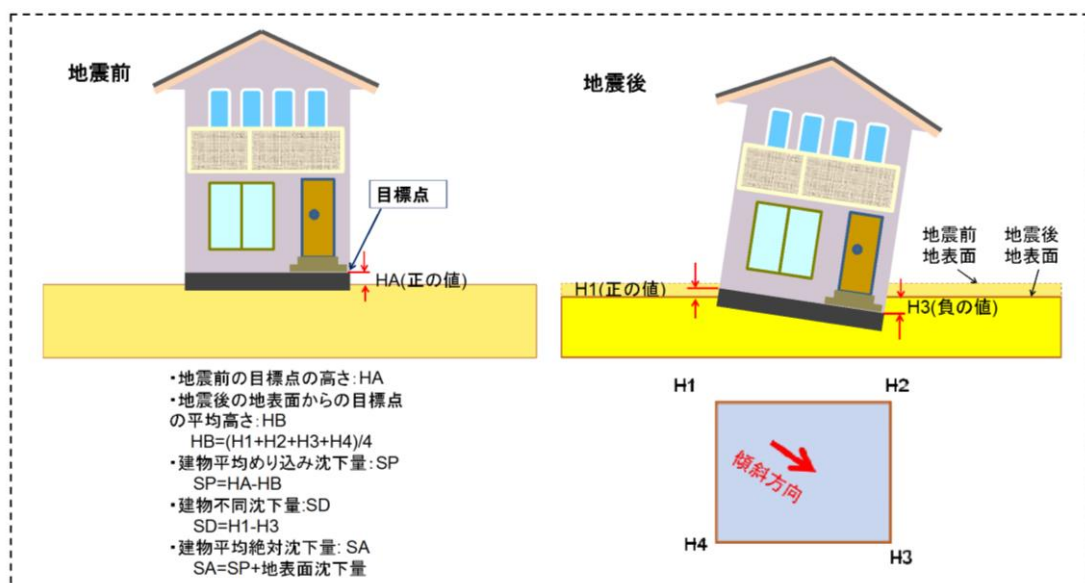


図-1 むり込み沈下量の定義¹⁾

また、めり込み沈下が発生するメカニズムの一つは、図-2のように建物が地盤内にめり込んでいくためには、その下の土を横方向に押し出す必要がある。これは地表面に押し出されるため、図-2に示したように建物近傍が盛り上がる。なお、この横方向に押し出すことを防げばめり込み沈下量も減ることになる。二つ目は、液状化した地盤から水が噴出することに伴う圧縮沈下も加わることである。したがって、めり込み沈下量は図-2に示したように、建物の絶対沈下量から周囲の地盤の沈下量を差し引いた値となる。

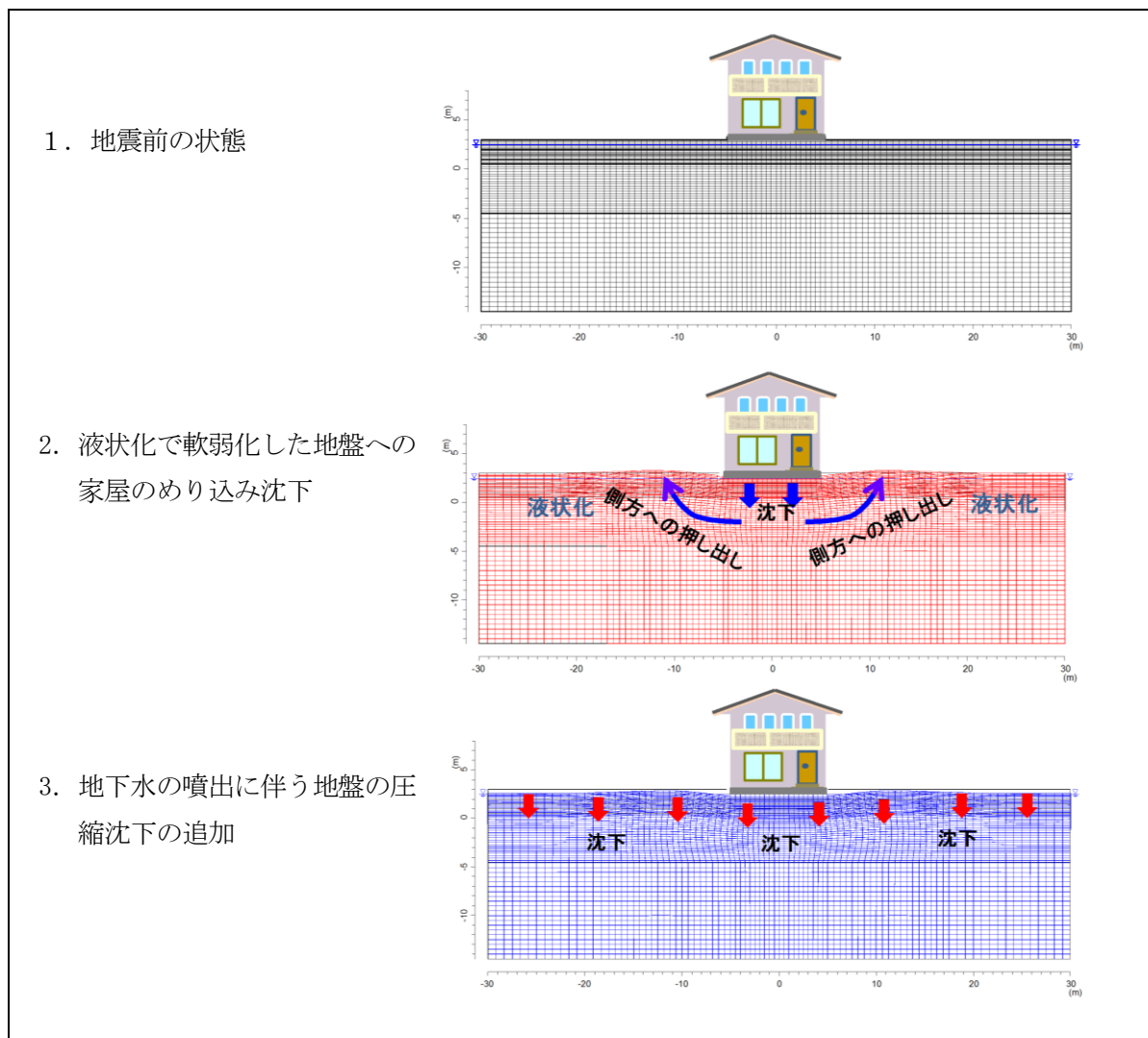


図-2 めり込み沈下が発生するメカニズム

(2) めり込み沈下に影響を与える要因

液状化は地下水位以下の地層しか直接的には発生しないが、住宅地では地下水面は地表面にはなくある深さのところ分布する。また、地下水面直下の層でも全て液状化するとは限らないので、必ず非液状化層が表層に存在する。この非液状化層とその下の液状化層の特性や、建物の諸元、地震動特性に関する下記の要因が戸建て住宅の沈下量に影響するのではないかと考えられる。

- ①地盤に関する要因：非液状化層の厚さや硬さ、地下水位、液状化層の厚さや粒径・緩さ
- ②建物に関する要因：建物荷重、建物幅、基礎の根入れ深さ
- ③地震動：地震動の大きさ、振幅、継続時間

東日本大震災後の浦安市での調査によると、図-3に示すように被害の程度が大きいほど地下水位は浅い傾向にあった。地下水位が深くなると、液状化層での有効上載圧が大きくなるので液状化し難くなる。それと同時に図-4に示すように住宅基礎下の非液状化層厚も厚くなりその分支持力（地耐力）も増えるため、沈下し難くなるのではないかと考えられる。

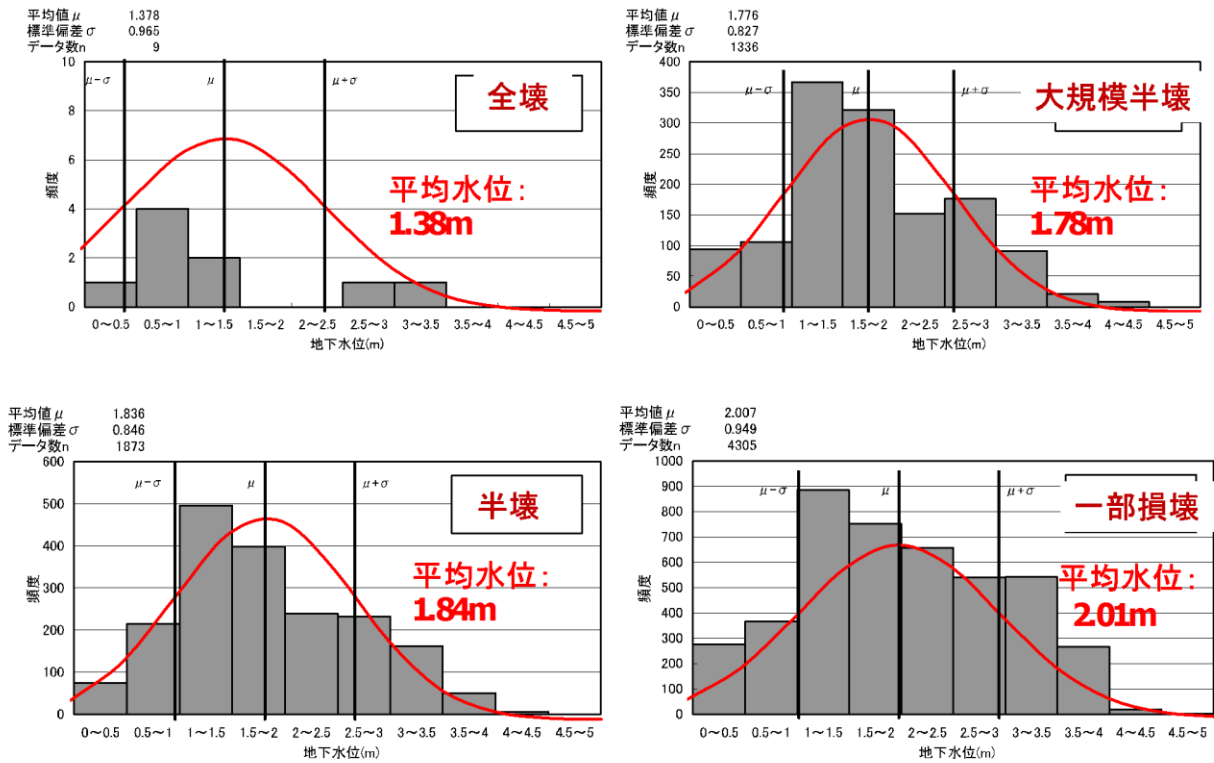


図-3 浦安市における戸建て住宅の被害と地下水位の影響²⁾

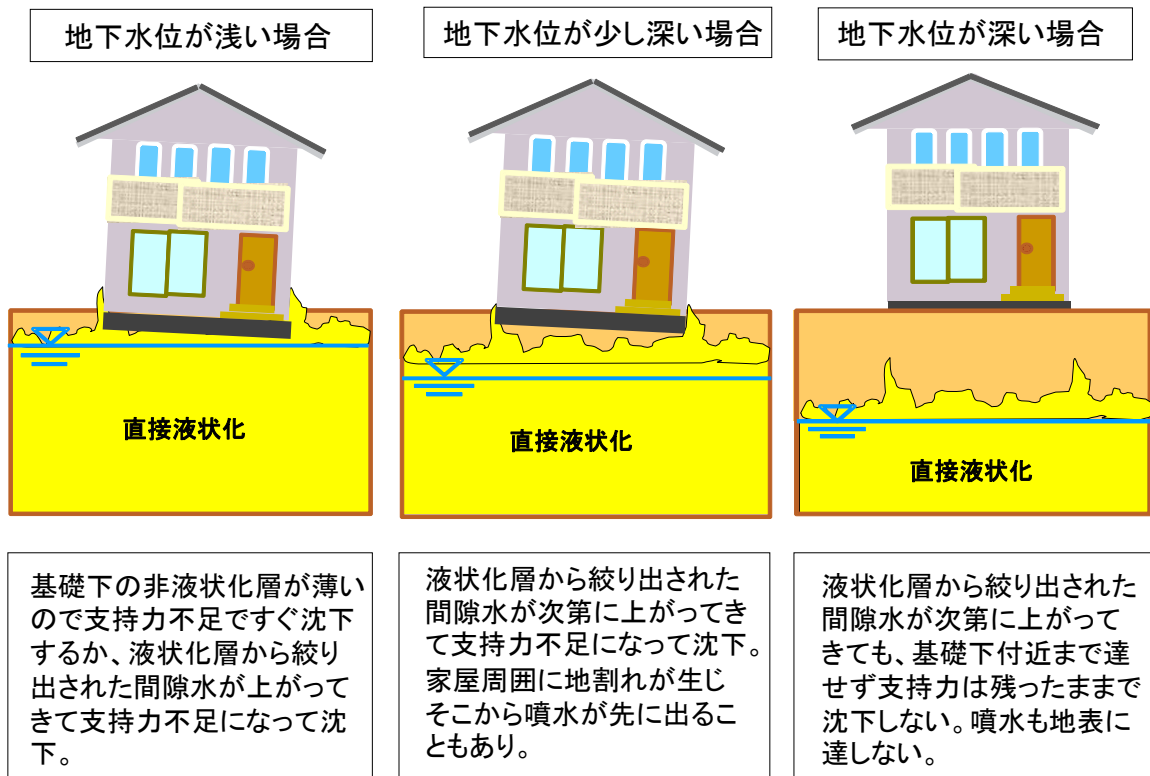


図-4 地下水位の影響による戸建て住宅の沈下¹⁾

また、2000年鳥取県西部地震の時の安倍彦名団地の事例³⁾⁴⁾では、建物の傾斜角と地下水位の分布などが詳細に調べられた。その結果、地下水位が浅いほど戸建て住宅の傾斜角が大きく、地下水位が1.6m程度より深いと傾斜角は「10/1,000」程度以下になり生活に支障がないことが示されている。

これらのことから、非液状化層厚をある一定値以上を確保することによって、液状化によるめり込み沈下量や建物傾斜を抑制できるものと考えられる。

「宅地耐震設計マニュアル（案）：UR都市機構、平成20年4月」⁵⁾では、図-5に示すように非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 の関係を以下のように示している。

これによると、中地震（M7.5 200gal）においては、非液状化層 H_1 を3m確保することにより液状化の影響が地表面に及ばず（地下水位が深い場合）、液状化被害を抑制する目安になる。これらのことから、液状化被害の軽減策としては「液状化層厚 H_1 を3m確保することによりめり込み沈下量を少なくし建物傾斜を軽減する」ことが有効な軽減策と考えられる。

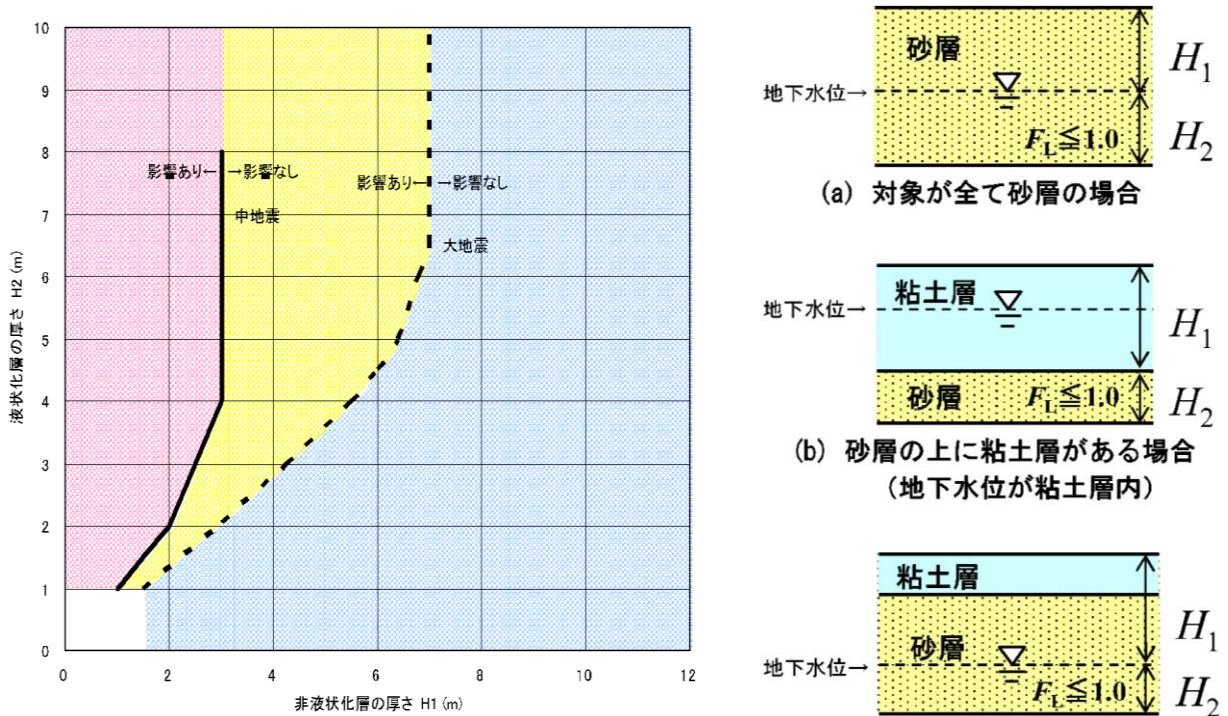


図-5 非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 の関係⁵⁾

<参考文献>

- 1) 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報告書－液状化から戸建て住宅を守るための手引書 一，2013.3.
- 2) 浦安市液状化対策技術検討調査委員会・地盤工学会・土木学会・日本建築学会：平成23年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書，2012.
- 3) 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回年次学術講演会講演概要集，pp.1029-1030，2002.
- 4) 橋本隆雄・安田進：鳥取県西部地震における液状化被害と地下水位の関係，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，III-514，pp.1027-1028，2002.
- 5) UR都市機構：宅地耐震設計マニュアル（案），2008.4.
Learned from Recent Strong Earthquakes, 15th ICSMGE, pp.33-42, 2001.

5-6. むり込み沈下量から建物傾斜角を推定する方法

(出典：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報告書
 - 液状化から戸建て住宅を守るための手引書 -，平成25年3月)

(1) むり込み沈下が戸建て住宅に与える影響の考え方と検討すべき事項

建物基礎直下の地盤が地震時に液状化すると、それまで建物荷重を支えていた硬い地盤が急に軟弱化するため、建物の荷重の大きさに応じて建物が沈下する。これがむり込み沈下を生じる原因であるが、図-1に示すように建物基礎直下の土は液状化しなくて硬くても（非液状化層と呼ぶ）その下の土が液状化（液状化層と呼ぶ）した場合、非液状化層厚 H_1 と液状化層厚 H_2 のバランスによってむり込み沈下が生じるか否か異なってくる。例えば、 H_1 が薄くて H_2 が厚いとむり込み沈下が生じ易い。

むり込み沈下量には H_1 、 H_2 の値以外に建物の荷重や底面積などいくつかの要因が影響する。

むり込み沈下が均等に生じて建物が傾斜しない場合には、ライフラインが被害を受けたり出入りが困難になったり、また、布基礎の場合は床が盛り上がるような被害は生じるものの、家の中での生活には大きな支障をきたさないこともある。ところが、むり込み沈下を生じる時には地盤が軟弱化しているので傾きながら沈下しやすい。特に、建物が隣接している場合には2棟間の地盤に応力集中が生じて2棟が内向きに傾きながらむり込み沈下している。

そこで、むり込み沈下が建物に与える影響を検討する場合にはむり込み沈下量だけでなく、傾斜角（不同沈下量）も求める必要がある。解析を行って推定する場合にはこの両者とも同時に推定できる。これに対し、経験式から求める場合には同時には求める方法がまだ開発されていない。ただし、一般にむり込み沈下量が大きいくほど傾斜角も大きくなるので、平均むり込み沈下量を求め、それを基に傾斜角を求める方法を示す。

(2) むり込み沈下量から傾斜角を推定する方法

1964年新潟地震における新潟市、1991年フィリピン・ルソン島地震におけるダグパン市、1999年トルコ・コジャエリ地震におけるアダパザル市では、液状化による中層建物の沈下量や傾斜角が詳細に調べられている。これをもとに、平均むり込み沈下量と傾斜角の関係をプロットしたのが図-2である。各地で関係が異なるが、平均的な関係としては以下のようにになっている。

$$\theta(^{\circ})=0.05 \times S_{av} \text{ (cm)} \quad \text{式(1)}$$

なお、三つの事例のうちアダパザル市では特に傾斜角が大きくなっているが、アダパザル市では

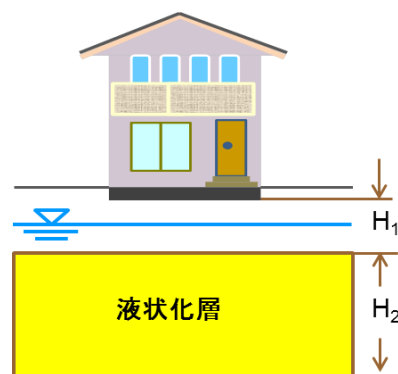


図-1 液状化層厚 H_1 とその上の非液状化層厚 H_2 ¹⁾

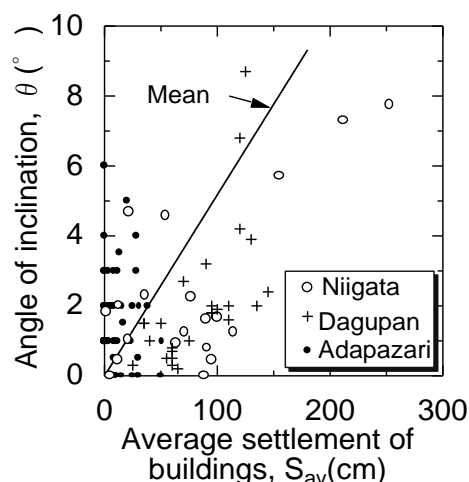


図-2 中層ビルにおける平均むり込み沈下量と傾斜角の関係²⁾

中層建物が密集して建てられているため、建物間の相互作用で傾斜角が大きかったのではないかと考えられる。

一方、東日本大震災の際の戸建て住宅の被害を調査し、平均めり込み沈下量と傾斜角の関係が図-3のように求められている²⁾。ここで、平均めり込み沈下量とは周囲の地盤に対する家屋四隅のめり込み沈下量の平均値である。各都市で住宅の密集度などが異なるためデータはかなりばらついているが、全体に平均めり込み沈下量が大きくなると傾斜角も大きくなる傾向がある。

また、住宅が密集して隣接住宅との間隔が狭い千葉市や習志野市の方が、密集していない潮来市や神栖市に比べて、同じ平均めり込み沈下量でも傾斜角が大きい傾向がある。これは2棟間の影響で密集している方が傾き易いことに起因していると思われる。そこで、図-3をもとにすると、平均めり込み沈下量 $S_{av}(mm)$ から傾斜 $\theta(1/1,000)$ が下記の式でだまかに推定できることになる。

$$\text{住宅密集地区：}\theta(1/1,000)=0.13\times S_{av}(mm) \quad \text{式(1)}$$

《試算例》

$$S_{av}=75(mm) \Rightarrow \text{住宅密集地区：}\theta=0.13\times 75 \approx 10 \quad \theta=(10/1,000)$$

また、地震動レベルに応じて許容傾斜角を変えると良いと考えられるが、これに該当するめり込み沈下量を式(1)から推定すると、概ね表-1の最右欄のような値になると言えよう。

ただし、これはいくつか仮定のもとで求めたものであり、実際に対策工の設計をこのような簡便な方法で行う場合には、安全を見込んでこの値よりは少し小さい値の許容値を設定することも必要と考えられる。

表-1 許容傾斜角とめり込み沈下量の関係³⁾

地震動レベル	住宅に必要と考えられる性能	該当する平均めり込み沈下量
レベル1 地震動 または中地震	「全層にわたって液状化させない」、もしくは一部の深さが液状化しても有害な沈下や傾斜(例えば半壊程度に至らない10/1,000以下)を生じないようにする。	10cm程度。ただし、住宅が密集している地区ではこれより少し小さい値を、散在している地区では少し大きな値をとると良い。
レベル2 地震動 または大地震	液状化が発生してもある程度の損傷は許容し、大規模半壊程度に至らない(傾斜角では16.7/1,000(1/60)程度以下)ようになるようにする。	15cm程度。ただし、住宅が密集している地区ではこれより少し小さい値を、散在している地区では少し大きな値をとると良い。

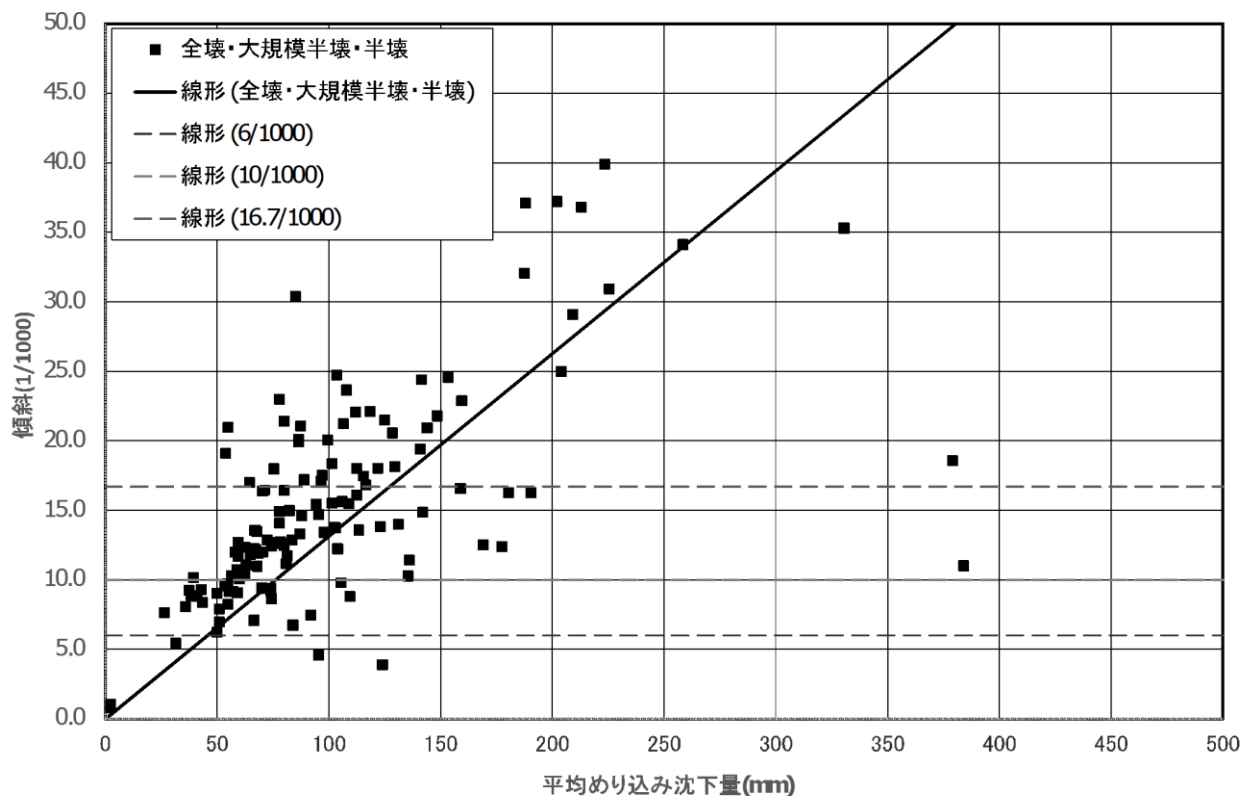


図-3 東日本大震災における戸建て住宅のめり込み沈下量と傾斜角の関係⁴⁾
(千葉市と習志野市の場合)

<参考文献>

- 1) UR都市機構：宅地耐震設計マニュアル（案）,2008.4.
- 2) Yasuda, S., Irisawa, T. and Kazami, K. : Liquefaction-induced settlements of buildings and damages in coastal areas during the Kocaeli and other earthquakes, Proc. of the Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, 15th ICSMGE, pp.33-42, 2001.
- 3) 公益社団法人 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報告書
— 液状化から戸建て住宅を守るための手引書 —, 2013.3.
- 4) 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.