6. 軟弱地盤解析

6-1. 現地踏査および軟弱地盤解析フロー

本業務地は軟弱地盤上の造成盛土で、沈下・安定・液状化に対し敷設材工法、地盤固結などについて検討した。

本業務地で軟弱地盤解析を検討するにあたり、現況を把握すべく現地踏査を実施した。着目点は、 ①小牛田駅造成工事当時からの鉄塔の現状、②小牛田駅側現道(連絡道路)と本業務地北側端部の 農道との隣接状況、③本業務地内鉄塔の隣接状況、④小牛田駅側現道(連絡道路)と本業務地南側 端部の農道との隣接状況、⑤本業務地全域と北側端部の境界付近の現状を把握することである。

図-6.1.2 に上記着目点の位置図を、PH-1~PH-5 にこれらの状況を示した。

上記の状況を踏まえて、図-6.1.1に軟弱地盤解析フローを示した。



図-6.1.1 軟弱地盤解析フロー



図-6.1.2 現場状況と現場踏査による着目箇所





【PH-3】 連絡道路と本業務に該当する鉄塔の隣接状況



【PH-2】 連絡道路と本業務北端の農道との交差点付近の現状盛土状況



【PH-4】連絡道路と本業務南端の農道との交差点付近の現状盛土状況



【PH-5】本業務北端の農道から本業務地全体を撮影

注)本報告書では「小牛田駅東線」を「連絡道路」と 称している。

軟弱地盤解析を実施するための条件として、①地盤条件,②解析基準,③解析断面,④解析式を 挙げられるが、それぞれの項目について検討を行った。

(1) 地盤条件

前章から本業務地の軟弱地盤の特徴は、以下のとおりである。

- ・軟弱地盤は、深度 GL-10~11m までに分布する上部~中部沖積粘性土層と同沖積砂質土層からなる。それぞれの単相の層厚はややバラツキがあるが、最大層厚は Sm=2~4m で比較的薄い(表-6.2.1 を参照)。
- ・特に、高含水比の泥炭主体の上部沖積粘性土層(AU-p1)の最大層厚はSmmax=2m強である。
- ・上部沖積粘性土層(AU-p1)の含水比は、Wn=416~639(573)%で他層を大きく上回っており、 最も脆弱な層である。間隙比もe=9.7~11.4(10.5)で、他層と比較し圧縮性も大きく上回っ ている。ただし、ボーリングコアは他層も同様であるが、細砂分を混入し不均質な部分がある。
- ・当該地で最も脆弱な AU-p1 層の等層厚線図を図-6.2.1 に示した。同図には現段階で計画されて いる完成盛土高 Hp を併記した。
- ・校舎側では AU-p1 層の層厚は、B測線 SW-4 箇所で最も厚く(層厚 Sm=2.27m)、A測線の Br-1 箇所と SW-1 箇所で最も薄い(層厚 Sm=1.25m)。AU-p1 層の層厚は凹凸がみられるが、概ね SW-1 箇所→SW-4 箇所方向に厚くなる傾向である。
- ・グランド側の AU-p1 層厚は、C 測線 SW-9 箇所→A 測線 Br-2 箇所方向に、周辺より凹地状に厚 くなるゾーンが伺える。
- ・したがって、地盤条件で留意する箇所は校舎側の SW-4 箇所で、グランド側の Br-2 箇所と SW-9 箇所である。なお、SW-9 箇所は業務地と電力鉄塔および連絡道路が近接する箇所で、造成盛土の影響に留意する箇所である。

地質時代 地質名		地質名	記号	N値 [平均値]	層厚 (m)	軟弱地 盤区分
		盛土層	Bn	-	_	
		上部粘性土層	AU-c	0~0.9 [0.3]	0. 25~ 2. 25	
		上部应植十届	AU-p1	0~4 [0.9]	0.50~ 2.27	
		티(上의)에(네 上	AU-p2	0~0.7 [0.4]	0. 75~ 2. 17	11
	完	上部砂質土層	AU-s	0~14 [6.8]	0. 15~ 2. 98	軟 弱 地
第	新	山郊府城土屋	AM-p1	0~3 [1.4]	0.95~ 1.75	盤 対 象
四	 ₩	中的肉他工店	AM-p2	0~3 [1.6]	1.50~ 2.75	*
		中部粘性土層	AM-c	4~14 [8.0]	0.32~ 4.05	
紀		中部砂質土層	AM-s	3~7 [4. 7]	0.50~ 1.75	
		下部礫質土層	AL-g	19 ~ 41 [26. 6]	0.44~ 4.60	軟
		下部砂質土層	AL-s	6~50+ [23.5]	0. 45~ 15. 60	弱地般
	更新	粘性土層	Dc	1~27 [10. 5]	0. 70~ 20. 45	対象
	世	砂質土層	Ds	11	0.55~ 1.00	外

表-6.2.1 軟弱地盤対象層および AU-p1 層のN値と層厚



(2) 解析基準

美里町新中学校建設に伴う、主に造成盛土と建築構造物を対象として軟弱地盤解析を実施した。 基本的に、造成盛土に対しては「宅地防災マニュアル^{**}」,建築構造物に対し「建築基礎構造設計 指針(2019)にそれぞれ準拠した。

なお、軟弱地盤解析に用いた新中学校建設の造成高や施設配置は、「美里町新中学校施設基本計画, 令和元年5月,美里町教育委員会」に基づいている。今後実施される「盛土造成の基本設計・実施設 計」に基づき軟弱地盤解析を行い、対策工の規模等の詳細な検討と、観測施工の計画を立案する必要 がある。



図-6.2.2 中学校建設に伴う構造物

以下に、解析条件として許容値・安全率・計算式などについて記す。

1) 解析基準

地盤破壊(円弧すべり)

基準書:宅地防災マニュアル

安全率 施工時:Fsa1=1.10(道路土工 軟弱地盤対策工指針 2012年)
供用時:Fsa2=1.50(宅地防災マニュアル P4)
地震時:Fsa3=1.00(設計水平震度kh=0.25, 震度法,宅地防災マニュアル P5)
計算式:修正フェルニウス法

② 地盤圧密 (一次元圧密)

基準書:宅地防災マニュアル

残留沈下:家屋及び構造物に有害な影響を及ぼさないようにしなければならない。許容残留沈 下量の設定に当たっては、事業計画及び地盤条件を十分考慮し、家屋及び構造物の 構造、重要性及び工事費、宅地処分時期等を総合的に評価した上で適切な値を定め る必要がある(宅地防災マニュアル P11)。

許容残留沈下量: Sra=10 cm (一般的には、Sra=10~30cm とされている。駅東地区の許容残 留沈下量と同じ基準)

^{※「}宅地防災マニュアルの解説 [I] [Ⅱ] 」 宅地防災研究会編集 2007 年」を参考書とする

【その他の基準】

土工期:1年間(365日)

盛立速度:表-6.2.2を参照の上、軟弱地盤の分布状況を踏まえて決定する。

表-6.2.2 盛土の施工速度

地盤条件	盛土速度(cm/日)
厚い粘性土地盤及び黒泥,又は,有機質 土が厚く堆積した泥炭地盤	3
普通の粘性土地盤	5
薄い粘性土地盤及び黒泥,または,有機 質土をほとんど挟まない薄い泥炭地盤	10

「道路土工 軟弱地盤対策工指針」 2012 年

③ 地盤変形 (簡便法)

宅地防災マニュアルでは、「軟弱地盤上の盛土の施工に伴う周辺環境への影響については、 事前に十分な調査・検討を行い、いかなる場合においても周辺施設に重大な影響を及ぼすこと のないよう万全の対策をとることが大切である」と示されている(宅地防災マニュアル P12)。



④ 地盤液状化(簡便法)

【全般】

基準書:宅地防災マニュアル P15

地盤の液状化:地震時の液状化現象により悪影響を生じることを防止・軽減するため、 液状化に対する検討を行い、必要に応じて適切な対策を行うものとする。

判定式:宅地防災マニュアルの解説 [Ⅱ P200 より判定基準の主な参考書を以下に示す。

- ①「建築基礎構造設計指針」((社)日本建築学会 1988)
- ②「道路橋示方書:·同解説 V 耐震設計編」((社)日本道路協会 1996年)
- ③「建築物耐震基準・設計の解説」((社)日本建築センター]995年)
- ④「小規模建築物等のための液状化マップと対策工法」

(建設省建設経済局民間宅地指導室他監修、(株)ぎょうせい 1994年)

- ⑤「小規模建築物基礎設計の手引き」((社)日本建築学会 1988年)
- ⑥「道路土工 軟弱地盤対策工指針」((社)日本道路協会 1986年)
- 【建築物(校舎)】の判定

採用文献:①「建築基礎構造設計指針」((社)日本建築学会、2019年)

- 地表面加速度:150gal, 200gal, 350gal
- 【造成盛土(校舎側+グランド側)】の判定

採用文献:⑥「道路土工 軟弱地盤対策工指斜」((社)日本道路協会 2012年) 設計水平震度:kh=0.25(宅地防災マニュアル P5)

【液状化による地盤の過剰間隙水圧)】の算定

地盤内の液状化による過剰間隙水圧を考慮した算定式(下式参照)を用いる。



⑤ 対策工

【造成盛土(校舎側+グランド側)】

上記①~④の検討結果を踏まえて、盛土の安定性について照査を行い、必要に応じて、 対策工を検討する。対策工はプレロードによる圧密促進を基本として、施工時,常時,地 震時(震度法),地震時(∠U法)について照査を行う必要がある。

【周辺構造物への影響】

- 水田,南西側道路:地盤変形および圧密沈下に伴う引き込み沈下等による周辺への影響 を踏まえて、対策工を検討する必要がある。
- 鉄塔:盛土に伴う変形による影響を除外するため、鉄塔に対して、対策工を施す必要が ある。

(3)解析断面

2) 建築構造物

校舎側では、建築構造物の支持層把握の他に、液 状化の判定を行う必要があり、その判定は「建築基 礎構造設計指針」(2019)に従った。

液状化の判定は、校舎側 Br-3, グランド側 Br-4 を選定し(右図参照)、それぞれ造成盛土前後で行い、 校舎側とグランド側での差違を確認した。

表-6.2.3~表-6.2.4 に、盛土条件と地盤条件を示 した。



0.0024

0.23

表-6.2.3 校舎側 Br-3 の盛土条件と地盤条件

Br-3:完成盛土高Hp=3.18m→3.2m

深度GL-m	地層名	土質種類	湿潤重量	飽和重量	孔口標高	記号	深さ(m)	試料番号	実測N値	単位体積重 量	粘土分	Fc	Ip	D50 (mm)	D10 (mm)
2. 25	AU-c	С	15.7	16.7	7. 72	AU-c	1.3	T3-1	0.9	15.7	33. 3	93.1	27.3	0.013	
3. 74	AU-p1	С	10.1	11.1		AU-p1	2.3	P3-2	0.0	10.1	88. 2	99.1	148.1	0.0946	
4.85	AU-p2	С	13.0	14.0	WL	AU-p1	3.3	T3-2	0.0	10.1	87. 9	99.0	27.3	1.4657	
6. 50	AU-s	S	17.0	18.0	1. 52	AU-p2	4.3	P3-4	0.0	13.0	75. 5	99.4		1.4657	
8. 25	AM-p1	С	11.6	12.6		AU-s	5.3	P3-5	8. 0	17.0	10.4	21.9	95.3	0.6316	0. 0044
9. 33	AM-s	S	17.0	18.0		AU-s	6.3	P3-6	13.0	17.0	8.7	17.4		0.8096	0.0074
9.65	AM-c	С	16.0	17.0		AM-p1	7.3	T3-3	0.9	11.6	80.6	99.4	169.5	0.8096	
14. 25	AL-g	S	19.0	20.0		AM-s	8.3	P3-8	4. 0	17.0	18.3	35.8		0.8096	
16.00	Dc	С	17.0	18.0		AM-s	9.3	P3-9	7.0	17.0	26. 3	46.3		0.8096	
16.80	Ds	S	18.0	19.0		AL-g	10.3	P3-10	19.0	19.0	5.4	10.3		0.8096	0.061
17.50	Dc	С	17.0	18.0		AL-g	11.3	P3-11	19.0	19.0	5.1	9.5		0.0946	0.084
18. 50	Ds	S	18.0	19.0		AL-g	12.3	P3-12	27.0	19.0	7.7	14.3		0.0946	0.015
20.45	Dc	с	17.0	18.0		AL-g	13.3	P3-13	29.0	19.0	2.5	5.0		0. 0328	0.27
						Dc	14.3	P3-14	12.0	17.0	19.5	54.9		2. 211	
						Dc	15.3	P3-15	15.0	17.0	9.6	18.1		2. 211	0. 0056
						Ds	16.3	P3-16	11.0	18.0	8.3	15.3		2. 211	0.01
						Dc	17.3	P3-17	18.0	17.0	18.7	38.4	16.4	2.0196	
						Ds	18.3	P3-18	11.0	18.0	8.5	15.6		2.0196	0.0098
						Dc	19.3	P3-19	5.0	17.0	30. 7	78.5	51.8	2.0196	
						Dc	20.3	P3-20	2.0	17.0	49.5	98.2	38.3	2.0196	

表-6.2.4 グランド側 Br-4 の盛土条件と地盤条件

Br-4:	完成盛土	BHP=2.//	/m→3. 8m												
深度GL-m	地層名	土質種類	湿潤重量	飽和重量	孔口標高	記号	深さ(m)	試料番号	実測N値	単位体積重 量	粘土分	Fc	Ip	D50 (mm)	D10 (mm)
0. 70	AU-c	С	15.7	16.7	7.63	AU-s	1.3	P4-1	2. 0	17.0	13. 7	27.4		0.2	
1.65	AU-s	s	17.0	18.0		AU-p1	2.3	T4-1	1.0	10.1	87. 9	99.4	321.7		
3. 35	AU-p1	С	10.1	11.1	WL	AU-p1	3.3	P4-3	4.0	10.1	15. 7	27.9		0.22	
4. 15	AU-s	s	17.0	18.0	0.40	AU-p2	4.3	T4-2	0.0	13.0	52.6	92.5	32. 7	0.0043	
5.00	AU-p2	С	13.0	14.0		AU-c	5.3	P4-5	0.0	15.7	36.0	85.4	28.5	0.011	
5. 75	AU-c	С	15.7	16.7		AM-s	6.3	P4-6	3.0	17.0	17.8	33.3		0.16	
6. 50	AM-s	s	17.0	18.0		AM-p2	7.3	P4-7	3.0	13.5	36.3	95.9	31.6	0.0091	
8.60	AM-p2	С	13.5	14. 5		AM-p2	8.3	T4-3	0.0	13.5	24. 8	49.5	16.6	0.007	
9.80	AM-c	С	16.0	17.0		AM-c	9.3	P4-9	6. 0	16.0	30. 9	59.5	15.4	0. 031	
15.60	AL-s	s	19.0	20.0		AL-s	10.3	P4-10	26.0	19.0	4.3	8.6		0.82	0.1
20. 45	Dc	С	17.0	18.0	Ī	AL-s	11.3	P4-11	25. 0	19.0	5.5	9.6		0.54	0. 082
					_	AL-s	12.3	P4-12	28. 0	19.0	8.7	15.0		0.5	0.0096
						AL-s	13.3	P4-13	22. 0	19.0	10.8	24.1		0.3	0.0034
						AL-s	14. 2	P4-14	50.0	19.0	23. 7	61.0		0. 042	
						AL-s	15.3	P4-15	50.0	19.0	21.1	44.9		0.099	
						Dc	16.3	P4-16	15.0	17.0	20. 7	76.1		0. 022	
						Dc	17.3	P4-17	3. 0	17.0	44.6	98.2	71.2	0.007	
						Dc	18.3	P4-18	3. 0	17.0	41.5	96.5	56.4	0.0067	
						Dc	19.3	P4-19	12.0	17.0	22.2	45.2	29.1	0.18	

20.3

Dc

P4-20

13. 0

17.0 13.3 33.0

3) 造成盛土

上部沖積腐植土層 AU-p1 の層厚と完成盛土高 Hp の組合せで、解析上安全側の箇所を選定し、本 業務地を包囲するように設定し、以下の4 断面とした(図-6.2.1 を参照)。

①校舎側(北西側盛土法面を代表)

- ・沈下・安定・地盤変位・液状化:SW-4
- AU-p1 層厚:Sm=2.27m

[AU-p1 層厚は校舎側で最大である]

・計画盛土高:Hp=3.2m (3.16mを切り上げた)

②グランド側(北東側盛土法面を代表)

- ・沈下・安定・地盤変位・液状化:Br-2
- AU-p1 層厚: Sm=2.25m

[AU-p1 層厚はグランド側で最大である]

・計画盛土高:Hp=2.0m

[グランド側 北東側法面で最大である]

③グランド側(南東側盛土法面を代表)

- ・沈下・安定・地盤変位・液状化:SW-9
- ・ AU-p1 層厚: Sm=2.25m(南東側法面を包括する,現鉄塔に近接する)

[AU-p1 層厚はグランド側で最大である]

- ・計画盛土高:Hp=2.8m(2.77mを切り上げた)
- ④グランド側(南東側盛土法面を代表、連絡道路に近接する)
 - ・沈下・安定・地盤変位:SW-9
 - ・ AU-p1 層厚: Sm=2.25m (③の計画盛土高を共有した)
 - ・計画盛土高:Hp=2.8m(③の計画盛土高を共有した)

 ・解析断面 : SW-9の横断図(北東-南西方向 No.4 断面)
[連絡道路と現田面の比高差は、北西側から南東側に低くなる傾向で、南 東側に向かい連絡道路の押え盛土としての効果が減少する。]

液状化については、前述の建築構造物の検討箇所(Br-3, Br-4)の地盤条件の平均値を、造成 盛土検討箇所に適用した(表-6.2.5を参照)。また、液状化による地盤内の過剰間隙水圧による供 用時の盛土法面の安定性を照査した。

造成盛土6	り	液状化を判定するため				
液状化判定备	窗所	の試験実施箇所				
校舎側	SW-4	Br-3				
ガランド側	Br-2	D _{ta} _4				
クランド側	SW-9	br-4				

表-6.2.5 造成盛土の液状化判定の地盤定数の適用

図-6.2.4(1)~図 6.2.4(4) に設計用地盤を示した。

[[]Br-3 に分布する AU-c 層と AU-p1 層の分布状況により、安全側に片面 排水条件とする]



表-6.2.6 造成盛土に対する現況地盤解析項目と解析断面数							
検討箇所	解析断面	地盤破壊	地盤圧密	地盤変形	地盤液状化	計	
校舎側	SW-4	0	0	0	0	4	
ガランド側	Br-2	0	0	0	0	4	
クノント側	SW-9	0	0	0	0	4	
連絡道路側	SW-9	0	0		0	3	
1 1	<u>'</u> +	4	1	3	1		











図-6.2.6 設計用圧密特性曲線(図-5.3.1 再掲載)

- 97 -

水平距離(m)





(4) 解析式

軟弱地盤の解析項目は、以下の通りである。

- ・建築構造物に対する液状化判定*1
- ・造成盛土の地盤圧密※2
- ・造成盛土の地盤破壊※2
- ・造成盛土の地盤変形※3
- ・造成盛土に対する液状化判定^{※2}
- 液状化時の過剰間隙水圧を考慮した造成盛土の安定解析^{※2}

1) 建築構造物に対する液状化判定※1

- ① 液状化判定の対象とすべき土層
 - ・一般に地表面から 20m 以浅の飽和した沖積層。
 - ・細粒分含有率Fcが35%以下の土。
 - ・埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が 35%以上の低塑性シルト,液性限界に近い含水比を持ったシルトなど。
 - ・粘土分(0.005mm 以下の粒径をもつ土粒子)含有率が 10% 以下、または塑性指数が 15 以下の埋立、あるいは盛土地盤。

ここで、液状化判定が必要な土層の判別は、深度 20m以内の土層を対象としたが、室内土質 試験を実施した土層と同程度の土層については、その試験結果を適用した。

② 液状化の判定方法

液状化危険度の予測は、次の a)~d)によって行った。

a)検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力比

	$\frac{\tau d}{\tau} = \gamma \tau$	$\frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\max}} \cdot \frac{\sigma_v}{\alpha_{\max}} \cdot \alpha_{\max} + \frac{\sigma_v}{\alpha_{\max}} \cdot \frac{\sigma_v}{\alpha_{\max}} + $
	σ_v , γ_n	$g \sigma_v$, ya ror
	ここに、 τd	:水平面に生じる等価な一定繰り返しせん断応力振幅(kN/m²)
	γ n	: 等価な繰り返し回数に関する補正係数でγ ₀ =0.1(M-1)
		ただし, Mは地震のマグニチュード
	σ_v	: 検討深さにおける有効土被り圧(鉛直有効応力)(kpa)
	${\cal O}_{V}$: 検討深さにおける全土被り圧(鉛直全応力)(kpa)
	$lpha_{ intex}$: 地表面における設計用水平加速度 (Gal)
	g	:重力加速度(980 Gal)
	γd	: 水地盤が剛体でないことによる低減係数で(1‐0.015 z)
		z はメートル単位で表した地表面からの検討深さ
b)	各深さにおける補	正N値(Na)は、次式を用いて計算した。

【砂質地盤】

 $\left. \begin{array}{l} N_{a} = N_{I} + \Delta N_{f} \\ N_{I} = C_{N} \cdot N \\ C_{N} = \sqrt{100/\sigma v'} \\ \left. \left. \begin{array}{c} \\ @ @ @ wtext{theta} \\ \\ N_{a} = C_{sb} \times N_{I} \end{array} \right. \end{array} \right\} \cdots 式 6-2$

*1 「建築基礎構造設計指針(2019)」日本建築学会

※2 「道路土工 軟弱地盤対策工指針 (H24)」 (財)日本道路協会

*3 「宅地防災マニュアル」

記号 Na : 補正 N值

 N_{I} :換算 N値、 ΔN_{f} :細粒土含有率に応じた補正N値増分で、図-6.2.7 による。 C_{N} :拘束圧に関する換算N値係数(σ_{v} 'の単位は kpa) C_{sb} :砂礫地盤の換算N値係数は、図-6.2.8,表-6.2.9 による。 N: とんび法または自動落下法による実測N値

c) 液状化抵抗比の算定

図-6.2.9 のせん断ひずみ振幅 5%曲線を用いて、補正N値(Na)に対応する飽和土層の液状化抵抗比 $\tau l / \sigma_v$ を求めた。ここで、 τ_1 は液状化抵抗である。

d) 安全率 FL の算定

各深さにおける液状化発生に対する安全率(液状化抵抗率)FL は次式(式 6-3)により 計算した。



図-6.2.7 細粒土含有率と補正N値増分Nfとの関係(砂質地盤)^{*1}



図-6.2.8 50%粒径D50と補正N値増分Nfとの関係(礫質地盤)^{*1}

^{*1 「}建築基礎構造設計指針(2019)」日本建築学会



表-6.2.7 N値補正係数のグラフ値(礫質地盤)^{※1}

図−6.2.9 補正N値と液状化抵抗,動的せん断ひずみの関係^{※1}

③ 液状化の判定条件

液状化の判定は、表-6.2.8に示す条件で行った。

表-6.2.8 液状化の判定条件

液状化判定箇所	2箇所 (Br-3, Br-4)
地上面における設計用水平加速度	150 gal, 200 gal, 350 gal
マグニチュード	7.5
単位体積重量(kN/m ³)	表-6.2.3~表-6.2.4 に示す
細粒分含有率(%)	表-6.2.3~表-6.2.4 に示す

^{*1 「}建築基礎構造設計指針(2019)」日本建築学会

④ 液状化判定結果の評価

液状化判定の評価は、下記の項目で行った。

- ・ 液状化の安全率 FL 値
- ・ FL 値から得られる危険度の指標 PL 値
- ・ FL 値を算定した補正 N値から得られる沈下量 Dcy 値
- 液状化地盤における水平地盤反力係数の低減率β

以下に、それぞれの項目について評価方法について記す。

- a) 液状化の安全率 FL 値
 - ・ FL>1.0: 液状化が発生する可能性はない。
 - ・FL≦1.0:液状化が発生する可能性があり、小さいほど発生の危険度が高くなる。

b) FL 値から得られる危険度の指標 PL 値

表-6.2.9 PL 値による液状化の危険度

PL值	液状化の危険度	備考
0	液状化危険度は極めて低い	液状化に関する詳細な調査 は不要である。
$0 \sim 5$	液状化危険度は低い	特に重要な構造物に対して、より詳細な調査 が必要である。
5~15	液状化危険度がやや高い	重要な構造物に対してはより詳細な調査が 必要。液状化対策が一般には必要である。
$15\sim$	液状化危険度が高い	液状化に関する詳細な調査と液状 化対策は 不可避である。



図-6.2.10 L 法による ∠ Z の 算定例と 深さ方向の 重み 関数 W(z)

c) FL 値を算定した補正 N 値から得られる沈下量 Dcy 値

液状化発生可能性が高いと判断された地盤(FL≦1.0)において、地表変位 Dcy を算出し液 状化の程度を求めた。

- 図-6.2.11 を用いて、補正N値(Na)、応力比(τ d / σ_r)に対応する各層の繰り返しせん断 ひずみγ cy を推定する。
- 各層のせん断ひずみycyが同一方向に発生すると仮定して、これを鉛直方向に積分して振動中の最大水平変位分布とする。

 $D cy = \Sigma H \cdot \gamma cy$

ここに、γcy:繰り返しせん断ひずみ

H:層厚

Dcy(cm)	液状化の程度
Dcy = 0	なし
$0 < \text{Dcy} \leq 5$	軽微
$5 < \text{Dcy} \leq 10$	小
$10 < \text{Dcy} \leq 20$	中
$20 < \text{Dcy} \leq 40$	大
40 < Dcy	甚大



図-6.2.11 補正N値と繰返しせん断ひずみの関係^{*1}

d) 液状化地盤における水平地盤反力係数の低減率β

液状化地盤(FL≦1.0)における杭の水平抵抗の検討では、水平地盤反力係数 khL を下式に より低減する。



図-6.2.12 水平地盤反力係数の低減率^{*1}

^{*1 「}建築基礎構造設計指針(2019)」日本建築学会

2) 造成盛土の地盤圧密^{※2}

圧密沈下量の計算式

盛土荷重による圧密沈下量Scは次式より算定する。

なお、砂質土層に対しては即時沈下として下図に示されている B.K. Hough の圧力-間隙比曲 線より算出する。



図-6.2.13 砂の圧力-間隙比曲線(B.K. Hough)*2

② 沈下時間の計算式

圧密沈下の速度は、排水が鉛直方向にだけ行われる一次元圧密によって求める。 圧密層の最大排水距離をHとすると、圧密に要する時間 t は、次式により求められる。

$$t = \frac{T v \cdot D^2}{C v}$$

ここに、

t : 圧密沈下時間(day)

T_v:時間係数,各圧密層の平均圧密度Uに応じて下図に示した値を用いる

C_v: 圧密係数, 圧密層のC_v曲線の(Po+△P/2)に対応する値(cm²/day)

D : 圧密層の最大排水距離(圧密層の層厚H,両面排水の場合はH/2)

^{※2 「}道路土工 軟弱地盤対策工指針 (H24)」 (財)日本道路協会



図-6.2.14 圧密層全体での平均圧密度Uと時間係数Tvの関係^{※2}

③ 圧密による沈下速度

圧密層が数層にも分かれている場合は、次式より各圧密層のCv 値での換算層厚(H')に変換 して圧密時間を計算する。

$$H'=H_1\sqrt{\frac{Cv0}{Cv1}}+H_2\sqrt{\frac{Cv0}{Cv2}}+\cdots H_N\sqrt{\frac{Cv0}{Cvn}}$$

ここに、H':換算した圧密層の厚さ(cm)
H1…H2:各圧密層の厚さ(cm)
Cv0:任意に設定した圧密係数(cm/day)
Cv1…Cvn:各圧密層の圧密係数(cm/day)

④ 鉛直増加応力の計算式

盛土荷重の鉛直増加応力 ∠ P は Boussinesq(ブーシネスク)の解より、地表面に鉛直に作用する帯 状荷重として以下の式より算出する。

$$\sigma_{y} = \frac{q}{\pi} (\sin \beta \cdot \cos \phi + \beta)$$

(但し、 $\beta = \beta_2 - \beta_1$, $\phi = \beta_2 + \beta_1$)



図-6.2.15 帯状荷重による地中応力^{※2}

^{*2 「}道路土工 軟弱地盤対策工指針 (H24)」 (財)日本道路協会

3) **造成盛土の地盤破壊**^{※2}

① 円弧すべり安定検討

```
盛土完成時の円弧すべり計算を常時、地震時(震度法)で実施した。
```

a) 常時

常時は、全応力法の下式により計算した

$$F_{s} = \frac{\sum \{c \cdot l + (W - u_{0} \cdot b) \cos \alpha \cdot \tan \phi\}}{\sum (W \cdot \sin \alpha)}$$

ここに、

- Fs :安全率
- c、φ:土の粘着力(kN/m²)、およびせん断抵抗角(°)
- 1 : 細片における円弧すべりの長さ(m)
- W:分割細片の全重力,載荷重を含む(kN/m)
- u。:静水位時における間隙水圧(kN/m²)
- b :細片の幅(m)
- α :細片のすべり面平均傾斜角(°)



図-6.2.16 分割法による安定計算**2

b)地震時

慣性力による地震時の安定計算は、下式により計算した。

$$F_{s} = \frac{\sum \left[c \cdot l + \{(W - u_{0} \cdot b) \cdot \cos \alpha - k_{h} \cdot W \sin \alpha\} \tan \phi\right]}{\sum (W \cdot \sin \alpha + (h/r) \cdot k_{h} \cdot W)}$$

ここに、

- c、φ:土の粘着力(kN/m²)、およびせん断抵抗角(°)
- W:分割細片の全重力,載荷重を含む(kN/m)
- 1 : 細片における円弧すべりの長さ(m)
- b :細片の幅(m)
- u₀ : 常時地下水による間隙水圧(kN/m²)
- k_h :設計水平震度
- r : すべり面の半径(m)
- h :分割細片の重心位置からすべり円の中心までの鉛直距離(m)
- α :分割細片底面の接線方向と水平面のなす角(°)

^{※2 「}道路土工 軟弱地盤対策工指針 (H24)」 (財)日本道路協会

② 地震時の設計水平震度 kh と許容安全率

地震時の設計水平震度と許容安全率は、「宅地造成マニュアル」に準じて設定した。

設計水平震度 kh=0.25

許容安全率 Fsa=1.00

③ 圧密による粘性土の増加強度

地震時の設計水平震度は、「宅地造成マニュアル」に準じて設定した。

上載荷重の増加により地盤の圧密は進行し、粘性土地盤は強度増加するが、その強度の算定 方法について以下に示す。

非排水せん断強さCuは、圧密度を考慮し、以下の3式から求めた値を用いる。

原地盤の初期状態が正規圧密状態である場合 $(p_0 = p'_c)$

 $c_u = c_{u0} + m \cdot \Delta p \cdot U$

盛土荷重により正規圧密状態になる場合 $(p_0 + \Delta p > p'_c)$

 $\underline{c_u} = \underline{c_{u0}} + m \cdot (p_0 - p'_c + \Delta p) \cdot U$

盛土荷重の載荷後も過圧密状態の場合 $(p_0 + \Delta p \leq p'_c)$

 $c_{u} = c_{u0}$ z z k,

c,:非排水せん断強さ(kN/m²)

 c_{n} : 盛土前の原地盤における土の非排水せん断強さ(kN/m^{2})

m:強度增加率(無次元)(「3-10(2)④ 強度增加率 m」参照)

 p_{o} : すべり面に関わる土層の盛土前の鉛直有効応力(kN/m^{2})

 p'_c :先行圧密応力 $p'_c = {c_{w0}}/{m}$ (kN/m²)

 Δp : すべり面に関わる土層に生じる盛土荷重による鉛直増加応力 (kN/m²)

U:すべり面に関わる土層の圧密度

 p_i : 圧密度 Uにおける鉛直有効応力(kN/m^2)

c_w: 圧密終了時(圧密度 100%)における非排水せん断強さ(kN/m²)

c_w: 圧密度 Uにおける非排水せん断強さ (kN/m²)



(盛り土荷重により正規圧密状態になる場合) 図-6.2.17 圧密による強度増加を考慮したせん断強さ^{*2}

^{※2 「}道路土工 軟弱地盤対策工指針 (H24)」 (財)日本道路協会

4) 造成盛土の地盤変形^{※3}

造成盛土は、図-6.2.18の面状盛土に該当し、盛土中央における最終沈下量S, 軟弱層厚H, 係数C₁, C₂, C₃をにより側方変形を以下のように算出する。

- ① 沈下量 St=C₁,·S
- ② 側方地盤隆起量δv=C1,·S
- ③ 側方地盤水平移動量δx=C2,・S
- ④ 側方地盤に変位の及ぶ距離L=C₃・H



図-6.2.18 盛土の沈下形状と側方への影響**3

^{※3 「}宅地防災マニュアルの解説 [Ⅱ]」 宅地防災研究会編集(2007年)

5) 造成盛土に対する液状化判定※2

液状化の判定方法・判定式を、以下に示す。



r_a: 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数 k:: 解表 5-1 において規定する液状化判定用設計水平震度 σ_x : 地表面からの深さx(m) における全上載圧 (kN/m^2) σ' : 地表面からの深さx(m) における有効上載圧 (kN/m^2) x: 地表面からの深さ(m) (iii) 繰返し三軸強度比 繰返し三軸強度比 R, は式(解 5-27)により算出する。 $R_{L} = \begin{cases} 0.0882 \cdot \sqrt{N_{a}/1.7} & (N_{a} < 14) \\ 0.0882 \cdot \sqrt{N_{a}/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_{a} - 14)^{4.5} & (14 \le N_{a}) \end{cases} \cdots \cdots (\nexists 5 - 28)$ ここで, <砂質土の場合> $N_a = c_1 \cdot N_1 + c_2 \cdots (\text{if } 5-29)$ $N_1 = 170 \cdot N / (\sigma'_{vb} + 70) \cdots (\text{if } 5-30)$ <礫質土の場合> $N_a = \{1 - 0.36 \cdot \log_{10} (D_{50}/2)\} N_1 \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (\# 5 - 33)$ ここに. R,:繰返し三軸強度比 N:標準貫入試験から得られるN値 N,: 有効上載圧 100kN/m²相当に換算したN値 Na:粒度の影響を考慮した補正N値 σ'_{vb} :標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧 (kN/m^2) c,, c。:細粒分含有率によるN値の補正係数 F_c:細粒分含有率(%)(粒径 75µm 以下の土粒子の通過質量百分率) D₅₀:50% 粒径 (mm)

地震時の設計水平震度は、「宅地造成マニュアル」に準じて設定した。

設計水平震度 kh=0.25

6) 液状化時の過剰間隙水圧を考慮した造成盛土の安定解析※2

液状化地盤上の造成盛土の安定解析は、以下に従う。

$$F_{sd} = \frac{\sum (c \cdot l + (W - u_0 \cdot b - \Delta u \cdot b) \cos \alpha \cdot \tan \phi)}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$
(参 5-10)
ここに,
$$F_{sd}: 安全率$$

 $c, \phi: \pm 0$ 粘着力 (kN/m²) 及びせん断抵抗角 (°)
 $W: 分割細片の全重量 (kN/m)$
 $l: 細片底面の長さ (m)$
 $b: 細片の幅 (m)$
 $u_0: 常時の地下水位による間隙水圧 (kN/m2)$
 $\Delta u: 地震動によって発生する過剰間隙水圧 (kN/m2)$
 $\alpha: 分割細片底面の接線方向と水平面のなす角 (°)$



図-6.2.19 液状化に対する抵抗率 FL と過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma' v$ の関係^{*2}

地震時の設計水平震度と許容安全率は、「宅地造成マニュアル」に準じて設定した。

設計水平震度 kh=0.25 許容安全率 Fsa=1.00

^{**2}「道路土工 軟弱地盤対策工指針(H24)」(財)日本道路協会