

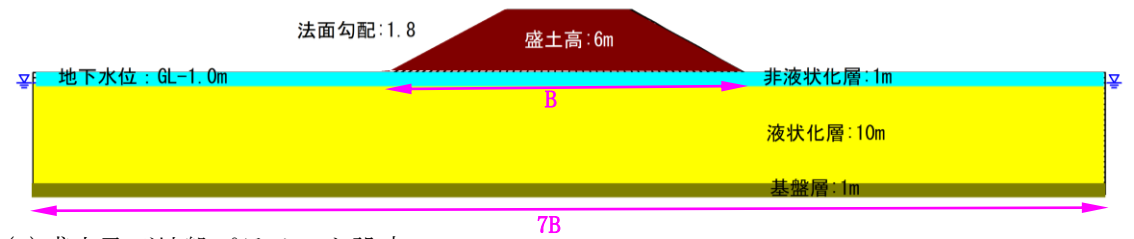
参考資料 1 設計計算例

ここでは、液状化判定の結果、盛土基礎地盤が液状化すると判定されたため、液状化時の変形解析の設計事例を示す。変形解析では、無対策時と対策(SECURE-G)時の変形照査を行う。変形照査は、河川堤防の液状化対策の手引き【平成28年3月】に準じ、静的液状化変形解析ソフト【ALID5.3】を用いた。液状化層のせん断剛性の拘束圧補正を考慮した。補正係数は、基準鉛直有効応力 $\sigma_{v0}' = 75 \text{ kN/m}^2$ とパラメータ $n=2.0$ より算出した。

1. 設計条件

(1) 地盤構成及び盛土形状

液状化層: 10m



(2) 盛土及び地盤パラメータ設定

事例計算 地下水位 GL-1.0m レベル2地震動($k=0.6$)

地層名	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	変形係数 E_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数 G (kN/m ²)	ポアソン比 μ	粘着力 C (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ (°)	ダイレタンシー角 ψ (°)	初期土圧係数 K_0	細粒分含有率 F_c (%)	平均粒径 D_{50} (mm)	平均粒径 D_{10} (mm)	塑性指数 I_p	R_{20}	相対密度 D_r (%)	N値	変形特性・非線形タイプ	層厚
非液状化層	18.0	28,000	10,530	0.33	0	25	0	0.5	-	-	-	-	-	-	10.0	初期応力計算 改良後(CP17.5)	1.00
液状化層	18.0	28,000	10,530	0.33	0	20	0	0.5	20.0	-	-	-	0.29	75	10.0	液状化 改良後(CP17.5)	10.00
基礎	19.0	140,000	52,630	0.33	0	45	20	0.5	-	-	-	-	-	-	50.0	初期応力計算 改良後(CP17.5)	1.00

液状化層

構造物物性値

	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	変形係数 E_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数 G (kN/m ²)	ポアソン比 μ	粘着力 C (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ (°)	ダイレタンシー角 ψ (°)	初期土圧係数 K_0	変形特性・非線形タイプ
盛土	19.0	28,000	10,530	0.33	-	30	5	0.5	基礎層 改良後(CP17.5)
砕石	20.0	200,000	75,190	0.33	-	35	10	0.5	基礎層 改良後(CP17.5)

$$D_s = 21 \sqrt{\frac{N}{0.7 + \sigma'_c/98} + \frac{\Delta N_f}{1.7}}, \quad \sigma'_c: \text{有効上載圧 (kN/m}^2\text{)}$$
$$\Delta N_f = 0 \quad F_c \leq 5$$
$$= 1.2 (F_c - 5) \quad 5 < F_c \leq 10$$
$$= 6 + 0.2 (F_c - 10) \quad 10 < F_c \leq 20$$
$$= 8 + 0.1 (F_c - 20) \quad F_c > 20$$

液状化判定を行う際に用いる設計水平震度の標準値

地震動	地盤種別		
	I種	II種	III種
レベル1地震動	0.12	0.15	0.18
レベル2地震動	タイプ I	0.30	0.35
	タイプ II	0.80	0.70

※道路土工 軟弱地盤対策工指針 (平成24年度版) P168

地域補正 I 0.60 → 588 588 gal

液状化の判定を行う必要がある砂質土層

沖積層の砂質土層で以下の3条件全てに該当する場合には、地震時に土工構造物に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、液状化の判定を行わなければならない。

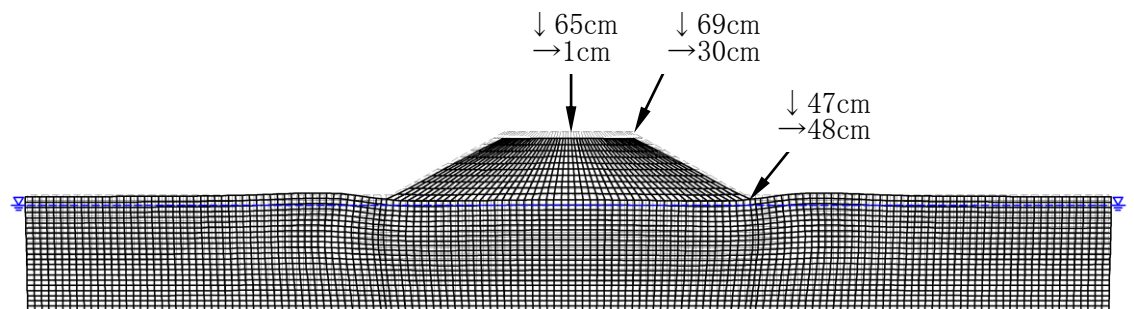
- ① 地下水位が地表面から10m以内にあり、かつ地表面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- ② 細粒分含有率 F_c が35%以下の土層、または F_c が35%を超えても塑性指数 I_p が15以下の土層
- ③ 平均粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層

◆ 解析工程と荷重分割

- ① 初期応力: 荷重分割数1
- ② 盛土施工: 荷重分割数20
- ③ 液状化流動: 荷重分割数50
- ④ 液状化沈下: 荷重分割数30

2. 無対策時の変形照査

想定地震動: レベル2地震動 タイプ2 III種地盤



・無対策時の盛土中央沈下 65cm が許容変位 50cm を超える為、SECURE-G 工法で対策を行う。

3. SECURE-G 工法の照査

(1) ジオシンセティックスの設計

ジオシンセティックスに作用する引張力は、弾性支承上の梁理論と単鉄筋の断面照査の方法を用いた以下の手順で算定する。

①弾性支承上の梁理論

釣合方程式(曲げたわみの微分方程式)

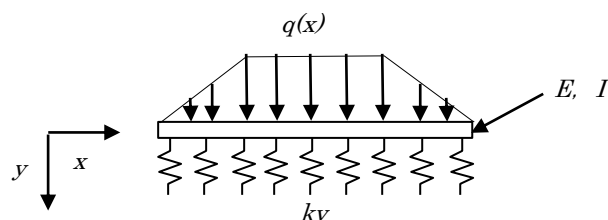
$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + k_v \cdot y = q(x)$$

E : 梁の弾性係数 (kN/m²)

I : 梁の断面二次モーメント (m⁴)

k_v : 地盤反力係数 (kN/m³)

$q(x)$: 上載荷重分布 (kN/m²)



付図 4.4.3-3 弾性支承上の梁

ここで、梁の弾性係数は、砕石の剛性と仮定し、(社)日本道路協会：舗装設計便覧，pp. 129, (平成 18 年 2 月)から $E=200,000\text{kN/m}^2$ としている。

釣り合い方程式を展開し、梁に作用する断面力を得る。

②弾性支承の設定：地盤反力係数

地盤反力係数の設定は、道路橋示方書IV下部構造編の 9. 6. 2 に準拠して行う。

$$k_v = D_E \cdot k_{v0} (B/0.3)^{-3/4} = 903.7 \text{ kN/m}^3$$

k_v : 地盤反力係数 (kN/m³)

k_{v0} : 直径 0. 3m の剛体円盤による平板載荷試験の値に相当する鉛直地盤反力係数 (kN/m³)

$$k_{v0} = (1/0.3)\alpha E_0$$

B : 盛土の法尻幅 (m) = 33. 6m

E_0 : 地盤の変形係数 ($E_0 = 2800 \cdot N = 28000\text{kN/m}^2$)

N : $N = 10. 0$

α : 地盤反力係数の換算係数 ($\alpha = 1. 0$)

D_E : 土質定数の低減係数 $D_E = 0. 333$ (盛土直下平均 $F_L = 0. 6$)

ここで地盤反力係数は、道示V耐震設計編 8. 2. 4「耐震設計上の地盤定数を低減させる土層とその取り扱い」に準拠して、液状化に対する抵抗率 F_L の値に応じた低減係数 D_E を用いて、低減させる。

付表 4.4.3-1 土質定数の低減係数 D_E

F_L の範囲	地表面からの 深度 x (m)	動的せん断強度比 R	
		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	0	1/6
	$10 < x \leq 20$	1/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/3	2/3
	$10 < x \leq 20$	2/3	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1
	$10 < x \leq 20$	1	1

③断面照査

弾性支承上の梁モデルから得られた曲げモーメントを使用して、鉄筋コンクリートの断面照査の方法によりジオシンセティックスの引張力を算定する。

ジオシンセティックスの断面照査は、曲げモーメントが作用する単鉄筋の RC 構造の断面照査法により圧縮領域と引張領域を評価し、材料の必要強度を算出する。

中立軸までの距離 X

$$X = (nAt/b) \left\{ -1 + \sqrt{1 + 2bd/nAt} \right\}$$

換算断面の中立軸に関する断面二次モーメント I_e は、

$$I_e = nAt(d - X)(d - X/3)$$

引張り材の応力度 σ_t は、

$$\sigma_t = M / \{ At(d - X/3) \}$$

ここで、

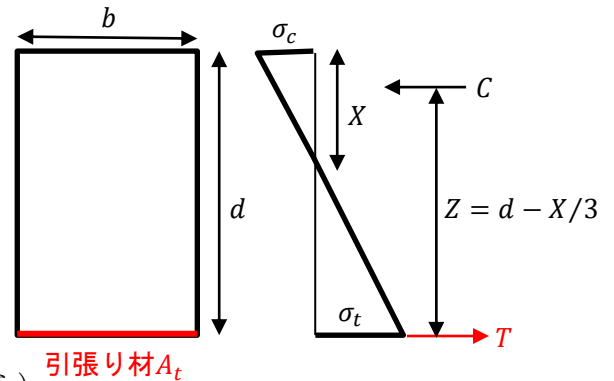
M : 断面作用モーメント

n : 弾性係数比 = (引張り材 E_t / 砕石 E)

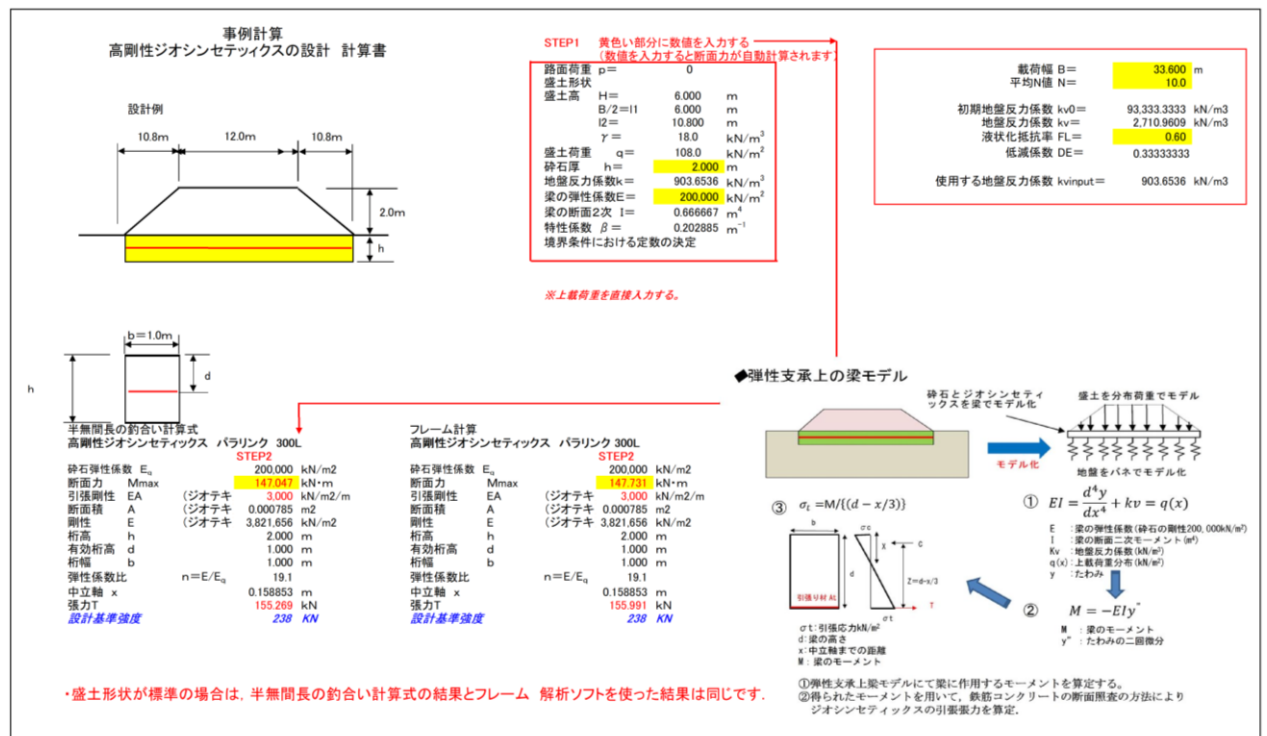
E : 砕石弾性係数 (= 200,000 kN/m² : 舗装指針から)

E_t : 引張り材の弾性係数 (パラリンクの諸元から)

A_t : 引張り材の断面積



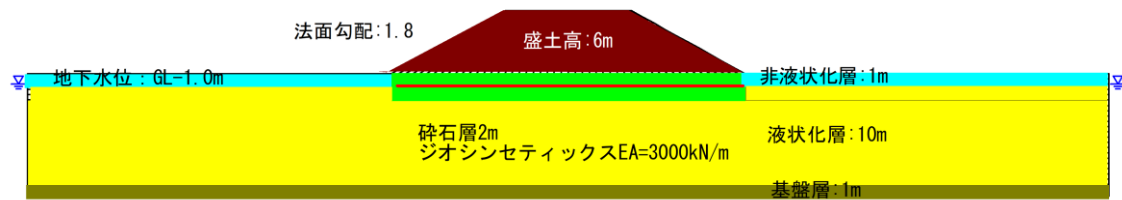
付図 4.4.3-4 断面照査法



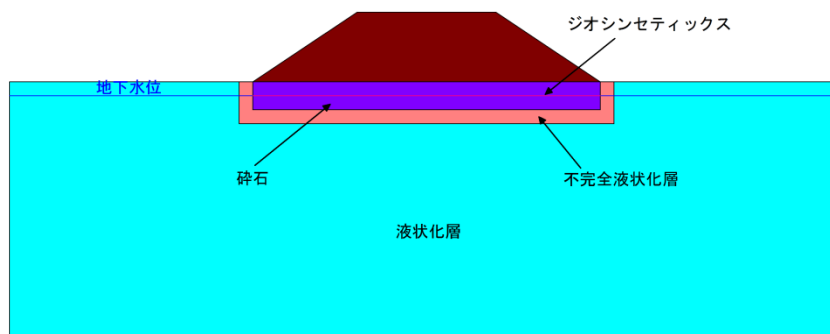
よって、ジオシンセティックスは $EA=3000\text{kN/m}$ として設定する。

(2) 静的 FEM (ALID)による変形照査

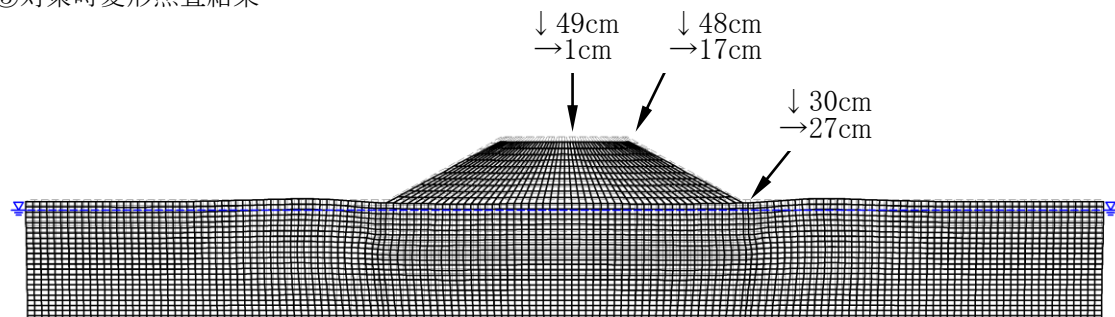
①地盤構成



SECURE-G による対策は、砕石層厚を 1m+1m の 2m で、ジオシンセティックスを $EA=3000\text{kN/m}$ としてモデル化する。また、砕石層周辺 1m の範囲は、不完全液化化層 ($F_L=1.2$) を配置する。



③対策時変形照査結果



対策の結果、無対策時の盛土中央の沈下量 65cm が 49cm となり、沈下量を 75%に低減することができる。

◆ ジオテキのALIDでの入力パラメーター一覧

品番	製品基準強度	設計強度	設計強度	単位重量	断面積	引張剛性	変形係数
	T _{max} (kN/m)	T _A (kN/m)	T _{AE} (kN/m)	γ (kN/m ³)	A (m ²)	EA (kN/m)	E (kN/m ²)
50L	50	31	39	0.0043	0.000418	500	1,196,172
100L	100	63	79	0.0043	0.000463	1,000	2,159,827
150L	150	95	119	0.0052	0.000549	1,500	2,732,240
200L	200	126	158	0.0059	0.000570	2,000	3,508,772
250L	250	158	198	0.0072	0.000684	2,500	3,654,971
300L	300	190	238	0.0081	0.000784	3,000	3,826,531
400L	400	253	317	0.0110	0.001080	4,000	3,703,704
500L	500	332	416	0.0134	0.001255	5,000	3,984,064
600L	600	399	449	0.0157	0.001751	6,000	3,426,613
700L	700	466	582	0.0181	0.001927	7,000	3,632,590
800L	800	532	665	0.0208	0.002184	8,000	3,663,004
900L	900	599	748	0.0235	0.002548	9,000	3,532,182
1000L	1000	665	832	0.0260	0.002775	10,000	3,603,604