

ボックスカルバートの地震時設計

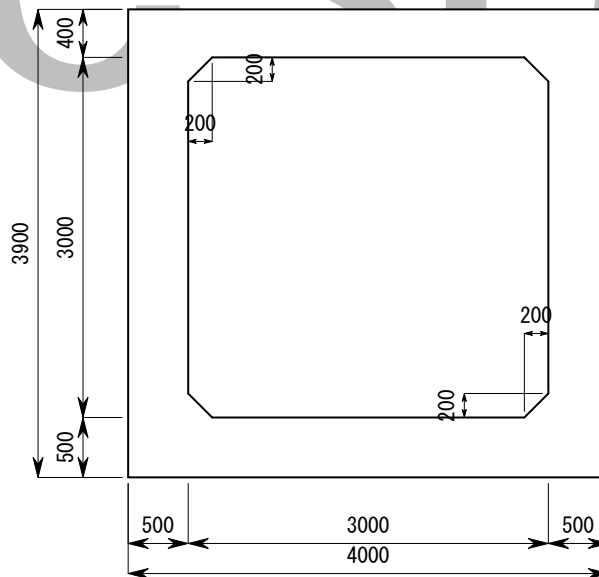
浮き上がりの検討

1. 設計条件

(1) 設計地震動

地震動	レベル 2
-----	-------

(2) 概要図



(3) ボックスカルバート条件

1) 寸法諸元

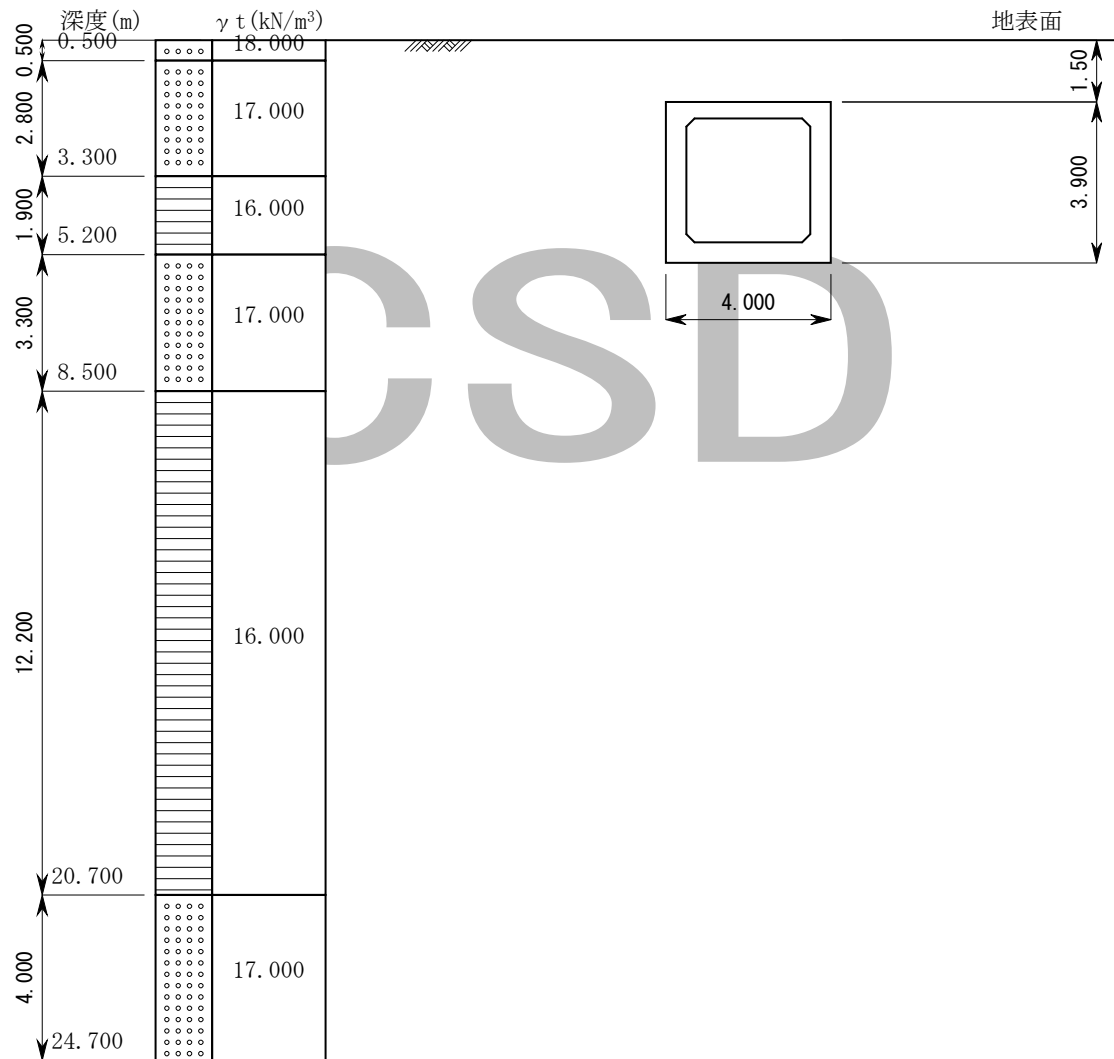
形状	標準タイプ	
項目	規定寸法	
内 幅 B (mm)	3000	
内 高 H (mm)	3000	
頂版厚 T_1 (mm)	400	
底版厚 T_2 (mm)	500	
左側壁厚 T_3 (mm)	500	
右側壁厚 T_4 (mm)	500	
外 幅 B_0 (mm)	4000	
外 高 H_0 (mm)	3900	
頂版ハンチ高 C_1 (mm)	200	
底版ハンチ高 C_2 (mm)	200	

2) コンクリートの材料条件

材料名	単位重量 γ_c (kN/m ³)
30	24.50

(4) 埋設条件

地表標高 GL-(m)	10.00
土被り H(m)	1.50



(5) 土質条件

調査名 Bor. No. 1

層 No	深度 (m)	層厚 (m)	土質区分	単位体積重量			内部摩擦角 ϕ (°)	静止土圧係数 K	粘着力 C (kN/m ²)
				地下水位以下 (kN/m ³)	大気中 (kN/m ³)	水中 (kN/m ³)			
1	0.000~0.500	0.500	砂質土	18.000	18.000	9.000	20.0	0.500	0.000
2	0.500~3.300	2.800	砂質土	17.000	17.000	8.000	24.0	0.500	0.000
3	3.300~5.200	1.900	粘性土	16.000	16.000	7.000	0.0	0.500	18.000
4	5.200~8.500	3.300	砂質土	17.000	17.000	8.000	27.0	0.500	0.000
5	8.500~20.700	12.200	粘性土	16.000	16.000	7.000	0.0	0.500	12.000
6	20.700~24.700	4.000	砂質土	17.000	17.000	8.000	28.0	0.500	0.000

(6) 液状化の判定

層 No	層厚 h(m)	土質区分	液状化 判定
1	0.500	砂質土	非液状化層
2	2.800	砂質土	非液状化層
3	1.900	粘性土	非液状化層
4	3.300	砂質土	液状化層
5	11.500	粘性土	非液状化層

(7) 設計条件

平均FL FL	安全率 Fs
0.477	1.1

CSD

CSD

2. 浮き上がりに抵抗する力

(1) 上載土の荷重

上載土の荷重は、次式より求める。

$$W_s = B_0 \cdot \Sigma (\gamma t \cdot h)$$

ここに、

W_s : 上載土の荷重 (kN/m)

γt : 土の単位体積重量 (kN/m³)

h : 層厚 (m)

B_0 : ボックスカルバートの外幅 $B_0 = 4.000$ (m)

ここで、 $\Sigma (\gamma t \cdot h)$ は、

層 No	土の単位体積重量 γt (kN/m ³)	層厚 h (m)	$\gamma t \cdot h$ (kN/m ²)
1	18.000	0.500	9.000
2	17.000	1.000	17.000
合計			26.000

よって、上載土の荷重 W_s は、以下ようになる。

$$\begin{aligned} W_s &= 4.000 \times 26.000 \\ &= 104.000 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

(2) ボックスカルバートの自重

ボックスカルバートの自重は、次式より求める。

$$W_B = (B_0 \cdot H_0 - B \cdot H) \cdot \gamma_c$$

ここに、

W_B : ボックスカルバートの自重 (kN/m)

B_0 : ボックスカルバートの外幅 $B_0 = 4.000$ (m)

H_0 : ボックスカルバートの外高 $H_0 = 3.900$ (m)

B : ボックスカルバートの内幅 $B = 3.000$ (m)

H : ボックスカルバートの内高 $H = 3.000$ (m)

γ_c : コンクリートの単位体積重量 $\gamma_c = 24.500$ (kN/m³)

よって、ボックスカルバートの自重 W_B は、以下ようになる。

$$\begin{aligned} W_B &= (4.000 \times 3.900 - 3.000 \times 3.000) \times 24.500 \\ &= 161.700 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

(3) 上載土のせん断抵抗

上載土のせん断抵抗は、各層毎（液状化層は除く）に次式により求める。

[砂質土・礫質土]

$$Q_s = 2 \cdot \Sigma (K \cdot \sigma v' \cdot h \cdot \tan \phi)$$

[粘性土]

$$Q_s = 2 \cdot \Sigma (C \cdot h)$$

ここに、

Q_s : 上載土のせん断抵抗 (kN/m)

K : 静止土圧係数

$\sigma v'$: 上載土層中央での有効上載圧 (kN/m²)

h : 層厚 (m)

ϕ : せん断抵抗角 (°)

C : 粘着力 (kN/m²)

1) 深度0.000(m)～0.500(m)の砂質土層について

上載土層中央での有効上載圧 σ_v' は、

層 No	土の単位体積重量 γt (kN/m ³)	層厚 h (m)	$\gamma t \cdot h$ (kN/m ²)	有効上載圧 σ_v' (kN/m ²)
1	18.000	0.500	9.000	4.500
合計				4.500

よって、この層での上載土のせん断抵抗 Q_{S1} は、以下ようになる。

$$Q_{S1} = 2 \times 0.500 \times 4.500 \times 0.500 \times \tan 20.000 \\ = 0.819 \text{ (kN/m)}$$

2) 深度0.500(m)～1.500(m)の砂質土層について

上載土層中央での有効上載圧 σ_v' は、

層 No	土の単位体積重量 γt (kN/m ³)	層厚 h (m)	$\gamma t \cdot h$ (kN/m ²)	有効上載圧 σ_v' (kN/m ²)
1	18.000	0.500	9.000	9.000
2	17.000	1.000	17.000	$9.000 + 17.000 / 2 = 17.500$
合計				17.500

よって、この層での上載土のせん断抵抗 Q_{S2} は、以下ようになる。

$$Q_{S2} = 2 \times 0.500 \times 17.500 \times 1.000 \times \tan 24.000 \\ = 7.792 \text{ (kN/m)}$$

3) 上載土のせん断抵抗

上載土のせん断抵抗 Q_S は、以下ようになる。

No	土質区分	層厚 h (m)	せん断抵抗角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)	静止土圧係数 K	有効上載圧 σ_v' (kN/m ²)	せん断抵抗 Q_S (kN/m)
Q_{S1}	砂質土	0.500	20.000	-	0.500	4.500	0.819
Q_{S2}	砂質土	1.000	24.000	-	0.500	17.500	7.792
合計							8.611

(4) ボックスカルバート側面の摩擦抵抗

ボックスカルバート側面の摩擦抵抗は、各層毎（液状化層は除く）に次式により求める。

[砂質土・礫質土]

$$Q_B = 2 \cdot \Sigma (K \cdot \sigma_v' \cdot h \cdot \tan \frac{2}{3} \phi)$$

[粘性土]

$$Q_B = 2 \cdot \Sigma (C \cdot h)$$

ここに、

Q_B : ボックスカルバート側面の摩擦抵抗 (kN/m)

K : 静止土圧係数

σ_v' : ボックスカルバート側面層中央での有効上載圧 (kN/m²)

h : 層厚 (m)

ϕ : せん断抵抗角 (°)

C : 粘着力 (kN/m²)

1) 深度1.500(m)～3.300(m)の砂質土層について

ボックスカルバート側面層中央での有効上載圧 σ_v' は、

層 No	土の単位体積重量 γt (kN/m ³)	層厚 h (m)	$\gamma t \cdot h$ (kN/m ²)	有効上載圧 σ_v' (kN/m ²)
1	18.000	0.500	9.000	9.000
2	17.000	1.000	17.000	9.000+17.000=26.000
2	17.000	1.800	30.600	26.000+30.600/2=41.300
合計				41.300

この層でのボックスカルバート側面の摩擦抵抗 Q_{B1} は、以下ようになる。

$$Q_{B1} = 2 \times 0.500 \times 41.300 \times 1.800 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 24.000\right) = 21.317 \text{ (kN/m)}$$

2) 深度3.300(m)～5.200(m)の粘性土層について

この層でのボックスカルバート側面の摩擦抵抗 Q_{B2} は、以下ようになる。

$$Q_{B2} = 2 \times 18.000 \times 1.900 = 68.400 \text{ (kN/m)}$$

3) 深度5.200(m)～5.400(m)の砂質土層について

この層は液状化層のため、ボックスカルバート側面の摩擦抵抗 Q_{B3} は考慮しない。

4) ボックスカルバート側面の摩擦抵抗

ボックスカルバート側面の摩擦抵抗 Q_B は、以下ようになる。

No	土質区分	層厚 h (m)	せん断抵抗角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)	静止土圧係数 K	有効上載圧 σ_v' (kN/m ²)	摩擦抵抗 Q_B (kN/m)	
Q_{B1}	砂質土	1.800	24.000	-	0.500	41.300	21.317	
Q_{B2}	粘性土	1.900	-	18.000	-	-	68.400	
Q_{B3}	砂質土	0.200	液状化層					
合計							89.717	

3. ボックスカルバート底面に作用する揚圧力

(1) 静水圧による揚圧力

ボックスカルバート底面に作用する静水圧による揚圧力は、次式より求める。

$$U_s = \gamma_w \cdot (Z_B - H_w) \cdot B_0$$

ここに、

U_s : ボックスカルバート底面に作用する静水圧による揚圧力 (kN/m)

γ_w : 水の単位体積重量 $\gamma_w = 10.0$ (kN/m³)

Z_B : ボックスカルバート底面の深度 $Z_B = 5.400$ (m)

H_w : 地表面からの地下水位 $H_w = 3.30$ (m)

B_0 : ボックスカルバートの外幅 $B_0 = 4.000$ (m)

よって、ボックスカルバート底面に作用する静水圧による揚圧力 U_s は、以下ようになる。

$$U_s = 10.0 \times (5.400 - 3.30) \times 4.000 = 84.000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

(2) 過剰間隙水圧による揚圧力

ボックスカルバート底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力は、次式より求める。

$$U_D = L_u \cdot \sigma_v' \cdot B_0$$

ここに、

U_D : ボックスカルバート底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力 (kN/m)

L_u : 過剰間隙水圧比

$$L_u = \bar{F}_L^{-7} \quad (\bar{F}_L \geq 1)$$

$$L_u = 1 \quad (\bar{F}_L < 1)$$

σ_v' : ボックスカルバート底面と同じ深さの土中の有効上載圧 (kN/m²)

B_0 : ボックスカルバートの外幅 $B_0 = 4.000$ (m)

\bar{F}_L : 平均 F_L 値 $\bar{F}_L = 0.477$

ボックスカルバート底面と同じ深さの土中の有効上載圧 σ_v' は、

層 No (粘性土は除く)	土の単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	層厚 h (m)	有効上載圧 σ_v' (kN/m ²)
1	18.000	0.500	9.000
2	17.000	2.800	47.600
4	8.000	0.200	1.600
合計			58.200

過剰間隙水圧比 L_u は、

$$L_u = 1.000$$

よって、ボックスカルバート底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力 U_D は、以下ようになる。

$$\begin{aligned} U_D &= 1.000 \times 58.200 \times 4.000 \\ &= 232.800 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

4. 浮き上がりに対する安全率

浮き上がりに対する安全率は、次式より求める。

$$F_s = \frac{W_s + W_B + Q_s + Q_B}{U_s + U_D}$$

ここに、

F_s : 上載土の荷重

W_s : 上載土の荷重 $W_s = 104.000$ (kN/m)

W_B : ボックスカルバートの自重 $W_B = 104.000$ (kN/m)

Q_s : 上載土のせん断抵抗 $Q_s = 8.611$ (kN/m)

Q_B : ボックスカルバート側面の摩擦抵抗 $Q_B = 89.717$ (kN/m)

U_s : ボックスカルバート底面に作用する静水圧による揚圧力 $U_s = 84.000$ (kN/m)

U_D : ボックスカルバート底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力 $U_D = 232.800$ (kN/m)

よって、浮き上がりに対する安全率 F_s は、以下ようになる。

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{104.000 + 161.700 + 8.611 + 89.717}{84.000 + 232.800} \\ &= 1.149 \geq 1.1 \quad \text{— 0.K —} \end{aligned}$$