

第 1 章

ボックスカルバートの設計に用いる荷重

1.1 設計荷重

表 1.1 ボックスカルバートの設計荷重

項目		種別	適用
主荷重	荷重考慮する	死荷重	躯体自重
		土圧	鉛直土圧
			水平土圧
		活荷重	上載荷重
			側圧
			衝撃荷重
		地盤反力	
	必要に応じて考慮する荷重	水圧	水圧
			浮力または揚圧力
			カルバート内水圧
活荷重		カルバート内の荷重	
乾燥収縮			
従荷重	温度変化		
	地震の影響		

1.2 死荷重

・単位体積重量

γ_c : 鉄筋コンクリート (= 24.5 kN/m³)

γ_a : アスファルトコンクリート (= 22.5 kN/m³)

γ_s : $\left\{ \begin{array}{l} \text{礫・礫質土 (= 20 kN/m}^3 \text{)} \\ \text{砂・砂質土 (= 19 kN/m}^3 \text{)} \\ \text{シルト・粘性土 (= 18 kN/m}^3 \text{)} \end{array} \right\}$ 地下水位以下の単位体積重量は
9 kN/m³を差し引いた値とする .

1.3 活荷重

カルバート頂版上面に作用する活荷重は「道路橋示方書・I 共通編」で規定する T 荷重を用い、必要に応じて前輪の影響を考慮する .

1) 土かぶり 4 m 未満の場合

車輛はカルバート縦方向 (道路横断方向) には制限なく載荷させるものとする . 縦方向単位長さ当たりの換算荷重は次式により算出する .

$$\begin{aligned} \text{後輪: } P_{l1} &= \frac{2 \times \text{後輪荷重 (kN)}}{\text{T 荷重 1 組の占有幅 (m)}} \times (1 + \text{衝撃係数 } i) \\ &= \frac{2 \times 100}{2.75} \times (1 + 0.3) = 94.5 \text{ (kN/m)} \\ \text{前輪: } P_{l2} &= \frac{2 \times \text{前輪荷重 (kN)}}{\text{T 荷重 1 組の占有幅 (m)}} \times (1 + \text{衝撃係数 } i) \\ &= \frac{2 \times 25}{2.75} \times (1 + 0.3) = 23.6 \text{ (kN/m)} \end{aligned}$$

表 1.2 衝撃係数

名 称	項 目	土かぶり (h)	衝撃係数 (i)
ボックスカルバート		$h < 4 \text{ m}$	0.3
		$4 \text{ m} \leq h$	0

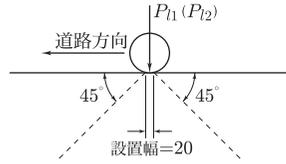


図 1.1 T 荷重による荷重分布

(1) 後輪・前輪による鉛直荷重

算定式は次式による。

①後輪による鉛直荷重

$$P_{vl1} = \frac{P_{l1} \cdot \beta}{W_1} = \frac{P_{l1} \cdot \beta}{2h + 0.2} = \frac{94.5 \cdot \beta}{2h + 0.2} \quad (\text{kN/m}^2)$$

②前輪による鉛直荷重

$$P_{vl2} = \frac{P_{l2} \cdot \beta}{W_1} = \frac{23.6}{2h + 0.2} \quad (\text{kN/m}^2)$$

ここに

 P_{l1} : 後輪の換算活荷重 (= 94.5 kN/m) P_{l2} : 前輪の換算活荷重 (= 23.6 kN/m) W_1 : 後輪荷重の分布幅 (m) W_2 : 前輪荷重の載荷 ($\frac{B_0}{2} + h - 5.9$) (m) β : 断面力の低減係数

表 1.3 断面力の低減係数

	土かぶり $h \leq 1$ m かつ 内空幅 $B \geq 4$ m の場合	左記以外の場合
β	1.0	0.9

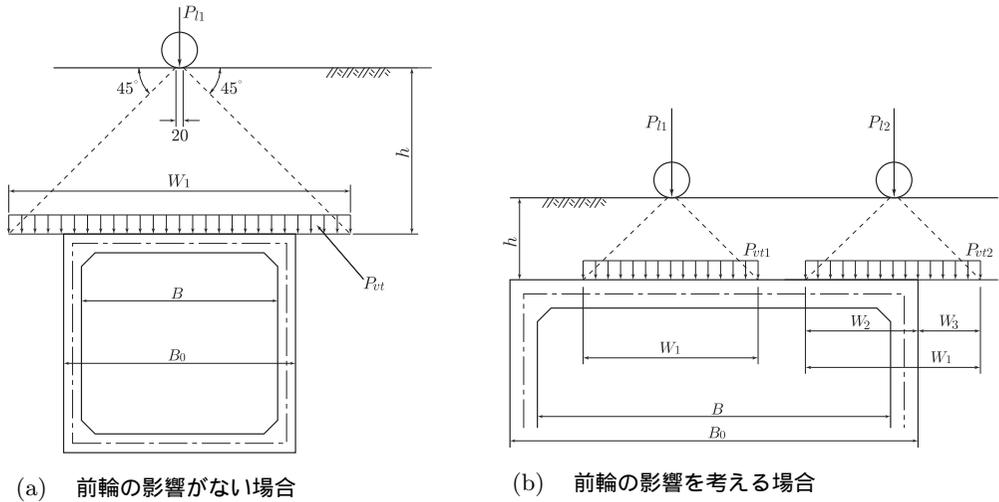


図 1.2 活荷重分布

2) 土かぶり 4 m 以上の場合

①鉛直荷重

鉛直荷重は頂版上面に T 荷重をモデル化した $q = 10 \text{ kN/m}^2$ の等分布荷重を考慮する。

②水平荷重

水平荷重としては深さに関係なく鉛直荷重 (10 kN/m^2) に静止土圧係数 ($k_0 = 0.5$) 乗じたものとする。 ($10k_0 \text{ kN/m}^2$)

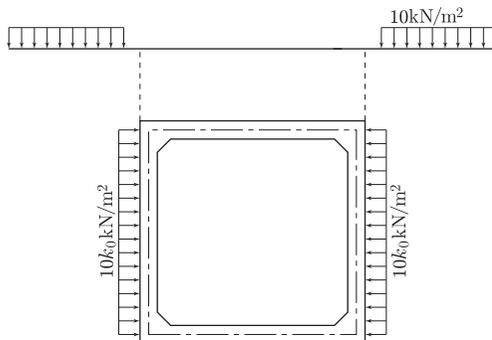


図 1.3 活荷重による水平荷重

1.4 土圧

荷重計算は外側寸法線を用いる。

(1) 鉛直土圧

カルバート頂版上面に作用する鉛直土圧は次式により計算する。

$$P_{vd} = \alpha \cdot \gamma_s \cdot h \quad (\text{kN/m}^2)$$

ここに

α : 鉛直土圧係数

γ_s : カルバート上の単位体積重量 (kN/m^3)

h : カルバート上の土かぶり (m)

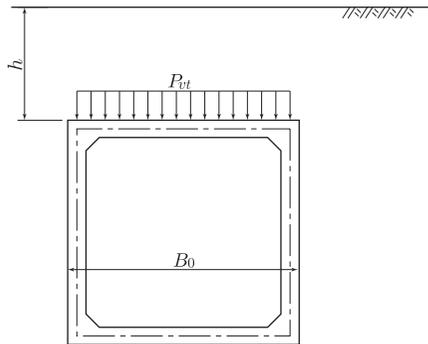


図 1.4 鉛直土圧

表 1.4 鉛直土圧係数

条件	鉛直土圧係数 α	
次の条件のいずれかに該当する場合 .	$h/B_0 < 1$	1.0
・ 良好な地盤上 (置換え基礎も含む) に設置する直接基礎のカルバートで, 土かぶりが 10 m 以上でかつ内空高が 3 m を超える場合	$1 \leq h/B_0 < 2$	1.2
	$2 \leq h/B_0 < 3$	1.35
	$3 \leq h/B_0 < 4$	1.5
	$4 \leq h/B_0$	1.6
上記以外の場合	1.0	

(2) 水平土圧

カルバート側壁に作用する次式により計算する。

また，部材設計時に用いる水平土圧はラーメン軸線位置とする。

$$P_{hd} = k_0 \cdot \gamma_s \cdot Z \quad (\text{kN/m}^2)$$

ここに

k_0 : 静止土圧係数 (= 0.5)

γ_s : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

Z : 地表面より任意点までの深さ (m)

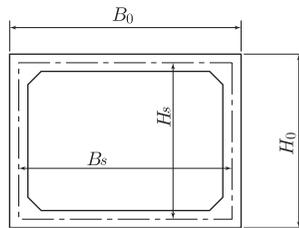


図 1.5 ラーメン軸線

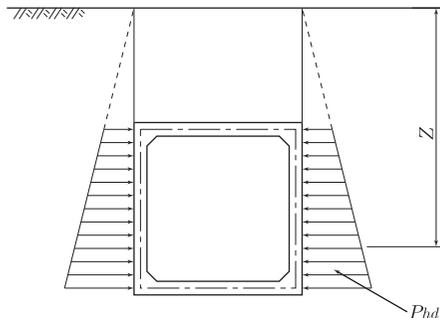


図 1.6 水平土圧

1.5 カルバート底面の反力

(1) 支持地盤に対するカルバート底面の地盤反力の計算は次式による。

$$P_{v1} = P_{vd} + \frac{Q + D + E}{B_0}$$

ここに

P_{vd} : カルバート上面に作用する鉛直土圧 (kN/m²)

Q : カルバート上面に作用する単位長さ当り活荷重合計 (kN/m)

B_0 : カルバートの外幅 (m)

D : カルバート単位長さ当りの重量 (kN/m)

E : カルバート内の死荷重または活荷重 (kN/m)

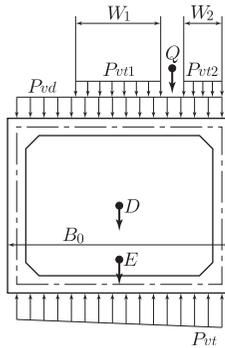


図 1.7 カルバート底面の地盤反力

(2) 断面力計算地盤反力は次式による。

$$P_{v2} = P_{vd} + \frac{Q + D_0}{B_0} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここに

D_0 : 底版自重を除いたカルバート単位長さ当りの重量 (kN/m)

1.6 温度変化の影響

土かぶり 50 cm 程度以上で一般的に考慮しない。

1.7 地震の影響

ボックスカルバートの設計では一般的に考慮しない。

1.8 荷重の組合せ

(1) 土かぶり 4 m 未満の場合

(a)(b) の 2 ケースについて計算を行い，各点の断面力の最大値を用いて断面設計を行う。

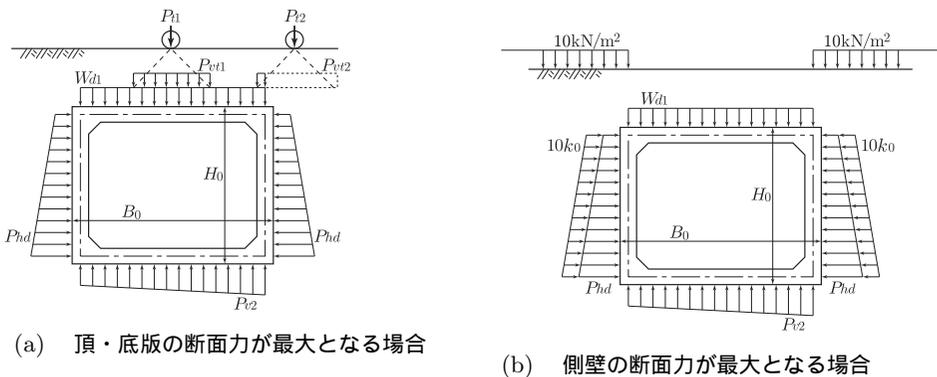


図 1.8 土かぶり 4 m 未満の荷重の組合せ

ここに

w_{d1} : 頂版に作用する死荷重 (kN/m^2 (tf/m^2))

$$w_{d1} = p_{vd} + w_{t1} \quad (4.7)$$

p_{vd} : カルバート上面に作用する鉛直土圧 (kN/m^2 (tf/m^2))

w_{t1} : 頂版自重 (kN/m^2 (tf/m^2))

p_{v1}, p_{v2} : 頂版に作用する活荷重による鉛直荷重 (kN/m^2 (tf/m^2))

p_{v2} : 底版に作用する反力 (kN/m^2 (tf/m^2))

p_{hd} : 水平土圧 (kN/m^2 (tf/m^2))

$10 k_a (k_0)$: 活荷重による水平荷重 (kN/m^2 (tf/m^2))

(2) 土かぶり 4 m 以上の場合

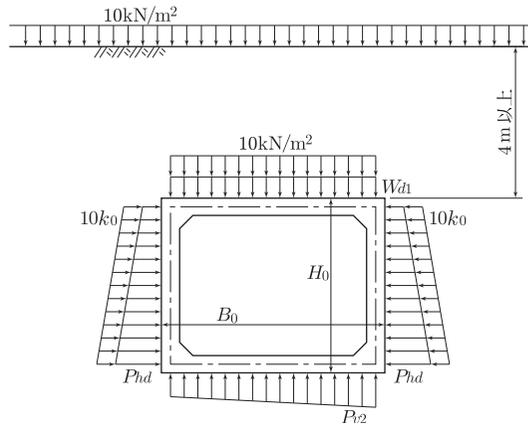


図 1.9 土かぶり 4 m 以上の荷重の組合せ

ここに

 w_{d1} : 頂版に作用する死荷重 (kN/m^2 (tf/m^2))

$$w_{d1} = p_{vd} + w_{t1}$$

 p_{vd} : カルバート上面に作用する鉛直土圧 (kN/m^2 (tf/m^2)) w_{t1} : 頂版自重 (kN/m^2 (tf/m^2)) p_{vl1} , p_{vl2} : 頂版に作用する活荷重による鉛直荷重 (kN/m^2 (tf/m^2)) p_{v2} : 底版に作用する反力 (kN/m^2 (tf/m^2)) p_{hd} : 水平土圧 (kN/m^2 (tf/m^2)) $10 k_d$ (k_0): 活荷重による水平荷重 (kN/m^2 (tf/m^2))

1.9 設計一般事項

1.9.1 弾性係数比 n 鉄筋ヤング係数 $E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$ コンクリ - トヤング係数 $E_c = 35 \text{ kN/mm}^2$

- ・許容応力度法による断面算定では $n = 5$
- ・弾性解析による応力算定では表 1.5 を用いる

表 1.5 弾性係数比 n

目的		①弾性解析（使用状態における応力算定，変形計算）								②許容応力度法による断面算定
コンクリートの特性	f'_{ck} (N/mm ²)	18	24	30	40	50	60	70	80	
	E_c (N/mm ²)	22	25	28	31	33	35	37	38	
弾性係数比 n		9.1	8.0	7.1	6.5	6.1	5.7	5.4	5.3	15

1.9.2 各種設計基準強度

表 1.6 各種設計基準強度 (N/mm²)

限界状態	終局限界状態						使用限界状態					
設計基準強度 f'_{ck}	18	24	30	40	60	80	18	24	30	40	60	80
設計圧縮強度 f'_{cd}	13.8	18.5	23.1	30.8	40.0	53.3						
設計曲げ強度 f'_{bd}	2.2	2.7	3.1	3.8	4.3	5.2	2.9	3.5	4.0	4.9	6.4	7.8
設計引張強度 f'_{td}	1.2	1.5	1.7	2.1	2.4	2.8	1.6	1.9	2.2	2.7	3.5	1.3
設計付着強度 f'_{bod}	1.5	1.8	2.1	2.5	2.9	3.1						

1.9.3 材料の単位体積重量

表 1.7 材料の単位体積重量

材料	単位重量 [kN/m ³]	材料	単位重量 [kN/m ³]
鋼・鋳鋼・鍛鋼	77	コンクリート	22.5 ~ 23.0
鋳鉄	71	セメントコンクリート	21.0
アルミニウム	27.5	木材	8
鉄筋コンクリート	24.0 ~ 24.5	厝青材	11
プレストレスト コンクリート	24.5	アスファルトコンクリート 舗装	22.5
鉄筋軽量骨材	18.0	軽量骨材コンクリート	16.5
コンクリート		(骨材全部が軽量骨材)	

1.9.4 許容応力度

(1) コンクリートの許容応力度

表 1.8 コンクリートの許容応力度（ただし、普通コンクリートの場合）

項目			設計基準強度 [N/mm ²]			
			18	24	30	40 以上
許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}			7	9	11	14
許容せん断 応力度 τ_u	斜め引張鉄筋の計算 をしない場合 τ_{a1}	はりの場合	0.4	0.45	0.5	0.55
		スラブの場合	0.8	0.9	1.0	1.1
	斜め引張鉄筋の計算 をする場合 τ_{a2}	せん断力のみ の場合	1.8	2.0	2.2	2.4
許容付着応 力度 τ_{0a}	鉄筋の種類	普通丸鋼	0.7	0.8	0.9	1.0
		異形鉄筋	1.4	1.6	1.8	2.0
許容支圧応 力度 σ_{ck}	全面載荷の場合		$\sigma_{ca} = 0.3f'_{ck}$			
	局部載荷の場合		$\sigma_{ca} \leq (0.25 + 0.05A/A_a)f'_{ck}$ ただし、 $\sigma_{ca} \leq 0.5f'_{ck}$ ここで、 A ：コンクリート面の全面積 A_a ：支圧力作用面積			

(2) 鉄筋の許容引張応力度

表 1.9 鉄筋の許容引張応力度 σ_{sa} [N/mm²]

鉄筋の種類	SR 235	SR 295	SD 235 A, B	SD 345	SD 390
(a) 一般の場合の許容引張応力度	137	157	176	196	206
(b) 疲労強度より定まる許容引張 応力度	137	157	157	176	176
(c) 降伏強度より定まる許容引張 応力度	137	176	176	196	216

(注) 1) コンクリートの設計基準強度 f'_{ck} が 18 N/mm² 未満の場合、鉄筋の許容引張応力度は、普通丸鋼に対して 117 N/mm² 以下、異形鉄筋に対して 157 N/mm² 以下とする。

2) 鉄筋の許容圧縮応力度は (c) 欄の許容引張応力度の値としてよい。

1.10 限界状態設計法に関する一般事項

1.10.1 一般的に考慮する限界状態と荷重

表 1.10 考慮する限界状態と荷重

荷 重		限界状態		終局限界状態		使用限界状態
		剛体安定		断面破壊	ひびわれ	
		鉛直支持	浮上り			
永久 荷重	躯体自重	○		○	○	
	土 圧	○		○	○	
	舗装荷重	○		○	○	
	水 圧	○	○	○	○	
変動 荷重	活荷重	○		○	○	
	温度荷重				○	
地盤反力				○	○	

(注) 浮上りの検討において、躯体自重、土圧、舗装荷重は、抵抗として考慮する。

1.10.2 安全係数および修正係数

(1) 安全係数

表 1.11 安全係数

安全係数		限界状態	終局限界状態	使用限界状態
			断面破壊	ひび割れ
材料系 数 γ_m	コンクリート		1.3	
	鉄筋		1.0	
荷重 係数 γ_f	躯体自重		1.05 (0.95)	1.0
	土圧	鉛直方向	1.1 (0.9)	1.0
		水平方向	1.2 (0.8)	1.0
	舗装 荷重	鉛直方向	1.1 (0.9)	1.0
		水平方向	1.2 (0.8)	1.0
	水圧		1.1 (0.9)	1.0
	活荷重		1.2	1.0
	温度荷重			1.0
荷重組合せ係数 γ			すべて 1.0	すべて 1.0
構造解析係数 γ_a			1.0	1.0
部材係数 γ_b			1.15 or 1.3	
剛体安定の安全係数			1.5 (鉛直支持) 1.1, 1.5 (浮上り)	
構造物係数 γ_i			1.1	

(注) 荷重が小さい方が構造物にとって危険側となる場合は () 内の荷重係数を用いる。

(2) 修正係数

表 1.12 修正係数

材料修正係数 (ρ_m)	コンクリート		1.0	
	鉄筋		1.0	
荷重修正係数 (ρ_f)	終局限界状態	躯体自重		1.0
		土圧	鉛直方向	1.0
			水平方向	1.2 (0.8)
		舗装荷重	鉛直方向	1.0
			水平方向	1.0
		活荷重	鉛直方向	1.0
			水平方向	1.0
		地盤反力	鉛直方向	1.0
	使用限界状態	躯体自重		1.0
		土圧	鉛直方向	1.0
			水平方向	1.0
		舗装荷重	鉛直方向	1.0
			水平方向	1.0
		活荷重	鉛直方向	1.0
水平方向			1.0	
地盤反力			1.0	

(注) 荷重が小さい方が構造物にとって危険側となる場合は ()
内の修正係数を用いる。