

技術資料 1：設計計算例

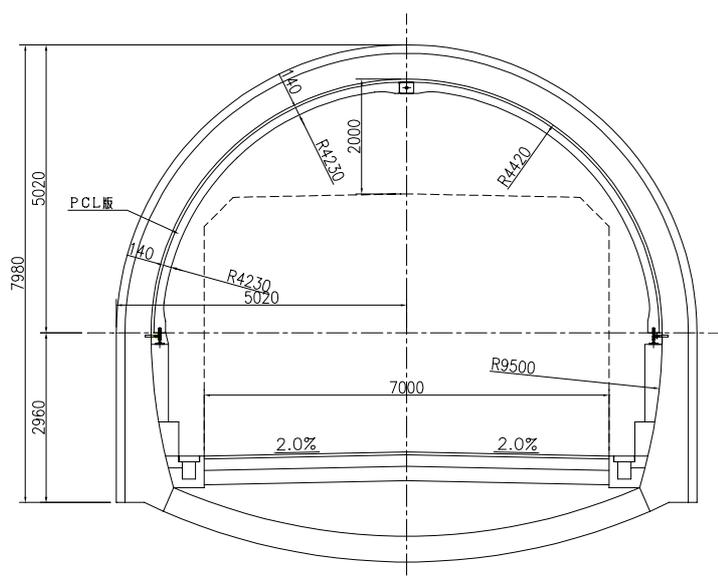
1. 設計条件

1.1 一般条件

老朽化した既設山岳トンネルに対し、PCL工法を適用する。

- ・ 物件名 : PCL工法試設計モデル
- ・ 使用目的 : 道路トンネル
- ・ 構造形式 : プレキャスト鉄筋コンクリート
- ・ 平面線形 : 直線
- ・ トンネル全高さ : 7.970m
- ・ トンネル全幅 : 8.840m
- ・ 土圧 : 緩み土圧を考慮
- ・ 活荷重 : 考慮しない
- ・ 環境条件 : 一般の環境

1.2 トンネル断面



1.3 準拠仕様書

- ・ 「PCL工法技術マニュアル」(平成19年 PCL協会)
- ・ 「コンクリート標準示方書 性能照査編」(2002年 土木学会)
- ・ 「道路橋示方書・同解説 、、、」(平成14年 日本道路協会)
- ・ 「道路土工カルバート工指針」(平成11年3月 日本道路協会)

1.4 材料および設計用値

1.4.1 コンクリート

- ・ 設計基準強度 : $f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$
- ・ ヤング係数 : $E_c=31\text{kN/mm}^2$
- ・ 粗骨材の最大寸法 : 20 mm

1.4.2 鉄筋

- ・ 種類 : JIS G3112 SD295A
- ・ 引張強度の特性値 : $f_{suk}=440\text{N/mm}^2$
- ・ 引張降伏強度の特性値 : $f_{syk}=295\text{N/mm}^2$
- ・ ヤング係数 : $E_s=200\text{kN/mm}^2$

1.5 許容応力度

1.5.1 コンクリート

- ・ 許容曲げ圧縮応力度 $f'_{ck}=40\text{ N/mm}^2$
- ・ 許容せん断応力度（コンクリートのみで負担する場合） $\tau_{al}=0.27\text{N/mm}^2$

1.5.2 鉄筋

- ・ 許容引張応力度 $\sigma_{sa}=180\text{ N/mm}^2$
- ・ 許容圧縮応力度 $\sigma'_{sa}=200\text{ N/mm}^2$

1.5.3 許容応力度の割増し

安全のため、施工時における許容応力度の割増しを考慮しないこととする。

1.6 作用

1.6.1 死荷重

部材死荷重の値は、以下に示す単位重量を用いて算定する。

- ・ 鉄筋コンクリート : $c=25\text{kN/m}^3$

1.6.2 施工時荷重

施工時に作用する荷重は裏込め注入圧であり、その値は以下の式により算出する。しかしながら、全断面一括で施工を行った場合、過大な断面力が発生すると考えられるため、仕上がり高さで管理する分割施工により作用荷重の低減を図る。

グラウトはエアモルタルとし、その単位重量は $g=12\text{kN/m}^3$ 、リフト高さ 1.5m とする。

$$P_v = g \cdot H$$

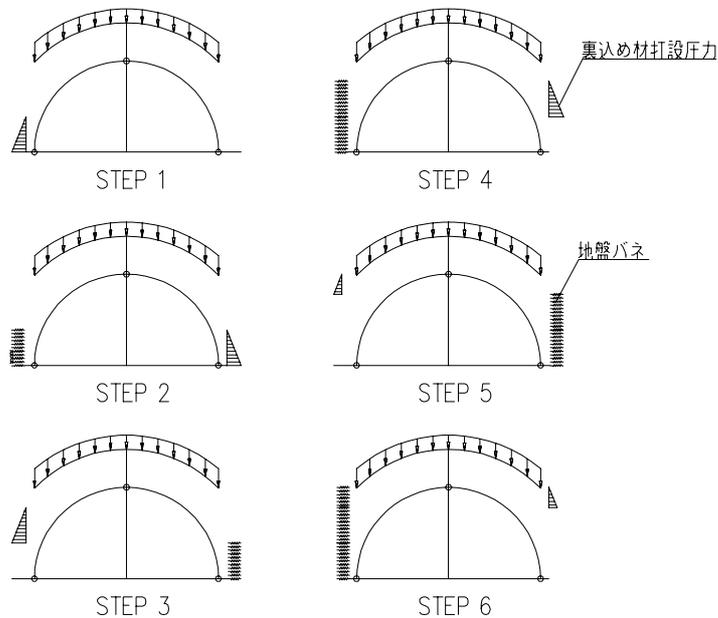
ここに、

P_v : PCL 版に作用する施工時グラウト圧(kN/m²)

g : グラウト注入時の単位重量(kN/m³)

H : グラウト注入 1 回あたりのリフト高さ(m)

裏込めを分割施工した場合、各施工段階において最大断面力が発生する位置およびその値が変動する。そのため、各施工段階における解析を行い最大断面力の抽出をし、この断面力に対して照査を行うものとする。

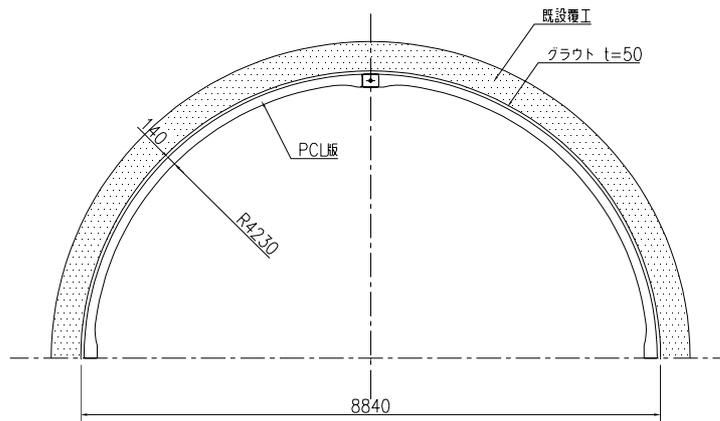


1.6.3 供用時荷重

供用時において緩み土圧が PCL 版に作用すると考え、想定緩み高さを 3.0m とする。そのときの土の単位重量を $\gamma=18\text{kN/m}^3$ 、静止土圧係数を $K_0=0.5$ とする。また、水圧はトンネルを排水構造とするため考慮しない。

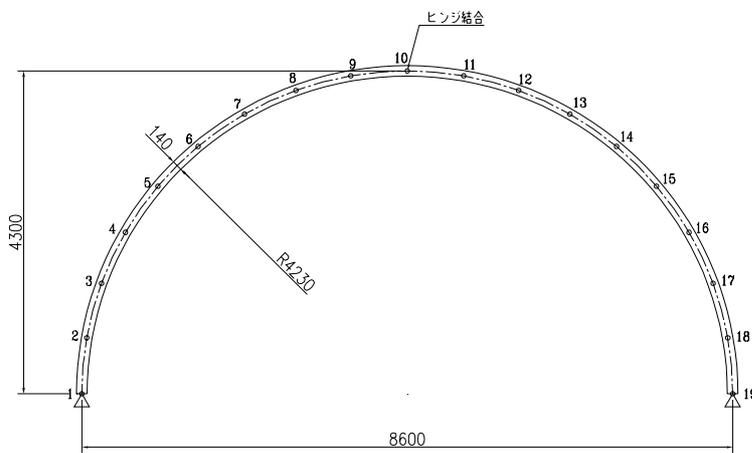
2. 構造物の形状寸法

2.1 設計構造断面



2.2 各点座標および部材厚さ

軸線図および座標を以下に示す。



各点	X座標	Y座標	各点	X座標	Y座標
1	-4.300	0.000	11	0.747	4.235
2	-4.235	0.747	12	1.471	4.041
3	-4.041	1.471	13	2.150	3.724
4	-3.724	2.150	14	2.764	3.294
5	-3.294	2.764	15	3.294	2.764
6	-2.764	3.294	16	3.724	2.150
7	-2.150	3.724	17	4.041	1.471
8	-1.471	4.041	18	4.235	0.747
9	-0.747	4.235	19	4.300	0.000
10	0.000	4.300			

3. 設計ばね定数の算出

硬化後のグラウトは地盤バネとみなし解析を行う。その値は道路橋示方書 に従い算出する。

地盤反力係数 k_v

$$k_v = k_{v0} \cdot (B_v/0.3)^{-3/4}$$

ここに、

k_v : 鉛直地盤反力係数

k_{v0} : 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相応する鉛直方向地盤反力係数で、各種試験・調査により求めた変形係数から推定する場合には、以下の式により算出する。

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

B_v : 地盤反力係数に用いる換算幅

E_0 : 裏込めの変形係数

: 地盤反力係数の推定に用いる係数で以下の表より算出する。

ここで、PCL 版の換算幅 B_v はグラウトリフト高さ 1.50m とし、

$$B_v = 1.50\text{m}$$

また、変形係数は PCL 工法技術マニュアル内のエアモルタル物性値試験値から、施工時荷重に対して $E_0=20,000\text{kN/m}^2$ 、供用時荷重に対して $E_0=180,000\text{kN/m}^2$ 、 $\alpha=4$ より、

$$\text{施工時: } k_{v0} = (1/0.3) \times 4 \times 20,000 = 266,667 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{供用時: } k_{v0} = (1/0.3) \times 4 \times 180,000 = 2,400,000 \text{ kN/m}^3$$

したがって施工時では、

$$k_v = 266,667 \times (1.50/0.3)^{-3/4}$$

$$= 79,752 \text{ kN/m}^2$$

$$= 79,750 \text{ kN/m}^2$$

供用時では

$$k_v = 2,400,000 \times (1.50/0.3)^{-3/4}$$

$$= 717,767 \text{ kN/m}^2$$

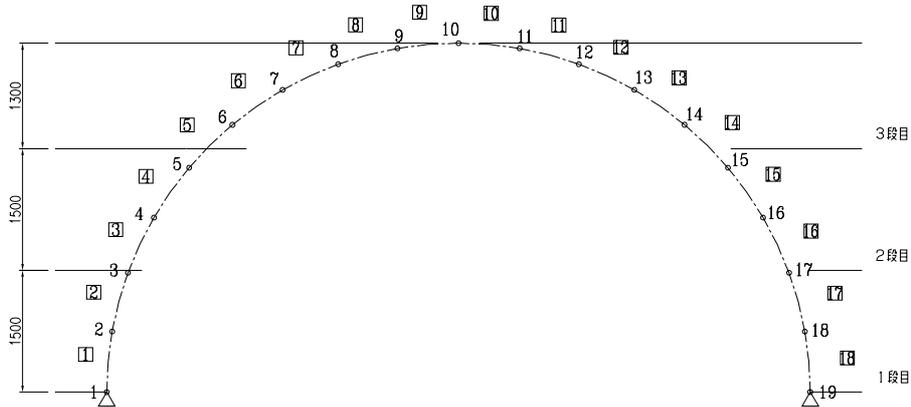
$$= 717,760 \text{ kN/m}^2$$

4. 設計荷重項の計算

4.1 死荷重

PCL 版の自重 $W_d = t \cdot c$
 $= 0.14 \times 25 = 3.5 \text{ kN/m}^2$
 ここに、 t : PCL 版厚(=0.14m)

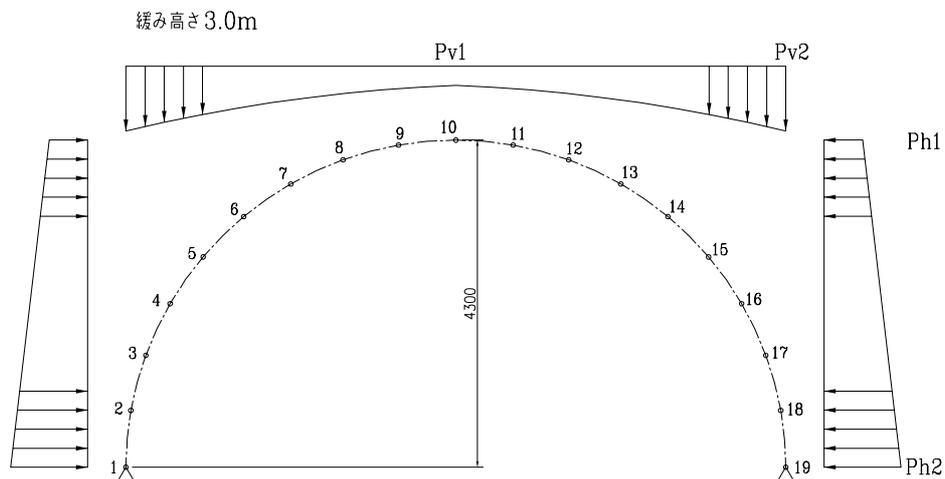
4.2 裏込め注入圧



グラウトはリフト高さ 1.5m より、3段に分けて行う。

(1 段目 ~ 2 段目) $W_g = 12.0 \times 1.50 = 18.0 \text{ kN/m}^2$
 (3 段目) $W_g = 12.0 \times 1.30 = 15.6 \text{ kN/m}^2$

4.3 緩み土圧



(鉛直土圧)

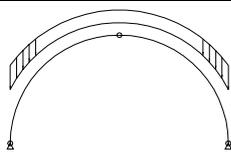
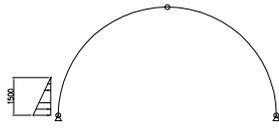
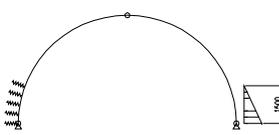
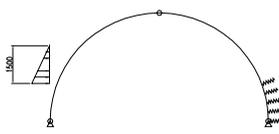
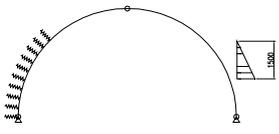
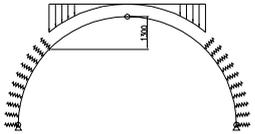
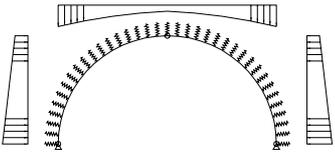
$Pv1 = 3.00 \times 18 = 54.0 \text{ kN/m}^2$
 $Pv2 = (3.00 + 4.30) \times 18 = 131.4 \text{ kN/m}^2$

(水平土圧)

$Ph1 = 0.5 \times 3.00 \times 18 = 27.0 \text{ kN/m}^2$
 $Ph2 = 0.5 \times (3.00 + 4.30) \times 18 = 65.7 \text{ kN/m}^2$

5. 断面照査

5.1 基本荷重ケース

荷重ケース	名称	作用状況	ばね
1	死荷重		なし
2	裏込め注入 (STEP-1)		なし
3	裏込め注入 (STEP-2)		施工時
4	裏込め注入 (STEP-3)		"
5	裏込め注入 (STEP-4)		"
6	裏込め注入 (STEP-5)		"
7	緩み土圧		供用時

引張ばねが発生した場合には、切り離すこととする。

5.2 荷重検討ケースの組合せ

名称	検討 ケース	荷重ケース							割増係数
		1	2	3	4	5	6	7	
組立時の検討	検討-1		-	-	-	-	-	-	1.00
施工時の検討	検討-2			-	-	-	-	-	1.00
	検討-3				-	-	-	-	1.00
	検討-4					-	-	-	1.00
	検討-5						-	-	1.00
	検討-6							-	1.00
供用時の検討	検討-7								1.00

5.3 発生断面力

断面力の算出結果を以降に示す。

5.4 応力度計算

5.4.1 曲げの検討

(1) 曲げ検討一覧表

節点	曲げ モーメント kN・m	軸力 kN	部材厚 m	かぶり m	鉄筋量		c N/mm ²	s N/mm ²	検討 ケース
					径-本/m	cm ²			
1	0.0	373.2	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	3.2		組 7
2	8.3	26.0	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	2.5	-38.1	組 4
3	15.0	28.1	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	4.3	-72.9	組 5
4	20.8	24.8	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	5.9	-104.1	組 5
5	20.7	24.4	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	5.9	-103.6	組 5
6	17.4	46.2	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	5.2	-81.7	組 6
7	13.5	45.8	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	4.1	-61.3	組 6
8	8.1	46.0	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	2.6	-33.1	組 6
9	3.0	46.4	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	1.2	-7.5	組 6
10	0.0	272.6	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	2.3		組 1
11	0.5	46.2	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	0.5	1.6	組 6
12	3.2	46.1	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	1.2	-8.5	組 6
13	6.3	46.6	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	2.1	-23.8	組 6
14	8.2	47.9	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	2.6	-33.3	組 6
15	9.7	25.4	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	2.9	-45.6	組 5
16	14.8	26.6	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	4.3	-72.1	組 5
17	16.5	29.2	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	4.8	-80.5	組 5
18	10.4	33.8	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	3.1	-47.5	組 5
19	0.0	60.0	0.140	0.030	D 16- 8	15.888	3.2		組 6

モーメントの" - "は外側引張り

5.4.2 せん断の検討

コンクリートのみでせん断力を負担する場合の許容せん断応力度 τ_{a1} は、以下の影響を考慮して補正を行う。

$$\tau_a = \tau_{a1} \times C_e \times C_{pt} \times C_N$$

ここに、 τ_{a1} : せん断応力度の基準値

C_e : 有効高 d に関する補正係数

有効高さ(m)	0.3 以下	1.0	3.0	5.0	10 以上
C_e	1.4	1.0	0.7	0.6	0.5

C_{pt} : 軸方向引張鉄筋比 P_t に関する補正係数

$$P_t = \frac{A_s}{b \cdot d} \times 100$$

P_t : 軸方向引張鉄筋比 (%)

A_s : 引張鉄筋量 (mm^2)

b : 部材幅 (mm)

d : 有効高さ (mm)

軸方向引張鉄筋比(%)	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0 以上
C_{pt}	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5

C_N : 軸方向圧縮力による補正係数

$$C_N = 1 + \frac{M_0}{M} \quad \text{ただし、} (1 \leq C_N \leq 2)$$

M_0 : 軸方向圧縮力によりコンクリートの応力度が部材引張縁で零となる曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

$$M_0 = \frac{N \times I_c}{A_c \times y}$$

M : 部材断面に作用する曲げモーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

N : 部材断面に作用する軸方向圧縮力 (kN)

I_c : 部材断面の図心軸に関する断面二次モーメント = $bh^3/12 (\text{m}^4)$

A_c : 部材断面積 = $bh (\text{m}^2)$

y : 部材断面の図心より部材引張縁までの距離 = $h/2 (\text{m})$

(2) せん断応力度一覧表

各点	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)	鉄筋量 (mm ²)	せん断力 (kN)	モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	C _e	C _{pt}	C _N	(N/mm ²)	a (N/mm ²)	検討 ケース
1	1000	140	110	1588.8	33.6	0.0	373.2	1.4	1.5	1.00	0.305	0.567	組 7
2	1000	140	110	1588.8	24.3	3.6	366.6	1.4	1.5	2.00	0.221	1.134	組 7
3	1000	140	110	1588.8	22.7	10.5	352.2	1.4	1.5	1.78	0.206	1.012	組 7
4	1000	140	110	1588.8	27.9	15.0	334.2	1.4	1.5	1.52	0.253	0.863	組 7
5	1000	140	110	1588.8	32.3	14.6	316.5	1.4	1.5	1.50	0.293	0.853	組 7
6	1000	140	110	1588.8	28.6	13.1	301.0	1.4	1.5	1.53	0.260	0.870	組 7
7	1000	140	110	1588.8	29.7	10.6	287.9	1.4	1.5	1.64	0.270	0.927	組 7
8	1000	140	110	1588.8	30.2	6.6	278.7	1.4	1.5	1.99	0.274	1.128	組 7
9	1000	140	110	1588.8	28.8	2.5	273.7	1.4	1.5	2.00	0.262	1.134	組 7
10	1000	140	110	1588.8	25.4	0.0	272.6	1.4	1.5	1.00	0.231	0.567	組 7
11	1000	140	110	1588.8	22.6	0.0	274.8	1.4	1.5	2.00	0.206	1.134	組 7
12	1000	140	110	1588.8	22.0	1.7	280.6	1.4	1.5	2.00	0.200	1.134	組 7
13	1000	140	110	1588.8	23.6	3.4	290.1	1.4	1.5	2.00	0.215	1.134	組 7
14	1000	140	110	1588.8	26.9	3.9	303.3	1.4	1.5	2.00	0.244	1.134	組 7
15	1000	140	110	1588.8	25.5	3.6	319.6	1.4	1.5	2.00	0.232	1.134	組 7
16	1000	140	110	1588.8	19.9	8.9	336.7	1.4	1.5	1.88	0.181	1.065	組 7
17	1000	140	110	1588.8	30.4	12.0	351.7	1.4	1.5	1.68	0.276	0.955	組 7
18	1000	140	110	1588.8	42.6	6.1	364.5	1.4	1.5	2.00	0.387	1.134	組 7
19	1000	140	110	1588.8	36.9	0.0	373.0	1.4	1.5	1.00	0.336	0.567	組 7

以上より、すべてが許容応力度以下であるため、検討は可である。