

吊り天井板の構造

【目的】

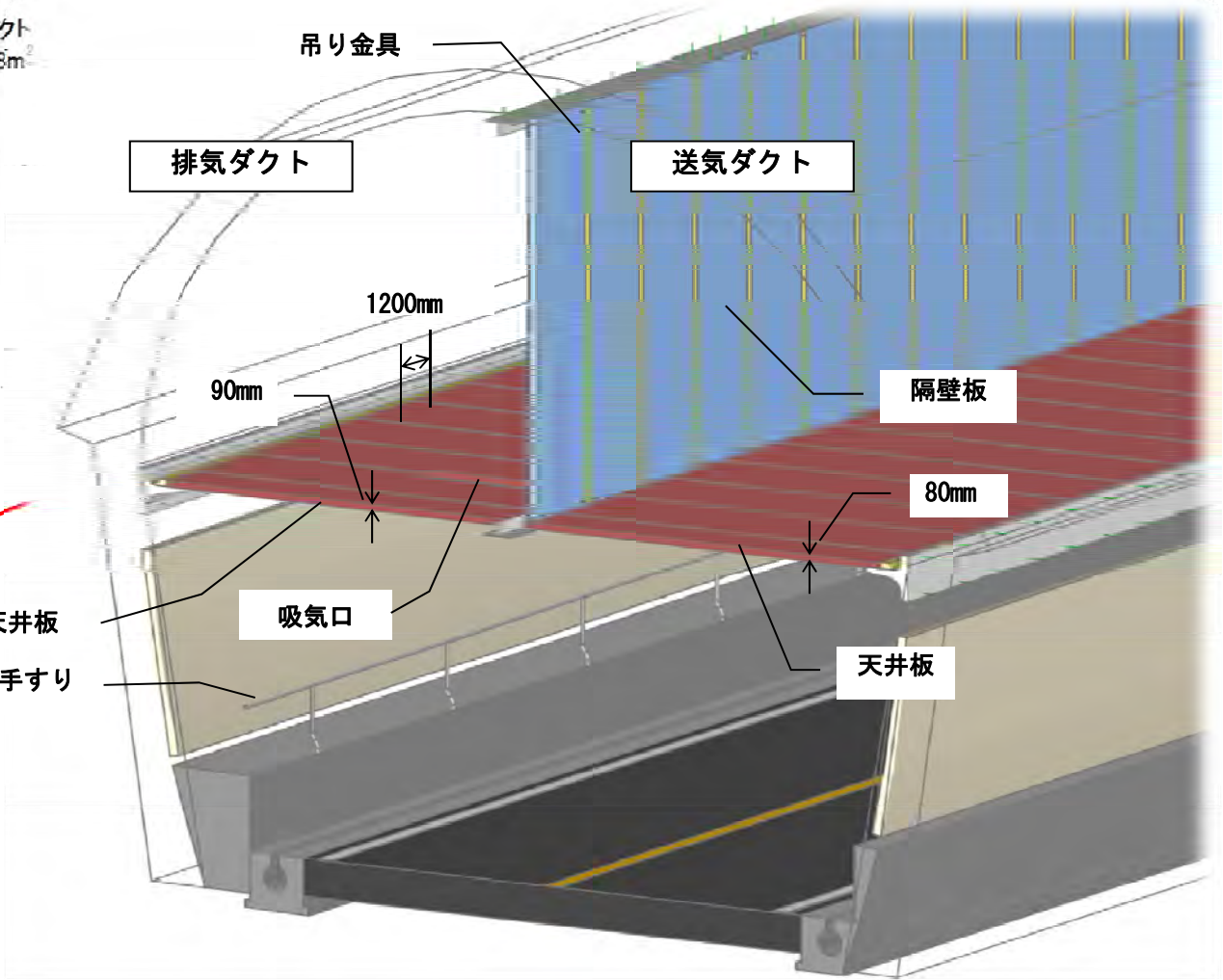
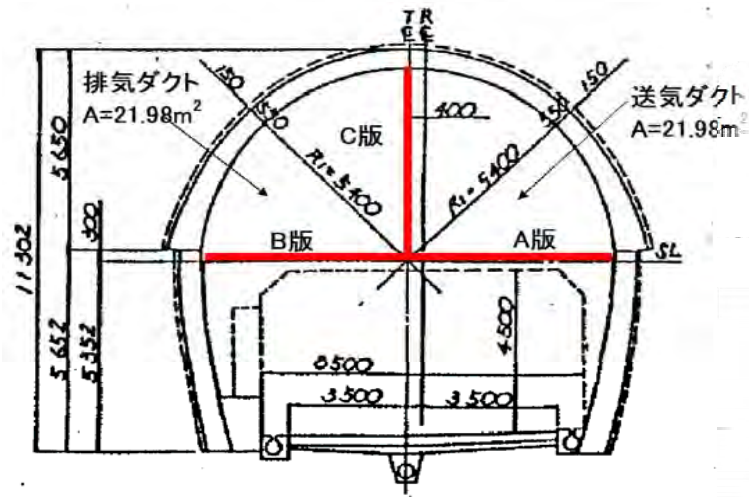
事故の起きた吊り天井板の構造や設計条件等を調査し、
当初設計について把握したもの

平成25年3月27日(水)

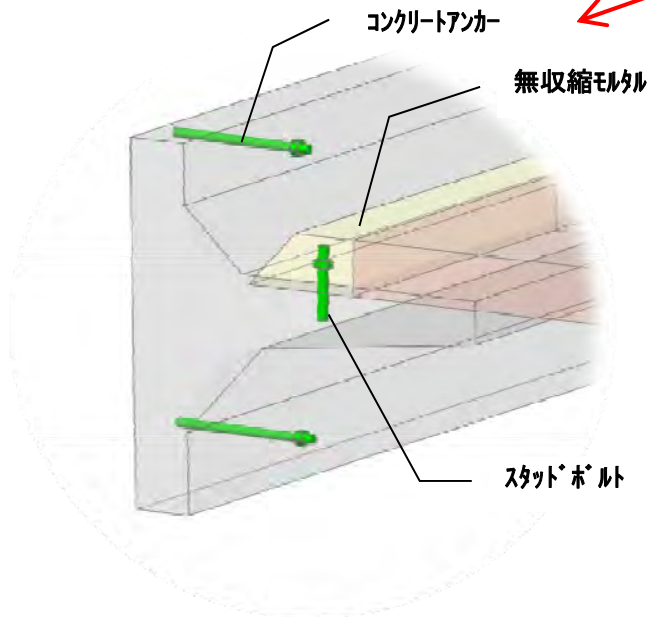
中日本高速道路株式会社

①トンネル各部の名称(1)

L1断面 断面図

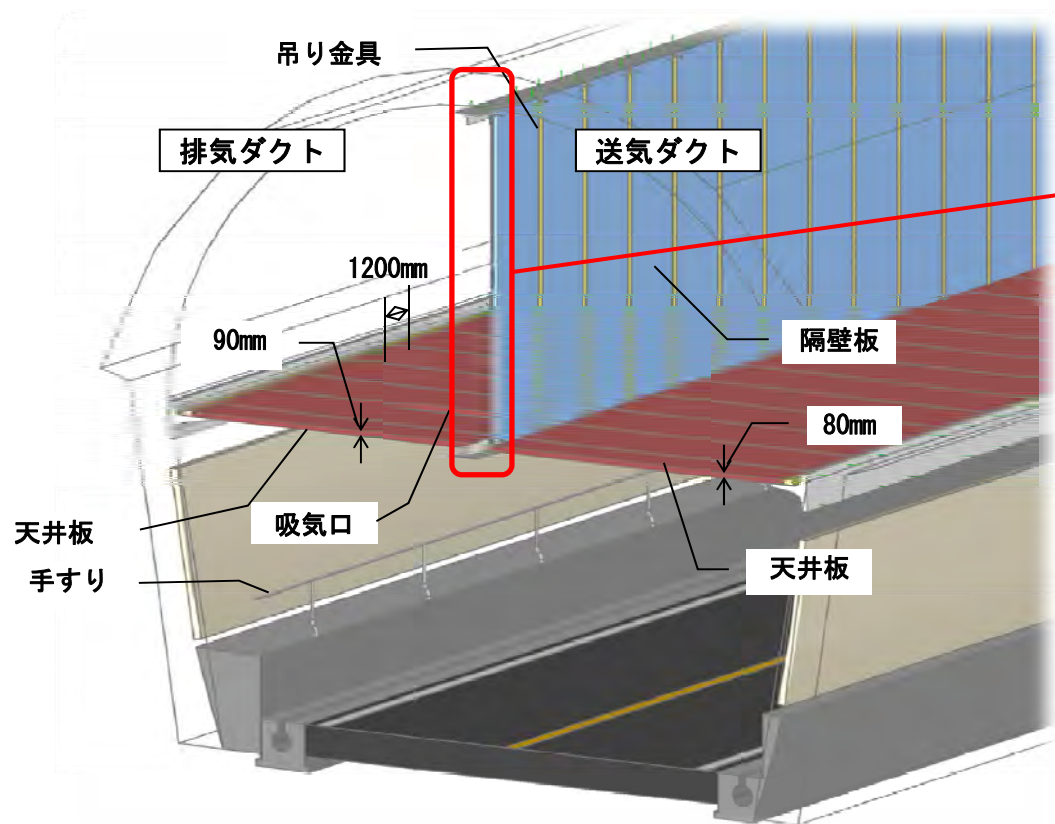


受け台

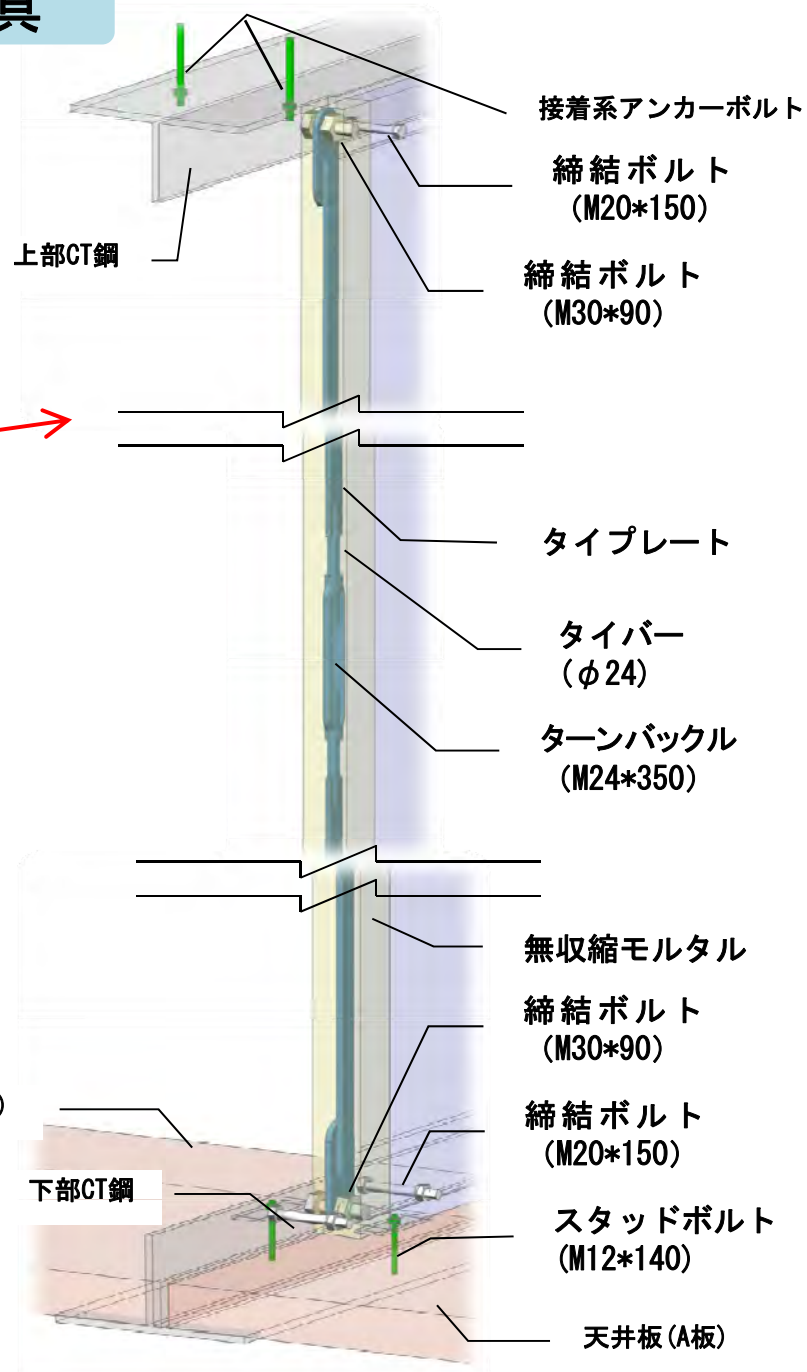


①トンネル各部の名称(2)

吊り金具



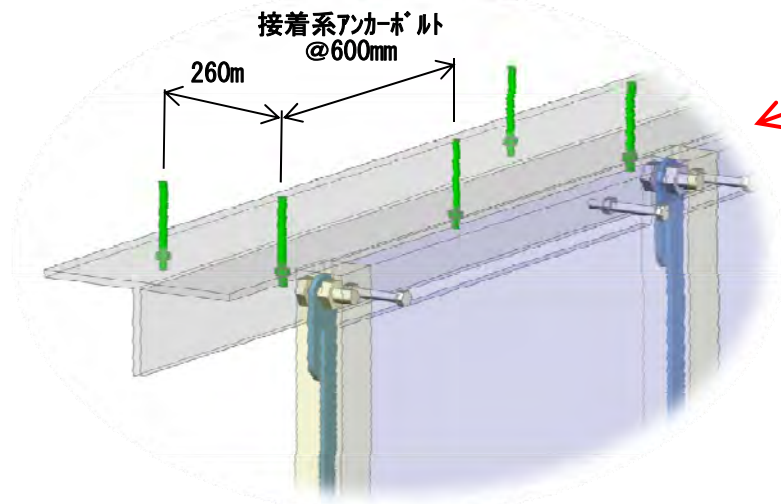
6mのCT鋼に、16本の接着系アンカーボルトで定着している。



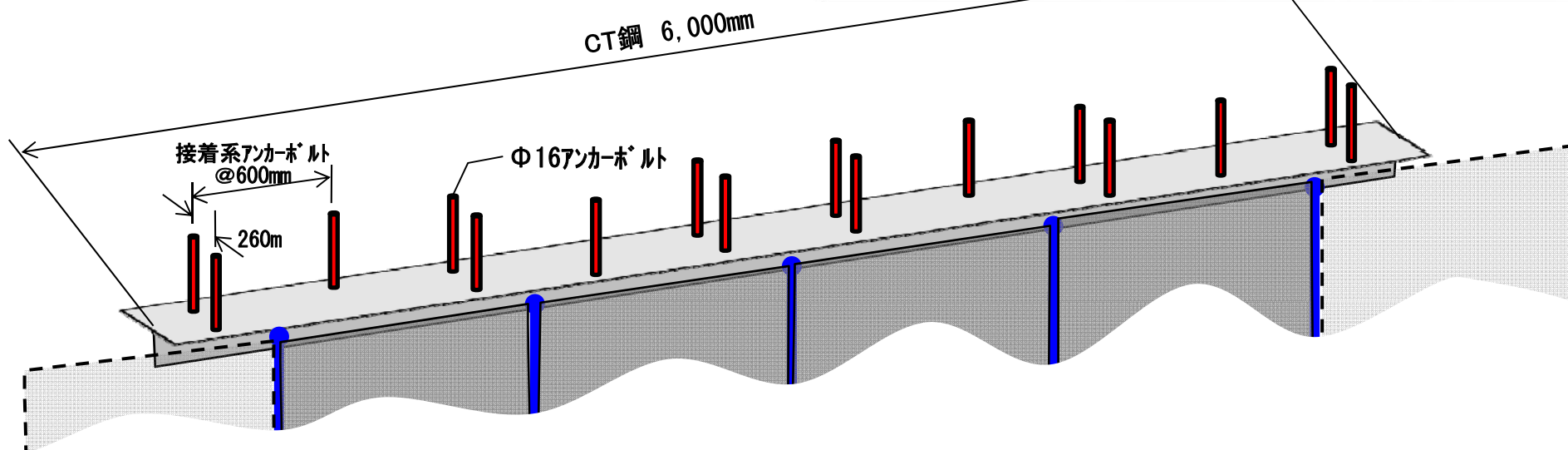
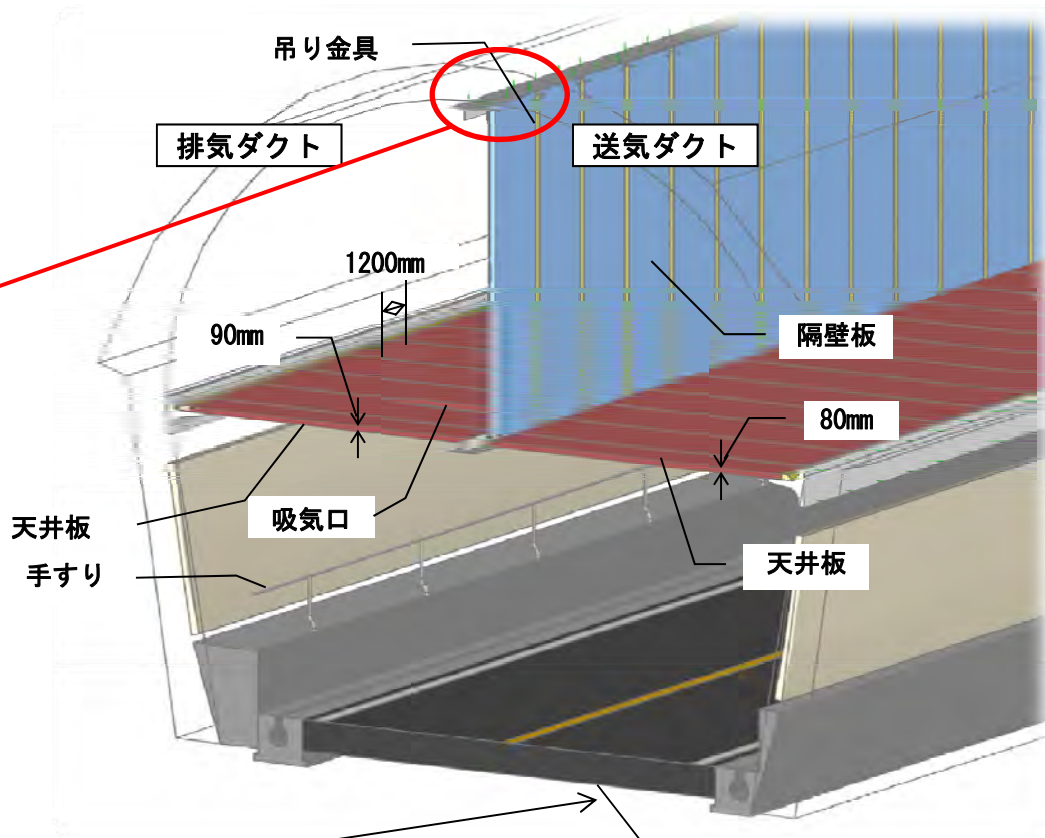
天井板(B板)

①トンネル各部の名称(3)

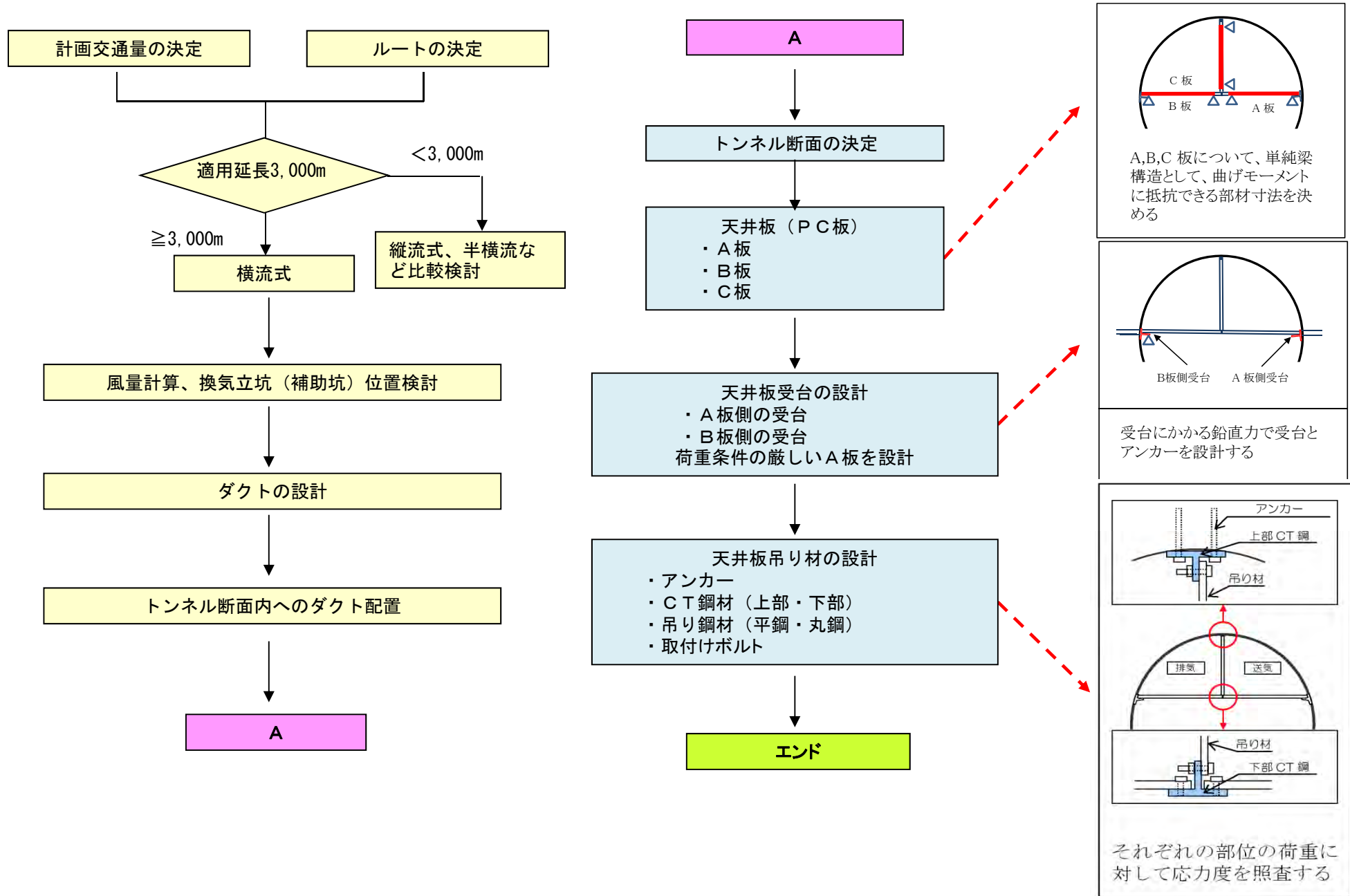
上部吊り金具



6mのCT鋼に、16本の接着系アンカーボルトで定着している。



② 笹子トンネルにおける建設当時の設計フロー



③換気設備の考え方

(a) 横流換気方式の採用

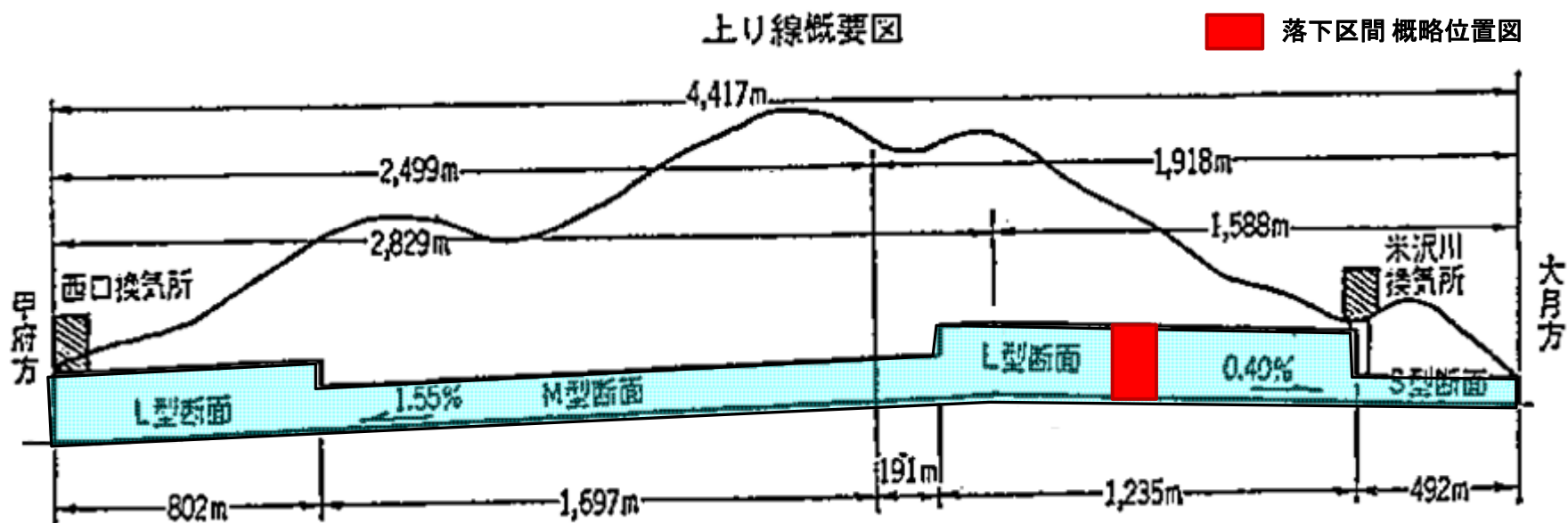
設計要領第三集トンネル換気(昭和45年 日本道路公団)

1-2 換気方式の適用

トンネル延長3000m以上 ⇒ 横流換気方式

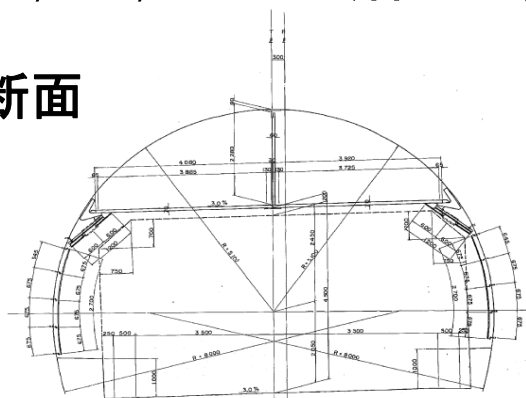
(b) 送排気ダクトの断面決定

- ◇ 地上部換気所の維持管理が必要な立坑方式と比較し、維持管理が比較的容易な水平補助坑方式を採用
- ◇ 恵那山トンネルのように水平補助坑に転用できるような試掘坑は設置せず、トンネル上部断面を拡大することで対応
- ◇ 設計速度(80km/h), 計画交通量(26000台/日), ディーゼル車混入率(17%)等を与条件とし、透過率50%, 車道内最大風速8m/s, ダクト終端風速20m/s等の規定値を満たすものとして、断面積を決定
- ◇ 結果, 送排気流量の大きさによって, S, M, Lの3断面とした

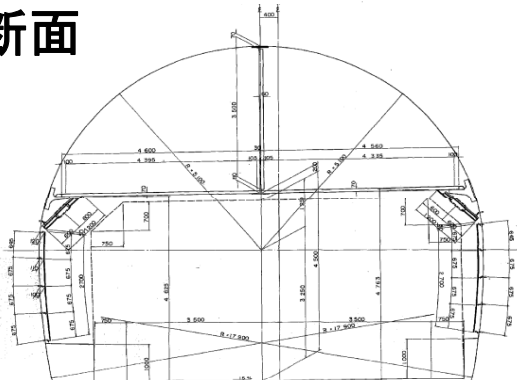


④S, M, Lの3断面の概要図

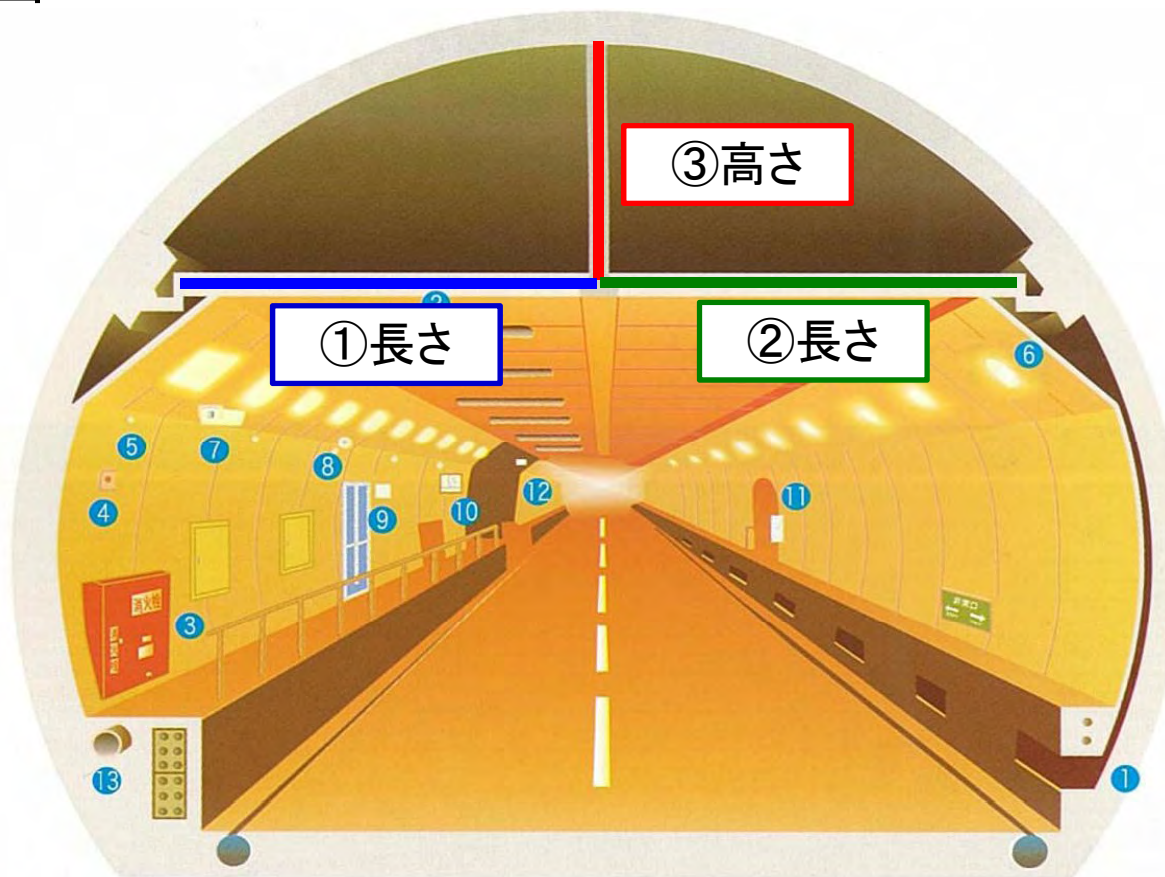
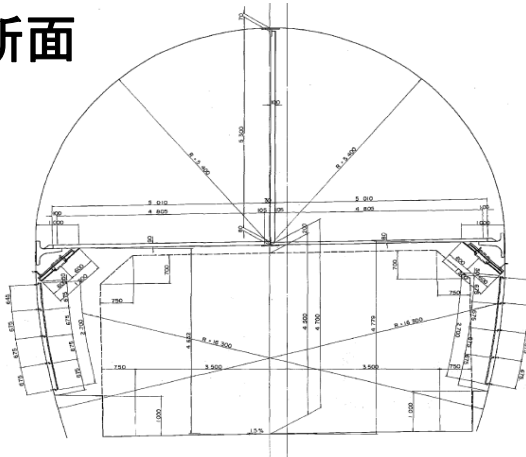
S断面



M断面



L断面



	①長さ	②長さ	③高さ
S断面	4,080mm	3,920mm	2,360mm
M断面	4,600mm	4,560mm	3,570mm
L断面	5,010mm	5,010mm	5,370mm

※左記の標準断面図から寸法を計上したものであり、板の寸法ではない。

⑤天井板設計の確認(構成部材の採用経緯)

◆設計要領第三集トンネル (昭和45年 日本道路公団)

- ・設計荷重・・・死荷重(自重), 活荷重(風荷重, 人荷重)
- ・たわみ・・・スパンの1/500以下
- ・構造寸法・・・厚さは15cm以下
- ・使用材料・・・鋼デッキプレート, 軽量気泡コンクリート板, プレストレストコンクリート板, 鉄筋コンクリート板のなかから, トンネルごとに選定

【天井板】

- ◆ 施工性、機能性、耐久性、維持管理、美観、経済性等を検討し、「PC板」を採用。

【吊材, アンカーボルト】

◆ 設計報告書によると・・・

- ・吊り材・アンカーボルトの採用理由, 比較検討といった資料(記載)は見つかっていない。
- ・CT鋼1本にかかる荷重を、16本のアンカーボルトが負担すると計算されている。
- ・CT鋼に係る作用荷重は、鉛直力と水平力を計上し、16本のアンカーボルトが均等に軸力とせん断力を分担するとして設計されている。

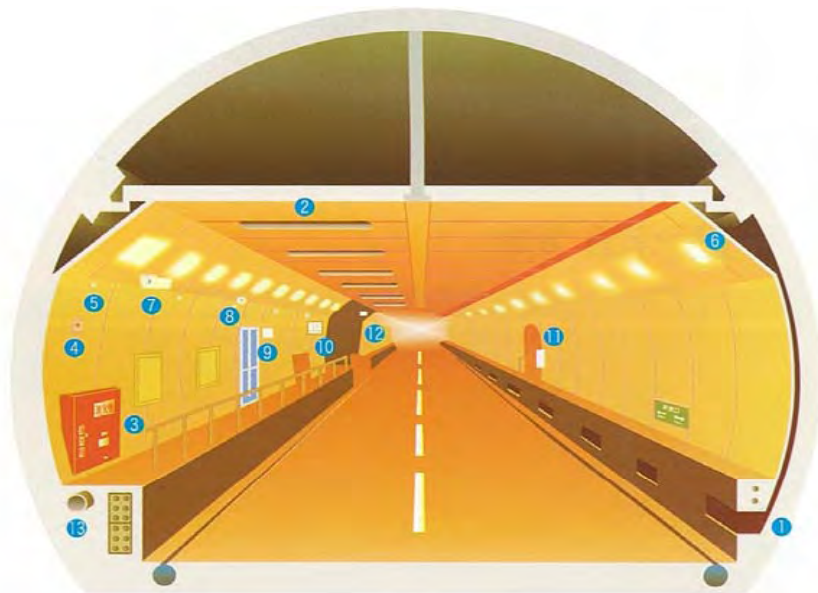
⑥天井板設計の確認

(建設当時の材料定数、SI単位に換算表記)

部位	材料強度		備考
覆工コンクリート	コンクリート圧縮強度	20 N/mm ²	
	せん断強度	0.65 N/mm ²	
アンカーボルト(φ16)	降伏強度	245 N/mm ²	SS400
	付着強度	8 N/mm ²	覆工コンクリートと樹脂の付着
	アンカーボルト径	16 mm	SS400
その他鋼材 (CT鋼、吊材、接合ボルト)	許容引張強度	140 N/mm ²	SS400
	許容せん断強度	80 N/mm ²	SS400
	許容支圧強度	205 N/mm ²	SS400
天井板(プレストレストコンクリート)	コンクリート圧縮強度	50 N/mm ²	
天井板(PCストランド)	引張強度	1730 N/mm ²	SWPC7, Φ10.8
	降伏強度	1470 N/mm ²	
天井板(鉄筋)	許容引張強度	180 N/mm ²	SD295
受台	コンクリート圧縮強度	24 N/mm ²	

⑦天井板設計荷重の考え方

設計要領第三集トンネル(昭和45年)の規定に基づき設定し、再現設計を実施。



荷重の組合わせ

(1)送気側

(イ)自重+送気荷重

(ロ)自重+作業員荷重

(イ),(ロ)のいずれか大きい方について検討

(2)排気側

(イ)自重+送気荷重

(ロ)自重+作業員荷重

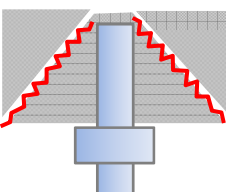
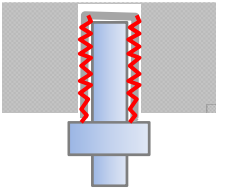
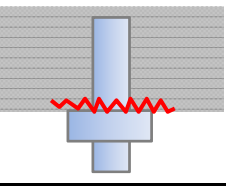
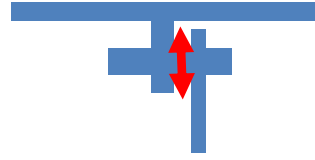
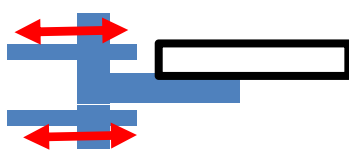
(イ),(ロ)について検討

ただし、(イ)が正の値の場合は、いずれか大きい方について検討

<p>①天井板の自重</p>	
<p>②隔壁板の自重</p>	
<p>③その他荷重 【モルタル、CT鋼他】</p>	
<p>④作業員の荷重</p>	
<p>⑤送気・排気荷重</p>	

⑧まとめ： 設計荷重と耐力

(当初設計を再現して確認し、SI単位に換算表記)

破壊モード		作用荷重	耐力	判定
アンカー一定着部コンクリートのコーン破壊		12.2kN/本	48.8kN/本	※ 安全率4.00
アンカーボルトの引き抜け			52.2kN/本	※ 安全率4.27
アンカーボルトの降伏			38.4kN/本	※ 安全率3.14
吊り金具固定ボルトのせん断		N =39.0kN/本	N =44.8kN/本	耐力を下回っておりOK
側壁受台取付アンカーボルトの引き抜け		T =9.5kN/本	T =27.9kN/本	※ 安全率2.93

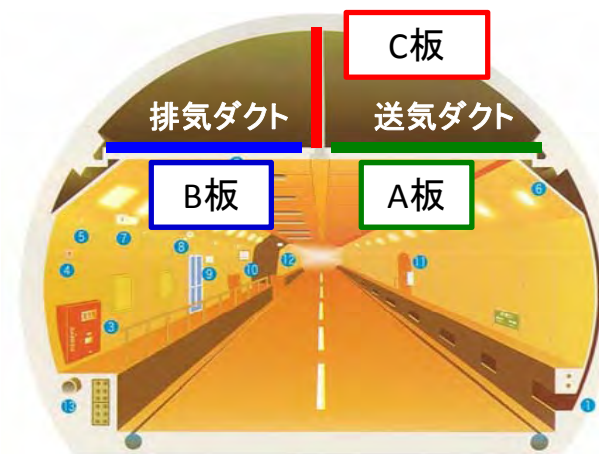
※ 設計当時の安全率の設定の考え方は明らかになっていない

⑨ 設計荷重と耐力の算出根拠

【1】作用荷重(L断面)

※着色部は採用値

荷重種類		A板 (送気側)	B板 (排気側)	C板 (隔壁)
板自重	板厚 (m)	0.080	0.090	0.100
	長さ (m)	5.010	5.010	5.300
	単位体積重量 (kN/m ³)	24.500	24.500	24.500
	単位m当り重量 (kN/m)	9.820	11.047	12.985
	支点鉛直力 (kN)	4.910	5.524	12.985
風圧	風圧 (kN/m ²)	2.160	-2.740	4.900
	作用長さ (m)	5.01	5.01	5.30
	支点鉛直力 (kN)	5.411	-6.864	12.985
作業荷重	作業荷重 (kN/m ²)	1.00	1.00	—
	作用長さ (m)	5.01	5.01	—
	支点鉛直力 (kN)	2.505	2.505	—
受台反力 合計	自重+風圧 (負圧除く)	10.321	5.524	
	自重+作業荷重	7.415	8.029	
吊り材等重量 (1m当り)				0.8333



【2】アンカー作用荷重

①隔壁1m当たりの作用荷重

A板反力	4.91kN/m	}	<u>31.34kN/m</u>
B板反力	5.52kN/m		
C板自重	12.99kN/m		
A板風荷重	5.41kN/m		
B板作業荷重	2.51kN/m		

②隔壁1枚当たりの作用荷重 $1.200 \times 31.34 + 1.00 \div 39.00\text{kN/枚}$

(隔壁の諸元 奥行き1.200m 吊り金具自重 1.00kN/本)

③アンカー1本当たりの作用荷重 $5 \times 39.00 / 16 \div 12.20\text{kN/本}$

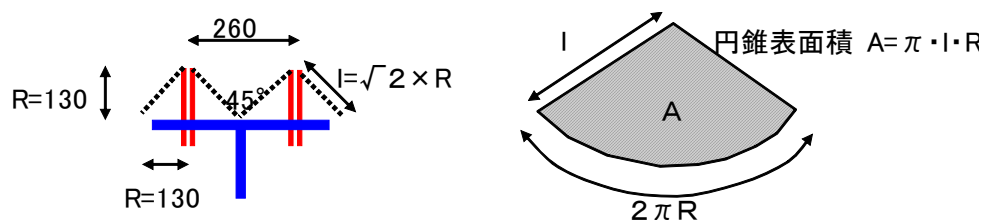
(CT鋼1本=6m CT鋼1本当たり隔壁5枚、アンカー16本)

⑨ 設計荷重と耐力の算出根拠

【3】アンカーの耐力

コンクリートのコーン状破壊、ボルトの破断、樹脂とコンクリート間の付着破壊に対する検討

(イ) コンクリートのコーン破壊



ケミカルアンカーの削孔深さは、130mm(φ16)とする。

円すい面積

$$A = \pi \cdot l \cdot R$$

$$= 3.14 \times (\sqrt{2} \times 130) \times 130 = 75,085\text{mm}^2 \quad \text{---} \quad \phi 16$$

コンクリート圧縮強度 $\sigma_{ck} = 20\text{N/mm}^2$

せん断許容応力度 $\tau_{al} = 0.65\text{N/mm}^2$ とする。

許容せん断力

$$R = 75,085\text{mm}^2 \times \tau_{al} = \underline{48.81\text{kN/本}}$$

(ロ) ボルトの降伏

ボルト1本当りの強度

SS400B+Dアンカー強度(400N/mm²) による。

名称	破断荷重 (kN/本)	降伏荷重 (kN/本)
M16	62.8	<u>38.465</u>

(ハ) 樹脂とコンクリート間の付着破壊

付着強度のチェック

レジン付着強度 8.0N/mm² (3日)

$$P = (\pi \times \phi) \times 1 \times 8.0\text{N/mm}^2$$

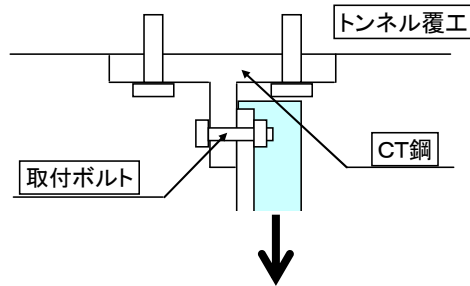
$$= 3.14 \times 16 \times 130 \times 8.0 = \underline{52.276\text{kN/本}}$$

⑨ 設計荷重と耐力の算出根拠

【4】吊り金具固定ボルト、側壁受け台アンカーボルト

①吊り金具固定ボルト

イ)作用荷重



吊り金具固定ボルトの作用荷重
 = 隔壁1枚当たりの作用荷重
 = $1.200 \times 31.34 + 1.00 \approx 39.0$ kN/本

ロ)耐力

使用ボルト $d = 30$ mm M30×90

断面積 $A = 561$ mm²

せん断応力度

$$\tau = \frac{P}{A_s} = \frac{39000}{561} = 70.0 \text{ N/mm}^2 < 80 \text{ N/mm}^2$$

せん断耐力

$$561 \times 80 = 44.88 \text{ kN}$$

②側壁受け台アンカーボルト

イ)作用荷重

- ・反力 $15.800 \text{ kN}/(1.2\text{m})$
- ・作用長 L_0 480 mm (350+130)
- ・ボルト鉛直間隔 H 400 mm
- ・ボルト引抜力 $T = P \times L_0 / H = 15.800 \times 0.480 / 0.400$
 $= 18.960 \text{ kN}/(1.2\text{m})$
- ・ボルト本数 N 2 本/(1.2m) 上面引張側
- ・ボルト本数 ΣN 3 本/(1.2m)
- ・ボルト1本当たり引抜力 $= 9.480 \text{ kN}/本$

ロ)耐力

コンクリートのコーン状破壊により決まる許容引張力(全体コーン破壊)

アンカー埋込み長 $l_a = 90.0 \text{ mm}$

アンカー軸部直径 $d = 16.0 \text{ mm}$

有効埋込み深さ $l_e = 90.0 \text{ mm}$

有効水平投影面積 $A_c = \frac{\pi \cdot l_e \cdot d}{l_e} = 25446.9 \text{ mm}^2$

コンクリート圧縮強度 $\sigma_{ck} = 20.0 \text{ N/mm}^2$

コンクリート割裂強度 $\sigma_{tk} = \sigma_{ck} / (10 \cdot \beta) = 1.10 \text{ N/mm}^2$

($\beta = 1.75$ 劣化・ひび割れの指数)

引張耐力 $T_{us} = A_c \cdot \sigma_{tk} = 27.99 \text{ kN}$