

CT鋼を固定する16本のアンカーボルト の配置、及び風荷重の影響解析

【目的】

アンカーボルトの配置の影響を死荷重時
及び風荷重時の別に解析したもの

平成25年 5月28日 (火)

目次

検討方針

- 1 目的および検討ケース…………… P.2
- 2 構造のモデル化…………… P.3
- 3 荷重の載荷方法…………… P.14

I ボルト配置の影響

- I-1 目的および検討ケース…………… P.16
- I-2 解析結果…………… P.18
- I-3 まとめ…………… P.26

II 風荷重の影響

- II-1 目的および検討ケース…………… P.28
- II-2 解析結果…………… P.29
- II-3 まとめ…………… P.37

III 均等配置であった場合

- III-1 目的および検討ケース…………… P.39
- III-2 解析結果…………… P.40
- III-3 まとめ…………… P.46

検討方針

1 目的および検討ケース

ケース No	1-1-1	1-1-2	1-1-3	1-2	1-3	2-1-1	2-1-2	2-1-3	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	
目的	ボルト配置の影響 (死荷重時)					ボルト配置の影響 (風荷重時)					ボルトが均等配置であった場合						
ボルト本数	16本					16本						20本					
作用荷重	死荷重					死荷重+風荷重等					死荷重			死荷重+風荷重等			
ダクト断面	L断面	L断面	L断面	M断面	S断面	L断面	L断面	L断面	M断面	S断面	L断面	M断面	S断面	L断面	M断面	S断面	
接着系アンカーのばね値※	K1	K2	K3	K1		K2	K3	K1									

※接着系アンカーのばね定数(K1~K3)の具体的な値を以下のように設定した。

K1=1.00×10⁸[N/mm] 数値計算上、ボルト反力を大きく評価することを目的に値を設定

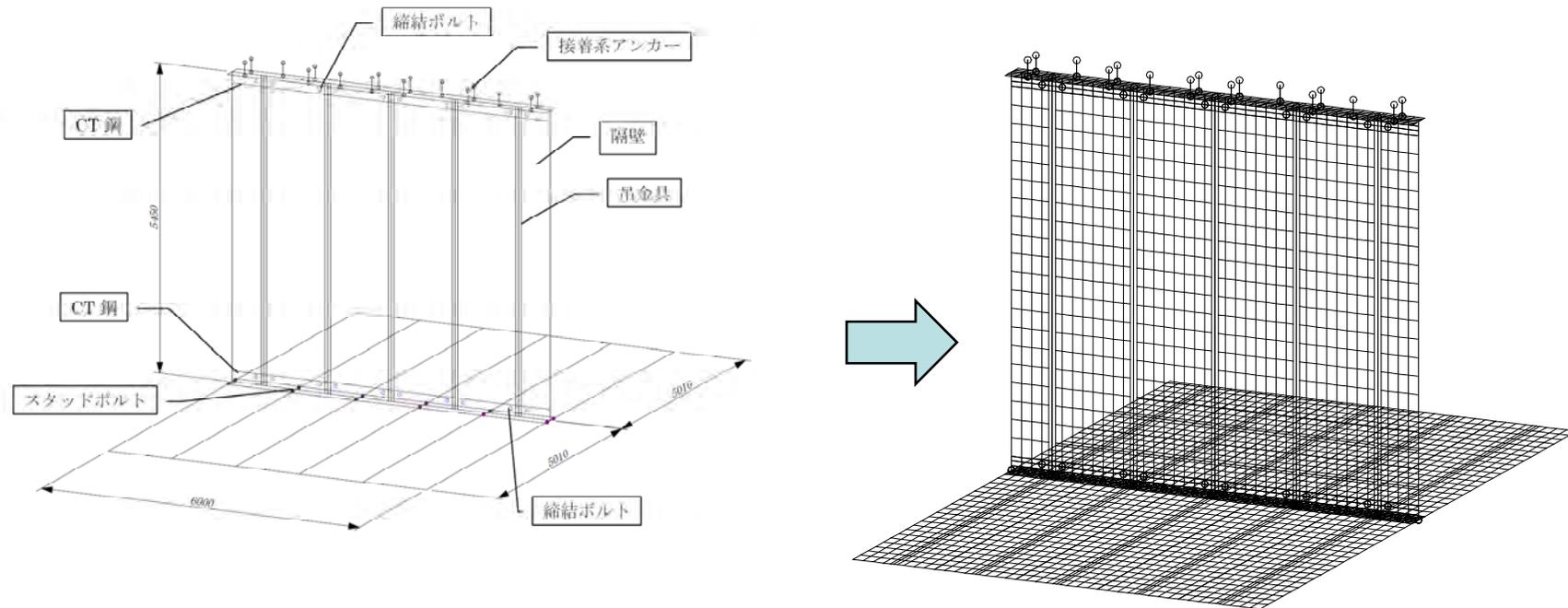
K2=2.41×10⁵[N/mm] 接着系アンカーに用いられているボルト鋼材の弾性係数のみに着目して設定

K3=1.42×10⁴[N/mm] 接着系アンカーの引抜き抵抗力試験結果から設定

【注意】本解析は、アンカーボルトの反力分布を相対的に比較するために、構造および荷重分布(風荷重の与え方など)をモデル化して行ったものであり、数値の絶対値を議論するものではない

2 構造のモデル化

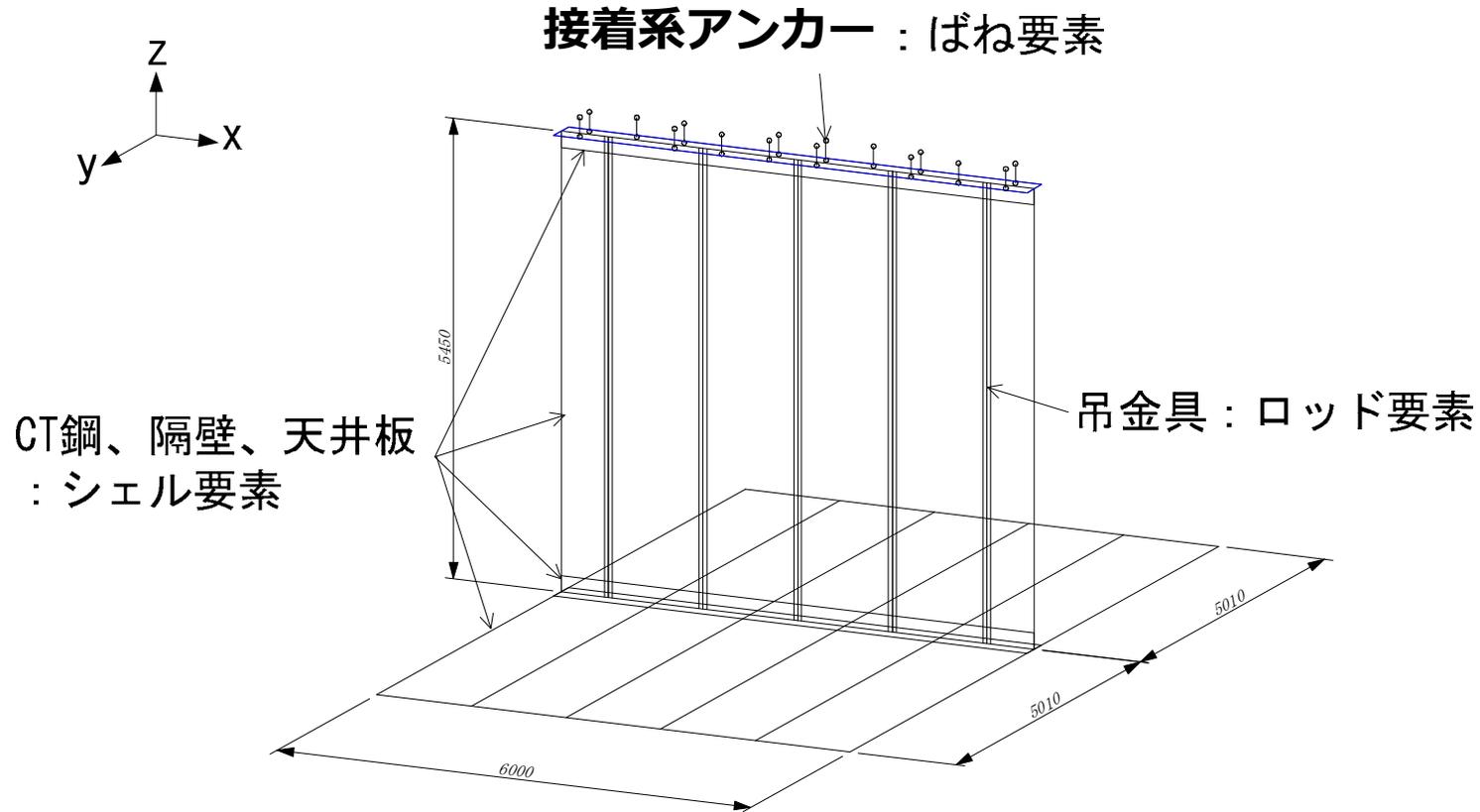
2-1) 解析モデルは、天井板の実構造に基づく



2-2) 解析方法は3次元弾性FEM解析である。

※CT鋼、隔壁、天井板、吊金具、締結ボルト、スタッドボルト、接着系アンカーを3次元モデルで再現し、弾性解析により、接着系アンカーの反力などを算出した。

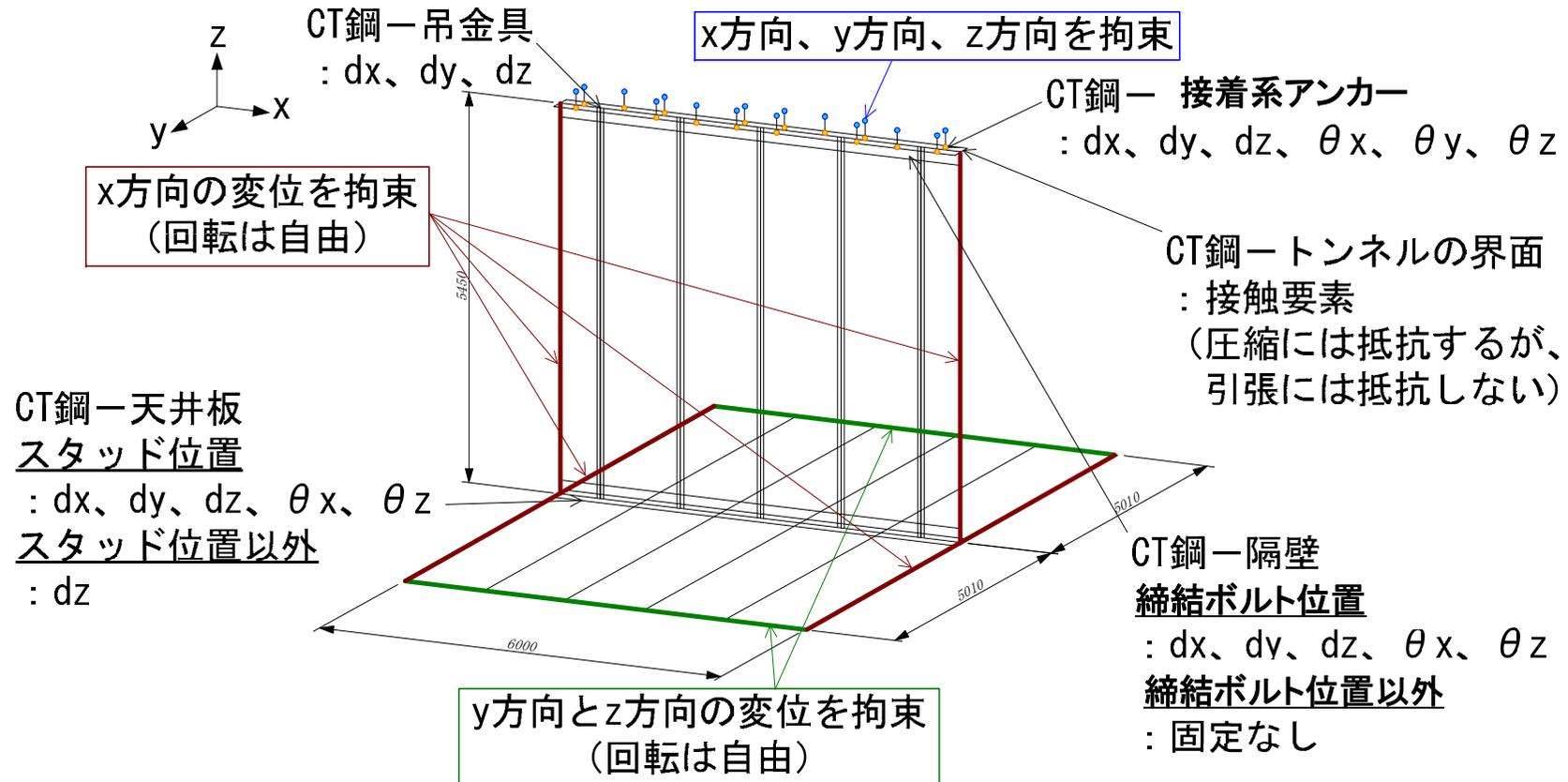
2-3) 使用要素



部材	要素タイプ
CT鋼	シェル要素
天井板	シェル要素
隔壁	シェル要素
吊金具	ロッド要素
締結ボルト	剛体要素
接着系アンカー	剛体要素+ばね要素

部材	要素タイプ	軸力	曲げモーメント
吊金具	ロッド要素	伝達する	伝達しない
接着系アンカー	剛体要素	伝達する	伝達する
	ばね要素	伝達する	伝達しない

2-4) 境界条件



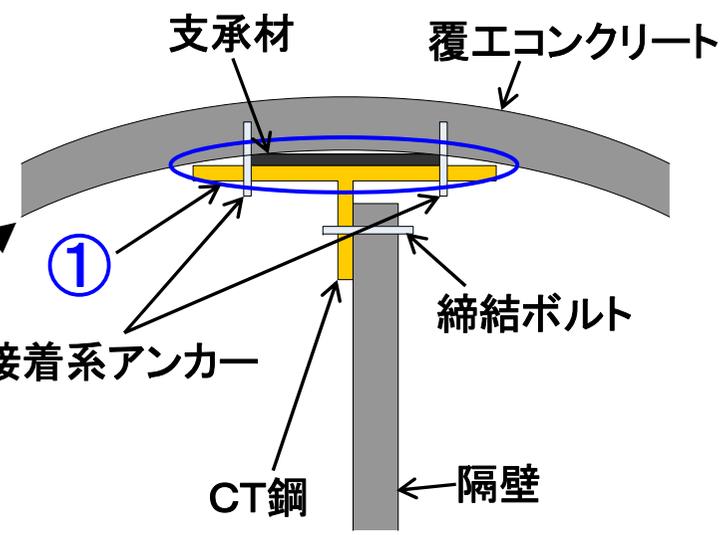
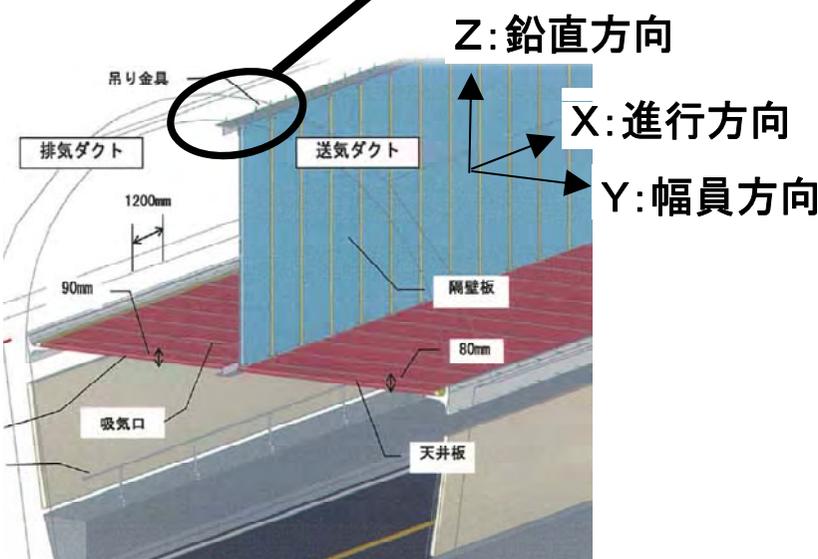
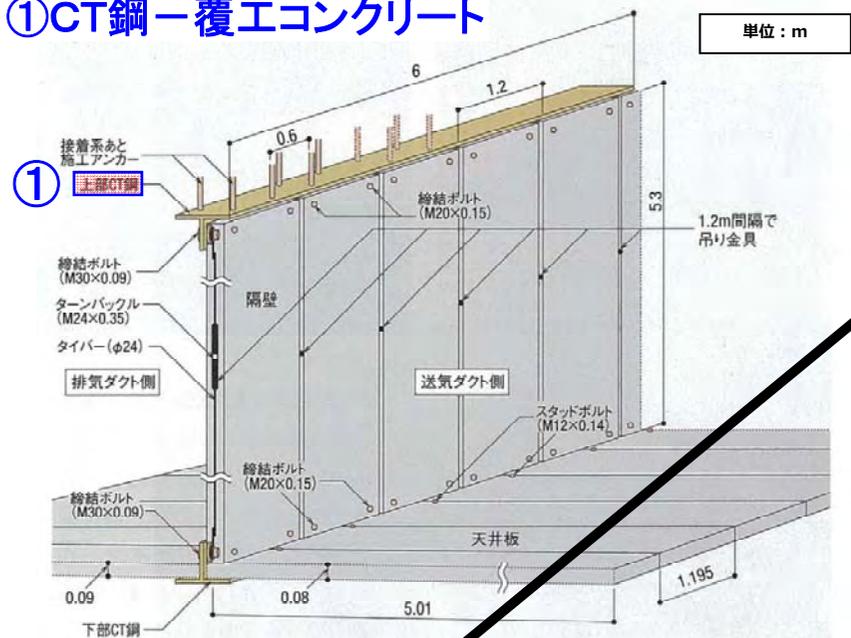
部材の組合せ	dx	dy	dz	θ_x	θ_y	θ_z
①CT鋼—接着系アンカー	固定	固定	固定	固定	固定	固定
②CT鋼—吊金具	固定	固定	固定	可動	可動	可動
③CT鋼—隔壁(締結ボルト位置)	固定	固定	固定	固定	可動	固定
④CT鋼—隔壁(締結ボルト位置以外)	可動	可動	可動	可動	可動	可動
⑤CT鋼—天井板(スタッド位置)	固定	固定	固定	固定	固定	可動
⑥CT鋼—天井板(スタッド位置以外)	可動	可動	固定	可動	可動	可動

変位(d)が固定:
軸力を伝達

回転(θ)が固定:
曲げモーメントを伝達

【境界条件】CT鋼-覆エコンクリート

①CT鋼-覆エコンクリート

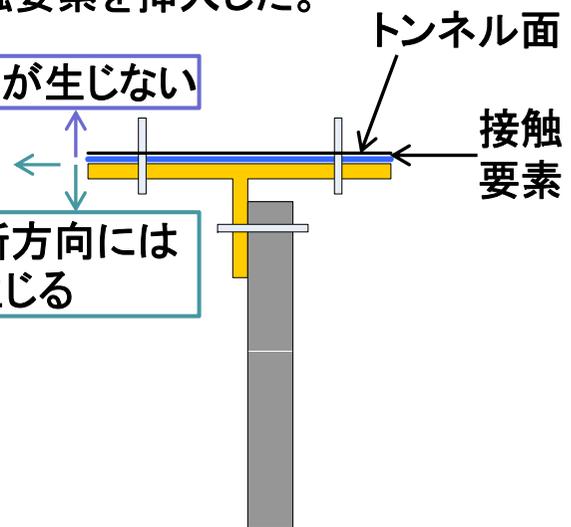


CT鋼と覆エコンクリートはパッキンを介して接しており、CT鋼が上向きに変位することはない。

CT鋼と覆エコンクリートの間に圧縮には抵抗するが、引張とせん断には抵抗しない
接触要素を挿入した。

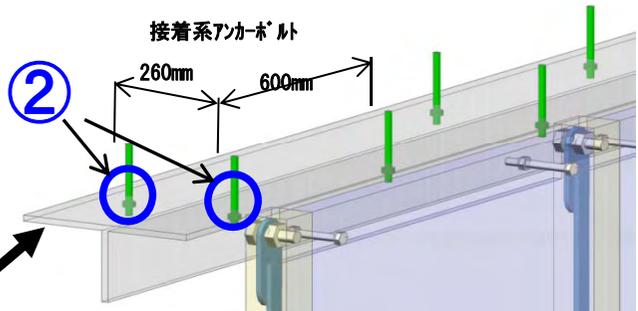
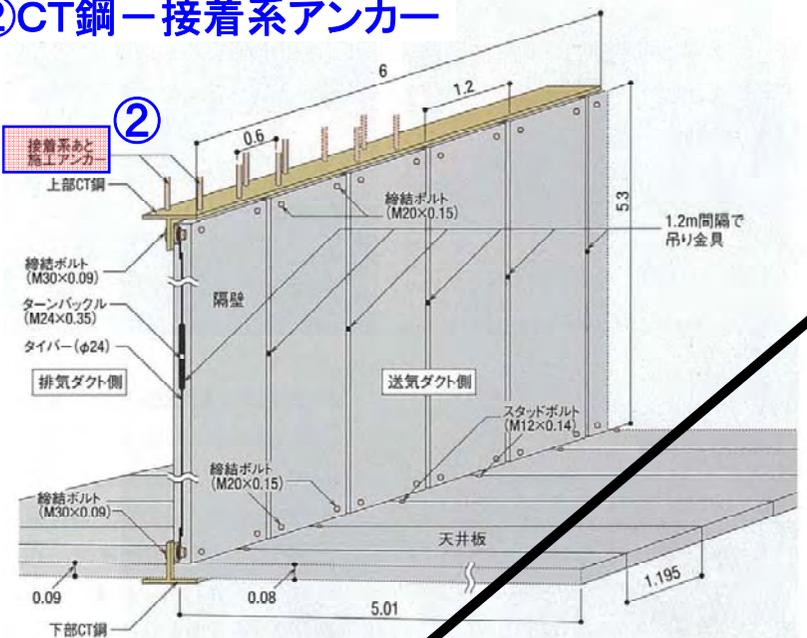
上向きには変位が生じない

下向きとせん断方向には変位が生じる



【境界条件】CT鋼－接着系アンカー

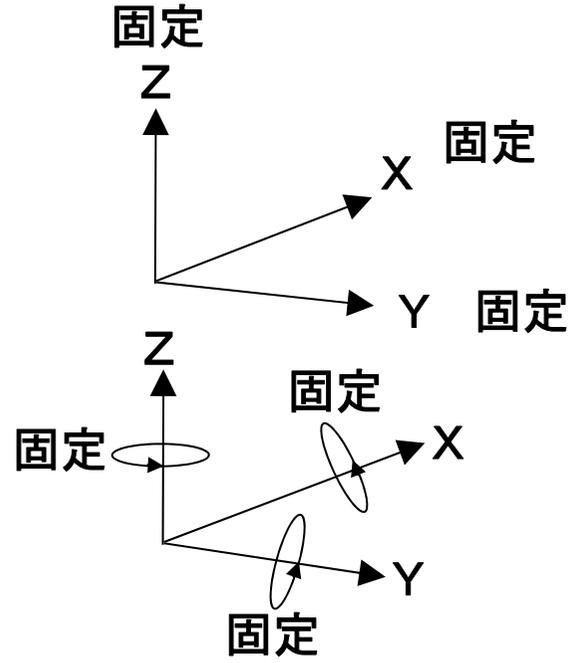
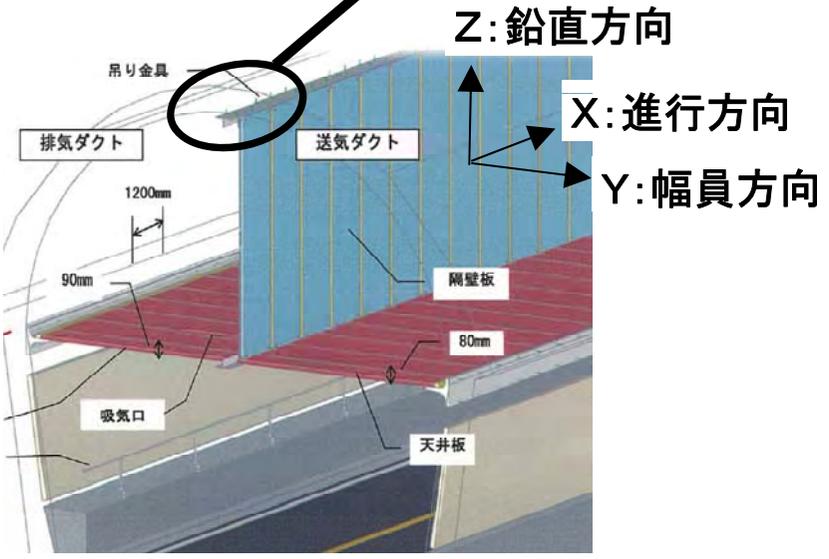
②CT鋼－接着系アンカー



CT鋼と接着系アンカーの接点には
変位差や回転が生じない

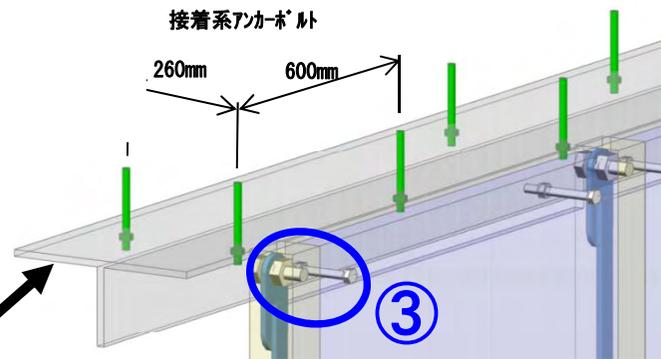
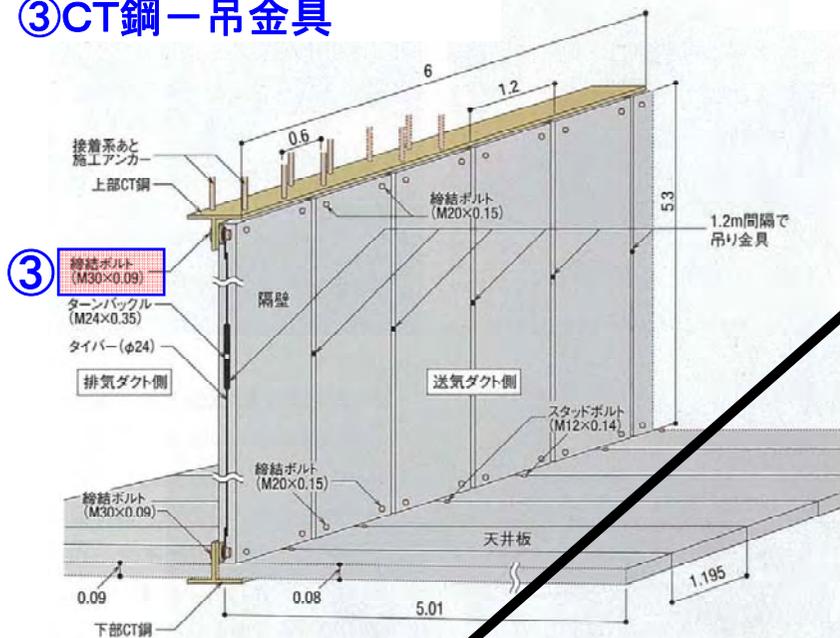


全方向の相対変位*と相対角度*を拘束
*相対変位および相対角度とは、CT鋼と接着系アンカーの変位差、およびCT鋼と接着系アンカーのなす角を指す。



【境界条件】CT鋼—吊金具

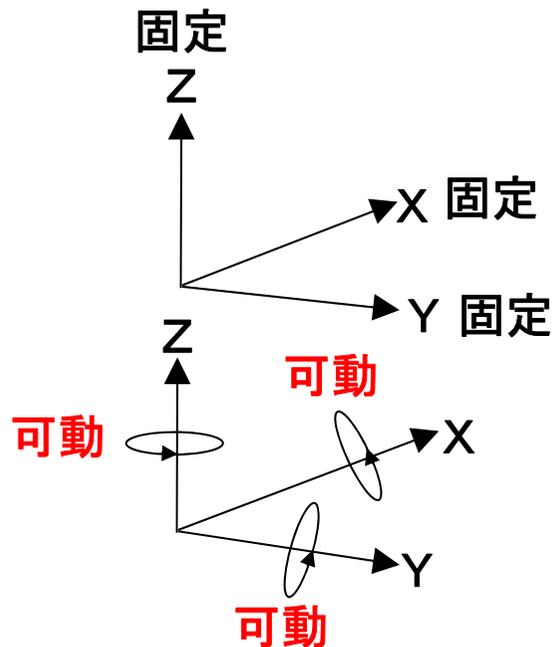
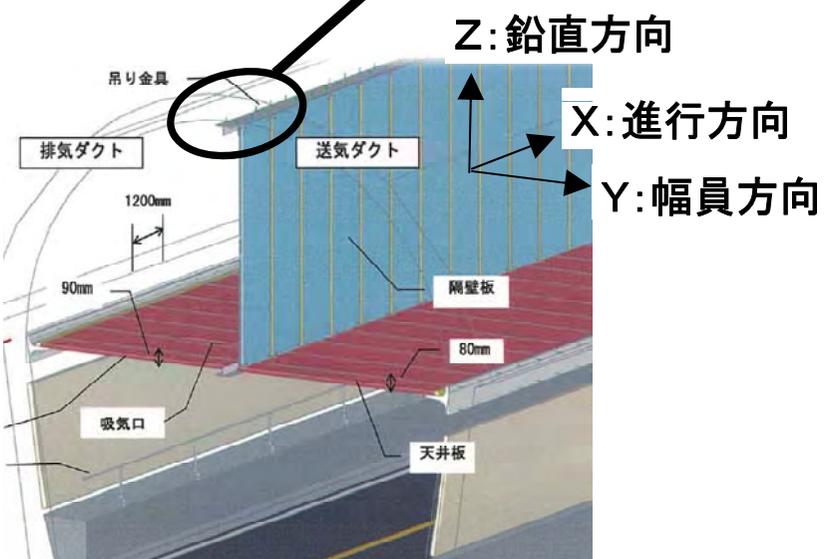
③CT鋼—吊金具



CT鋼と吊金具の接合に使用されているターンバックルは、各方向に回転するが、CT鋼ウェブから吊金具が離れることはない

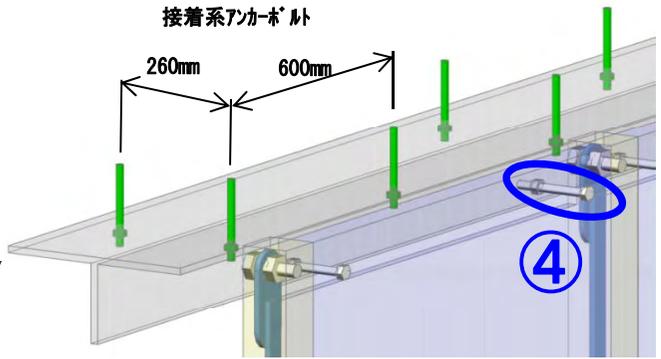
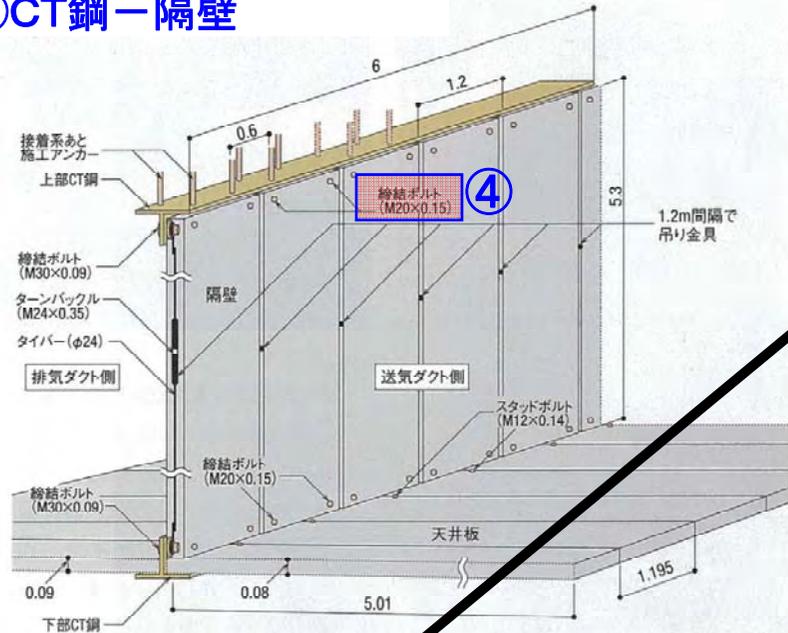


全方向の相対変位※を拘束、相対角度※を解放
 ※相対変位および相対角度とは、CT鋼と吊金具の変位差、およびCT鋼と吊金具のなす角を指す。



【境界条件】CT鋼—隔壁（締結ボルト位置）

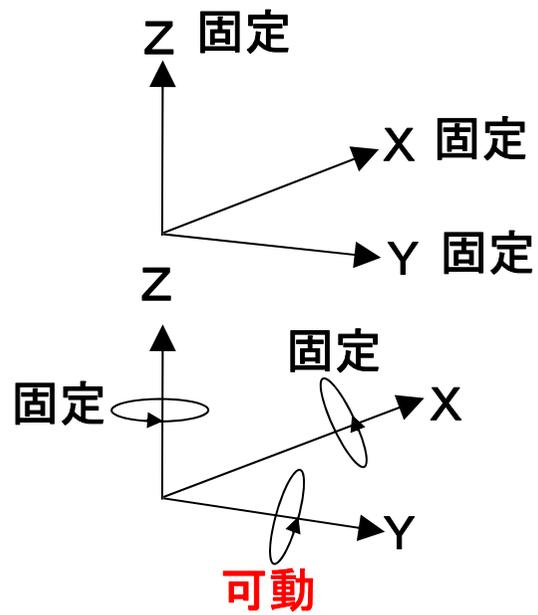
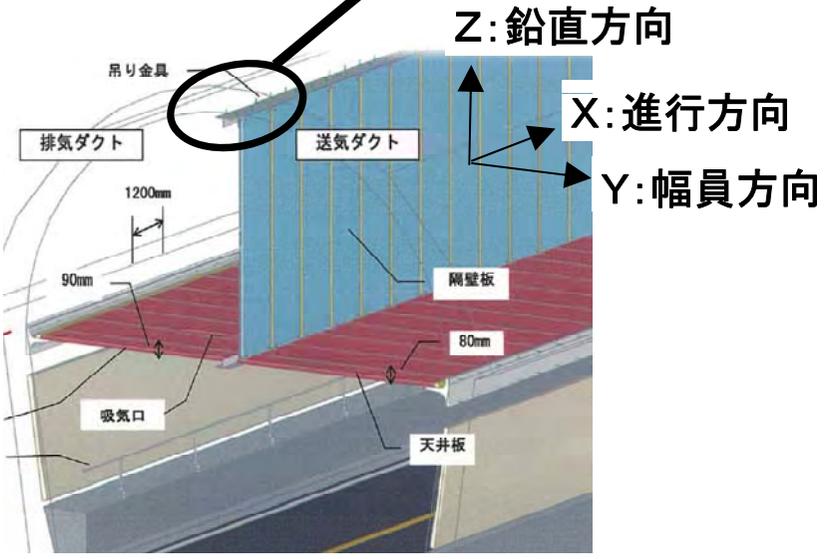
④CT鋼—隔壁



隔壁とCT鋼はボルト固定されており、変位差は生じない。ボルト軸方向の回転は許すが、その他の方向の回転は生じない

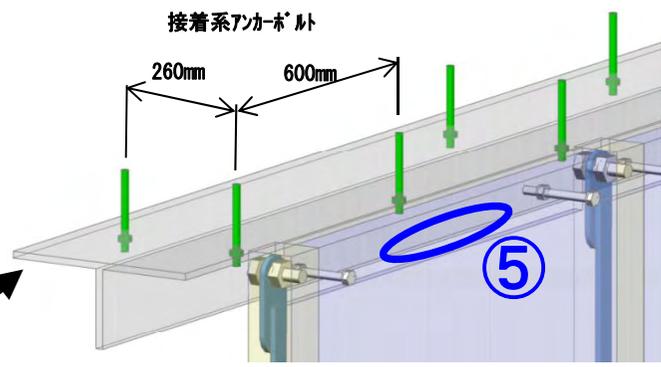
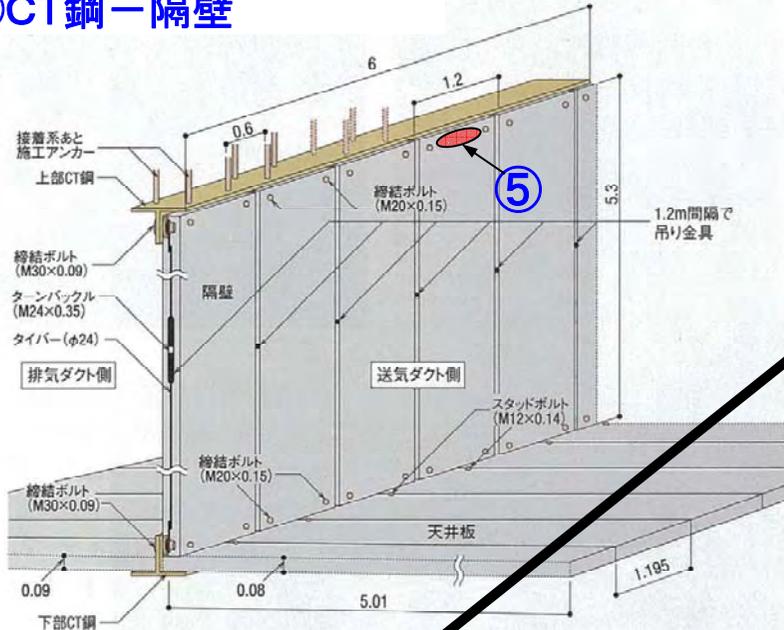


全方向の相対変位※を拘束、Y方向の相対角度※を解放
 ※相対変位および相対角度とは、CT鋼と隔壁の変位差、およびCT鋼と隔壁のなす角を指す。



【境界条件】CT鋼－隔壁（締結ボルト位置以外）

⑤CT鋼－隔壁

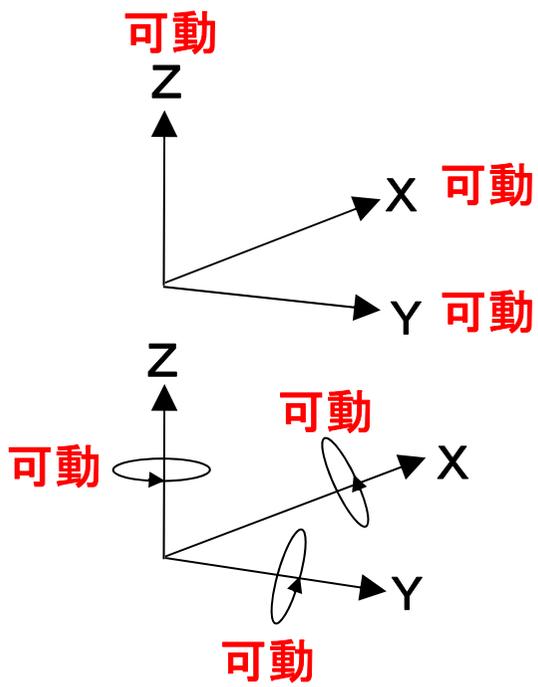
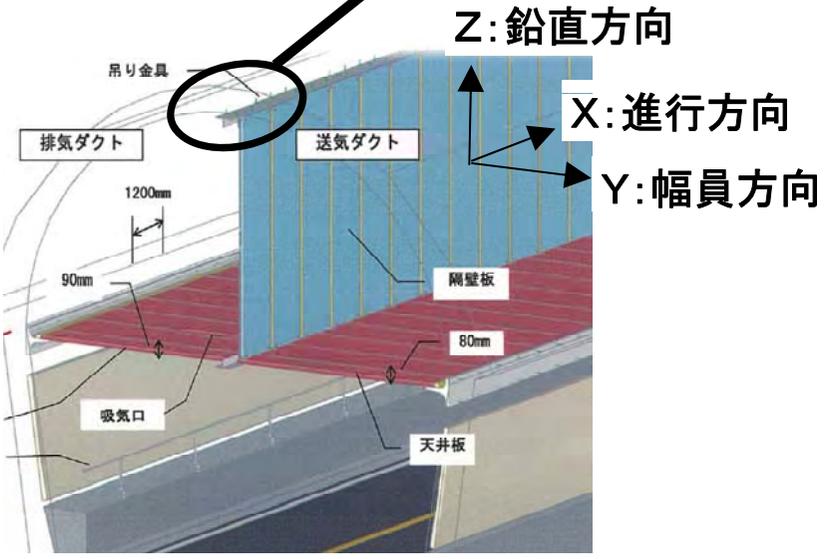


取付ボルト位置以外の場所ではCT鋼と隔壁が接合されていない



全方向の相対変位※と相対角度※を解放

※相対変位および相対角度とは、CT鋼と隔壁の変位差、およびCT鋼と隔壁のなす角を指す。



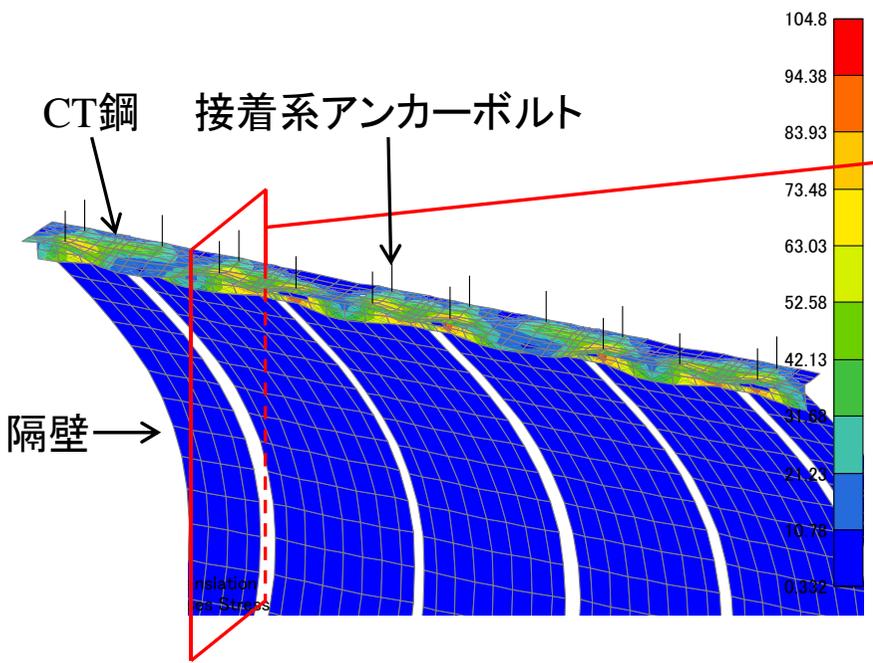
【境界条件】CT鋼と隔壁の変形

実構造

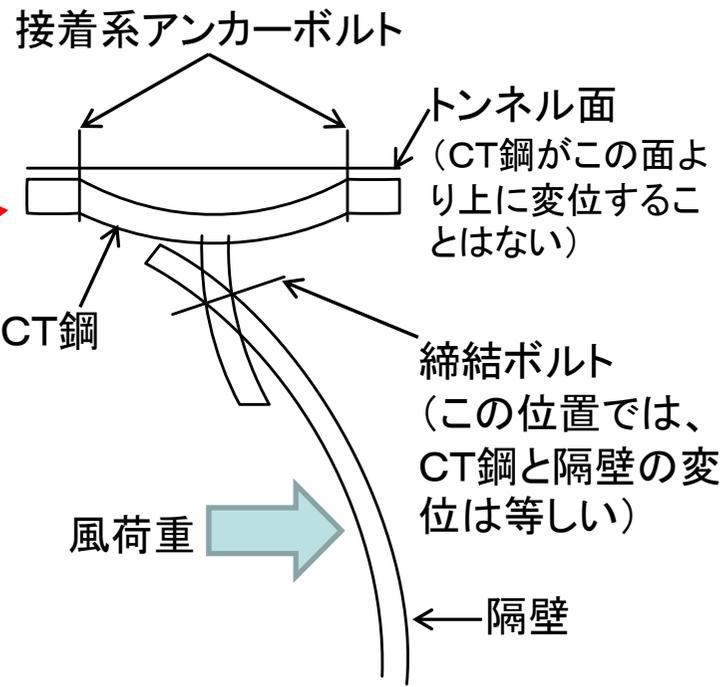
CT鋼のウェブと隔壁は、締結ボルト位置で接合されている

解析モデル

CT鋼のウェブと隔壁の締結ボルト位置の変位が等しくなるように設定



変形図(鳥瞰図)

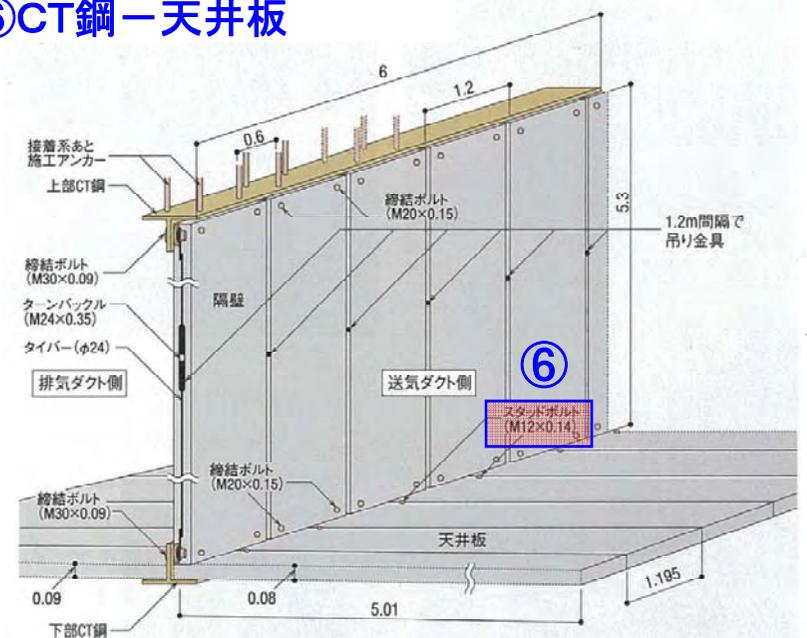


変形イメージ図(断面図)

※変形状況が分かりやすいように、変形を強調している。

【境界条件】CT鋼-天井板（スタッド位置）

⑥CT鋼-天井板

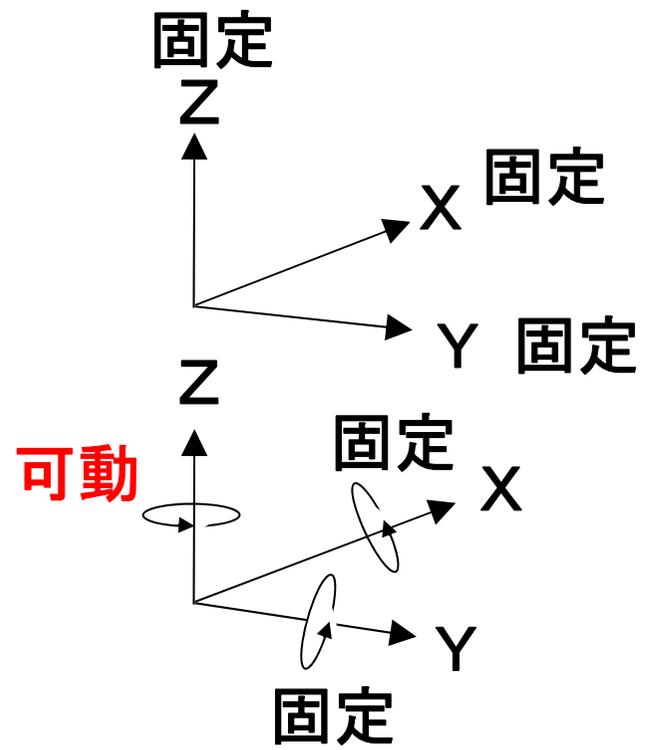
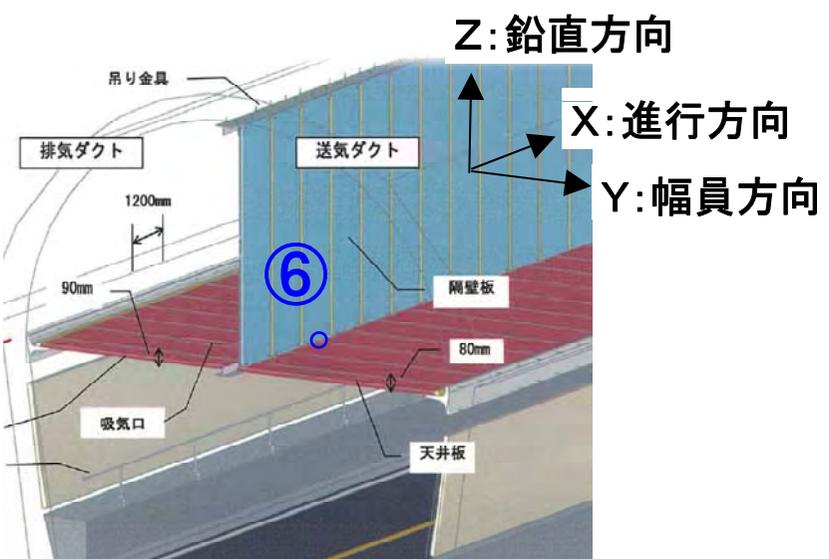


スタッドの位置では、天井板が下部CT鋼フランジから離れることはない。
 スタッドの軸方向の回転は許すが、その他の方向の回転は生じない



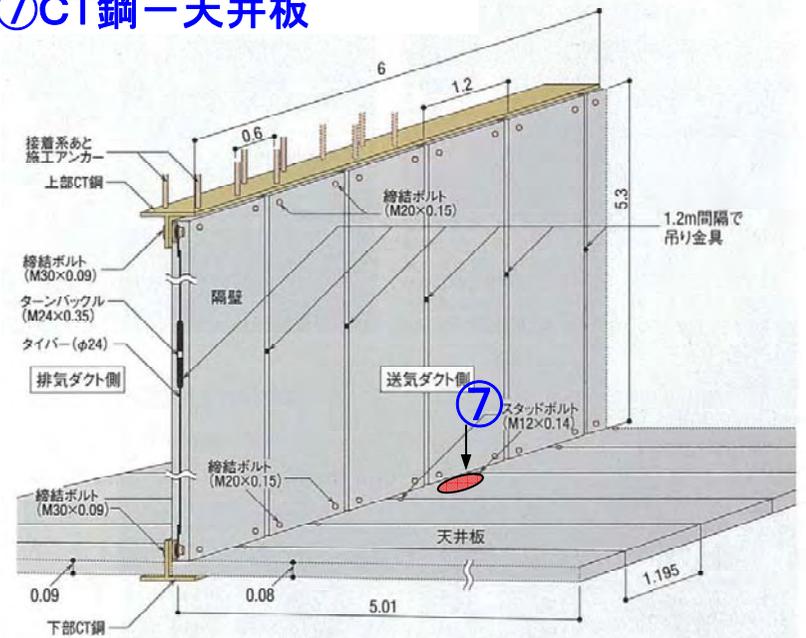
全方向の相対変位*を拘束、Z方向の相対角度*を解放

*相対変位および相対角度とは、CT鋼と天井板の変位差、およびCT鋼と天井板のなす角を指す。



【境界条件】CT鋼-天井板（スタッド位置以外）

⑦CT鋼-天井板

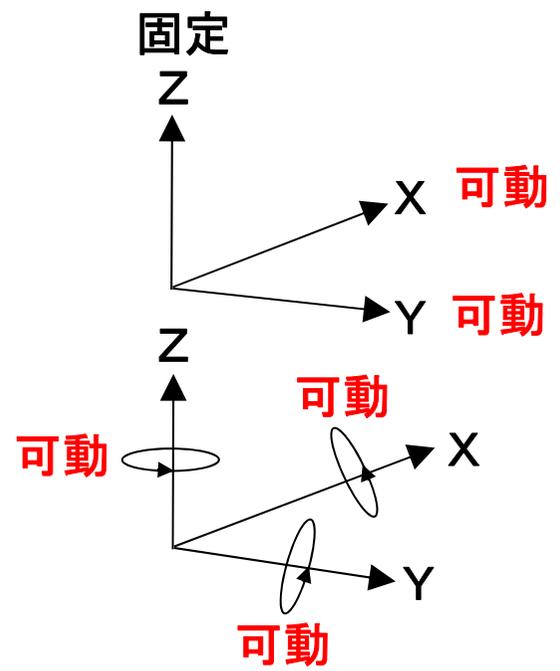
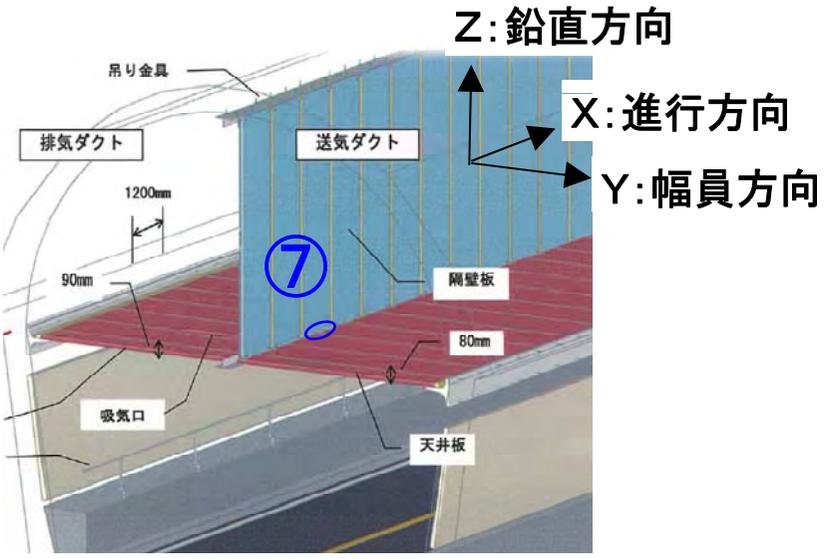


スタッド位置以外の場所ではCT鋼と天井板は接合されていないが、CT鋼のフランジによって天井板が支えられている。



鉛直方向の相対変位*を拘束し、
その他の相対変位と相対角度*を解放

*相対変位および相対角度とは、CT鋼と天井板の変位差、およびCT鋼と天井板のなす角を指す。



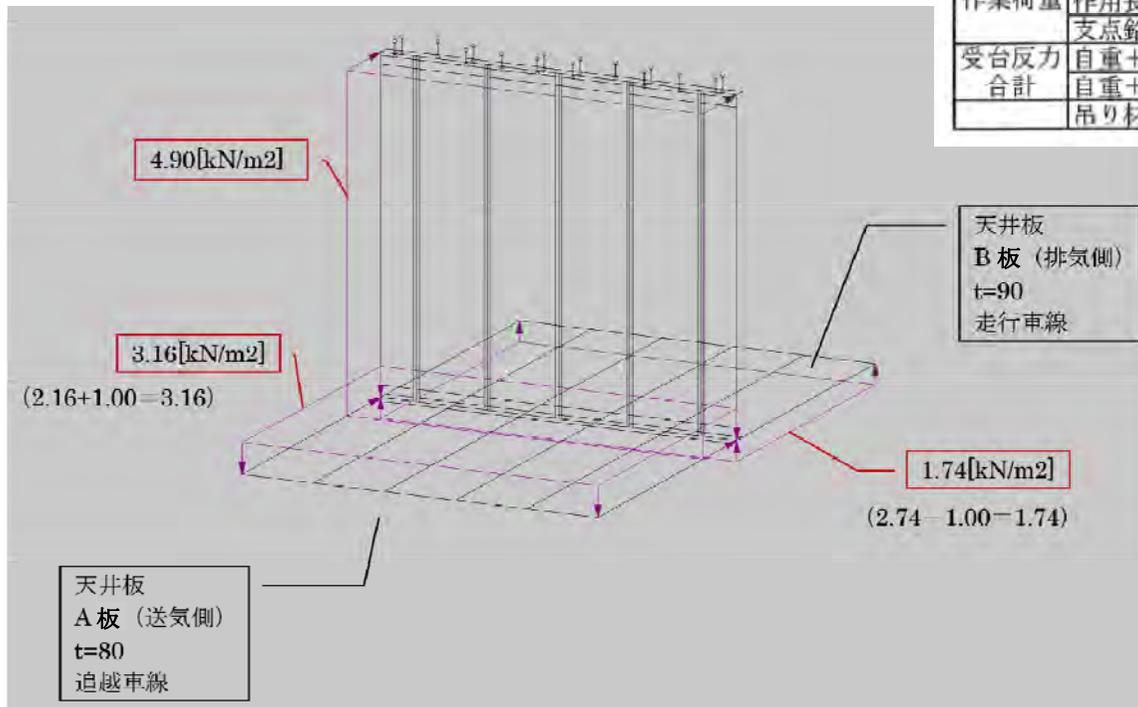
3 荷重の載荷方法(1/2)

- ①死荷重はモデルに単位体積重量を与える
- ②風荷重(※)および作業員荷重は、下図のとおり天井板または隔壁モデルに等分布荷重で載荷
※L断面の最大風荷重を設定

L断面

①荷重一覧表

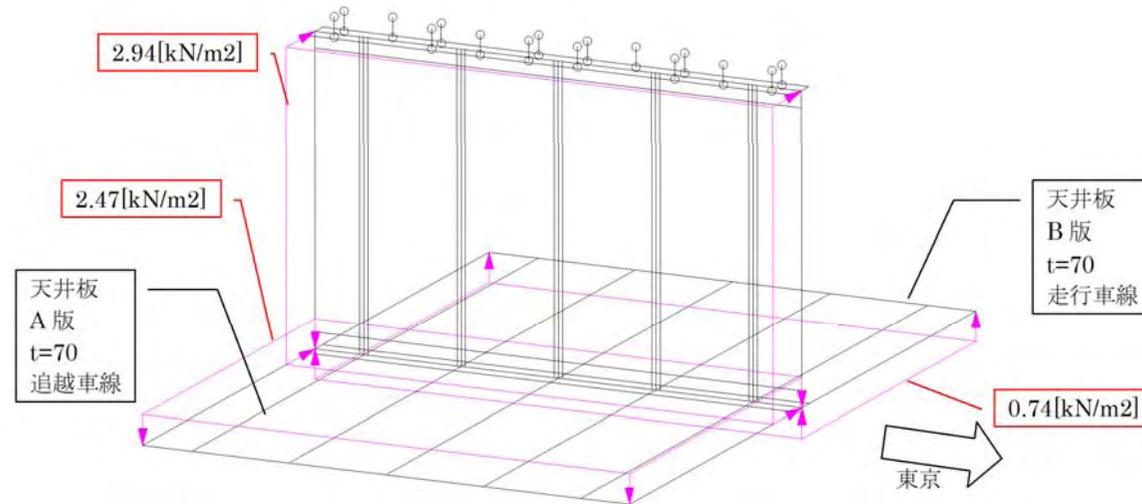
上り線		L1断面		
荷重種類		A版(送気側)	B版(排気側)	C版(隔壁)
		m当り		
版自重	版厚(m)	0.080	0.090	0.100
	長さ(m)	5.010	5.010	5.300
	単位体積重量(kN)	24.500	24.500	24.500
	単位m当り重量(kN)	9.820	11.047	12.985
	支点鉛直力(kN)	4.910	5.524	12.985
風圧	風圧(kN/m ²)	2.160	-2.740	4.900
	作用長さ(m)	5.01	5.01	5.30
	支点鉛直力(kN)	5.411	-6.864	12.985
作業荷重	作業荷重(kN/m 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	着色部は採用値
	自重+作業荷重	7.415	8.029	着色部は採用値
吊り材等重量(1m当り)				0.8333



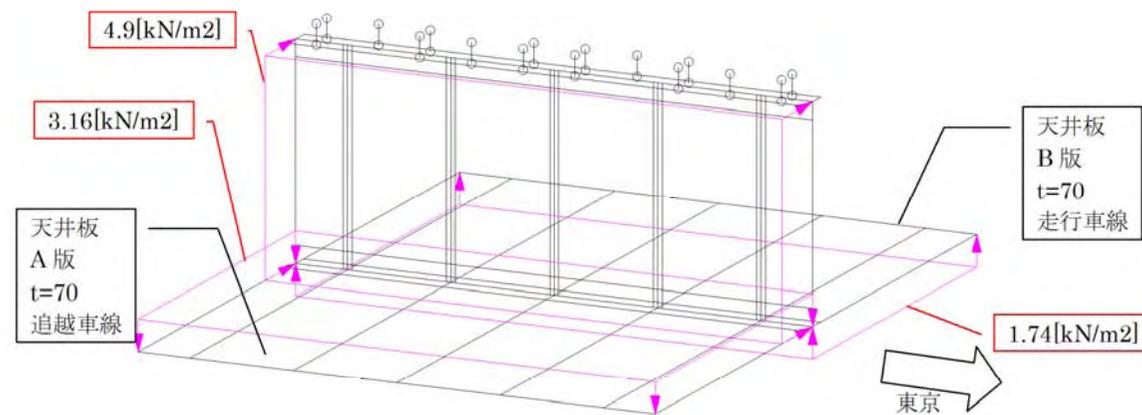
②風荷重等の載荷

3 荷重の載荷方法(2/2)

M断面



S断面



接着系アンカー部、受け台位置で鉛直方向を拘束する。トンネル軸方向の隔壁端部を、トンネル軸方向拘束する。

I ボルト配置の影響

I-1 目的および検討ケース

ケース No	1-1-1	1-1-2	1-1-3	1-2	1-3	2-1-1	2-1-2	2-1-3	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	
目的	ボルト配置の影響 (死荷重時)					ボルト配置の影響 (風荷重時)					ボルトが均等配置であった場合						
ボルト本数	16本											20本					
作用荷重	死荷重					死荷重+風荷重等					死荷重			死荷重+風荷重等			
ダクト断面	L断面	L断面	L断面	M断面	S断面	L断面	L断面	L断面	M断面	S断面	L断面	M断面	S断面	L断面	M断面	S断面	
接着系アンカーのばね値※	K1	K2	K3	K1			K2	K3	K1								

※接着系アンカーのばね定数(K1~K3)の具体的な値を以下のように設定した。

K1=1.00×10⁸[N/mm] 数値計算上、ボルト反力を大きく評価することを目的に値を設定

K2=2.41×10⁵[N/mm] 接着系アンカーに用いられているボルト鋼材の弾性係数のみに着目して設定

K3=1.42×10⁴[N/mm] 接着系アンカーの引抜き抵抗力試験結果から設定

: 本節の検討範囲

<ばね定数の算出方法>

ケース1-1-2 ボルト鋼材の寸法と弾性係数より算出

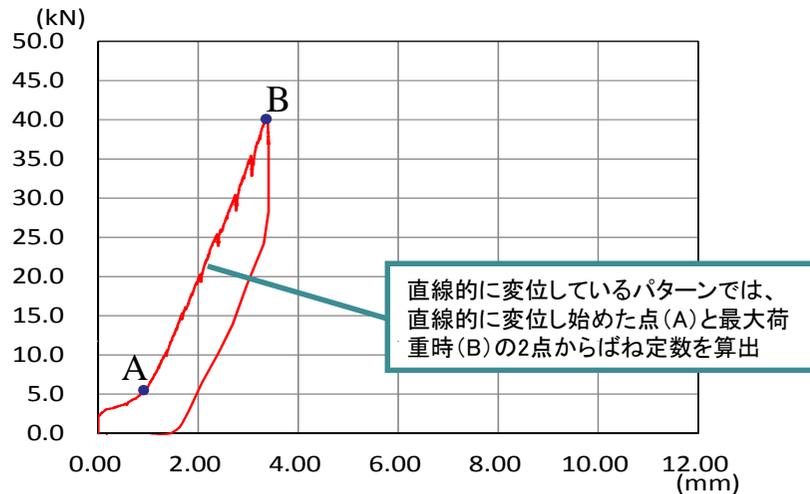
項目	寸法
呼び径	M16
有効断面積 A	156.7mm ²
設計埋め込み長 L	130mm
弾性係数 E	2.00×10 ⁵ N/mm ²

$$E \frac{x}{L} = \frac{Kx}{A}$$

$$\therefore K = \frac{EA}{L} = 2.00 \times 10^5 \times 156.7 \div 130 = 2.41 \times 10^5$$

【ばね定数の判読方法】

引抜き抵抗力試験の結果から得られた引抜き抵抗力と変位からM16のばね定数を算出



ケース1-1-3 引抜き抵抗力試験結果より算出

引抜き抵抗力試験の結果から、引き抜けなかった接着系アンカーの見かけのばね定数は下表のようになった。

下表に示した見かけ剛性を平均すると1.42×10⁴[N/mm]となる。

試験体 NO	見かけ剛性 [N/mm]	引抜き抵抗力 [kN]	試験体 NO	見かけ剛性 [N/mm]	引抜き抵抗力 [kN]
2	1.58E+04	40.2	111	2.21E+04	40.2
4	1.52E+04	40.5	113	6.90E+03	40.1
6	1.04E+04	40.3	115	3.92E+04	40.1
7	6.90E+03	40.1	117	2.26E+04	40.1
8	1.08E+04	40.1	118	1.25E+04	40.2
9	9.08E+03	40.3	119	7.63E+03	40.3
12	8.80E+03	40	120	8.26E+03	40.2
13	7.14E+03	40.1	121	5.23E+03	40
14	5.43E+03	40.2	122	2.38E+04	40.3
16	7.35E+03	40.5	123	1.31E+04	40.3
17	1.15E+04	40	125	7.38E+03	40.1
18	1.92E+04	40.3	127	2.02E+04	40.1
19	1.65E+04	41.6	130	1.42E+04	40.4
22	9.87E+03	40.4	131	1.10E+04	40.1
23	3.82E+04	40.5	136	1.06E+04	40.1
25	1.40E+04	40.4	140	1.01E+04	40.1
31	9.04E+03	40.5	141	1.19E+04	40
35	1.11E+04	40.1	146	8.50E+03	40.3
37	7.09E+03	40.1	147	1.03E+04	40.3
46	1.15E+04	40.2	149	1.34E+04	40.6
54	1.31E+04	40	151	1.14E+04	40.4
55	2.55E+04	40.4	152	2.38E+04	40.2
60	1.83E+04	40.4	155	7.21E+03	40.5
75	1.19E+04	40.2	160	3.25E+04	40.5
76	6.60E+03	40.2	161	6.53E+03	40.2
77	2.14E+04	40.2	162	8.80E+03	40.1
78	1.97E+04	40.4	164	1.42E+04	40.2
83	1.16E+04	40	165	1.63E+04	40.3
90	7.98E+03	40.4	174	2.85E+04	40.3
94	1.41E+04	40.5	175	1.38E+04	40.3
95	5.43E+03	40.4	178	1.19E+04	40
103	1.15E+04	40.9	179	1.09E+04	40.1
104	6.33E+03	40	183	6.25E+04	40.2
108	1.61E+04	40.1	185	1.16E+04	40.1
110	1.96E+04	40.1			

I-2 解析結果(1)

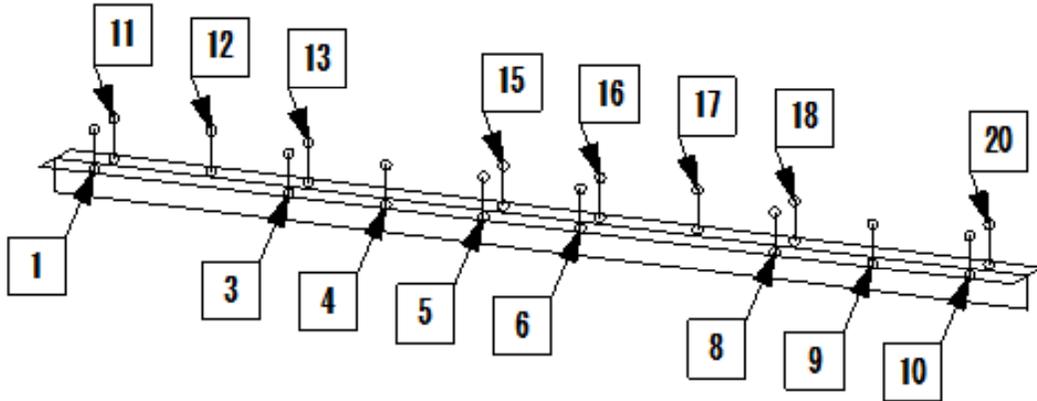
1-1-1) L断面死荷重時アンカーボルト反力分布 ($K1=1.00 \times 10^8 [N/mm]$)

1-1-1 L断面

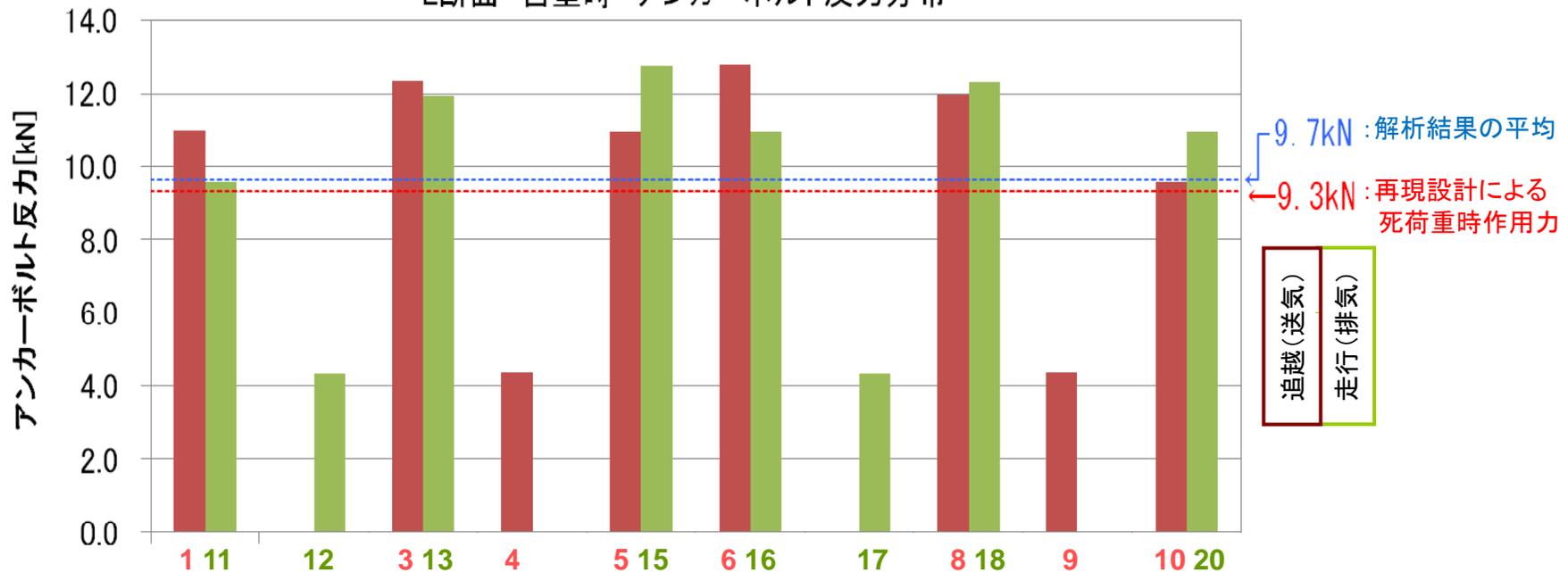
アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	10.97	4.76	11	9.58	5.45
-	-	-	12	4.33	12.06
3	12.33	4.24	13	11.95	4.37
4	4.37	11.95	-	-	-
5	10.96	4.76	15	12.76	4.09
6	12.78	4.09	16	10.94	4.77
-	-	-	17	4.34	12.03
8	11.97	4.36	18	12.30	4.24
9	4.35	12.01	-	-	-
10	9.60	5.44	20	10.95	4.77

■ は、反対側にボルトがない位置



L断面 自重時 アンカーボルト反力分布



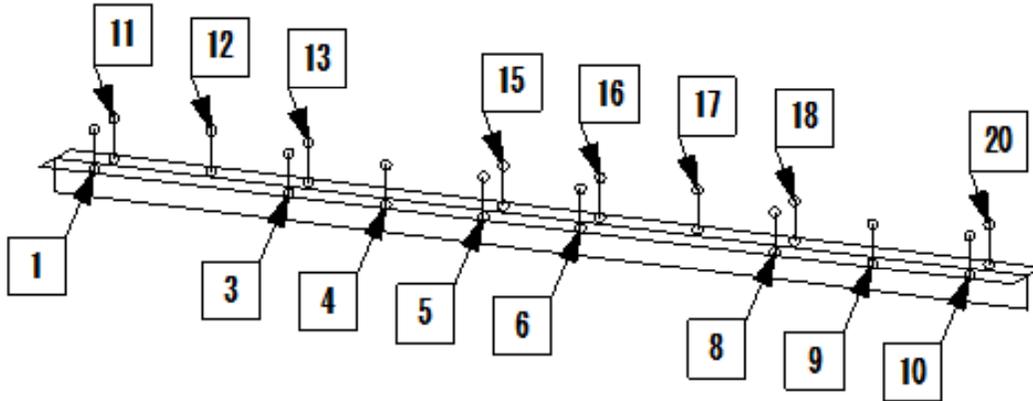
I-2 解析結果(1)

1-1-2) L断面死荷重時アンカーボルト反力分布 ($K_2=2.37 \times 10^5$ [N/mm])

1-1-2 L断面

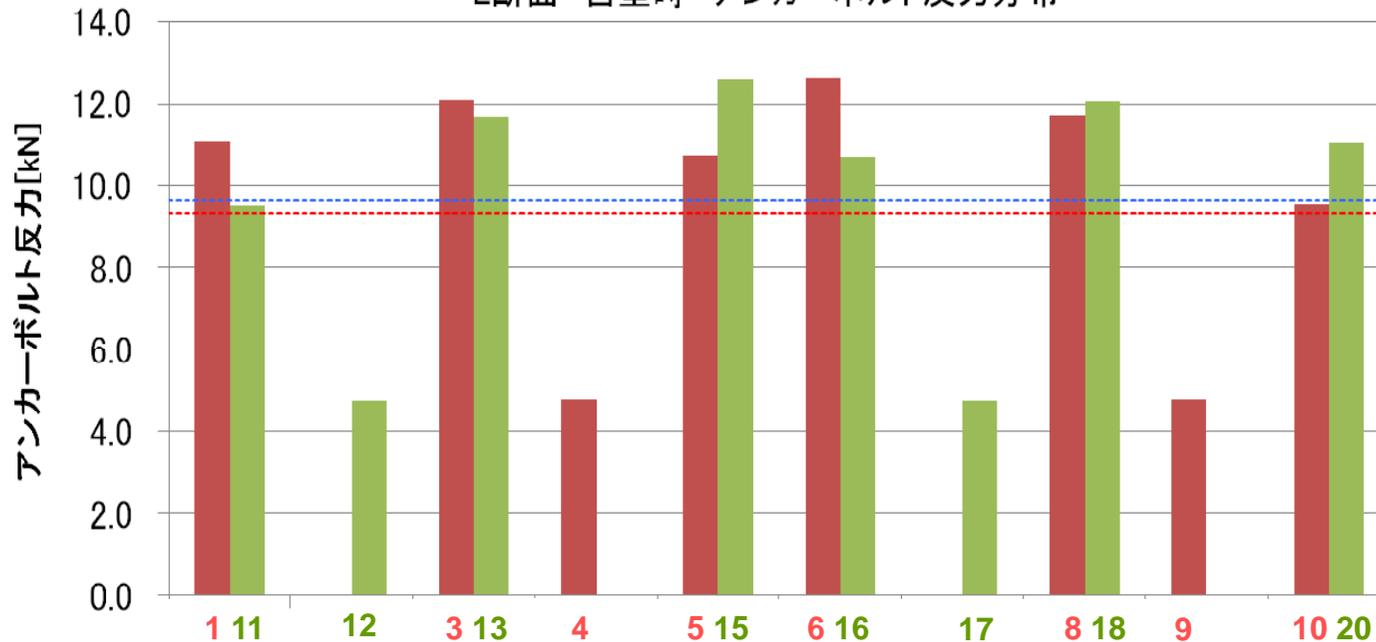
アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	11.07	4.72	11	9.53	5.48
-	-	-	12	4.75	10.99
3	12.08	4.32	13	11.69	4.47
4	4.77	10.94	-	-	-
5	10.73	4.86	15	12.60	4.14
6	12.62	4.14	16	10.72	4.87
-	-	-	17	4.74	11.00
8	11.70	4.46	18	12.06	4.33
9	4.77	10.94	-	-	-
10	9.55	5.47	20	11.06	4.72



■ は、反対側にボルトがない位置

L断面 自重時 アンカーボルト反力分布



9.7kN : 解析結果の平均
9.3kN : 再現設計による死荷重時作用力

追越(送気)
走行(排気)

I-2 解析結果(1)

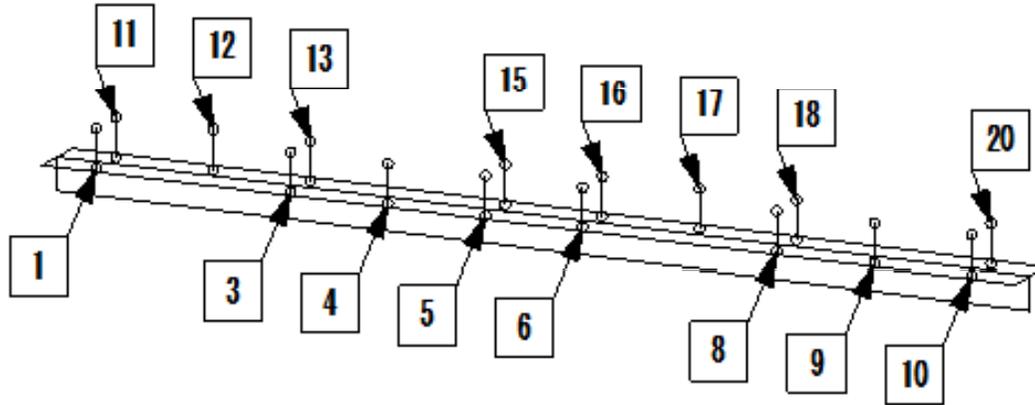
1-1-3) L断面死荷重時アンカーボルト反力分布 ($K3=1.42 \times 10^4$ [N/mm])

1-1-3 L断面

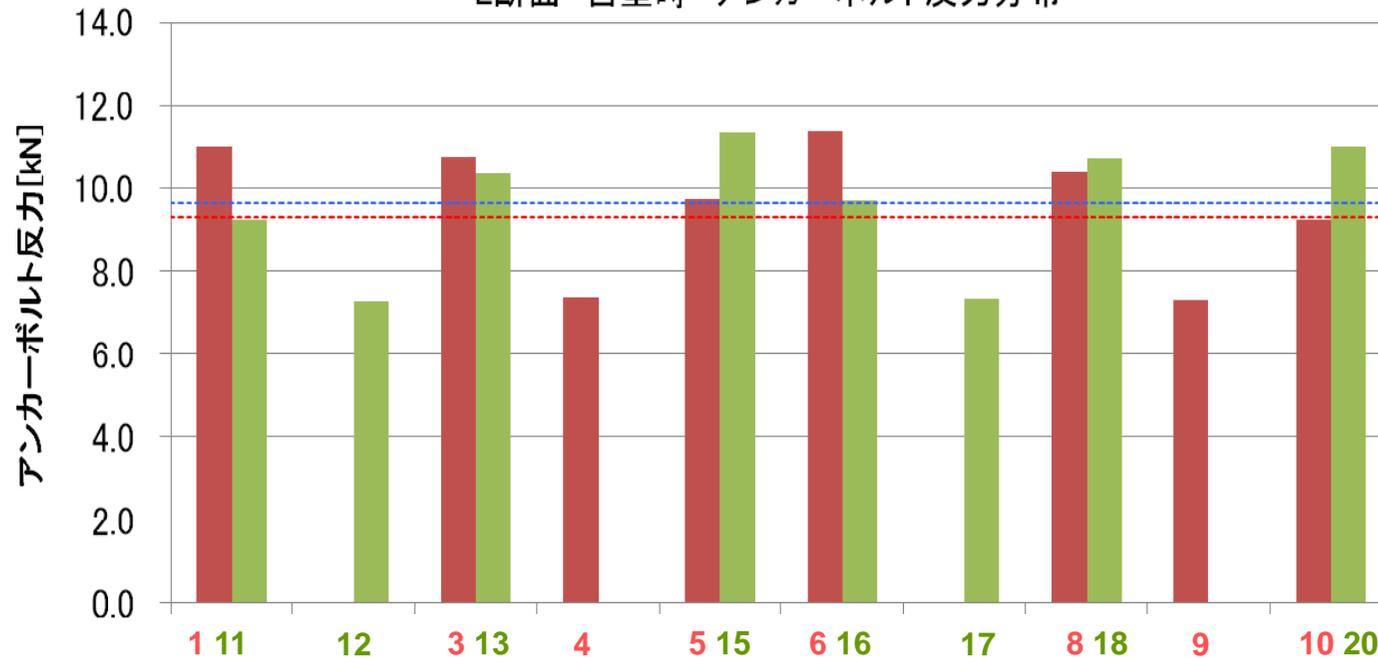
アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	11.03	4.73	11	9.26	5.64
-	-	-	12	7.30	7.16
3	10.77	4.85	13	10.36	5.04
4	7.37	7.08	-	-	-
5	9.72	5.37	15	11.35	4.60
6	11.36	4.60	16	9.71	5.38
-	-	-	17	7.35	7.10
8	10.38	5.03	18	10.75	4.85
9	7.31	7.14	-	-	-
10	9.27	5.63	20	11.01	4.74

は、反対側にボルトがない位置



L断面 自重時 アンカーボルト反力分布



9.7kN : 解析結果の平均
9.3kN : 再現設計による死荷重時作用力

追越(送気)
走行(排気)

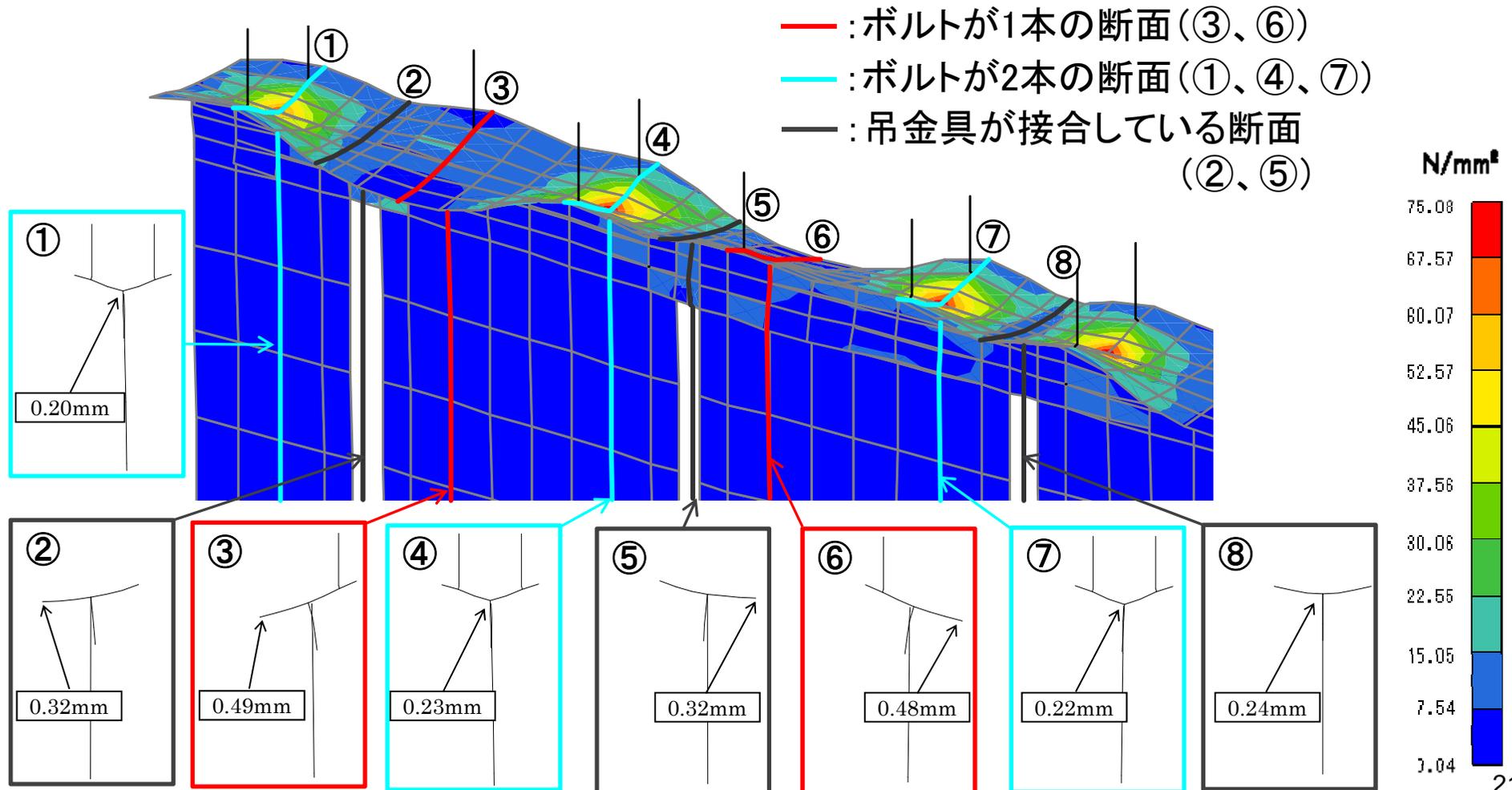
I-2 解析結果(1)

1-1-1) L断面死荷重時アンカーボルト反力分布 ＜アンカーボルト反力分布について＞

変形(変形倍率200倍)を強調した変形図にVon Mises応力(※)コンターを重ねた図

※Von Mises応力(σ_{VM}): 三主応力を次式に代入したスカラー値 $\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}\{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\}}$

下図は、CT鋼(6m)のモデルである。



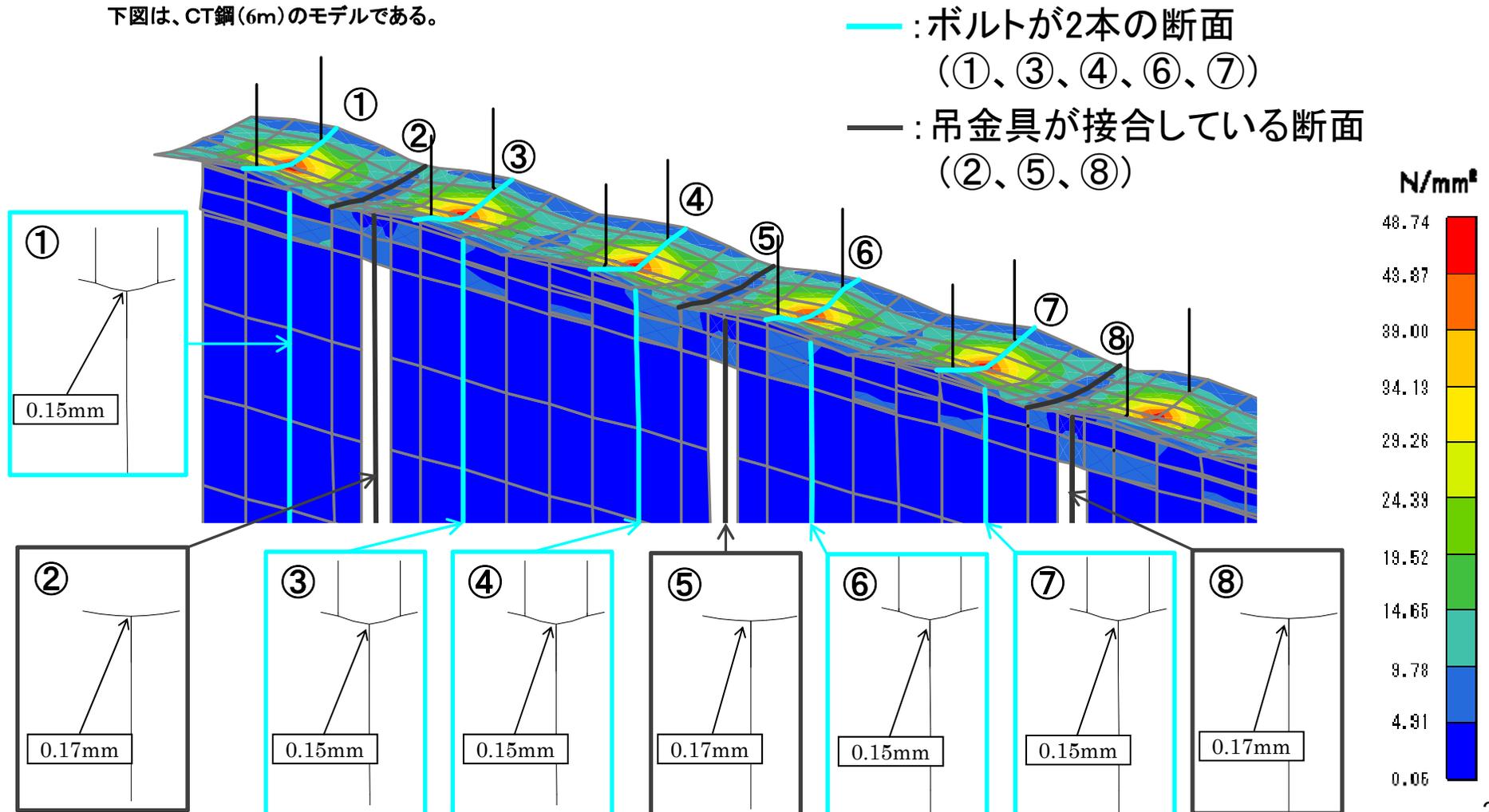
<参考> 20本ボルト均等配置の場合

3-1 20本ボルト均等配置

死荷重時アンカーボルト反力分布(L断面)

変形(変形倍率200倍)を強調した変形図にVon Mises応力コンターを重ねた図

下図は、CT鋼(6m)のモデルである。

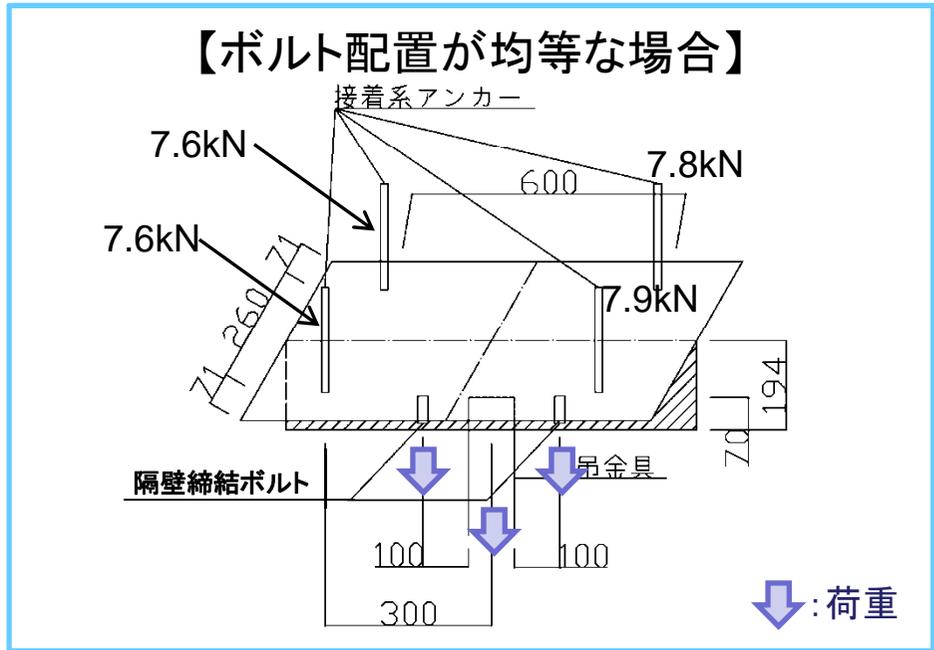
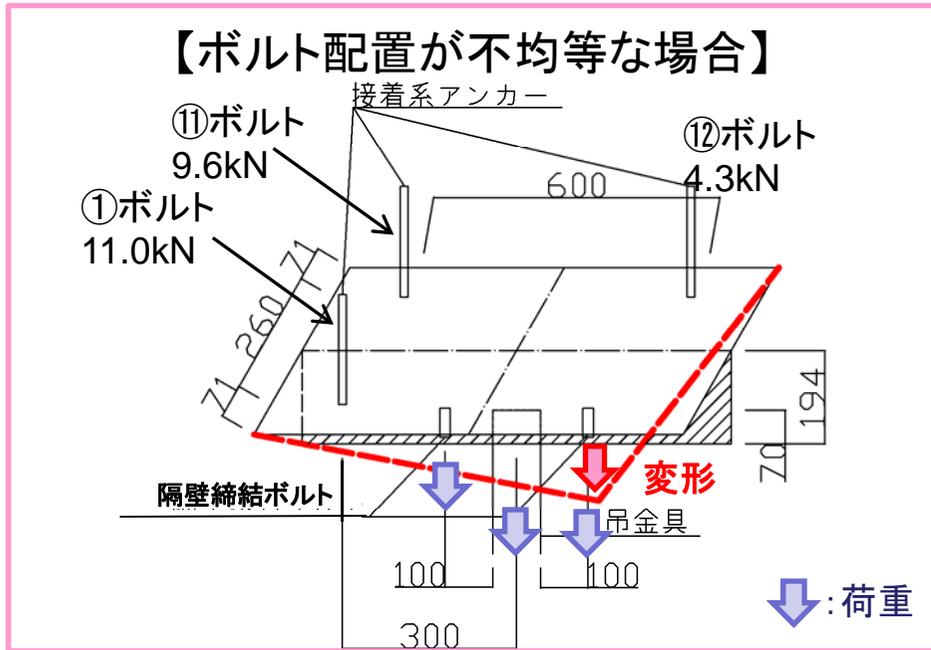
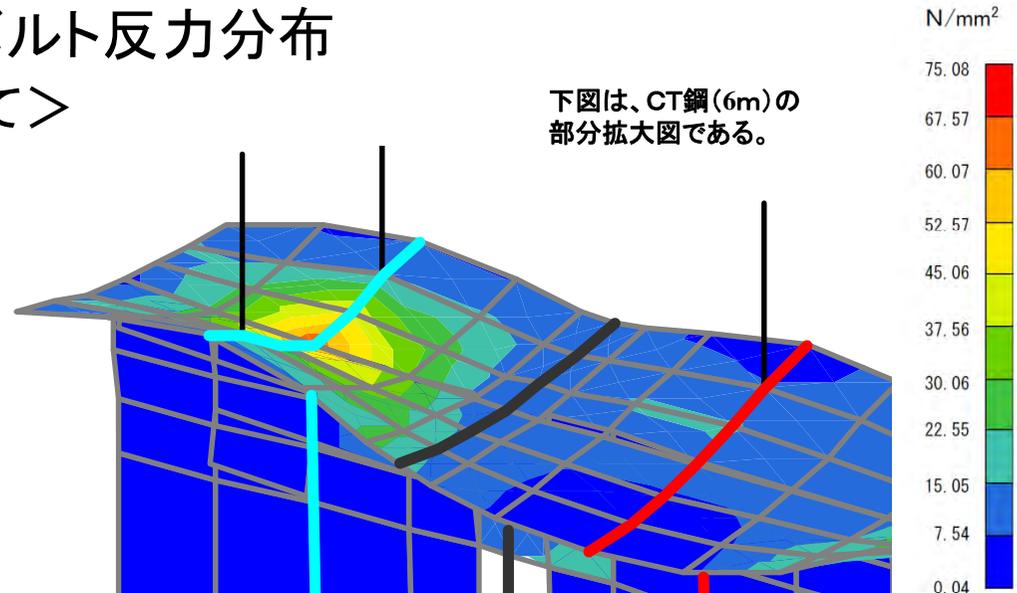


I-2 解析結果(1)

1-1 L断面

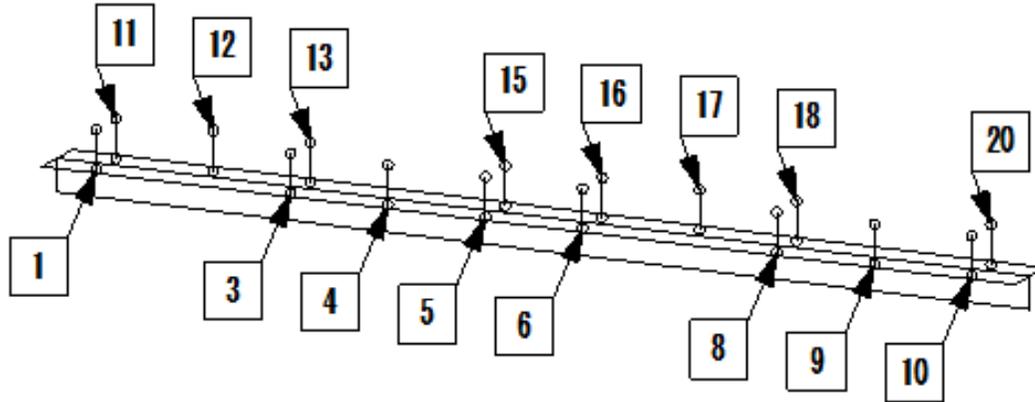
1-1) L断面死荷重時アンカーボルト反力分布 <アンカーボルト反力分布について>

ボルト配置の不均衡により、中央に死荷重が載荷すると下図の変形により、
 ①および⑪のボルト方向に力が流れ、
 ⑫ボルトの作用力が小さくなる。

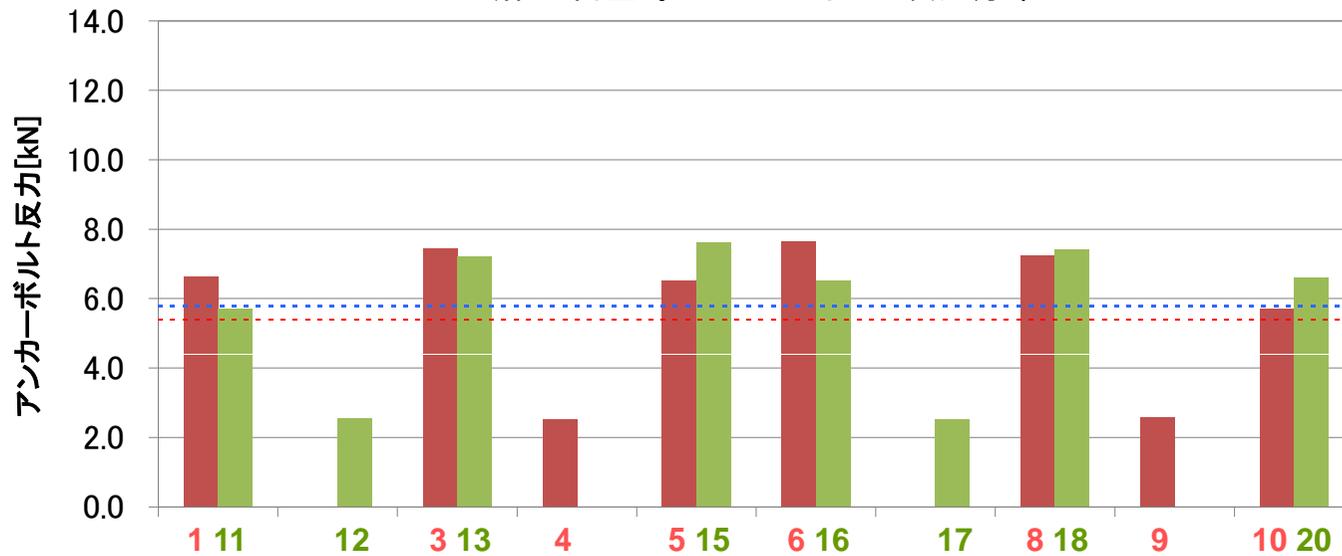


I-2 解析結果(2)

1-2) M断面死荷重時アンカーボルト反力分布



M断面 自重時 アンカーボルト反力分布



1-2 M断面

アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	6.62	7.88	11	5.71	9.15
-	-	-	12	2.56	20.40
3	7.43	7.02	13	7.23	7.22
4	2.54	20.58	-	-	-
5	6.53	8.00	15	7.63	6.85
6	7.63	6.84	16	6.52	8.01
-	-	-	17	2.53	20.67
8	7.23	7.22	18	7.43	7.03
9	2.57	20.32	-	-	-
10	5.71	9.14	20	6.62	7.89

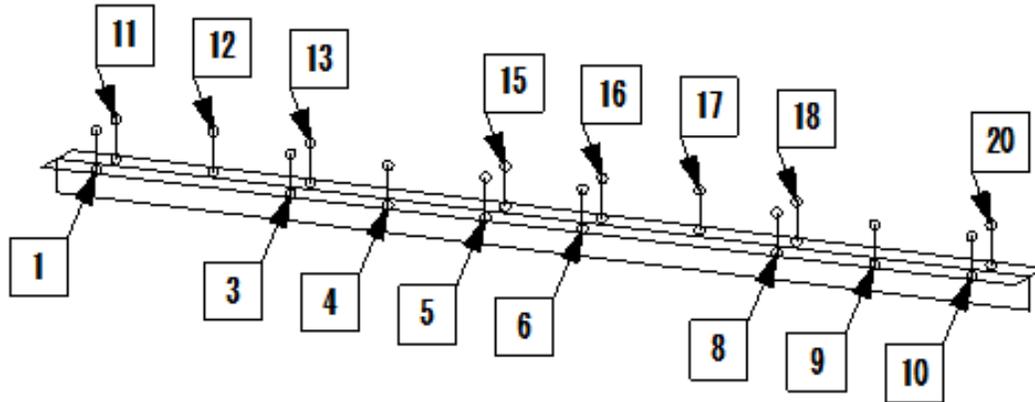
■は、反対側にボルトがない位置

追越(送気)
走行(排気)

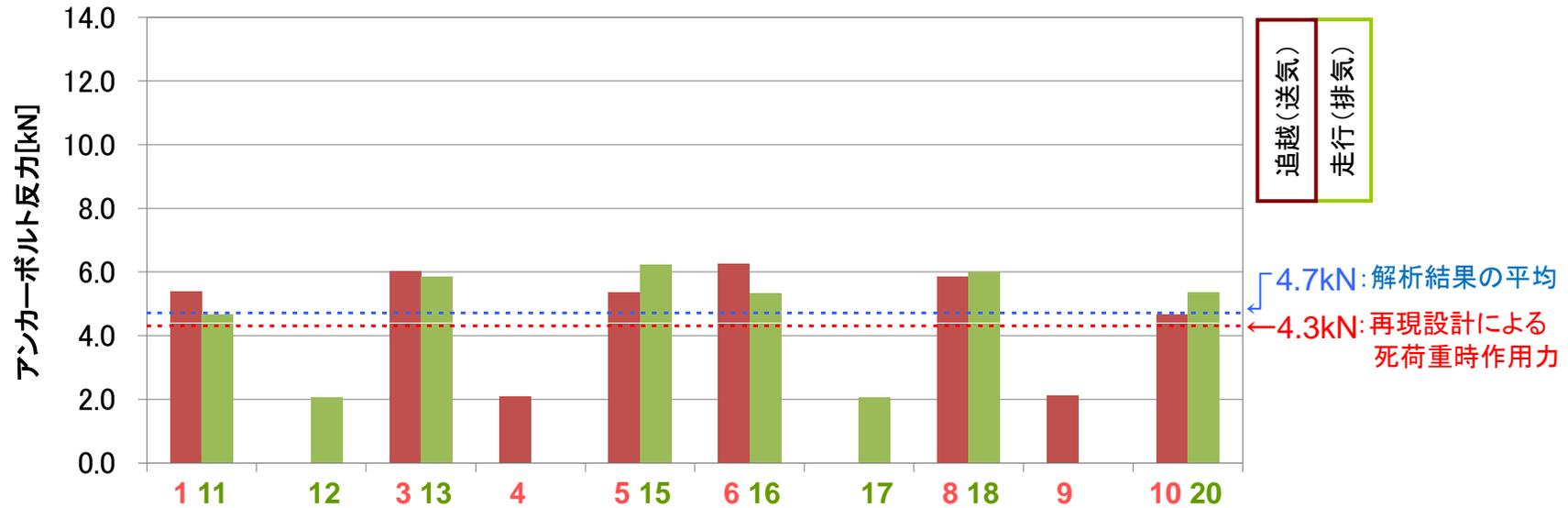
5.8kN: 解析結果の平均
5.4kN: 再現設計による死荷重時作用力

I-2 解析結果(3)

1-3) S断面死荷重時アンカーボルト反力分布



S断面 自重時 アンカーボルト反力分布



1-3 S断面

アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	5.40	9.67	11	4.66	11.20
-	-	-	12	2.08	25.12
3	6.03	8.66	13	5.84	8.94
4	2.09	25.02	-	-	-
5	5.36	9.74	15	6.22	8.39
6	6.25	8.35	16	5.34	9.78
-	-	-	17	2.05	25.43
8	5.86	8.90	18	6.00	8.70
9	2.11	24.75	-	-	-
10	4.68	11.15	20	5.38	9.71

■は、反対側にボルトがない位置

I-3 ボルト配置の影響のまとめ(1)

【設計値は、ボルト1本の値】

各断面に着目した解析値/設計値の比較(ばね定数は $K1^{※1}$) 各ばね定数に着目した解析値/設計値の比較(L断面を対象)

位置	解析値/設計値 ^{※2}			位置	解析値/設計値 ^{※2}		
	L	M	S		L	M	S
1	1.18	1.23	1.26	11	1.03	1.06	1.08
-	-	-	-	12	0.47	0.47	0.48
3	1.33	1.38	1.40	13	1.28	1.34	1.36
4	0.47	0.47	0.49	-	-	-	-
5	1.18	1.21	1.25	15	1.37	1.41	1.45
6	1.37	1.41	1.45	16	1.18	1.21	1.24
-	-	-	-	17	0.47	0.47	0.48
8	1.29	1.34	1.36	18	1.32	1.38	1.40
9	0.47	0.48	0.49	-	-	-	-
10	1.03	1.06	1.09	20	1.18	1.23	1.25

位置	解析値/設計値 ^{※1、}			位置	解析値/設計値 ^{※1、}		
	K1	K2	K3		K1	K2	K3
1	1.18	1.19	1.19	11	1.03	1.03	1.00
-	-	-	-	12	0.47	0.51	0.78
3	1.33	1.30	1.16	13	1.28	1.26	1.11
4	0.47	0.51	0.79	-	-	-	-
5	1.18	1.15	1.05	15	1.37	1.36	1.22
6	1.37	1.36	1.22	16	1.18	1.15	1.04
-	-	-	-	17	0.47	0.51	0.79
8	1.29	1.26	1.12	18	1.32	1.30	1.16
9	0.47	0.51	0.79	-	-	-	-
10	1.03	1.03	1.00	20	1.18	1.19	1.18

■ は、反対側にボルトがない位置

※1 $K1=1.00 \times 10^8$ [N/mm]、 $K2=2.41 \times 10^5$ [N/mm]、 $K3=1.42 \times 10^4$ [N/mm]

※2 再現設計による死荷重時作用力: 9.3kN(L断面)、5.4kN(M断面)、4.3kN(S断面)

- ① 当初設計では作用荷重を16本で平均してボルト作用力を求めているが、アンカーボルトが非対称配置となっていることから、ねじれ変形を生じ、「作用荷重を多く負担する(作用力が大きい)ボルト」と、「作用荷重を少なく負担する(作用力が小さい)ボルト(位置4,9,12,17)」が発生する。
- ② 16本の作用力を均等とした当初設計の作用力(9.3kN:L断面)に対して、最大で1.5倍程度の作用力が発生

I-3 ボルト配置の影響のまとめ(2)

【設計値は、ボルト1本の値】

各断面に着目した安全率の比較(ばね定数はK1※¹)

位置	安全率※ ²			位置	安全率※ ²		
	L	M	S		L	M	S
1	4.76	7.88	9.67	11	5.45	9.15	11.20
-	-	-	-	12	12.06	20.40	25.12
3	4.24	7.02	8.66	13	4.37	7.22	8.94
4	11.95	20.58	25.02	-	-	-	-
5	4.76	8.00	9.74	15	4.09	6.85	8.39
6	4.09	6.84	8.35	16	4.77	8.01	9.78
-	-	-	-	17	12.03	20.67	25.43
8	4.36	7.22	8.90	18	4.24	7.03	8.70
9	12.01	20.32	24.75	-	-	-	-
10	5.44	9.14	11.15	20	4.77	7.89	9.71

各ばね定数に着目した安全率の比較(L断面を対象)

位置	安全率※ ^{1, ※2}			位置	安全率※ ^{1, ※2}		
	K1	K2	K3		K1	K2	K3
1	4.76	4.72	4.73	11	5.45	5.48	5.64
-	-	-	-	12	12.06	10.99	7.16
3	4.24	4.32	4.85	13	4.37	4.47	5.04
4	11.95	10.94	7.08	-	-	-	-
5	4.76	4.86	5.37	15	4.09	4.14	4.60
6	4.09	4.14	4.60	16	4.77	4.87	5.38
-	-	-	-	17	12.03	11.00	7.10
8	4.36	4.46	5.03	18	4.24	4.33	4.85
9	12.01	10.94	7.14	-	-	-	-
10	5.44	5.47	5.63	20	4.77	4.72	4.74

■ は、反対側にボルトがない位置

■ は、反対側にボルトがない位置

※1 K1=1.00 × 10⁸[N/mm]、K2=2.41 × 10⁵[N/mm]、K3=1.42 × 10⁴[N/mm]

※2 アンカーボルトの引き抜きの耐力:52.2kN/本

③ ボルト引抜けに関する安全率は、S・M断面が当初設計よりも太いボルトを用いているためL断面に比べて相対的に高い。L断面は、当初設計では引抜けに関する安全率が5.61(52.2/9.3)程度あったのに対して、最も低い値で4.6~4.0程度まで低下する

Ⅱ 風荷重の影響

Ⅱ-1 目的および検討ケース

ケース No	1-1-1	1-1-2	1-1-3	1-2	1-3	2-1-1	2-1-2	2-1-3	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	
目的	ボルト配置の影響 (死荷重時)					ボルト配置の影響 (風荷重時)					ボルトが均等配置であった場合						
ボルト本数	16本											20本					
作用荷重	死荷重					死荷重+風荷重等					死荷重			死荷重+風荷重等			
ダクト断面	L断面	L断面	L断面	M断面	S断面	L断面	L断面	L断面	M断面	S断面	L断面	M断面	S断面	L断面	M断面	S断面	
接着系アンカーのばね値※	K1	K2	K3	K1			K2	K3			K1						

※接着系アンカーのばね定数(K1~K3)の具体的な値を以下のように設定した。

K1=1.00×10⁸[N/mm] 数値計算上、ボルト反力を大きく評価することを目的に値を設定

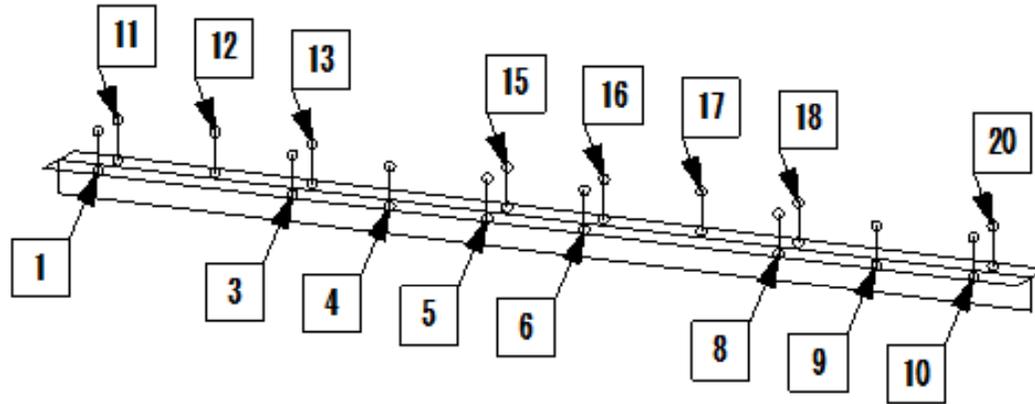
K2=2.41×10⁵[N/mm] 接着系アンカーに用いられているボルト鋼材の弾性係数のみに着目して設定

K3=1.42×10⁴[N/mm] 接着系アンカーの引抜き抵抗力試験結果から設定

: 本節の検討範囲

II-2 解析結果(1)

2-1-1) L断面死荷重+風荷重+作業荷重時アンカーボルト反力分布
($K1=1.00 \times 10^8$ [N/mm])



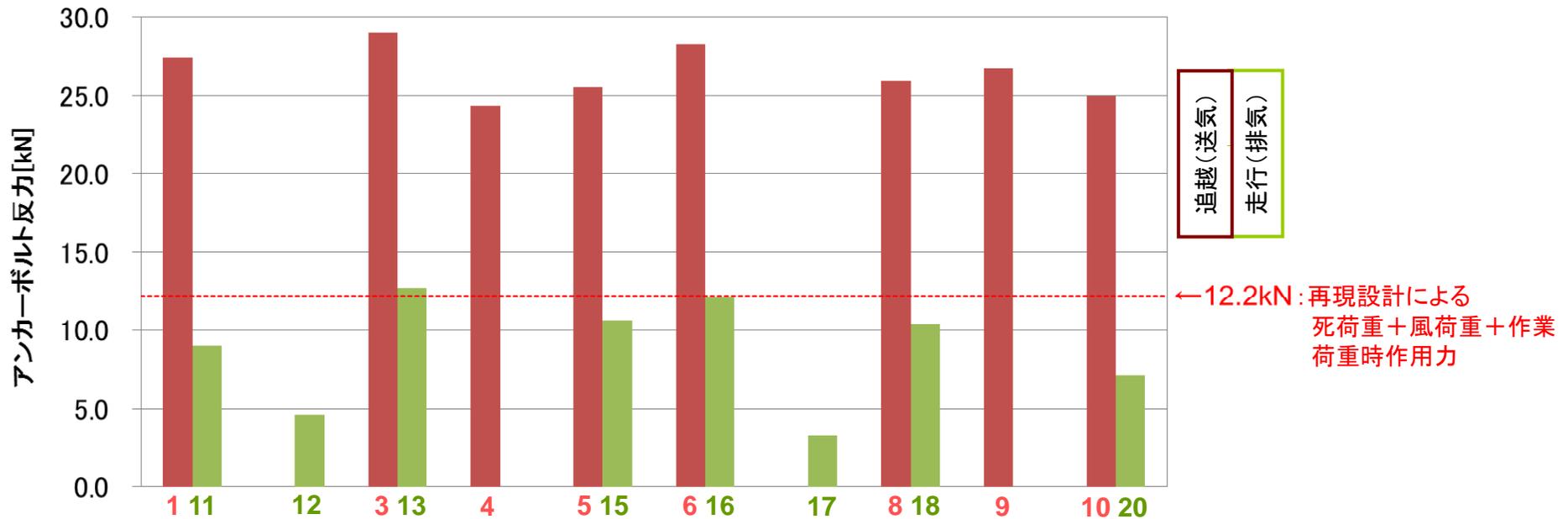
L断面 死荷重+風荷重+作業荷重時 アンカーボルト反力分布

2-1-1 L断面

アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

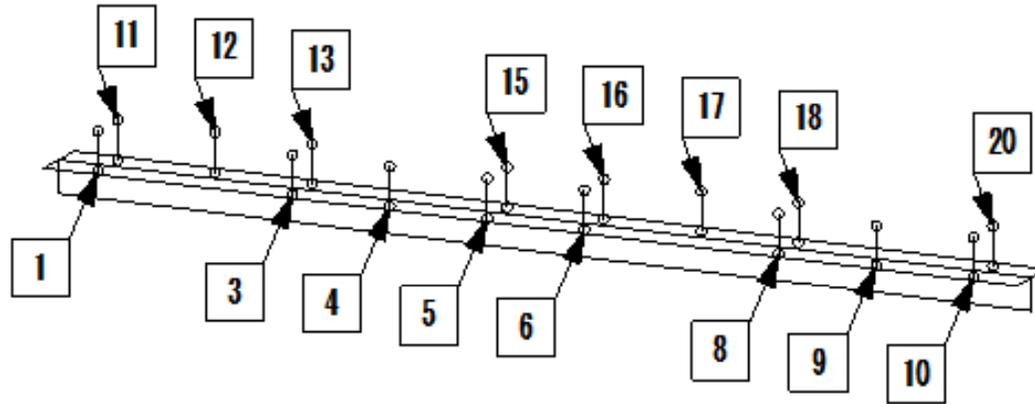
追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	27.41	1.90	11	8.98	5.81
-	-	-	12	4.60	11.34
3	29.01	1.80	13	12.72	4.10
4	24.37	2.14	-	-	-
5	25.57	2.04	15	10.59	4.93
6	28.27	1.85	16	12.10	4.32
-	-	-	17	3.32	15.73
8	25.96	2.01	18	10.33	5.05
9	26.72	1.95	-	-	-
10	25.00	2.09	20	7.10	7.35

■は、反対側にボルトがない位置

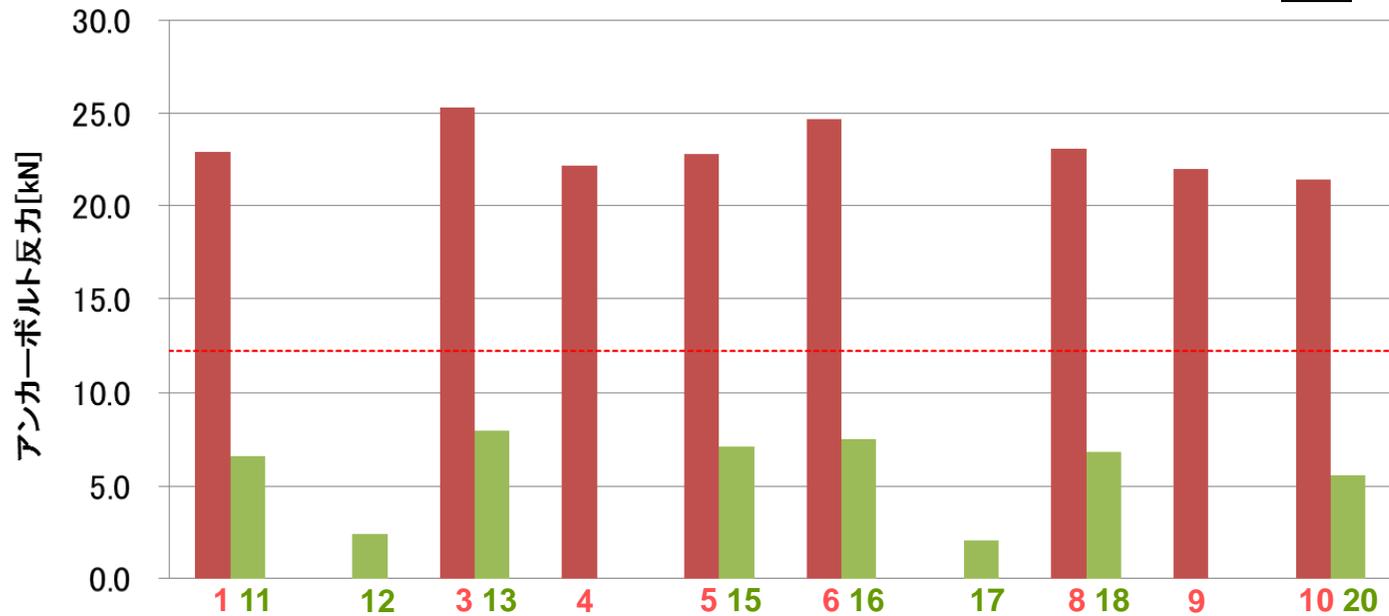


II-2 解析結果(1)

2-1-2) L断面死荷重+風荷重+作業荷重時アンカーボルト反力分布
($K_2=2.41 \times 10^5$ [N/mm])



L断面 死荷重+風荷重+作業荷重時 アンカーボルト反力分布



←12.2kN:再現設計による
死荷重+風荷重+作業
荷重時作用力

2-1-2 L断面

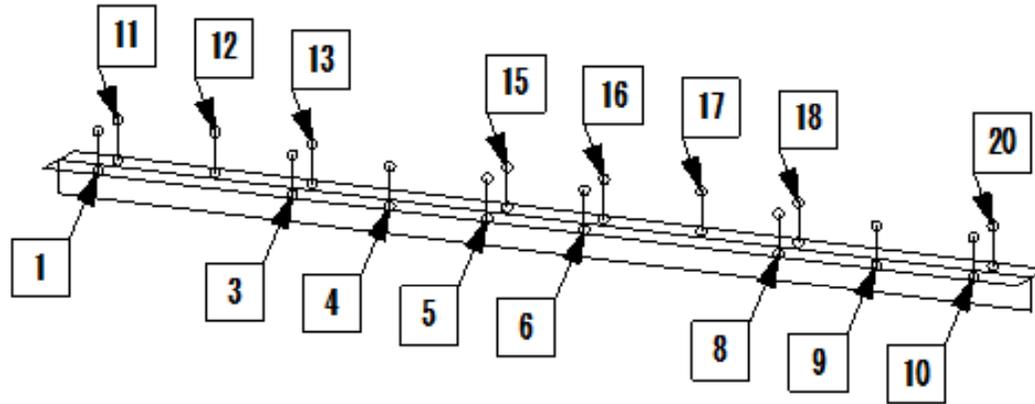
アンカーボルト引き抜けの耐力:52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	22.96	2.27	11	6.59	7.92
-	-	-	12	2.37	21.99
3	25.33	2.06	13	7.96	6.56
4	22.20	2.35	-	-	-
5	22.83	2.29	15	7.10	7.35
6	24.67	2.12	16	7.52	6.94
-	-	-	17	2.01	26.00
8	23.13	2.26	18	6.83	7.64
9	21.96	2.38	-	-	-
10	21.40	2.44	20	5.61	9.31

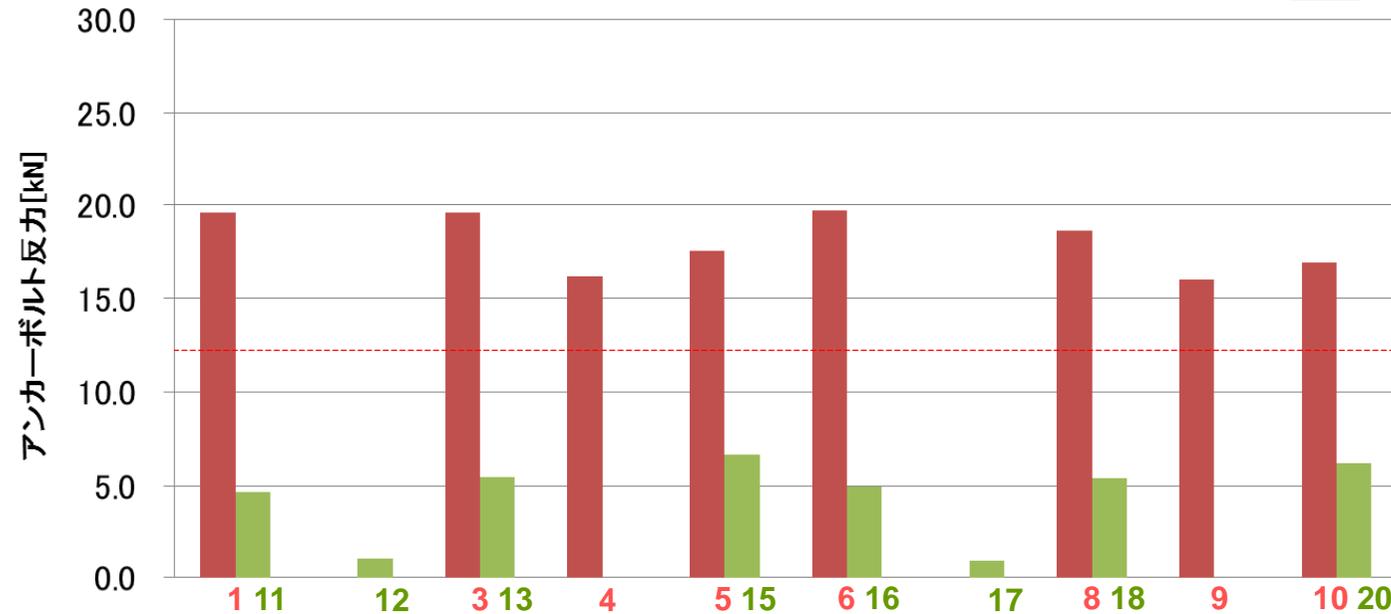
■は、反対側にボルトがない位置

II-2 解析結果(1)

2-1-3) L断面死荷重+風荷重+作業荷重時アンカーボルト反力分布
($K3=1.42 \times 10^4$ [N/mm])



L断面 死荷重+風荷重+作業荷重時 アンカーボルト反力分布



←12.2kN :再現設計による
死荷重+風荷重+作業
荷重時作用力

2-1-3 L断面

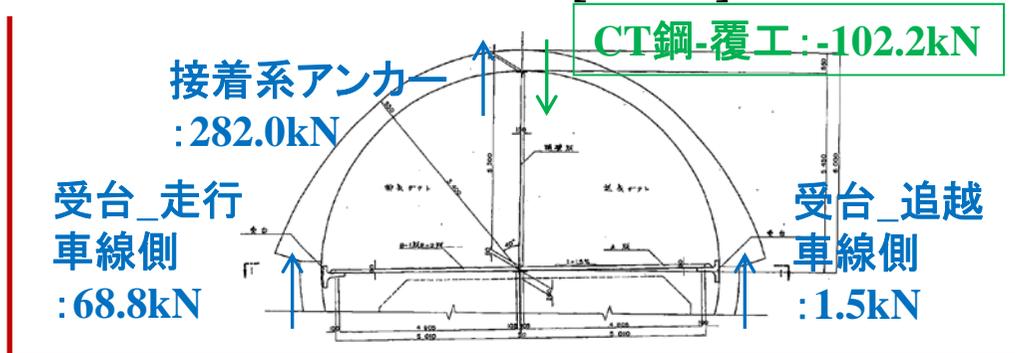
アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	19.56	2.67	11	4.70	11.11
-	-	-	12	0.98	53.28
3	19.59	2.66	13	5.48	9.53
4	16.20	3.22	-	-	-
5	17.57	2.97	15	6.67	7.83
6	19.70	2.65	16	4.97	10.51
-	-	-	17	0.88	59.06
8	18.64	2.80	18	5.43	9.62
9	16.01	3.26	-	-	-
10	16.93	3.08	20	6.19	8.43

■は、反対側にボルトがない位置

【参考】2-1-1～2-1-3の解析でアンカーボルトの反力分布が異なる理由

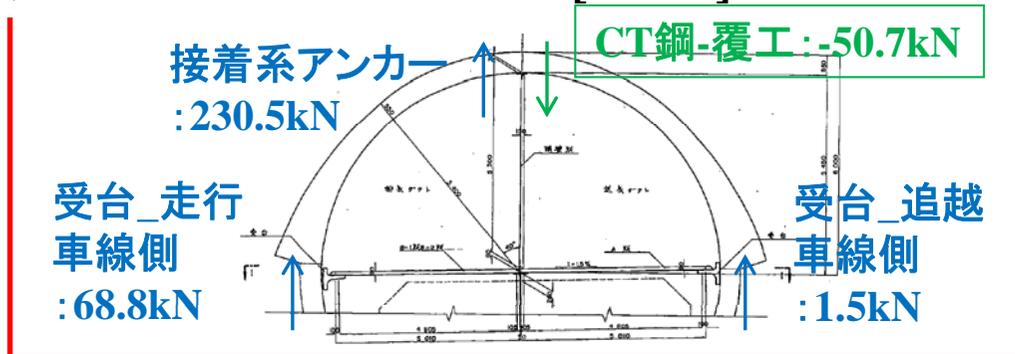
ケース2-1-1 $K1=1.00 \times 10^8$ [N/mm]



反力集計表(CT鋼6mの値)

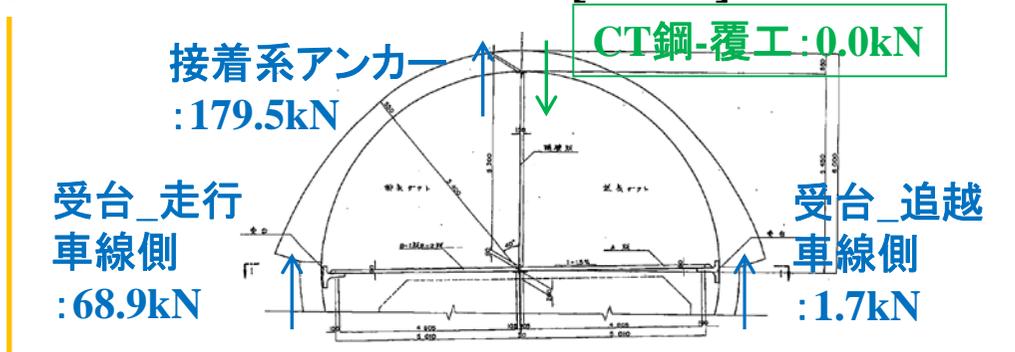
部材	反力 [kN]		
	K1	K2	K3
接着系アンカー	282.0	230.5	179.5
CT鋼-覆工	-102.2	-50.7	0.0
受台_追越車線側	68.8	68.8	68.9
受台_走行車線側	1.5	1.5	1.7
反力合計	250.1	250.1	250.1

ケース2-1-2 $K2=2.41 \times 10^5$ [N/mm]



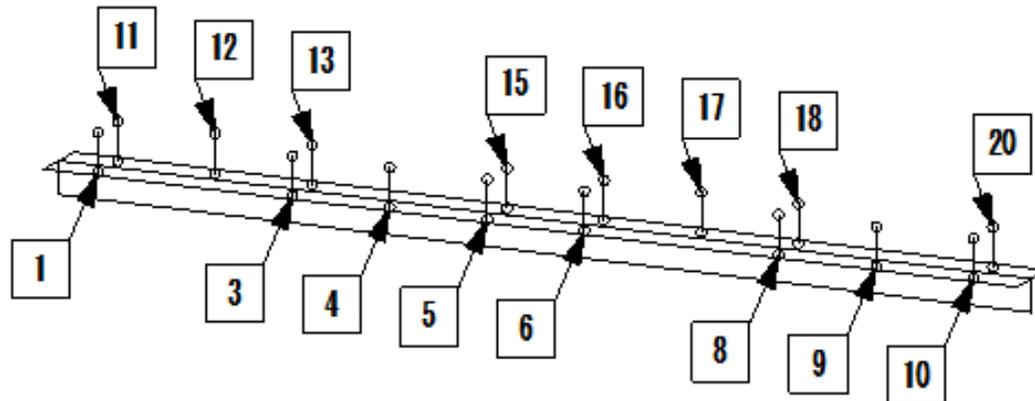
- ばね定数がK1、K2の時には、風荷重に起因するCT鋼ウェブ横変形に伴う偶力分の上下変形により、CT鋼と覆工が接触し、接触面で下向きの反力が発生する。
- CT鋼と覆工の接触面における反力は、ばね定数が大きい方が大きい。
- ばね定数がK3の時には、CT鋼が鉛直下向きに変位するため、CT鋼と覆工が接触せず、下向きの反力が発生しない。

ケース2-1-3 $K3=1.42 \times 10^4$ [N/mm]

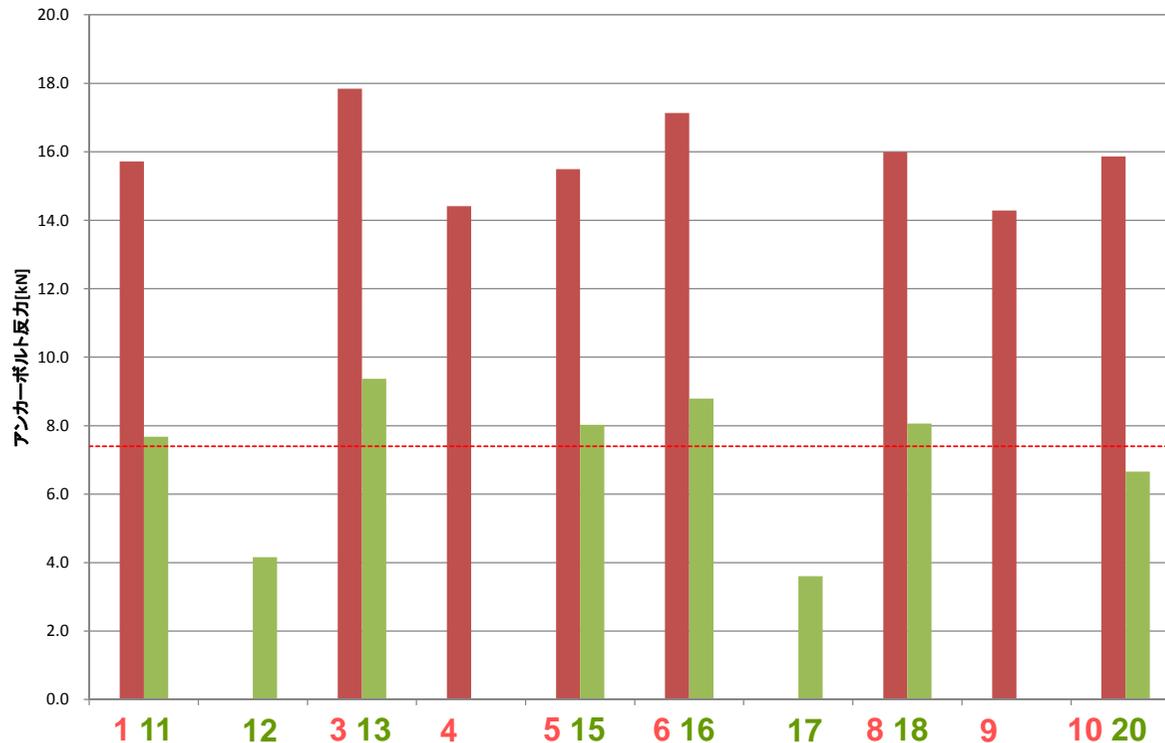


II-2 解析結果(2)

2-2) M断面死荷重+風荷重+作業荷重時アンカーボルト反力分布



M断面 自重時+風荷重+作業荷重 アンカーボルト反力分布



追越(送気)
走行(排気)

←7.4kN : 再現設計による死荷重+風荷重+作業荷重時作用力

2-2 M断面

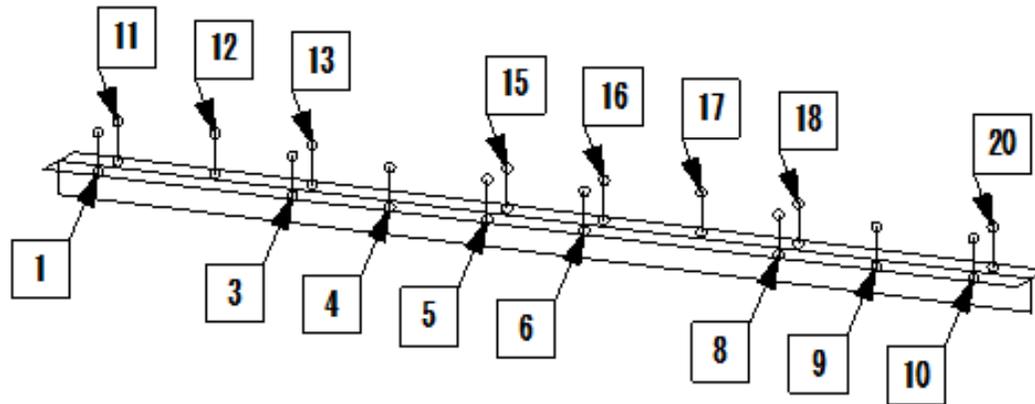
アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	15.72	3.32	11	7.68	6.80
-	-	-	12	4.16	12.55
3	17.84	2.93	13	9.37	5.57
4	14.41	3.62	-	-	-
5	15.50	3.37	15	8.03	6.50
6	17.14	3.05	16	8.80	5.94
-	-	-	17	3.60	14.48
8	15.99	3.26	18	8.06	6.48
9	14.28	3.65	-	-	-
10	15.87	3.29	20	6.66	7.84

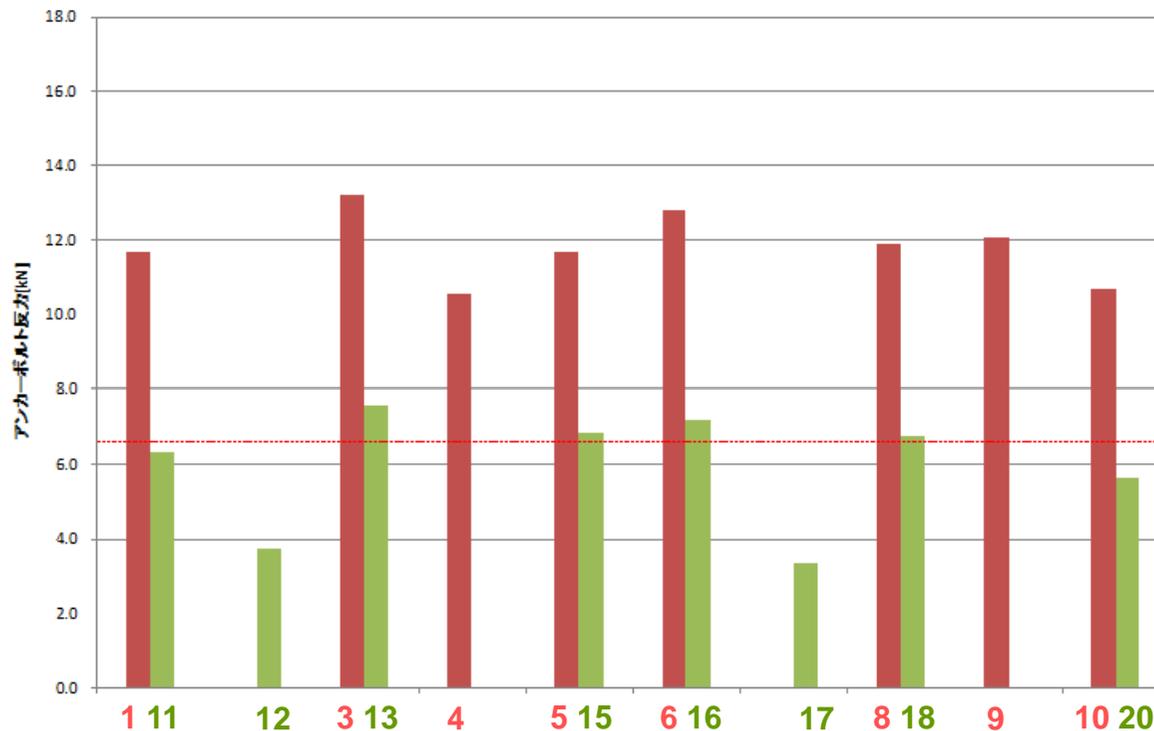
は、反対側にボルトがない位置

II-2 解析結果(3)

2-3) S断面死荷重+風荷重+作業荷重時アンカーボルト反力分布



S断面 自重時+風荷重+作業荷重 アンカーボルト反力分布



2-3 S断面

アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	11.64	4.49	11	6.28	8.31
-	-	-	12	3.72	14.03
3	13.18	3.96	13	7.56	6.91
4	10.53	4.96	-	-	-
5	11.67	4.47	15	6.83	7.65
6	12.74	4.10	16	7.18	7.27
-	-	-	17	3.33	15.69
8	11.88	4.39	18	6.72	7.76
9	12.01	4.35	-	-	-
10	10.67	4.89	20	5.63	9.27

は、反対側にボルトがない位置

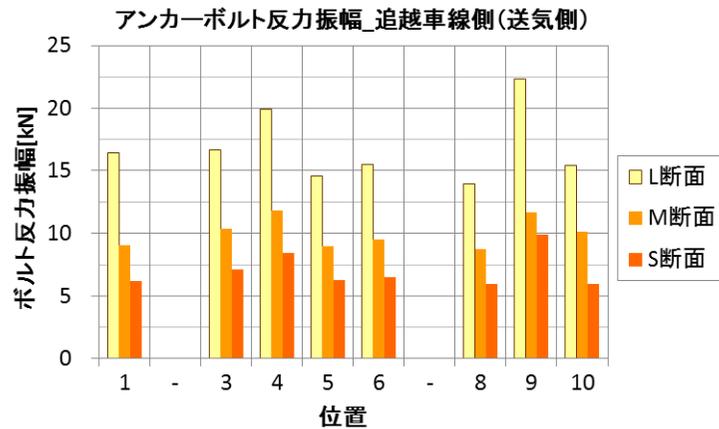
追越(送気)
走行(排気)

←6.6kN : 再現設計による死荷重+風荷重+作業荷重時作用力

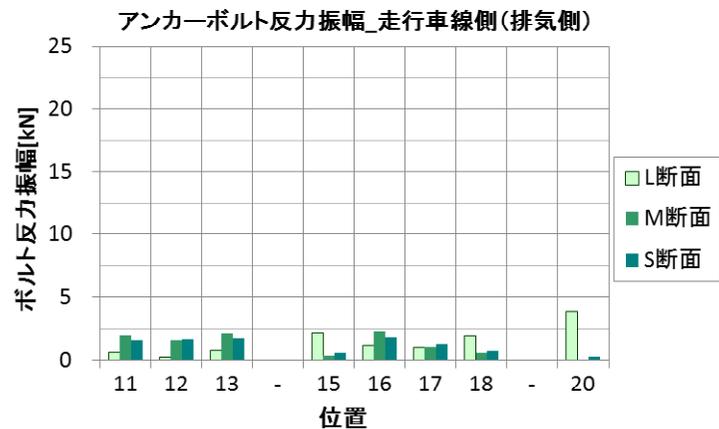
II-2 解析結果(4)

アンカーボルト反力の風荷重時と死荷重時の差(「振幅」と呼ぶ)に着目して、L、M、S断面による比較を実施
 ※アンカーボルトのばね定数は $K1=1.00 \times 10^8$ [N/mm]

単位:kN/本



位置	L断面			M断面			S断面		
	死荷重	風荷重	振幅	死荷重	風荷重	振幅	死荷重	風荷重	振幅
1	10.97	27.41	16.44	6.62	15.72	9.10	5.40	11.64	6.24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	12.33	29.01	16.69	7.43	17.84	10.41	6.03	13.18	7.15
4	4.37	24.37	20.00	2.54	14.41	11.87	2.09	10.53	8.44
5	10.96	25.57	14.61	6.53	15.50	8.97	5.36	11.67	6.31
6	12.78	28.27	15.49	7.63	17.14	9.51	6.25	12.74	6.49
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	11.97	25.96	13.99	7.23	15.99	8.76	5.86	11.88	6.02
9	4.35	26.72	22.37	2.57	14.28	11.71	2.11	12.01	9.90
10	9.60	25.00	15.41	5.71	15.87	10.16	4.68	10.67	5.99



位置	L断面			M断面			S断面		
	死荷重	風荷重	振幅	死荷重	風荷重	振幅	死荷重	風荷重	振幅
11	9.58	8.98	0.60	5.71	7.68	1.97	4.66	6.28	1.62
12	4.33	4.60	0.27	2.56	4.16	1.60	2.08	3.72	1.64
13	11.95	12.72	0.77	7.23	9.37	2.14	5.84	7.56	1.72
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	12.76	10.59	2.17	7.63	8.03	0.40	6.22	6.83	0.61
16	10.94	12.10	1.15	6.52	8.80	2.28	5.34	7.18	1.84
17	4.34	3.32	1.02	2.53	3.60	1.07	2.05	3.33	1.28
18	12.30	10.33	1.98	7.43	8.06	0.63	6.00	6.72	0.72
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	10.95	7.10	3.85	6.62	6.66	0.04	5.38	5.63	0.25

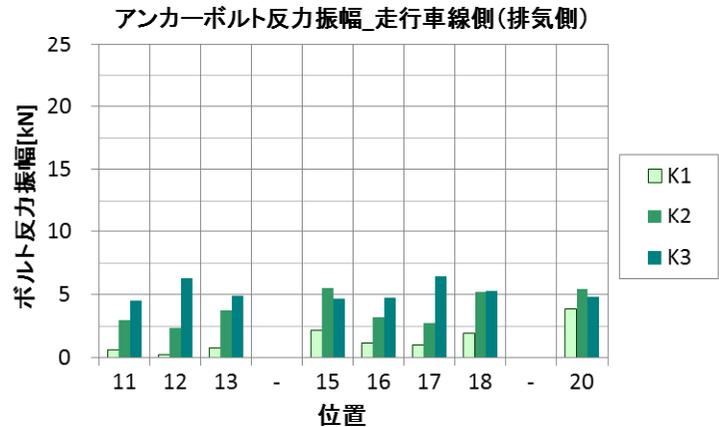
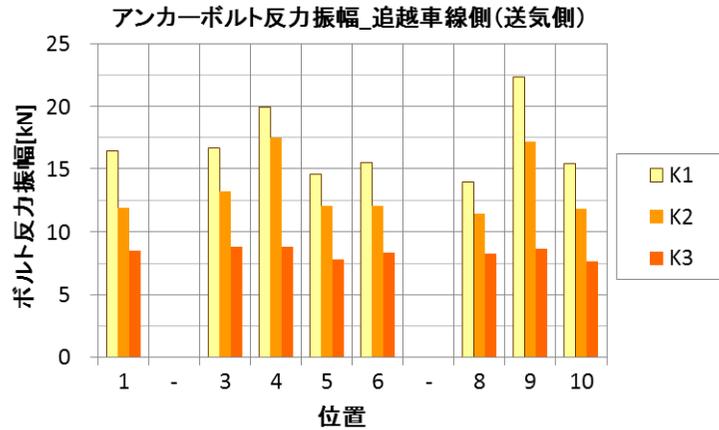
- ①換気運転の繰り返しにより、アンカーボルトに最大でL断面に20kN程度の振幅が発生する。
- ②走行車線の反力の振幅は追越車線に比べて小さい。
- ③追越車線側では、全てのアンカーボルトでL断面の振幅が最も大きい。

II-2 解析結果(4)

アンカーボルト反力の振幅_K1、K2、K3による比較

※L断面で比較

単位:kN/本



位置	K1 (ケース1-1-1) (ケース2-1-1) ※			K2 (ケース1-1-2) (ケース2-1-2) ※			K3 (ケース1-1-3) (ケース2-1-3) ※		
	死荷重	風荷重	振幅	死荷重	風荷重	振幅	死荷重	風荷重	振幅
1	10.97	27.41	16.44	11.07	22.96	11.89	11.03	19.56	8.54
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	12.33	29.01	16.69	12.08	25.33	13.25	10.77	19.59	8.83
4	4.37	24.37	20.00	4.77	22.20	17.43	7.37	16.20	8.83
5	10.96	25.57	14.61	10.73	22.83	12.10	9.72	17.57	7.85
6	12.78	28.27	15.49	12.62	24.67	12.05	11.36	19.70	8.34
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	11.97	25.96	13.99	11.70	23.13	11.43	10.38	18.64	8.27
9	4.35	26.72	22.37	4.77	21.96	17.19	7.31	16.01	8.70
10	9.60	25.00	15.41	9.55	21.40	11.85	9.27	16.93	7.67

位置	K1 (ケース1-1-1) (ケース2-1-1) ※			K2 (ケース1-1-2) (ケース2-1-2) ※			K3 (ケース1-1-3) (ケース2-1-3) ※		
	死荷重	風荷重	振幅	死荷重	風荷重	振幅	死荷重	風荷重	振幅
11	9.58	8.98	0.60	9.53	6.59	2.95	9.26	4.70	4.56
12	4.33	4.60	0.27	4.75	2.37	2.38	7.30	0.98	6.32
13	11.95	12.72	0.77	11.69	7.96	3.73	10.36	5.48	4.89
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	12.76	10.59	2.17	12.60	7.10	5.50	11.35	6.67	4.68
16	10.94	12.10	1.15	10.72	7.52	3.19	9.71	4.97	4.74
17	4.34	3.32	1.02	4.74	2.01	2.74	7.35	0.88	6.47
18	12.30	10.33	1.98	12.06	6.83	5.23	10.75	5.43	5.33
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	10.95	7.10	3.85	11.06	5.61	5.45	11.01	6.19	4.82

※ K1=1.00×10⁸[N/mm]、K2=2.41×10⁵[N/mm]、K3=1.42×10⁴[N/mm]

- ④ばね定数を変えた解析において、追越車線側ではばね定数が1.00×10⁸[N/mm] (ケース1-1-1と2-1-1の差分)のときに反力の振幅が最大となる。
- ⑤走行車線側では2.41×10⁵[N/mm] (ケース1-1-2と2-1-2の差分)または1.42×10⁴[N/mm] (ケース1-1-3と2-1-3の差分)のときに反力の振幅が最大となる。

II-3 風荷重の影響のまとめ(1)

各断面に着目した解析値/設計値の比較(ばね定数は $K1^{※1}$) 各ばね定数に着目した解析値/設計値の比較(L断面を対象)

位置	解析値/設計値 ^{※2}			位置	解析値/設計値 ^{※2}		
	L	M	S		L	M	S
1	2.25	2.12	1.76	11	0.74	1.04	0.95
-	-	-	-	12	0.38	0.56	0.56
3	2.38	2.41	2.00	13	1.04	1.27	1.15
4	2.00	1.95	1.60	-	-	-	-
5	2.10	2.09	1.77	15	0.87	1.08	1.03
6	2.32	2.32	1.93	16	0.99	1.19	1.09
-	-	-	-	17	0.27	0.49	0.50
8	2.13	2.16	1.80	18	0.85	1.09	1.02
9	2.19	1.93	1.82	-	-	-	-
10	2.05	2.14	1.62	20	0.58	0.90	0.85

位置	解析値/設計値 ^{※1、}			位置	解析値/設計値 ^{※1、}		
	K1	K2	K3		K1	K2	K3
1	2.25	2.47	2.10	11	0.74	0.71	0.51
-	-	-	-	12	0.38	0.26	0.11
3	2.38	2.72	2.11	13	1.04	0.86	0.59
4	2.00	2.39	1.74	-	-	-	-
5	2.10	2.46	1.89	15	0.87	0.76	0.72
6	2.32	2.65	2.12	16	0.99	0.81	0.53
-	-	-	-	17	0.27	0.22	0.10
8	2.13	2.49	2.00	18	0.85	0.73	0.58
9	2.19	2.36	1.72	-	-	-	-
10	2.05	2.30	1.82	20	0.58	0.60	0.67

■ は、反対側にボルトがない位置

※1 $K1=1.00 \times 10^8$ [N/mm]、 $K2=2.41 \times 10^5$ [N/mm]、 $K3=1.42 \times 10^4$ [N/mm]

※2 再現設計による死荷重+風荷重+作業荷重時作用力:12.2kN(L断面)、7.4kN(M断面)、6.6kN(S断面)

- ① 換気運転時は、隔壁に作用する風荷重により、送気側(ボルト位置1~10)のボルト作用力が、排気側(ボルト位置11~20)ボルト作用力よりも卓越。
- ② 16本の作用力を均等とし、かつ隔壁に作用する風荷重をアンカーボルトの設計に考慮していない当初設計の作用力(12.2kN:L断面)に対して、最大で2.5倍程度の作用力が発生

II-3 風荷重の影響のまとめ(2)

各断面に着目した安全率の比較(ばね定数はK1※¹)

位置	安全率※ ²			位置	安全率※ ²		
	L	M	S		L	M	S
1	1.90	3.32	4.49	11	5.81	6.80	8.31
-	-	-	-	12	11.34	12.55	14.03
3	1.80	2.93	3.96	13	4.10	5.57	6.91
4	2.14	3.62	4.96	-	-	-	-
5	2.04	3.37	4.47	15	4.93	6.50	7.65
6	1.85	3.05	4.10	16	4.31	5.94	7.27
-	-	-	-	17	15.73	14.48	15.69
8	2.01	3.26	4.39	18	5.05	6.48	7.76
9	1.95	3.65	4.35	-	-	-	-
10	2.09	3.29	4.89	20	7.35	7.84	9.27

■は、反対側にボルトがない位置

※¹ K1=1.00×10⁸[N/mm]、K2=2.41×10⁵[N/mm]、K3=1.42×10⁴[N/mm]

※² アンカーボルトの引き抜きの耐力:52.2kN/本

各ばね定数に着目した安全率の比較(L断面を対象)

位置	安全率※ ¹ 、※ ²			位置	安全率※ ¹ 、※ ²		
	K1	K2	K3		K1	K2	K3
1	1.90	2.27	2.67	11	5.81	7.92	11.11
-	-	-	-	12	11.34	21.99	53.28
3	1.80	2.06	2.66	13	4.10	6.56	9.53
4	2.14	2.35	3.22	-	-	-	-
5	2.04	2.29	2.97	15	4.93	7.35	7.83
6	1.85	2.12	2.65	16	4.31	6.94	10.51
-	-	-	-	17	15.73	26.00	59.06
8	2.01	2.26	2.80	18	5.05	7.64	9.62
9	1.95	2.38	3.26	-	-	-	-
10	2.09	2.44	3.08	20	7.35	9.31	8.43

■は、反対側にボルトがない位置

③ L断面は、当初設計では引抜けに関する安全率が4.5程度あったのに対して、最も低い値で2程度まで低下する

Ⅲ ボルトが均等配置であった場合

Ⅲ-1 目的および検討ケース

ケース No	1-1-1	1-1-2	1-1-3	1-2	1-3	2-1-1	2-1-2	2-1-3	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	
目的	ボルト配置の影響 (死荷重時)					ボルト配置の影響 (風荷重時)					ボルトが均等配置であった場合						
ボルト本数	16本					20本											
作用荷重	死荷重					死荷重+風荷重等					死荷重			死荷重+風荷重等			
ダクト断面	L断面	L断面	L断面	M断面	S断面	L断面	L断面	L断面	M断面	S断面	L断面	M断面	S断面	L断面	M断面	S断面	
接着系アンカーのばね値※	K1	K2	K3	K1		K2	K3			K1							

※接着系アンカーのばね定数(K1~K3)の具体的な値を以下のように設定した。

K1=1.00×10⁸[N/mm] 数値計算上、ボルト反力を大きく評価することを目的に値を設定

K2=2.41×10⁵[N/mm] 接着系アンカーに用いられているボルト鋼材の弾性係数のみに着目して設定

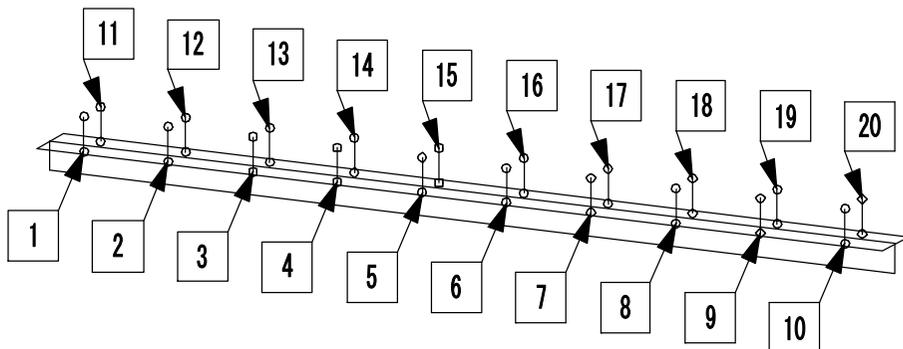
K3=1.42×10⁴[N/mm] 接着系アンカーの引抜き抵抗力試験結果から設定

: 本節の検討範囲

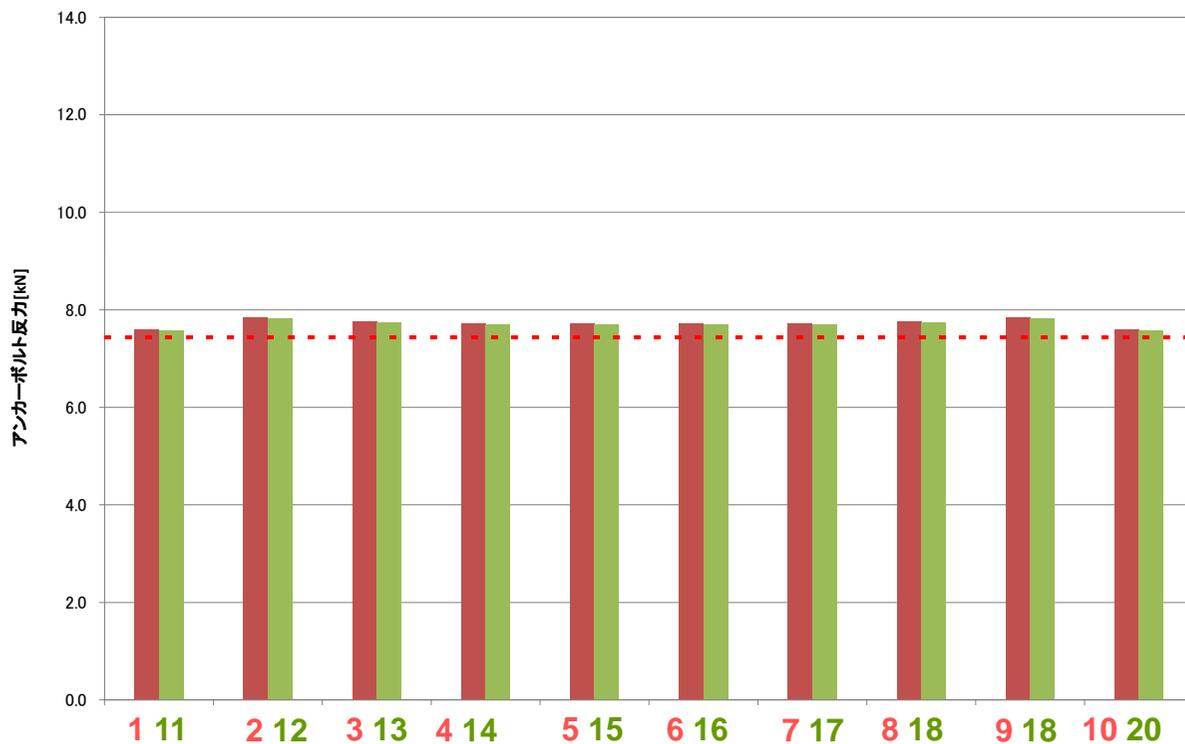
Ⅲ-2 解析結果

3-1 20本ボルト均等配置

3-1-1 死荷重時アンカーボルト反力分布(L断面)



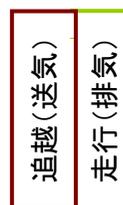
自重時 アンカーボルト反力分布



追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	7.60	5.49	11	7.59	5.50
2	7.85	5.32	12	7.83	5.33
3	7.76	5.38	13	7.74	5.39
4	7.73	5.40	14	7.71	5.41
5	7.72	5.41	15	7.71	5.42
6	7.72	5.41	16	7.71	5.42
7	7.73	5.40	17	7.71	5.41
8	7.76	5.38	18	7.74	5.39
9	7.85	5.32	19	7.83	5.33
10	7.60	5.49	20	7.59	5.50

※安全率はボルト16本配置換算とするため、
耐力を $52.2 \times 16 / 20 = 41.8\text{kN}$ で計算

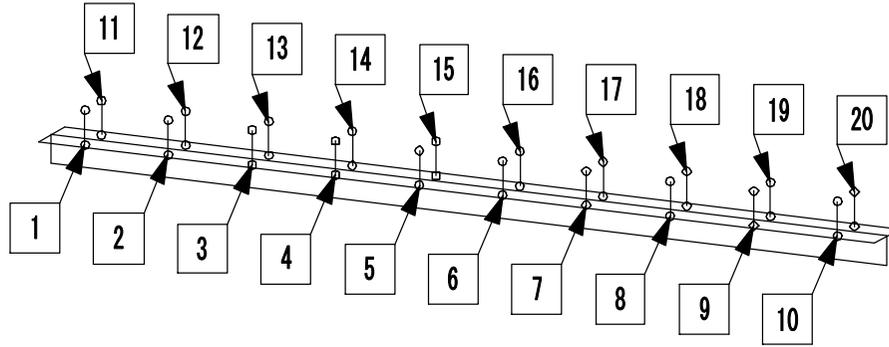
←7.4kN :再現設計による死荷重時作用力



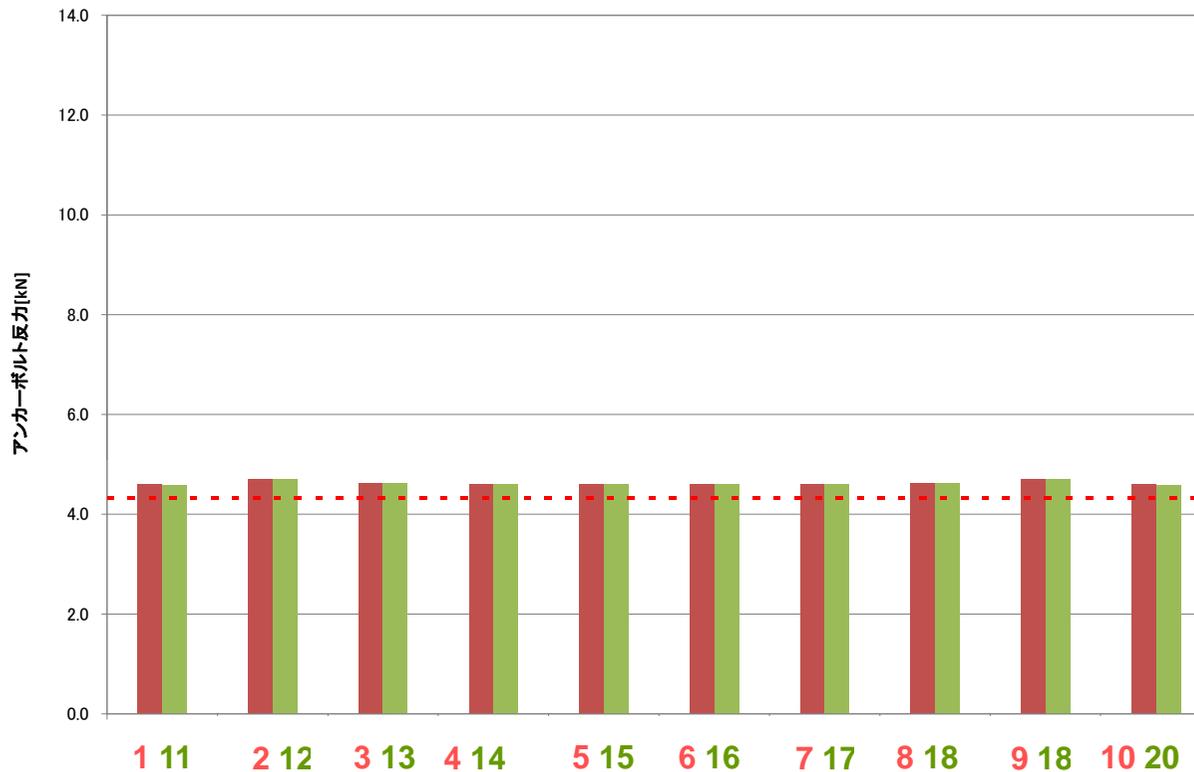
Ⅲ-2 解析結果

3-1 20本ボルト均等配置

3-1-2 死荷重時アンカーボルト反力分布 (M断面)



M断面 自重時 アンカーボルト反力分布



追越車線 (送気側)			走行車線 (排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	4.60	9.08	11	4.59	9.10
2	4.71	8.88	12	4.70	8.89
3	4.63	9.03	13	4.62	9.04
4	4.61	9.07	14	4.60	9.08
5	4.60	9.08	15	4.60	9.09
6	4.60	9.08	16	4.60	9.09
7	4.61	9.07	17	4.60	9.08
8	4.63	9.03	18	4.62	9.04
9	4.71	8.88	19	4.70	8.89
10	4.60	9.08	20	4.59	9.10

※安全率はボルト16本配置換算とするため、耐力を $52.2 \times 16 / 20 = 41.8\text{kN}$ で計算

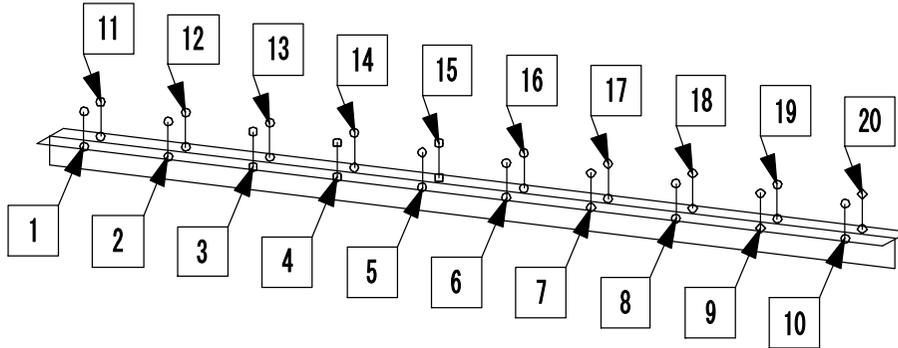
追越 (送気)
走行 (排気)

← 4.3kN : 再現設計による死荷重時作用力

Ⅲ-2 解析結果

3-1 20本ボルト均等配置

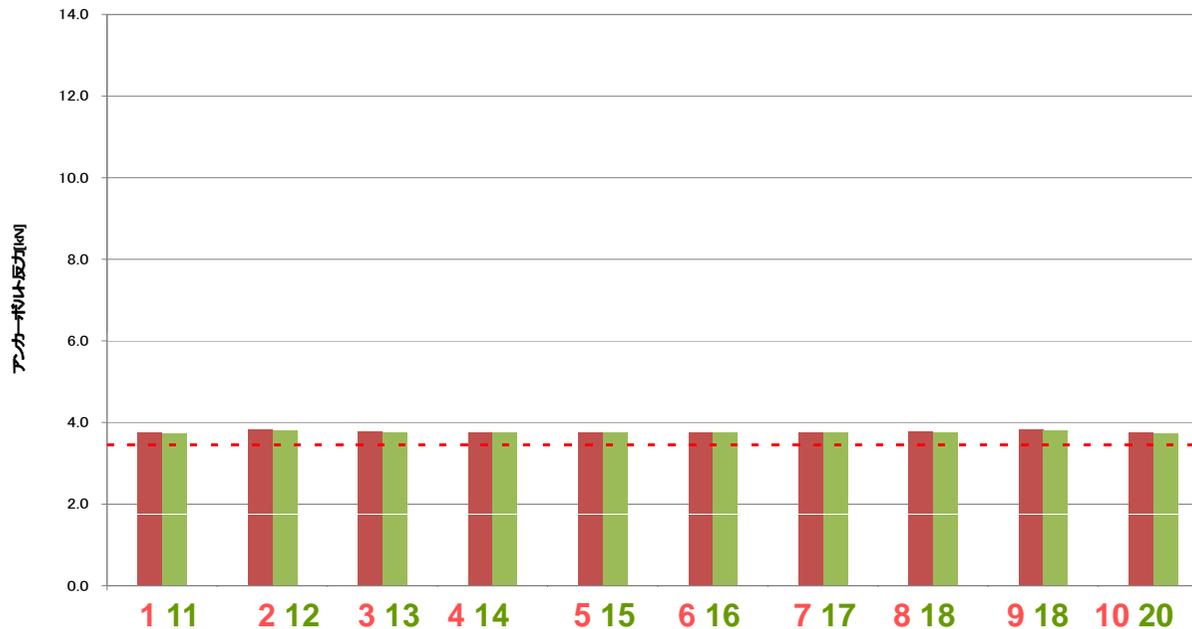
3-1-3 死荷重時アンカーボルト反力分布(S断面)



追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	3.75	11.13	11	3.73	11.18
2	3.83	10.90	12	3.81	10.96
3	3.78	11.06	13	3.76	11.12
4	3.77	11.09	14	3.75	11.15
5	3.76	11.09	15	3.74	11.16
6	3.76	11.09	16	3.74	11.16
7	3.77	11.09	17	3.75	11.15
8	3.78	11.06	18	3.76	11.12
9	3.83	10.90	19	3.81	10.96
10	3.75	11.13	20	3.73	11.18

※安全率はボルト16本配置換算とするため、
耐力を $52.2 \times 16 / 20 = 41.8\text{kN}$ で計算

S断面 自重時 アンカーボルト反力分布

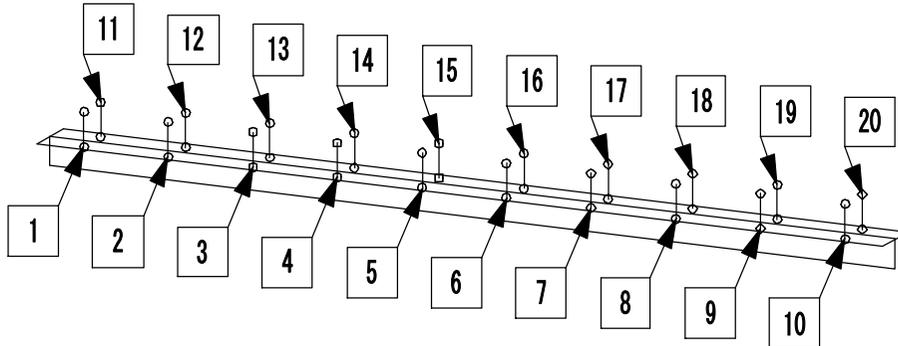


←3.4kN :再現設計による死荷重時作用力

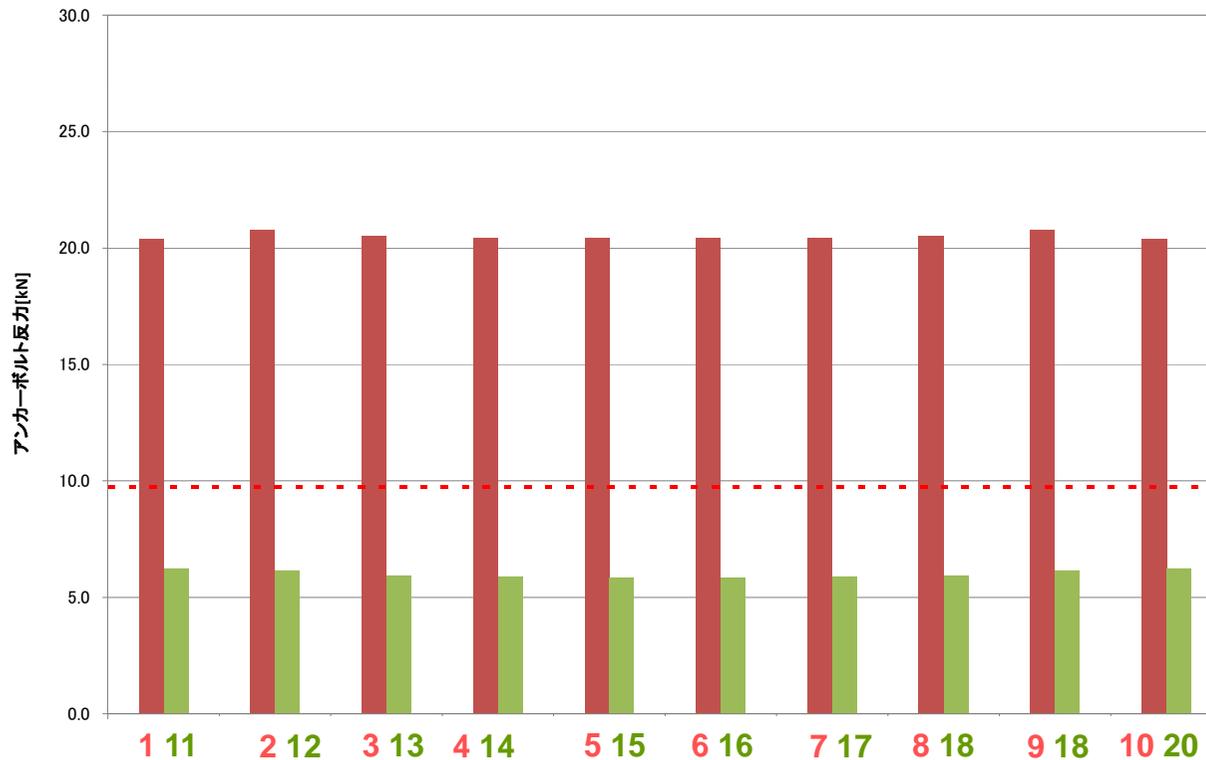
Ⅲ-2 解析結果

3-2 20本ボルト均等配置

3-2-1 死荷重+風荷重等アンカーボルト反力分布(L断面)



自重時+風荷重+作業荷重 アンカーボルト反力分布



追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	20.38	2.05	11	6.21	6.72
2	20.80	2.01	12	6.14	6.80
3	20.50	2.04	13	5.92	7.05
4	20.45	2.04	14	5.89	7.10
5	20.43	2.04	15	5.87	7.12
6	20.43	2.04	16	5.87	7.12
7	20.45	2.04	17	5.89	7.10
8	20.50	2.04	18	5.92	7.05
9	20.80	2.01	19	6.14	6.80
10	20.38	2.05	20	6.21	6.72

※安全率はボルト16本配置換算とするため、耐力を $52.2 \times 16 / 20 = 41.8\text{kN}$ で計算

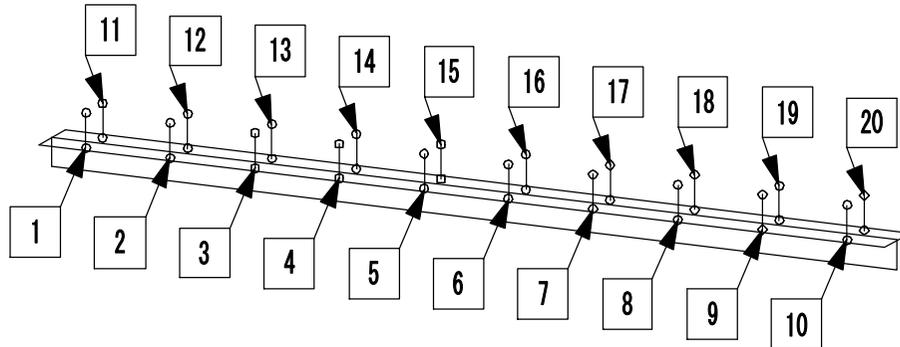
追越 (送気)
走行 (排気)

←9.8kN : 再現設計による死荷重+風荷重+作業荷重時作用力

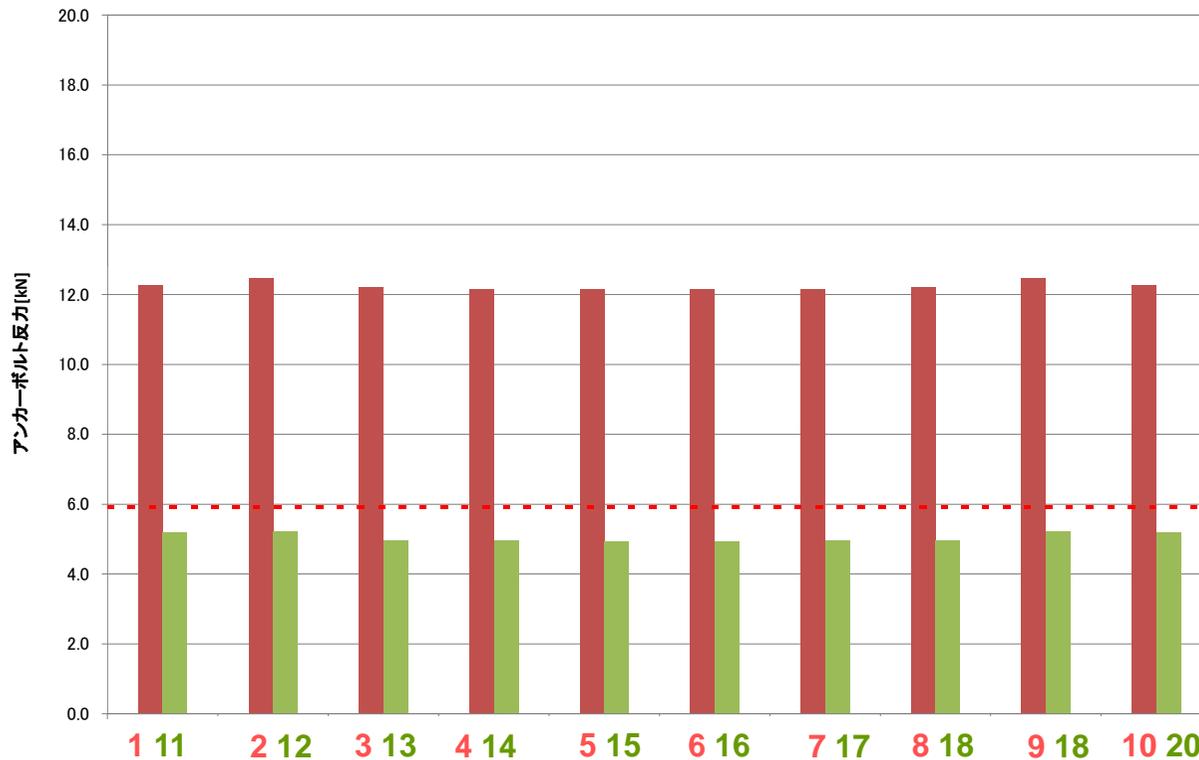
Ⅲ-2 解析結果

3-2 20本ボルト均等配置

3-2-2 死荷重+風荷重等アンカーボルト反力分布(M断面)



M断面 自重時+風荷重+作業荷重 アンカーボルト反力分布



追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	12.27	3.40	11	5.20	8.04
2	12.46	3.35	12	5.22	8.00
3	12.20	3.42	13	4.96	8.42
4	12.16	3.43	14	4.95	8.43
5	12.14	3.44	15	4.94	8.46
6	12.14	3.44	16	4.94	8.46
7	12.16	3.43	17	4.95	8.43
8	12.20	3.42	18	4.96	8.42
9	12.46	3.35	19	5.22	8.00
10	12.27	3.40	20	5.20	8.04

※安全率はボルト16本配置換算とするため、耐力を $52.2 \times 16 / 20 = 41.8\text{kN}$ で計算

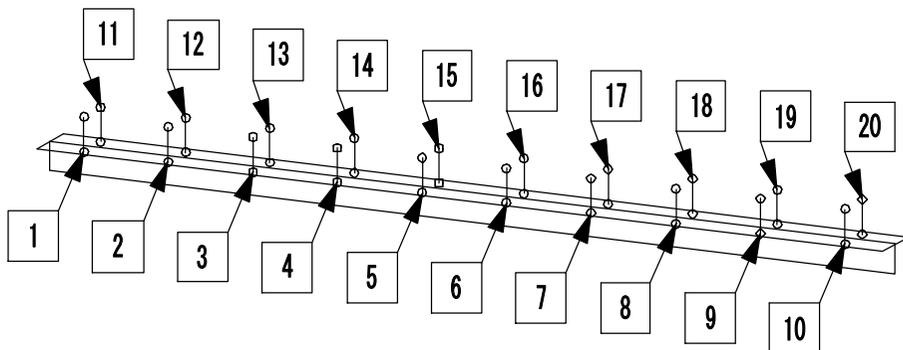
追越(送気)
走行(排気)

←5.9kN : 再現設計による死荷重+風荷重+作業荷重時作用力

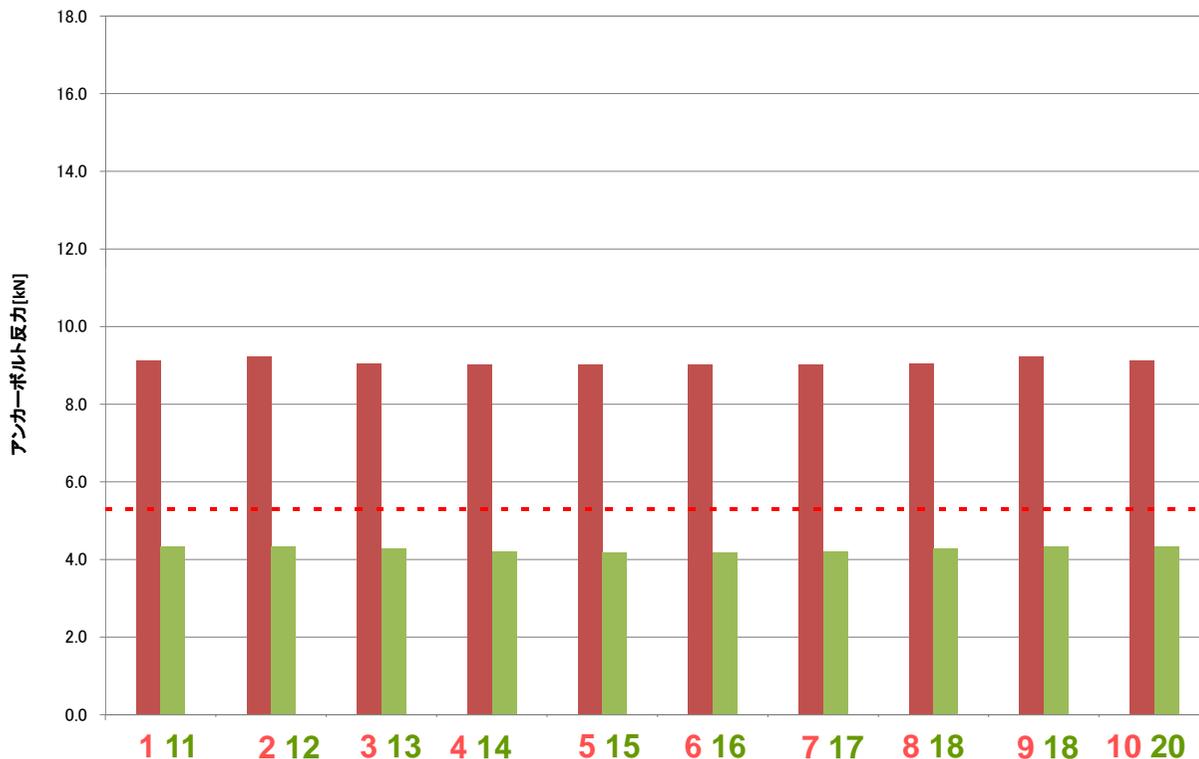
Ⅲ-2 解析結果

3-2 20本ボルト均等配置

3-2-3 死荷重+風荷重等アンカーボルト反力分布(S断面)



S断面 自重時+風荷重+作業荷重 アンカーボルト反力分布



追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	9.13	4.57	11	4.32	9.67
2	9.23	4.52	12	4.33	9.65
3	9.04	4.62	13	4.27	9.78
4	9.02	4.63	14	4.21	9.93
5	9.01	4.63	15	4.18	9.99
6	9.01	4.63	16	4.18	9.99
7	9.02	4.63	17	4.21	9.93
8	9.04	4.62	18	4.27	9.78
9	9.23	4.52	19	4.33	9.65
10	9.13	4.57	20	4.32	9.67

※安全率はボルト16本配置換算とするため、耐力を $52.2 \times 16 / 20 = 41.8\text{kN}$ で計算

追越(送気)
走行(排気)

←5.3kN : 再現設計による死荷重+風荷重+作業荷重時作用力

Ⅲ-3 均等配置であった場合のまとめ

【死荷重時(L断面、ばね定数はK1※1)】

<20本 均等配置>

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率※2	位置	反力 [kN]	安全率
1	7.60	5.49	11	7.59	5.50
2	7.85	5.32	12	7.83	5.33
3	7.76	5.38	13	7.74	5.39
4	7.73	5.40	14	7.71	5.41
5	7.72	5.41	15	7.71	5.42
6	7.72	5.41	16	7.71	5.42
7	7.73	5.40	17	7.71	5.41
8	7.76	5.38	18	7.74	5.39
9	7.85	5.32	19	7.83	5.33
10	7.60	5.49	20	7.59	5.50

<16本 不均等配置>

アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	10.97	4.76	11	9.58	5.45
-	-	-	12	4.33	12.06
3	12.33	4.24	13	11.95	4.37
4	4.37	11.95	-	-	-
5	10.96	4.76	15	12.76	4.09
6	12.78	4.09	16	10.94	4.77
-	-	-	17	4.34	12.03
8	11.97	4.36	18	12.30	4.24
9	4.35	12.01	-	-	-
10	9.60	5.44	20	10.95	4.77

■は、反対側にボルトがない位置

※1 $K1=1.00 \times 10^8$ [N/mm]

※2 均等配置の場合の安全率は、アンカーボルトの耐力をボルト16本換算で算出

【死荷重+風荷重等時(L断面、ばね定数はK1※1)】

<20本 均等配置>

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率※2	位置	反力 [kN]	安全率
1	20.38	2.05	11	6.21	6.72
2	20.80	2.01	12	6.14	6.80
3	20.50	2.04	13	5.92	7.05
4	20.45	2.04	14	5.89	7.10
5	20.43	2.04	15	5.87	7.12
6	20.43	2.04	16	5.87	7.12
7	20.45	2.04	17	5.89	7.10
8	20.50	2.04	18	5.92	7.05
9	20.80	2.01	19	6.14	6.80
10	20.38	2.05	20	6.21	6.72

<16本 不均等配置>

アンカーボルト引き抜きの耐力: 52.2kN/本

追越車線(送気側)			走行車線(排気側)		
位置	反力 [kN]	安全率	位置	反力 [kN]	安全率
1	27.41	1.90	11	8.98	5.81
-	-	-	12	4.60	11.34
3	29.01	1.80	13	12.72	4.10
4	24.37	2.14	-	-	-
5	25.57	2.04	15	10.59	4.93
6	28.27	1.85	16	12.10	4.32
-	-	-	17	3.32	15.73
8	25.96	2.01	18	10.33	5.05
9	26.72	1.95	-	-	-
10	25.00	2.09	20	7.10	7.35

■は、反対側にボルトがない位置

※1 $K1=1.00 \times 10^8$ [N/mm]

※2 均等配置の場合の安全率は、アンカーボルトの耐力をボルト16本換算で算出

- ① 死荷重時は、不均等配置での安全率は最小で4程度であったが、均等配置によりボルト位置でのばらつきはなくなり、安全率は5以上になる。
- ② 風荷重により、送気側のボルト作用力が排気側ボルト作用力よりも卓越する傾向は、均等配置にしても不均等配置と同じであるが、送気側および排気側の範囲でのばらつきは少なくなり、極端に負担率の少ないボルトはなくなるため、最小安全率は2以上になる。