

顧客：xxxxxxx 殿

液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

令和 5 (2023)年 1 月25日

有限会社 日本プラント設計

目 次

代表例を添付します。

		頁
1	適用法規、関連規格及び基準 -----	1
2	解析手法 -----	1
3	解析条件 -----	1
4	荷重の組合せ及び許容応力 -----	1
5	応力解析表 -----	2
6	モデル図 -----	3
7	応力図 -----	11
8	エキスパンション変形量 -----	16
9	サポート荷重 -----	17
10	変位図 -----	23
11	外部配管アイソメ図 -----	27

試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

1. 適用法規、関連規格及び基準

- 1.1 高圧ガス設備等耐震設計指針
- 1.2 ASME B31.3 Process Piping

2. 解析手法

- 2.1 剛性マトリックス法による詳細解析を行い、配管系の節点に生じる反力、応力、変位量を算出する。
- 2.2 使用プログラム
Auto PIPE Version 12.08 (株式会社ベントレーシステムズ)

3. 解析条件

- 3.1 内圧荷重
設計圧力によって生じる長手方向応力
- 3.2 熱荷重
ケース1：長軸玉形弁(ジャケット付)が開いた状態
ケース2：長軸玉形弁(ジャケット付)が閉じた状態
- 3.3 地震荷重
水平地震力：0.3G 鉛直地震力：0.15G
- 3.4 相対変位
長期：タンク配管支持点のタンク熱伸縮に基づく変位量
地震：タンク配管支持点の水平方向地震に基づく変位量
- 3.5 配管溶接継手効率
0.7とする。(溶接部の放射線透過試験は20%未満実施する。)

4. 荷重の組合せ及び許容応力

各荷重条件における許容応力は表-1 許容応力一覧表による。

表-1: 配管応力評価において考慮する荷重の組合せとその許容応力一覧表

荷重の種類	荷重条件						許容応力(N/mm ²)
	内圧	固定	温度	長期相対変位	地震		
					慣性力	相対変位	
内圧荷重	○						σ
固定荷重	○	○					σ_h
地震荷重	○	○			○		$S = \text{MIN} (0.6S_u, 0.9S_y)$
地震+相対変位					○	○	$2S_y$
熱荷重	○	○	○	○			$\sigma_A = f[1.25(\sigma_c + \sigma_h) - \sigma_L]$

記号説明

- S_y：常温及び設計温度における降伏点又は0.2%耐力のうち小さい方の値
- S_u：常温及び設計温度における引張強さのうち小さい方の値
- σ ：内圧による許容応力
- σ_h ：運転時温度における材料の基本許容応力
- σ_c ：常温時温度における材料の基本許容応力
- S：配管の長手方向応力に対する耐震設計用許容応力
- σ_A ：熱変位合成応力に対する許容応力
- σ_L ：固定荷重において発生する長手方向応力
- f：応力範囲減少係数(サイクル7000以下として f = 1.0)

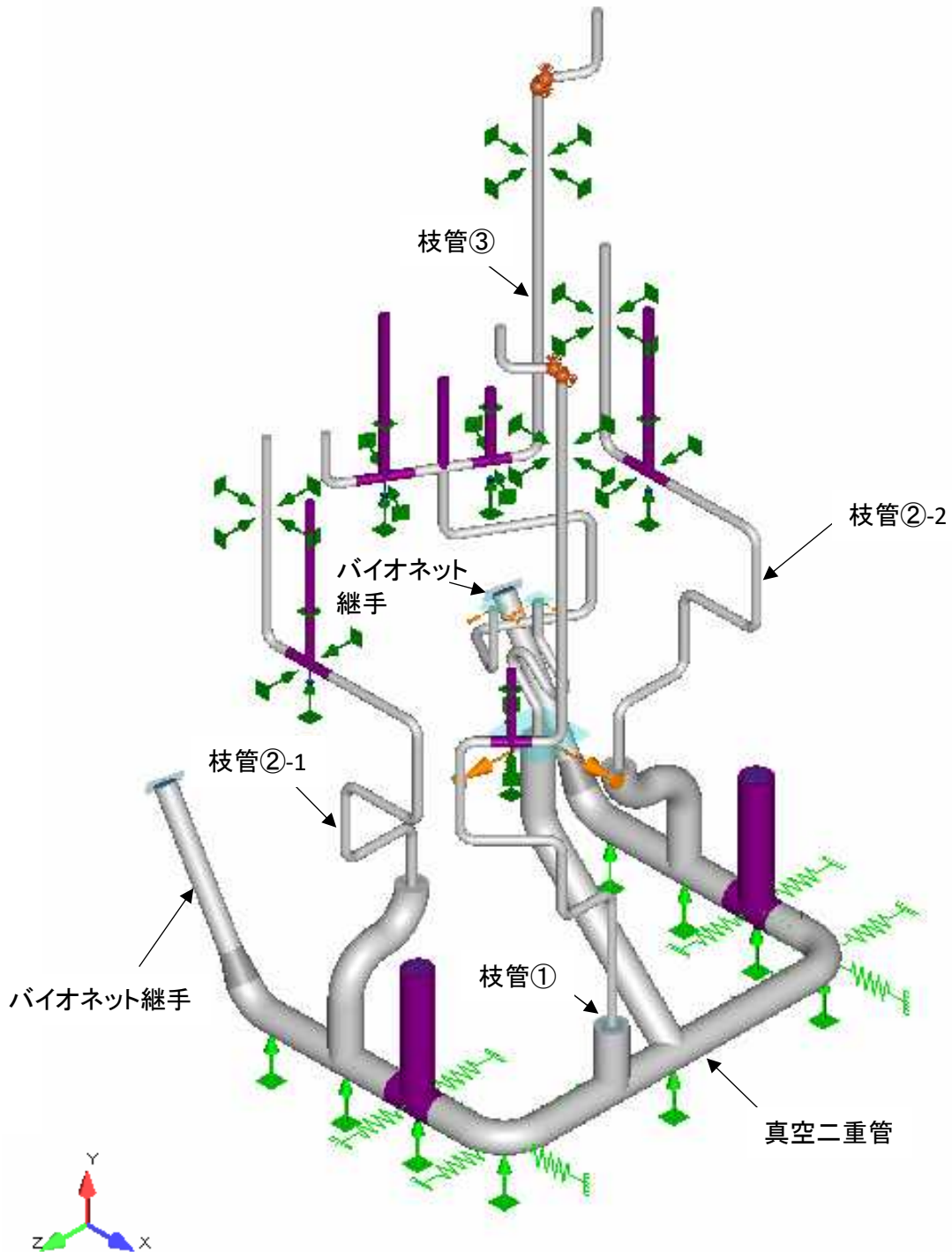
試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

5. 応力解析表

ケース		最大応力 発生点	発生応力 度 (N/mm ²)	許容応力 度 (N/mm ²)	評価
荷重の 組み 合わせ	①自重+内圧	B06	95.9	114.0	OK
	②温度(ケース1)	B02	229.3	246.2	OK
	③温度(ケース2)	B02	224.7	246.2	OK
	④自重+内圧+地震(X,Y)	B06	96.1	157.5	OK
	⑤自重+内圧+地震(X,-Y)	B06	96.1	157.5	OK
	⑥自重+内圧+地震(-X,Y)	B06	96.1	157.5	OK
	⑦自重+内圧+地震(-X,-Y)	B06	96.1	157.5	OK
	⑧自重+内圧+地震(Y,Z)	B06	96.6	157.5	OK
	⑨自重+内圧+地震(-Y,Z)	B06	96.6	157.5	OK
	⑩自重+内圧+地震(Y,-Z)	B06	96.6	157.5	OK
	⑪自重+内圧+地震(-Y,-Z)	B06	96.6	157.5	OK
	⑫地震(X,Y)+相対変位(X)	H02	100.2	410.0	OK
	⑬地震(X,-Y)+相対変位(X)	H02	100.2	410.0	OK
	⑭地震(-X,Y)+相対変位(-X)	H02	100.2	410.0	OK
	⑮地震(-X,-Y)+相対変位(-X)	H02	100.2	410.0	OK
	⑯地震(Y,Z)+相対変位(Z)	H02	34.6	410.0	OK
	⑰地震(-Y,Z)+相対変位(Z)	H02	34.6	410.0	OK
	⑱地震(Y,-Z)+相対変位(-Z)	H02	34.6	410.0	OK
	⑲地震(-Y,-Z)+相対変位(-Z)	H02	34.6	410.0	OK

試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

6. モデル図
6.1 全体

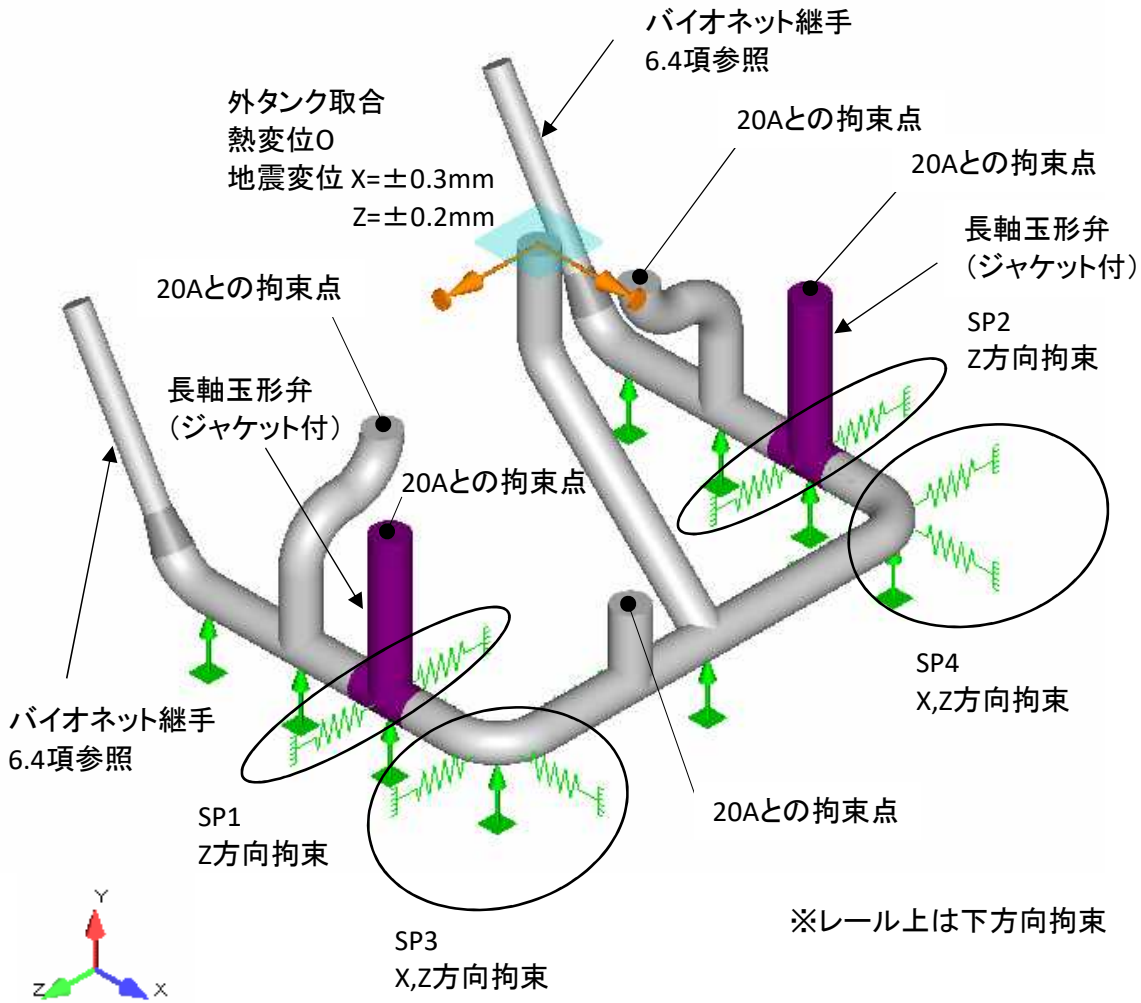


試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

6.2 真空二重管 (80A)

温度ケース1
 長軸玉型弁(ジャケット付)開
 圧力： 10^{-2} Pa
 温度：40°C

温度ケース2
 長軸玉型弁(ジャケット付)閉
 圧力： 10^{-2} Pa
 温度：40°C



実外径 (mm)	スケジュール	肉厚 (mm)	流体比重	配管材質	線膨張量 (ケース1) (mm/m)	線膨張量 (ケース2) (mm/m)
89.1	10S	3.0	0	SUS304TP-S	0.000	0.000

常温時許容応力 N/mm ²	運転時許容応力 (ケース1) N/mm ²	運転時許容応力 (ケース2) N/mm ²	最小降伏点(Sy) N/mm ²	最小引張強さ(Su) N/mm ²
137	137	137	205	520

試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

6.3 真空二重管 (20A)

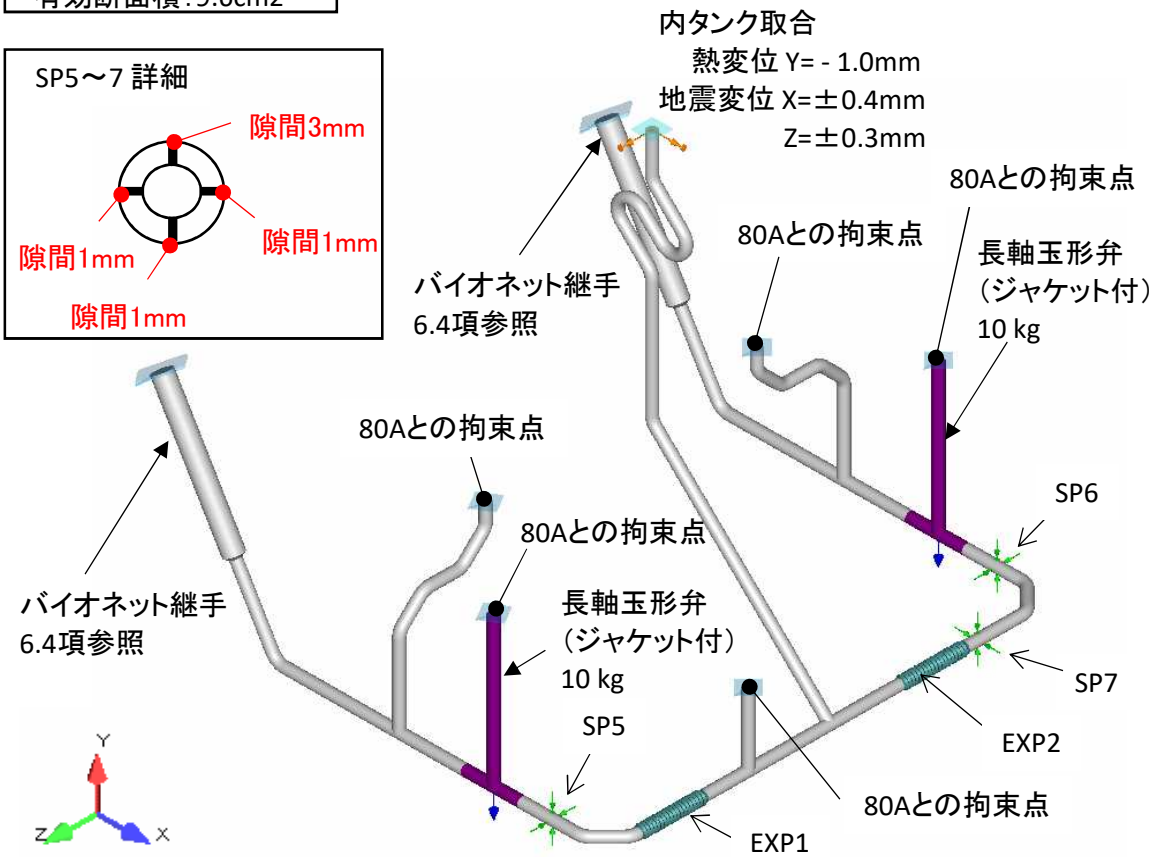
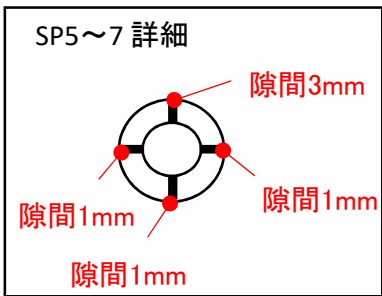
温度ケース1

長軸玉型弁(ジャケット付)開
 タンク～長軸玉型弁 長軸玉型弁後流
 圧力: 1.1013 MPa 圧力: 1.1013 MPa
 温度: -253°C 温度: -253°C

温度ケース2

長軸玉型弁(ジャケット付)閉
 タンク～長軸玉型弁 長軸玉型弁後流
 圧力: 1.1013 MPa 圧力: 0.1013 MPa
 温度: -253°C 温度: 40°C

EXP1,2 詳細
 管軸剛性: 19.8 N/mm
 せん断剛性: RIGID
 有効断面積: 9.6cm²



タンク～
 長軸玉形弁
 (ジャケット付)
 長軸玉形弁
 (ジャケット付)
 後流

実外径 (mm)	スケジュール	肉厚 (mm)	流体比重	配管材質	線膨張量 (ケース1) (mm/m)	線膨張量 (ケース2) (mm/m)
27.2	10S	2.1	1	SUS316LTP-S	-4.298	-4.298
27.2	10S	2.1	1	SUS316LTP-S	-4.298	0.000

タンク～
 長軸玉形弁
 (ジャケット付)
 長軸玉形弁
 (ジャケット付)
 後流

常温時許容応力 N/mm ²	運転時許容応力 (ケース1) N/mm ²	運転時許容応力 (ケース2) N/mm ²	最小降伏点(Sy) N/mm ²	最小引張強さ(Su) N/mm ²
114	114	114	175	480
114	114	114	175	480

試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

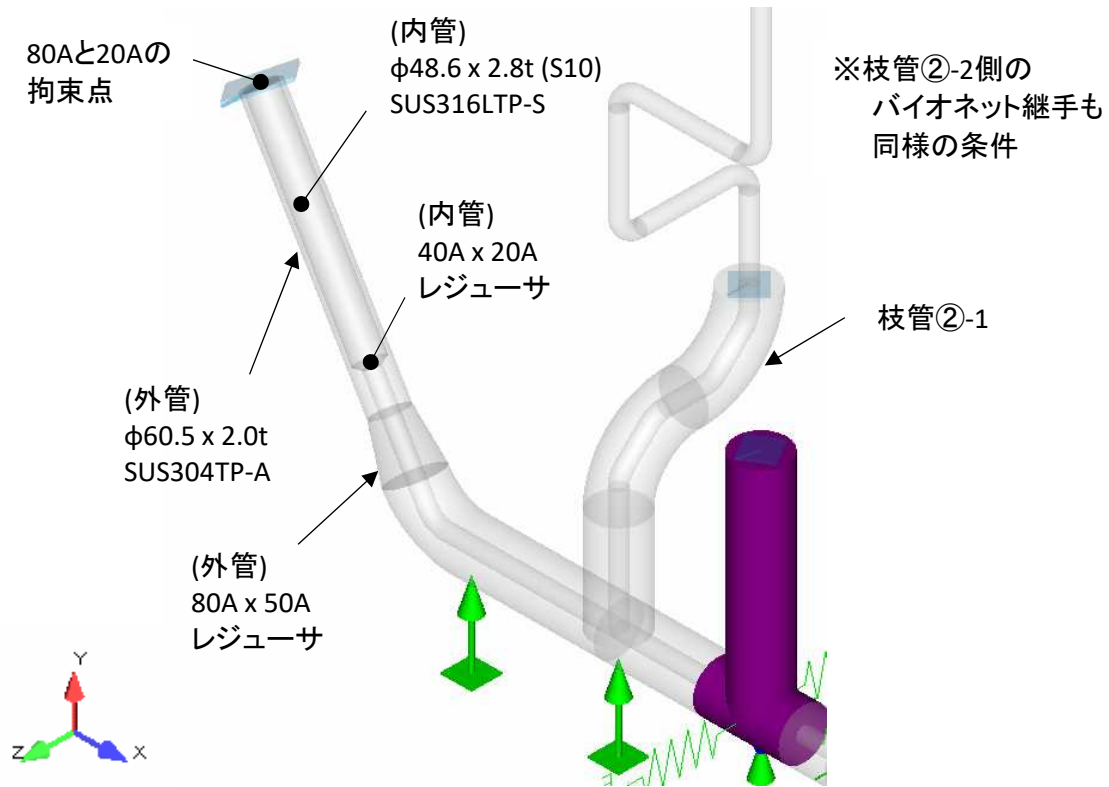
6.4 バイオネット継手

外管
 温度ケース1
 長軸玉型弁(ジャケット付)開
 圧力 : 10^{-2} Pa
 温度 : 40°C

外管
 温度ケース2
 長軸玉型弁(ジャケット付)閉
 圧力 : 10^{-2} Pa
 温度 : 40°C

内管
 温度ケース1
 長軸玉型弁(ジャケット付)開
 圧力 : 1.1013 MPa
 温度 : -253°C

内管
 温度ケース2
 長軸玉型弁(ジャケット付)閉
 圧力 : 0.1013 MPa
 温度 : 40°C

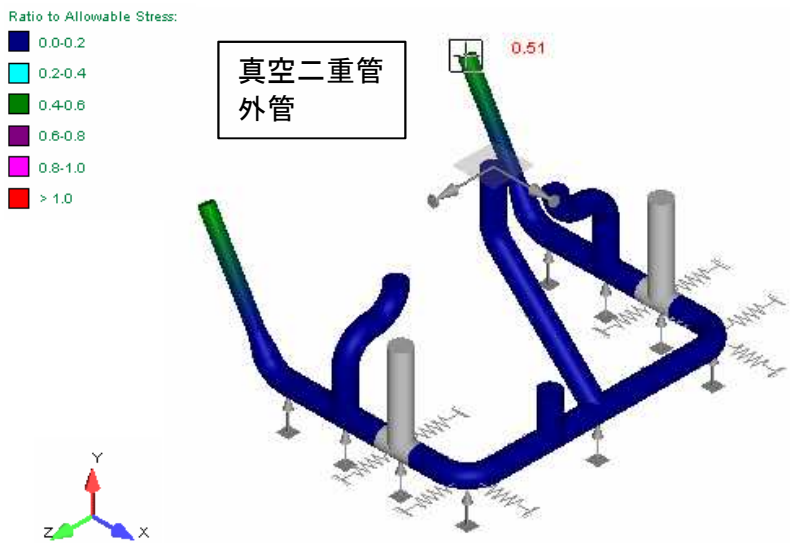
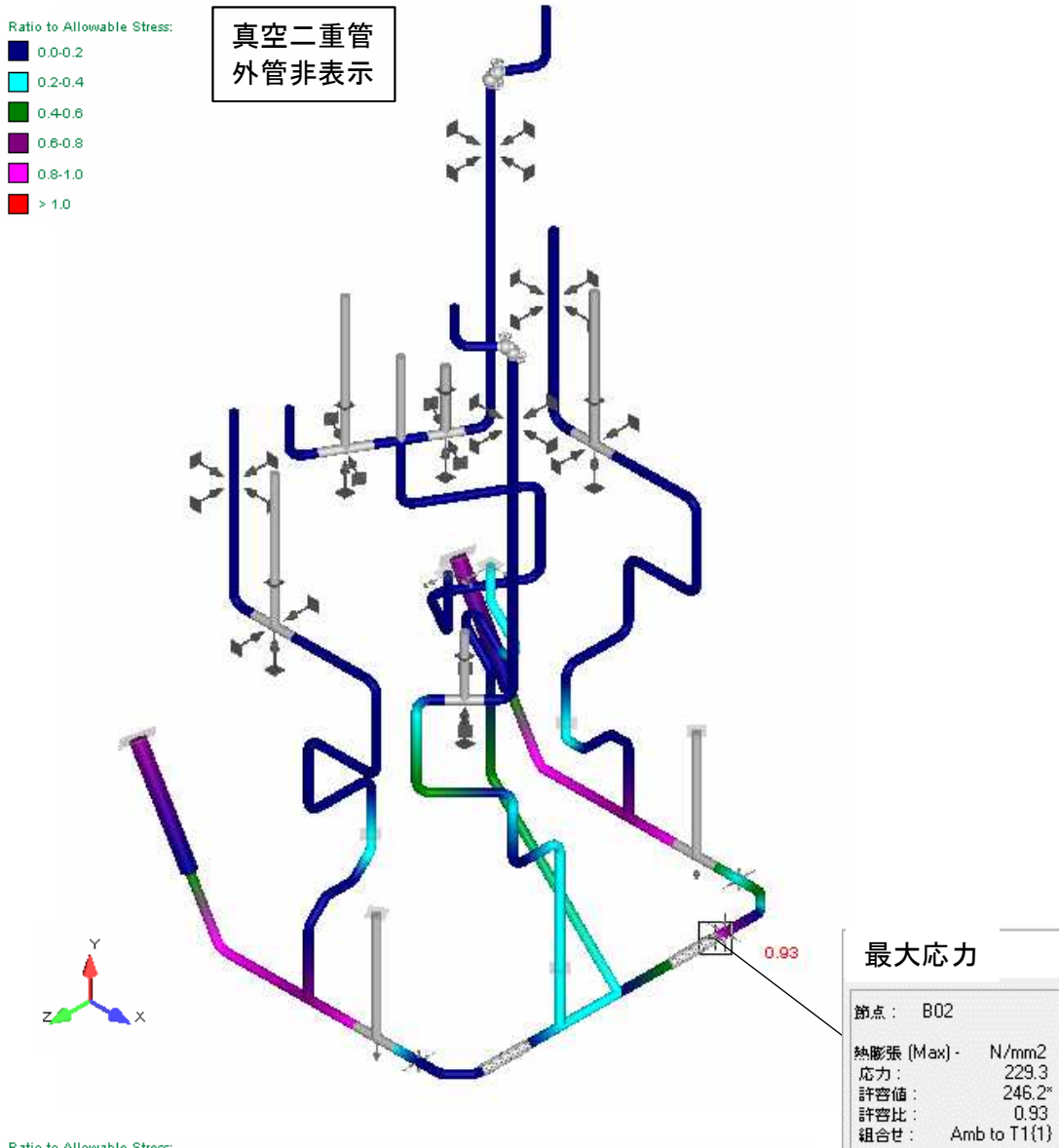


	実外径 (mm)	スケジュール	肉厚 (mm)	流体比重	配管材質	線膨張量 (ケース1) (mm/m)	線膨張量 (ケース2) (mm/m)
外管	60.5	-	2.0	0	SUS304TP-A	0.000	0.000
内管	48.6	10S	2.8	1	SUS316LTP-S	-4.298	0.000

	常温時許容応力 N/mm ²	運転時許容応力 (ケース1) N/mm ²	運転時許容応力 (ケース2) N/mm ²	最小降伏点(Sy) N/mm ²	最小引張強さ(Su) N/mm ²
外管	116	116	116	205	520
内管	114	114	114	175	480

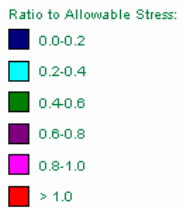
試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

7.2 温度(ケース1)

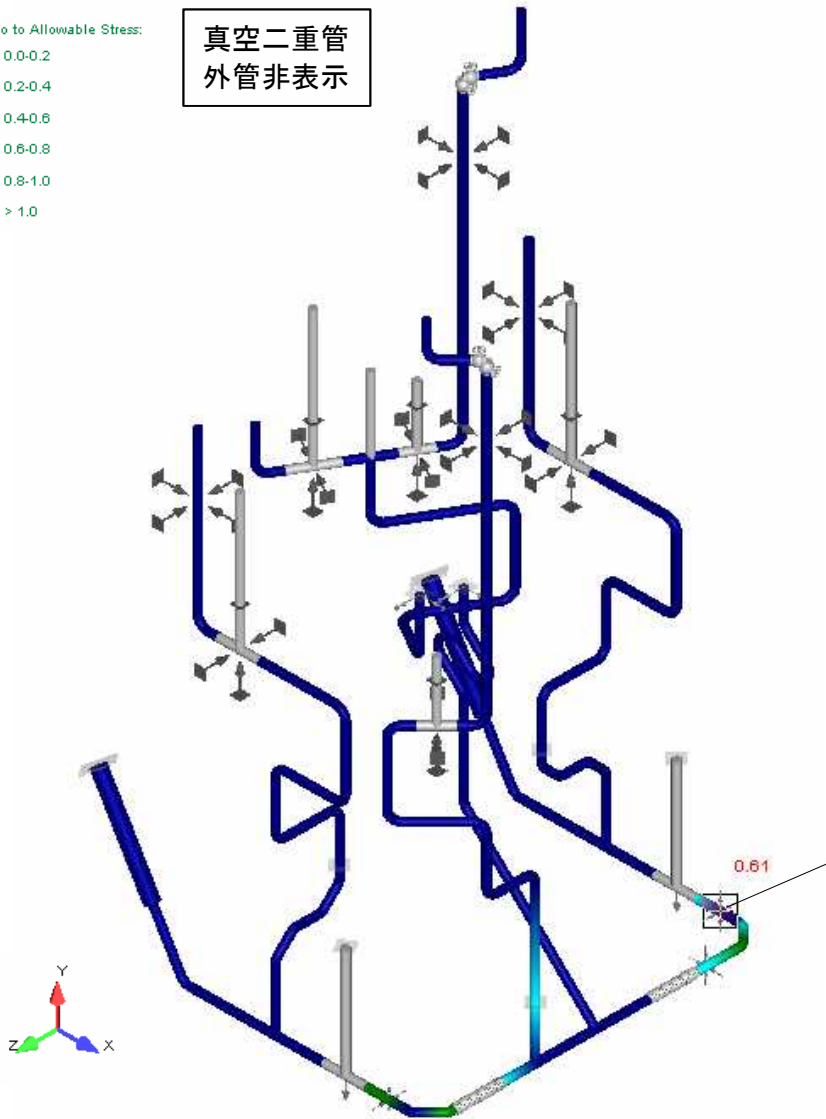


試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

7.4 自重+内圧+地震 最大

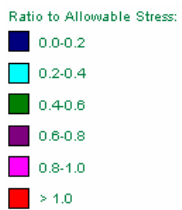


真空二重管
外管非表示

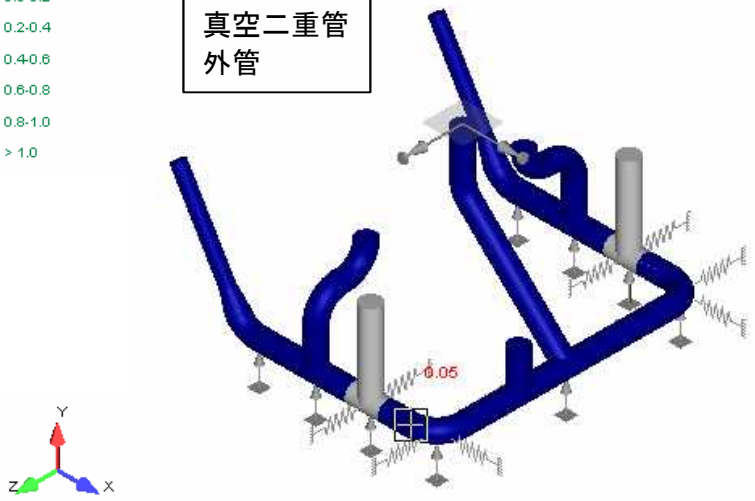


最大応力

節点:	B06
L1-長手 (Max) -	N/mm ²
応力:	96.6
許容値:	157.5
許容比:	0.61
組合せ:	PW+Z+Y (E)

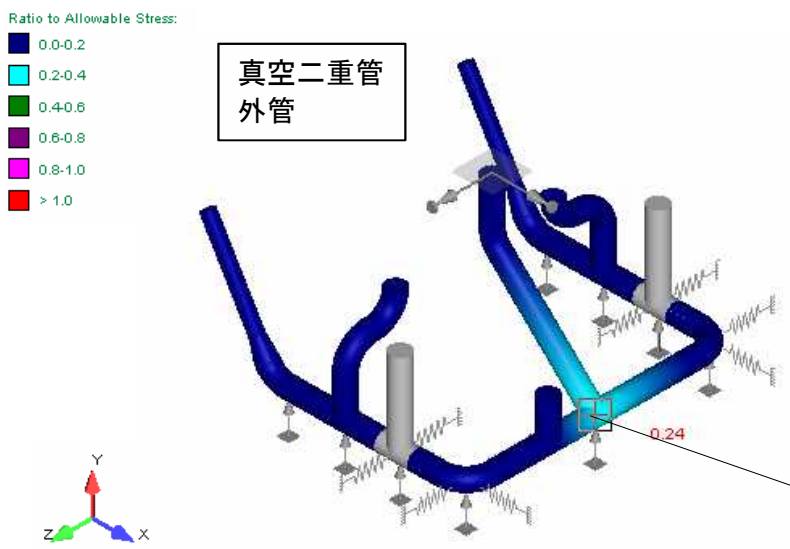
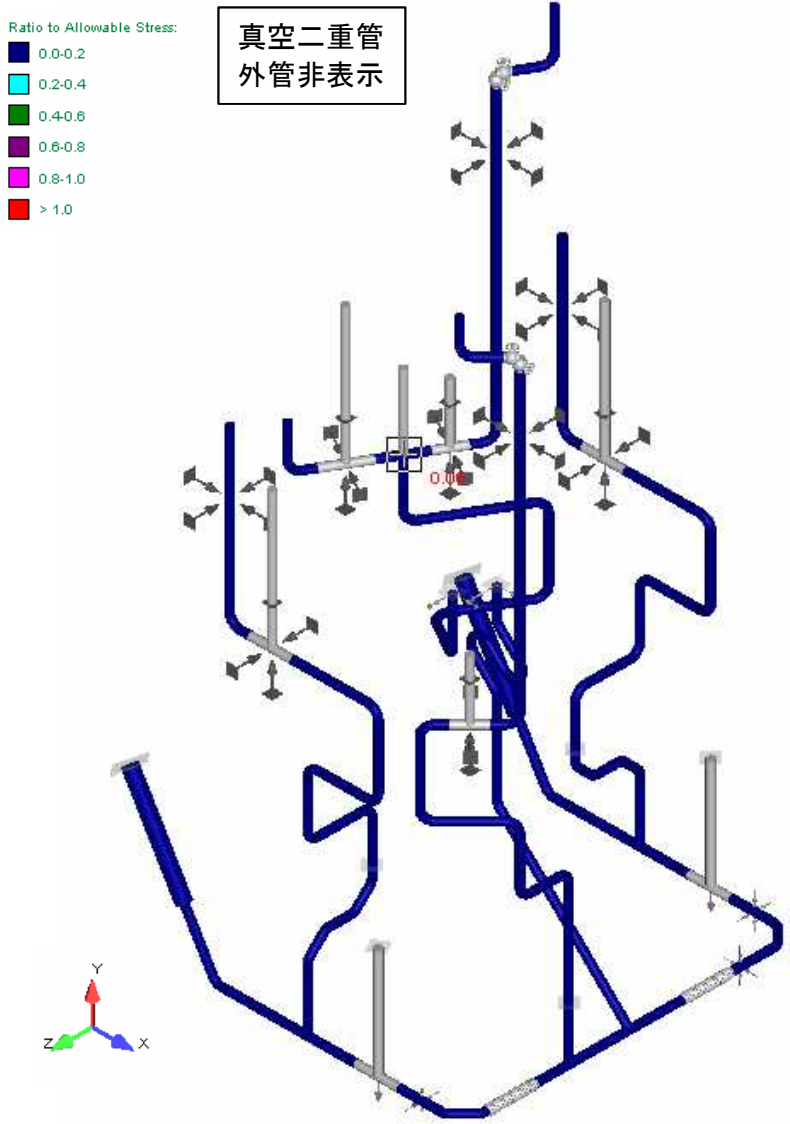


真空二重管
外管



試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

7.5 地震+相対変位 最大



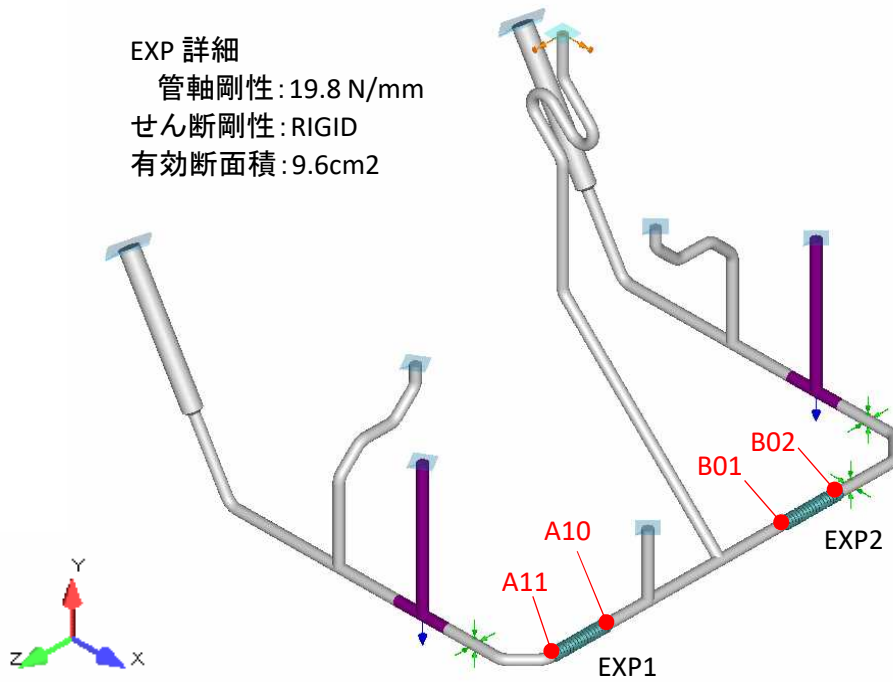
最大応力

節点:	H02	(母管)
L1線返L(Max) -	N/mm2	
応力:	100.2	
許容値:	410.0	
許容比:	0.24	
組合せ:	X+Y+DX [E]	

試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

8. エクспанション変形量

8.1 EXP1,EXP2



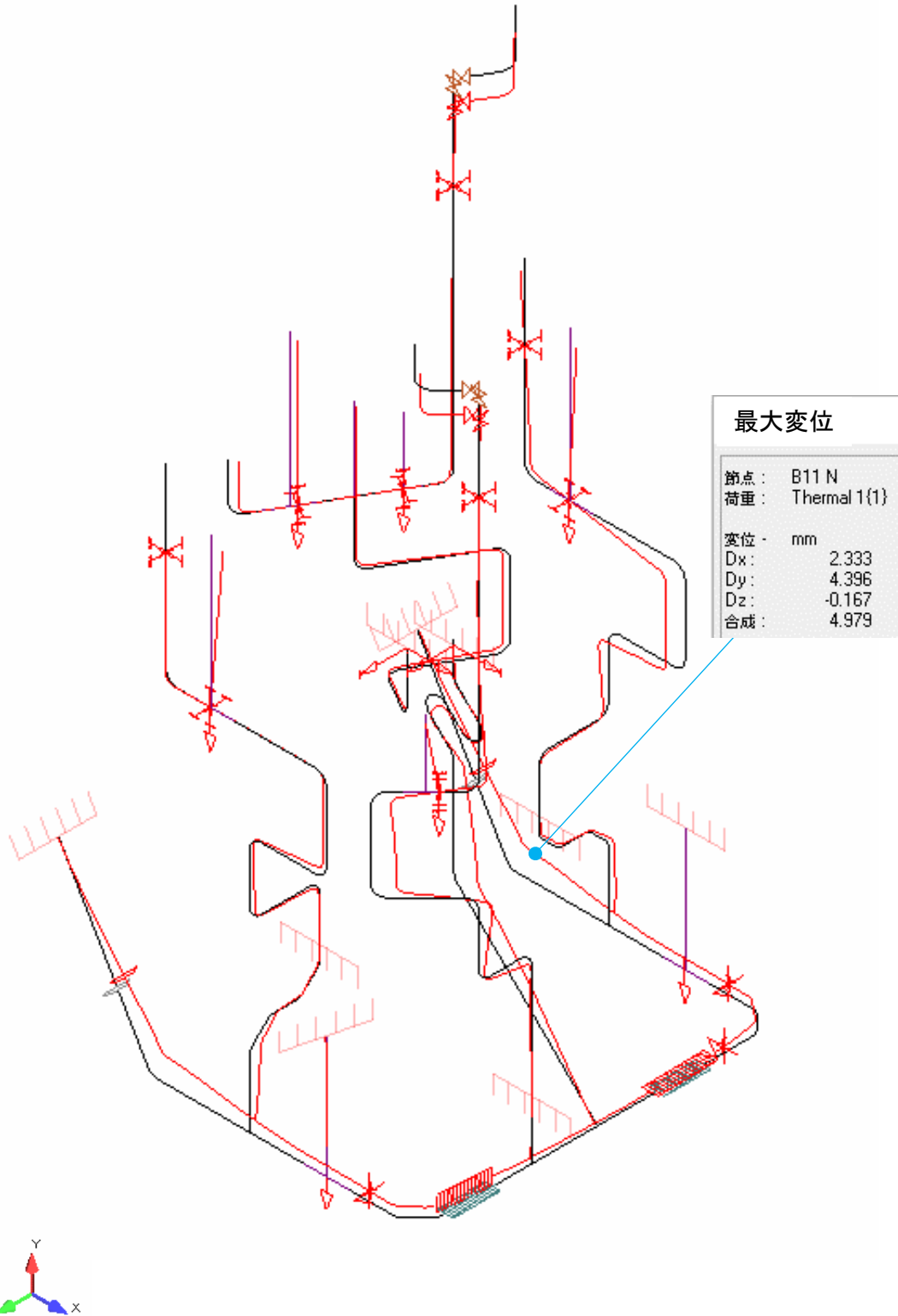
EXP No.	節点	荷重ケース	変位 (mm)		
			Dx	Dy	Dz
EXP1	A10	Gravity{1}	-0.001	-0.006	0.001
		Thermal 1{1}	-0.554	0.986	-0.510
		Thermal 2{1}	-0.546	0.997	-0.505
		Pressure 1{1}	0.141	-0.035	-0.037
		Static Seismic 1	±0.008	±0.001	±0.000
		Static Seismic 2	±0.002	±0.003	±0.010
		Static Seismic 3	±0.000	±0.001	±0.000
	A11	Gravity{1}	0.000	-0.012	0.000
		Thermal 1{1}	-1.119	1.262	0.558
		Thermal 2{1}	-1.093	1.304	0.550
		Pressure 1{1}	0.158	-0.101	0.342
		Static Seismic 1	±0.003	±0.001	±0.003
		Static Seismic 2	±0.001	±0.002	±0.002
		Static Seismic 3	±0.000	±0.002	±0.000
EXP2	B01	Gravity{1}	-0.001	-0.018	0.001
		Thermal 1{1}	0.430	0.973	1.715
		Thermal 2{1}	0.412	0.976	1.721
		Pressure 1{1}	-0.062	0.136	-0.023
		Static Seismic 1	±0.010	±0.001	±0.000
		Static Seismic 2	±0.001	±0.002	±0.010
		Static Seismic 3	±0.000	±0.003	±0.000
	B02	Gravity{1}	0.000	-0.004	0.000
		Thermal 1{1}	0.076	0.910	-1.464
		Thermal 2{1}	0.071	0.934	-1.452
		Pressure 1{1}	-0.003	0.131	-0.330
		Static Seismic 1	±0.002	±0.000	±0.001
		Static Seismic 2	±0.001	±0.001	±0.002
		Static Seismic 3	±0.000	±0.001	±0.000

Gravity{1} : 自重 Thermal 1{1} : 温度(ケース1) Thermal 1{1} : 温度(ケース2) Pressure 1{1} : 内圧
 Static Seismic 1 : 地震(X方向) Static Seismic 2 : 地震(Z方向) Static Seismic 3 : 地震(Y方向)

試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

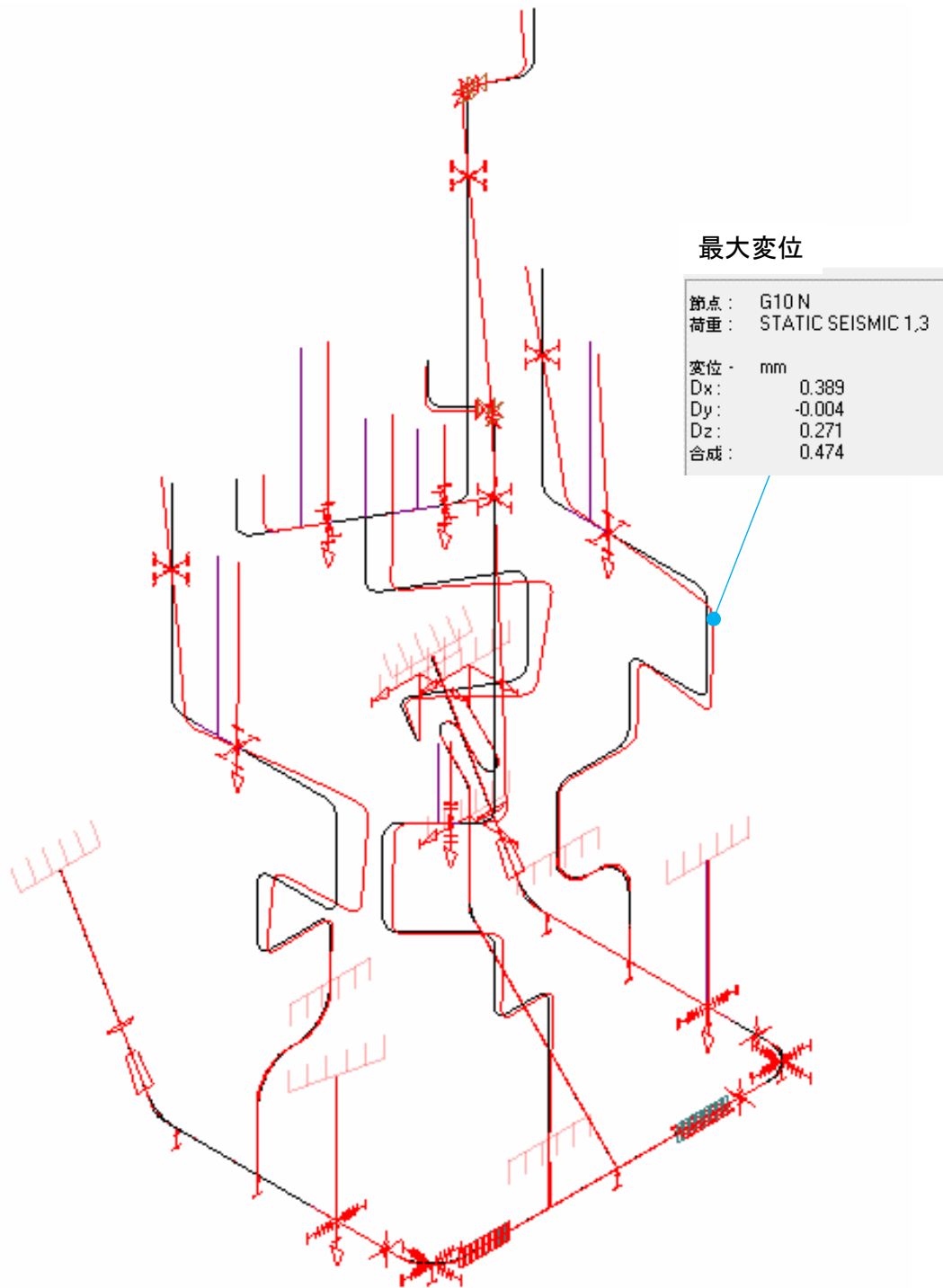
10. 変位図

10.1 温度(ケース1)



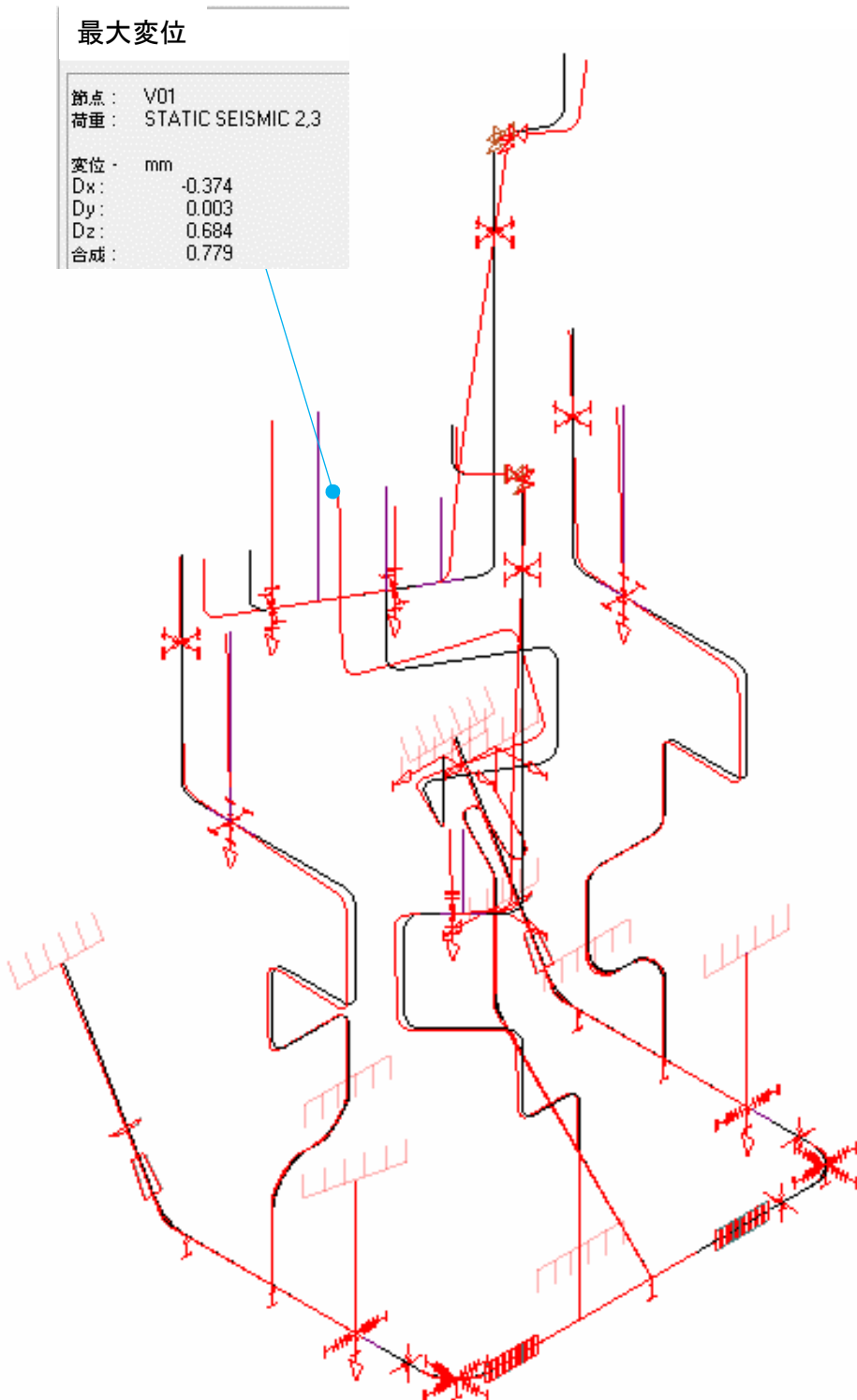
試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

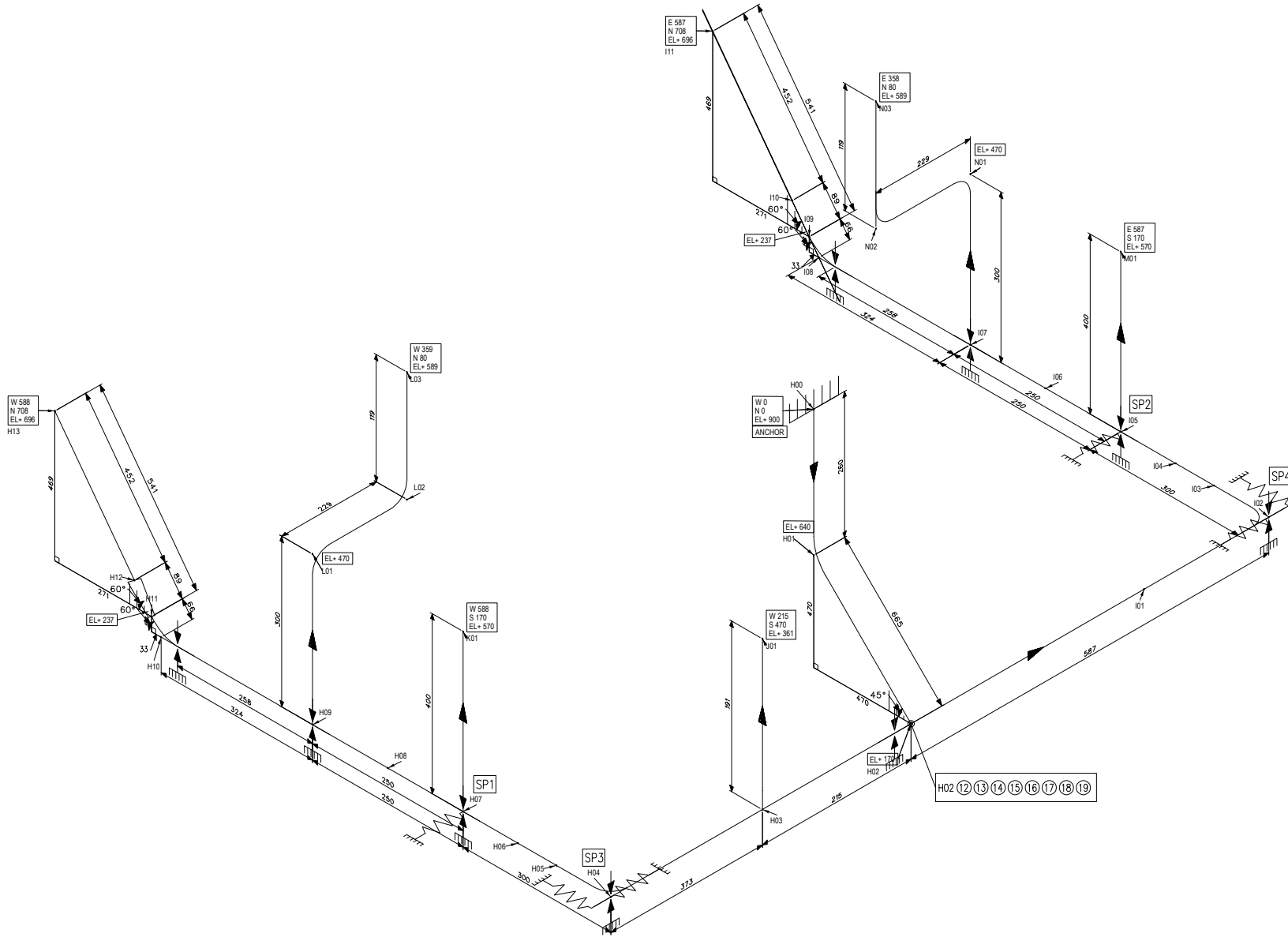
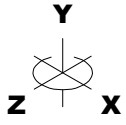
10.3 地震(X, Y) 方向



試作液体水素貯槽廻り外部配管 熱応力解析

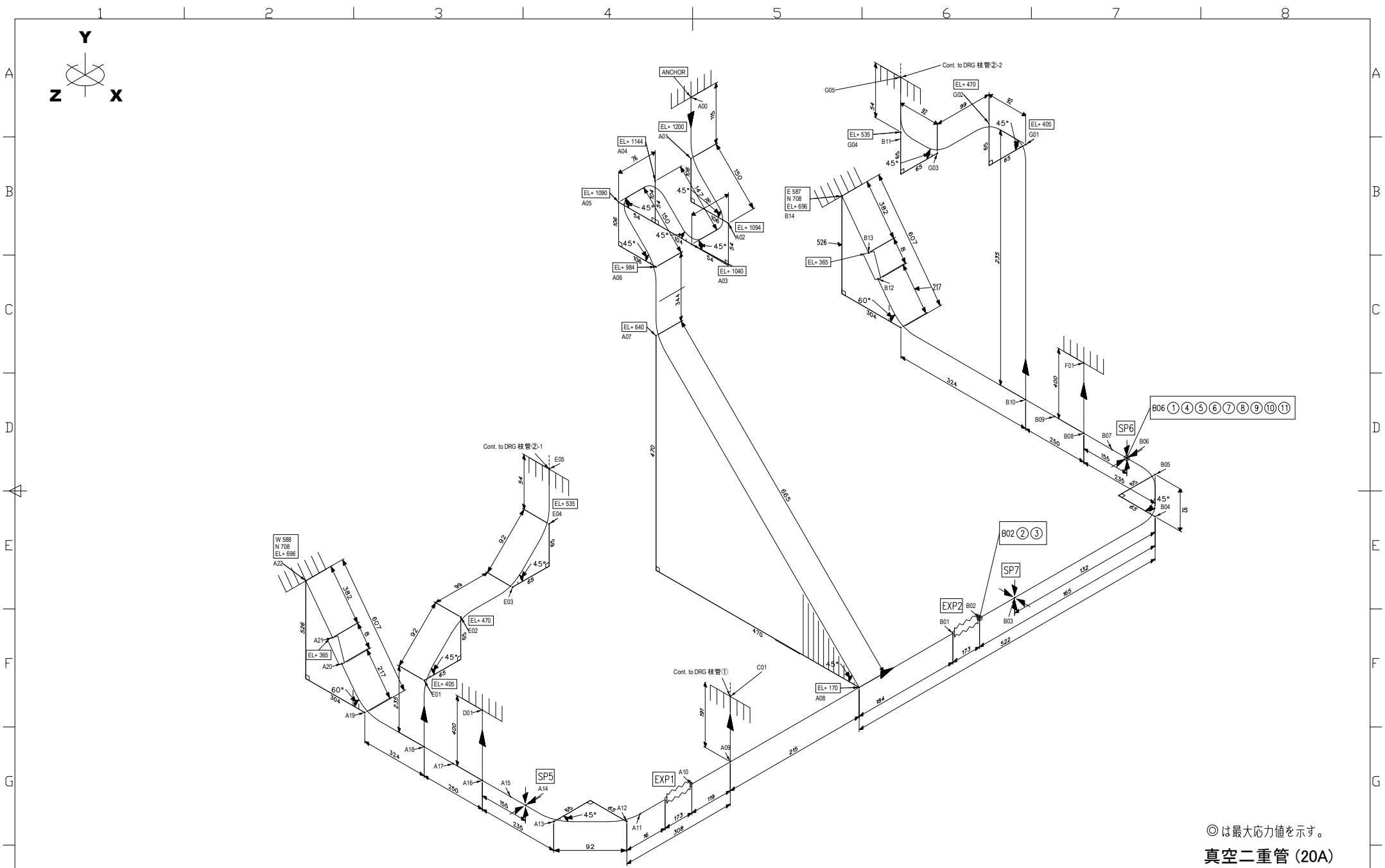
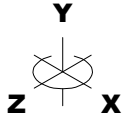
10.4 地震(Y, Z) 方向





◎は最大応力値を示す。
真空二重管 (80A)

REV.	DATE	REVISION	BY	CHKD	APP	G-Gap	ANCHOR	LINE STOP	V-STOP	ROTATION	GUIDE	INCLINED	SPRING	CONSTANT	DAMPER	PROJECT NO.	DATE:		IRG. SIZE	
						Line Direction For Support Gaps										ANALYZED BY:	DATE:		A2	
																CHECKED BY:	DATE:			
																APPROVED BY:	DATE:			
																AREA:		DRAWING No.		REV.
																FLOW DIAGRAM:				



REV.		DATE		REVISION		BY		CHKD		APP		G-Gap		ANCHOR		LINESTOP		V-STOP		ROTATION		GUIDE		INCLINED		SPRING		CONSTANT		DAMPER		PROJECT NO.		DATE:		IRG. SIZE	
												Line Direction For Support Gaps																						A2			
																																		DRAWING No.		REV.	