

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-46
提出年月日	2023年2月22日

原子炉格納容器配管貫通部及び電気配線貫通部の  
耐震性についての計算書に係る補足説明資料

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目 次

1. はじめに	1
2. 選定方針	1
3. 代表貫通部の選定	4
4. 除外する貫通部及び部位の除外理由	18
5. 耐震計算書及び強度計算書に記載する代表貫通部について	18
6. 添付資料	19
添付資料-1 配管貫通部の設計手法について	20
添付資料-2 配管貫通部の耐震評価における代表貫通部以外の健全性について	22
添付資料-3 二重型貫通部の端板及び代表貫通部の補強板取付部の耐震評価結果	82
添付資料-4 サプレッションチェンバのオーバル振動に関する影響検討	88

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-9-2-11「配管貫通部の耐震性についての計算書」、VI-2-9-2-12「電気配線貫通部の耐震性についての計算書」、VI-3-3-7-1-17「配管貫通部の強度計算書」及びVI-3-3-7-1-20「電気配線貫通部の強度計算書」の補足として、各計算書において評価結果を記載している代表貫通部の選定方法についてまとめたものである。

## 2. 選定方針

### 2.1 配管貫通部

配管貫通部の形式を図 2-1 に示す。

配管貫通部において、形式 1 は管口径が大きく反力が大きい配管類の貫通部に用いている。この形式の貫通部は、原子炉格納容器外側で原子炉建物にアンカされ、ベローズによって原子炉建物とドライウエルの相対変位を吸収する構造となっている。このため貫通部への反力は極めて小さい。したがって、貫通部の構造強度評価は省略する。なお、形式 1 の貫通部はドライウエルのみに使用されている。

形式 2 及び 3 は、中程度の管口径の配管に対して用いている。この形式の貫通部は、配管の反力が直接作用する。したがって、貫通部の構造強度評価を実施する。

小口径の配管は、貫通部に加わる反力が小さいため、貫通部の構造強度評価は省略する。

形式 2 及び 3 の配管貫通部のうち、構造強度評価における評価部位は、端板、スリーブ及び原子炉格納容器とスリーブとの結合部がある。端板に関しては、従来、原子炉格納容器とスリーブとの結合部の評価に包絡されるものと整理しており評価を省略している。そのため、計算書に記載する代表貫通部の選定にあたっては、端板以外の評価部位に対する代表貫通部を選定する。選定した代表貫通部の評価結果のうち、裕度（許容値／発生値）が最も厳しい評価結果を計算書に記載している。

### 2.2 電気配線貫通部

電気配線貫通部の形式を図 2-2 に示す。

電気配線貫通部の構造強度評価における評価部位は、原子炉格納容器とスリーブとの結合部としている。計算書に記載する代表貫通部の選定にあたっては、固有振動数が柔構造となる貫通部において、地震慣性力（貫通部質量×震度×重力加速度）が最も大きくなるものを代表貫通部として選定する。

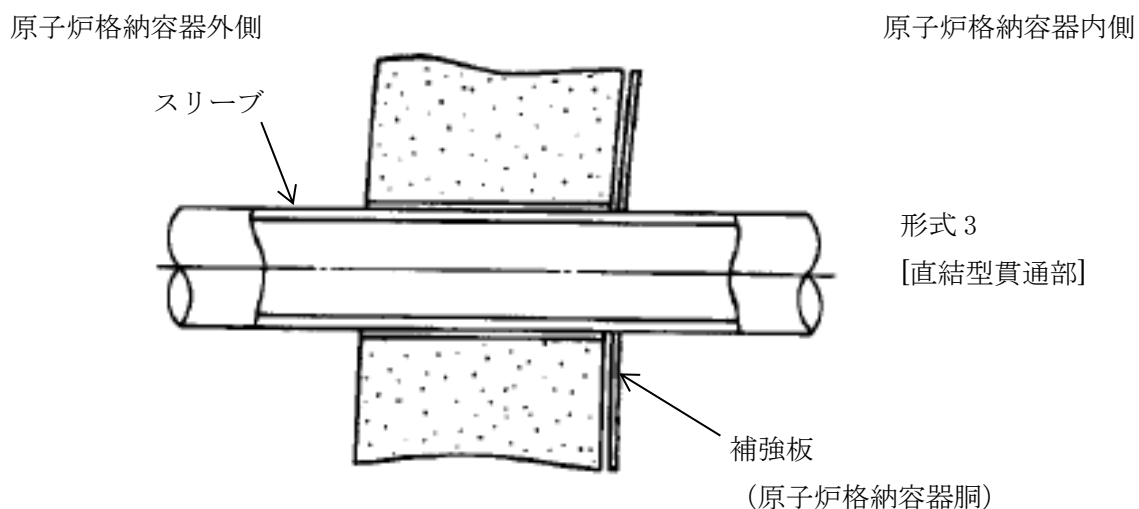
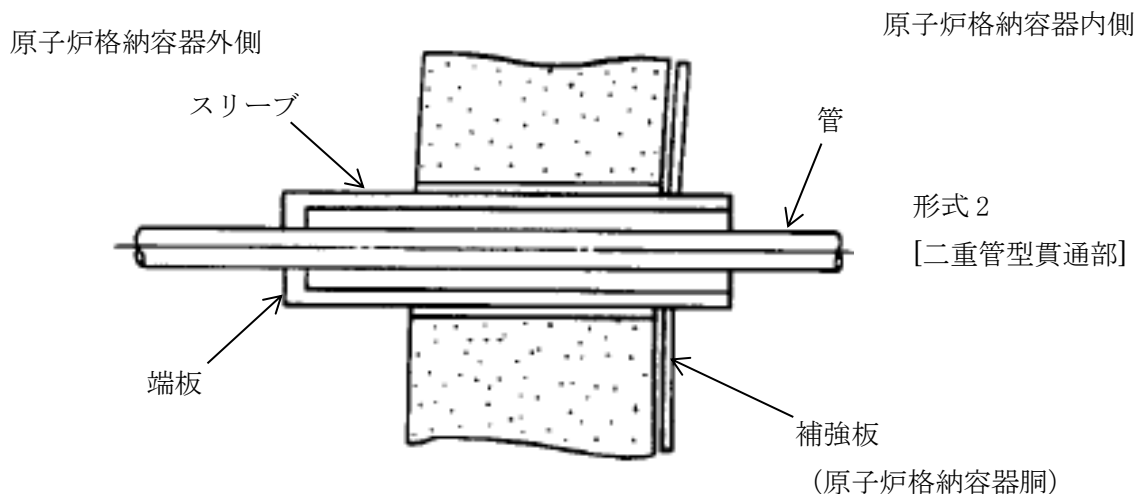
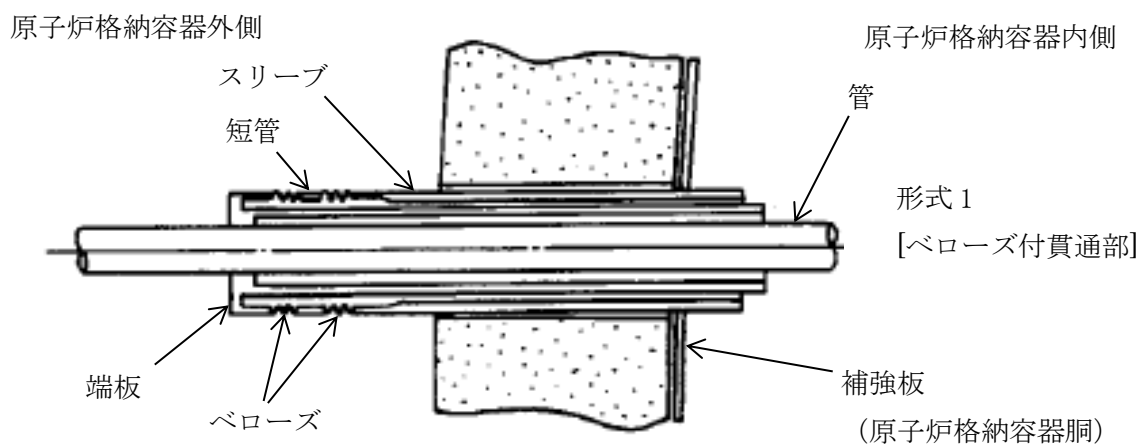


図 2-1 配管貫通部の形式

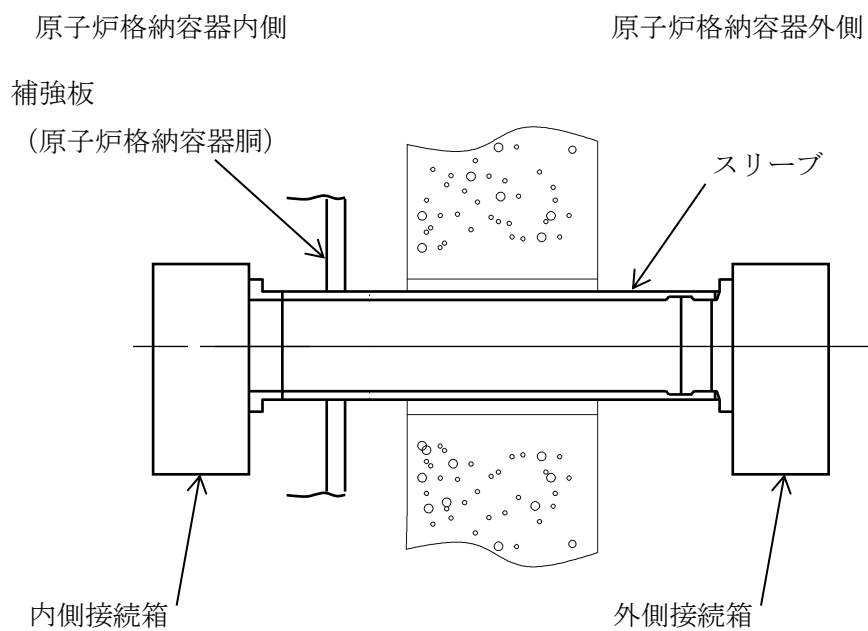


図 2-2 電気配線貫通部の形式

### 3. 代表貫通部の選定

#### 3.1 配管貫通部

全ての配管貫通部（154 個）（表 3-1 参照）から、構造や設置位置等の観点から有意な荷重が加わらないと考えられる貫通部を除外する（除外理由は「4. 除外する貫通部及び部位の除外理由」参照）。残った貫通部に対して、系統の設計条件（温度・圧力条件）の影響が小さいと考えられる貫通部を除外する。なお、系統の温度・圧力の大きい原子炉冷却材圧力バウンダリの貫通部はすべてベローズ付貫通部であり、系統の設計条件（温度・圧力）は貫通部の設計条件に直接反映されない。

残った貫通部（選定対象貫通部：28 個）（表 3-2 参照）をドライウェル貫通部とサブレッションチェンバ貫通部に分類し、それぞれ最大外径の貫通部の中で、設置位置の最も高い貫通部を選定する（X-81 及び X-241）。最大外径の貫通部を選定する理由は、大口径配管は小口径配管と比較して荷重が大きくなるためである。また、最高設置位置の貫通部を選定する理由は、貫通部の設置位置が高いほど地震力に対して大きな加速度が生じるためである。

配管貫通部の一覧表を表 3-1、具体的な選定フローを図 3-1 に示す。また、選定対象貫通部の一覧表を表 3-2、代表配管貫通部の諸元を表 3-3、評価結果を表 3-4 に示す。

表 3-1 配管貫通部一覧表 (1/6)

No.	貫通部 番号	貫通部形式	設置場所	設置高 さ[EL] (mm)	貫通配 管外径 (mm)	スリー ブ外径 (mm)	除外 理由	選定 対象 貫通部
1	X-10A	ベローズ付	ドライウエル				①	
2	X-10D	ベローズ付	ドライウエル				①	
3	X-10B	ベローズ付	ドライウエル				①	
4	X-10C	ベローズ付	ドライウエル				①	
5	X-12A	ベローズ付	ドライウエル				①	
6	X-12B	ベローズ付	ドライウエル				①	
7	X-33	ベローズ付	ドライウエル				①	
8	X-31A	ベローズ付	ドライウエル				①	
9	X-31B	ベローズ付	ドライウエル				①	
10	X-34	ベローズ付	ドライウエル				①	
11	X-31C	ベローズ付	ドライウエル				①	
12	X-32A	ベローズ付	ドライウエル				①	
13	X-32B	ベローズ付	ドライウエル				①	
14	X-35	ベローズ付	ドライウエル				①	
15	X-50	ベローズ付	ドライウエル				①	
16	X-38	ベローズ付	ドライウエル				①	
17	X-39	ベローズ付	ドライウエル				①	
18	X-11	ベローズ付	ドライウエル				①	
19	X-91	直結型	ドライウエル				②	
20	X-80	直結型	ドライウエル					1
21	X-81	直結型	ドライウエル					2
22	X-201	直結型	サプレッション チェンバ					3
23	X-202	直結型	サプレッション チェンバ					4
24	X-203	直結型	サプレッション チェンバ					5
25	X-208	直結型	サプレッション チェンバ					6
26	X-210	直結型	サプレッション チェンバ					7
27	X-240	直結型	サプレッション チェンバ					8

表 3-1 配管貫通部一覧表 (2/6)

No.	貫通部 番号	貫通部形式	設置場所	設置高 さ[EL] (mm)	貫通配 管外径 (mm)	スリー ブ外径 (mm)	除外 理由	選定 対象 貫通部
28	X-241	直結型	サプレッション チェンバ					9
29	X-90A	直結型	ドライウエル				②	
30	X-90B	直結型	ドライウエル				②	
31	X-92	直結型	ドライウエル				②	
32	X-250	直結型	サプレッション チェンバ				②	
33	X-251	直結型	サプレッション チェンバ				②	
34	X-253	直結型	サプレッション チェンバ				②	
35	X-254	直結型	サプレッション チェンバ				②	
36	X-255	直結型	サプレッション チェンバ				②	
37	X-256	直結型	サプレッション チェンバ				②	
38	X-30A	直結型	ドライウエル					10
39	X-30B	直結型	ドライウエル					11
40	X-61	直結型	ドライウエル					12
41	X-62	直結型	ドライウエル					13
42	X-106	直結型	ドライウエル				②	
43	X-110	直結型	ドライウエル				②	
44	X-111	直結型	ドライウエル				②	
45	X-204	直結型	サプレッション チェンバ					14
46	X-205	直結型	サプレッション チェンバ					15
47	X-209	直結型	サプレッション チェンバ					16
48	X-213	直結型	サプレッション チェンバ					17
49	X-233	直結型	サプレッション チェンバ					18



表 3-1 配管貫通部一覧表 (3/6)

No.	貫通部 番号	貫通部形式	設置場所	設置高 さ[EL] (mm)	貫通配 管外径 (mm)	スリー ブ外径 (mm)	除外 理由	選定 対象 貫通部
50	X-505A	直結型	サプレッション チェンバ				②	
51	X-505B	直結型	サプレッション チェンバ				②	
52	X-505C	直結型	サプレッション チェンバ				②	
53	X-505D	直結型	サプレッション チェンバ				②	
54	X-98	直結型	ドライウエル					19
55	X-99	直結型	ドライウエル					20
56	X-107	直結型	ドライウエル				②	
57	X-214	直結型	サプレッション チェンバ					21
58	X-242A	直結型	サプレッション チェンバ					22
59	X-242B	直結型	サプレッション チェンバ					23
60	X-82A	直結型	ドライウエル					24
61	X-82B	直結型	ドライウエル					25
62	X-200A	直結型	サプレッション チェンバ					26
63	X-200B	直結型	サプレッション チェンバ					27
64	X-212A	直結型	サプレッション チェンバ					28
65	X-215	直結型	サプレッション チェンバ				③	
66	X-69	直結型	ドライウエル				③	
67	X-60	二重管型	ドライウエル				④	
68	X-67	二重管型	ドライウエル				④	
69	X-68A	二重管型	ドライウエル				④	
70	X-68B	二重管型	ドライウエル				④	
71	X-68C	二重管型	ドライウエル	④				

表 3-1 配管貫通部一覧表 (4/6)

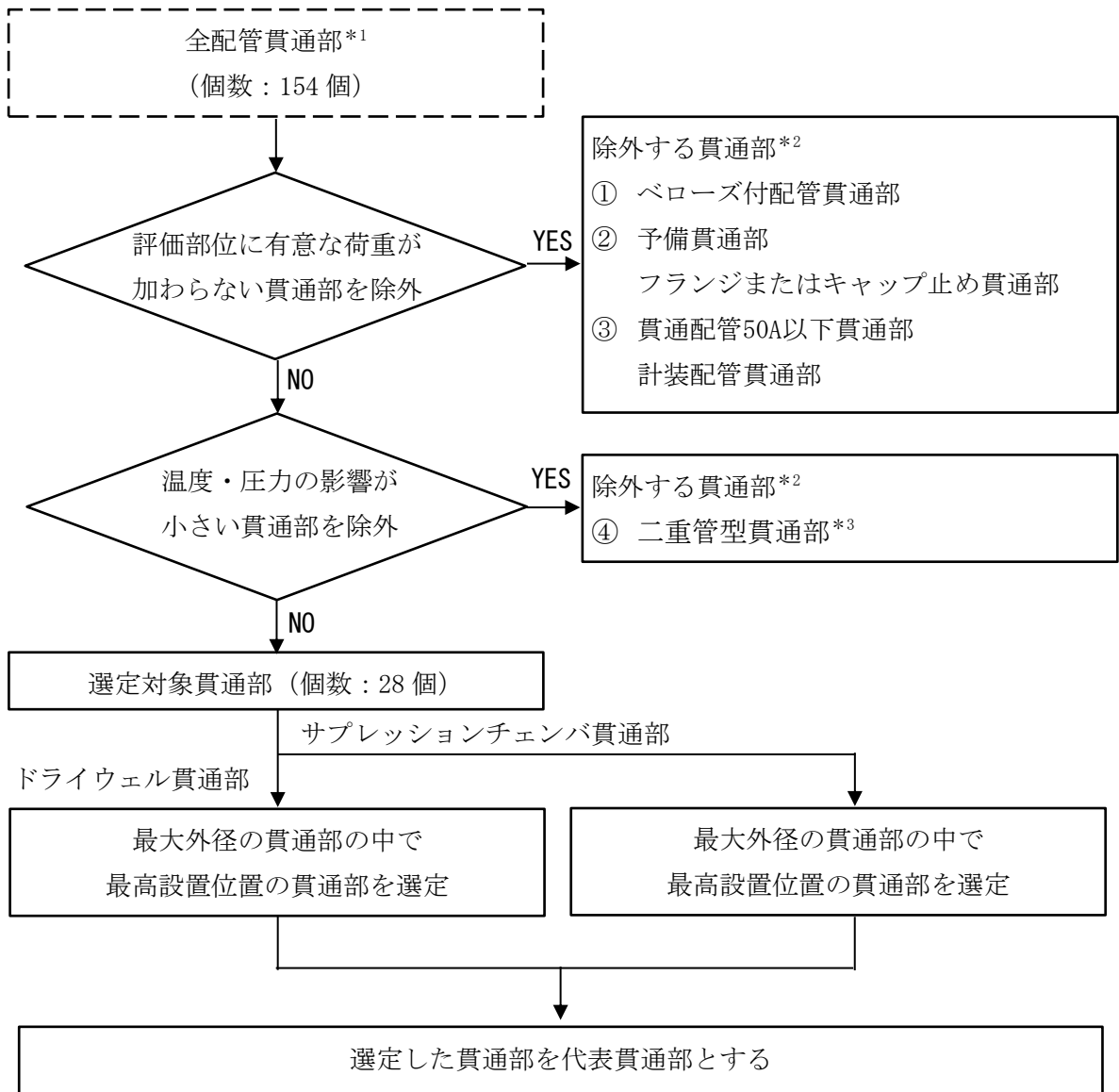
No.	貫通部 番号	貫通部形式	設置場所	設置高 さ[EL] (mm)	貫通配 管外径 (mm)	スリー ブ外径 (mm)	除外 理由	選定 対象 貫通部
72	X-22	二重管型	ドライウエル				④	
73	X-83	二重管型	ドライウエル				④	
74	X-84	二重管型	ドライウエル				④	
75	X-13A	二重管型	ドライウエル				④	
76	X-13B	二重管型	ドライウエル				④	
77	X-14	計装用	ドライウエル				③	
78	X-130	計装用	ドライウエル				③	
79	X-131	計装用	ドライウエル				③	
80	X-132	計装用	ドライウエル				③	
81	X-133	計装用	ドライウエル				③	
82	X-134	計装用	ドライウエル				③	
83	X-137	計装用	ドライウエル				③	
84	X-138A	計装用	ドライウエル				③	
85	X-141A	計装用	ドライウエル				③	
86	X-146B	計装用	ドライウエル				③	
87	X-170	計装用	ドライウエル				③	
88	X-135	計装用	ドライウエル				③	
89	X-136	計装用	ドライウエル				③	
90	X-138B	計装用	ドライウエル				③	
91	X-140	計装用	ドライウエル				③	
92	X-141B	計装用	ドライウエル				③	
93	X-145A	計装用	ドライウエル				③	
94	X-145B	計装用	ドライウエル				③	
95	X-145C	計装用	ドライウエル				③	
96	X-145D	計装用	ドライウエル				③	
97	X-145E	計装用	ドライウエル				③	
98	X-145F	計装用	ドライウエル				③	
99	X-146D	計装用	ドライウエル				③	
100	X-164A	計装用	ドライウエル				③	
101	X-183	計装用	ドライウエル				③	
102	X-164B	計装用	ドライウエル				③	
103	X-180	計装用	ドライウエル				②③	
104	X-181	計装用	ドライウエル				②③	

表 3-1 配管貫通部一覧表 (5/6)

No.	貫通部 番号	貫通部形式	設置場所	設置高 さ[EL] (mm)	貫通配 管外径 (mm)	スリー ブ外径 (mm)	除外 理由	選定 対象 貫通部
105	X-182	計装用	ドライウエル				③	
106	X-162A	計装用	ドライウエル				②③	
107	X-162B	計装用	ドライウエル				②③	
108	X-36	計装用	ドライウエル				③	
109	X-142A	計装用	ドライウエル				③	
110	X-142B	計装用	ドライウエル				③	
111	X-142C	計装用	ドライウエル				③	
112	X-142D	計装用	ドライウエル				③	
113	X-143A	計装用	ドライウエル				③	
114	X-143B	計装用	ドライウエル				③	
115	X-143C	計装用	ドライウエル				③	
116	X-143D	計装用	ドライウエル				③	
117	X-144A	計装用	ドライウエル				③	
118	X-144D	計装用	ドライウエル				③	
119	X-146A	計装用	ドライウエル				③	
120	X-160	計装用	ドライウエル				③	
121	X-144B	計装用	ドライウエル				③	
122	X-144C	計装用	ドライウエル				③	
123	X-146C	計装用	ドライウエル				③	
124	X-147	計装用	ドライウエル				③	
125	X-165	計装用	ドライウエル				③	
126	X-212B	計装用	サブプレッション チェンバ				③	
127	X-20A	計装用	ドライウエル				③	
128	X-20B	計装用	ドライウエル				③	
129	X-20C	計装用	ドライウエル				③	
130	X-20D	計装用	ドライウエル				③	
131	X-23A	計装用	ドライウエル				②③	
132	X-23B	計装用	ドライウエル				②③	
133	X-23C	計装用	ドライウエル				②③	
134	X-23D	計装用	ドライウエル				②③	
135	X-23E	計装用	ドライウエル				②③	
136	X-21A	計装用	ドライウエル				③	
137	X-21B	計装用	ドライウエル				③	

表 3-1 配管貫通部一覧表 (6/6)

No.	貫通部 番号	貫通部形式	設置場所	設置高 さ[EL] (mm)	貫通配 管外径 (mm)	スリー ブ外径 (mm)	除外 理由	選定 対象 貫通部
138	X-21C	計装用	ドライウエル				③	
139	X-21D	計装用	ドライウエル				③	
140	X-320A	計装用	サプレッション チェンバ				③	
141	X-320B	計装用	サプレッション チェンバ				③	
142	X-322C	計装用	サプレッション チェンバ				③	
17	X-322D	計装用	サプレッション チェンバ				③	
144	X-321A	計装用	サプレッション チェンバ				③	
145	X-321B	計装用	サプレッション チェンバ				③	
146	X-322A	計装用	サプレッション チェンバ				③	
147	X-322B	計装用	サプレッション チェンバ				③	
148	X-322E	計装用	サプレッション チェンバ				③	
149	X-322F	計装用	サプレッション チェンバ				③	
150	X-332A	計装用	サプレッション チェンバ				③	
151	X-332B	計装用	サプレッション チェンバ				③	
152	X-340	計装用	サプレッション チェンバ				③	
153	X-350	計装用	サプレッション チェンバ				②③	
154	X-351	計装用	サプレッション チェンバ				②③	



注記\*1：機器搬入口及びエアロック除く

\*2：除外理由は4.項参照

\*3：同径に直結型がある場合

図 3-1 代表配管貫通部選定フロー

表 3-2(1/2) 選定対象配管貫通部 (ドライウエル)

No.	貫通部 番号	貫通部 型式	外径 (mm)	厚さ (mm)	設置高さ[EL] (mm)	備考
1	X-80	直結型				
2	X-81	直結型				最大外径貫通部 の中で 最高設置位置
3	X-30A	直結型				
4	X-30B	直結型				
5	X-61	直結型				
6	X-62	直結型				
7	X-98	直結型				
8	X-99	直結型				
9	X-82A	直結型				
10	X-82B	直結型				

表 3-2(2/2) 選定対象配管貫通部 (サプレッションチェンバ)

No.	貫通部 番号	貫通部 型式	外径 (mm)	厚さ (mm)	設置位置 角度*1	設置高さ [EL] (mm)	備考
1	X-201	直結型					
2	X-202	直結型					
3	X-203	直結型					
4	X-208	直結型					
5	X-210	直結型					
6	X-240	直結型					
7	X-241	直結型					最大外径貫通部 の中で 最高設置位置
8	X-204	直結型					
9	X-205	直結型					
10	X-209	直結型					
11	X-213	直結型					
12	X-233	直結型					
13	X-214	直結型					
14	X-242A	直結型					
15	X-242B	直結型					
16	X-200A	直結型					
17	X-200B	直結型					
18	X-212A	直結型					

注記\*1：サプレッションチェンバ小円断面の上部を 0° とした設置位置角度

\*2：設置位置角度からの水平方向へのオフセット距離 (単位：mm)

表 3-3(1/2) 代表配管貫通部諸元 (ドライウエル)

貫通部 番号	用途	スリーブ主要寸法 (mm)		材料	設置高さ [EL] (mm)	選定理由
		外径	厚さ			
X-81	ドライウエル 換気 (排気)			STS42		最大外径 貫通部の中で 最高設置位置

表 3-3(2/2) 代表配管貫通部諸元 (サプレッションチェンバ)

貫通部 番号	用途	スリーブ主要寸法 (mm)		材料	設置位置 角度*	選定理由
		外径	厚さ			
X-241	サプレッショ ンチェンバ換 気 (排気)			STS42		最大外径 貫通部の中で 最高設置位置

注記\* : サプレッションチェンバ小円断面の上部を 0° とした設置位置角度

表 3-4(1/2) 代表配管貫通部の評価結果 (ドライウエル)

貫通部 番号	応力評価点	応力分類	発生値	許容値	裕度	備考*
			MPa	MPa		
X-81	原子炉格納 容器とスリ ーブとの結 合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	363	490	1.34	(1)
	スリーブ	一次一般膜応力	18	244	13.55	(2)

注記\* : (1)  $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$  / (2)  $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$

表 3-4(2/2) 代表配管貫通部の評価結果 (サプレッションチェンバ)

貫通部 番号	応力評価点	応力分類	発生値	許容値	裕度	備考*
			MPa	MPa		
X-241	原子炉格納 容器とスリ ーブとの結 合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	205	490	2.39	(1)
	スリーブ	一次一般膜応力	18	244	13.55	(2)

注記\* : (1)  $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$  / (2)  $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$



### 3.2 電気配線貫通部

全ての電気配線貫通部（26 個）の中で、地震慣性力（貫通部質量×震度×重力加速度）が最も大きい貫通部を選定する（X-100A～D）。

電気配線貫通部の一覧表を表 3-5，具体的な選定フローを図 3-2 に示す。また，代表貫通部の諸元を表 3-6，評価結果を表 3-7 に示す。

表 3-5 電気配線貫通部一覧表

No.	貫通部 番号	設置場所	スリーブ 口径	固有 振動数*1 (Hz)	貫通部質量 (kg)	震度 *2	地震慣性 力*3 ( $\times 10^3\text{N}$ )
1	X-100A	ドライウエル				2.84	
2	X-100B	ドライウエル				2.84	
3	X-100C	ドライウエル				2.84	
4	X-100D	ドライウエル				2.84	
5	X-101A	ドライウエル				2.18	
6	X-101B	ドライウエル				2.18	
7	X-101C	ドライウエル				2.18	
8	X-101D	ドライウエル				2.19	
9	X-102A	ドライウエル				2.20	
10	X-102B	ドライウエル				2.20	
11	X-102C	ドライウエル				2.20	
12	X-102D	ドライウエル				2.19	
13	X-102E	ドライウエル				3.73	
14	X-103A	ドライウエル				2.20	
15	X-103B	ドライウエル				2.20	
16	X-103C	ドライウエル				2.17	
17	X-104A	ドライウエル				2.18	
18	X-104B	ドライウエル				2.18	
19	X-104C	ドライウエル				2.20	
20	X-104D	ドライウエル				2.20	
21	X-105A	ドライウエル				3.73	
22	X-105B	ドライウエル				3.73	
23	X-105C	ドライウエル				3.73	
24	X-105D	ドライウエル				1.91	
25	X-300A	サプレッション チェンバ				4.74	
26	X-300B	サプレッション チェンバ				4.74	

注記\*1：ドライウエル貫通部については、全ての貫通部で水平方向にサポートを設置しており水平方向は剛構造のため、柔構造である鉛直方向の固有振動数を記載している。

\*2：固有振動数における設計用床応答スペクトル I（基準地震動 Ss）の震度を示す。

\*3：貫通部質量×震度×重力加速度にて算出した地震慣性力を示す。

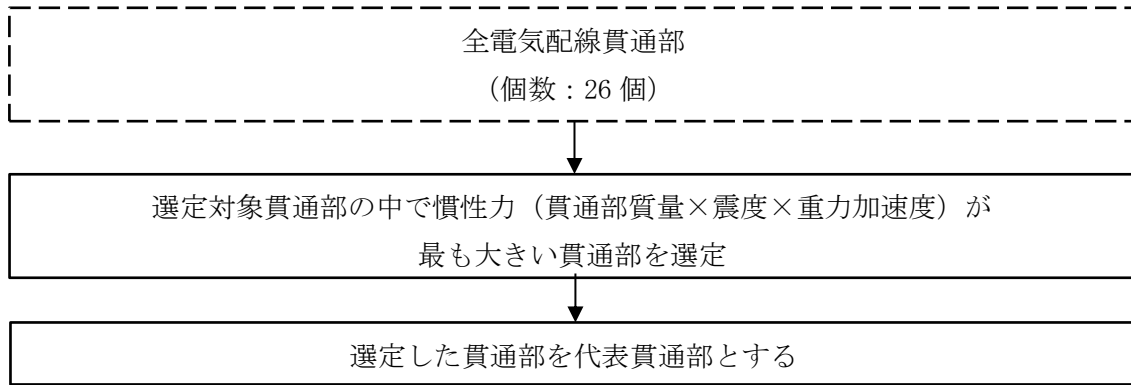


図 3-2 代表電気配線貫通部選定フロー

表 3-6 代表電気配線貫通部諸元

貫通部 番号	用途	スリーブ主要寸法 (mm)		材料	設置高さ [EL] (mm)	選定理由
		外径	厚さ			
X-100 A~D	再循環ポンプ 動力			STS42		地震慣性力が 最大

表 3-7 代表電気配線貫通部の評価結果

貫通部 番号	応力評価点	応力分類	発生値	許容値	裕度	備考*
			MPa	MPa		
X-100 A~D	原子炉格納容 器とスリーブ との結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	212	490	2.31	(1)

注記\* : (1)  $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$

#### 4. 除外する貫通部及び部位の除外理由

代表選定対象から除外する貫通部の除外理由を下記に示す。

##### ① ベローズ付配管貫通部

ベローズにより，系統の設計条件（温度・圧力）による変位及び地震による建物間相対変位が吸収されるため，配管から作用する荷重は固定式に比べ小さくなる。なお，ベローズ付配管貫通部のベローズについては，別手法にて健全性の確認を行っている（評価結果については，VI-3-3-7-1-19「配管貫通部ベローズ及びベント管ベローズの強度計算書」参照）。

##### ② 予備貫通部及びフランジ又はキャップ止め貫通部

予備貫通部，フランジ又はキャップ止め貫通部については，接続配管がないこと及び重量物が取り付く構造でないことから，貫通部に有意な配管反力が生じないため，評価対象外とする。

##### ③ 貫通配管 50A 以下貫通部，計装配管貫通部

小口径配管からの荷重は大口径配管の荷重と比較して相対的に小さくなる。また，計装配管は大口径の配管貫通部であっても小口径の配管の集合であり，相対変位により発生する配管貫通部への荷重は有意でないと考えられる。

##### ④ 二重管型貫通部（同径に直結型がある場合）

二重管型貫通部については，スリーブ外径が等しい直結型貫通部に比べ配管内の流体による温度・圧力の影響が小さくなるため，同径に直結型貫通部がある場合は評価対象外とする。

#### 5. 耐震計算書及び強度計算書に記載する代表貫通部について

配管貫通部については，表 3-2 の結果から X-81 及び X-241 を評価配管貫通部に選定する。電気配線貫通部については，表 3-7 の結果から X-100A～D を評価電気配線貫通部に選定する。

以上の選定結果に基づき，貫通部番号 X-81 及び X-241 のスリーブ及び原子炉格納容器とスリーブとの結合部の評価結果をVI-2-9-2-11「配管貫通部の耐震性についての計算書」及びVI-3-3-7-1-17「配管貫通部の強度計算書」，貫通部番号 X-100A～D の原子炉格納容器とスリーブとの結合部の評価結果をVI-2-9-2-12「電気配線貫通部の耐震性についての計算書」及びVI-3-3-7-1-20「電気配線貫通部の強度計算書」に記載している。

なお，配管貫通部の設計手法は添付資料-1，抽出した貫通部（28 個）のうち，代表配管貫通部以外の配管貫通部の健全性については添付資料-2 に示す。また，二重型貫通部の端板及び代表配管貫通部の補強板取付部の耐震評価結果を添付資料-3 に示す。

6. 添付資料

添付資料-1 配管貫通部の設計手法について

添付資料-2 配管貫通部の耐震評価における代表貫通部以外の健全性について

添付資料-3 二重型貫通部の端板及び代表貫通部の補強板取付部の耐震評価結果

## 配管貫通部の設計手法について

### 1. 概要

本資料は、配管貫通部の設計手法についてまとめるとともに、代表貫通部の選定における接続配管の反力の扱いを示すものである。

### 2. 配管貫通部の評価手法

原子炉格納容器の配管貫通部の設計においては、J E A G 4 6 0 1 - 1987 6.6.2 項(3)に記載のある貫通部の強度評価の考え方にに基づき、許容荷重設定法(図 1 参照)を用いて配管貫通部の設計荷重を許容荷重領域として定め、この領域内に配管の地震荷重が収まるように配管のルート及びサポート設計を行う手法を従来から採用している。

これは、原子炉格納容器の設計時点で、多数ある接続配管のルート及びサポートの詳細設計が完了しておらず、個々の配管の地震応答解析結果を揃えることが出来ないこと、また、それらすべてを配管貫通部の入力地震荷重として考慮するのが現実的に困難なためである。

建設時工認における配管貫通部の耐震評価では、口径や設置位置等の観点から配管系の反力により評価上厳しくなると予想される貫通部を代表に選出し、優先的に当該貫通部に接続される配管の詳細設計(サポート設計含む)及び耐震解析を行った上で、得られた配管の地震荷重に基づく貫通部の評価結果を代表的に記載するものとしている。

その他の配管貫通部については、前述した許容荷重設定法に基づき、配管側の地震荷重が許容荷重領域内に収まるよう設計を行うことで、貫通部側の健全性を確保している。なお、設計段階で配管側の地震荷重が許容荷重領域に収まりきらないことが確認される場合は、配管ルートまたはサポートの再設計を行うか、貫通部側の詳細評価を追加で行うことで健全性を確保している。

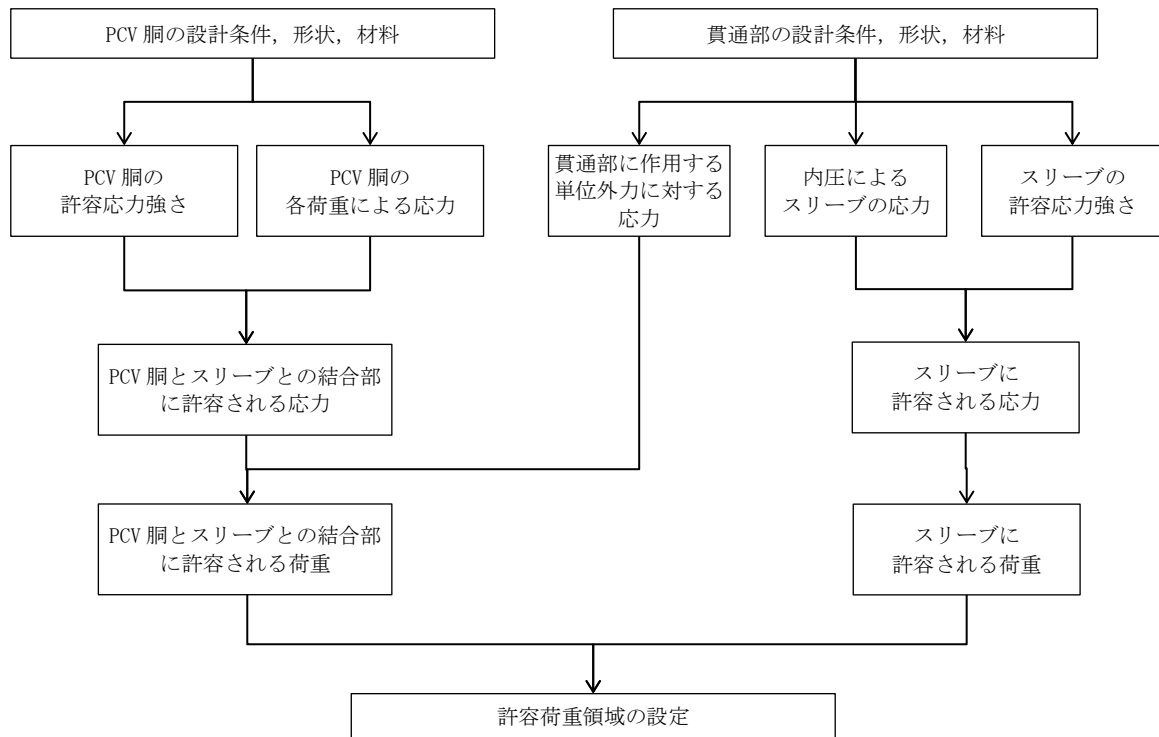
### 3. 補正工認の評価手法

代表貫通部の選定を行い、建設時と同様に代表貫通部について工認の耐震計算書を作成した。

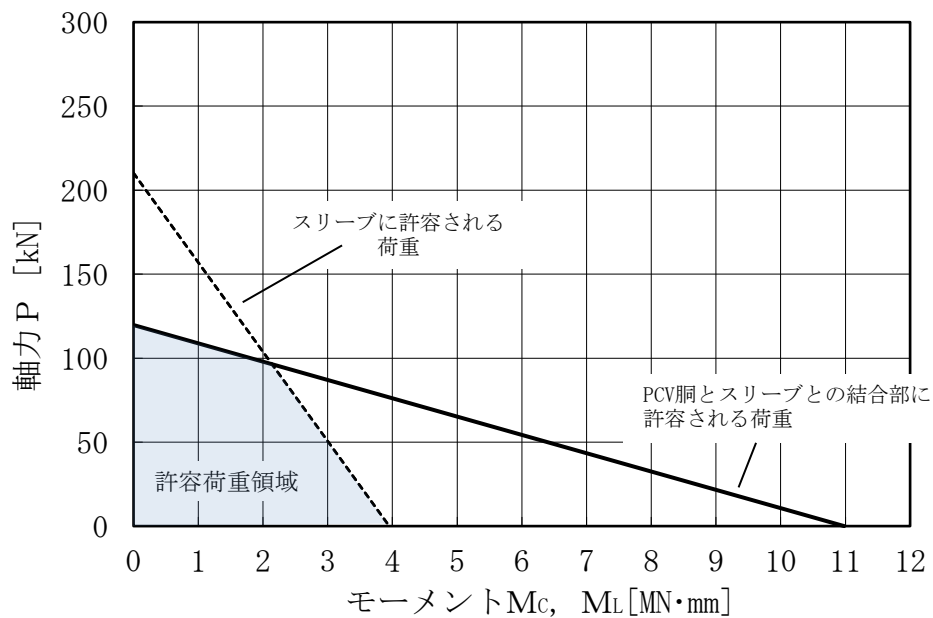
また、その他の貫通部については、前述の許容荷重設定法(必要に応じて貫通部側の追加の詳細評価を実施)により健全性を確認している。ここで、貫通部の耐震評価に用いる配管からの地震荷重には、当該貫通部の接続配管について、その接続配管の耐震計算書と同じモデルを用いて、貫通部と配管との取り合い部の反力及びモーメントを算出して用いている。

### 4. 補正工認の代表貫通部の選定における接続配管の反力の扱い

以上の背景から、本補正工認の配管貫通部の代表選定においては、代表選出段階で接続配管の反力が全て揃わないため、反力の値を検討項目としていない。そのため、接続配管の反力が大きくなる傾向にある口径及び設置高さを検討項目としている。



(a) 許容荷重設定フロー



$P$  : 半径方向力,  $M_L$  : 軸方向曲げモーメント,  $M_C$  : 円周方向曲げモーメント

(b) 許容荷重領域の例

図1 許容荷重設定法

配管貫通部の耐震評価における代表貫通部以外の健全性について

## 1. 概要

本資料は、配管貫通部の耐震評価において、代表貫通部以外の貫通部の健全性について説明するものである。

## 2. 許容荷重領域による評価

代表貫通部以外の貫通部の健全性の確認として、各貫通部の許容荷重領域を算出し、各貫通部の配管反力が許容荷重領域内となっていることを確認する。

配管貫通部の許容荷重領域は、系統配管から貫通部に加わる配管反力の許容領域であり、貫通部軸方向軸力 $P$ 、貫通部軸直角鉛直方向モーメント $M_L$ 及び貫通部軸直角水平方向モーメント $M_C$ について、以下の式(1)の考え方に基づき算出される。

配管反力による応力  $\leq$  許容値－原子炉格納容器に作用する荷重による応力・・・(1)

許容荷重領域で確認する対象貫通部及び評価結果を表1、図1～図26に示す。

## 3. 詳細評価

代表貫通部及び2項の許容荷重領域による評価において領域外となった貫通部においては、別途詳細評価（応力評価及び簡易弾塑性解析）を実施し、健全性を確認する。詳細評価による確認結果を表2に示す。また、簡易弾塑性解析による疲労評価の確認結果を表3に示す。

## 4. 結論

2項の許容荷重領域による評価及び3項の詳細評価により、代表貫通部同様に代表貫通部以外の貫通部について耐震性を有することを確認した。



表 1(1/2) 対象貫通部 (ドライウェル)

貫通部番号	許容荷重領域評価	
	一次応力	一次+二次応力
X-80	○	×
X-30A	○	×
X-30B	○	○
X-61	○	×
X-62	○	×
X-98	○	○
X-99	○	○
X-82A	○	×
X-82B	○	○

表 1(2/2) 対象貫通部 (サブプレッションチェンバ)

貫通部番号	許容荷重領域評価	
	一次応力	一次+二次応力
X-201	○	×
X-202	○	×
X-203	○	×
X-208	○	×
X-210	○	×
X-240	○	×
X-204	○	×
X-205	○	×
X-209	○	×
X-213	○	×
X-233	○	○
X-214	○	○
X-242A	○	×
X-242B	○	○
X-200A	×	×
X-200B	×	×
X-212A	○	○

表 2 詳細評価による確認結果(1/3)

貫通部番号	評価部位	応力分類	許容応力状態	評価結果		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-80	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次+二次応力	IV A S	430	501	○	
X-30A				356	501	○	
X-61				472	501	○	
X-62				726	501	×	
X-82A				354	501	○	

表 2 詳細評価による確認結果(2/3)

貫通部番号	評価部位	応力分類	許容応力状態	評価結果		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-201	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次+二次応力	Ⅲ <sub>A</sub> S*	690	501	×	
			V <sub>A</sub> S	690	501	×	
X-202			Ⅲ <sub>A</sub> S*	732	501	×	
			V <sub>A</sub> S	732	501	×	
X-203			Ⅲ <sub>A</sub> S*	696	501	×	
			V <sub>A</sub> S	696	501	×	
X-208			Ⅲ <sub>A</sub> S*	630	501	×	
			V <sub>A</sub> S	630	501	×	
X-210			Ⅲ <sub>A</sub> S*	668	501	×	
			V <sub>A</sub> S	668	501	×	
X-240			Ⅲ <sub>A</sub> S*	606	501	×	
			V <sub>A</sub> S	606	501	×	
X-204			Ⅲ <sub>A</sub> S	654	501	×	
			Ⅳ <sub>A</sub> S	760	501	×	
			V <sub>A</sub> S	760	501	×	
X-205			Ⅲ <sub>A</sub> S*	664	501	×	
	V <sub>A</sub> S	664	501	×			

注記\*：許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの評価として、保守的にS<sub>s</sub>とS<sub>d</sub>\*を包絡した耐震条件にて評価した結果を示す。

表 2 詳細評価による確認結果(3/3)

貫通部番号	評価部位	応力分類	許容応力状態	評価結果		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-209	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次+二次応力	Ⅲ <sub>A</sub> S*	494	501	○	
			V <sub>A</sub> S	494	501	○	
X-213			Ⅲ <sub>A</sub> S*	654	501	×	
			V <sub>A</sub> S	654	501	×	
X-242A			Ⅲ <sub>A</sub> S*	528	501	×	
			V <sub>A</sub> S	528	501	×	
X-200A	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	V <sub>A</sub> S	251	490	○	
	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次+二次応力	Ⅲ <sub>A</sub> S*	642	501	×	
			V <sub>A</sub> S	642	501	×	
X-200B	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	V <sub>A</sub> S	250	490	○	
	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次+二次応力	Ⅲ <sub>A</sub> S*	646	501	×	
			V <sub>A</sub> S	646	501	×	

注記\*：許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの評価として、保守的にS<sub>s</sub>とS<sub>d</sub>\*を包絡した耐震条件にて評価した結果を示す。

表3 疲労評価結果(1/2)

貫通部 番号	許容応力 状態	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	$S_\ell$ (MPa)	$S_\ell'$ (MPa)	$N_a$ (回)	$N_c$ (回)	疲労累積 係数 $N_c/N_a$	備考
X-62	IV <sub>A</sub> S	726							0.994	
X-201	III <sub>A</sub> S*	690							0.640	
	V <sub>A</sub> S	690							0.351	
X-202	III <sub>A</sub> S*	732							0.838	
	V <sub>A</sub> S	732							0.459	
X-203	III <sub>A</sub> S*	696							0.664	
	V <sub>A</sub> S	696							0.364	
X-208	III <sub>A</sub> S*	630							0.371	
	V <sub>A</sub> S	630							0.206	
X-210	III <sub>A</sub> S*	668							0.535	
	V <sub>A</sub> S	668							0.297	
X-240	III <sub>A</sub> S*	606							0.286	
	V <sub>A</sub> S	606							0.159	
X-204	III <sub>A</sub> S	654							0.467	
	IV <sub>A</sub> S	760							0.504	
	V <sub>A</sub> S	760							0.552	
X-205	III <sub>A</sub> S*	664							0.515	
	V <sub>A</sub> S	664							0.286	

注記\*：許容応力状態III<sub>A</sub>Sの評価として、保守的に $S_s$ と $S_{d^*}$ を包絡した耐震条件にて評価した結果を示す。

表3 疲労評価結果(2/2)

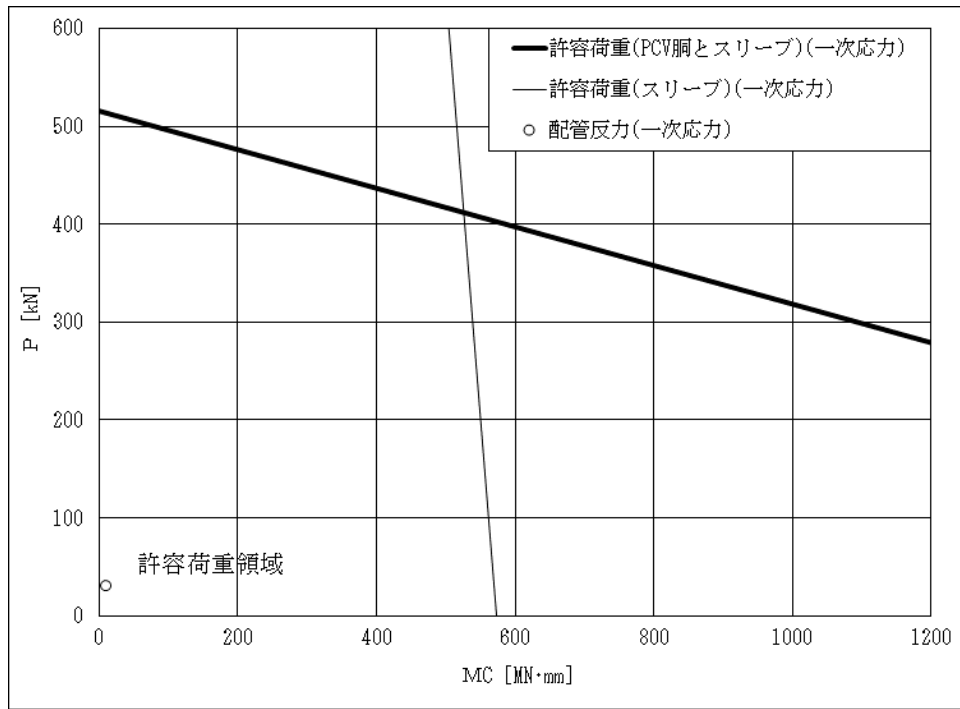
貫通部 番号	許容応力 状態	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	$S_\ell$ (MPa)	$S_\ell'$ (MPa)	$N_a$ (回)	$N_c$ (回)	疲労累積 係数 $N_c/N_a$	備考
X-213	Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup>	654							0.510	
	V <sub>A</sub> S	654							0.260	
X-242A	Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup>	528							0.145	
	V <sub>A</sub> S	528							0.081	
X-200A	Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup>	642							0.904	
	V <sub>A</sub> S	642							0.495	
X-200B	Ⅲ <sub>A</sub> S <sup>*1</sup>	646							0.935	
	V <sub>A</sub> S	646							0.512	

- 28  $K_e$  : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数  
 $S_p$  : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲  
 $S_\ell$  : 繰返しピーク応力強さ  
 $S_\ell'$  : 補正繰返しピーク応力強さ<sup>\*2</sup>  
 $N_a$  : 許容繰返し回数  
 $N_c$  : 等価繰返し回数  
 $E_o$  : 縦弾性係数  
 $E$  : 運転温度の縦弾性係数
- 注記\*1: 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの評価として、保守的に $S_s$ と $S_d^*$ を包絡した耐震条件にて評価した結果を示す。  
\*2:  $S_\ell$ に( $E_o/E$ )を乗じた値である  
 $E_o = 2.07 \times 10^5$  MPa  
 $E = 1.98 \times 10^5$  MPa (サプレッションチェンバ側 (X-213 以外) Ⅲ<sub>A</sub>S及びⅣ<sub>A</sub>S: 104°C)

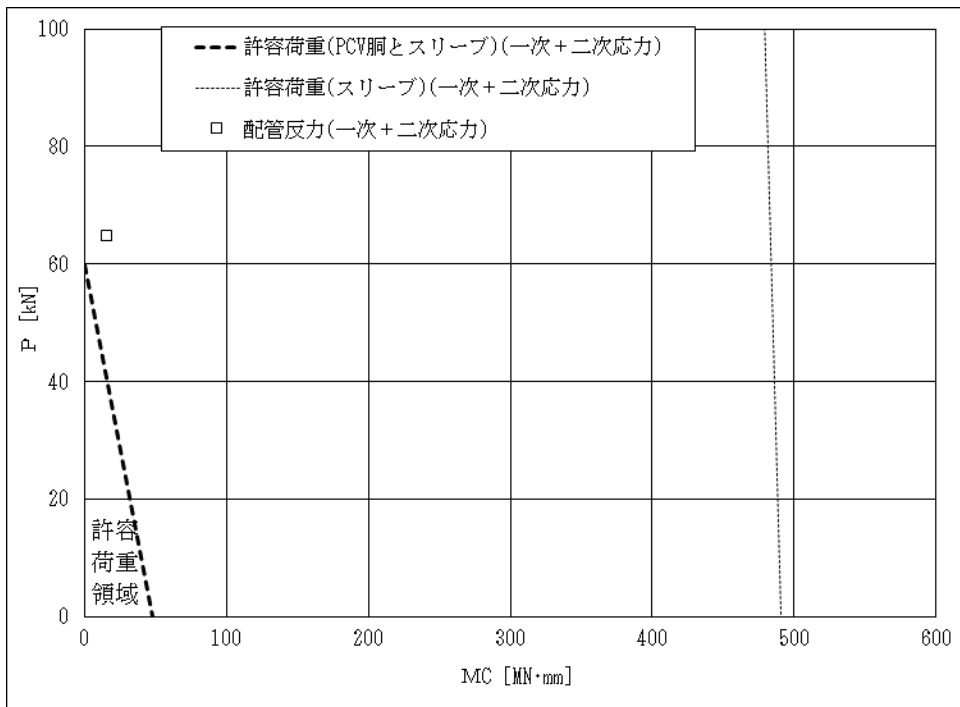
$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$  (ドライウエル側 III<sub>A</sub>S 及びIV<sub>A</sub>S : 171°C)

$E = 1.92 \times 10^5 \text{ MPa}$  (サブプレッションチェンバ側 (X-213) III<sub>A</sub>S : 184°C)

$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$  (ドライウエル側及びサブプレッションチェンバ側 V<sub>A</sub>S : 200°C)



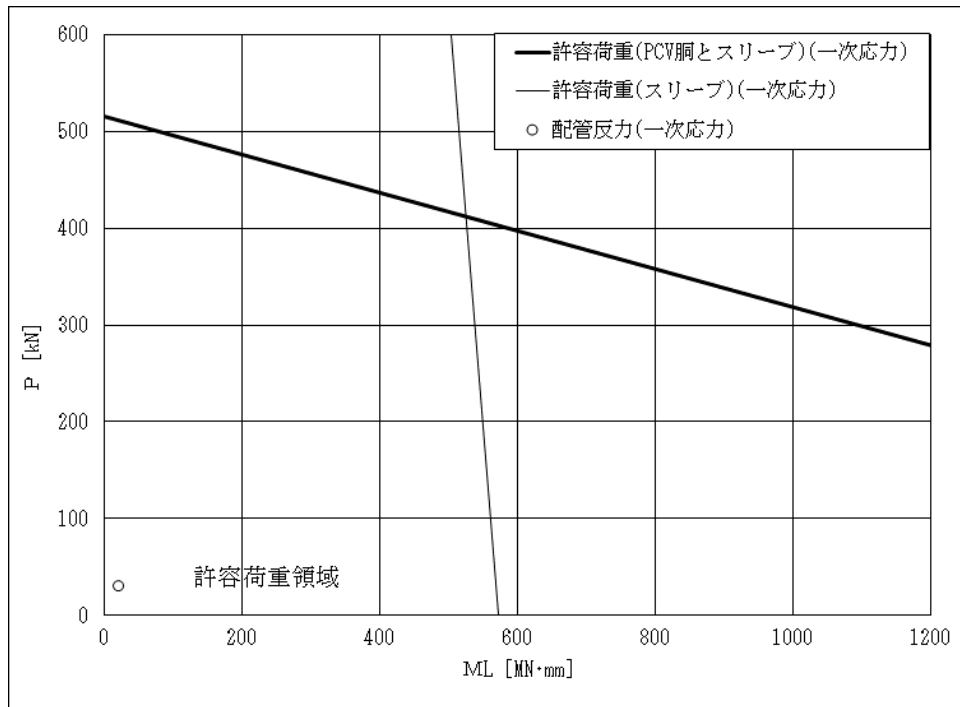
上図：一次応力に対する許容荷重領域



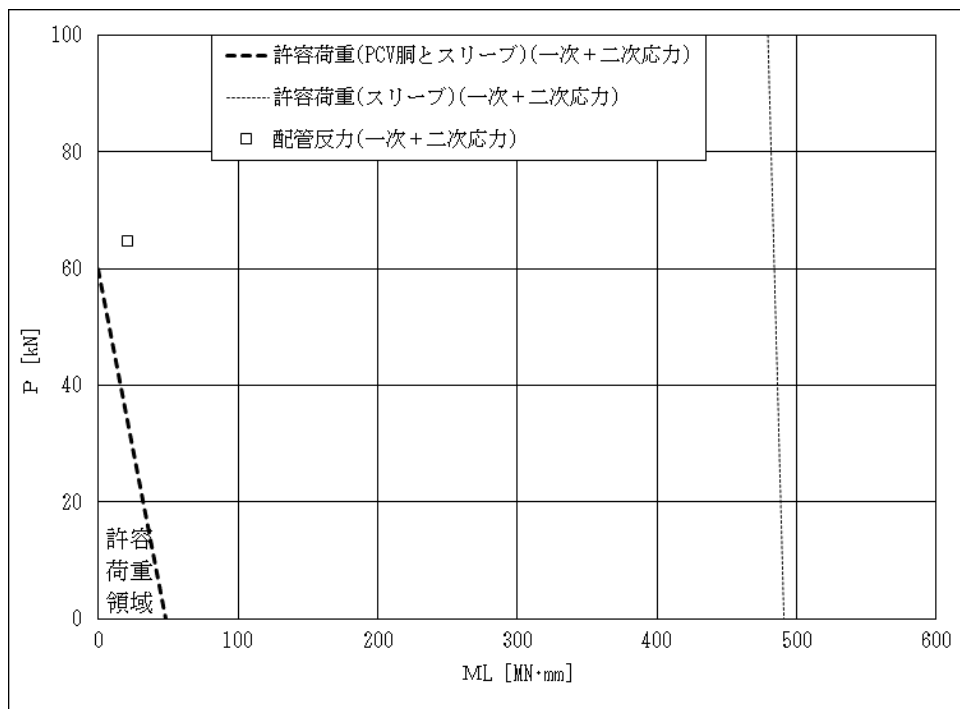
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図1 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-80）（その1：縦軸 $P$ －横軸 $MC$ ）



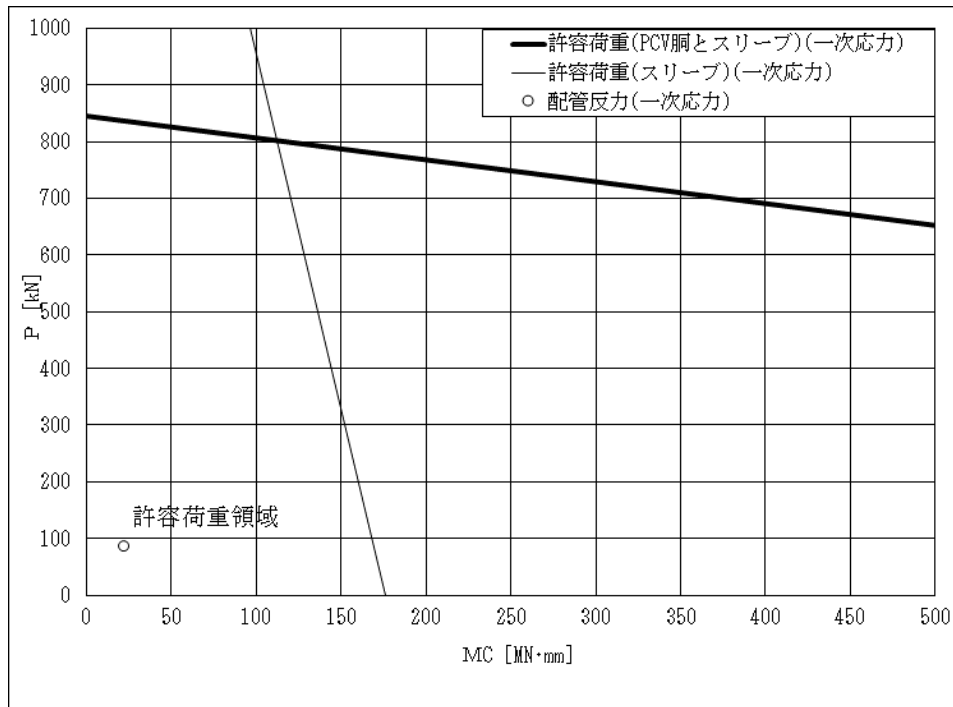


上図：一次応力に対する許容荷重領域

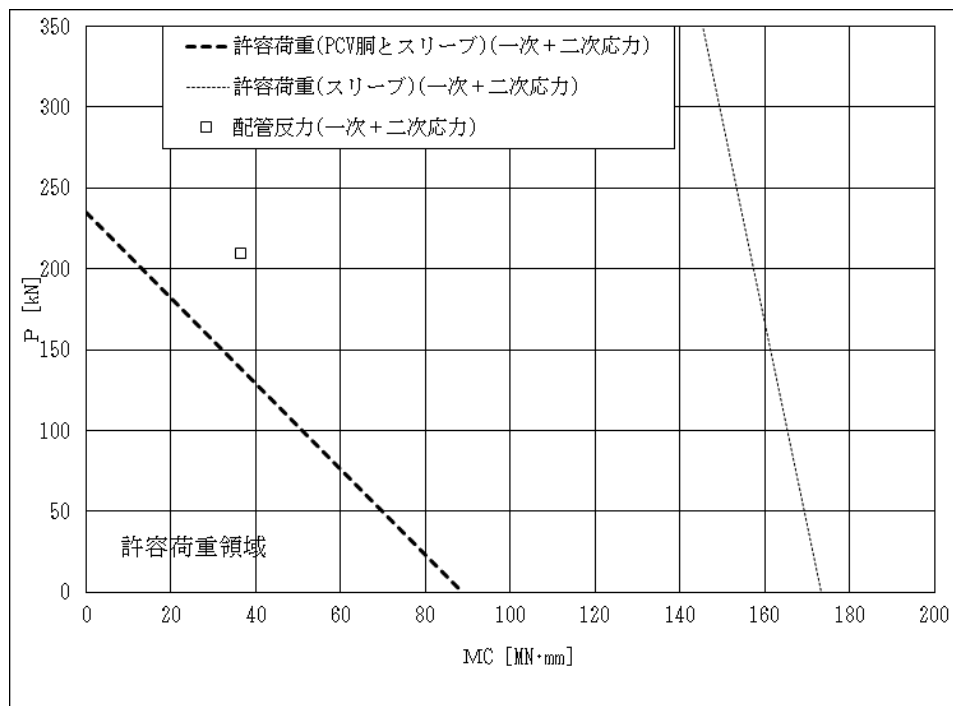


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図1 許容荷重領域による確認結果(貫通部 No. X-80)(その2:縦軸P-横軸 $M_L$ )

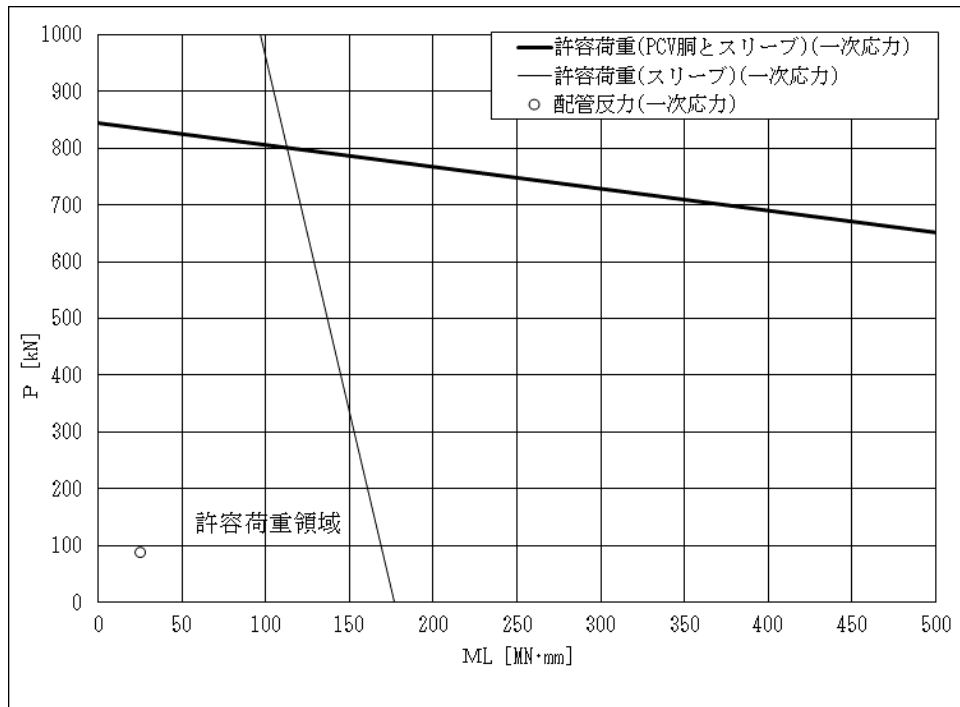


上図：一次応力に対する許容荷重領域

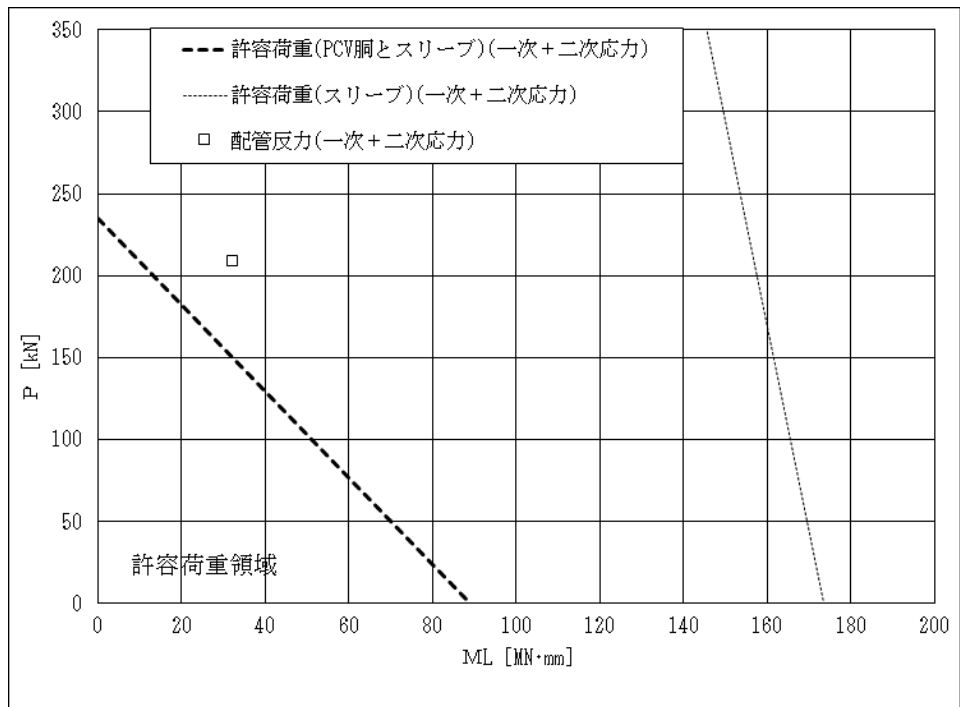


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図2 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-30A）（その1：縦軸 $P$ －横軸 $M_C$ ）

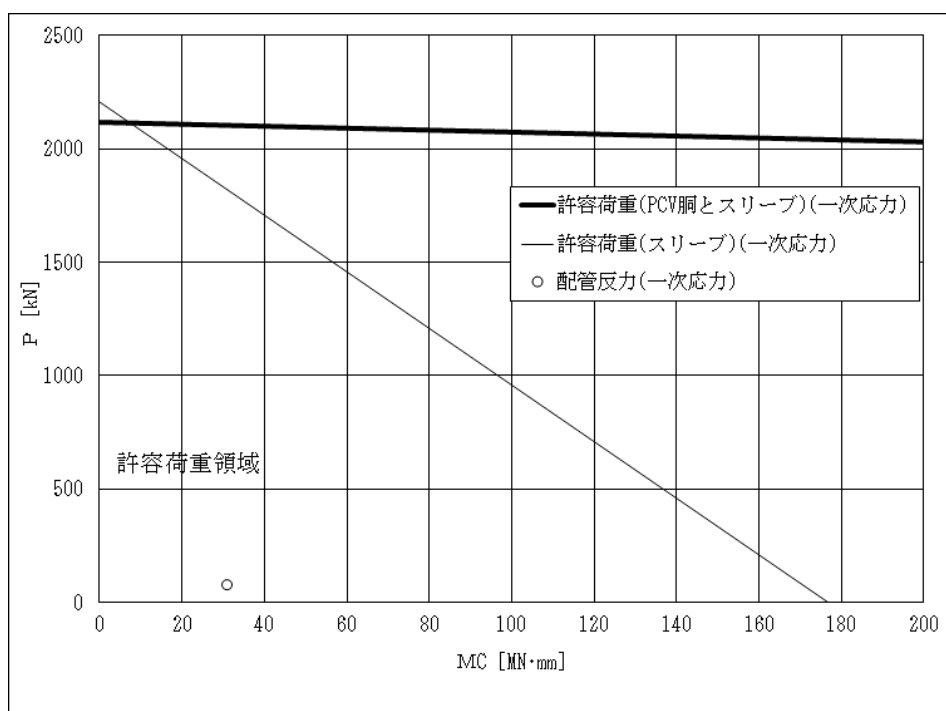


上図：一次応力に対する許容荷重領域

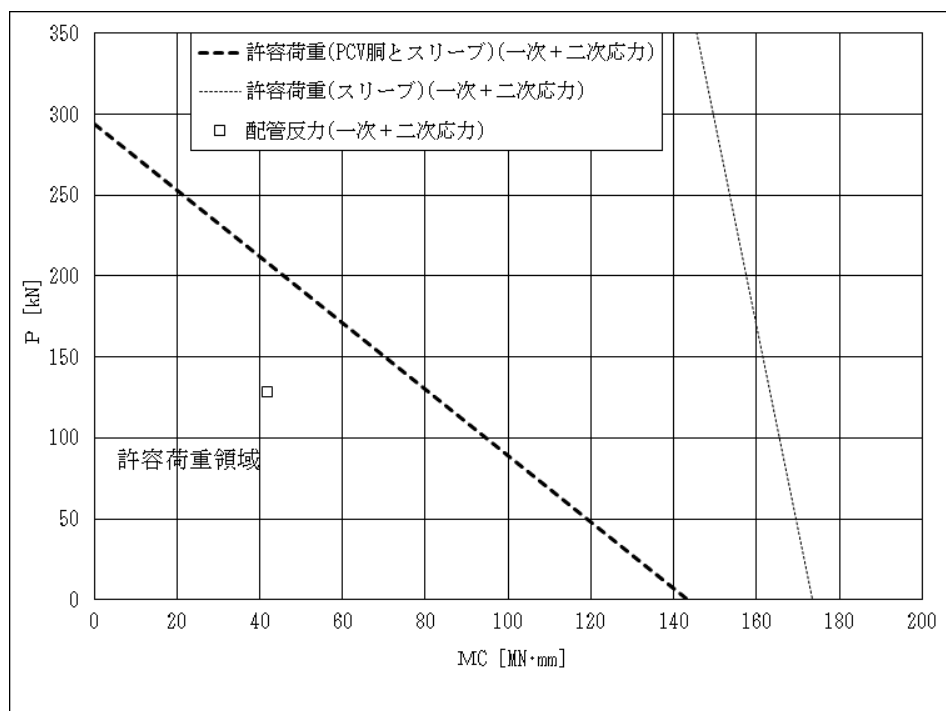


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図2 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-30A）（その2：縦軸P－横軸 $M_L$ ）

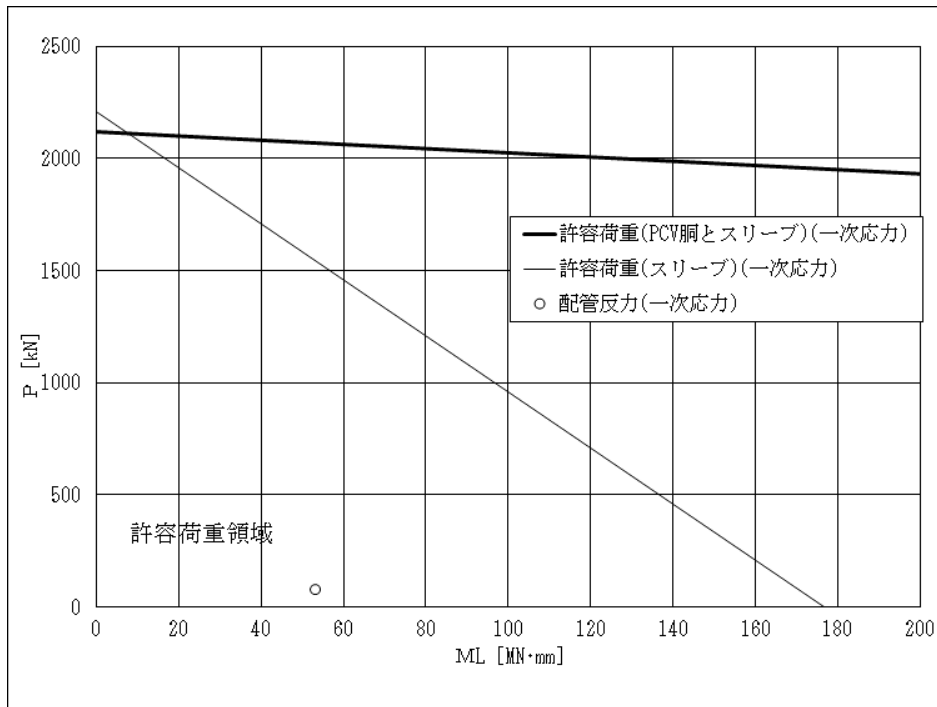


上図：一次応力に対する許容荷重領域

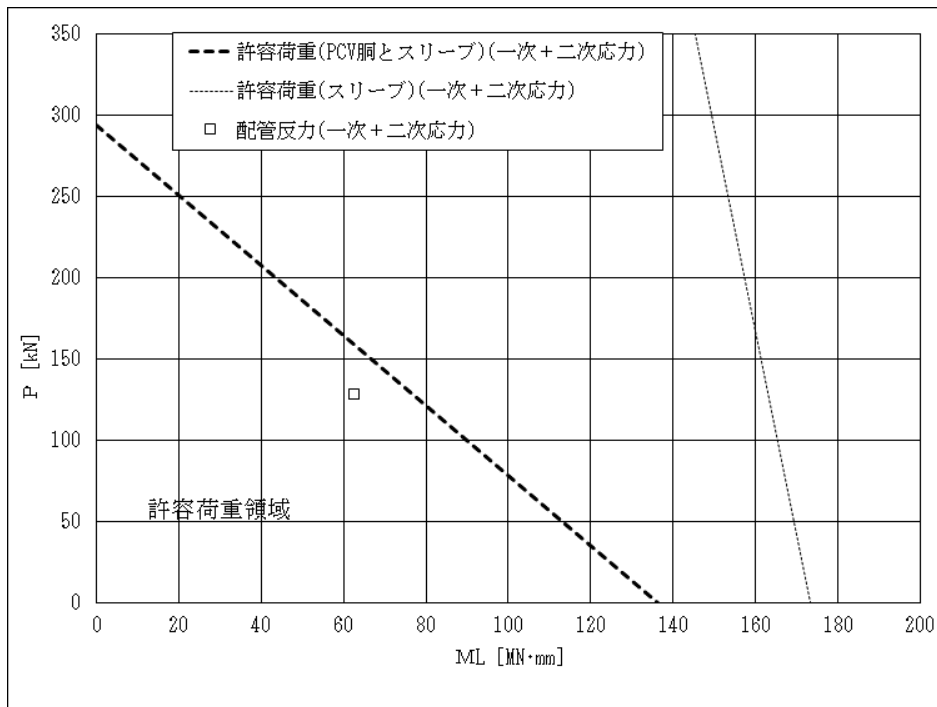


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図3 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-30B）（その1：縦軸 $P$ －横軸 $M_C$ ）

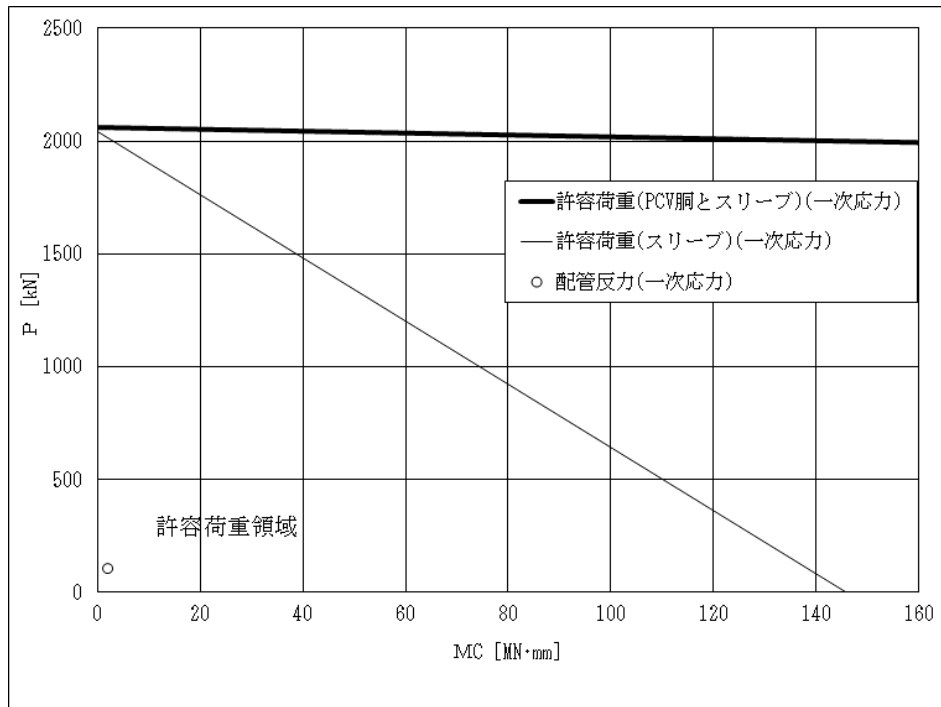


上図：一次応力に対する許容荷重領域

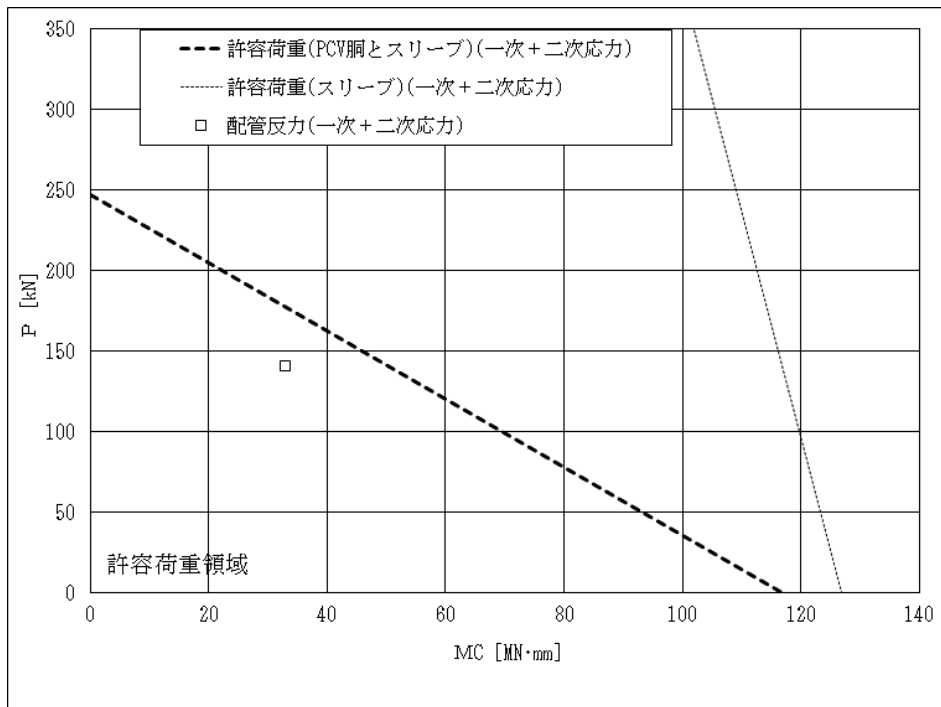


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図3 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-30B）（その2：縦軸 $P$ －横軸 $M_L$ ）

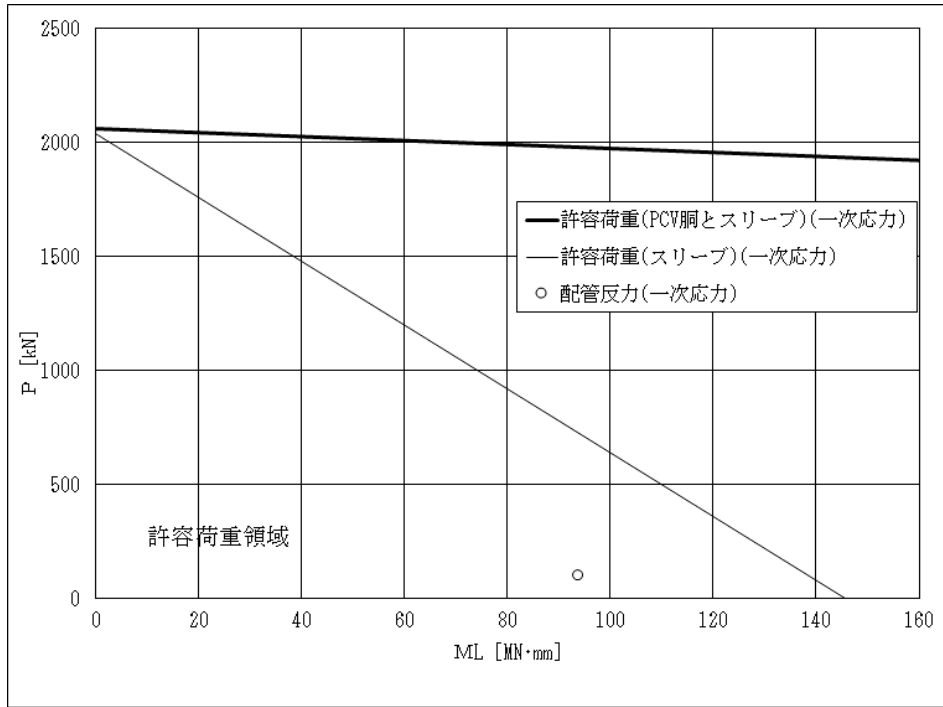


上図：一次応力に対する許容荷重領域

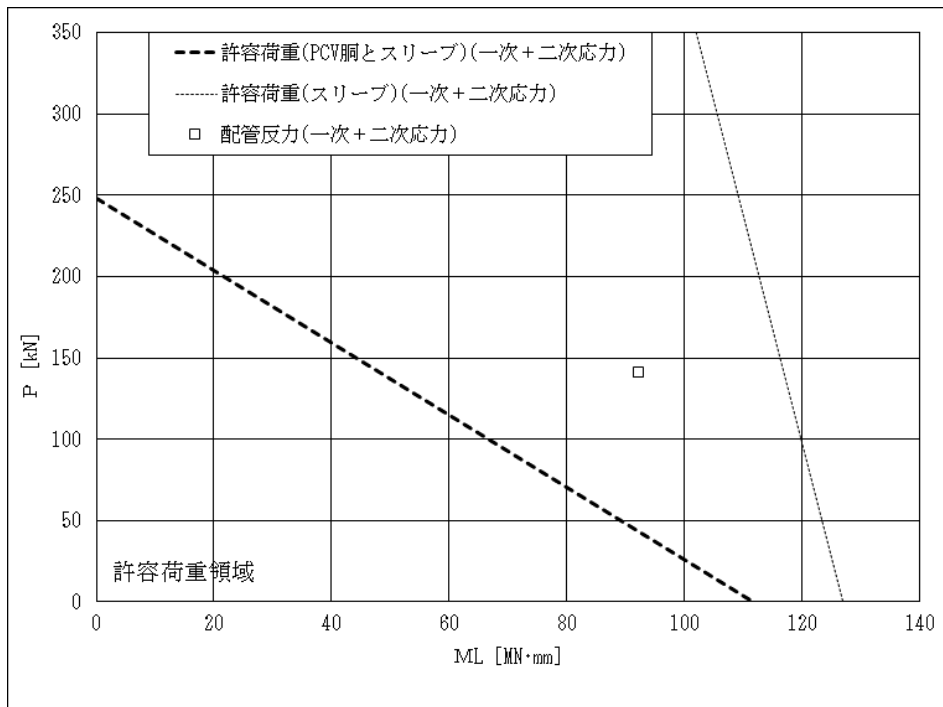


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図4 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-61）（その1：縦軸P－横軸 $M_C$ ）

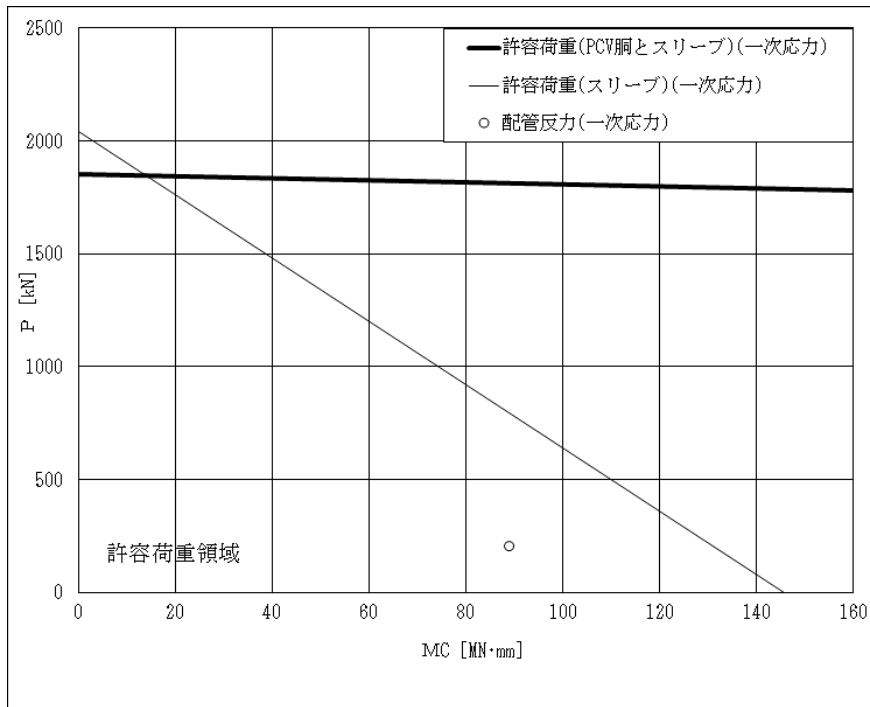


上図：一次応力に対する許容荷重領域

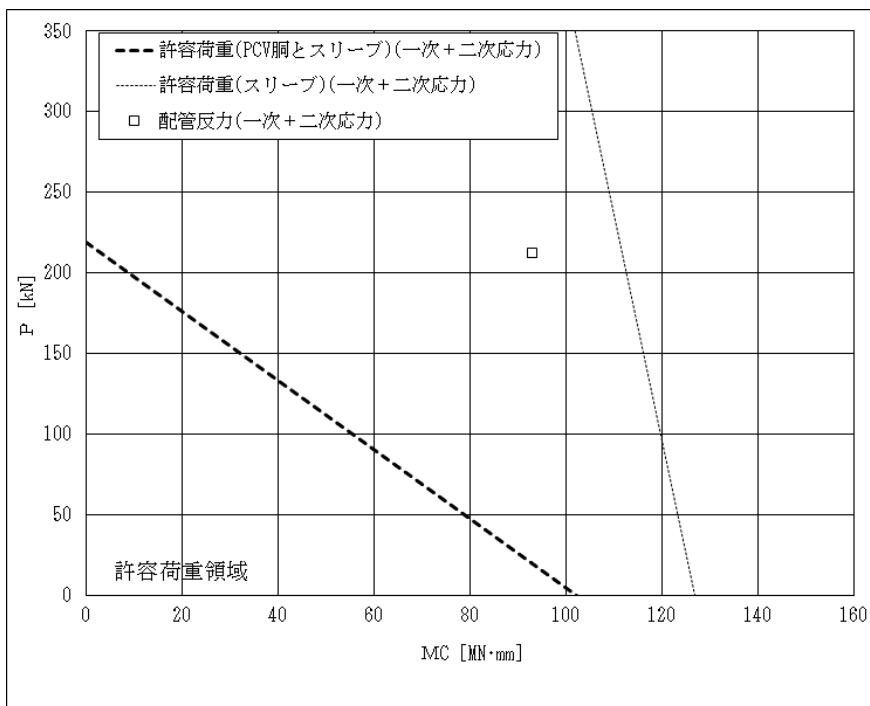


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図4 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-61）（その2：縦軸P－横軸 $M_L$ ）



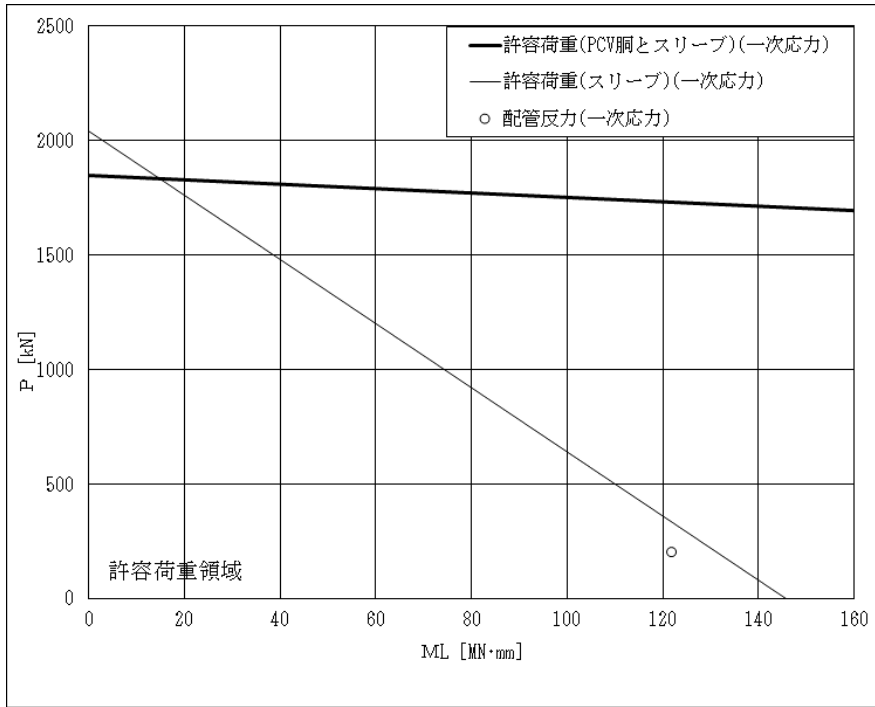
上図：一次応力に対する許容荷重領域



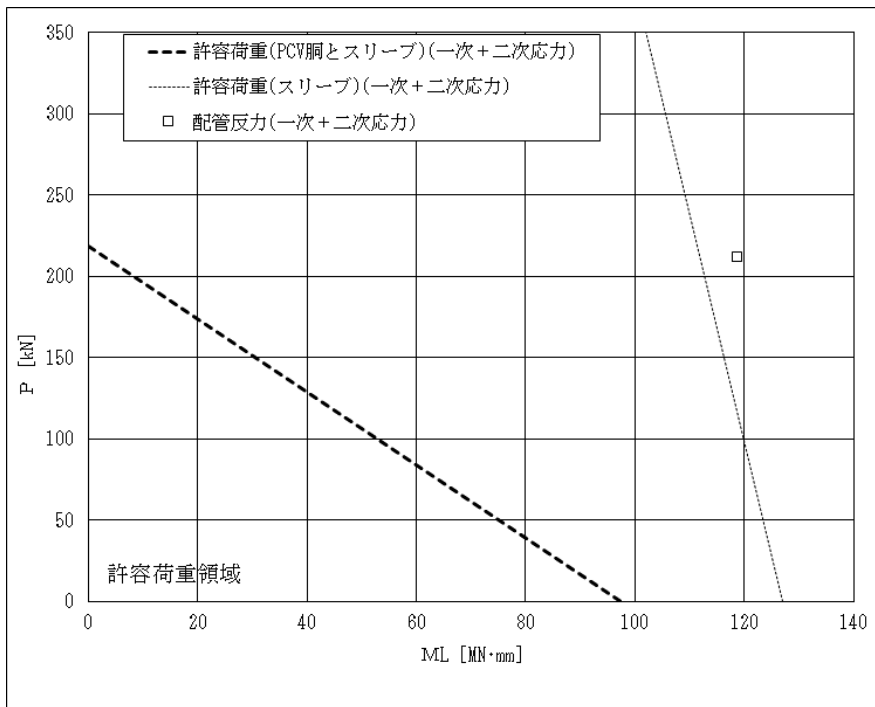
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図5 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-62）（その1：縦軸P－横軸MC）



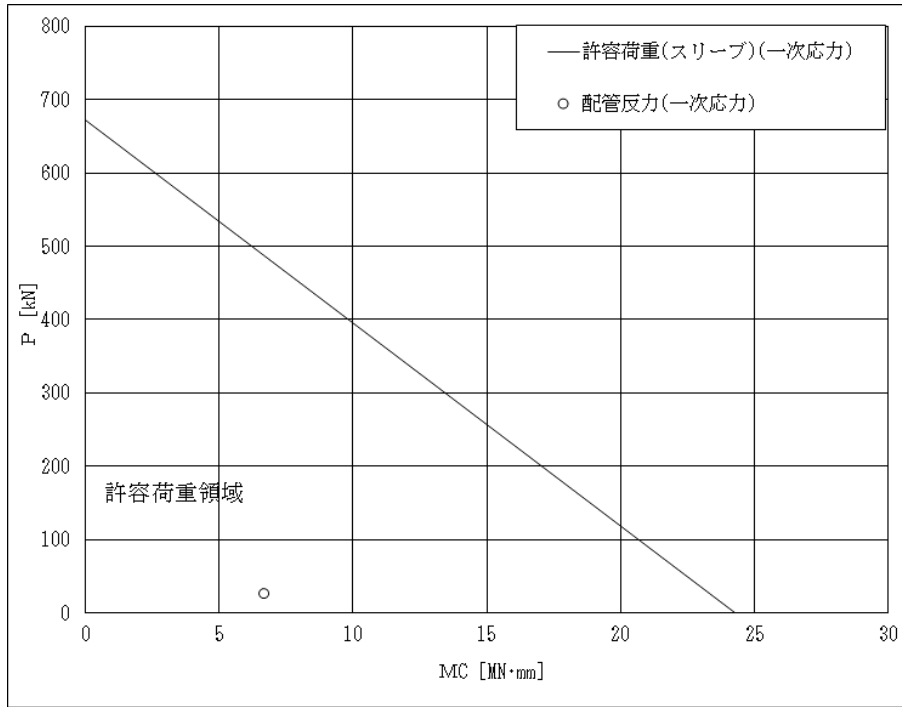


上図：一次応力に対する許容荷重領域

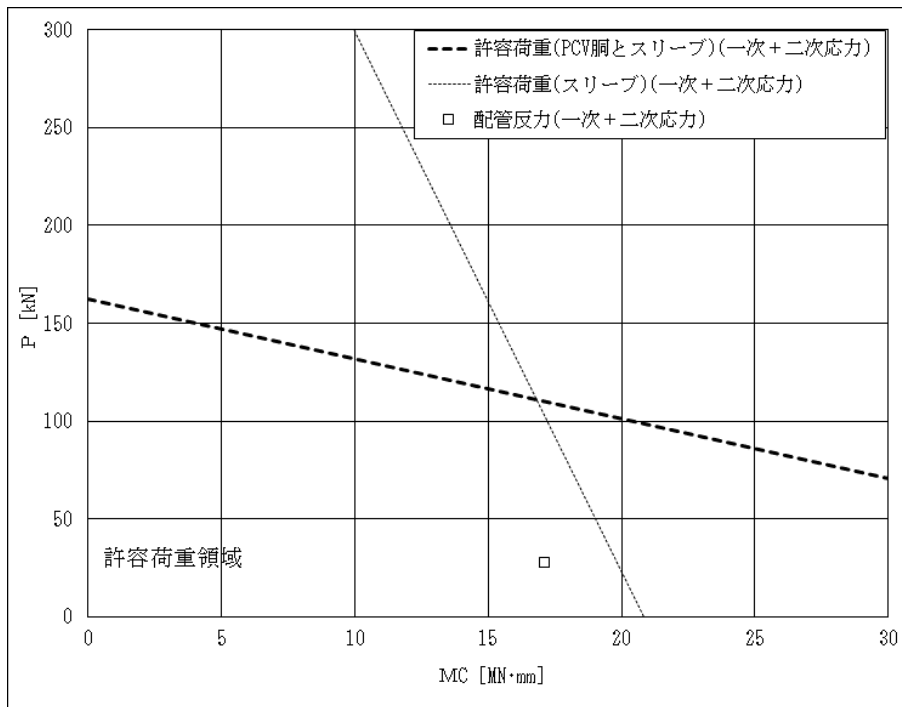


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図5 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-62）（その2：縦軸  $P$  - 横軸  $M_L$ ）

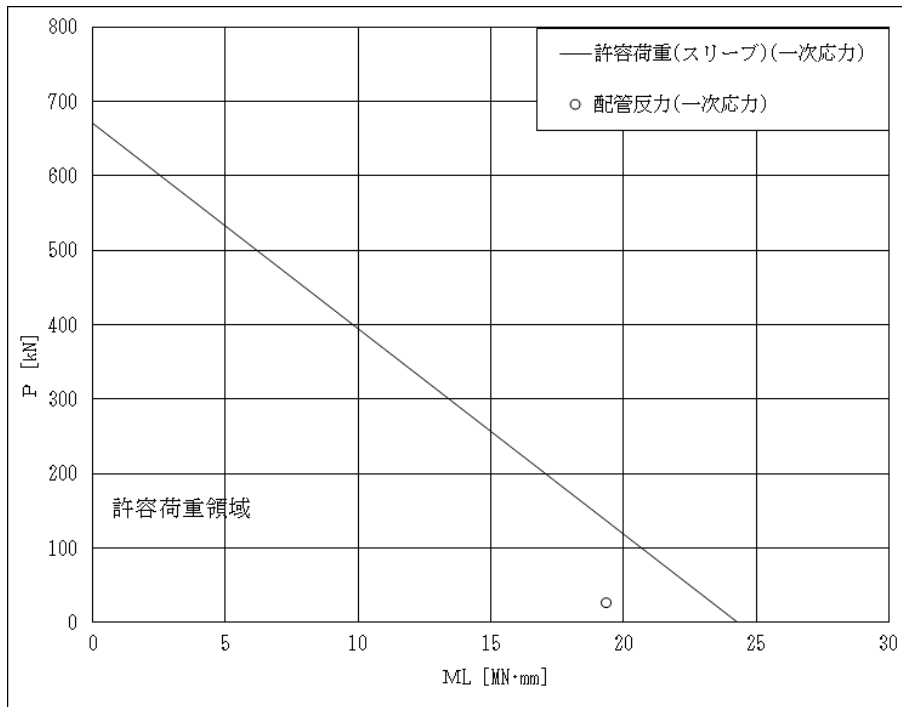


上図：一次応力に対する許容荷重領域

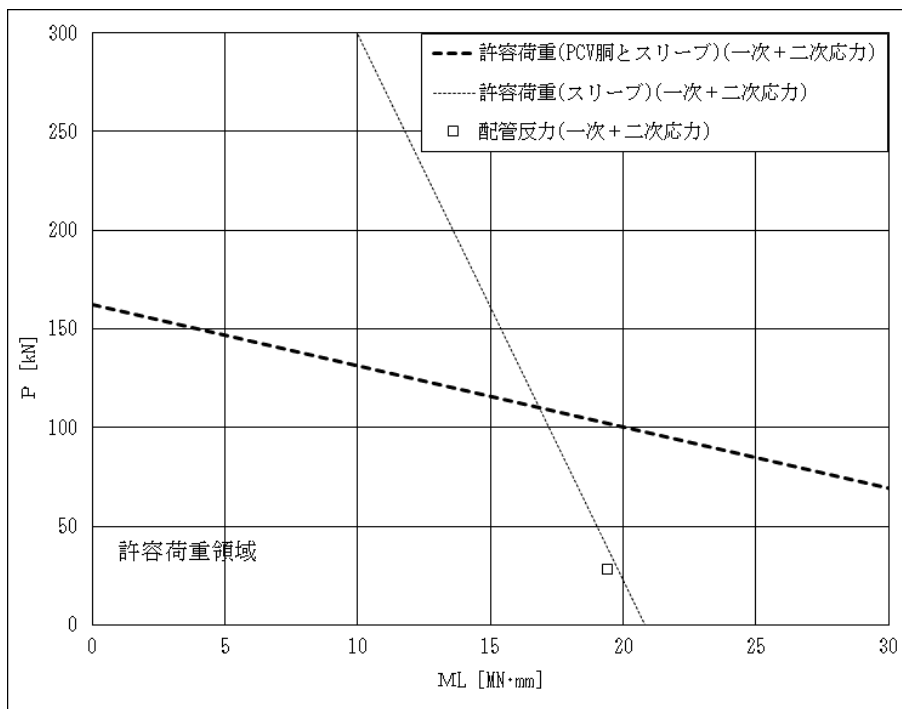


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図6 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-98）（その1：縦軸 $P$ －横軸 $M_C$ ）

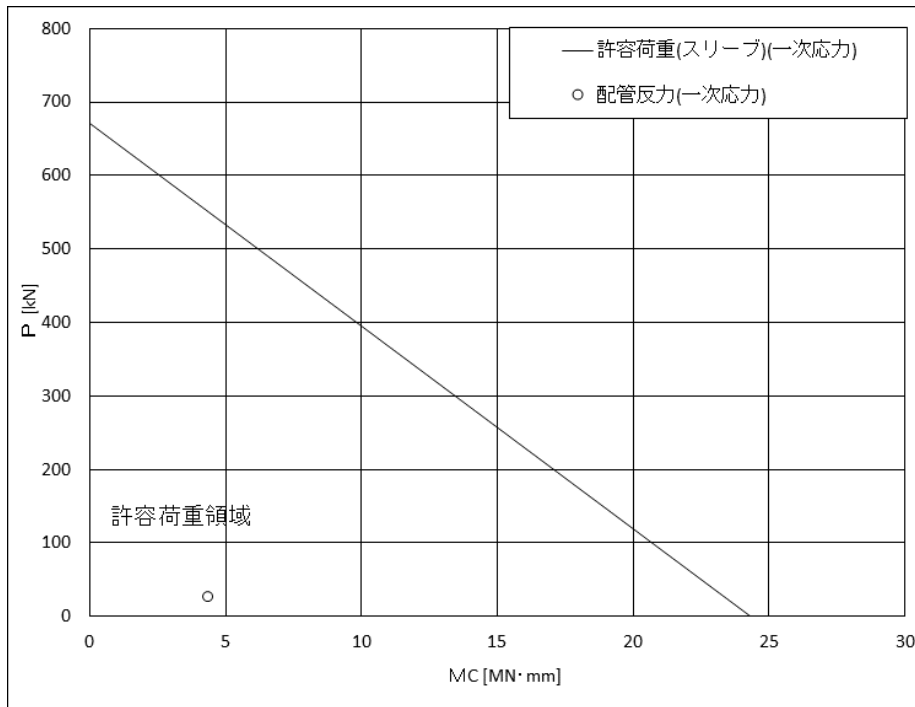


上図：一次応力に対する許容荷重領域

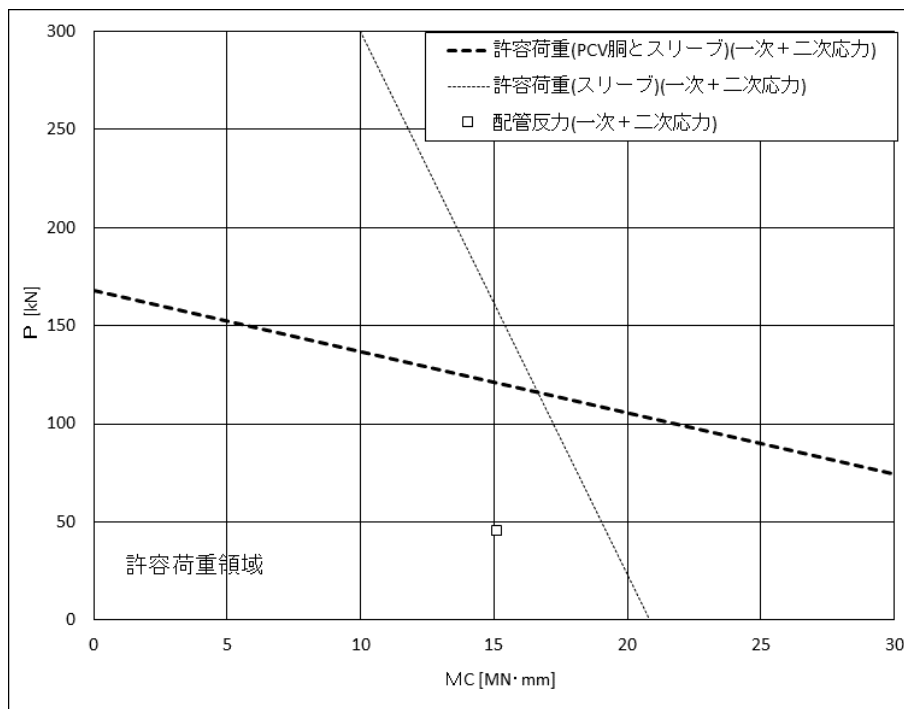


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図6 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-98）（その2：縦軸P－横軸 $M_L$ ）

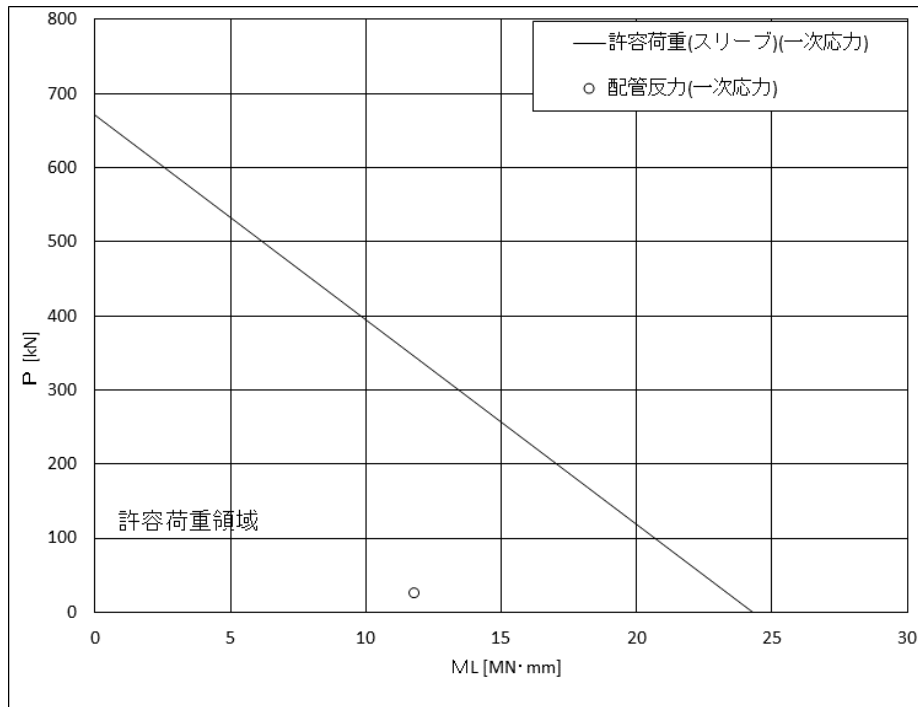


上図：一次応力に対する許容荷重領域

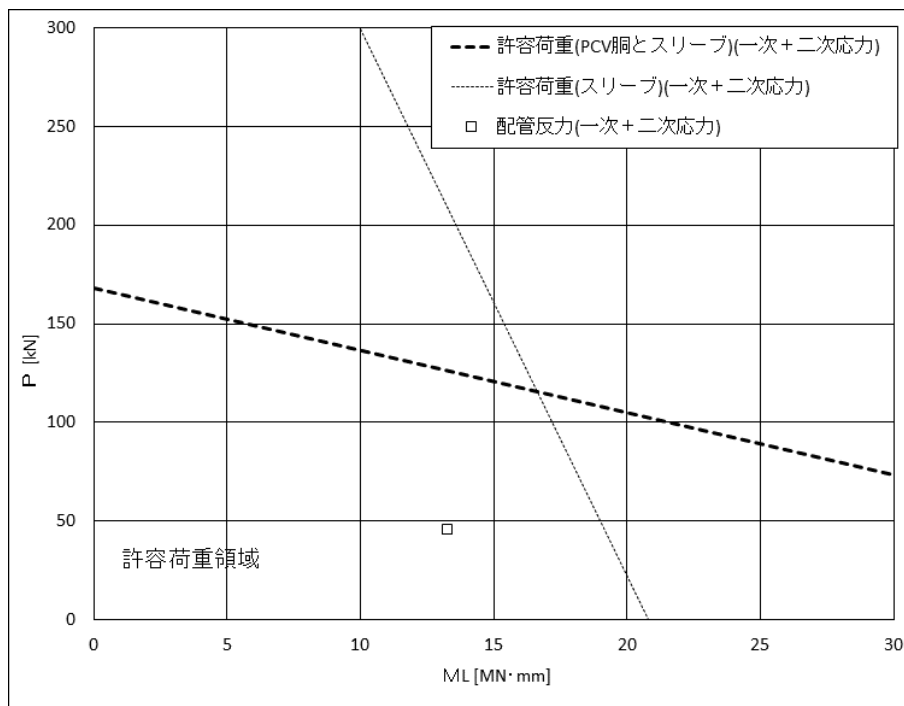


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図7 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-99）（その1：縦軸 $P$ －横軸 $MC$ ）

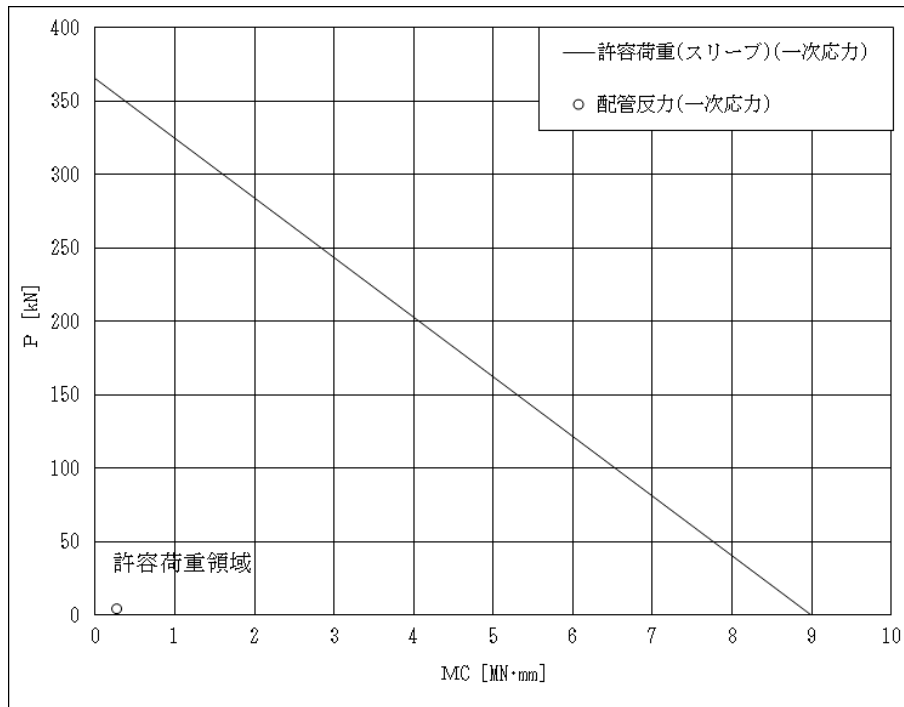


上図：一次応力に対する許容荷重領域

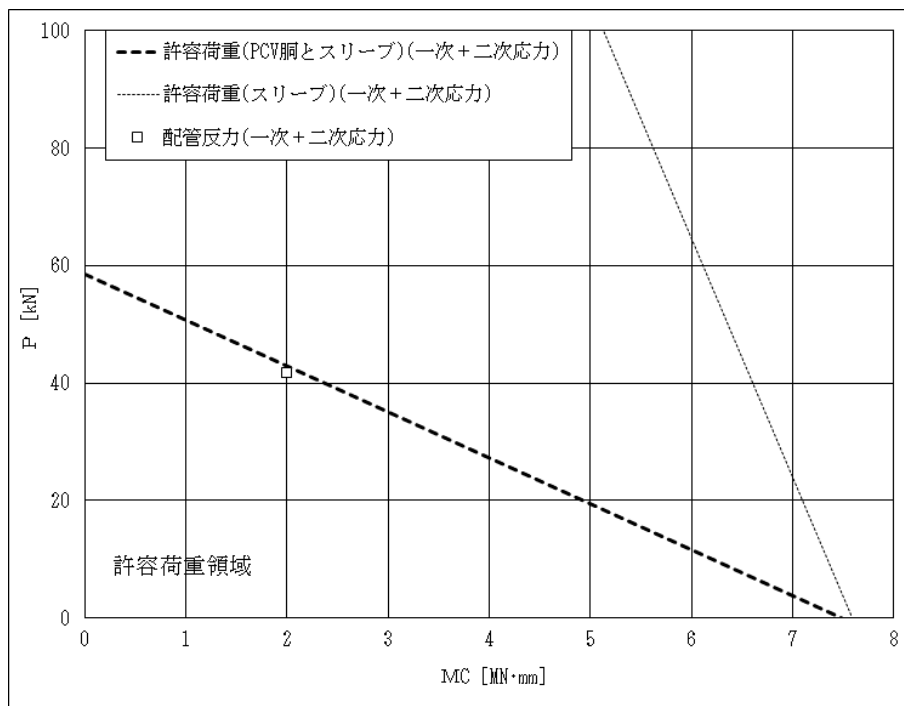


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図7 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-99）（その2：縦軸P－横軸 $M_L$ ）

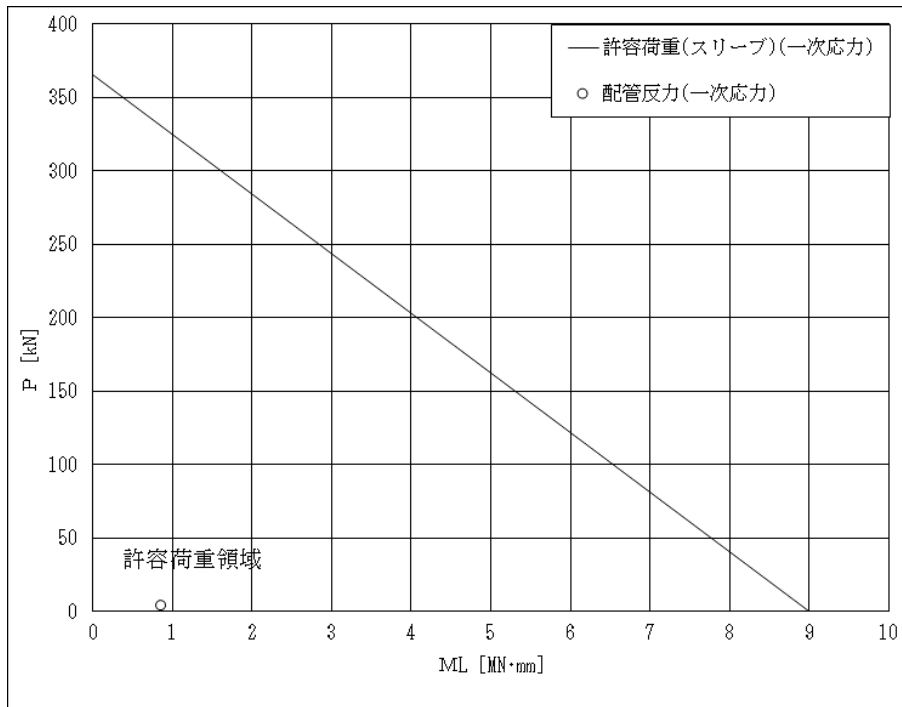


上図：一次応力に対する許容荷重領域

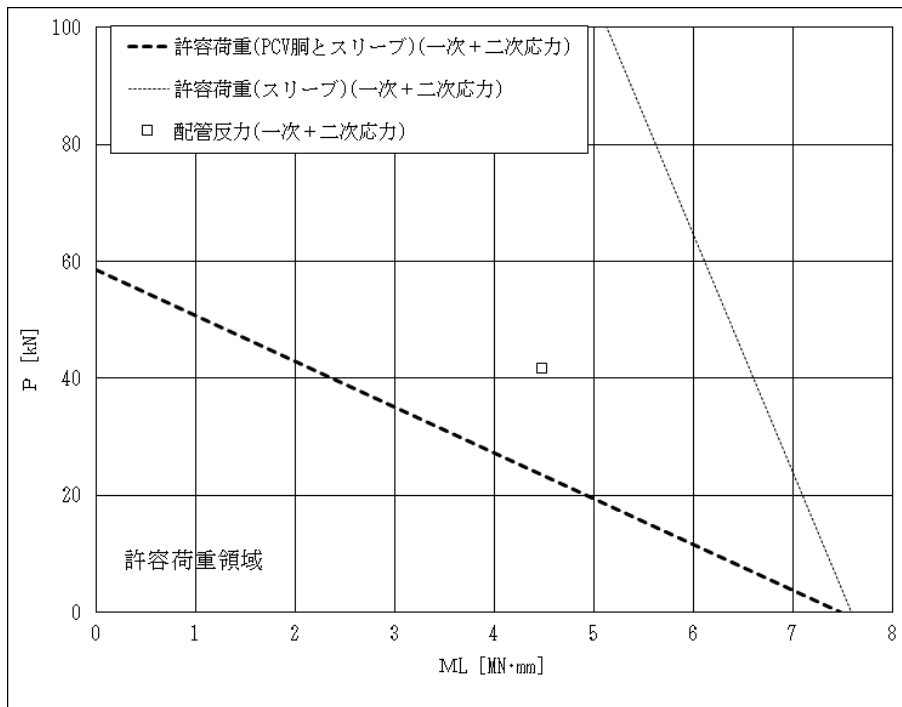


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図8 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-82A）（その1：縦軸 $P$ －横軸 $M_C$ ）

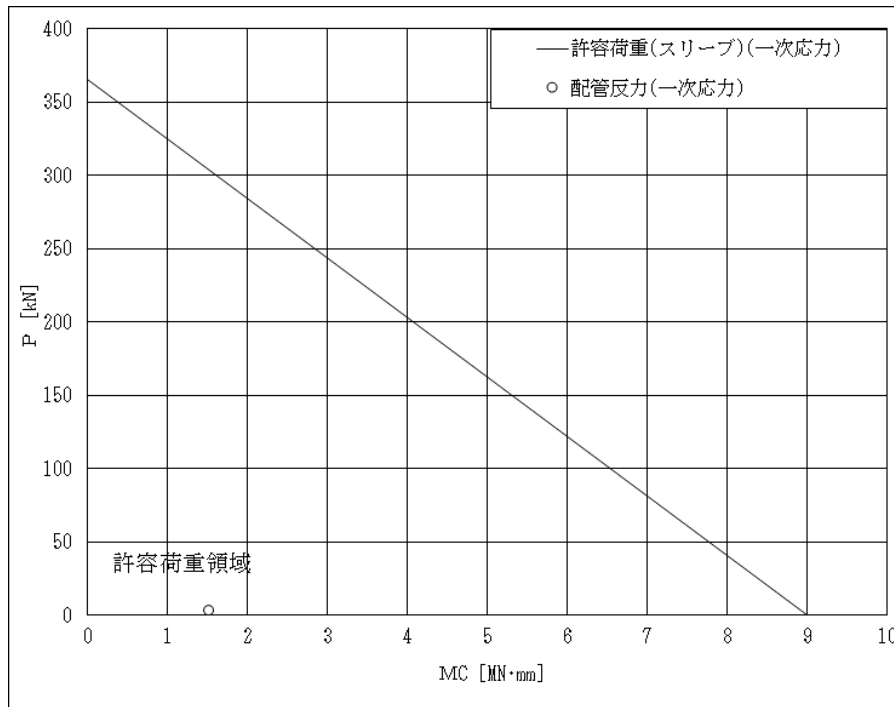


上図：一次応力に対する許容荷重領域

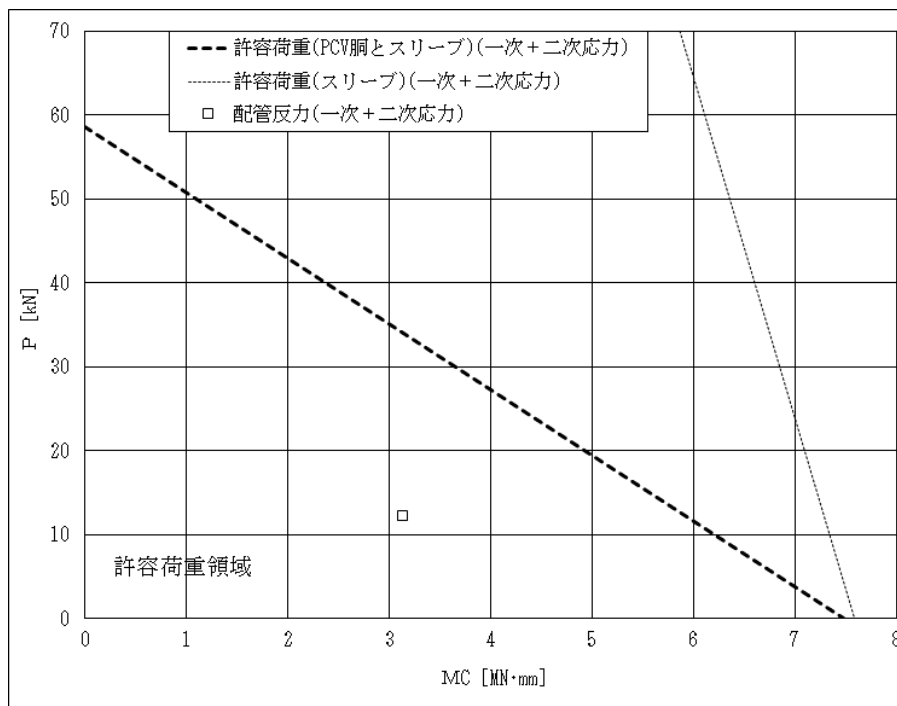


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 8 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-82A）（その 2：縦軸  $P$  - 横軸  $M_L$ ）



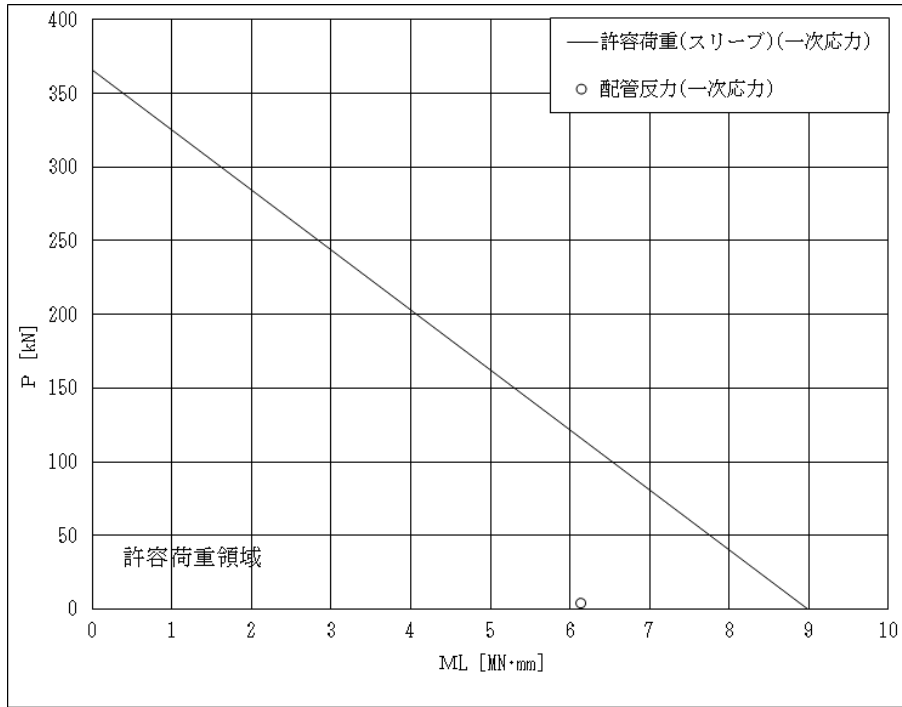
上図：一次応力に対する許容荷重領域



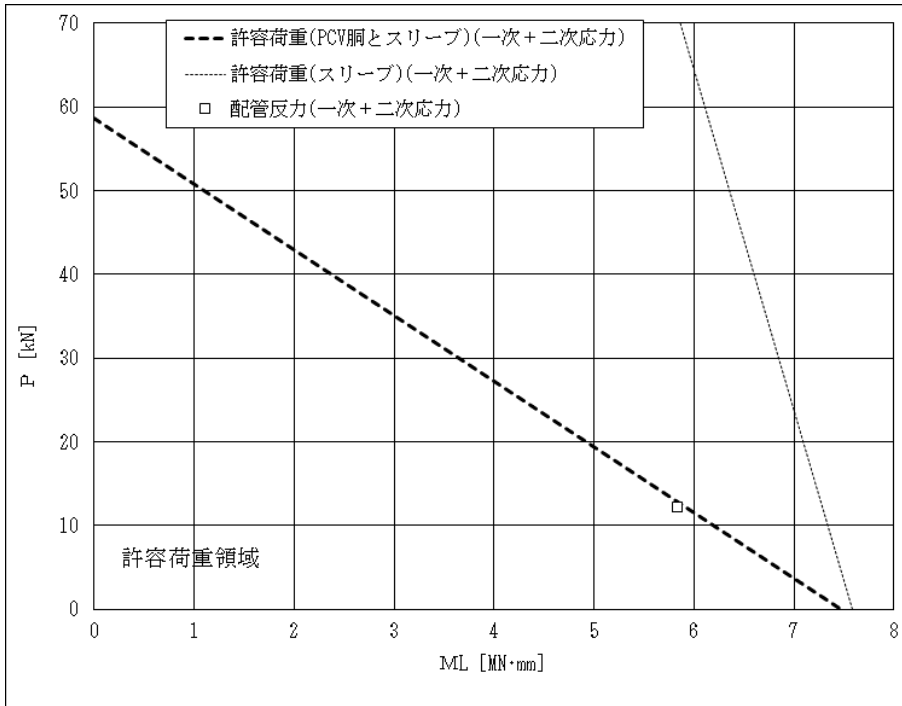
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図9 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-82B）（その1：縦軸P－横軸MC）



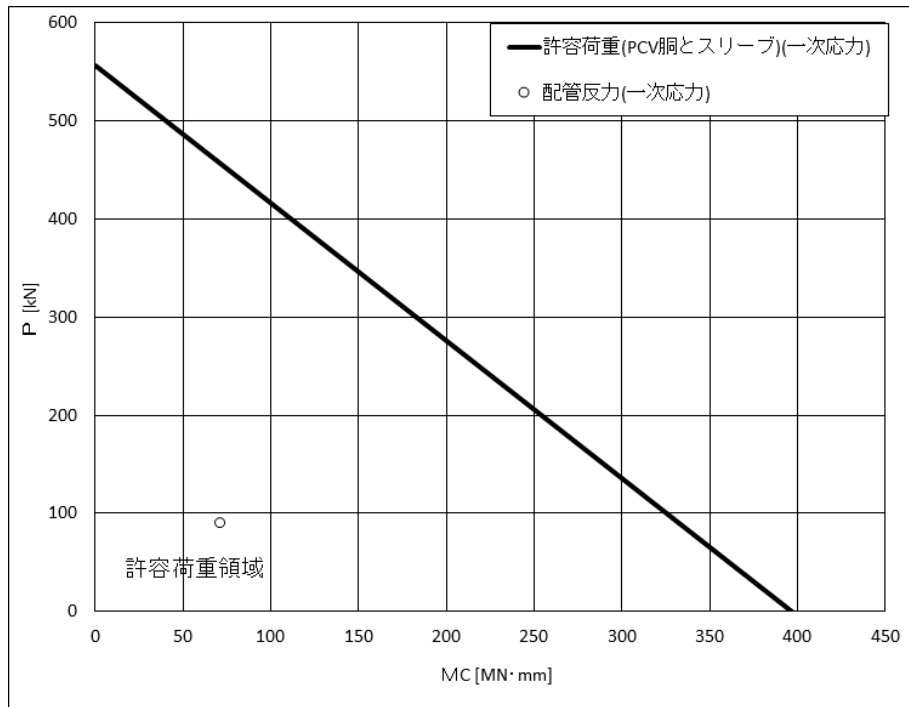


上図：一次応力に対する許容荷重領域

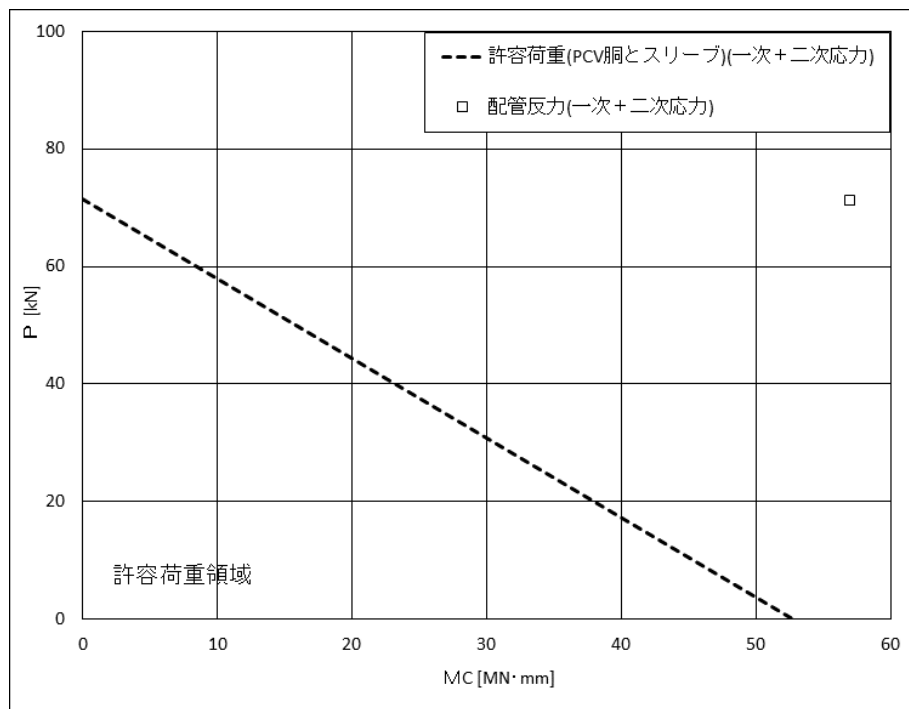


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図9 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-82B）（その2：縦軸 $P$ —横軸 $M_L$ ）

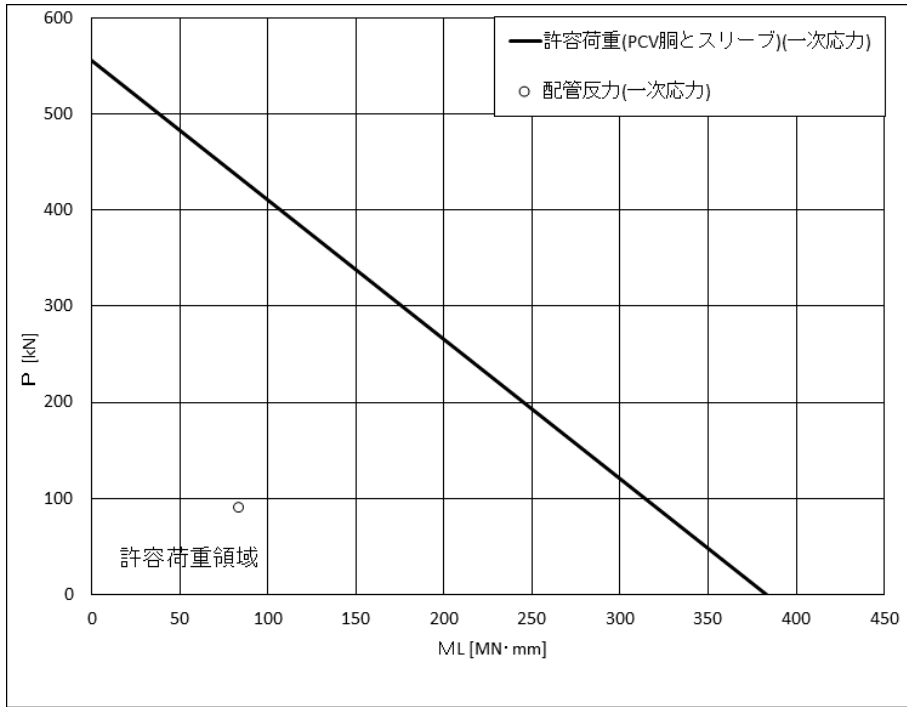


上図：一次応力に対する許容荷重領域

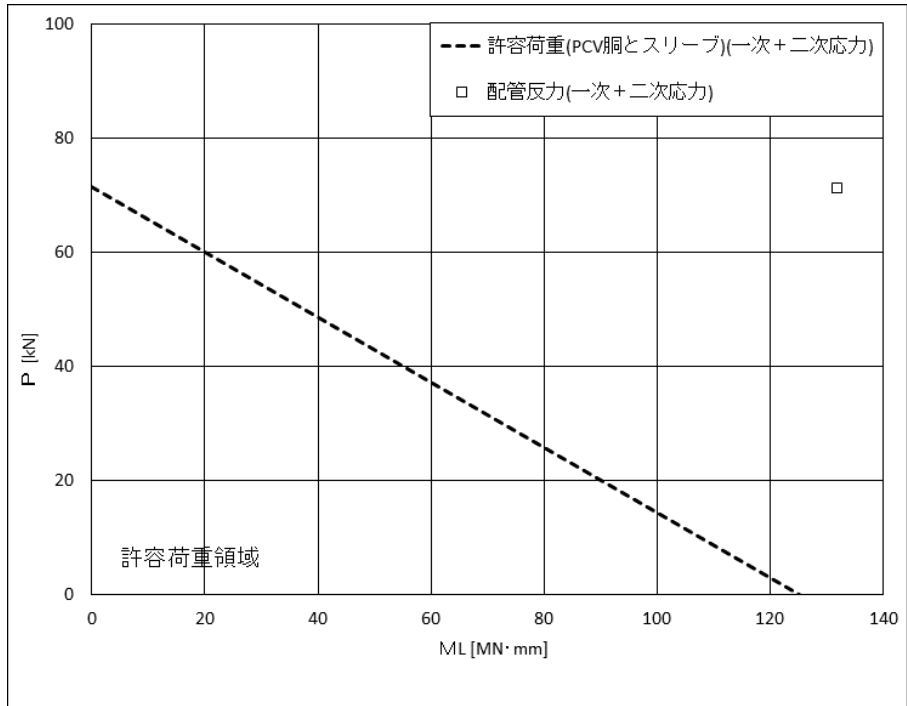


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 10 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-201）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）

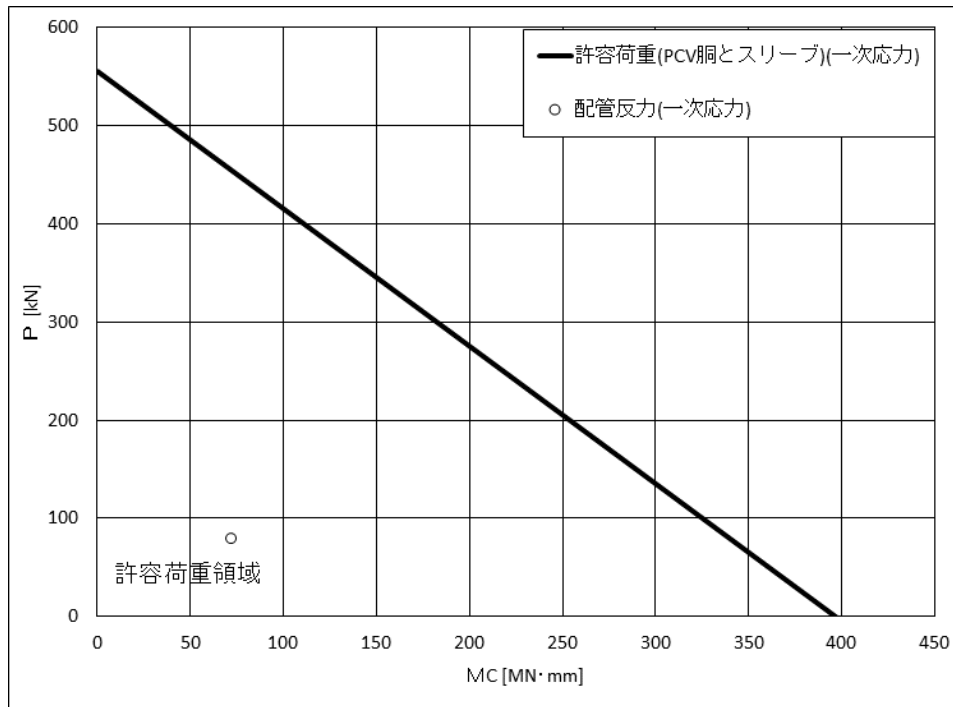


上図：一次応力に対する許容荷重領域

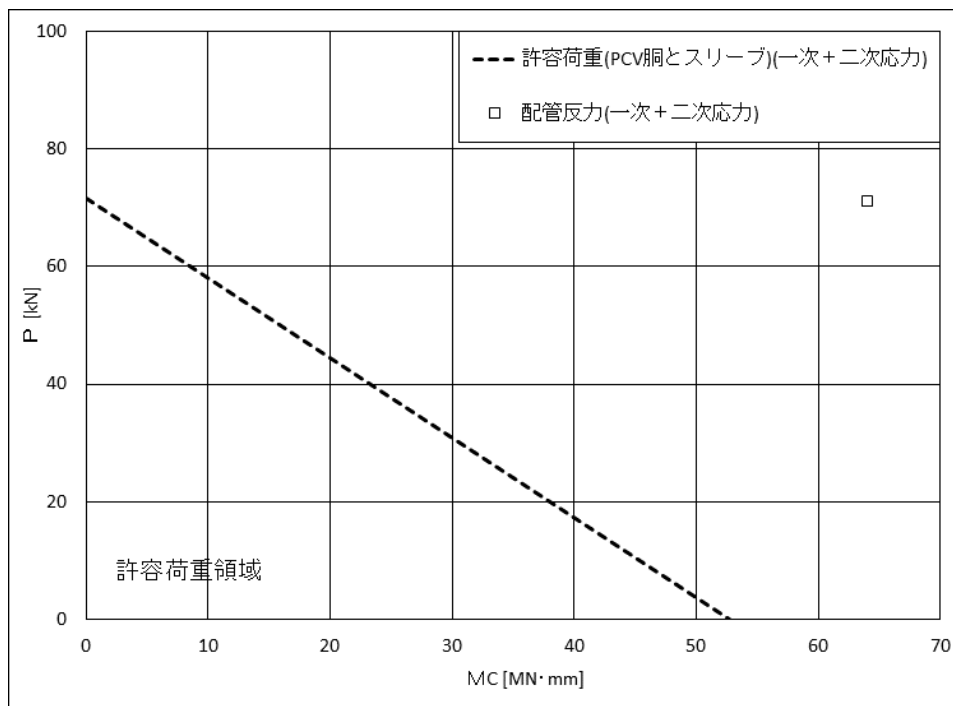


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 10 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X201）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

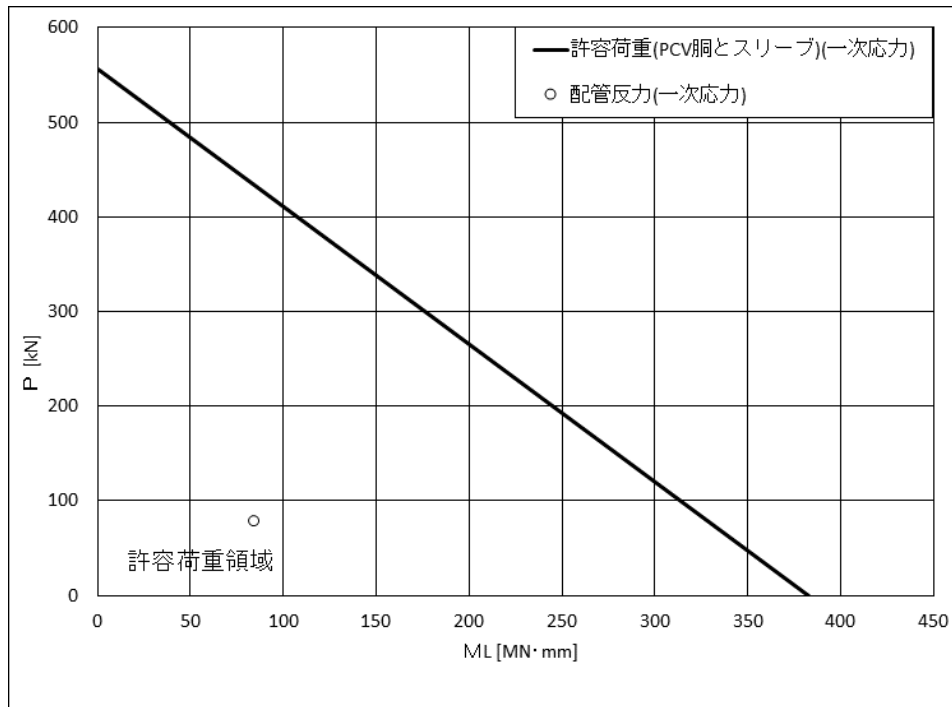


上図：一次応力に対する許容荷重領域

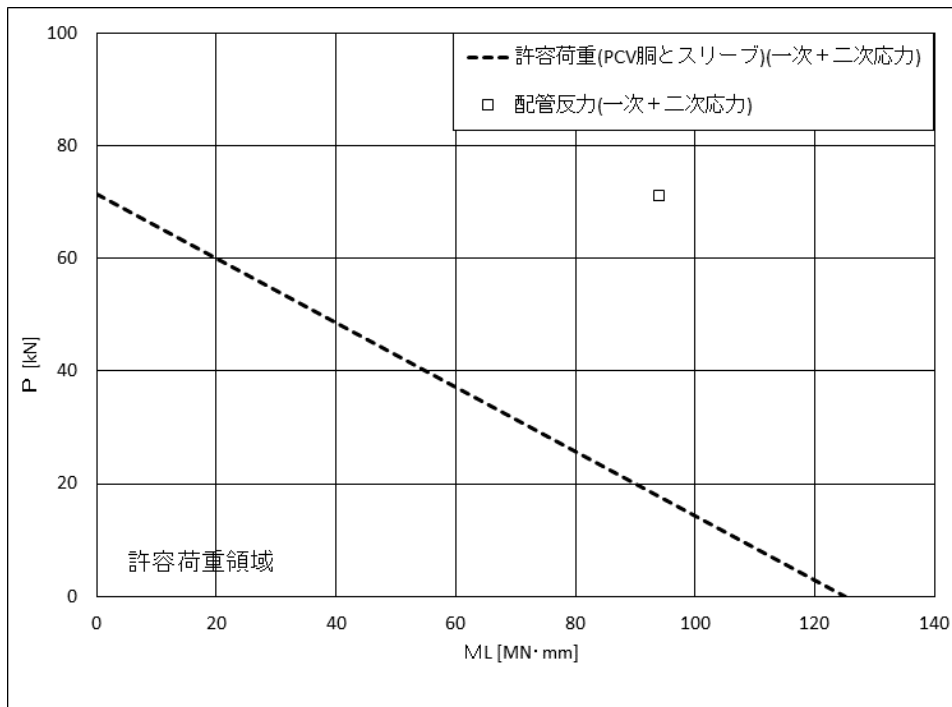


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 11 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-202）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）

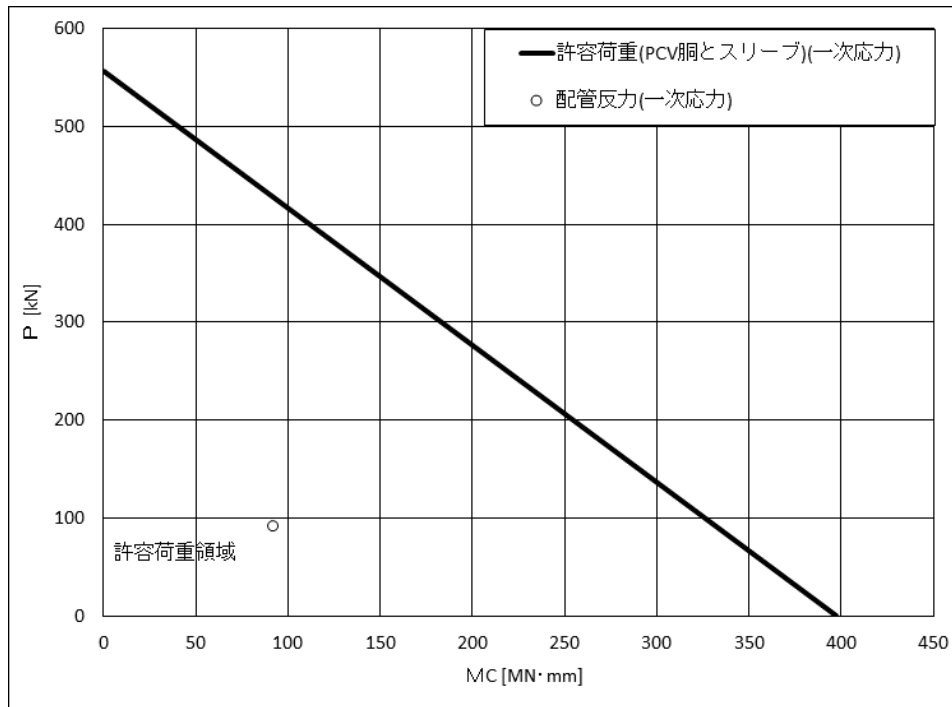


上図：一次応力に対する許容荷重領域

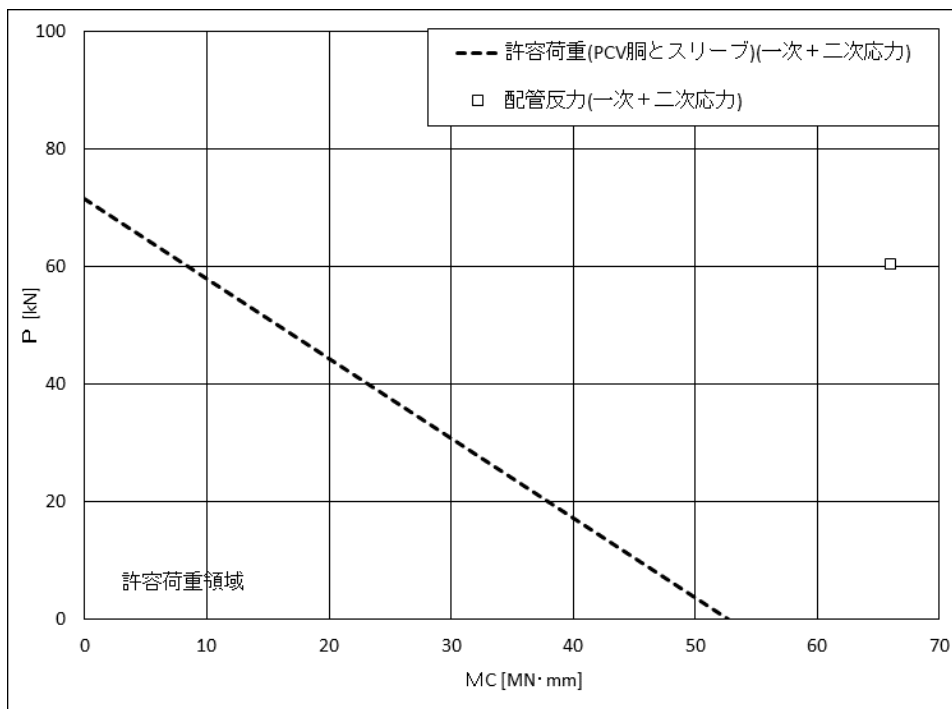


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 11 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-202）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

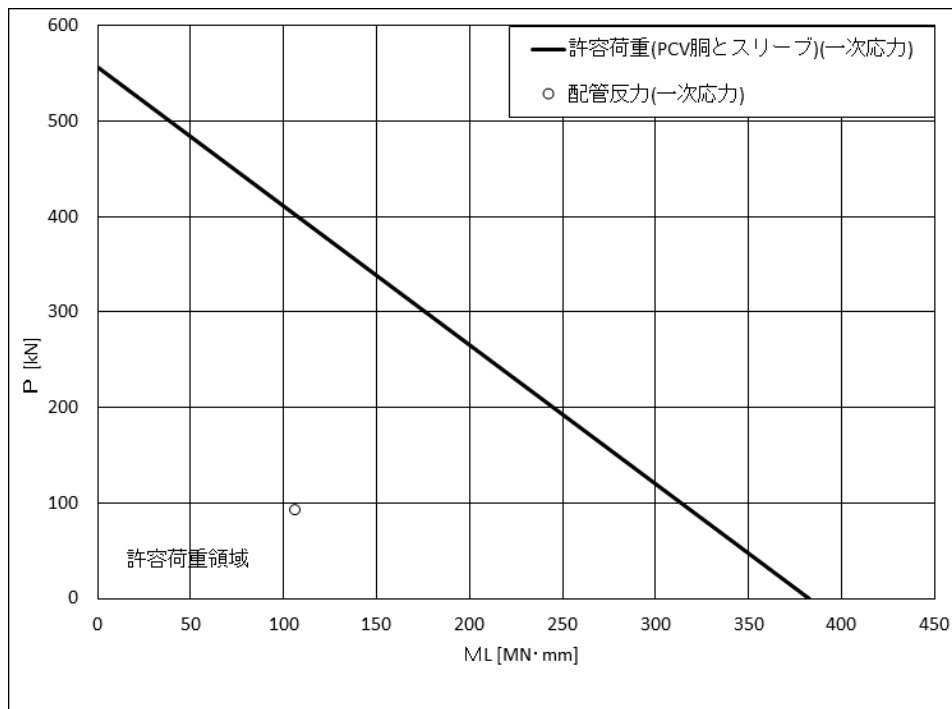


上図：一次応力に対する許容荷重領域

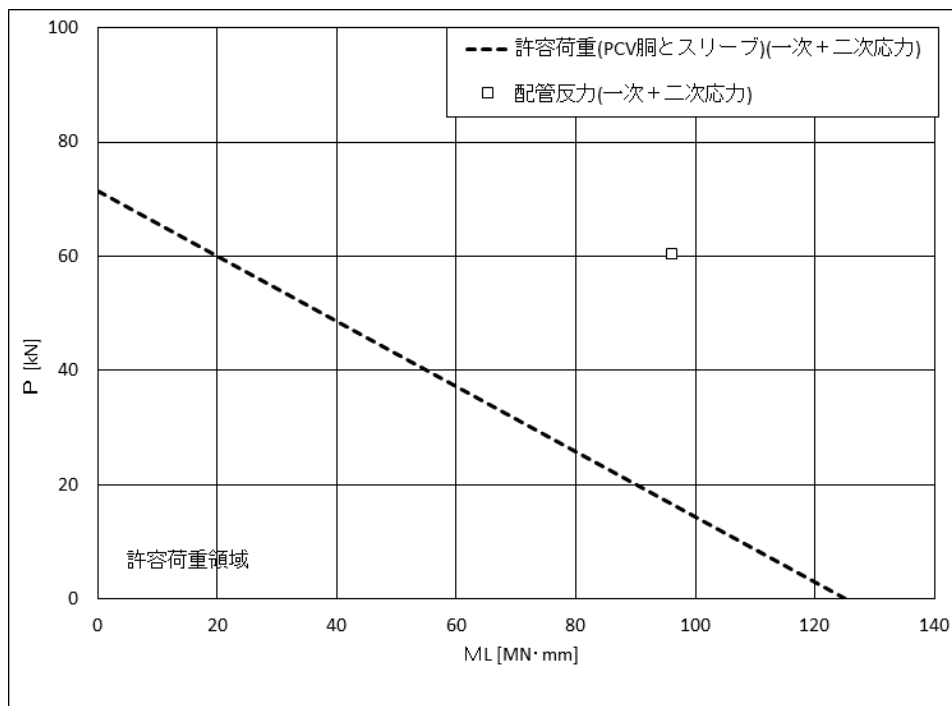


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 12 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-203）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）

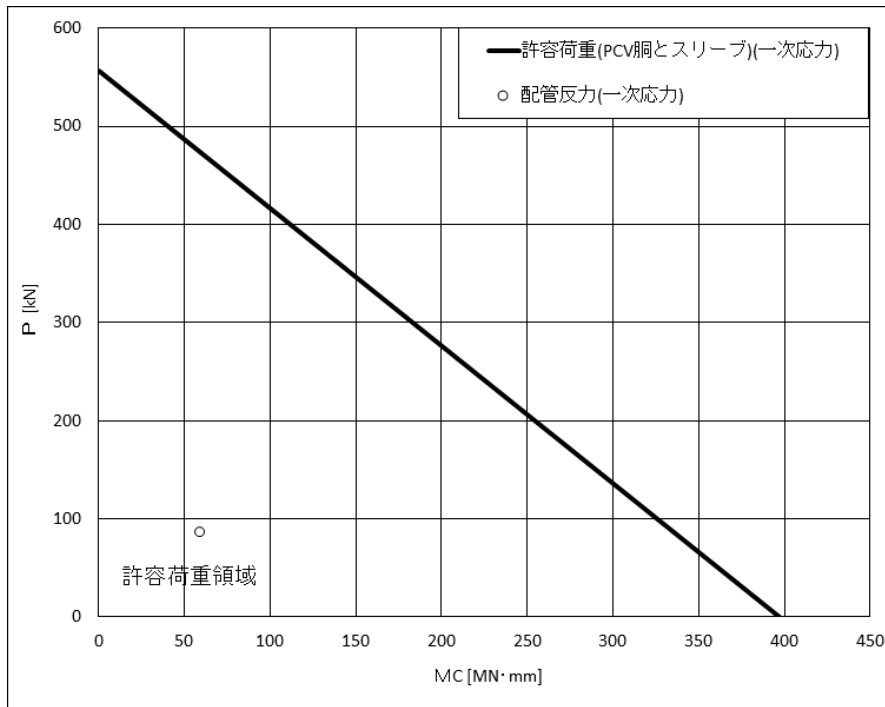


上図：一次応力に対する許容荷重領域

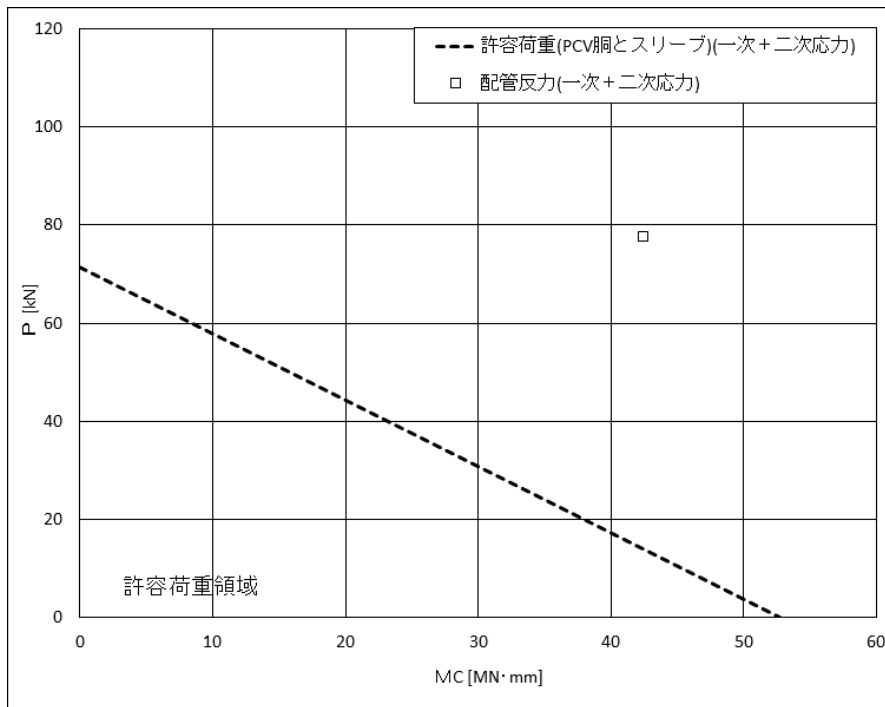


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 12 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-203）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）



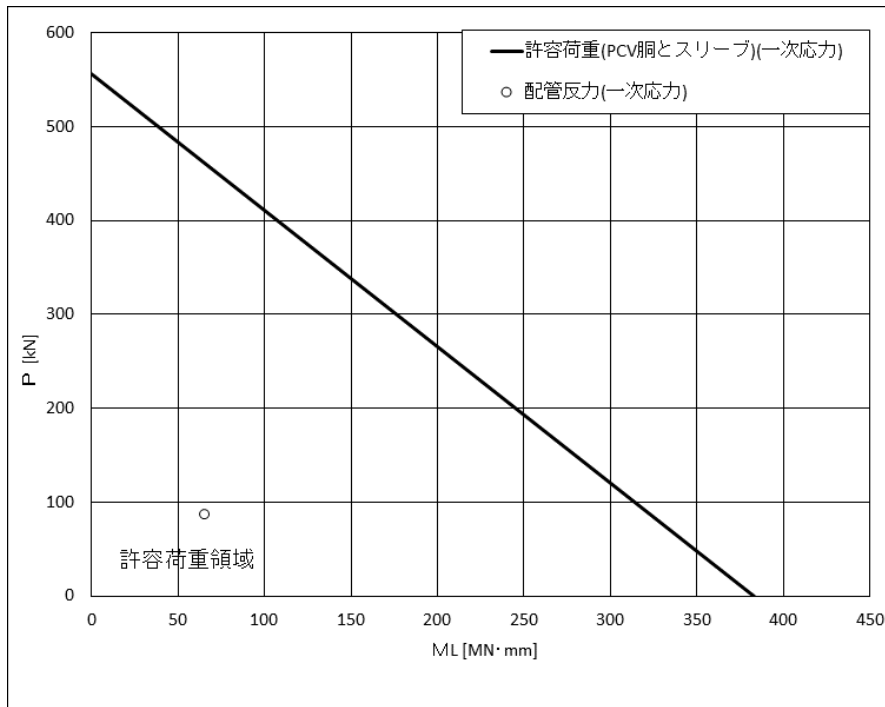
上図：一次応力に対する許容荷重領域



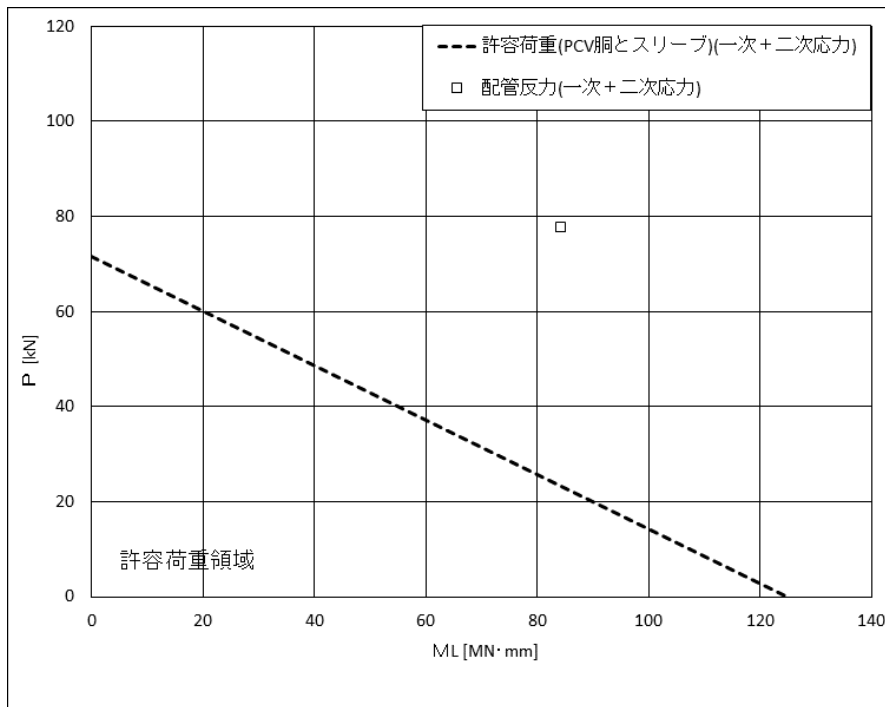
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 13 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-208）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）



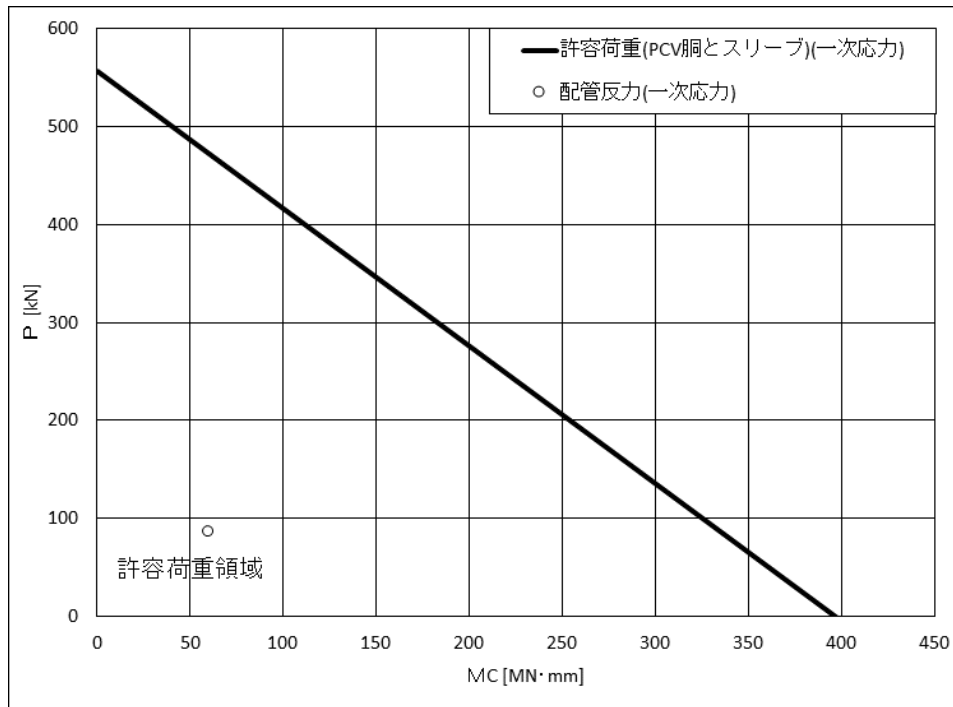


上図：一次応力に対する許容荷重領域

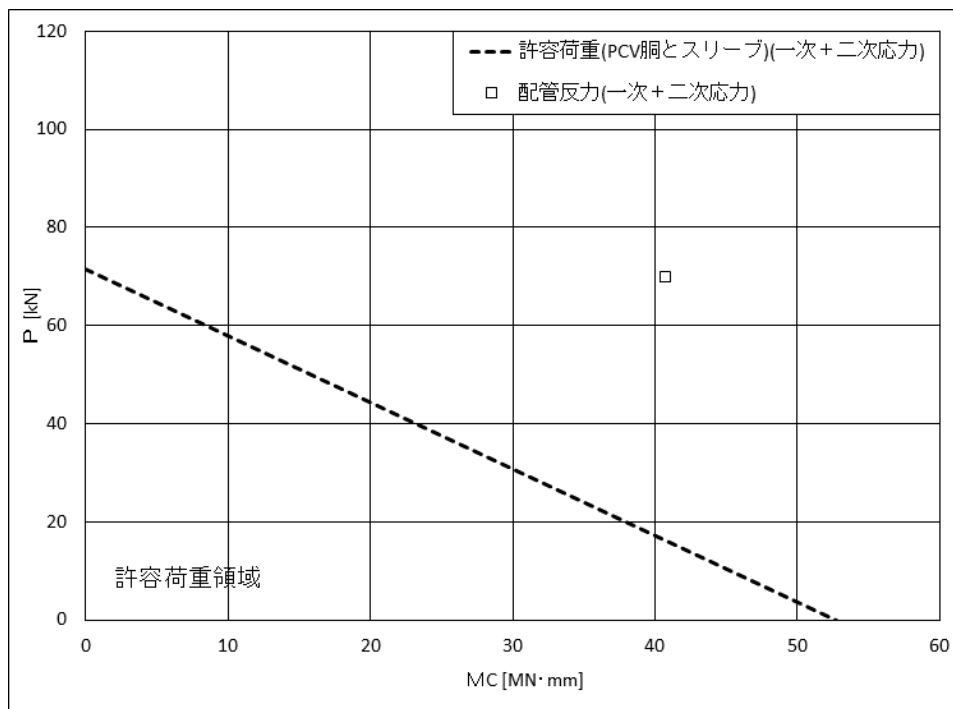


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 13 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-208）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

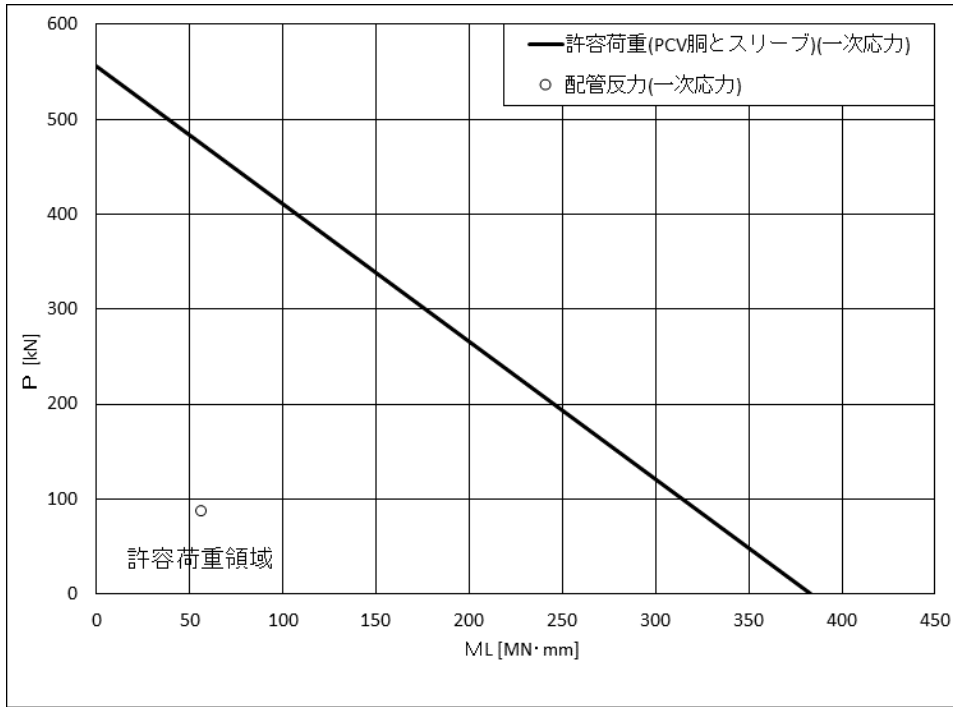


上図：一次応力に対する許容荷重領域

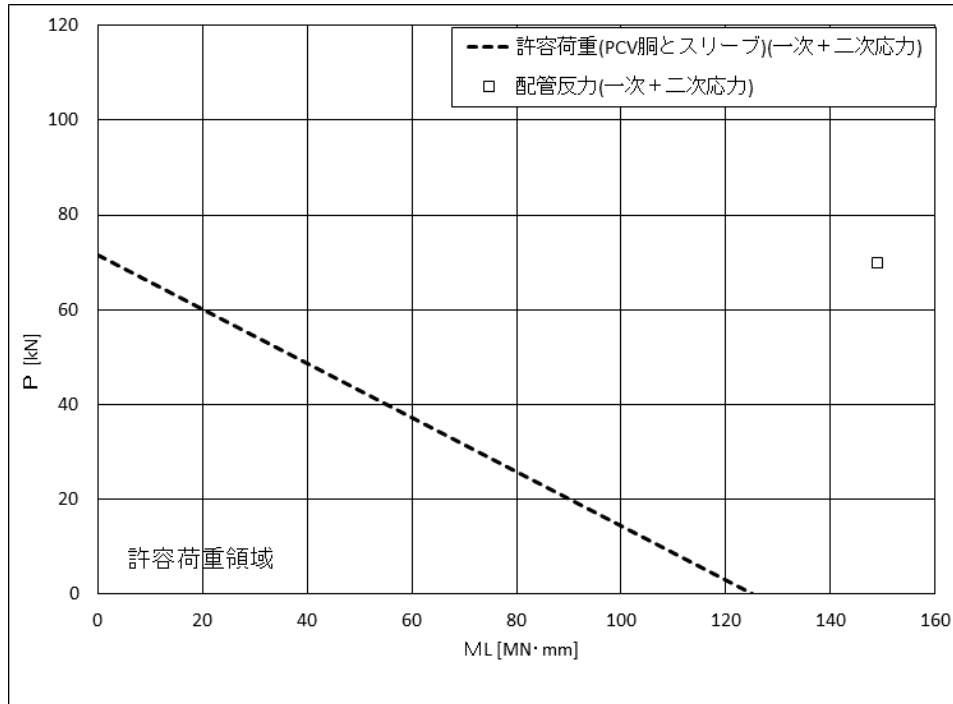


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 14 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-210）（その 1：縦軸  $P$  - 横軸  $M_C$ ）

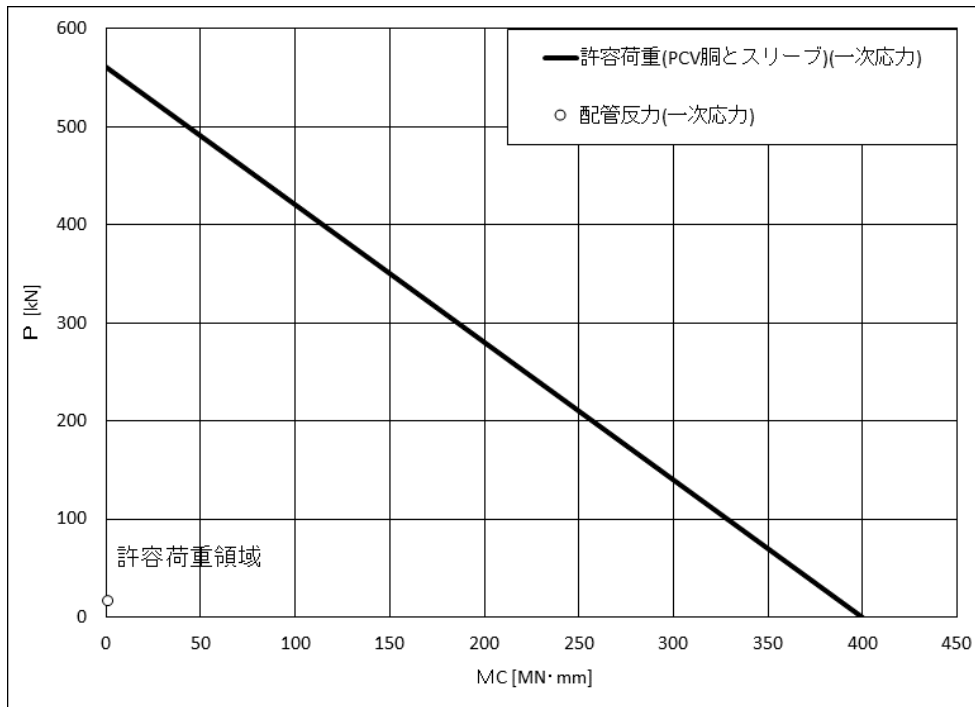


上図：一次応力に対する許容荷重領域

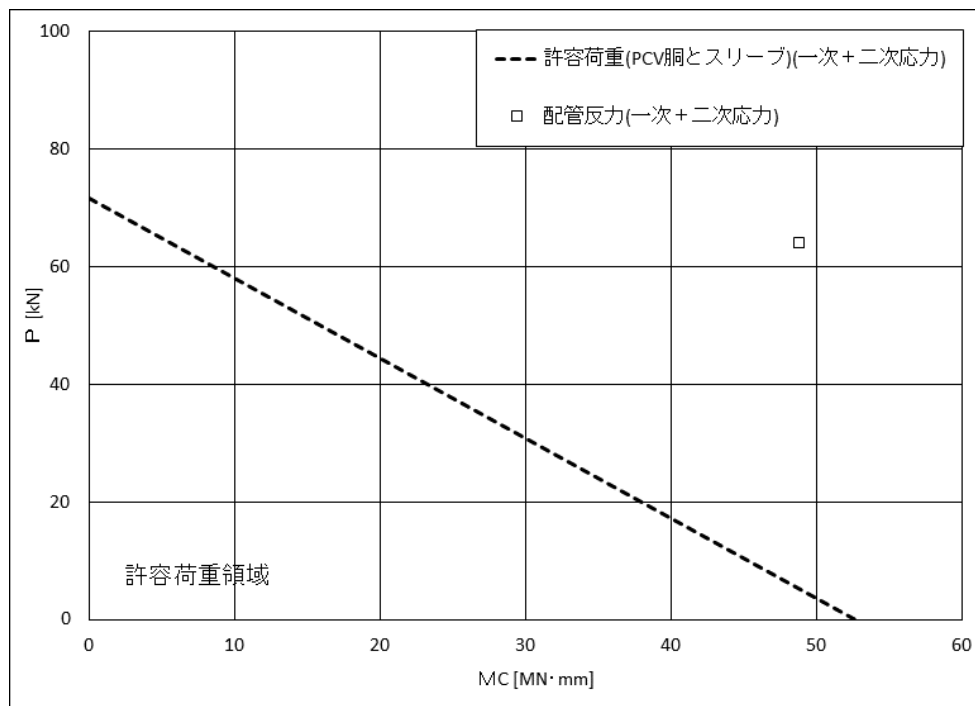


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 14 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-210）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

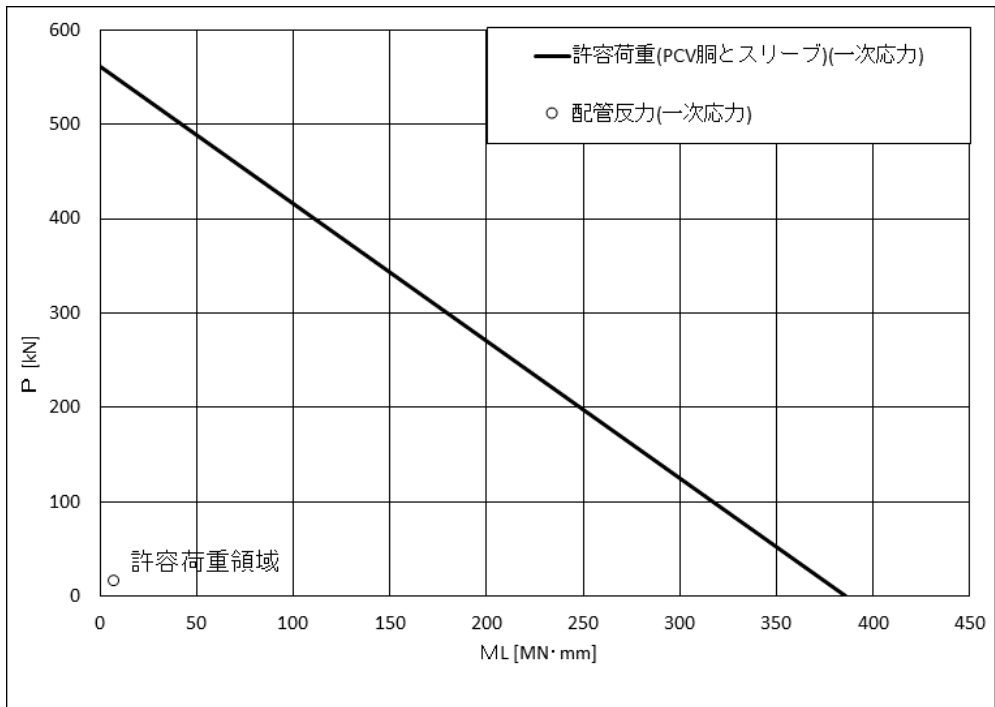


上図：一次応力に対する許容荷重領域

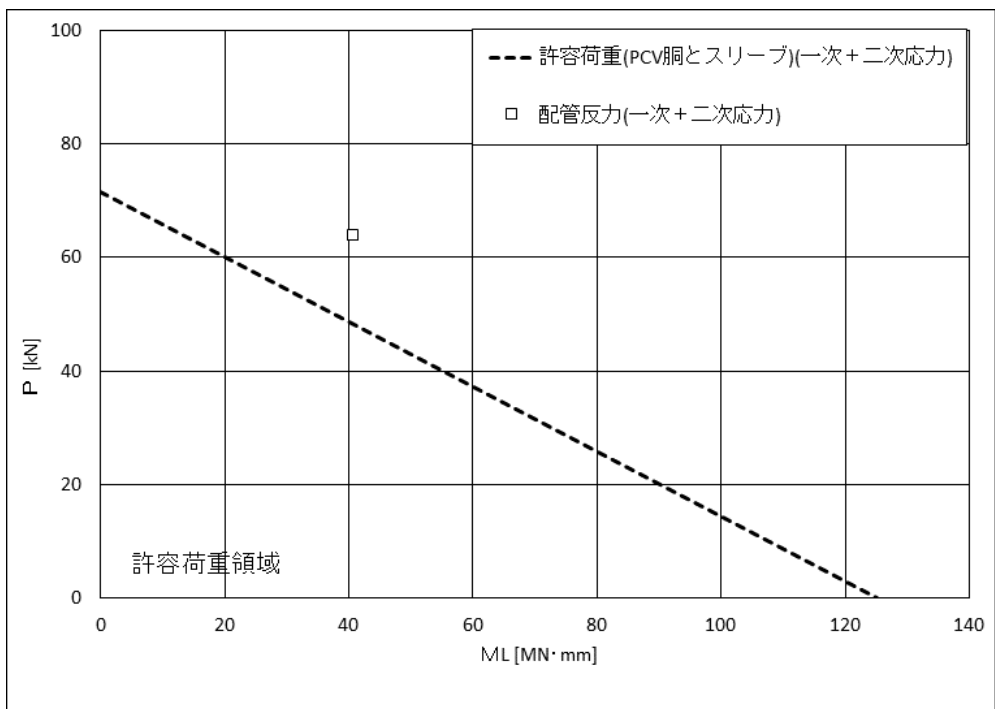


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 15 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-240）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）

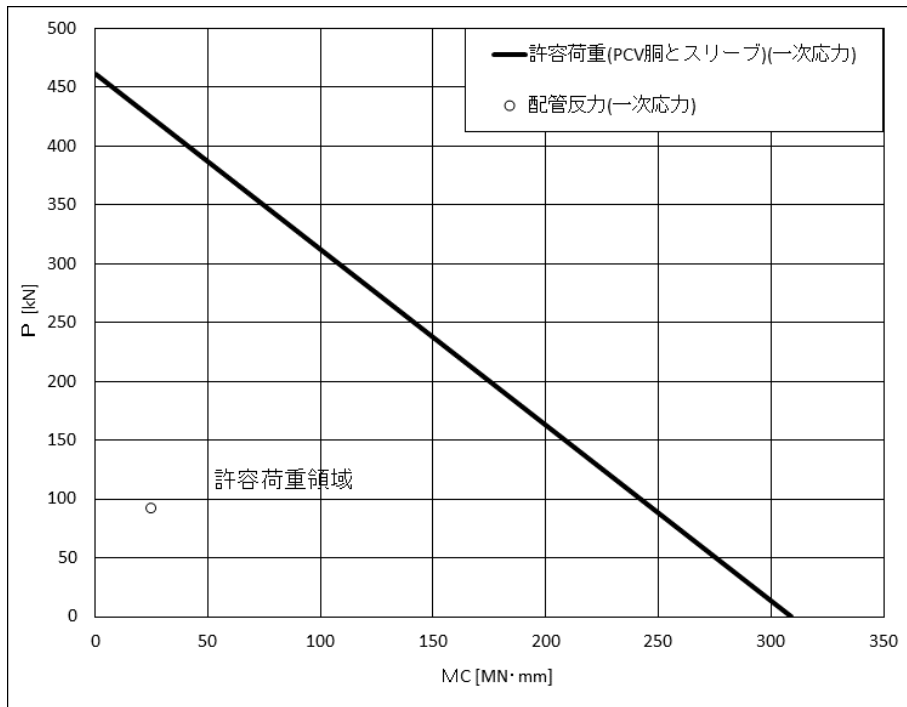


上図：一次応力に対する許容荷重領域

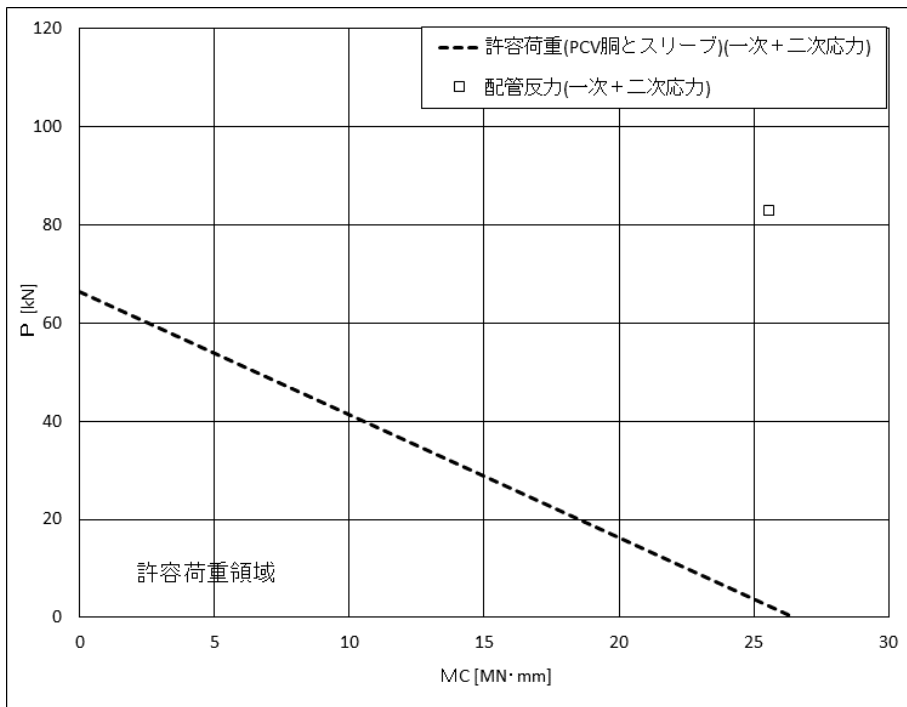


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 15 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-240）（その 2：縦軸  $P$  - 横軸  $M_L$ ）

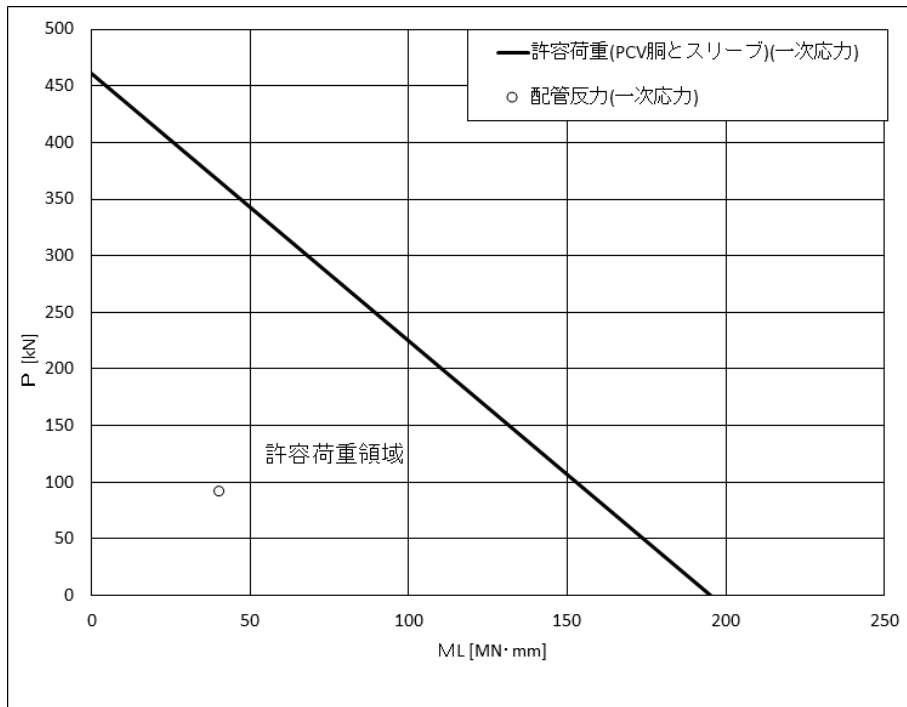


上図：一次応力に対する許容荷重領域

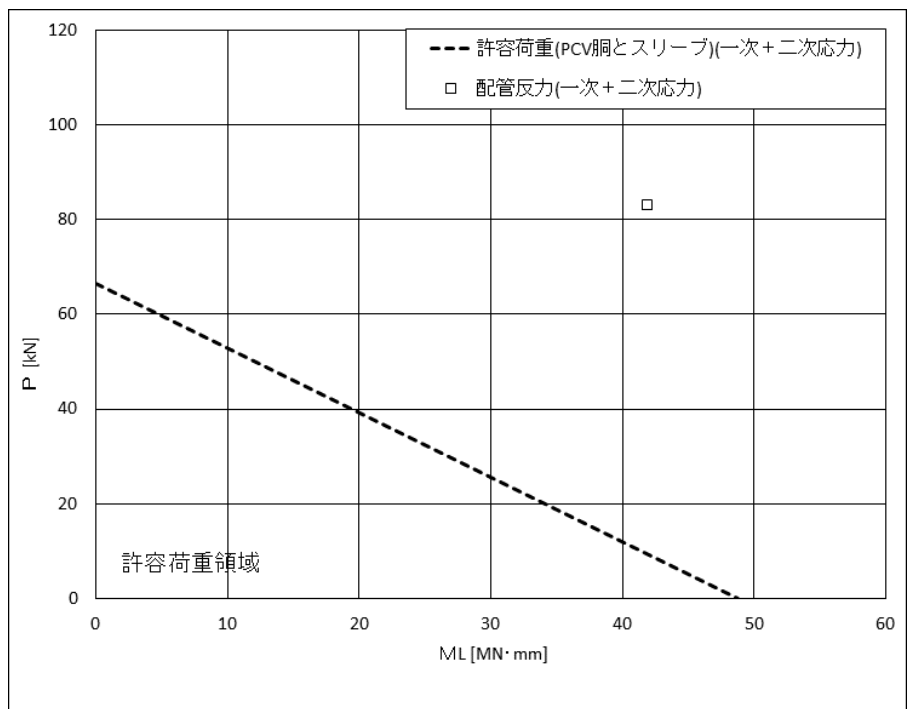


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 16 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-204）（その 1：縦軸  $P$  - 横軸  $M_C$ ）

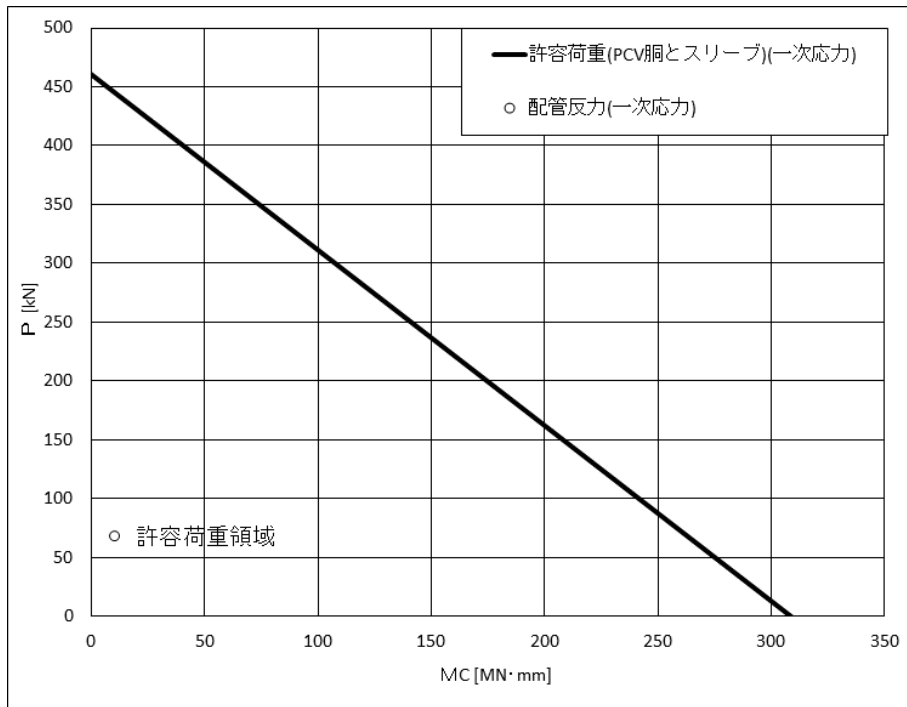


上図：一次応力に対する許容荷重領域

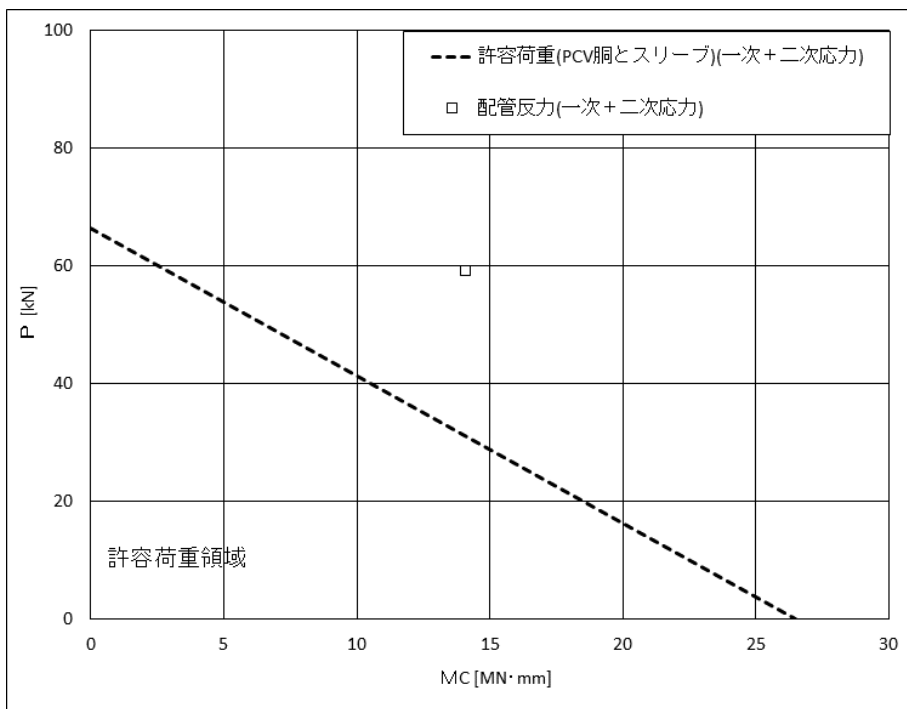


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 16 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-204）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）



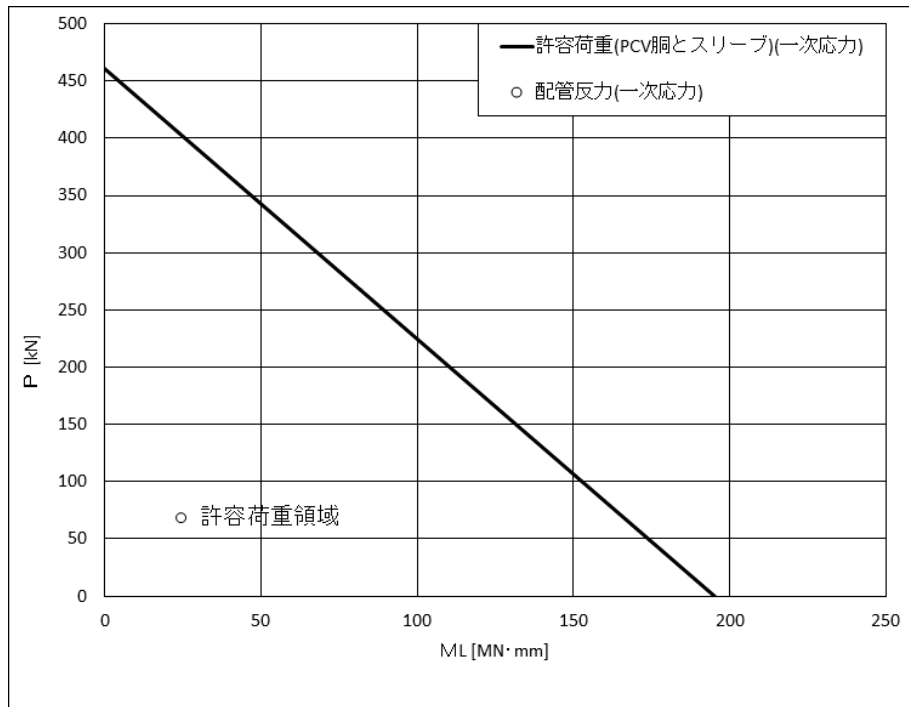
上図：一次応力に対する許容荷重領域



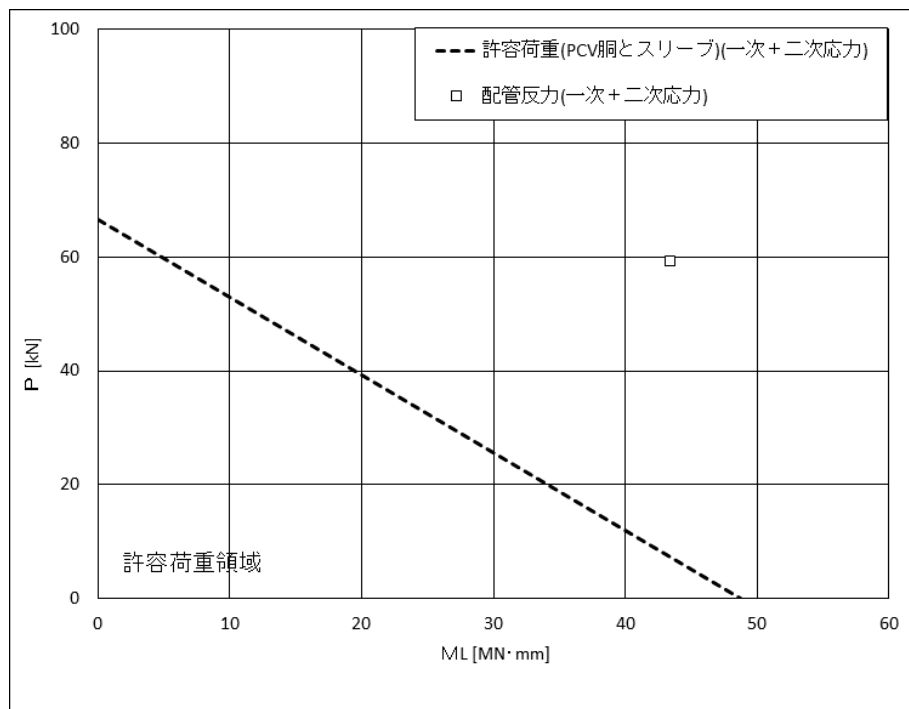
下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 17 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-205）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）



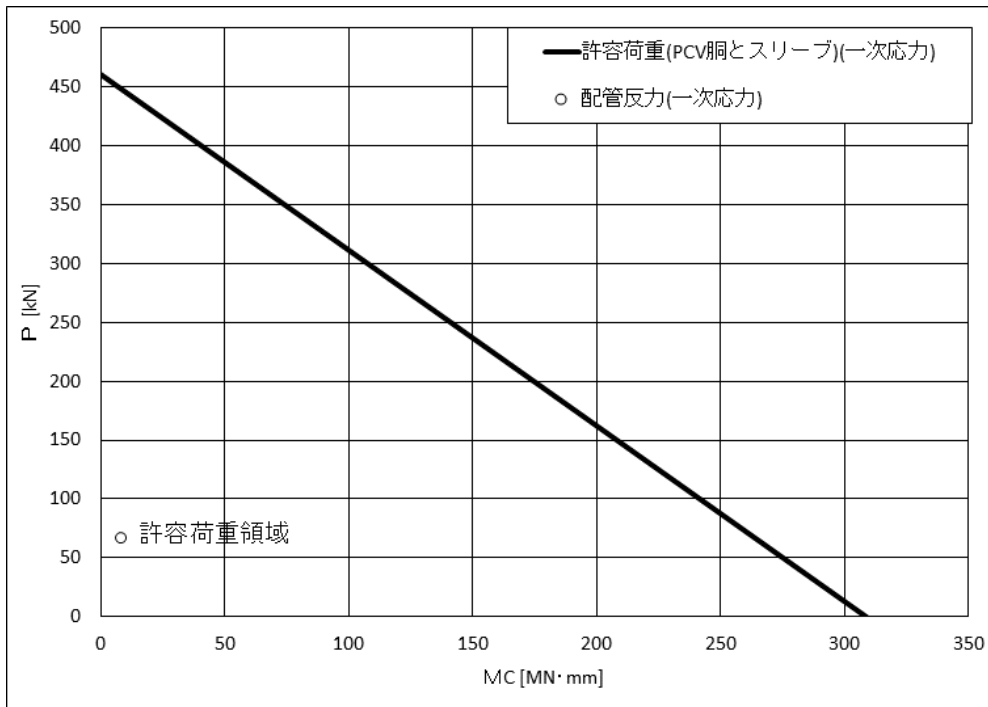


上図：一次応力に対する許容荷重領域

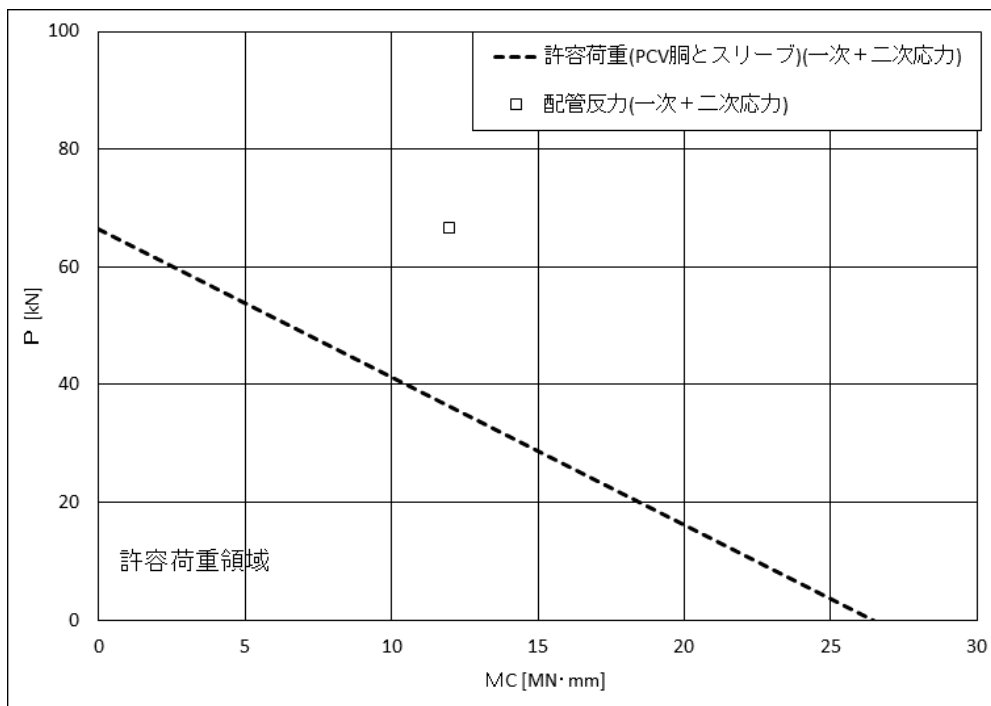


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 17 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-205）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

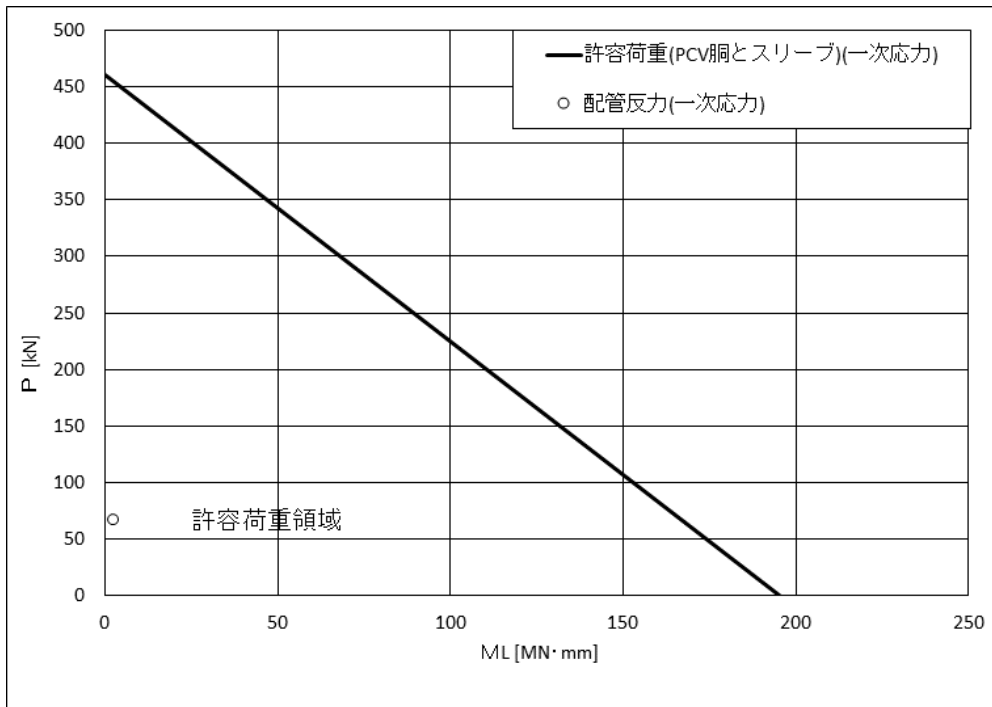


上図：一次応力に対する許容荷重領域

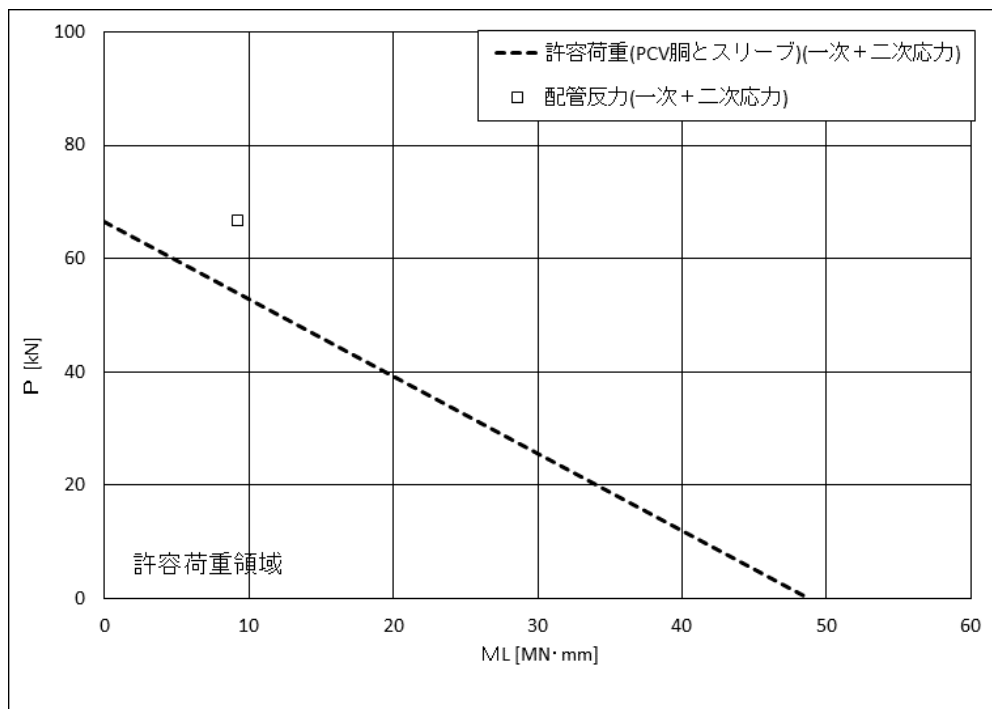


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 18 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-209）（その 1：縦軸  $P$  - 横軸  $M_C$ ）

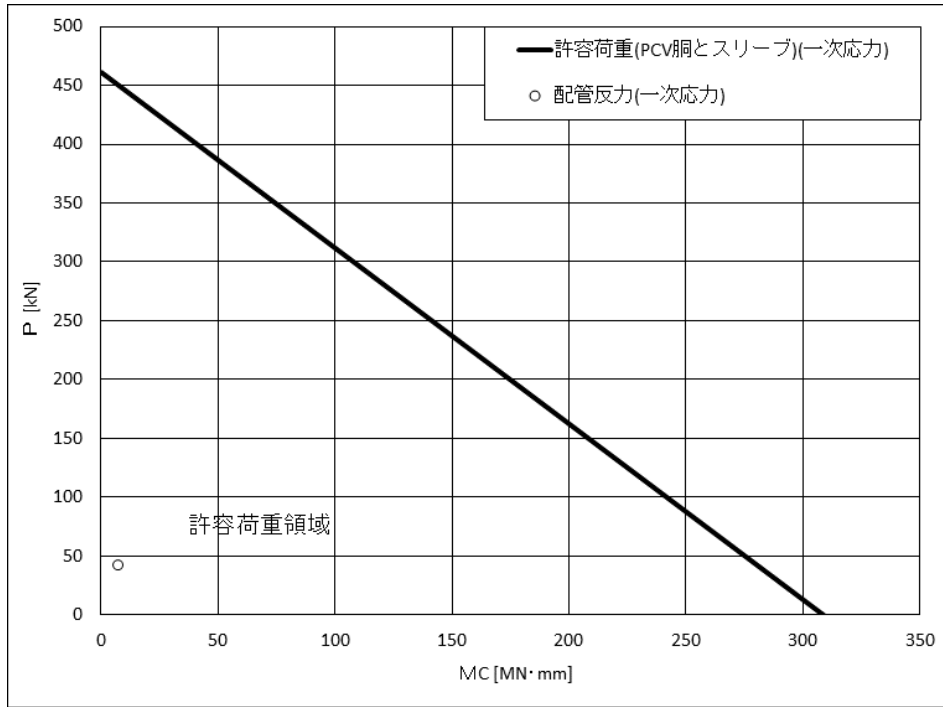


上図：一次応力に対する許容荷重領域

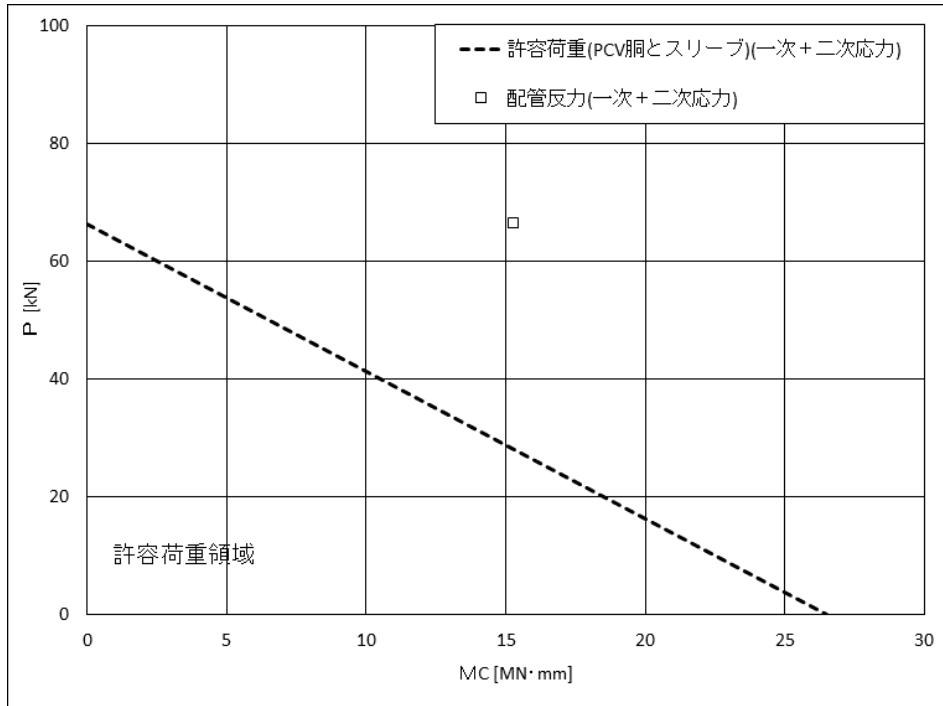


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 18 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-209）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

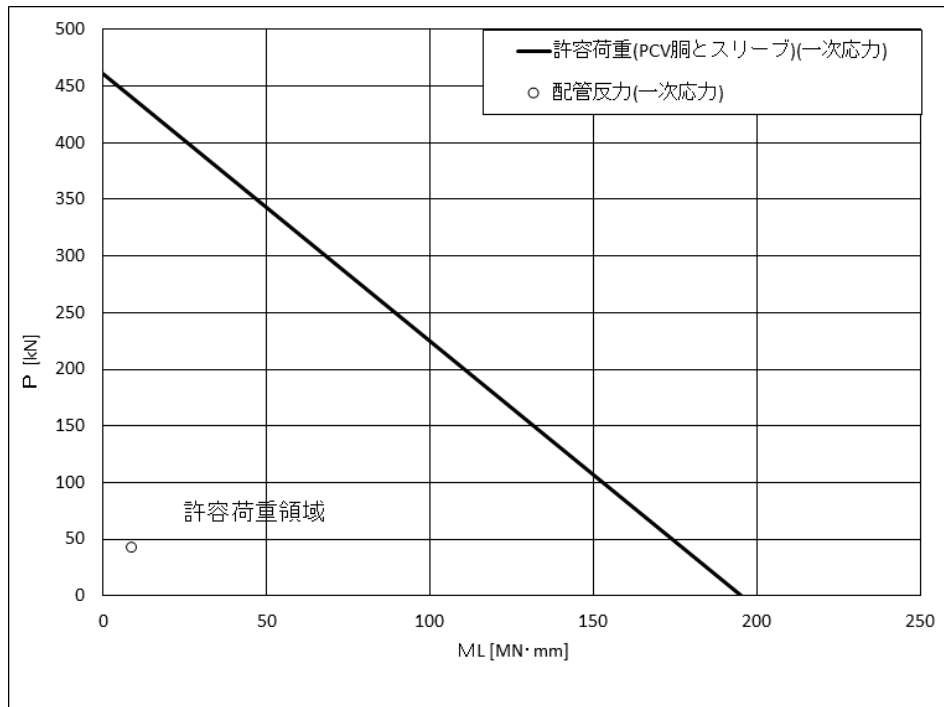


上図：一次応力に対する許容荷重領域

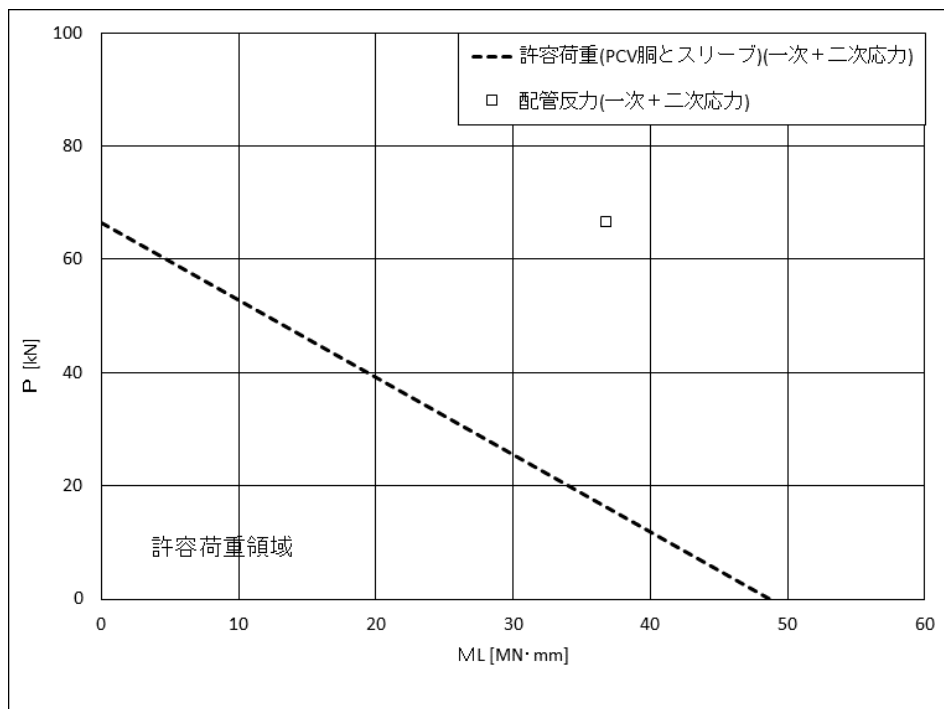


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 19 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-213）（その 1：縦軸  $P$  - 横軸  $M_C$ ）

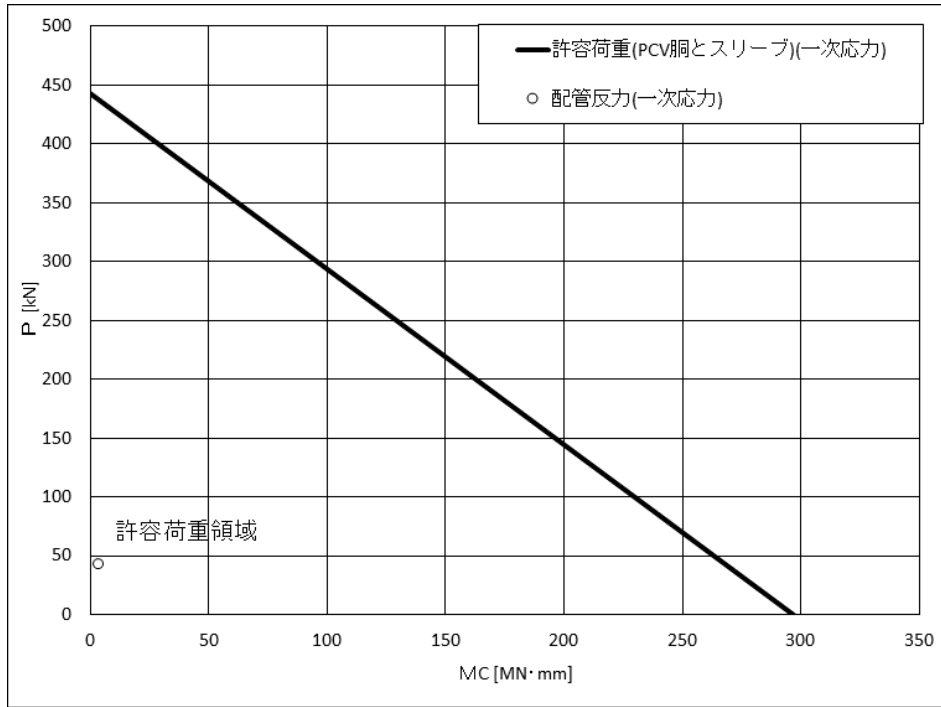


上図：一次応力に対する許容荷重領域

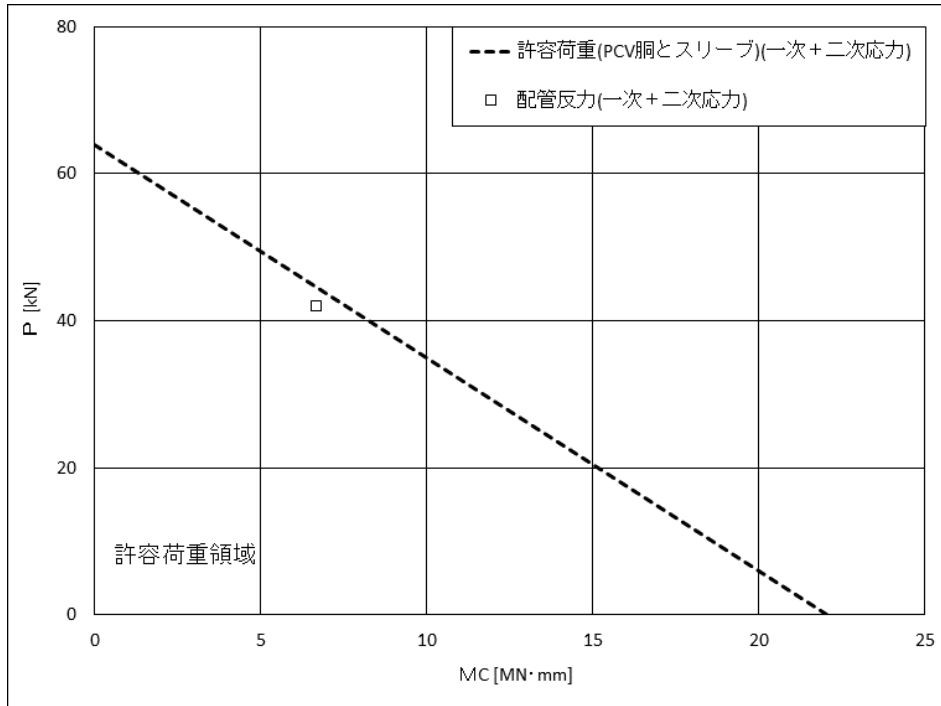


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 19 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-213）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

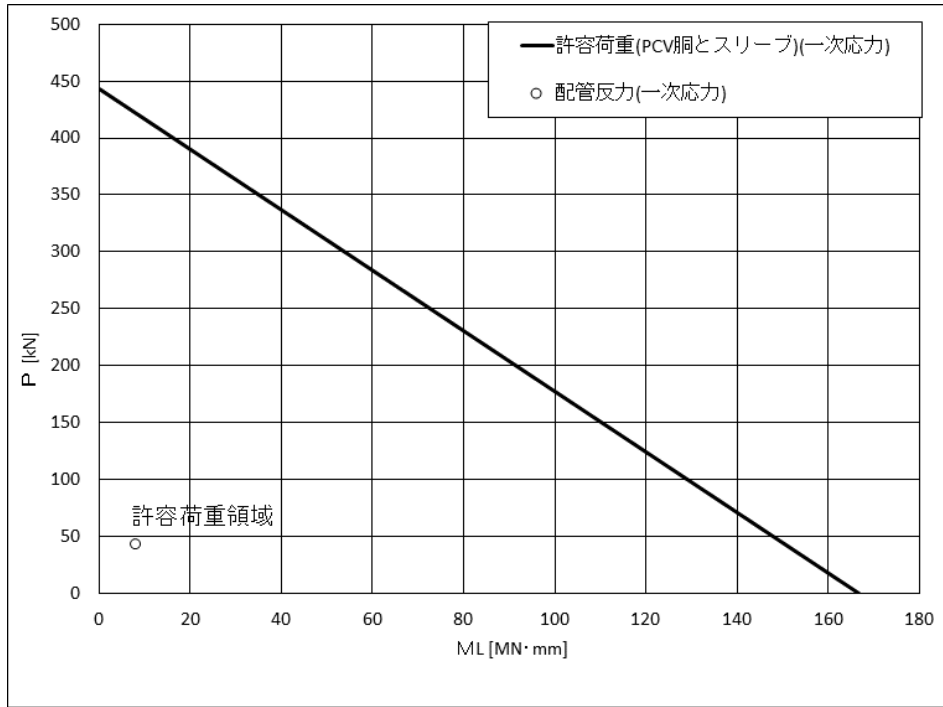


上図：一次応力に対する許容荷重領域

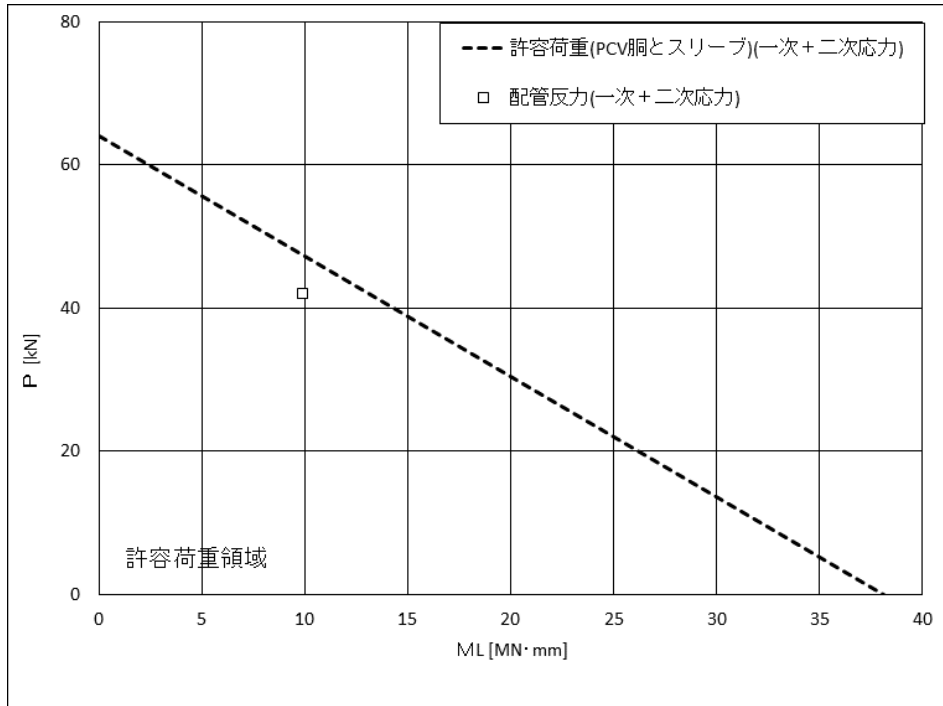


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 20 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-233）（その 1：縦軸  $P$  - 横軸  $M_C$ ）

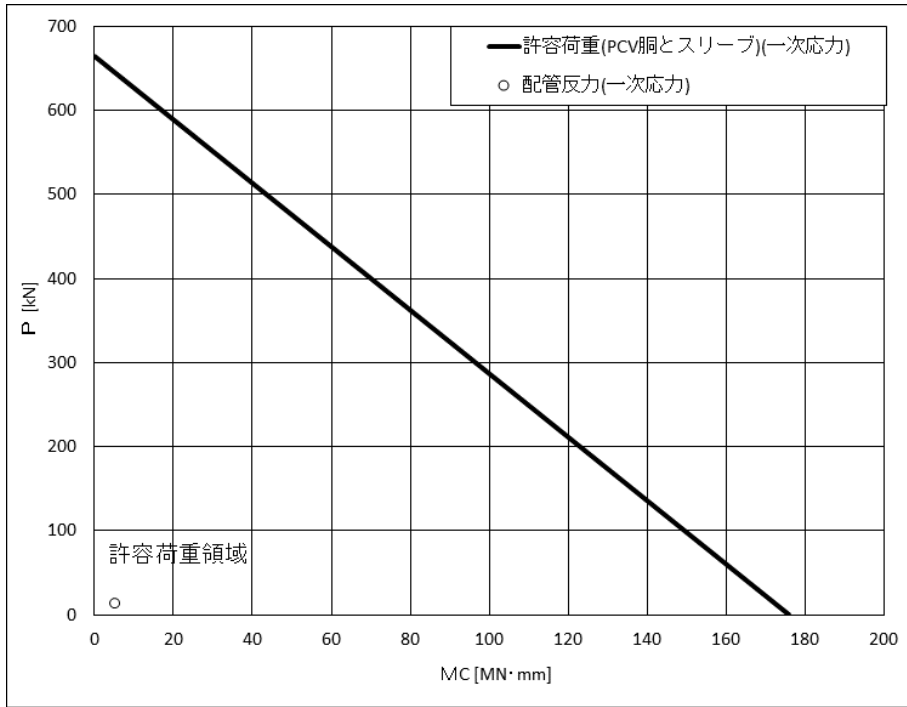


上図：一次応力に対する許容荷重領域

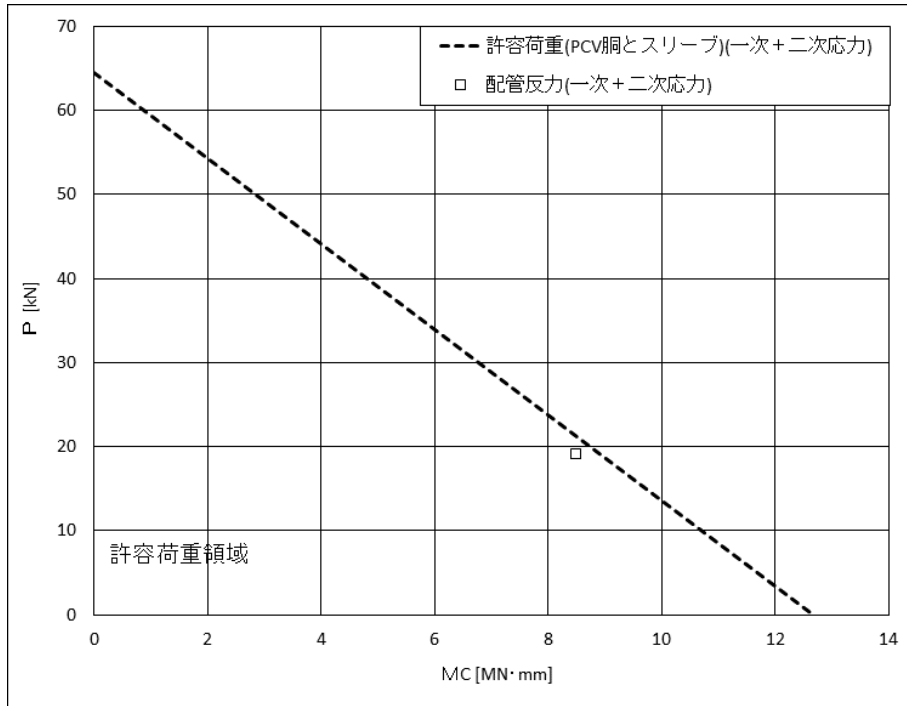


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 20 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-233）（その 2：縦軸  $P$  - 横軸  $M_L$ ）



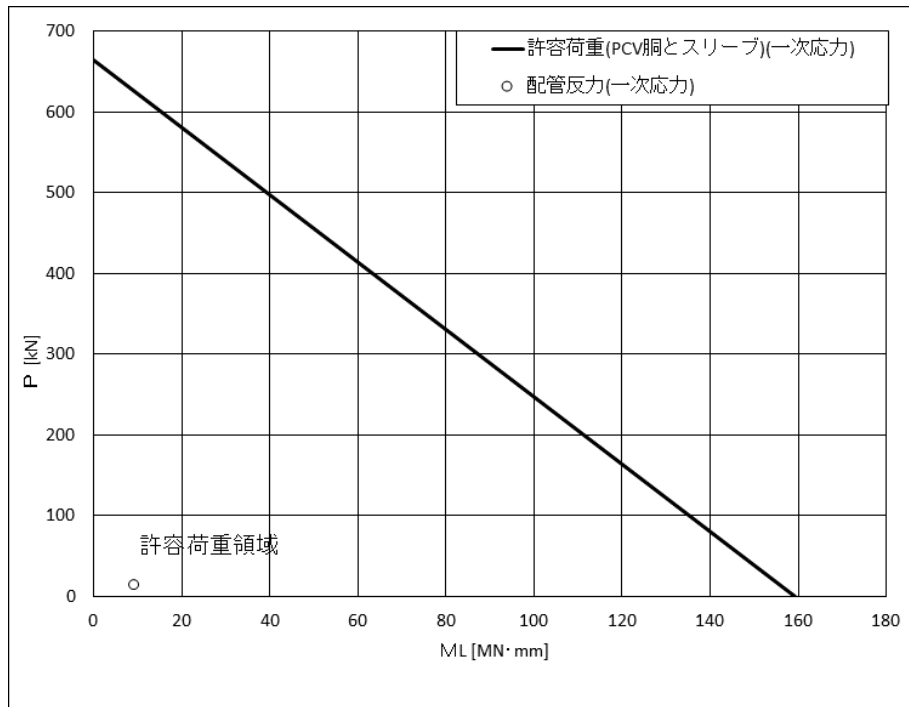
上図：一次応力に対する許容荷重領域



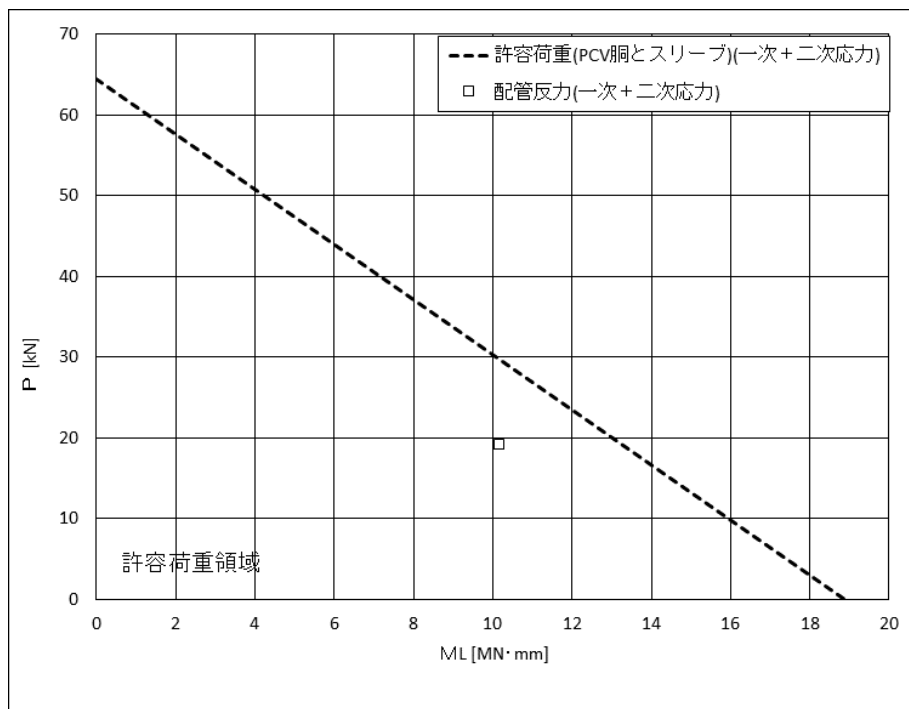
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 21 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-214）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）



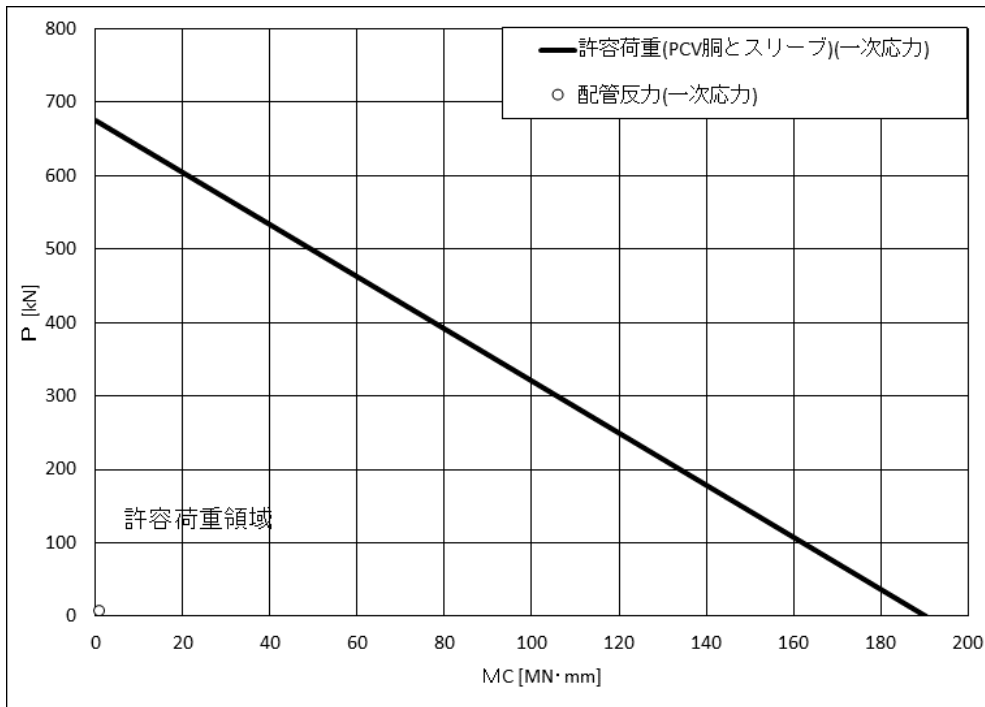


上図：一次応力に対する許容荷重領域

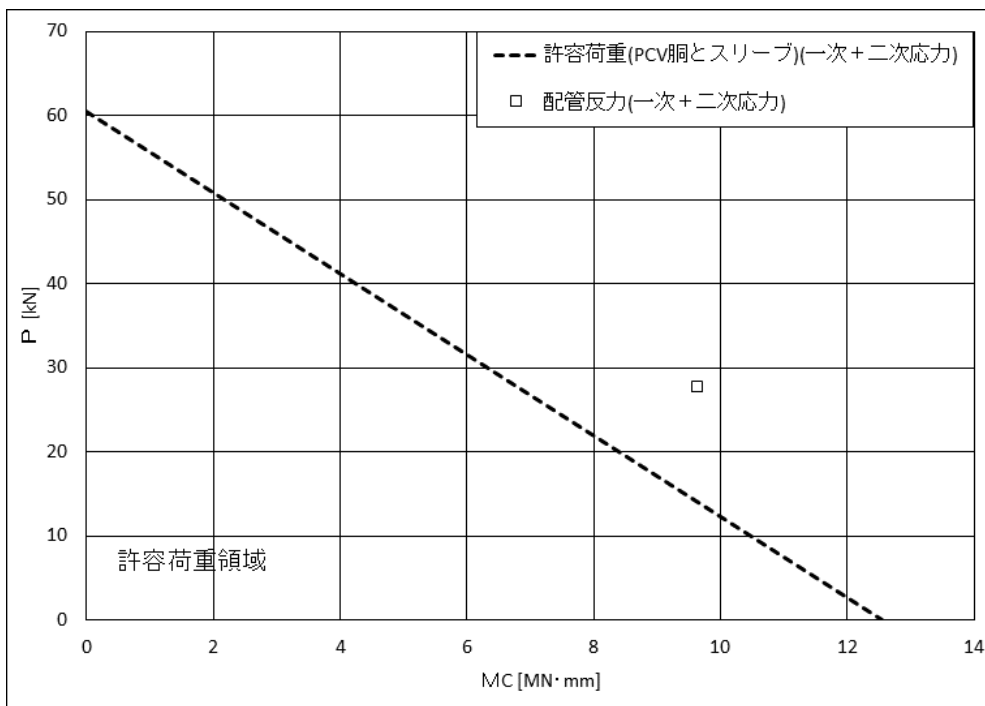


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 21 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-214）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

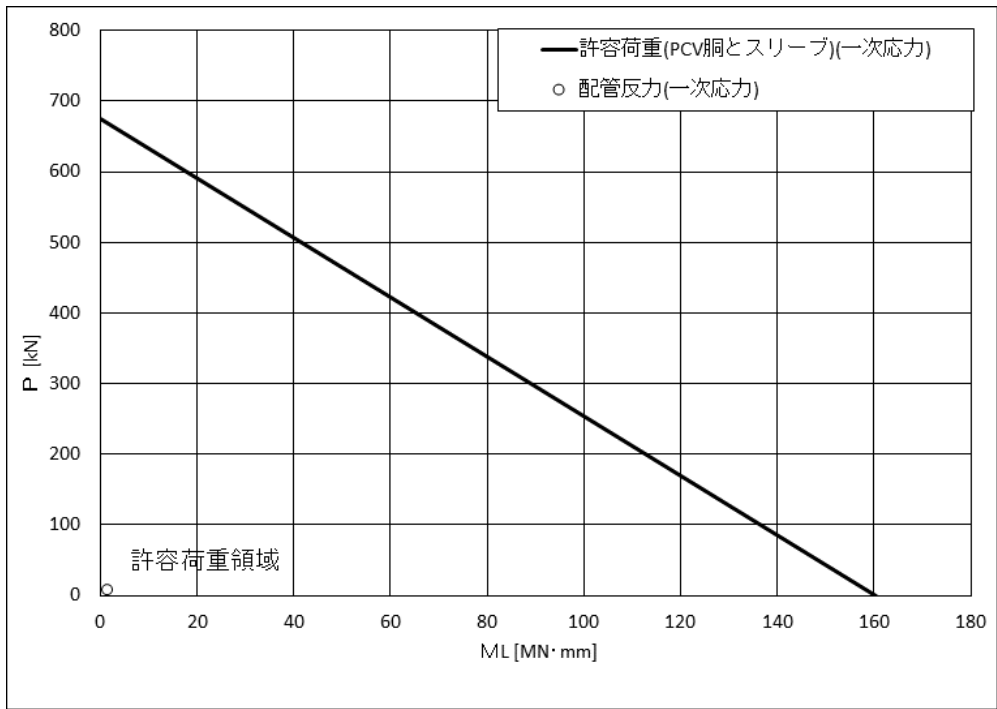


上図：一次応力に対する許容荷重領域

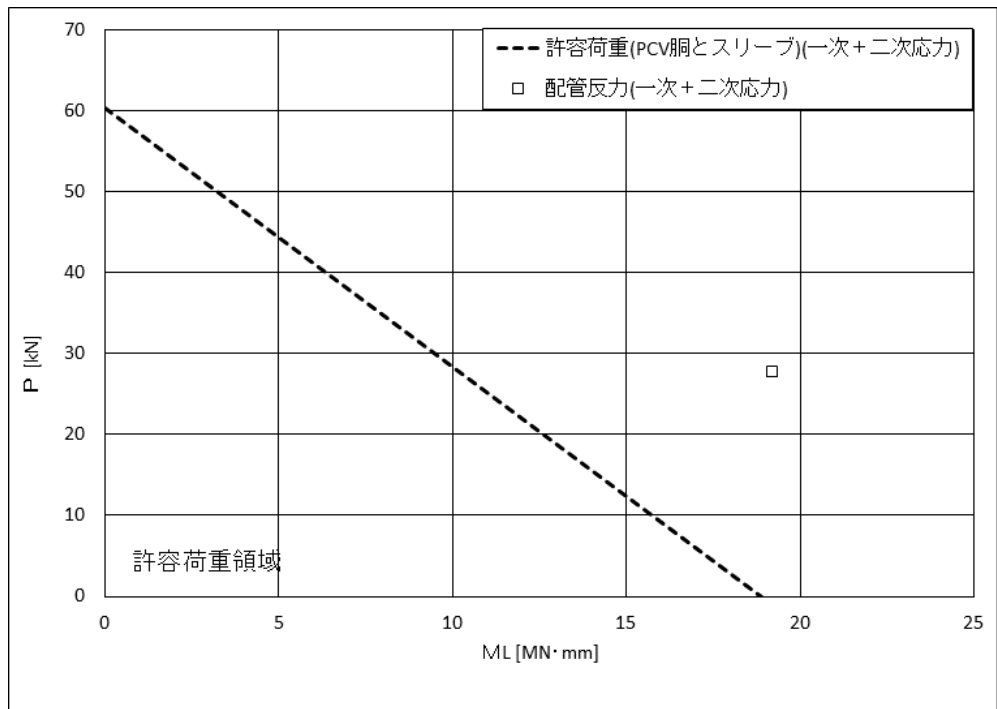


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 22 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-242A）（その 1：縦軸  $P$ －横軸  $M_C$ ）

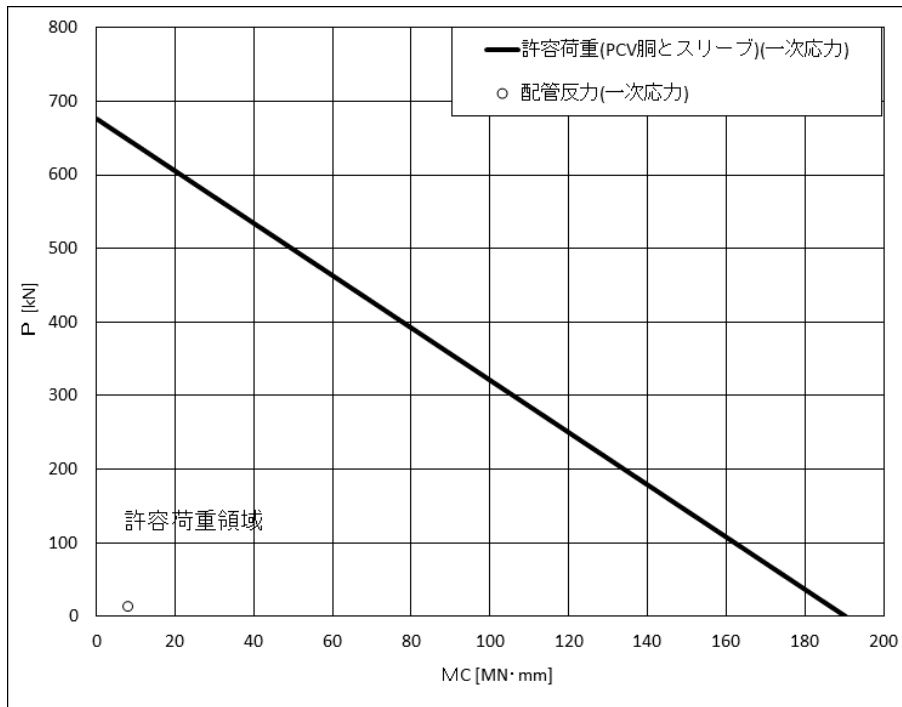


上図：一次応力に対する許容荷重領域

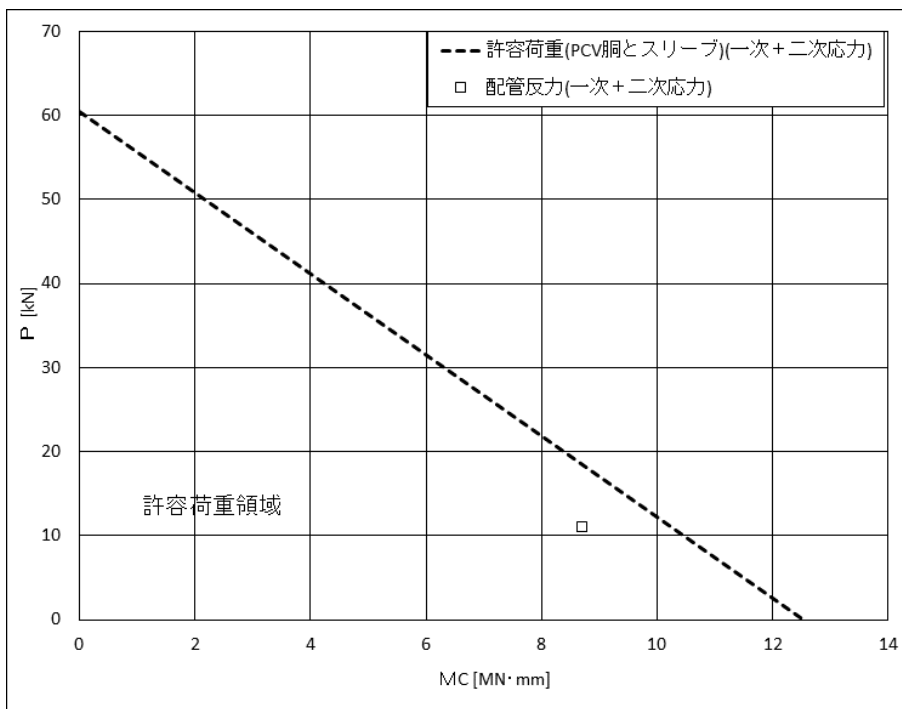


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 22 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-242A）（その 2：縦軸  $P$  - 横軸  $M_L$ ）

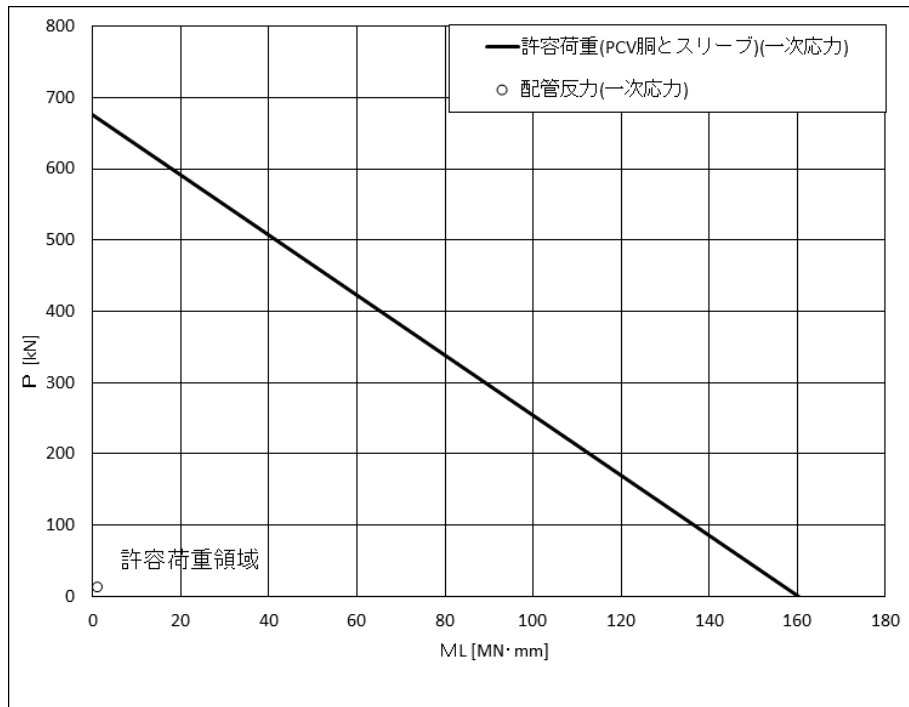


上図：一次応力に対する許容荷重領域

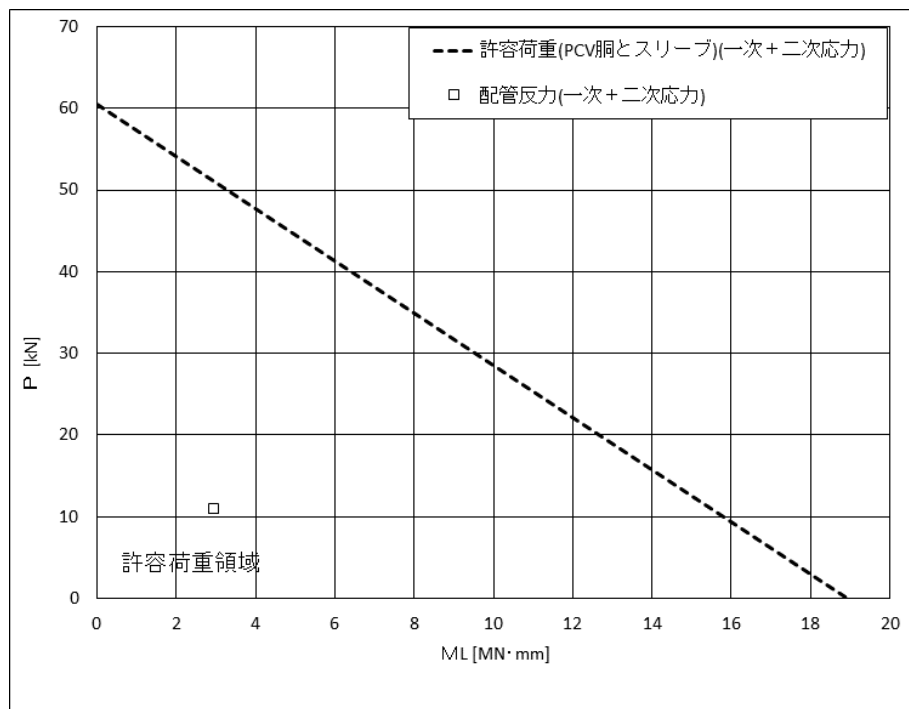


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 23 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-242B）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）

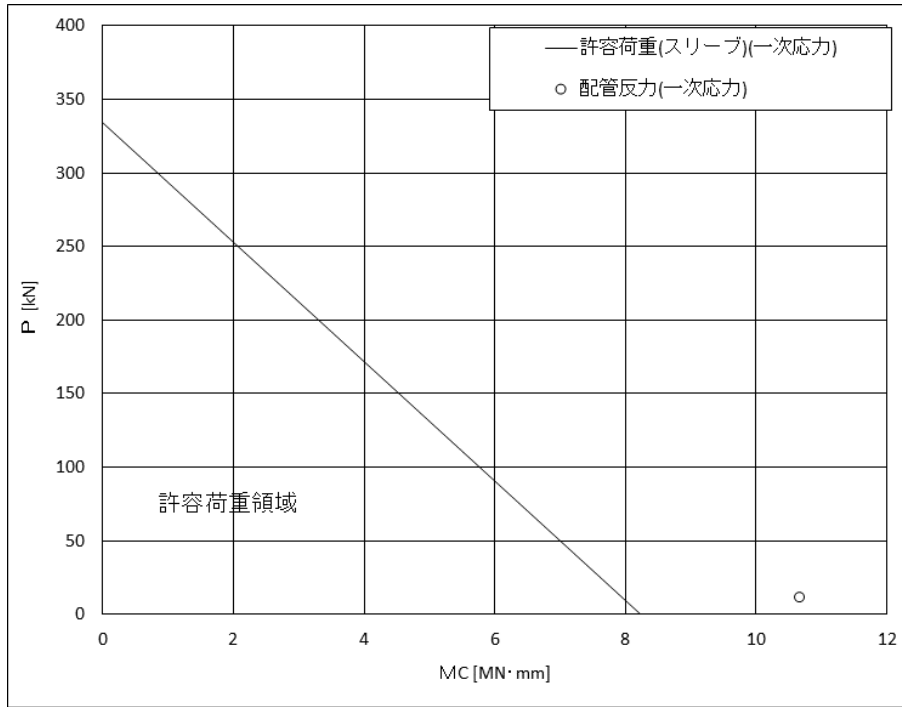


上図：一次応力に対する許容荷重領域

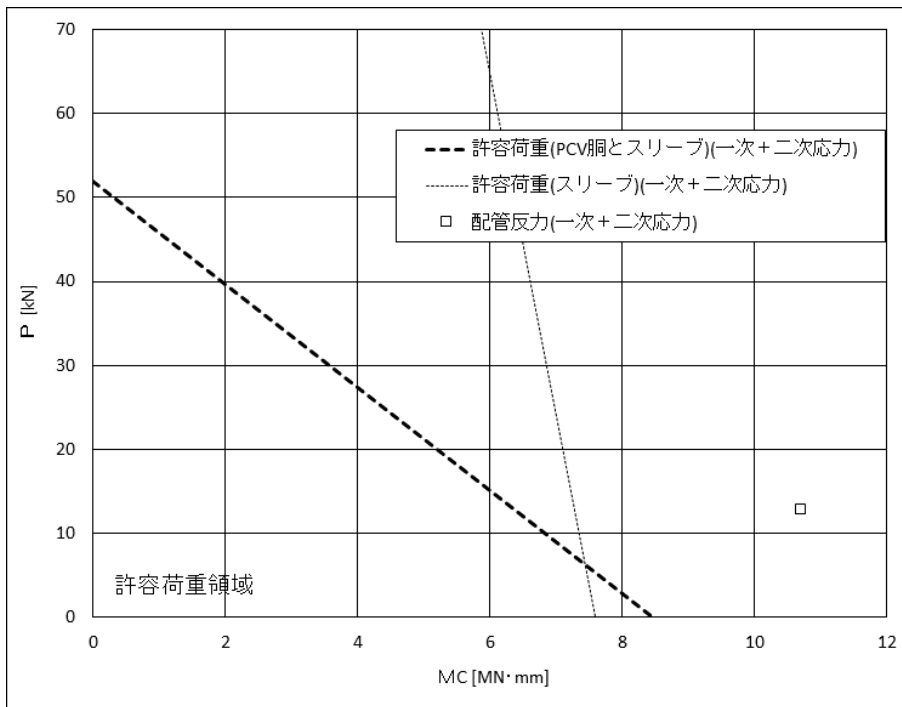


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 23 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-242B）（その 2：縦軸  $P$  - 横軸  $M_L$ ）

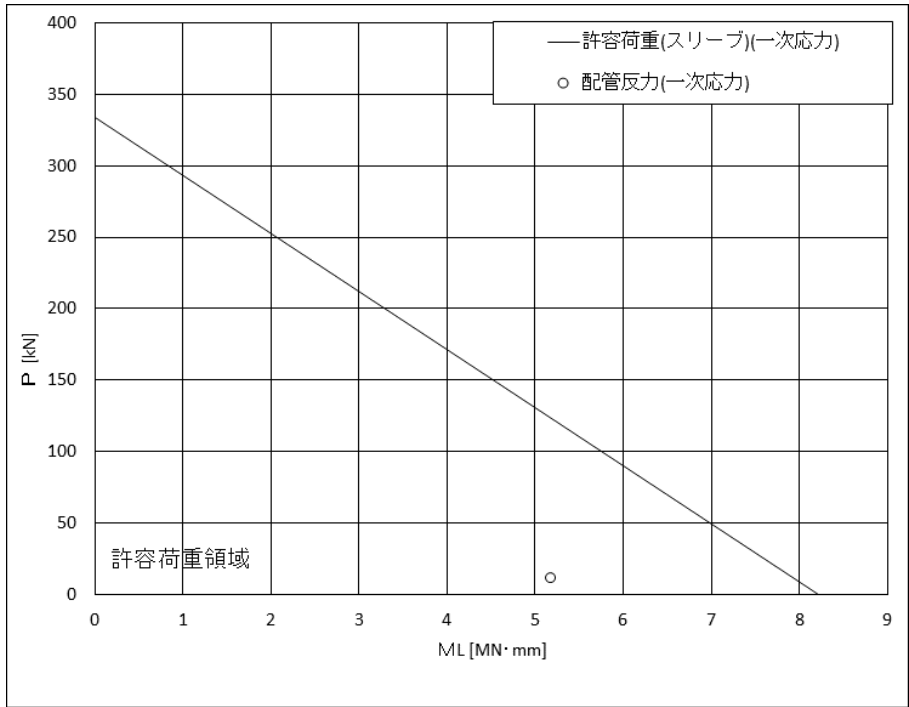


上図：一次応力に対する許容荷重領域

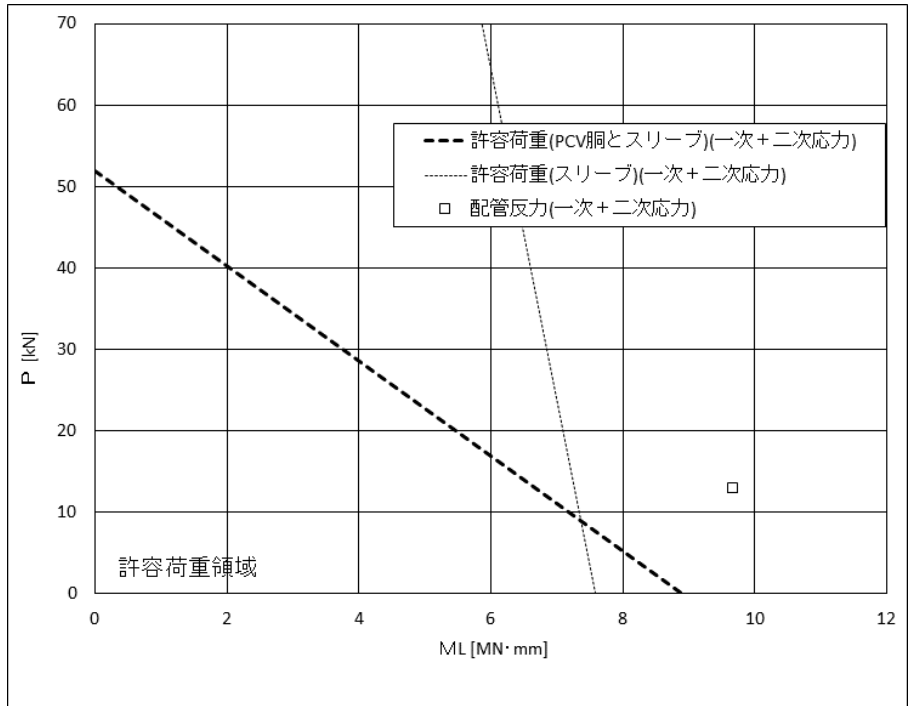


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 24 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-200A）（その 1：縦軸  $P$  - 横軸  $M_C$ ）

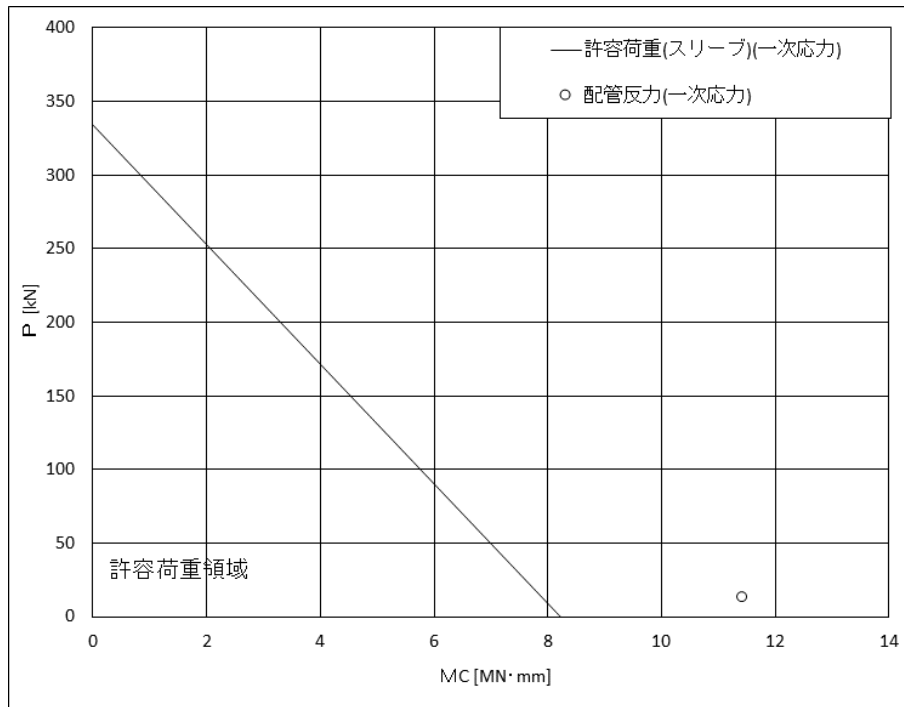


上図：一次応力に対する許容荷重領域

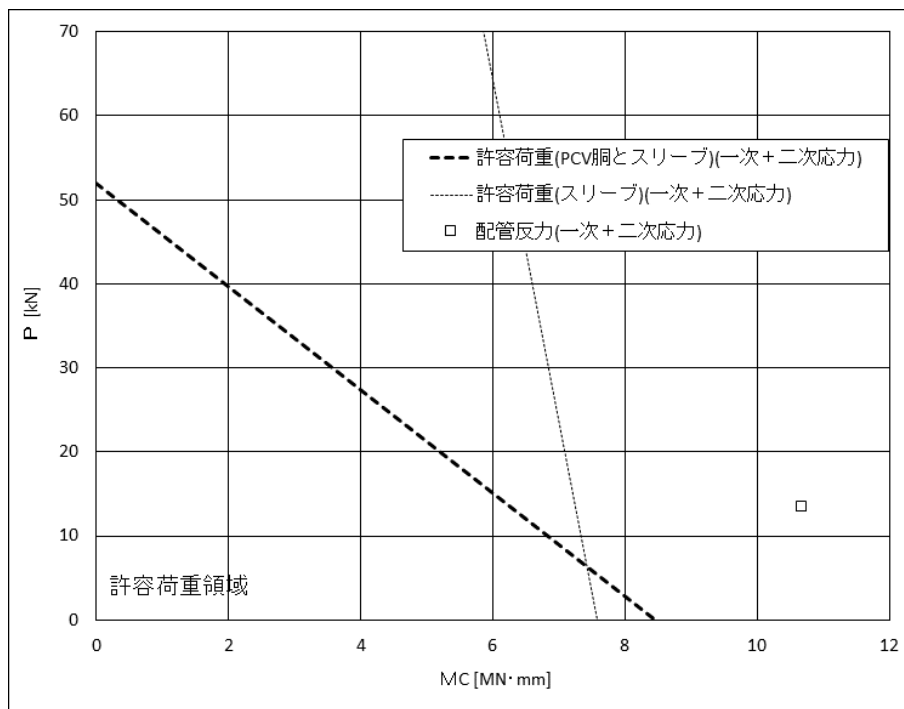


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 24 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-200A）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）



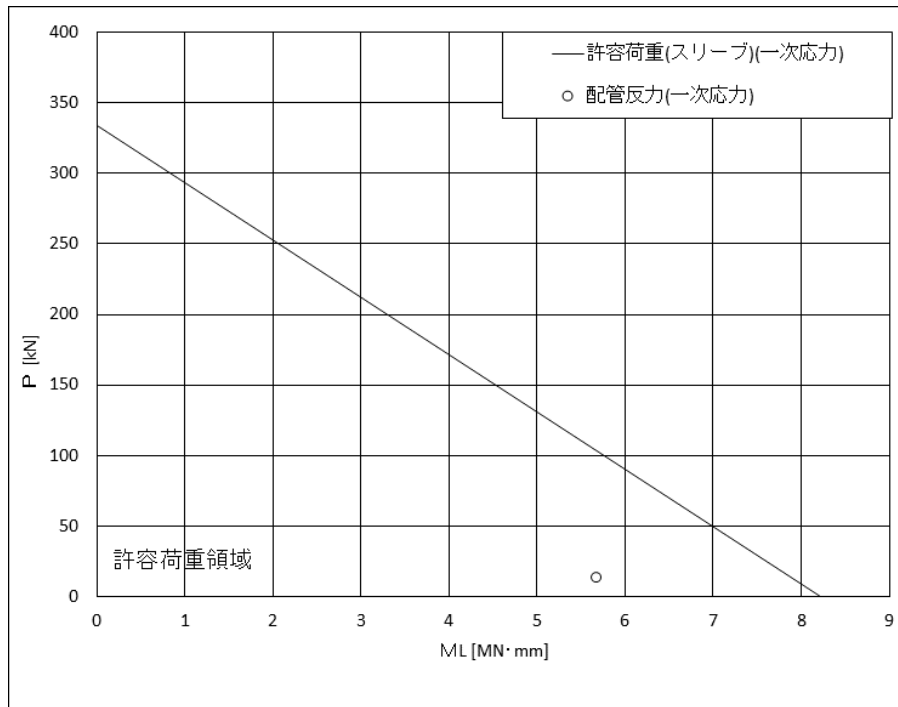
上図：一次応力に対する許容荷重領域



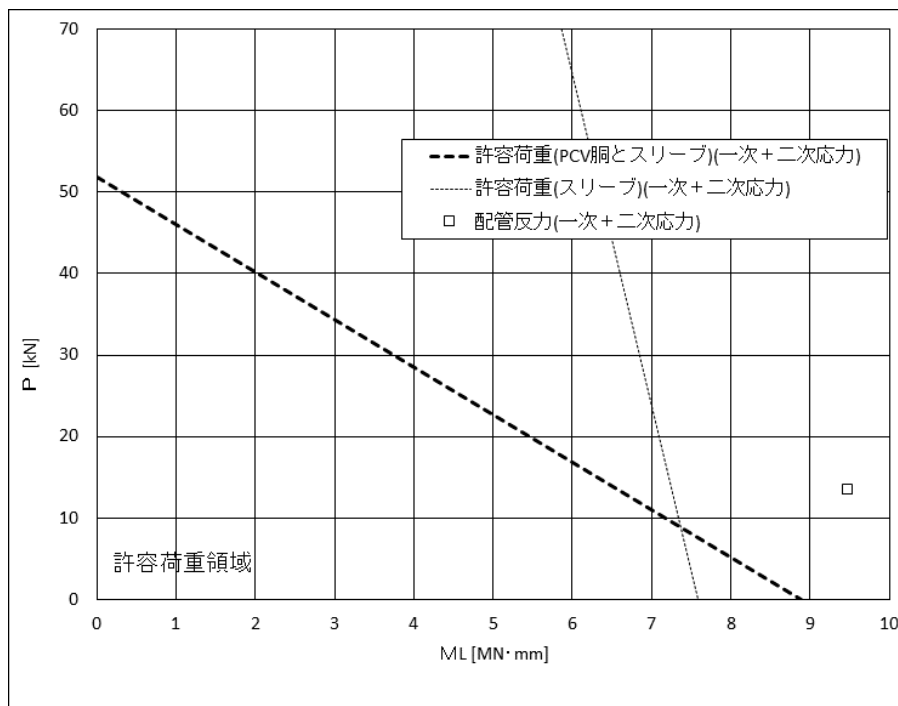
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 25 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-200B）（その 1：縦軸 P－横軸  $M_C$ ）



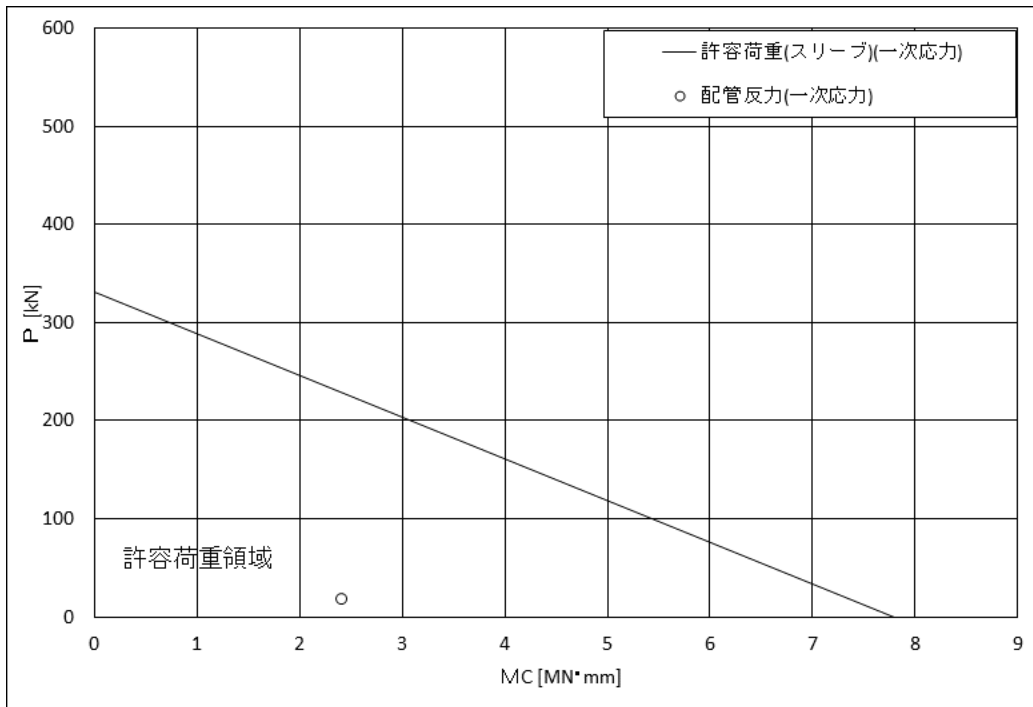


上図：一次応力に対する許容荷重領域

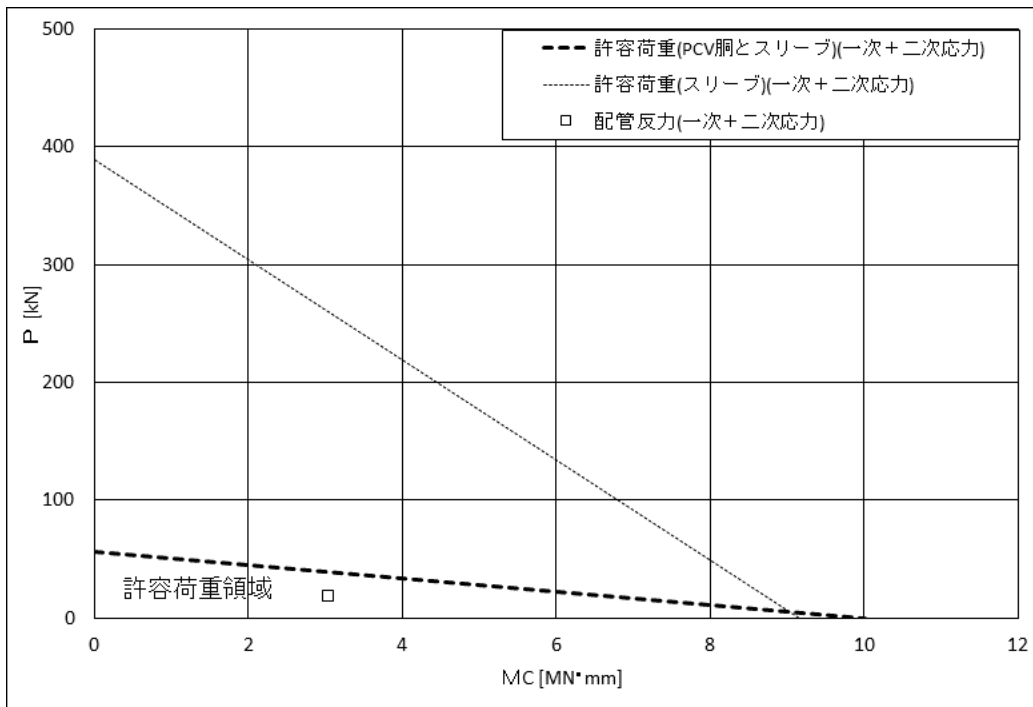


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 25 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-200B）（その 2：縦軸  $P$  - 横軸  $M_L$ ）

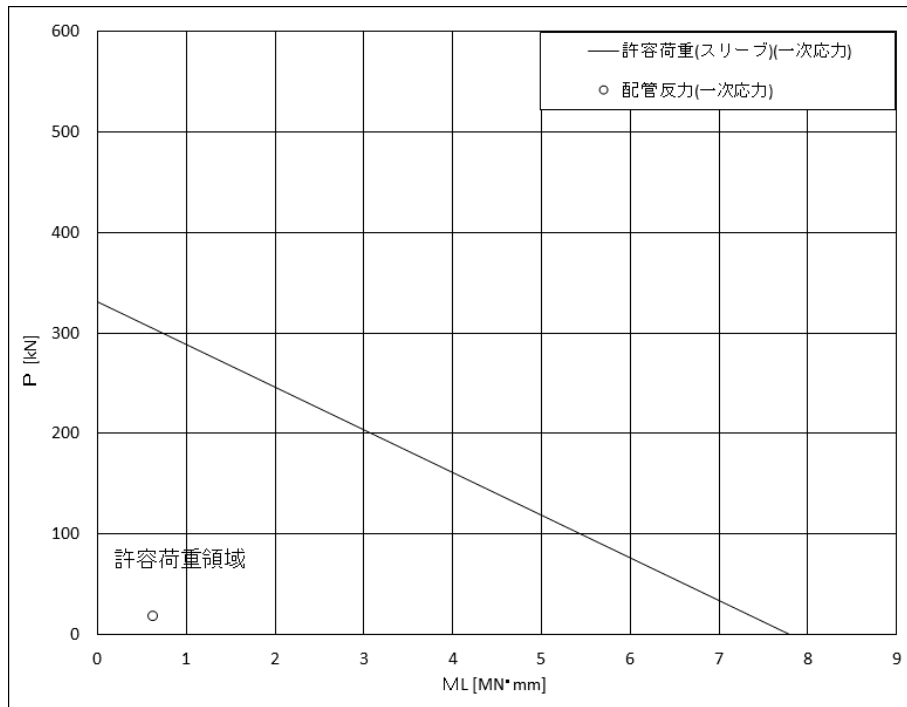


上図：一次応力に対する許容荷重領域

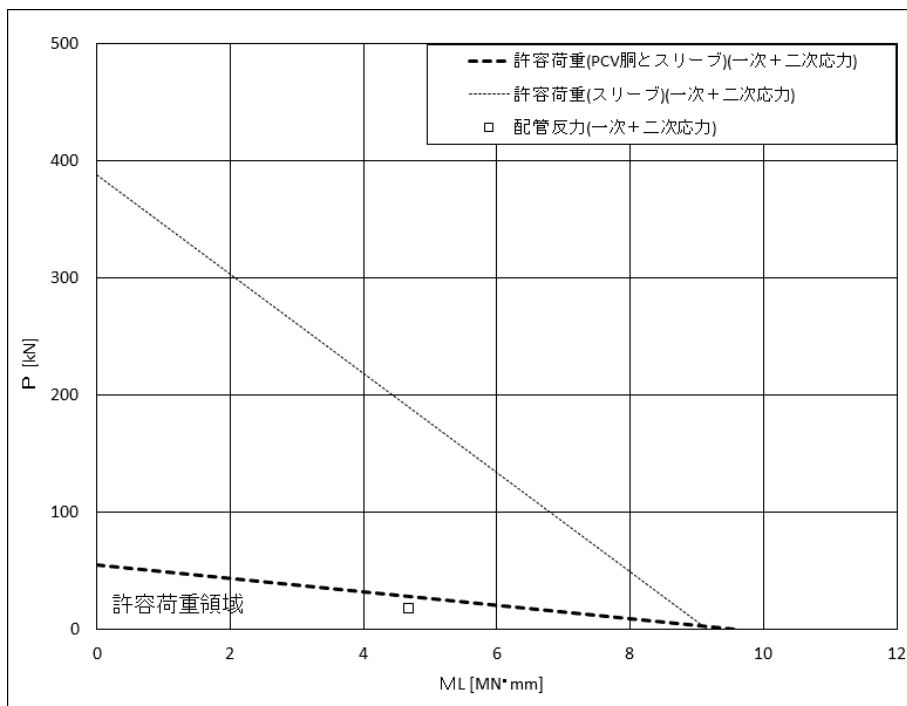


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 26 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-212A）（その 1：縦軸  $P$  - 横軸  $M_C$ ）



上図：一次応力に対する許容荷重領域



下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 26 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-212A）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

## 二重管貫通部の端板及び代表貫通部の補強板取付部の耐震評価結果

### 1. 概要

本添付資料は、配管貫通部の耐震評価において、応力評価点としていない二重管型配管貫通部の端板と代表貫通部の補強板取付部に対する健全性について確認したものである。

### 2. 端板評価

原子炉格納容器配管貫通部の耐震計算書による応力評価点は、配管反力による応力と原子炉格納容器本体（胴）から受ける応力の合算値により比較的厳しい評価となる原子炉格納容器とスリーブとの結合部を既工認から応力評価点としているが、図1に示す二重管型配管貫通部の端板については原子炉格納容器とスリーブとの結合部と比較した評価結果から包絡されると整理し評価を省略している。ここでは、端板に対する応力評価を実施し、原子炉格納容器とスリーブとの結合部の評価に包絡されることを説明する。なお、端板評価にあたっては代表貫通部を選定し評価を実施する。代表貫通部の選定として、端板を有する二重管型配管貫通部のうち、有意な荷重が加わらないと考えられる貫通配管が50A以下の配管貫通部を除外し、スリーブ外径が最大かつ、貫通部設置位置の最も高い貫通部を選定する。これらの結果からX-60を端板評価の代表貫通部とする。また、端板の評価は、端板が円板形状であることから、参照図書(1)に記載の円板へ生じる応力算出式を用いて応力評価を実施した。代表貫通部による端板の評価結果を表1に示す。

表1に示す端板の評価結果から、代表貫通部について裕度があることを確認した。また、応力評価点である原子炉格納容器とスリーブとの結合部より裕度が高く包絡されることから、既工認同様、原子炉格納容器配管貫通部の耐震計算書において端板評価は省略する。なお、原子炉格納容器配管貫通部において、原子炉格納容器とスリーブとの結合部が最も裕度が厳しく、原子炉格納容器とスリーブとの結合部の評価により他の部位についても包絡できると考えるが、既工認同様、原子炉格納容器とスリーブとの結合部及びスリーブを応力評価点とする。

### 3. 補強板取付部評価

配管貫通部の応力評価点は、建設時においてモデルプラントと同様にスリーブ及び原子炉格納容器とスリーブとの結合部を応力評価点としており、図2に示す補強板取付部を応力評価点としていない。ただし、設計評価において、建設時より補強板取付部を評価し、健全性を確認している。今回工認の代表貫通部であるX-81及びX-241についても補強板取付部に対する健全性を確認しており、確認結果を表2及び表3に示す。

原子炉格納容器外側

原子炉格納容器内側

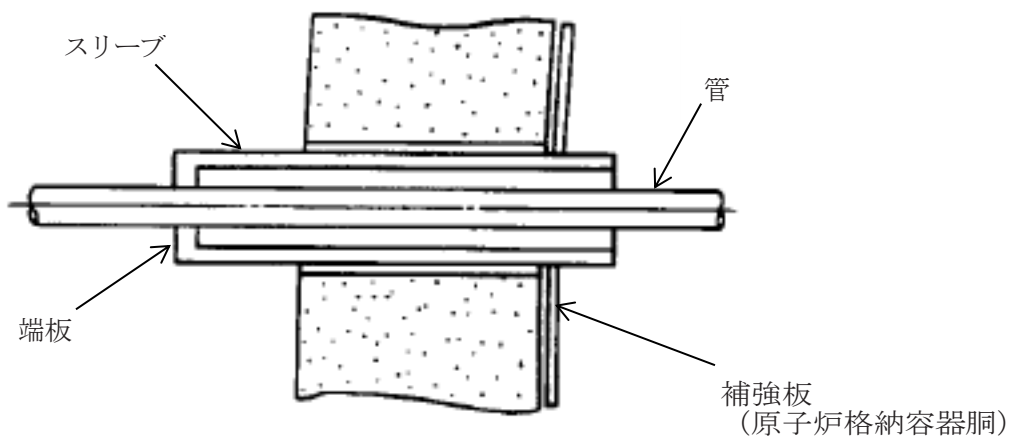


図1 二重管型配管貫通部の形状

原子炉格納容器内側

原子炉格納容器外側

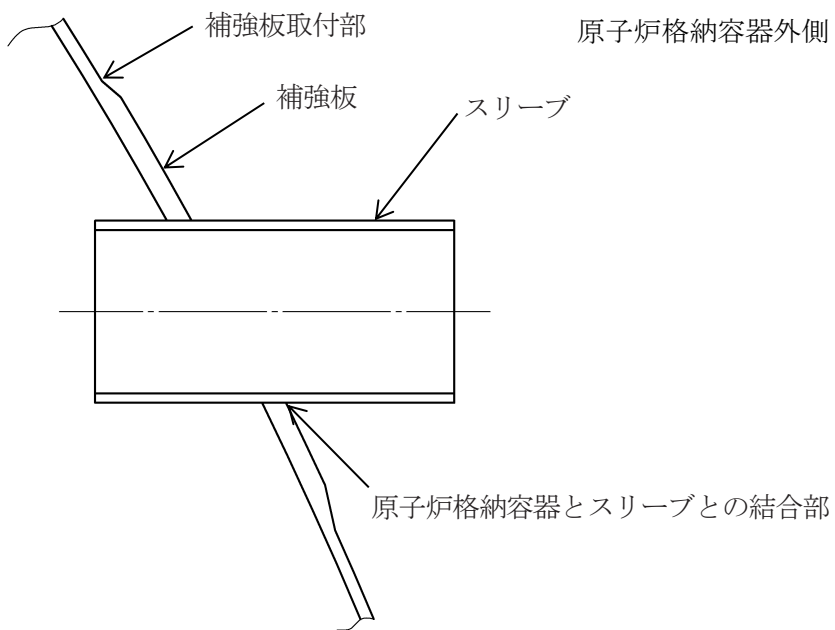


図2 直結型配管貫通部の形状

表 1 X-60 の端板評価結果

貫通部番号	設置高さ [EL] (mm)	スリーブ 外径 (mm)	応力評価点	応力分類	許容応力 状態	評価結果		判定	備考
						発生値	許容値		
						MPa	MPa		
X-60			原子炉格納容器 とスリーブとの 結合部	一次+二次応力	IV <sub>A</sub> S	244	501	○	
			端板			148	348	○	

表 2 X-81 及び X-241 の補強板取付部の評価結果

貫通部番号	設置高さ [EL] (mm) 又は 設置位置 角度*	スリーブ 外径 (mm)	応力評価点	応力分類	許容応力 状態	評価結果		判定	備考
						発生値	許容値		
						MPa	MPa		
X-81			補強板取付部	一次+二次応力	IV <sub>A</sub> S	368	501	○	代表貫通部
X-241						850	501	×	代表貫通部

注記\* : サプレッションチェンバ小円断面の上部を 0° とした設置位置角度

表3 X-241の補強板取付部の疲労評価結果

貫通部番号	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	$S_\ell$ (MPa)	$S_\ell'$ (MPa)	$N_a$ (回)	$N_c$ (回)	疲労累積係数 $N_c/N_a$	備考
X-241	850							0.811	

$K_e$  : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

$S_p$  : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

$S_\ell$  : 繰返しピーク応力強さ

$S_\ell'$  : 補正繰返しピーク応力強さ\*

$N_a$  : 許容繰返し回数

$N_c$  : 等価繰返し回数

$E_o$  : 縦弾性係数

$E$  : 運転温度の縦弾性係数

注記\* :  $S_\ell$ に ( $E_o/E$ ) を乗じた値である

$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$E = 1.98 \times 10^5 \text{ MPa (IVAS : 104°C)}$$



#### 4. 結論

上記評価により、応力評価点としていない二重管型配管貫通部の端板と補強板取付部に対する健全性について確認した。

#### 5. 参照図書

- (1) Raymond J. Roark, Warren C. Young and Richard G. Budynas, "Roark's Formulas for Stress and Strain", Seventh Edition (2002)

## サプレッションチェンバのオーバル振動に関する影響検討

## 1. 概要

島根2号機のサプレッションチェンバでは、3次元シェルモデルによる解析により、壁面が花びら状に変形するオーバル振動が現れることを確認している。しかし、オーバル振動は今回工認で用いる3次元はりモデルにおいて振動モードとして考慮できないため、オーバル振動がサプレッションチェンバ及びサプレッションチェンバサポートの耐震評価に与える影響については、NS2-補-027-10-45「サプレッションチェンバ及びサプレッションチェンバサポートの耐震評価手法について」において検討している。

本添付資料では、サプレッションチェンバ接続配管及び配管貫通部について、サプレッションチェンバのオーバル振動を考慮した耐震条件においても耐震性を有することを確認する。

## 2. 解析モデル

本検討では、今回工認で用いるサプレッションチェンバの3次元はりモデルに代わり、3次元シェルモデルを用いてサプレッションチェンバ接続配管及び配管貫通部の耐震評価を行う。3次元シェルモデルのモデル諸元及び解析モデル図を表2-1及び図2-1に示す。なお、本3次元シェルモデルはNS2-補-027-10-45「サプレッションチェンバ及びサプレッションチェンバサポートの耐震評価手法について」において用いる3次元シェルモデルと同様のモデルである。

表2-1 3次元シェルモデルのモデル諸元

項目		内容
モデル化	要素数	<input type="text"/>
	鋼製部	シェル要素：サプレッションチェンバ胴，補強リング，サプレッションチェンバサポート（ベース及びベースプレート以外） はり要素：サプレッションチェンバサポート（ベース及びベースプレート）*
	内部水	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐震解析用重大事故等時水位（EL 7049m）</li> <li>NASTRANの仮想質量法を適用</li> </ul>

注記\*：サプレッションチェンバサポートのうち、シアキー構造より上部の部材については半径方向に可動する構造であるが、半径方向に可動しないシアキー構造より下部の部材（ベース及びベースプレート）は板厚方向の剛性をモデル化する目的ではり要素とする。

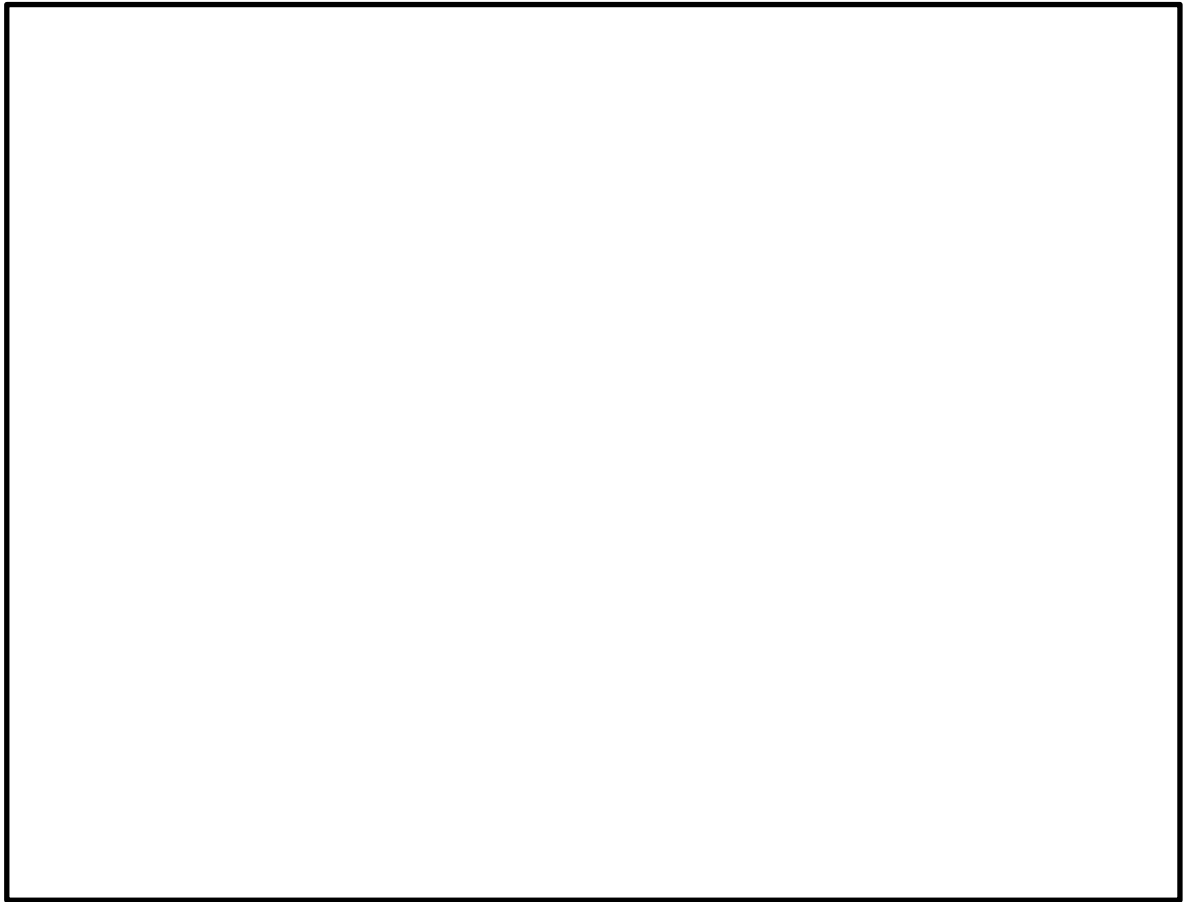


図 2-1 3次元シェルモデル図

### 3. 配管評価

配管は、サプレッションチェンバの耐震条件を適用しているモデルを評価対象とするが、胴エビ継部はオーバル振動の影響を受けにくいいため、胴エビ継部のみに支持点を持つ配管については、3次元はりモデルと3次元シェルモデルの応答を比較し、3次元はりモデルの応答が大きくなる場合は影響検討の対象外とする。評価対象の選定フローを図3-1に示す。

胴エビ継部における3次元はりモデルと3次元シェルモデルの加速度の比較結果を表3-1に、変位の比較結果を表3-2に示す。胴エビ継部の加速度は、全ての質点において3次元シェルモデルより3次元はりモデルが大きくなることを確認した。また、胴エビ継部の変位は、底部、内側、外側においては全て3次元シェルモデルより3次元はりモデルが大きくなることを確認したが、頂部の一部で3次元はりモデルが3次元シェルモデル以下となる結果となった。以上のことから、頂部以外の胴エビ継部のみに支持点を持つ配管については影響検討の対象外とする。

評価対象の選定結果を表3-3に、サプレッションチェンバに接続される配管の配置概要を図3-2に示す。なお、配管系に適用する条件の詳細はNS2-補-027-10-86「サプレッションチェンバ接続配管に適用する設計用地震力に関する補足説明資料」にて示す。

サプレッションチェンバの耐震条件を適用する管について、オーバル振動を考慮した耐震評価を行った結果を表3-4に示す。表3-4に示すとおり、オーバル振動を考慮した耐震条件においても耐震性を有することを確認した。なお、表3-4においては、図3-2における配管パターン毎に算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい箇所の結果について記載する。

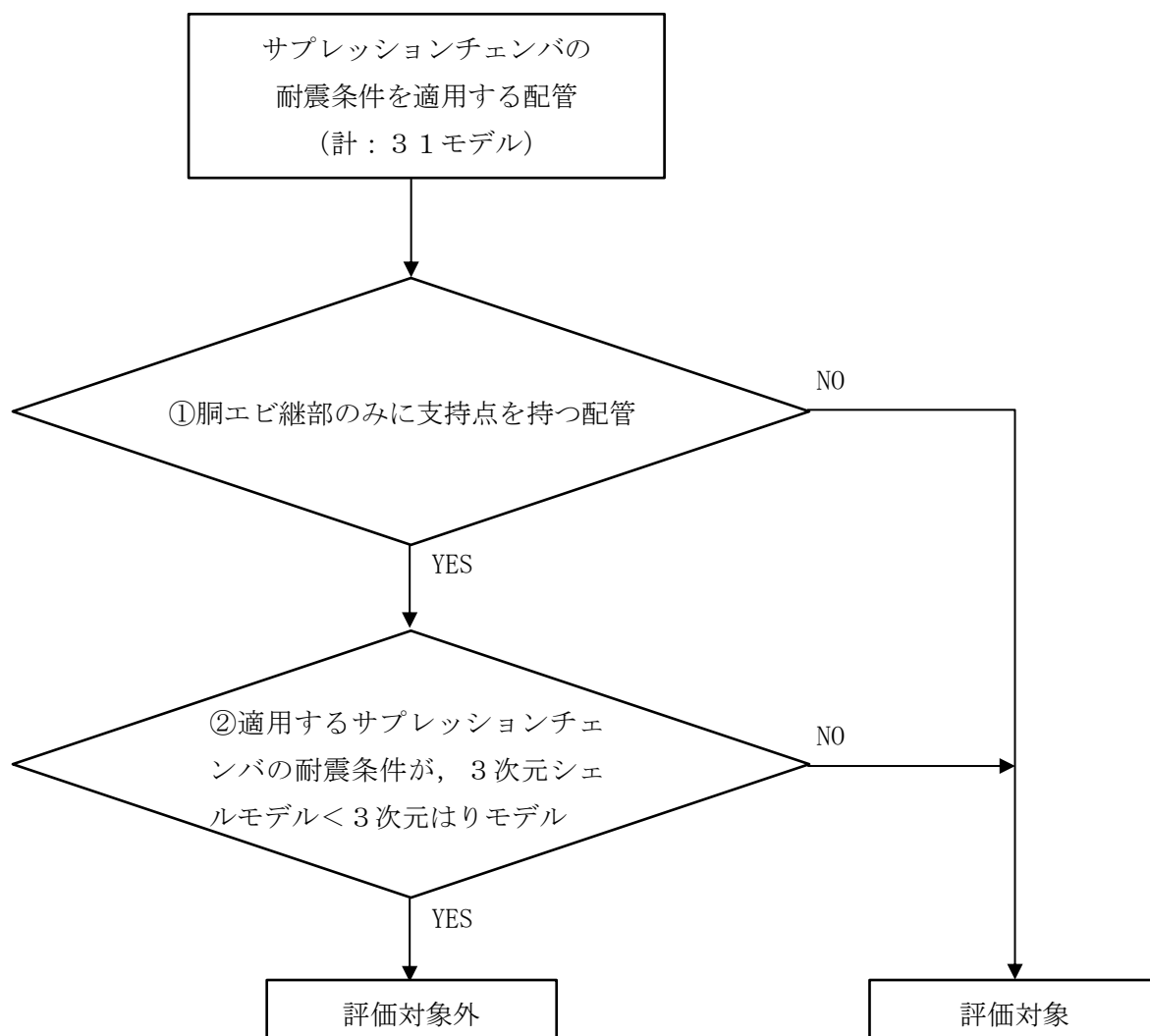
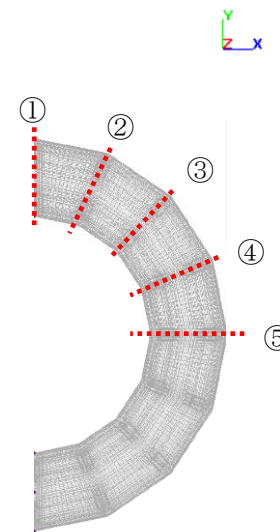


図3-1 評価対象の選定フロー

表 3-1 胴エビ継部における 3次元はりモデルと 3次元シェルモデルの加速度の比較結果

加速度 抽出点	3次元はりモデル (mm/s <sup>2</sup> )			位置	3次元シェルモデル (mm/s <sup>2</sup> )			比率* ( - )		
	X	Y	Z		X	Y	Z	X	Y	Z
①				頂部				0.53	0.41	0.52
				底部				0.28	0.45	0.24
				内側				0.48	0.47	0.26
				外側				0.32	0.44	0.24
②				頂部				0.45	0.39	0.56
				底部				0.33	0.42	0.26
				内側				0.44	0.45	0.27
				外側				0.34	0.42	0.26
③				頂部				0.39	0.40	0.63
				底部				0.37	0.40	0.29
				内側				0.41	0.44	0.30
				外側				0.37	0.39	0.29
④				頂部				0.37	0.45	0.70
				底部				0.39	0.35	0.32
				内側				0.41	0.45	0.33
				外側				0.38	0.36	0.32
⑤				頂部				0.37	0.55	0.76
				底部				0.41	0.29	0.35
				内側				0.42	0.50	0.36
				外側				0.40	0.34	0.35

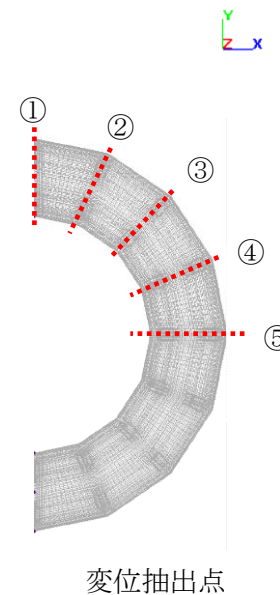


加速度抽出点

注記\* : 3次元シェルモデル / 3次元はりモデルにて算出した結果を示す。

表 3-2 胴エビ継部における 3次元はりモデルと 3次元シェルモデルの変位の比較結果

変位 抽出点	3次元はりモデル (mm)			位置	3次元シェルモデル (mm)			比率* ( - )		
	X	Y	Z		X	Y	Z	X	Y	Z
①				頂部				0.86	0.62	0.88
				底部				0.44	0.69	0.25
				内側				0.79	0.52	0.33
				外側				0.48	0.58	0.47
②				頂部				0.71	0.60	0.94
				底部				0.52	0.66	0.27
				内側				0.64	0.50	0.36
				外側				0.48	0.55	0.50
③				頂部				0.60	0.61	<b>1.03</b>
				底部				0.58	0.61	0.30
				内側				0.52	0.53	0.39
				外側				0.50	0.52	0.56
④				頂部				0.56	0.71	<b>1.15</b>
				底部				0.61	0.55	0.32
				内側				0.48	0.64	0.42
				外側				0.52	0.51	0.62
⑤				頂部				0.57	0.91	<b>1.25</b>
				底部				0.64	0.47	0.35
				内側				0.48	0.84	0.46
				外側				0.53	0.51	0.68



注記\* : 3次元シェルモデル / 3次元はりモデルにて算出した結果を示す。

表 3-3 評価対象の選定結果

【凡例】 該当項目：○ 非該当項目：—

No.	配管モデル	系統	図 3-2 における配管パターン	図 3-1 の①に該当する配管	図 3-1 の②に該当する配管*	評価対象
1	MS-PS-6	主蒸気系	D	○	—	○
2	MS-PS-7	主蒸気系	D	○	○	—
3	MS-PS-8	主蒸気系	D	○	—	○
4	MS-PS-9	主蒸気系	D	○	○	—
5	MS-PS-10	主蒸気系	D	○	—	○
6	MS-PS-11	主蒸気系	D	○	○	—
7	MS-PS-12	主蒸気系	D	○	—	○
8	MS-PS-13	主蒸気系	D	○	○	—
9	MS-PS-14	主蒸気系	D	○	—	○
10	MS-PS-15	主蒸気系	D	○	○	—
11	MS-PS-16	主蒸気系	D	○	—	○
12	MS-PS-17	主蒸気系	D	○	○	—
13	RHR-R-1	残留熱除去系	A	—	—	○
14	RHR-R-2	残留熱除去系	A	—	—	○
15	RHR-R-3	残留熱除去系	A	—	—	○
16	RHR-R-6	残留熱除去系	A	—	—	○
17	RHR-R-7	残留熱除去系	A	—	—	○
18	RHR-R-12	残留熱除去系	A	—	—	○
19	RHR-R-14	残留熱除去系	A	—	—	○
20	RHR-PS-9	残留熱除去系	B	—	—	○
21	RHR-PS-10	残留熱除去系	B	—	—	○
22	HPCS-R-1	高圧炉心スプレイ系	A	—	—	○
23	LPCS-R-1	低圧炉心スプレイ系	A	—	—	○
24	RCIC-R-1	原子炉隔離時冷却系	A	—	—	○
25	RCIC-R-4	原子炉隔離時冷却系	A	—	—	○
26	RCIC-PS-2	原子炉隔離時冷却系	B	—	—	○
27	SGT-R-1	非常用ガス処理系	A	—	—	○
28	FCS-R-3	可燃性ガス濃度制御系	A	—	—	○
29	FCS-R-4	可燃性ガス濃度制御系	A	—	—	○
30	ANI-R-6SP	窒素ガス代替注入系	A	—	—	○
31	NGC-R-1	窒素ガス制御系	A	—	—	○

注記\*： 頂部以外の胴エビ継部のみに支持点を持つ配管

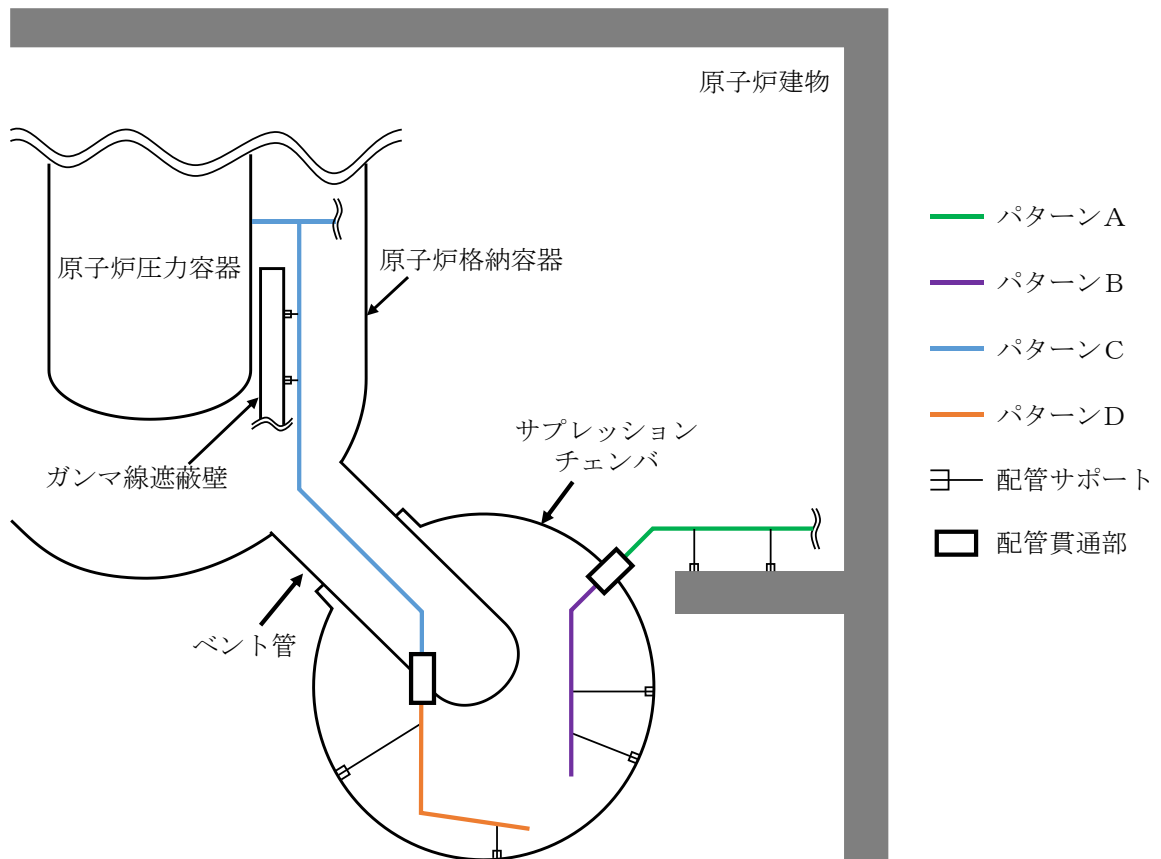


図 3-2 サプレッションチェンバ接続配管の配置概要

表 3-4 オーバル振動を考慮した耐震条件における配管の評価結果

区分	図 2 における配管パターン	設置建物	設置高さ EL (m)	配管モデル	応力の種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
配管及び支持構造物	パターンA	原子炉建物	☐	RHR-R-2	一次	141	335
				ANI-R-6SP	一次+二次	405	414
	パターンB	サプレッションチェンバ		RCIC-PS-2	一次	174	363
				RCIC-PS-2	一次+二次	300	418
	パターンD	サプレッションチェンバ		MS-PS-8	一次	95	363
				MS-PS-12	一次+二次	327	394



#### 4. 配管貫通部評価

3.において評価対象となった配管が接続される配管貫通部について、オーバル振動を考慮した耐震条件においても耐震性を有することを確認する。なお、評価に当たっては添付資料-2と同様に許容荷重領域による評価を実施し、領域外となった貫通部に対して詳細評価（応力評価及び簡易弾塑性解析）を実施する。

許容荷重領域による評価結果を表 4-1 に示す。また、詳細評価による評価結果を表 4-2, 3 に示す。表 4-1~3 に示すとおり、オーバル振動を考慮した耐震条件においても耐震性を有することを確認した。

表 4-1 許容荷重領域による評価結果

貫通部番号	許容荷重領域評価	
	一次応力	一次+二次応力
X-200A	×	×
X-200B	×	×
X-201	○	×
X-202	○	×
X-203	○	×
X-204	○	×
X-205	○	×
X-208	○	×
X-210	○	×
X-213	○	×
X-214	○	○
X-241	○	×

表 4-2 詳細評価による確認結果(1/2)

貫通部番号	評価部位	応力分類	許容応力状態	評価結果		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-200A	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	V <sub>A</sub> S	246	490	○	
	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次+二次応力	IV <sub>A</sub> S	590	501	×	
			V <sub>A</sub> S	590	501	×	
X-200B	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	V <sub>A</sub> S	248	490	○	
	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	一次+二次応力	IV <sub>A</sub> S	626	501	×	
			V <sub>A</sub> S	626	501	×	
X-201	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次+二次応力	IV <sub>A</sub> S	679	501	×	
			V <sub>A</sub> S	679	501	×	
X-202			IV <sub>A</sub> S	641	501	×	
			V <sub>A</sub> S	641	501	×	
X-203			IV <sub>A</sub> S	536	501	×	
			V <sub>A</sub> S	536	501	×	
X-204			IV <sub>A</sub> S	774	501	×	
			V <sub>A</sub> S	774	501	×	

表 4-2 詳細評価による確認結果(2/2)

貫通部番号	評価部位	応力分類	許容応力状態	評価結果		判定	備考
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-205	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次+二次応力	IV <sub>A</sub> S	734	501	×	
			V <sub>A</sub> S	734	501	×	
X-208			IV <sub>A</sub> S	491	501	○	
			V <sub>A</sub> S	491	501	○	
X-210			IV <sub>A</sub> S	501	501	○	
			V <sub>A</sub> S	501	501	○	
X-213			IV <sub>A</sub> S	690	501	×	
			V <sub>A</sub> S	690	501	×	
X-241			IV <sub>A</sub> S	862	501	×	
			V <sub>A</sub> S	862	501	×	

表 4-3 疲労評価結果(1/2)

貫通部 番号	許容応力 状態	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	$S_\ell$ (MPa)	$S_\ell'$ (MPa)	$N_a$ (回)	$N_c$ (回)	疲労累積 係数 $N_c/N_a$	備考
X-200A	IV <sub>A</sub> S	590							0.324	
	V <sub>A</sub> S	590							0.354	
X-200B	IV <sub>A</sub> S	626							0.411	
	V <sub>A</sub> S	626							0.450	
X-201	IV <sub>A</sub> S	679							0.292	
	V <sub>A</sub> S	679							0.321	
X-202	IV <sub>A</sub> S	641							0.208	
	V <sub>A</sub> S	641							0.231	
X-203	IV <sub>A</sub> S	536							0.071	
	V <sub>A</sub> S	536							0.079	
X-204	IV <sub>A</sub> S	774							0.544	
	V <sub>A</sub> S	774							0.596	
X-205	IV <sub>A</sub> S	734							0.429	
	V <sub>A</sub> S	734							0.469	
X-213	IV <sub>A</sub> S	690							0.346	
	V <sub>A</sub> S	690							0.351	

表 4-3 疲労評価結果 (2/2)

貫通部 番号	許容応力 状態	$S_n$ (MPa)	$K_e$	$S_p$ (MPa)	$S_\ell$ (MPa)	$S_\ell'$ (MPa)	$N_a$ (回)	$N_c$ (回)	疲労累積 係数 $N_c/N_a$	備考	
X-241	IVAS	862								0.867	
	VAS	862								0.843	

$K_e$  : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

$S_p$  : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

$S_\ell$  : 繰返しピーク応力強さ

$S_\ell'$  : 補正繰返しピーク応力強さ\*

$N_a$  : 許容繰返し回数

$N_c$  : 等価繰返し回数

$E_o$  : 縦弾性係数

$E$  : 運転温度の縦弾性係数

注記 \* :  $S_\ell$ に ( $E_o/E$ ) を乗じた値である。

$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$E = 1.98 \times 10^5 \text{ MPa (IVAS : } 104^\circ\text{C)}$$

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa (X-241 以外 VAS : } 200^\circ\text{C)}$$

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa (X-241 VAS : } 70^\circ\text{C)}$$

## 5. 結論

3. 及び 4. の耐震評価により，サプレッションチェンバ接続配管及び配管貫通部について，サプレッションチェンバのオーバル振動を考慮した耐震条件においても耐震性を有することを確認した。