

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 改 04
提出年月日	2023年6月14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6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	19
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	19
6. 添付資料	20
添付資料-1 配管貫通部の設計手法について	21
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	23
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	84
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	90

## 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。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。

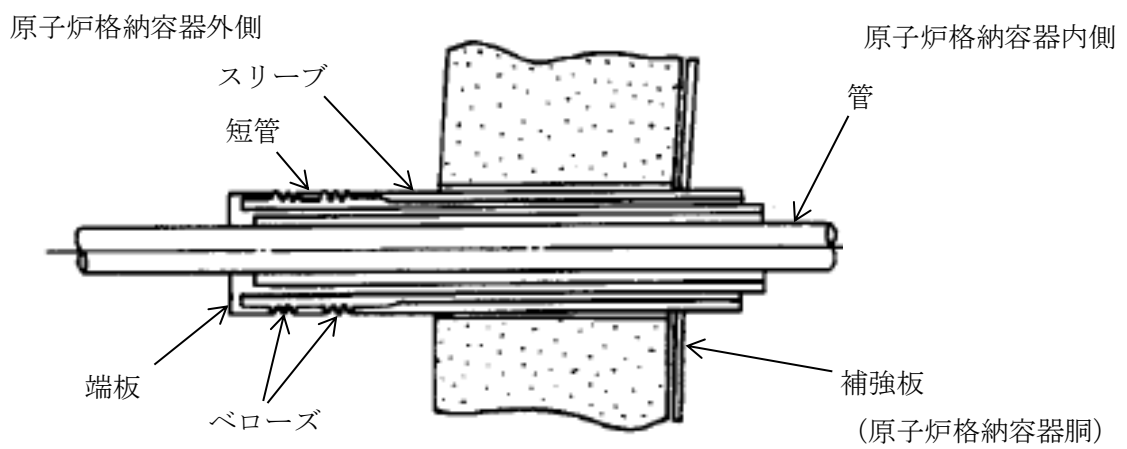
計算書に記載する代表貫通部の選定に当たっては、まず有意な荷重が加わらないと考えられる貫通部を除外するため、形式 1 の配管貫通部は評価を省略し、形式 2 及び 3 の配管貫通部に対して評価を実施する。なお、具体的な代表貫通部の選定方法については、3.1 に示す。

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当たっては、端板以外の評価部位に対する代表貫通部を選定する。

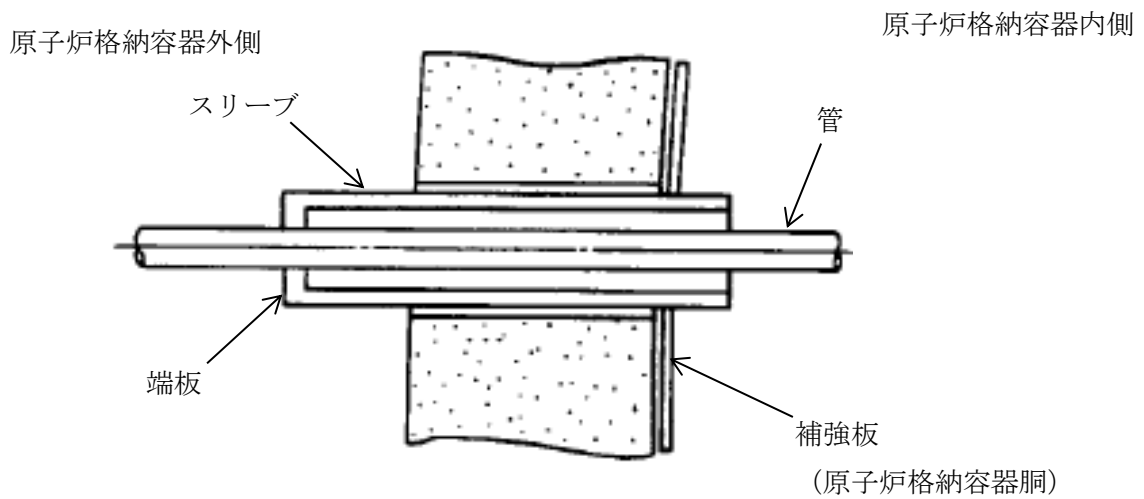
### 2.2 電気配線貫通部

電気配線貫通部の形式を図 2-2 に示す。

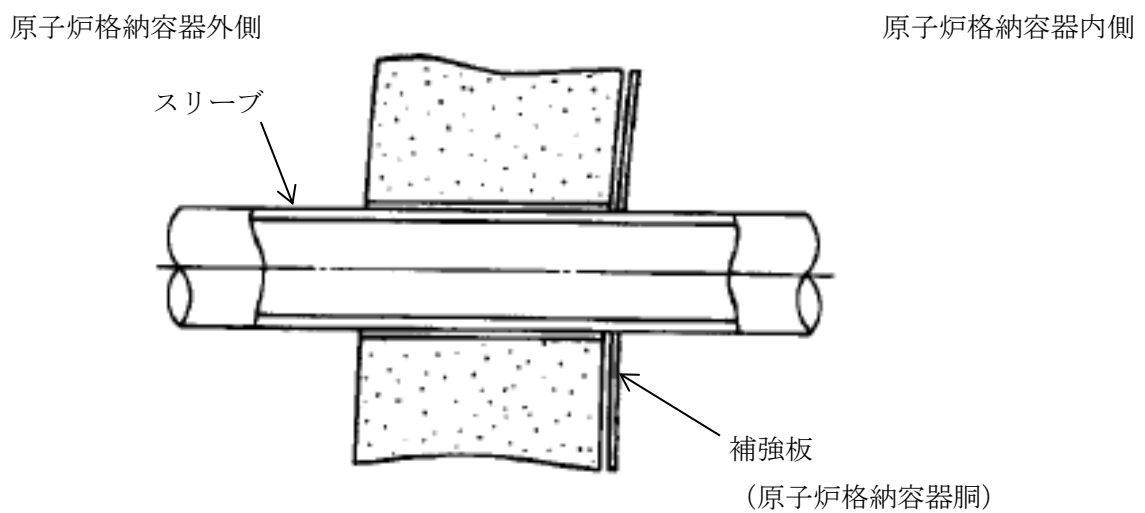
電気配線貫通部の構造強度評価における評価部位は、原子炉格納容器とスリーブとの結合部としている。計算書に記載する代表貫通部の選定に当たっては、固有周期が 0.05 秒を超え柔構造となる貫通部において、地震慣性力（貫通部質量×震度×重力加速度）が最も大きくなるものを代表貫通部として選定する。



(a) 形式1 [ベローズ付貫通部]

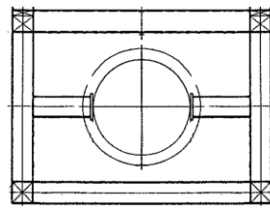
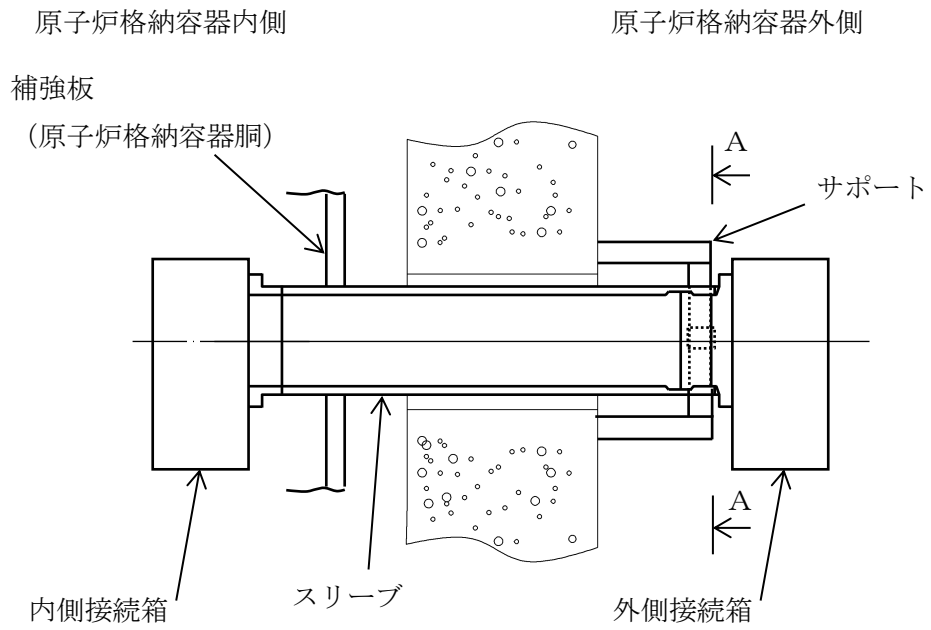


(b) 形式2 [二重管型貫通部]



(c) 形式3 [直結型貫通部]

図2-1 配管貫通部の形式



A-A矢視図

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ーションチェンバ貫通部に分類し、それぞれ外径が最大の貫通部のうち、設置位置が最高の貫通部を選定する（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 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)

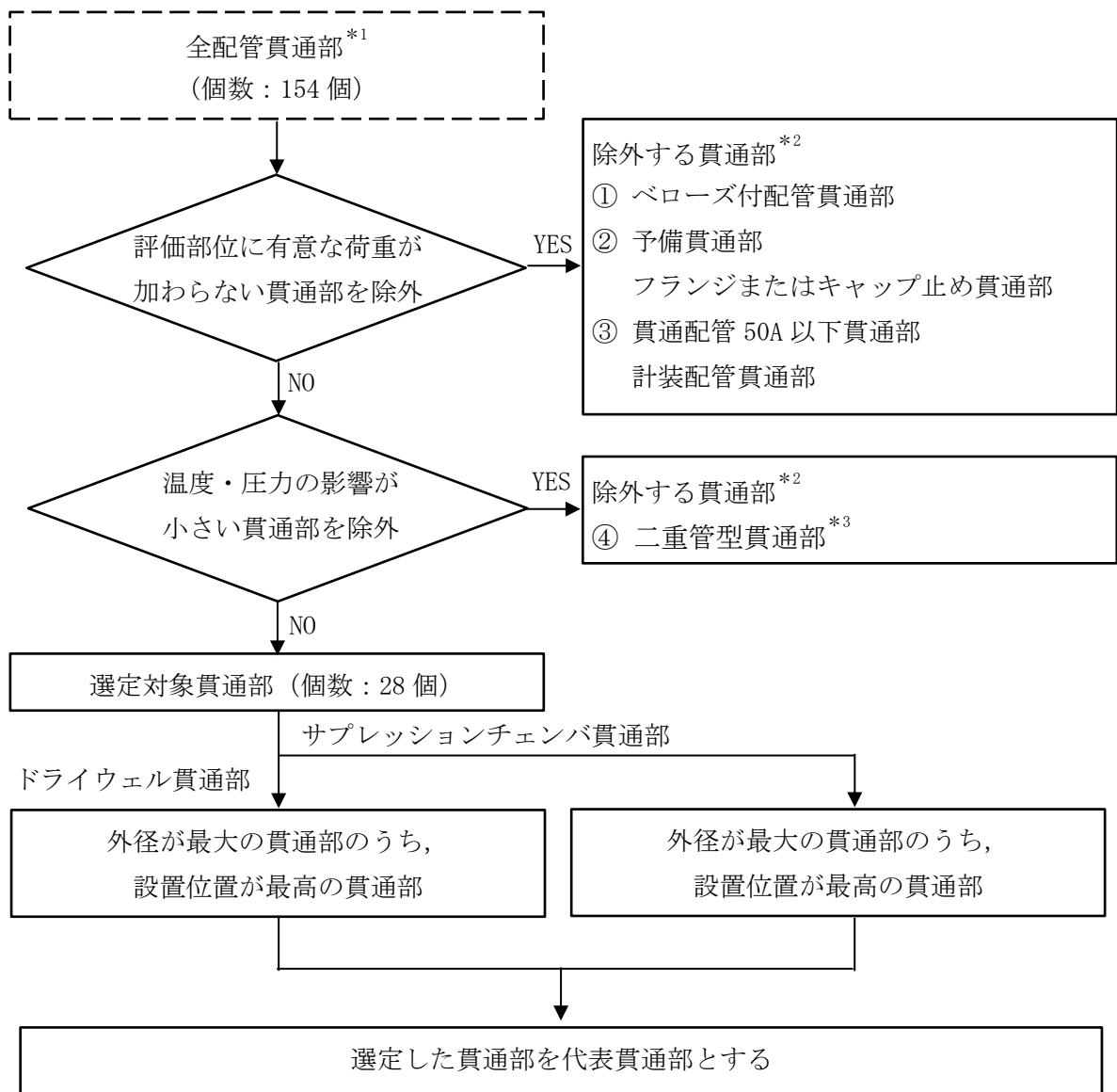
No.	貫通部 番号	貫通部形式	設置場所	設置高 さ[EL] (mm)	貫通配 管外径 (mm)	スリー ブ外径 (mm)	除外 理由	選定 対象 貫通部
72	X-22	二重管型	ドライウエル				④	
73	X-83	二重管型	ドライウエル				④	
74	X-84	二重管型	ドライウエル				④	
75	X-13A	二重管型	ドライウエル				④	
76	X-13B	二重管型	ドライウエル				④	
77	X-14	計装用	ドライウエル				③	
78	X-130	計装用	ドライウエル				③	
79	X-131	計装用	ドライウエル				③	
80	X-132	計装用	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



### 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 3-4、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 3-5 に示す。

なお、電気配線貫通部は接続されている電気配線から有意な荷重が加わらないため、貫通部単体の解析モデルを用いて固有値解析及び応力算出を実施している。

表 3-4 電気配線貫通部一覧表 (1/2)

No.	貫通部 番号	設置場所	スリーブ 口径	固有振動数* <sup>1</sup> (Hz)	貫通部質量 (kg)	設置高さ[EL] (mm)	震度* <sup>2</sup>	地震慣性力* <sup>3</sup> (×10 <sup>3</sup> N)	代表貫通部
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		

注記\*1：全ての貫通部で水平方向は剛構造のため、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 S<sub>s</sub>）の鉛直方向の震度を示す。

\*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。

表 3-4 電気配線貫通部一覧表 (2/2)

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)	設置高さ[EL] (mm)	震度*2	地震慣性力*3 ( $\times 10^3\text{N}$ )	代表貫通部
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：全ての貫通部で水平方向は剛構造のため、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 S s）の鉛直方向の震度を示す。

\*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。

\*4：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

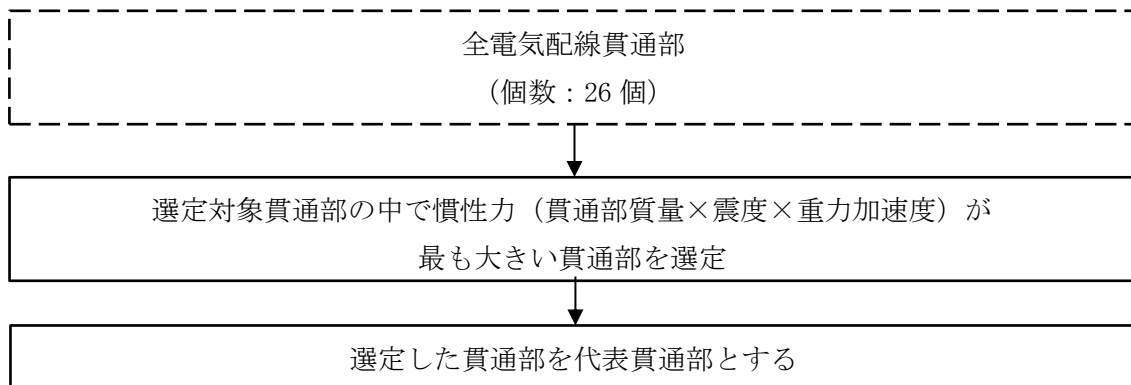


図 3-2 代表電気配線貫通部選定フロー

表 3-5 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

#### 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

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

## 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)を用いて軸力  $P$  とモーメント  $M_C$ 、軸力  $P$  とモーメント  $M_L$  についてそれぞれ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想定される貫通部を代表に選定し、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。

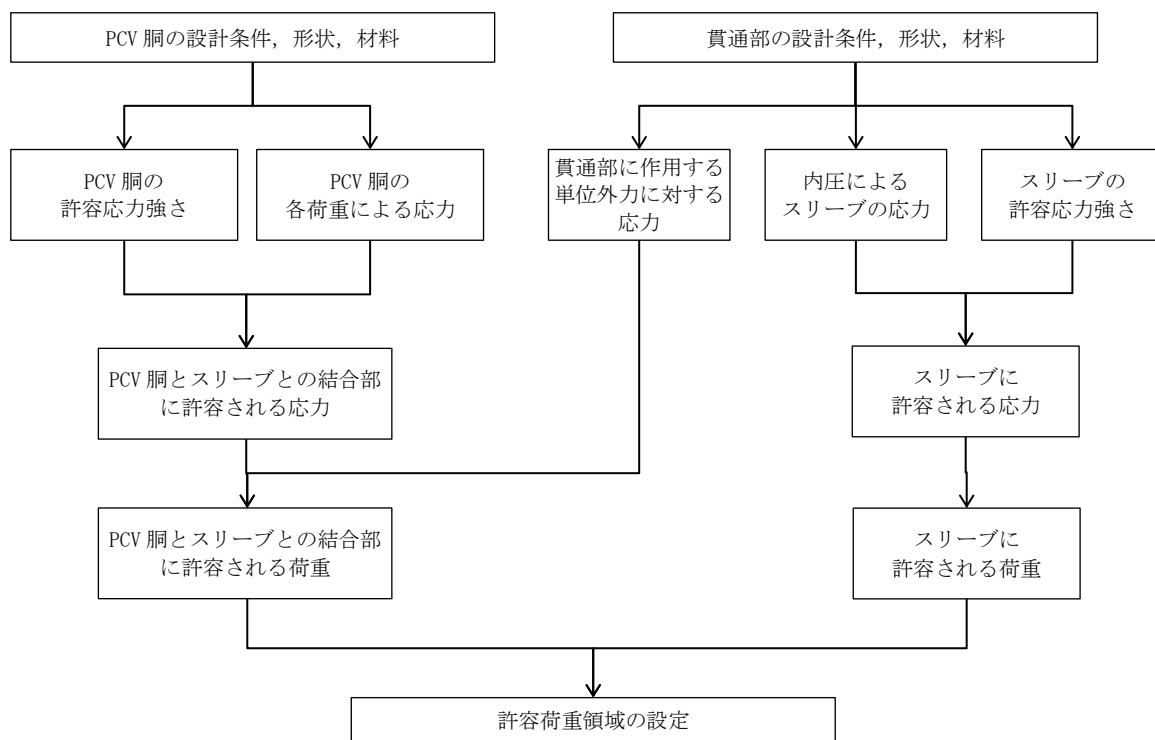
### 3. 補正工認の評価手法

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。

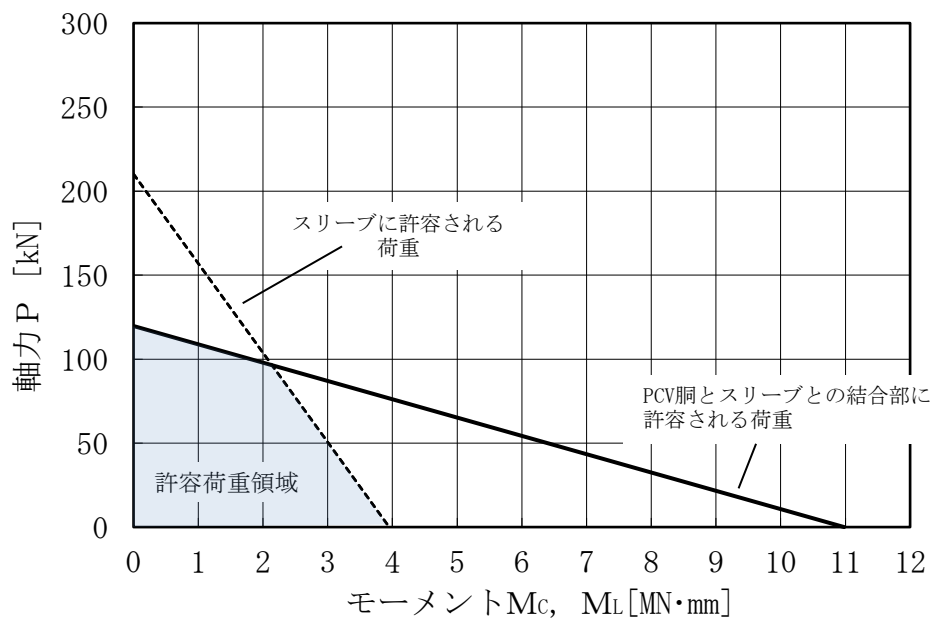
また、その他の貫通部については、前述の許容荷重設定法(必要に応じて貫通部側の追加の詳細評価を実施)により健全性を確認している。ここで、貫通部の耐震評価に用いる配管からの地震荷重には、当該貫通部の接続配管について、その接続配管の耐震計算書と同じモデルを用いて、貫通部と配管との取り合い部の反力及びモーメントを算出して用いている。

### 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、代表選定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,  $M_c$  : 円周方向曲げモーメント,  $M_L$  : 軸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、代表貫通部以外の選定対象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。配管貫通部の構造概要を図1に示す。

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2～図27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。なお、評価部位は図1に示すスリーブ、原子炉格納容器とスリーブとの結合部、補強板取付部とする。

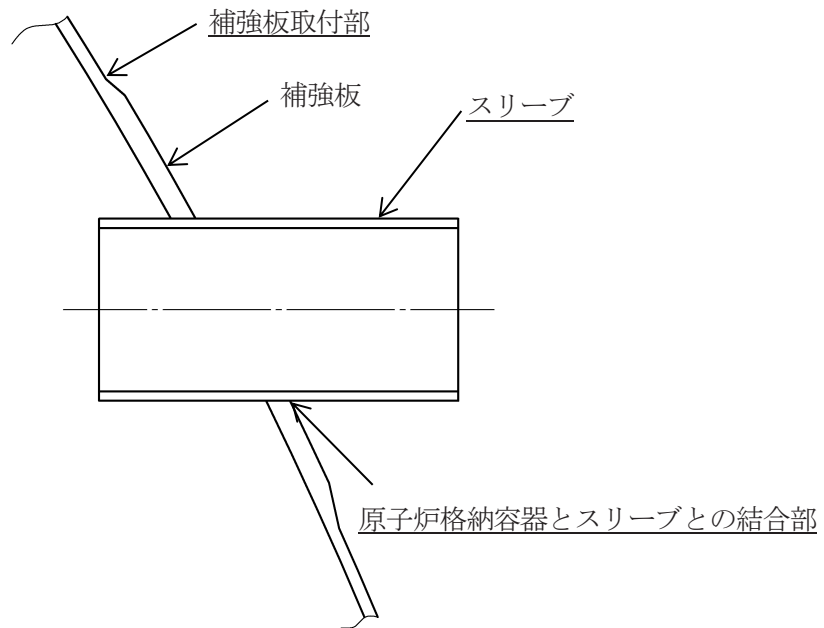
詳細評価による確認結果を表2に示す。なお、各貫通部について、応力分類ごとに最も評価が厳しくなる評価部位のみを記載する。また、簡易弾塑性解析による疲労評価の確認結果を表3に示す。

## 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。

原子炉格納容器内側

原子炉格納容器外側



注：評価部位を下線部で示す。

図1 配管貫通部の構造概要図

表 1(1/2) 対象貫通部（ドライウエル）

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	応力分類	評価部位	許容応力状態	評価結果		裕度 (許容値/発生値)	判定
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-80	一次+二次応力	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部	IVAS	430	501	1.16	○
X-30A				356	501	1.40	○
X-61				472	501	1.06	○
X-62				726	501	0.69	×
X-82A				354	501	1.41	○

表 2 詳細評価による確認結果(2/3)

貫通部番号	応力分類	評価部位	許容応力状態	評価結果		裕度 (許容値/発生値)	判定
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-201	一次+二次応力	補強板取付部	Ⅲ <sub>A</sub> S*	690	501	0.72	×
			V <sub>A</sub> S	690	501	0.72	×
X-202			Ⅲ <sub>A</sub> S*	732	501	0.68	×
			V <sub>A</sub> S	732	501	0.68	×
X-203			Ⅲ <sub>A</sub> S*	696	501	0.71	×
			V <sub>A</sub> S	696	501	0.71	×
X-208			Ⅲ <sub>A</sub> S*	630	501	0.79	×
			V <sub>A</sub> S	630	501	0.79	×
X-210			Ⅲ <sub>A</sub> S*	668	501	0.75	×
			V <sub>A</sub> S	668	501	0.75	×
X-240			Ⅲ <sub>A</sub> S*	606	501	0.82	×
			V <sub>A</sub> S	606	501	0.82	×
X-204			Ⅲ <sub>A</sub> S	654	501	0.76	×
			Ⅳ <sub>A</sub> S	760	501	0.65	×
			V <sub>A</sub> S	760	501	0.65	×
X-205			Ⅲ <sub>A</sub> S*	664	501	0.75	×
	V <sub>A</sub> S	664	501	0.75	×		

注記\* : S<sub>s</sub>とS<sub>d</sub>\*を包絡した耐震条件で評価を実施しているため、許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの評価を省略する。

表 2 詳細評価による確認結果(3/3)

貫通部番号	応力分類	評価部位	許容応力状態	評価結果		裕度 (許容値/発生値)	判定
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-209	一次+二次応力	補強板取付部	Ⅲ <sub>A</sub> S*	494	501	1.01	○
			V <sub>A</sub> S	494	501	1.01	○
X-213			Ⅲ <sub>A</sub> S*	654	501	0.76	×
			V <sub>A</sub> S	654	501	0.76	×
X-242A			Ⅲ <sub>A</sub> S*	528	501	0.94	×
			V <sub>A</sub> S	528	501	0.94	×
X-200A	一次膜応力+ 一次曲げ応力	補強板取付部	V <sub>A</sub> S	251	490	1.95	○
	一次+二次応力	原子炉格納容器胴と スリーブとの結合部	Ⅲ <sub>A</sub> S*	642	501	0.78	×
			V <sub>A</sub> S	642	501	0.78	×
X-200B	一次膜応力+ 一次曲げ応力	補強板取付部	V <sub>A</sub> S	250	490	1.96	○
	一次+二次応力	原子炉格納容器胴と スリーブとの結合部	Ⅲ <sub>A</sub> S*	646	501	0.77	×
			V <sub>A</sub> S	646	501	0.77	×

注記\* : S<sub>s</sub>とS<sub>d</sub>\*を包絡した耐震条件で評価を実施しているため、許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの評価を省略する。

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							

注：設計・建設規格 PVB-3140 により運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて疲労解析を要しないことを確認しているため，疲労累積係数は地震動のみによる疲労累積係数とする。

注記\*： $S_s$ と $S_{d*}$ を包絡した耐震条件で評価を実施しているため，許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの評価を省略する。

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)	$S_l$ (MPa)	$S_l'$ (MPa)	$N_a$ (回)	$N_c$ (回)	疲労累積 係数 $N_c/N_a$	備考
X-205	Ⅲ <sub>A</sub> S*	664							0.515	
	V <sub>A</sub> S	664							0.286	
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	

$K_e$  : 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

$S_l$  : 繰返しピーク応力強さ

$S_l'$  : 補正繰返しピーク応力強さ\*<sup>2</sup>

$N_a$  : 許容繰り返し回数

$N_c$  : 等価繰り返し回数

$E_o$  : 縦弾性係数

$E$  : 運転温度の縦弾性係数

注: 設計・建設規格 PVB-3140 により運転状態Ⅰ, Ⅱにおいて疲労解析を要しないことを確認しているため, 疲労累積係数は地震動のみによる疲労累積係数とする。



注記\*1：  $S_s$  と  $S_d^*$  を包絡した耐震条件で評価を実施しているため，許容応力状態  $IV_{AS}$  の評価を省略する。

\*2：  $S_d$  に  $(E_o/E)$  を乗じた値である

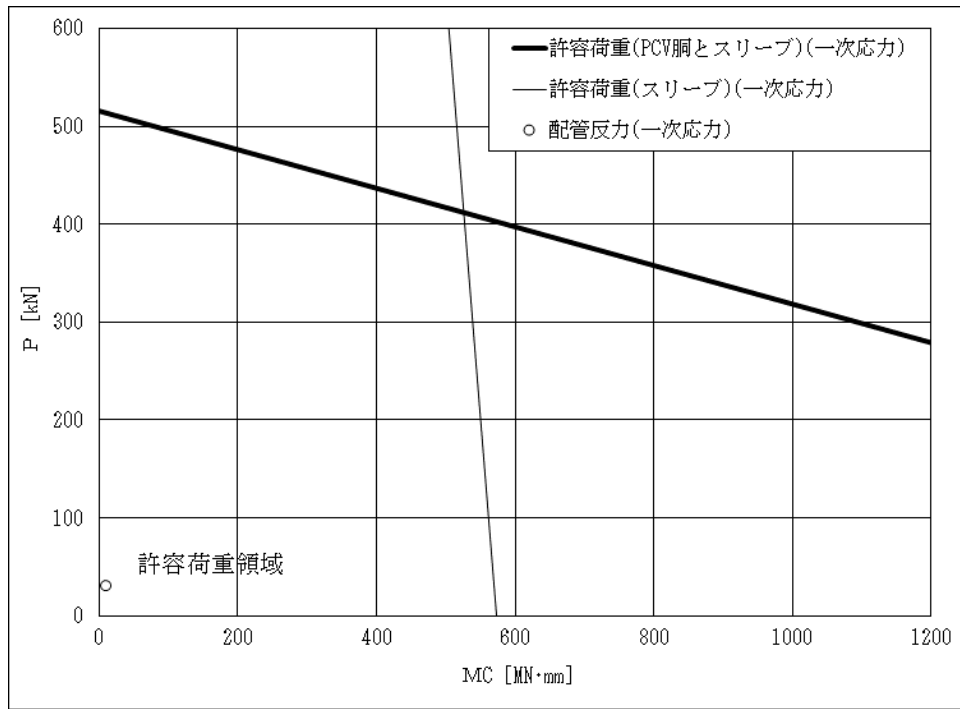
$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$E = 1.98 \times 10^5 \text{ MPa (サブプレッションチェンバ側 (X-213 以外) III_{AS} 及び IV_{AS} : 104^\circ\text{C})}$$

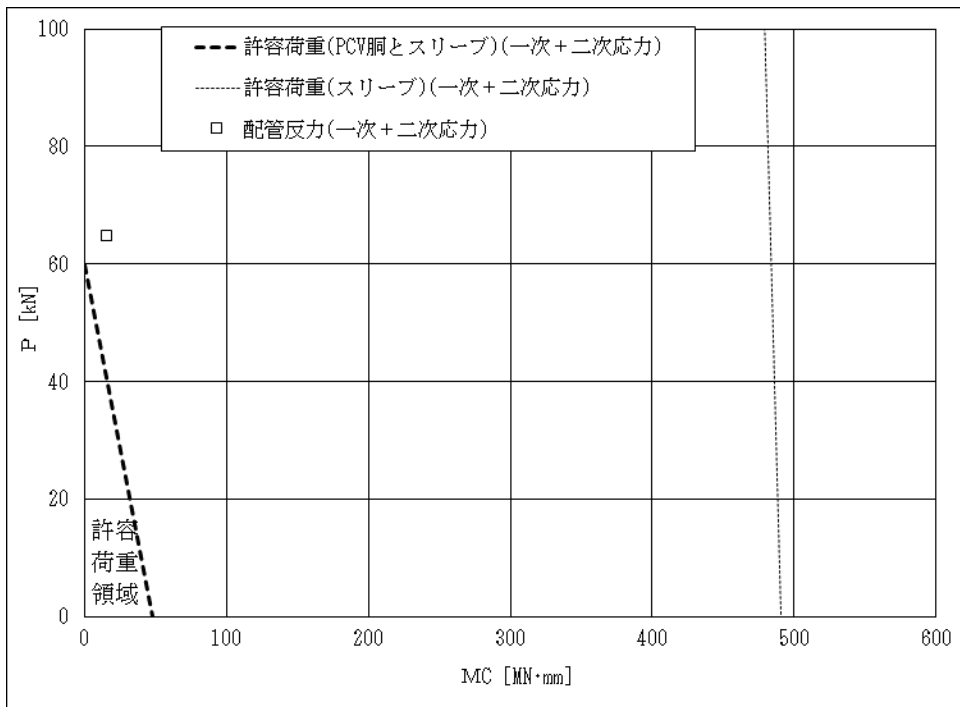
$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa (ドライウエル側 III_{AS} 及び IV_{AS} : 171^\circ\text{C})}$$

$$E = 1.92 \times 10^5 \text{ MPa (サブプレッションチェンバ側 (X-213) III_{AS} : 184^\circ\text{C})}$$

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa (ドライウエル側及びサブプレッションチェンバ側 V_{AS} : 200^\circ\text{C})}$$

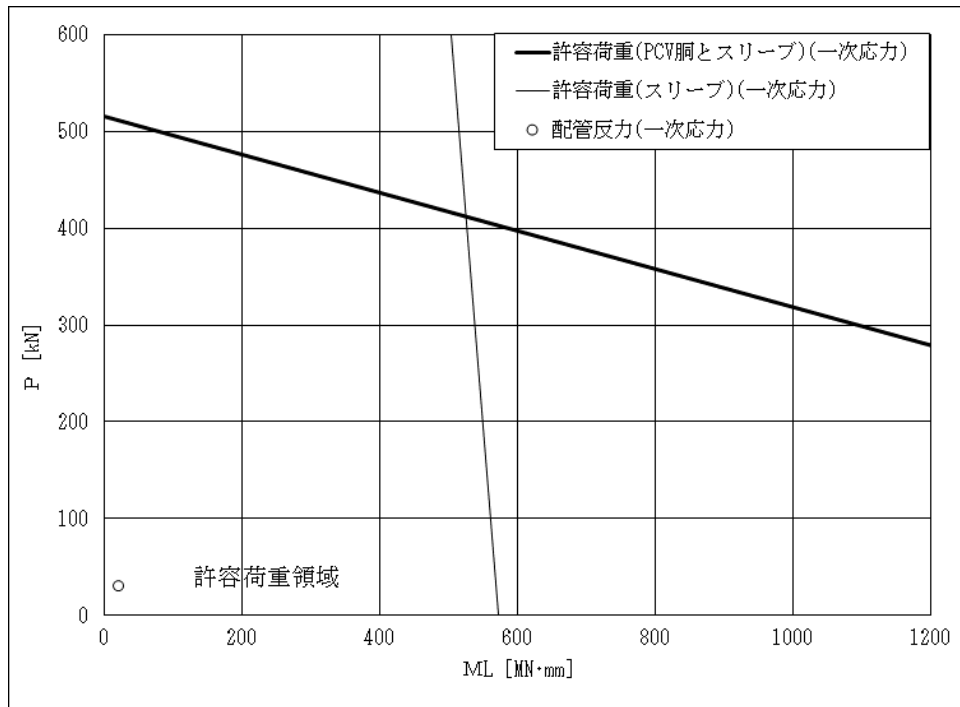


上図：一次応力に対する許容荷重領域

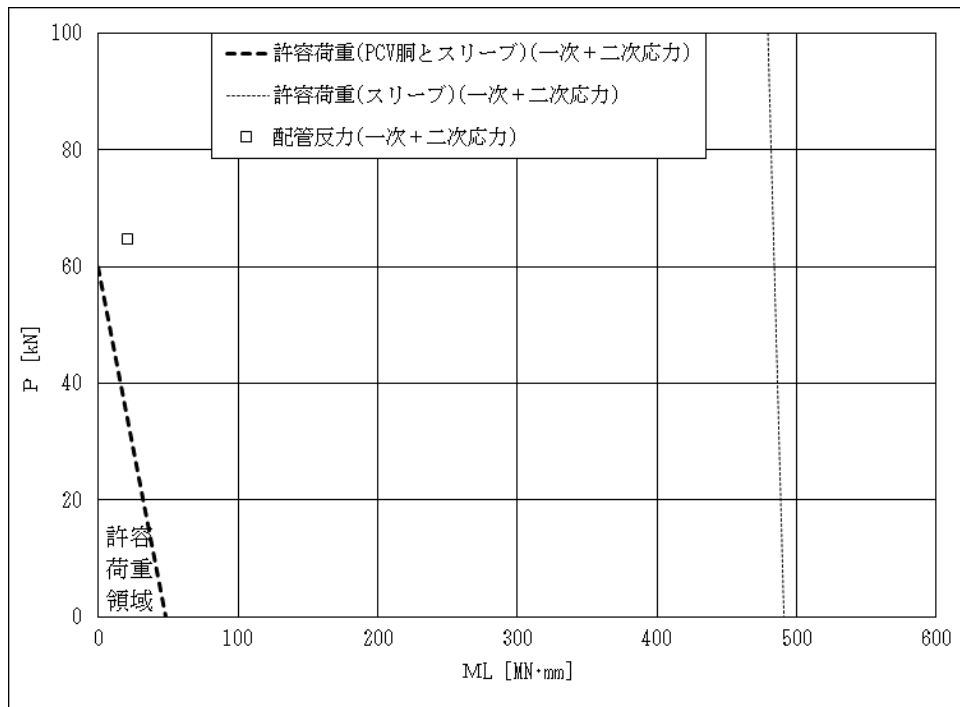


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

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

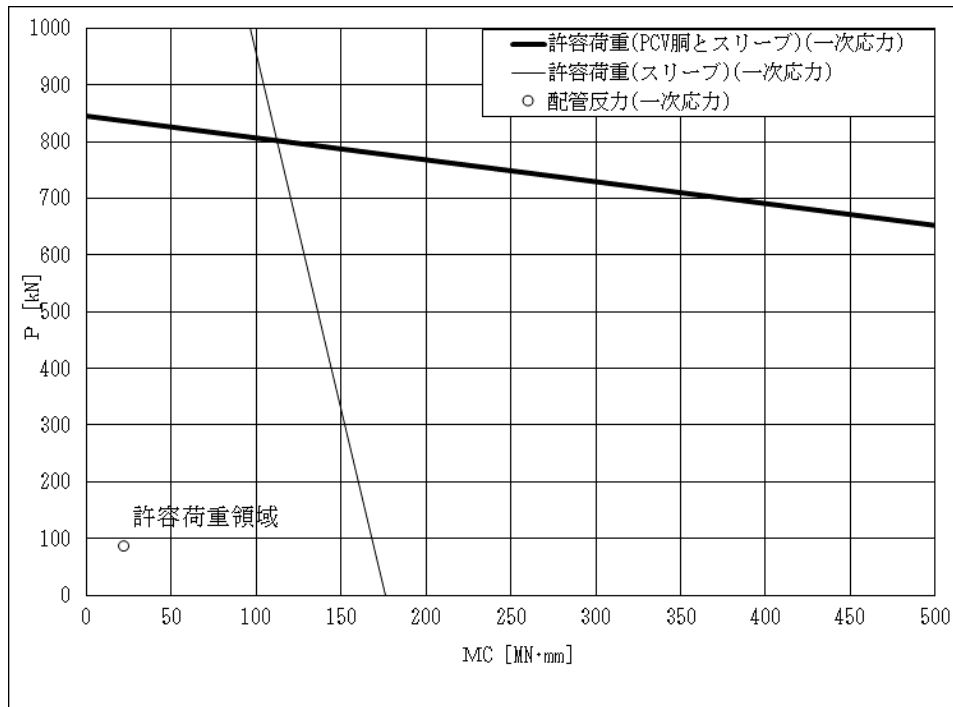


上図：一次応力に対する許容荷重領域

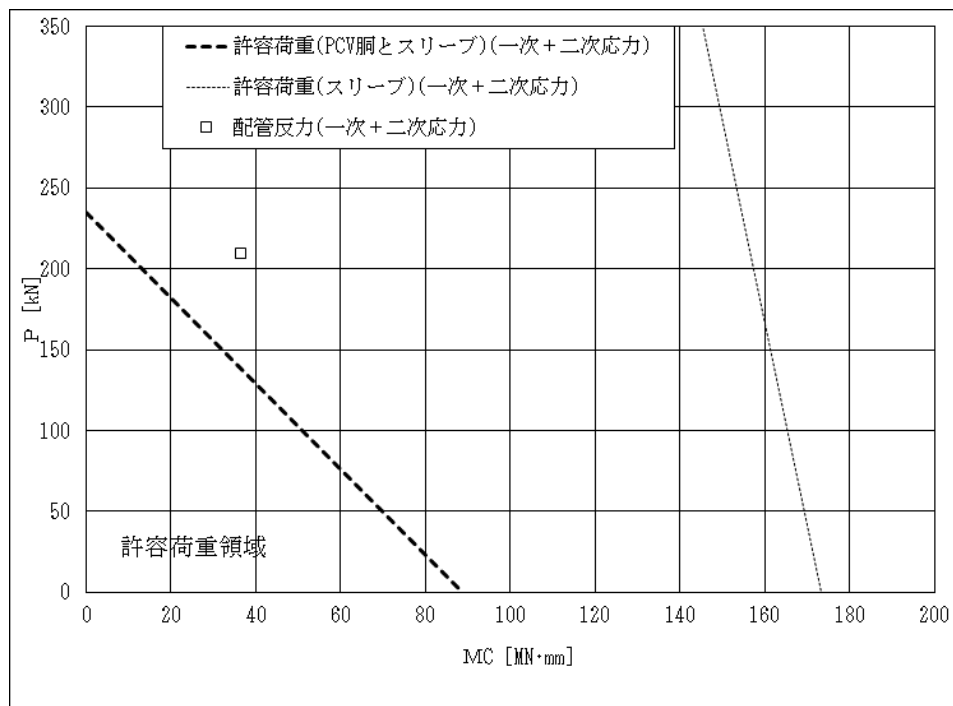


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

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

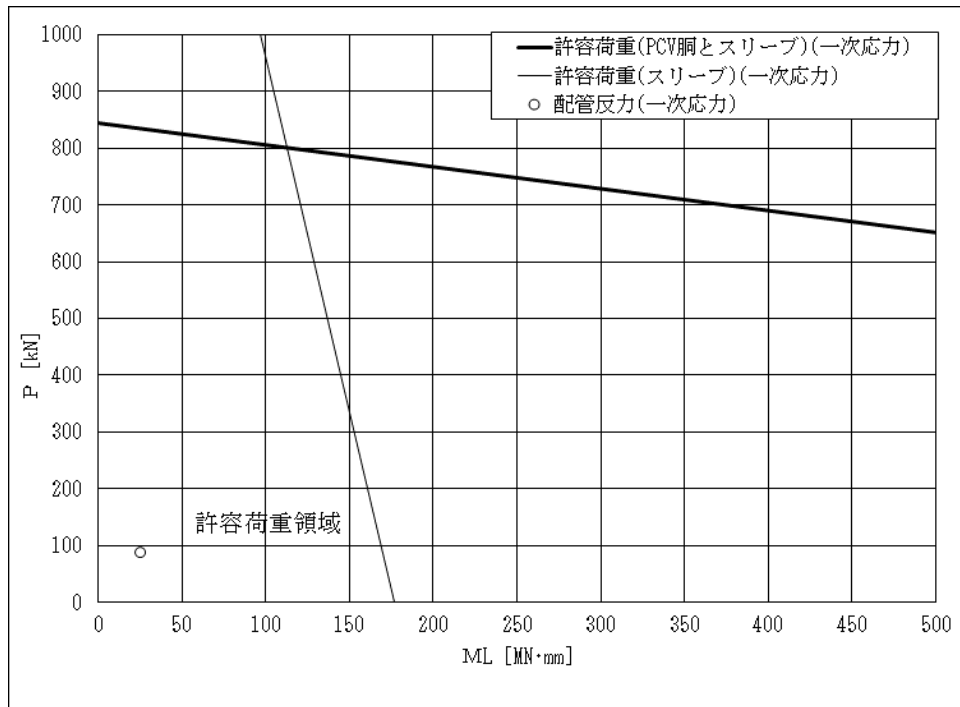


上図：一次応力に対する許容荷重領域

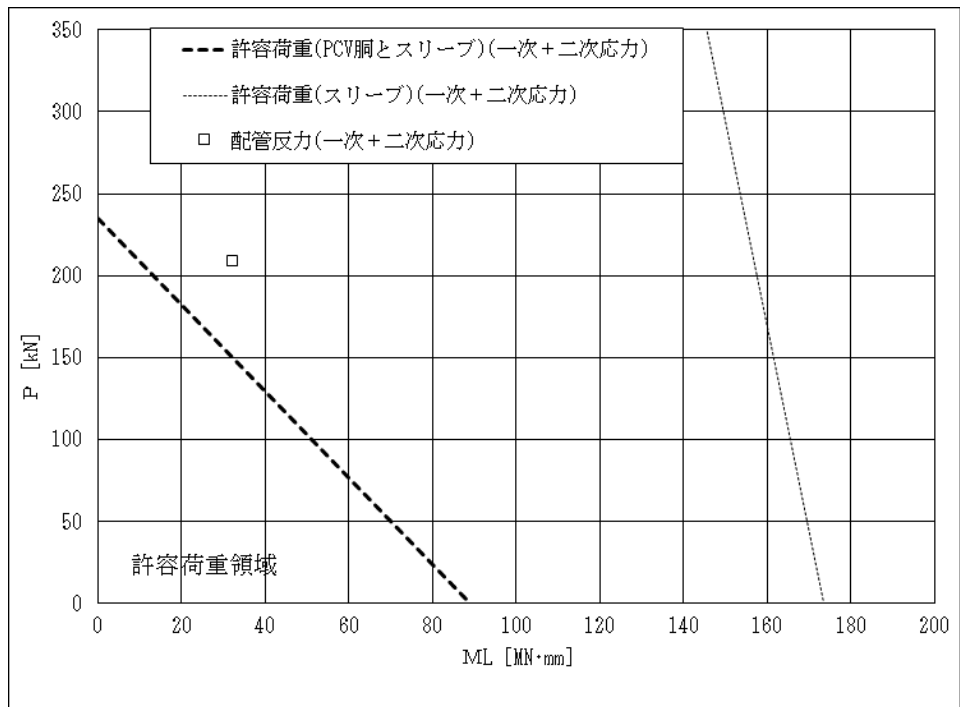


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図3 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 $M_C$ ）

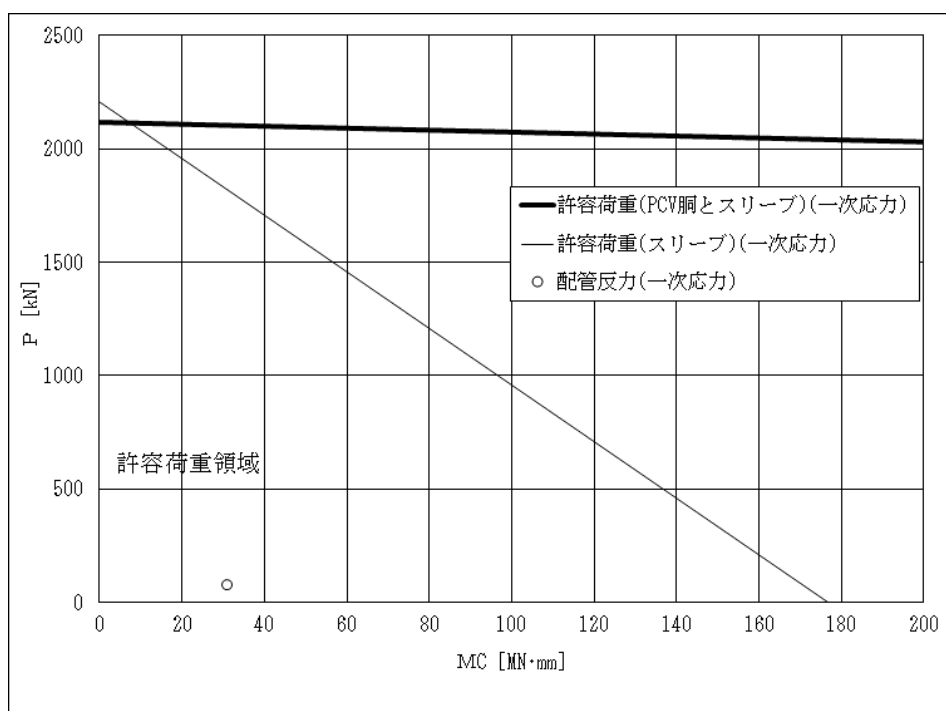


上図：一次応力に対する許容荷重領域

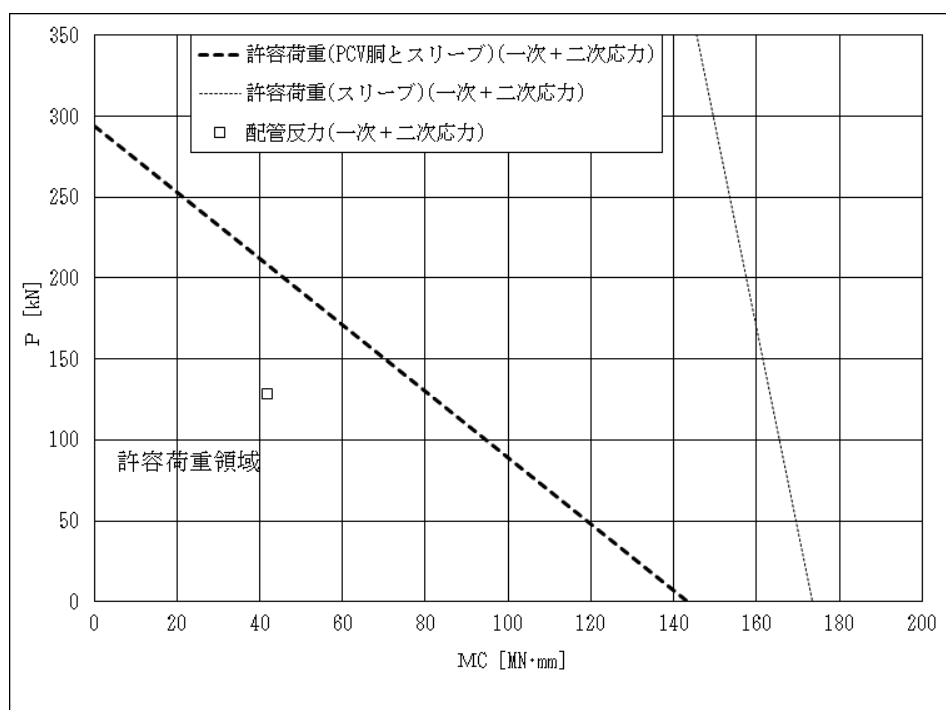


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図3 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 $M_L$ ）

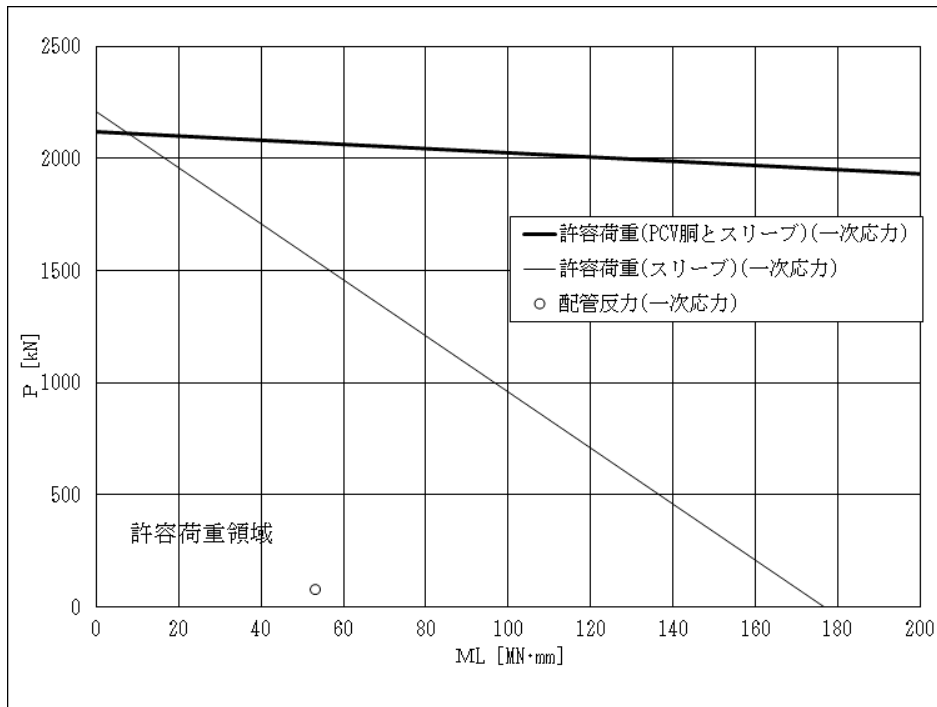


上図：一次応力に対する許容荷重領域

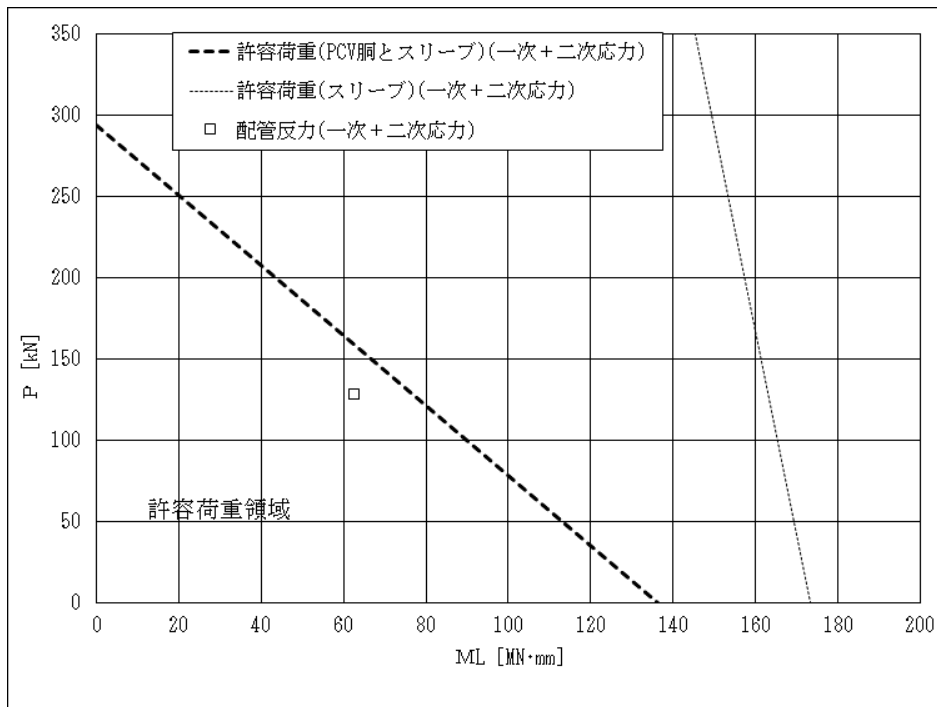


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図4 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 $M_C$ ）

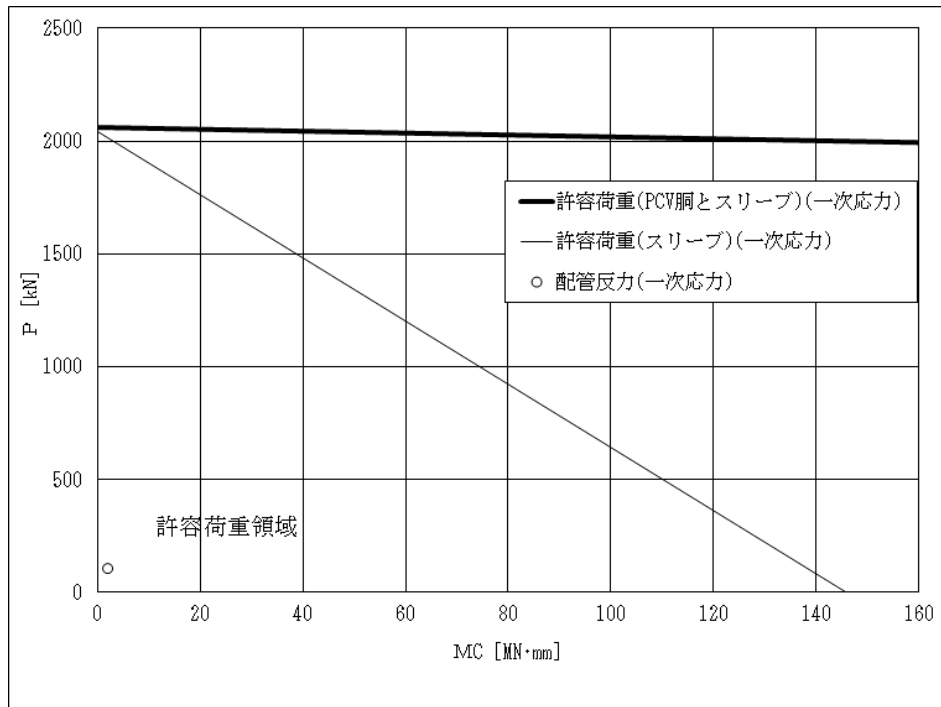


上図：一次応力に対する許容荷重領域

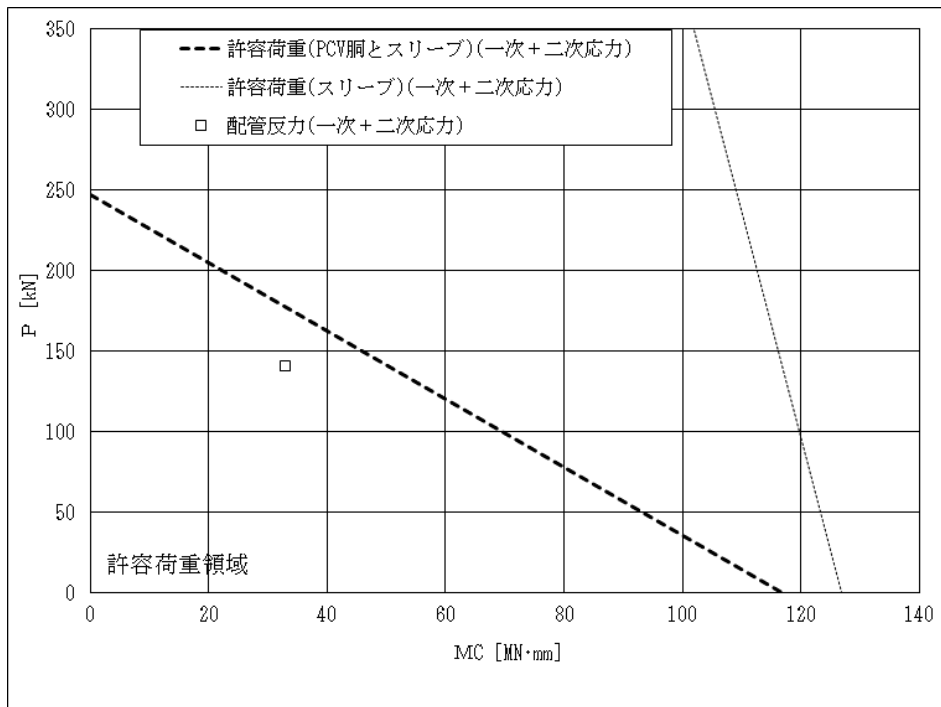


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図4 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 $M_L$ ）



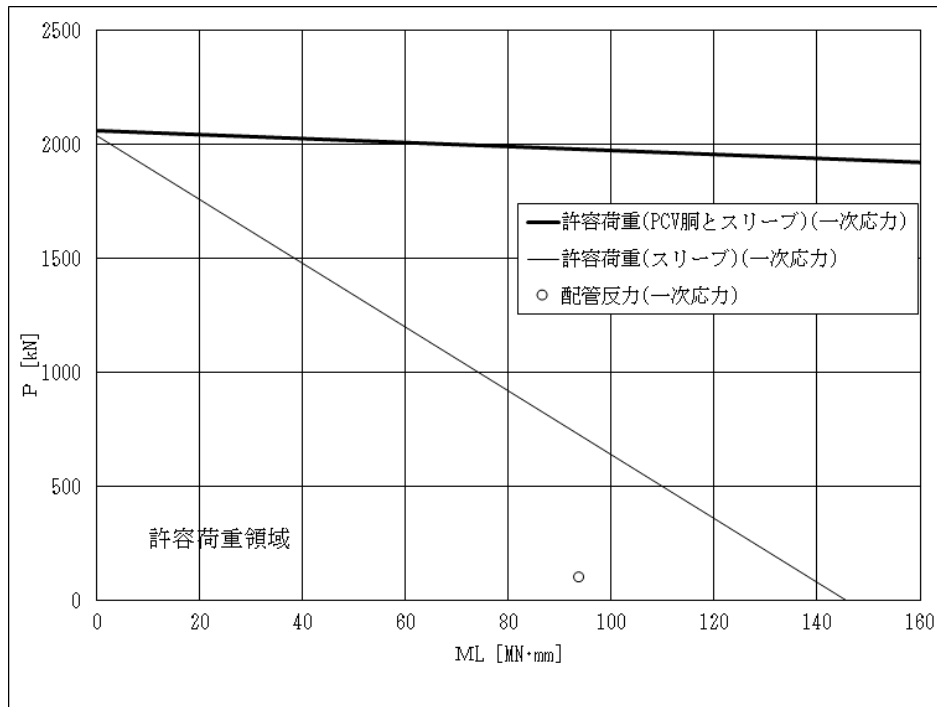
上図：一次応力に対する許容荷重領域



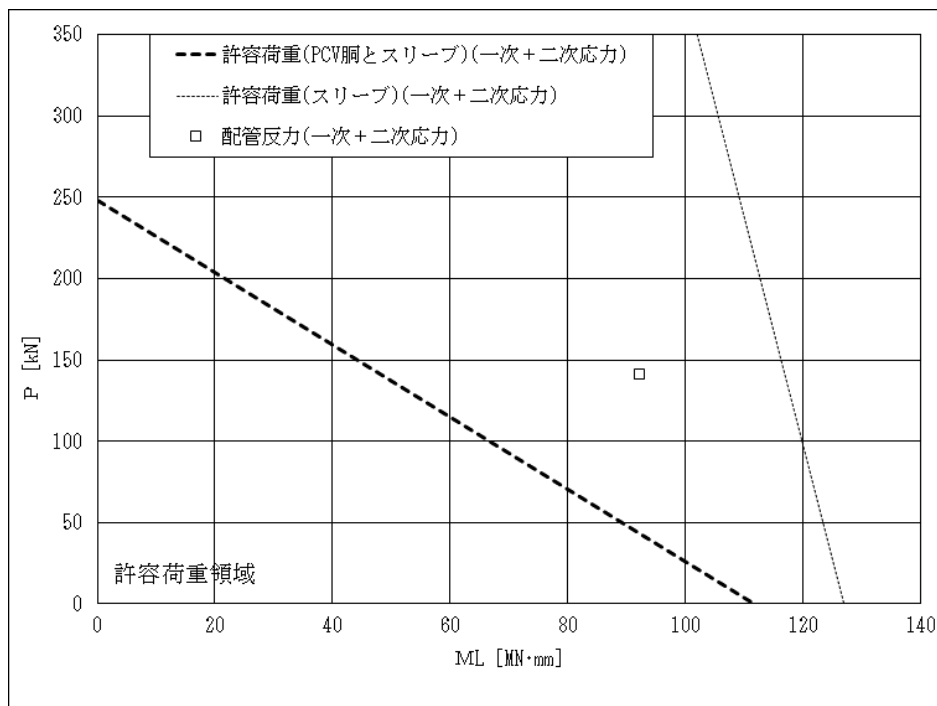
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図5 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 $M_c$ ）



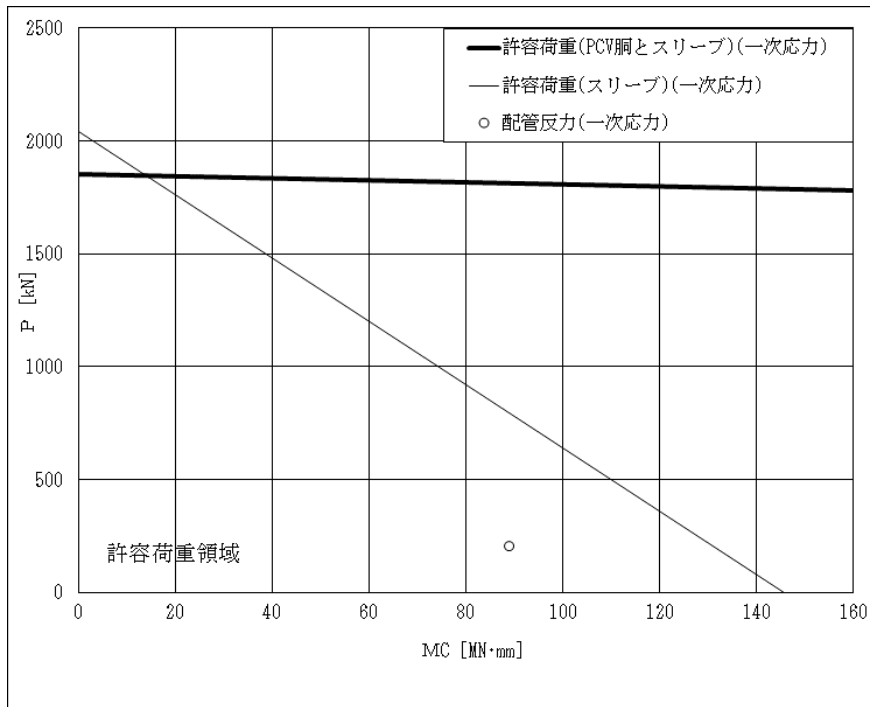


上図：一次応力に対する許容荷重領域

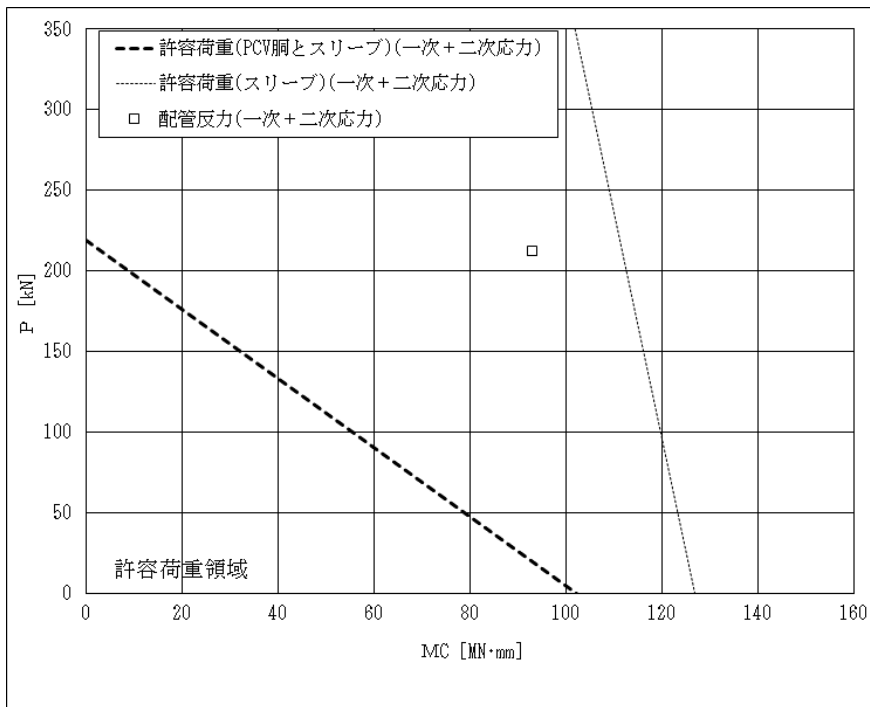


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図5 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  $M_L$ ）

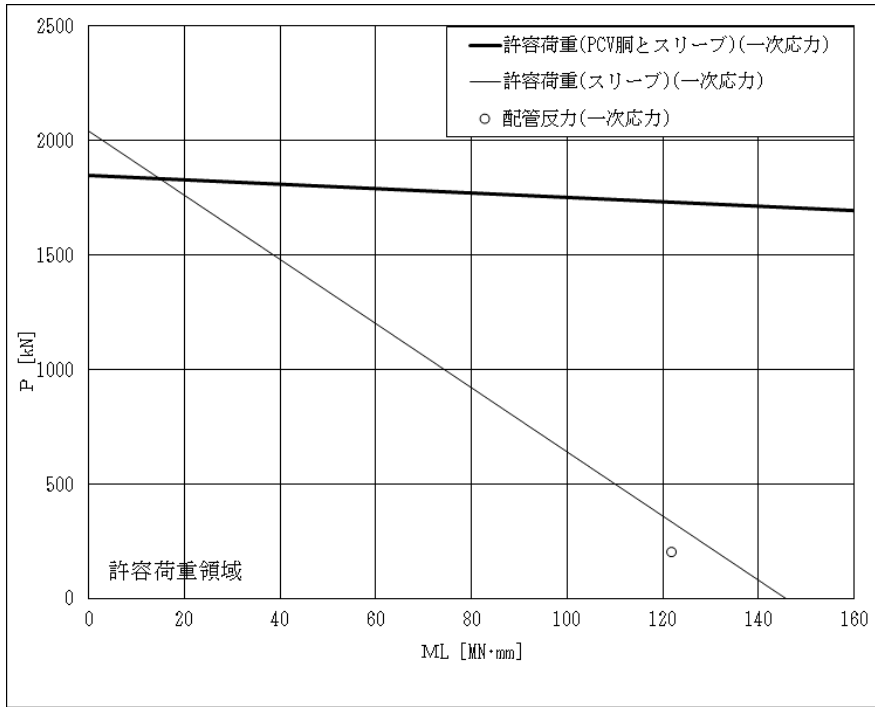


上図：一次応力に対する許容荷重領域

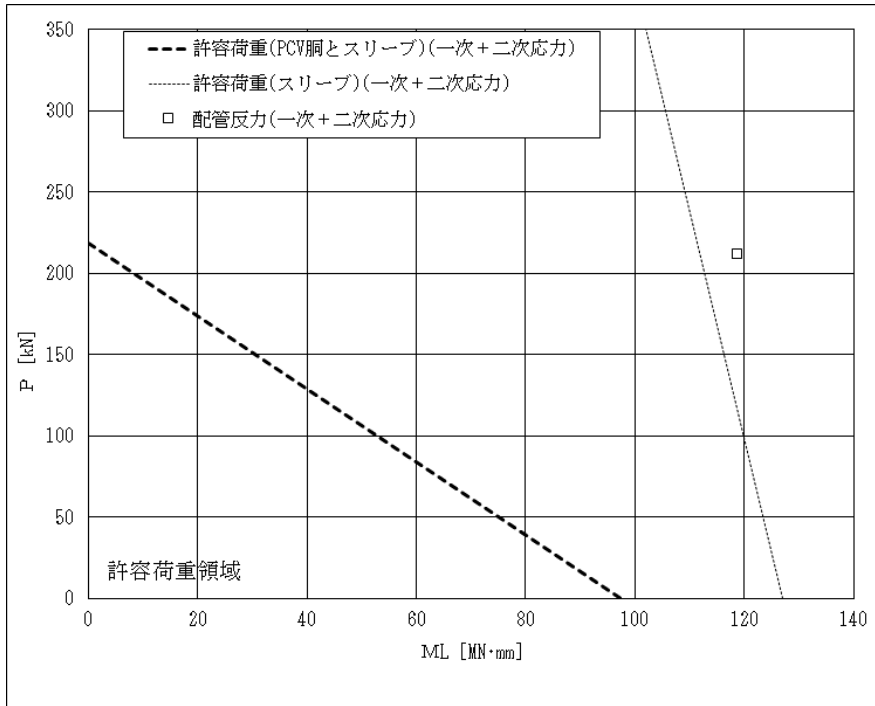


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図6 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 $M_C$ )

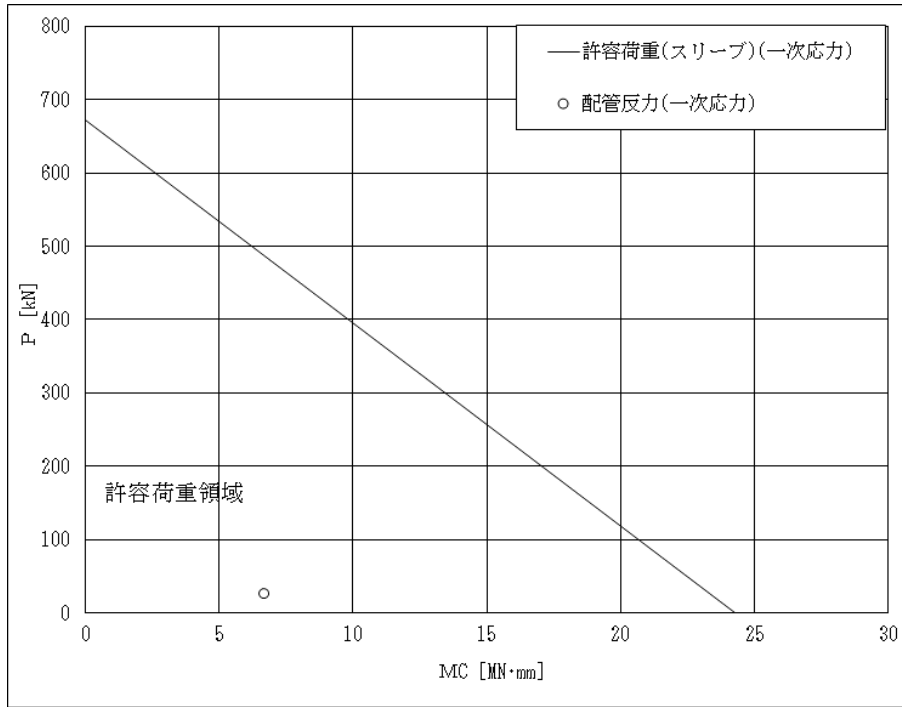


上図：一次応力に対する許容荷重領域

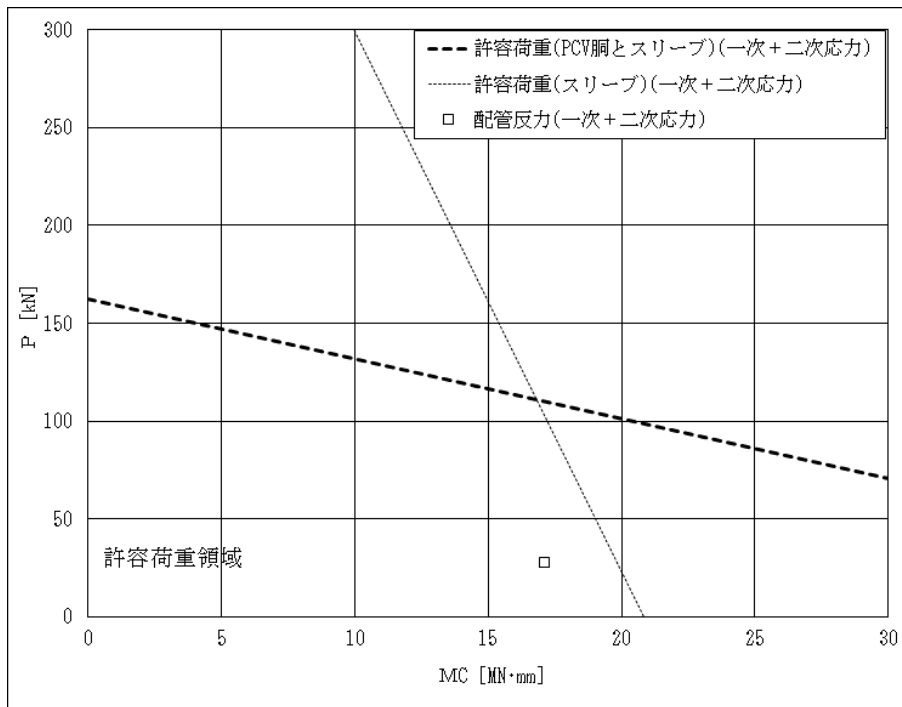


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図6 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-62）（その2：縦軸P－横軸 $M_L$ ）

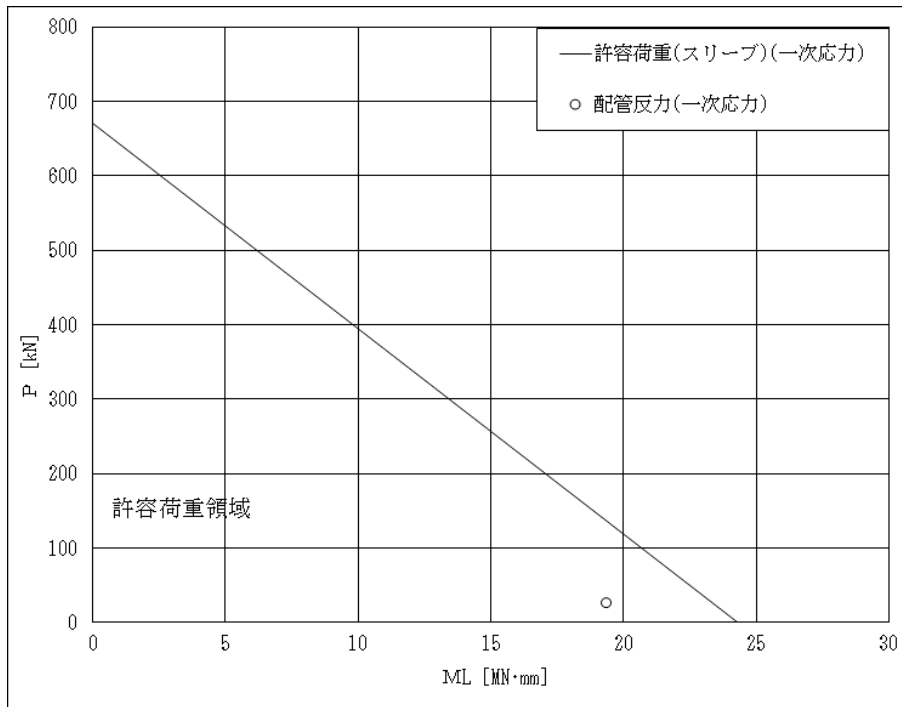


上図：一次応力に対する許容荷重領域

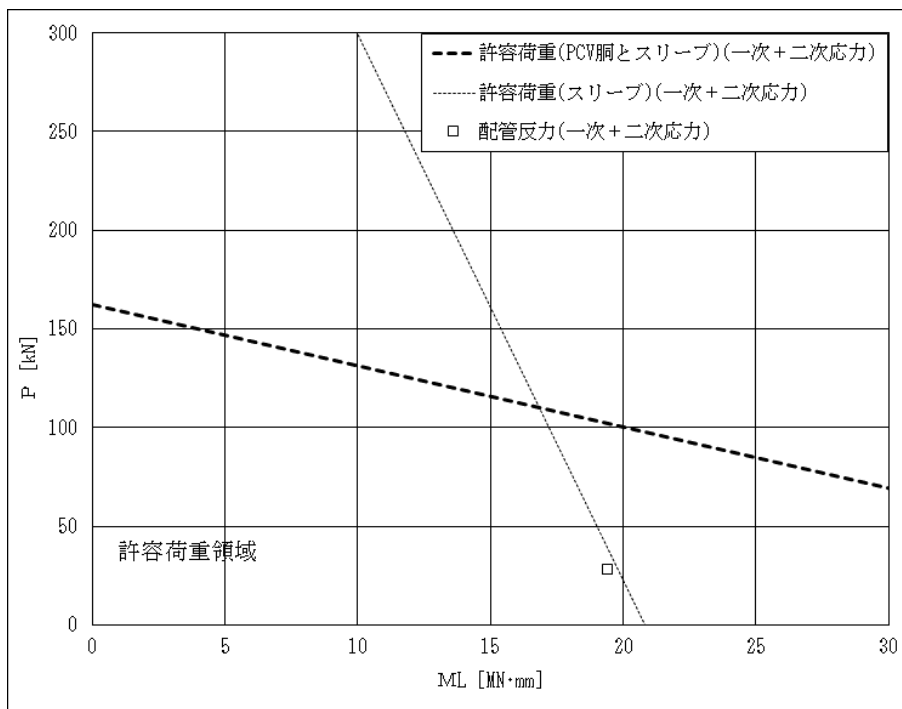


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図7 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）

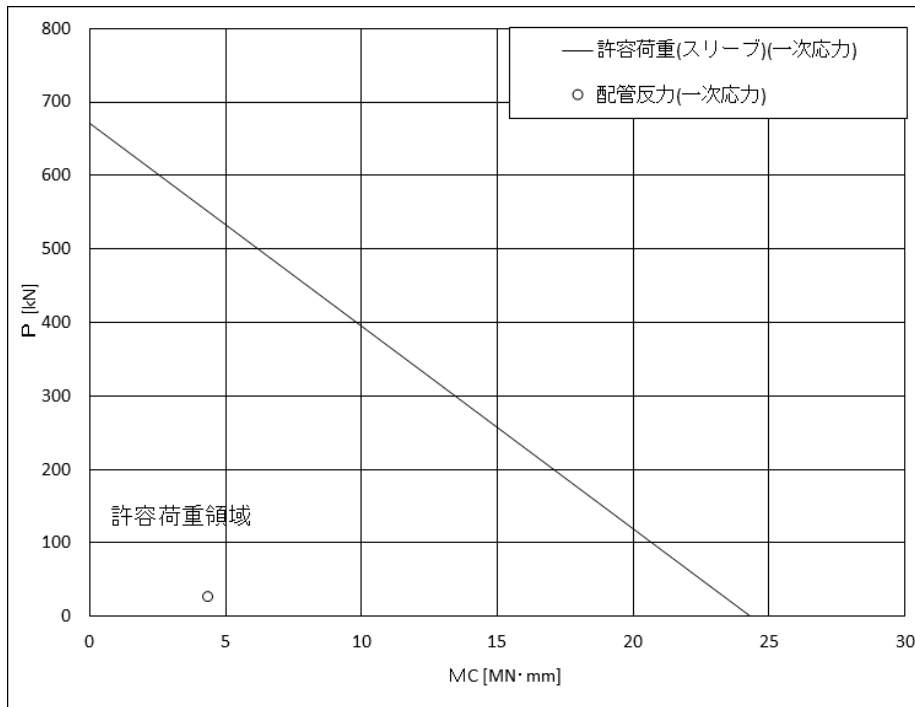


上図：一次応力に対する許容荷重領域

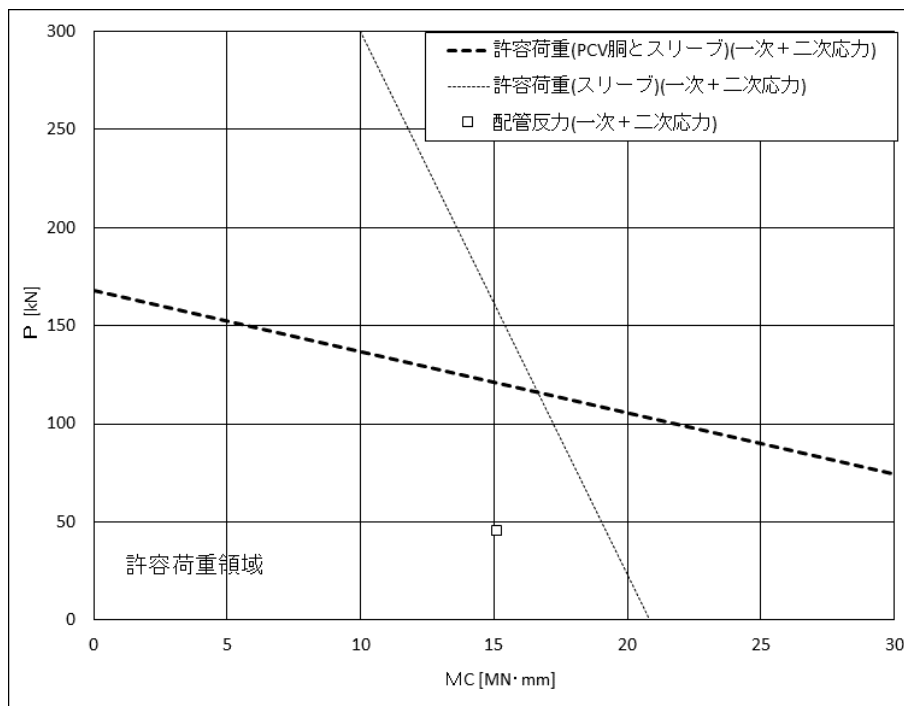


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図7 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-98）（その2：縦軸P－横軸 $M_L$ ）

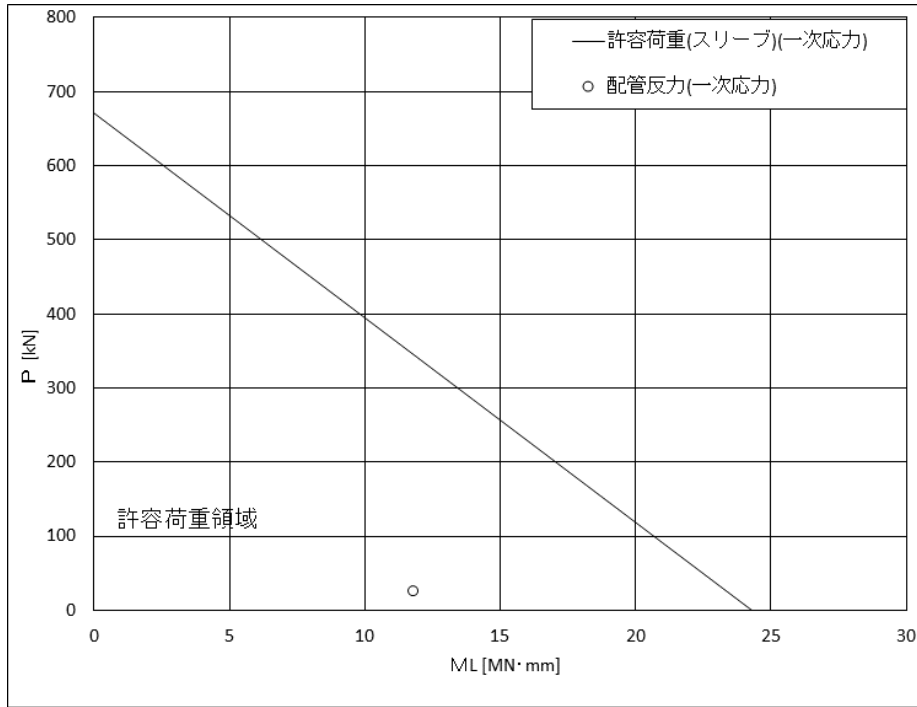


上図：一次応力に対する許容荷重領域

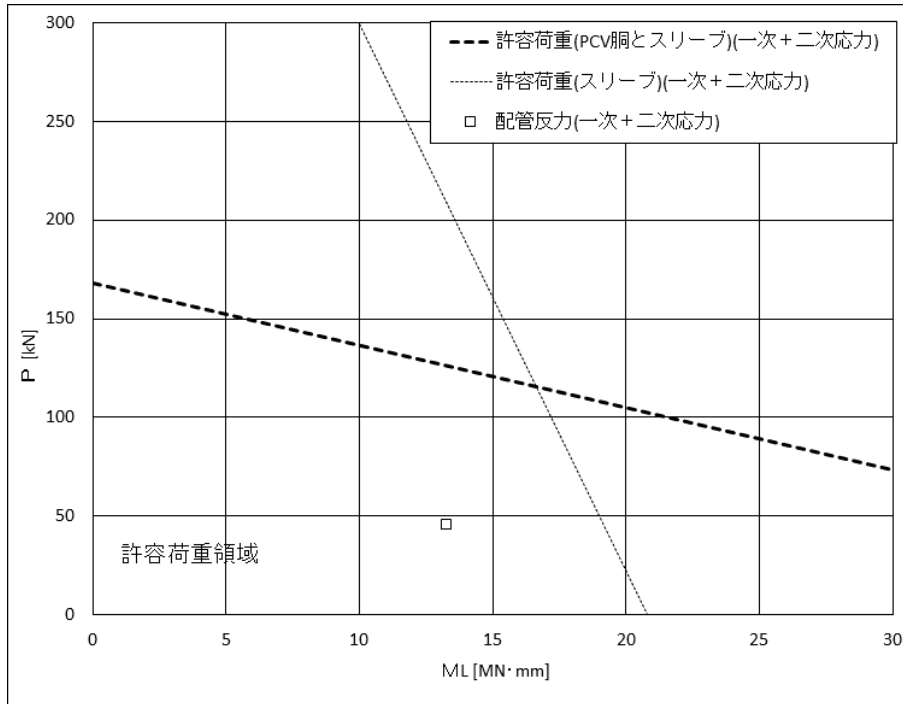


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図8 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 $MC$ ）

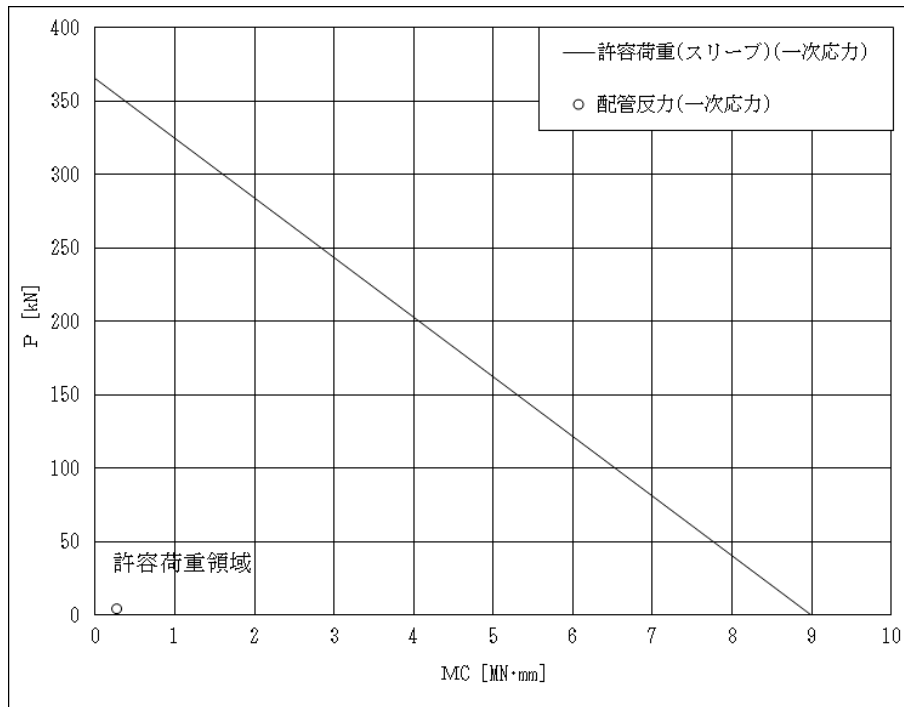


上図：一次応力に対する許容荷重領域

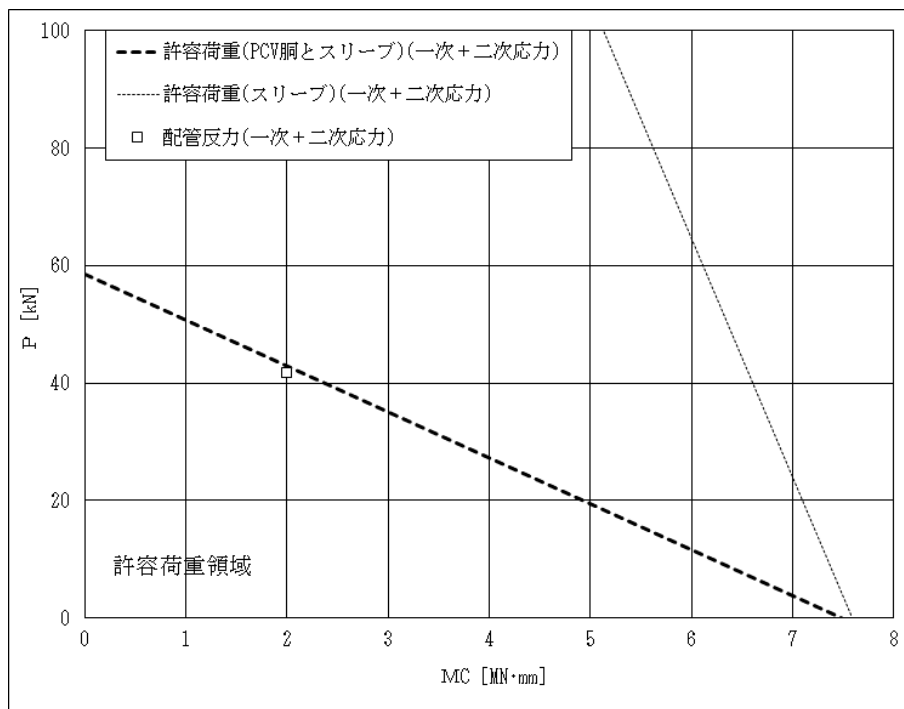


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図8 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 $M_L$ ）



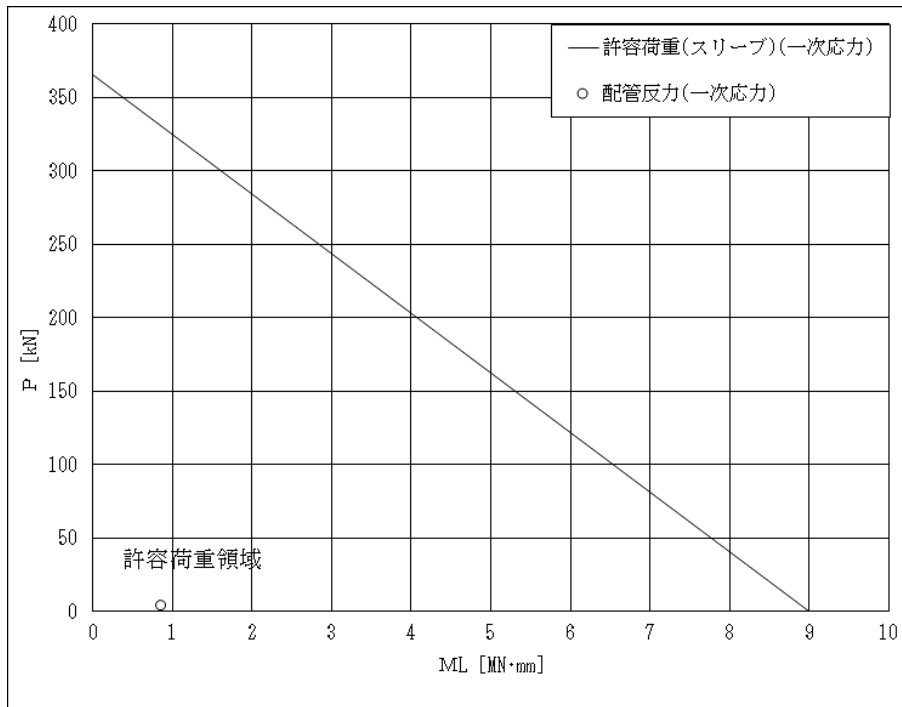
上図：一次応力に対する許容荷重領域



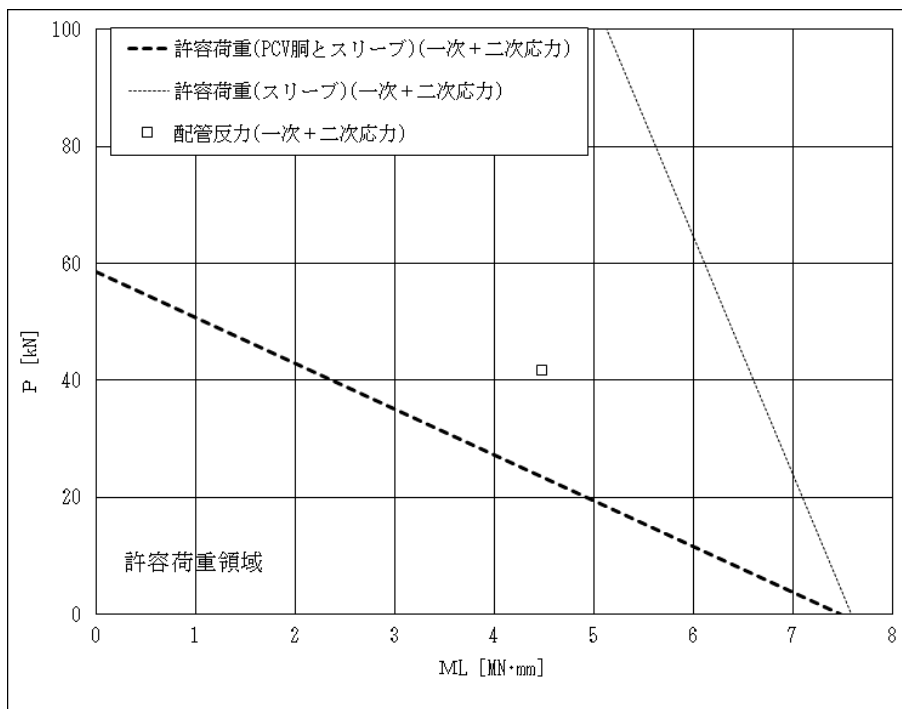
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図9 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 $M_C$ ）



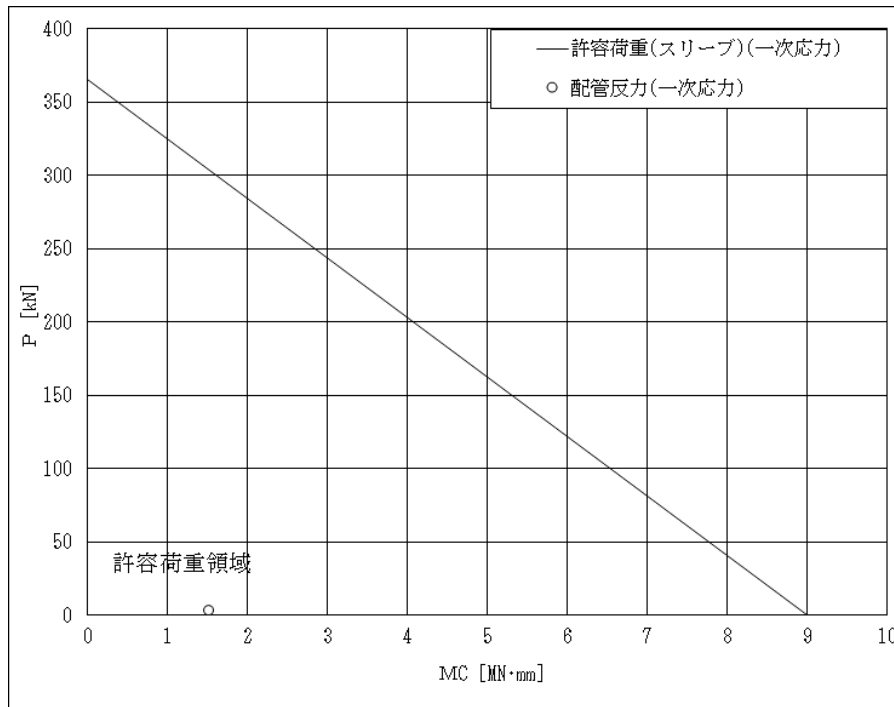


上図：一次応力に対する許容荷重領域

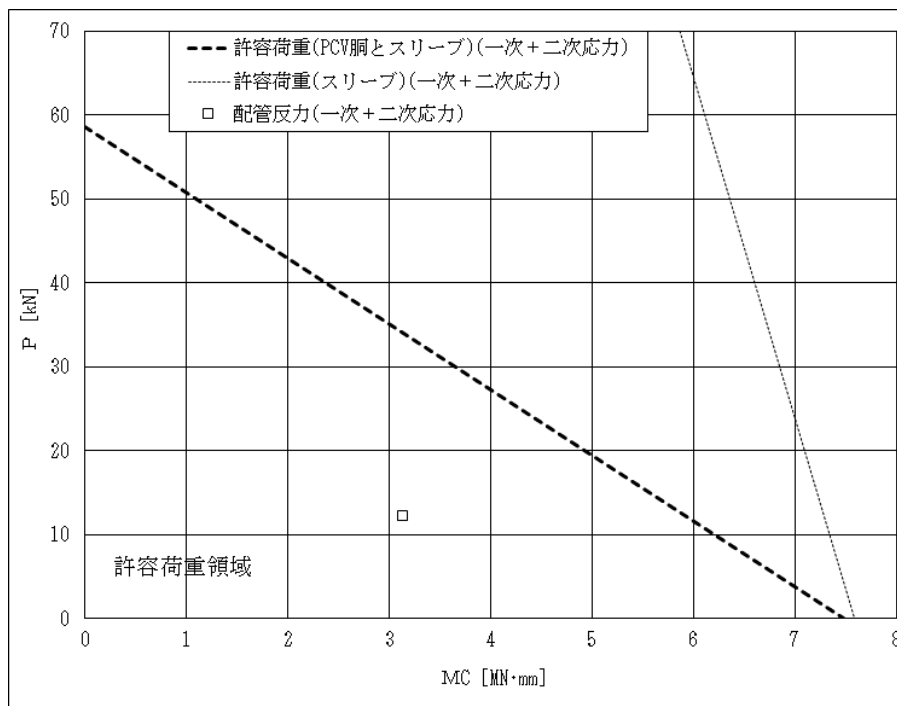


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図9 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 $M_L$ ）

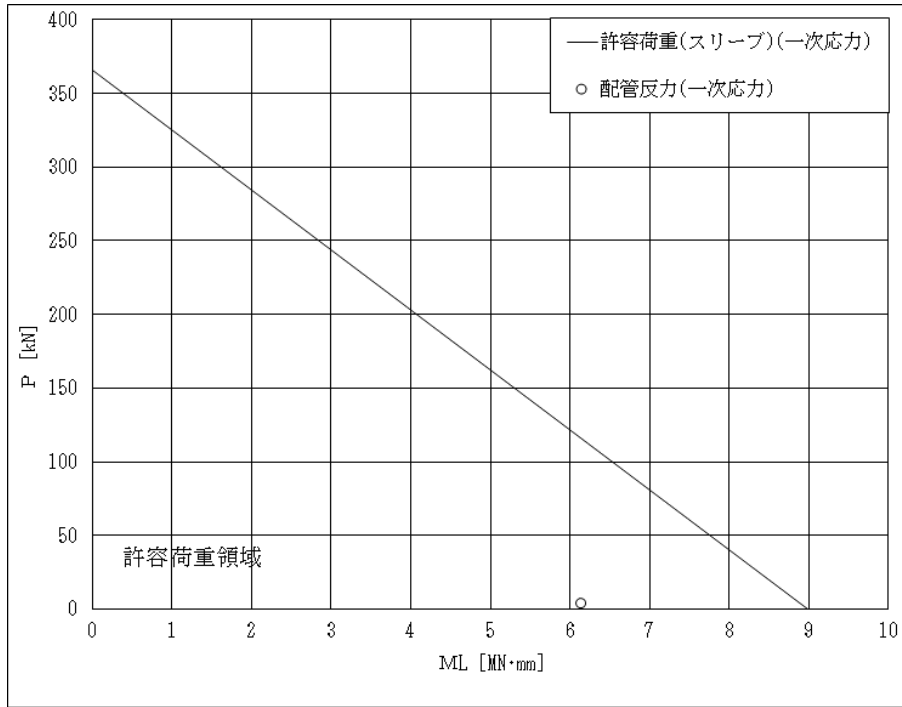


上図：一次応力に対する許容荷重領域

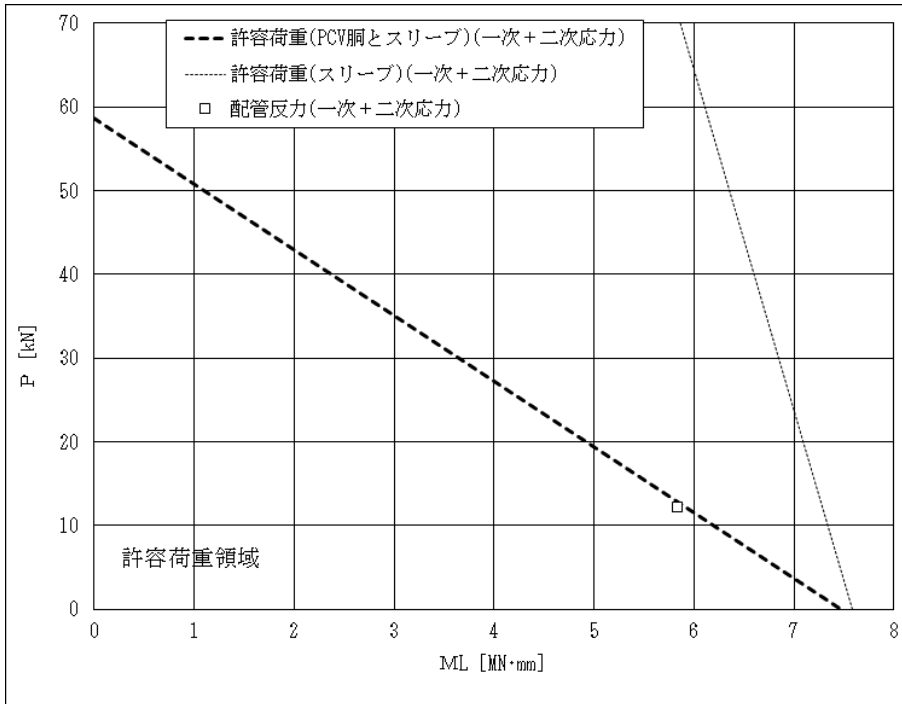


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 10 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  $M_C$ )

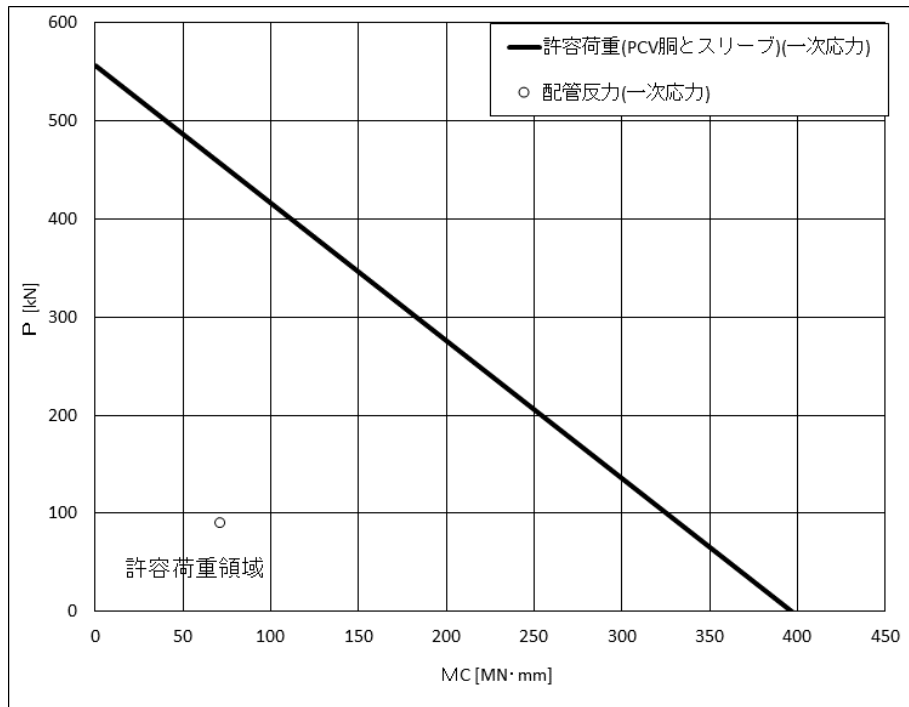


上図：一次応力に対する許容荷重領域

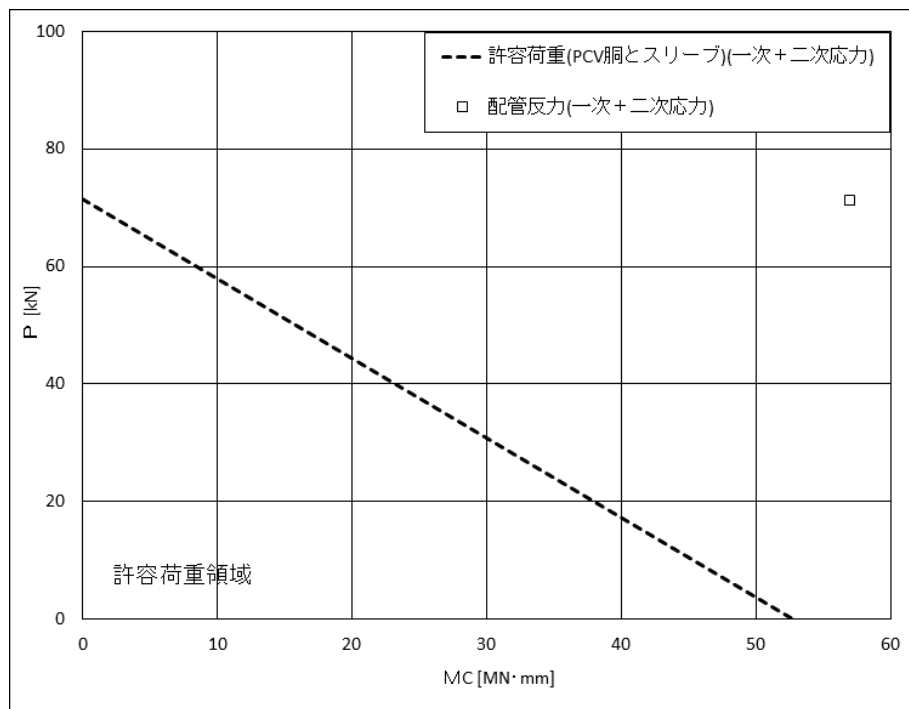


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 10 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-82B）（その 2：縦軸  $P$  - 横軸  $M_L$ ）

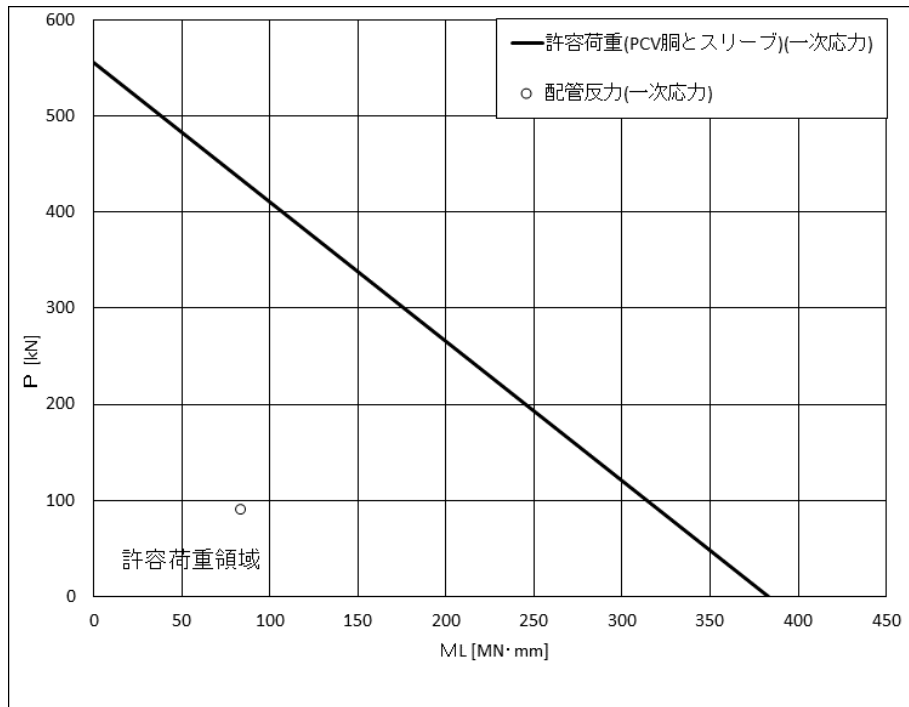


上図：一次応力に対する許容荷重領域

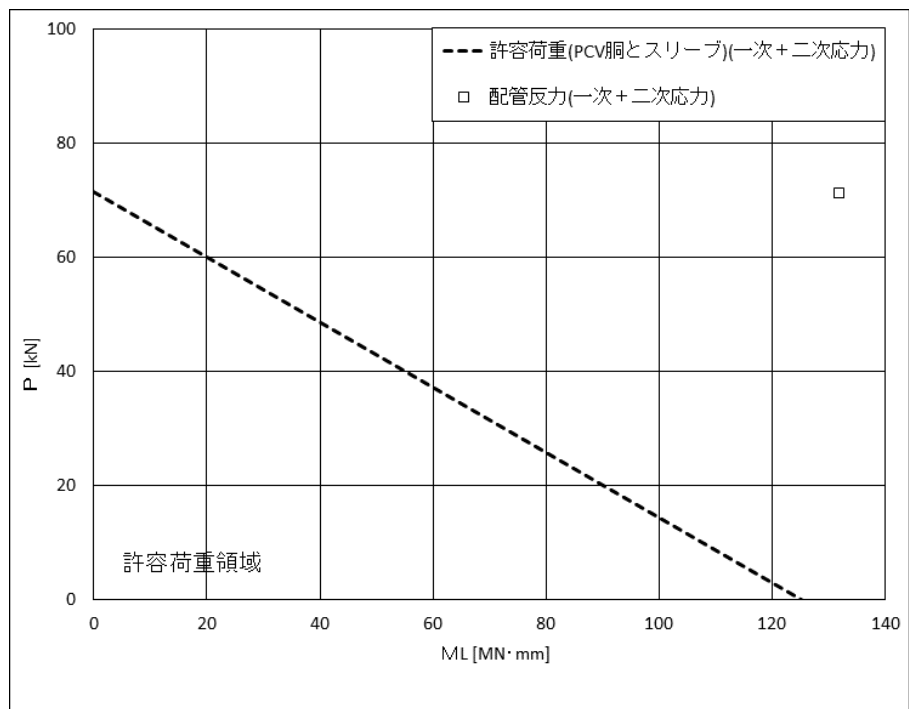


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 11 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  $M_C$ ）

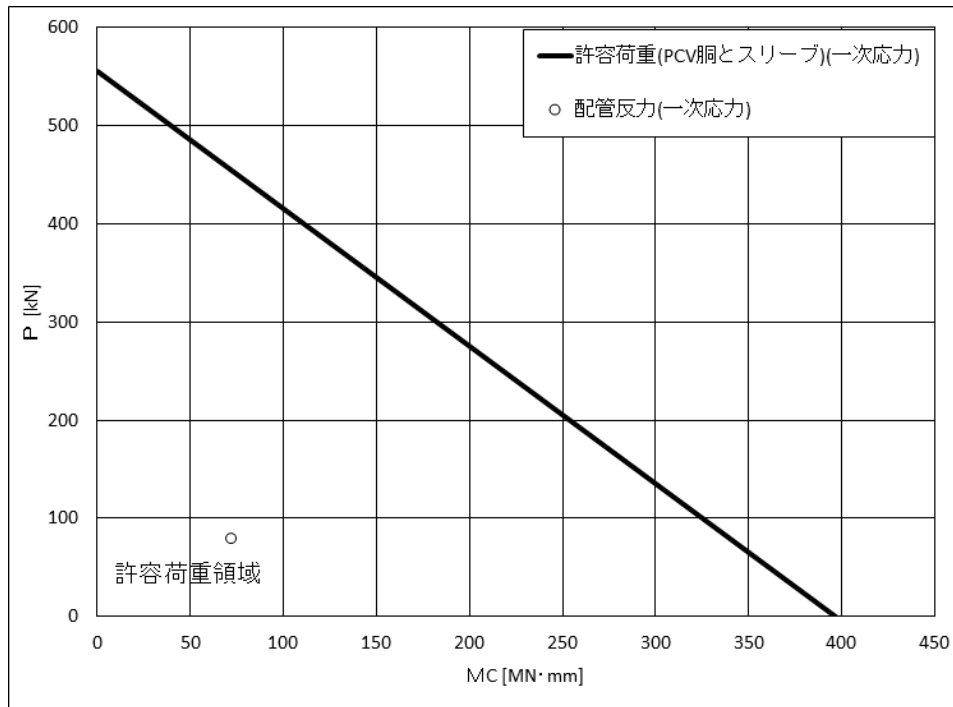


上図：一次応力に対する許容荷重領域

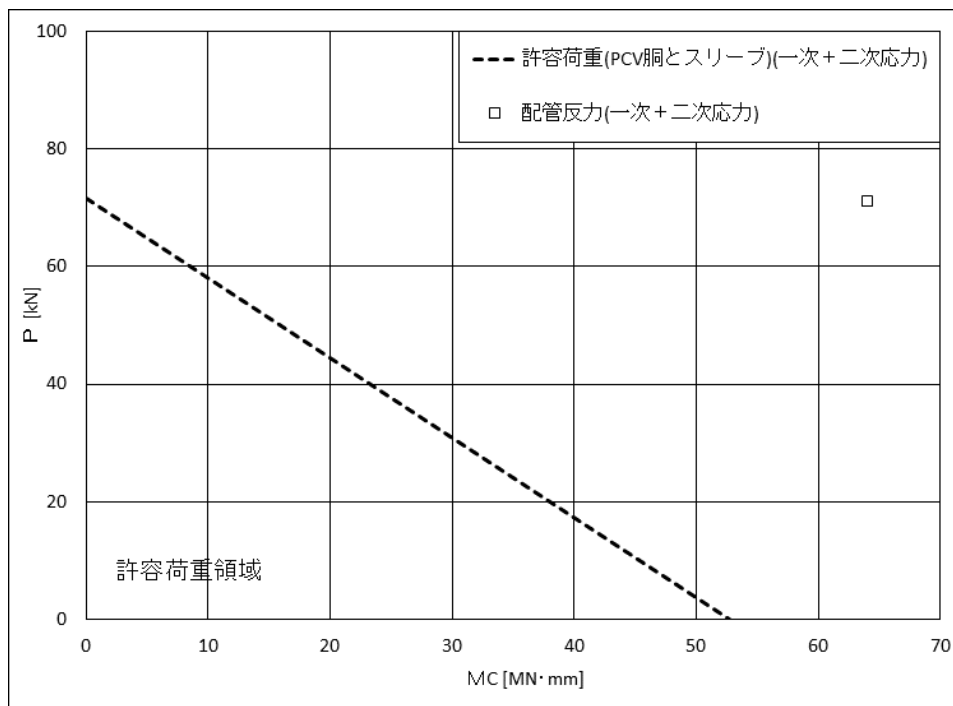


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 11 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  $M_L$ ）

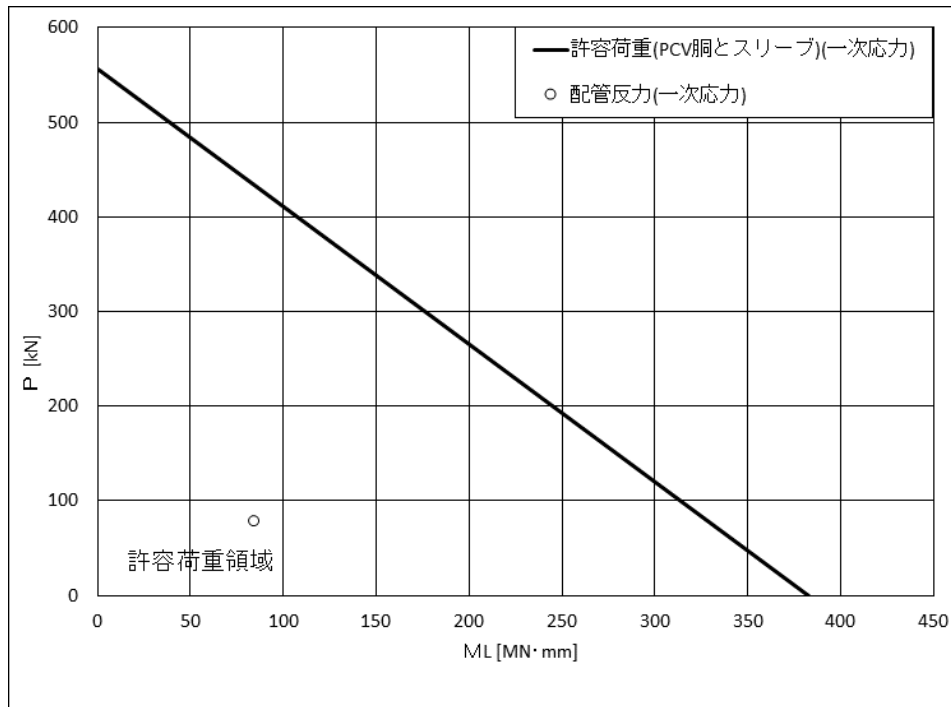


上図：一次応力に対する許容荷重領域

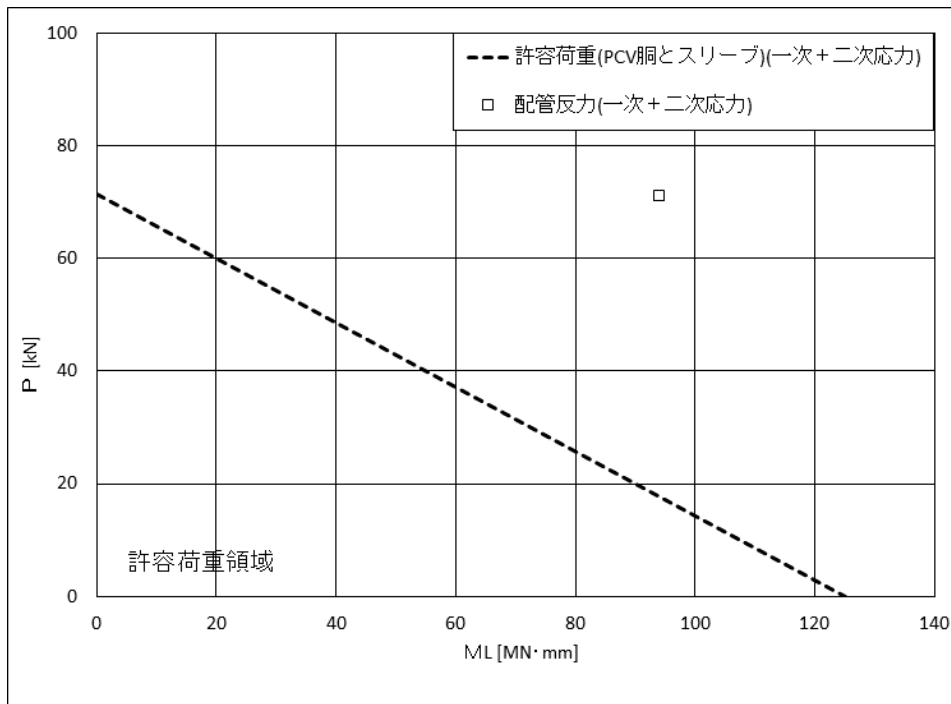


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 12 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  $M_C$ ）

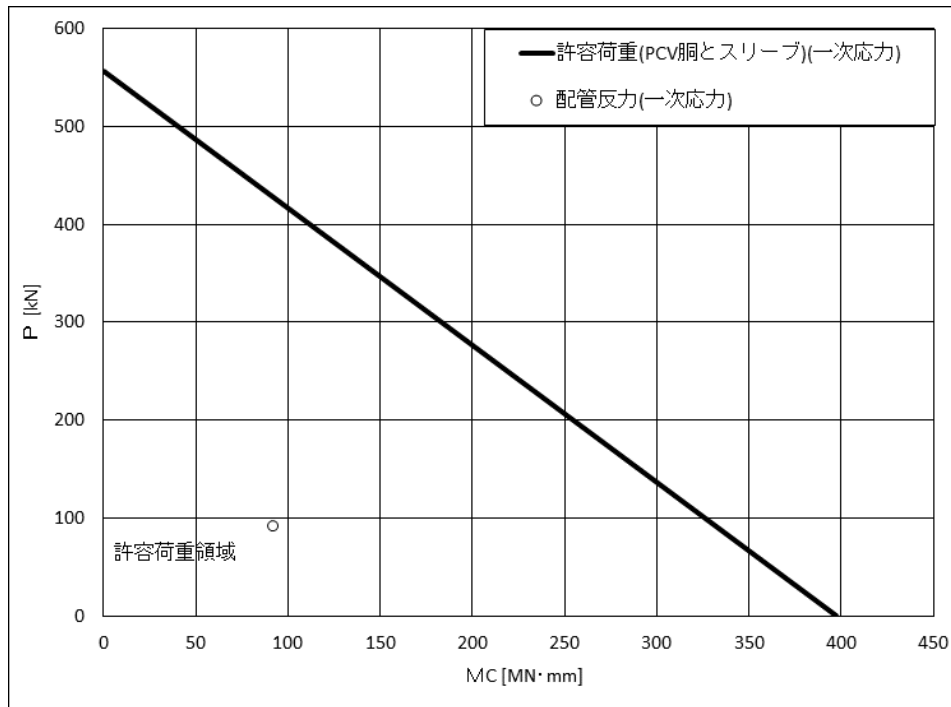


上図：一次応力に対する許容荷重領域

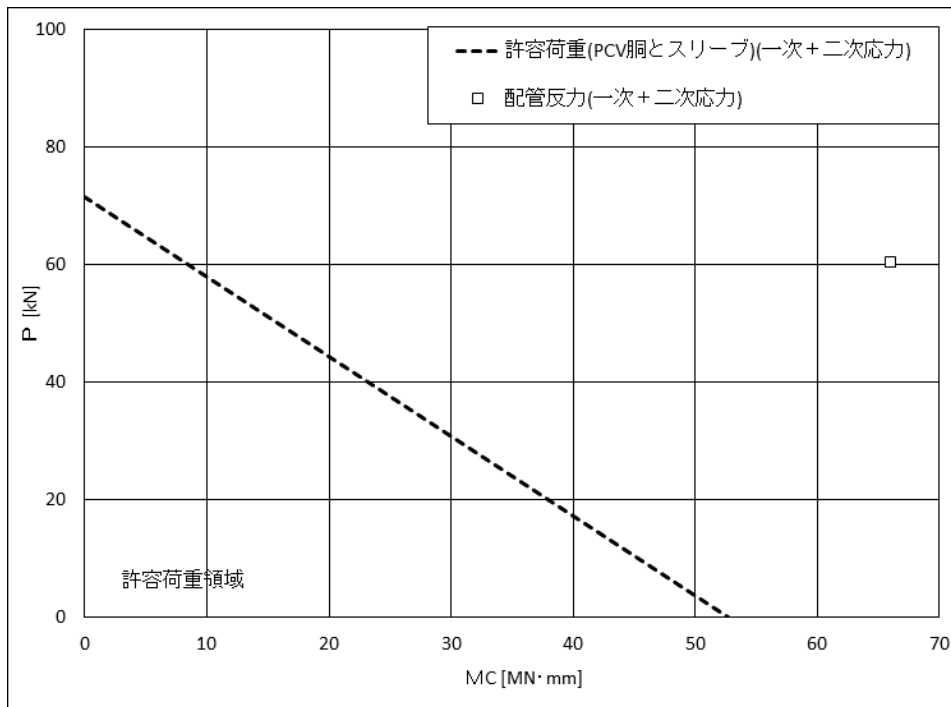


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 12 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  $M_L$ ）



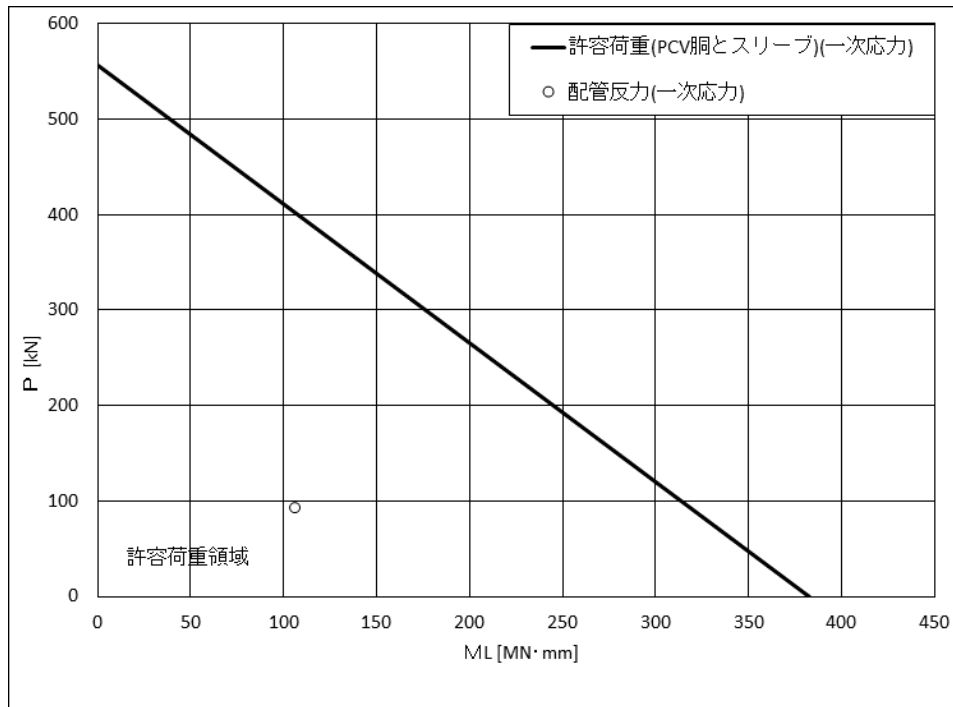
上図：一次応力に対する許容荷重領域



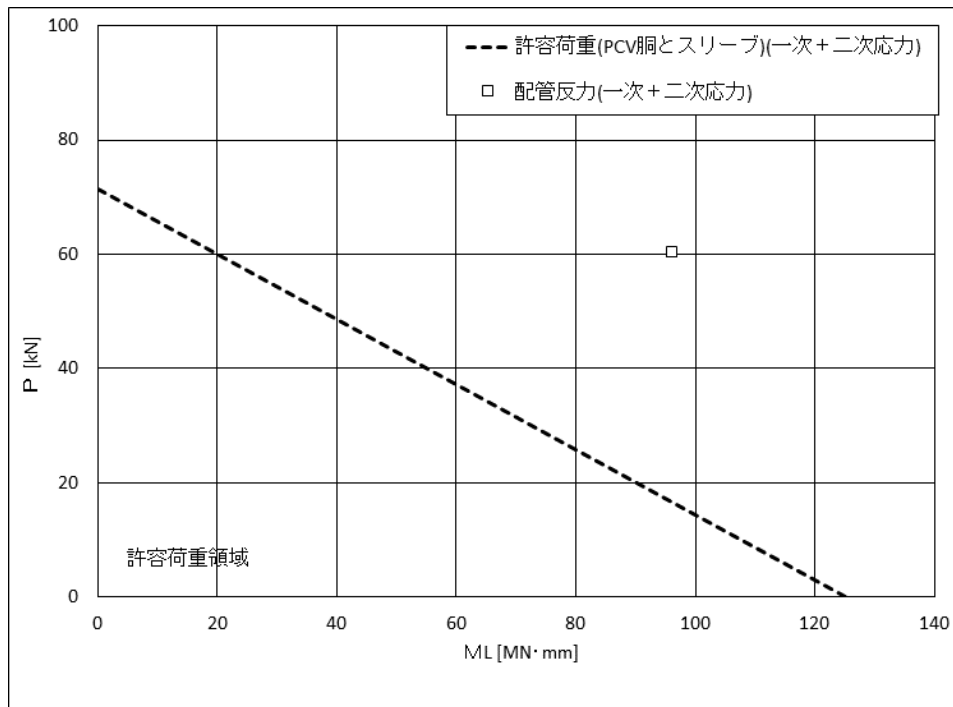
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 13 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  $M_C$ ）



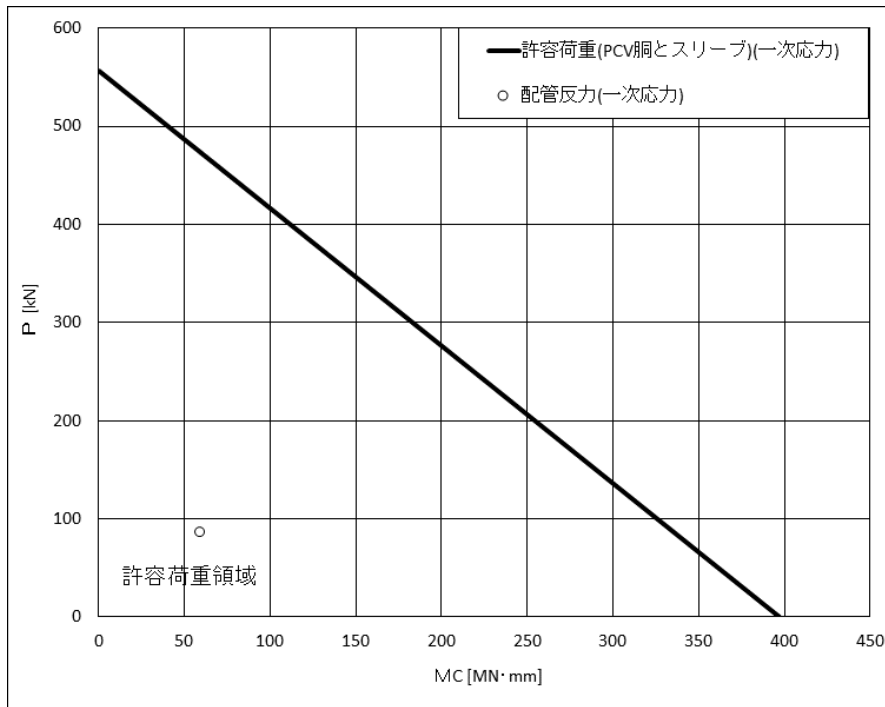


上図：一次応力に対する許容荷重領域

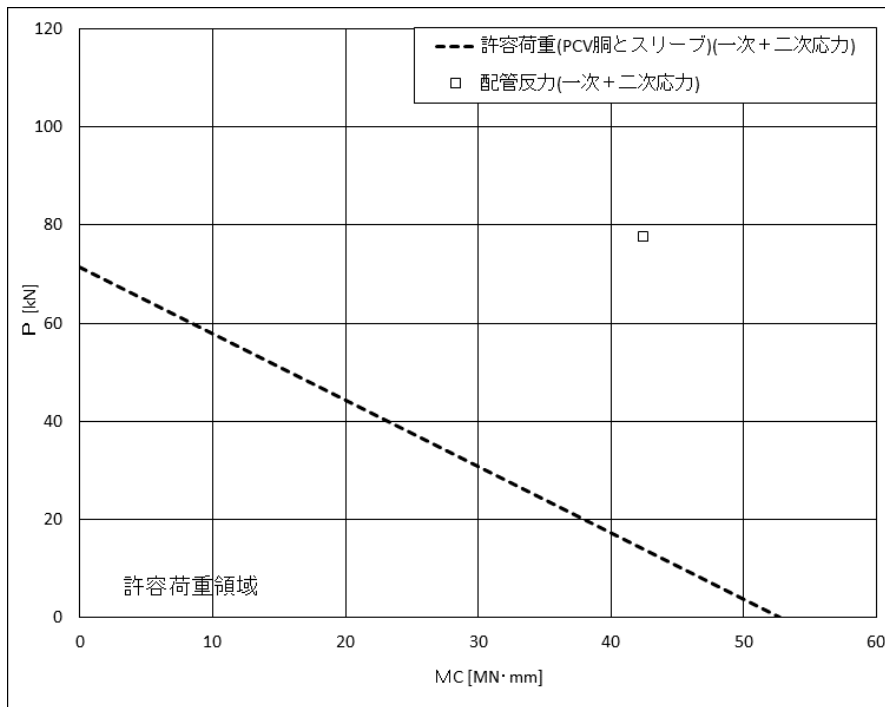


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 13 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  $M_L$ ）

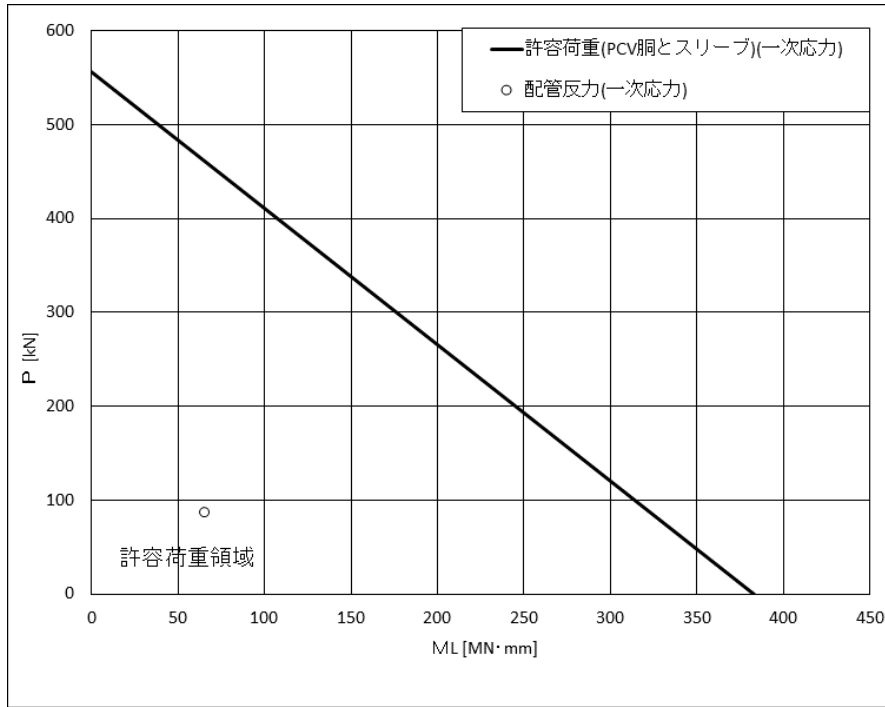


上図：一次応力に対する許容荷重領域

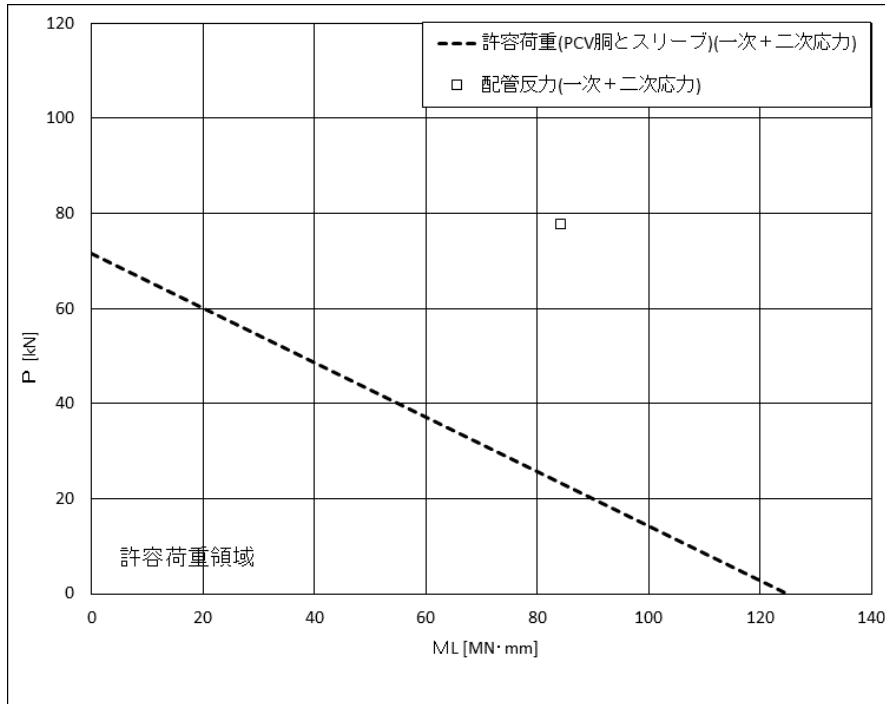


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 14 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  $M_C$ ）

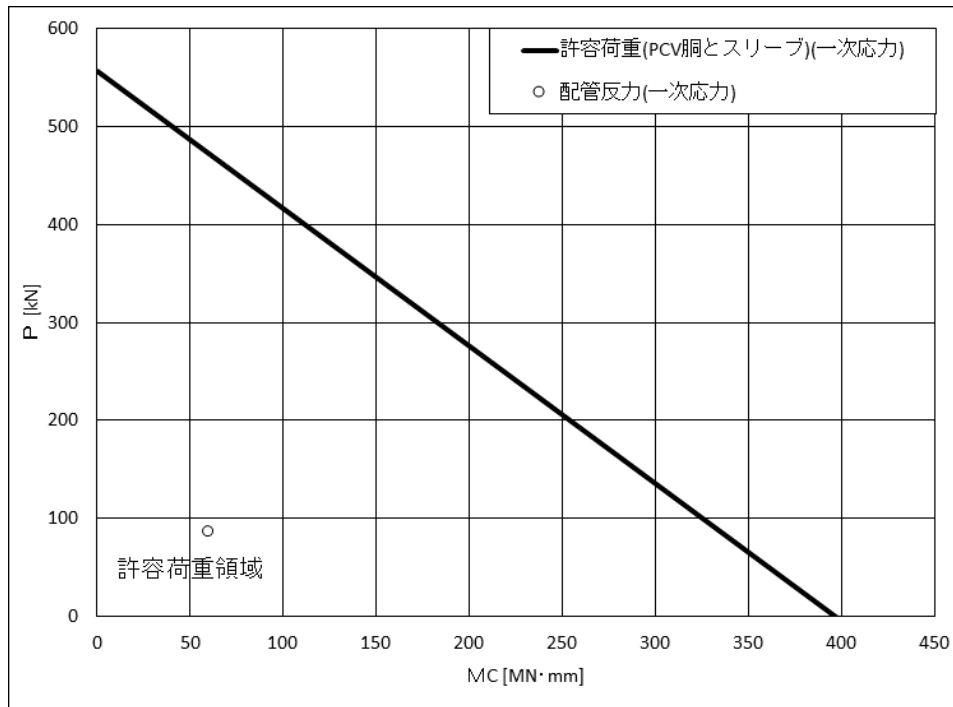


上図：一次応力に対する許容荷重領域

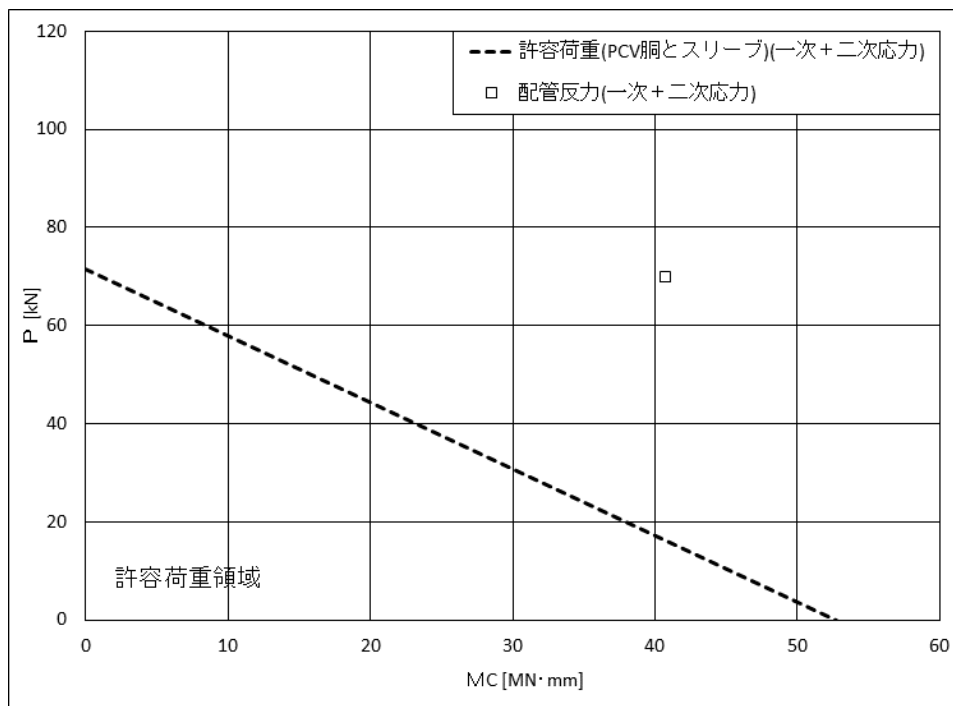


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 14 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  $M_L$ ）

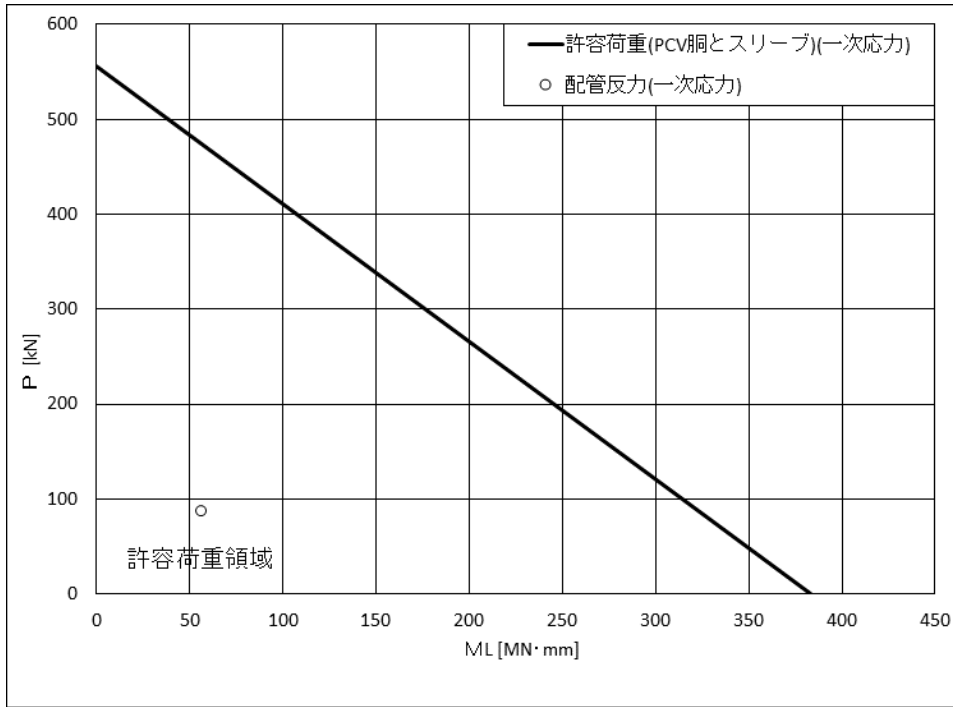


上図：一次応力に対する許容荷重領域

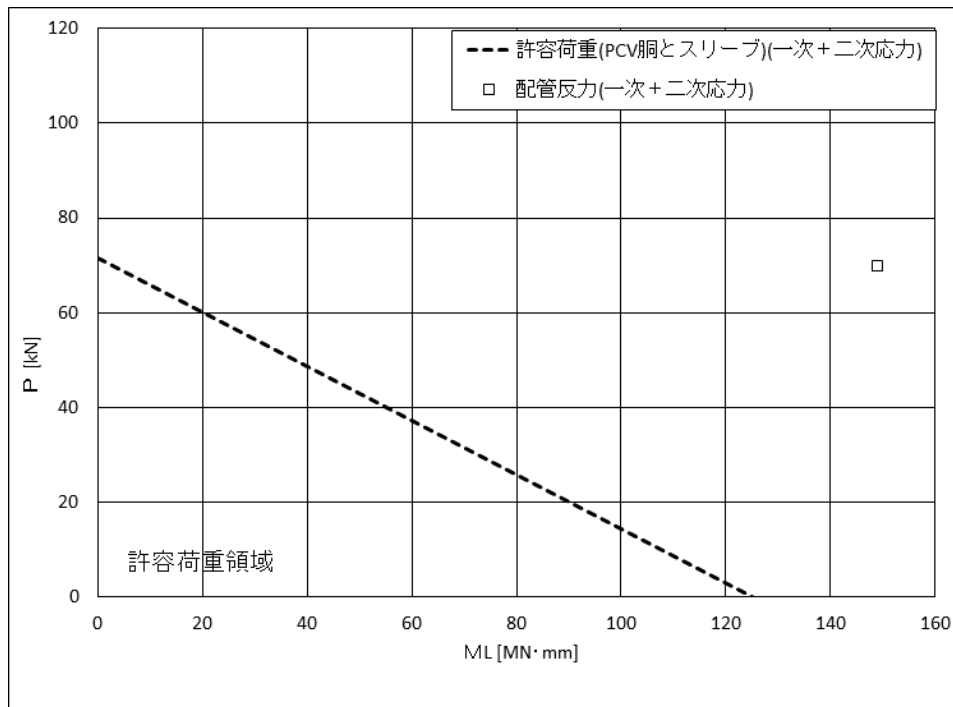


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 15 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  $M_C$ ）

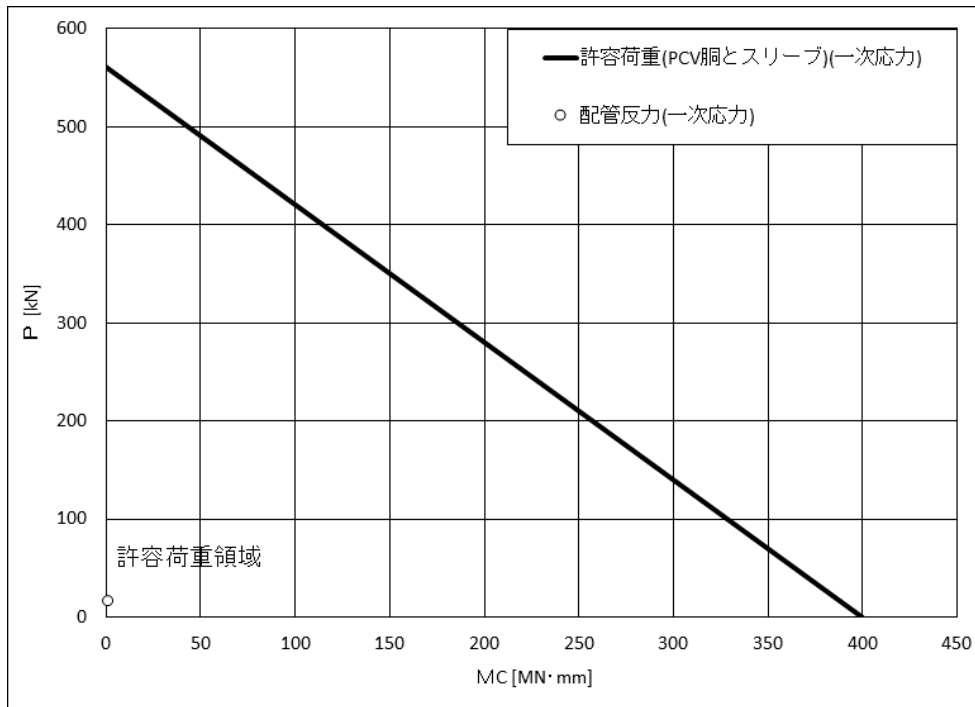


上図：一次応力に対する許容荷重領域

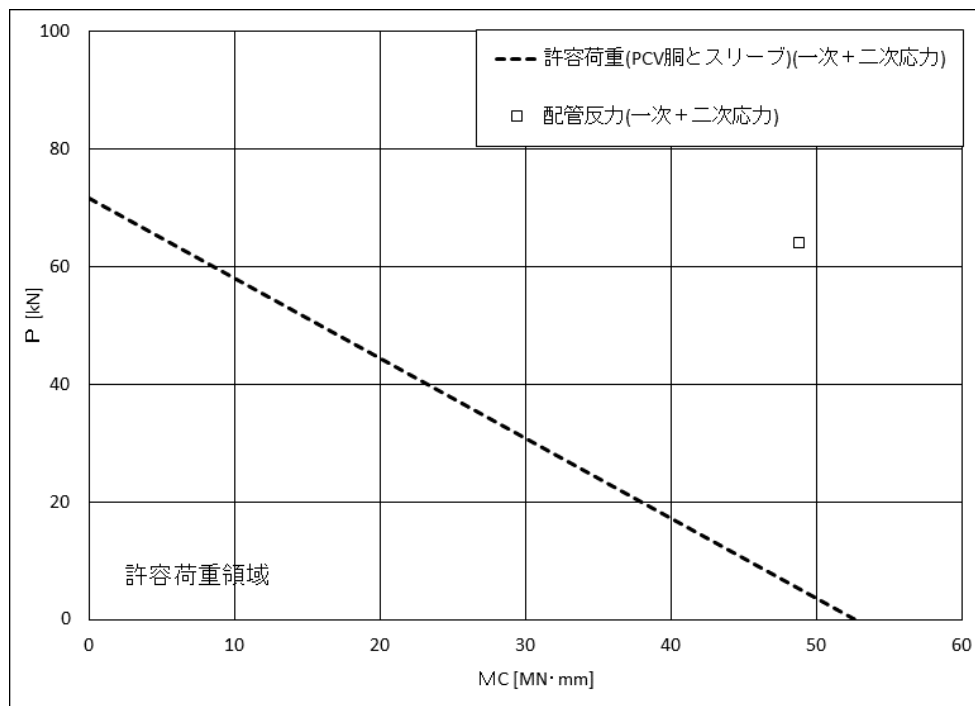


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 15 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  $M_L$ ）

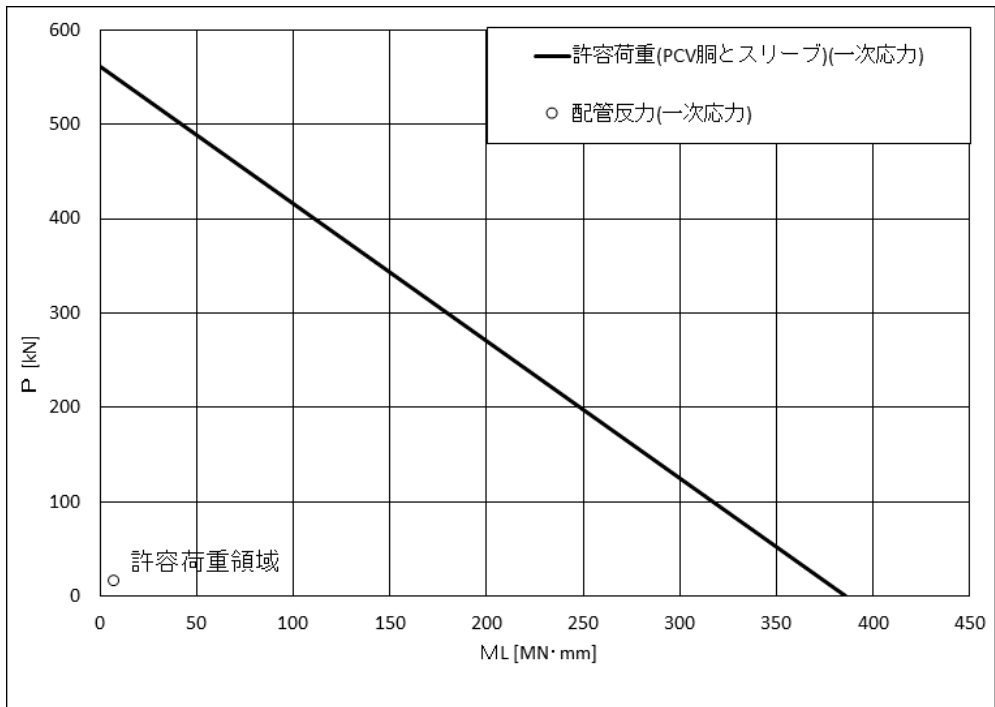


上図：一次応力に対する許容荷重領域

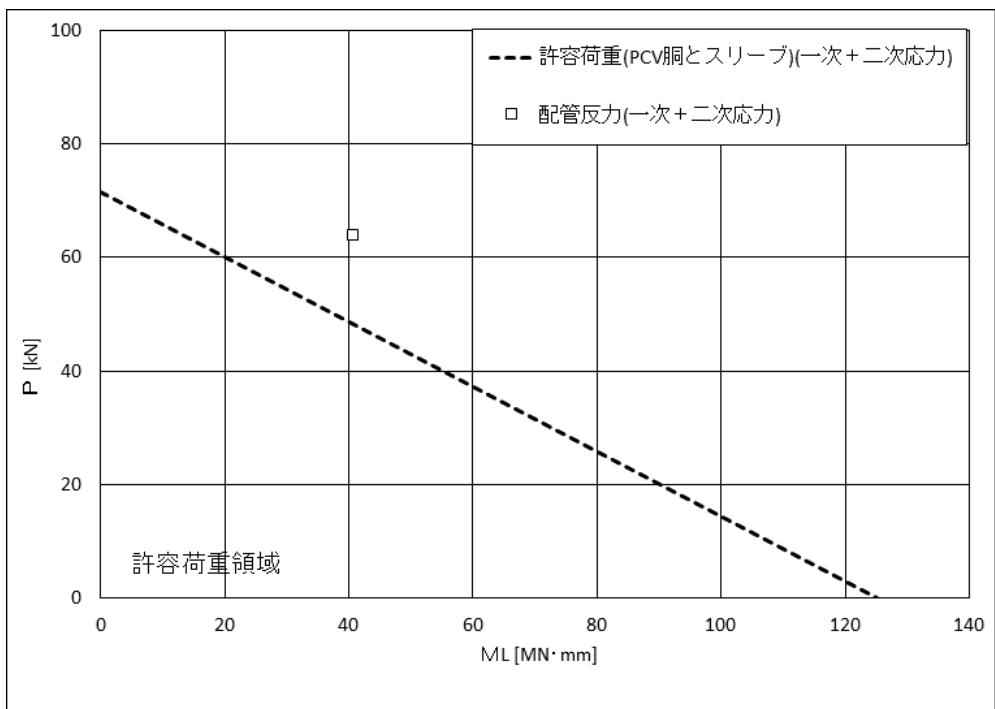


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 16 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  $M_C$ ）

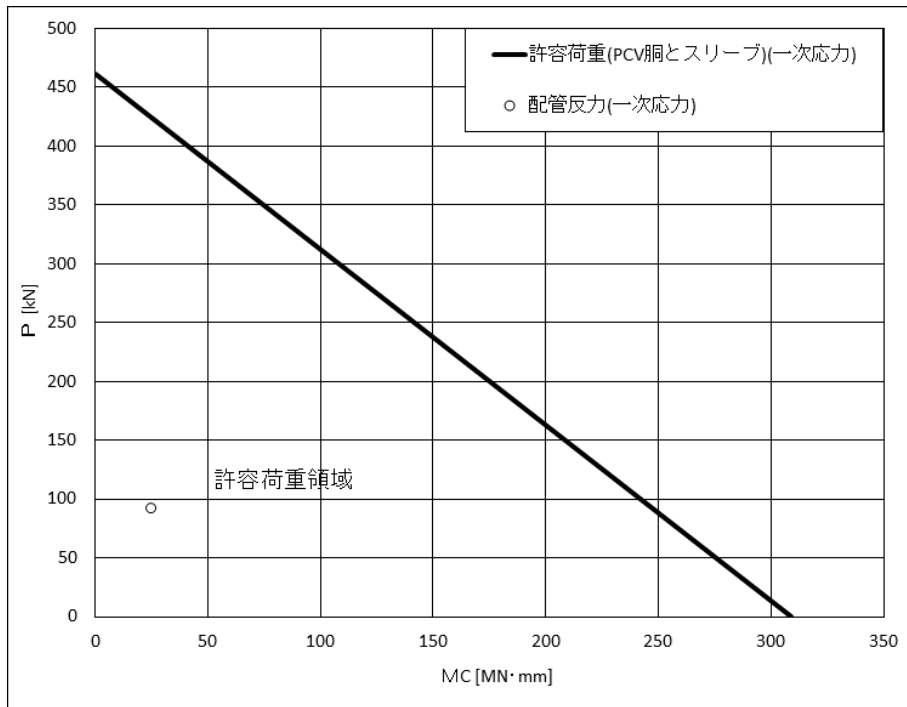


上図：一次応力に対する許容荷重領域

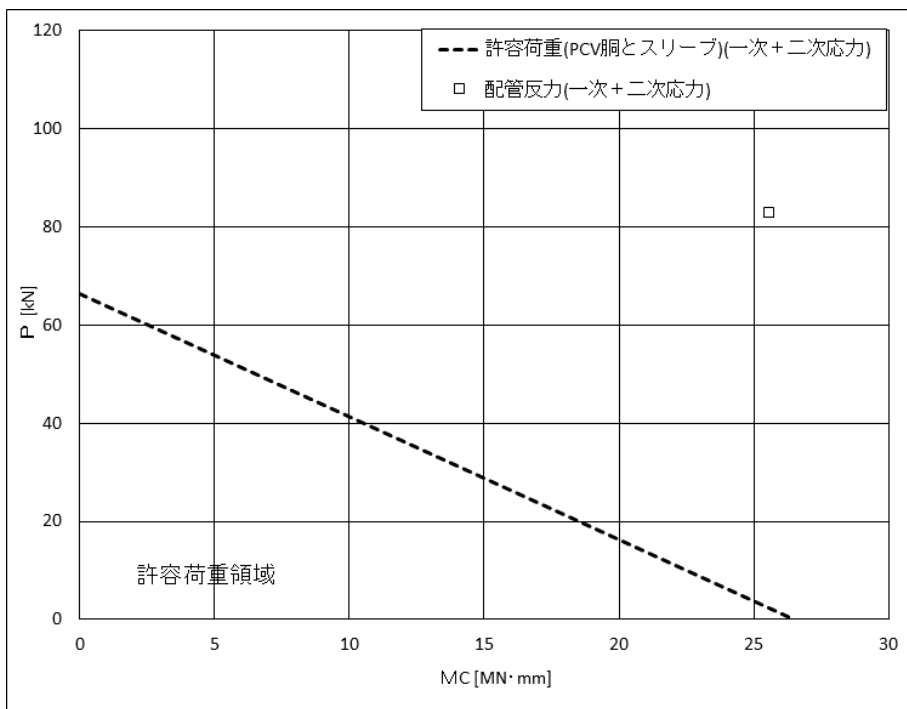


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 16 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  $M_L$ ）



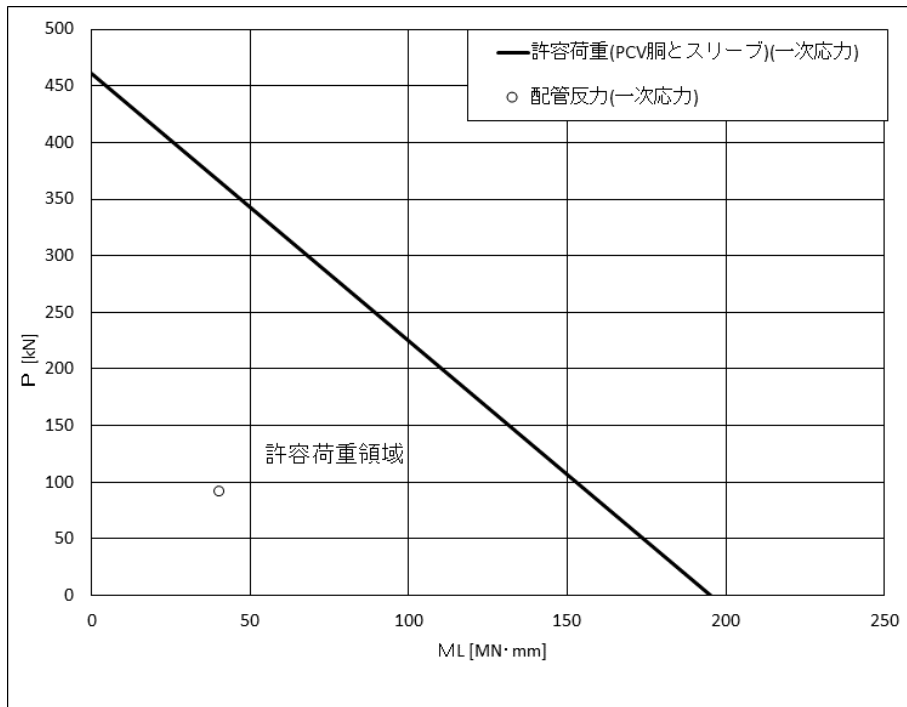
上図：一次応力に対する許容荷重領域



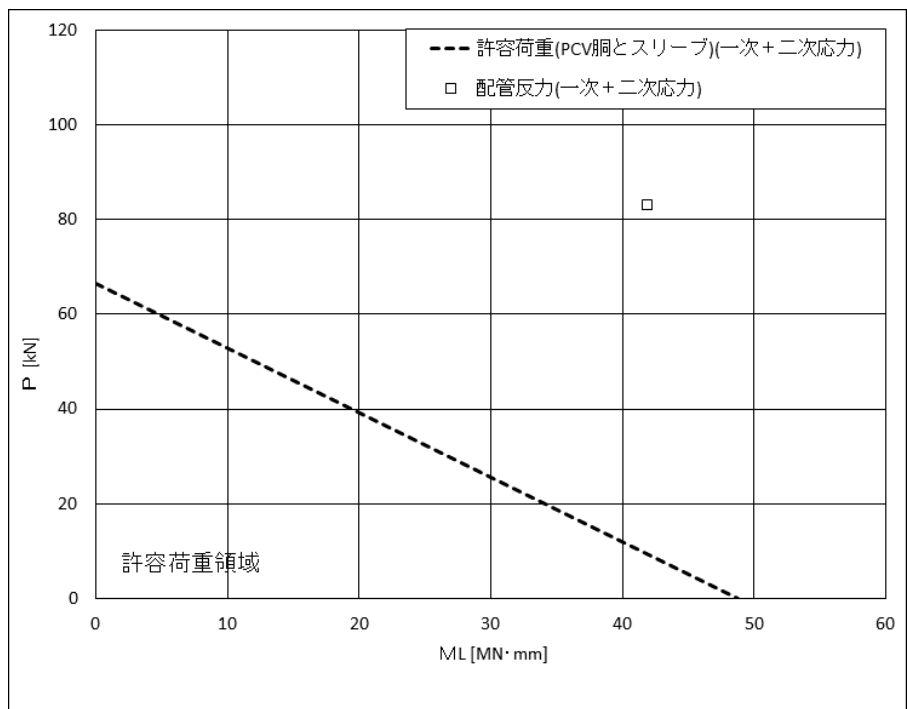
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 17 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  $M_C$ ）



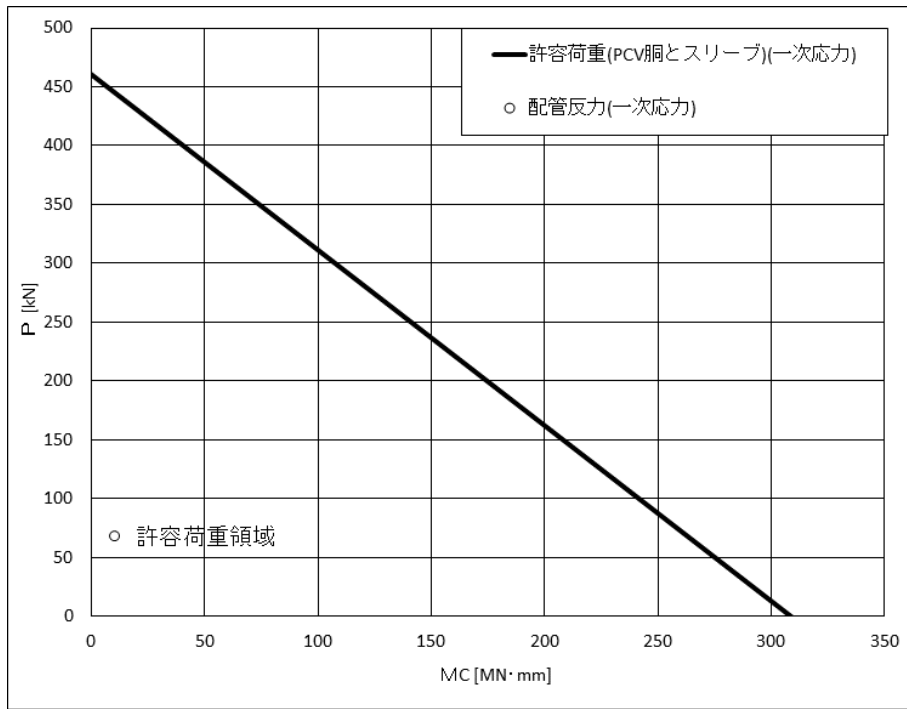


上図：一次応力に対する許容荷重領域

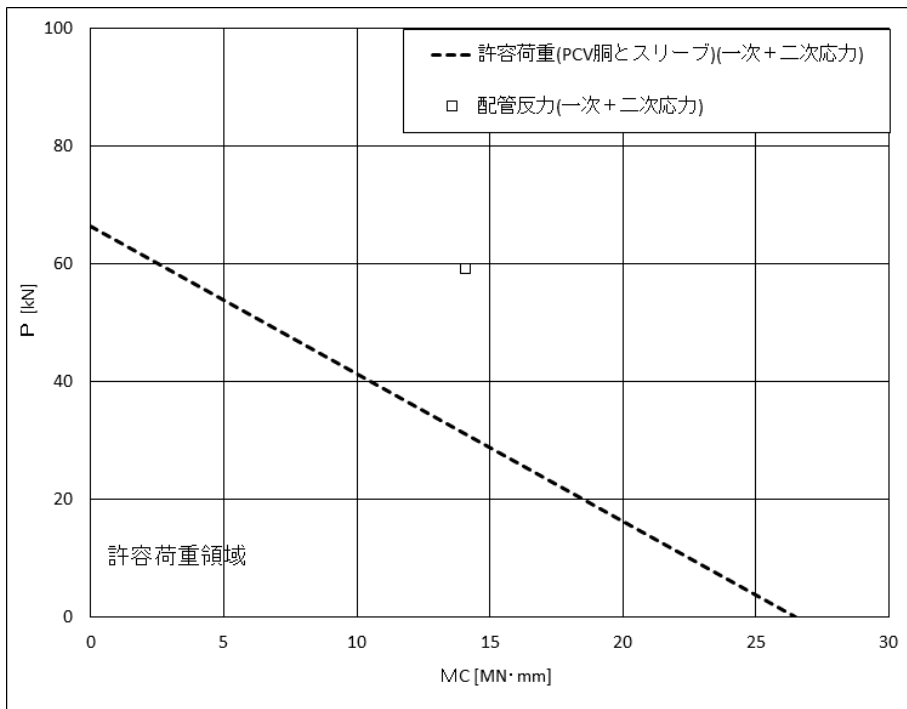


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 17 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  $M_L$ ）

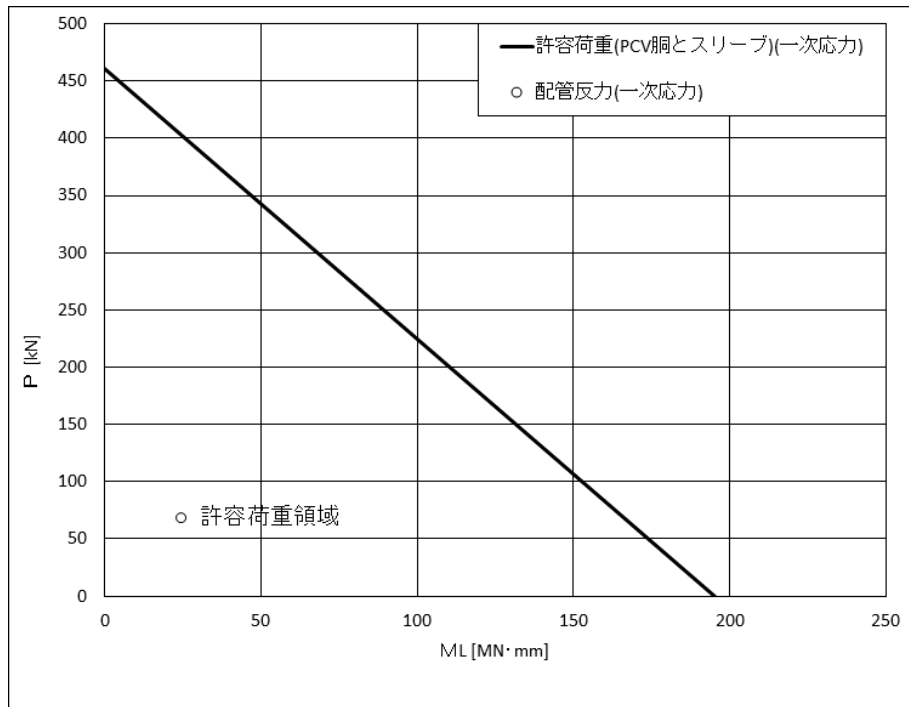


上図：一次応力に対する許容荷重領域

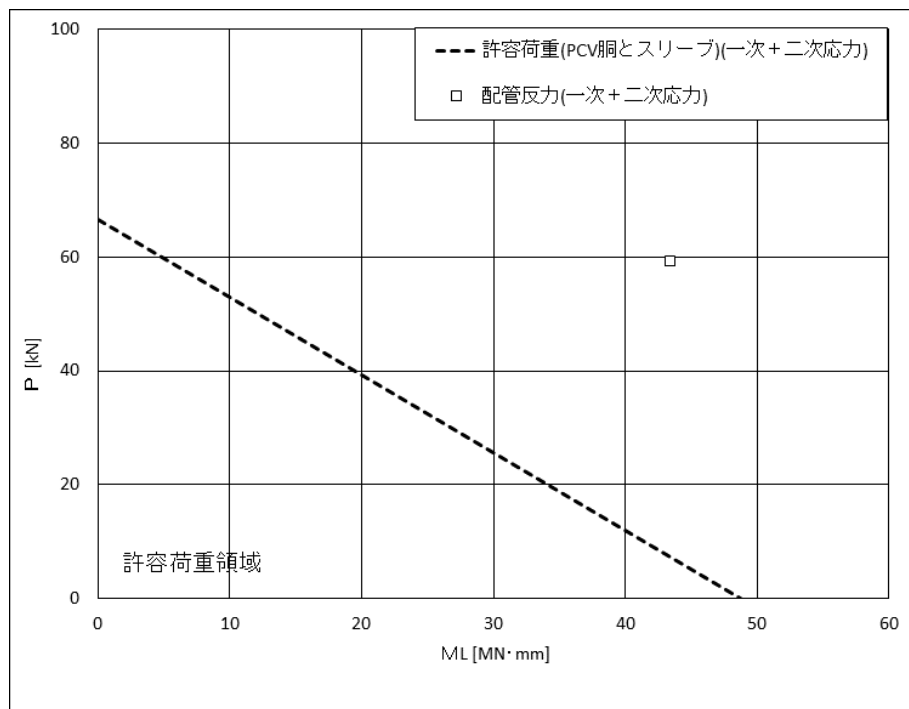


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 18 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  $M_C$ ）

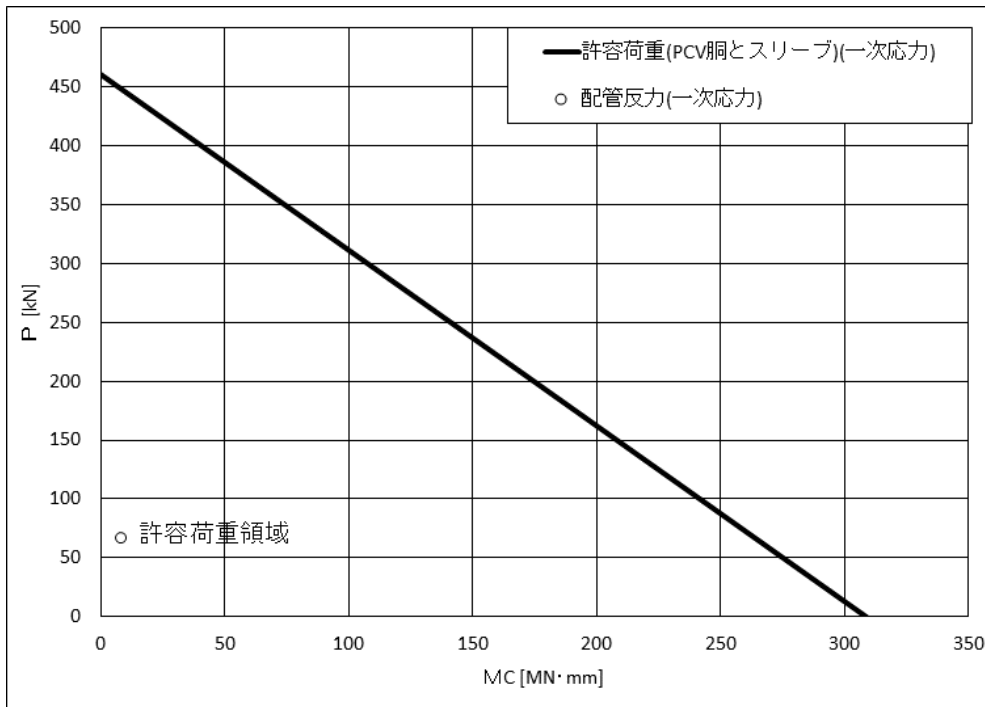


上図：一次応力に対する許容荷重領域

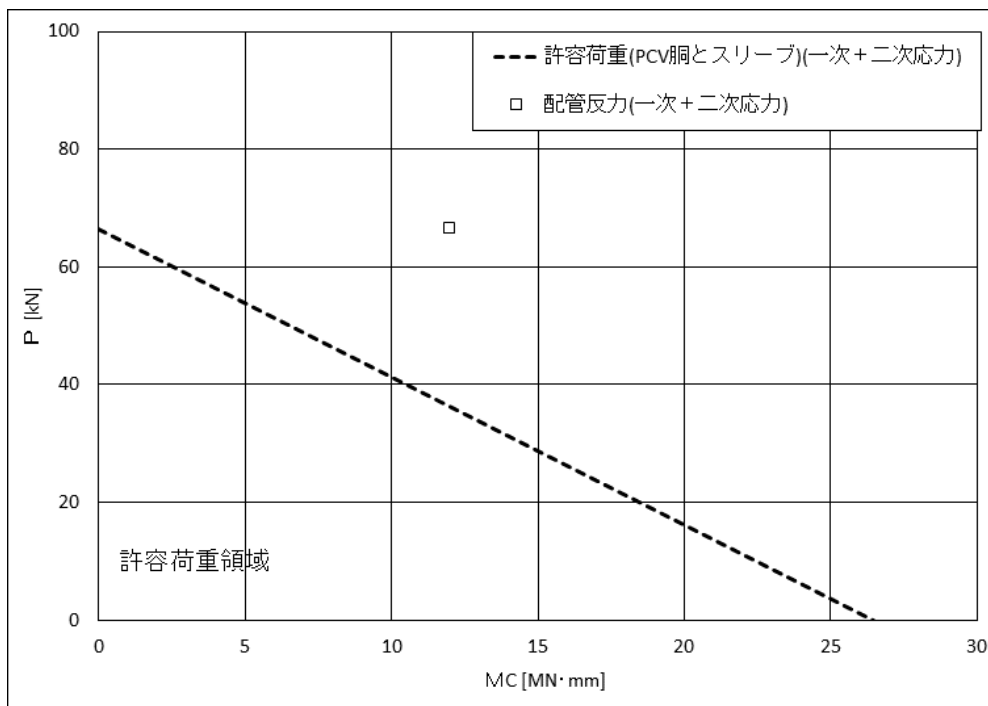


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 18 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  $M_L$ ）

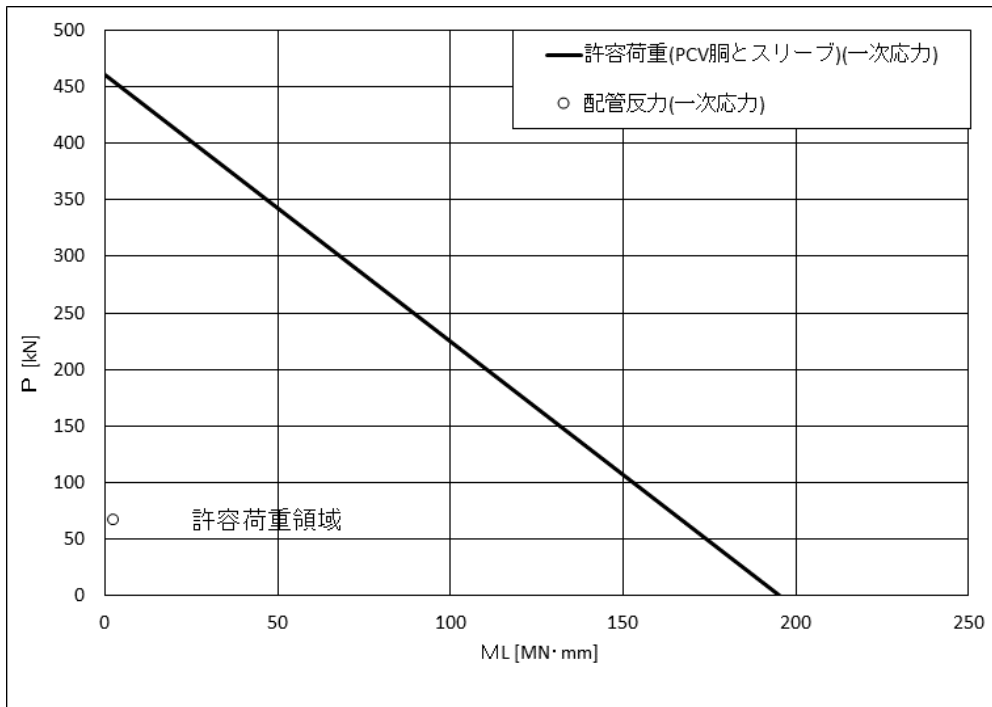


上図：一次応力に対する許容荷重領域

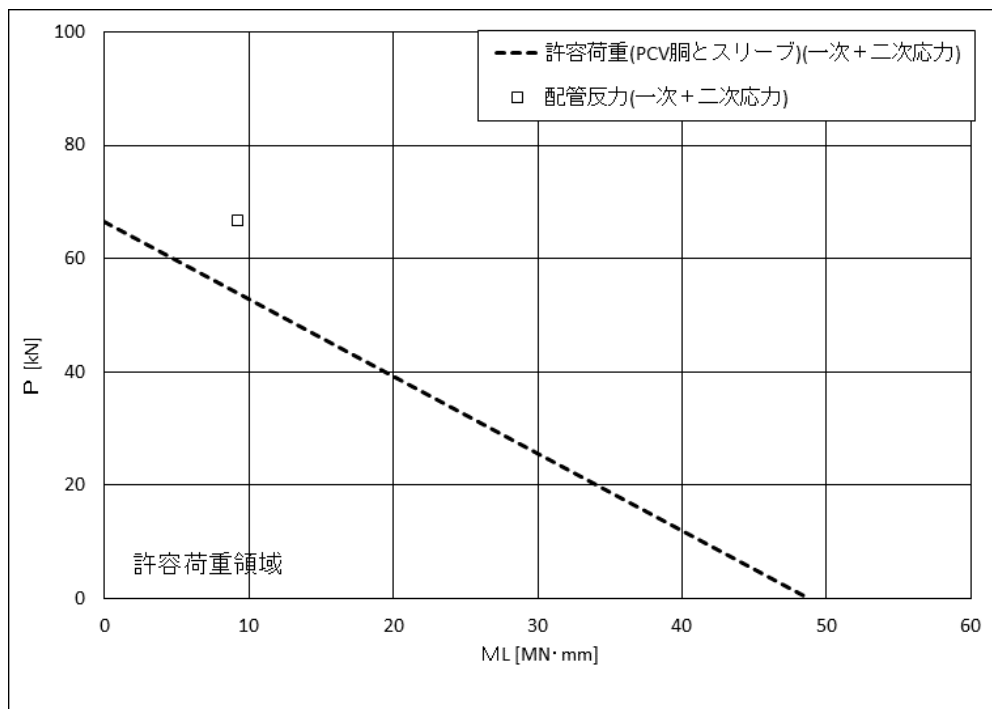


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 19 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  $MC$ ）

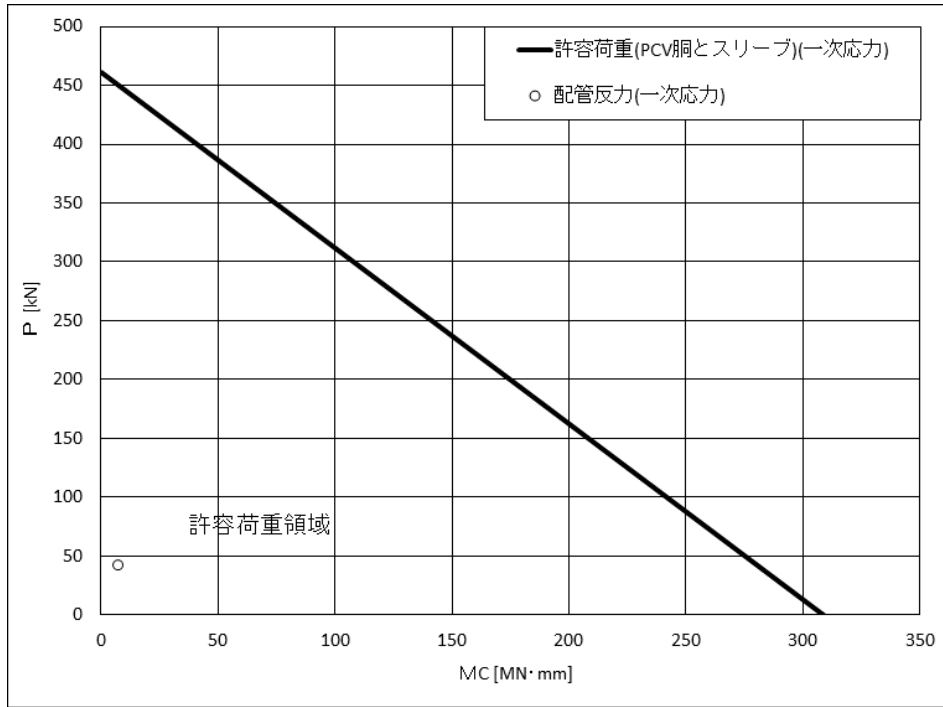


上図：一次応力に対する許容荷重領域

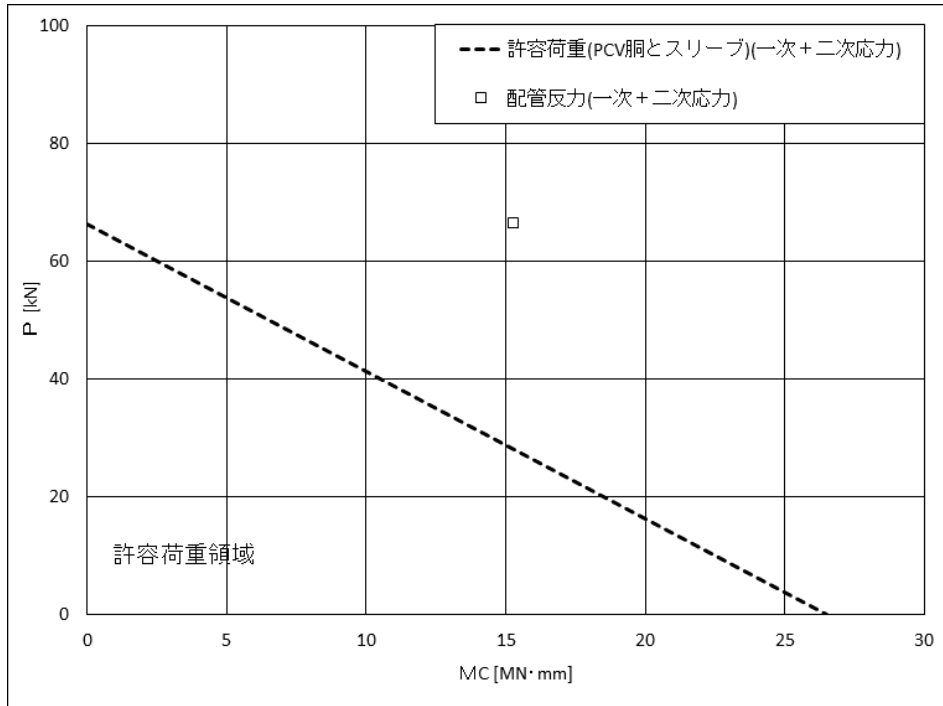


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 19 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  $M_L$ ）

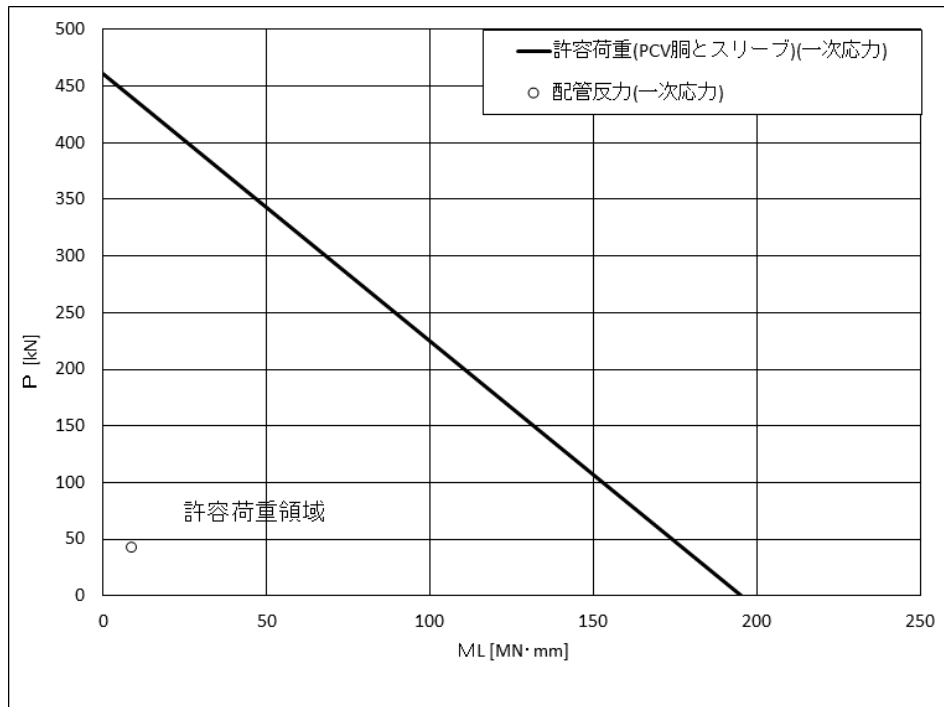


上図：一次応力に対する許容荷重領域

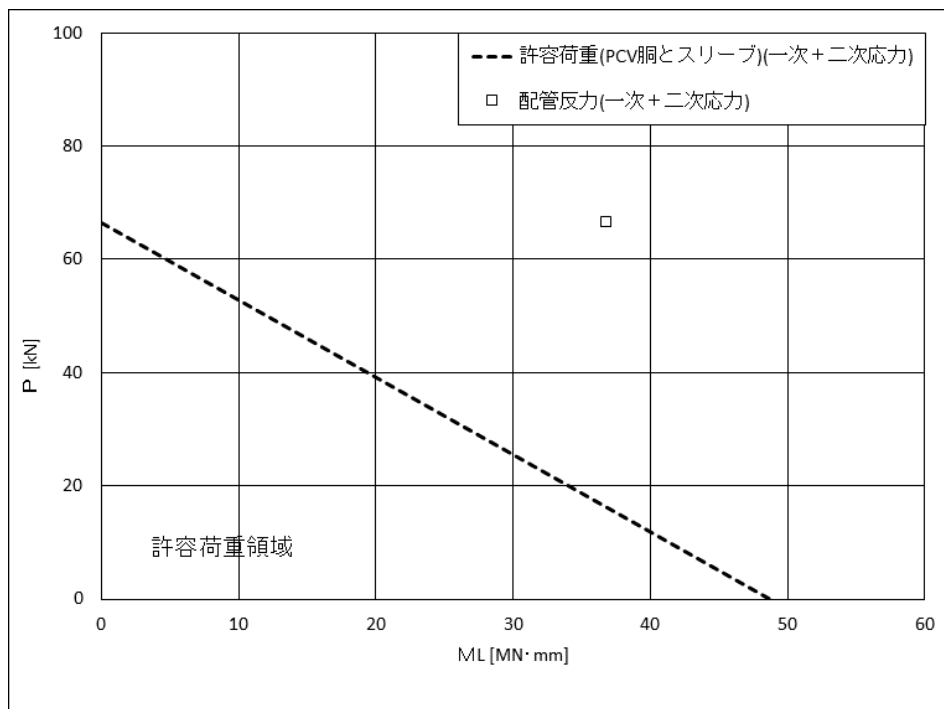


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 20 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  $MC$ ）

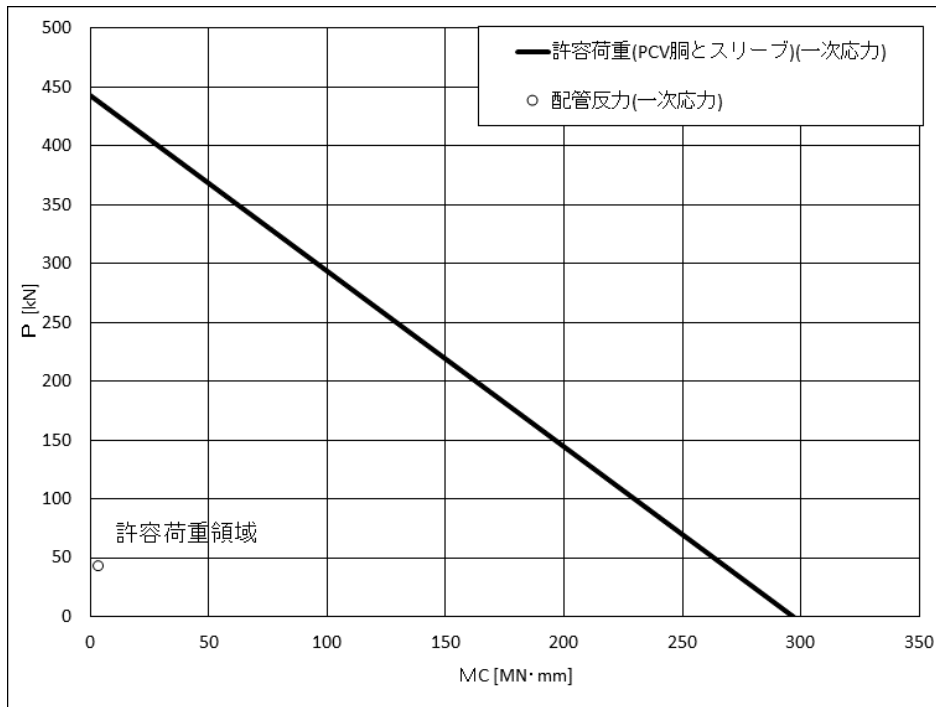


上図：一次応力に対する許容荷重領域

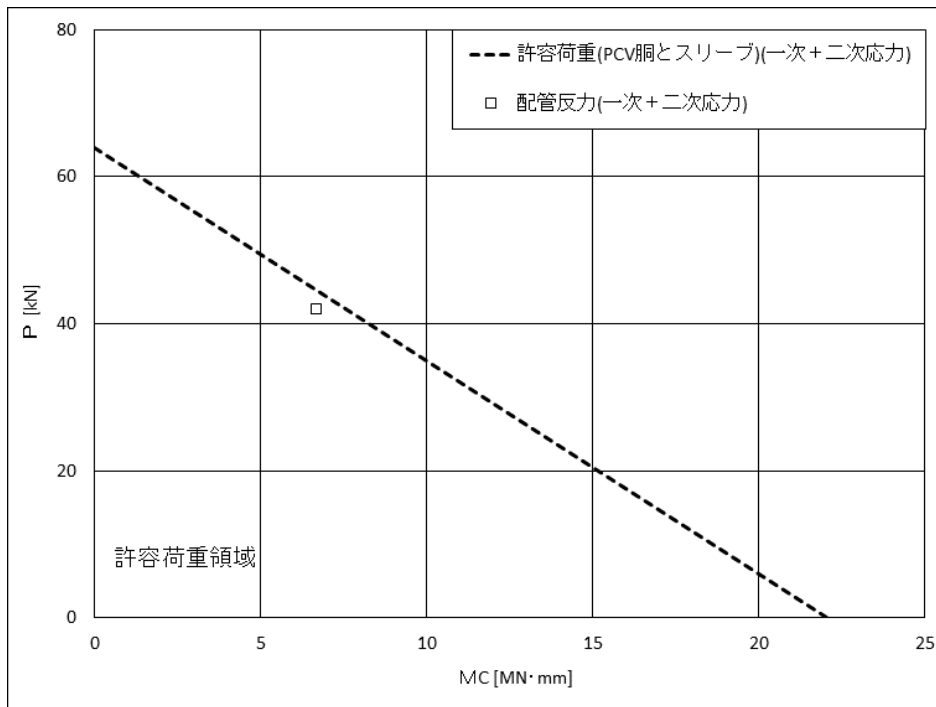


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 20 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  $M_L$ ）



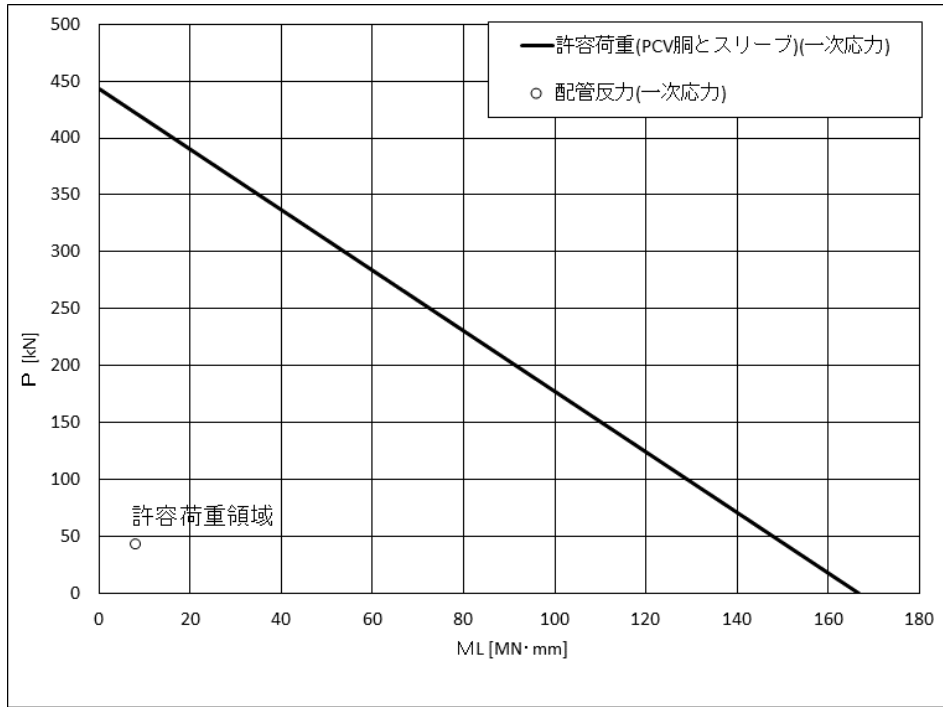
上図：一次応力に対する許容荷重領域



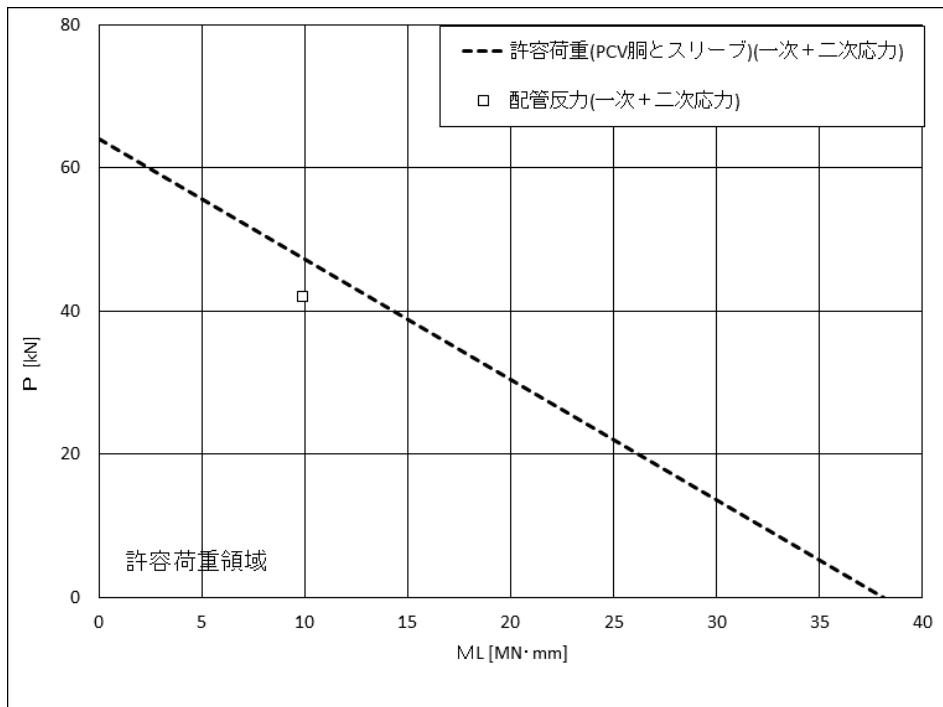
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 21 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  $M_C$ ）



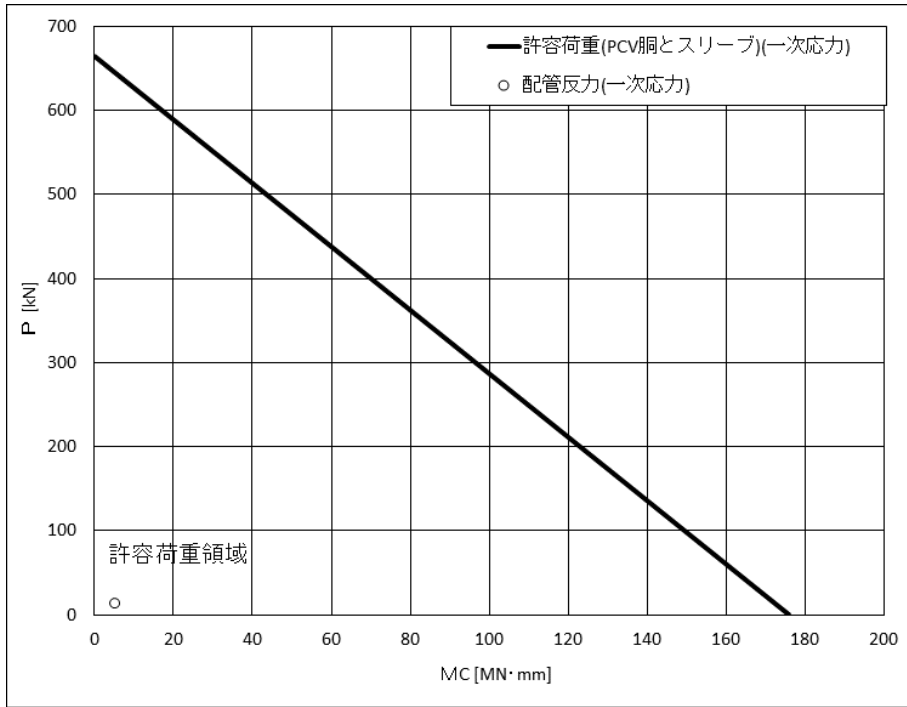


上図：一次応力に対する許容荷重領域

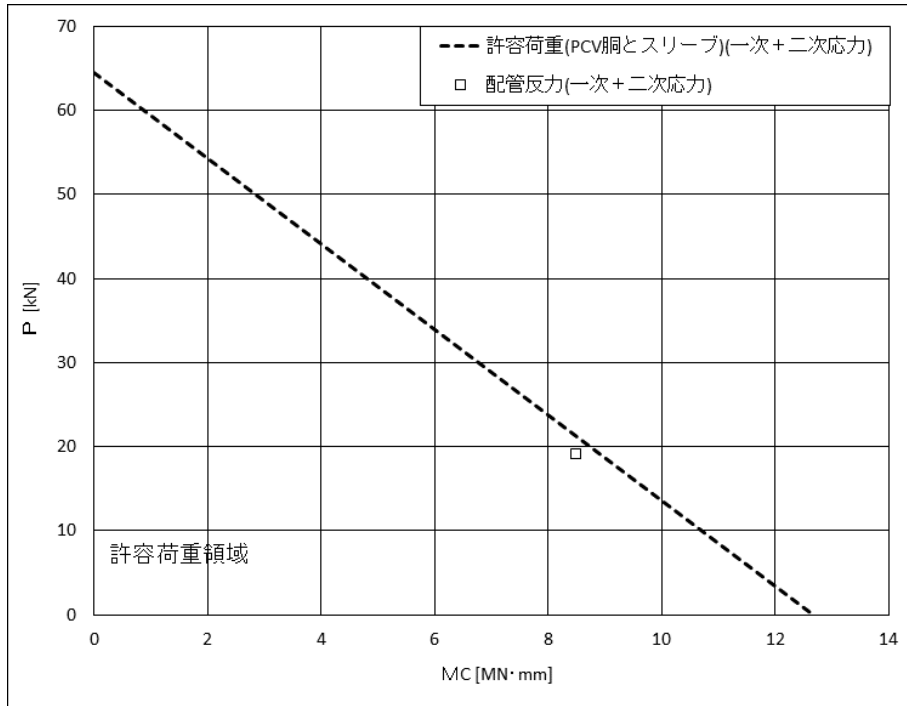


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 21 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  $M_L$ ）

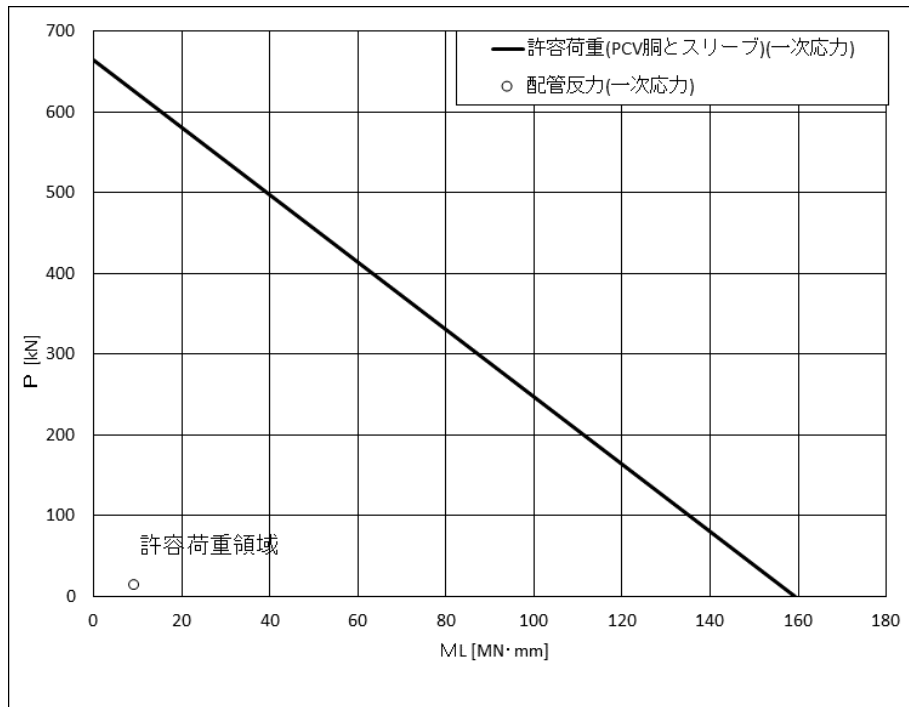


上図：一次応力に対する許容荷重領域

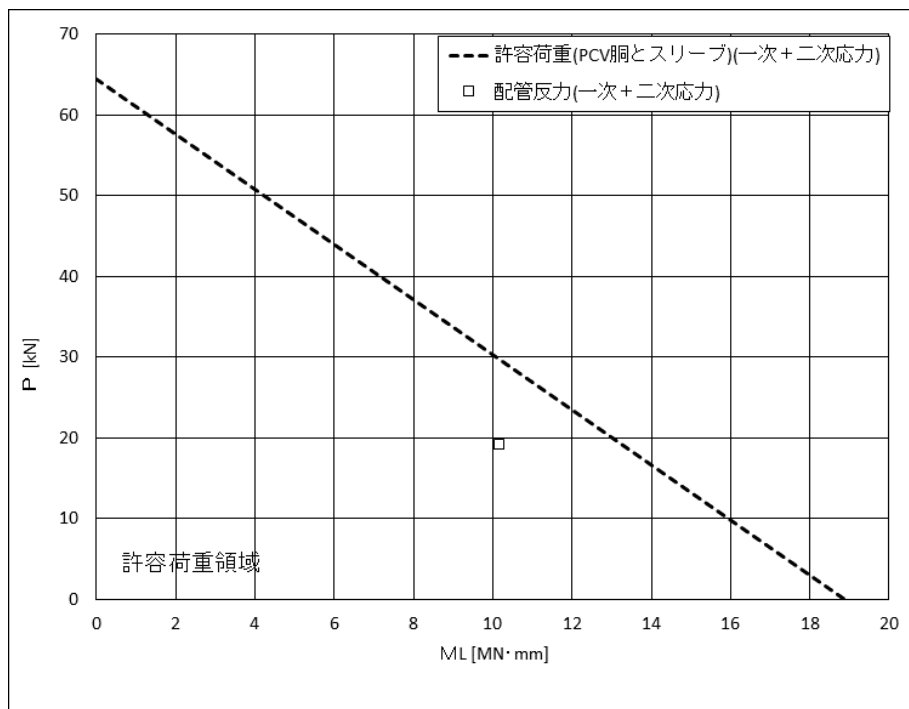


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 22 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  $M_C$ ）

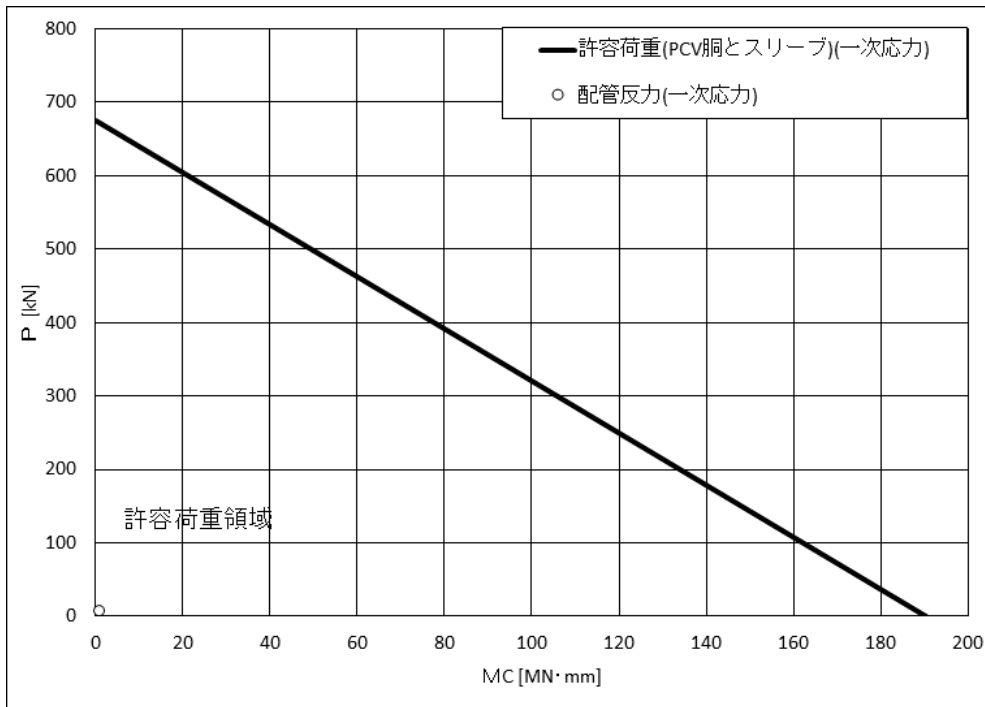


上図：一次応力に対する許容荷重領域

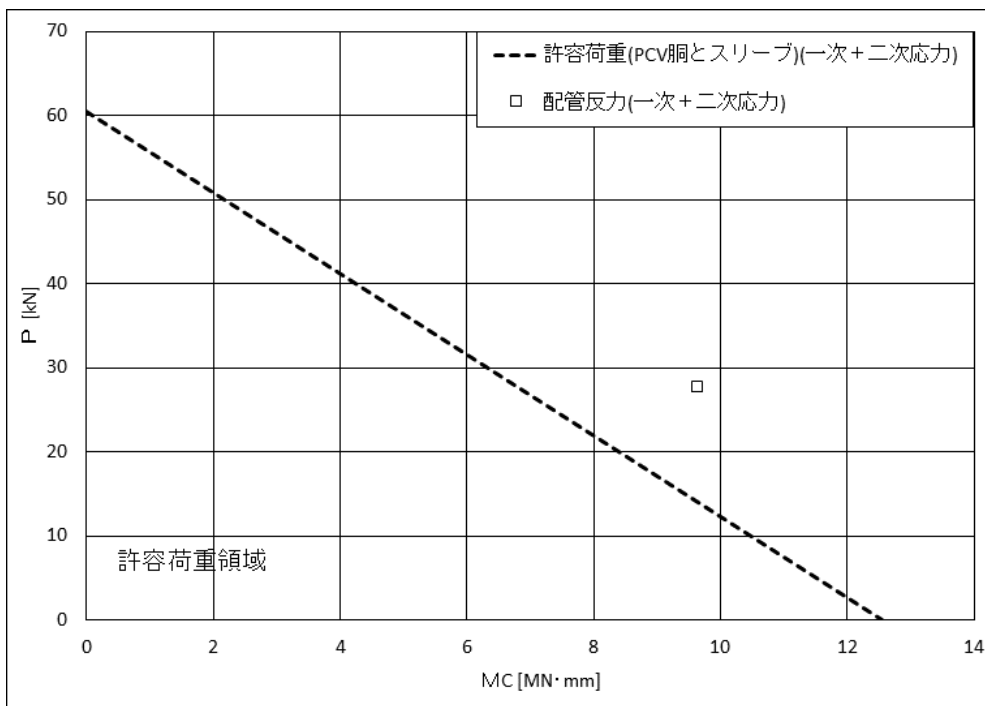


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 22 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  $M_L$ ）

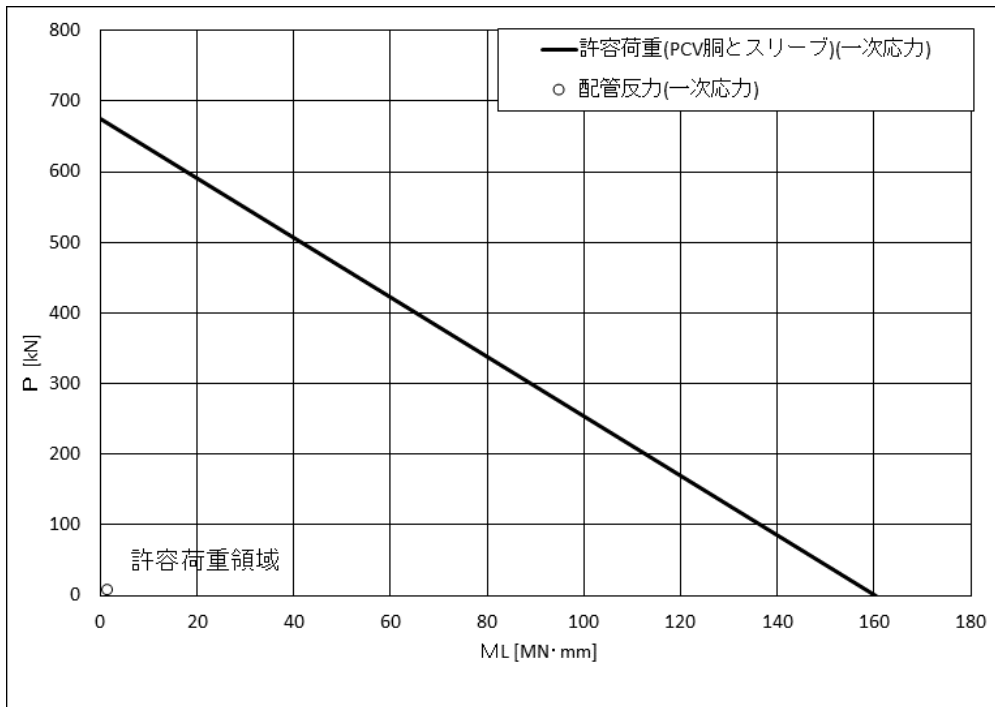


上図：一次応力に対する許容荷重領域

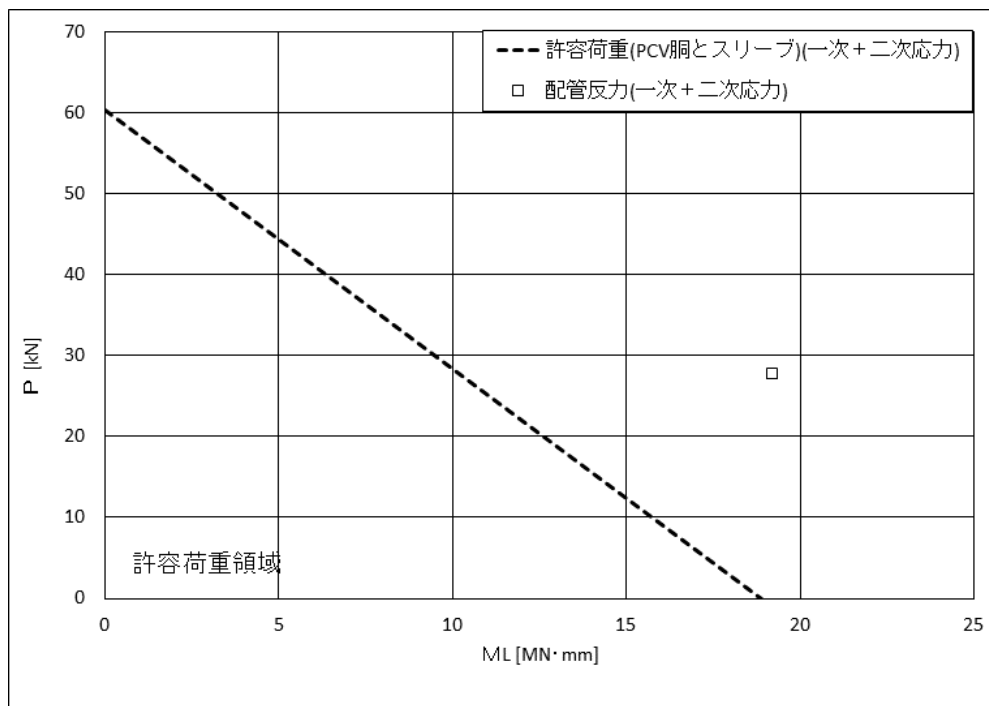


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 23 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  $M_C$ ）

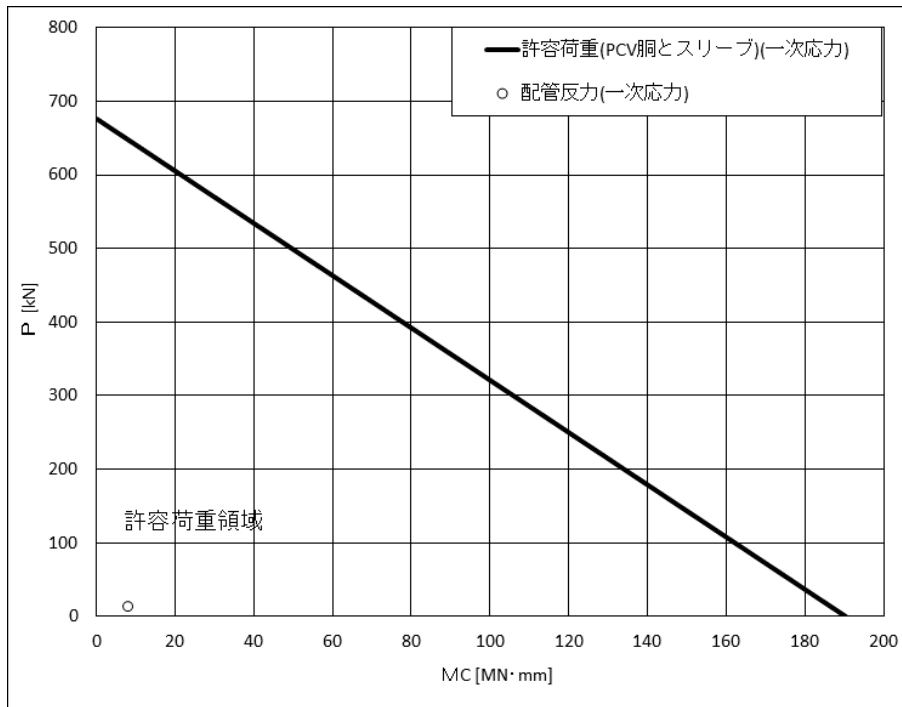


上図：一次応力に対する許容荷重領域

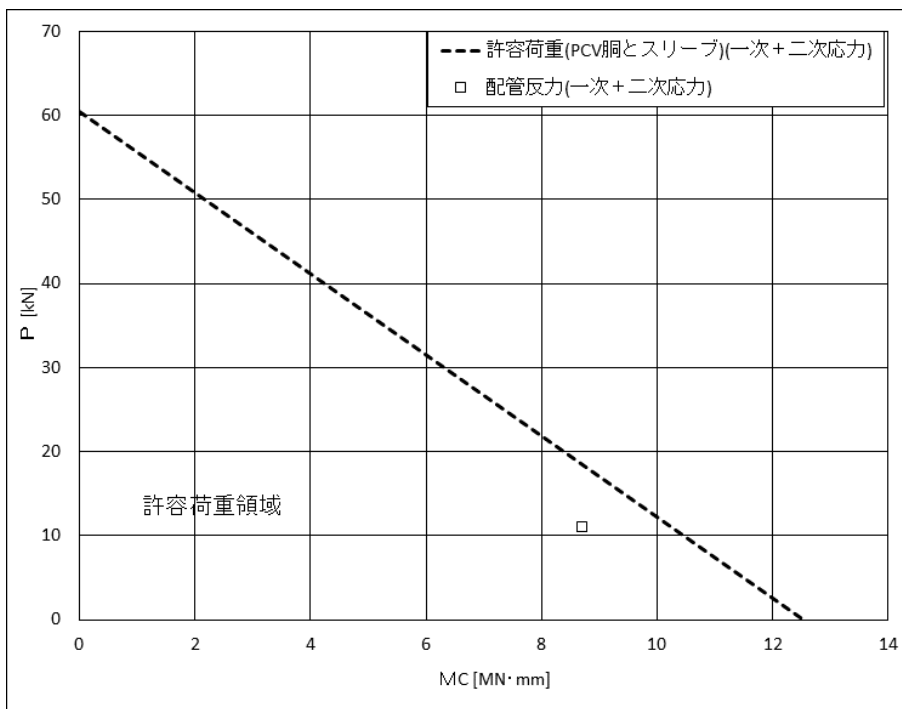


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 23 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  $M_L$ ）

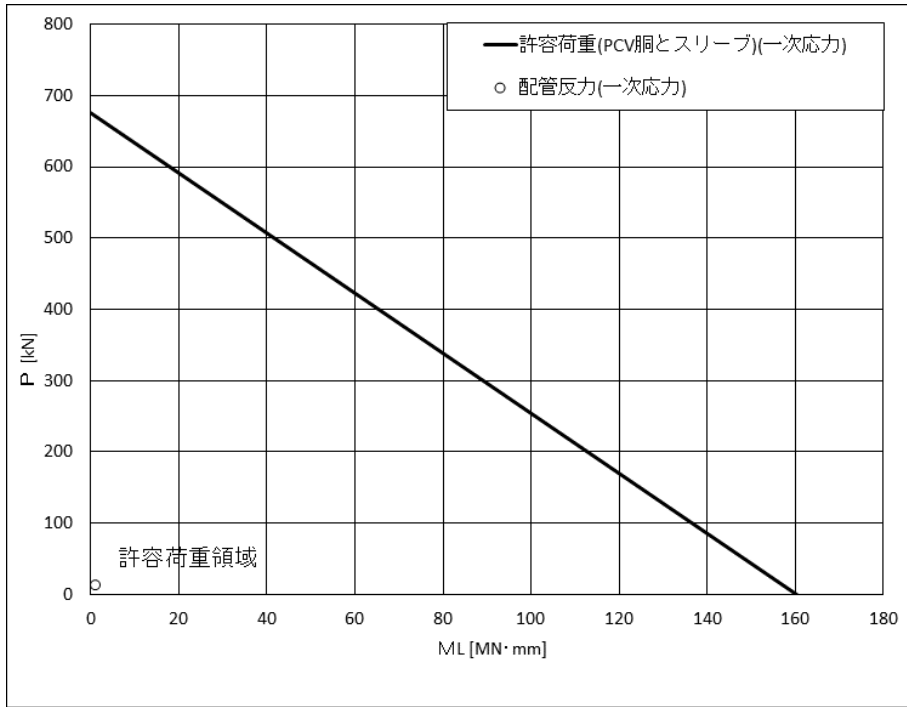


上図：一次応力に対する許容荷重領域

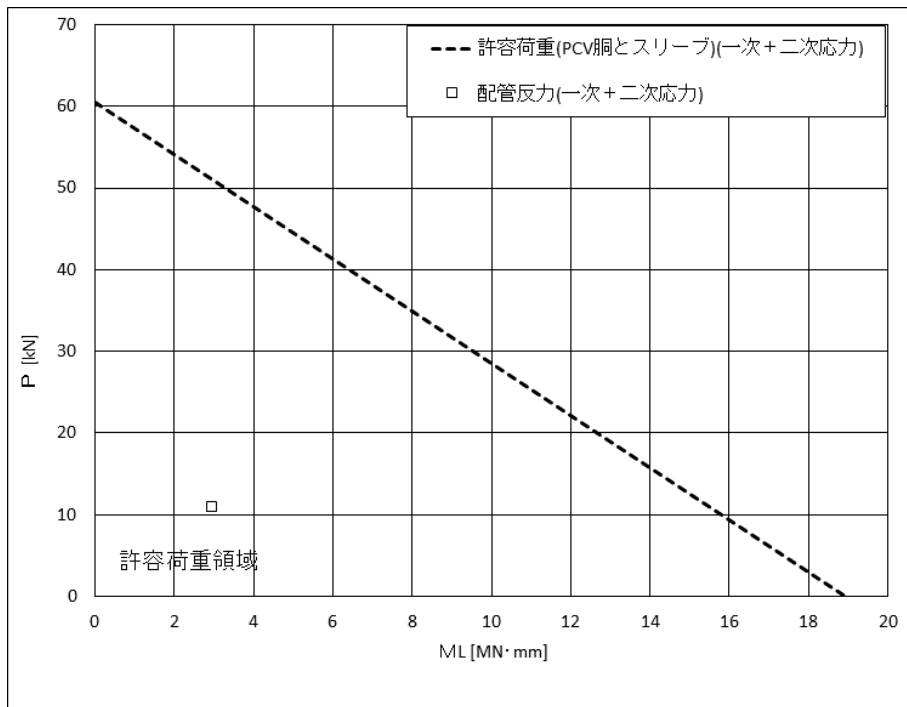


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 24 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  $M_C$ ）

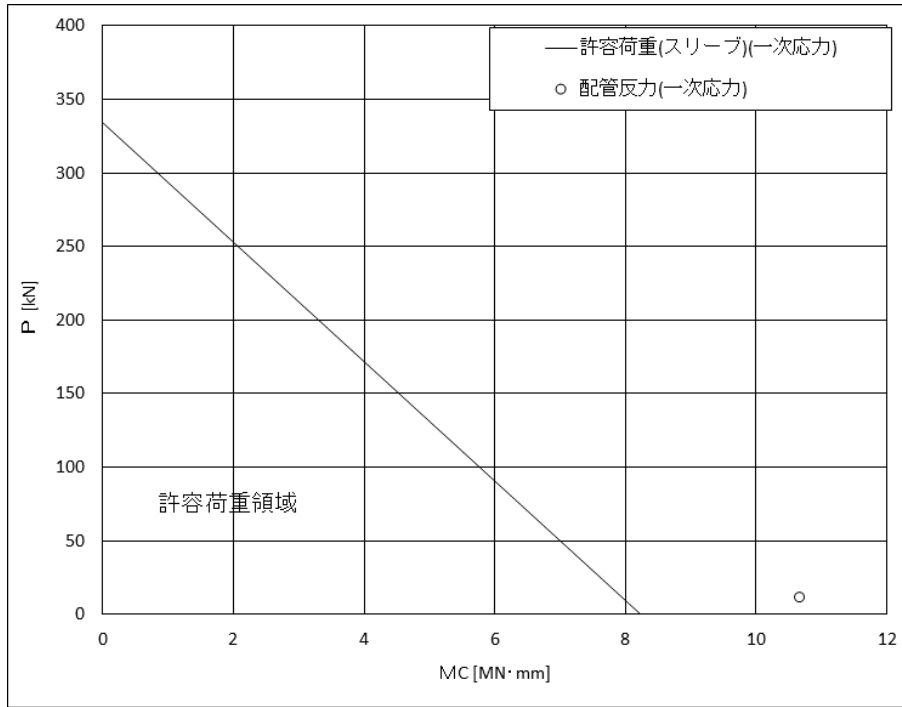


上図：一次応力に対する許容荷重領域

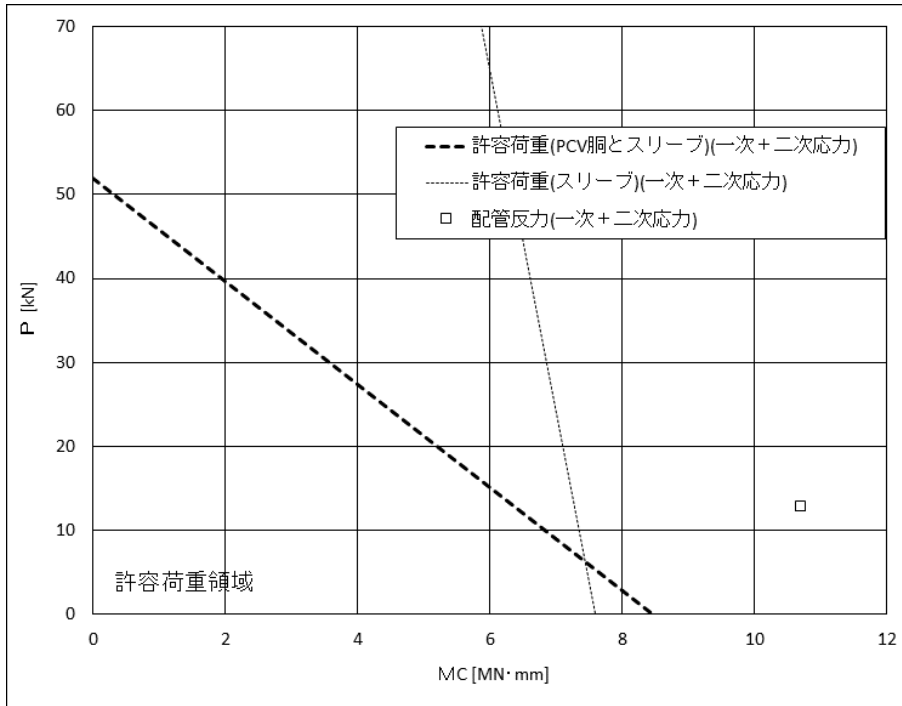


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 24 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  $M_L$ ）



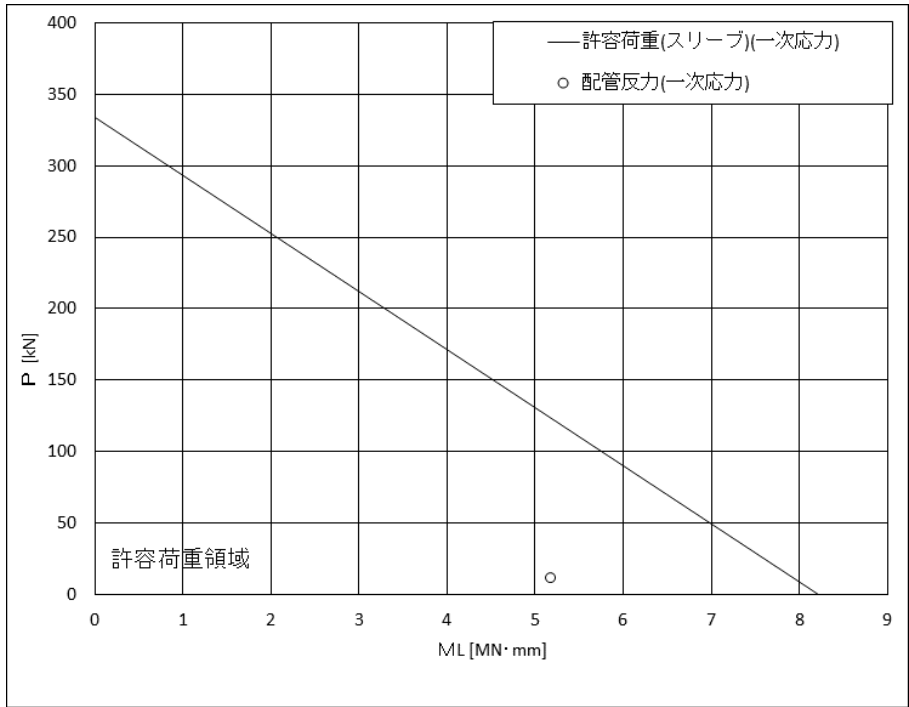
上図：一次応力に対する許容荷重領域



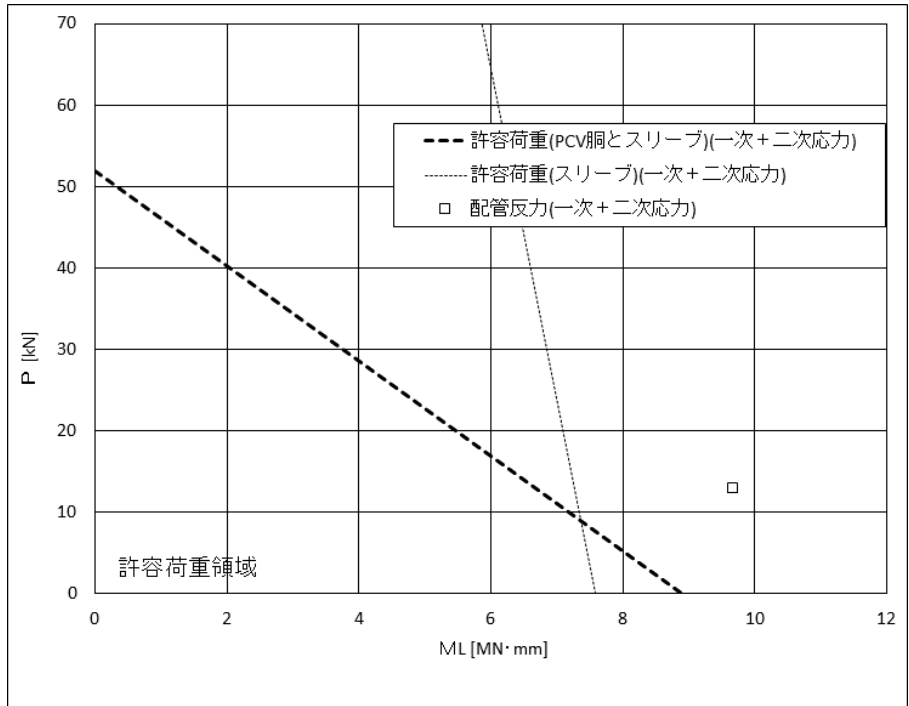
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 25 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  $M_C$ ）



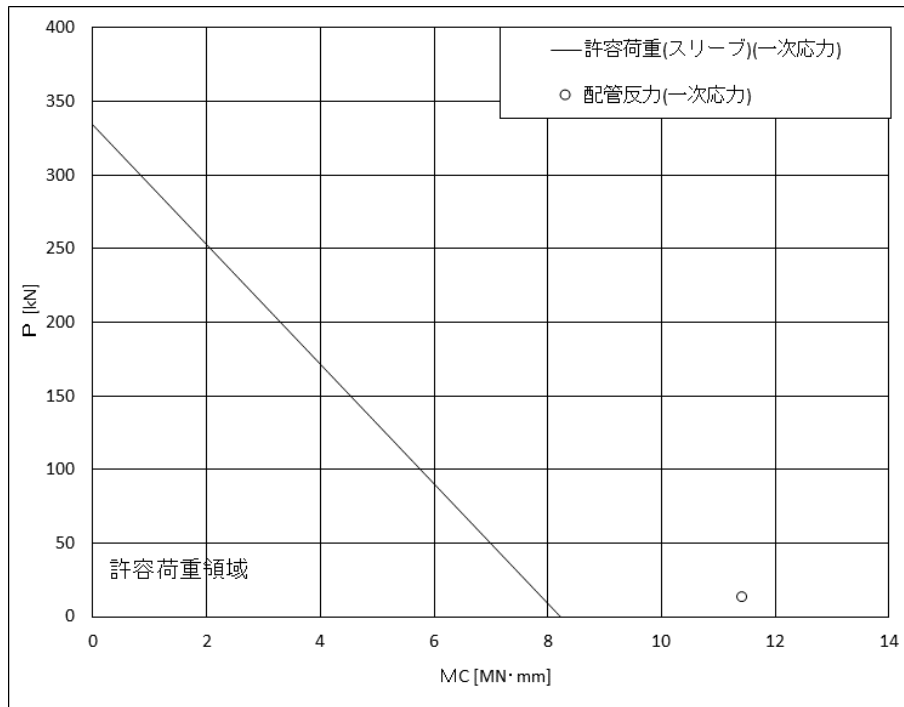


上図：一次応力に対する許容荷重領域

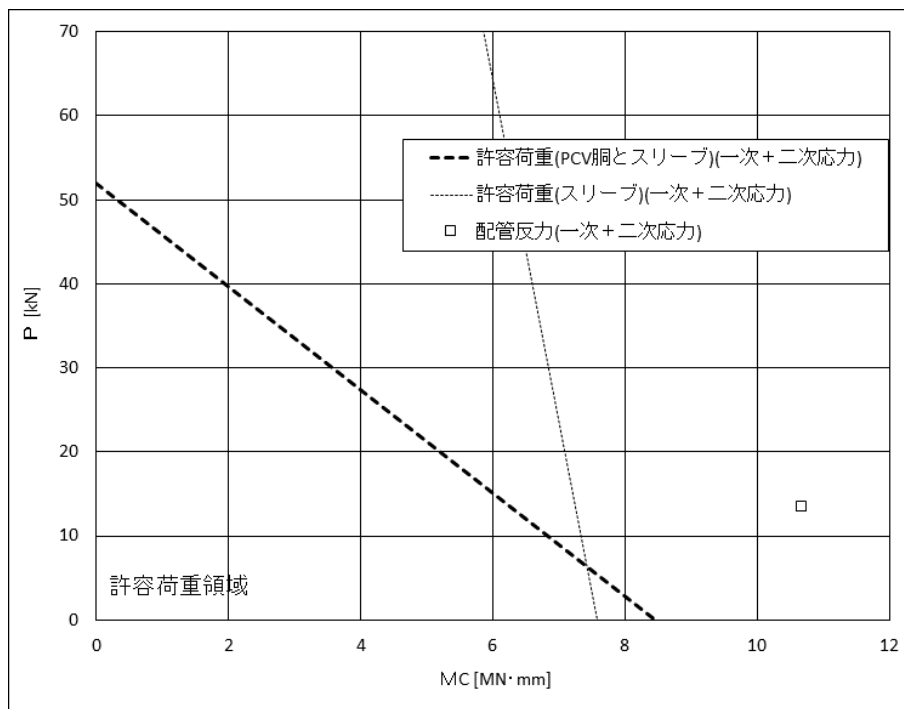


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 25 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  $M_L$ ）

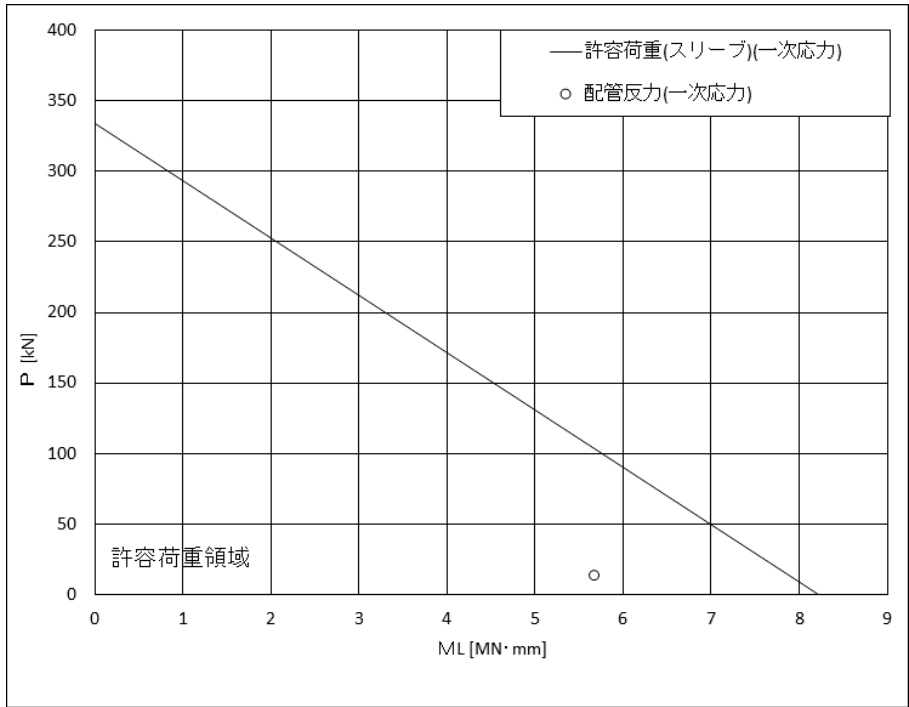


上図：一次応力に対する許容荷重領域

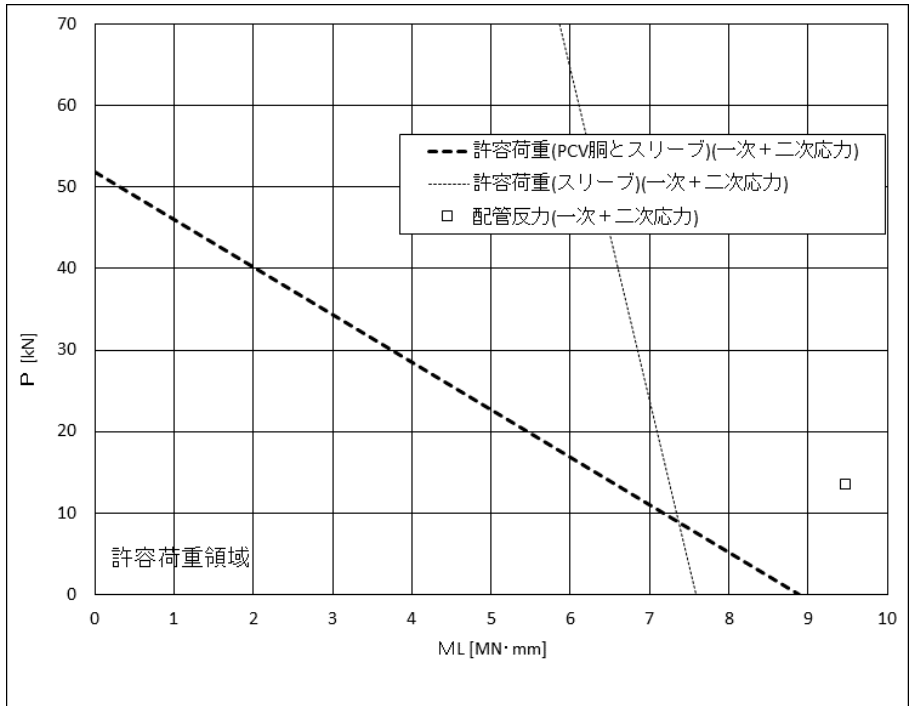


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 26 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  $M_C$ ）

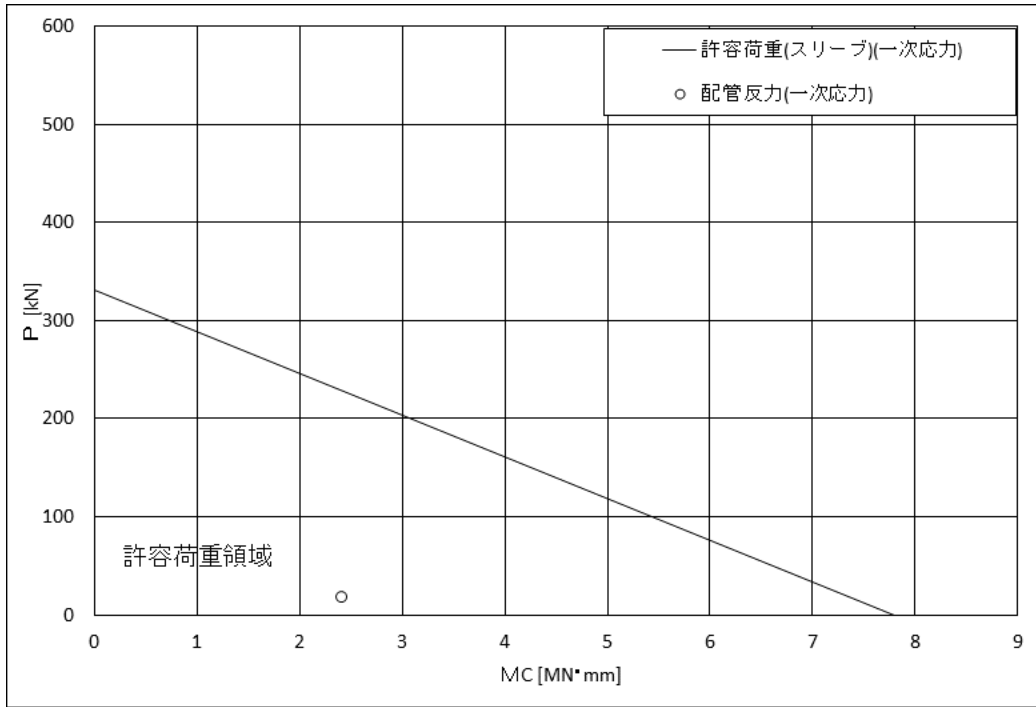


上図：一次応力に対する許容荷重領域

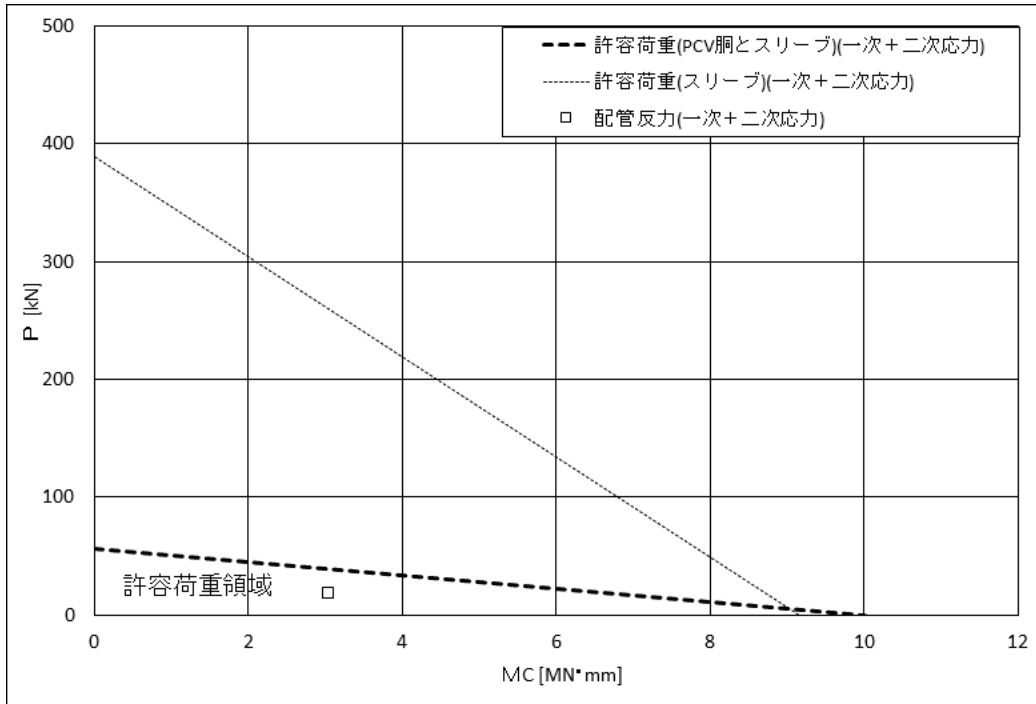


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 26 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  $M_L$ ）

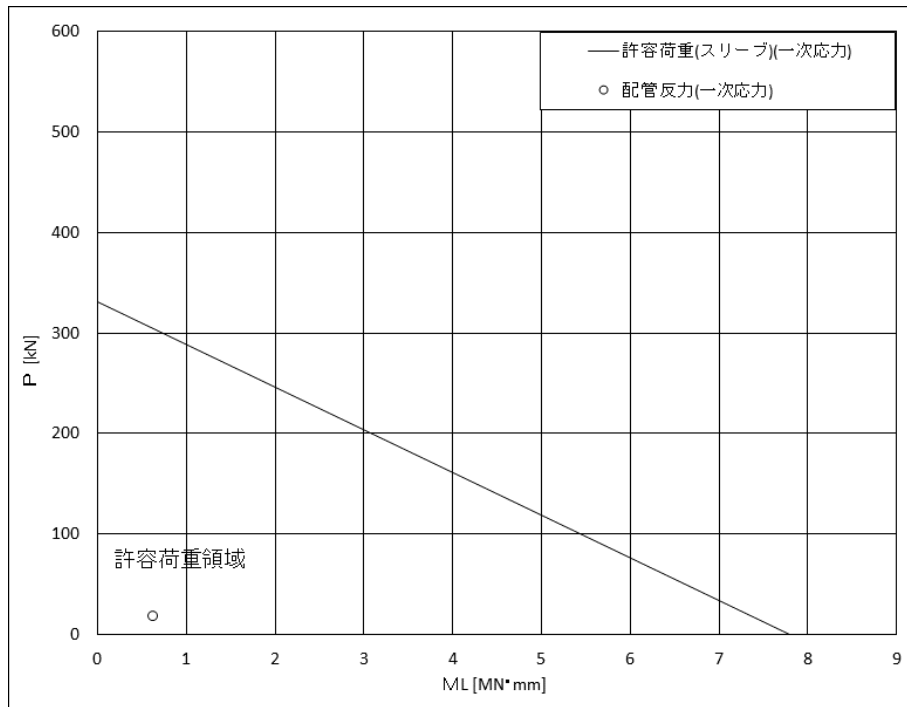


上図：一次応力に対する許容荷重領域

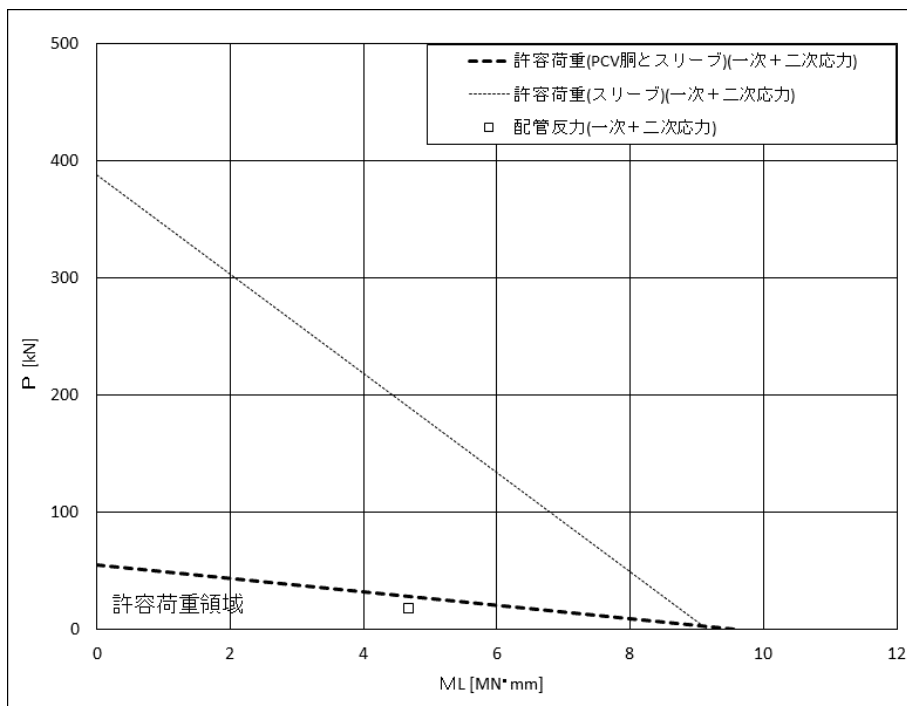


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 27 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 27 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が耐震評価における応力評価点に包絡されることと、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、端板評価に当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

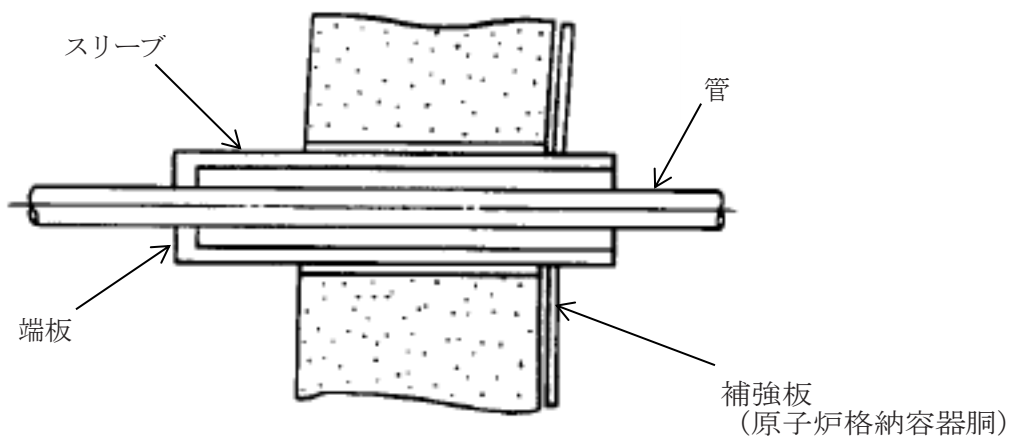


図1 二重管型配管貫通部の形状

原子炉格納容器内側

原子炉格納容器外側

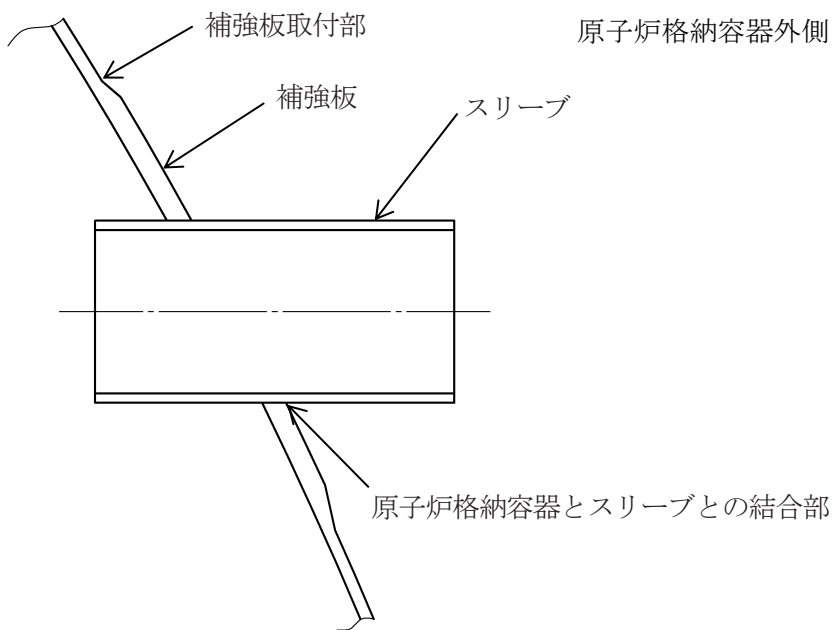


図2 直結型配管貫通部の形状

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		裕度 (許容値／発生値)	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	2.05	○	
			端板			148	348	2.35	○	



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		裕度 (許容値/発生値)	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	1.36	○	代表貫通部
X-241						850	501	0.58	×	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：設計・建設規格 PVB-3140 により運転状態 I, II において疲労解析を要しないことを確認しているため、疲労累積係数は地震動のみによる疲労累積係数とする。

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が耐震評価における応力評価点に包絡されることと、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。

#### 5. 参照図書

- (1) 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、補足-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補足-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 7049mm）</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。

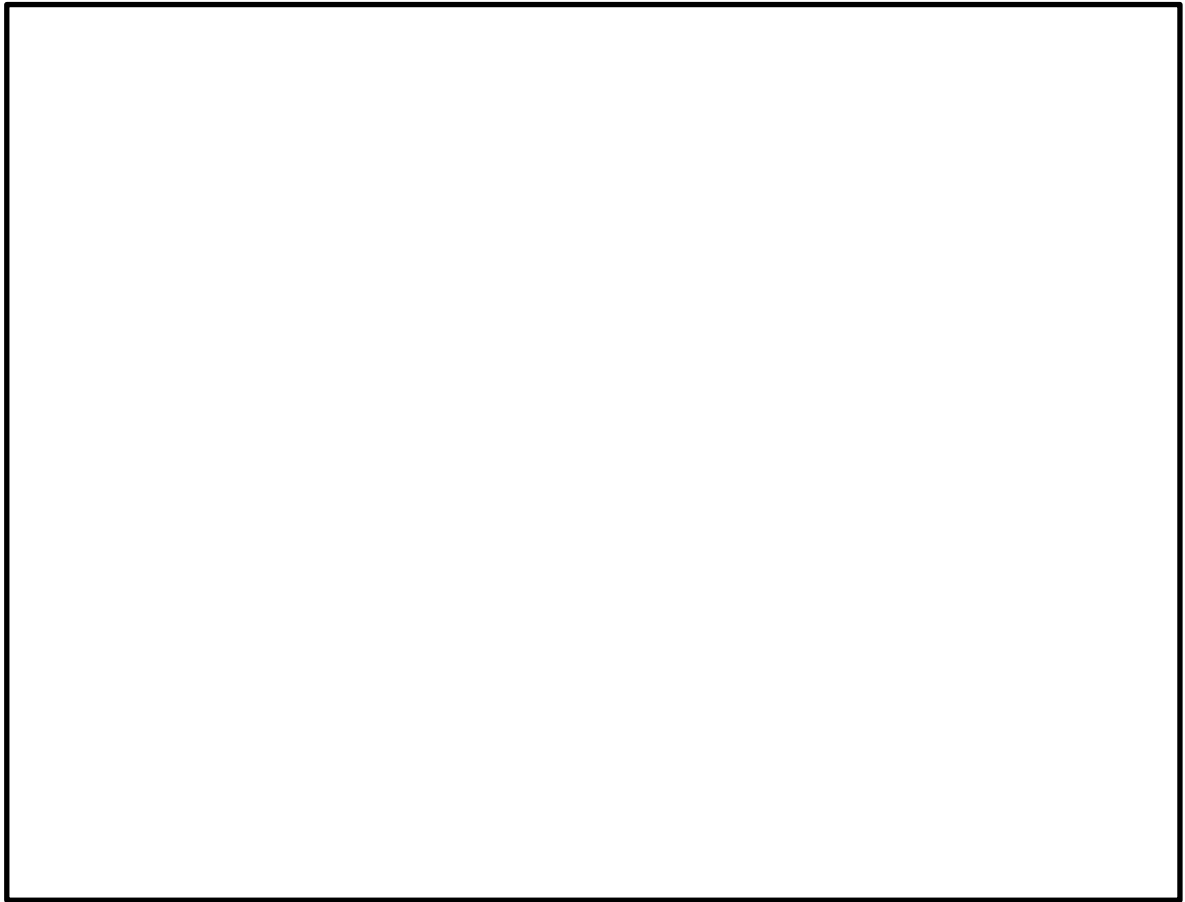


図 2-1 3次元シェルモデル図

### 3. 配管評価

配管は、工事計画記載範囲である主配管のうち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を分類した以下 4 つのパターンの配置概要を図 3-2 に示す。なお、配管系に適用する条件の詳細は補足-027-10-86「サプレッションチェンバに設置される機器及び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。また、補足-027-10-86「サプレッションチェンバに設置される機器及び配管に適用する設計用地震力に関する補足説明資料」に記載のサプレッションチェンバ接続配管のうちパターン A, B, D に該当する配管を表 3-3 の選定対象とした。

- ・パターン A : 原子炉建物内～サプレッションチェンバ貫通部
- ・パターン B : サプレッションチェンバ貫通部～サプレッションチェンバ内
- ・パターン C : 原子炉格納容器内～ベント管貫通部
- ・パターン D : ベント管貫通部～サプレッションチェンバ内

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の条件設定について表 3-4 に、評価結果を表 3-5 に示す。表 3-5 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 3-5 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。

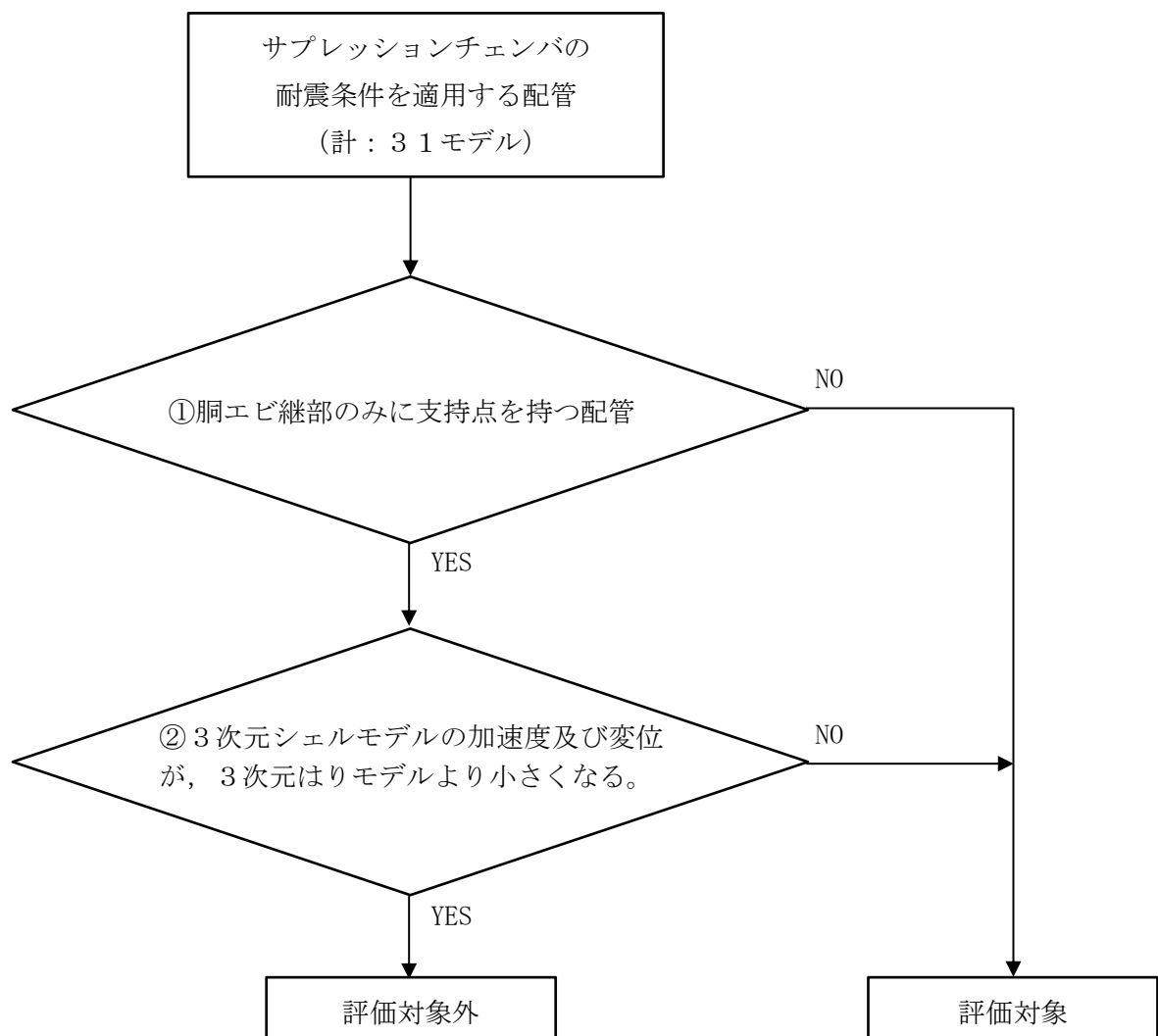
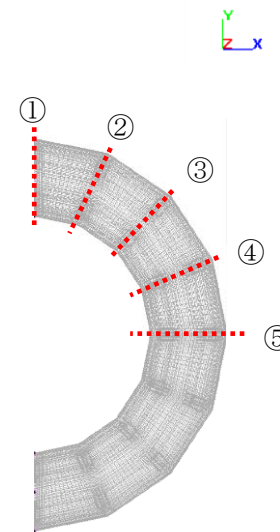


図 3-1 評価対象の選定フロー

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

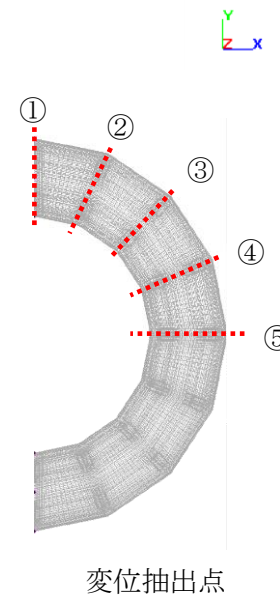


加速度抽出点

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	接続する サブプレッ ションチェ ンパ貫通部	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*1	評価 対象
1	MS-PS-6	X-280C*2	主蒸気系	D	○	—	○
2	MS-PS-7	X-280D*2	主蒸気系	D	○	○	—
3	MS-PS-8	X-280E*2	主蒸気系	D	○	—	○
4	MS-PS-9	X-280F*2	主蒸気系	D	○	○	—
5	MS-PS-10	X-280A*2	主蒸気系	D	○	—	○
6	MS-PS-11	X-280B*2	主蒸気系	D	○	○	—
7	MS-PS-12	X-280M*2	主蒸気系	D	○	—	○
8	MS-PS-13	X-280L*2	主蒸気系	D	○	○	—
9	MS-PS-14	X-280K*2	主蒸気系	D	○	—	○
10	MS-PS-15	X-280J*2	主蒸気系	D	○	○	—
11	MS-PS-16	X-280H*2	主蒸気系	D	○	—	○
12	MS-PS-17	X-280G*2	主蒸気系	D	○	○	—
13	RHR-R-1	X-201	残留熱除去系	A	—	—	○
14	RHR-R-2	X-202	残留熱除去系	A	—	—	○
15	RHR-R-3	X-203	残留熱除去系	A	—	—	○
16	RHR-R-6	X-200A	残留熱除去系	A	—	—	○
17	RHR-R-7	X-204	残留熱除去系	A	—	—	○
18	RHR-R-12	X-200B	残留熱除去系	A	—	—	○
19	RHR-R-14	X-205	残留熱除去系	A	—	—	○
20	RHR-PS-9	X-204	残留熱除去系	B	—	—	○
21	RHR-PS-10	X-205	残留熱除去系	B	—	—	○
22	HPCS-R-1	X-210	高圧炉心スプレイ系	A	—	—	○
23	LPCS-R-1	X-208	低圧炉心スプレイ系	A	—	—	○
24	RCIC-R-1	X-214	原子炉隔離時冷却系	A	—	—	○
25	RCIC-R-4	X-213	原子炉隔離時冷却系	A	—	—	○
26	RCIC-PS-2	X-213	原子炉隔離時冷却系	B	—	—	○
27	SGT-R-1	X-241	非常用ガス処理系	A	—	—	○
28	FCS-R-3	X-242A	可燃性ガス濃度制御系	A	—	—	○
29	FCS-R-4	X-242B	可燃性ガス濃度制御系	A	—	—	○
30	ANI-R-6SP	X-320A	窒素ガス代替注入系	A	—	—	○
31	NGC-R-1	X-240	窒素ガス制御系	A	—	—	○

注記\*1： 頂部以外の胴エビ継部のみに支持点を持つ配管

\*2： ベント管の貫通部

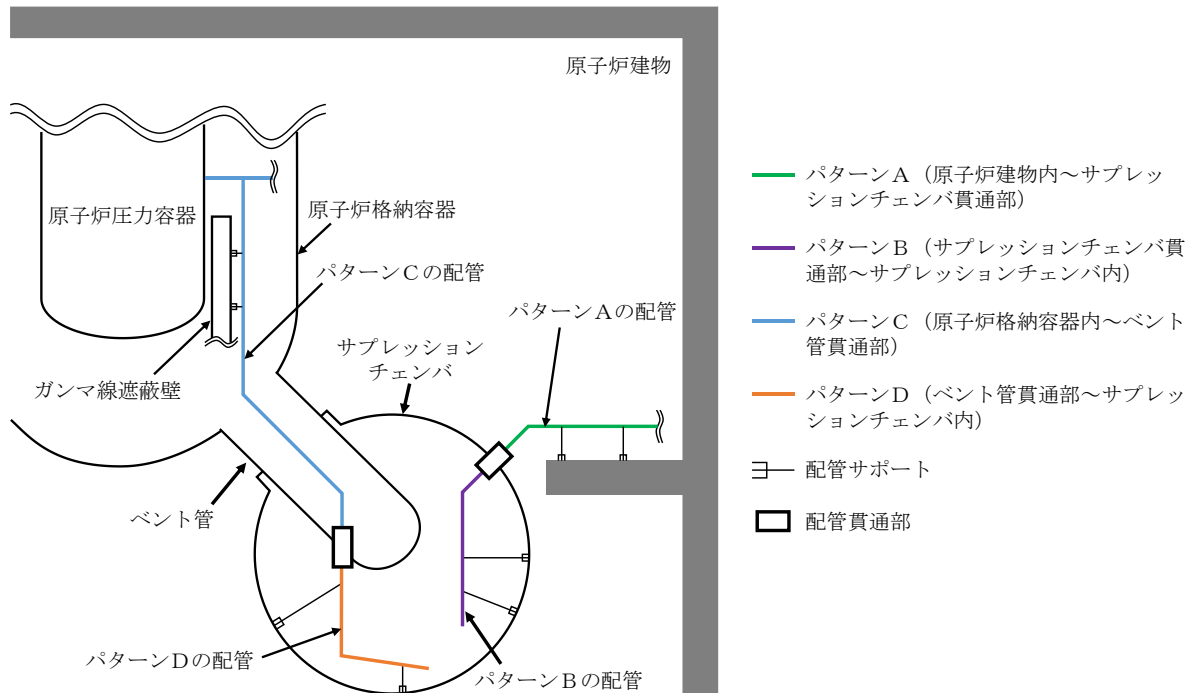


図 3-2 サプレッションチェンバ接続配管の配置概要

表 3-4 オーバル振動を考慮した配管系の耐震評価における  
サプレッションチェンバの耐震条件の入力方法

図 3-2 における 配管パターン		条件	サプレッションチェンバの耐震条件の入力方法	
			オーバル振動を考慮した 耐震評価	(参考) 今回工認の評価
パターン A	原子炉建物内 ～サプレッ ションチェンバ 貫通部	加速度	—*1 (サプレッションチェンバ の耐震条件の入力無し)	—*1 (サプレッションチェンバ の耐震条件の入力無し)
		変位	3次元シェルモデル	3次元はりモデル
パター ンB	サプレッ ションチェンバ貫 通部～サプレ ッションチェ ンバ内	加速度	3次元シェルモデル	3次元はりモデル
		変位	—*2 (サプレッションチェンバ の耐震条件の入力無し)	—*2 (サプレッションチェンバ の耐震条件の入力無し)
パター ンD	ベント管貫通 部～サプレッ ションチェン バ内	加速度	3次元シェルモデル	3次元はりモデル
		変位	3次元シェルモデル	3次元はりモデル

注記\*1：主な支持点である原子炉建物の耐震条件を適用。

\*2：全ての支持点がサプレッションチェンバに位置しているため、相対変位の入力は無い。

表 3-5 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

図 3-2 における 配管パターン		配管モデル	応力の 種類	オーバル振動を考慮し た耐震評価結果*1		(参考) 今回工認の 評価結果	
				算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
パターン A	原子炉建物内 ～サプレッショ ンチェンバ 貫通部	RHR-R-2	一次	141	335	141*2	335
		ANI-R-6SP	一次+ 二次	405	414	175*2	414
パターン B	サプレッショ ンチェンバ貫 通部～サプレ ッションチェ ンバ内	RCIC-PS-2	一次	174	363	146*2	363
		RCIC-PS-2	一次+ 二次	300	418	253*2	418
パターン D	ベント管貫通 部～サプレッ ションチェン バ内	MS-PS-8	一次	95	363	95*3	363
		MS-PS-12	一次+ 二次	327	394	294*2	394

注記\*1：サプレッションチェンバの耐震条件は表 2-1 に示す解析モデルにより算出したものを適用した。なお、MS-PS-8 及び MS-PS-12 は胴エビ継部のみに支持点を持つ配管であり、表 3-1 のとおり、胴エビ継部のみに支持点を持つ配管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ため、オーバル振動を考慮した耐震条件を上回る条件として今回工認と同様の加速度を適用した。また、RHR-R-2 は原子炉建物の加速度を適用しているため、一次応力の算出応力が今回工認と同じ値となる。

\*2：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) 又は設計用震度 I (基準地震動 S s) により算出した応力

\*3：設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る震度により算出した応力

#### 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サプレッションチェンバの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、X-320A は計装配管貫通部であり、有意な荷重が加わらないと考えられるため評価対象から除外する（本文 3. 参照）。このため、評価対象とする配管貫通部は 15 箇所である。

評価に当たっては、3. の配管評価において算出した配管反力及び 3 次元シェルモデルから算出したサプレッションチェンバ胴の応力を用いて、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。

3 次元はりモデルと 3 次元シェルモデルの相対変位の比較結果を表 4-1 及び図 4-1, 2 に示す。

比較結果より、胴上部の貫通部のうち、X-241, X-205, X-200A, X-200B は 3 次元シェルモデルの管軸方向の相対変位が 3 次元はりモデルよりも大きいことを確認した。これらの貫通部は、P C V 方位における水平方向へのオフセット距離が  mm 以下であり、貫通部位置が胴一般部の中央付近、すなわち補強リングから離れた位置である。このため、オーバル振動を含む胴一般部の変形の影響が大きく、3 次元シェルモデルの管軸方向相対変位が大きくなったと考えられる。

これに対して、胴上部の貫通部のうち、X-240, X-204, X-213, X-242A, X-242B は 3 次元シェルモデルの管軸方向の相対変位が 3 次元はりモデルよりも小さい。これらの貫通部は、P C V 方位における水平方向へのオフセット距離が  mm 以上であり、補強リングに近い位置である。このため、胴一般部の変形が抑制され、3 次元シェルモデルの管軸方向相対変位が小さくなったと考えられる。

また、胴下部では、すべての貫通部において 3 次元シェルモデルの管軸方向の相対変位が 3 次元はりモデルよりも大きいことを確認した。胴下部は、サプレッションチェンバの内部水と接する領域であり、オーバル振動の影響が大きいため、3 次元シェルモデルの管軸方向相対変位が大きくなったと考えられる。

許容荷重領域による評価結果を表 4-2, 図 4-3~図 4-17 に示す。また、詳細評価による評価結果を表 4-3, 4 に示す。表 4-2~4 より、いずれの貫通部においても許容値を下回ることを確認した。

表 4-1 配管貫通部における 3次元はりモデルと 3次元シェルモデルの相対変位

貫通部 番号	3次元シェルモデル／3次元 はりモデルの相対変位比*1			貫通部位置		備考
	管軸 方向	胴軸 方向	胴周 方向	P C V方位	サプレッション チェンバ角度	
X-201	1.43	0.34	0.34			
X-202	1.50	0.33	0.36			
X-203	1.59	0.37	0.38			
X-208	1.56	0.31	0.37			
X-210	1.50	0.31	0.36			
X-240	0.77	0.48	0.48			
X-241	1.60	0.55	0.41			代表貫通部
X-204	0.37	0.50	0.48			
X-205	1.15	0.52	0.44			
X-213	0.66	0.52	0.43			
X-214	1.72	0.37	0.31			
X-242A	0.81	0.54	0.46			
X-242B	0.80	0.50	0.47			
X-200A	1.50	0.64	0.48			
X-200B	1.46	0.65	0.47			

注記\*1：3次元シェルモデル（3方向SRSS）／3次元はりモデル（3方向絶対値和）にて算出

\*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）

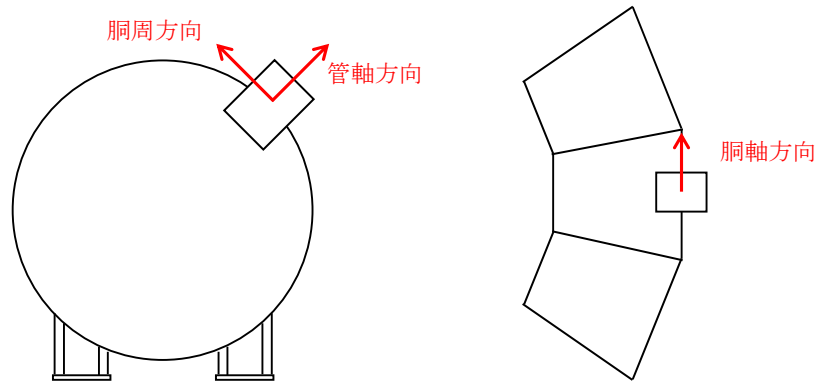


図 4—1 相対変位の向き

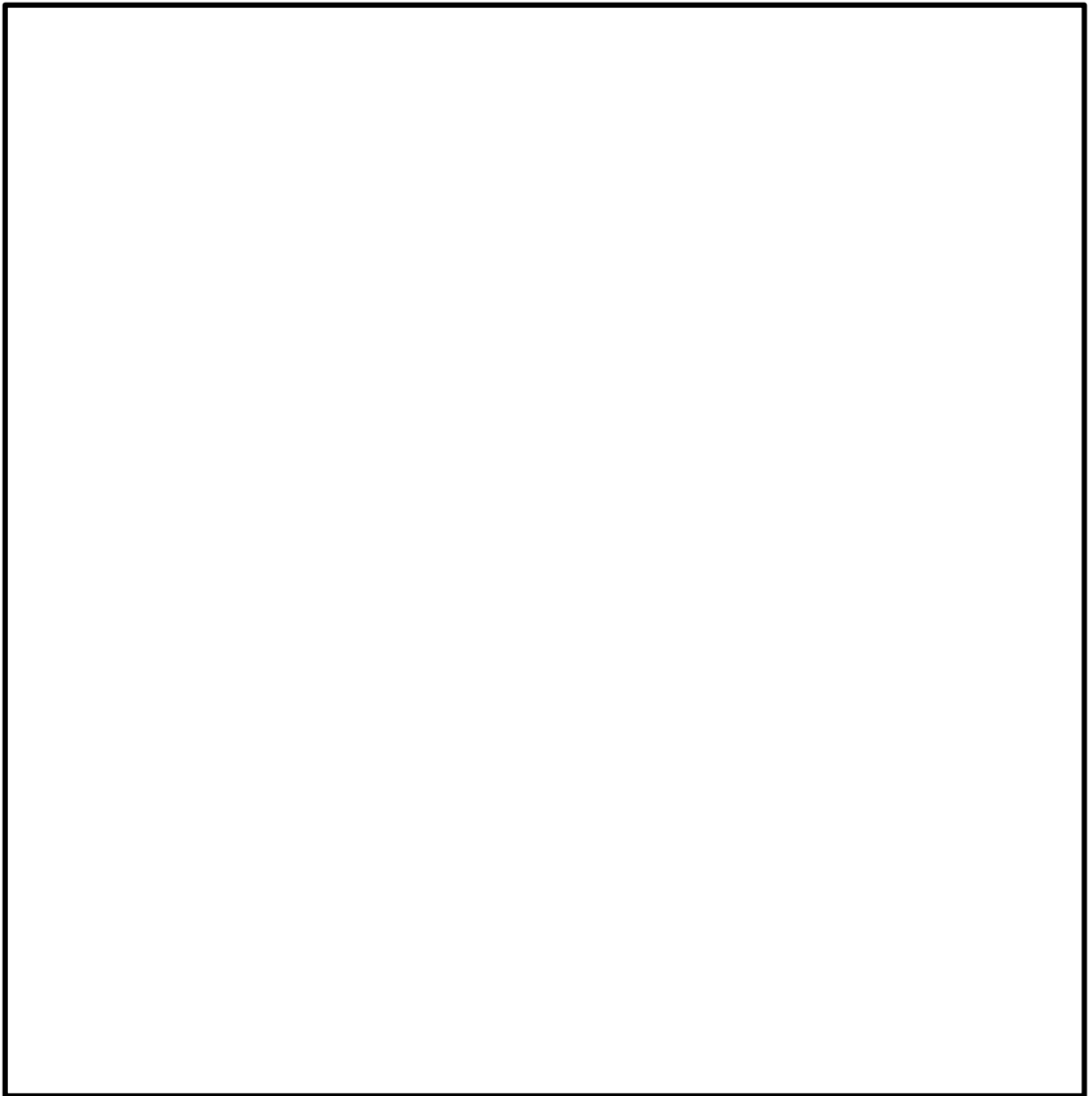
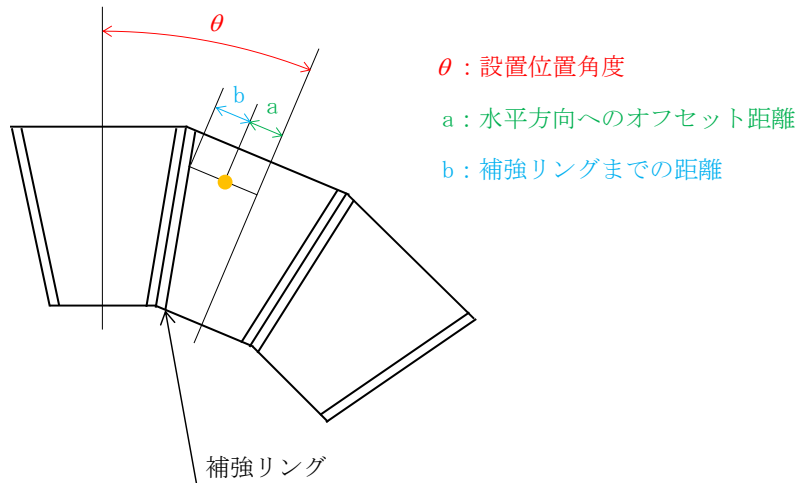


図 4—2(1) 貫通部位置



水平方向のオフセット距離aが大きくなると、配管貫通部位置は補強リングに近くなる（補強リングまでの距離bが小さくなる）。

図 4—2 (2) 貫通部位置

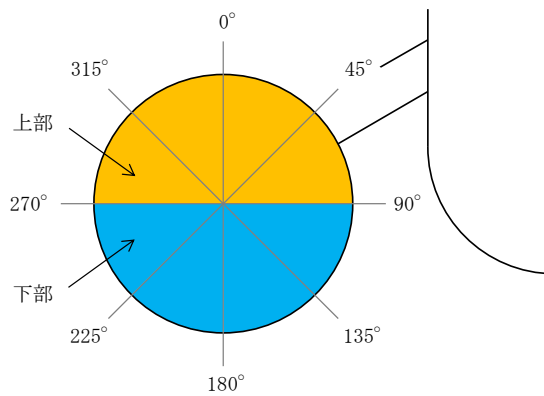


図 4—2 (3) 貫通部位置

表 4-2 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-201	○	×
X-202	○	×
X-203	○	×
X-208	○	×
X-210	○	×
X-240	○	×
X-241	○	×
X-204	○	×
X-205	○	×
X-213	○	×
X-214	○	×
X-242A	○	×
X-242B	○	×
X-200A	×	×
X-200B	×	×



表 4-3 詳細評価による確認結果(1/2)

貫通部番号	応力分類	評価部位	許容応力状態	評価結果		裕度 (許容値/発生値)	判定
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-201	一次+二次応力	補強版取付部	IV <sub>A</sub> S	792	501	0.63	×
			V <sub>A</sub> S	792	501	0.63	×
X-202			IV <sub>A</sub> S	871	501	0.57	×
			V <sub>A</sub> S	871	501	0.57	×
X-203			IV <sub>A</sub> S	766	501	0.65	×
			V <sub>A</sub> S	766	501	0.65	×
X-208			IV <sub>A</sub> S	721	501	0.69	×
			V <sub>A</sub> S	721	501	0.69	×
X-210			IV <sub>A</sub> S	731	501	0.68	×
			V <sub>A</sub> S	731	501	0.68	×
X-240			IV <sub>A</sub> S	670	501	0.74	×
			V <sub>A</sub> S	670	501	0.74	×
X-241			IV <sub>A</sub> S	926	501	0.54	×
			V <sub>A</sub> S	926	501	0.54	×
X-204			IV <sub>A</sub> S	862	501	0.58	×
			V <sub>A</sub> S	862	501	0.58	×
X-205			IV <sub>A</sub> S	798	501	0.62	×
			V <sub>A</sub> S	798	501	0.62	×

表 4-3 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		裕度 (許容値/発生値)	判定
				発生値	許容値		
				MPa	MPa		
X-213	一次+二次応力	補強版取付部	IV <sub>A</sub> S	870	501	0.57	×
			V <sub>A</sub> S	870	501	0.57	×
X-214			IV <sub>A</sub> S	476	501	1.05	○
			V <sub>A</sub> S	476	501	1.05	○
X-242A			IV <sub>A</sub> S	708	501	0.70	×
			V <sub>A</sub> S	708	501	0.70	×
X-242B			IV <sub>A</sub> S	492	501	1.01	○
			V <sub>A</sub> S	492	501	1.01	○
X-200A	一次膜応力+ 一次曲げ応力	補強版取付部	V <sub>A</sub> S	310	490	1.58	○
	一次+二次応力	原子炉格納容器胴と スリーブとの結合部	IV <sub>A</sub> S	654	501	0.76	×
			V <sub>A</sub> S	654	501	0.76	×
X-200B	一次膜応力+ 一次曲げ応力	補強版取付部	V <sub>A</sub> S	312	490	1.57	○
	一次+二次応力	原子炉格納容器胴と スリーブとの結合部	IV <sub>A</sub> S	690	501	0.72	×
			V <sub>A</sub> S	690	501	0.72	×

表 4-4 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-201	IVAS	792							0.600	
	VAS	792							0.658	
X-202	IVAS	871							0.899	
	VAS	871							0.987	
X-203	IVAS	766							0.521	
	VAS	766							0.573	
X-208	IVAS	721							0.391	
	VAS	721							0.429	
X-210	IVAS	731							0.418	
	VAS	731							0.458	
X-240	IVAS	670							0.270	
	VAS	670							0.300	
X-241	IVAS	926							0.847	
	VAS	926							0.827	
X-204	IVAS	862							0.867	
	VAS	862							0.950	

注記\*：本疲労評価は、個別に設定した等価繰返し回数  回を適用し評価を実施した。

表 4-4 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-205	IV <sub>A</sub> S	798							0.623	
	V <sub>A</sub> S	798							0.682	
X-213	IV <sub>A</sub> S	870							0.974	
	V <sub>A</sub> S	870							0.987	
X-242A	IV <sub>A</sub> S	708							0.379	
	V <sub>A</sub> S	708							0.416	
X-200A	IV <sub>A</sub> S	654							0.499	
	V <sub>A</sub> S	654							0.546	
X-200B	IV <sub>A</sub> S	690							0.661	
	V <sub>A</sub> S	690							0.725	

$K_e$  : 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：設計・建設規格 PVB-3140 により運転状態 I，II において疲労解析を要しないことを確認しているため，疲労累積係数は地震動のみによる疲労累積係数とする。

注記\*： $S_e$  に  $(E_o/E)$  を乗じた値である。

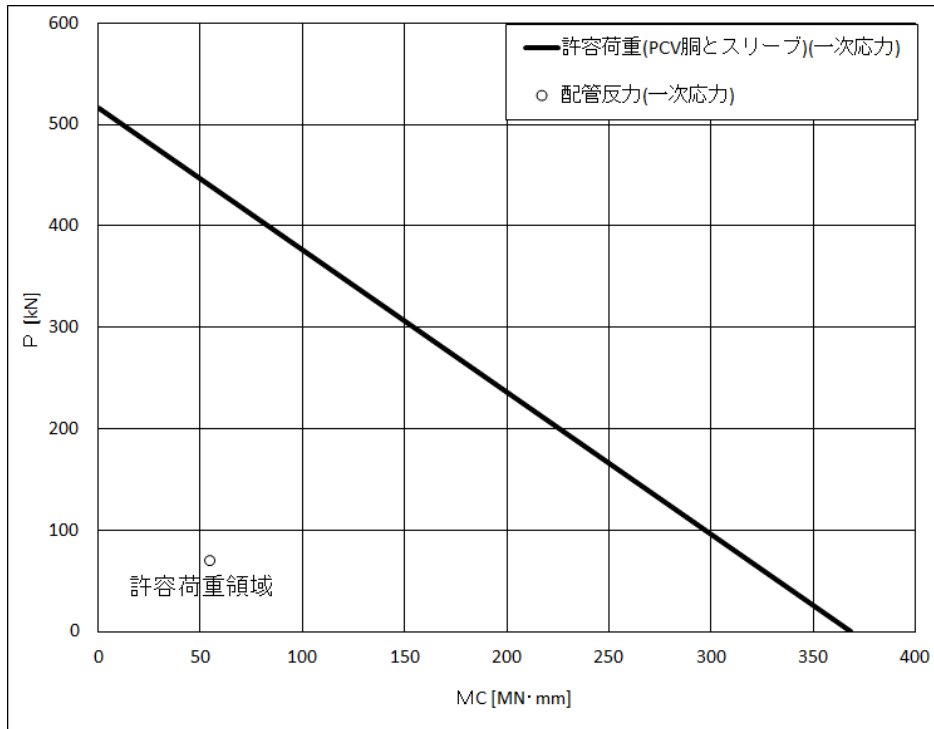
$$E_o = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$E = 1.98 \times 10^5 \text{ MPa (X-213 以外 IVAS : 104°C)}$$

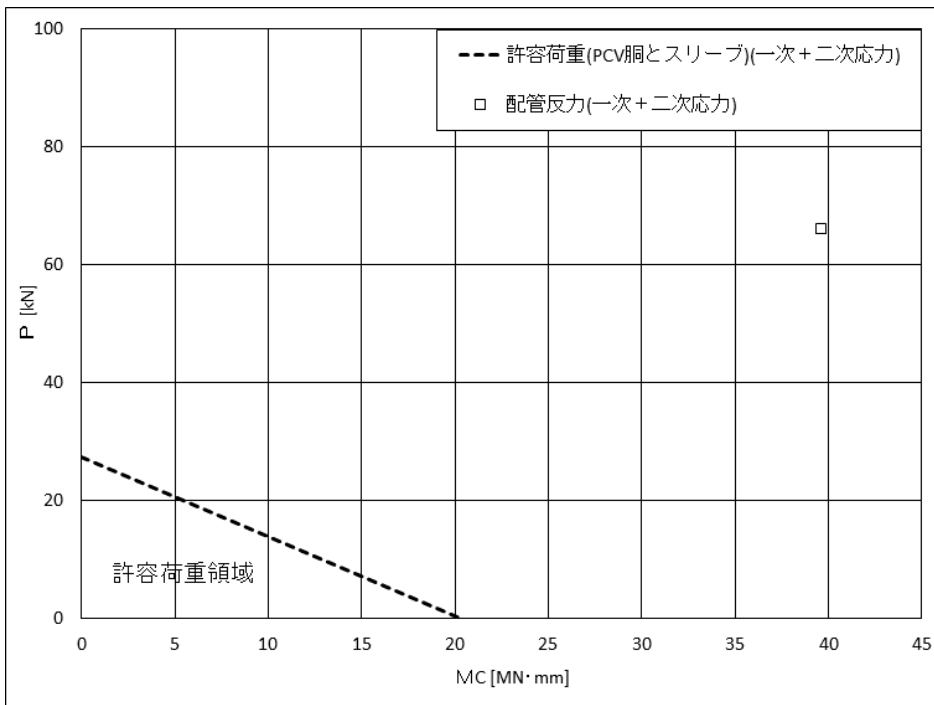
$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa (X-241 以外 VAS : 200°C)}$$

$$E = 1.92 \times 10^5 \text{ MPa (X-213 IVAS : 184°C)}$$

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

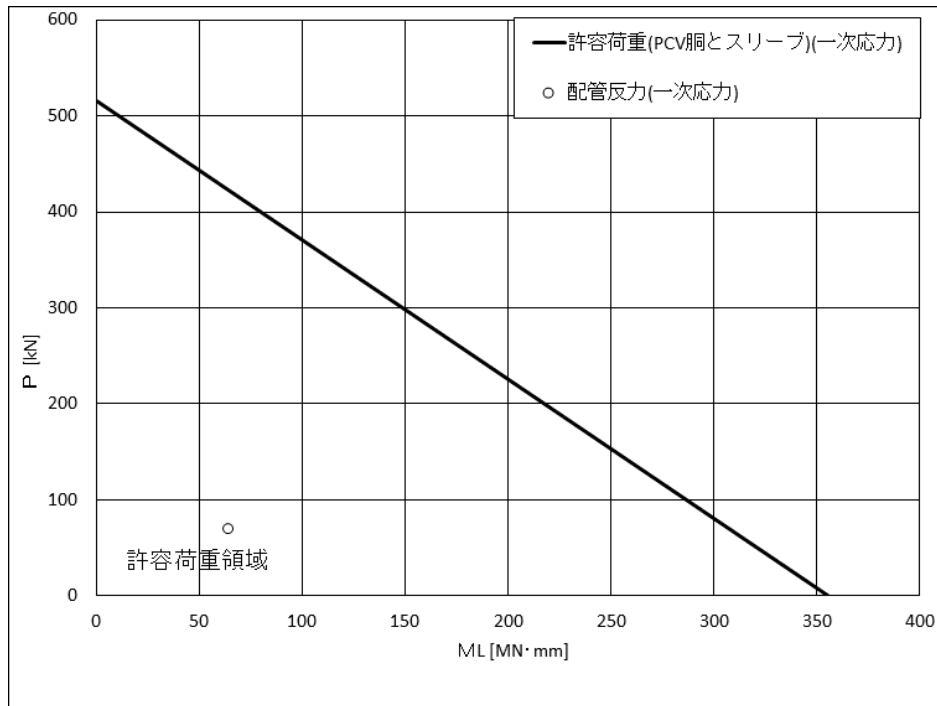


上図：一次応力に対する許容荷重領域

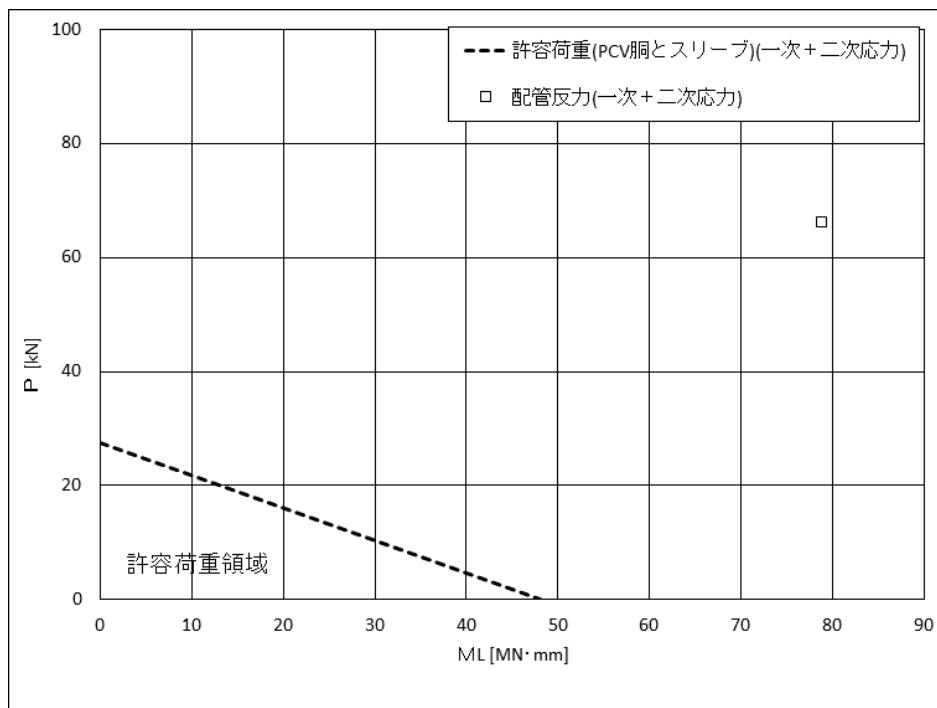


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-3 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 MC）

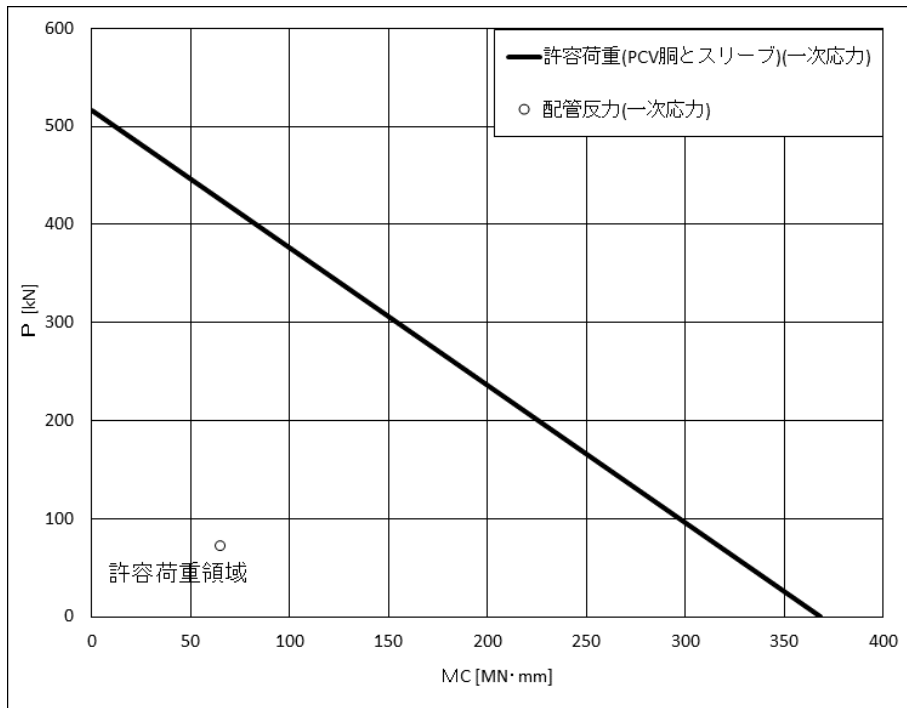


上図：一次応力に対する許容荷重領域

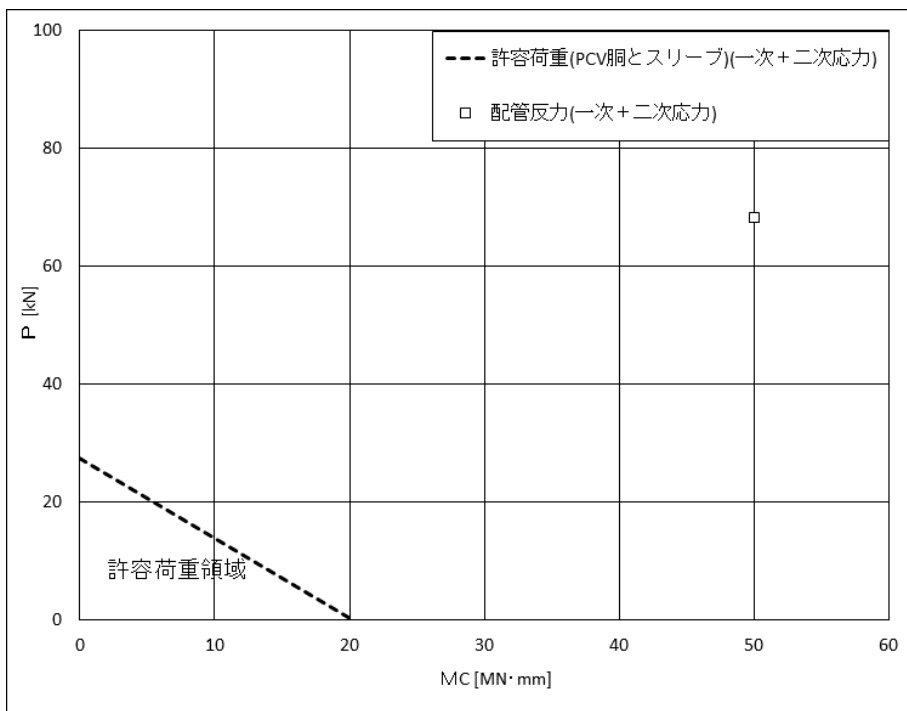


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-3 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  $M_L$ ）



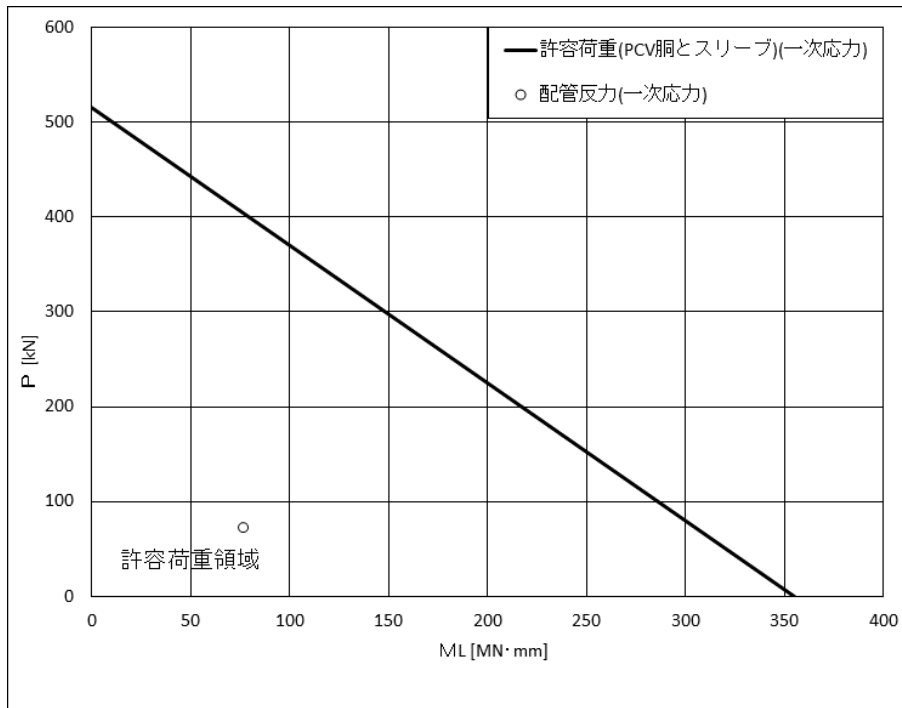
上図：一次応力に対する許容荷重領域



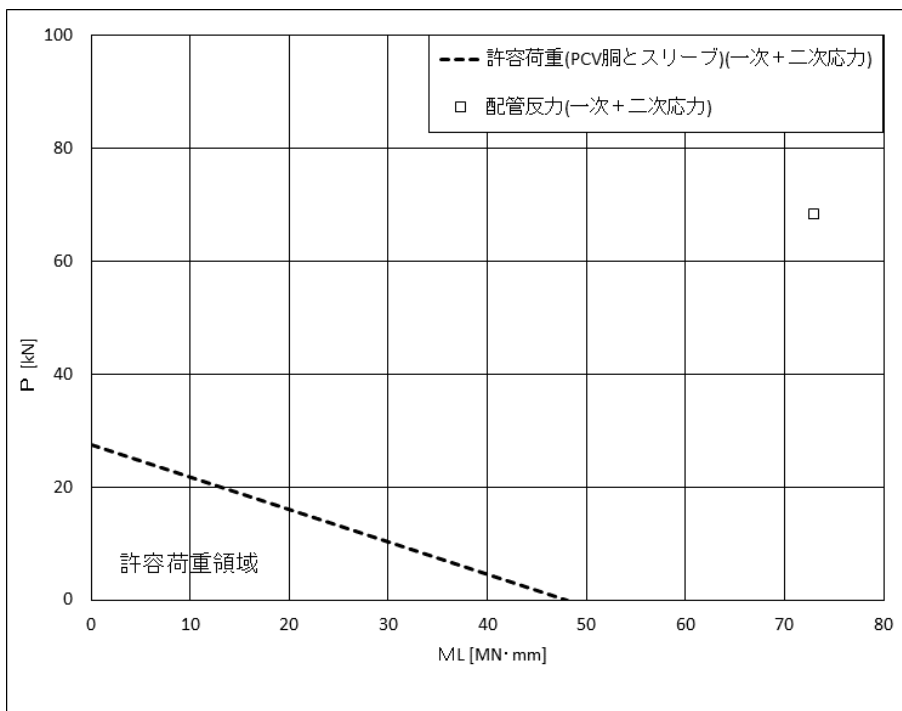
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-4 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 MC）



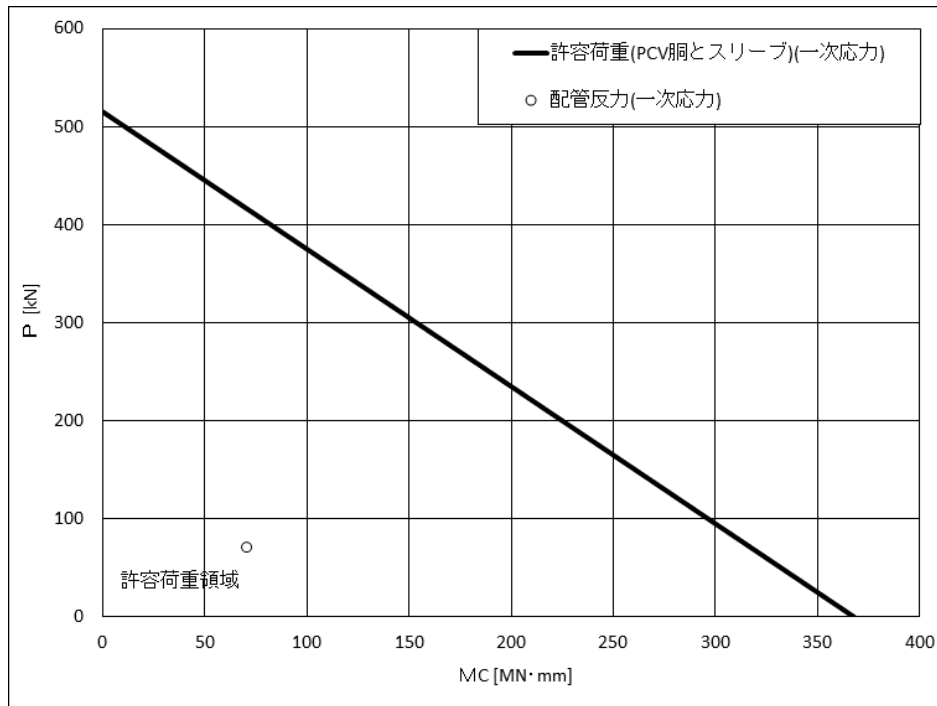


上図：一次応力に対する許容荷重領域

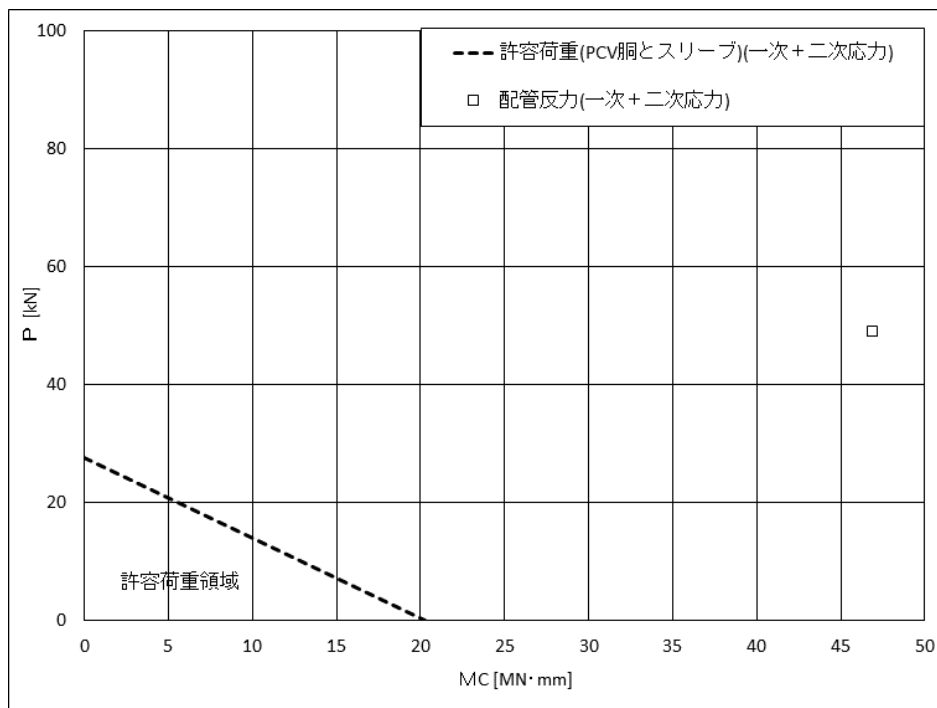


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-4 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  $M_L$ ）

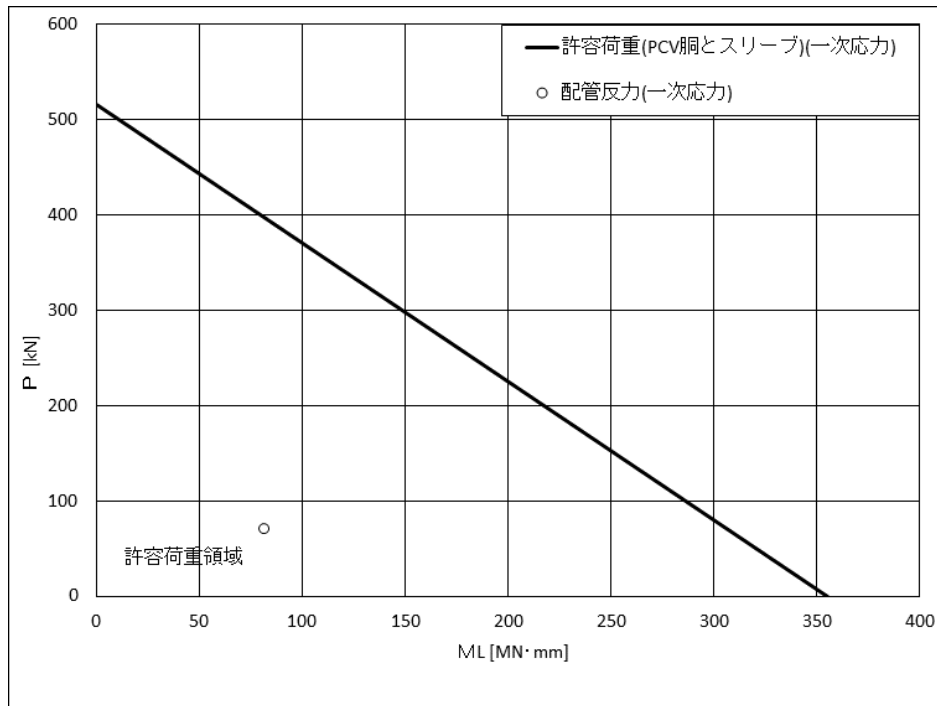


上図：一次応力に対する許容荷重領域

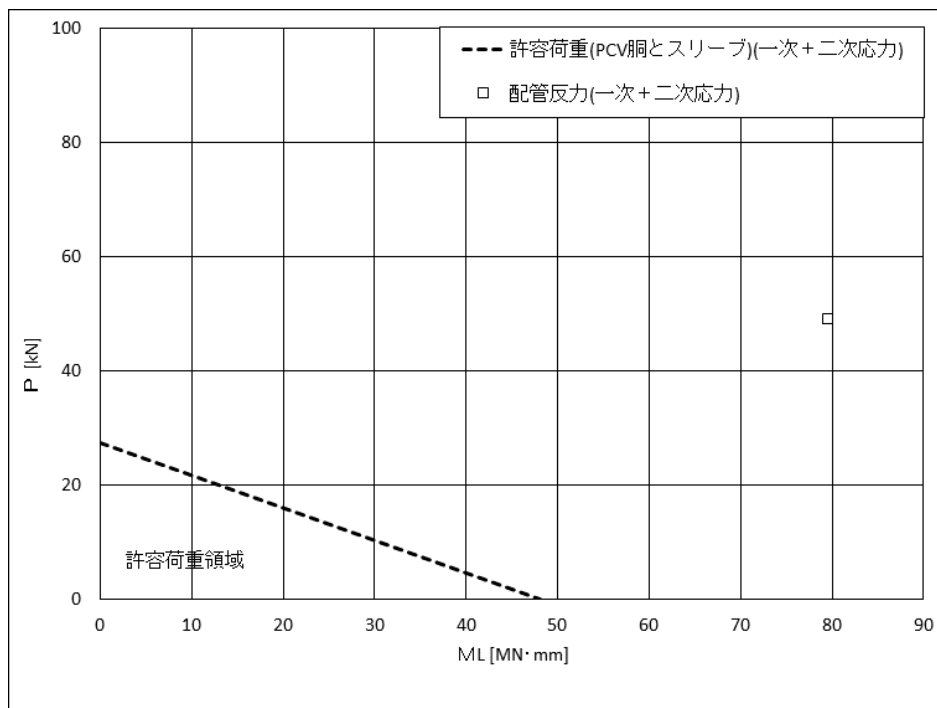


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-5 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  $M_C$ )

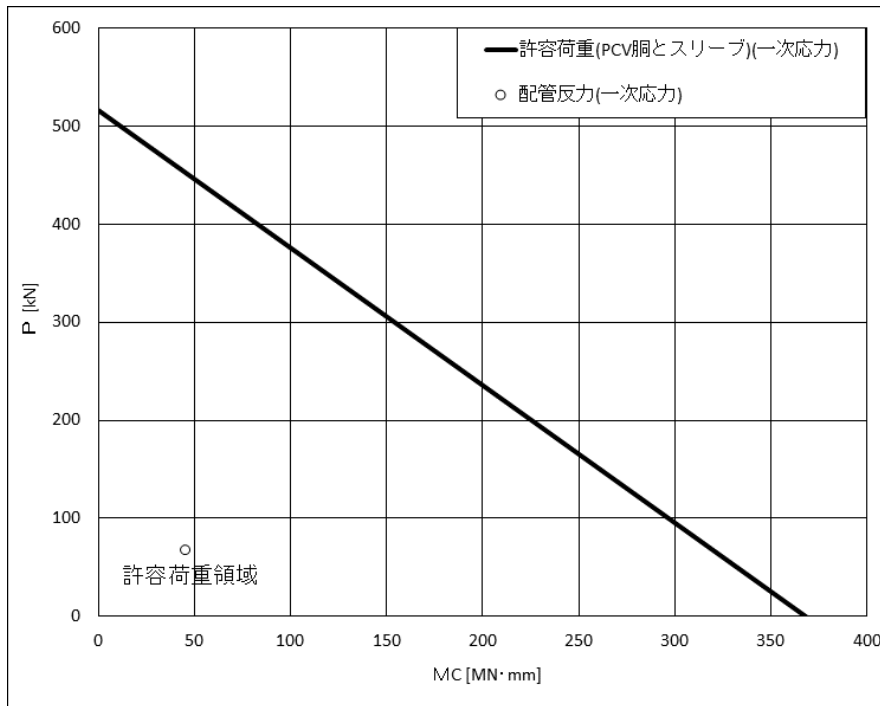


上図：一次応力に対する許容荷重領域

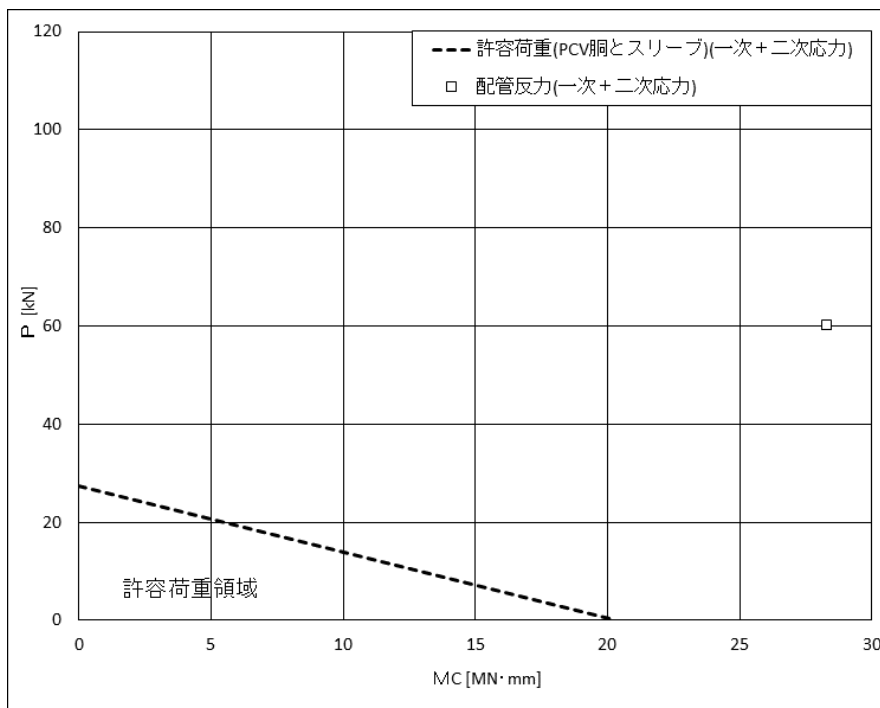


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-5 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  $M_L$ ）

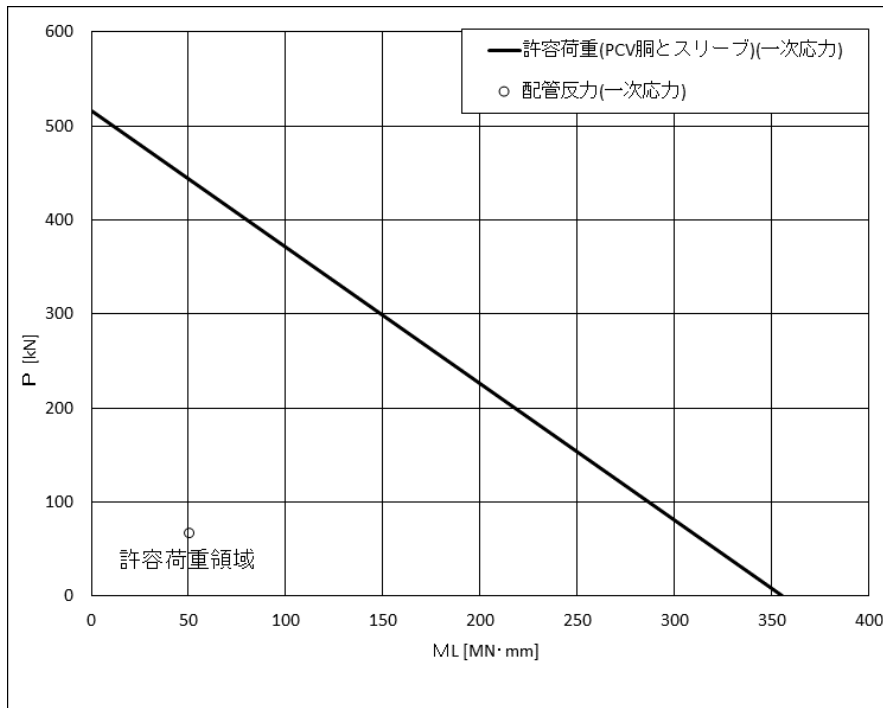


上図：一次応力に対する許容荷重領域

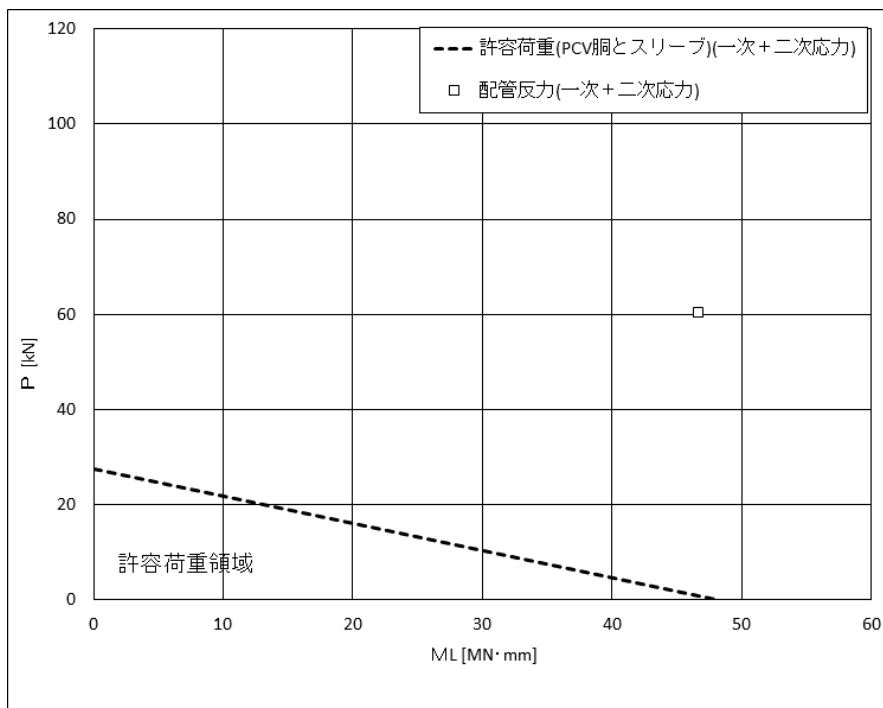


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-6 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 MC）

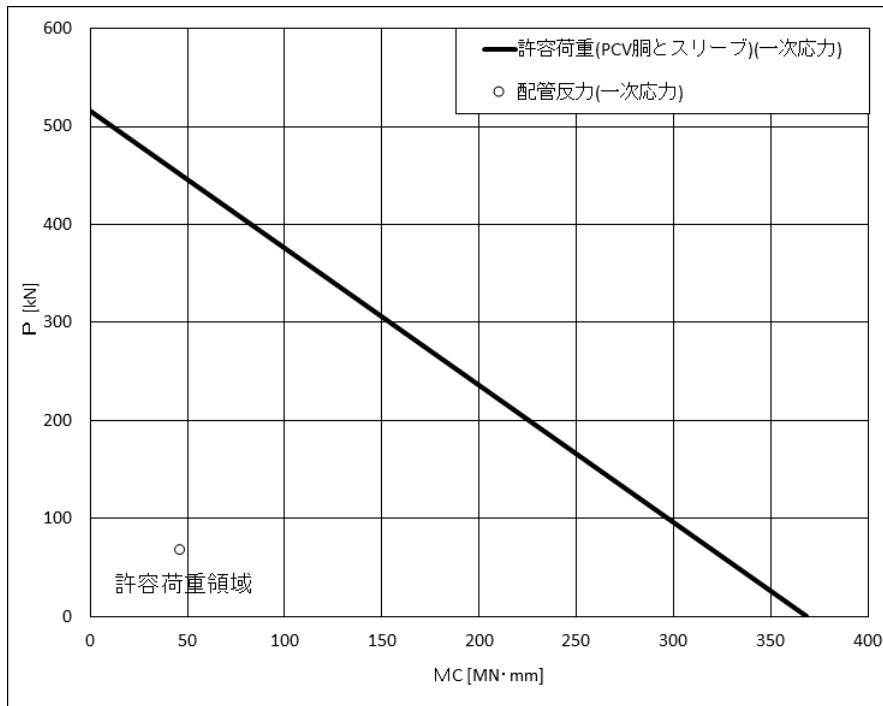


上図：一次応力に対する許容荷重領域

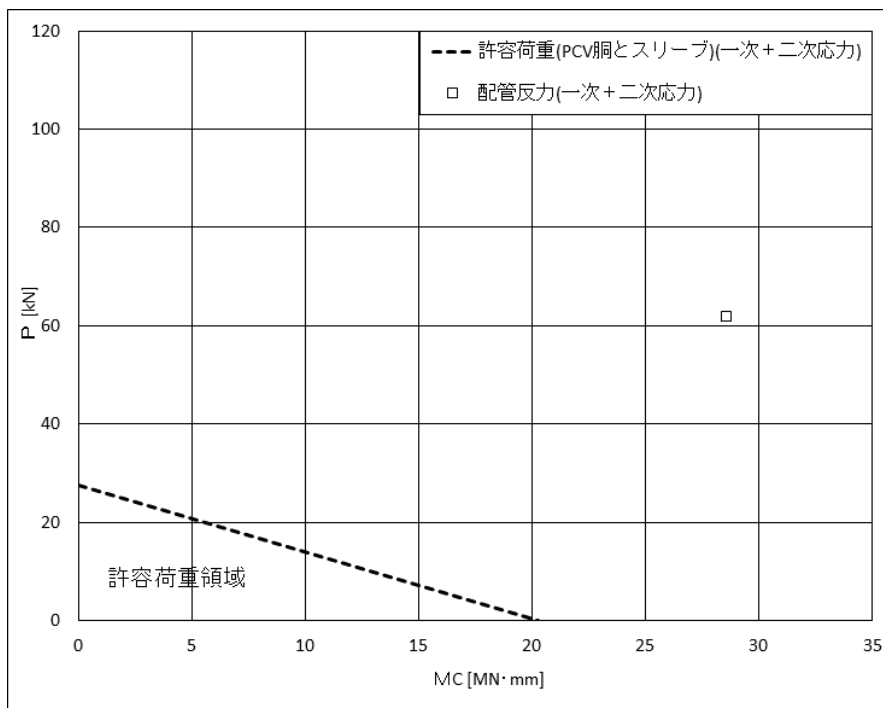


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-6 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  $M_L$ ）

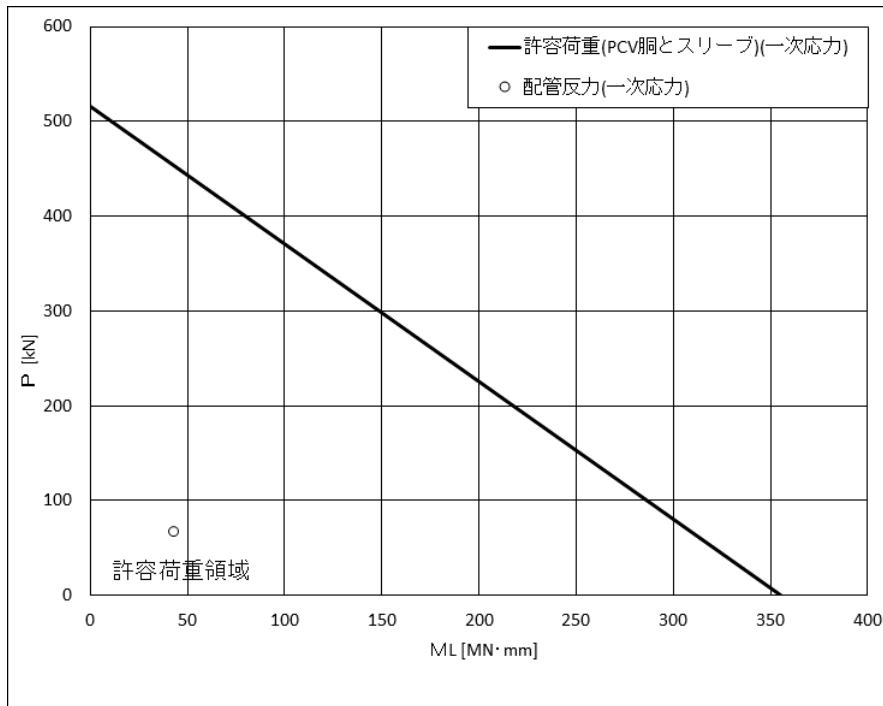


上図：一次応力に対する許容荷重領域

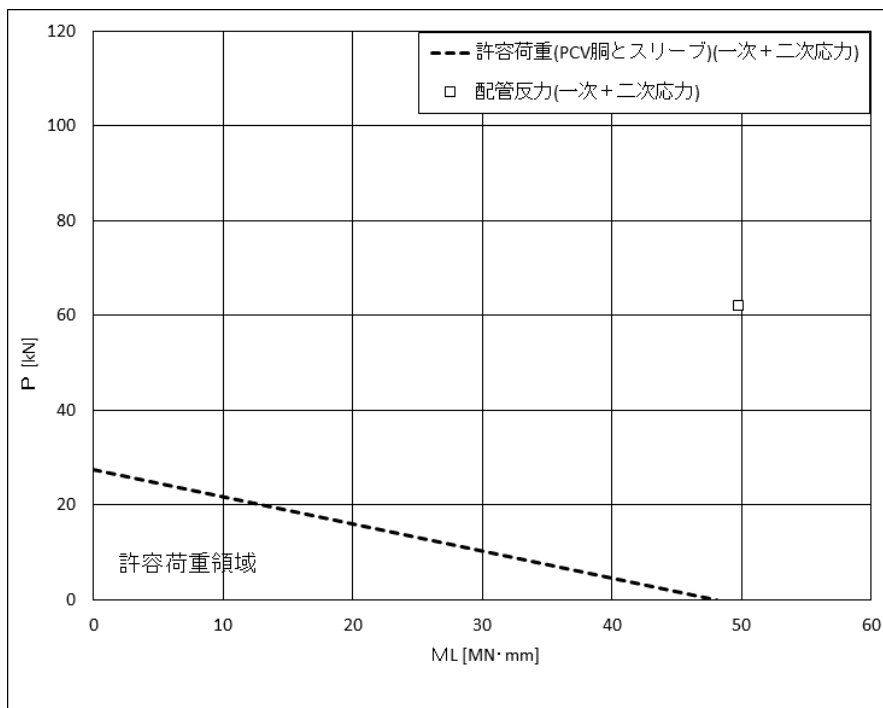


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-7 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 MC）

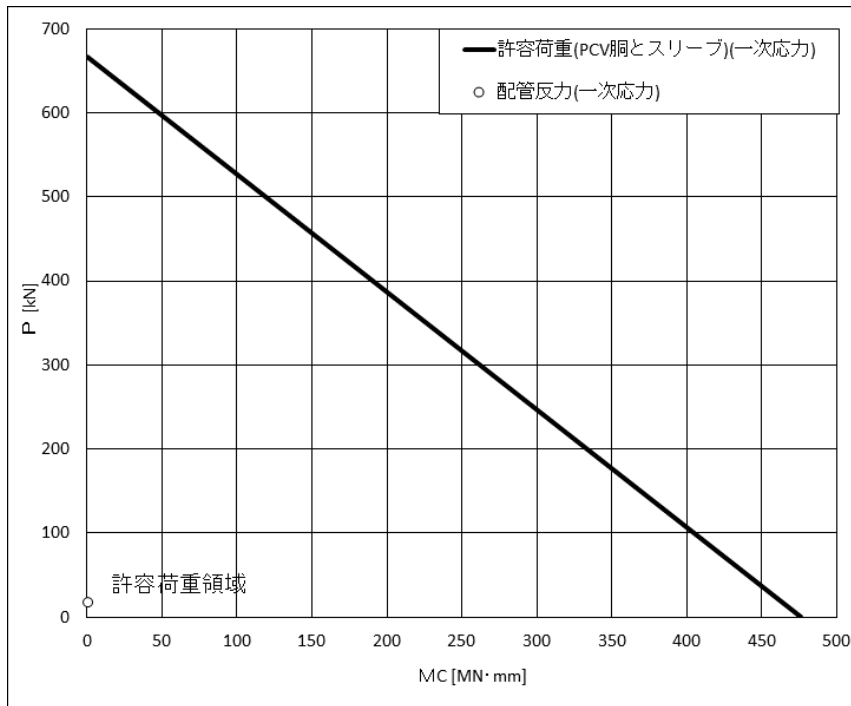


上図：一次応力に対する許容荷重領域

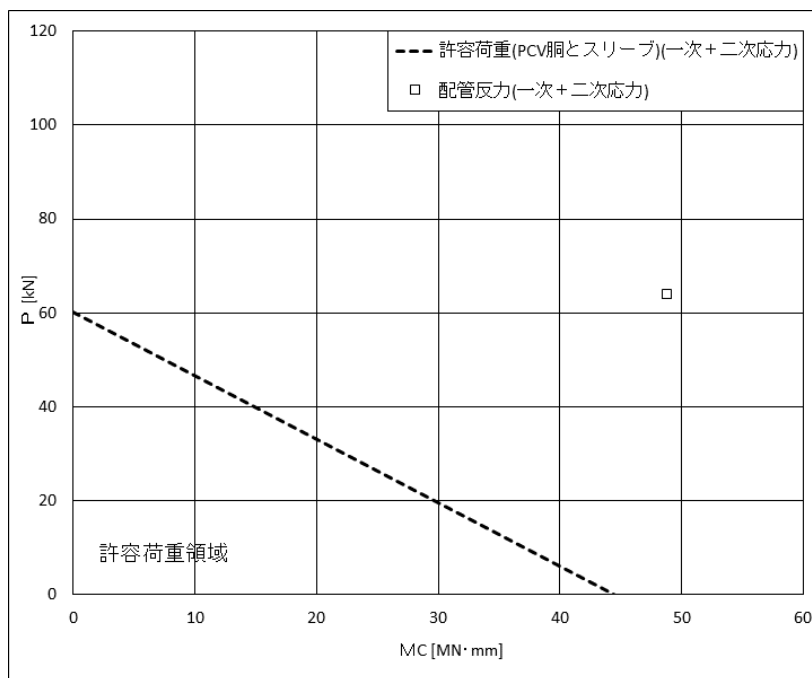


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-7 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  $M_L$ )



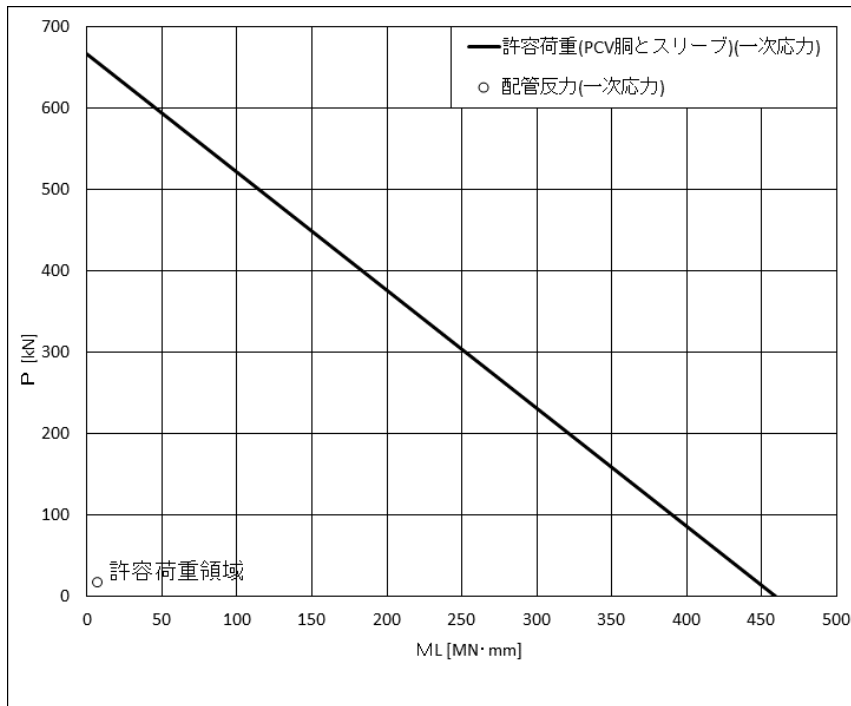
上図：一次応力に対する許容荷重領域



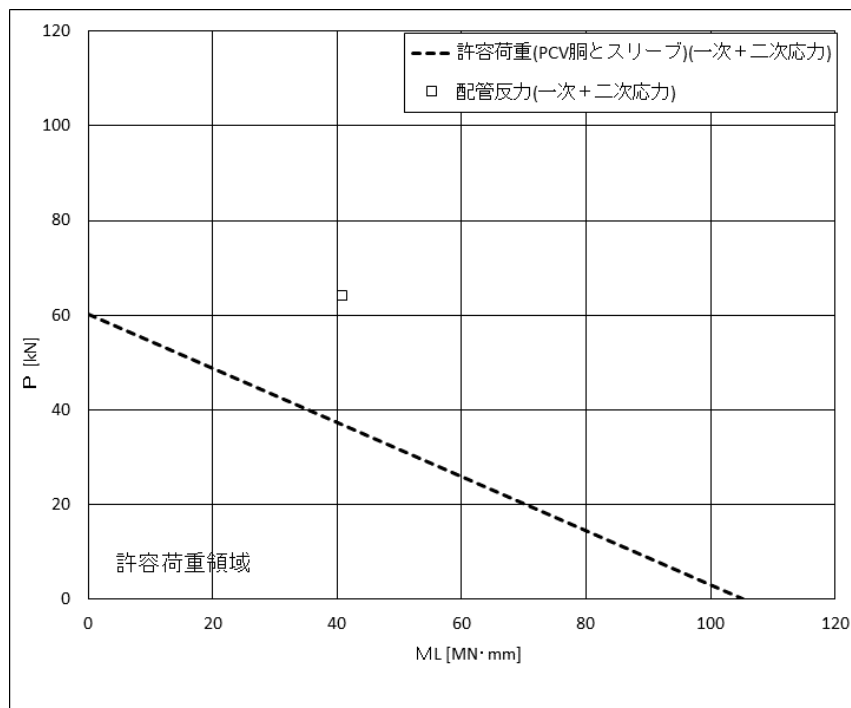
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-8 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  $M_C$ ）



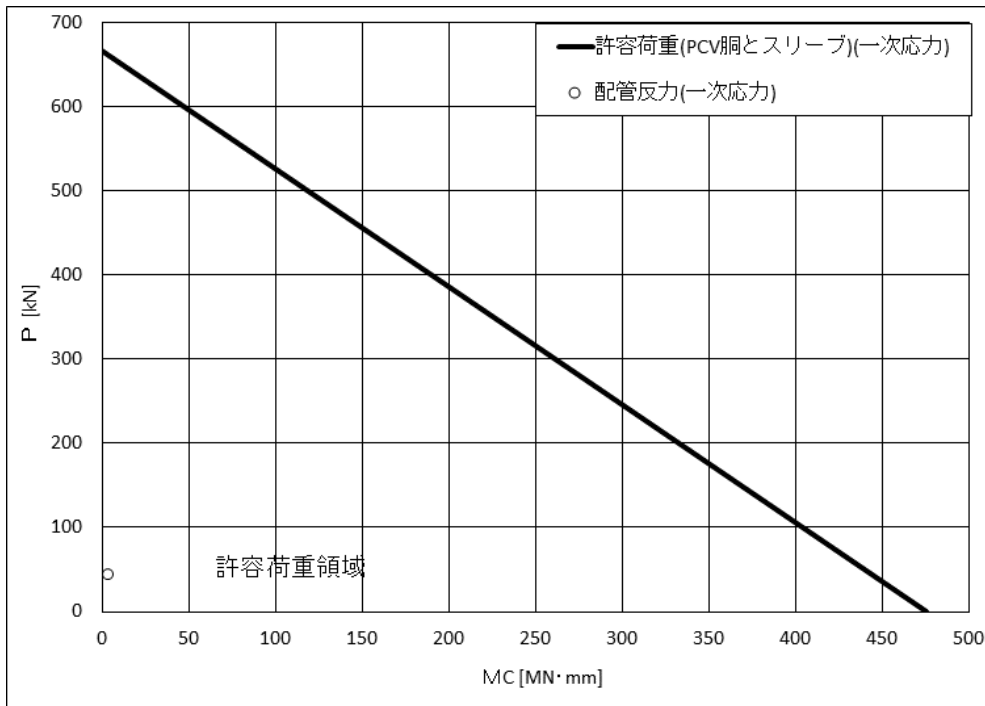


上図：一次応力に対する許容荷重領域

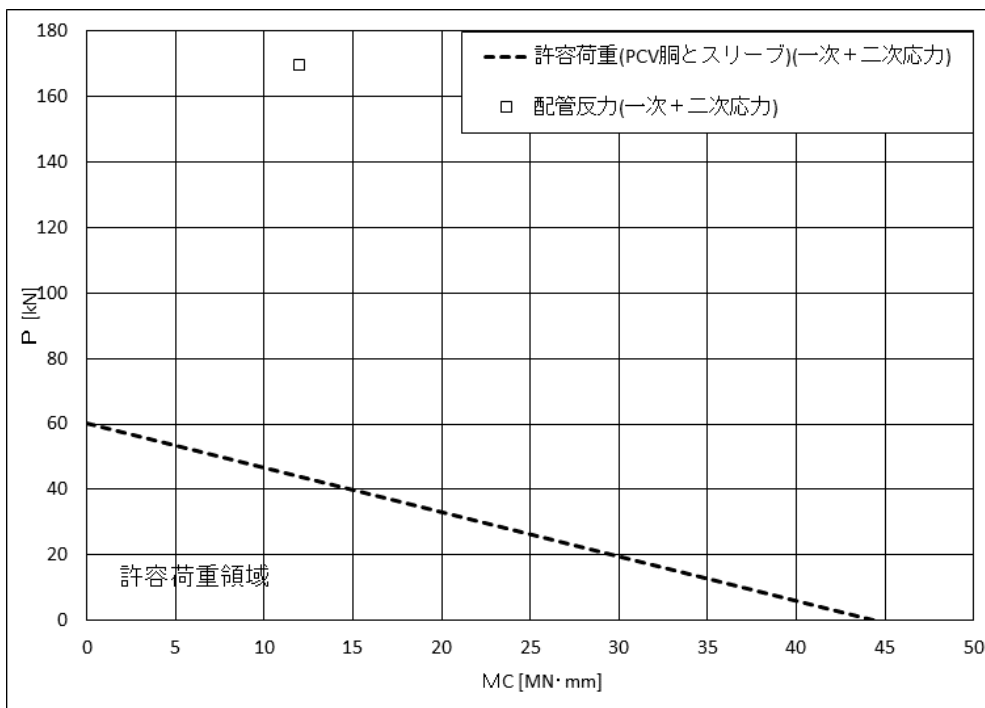


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-8 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  $M_L$ ）

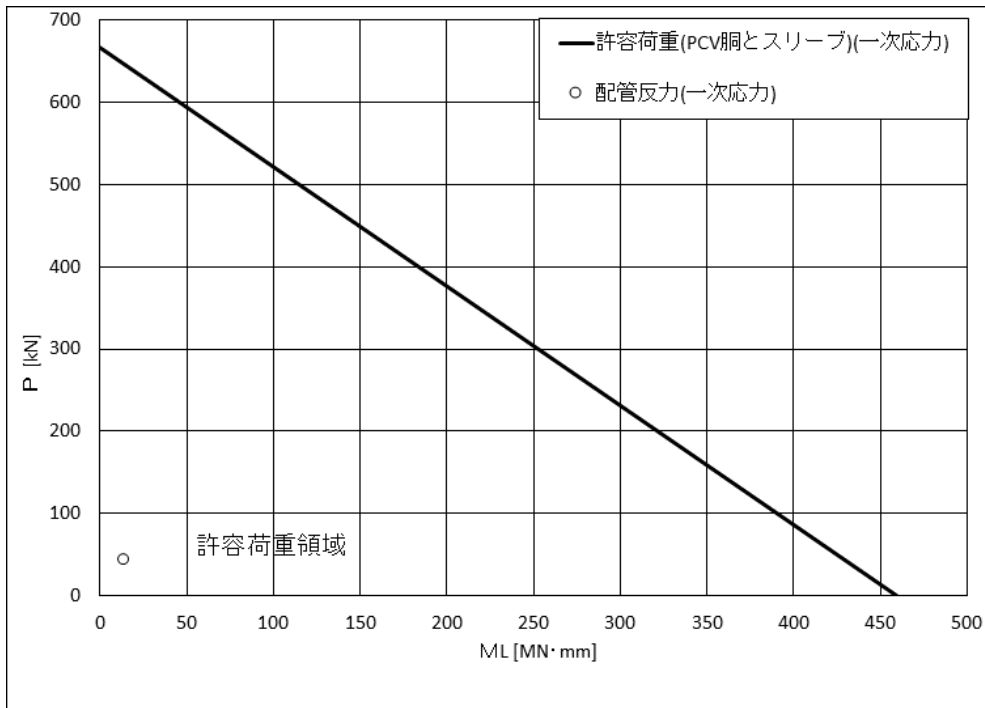


上図：一次応力に対する許容荷重領域

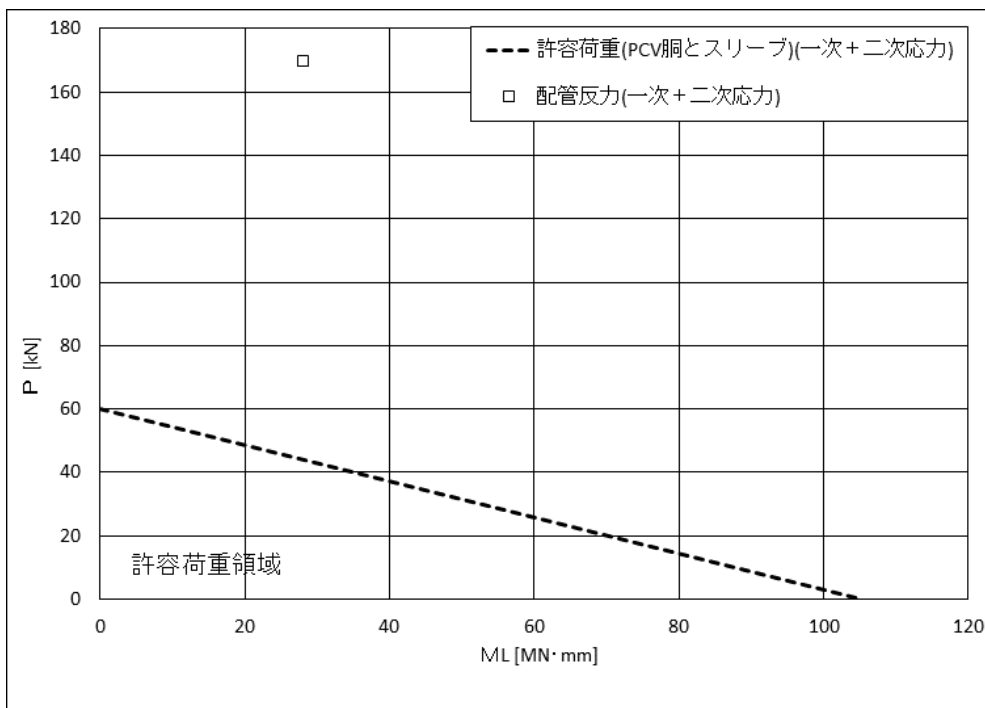


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-9 許容荷重領域による確認結果 (貫通部 No. X-241) (その 1 : 縦軸 P - 横軸 MC)

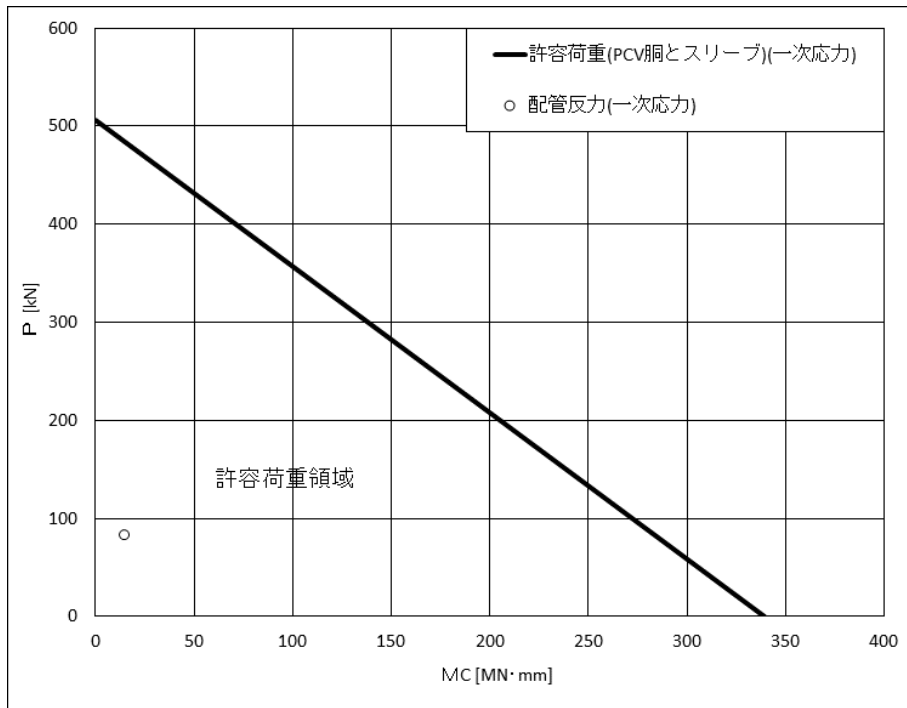


上図：一次応力に対する許容荷重領域

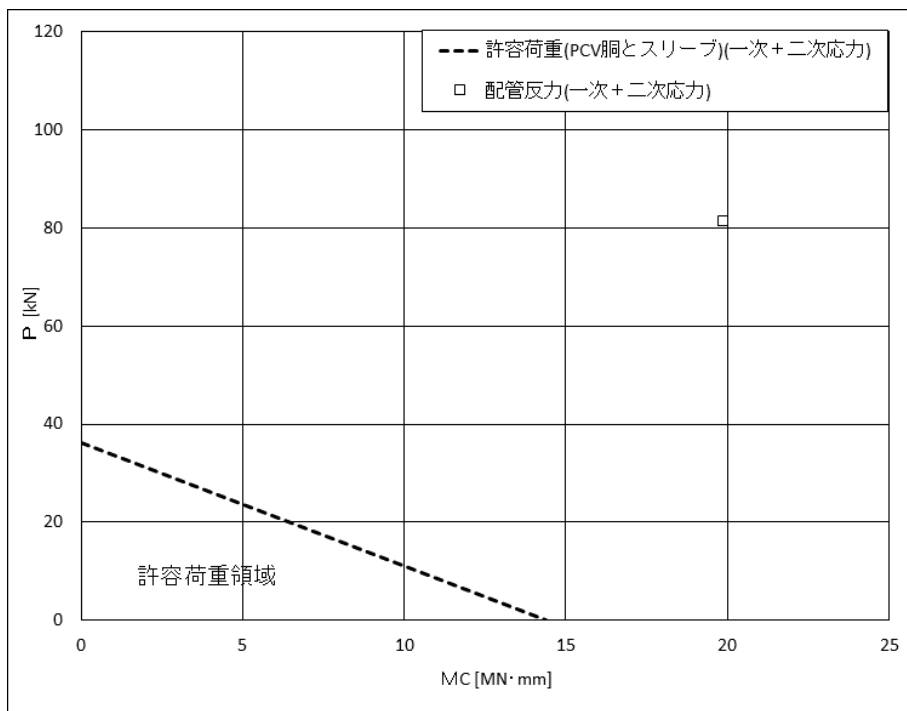


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-9 許容荷重領域による確認結果（貫通部 No. X-241）（その 2：縦軸 P－横軸  $M_L$ ）

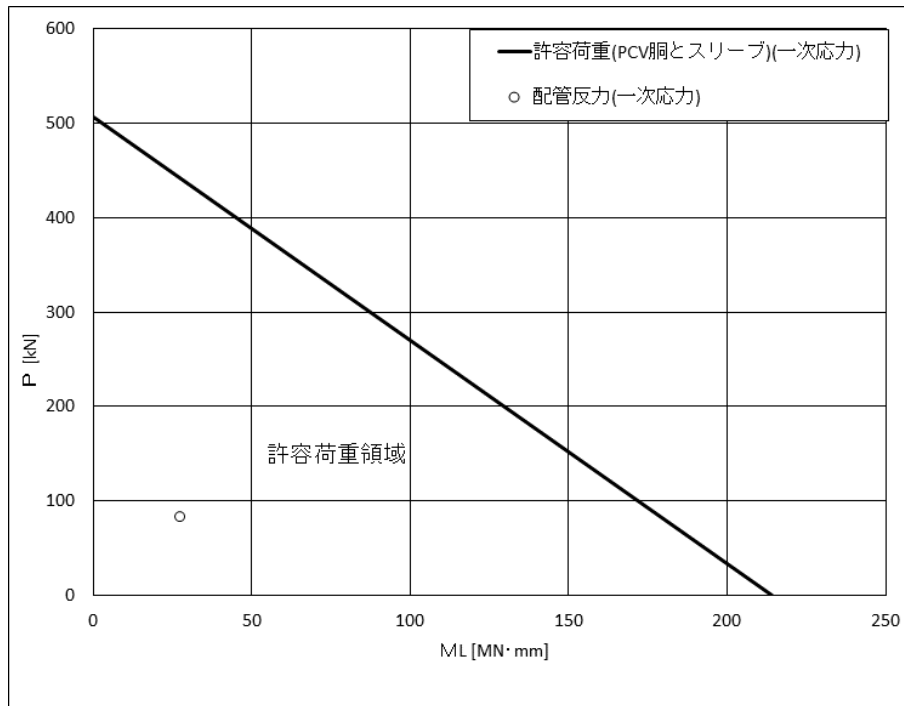


上図：一次応力に対する許容荷重領域

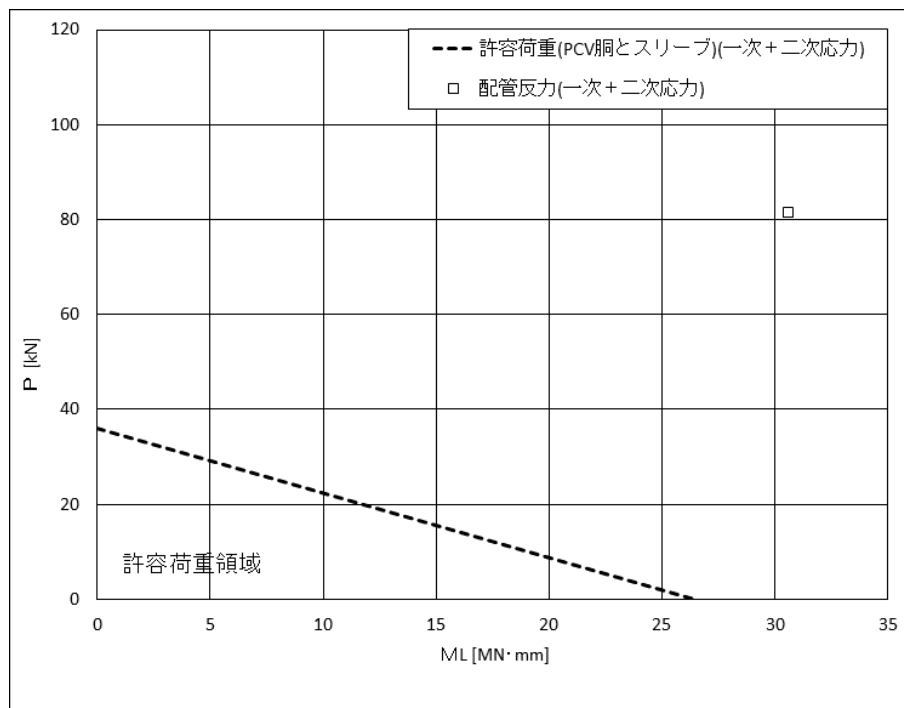


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-10 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  $MC$ ）

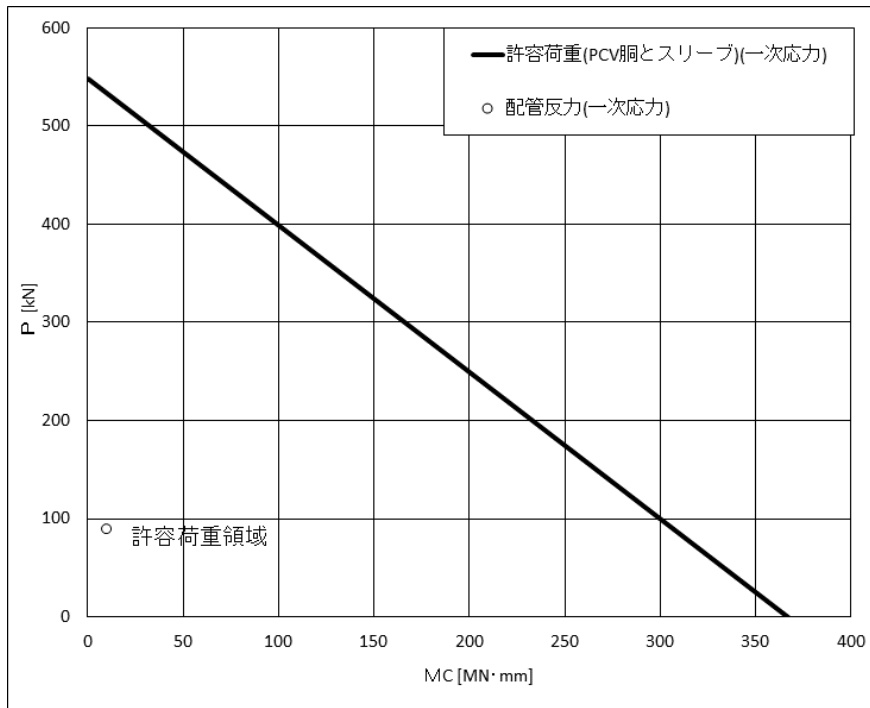


上図：一次応力に対する許容荷重領域

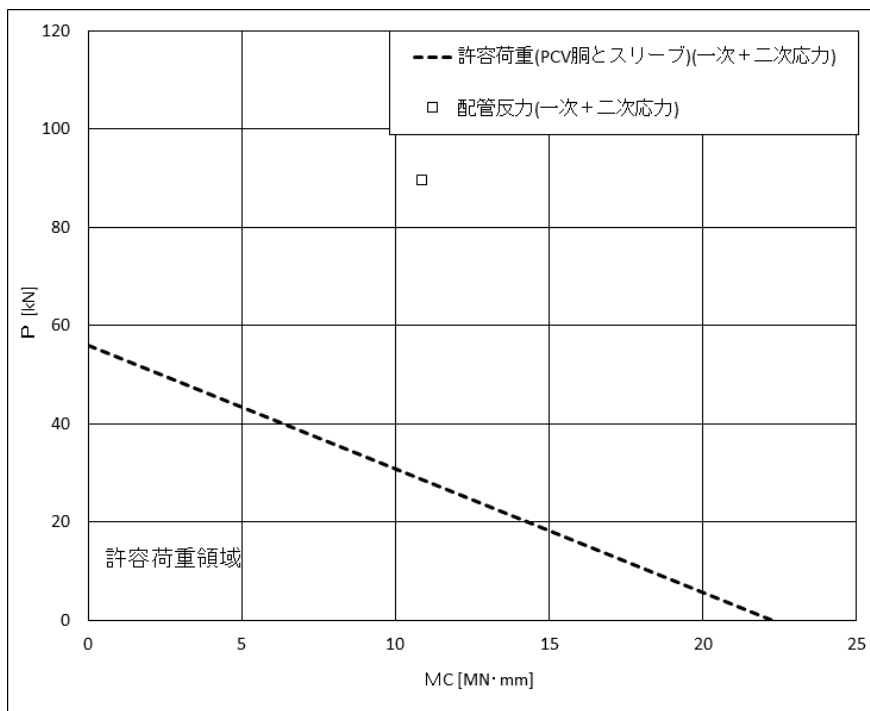


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 4-10 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  $M_L$ ）

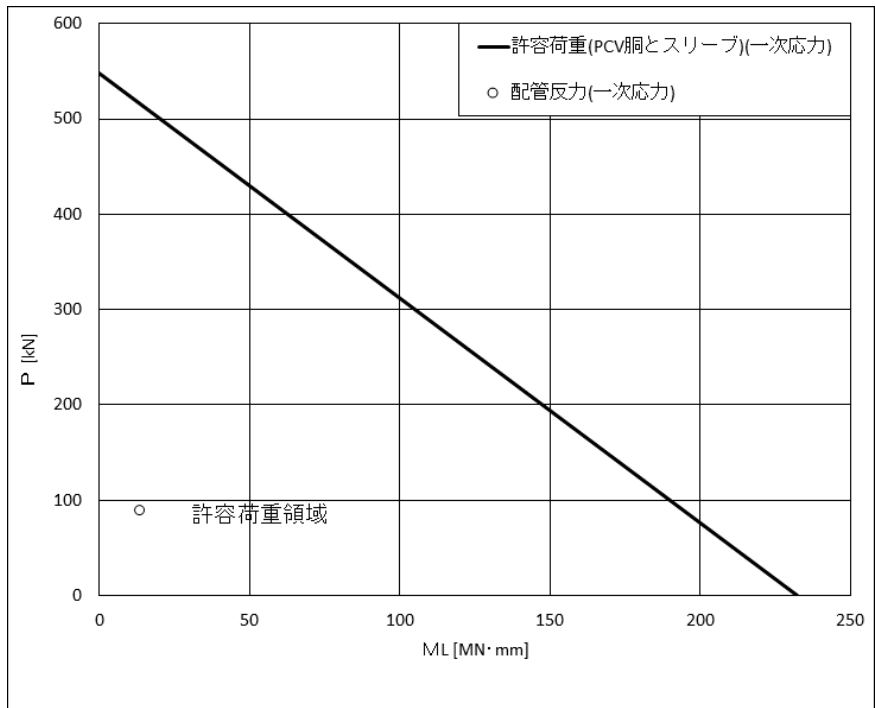


上図：一次応力に対する許容荷重領域

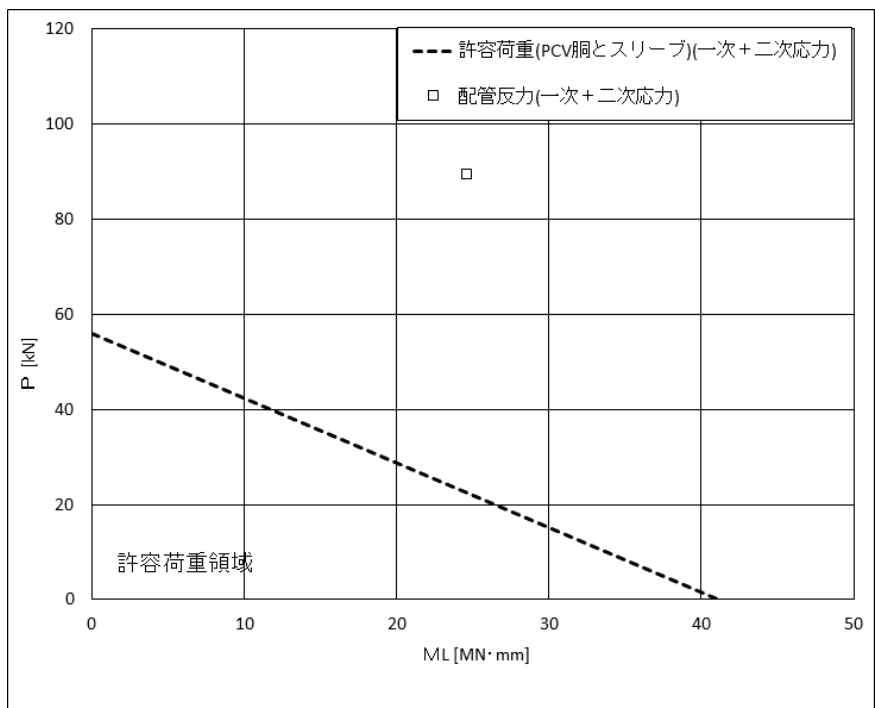


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-11 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 MC）

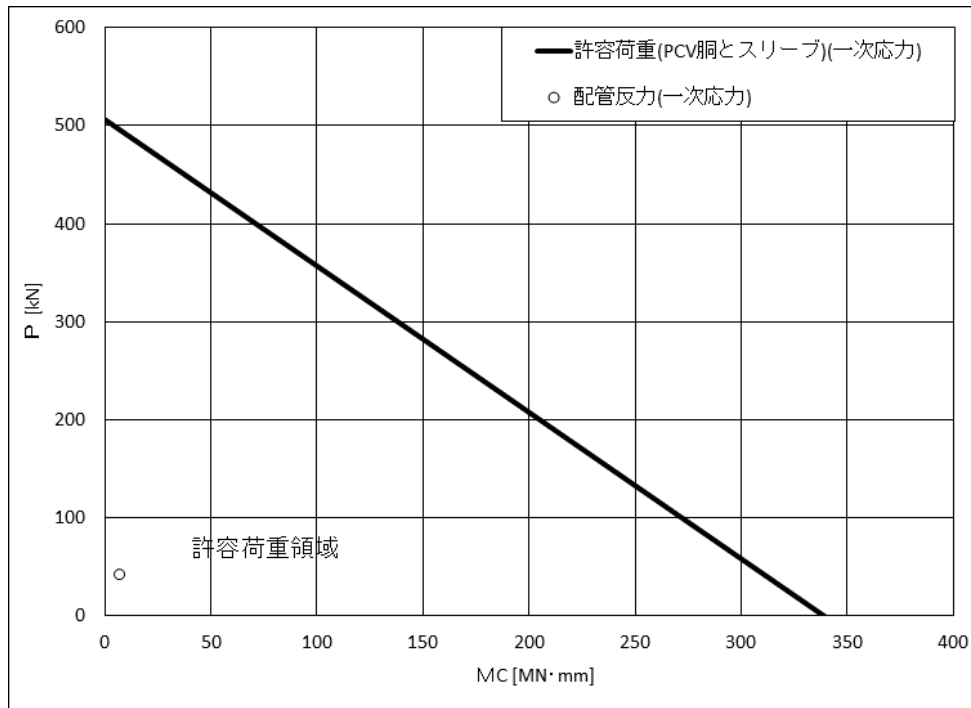


上図：一次応力に対する許容荷重領域

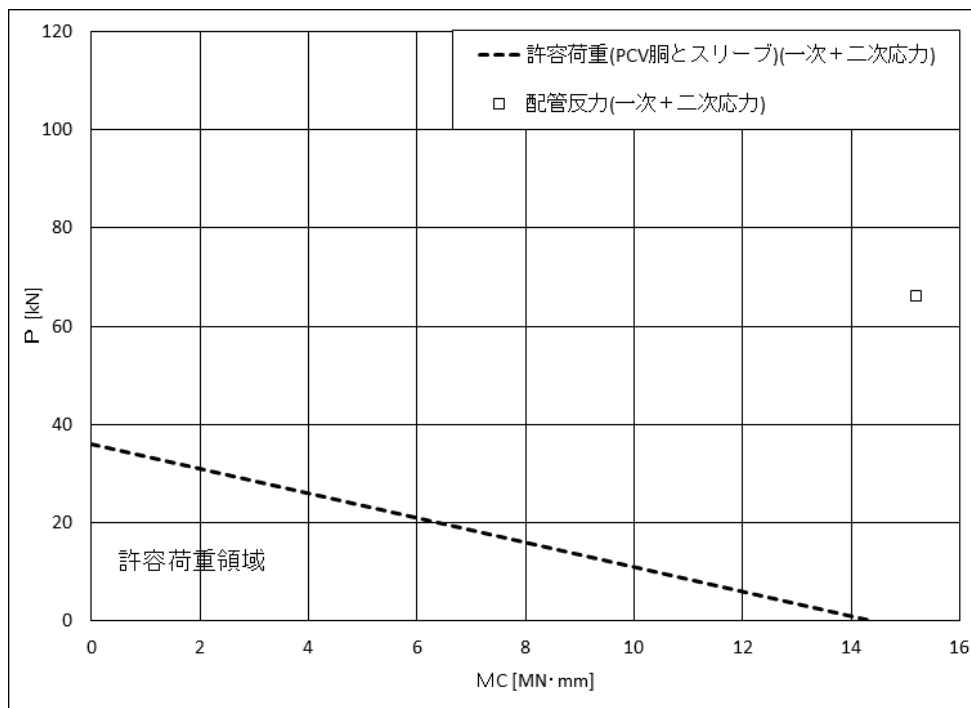


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-11 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  $M_L$ ）



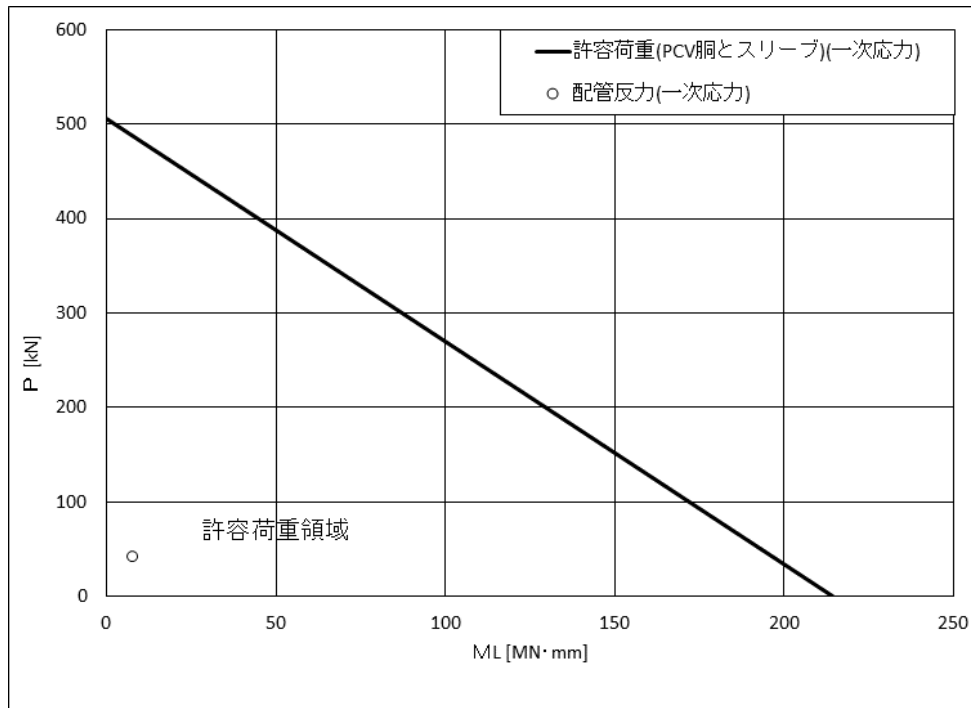
上図：一次応力に対する許容荷重領域



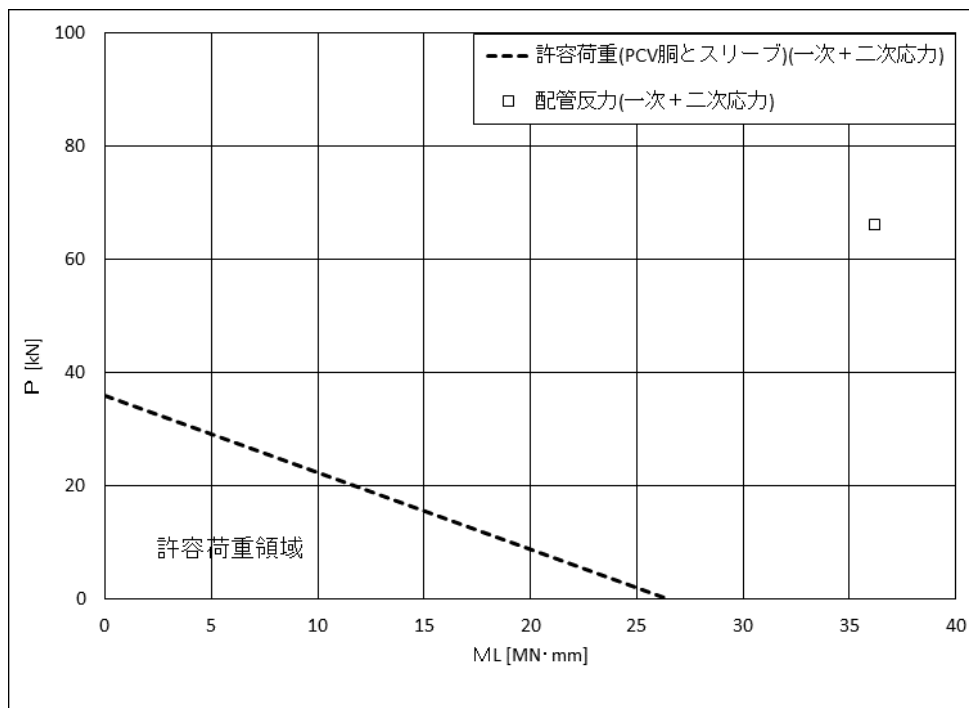
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-12 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 MC）



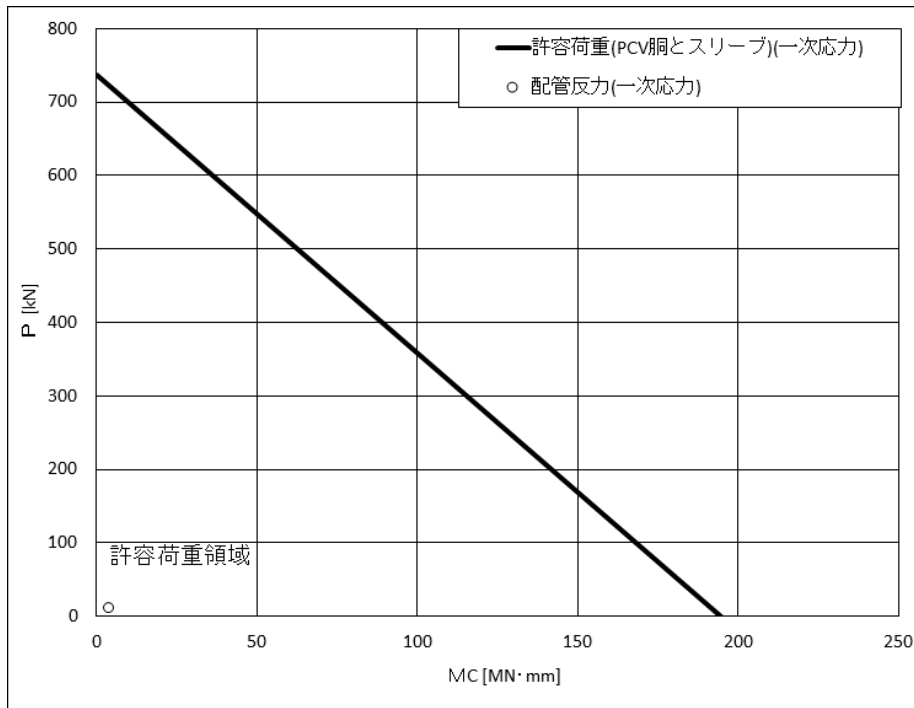


上図：一次応力に対する許容荷重領域

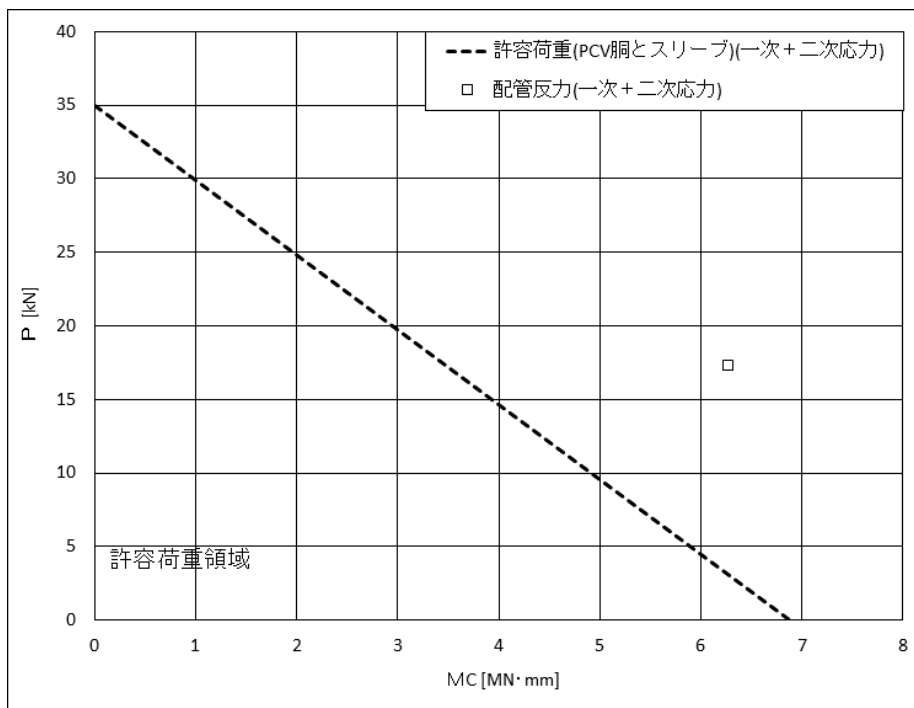


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 4-12 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  $M_L$ ）

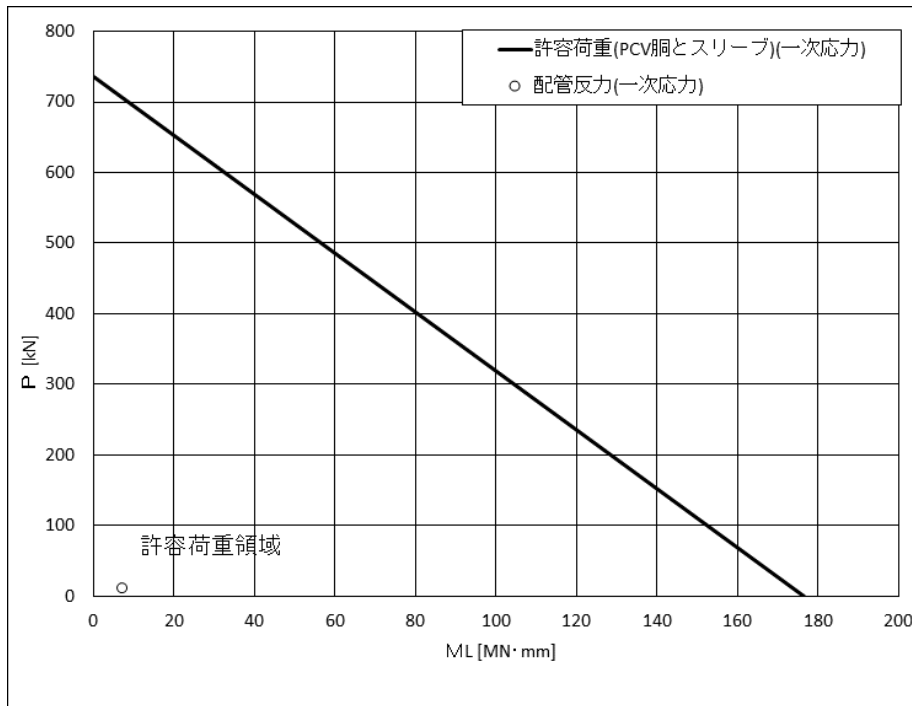


上図：一次応力に対する許容荷重領域

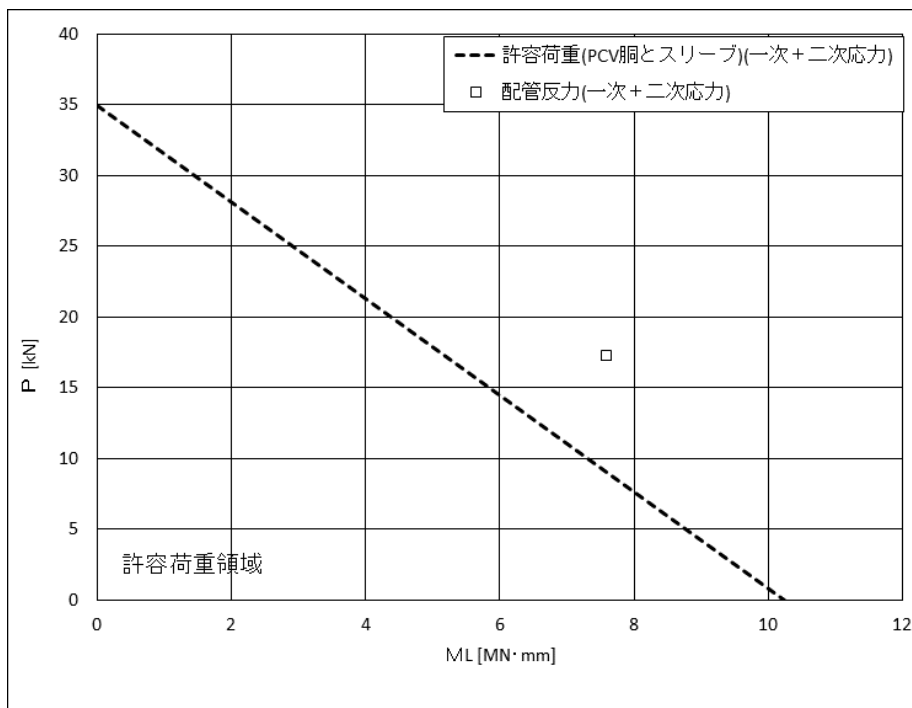


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-13 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  $M_C$ ）

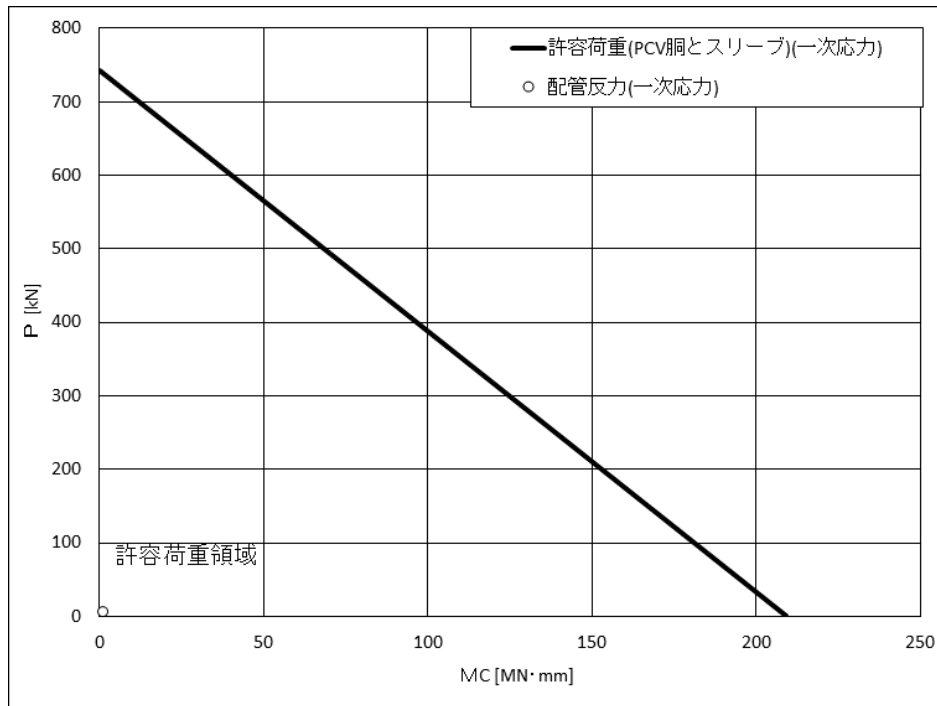


上図：一次応力に対する許容荷重領域

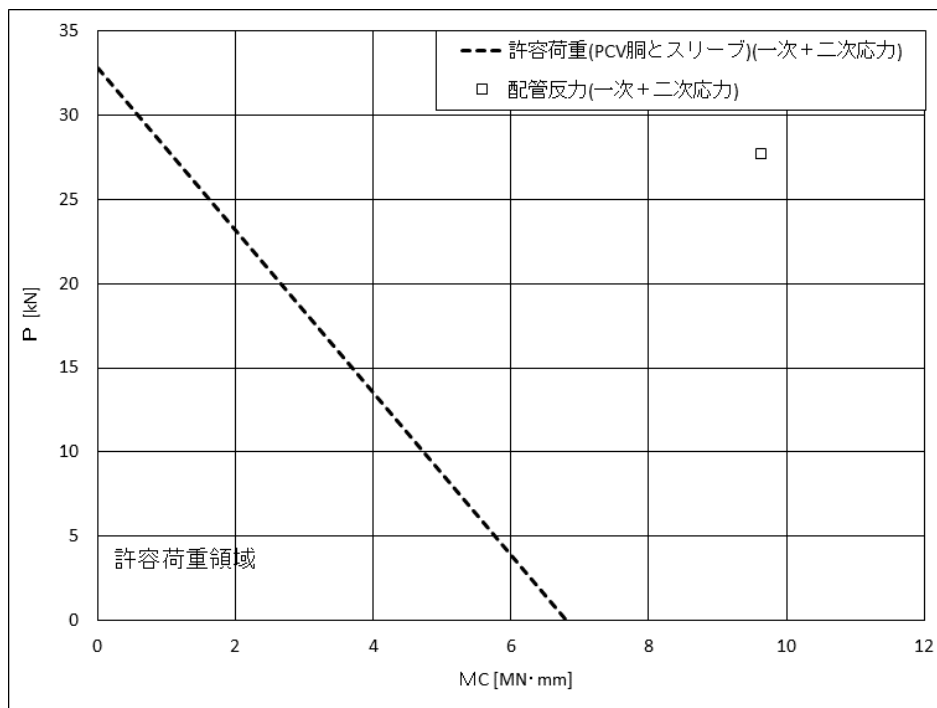


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-13 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  $M_L$ )

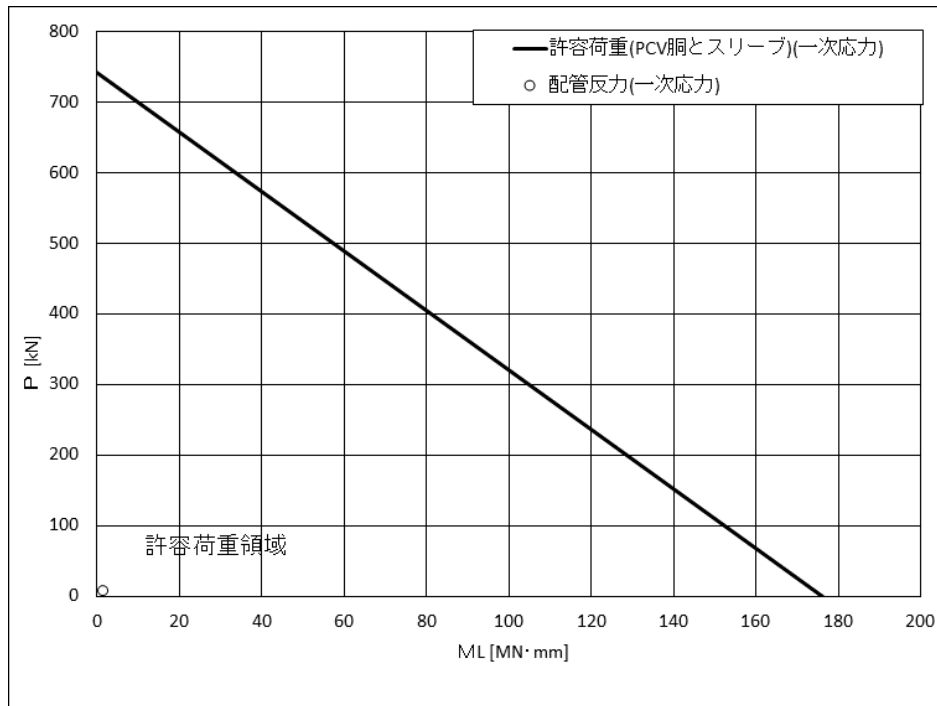


上図：一次応力に対する許容荷重領域

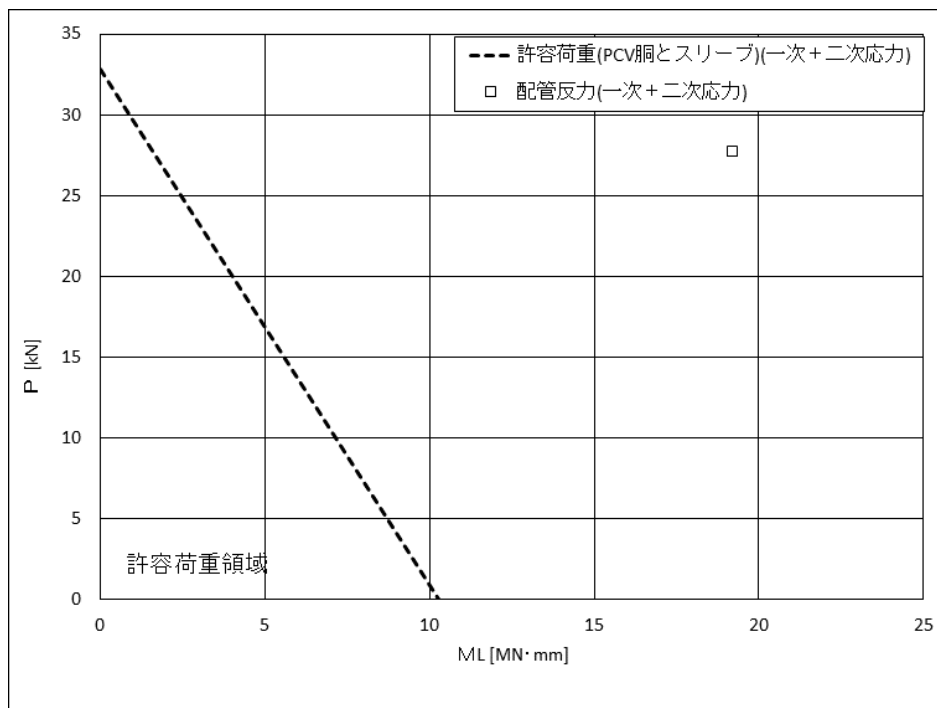


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-14 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 MC）

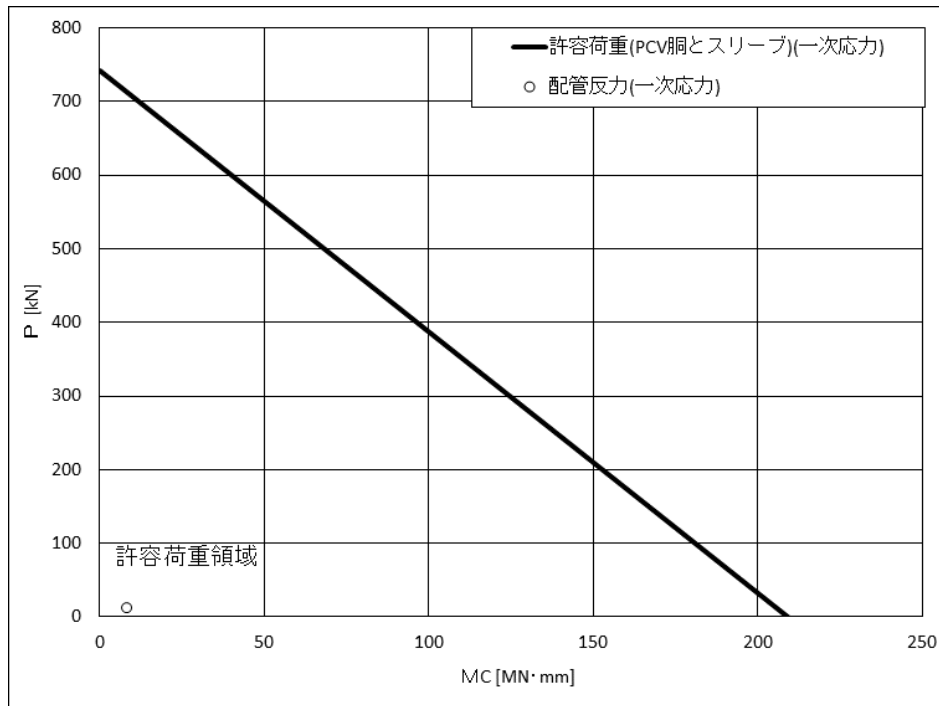


上図：一次応力に対する許容荷重領域

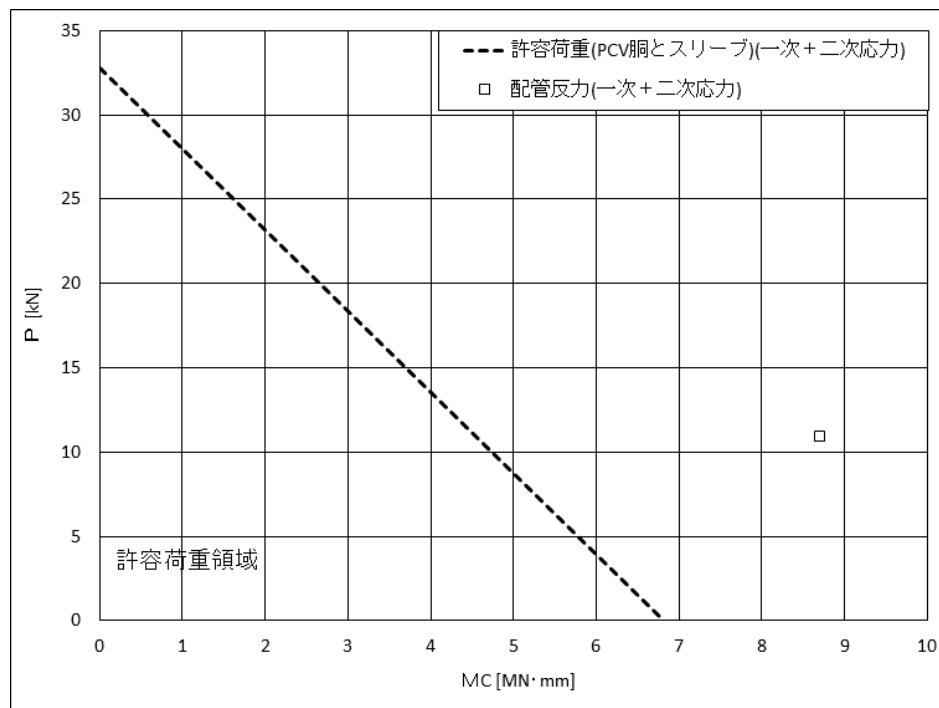


下図：一次＋二次応力に対する許容荷重領域

図 4-14 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  $M_L$ ）

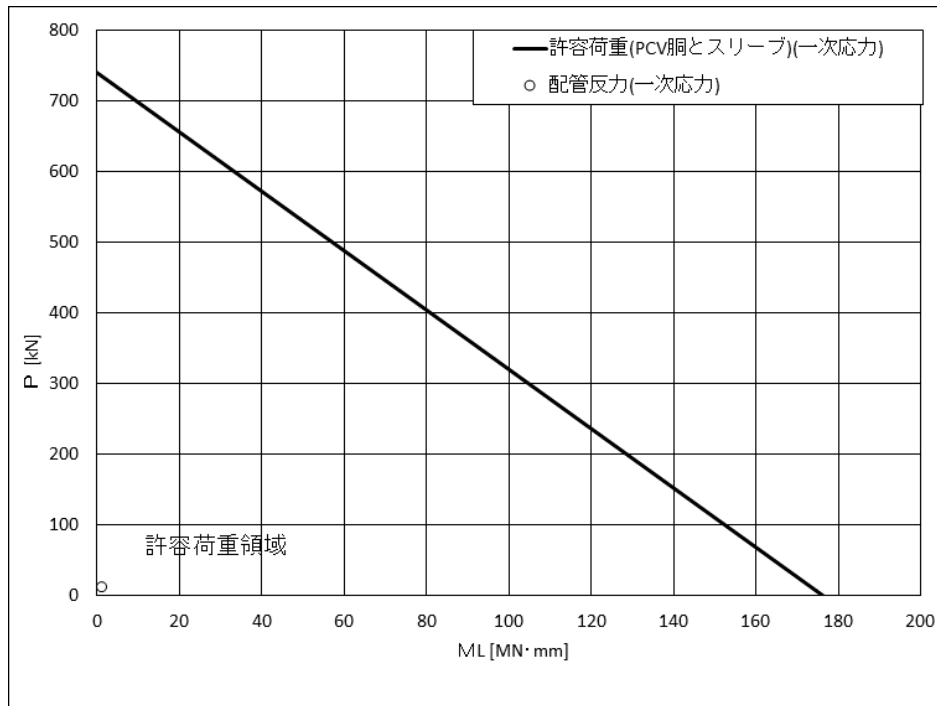


上図：一次応力に対する許容荷重領域

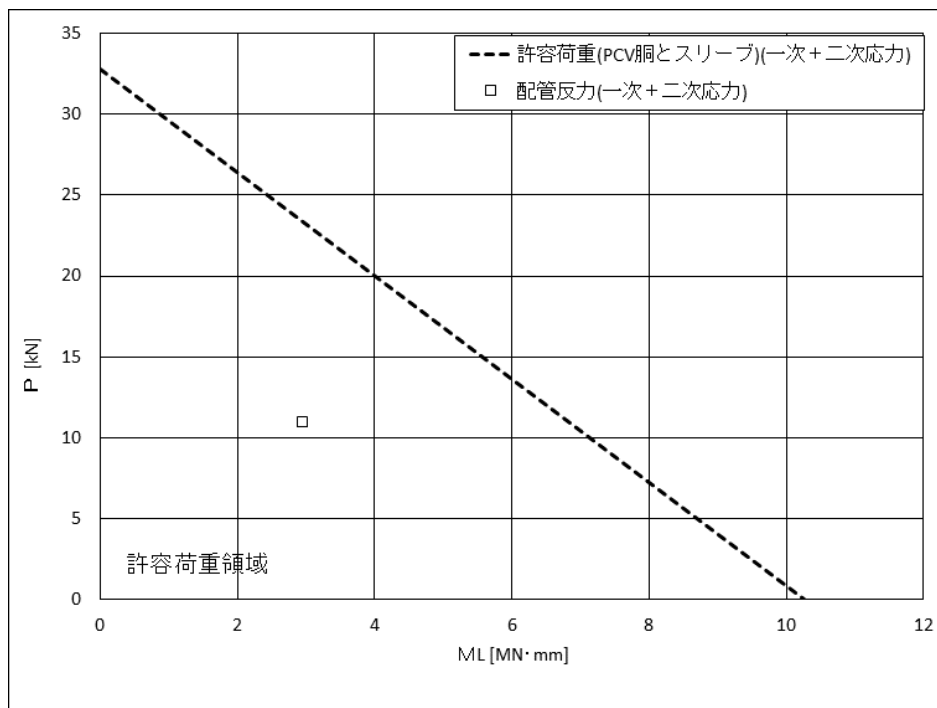


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-15 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 MC）

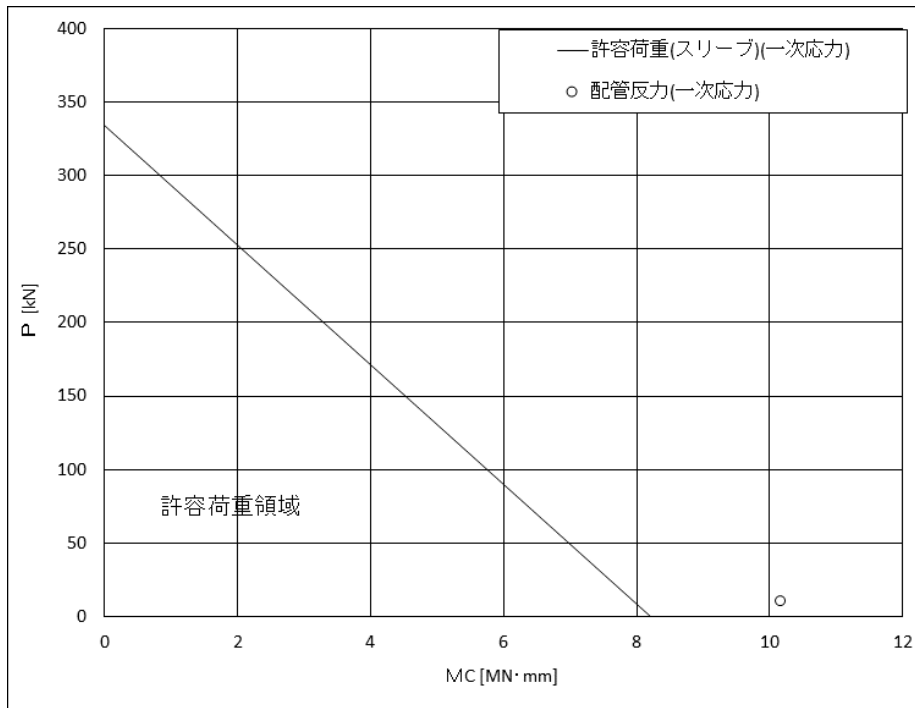


上図：一次応力に対する許容荷重領域

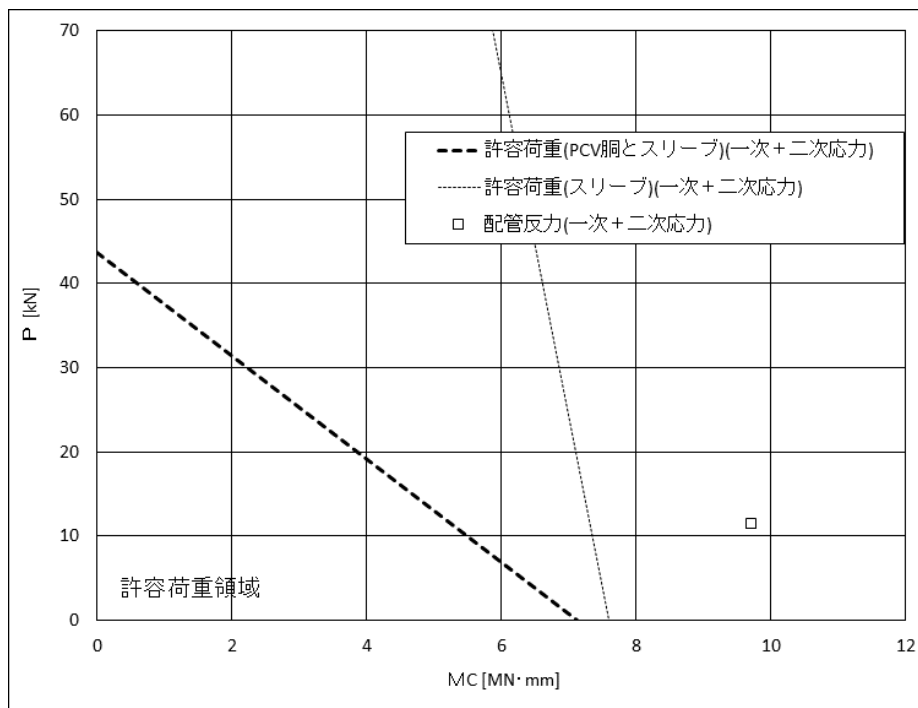


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-15 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  $M_L$ ）



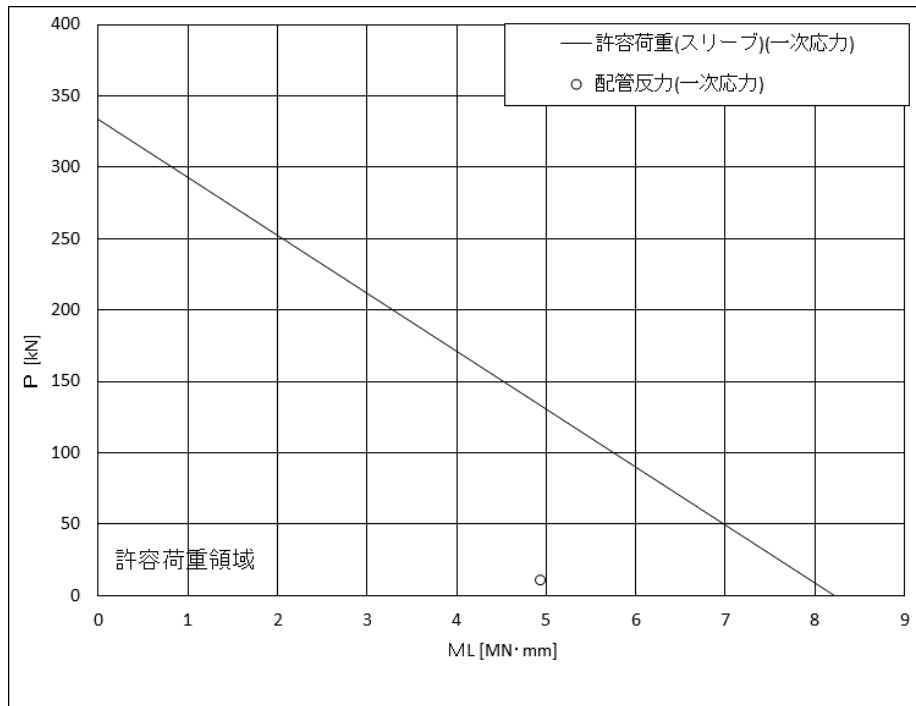
上図：一次応力に対する許容荷重領域



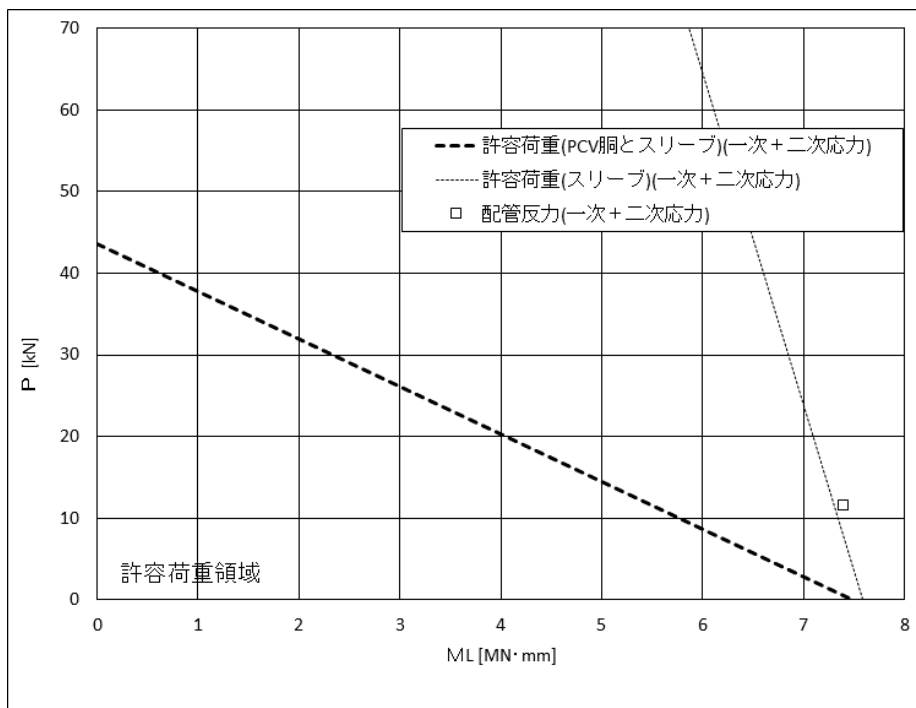
下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-16 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  $MC$ ）



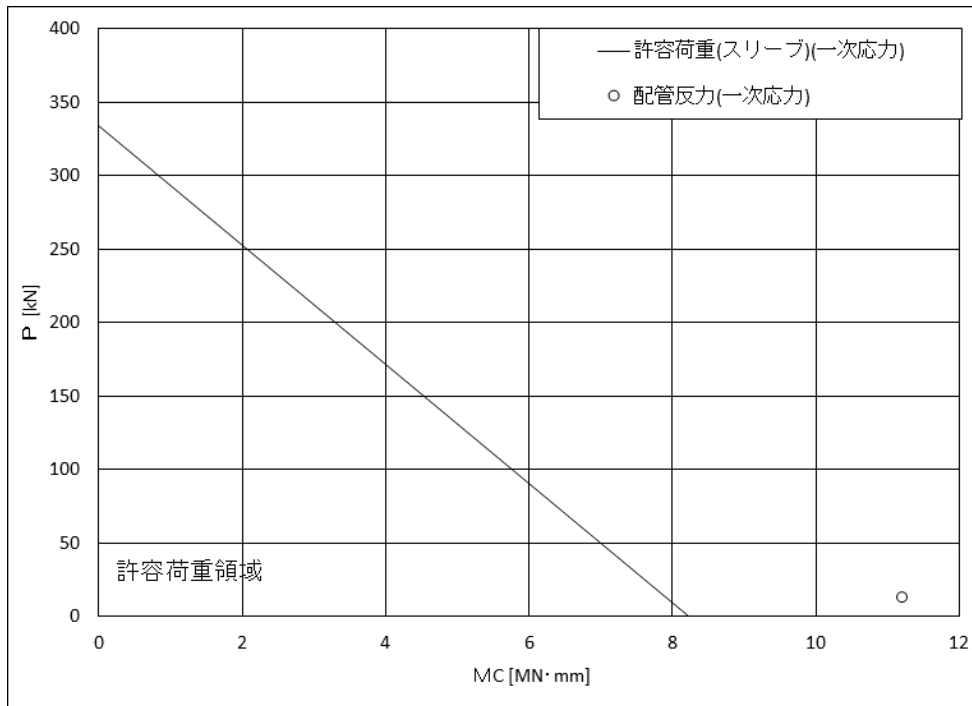


上図：一次応力に対する許容荷重領域

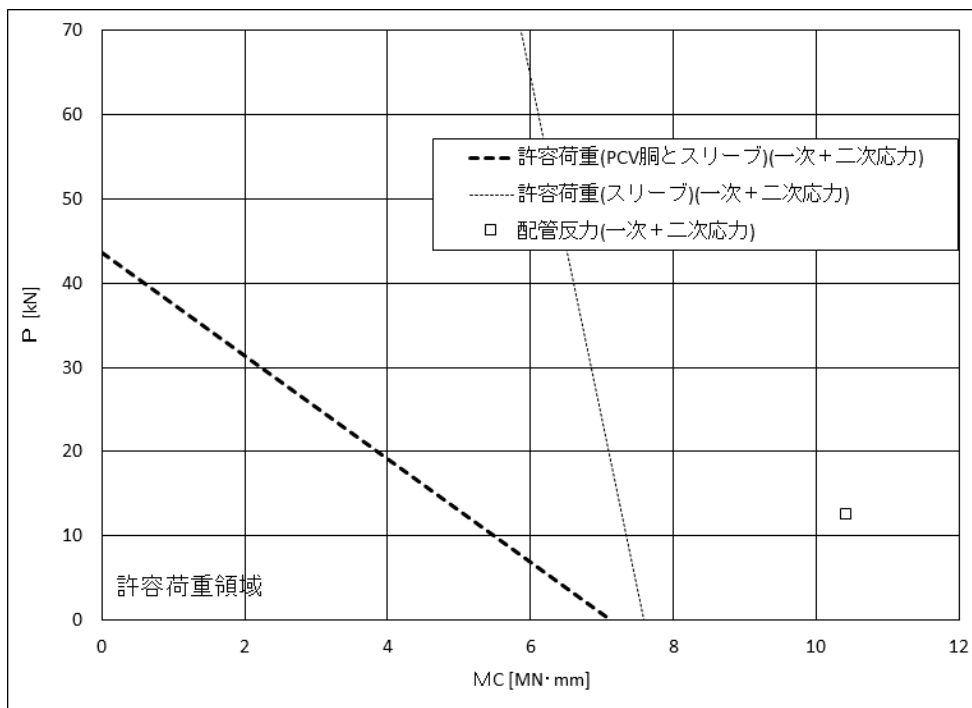


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-16 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  $M_L$ ）

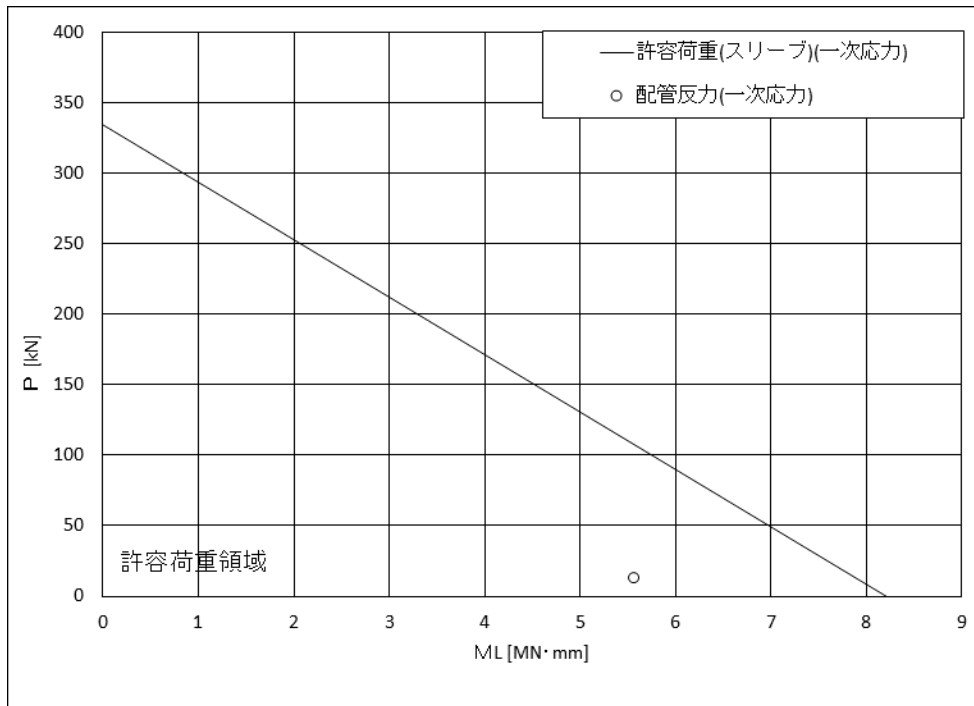


上図：一次応力に対する許容荷重領域

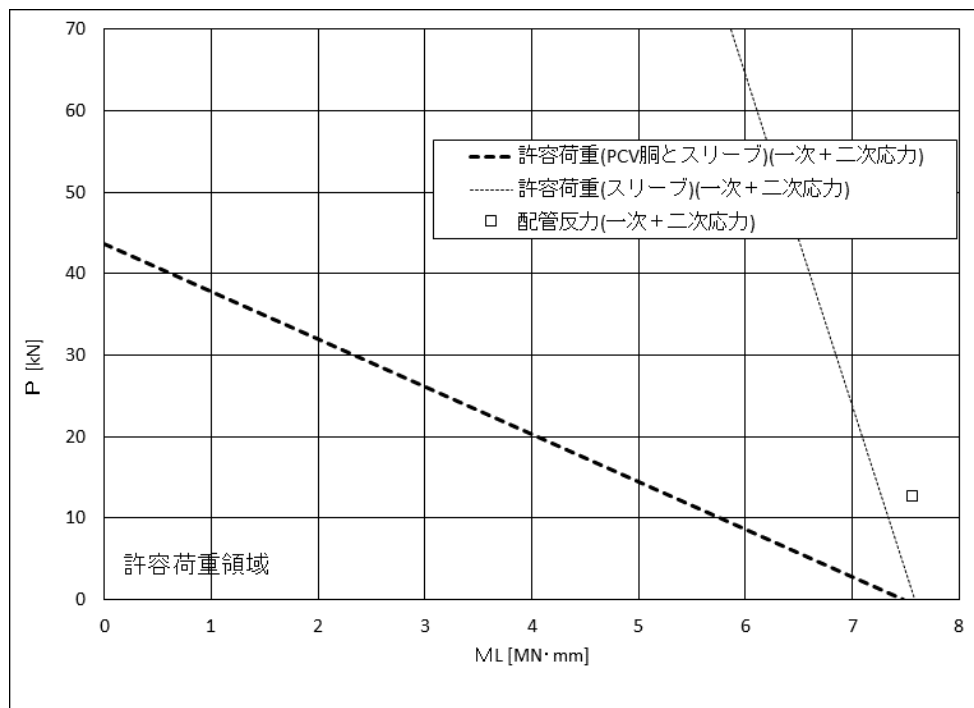


下図：一次+二次応力に対する許容荷重領域

図 4-17 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  $MC$ ）



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 4-17 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  $M_L$ )

## 5. 結論

3. 及び 4. の 3 次元シェルモデルを用いた耐震評価により, 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, オーバル振動を含めたサプレッションチェンバの応答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。