

1.6.4) 50 年後の垂直変位の予測

8 ケースの試験データについて、50 年（438,000 時間）後の垂直変位を予測する。

（1 式）に表 1.6.1 に示す a 、 b を、（2 式）に表 1.6.1 に示す係数 c 、 d 、 e を代入すれば、8 ケースの 50 年後の垂直変位は表 1.6.3 のように予測できる。

表 1.6.3 50 年後の垂直変位予測値

管種		条件	δ_{50} (mm)		
			B 法	C 法	B' 法
PVC	1	1.8%	15.54	23.01	21.61
	2	3.0%	25.08	32.37	29.30
FRPM	1	1.8%	15.67	18.57	16.81
	2	3.0%	25.56	27.60	26.17
PE	1	1.8%	51.83	51.86	—
	2	3.0%	119.00	100.64	—
PE-GF	1	1.8%	38.30	46.67	40.37
	2	3.0%	75.93	87.35	61.79

8 ケースの垂直変位の観測値と回帰式を図 1.6.2～図 1.6.9 に示す。

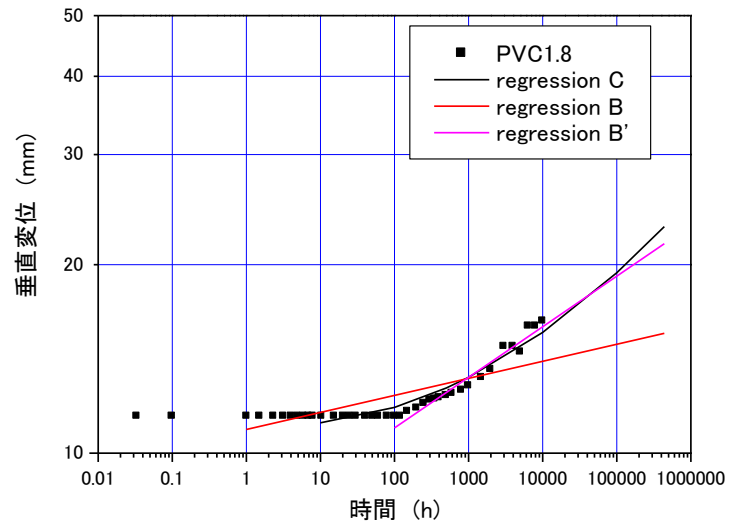


図 1.6.2 垂直変位の回帰分析結果 (PVC-1)

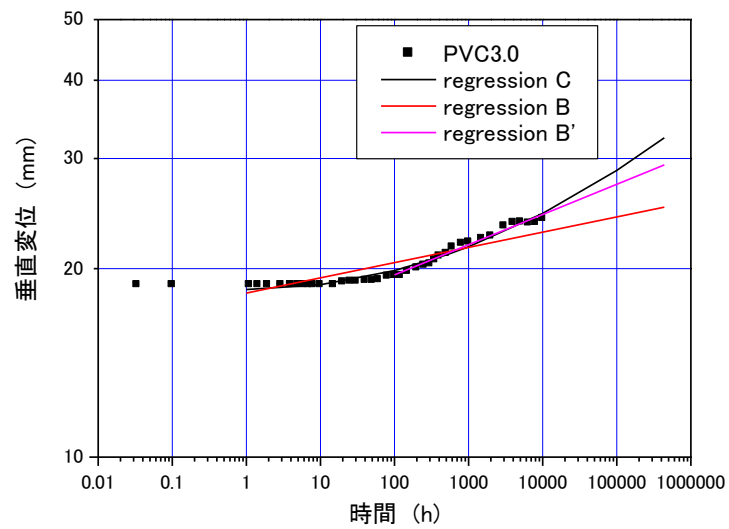


図 1.6.3 垂直変位の回帰分析結果 (PVC-2)

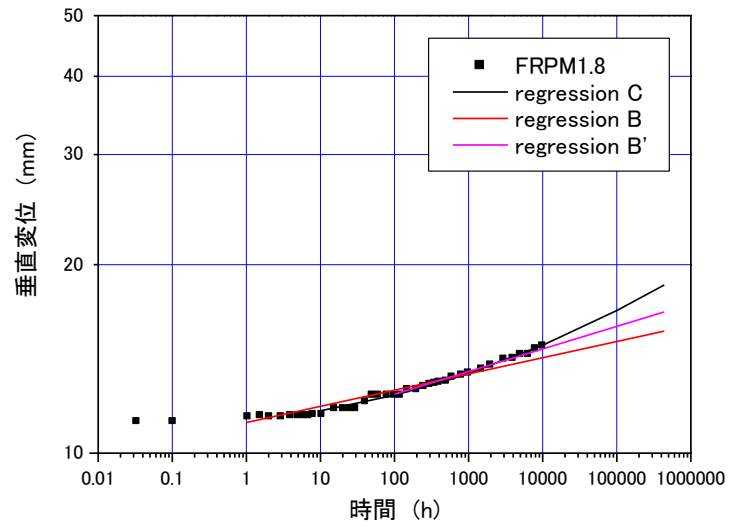


図 1.6.4 垂直変位の回帰分析結果 (FRPM-1)

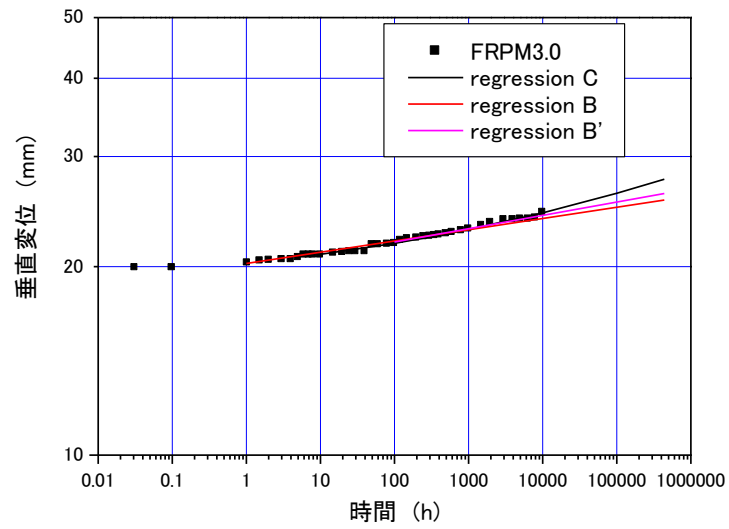


図 1.6.5 垂直変位の回帰分析結果 (FRPM-2)

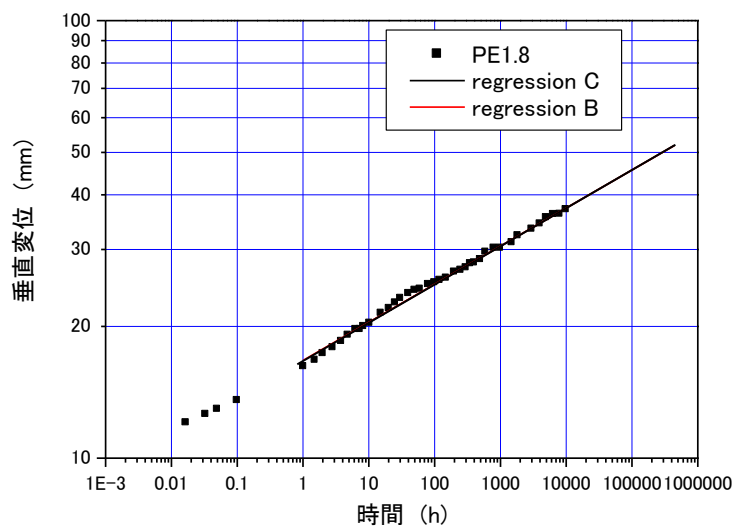


図 1.6.6 垂直変位の回帰分析結果 (PE-1)

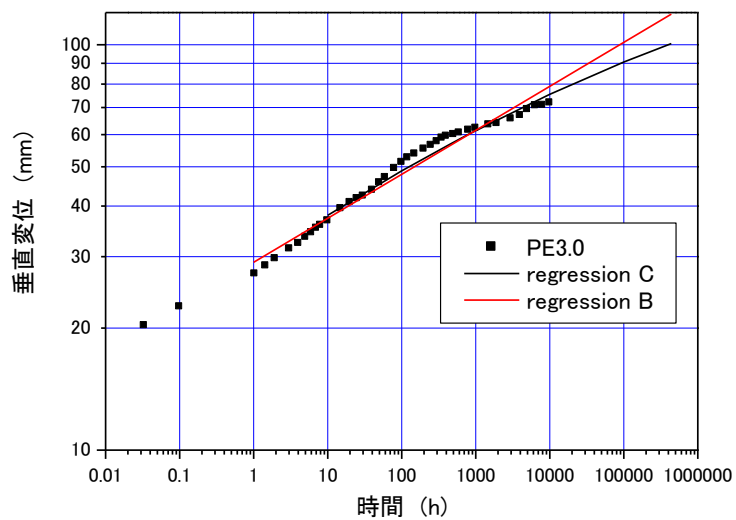


図 1.6.7 垂直変位の回帰分析結果 (PE-2)

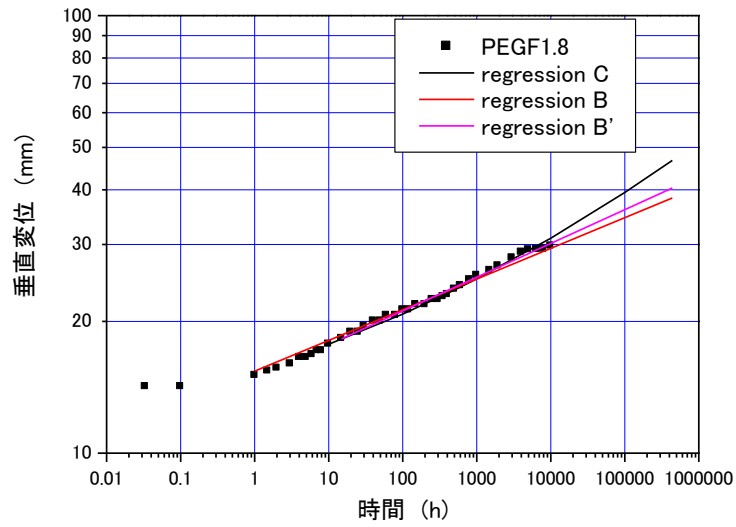


図 1.6.8 垂直変位の回帰分析結果 (PE-GF-1)

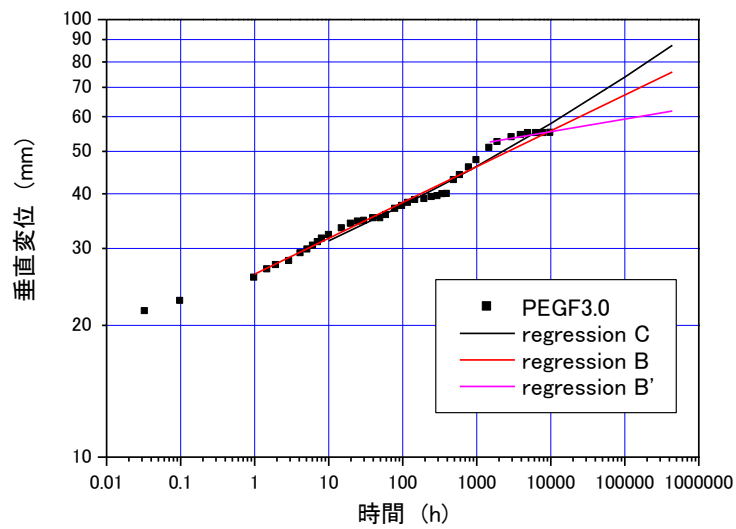


図 1.6.9 垂直変位の回帰分析結果 (PE-GF-2)

2) 外圧クリープ試験後の短期荷重負荷試験

2.1) 試験方法

10,000 時間以上を経過し外圧クリープ試験が終了した 4 管種×2 条件の供試管について、試験荷重を除荷し、23℃の恒温室内に 13 日間静置した後に再度荷重を加えて偏平させ、垂直荷重とたわみ率の関係を求めた。

試験は図 2.1.1～図 2.1.4 に示すように恒温室内に設置した載荷試験機を用いて行い、残留たわみを起点として管厚中心直径の 3%まで（外圧クリープ試験で発生たわみが大きかった条件では最大 5%まで）管を偏平させた。

試験速度は、強化プラスチック複合管(JIS A 5350)と一般用ポリエチレン管(JIS K 6761)の試験方法には定めがないが、“硬質ポリ塩化ビニル管(JIS K 6741)の偏平試験”ならびに“ガラス繊維強化ポリエチレン管のたわみ荷重試験方法”にはそれぞれ $10 \pm 2 \text{ mm/min}$ の規定があることから、4 管種とも 10 mm/min とした。（初期剛性確認の方法と同じ）

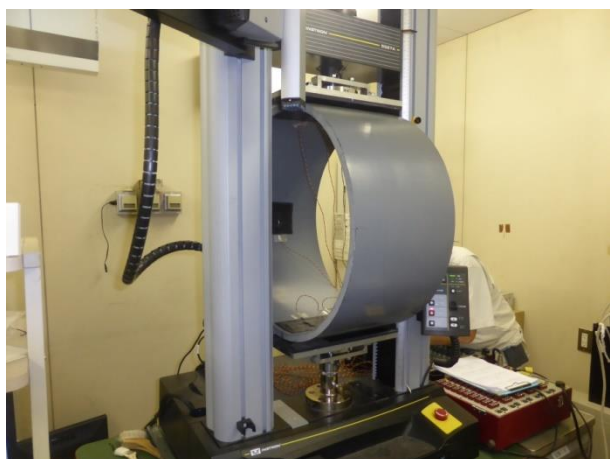


図 2.1.1 硬質ポリ塩化ビニル管 (PVC)



図 2.1.2 強化プラスチック複合管 (FRPM)

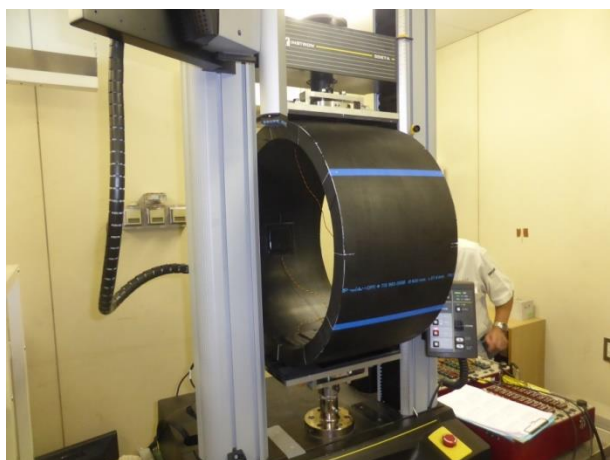


図 2.1.3 一般用ポリエチレン管 (PE)

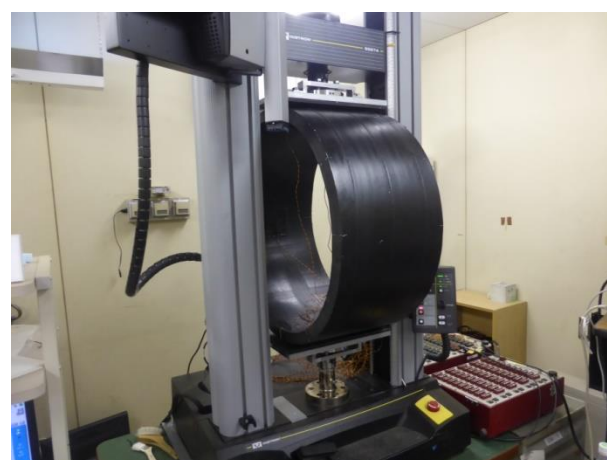


図 2.1.4 ガラス繊維強化ポリエチレン管 (PE-GF)

2. 2) 試験結果

4 管種×2 条件の供試管について、単位長さあたりの垂直荷重とたわみ率の関係、ならびに管頂・管底に貼付した各 2 点の発生ひずみとたわみ率の関係を図 2.2.1～図 2.2.16 に示す。

なお、各グラフは初期剛性確認試験に用いた供試管のデータを「前」、外圧クリープ試験でのたわみ変化、ならびに外圧クリープ試験後のデータを「後」として重ねて示す。

初期剛性確認試験と外圧クリープ試験は、管厚と管幅がわずかに異なる供試管の値であるが、管種ごとに変化の傾向を知るためプロットしている。

荷重とたわみ率の関係では、「後」のグラフは外圧クリープ試験後の残留たわみを起点として示す。(図 2.2.1 参照)

管頂・管底ひずみとたわみ率の関係では、「後」のグラフは外圧クリープ試験後の残留たわみと残留ひずみを起点として示す。(図 2.2.2 参照)

クリープ荷重を除荷した後、短期荷重を再載荷しても剛性は初期とほぼ変わらず、低下率は PE および PE-GF で最大 10%程度である。

ただし、長期荷重を再負荷したのちも強度が初期と変わらないかどうか、本試験ではその特性は不明である。

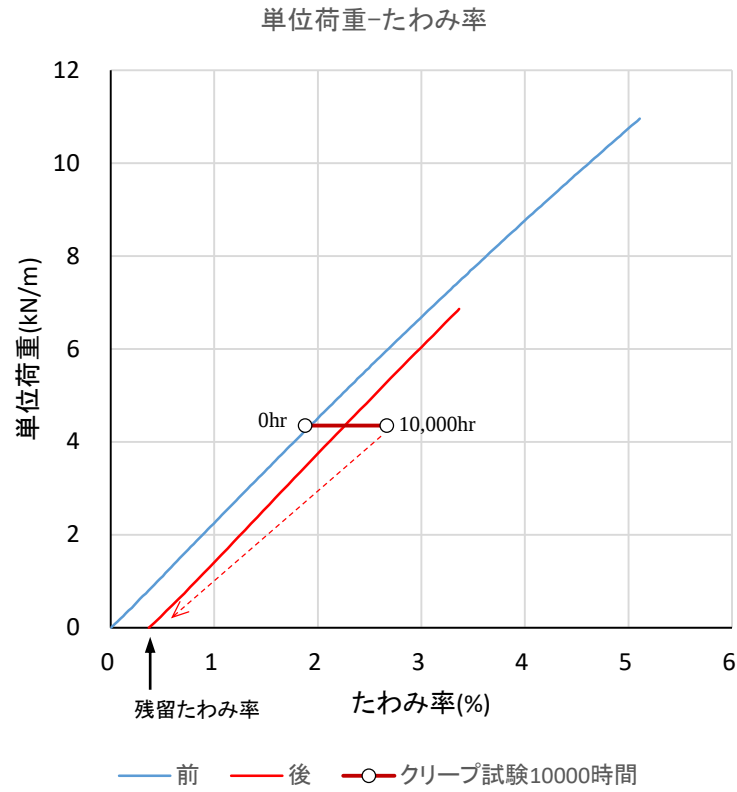


図 2.2.1 単位長さあたりの荷重とたわみ率の関係 (PVC1.8%)

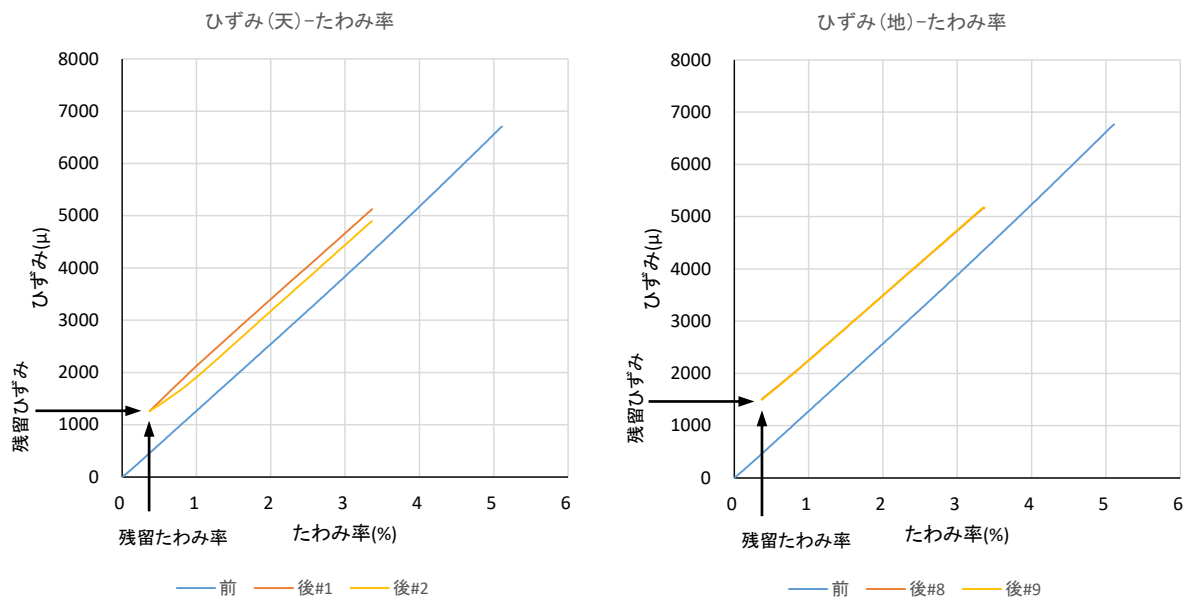
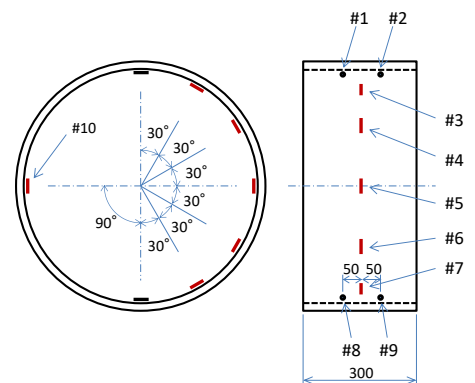


図 2.2.2 管頂・管底ひずみとたわみ率の関係 (PVC1.8%)



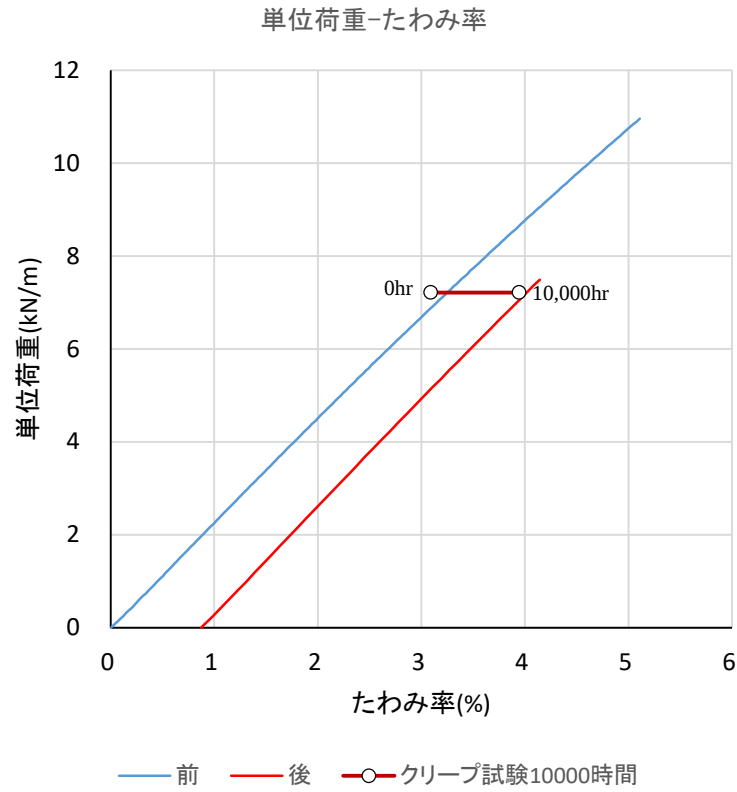


図 2.2.3 単位長さあたりの荷重とたわみ率の関係 (PVC3.0%)

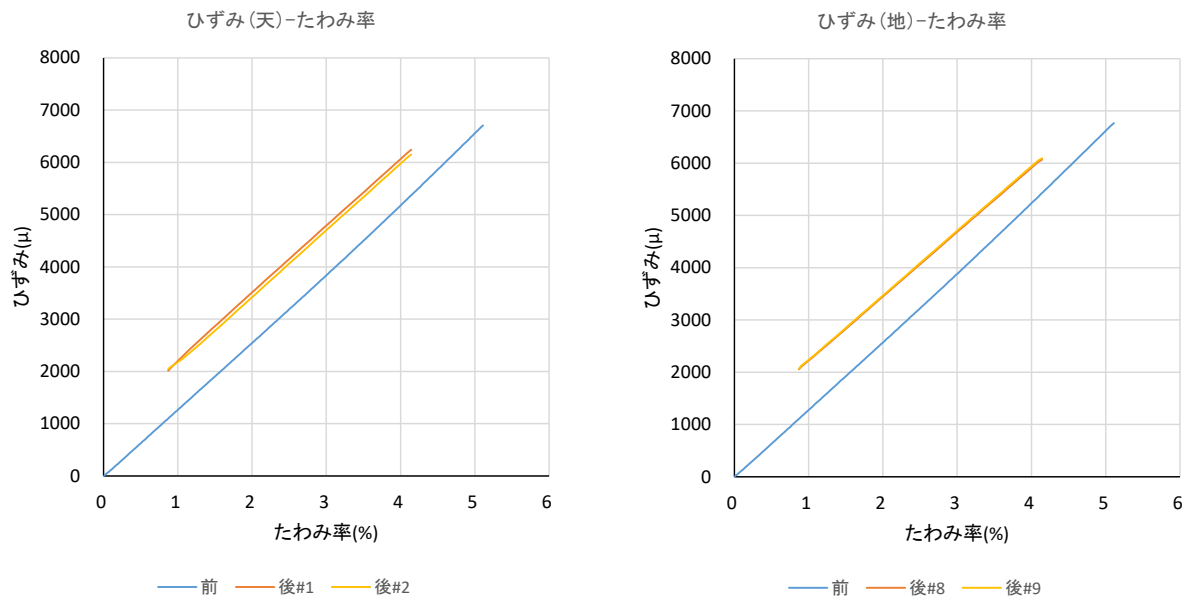
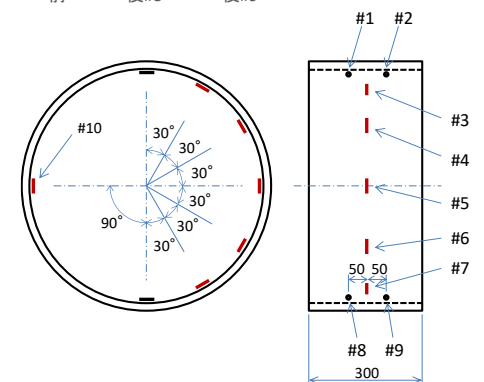


図 2.2.4 管頂・管底ひずみとたわみ率の関係 (PVC3.0%)



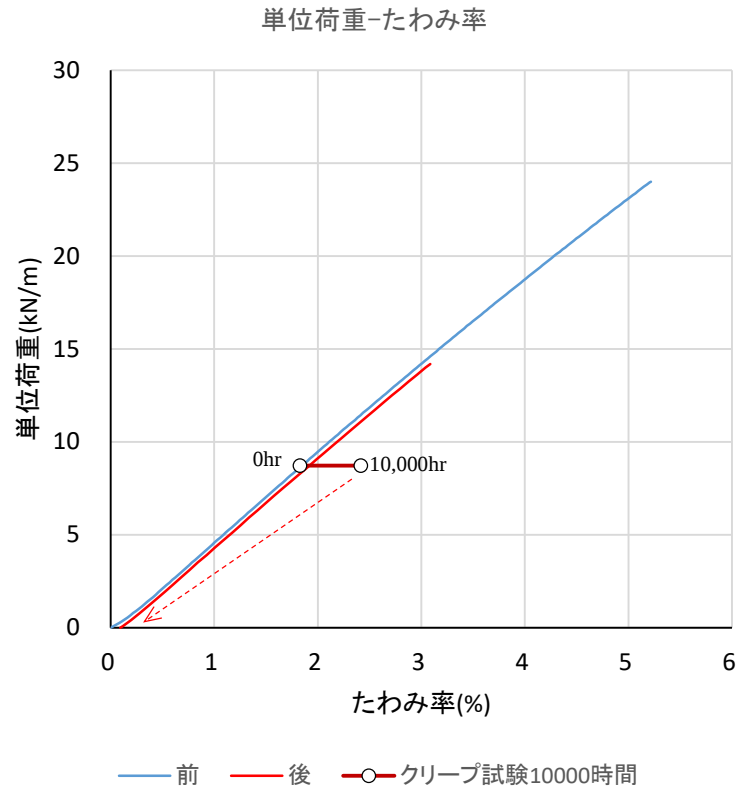


図 2.2.5 単位長さあたりの荷重とたわみ率の関係 (FRPM1.8%)

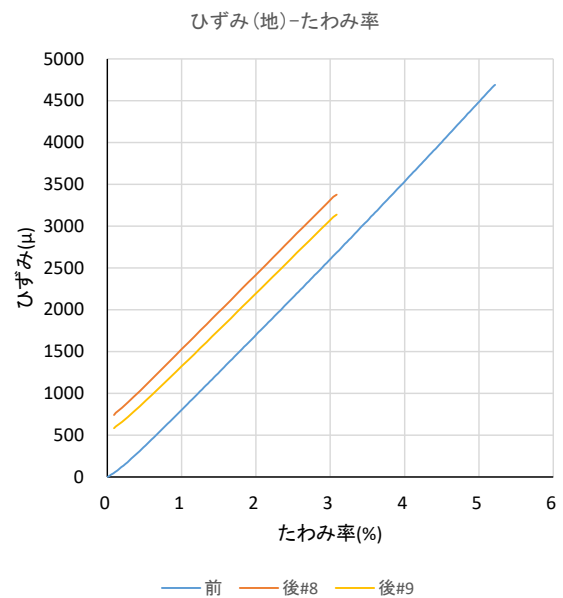
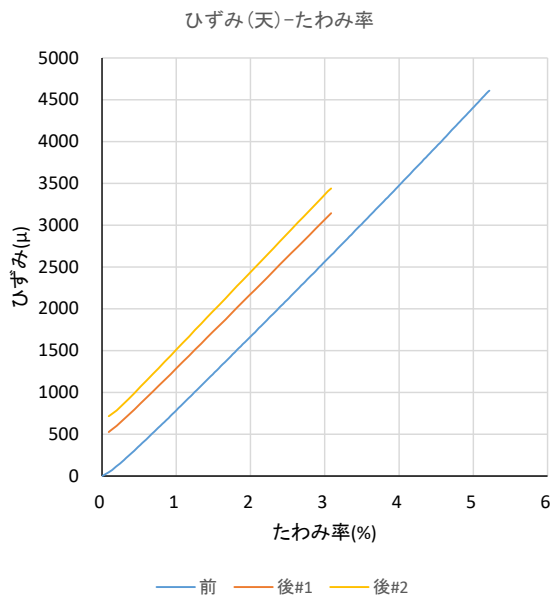
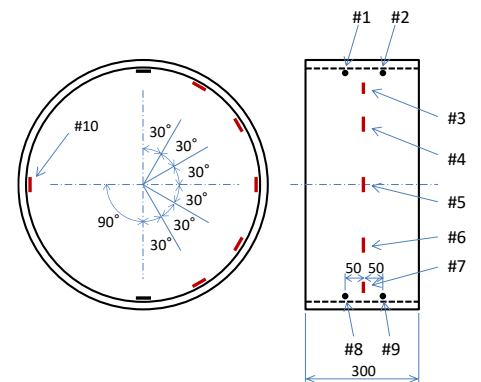


図 2.2.6 管頂・管底ひずみとたわみ率の関係 (FRPM1.8%)



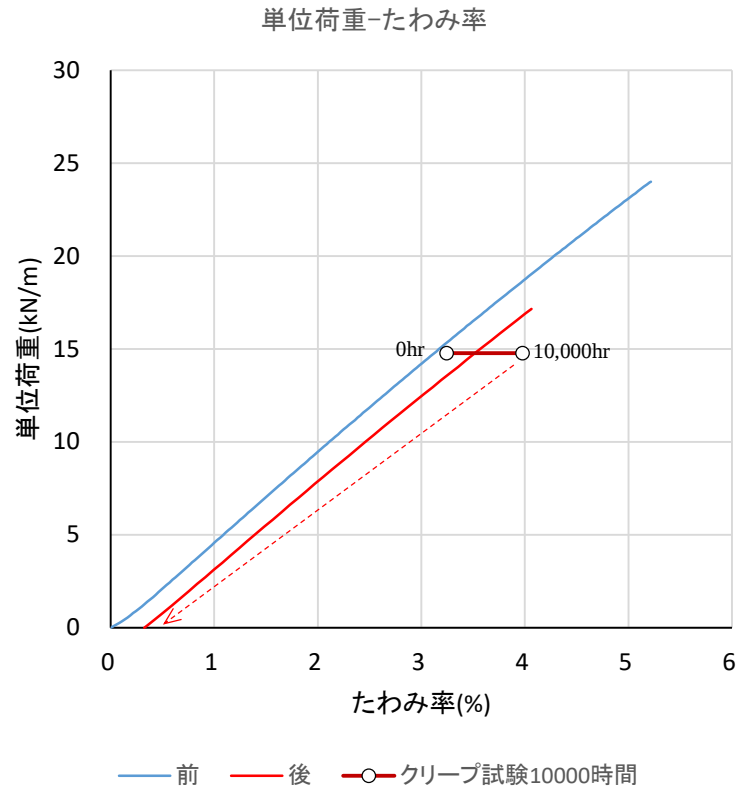


図 2.2.7 単位長さあたりの荷重とたわみ率の関係 (FRPM3.0%)

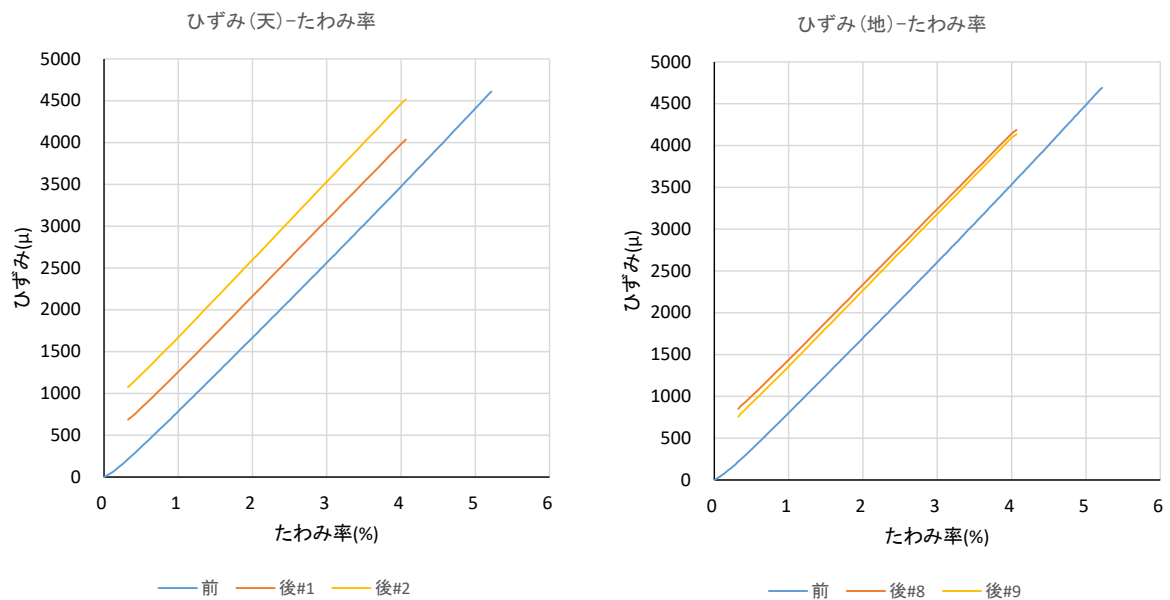
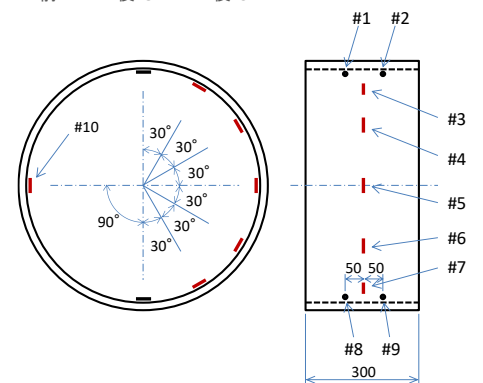


図 2.2.8 管頂・管底ひずみとたわみ率の関係 (FRPM3.0%)



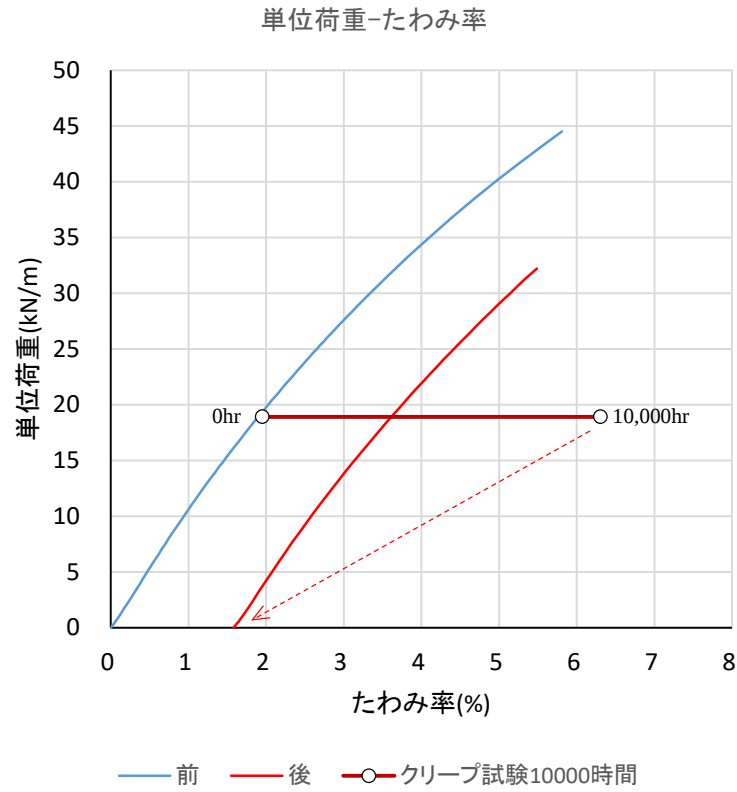


図 2.2.9 単位長さあたりの荷重とたわみ率の関係 (PE1.8%)

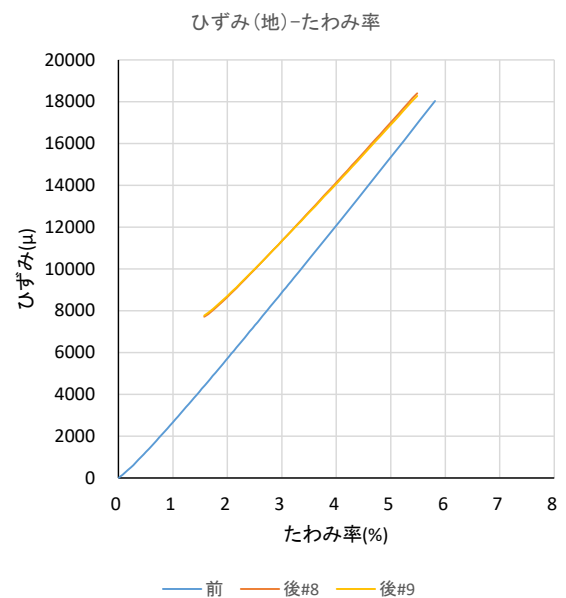
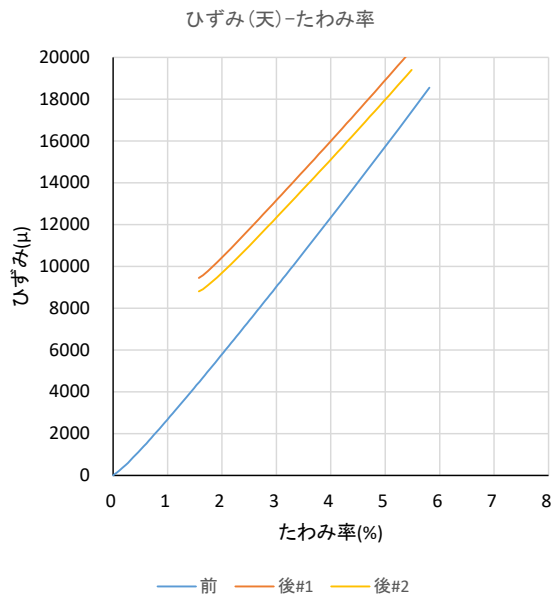
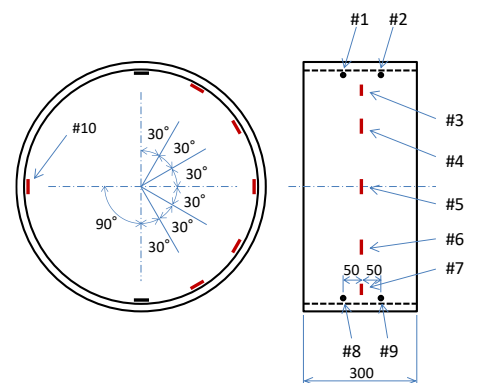


図 2.2.10 管頂・管底ひずみとたわみ率の関係 (PE1.8%)



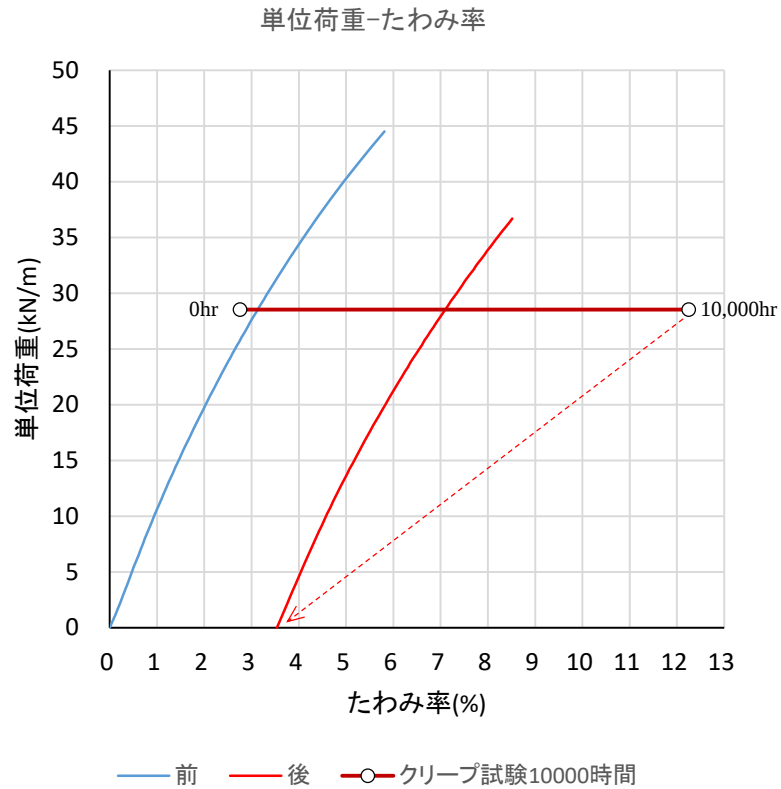


図 2.2.11 単位長さあたりの荷重とたわみ率の関係 (PE3.0%)

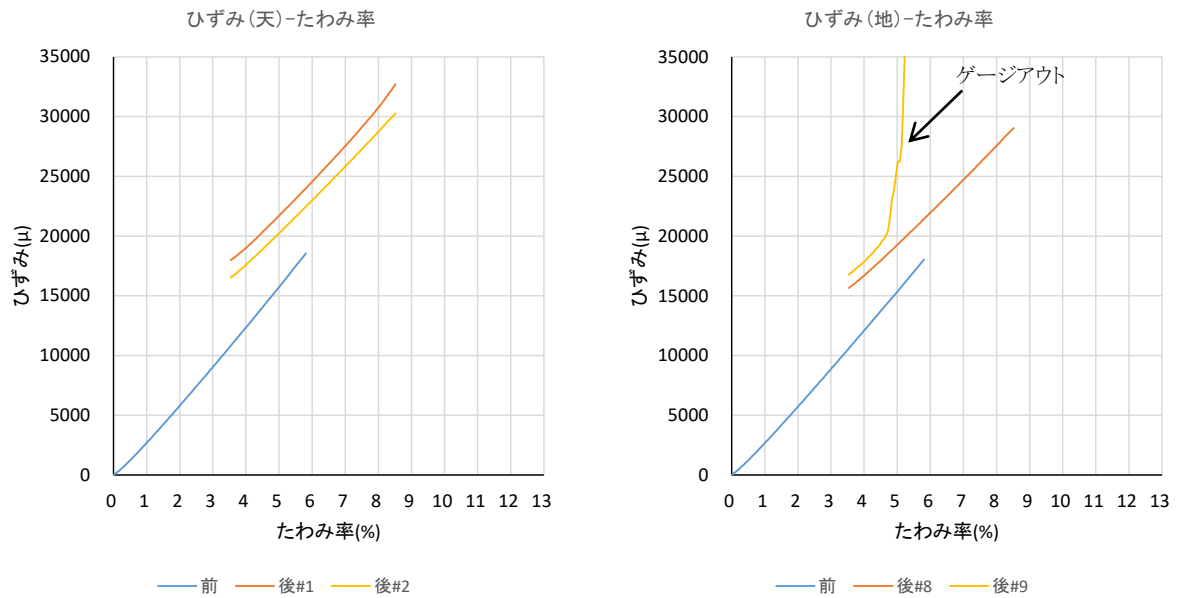
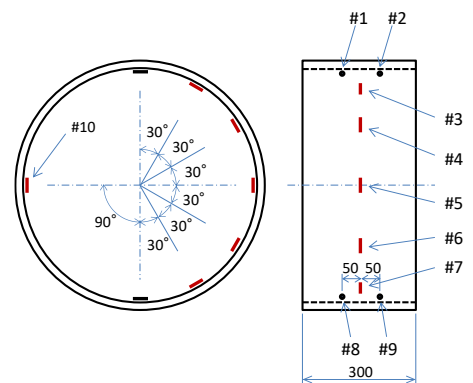


図 2.2.12 管頂・管底ひずみとたわみ率の関係 (PE3.0%)



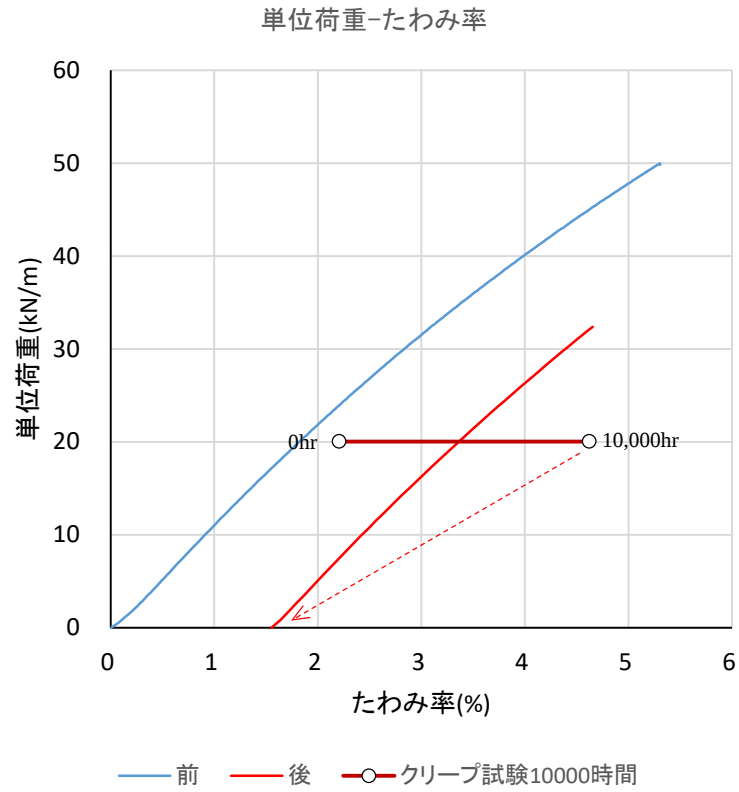


図 2.2.13 単位長さあたりの荷重とたわみ率の関係 (PEGF1.8%)

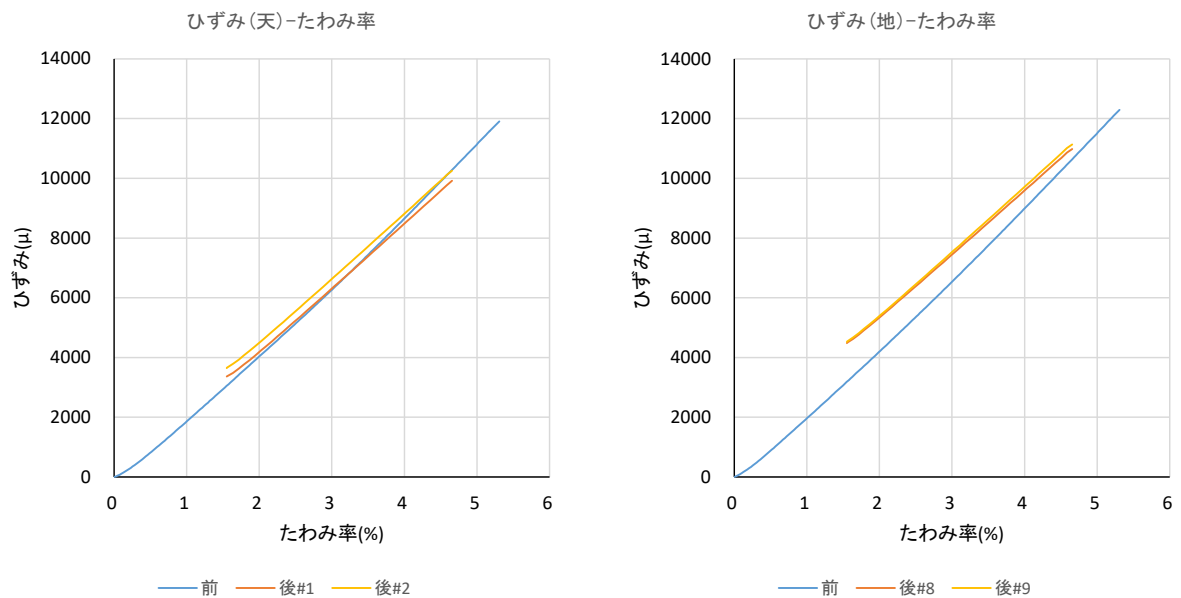
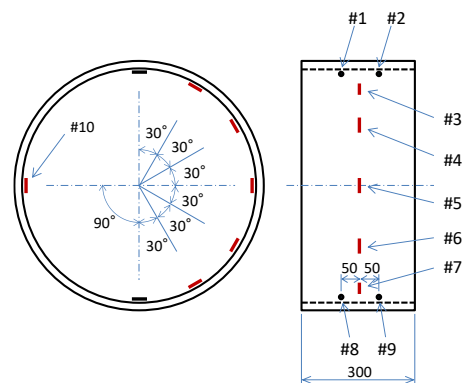


図 2.2.14 管頂・管底ひずみとたわみ率の関係 (PEGF1.8%)



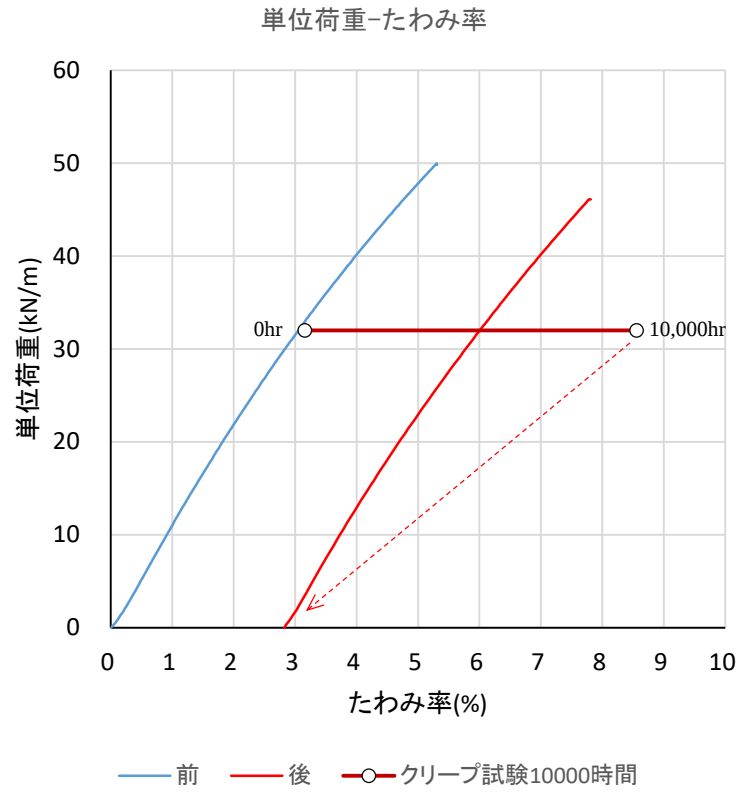


図 2.2.15 単位長さあたりの荷重とたわみ率の関係 (PEGF3.0%)

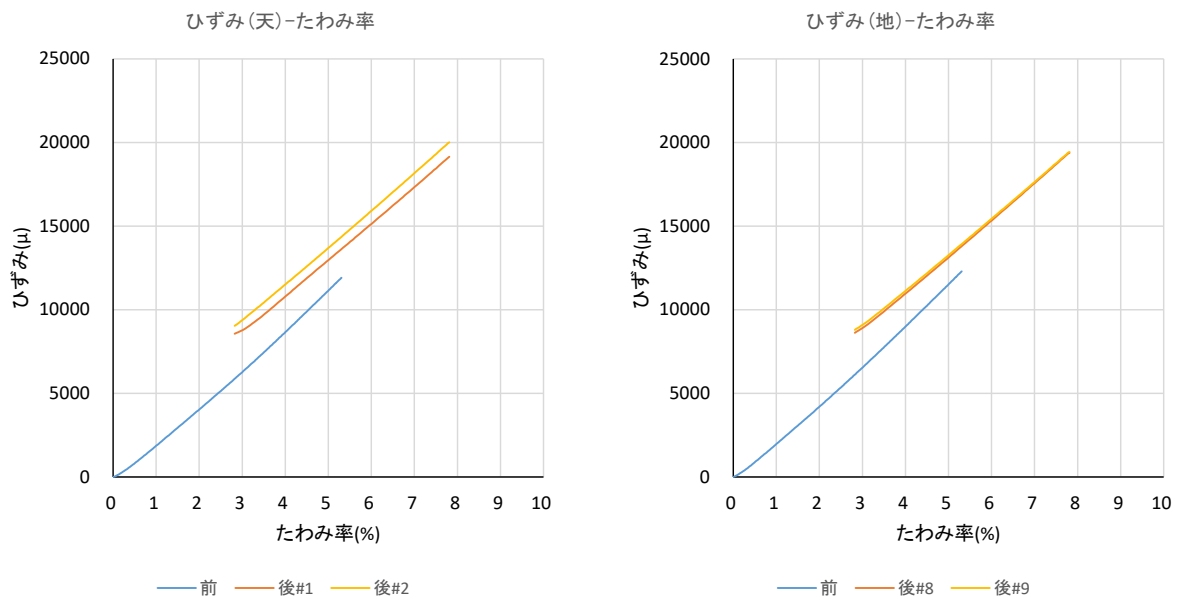
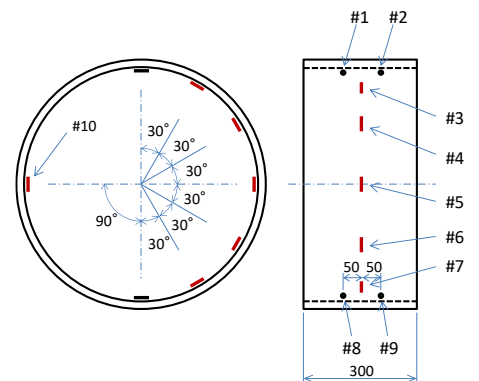


図 2.2.16 管頂・管底ひずみとたわみ率の関係 (PEGF3.0%)



(3) 長期強度特性の解明

4 管種の既往の長期特性データについて、PVC、PE、PE-GF は ISO9080 に基づく熱間内圧クリープ試験により内圧・外圧に共通の長期強度を求めている。また FRPM は ISO7509 内圧クリープ試験に基づき、長期極限内圧ひずみを求めている。

これらの試験には 10000 時間以上の時間と多くの試験装置（および供試管）を要し、結果の評価に多大な労力を要することから、ここでは試験研究機関等が既往データの検証を行うにあたり、比較的簡易な試験方法で妥当性を確認する方法について検討した。

検討した試験方法（再評価試験、促進試験）と背景を図 3.1 に示す。

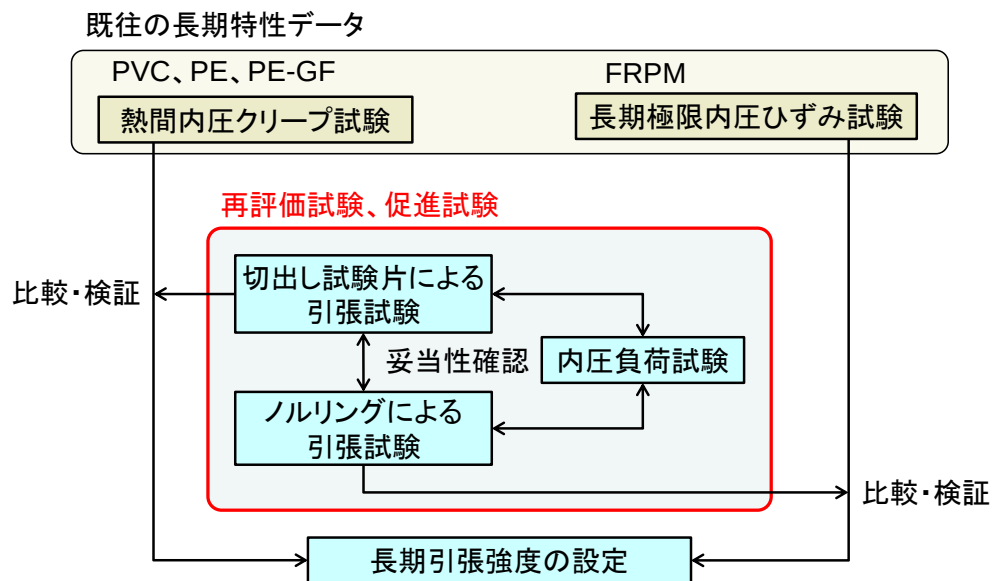


図 3.1 長期強度試験方法の検討

1) 材料引張試験

1.1) 目的

樹脂管の長期強度特性（内圧・外圧）把握のため、管から試験片を切り出し、引張試験を行った。基準強度を確認するとともに、試験速度を変化させて材料強度の速度依存性について検証を行った。

1.2) 引張試験方法

樹脂管の引張試験は、JIS K 6815「熱可塑性プラスチック管 引張特性の求め方」(ISO6259 を基とする) に準じて原管からダンベル型の試験片を作製し、引張強度を求めた。

試験の対象とした管種は、硬質ポリ塩化ビニル管 (PVC)、一般用ポリエチレン管 (PE)、ガラス繊維強化ポリエチレン管 (PE-GF) の 3 種類とした。

強化プラスチック複合管 (FRPM) は積層構造の複合材料であり、試験片の採取が困難であるため、対象外とした。

試験片の形状・寸法は JIS K 6815 に準じ、PVC は図 3.1.1 に示す試験片(タイプ 1)、PE-GF および PE は図 3.1.2 に示すタイプ 1 試験片、とした。

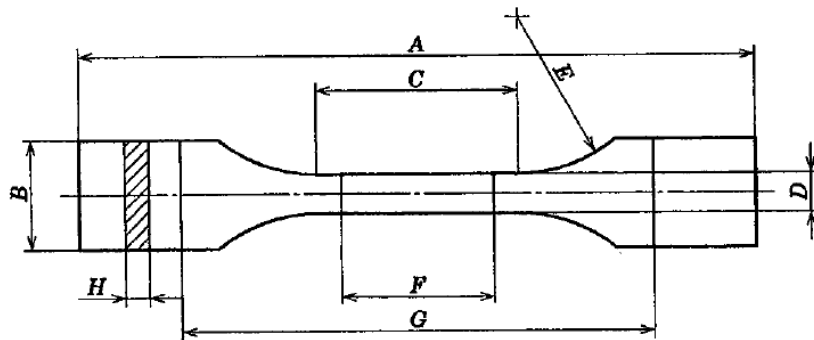


図 1 機械加工による試験片 (タイプ 1)

表 1 機械加工による試験片の寸法

記号	名称	寸法 mm
A	全長 (最小)	115
B	端部の幅	≥ 15
C	幅の狭い平行部分の長さ	33 ± 2
D	狭い平行部分の幅	$6^{+0.4}_0$
E	半径	14 ± 1
F	標線間距離	25 ± 1
G	つかみ具間の初めの間隔	80 ± 5
H	厚さ	管の厚さ

図 3.1.1 PVC 用の試験片(タイプ 1) JIS K 6815-2 より

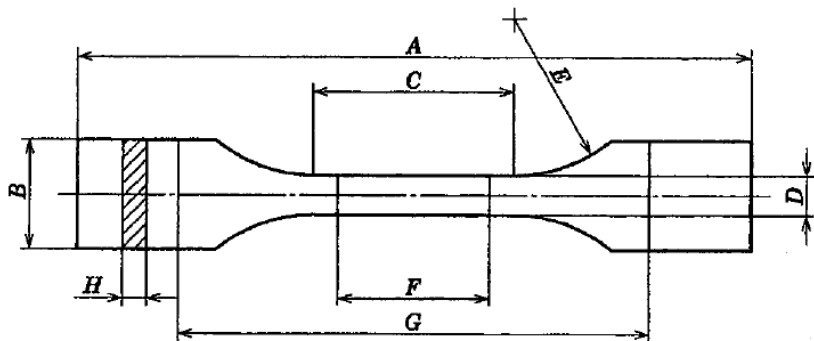


図 1 タイプ 1 試験片

表 1 タイプ 1 試験片の寸法

記号	名称	寸法 mm
A	全長 (最小)	150
B	端部の幅	20 ± 0.2
C	幅の狭い平行部分の長さ	60 ± 0.5
D	狭い平行部分の幅	10 ± 0.2
E	半径	60
F	標線間距離	50 ± 0.5
G	つかみ具間の初めの間隔	115 ± 0.5
H	厚さ	管の厚さ

図 3.1.2 PE-GF 用・PE 用のタイプ 1 試験片 JIS K 6815-3 より

1. 3) 引張試験結果

原管の種類、切出し方向、試験速度、最大引張応力とそのひずみ、最大応力までの時間を一覧にして表 3.1.1 に示す。

表 3.1.1 引張試験条件および結果一覧

管種	試験名	方向	引張速度 (mm/min)	最大応力 (MPa)	ひずみ伸び (%)	チャック変位 (mm)	最大応力までの時間 (hr)	備考
PVC	PVC_1-1	周	5.0	53.27	4.21	3.08	0.01027	無負荷状態から 切出し (t=8)
	PVC_1-2		1.0	49.47	4.04	3.08	0.05133	
	PVC_1-3		0.2	46.62	3.75	2.69	0.22417	
	PVC_1-4		0.01	42.62	3.69	2.62	4.37167	
	PVC_1-5		0.001	40.45	3.33	2.29	38.11667	
	PVC_2-1	軸	5.0	52.55	4.14	3.03	0.01010	
	PVC_2-2		1.0	49.37	3.97	2.79	0.04650	
	PVC_2-3		0.2	46.47	3.94	2.84	0.23667	
	PVC_2-4		0.01					
	PVC_2-5		0.001					
PE	PE_1-1	周	50.0	26.91	7.47	7.94	0.00265	無負荷状態から 切出し (t=10)
	PE_1-2		5.0	23.45	8.82	9.93	0.03310	
	PE_1-3		1.0	21.43	9.63	10.35	0.17250	
	PE_1-4		0.2	18.85	9.51	10.43	0.86917	
	PE_1-5		0.01	15.38	10.66	11.14	18.57167	
	PE_1-6	軸	0.001	13.40	14.32	15.51	258.41667	
	PE_2-1		50.0	27.34	7.80	8.53	0.00284	
	PE_2-2		5.0	23.46	9.60	10.60	0.03533	
	PE_2-3		1.0	21.16	10.14	11.02	0.18367	
	PE_2-4		0.2	19.06	11.38	11.86	0.98833	
	PE_2-5		0.01					
	PE_2-6		0.001					

表 3.1.1 引張試験条件および結果一覧 (続き)

管種	試験名	方向	引張速度 (mm/min)	最大応力 (MPa)	ひずみ伸び (%)	チャック変位 (mm)	最大応力までの時間 (hr)	備考
PE-GF	PEGF_t1-1	周	50.0	59.28	3.86	3.86	0.00129	JIS K 6799による 加熱・加圧後に 切出し (t=4)
	PEGF_t1-2		5.0	40.58	2.81	2.91	0.00970	
	PEGF_t1-3		1.0	48.90	4.00	4.20	0.07000	
	PEGF_t1-4		0.2	36.69	6.07	5.12	0.42662	
	PEGF_t1-5		0.01	38.57	4.22	4.66	7.77404	
	PEGF_t1-6		0.001	30.81	3.91	3.85	64.08333	
	PEGF_t2-1	軸	50.0	29.65	4.62	4.83	0.00161	
	PEGF_t2-2		5.0	26.47	5.14	5.76	0.01922	
	PEGF_t2-3		1.0	26.14	5.76	7.32	0.12199	
	PEGF_t2-4		0.2	22.40	5.85	6.23	0.51938	
	PEGF_t2-5		0.01	17.02	7.59	6.96	11.59410	
	PEGF_t2-6		0.001	15.28	6.56	6.50	108.40000	
	PEGF_1-1	周	50.0	51.43	2.02	2.98	0.00099	無負荷状態から 切出し (t=4)
	PEGF_1-2		5.0	45.02	4.04	4.13	0.01377	
	PEGF_1-3		1.0	41.06	4.86	4.67	0.07783	
	PEGF_1-4		0.2	40.32	5.52	5.10	0.42500	
	PEGF_1-5		0.01	34.50	—	5.30	8.83667	
	PEGF_1-6		0.001					
	PEGF_2-1	軸	50.0	29.41	5.51	5.52	0.00184	
	PEGF_2-2		5.0	28.79	5.72	6.20	0.02067	
	PEGF_2-3		1.0	23.43	7.26	7.47	0.12450	
	PEGF_2-4		0.2	22.86	8.91	6.79	0.56583	
	PEGF_2-5		0.01	19.94	6.90	7.82	13.03333	
	PEGF_2-6		0.001					
	PEGF_1-1	周	50.0	55.50	3.37	6.50	0.00217	無負荷状態から 切出し (t=10)
	PEGF_1-2		5.0	46.04	4.90	6.98	0.02327	
	PEGF_1-3		1.0	43.29	4.40	7.41	0.12350	
	PEGF_1-4		0.2	39.99	4.25	7.17	0.59750	
	PEGF_1-5		0.01	33.25	5.15	7.53	12.55667	
	PEGF_1-6		0.001	28.72	4.62	7.31	121.90000	
	PEGF_2-1	軸	50.0	31.83	4.33	6.50	0.00217	
	PEGF_2-2		5.0	28.50	5.38	7.55	0.02517	
	PEGF_2-3		1.0	25.25	6.03	8.06	0.13433	
	PEGF_2-4		0.2	22.68	7.48	8.78	0.73167	
	PEGF_2-5		0.01					
	PEGF_2-6		0.001					