

2.3) 内圧負荷試験

(1) 試験方法

ノルリング引張試験に用いた試験片と同じ原管から内圧負荷用の 1.5m 長さの供試験を切り出し、漏水が発生するまで内水圧を負荷し、限界状態を確認した。

内圧負荷試験は、JIS K 7037「プラスチック配管系—ガラス繊維熱硬化性プラスチック (GRP) 管—見掛けの初期周方向引張強さの求め方」の A 法にしたがい、図 3.3.1 に示す試験装置を用いて実施した。

内圧負荷は図 3.3.2 の水圧テストポンプ（最大負荷 6.0MPa）を用いて実施した。

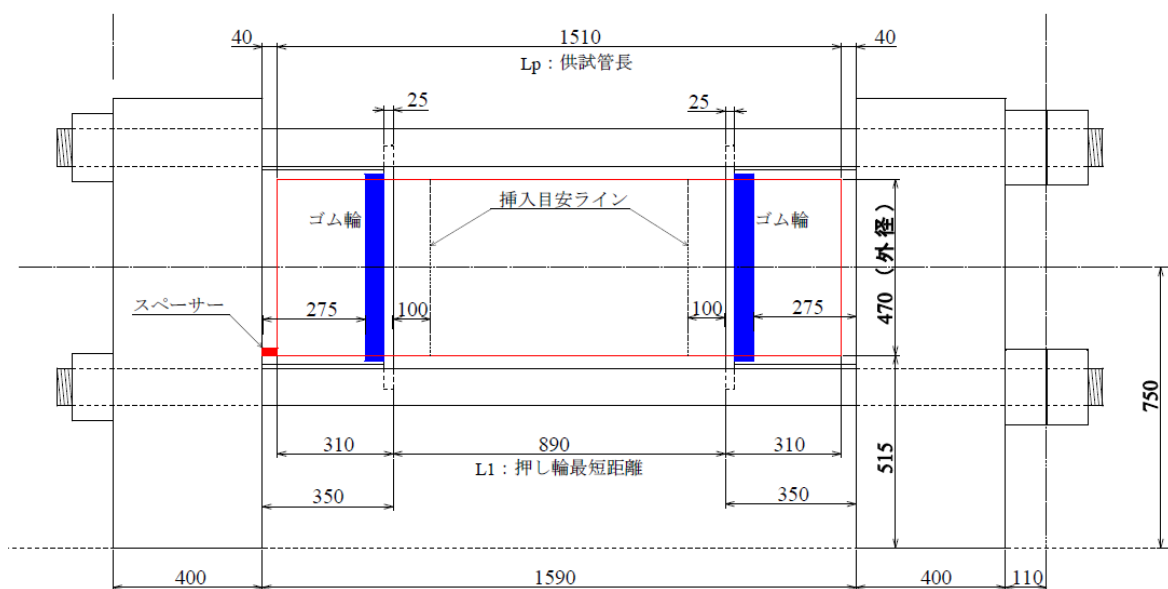


図 3.3.1 内圧負荷試験装置

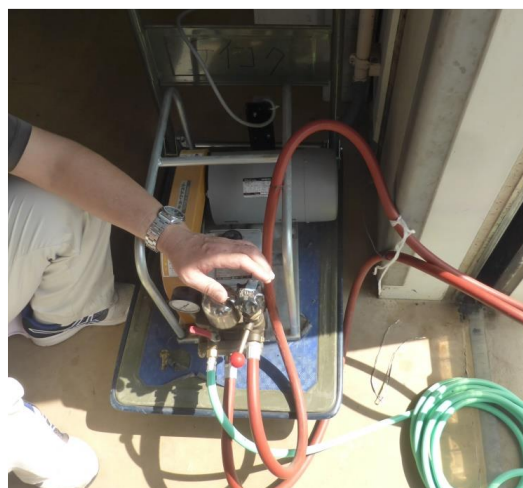


図 3.3.2 水圧テストポンプ

(2) 供試管

呼び径 450PVC 管 (VU) および呼び径 450FRPM 管 (内圧 3 種) を供試管とし、供試管の寸法を表 3.3.1 に示す。

表 3.3.1 供試管の寸法

管種	管外径 (mm)	平均管厚 (mm)	管厚中心直径 (mm)	管長 (mm)	備考
PVC	469.4	13.53	455.9	1499.6	
FRPM	472.8	12.07	460.7	1507.5	

供試管の中央断面 16 等分点に円周方向ひずみゲージを貼付した。
試験装置にセットした供試管を図 3.3.3、図 3.3.4 に示す。



図 3.3.3 呼び径 450PVC 管(VU)



図 3.3.4 呼び径 450FRPM 管(内圧 3 種)

(3) 試験結果

試験結果を要約して表 3.3.2 に示す。

表 3.3.2 内圧負荷試験結果概要

管種	概要	備考
PVC	試験開始から約 10 分後、2.61MPa まで加圧した時点で管中央部が膨らみ始め、体積増加により圧力上昇が困難な状態に。 ポンプ給水を継続するも 1.96MPa まで徐々に減圧し、試験開始から 26 分後に管側部の微小亀裂から漏水発生。	
FRPM	試験開始から 13 分後に 5.94MPa に到達、6.0MPa 前後を保持するも異状なし、30 分後に除圧。 2 回目の 6.0MPa 昇圧、5 分保持。1 箇所で発汗発生。 3 回目の 6.0MPa 昇圧。5 分保持。2 回目から変化なし。 4 回目の 6.0MPa 昇圧、5 分保持中に止水蓋近くの管底部から破断。	

破壊（漏水）直後の供試管を図 3.3.5、図 3.3.6 に示す。



図 3.3.5 呼び径 450PVC 管(VU)漏水状況



図 3.3.6 呼び径 450FRPM 管(内圧 3 種)漏水状況

PVC の負荷水圧と円周方向ひずみ（16 点平均）の時刻歴を図 3.3.7、図 3.3.8 に、試験開始から最大水圧に達するまでの水圧と平均ひずみの関係を図 3.3.9 に示す。

なお、図中の赤丸印はひずみ速度を求める区間を示す。

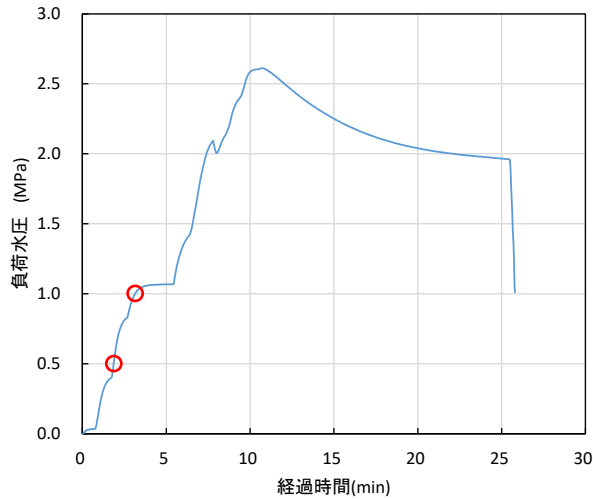


図 3.3.7 PVC 管の負荷水圧

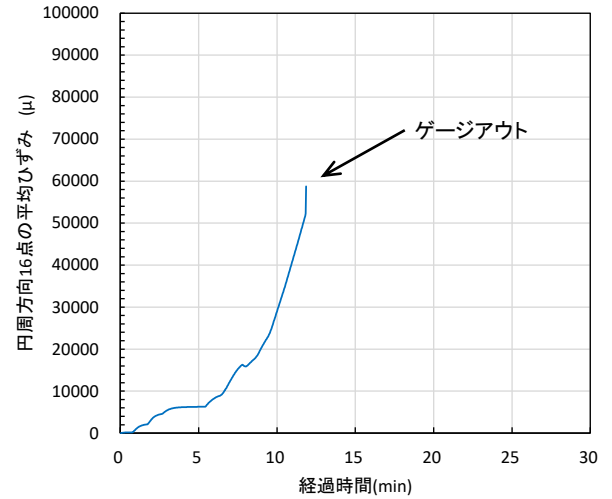


図 3.3.8 PVC 管の平均ひずみ

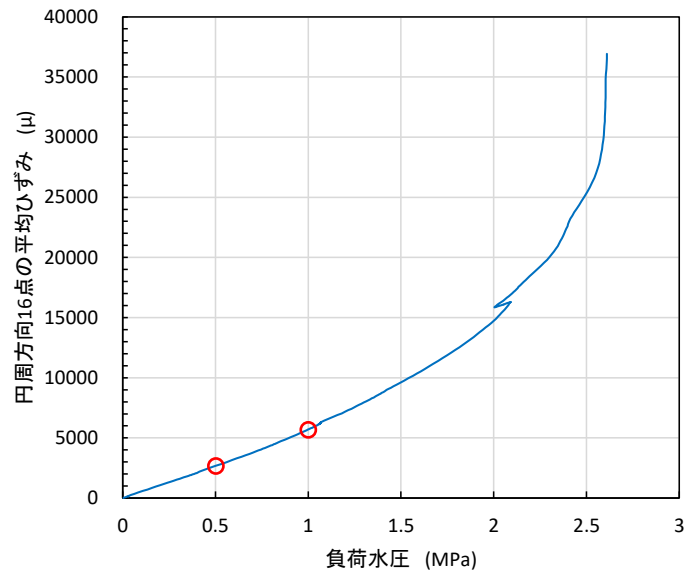


図 3.3.9 負荷水圧と平均ひずみの関係

FRPM の負荷水圧と円周方向ひずみ（16 点平均）の時刻歴を図 3.3.10、図 3.3.11 に、最初の水圧負荷と平均ひずみの関係を図 3.3.12 に示す。

なお、図中の赤丸印はひずみ速度を求める区間を示す。

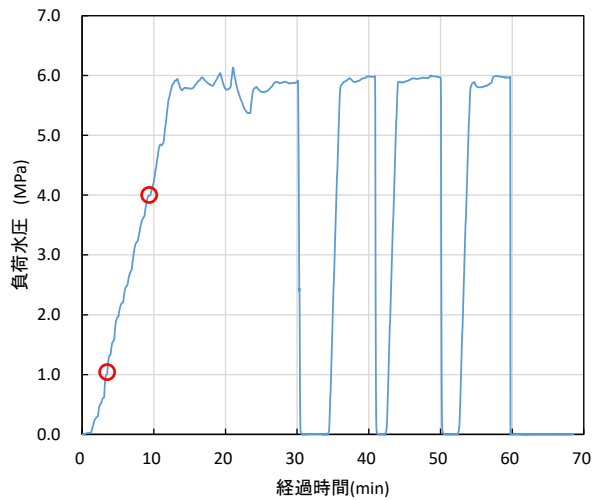


図 3.3.10 FRPM 管の負荷水圧

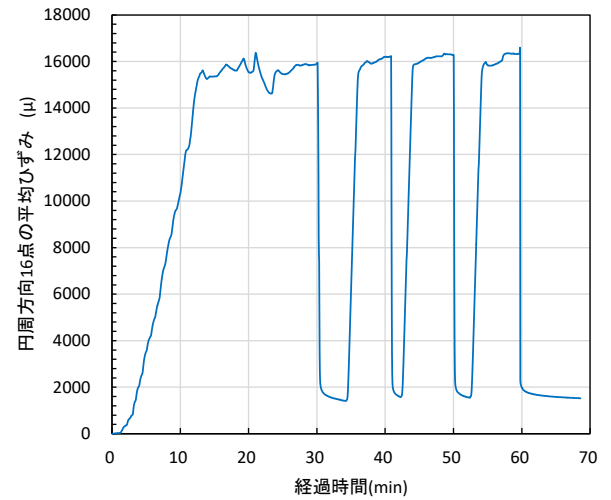


図 3.3.11 FRPM 管の平均ひずみ

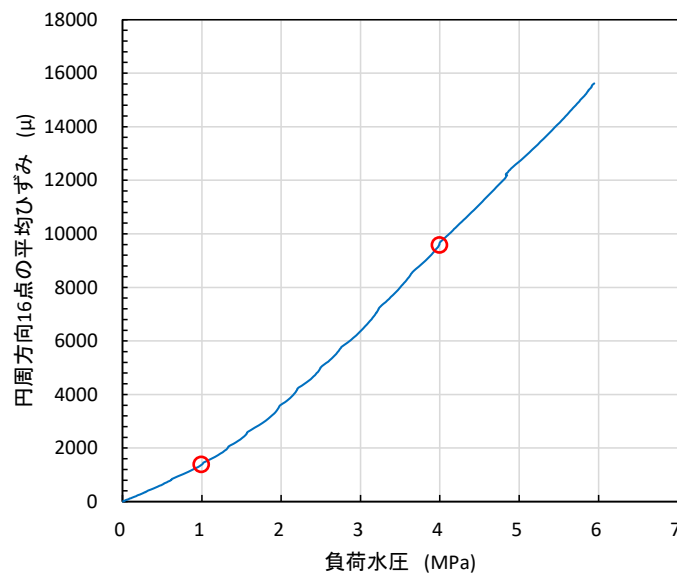


図 3.3.12 負荷水圧と平均ひずみの関係

①PVC の内圧負荷による引張強度

管が変形を生じる前の最高内圧 2.61MPa をもとに、PVC の引張強度を下式により求める。

$$\sigma = \frac{P \cdot (D - t)}{2 \cdot t} = \frac{2.61 \times (469.4 - 13.53)}{2 \times 13.53} = 43.96 \quad (\text{MPa})$$

設計基準に記載された強度(短期)の 45MPa とほぼ合致する。

②FRPM の内圧負荷による引張強度

繰り返し 4 回の内圧負荷で破壊を生じた 6.0MPa と平均管厚をもとに、FRPM のみかけの引張強度を下式により求める。

$$\sigma = \frac{P \cdot (D - t)}{2 \cdot t} = \frac{6.0 \times (472.8 - 12.07)}{2 \times 12.07} = 114.57 \quad (\text{MPa})$$

今回の試験では、試験装置の上限水圧が 6.0MPa であり、これ以上を負荷できなかったため、繰り返し負荷により破壊した。もし破壊まで単調負荷していれば 6.0MPa よりも高い水圧で破壊していたと考えられ、上記のみかけの引張強度は若干小さめの値と推定される。

(4) ひずみ速度

図 3.3.9 および図 3.3.12 について、負荷水圧～円周方向ひずみ線図の初期勾配 (赤丸区間) から、昇圧時のひずみ速度を求める。

PVC 管は 0.5～1.0MPa 区間を、FRPM 管は 1.0～4.0MPa 区間を考え、時間増分から求めたひずみ速度を表 3.3.3 に示す。

表 3.3.3 内圧負荷試験のひずみ速度

		負荷水圧 (MPa)	16 点平均ひずみ (μ)	時間
PVC 管	始点	0.502	2676	10 : 52 : 43
	終点	1.005	5729	10 : 54 : 01
	増分	0.503	① 3053	② 00 : 01 : 18
	ひずみ速度	①/② = 2348 μ /min		
FRPM 管	始点	1.003	1395	15 : 18 : 16
	終点	4.004	9691	15 : 24 : 24
	増分	3.001	① 8296	② 00 : 06 : 08
	ひずみ速度	①/② = 1353 μ /min		

一方、ノルリング引張試験のノッチ中央部のひずみ (#3) に着目して求めたひずみ速度は、表 3.3.4 のとおりである。

表 3.3.4 ノルリング引張試験のひずみ速度

試験No.	引張速度	垂直変位 (mm)	ひずみ (ノッチ中心)	時間 (min)
PVC-N1	5mm/min (ノッチ90°)	4.94	-290	
		15.1	5672	
		①変位増分	②ひずみ増分	③時間増分
		10.16	5962	2.032
		②/③=	ひずみ速度	2934 μ /min
PVC-N2	5mm/min (ノッチ80°)	4.93	2290	
		14.94	18478	
		①変位増分	②ひずみ増分	③時間増分
		10.01	16188	2.002
		②/③=	ひずみ速度	8086 μ /min
PVC-N3	0.5mm/min (ノッチ80°)	5.01	2397	
		15.01	21901	
		①変位増分	②ひずみ増分	③時間増分
		10	19504	20
		②/③=	ひずみ速度	975 μ /min
PVC-N4	0.05mm/min (ノッチ80°)	5.00	552	
		15.00	18544	
		①変位増分	②ひずみ増分	③時間増分
		10.003	17992	200.06
		②/③=	ひずみ速度	90 μ /min
FRPM-N1	10mm/min (ノッチ80°)	5.07	3454	
		10.06	11673	
		①変位増分	②ひずみ増分	③時間増分
		4.99	8219	0.499
		②/③=	ひずみ速度	16471 μ /min
FRPM-N2	1mm/min (ノッチ80°)	3.99	2092	
		7.99	8337	
		①変位増分	②ひずみ増分	③時間増分
		4	6245	4
		②/③=	ひずみ速度	1561 μ /min
FRPM-N3	0.1mm/min (ノッチ80°)	4	991	
		8	9260	
		①変位増分	②ひずみ増分	③時間増分
		4	8269	40
		②/③=	ひずみ速度	207 μ /min
FRPM-N4	0.01mm/min (ノッチ80°)	4.02	4329	
		8.02	11728	
		①変位増分	②ひずみ増分	③時間増分
		4	7399	400
		②/③=	ひずみ速度	18 μ /min

ノルリング引張試験と内圧負荷試験のひずみ速度を比較する。

PVC の場合、引張速度 5mm/min (PVC-N2) のノルリング引張試験のひずみ速度は、内圧負荷試験の約 3.4 倍であり、ひずみ速度が同等となる引張速度は 1.5mm/min となる。

FRPM の場合、引張速度 10mm/min (FRPM-N1) のノルリング引張試験のひずみ速度は内圧負荷試験の約 12 倍であり、ひずみ速度が同等となる引張速度は 0.8mm/min となる。

ノルリング引張試験と内圧負荷試験から求めた引張強度を一覧して図 3.3.13、図 3.3.14 に示す。

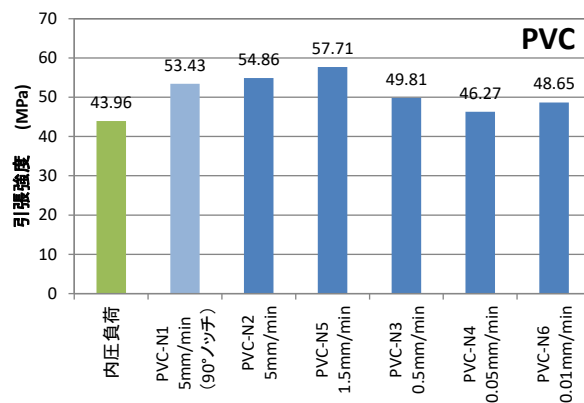


図 3.3.13 PVC の引張強度

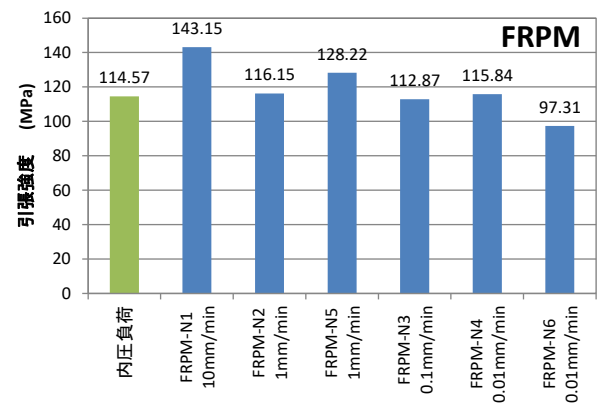


図 3.3.14 FRPM の引張強度

(5) 試験体の物性確認

FRPM 管は複合材料であり、管厚が同じであってもガラス繊維等の構成割合によって強度が異なることから、管厚だけでは見かけの強度しか求めることができない。

詳細な材料特性を把握するためには燃焼試験等により、試験体のガラス繊維量の特定が必要である。