

ガラス繊維強化ポリエチレン管に関する データ集

2018 年 4 月

高耐圧ポリエチレン管協会

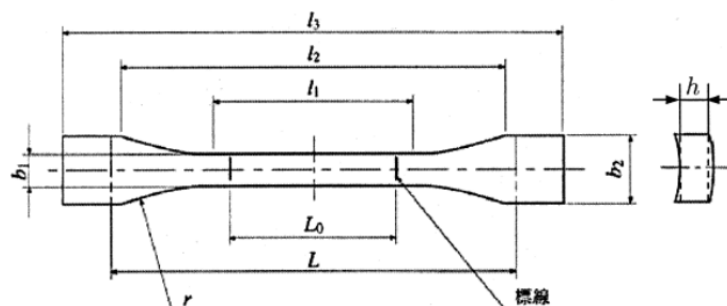
ガラス繊維強化ポリエチレン管に関するデータ集

目 次

1. 材料引張試験	1
2. 材料曲げ試験	2
3. 材料圧縮試験	3
4. 材料引張疲労試験	4
5. 耐薬品性試験	6
6. 熱安定性試験	8
7. 耐候性試験	9
8. 偏平試験	10
9. 偏平負圧試験	11
10. 水圧試験	12
11. 熱間内圧クリープ試験	14
12. 3点曲げ試験（官民連携新技術開発事業 成果）	16
13. ピーリング試験	18
14. 環片圧縮疲労試験(円周方向)	19
15. 環片引張疲労試験(管軸方向)	21

1. 材料引張試験

- (1) 目的：材料の円周方向における引張降伏強さおよび引張弾性率を測定する。
- (2) 試験方法：JIS K 7161、JIS K 6815-1および-3による。
- (3) 試験条件：
 - 1) 試験体：図1-1による。



l_1	l_2	l_3	r	b_1	b_2	h	L_0	L
幅の狭い平行部分の長さ	幅の広い平行部分間の間隔	全長	半径	狭い平行部分の幅	端部の幅	厚さ	標線間距離	つかみ具間の初めの間隔
60.0 ± 0.5	115.0 ± 0.5	≥ 150	≥ 60	10.0 ± 0.5	20.0 ± 0.5	3 ± 1	50.0 ± 0.5	$115 \begin{smallmatrix} +5 \\ 0 \end{smallmatrix}$

図1-1 試験体の寸法

- 2) 試験温度： $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- 3) 試験速度：引張降伏強さ 50mm/分
引張弾性率 1mm/分

(4) 試験結果

引張降伏強さは表1-1に示す通り、3個の試験体すべてにおいて、引張降伏強さが規格値である 40N/mm^2 以上であることが確認された。

また、引張弾性率は表1-2に示す通り、3個の試験体すべてにおいて、引張弾性率が規格値である 2500N/mm^2 以上であることが確認された。

表1-1 引張降伏強さ

試験体 No	引張降伏強さ (N/mm^2)	規格値 (N/mm^2)
1	54.5	40.0
2	54.0	
3	54.3	

表1-2 引張弾性率

試験体 No	引張弾性率 (N/mm^2)	規格値 (N/mm^2)
4	3900.4	2500
5	3785.0	
6	3851.7	

2. 材料曲げ試験

(1) 目的：材料の曲げ降伏応力を測定する。

(2) 試験方法：JIS K 7171による。

(3) 試験条件：

1) 試験体：図2-1による。

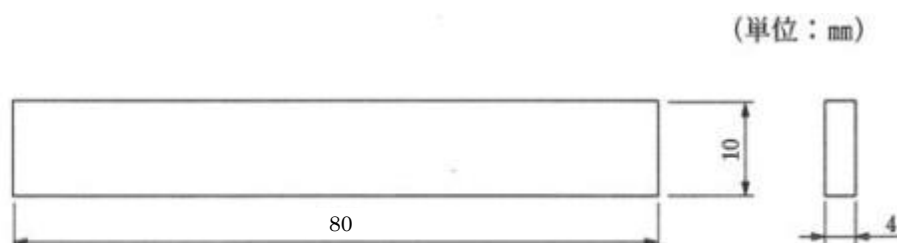


図2-1 試験体の寸法

2) 試験温度：23℃±2℃

3) 試験速度：20mm/分

(4) 試験結果

表2-1に示す通り、曲げ降伏応力は規格値である54N/mm²以上であることが確認された。

表2-1 曲げ試験結果

試験体 No	降伏荷重 (N)	曲げ降伏強さ (N/mm ²)	規格値 (N/mm ²)
1	121.5	72.9	54
2	121.3	72.8	
3	122.6	73.6	

3. 材料圧縮試験

- (1) 目的：材料の圧縮降伏強さを測定する。
- (2) 試験方法：JIS K 7181による。
- (3) 試験条件：
 - 1) 試験体：表3-1および図3-1による。

表 3-1 試験片寸法

長さ L(mm)	幅 B(mm)	厚さ h(mm)
10±0.2	10±0.2	4±0.2

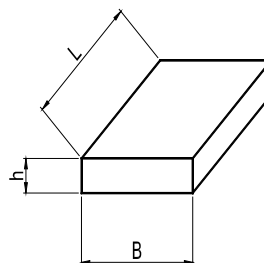


図 3-1 試験片の形状

- 2) 試験温度：23℃±2℃
 - 3) 試験速度：1mm/分
- (4) 試験結果
- 表3-2に示す通り、3個の試験体すべてにおいて、圧縮強さが規格値である50N/mm²以上であることが確認された。

表3-2 圧縮試験結果

試験体 No	圧縮降伏強さ (N/mm ²)	規格値 (N/mm ²)
1	66.3	50
2	64.7	
3	64.5	

4. 引張疲労試験

(1) 試験目的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の管材料の繰り返し負荷に対する強さを調べるために引張疲労試験を行う。

(2) 試験方法

JIS K 6774 に準ずる。あらかじめ成形されたサンプル管片から表 4-1、図 4-1 に示す試験片を切り出し、引張疲労試験を行う。

(3) 試験条件

1) 供試体

表 4-1、図 4-1 に示す試験片とし、ノッチ深さは 0.5 mm とする。

表 4-1 試験片寸法

[mm]	
記号	寸法
A	45
B	4
C	4

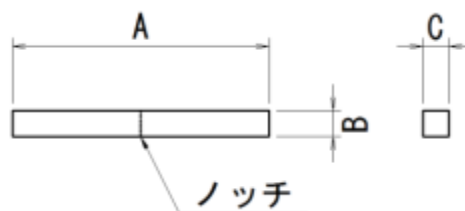


図 4-1 試験片の形状

- 2) 試験温度 $80^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, $40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- 3) 状態調整 1 時間以上
- 4) 試験設備 サーボパルサー EHF-FB1-10LA
 - a) 制御方式 荷重(応力)振幅
 - b) 負荷方式 完全片振り
 - c) チャック間距離 10mm
- 5) 試験速度 $0.5\text{Hz} \pm 0.05\text{Hz}$
- 6) 加振回数 破断まで

(4) 試験結果

引張疲労試験結果を図 4-2 に示す。試験温度が 40℃において、繰り返し回数を 10 万回まで外挿すると、疲労強度は 27.5MPa であることが推定される。

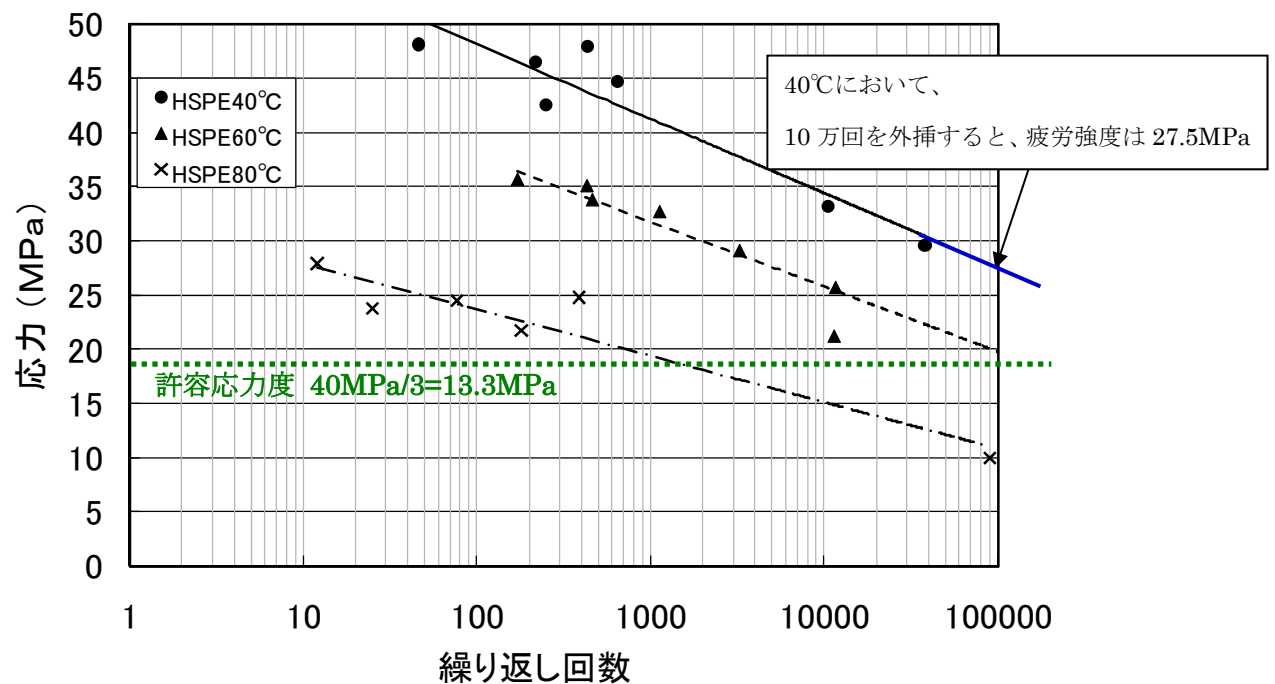


図 4-2 引張疲労試験結果

(5) 考察

40℃における疲労強度(10 万回)は 27.5MPa である。したがって、疲労強度は設計基準パイプラインの許容応力度 13.3MPa 以上であり、許容応力度以下で設計を行えば、問題ないといえる。

5. 耐薬品性試験

(1) 目 的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の管材料の耐薬品性能を調査する。

(2) 試験方法

表 5-1 の試験液に 5 時間浸せきした後、流水中で 5 秒洗浄し、(水による耐薬品性の場合には行わない。) 乾いた布で表面の水分を拭き取り、はかりびん(瓶)に入れて質量を量る。式 (5・1) により質量変度 $mc(\text{mg}/\text{cm}^2)$ を算出する。

$$mc = \frac{mb - ma}{S} \dots\dots\dots (5 \cdot 1)$$

ここに、

ma : 試験片の浸せき前の質量 (mg)

mb : 試験片の浸せき後の質量 (mg)

S : 試験片の表面積 (cm^2)

表 5-1 試験液の純度及び濃度

試験液の種類	試験液の純度及び濃度
水	蒸留水又はイオン交換水
塩化ナトリウム溶液	JIS K 8150[塩化ナトリウム(試薬)]の塩化ナトリウム 10w/w%水溶液
硫酸	JIS K 8951[硫酸(試薬)]の硫酸 30w/w%水溶液
水酸化ナトリウム溶液	JIS K 8576[水酸化ナトリウム(試薬)]の水酸化ナトリウム 40w/w%水溶液

(3) 試験条件

1) 試験片 直管から長さ約 50mm の管状片を切り取り、これらの弦の長さ約 25mm に切り取ったものを、各試験ごとに 2 個作製する。

2) 試験温度 $60 \pm 2^\circ\text{C}$

(4) 試験結果

試験結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 耐薬品性試験結果

試 験 液 名	質 量 変 化 度 (mg/cm ²)
水	+0.0180
塩化ナトリウム溶液	−0.0193
硫 酸	−0.1030
水酸化ナトリウム溶液	−0.0405

備考 n=2 の平均値を表す。

(5) 考 察

試験結果より、管材料は各溶液とも質量変化度が規格値の $\pm 0.2\text{mg/cm}^2$ 以下であり、各溶液に対して安定であることが認められた。

6. 熱安定性試験

(1) 目 的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の管材料の熱安定性について確認する。

(2) 試験方法

ISO 10837 に準拠して行う。この場合、示差熱分析装置又は示差走査熱量計を用いて、窒素雰囲気下で $200\pm0.5^{\circ}\text{C}$ に加熱し、安定後、酸素雰囲気下に置き換え、酸化誘導時間を測定する。

(3) 試験結果

試験結果を表 6-1 に示す。

表 6-1 試験結果

熱安定性試験結果 (分)					平均 (分)
55	60	50	52	56	54

(4) 考 察

試験結果より、優れた熱安定性を有していることが認められた。

7. 耐候性試験(熱安定性試験)

(1) 目 的

ポリエチレン樹脂としての耐久性を確認するため熱安定性を確認する。

(2) 試験方法

JIS K 7350-4 に規定する促進暴露試験装置に 600h 耐候暴露を行った後、熱安定性試験を行う。

(3) 試験結果

試験結果を表 7-1 に示す。

表 7-1 耐候性試験(熱安定性試験)結果

熱安定性試験結果 (分)					平均 (分)
43	52	38	44	46	44

(4) 考 察

管は、短期間屋外に保管されても十分な耐候性能を有していることが認められた。

8. 偏平試験

(1) 目 的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の管片に荷重を加え、管のたわみ率と荷重との関係を調べるとともに、規格値を満足することを確認する。

(2) 試験方法

規格の偏平試験に準じ、図 8-1 に示すの試験方法により、管のたわみ率が 5%になるまで偏平させ、たわみ率と荷重の関係を測定する。

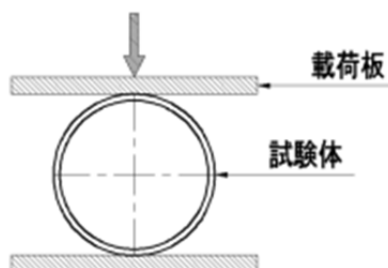


図 8-1 偏平試験

(3) 試験条件

1) 試験片 : 以下に示す 2 種類の直管より試験片を作製する。

呼び径 450、管厚 $t=15\text{mm}$

呼び径 900、管厚 $t=30\text{mm}$

2) 試験温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$

3) 載荷速度 10mm/分

(4) 試験結果

試験結果を表 8-1 に示す。

表 8-1 偏平試験結果

呼 び 径	規格圧縮量 (mm)	試 験 結 果 (kN/m)	規格線荷重 (kN/m)
450	23.0	11.8	8.3
900	45.0	21.4	16.4

(5) 考 察

試験結果より、管の規定圧縮量における荷重は、規格値を満足していることが認められた。

9. 偏平負圧試験

(1) 目 的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の EF 接合部の気密性及び水密性を確認する。

(2) 試験方法

図 9-1 に示すように試験片の一端を真空試験機に接続して、 0.078MPa $\{0.8\text{kgf/cm}^2\}$ の負圧に保持した状態で、EF 接合部の差し口を呼び径の 10% になるまで偏平させ、そのまま 3 分間放置した後、負圧の変動、その他欠点を調べる。

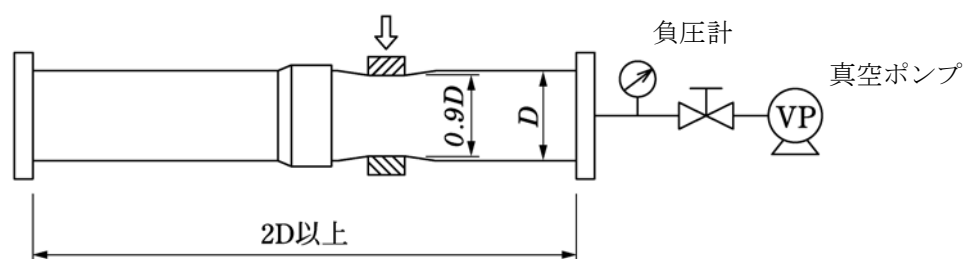


図 9-1 偏平負圧試験概要

(3) 試験条件

1) 試験片：以下に示す直管を EF 接合した試験片を作製する。

呼び径 900、管厚 $t=30\text{mm}$

2) 試験温度 常温

(4) 試験結果

試験結果を表 9-1 に示す。

表 9-1 偏平負圧試験結果

呼び径	試験結果
900	負圧 0.078MPa 、10%偏平状態で 負圧の変動・その他欠点なし

(5) 考 察

試験結果より、EF 接合部は、地盤変動、沈下等により接合部に過大な変形が生じても、十分な気密性及び水密性を有することが認められた。

10. 水圧試験

(1) 試験目的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の管本体及び EF 接合部の耐水圧性能を評価するために、水圧試験を実施する。

(2) 試験方法

図 10-1 に示すように、あらかじめ EF 接合された継手部を含んだ供試体の両端を封かんし、一端を破壊水圧試験装置に接続する。一定の速度で管内を加圧し、供試体の破壊時水圧と破壊形態を調べる。

(3) 試験体

図 10-1、表 10-1 に示す農業用高耐圧ポリエチレン管 HSPE の供試体を $\phi 450$ 、 $\phi 900$ それぞれ 3 個とする。なお、管種(管厚)は特殊管で行った。

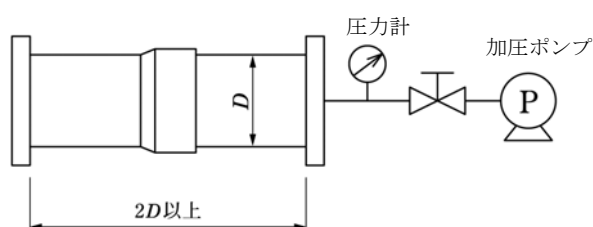


表 10-1 供試体の寸法 (mm)

呼び径	$\phi 450$	$\phi 900$
管内径(D)	455	915
管厚(t)	18	36
管外径(Dc)	491	987

(4) 試験温度： $23^{\circ}\text{C}+5$ ， -2

(5) 試験結果

表 10-2 に示す通り、 $\phi 450$ 、 $\phi 900$ のそれぞれ 3 個の供試体すべてにおいて、破壊時水圧は規格値である 3.1MPa 以上であり、さらに破壊は EF 融着継手ではなく管本体であることを確認した。

表 10-2 破壊水圧試験結果

供試体 No	呼び径	破壊水圧 規格値(MPa)	破壊時水圧 (MPa)	破壊形態
1	$\phi 450$	3.1	3.4	管本体より破壊
2			3.4	管本体より破壊
3			3.5	管本体より破壊
4	$\phi 900$	3.1	3.5	管本体より破壊
5			3.5	管本体より破壊
6			3.4	管本体より破壊

【破壊水圧算出式】

ガラス繊維強化ポリエチレン管の破壊水圧の規格値はナダイの式により算出し、以下の通りである。

(1) φ 450 の場合

$$\begin{aligned} P &= 2t \times \sigma / (d+t) \\ &= 2 \times 18 \times 40 / (455+18) \\ &= 3.04\text{MPa} \\ &\Rightarrow \mathbf{3.1\text{MPa}} \end{aligned}$$

ここに、

P : 破壊水圧の規格値(N/mm²=MPa)

σ : 材料引張強さ(=40N/mm²)

d : 内径(=455mm)

t : 管厚(=18mm)

(2) φ 900 の場合

$$\begin{aligned} P &= 2t \times \sigma / (d+t) \\ &= 2 \times 36 \times 40 / (915+36) \\ &= 3.03\text{MPa} \\ &\Rightarrow \mathbf{3.1\text{MPa}} \end{aligned}$$

ここに、

P : 破壊水圧の規格値(N/mm²=MPa)

σ : 材料引張強さ(=40N/mm²)

d : 内径(=915mm)

t : 管厚(=36mm)

11. 熱間内圧クリープ試験

(1) 試験目的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の管材料が 50 年クリープ強さ 20MPa 以上であることを、熱間内圧クリープ試験により調べる。

(2) 試験方法

JIS K 6774 に規定された試験方法に準じ、**図 12-1** に示す呼び径 $\phi 450$ 、管厚 $t=18\text{mm}$ の特殊管の試験片を用いて、**表 11-1** に示す試験条件で試験片に割れ、およびその他欠点の有無を調べる。

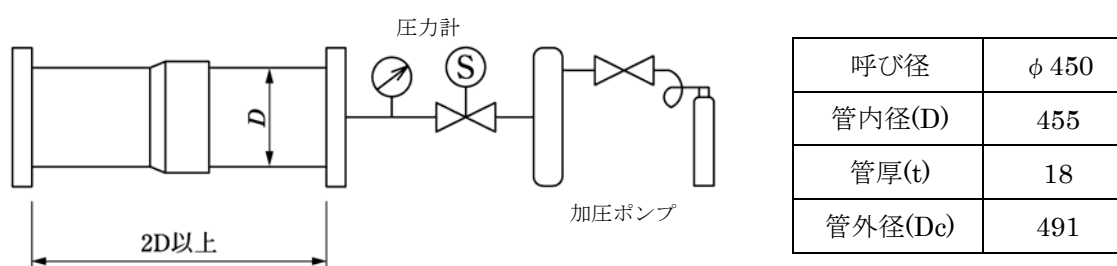


図 11-1 熱間内圧クリープ試験

表 11-1 熱間内圧クリープ試験の試験条件

項目	単位	条件 1	条件 2	条件 3
試験温度	℃	20	80	80
試験時間	hr	100	165	1,000
円周応力	MPa	38	17	15



写真 11-1 熱間内圧クリープ試験試験機

(3) 試験結果

熱間内圧クリープ試験の実施結果を、図 11-2 のクリープ線図にプロットする。各試験条件にて、試験片の割れ・その他欠点はなく、クリープ線図を上回り、規格を満足した。

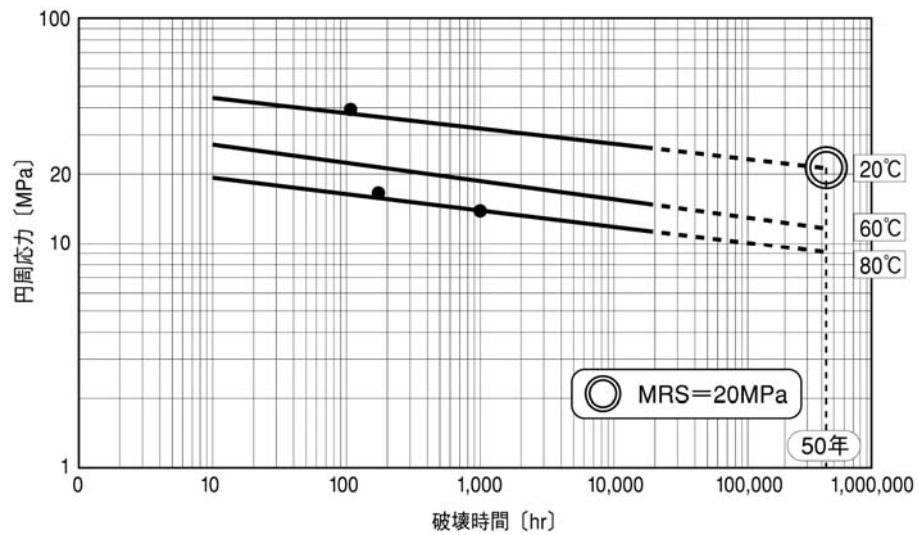


図 11-2 熱間内圧クリープ試験結果

(4) 考 察

試験結果より、50年後のクリープ強さが 20.0MPa 以上であることが確認された。

12. 3点曲げ試験

(1) 試験目的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の曲線配管（直管の生曲げ）の挙動を把握するとともに、管体の許容曲率半径を把握する。

(2) 試験方法

① 供試体

供試体は、図 12-1 に示す通り、ガラス繊維強化ポリエチレン管（ $\phi 600$ 、 $t=20\text{mm}$ ）を BUTT 融着接合し、 $L=12\text{m}$ の一体化管路を構成した。

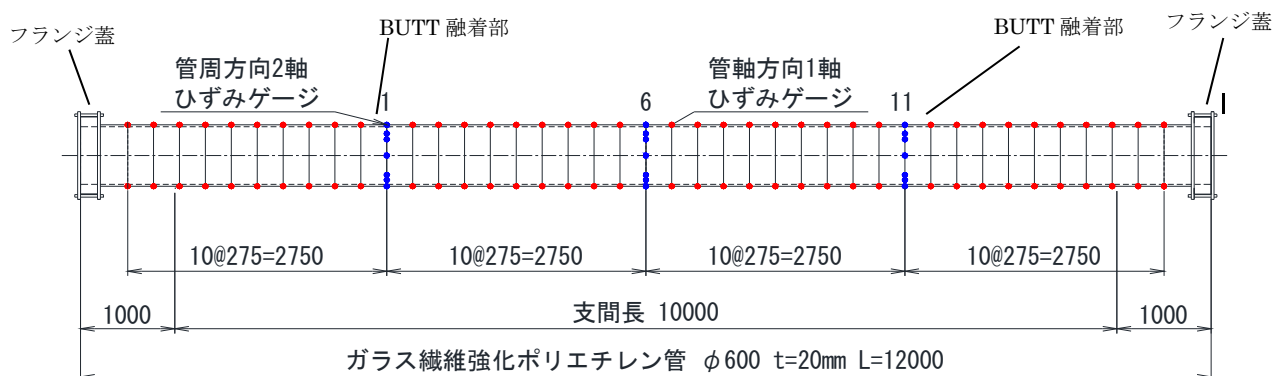
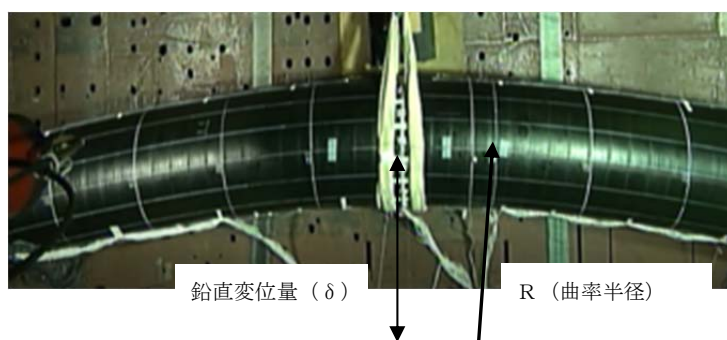


図 12-1 供試体形状図

② 試験方法

試験方法は、図 12-2 に示す通り、端から 1m の位置に支点を設けた供試体の中央部を水平方向に油圧ジャッキで引張り、供試体を屈曲させ発生ひずみを測定した。



左写真、鉛直変位量 1000mm

図 12-2 3点曲げ試験方法

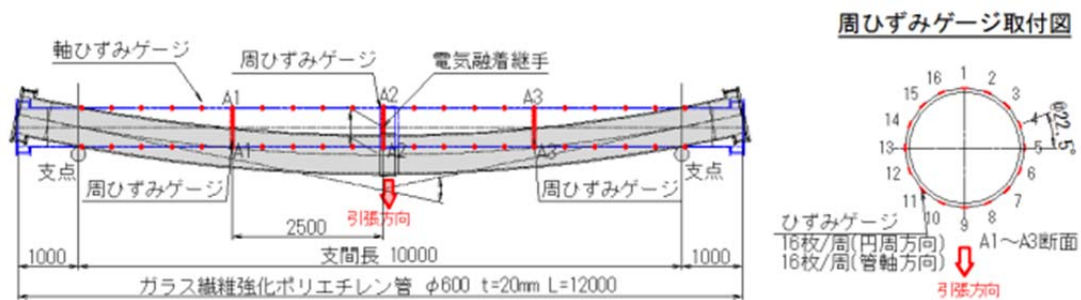


図 12-3 発生ひずみ測定点

③ 試験結果及び考察

3点曲げ試験における A2 断面-9 の位置の変位量と発生ひずみの関係を図 12-4 に示す。どの供試管も変位量の増加に伴い直線的に管軸方向ひずみが増加した。

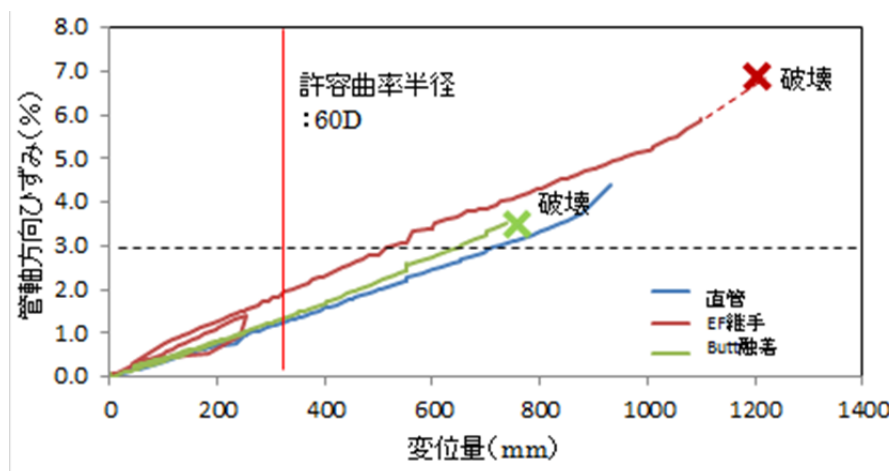


図 12-4 変位量と発生ひずみの関係

次に A2 断面が直管である時の A2 断面-周 9 の軸方向曲げひずみについて計算値と実測値の関係を図 12-5 に示した。このとき計算ひずみは、円柱を両端自由支持、集中载荷した場合として求めた。結果は両者のひずみは 3%まで直線応答していたことから、3%までは管周断面が円形を保っていることが分かった。また、管軸方向ひずみ 3.8% の状態より除荷すると、残存ひずみ 0.8%はあった。これらより、3%までは弾性変形とみなせる。3%以降の実測値の低下は塑性変形によるものと考えられるが、気密試験より気密性が保たれていたことから、大規模な損傷を伴う塑性変形でないことが推定できる。これより、PE-GF 管の耐震設計をする場合、レベル 2 における許容ひずみは 3%とする。

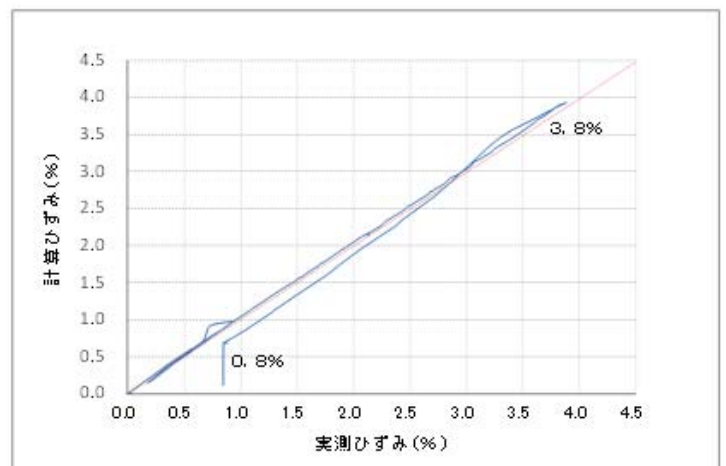


図 12-5 計算ひずみと実測ひずみの関係

次に変位量ごとに発生している管軸方向ひずみと図 12-6 により算出した曲率半径を表【ひずみー曲率半径比較】で示す。

表. 【ひずみー曲率半径比較】

変位量(mm)	管軸方向ひずみ(%)	曲率半径
120	0.5	159D
257	1.0	74D
316	1.2	60D
387	1.5	49D
512	2.0	38D
638	2.5	30D
786	3.0	26D

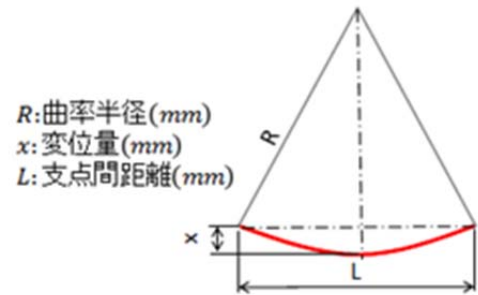


図12-6 変位量と曲率半径

図12-5で示した通りPE-GF管は弾性領域である3%以内では円形を保持しており、3%が許容曲率半径であると言える。またその時の曲率半径は26Dであり、安全率を2とすると許容曲率半径は52Dとなる。安全率は「パイプライン」基準書P318の管体縦断方向の設計で規定する“2”を用いた。設計曲率半径は更なる安全・設計の煩雑さを避けるため**60D**とする。

13. ピーリング試験

(1) 目 的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の EF 接合部の強度を確認する。

(2) 試験方法

図 13-2 の形状の試験片を、呼び径 $\phi 450$ ・から採取し、図 13-1 に示すように、試験片を引張試験機に取り付けた後、下水道協会規格(JSWAS K-15)の試験方法に準じて行い、融着接合部の界面状態を目視によって調べることにより、残存長さを求める。ここで、残存長さとは、融着界面がはく(剥)離せず残っている長さをいう。ただし、電熱体部でぜい(脆)性破壊した部分を除く。

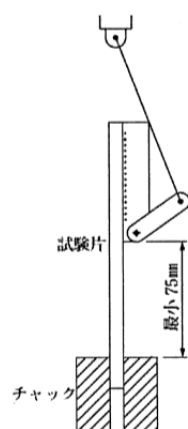
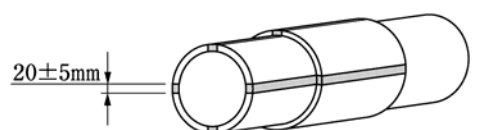
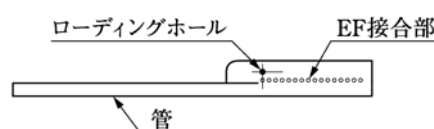


図 13-1 ピーリング試験概要



(a) ピーリング試験片の作成



(b) ピーリング試験片

図 13-2 試験片の採取

(3) 試験条件

- 1) 試験片 以下に示す直管を EF 接合した試験片を 4 体作製する。

呼び径 450、管厚 $t=15\text{mm}$

- 2) 試験温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$

- 3) 試験速度 100mm/分

(4) 試験結果

試験結果を表 13-1 に示す。

表 13-1 ピーリング試験結果

管 種	はく離状態
ガラス繊維強化ポリエチレン管 $\phi 450$ 、 $t=15\text{mm}$	4 体すべてにおいて、 EF 接合部ははく離せず管破断

(5) 考 察

試験結果より、EF 接合部は、外力によるはく離に対して十分な性能を有していることが確認された。

14. 環片圧縮疲労試験(円周方向)

(1) 目的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の継手および管に鉛直方向のたわみを連続的に与え、円周方向の挙動を把握するとともに管や継手に問題ないことを確認する。

(2) 試験方法

継手中央に設置したアクチュエータを用いて以下のとおり行った。

- ①継手両端を鋼製蓋で密封する。
- ②管内を満水とする。
- ③管内が加圧状態とならないよう圧力を調整しながらたわみ 4%まで圧縮する。
- ④1.0MPa まで加圧する。
- ⑤たわみ 3%まで戻し、そこから±1%で 10 万回繰返し負荷を行う。

(3) 試験条件

1) 供試体

供試体を図 15-1 に示す。

(ア) 呼び径 $\phi 450$ 、管厚 $t=18\text{mm}$ 、外径 491mm

(イ) ひずみゲージ貼付位置

円周方向 8 点

管軸方向 8 点

継手円周方向 8 点

継手管軸方向 8 点

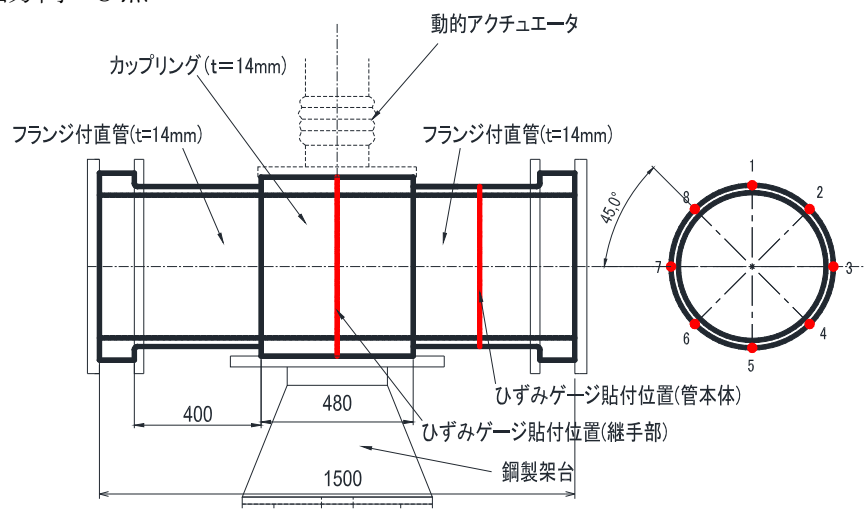


図 14-1 供試体および試験状況

2) 試験圧力

内水圧 1.0MPa

3) 振幅

3%±1% (±4.5mm) 変位制御

4) 振幅回数

10 万回 (連続 55.6 時間)

5) 周波数 0.5Hz

6) 試験設備

MTS 社製 アクチュエータ

7) サンプルング 30s 毎

(4) 試験結果

内水圧 1.0MPa を保持したまま、振幅±4.5mm(たわみ率 2～4%)、振幅回数 10 万回を行い、管本体及び継手部からの漏水は見られなかった。



写真 14-1 試験状況

15. 環片圧縮疲労試験(管軸方向)

(1) 目的

ガラス繊維強化ポリエチレン管の継手および管の軸方向に設計応力レベル※の振幅を与え、軸方向の挙動を把握するとともに管や継手に問題ないことを確認する。

※軸方向の設計応力 12.0MPa（変位 0.7%相当）とした。

(2) 試験方法

継手両端にそれぞれアクチュエータと固定架台を設置し以下のとおり行った。

- ①管内を満水とする。
- ②1.0MPa まで加圧する。
- ③引張方向へ 2.5mm 移動し停止する。
- ④振幅±2.5mm の変位制御において 10 万回繰返し負荷を行う。

(3) 試験条件

1) 供試体

供試体を図 15-1 に示す。

1. 呼び径 $\phi 450$ 、管厚 $t=18\text{mm}$ 、外径 491mm

2. ひずみゲージ貼付位置

- | | |
|--------|-----|
| 円周方向 | 8 点 |
| 管軸方向 | 8 点 |
| 継手円周方向 | 8 点 |
| 継手管軸方向 | 8 点 |

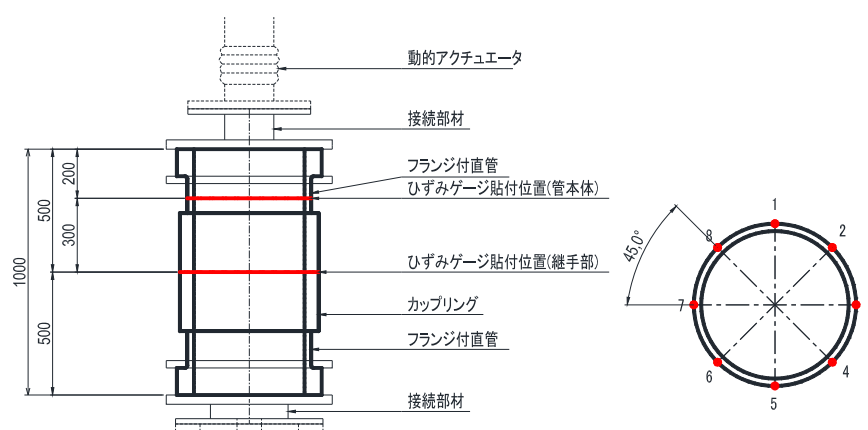


図 15-1 供試体および試験状況

2) 試験圧力

内水圧 1.0MPa

3) 軸方向振幅

5mm (±2.5mm) (変位 $0.7\% = 5 \div 700 \times 100$) 変位制御

4) 振幅回数

10 万回 (連続 27.8 時間)

5) 周波数 1Hz

6) 試験設備

MTS 社製 アクチュエータ

7) サンプルング 30s 毎

(4) 試験結果

内水圧 1.0MPa を保持したまま、振幅±2.5mm(伸び率 0～0.7%)、振幅回数 10 万回を行い、管本体及び継手部からの漏水は見られなかった。

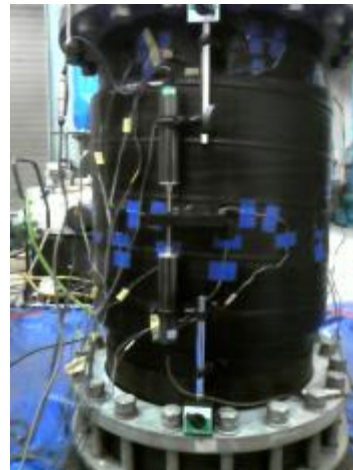


写真 15-1 試験状況