

## 研究成果報告書

研究開発課題名	パイプラインにおける長期強度を考慮した設計手法の開発
研究総括者	株式会社クボタ パイプシステム事業ユニット 藤田信夫
研究開発組合	株式会社クボタ 株式会社栗本鐵工所 積水化学工業株式会社 ダイプラ株式会社
試験研究機関	茨城大学農学部 神戸大学大学院農学研究科 農村工学研究部門

## 1 事業の実施内容

## 1. 1 事業の背景及び目的

地中に埋設されているパイプラインは、1960年代の高度経済成長期に施工されたパイプが多く、その更新時期に入り毎年 300 箇所以上の事故が報告されている。大口径で高圧力の幹線パイプラインによって水理システムを構築している農業用のパイプラインは、軽微な性能低下といえども給水停止にとどまらず、管体破損やさらに重大な事故につながる場合もある。

農業用パイプラインでは、特に樹脂系の材料を用いたパイプラインが突発的に破損し、周辺の道路などの施設まで甚大な被害が発生するなどの事象が発生している。

一方、土地改良事業計画設計基準「パイプライン」では、パイプの構造的な安全性を確保し現場施工時の品質を確認するために構造設計において「JIS 規格などを満足する品質のパイプの使用」「施工後のパイプのたわみ量の規定」などが記載されている。このような方法は、パイプ製造直後の短期性能を用いた構造設計であるため、供用期間内で確保されている安全性の低下を定量的に判断できないという課題がある。

本研究では、樹脂系のパイプラインの長期的な性能の変化を予測する手法を開発し、農業用パイプラインの安全性を向上させることを目的として、パイプラインの長期強度試験技術と品質管理、残存強度の評価方法に関する研究開発に取り組む。

## 1. 2 事業の内容及び実施方法

## (1) 長期外圧強さの解明

## ①内容

長期供用中のパイプの外圧に対する安全性を定量的に評価するため、既往のデータ・文献の調査を進めるとともに、外圧クリープ試験を実施した。

## ②実施方法

試験は PVC、FRPM、PE、PE-GF の 4 管種を対象として、供試管の口径などの条件をできるだけ統一し、JIS 規格 (ISO 規格) の試験方法に準じて同一の試験環境・装置で実施した。

10,000 時間までの供試管の垂直変位の変化から、50 年後の長期偏平クリープ剛性を求めるための係数を算定した。

## (2) 長期内圧強さの解明

## ①内容

長期供用中のパイプの内水圧に対する安全性を定量的に評価するため、既往のデータ・文献の調査を進めるとともに、テストピース等による比較的簡易な試験方法で長期強度の推定を行った。なお、本試験で得られる引張特性は内圧だけでなく外圧に対する強度の検討にも用いることができる。

## ②実施方法

PE、PE-GF は供試管からの切り出し片による引張試験を、PVC は切り出し片に加えてリング状供試体の引張試験と内圧負荷試験を、FRPM はリング状供試体の引張試験と内圧負荷試験を、それぞれ実施した。

引張試験は試験速度を変化させて実施し、引張強度の速度依存性を確認するとともに、内圧負荷試験も含めて試験方法の有効性を確認した。

## (3) 内外圧が繰り返し作用する場合の臨界特性の解明

## ①内容

内圧と外圧が同時に作用する埋設条件を再現するための試験装置ならびに評価方法について検討した。

## ②実施方法

内外圧複合状態の再現には、土槽内に埋設した供試管に内水圧を負荷したり上載荷重を加える方法があるが、埋め戻し材料の影響を受け、また試験には多大な労力を要する。そこで、供試管に直接内圧・外圧を負荷して製品性能を確認する方法について検討した。

エアバッグを用いて均等な内圧を負荷した状態で供試管を偏平させる方法、リング状の供試管を引張することで内圧負荷を再現する方法、繰り返し引張荷重を作用する方法、等について検討した。

## (4) 設計マニュアルの作成

## ①内容

研究成果をとりまとめ、設計マニュアルを作成する。

## ②実施方法

樹脂系材料の長期特性把握に必要な試験項目、方法、手順の標準化を図るとともに、品質管理等の考え方について検討を行った。

## 1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
<p>樹脂系材料の長期特性はこれまで設計に用いられていないため、データが整備されていない。構造設計に適用するためには、既往のデータ分析とあわせて不明確な項目については試験を実施し、特性を解明する必要がある。</p>	<p>長期特性の基礎となる外圧に関するクリープのデータがないため、外圧クリープ試験を実施し、供用 50 年後の変形係数の低下度合いを把握した。対象管種の試験体の口径を統一し、同一の試験環境・装置で実施した。</p> <p>長期極限曲げひずみ、長期極限内圧ひずみについては既往データの収集と分析を行った。</p>
<p>JIS 等で定められた製品規格は短期的な物性値を確認する試験方法で品質管理されている。</p> <p>長期特性を製品の品質評価に役立てるため、試験研究機関等が製造メーカーの保有する既往データの検証を行う場合などに、簡易に実施できる試験方法とその妥当性確認が必要である。</p>	<p>均質材料の場合、管体から試験片を切り出して引張試験を実施することができる。このとき JIS 等で規定された強度(短期)の確認にとどまらず、材料強度の速度依存性から長期強度を推定する方法として、試験速度を変化させた引張試験を行った。</p> <p>複合材料で管体から試験片を切り出して引張試験を実施することが困難な場合、円周方向の引張特性確認に内圧負荷試験に替わる試験方法として、ノルリング引張試験の有効性を確認した。</p>

## 1. 4 事業の実施体制

## (1) 研究開発組合内の役割分担

個別研究テーマ	事業実施主体			
	(株)クボタ	(株)栗本鐵工所	積水化学工業 (株)	ダイプラ(株)
長期外圧強さの解明	◎	◎	◎	◎
長期内圧強さの解明	○	◎	◎	◎
内外圧が繰り返し作用する 場合の臨界特性の解明	◎	○	○	○
設計マニュアルの作成	◎	◎	◎	◎
まとめ	◎	○	○	○

## (2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

個別研究テーマ	試験研究機関		事業実施主体			
	農村工学 研究部門	茨城大学 神戸大学	(株)クボタ	(株)栗本鐵 工所	積水化学 工業(株)	ダイプラ (株)
長期外圧強さの解明	◎	○	◎	◎	◎	◎
長期内圧強さの解明	◎	○	◎	◎	◎	◎
内外圧が繰り返し作用する 場合の臨界特性の解明	○	◎	○	○	○	○
設計マニュアルの作成	○	◎	◎	◎	◎	◎
まとめ	○	◎	◎	○	○	○

## 1. 5 事業の年度計画と実績

項 目	平成 29 年度		平成 30 年度		令和元年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
既往のデータ分析・資料 調査		■				■
長期外圧強さの解明		■	■	■	■	
長期内圧強さの解明		■	■	■	■	■
内外圧が繰り返し作用す る場合の臨界特性の解明				■	■	■
設計マニュアルの作成						■
まとめ					■	■

注) ■ は計画、■ は実績。

## 1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

## (1) 既往のデータ分析・資料調査

No.	文献名	著者	出典/年次	対象			
				PVC	FRPM	PE	PE-GF
1	ATV-DVWK-A 127 Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen (下水道および下水パイプラインの静的計算)	DWA	2008年	●	●	●	—
2	Handbook of PVC (塩ビ管ハンドブック)	PVC PIPE Association	2012年	●	—	—	—
3	下水道用硬質塩化ビニル管の道路下埋設に関する研究報告書	国土開発技術研究センター	昭和55年	●	—	—	—
4	硬質塩化ビニル管の長期寿命の評価について	塩化ビニル管・継手協会	平成21年	●	—	—	—
5	FW成形強化プラスチック複合管の長期性能試験	井戸本、宮崎、矢野、中島	農業土木学会誌/第75巻第2号	—	●	—	—
6	長期極限曲げ歪み試験によるFRPM管の長期性能の評価	大塚、間宮、毛利、有吉	H25農業農村工学会大会講演会	—	●	—	—
7	FRPM管の長期性能評価に関する時間短縮の提案	大塚、間宮、毛利、有吉	H26農業農村工学会大会講演会	—	●	—	—
8	強化プラスチック複合管の長期性能評価	間宮、大塚、有吉、毛利	H29農業農村工学会大会講演会	—	●	—	—
9	JIS K 7020 ガラス強化熱硬化性プラスチック(GRP)管及び継手一回掃分析法及びその使用	日本規格協会	2018年	—	●	—	—
10	JIS K 7032 プラスチック配管系—ガラス強化熱硬化性プラスチック(GRP)管—管の初期剛性の求め方	日本規格協会	2002年	—	●	—	—
11	JIS K 7035 ガラス強化熱硬化性プラスチック(GRP)管—湿潤条件下での長期偏平クリープ剛性の求め方及び湿潤クリープファクタの計算法	日本規格協会	2018年	—	●	—	—
12	JIS K 7037 プラスチック配管系—ガラス強化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	日本規格協会	2013年	—	●	—	—
13	下水道用強化プラスチック複合管 道路埋設指針	国土開発技術研究センター	平成元年	—	●	—	—
14	PE Pipe—Design and Installation (ポリエチレン管 設計と施工)	AWWA	2006年	—	—	●	—
15	水道配水用ポリエチレン管・継手に関する調査報告書	日本水道協会	平成10年	—	—	●	—
16	下水道用ポリエチレン管(JSWAS K-14-2010)	日本下水道協会	2010年	—	—	●	—
17	水道配水用ポリエチレン管路の100年寿命の検証	配水用ポリエチレンパイプシステム協会	2014年	—	—	●	—
18	下水道用ポリエチレン管 技術資料(PA-11-2015)	下水道用ポリエチレン管・継手協会	2015年	—	—	●	—
19	給水用ポリエチレン管の耐久性評価 (破壊メカニズムの解析及び評価方法の紹介)	日本ポリエチレンパイプシステム協会	2018年	—	—	●	—
20	農業水路用高密度ポリエチレンパイプ(カタログ)	農水ポリエチレン管協会	2017年	—	—	●	—
21	泥炭性地盤で観測した大口径高密度ポリエチレン管の設計定数	田頭、秀島、小島、鈴木	2007寒地土木研究所月報	—	—	●	—
22	ガラス繊維強化ポリエチレン管に関するデータ集	高耐圧ポリエチレン管協会	2018年	—	—	—	●
23	ガラス繊維強化ポリエチレン管システムの開発	時吉、日野林、加後、花山、栗山、河端	H29農業農村工学会大会講演会	—	—	—	●
24	ガラス繊維強化ポリエチレン管の長期性能検証(環剛性試験)	時吉、高原、井手元、日野林、栗山	2019農業農村工学会大会講演会	—	—	—	●

## (2) 長期外圧強さの解明

### 1) 外圧クリープ試験

樹脂系のパイプラインの長期的な性能変化を明らかにし、供用 50 年後の長期特性を踏まえた構造設計手法に反映するため、外圧に関するクリープ特性の試験を実施する。

試験は硬質ポリ塩化ビニル管 (PVC)、強化プラスチック複合管 (FRPM)、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 4 種類について行う。

#### 1.1) 引用規格

本試験を実施するために引用した規格は下記のとおりである。

- ・ JIS K 7032 「プラスチック配管系—ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管—管の初期剛性の求め方」 (ISO 7685 を基とする)
- ・ JIS K 7035 「ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管—湿潤条件下での長期偏平クリープ剛性の求め方及び湿潤クリープファクタの計算法」 (ISO 10468 を基とする)
- ・ JIS K 7020 「ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管及び継手—回帰分析法及びその使用」 (ISO 10928 を基とする)

## 1.2) 試験の概要

外圧クリープ試験の実施方法について、4 管種を統一的に実施できる内容を検討し、下記のように定めた。

### (1) 初期剛性の確認

試験を行う管から一定長さ (300mm) に切り出した供試管にたわみ率 (相対変位) 5%に達するまで一定の比率で荷重を負荷し、変位と荷重の関係を記録する。

载荷初期の载荷板と供試管の“なじみ”の影響を除去するため、たわみ率 (相対変位) 1%と 3%の間の勾配から初期剛性を求める。

### (2) 長期偏平クリープ剛性の確認

一定長さ (300mm) に切断した供試管を水中 (水温  $23 \pm 5^\circ\text{C}$ ) に設置し、10,000 時間にわたり一定の垂直荷重を保持して直径方向に変形させる。試験期間中には所定の時間間隔で垂直変位を測定する。

10,000 時間経過後の垂直変位をもとに、外挿法により 50 年後の長期偏平クリープ剛性を求める。

試験体の個数は 2 個とし、荷重レベルの異なる 2 条件 (たわみ率 1.8%および 3.0%) で試験を実施する。

### (3) クリープ係数の確認

初期剛性①と長期偏平クリープ剛性②の比率 (②/①) をクリープ係数として求める。

外圧クリープ試験の実施フローを図 1.2.1 に示す。

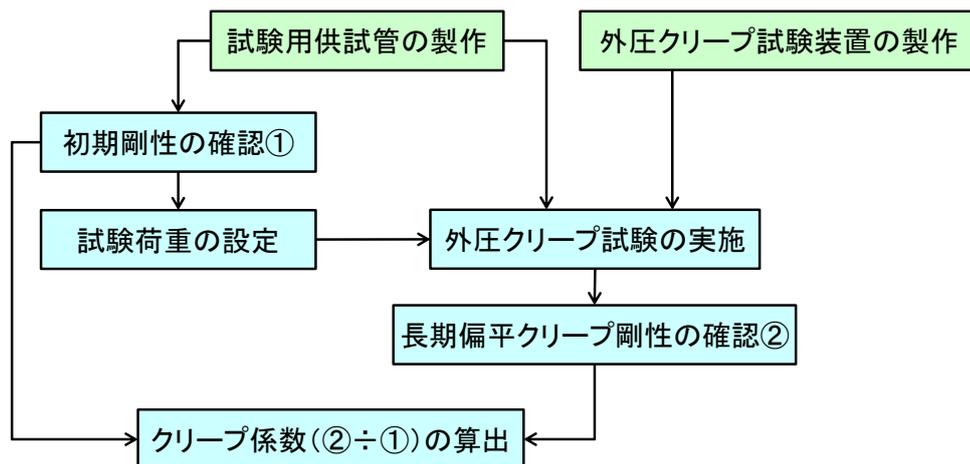


図 1.2.1 外圧クリープ試験の実施フロー

## 1.3) 試験用供試管

## 1.3.1) 管種

試験は表 1.3.1 に示す仕様の 4 種類の樹脂管を対象として実施することとした。  
 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」平成 21 年 3 月 に記載された樹脂系の 3 管種すなわち硬質ポリ塩化ビニル管 (JIS K 6741)、強化プラスチック複合管 (JIS A 5350)、一般用ポリエチレン管 (JIS K 6761) に加え、ガラス繊維強化ポリエチレン管 (JIS K 6799) を対象とした。

供試管の口径は呼び径 600 に統一し、市場流通品と乖離のないものを用いて実施することとした。

表 1.3.1 試験用供試管の仕様

管材料	準拠規格	呼び径	内径 (mm)	管厚 (mm)	管種	備考 (供試管準備)
硬質ポリ塩化ビニル管 (PVC)	JIS K 6741	600	592	18	VU	クボタ
強化プラスチック複合管 (FRPM)	JIS A 5350	600	600	12	内圧 4 種	栗本鐵工所
一般用ポリエチレン管 (PE)	JIS K 6761	公称外径 630	551	37	SDR17	積水化学工業
ガラス繊維強化ポリエチ レン管 (PE-GF)	JIS K 6799	600	610	29	1 種	ダイプラ

注) 口径は 600mm とし、代表的な管種を選定

原管の状況を図 1.3.1～図 1.3.4 に示す。  
写真の原管から初期剛性確認用供試管、長期偏平クリープ剛性用供試管を切り出す。  
残りの管については、将来的に同一ロットの管材で他の長期試験を行う場合に備えて、室内暗所にて長期保管する。



図 1.3.1 PVC 管 (JIS K 6741)



図 1.3.2 FRPM 管 (JIS A 5350)



図 1.3.3 PE 管 (JIS K 6761)



図 1.3.4 PE-GF 管 (JIS K 6799)

## 1.3.2) 形状寸法

供試管は原管から所定の寸法で切断して採取した後、寸法測定を行った。表 1.3.2、表 1.3.3 に示す。

管厚は円周方向 8 等分点×2 点=16 箇所、管幅は円周方向 8 箇所、外径は円周方向 45° ごとの 4 箇所をそれぞれ測定し、平均値を示す。

表 1.3.2 初期剛性確認用供試管の寸法

管種	長さ $L$ (m)	外径 $D$ (m)	管厚 $t$ (m)	管厚中心直径 $d_m$ (m)
PVC	0.3026	0.6285	0.0182	0.6103
FRPM	0.2995	0.6278	0.0135	0.6142
PE	0.3057	0.6286	0.0417	0.5869
PE-GF	0.3012	0.6756	0.0325	0.6431

表 1.3.3 長期偏平クリープ剛性確認用供試管の寸法

管種	条件	長さ $L$ (m)	外径 $D$ (m)	管厚 $t$ (m)	管厚中心直径 $d_m$ (m)
PVC	1.8%	0.3036	0.6283	0.0183	0.6100
	3.0%	0.3022	0.6283	0.0183	0.6100
FRPM	1.8%	0.3028	0.6276	0.0135	0.6140
	3.0%	0.2994	0.6275	0.0134	0.6141
PE	1.8%	0.3009	0.6283	0.0418	0.5864
	3.0%	0.3036	0.6283	0.0417	0.5865
PE-GF	1.8%	0.3034	0.6765	0.0327	0.6438
	3.0%	0.3014	0.6751	0.0328	0.6423

1.3.3) ひずみゲージ

荷重負荷時の供試管のひずみを計測するため、図 1.3.5 に示す管内面位置にひずみゲージを貼付した。

初期剛性確認用供試管には管頂・管底の 2 点を、外圧クリープ試験用供試管には変形状態をより詳細に把握するため 10 点を貼付することとした。

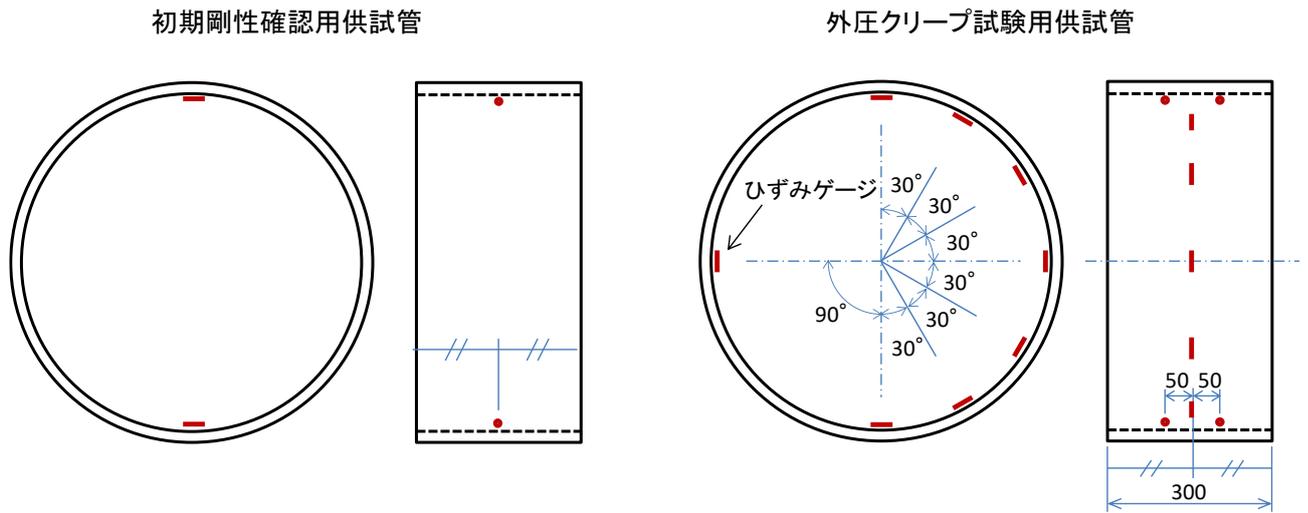


図 1.3.5 供試管のひずみゲージ貼付位置

## 1.4) 初期剛性

## 1.4.1) 試験方法

4種類の管材料について初期剛性確認用供試管に荷重を加えて扁平させ、たわみ率5%まで荷重し垂直荷重とたわみ率の関係を記録した。

供試管は試験前日には室内温度23℃の恒温室内に搬入し、静置して一定温度になるよう養生した。

試験は図1.4.1～図1.4.4に示すように恒温室内に設置した荷重試験機を用いて行い、管厚中心直径の5%まで管を扁平させた。

試験速度については、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)の扁平試験”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 $10 \text{mm/min}$ とした。

垂直荷重とたわみの関係から、たわみ率1.8%と3.0%のときの荷重を読み取り、この試験で得られた2つの荷重を長期扁平クリープ剛性試験の載荷荷重とする。

また、載荷初期の載荷板と供試管の“なじみ”の影響を除去するため、たわみ率(相対変位)1%と3%の間の勾配から初期剛性を求める。

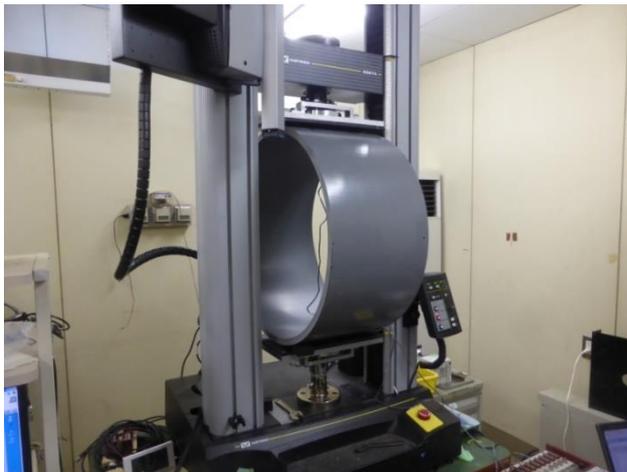


図 1.4.1 PVC 管 (JIS K 6741)

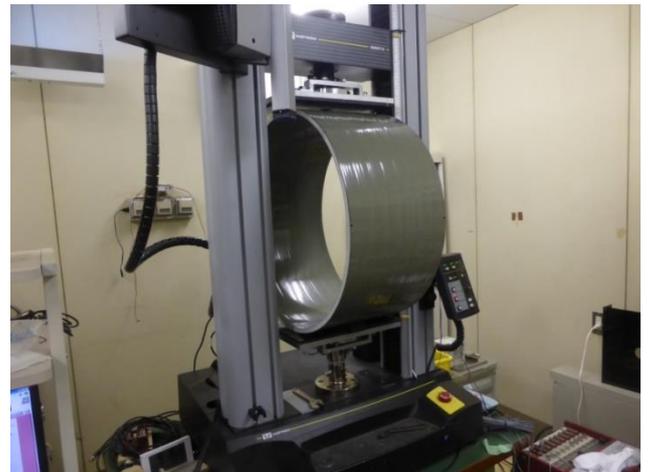


図 1.4.2 FRPM 管 (JIS A 5350)

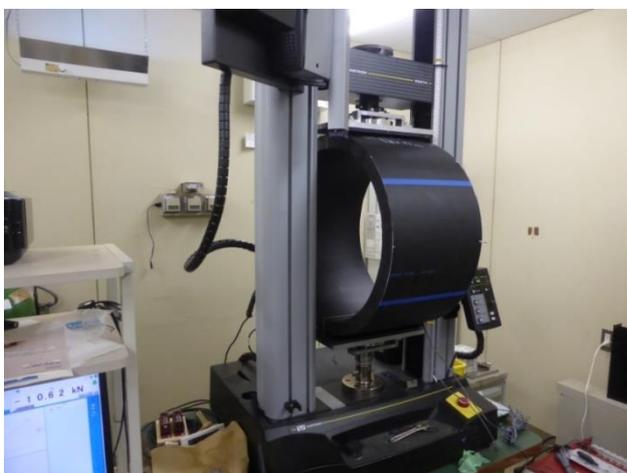


図 1.4.3 PE 管 (JIS K 6761)

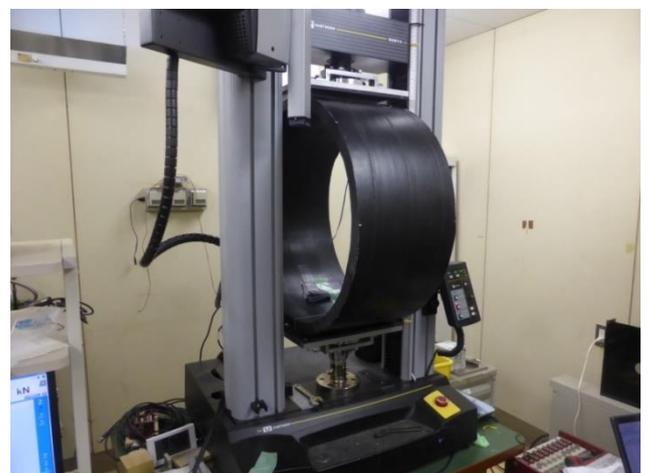


図 1.4.4 PE-GF 管 (JIS K 6799)