

長期性能評価のための技術マニュアル（案）

目 次

1．目的	1
2．長期特性試験と実施手順	2
2-1 既往資料	
2-2 長期外圧強さ	
2-3 長期内圧強さ	
3．長期特性の再評価試験および促進試験の検討	16
3-1 試験の位置付け	
3-2 材料引張試験	
3-3 ノルリング引張試験	
4．内外圧繰り返し試験と実施手順	21
4-1 既往資料	
4-2 内圧繰り返し負荷	
4-3 内外圧複合状態の再現	
5．試験環境および試験体	26
5-1 試験装置	
5-2 試験体作製の留意点	
6．課題の整理	32
7．品質管理	33

1. 目的

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評価方法の検証を行う。

(1) パイプラインの長期強度試験技術と品質管理

- ・規格品の材料変更、仕様変更に伴う性能評価
- ・規格品（新規参入メーカー製品）の性能評価
- ・新たな製品規格のパイプ導入時の性能評価

(2) 管体強度の評価方法の検討

①既設管の安全性評価

経年管の突発事故のうち、材料に起因する不具合については、長期性能の変化を定量的に予測することで、多様な履歴を持って供用されているパイプラインの安全性評価に役立てる。

②新設管の構造設計

現行の構造設計（設計照査式）にパイプの長期性能に基づく値を導入することで、適切な長期安全性の確保、突発事故リスク低減、更新・補強対策の参考とする。

2. 長期特性試験と実施手順

2-1 既往資料

樹脂系パイプの長期特性試験について、本資料で参照する試験規格の一覧を表 2.1 に、関係する主な技術資料・文献リストを表 2.2 に示す。

表 2.1 関連試験規格

No.	規格名称	発行	出典/年次
1	JIS K 7020 ガラス強化熱硬化性プラスチック(GRP)管及び継手一回帰分析法及びその使用	日本規格協会	2018年
2	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
3	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
4	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
5	ISO 7685(1998) : Plastics piping systems — Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes — Determination of initial specific ring stiffness (管の初期剛性)	ISO規格	1998年
6	ISO 10468(2003) : Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes — Determination of the long-term specific ring creep stiffness under wet conditions and calculation of the wet creep factor (長期偏平クリープ剛性、クリープ係数)	ISO規格	2003年
7	ISO 10928(2016) : Plastics piping systems — Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes and fittings — Methods for regression analysis and their use (回帰分析)	ISO規格	2016年
8	ISO 9080 (2012) : Plastics piping and ducting systems — Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation (熱間内圧クリープ試験)	ISO規格	2012年
9	JIS K 6815 熱可塑性プラスチック管 引張特性の求め方	日本規格協会	2011年

表 2.2 既往の技術資料・文献

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	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	—	●	—	—
10	NOLリング引張試験法の検討	植村、村田	昭和53年	—	●	—	—
11	PE Pipe—Design and Installation (ポリエチレン管 設計と施工)	AWWA	2006年	—	—	●	—
12	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	—	—	●	—
13	下水道用ポリエチレン管(JSWAS K-14-2010)	日本下水道協会	2010年	—	—	●	—
14	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	—	—	●	—
15	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	—	—	●	—
16	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	—	—	●	—
17	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	—	—	●	—
18	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	—	—	●	—
19	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	—	—	—	●
20	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	—	—	—	●
21	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	—	—	—	●

2-2 長期外圧強さ

2-2-1 試験実施に必要な装置類

1) 恒温室

長期特性試験の実施に必要な温度環境に制御できる恒温室（空調設備等）を整備する。恒温室内には、必要な台数の外圧試験装置を設置する。

農研機構 農村工学研究部門の 3 次元振動実験棟内の砂乾燥室（室内寸法 6.55m×3.75m）を改装し、恒温室として空調施設等を整備した状況を図 2.1 に、室内の試験装置の配置例を図 2.2 に示す。



図 2.1 恒温室内の状況

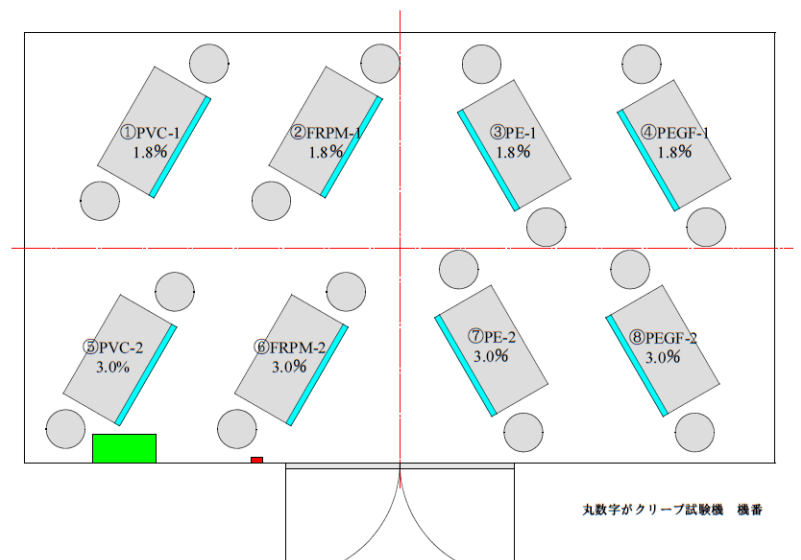


図 2.2 恒温室内の試験装置の配置例

2) 試験装置

外圧試験装置を準備する。構造の詳細は 5-1 を参照。

また、重錘で供試管に常に一定の荷重を載荷し、垂直変位と経過時間の関係を記録するためのデータロガーやセンサーなどの計測機器類も併せて準備する。

2-2-2 外圧クリープ試験

(1) 試験の概要

JIS K 7032 および JIS K 7035 に準じた外圧クリープ試験について、種々の管種を統一的に実施できる内容を検討し、以下のように実施する。

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。

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。

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 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ ）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 2.3 に示す。

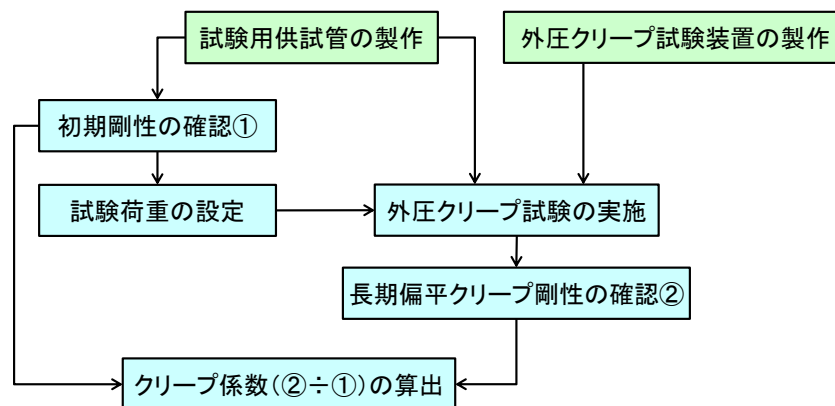


図 2.3 外圧クリープ試験の実施フロー

(2) 初期剛性

恒温室内に設置した載荷試験機を用いて、原管から切り出した初期剛性確認用供試管に荷重を加えて偏平させ、たわみ率 5% まで載荷して垂直荷重とたわみ率の関係を記録する。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する。

4 管種 (PVC 管、FRPM 管、PE 管、PE-GF 管) の試験状況を図 2.4.1～図 2.4.4 に示す。

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)の偏平試験”ならびに“ガラス繊維強化ポリエチレン管(JIS K 6799)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 10mm/min とする。

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 つの荷重を長期偏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。

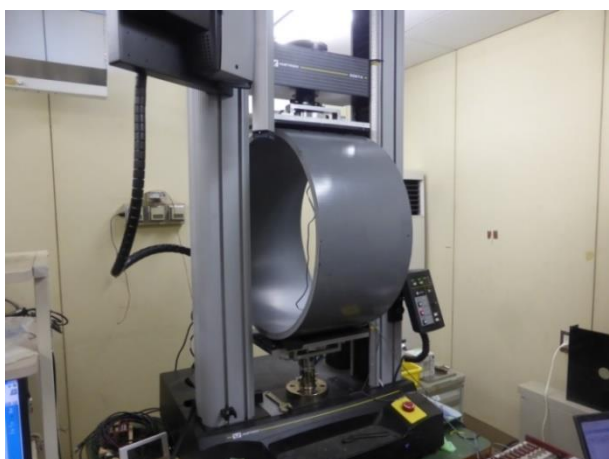


図 2.4.1 PVC 管 (JIS K 6741)

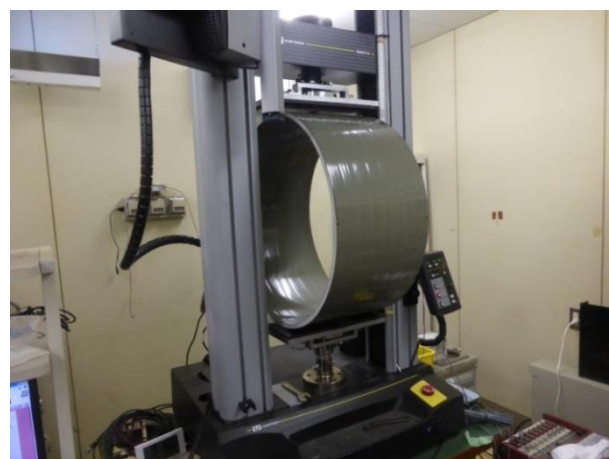


図 2.4.2 FRPM 管 (JIS A 5350)

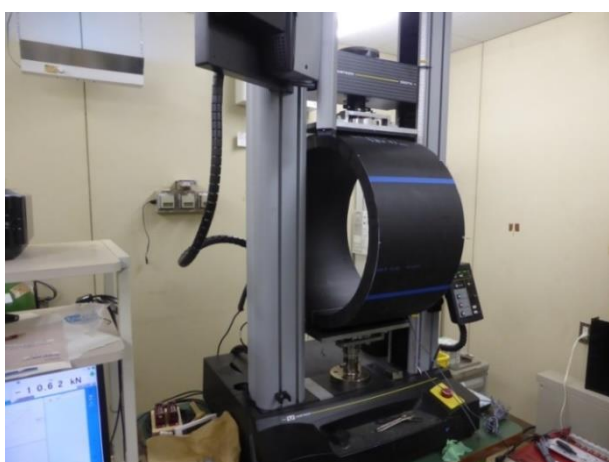


図 2.4.3 PE 管 (JIS K 6761)

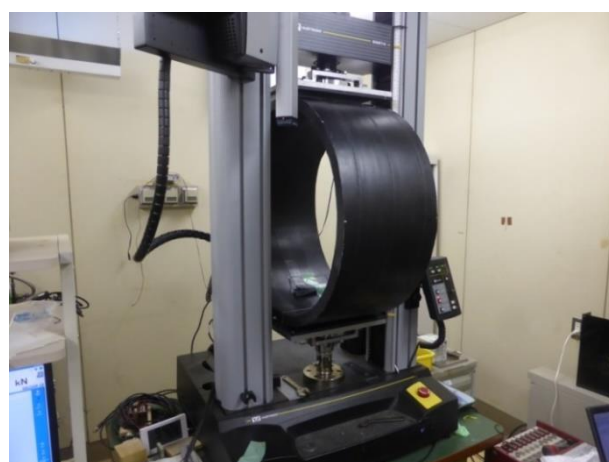


図 2.4.4 PE-GF 管 (JIS K 6799)

垂直荷重～たわみ量の関係より、初期剛性 S_0 を算出する。
計算には（1 式）を用い、たわみ率 1%と 3%の間の勾配（増分）を考える。

$$S_0 = \frac{f \times F}{L \times y} \quad \dots (1 \text{ 式})$$

ここに、

S_0 : 初期剛性 (N/m²)

f : 変位係数 (=1860×10⁻⁵)

L : 供試管の平均長さ (m)

F : たわみ率 1%～3%間の垂直荷重増分値 (N)

y : たわみ率 1%～3%間の垂直変位増分値 (m)

(3) 長期偏平クリープ剛性

図 2.5.1 および図 2.5.2 に示すように試験装置内に供試管を設置し、水を満たした状態で水温を $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ に維持する。

供試管は PVC 管、FRPM 管、PE 管、PE-GF 管の 4 管種とし、それぞれ荷重条件の異なる 2 条件を設定する。試験開始時のたわみ率が 1.8%、3.0% となる垂直荷重を重錘により載荷する。

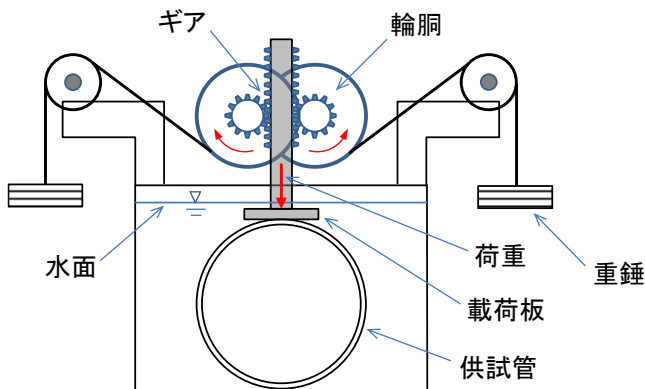


図 2.5.1 試験装置模式図



図 2.5.2 試験装置

外圧クリープ試験の実施手順は下記のとおりである。

① 供試管の設置

- (1) 外圧クリープ試験装置（載荷板は最上部で固定・重錘なし）を恒温室の所定の位置へ設置。
- (2) 供試管を試験装置内に設置、ゴム製キャンバーにより固定。
- (3) 熱電対、変位計等計測器を配置。
- (4) 前面扉パッキンに防水用のシリコングリースを塗布後、扉を密閉（トルク管理 $15\text{N}\cdot\text{m}$ ）。
- (5) 規定の重錘を用意し、試験装置の近傍へ配置。
- (6) 注水し、漏れがないことを確認。
- (7) 規定の水温（ 23°C ）になったら荷重を載荷する。

② 荷重の載荷

- (1) 載荷板を吊り上げて固定する門型治具を試験機に設置。載荷ストッパー（丸鋼）を外す。
- (2) 左右の重錘をレバーブロックにより吊り上げる。
- (3) このとき重錘は載荷用ワイヤーとはつながず、無負荷状態とする。
- (4) 載荷板を慎重に下降させ、供試管にタッチさせる（管頂・管底のひずみ増加で判断）。
- (5) 供試管が回転・移動しないように支持し、ゴム製キャンバーを撤去。
- (6) 鋼尺等により供試管の鉛直方向外径を測定（載荷直前）。

- (7) 変位計およびひずみゲージのゼロ点を確認。計測を開始する。
- (8) 載荷板(約 90kg)を垂直に下降させ、全重量が供試管に載荷された時点で門型治具を撤去。
- (9) レバーブロックで吊り上げた状態で重錘をワイヤーにセットする。
- (10) 左右の重錘のバランスを見ながら、レバーブロックを徐々に操作してワイヤーに載荷する。
- (11) 完全に重錘重量がワイヤーに作用したら、レバーブロックを撤去。
- (12) 鋼尺等により供試管の鉛直方向外径を測定（載荷直後）。
- (13) 所定の荷重が負荷された時刻を記録し、計測を開始する。

③計測間隔

垂直変位ならびに管のひずみを計測する時間間隔は、対数時間目盛表示を考慮しておおむね表 2.3 のとおりとする。

表 2.3 計測間隔

Step	経過時間	インターバル	測定回数
1	0～ 30 分	1 分ごと	30 回
2	30～ 60 分	5 分ごと	6 回
3	60～120 分	10 分ごと	6 回
4	120～300 分	30 分ごと	6 回
5	300 分～100 時間	60 分ごと	95 回
6	100 時間～	24 時間ごと	10,000 時間まで

(4) クリープ係数

長期偏平クリープ剛性の回帰分析方法は、JIS K 7020－1998（2018 確認）「ガラス強化熱硬化性プラスチック（GRP）管及び継手ー回帰分析及びその使用」（ISO10928）に示された方法 B（直線回帰）、方法 C（2 次曲線回帰）ならびに 2 直線を用いた回帰（以下、方法 B' という）、の 3 案が提示され、それぞれの回帰式のイメージは図 2.6 に示すとおりである。10,000 時間までの計測データから回帰式を求め、外挿して 50 年後（438,000 時間後）を推定する。

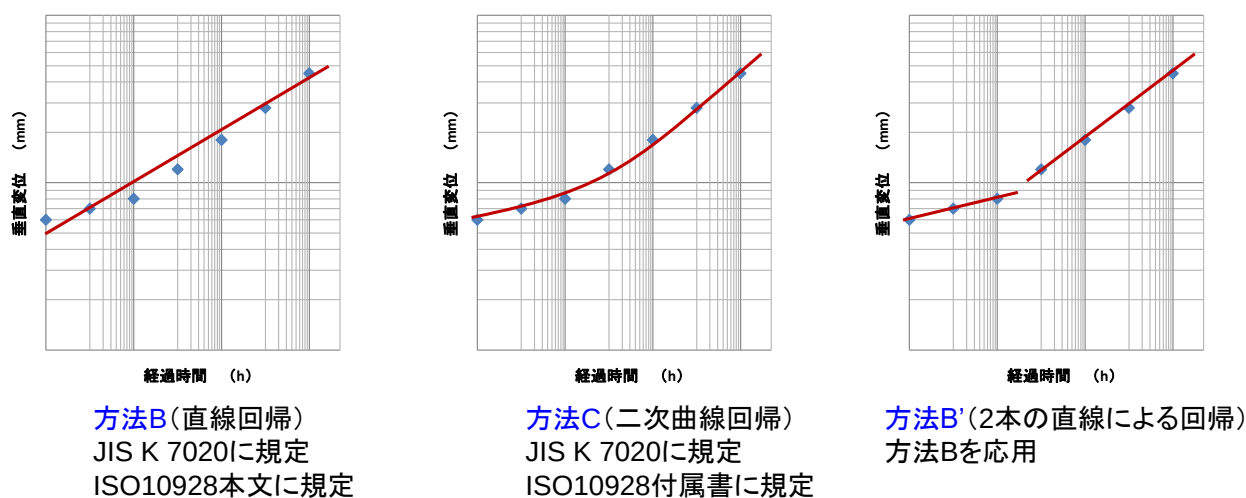


図 2.6 経過時間～垂直変位の回帰分析（3 案）のイメージ

長期偏平クリープ剛性 $S_{50,creep,wet}$ は下式で求められる。

$$S_{50} = \frac{f \times F}{L \times y} \quad \dots (2 \text{ 式}) \quad \text{注：(1 式) と同じ}$$

ここに、

$S_{50,creep,wet}$: 50 年後の偏平クリープ剛性 (N/m²)

f : 変位係数 (=1860×10⁻⁵)

L : 供試管の平均長さ (m)

F : 圧縮荷重 (N)

y : 垂直変位 (m)

クリープ係数は初期剛性に対する長期偏平クリープ剛性の比 $\alpha_{50,creep,wet}$ であり、(3 式) で求められる。

$$\alpha_{50,creep,wet} = \frac{S_{50,creep,wet}}{S_0} \quad \dots (3 \text{ 式})$$

2-2-3 長期極限曲げひずみ試験

(1) 試験の概要

ISO10471 に準じた長期極限曲げひずみ試験を実施する。

一定長さに切り出した供試管を水中に設置し、静的荷重を負荷して破壊に至るまでの時間および円周方向ひずみを測定する。ひずみレベルを種々に変えて、破壊に至るまでの時間を10,000 時間以上にまで分布させ、18 個以上のデータを採取する。

ISO10928 に基づき回帰直線を求め、50 年後の長期極限曲げひずみ(破壊ひずみの外挿値)を求める。

ISO10471 Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of the long-term ultimate bending strain and the long-term ultimate relative ring deflection under wet conditions

(2) 試験方法

試験装置を図 2.7 に示す。重錘の質量をギアで増幅して常に一定の静的荷重を負荷する機構である。

試験条件は気温 $23\pm5^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{pH}7\pm2$ と定められており、荷重、垂直変位および円周方向ひずみを計測する。

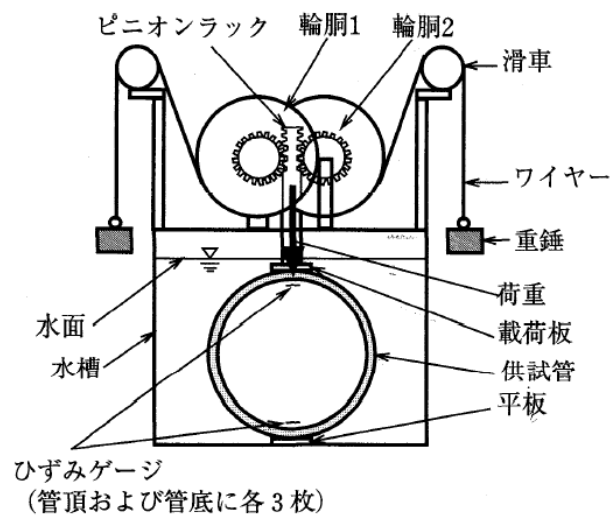


図 2.7 長期極限曲げひずみ試験装置

2-3 長期内圧強さ

2-3-1 試験実施に必要な装置類

長期極限内圧ひずみ試験は、2-2-1 の装置に加え、内圧負荷用のシリンダーを準備する。重錘でシリンダーを押し込むことで常に供試管の内圧を一定に保持する機構とし、破壊するまでの時間と負荷内圧の関係を測定する。

熱間内圧クリープ試験を実施する場合は、水温の制御が可能な水槽と、供試管への内圧負荷機構、データロガー等の計測機器を準備する。

2-3-2 長期極限内圧ひずみ試験

(1) 試験の概要

ISO7509 に準じた長期極限内圧ひずみ試験を実施する。

供試管に一定の内圧を負荷して、破壊に至るまでの時間および破壊時の円周方向ひずみを測定する。内圧レベルを変え、破壊に至るまでの時間を 10,000 時間以上にまで分布させ、18 個以上のデータを採取して ISO10928 に基づき回帰直線を求め、50 年後の長期極限内圧ひずみ（破壊ひずみの外挿値）を求める。

ISO7509 Plastics piping systems – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of time to failure under sustained internal pressure

(2) 試験方法

φ 200mm 程度の管を供試管とする。

試験装置を図 2.8 に示す。重錘の質量をギアで増幅する機構で、供試管のひずみやタイ・バーの伸び等による内容積の変化に関わらず常に一定の内圧を負荷する。

試験条件は気温 $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ と定められており、内圧および円周方向ひずみを計測する。

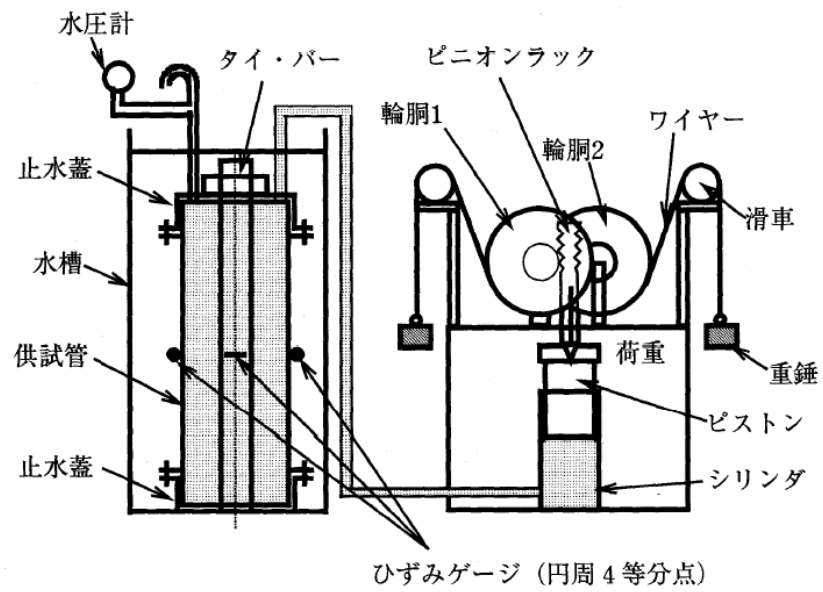


図 2.8 長期極限内圧ひずみ試験装置

2-3-3 熱間内圧クリープ試験

(1) 試験の概要

ISO9080 に準じた熱間内圧クリープ試験を実施する。

一定温度の水槽内で供試管に一定の内圧を負荷し、破壊に至るまでの時間を計測する。内圧レベルを変え、破壊に至るまでの時間を 10,000 時間以上にまで分布させ、回帰分析により 50 年外挿下方限界 (LCL) を求める。

ISO9080 Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastic materials in pipe form by extrapolation

(2) 試験方法

50 年相当の促進試験を行い、長期的に一体化していることを確認する。

ISO9080 では実使用温度より高い温度でクリープ試験を実施することでクリープを促進し、試験時間よりも長期の内圧強度を決定する方法について規定している。実使用温度からの温度差 (ΔT) が大きいほどクリープを促進でき、 k_e 倍 (外挿係数) の試験結果を延長できる。

ポリエチレン管のクリープ特性では、ある時間で傾きが変化する Knee Point が現れる場合がある。この Knee Point は温度が高ければ高いほど短時間で出現する。Knee Point が出現した場合、試験はその時間までしか外挿できないが Knee Point が出現しない場合、Table1 に従って試験結果を外挿できる。

Table 1 — Relationship between $\Delta T (= T_t - T)$ and k_e for polyolefins

ΔT °C	k_e
≥ 10 but < 15	2,5
≥ 15 but < 20	4
≥ 20 but < 25	6
≥ 25 but < 30	12
≥ 30 but < 35	18
≥ 35 but < 40	30
≥ 40 but < 50	50
≥ 50	100

出典：ISO9080:2012 (E)

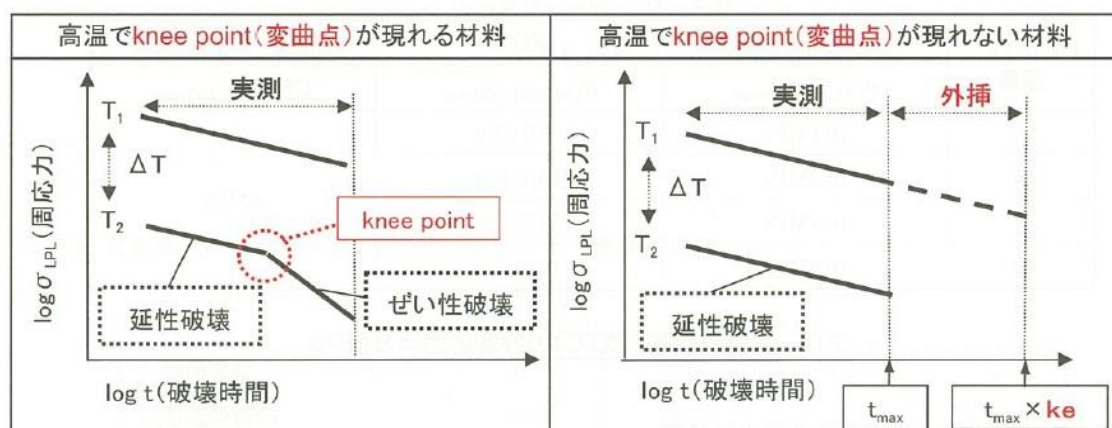


図3-2 加速試験の概念図(ISO 9080による)

出典：POLITEC

日本下水道協会規格では、実使用温度最高 40℃、50 年間耐用としているので、90℃で半年間（4380hr）のクリープ試験を実施し、Knee Point が無いことを確認すれば、20℃のクリープ試験を 50 年後まで延長できる。

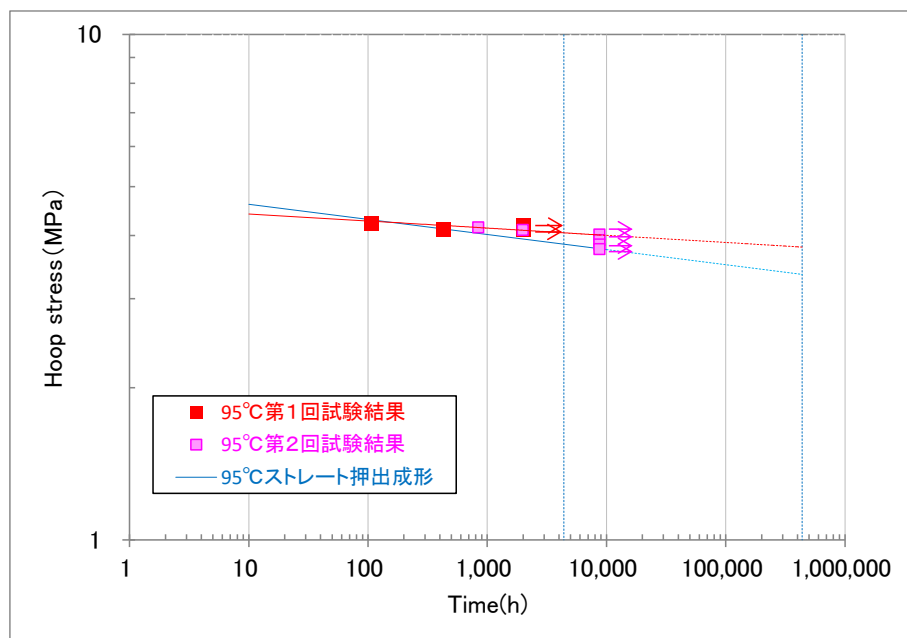
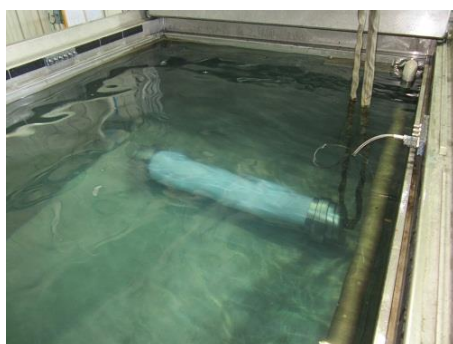


図 2.9 K-15 長期耐熱間内圧クリープ性試験結果（95℃）



試験片：横置き



実測水温：試験片付近で測定



3. 長期特性の再評価試験および促進試験の検討

3-1 試験の位置付け

樹脂系パイプ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 時間以上の時間と数多くの試験装置（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する。

試験方法（再評価試験、促進試験）と背景を図 3.1 に示す。

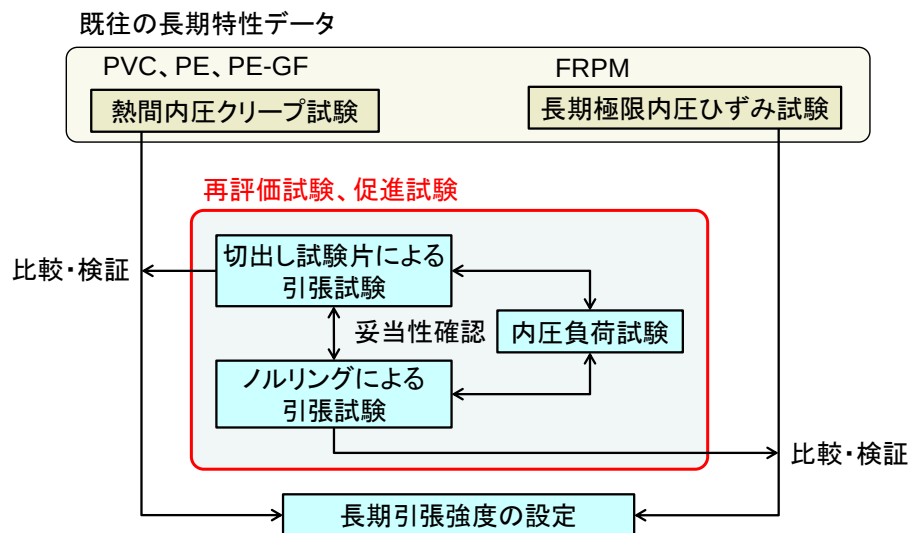


図 3.1 長期強度試験方法の検討

3-2 材料引張試験

(1) 試験の概要

樹脂系パイプの長期強度特性（内圧・外圧）把握のため、管から試験片を切り出し、引張試験を行う。

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討する。

(2) 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、引張強度を求める。

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種類とする。

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本試験の対象外とし、ノルリングによる引張試験を検討する。

試験片の形状・寸法は JIS K 6815 に準じ、PVC は図 3.2 に示す試験片(タイプ 1)、PE および PE-GF は図 3.3 に示すタイプ 1 試験片、とする。

引張試験は標準の試験速度から 1/5～1/10 ずつ遅くした 5～6 条件を設定し、実施する。

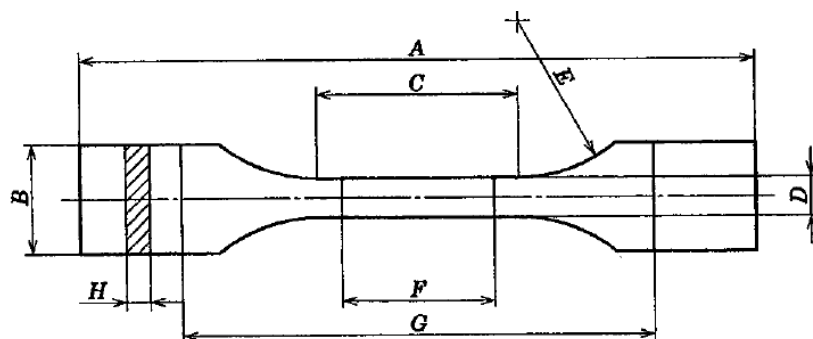


図 1 機械加工による試験片 (タイプ 1)

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 3.2 PVC 用の試験片(タイプ 1) JIS K 6815-2 より

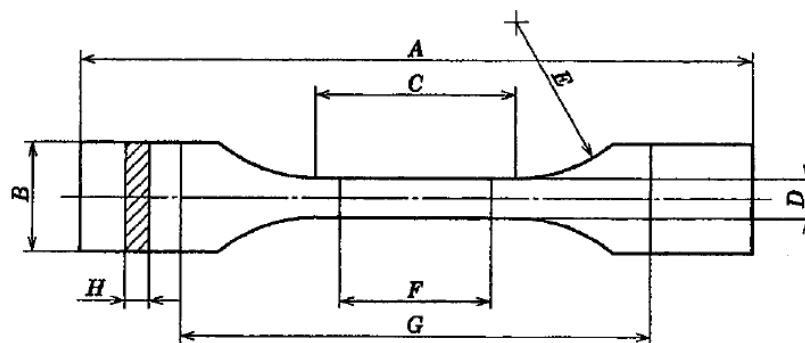


図 1 タイプ 1 試験片

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 3.3 PE 用・PE-GF 用のタイプ 1 試験片_JIS K 6815-3 より

(3) 試験結果の整理

- ①試験速度と引張強度、変位（ひずみ）の関係を整理する。
- ②引張強度の速度依存性に着目し、最大応力（または破壊）を示す変位量（伸び量）を試験速度で除した値を「最大応力までの時間」とし、引張強度との関係を両対数でプロットする。
- ③JIS K 7020 の方法 A にしたがって回帰直線を求める。

試験結果の例を図 3.4 に示す。

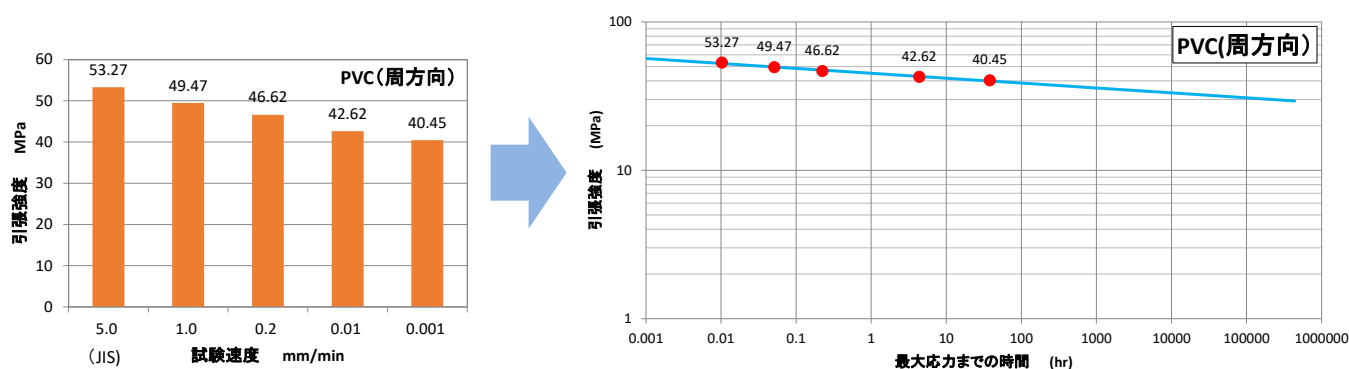


図 3.4 引張強度の速度依存性とその整理方法の例

3-3 ノルリング引張試験

(1) 試験の概要

3-2 材料引張試験で示すとおり、PVC、PE、PE-GF は管体から引張試験片を切り出して引張強度を確認することができるが、FRPM は複合材料であるためダンベル型試験片の切り出しによる引張試験が難しい。そこで、その代替としてノルリング引張試験を実施する。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も検証を行う。

また、内圧による引張特性を比較的簡易に再現できる方法の評価を行うため、供試管に内水压を負荷して破壊する際の材料強度を確認し、同じ原管から試験片を切り出して実施したノルリング引張試験と結果を比較する。

(2) 試験方法

ノルリングを用いた引張試験は、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」(ISO8521 を基とする)のB法にしたがい、図 3.5 に示す分割板を用いた試験用のリングを切り出して実施する。

試験は JIS K 7037 に示された下記の条件で実施する。

- ①荷重負荷後 1 分から 3 分の間に破壊が生じるように分割板を一定速度で引き離す。
- ②分割板の直径は、試験用リングの直径の 98%以上とする。
- ③試験用リングには円周方向に 1 箇所の切欠き（ノッチ）を設ける。

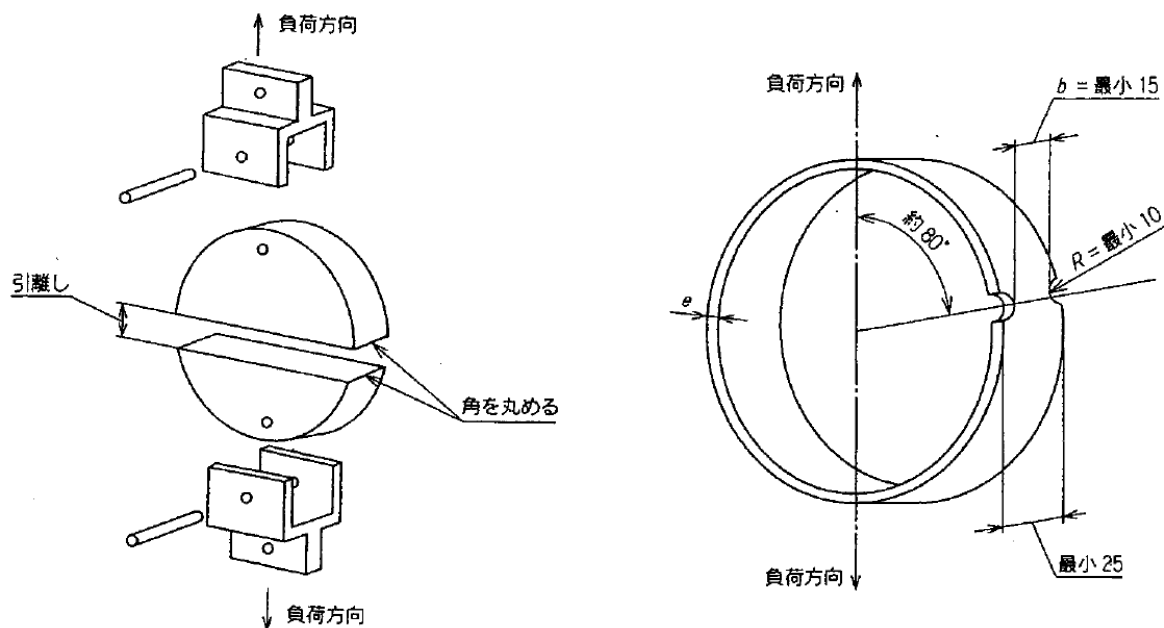


図 3.5 試験装置（分割板）および試験用リングの形状

(3) 試験結果の整理

JIS K 7037 に示された条件を満足する試験速度を元に、3・2 と同様、1/10 ずつ速度を遅くして引張したときの引張強度と破壊までの時間を整理し、速度依存性の検証を行う。

4. 内外圧繰り返し試験と実施手順

4-1 既往資料

樹脂系パイプの内外圧繰り返し試験について、関係する主な技術資料・文献リストを表 4.1 に示す。

表 4.1 既往の技術資料・文献

No.	文献名	著者	出典/年次	対象			
				PVC	FRPM	PE	PE-GF
1	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	●	—	—	—
2	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	●	—	—	—
3	硬質塩化ビニル管の疲労強度	百武、萩尾	昭和63年 「材料」第37巻 第423号	●	—	—	—
4	JSWAS K-2-1987 下水道用強化プラスチック複合管(呼び径200～3000)	日本下水道協会	昭和62年	—	●	—	—
5	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	—	●	—	—
6	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	—	—	●	—
7	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	—	—	●	—
8	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	—	—	●	—
9	FATIGUE OF PLASTIC WATER PIPE: A TECHNICAL REVIEW WITH RECOMMENDATIONS FOR PE4710 PIPE DESIGN FATIGUE	Jana Laboratories Inc.	2012年	●	—	●	—

4-2 内圧繰り返し負荷

4-2-1 ゴムチューブを用いた繰り返し内圧負荷

(1) 試験の概要

供試管の内圧性能を求める方法としては、供試管の両端にふたをして内水圧を負荷し、破壊するまで昇圧して限界水圧を求める方法がある。しかしながらこの方法は多くの工数と設備を要するので、試験ケースを数多く実施する方法としては適切ではない。

そこで、内圧負荷を比較的簡易な方法で再現する方法として、ゴムチューブを用いた内圧試験について検討する。

(2) 試験方法

幅 100mm に切断したリング状のφ350PVC 管 (VU) を供試管とした例を図 4.1 に示す。供試管内部にゴムチューブ (タイヤ用チューブ) をセットし、チューブがリングの幅以上に膨らまないよう SUS 板などで側面を拘束する。このとき SUS 板と供試管との間には隙間を設ける。

3 軸セルを水圧負荷用のシリンダーとして用い、ゴムチューブに注水して内水圧を負荷し、

供試管に引張応力を作用させる。内圧負荷と計測システムを図 4.2 に示す。

供試管の円周方向 4 箇所にはひずみゲージを貼付し、負荷水圧と発生ひずみを計測する。

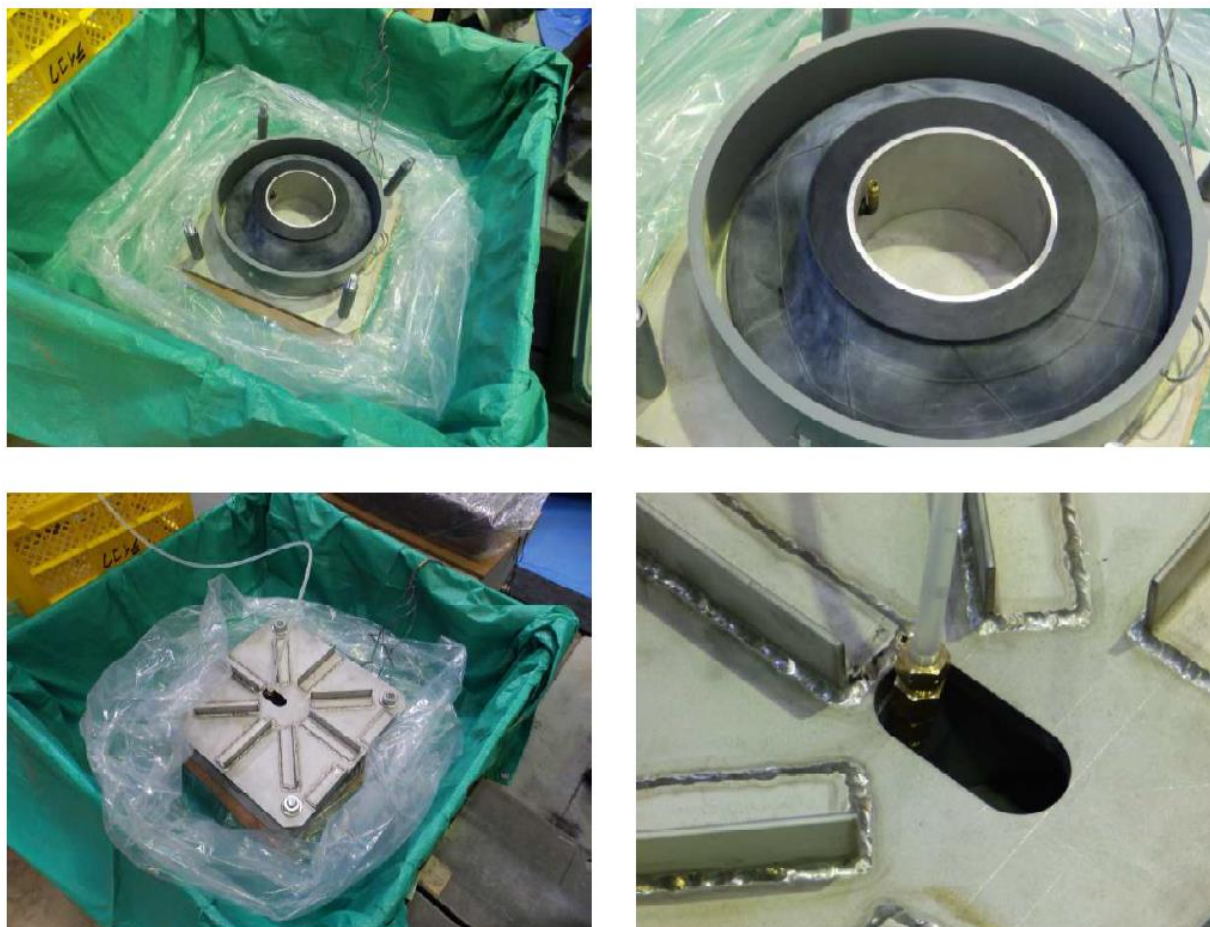


図 4.1 $\phi 350$ PVC(VU)供試管へのゴムチューブ設置状況

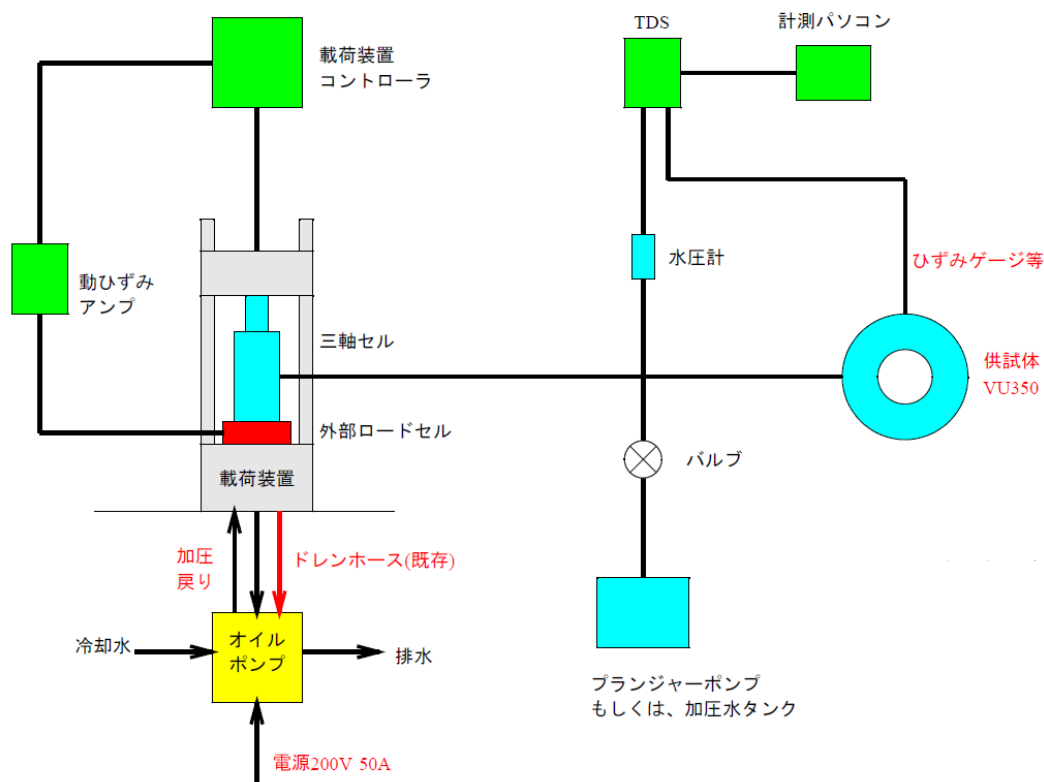


図 4.2 内圧負荷機構および計測システム略図

4-2-2 ノルリングによる繰り返し負荷

管に内圧が作用するときの引張強度を求めるにあたり、多くのケースを実施するには試験が簡便に行えることが優先事項となる。このことから、供試管に内水压を負荷する方法と比べて簡易に性能評価できる方法として、ノルリングにより円周方向の引張荷重を負荷する方法を検討する。

本試験を実施するために参考とした規格は下記のとおりである。

- ・ 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」
- ・ ASTM D2290-16 「Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe」

（１）試験方法

外圧クリープ試験を実施した 4 管種（φ 600）を対象として、原管から試験片（リング）を切り出し、JIS K 7037 の B 法に準じた図 4.3 の試験装置を用いて供試管の周方向引張試験を行う。

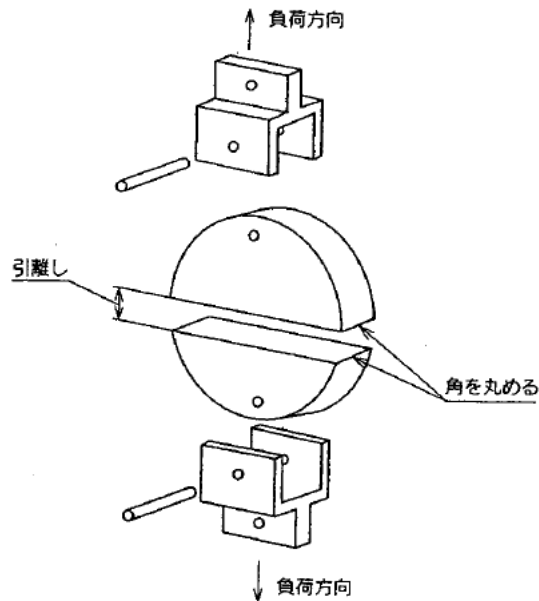


図 4.3 分割板による試験装置

試験手順は下記のとおりである。(試験片に切欠き部を設ける場合はカッコ内を参照)

- ①試験片の断面寸法を（リングの切欠き部の内表面および外表面で測定して平均し）0.1mmの精度で求める。
- ②（切欠き部の位置を考慮して）分割板外周の外側にリングを装着する。
- ③分割板を上下方向に一定速度で引き離し、供試管に引張荷重を負荷する。
- ④荷重負荷過程の変位と荷重を測定する。
 - (a) 供試管を破壊する場合
 - ・荷重負荷後 1 分～3 分で破壊が生じるよう、分割板を一定速度で引張する。
 - ・荷重負荷中の変位と荷重を測定し、破壊までの時間と最大荷重を記録する。(破壊は切欠き部で生じることを確認する)
 - (b) 供試管に繰り返し荷重を負荷する場合
 - ・載荷荷重、載荷速度等の条件を設定し、所定回数の繰り返し荷重を負荷する。

(2) 試験条件

- ①引張による破壊荷重を確認する。
- ②所定の内圧相当の引張荷重を繰り返し加えた後、偏平試験を行って曲げ強度の低下度合いを確認する。
- ③内圧レベル、繰り返し回数を変えて②を実施する。

(3) 試験片（リング）の形状

原管から幅 40mm で切り出したリングとする。ただし、切欠きを有するリングとするか否か、またその場合の切欠き部の幅は予備試験等により決定する。

4-3 内外圧複合状態の再現

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と上載荷重を負荷する方法などが知られているが、埋め戻し材料の状態が結果に大きく影響し、また試験には多大な労力を要する。そこで、供試管の内外圧負荷状態の性能をより簡便に評価するため、以下の 2 通りの方法を検討する。

- ①ゴムチューブを用いて供試管に内圧相当の引張応力を負荷した状態で偏平させる方法
- ②ノルリングを用いて供試管を引張して内圧負荷を再現し、繰り返し荷重を作用する方法

4.3.1 ゴムチューブを用いた繰り返し内圧負荷試験

この方法は供試管が破壊する高内圧の負荷試験には適さないが、止水用のフタなどが不要で、長さの短いリング状の供試管に均等な内圧が負荷できる大きな利点がある。

試験手順は下記のとおりである。

- ①リング状の供試管を所定のたわみ率まで偏平させた状態で固定する。
 - ②その内側にゴムチューブをセットし、内圧を負荷することで内外圧の複合状態を再現する。
 - ③外圧（たわみ率）を一定に保った状態で、アクチュエータを用いて内圧を繰り返し負荷
 - ④内圧を一定に保った状態で、アクチュエータを用いて外圧（たわみ率）を繰り返し負荷
- 内外圧複合状態での繰り返し試験など、非破壊状態での評価方法に利用できると考えられる。

4.3.2 ノルリングによる周方向引張試験

荷重制御方式の試験装置でノルリングを用いて供試管に引張荷重を負荷する。

実施可能な試験の内容は下記のとおりである。

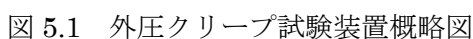
- ①管が破壊するまで繰り返し荷重を負荷する。荷重レベルを変えて供試管の疲労特性を確認する。
- ②所定の繰り返し回数経過後、供試管（リング）を偏平破壊させて強度低下の度合いを確認する。

様々な内圧レベルの試験条件を設定し、内圧繰り返しの評価が可能と考えられる。

5-1 試験装置

(1) 装置の構造

また、試験中の供試管の状態を確認できるよう、水槽の前面は透明なアクリル板としている。



製作した試験装置の外観を図 5.2 に示す。



図 5.2 外圧クリープ試験装置外観（前面のアクリル板が開いた状態）

（２）装置の検定

試験装置は、狭い場所での人力作業により大きな上載荷重を負荷する必要があるため、重錘の重量を約 5 倍に増幅する機構としている。

試験装置の製作誤差等によるバラツキ(個体差)が考えられることから、荷重増幅率について検定を行い、装置ごとの較正係数を求める。

検定は図 5.3 に示すように載荷板の下にロードセルを設置し、重錘を徐々に増加させたときの載荷荷重との関係を記録し、直線近似して較正係数を求める。



図 5.3 試験装置の検定状況

5-2 試験体作製の留意点

(1) 試験条件の統一

試験体の口径は管種を通じてできる限り統一し、同一の試験環境・装置で実施することが望ましい。

(2) 試験体の妥当性評価

試験体は市場流通品と乖離のないものを用いることとし、試験前または試験後に強度・材料等の分析を行う。

(3) 試験体の加工

①供試管の切出し

原管からリング状の供試管を切り出す際には、各管材の加工要領に従って適切な切断工具を選択し、ケガキ線に沿って切断する。切断面は有害な亀裂やきず、表面の悪化があってはならない。

②試験片の作製

原管から切り出した試験片の加工にあたっては、JIS K 7139「プラスチック試験片」ならびに JIS K 7144「プラスチック機械加工による試験片の調製」(ISO2818 Plastics- Preparation of test specimens by machining) を参考にする。

以下に、JIS K 7144 の機械加工条件、“4.試験片”“5.機械と工具”“6.手順”の各項目を引用する。

表 1 4種類の試験片及びノッチに推薦される機械加工条件

材料	機械加工方法	回転速度 n (tr/min)	工具の仕様				のこ歯 の数 z	工具の運動				冷却媒体
			直径 2R (mm)	切込み 刃角度 α_r	バック 逃げ角 α_p	サイド 逃げ角 α_s		切削速度 v_c (m/min)	送り速度 v_f (mm/min)	送り量 λ (mm)	切込み深さ a (mm)	
1)ダンベル形試験片 (参照 6.1)												
熱可塑性プラスチック	中速度	180～500	125～150	5～15	5～20	—	10～16	70～250	低速	—	1～5	なし、空気
熱硬化性プラスチック	フライス盤	—	—	—	—	—	—	70～250	低速	—	1～5	又は水
熱可塑性プラスチック	高速度	8 000～3 0000	5～20	10～15	5～20	—	4～8	125～2 000	低速	—	0.2	空気又は
熱硬化性プラスチック	ならいフライス盤	20 000	15～20	10～15	5～20	—	4～8	100～1 500	低速	—	0.5	水
2)短冊形試験片 (参照 6.2)												
熱可塑性プラスチック	丸のこによる	1 000～2 000	50～150	—	—	—	30～100	150～1 000	中速	—	—	なし又は
熱硬化性プラスチック	切削	1 000～2 000	50～150	—	—	—	50～150	150～1 000	中速	—	—	空気
熱可塑性プラスチック	帯のこによる	—	—	—	—	丸のこ	—	3～15	中速	—	—	なし又は
熱硬化性プラスチック	切削	—	—	—	—	同様	—	3～15	中速	—	—	空気
熱可塑性プラスチック	研磨ディスクによる	2 000～13 000	50～150	—	—	—	—	1 000～2 000	低速	—	—	空気又は
熱硬化性プラスチック	切削	2 000～13 000	50～150	—	—	—	—	1 000～2 000	低速	—	—	水
3)円板形試験片 (参照 6.3)												
熱可塑性プラスチック	サーキュラーカッター (のこ歯タイプ) による切削	100～200	40～100	—	—	—	30～100	10～100	中速	—	—	なし又は
熱硬化性プラスチック	—	100～200	40～100	—	—	—	30～100	10～100	中速	—	—	空気
熱可塑性プラスチック	サーキュラーカッター (研磨タイプ) による切削	300～1 500	40～100	—	—	—	—	100～200	低速	—	—	空気又は
熱硬化性プラスチック	—	300～1 500	40～100	—	—	—	—	100～200	低速	—	—	水
熱可塑性プラスチック	単刃フライス盤カッターによる切削	100～200	40～100	5～15	5～20	—	1	10～100	低速	—	—	なし又は
熱硬化性プラスチック	—	100～200	40～100	5～15	5～20	—	1	10～100	低速	—	—	空気
熱可塑性プラスチック	旋盤による	500～1 000	20～100	5～15	5～20	—	1	30～300	低速	—	—	なし又は
熱硬化性プラスチック	切削	500～1 000	20～100	5～15	5～20	—	1	30～300	低速	—	—	空気
4)打抜き試験片 (参照 6.4)												
熱可塑性プラスチック	薄いシートからの打抜き	—	—	—	—	—	—	—	低速で	—	—	なし
熱硬化性プラスチック	—	—	—	—	—	—	—	—	加圧	—	—	なし
5)ノッチ (参照 6.5)												
熱可塑性プラスチック	中速度	200～1 000	60～80	2～7	2～7	2～7	1	50～250	0.07～2	1～2	0.2～2	空気又は
熱硬化性プラスチック	フライス盤	200～1 000	60～80	2～7	2～7	2～7	1	50～250	0.07～2	1～2	0.2～2	水
熱可塑性プラスチック	ブローチ盤	—	—	2～7	2～7	2～7	1	12～20	低速	—	0.1～0.3	空気又は
熱硬化性プラスチック	—	—	—	2～7	2～7	2～7	1	12～20	低速	—	0.1～0.3	水

4. 試験片

4.1 試験片の形状及びその状態

この規格には機械加工によって調製する、次の試験片について規定する。

・短冊形 ・ノッチ付き短冊形 ・角板 ・ダンベル形 ・円板

試験片の正確な形、寸法及びその公差は、該当する個々の試験規格に規定されている。機械加工によって仕上げられた試験片の平面及び切断面には、低倍率（およそ 5 倍）の拡大鏡で観察して、目に見えるひび、ひっかききずなど他の欠陥があってはならない。

短冊形試験片にはねじれがなく、両平行面同士は直角に交わらなければならない。

平面及び切断面には、引っかききず、へこみ、ひけ又はばりがあってはならない。試験片 1 本 1 本について、直定規、直角定規及び定盤に当て目視によって観察し、さらにマイクロメータで測定して、試験片に要求される条件に合っているかどうかを検査する。

打ち抜き衝撃試験に使われる円板試験片の切断面の品質については、引張試験用試験片の切断面に要求されるような精密さは要らない。

上に与えられた条件が測定上又は観察上満たされないような試験片は、試験に用いないか、試験の前に正しい寸法、形状に加工する。

4.2 試験片の調製

試験片は、試験用材料から圧縮成形、射出成形、注型、重合による方法、押出成形、若しくは半製品を作り得る他の加工方法によって得られた平板又はシートから機械加工する。平板は、また、最終製品から適切な方法によって切り取られたものであってもよい。試験片を調製する試料が等方性でない場合には、主配向の軸に対して平行と直角の両方向の試験片を用意する。どのような場合においても、試験片を作る厳密な条件及び試料から試験片を切り出す位置と配向については、受渡当事者間で合意したものでなければならぬし、かつ、その詳細については試験報告に記述する。

備考 1. 機械加工をするときの部屋の温度及び材料の温度は、試験片の特性に影響を与えることがある点に留意すること。

5. 機械と工具

プラスチック材料から試験片を調製するため、また仕上がった試験片のノッチ加工のためには、5.1～5.5 に規定する機械が用いられる。種々の試験片形状及び試験片材料に対して推奨する機械加工条件を表 1（略）に示す。機械加工によって試験片を調製するための要求条件は、該当する材料規格の第 2 部に、それぞれの材料について詳細に規定する。ノッチ加工に関して、表 1 に与えられた条件は、多数の材料に対して満足な結果を与えることが知られているが、広範囲な材料が試験されるので、他の条件が適切な場合もある。

5.1 フライス盤

フライス盤は、ダンベル形試験片及び短冊形試験片を調製するときに用いることができる。それは ISO 3855 に示された方法の中に規定された 1 個の歯又は多数の歯を含み、種々の速度で切削する（例えば、ならいフライス盤の場合は、高速で切削する）。フライス盤は、短冊形試験片にノッチを入れるときに用いることもできる。この場合、複数の歯をもつ回転刃は、そのノッチが 1 個の歯を用いたときと同様の品質で作られるときに限り用いることができる。

5.2 スライサー又はのこ盤

スライサー又はのこ盤は、短冊形又は角板形試験片を調製するときに用いる。それは丸のこ又は帯のこ、若しくはダイヤモンド又は立方晶窒化ほう素のような研磨材でコートされた刃をもつディスクを装着することができる。

5.3 チューブラー切断機

チューブラー切断機は、平板やシート材から円板形試験片を調製するときに用いる。このような種類の工具の切れ刃は、のこ歯であるか又は研磨材でコートされたものである。

5.4 旋盤

旋盤は、5.3 で示したのと同様の目的で用いる。例えば、あらかじめ粗く形づけした個々のシート束から円形試験片を切断する。

5.5 平削り盤

平削り盤は、のこ引き又はスライスされた短冊形試験片を最終的に切削仕上げをするとき及びノッチを入れるときに用いる。

5.6 打ち抜き工具

打ち抜き工具は、適度に柔軟性のある材料で作られた薄いシートから、種々の形の試験片を調製するのに適している。

5.7 ブローチ

ブローチは、ノッチ加工に用いることができ、手動又は機械で駆動する。

6. 手順

機械加工速度は、試験される材料に依存し、材料の過熱が避けられる速度がよい。このことは特に熱可塑性プラスチックの場合に重要である。もし冷却剤の使用が必要ならば、これは該当する材料規格の第 2 部に規定されている。冷却剤は、加工する材料に有害な影響を与えないものを使用する（表 1 参照）。滑らかな仕上げを達成するには、細かな研磨材が用いられる。ダイヤモンド、立方晶窒化ほう素、又はその他の研磨材でコートされた刃をもつ工具の場合、ISO 3017, ISO 6104, ISO 6106, ISO 6168 を考慮する。

備考 2. 試験片を機械加工するときには、切粉は刺激を引き起こすことがあるので、皮膚への接触や吸込みに注意しなければならない。

6.1 ダンベル形試験片の調製

手動フライス盤を用いた低速切削、又は好ましくは表 1 に示す条件による高速なフライス加工によってダンベル形試験片を作成する。約 5 倍の倍率をもつ拡大鏡で仕上げた試験片の切削表面と端面の欠陥の存在について調べる。最大 500 個の試験片を切断した後、50 倍～100 倍の倍率をもつ顕微鏡か投影機を用いて切れ刃を検査する。

6.2 研磨ディスクによる短冊形試験片の調製

この方法による詳細な条件を、表 1 に示す。試験片の表面状態に関する特別な要求事項又はフライス、平削りなどの仕上げに関しての指定がない限り、この試験片の調製はこのびきによって行う。フライス、平削り加工を用いる場合は、6.1 に規定する表面状態の確認を行う。

6.3 円板形試験片の調製

一般的に円板形試験片は、打抜き衝撃試験に用いる。この試験の場合、機械加工による仕上面状態は試験結果にあまり影響はしない。表 1 に規定する条件で平滑で、かつきずが少ない試験片を調製する。

6.4 打抜き加工による試験片の調製

柔軟で、かつ薄いシートからの試験片の調製は、打抜き加工による。シートからの試験片は、単動式のナイフエッジパンチによって、所定の形状、寸法に打ち抜かれる。パンチの切断面は、十分に鋭利で、かつきずがないものでなければならない。このシートは、硬い平板の上に薄いレザー、ゴムシート又は上質な厚紙などに重ねて、試料を支持する。この方法の基準は、6.1 で規定する試験片の切断面、表面の品質を確保するために必要とするものである。

6.5 フライス、ブローチによる試験片のノッチ加工

試験片のノッチ加工は、フライス盤又は旋盤で行い、単刃を使用することが望ましい。バイトには高速度鋼、工具鋼、又はダイヤモンドを使用する。多刃は、単刃を用いたときと同じ品質が、確保できるときに限り使用できる。試験片は、機械加工による打ち抜きで得られるが、ノッチは後加工によって行う。ノッチ加工に際しては、研磨材を使用してはならない。フライス加工を行う場合、切り取りの厚さ（dS）は、0.003mm～0.07mm であるので、送り速度は次の式によって求める。

$$ds = Vf^2 (n^2 \cdot R) \text{ (mm)}$$

ここに、 Vf: 送り速度 (mm/min)

n: 刃の回転速度 (r/min 又は min⁻¹)

R: フライス盤の軸と切れ刃の刃先との距離 (mm)

これらのパラメーターは、ノッチ部の応力集中の程度を決定するものである。ノッチ部の形状及びノッチ半径の正確な公差を決めなければならない。再現性のある結果を得るためには、ばり、欠けをなくすように注意深く切断面を研磨しなければならない。

カッター刃は、最初に使うときはもちろんのこと、およそ 500 ノッチを切削した後、又は非常に硬い材料を切削した場合には、カッターの切れ味、刃こぼれ、チップの形状、刃先の半径(R) を検査しなければならない。もし R と形状が許容限界を外れている場合には、研磨した新しいチップに交換する。

このカッター刃及びノッチ部を検査する方法としては、顕微鏡又は 50 倍～100 倍の投影器が適している。単刃の場合には、カッターチップ形状と試験片のノッチ部との形状にはっきりとした関係があれば、カッターチップの形状を試験片のノッチ部の形状の代わりに検査してもよい。同じカッター刃を使用しても、材料が異なればそれぞれのノッチ部の形状が異なることが確認されている。

透明材料の場合には、しばしば光弾性効果を用いて、望ましくない変化を検出することが可能である。特に、射出成形による試験片の場合には、機械加工による昇温、溶融によって機械加工を行った表面近くに干渉じま又は干渉色の変化が検出されることがある。

備考 3. カッター刃は光学的観察では適切な状態にもかかわらず、PMMA 及び PC の場合には、切削後に試験片の光学的測定値が徐々に変化している現象が確認されている。このような場合には、標準物質を用いてカッターをチェックすることを推奨する。

6. 課題の整理

埋設パイプラインに使用する樹脂系パイプの長期特性を明らかにし、設計諸元（極限ひずみ、強度、ヤング係数等の設定）に反映するための基礎資料とするための試験方法について示した。

適用にあたっては課題が残っており、それらを以下に整理する。

6-1 設計に用いる物性値

長期強度を設計に用いることは研究開発組合内で合意が得られたが、外圧クリープ試験で得られたクリープ係数の導入や、長期強度に対する安全率については、回帰式の選定において一般的な統計手法により適合性を検証することなどに議論が残る。

6-2 再評価試験

長期特性を簡便に試験し、評価するための試験方法について検討した。試験結果は調和的で材料の本質的な特性を捉えていると考えられ、新たに開発する管材を含めて統一的に品質確認する可能性を見出した。定量評価には既往の特性値との検証など、多様な管種・管材の試験データの蓄積を進める必要がある。

6-3 内外圧繰り返し作用時の特性

内外圧複合状態の再現試験は限界状態の性能把握に必要であるが、既往のデータの蓄積は十分ではなく、異なる条件で数多くのケースが実施できる簡便な試験方法の確立が求められる。

本テーマで試行実施したリング状の供試管を用いる方法は、限界状態の一部（外圧が大きく内圧が比較的小さい条件）の検証に適用できると考えられる。

なお、疲労強度は設計基準には反映されていないが、水撃圧の繰り返し作用による管の破損事故などの事例もあり、今後解明が必要である。

7. 品質管理

本事業で対象とした4管種について、その性能を確保するための品質管理について下記に示す。

7-1 硬質ポリ塩化ビニル管（PVC管）

現在のJIS K6741または日本水道協会規格JWWA K133などの物性確認を行うことにより、性能を満足することを確認する。

表 7.1 PVC管の性能（JIS K 6741-2016）

性能項目	性能	適用する管の記号	適用箇条
引張降伏強さ.....MPa	45以上	VP, VM, VU	9.1.1
	40以上	HVP	
耐圧性	破損があつてはならない。	VP, HVP, VM, VU	9.1.2
接合部耐圧性 ^{a)}	漏れがあつてはならない。	VP, HVP, VM, VU	9.1.3
偏平性	割れ及びひびがあつてはならない。	VP, HVP, VM, VU	9.1.4
耐衝撃性	“異常なし” ^{b)} でなければならない。	HVP	9.1.5
ビカット軟化温度.....℃	76以上	VP, HVP, VM, VU	9.1.6
	79以上	IDVP, ISVP	
	80以上	IWVP	
水密性	漏れがあつてはならない。	IDVP	9.1.7
気密性	漏れがあつてはならない。	IDVP	9.1.8
冷熱繰返し流下性.....mm	漏れてはならない。管路のたわみは呼び径ND50以下は3以下、呼び径ND50を超えるものは0.05×外径以下とする。	IDVP	9.1.9
偏平密封性.....MPa	0.005及び0.05の水圧で漏れず、並びに-0.03の気圧で-0.027以下でなければならない。	ISVP	9.1.10
曲げ密封性.....MPa	0.005及び0.05の水圧で漏れず、並びに-0.03の気圧で-0.027以下でなければならない。	ISVP	9.1.11
熱間内圧クリープ性	破損があつてはならない。	ISVP, IWVP	9.1.12
外衝撃耐久性（回転法）.....%	0℃における衝撃率（TIR）が10以下	IDVP, ISVP, IWVP	9.1.13
外衝撃耐久性（階段法） ^{c)}m	0℃における50%割れ高さが1以上。ただし、0.5m以下での破損は最大1個とする。	IDVP, ISVP	9.1.14
加熱伸縮性.....%	管軸方向の伸縮が5以下	IDVP, ISVP, IWVP	9.1.15
耐ジクロロメタン性 ^{d)}	浸食されてはならない。	IDVP, ISVP, IWVP	9.1.16
示差走査熱量（DSC） ^{d)}℃	Bオンセット（最高加工）温度が185以上	IWVP	9.1.17
注 a) 接合部耐圧性は、圧力輸送用のゴム輪形受口及び接着形受口をもった管に適用し、これらの管では、この接合部耐圧試験をもって耐圧試験に代えることができる。 b) “異常なし”とは、JA.4による判定基準である。 c) 施工時の温度が、-10℃以下の地域で使用する管に適用する。 d) IWVPは、耐ジクロロメタン性又は示差走査熱量（DSC）のいずれかの性能項目を確認する。			

（注記）

塩化ビニル管・継手協会「硬質塩化ビニル管の長期寿命の評価について 平成21年3月」p.20によると、平成5年にISO/DP 9080.2に準拠し水道用硬質塩化ビニル管の設計応力を明確にするためにVP200を用いて内圧クリープ試験を行い、そのデータから50年後の破壊応力（長期水圧強度）を求め、更に97.5%信頼下限値を算出し、使用条件に応じた安全率2.3の設計応力を10.8MPaと設定した。

50年後の設計応力(長期水圧強度) 回帰式から $\sigma = 25.94\text{MPa}$

97.5%信頼下限値 回帰式から $\sigma = 25.00\text{MPa}$

7-2 強化プラスチック複合管 (FRPM 管)

FRPM管において、製造業者が製造工程内で行う品質検査は、JIS A 5350 第9項に基づき実施するものとする。検査項目は、「外観、形状及び寸法」、「内圧強さ」及び「外圧強さ」とする。また、受渡検査は、受渡当事者間の協議によって定めても良いものとする。

更に、長期強度の品質を担保するために、型式検査を実施するものとする。型式検査とは、代表的な供試管を用いて、ISO 10468、ISO 10471 及び ISO 7509 (表 7.3 参照) に基づき試験を行い ISO 10928 で外挿した 50 年後の長期性能を確認するものとする。型式検査は、構成する「材料」を所定の手続きにより一つの型式とみなした一群の製品から、一種類の口径・管種の管を代表として実施する検査である。

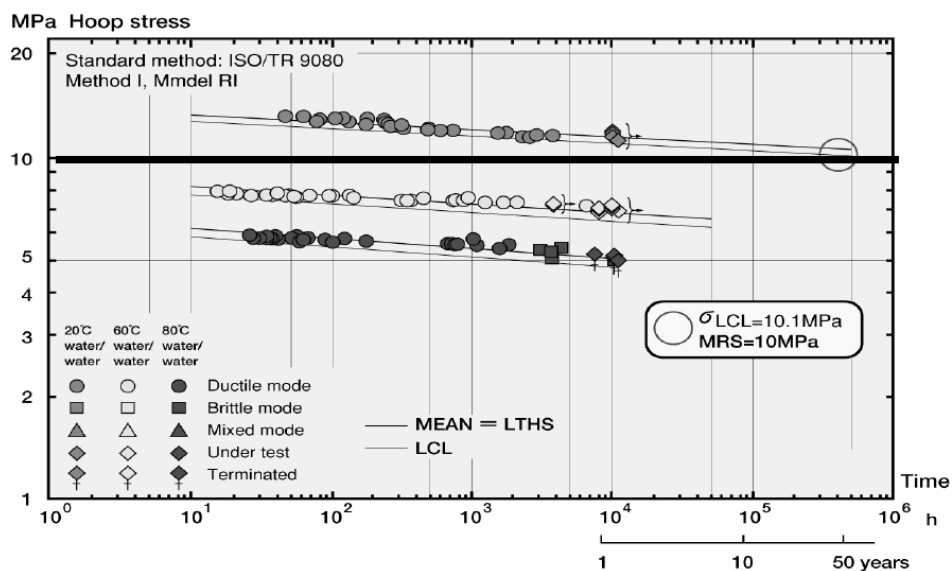
巻末に (参考) として、型式検査の一例を添付する。

表 7.3 長期性能を担保する品質管理

ISO	名称
ISO 10468	ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管－湿潤及び乾燥条件下におけるリングクリープ特性の測定 Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes -- Determination of the ring creep properties under wet or dry conditions)
ISO 10471	ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管－湿潤条件下における長期究極曲げひずみ及び長期究極相対リングたわみの測定 Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes -- Determination of the long-term ultimate bending strain and the long-term ultimate relative ring deflection under wet conditions
ISO 7509	プラスチック配管システム－ガラス補強熱硬化プラスチック (GRP) 管－持続的内圧状態での故障寿命の求め方 Plastics piping systems -- Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes -- Determination of time to failure under sustained internal pressure
ISO 10928	プラスチック配管システム－ガラス繊維強化熱硬化プラスチック (GRP) 管及び管継手－回帰分析法及びその利用 Plastics piping systems -- Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes and fittings -- Methods for regression analysis and their use

7-3 一般用ポリエチレン管（PE 管）

管の材料はエチレン重合体とし、ISO 9080 に従い、20℃で 50 年外挿下方限界（LCL）を求めたときの最小必要強度（MRS）が 10MPa(PE100)または 8MPa（PE80）の樹脂を使用する。内圧クリープ試験の結果を図 7.1 に示す。



（備考）50 年後の○印部の周応力（Hoop Stress）が 10MPa 以上のものを PE100 と呼ぶ

図 7.1 内圧クリープ試験結果（ISO 9080）

また、表 7.4 に示す性能規格を確認することで、長期性能を満足できる。

表 7.4 農業用ポリエチレン管の性能規格

性能項目		性 能
引張伸び		引張破断伸びが 350%以上
熱安定性		酸化誘導時間 20 分以上
加熱伸縮性		±3%以内
内圧クリープ性		割れ、破損その他の欠点を生じないこと
カーボン濃度		2.0～2.5%
低速き裂進展性		割れ、破損その他の欠点を生じないこと
融着部相溶性		割れ、破損その他の欠点を生じないこと
メルトマスフローレート		製造による変化率±20%
耐環境応力き裂性		240 時間でき裂発生がないこと
浸出性	濁度	0.2 度以下
	色度	0.5 度以下
	全有機炭素（TOC）の量	0.5mg/l 以下
	残留塩素の減量	0.7mg/l 以下
	臭気	異常がないこと
	味	異常がないこと

7-4 ガラス繊維強化ポリエチレン管（PE-GF 管）

7.4.1 検査

7.4.1a) 形式検査

（管材料）

コンパウンドは、**JIS K 6761** に規定している PE100 に適合しなければならない。

形式検査は、**表 7.5** に規定した検査項目において、試験を行ったとき、**表 7.6** に適合しなければならない。この検査は原料樹脂又はコンパウンド製造業者が実施する。

なお、この検査は、材料の変更又は材料製造設備の変更があった場合に実施する。ただし、材料の製造設備については、日常生産の範囲内での軽微な変更の場合は、実施しなくてもよい。

（管）

形式検査は、**表 7.5** に規定した検査項目において、試験を行ったとき、**表 7.6** に適合しなければならない。この検査は管製造業者が実施する。

なお、この検査は、コンパウンドの変更又は管の製造設備の変更があった場合に実施する。ただし、管の製造設備については、日常生産の範囲内での軽微な変更の場合は、実施しなくてよい。

7.4.1b) 受渡検査

（管材料、管）

形式検査に適合していることが確認された材料の受渡検査は、**表 7.5** に規定した検査項目において、試験を行ったとき、**表 7.6** に適合しなければならない。

7.4.2 検査項目

PE-GF 管材料の検査項目を、**表 7.5** に示す。

表 7.5 PE-GF 管材料の検査項目（JIS K 6799-1）

検査対象	検査項目	形式検査	受渡検査
コンパウンド	密度	○	○
	メルトマスフローレイト (MFR)	○	○
	カーボン分散	○	
	カーボン濃度	○	
	熱安定性	○	
ガラス繊維	直径	○	
	長さ	○	
	強熱減量	○	
	水分率	○	
カップリング材	メルトマスフローレイト (MFR)	○	
	密度	○	
	水分率	○	

7.4.3 要求性能

PE-GF 管材料の要求性能を、表 7.6 に示す。

表 7.6 PE-GF 管材料の性能 (JIS K 6799-1)

検査対象	検査項目	要求性能
コンパウンド	密度	940 kg/m ³ 以上
	メルトマスフローレイト (MFR)	0.2 g/10 min～1.4 g/10 min
	カーボン分散	グレード 3 以下
	カーボン濃度	2.0 %～2.5 %
	熱安定性	20 min 以上
ガラス繊維	直径	10 μm～15 μm
	長さ	2 mm～5 mm
	強熱減量	0.4 %～1.0 %
	水分率	0.10 % 以下
カップリング材	メルトマスフローレイト (MFR)	10 g/10 min ～14 g/10 min
	密度	940 kg/m ³ 以上
	水分率	0.03 %以下

PE-GF 管は、JIS K 6799-2 箇条 8.2 の項目 (表 7.7) を満たすことを品質管理基準とする。

表 7.7 PE-GF 管の要求性能 (JIS K 6799-2)

項目		要求性能
密度		1 020 kg/m ³ ～1 120 kg/m ³
ガラス繊維添加量		19.0 %～21.0 %
熱安定性		20 min 以上
引張降伏強さ	管周方向	40 MPa 以上
	管軸方向	24 MPa 以上
引張弾性率	管周方向	2 500 MPa 以上
	管軸方向	1 300 MPa 以上
曲げ弾性率	管周方向	2 500 MPa 以上
	管軸方向	1 300 MPa 以上
圧縮弾性率	管周方向	2 500 MPa 以上
	管軸方向	1 300 MPa 以上
加熱伸縮性		長さ変化率±3 %
最小要求強度		20 MPa 以上
内圧クリープ		漏れ、破損がない
耐水圧性		3.8 MPa で漏れ、破損がない
ピーリング		残存する融着部が電熱体部長さ (l_{sol}) 以上
低速亀裂進展性		漏れ、破損がない
たわみ荷重		表 C.3 の基準たわみ荷重以上

表 C.3－管の基準たわみ荷重

公称内径 mm	基準たわみ量 Δy mm	基準たわみ荷重 F_s kN/m		
		1 種管	2 種管	3 種管
300	15	19.0	7.8	4.4
350	18	19.8	9.2	5.7
400	20	21.8	11.1	5.8
450	23	26.0	12.4	7.1
500	25	26.9	13.8	7.0
600	30	33.2	15.0	8.4
700	35	36.0	18.2	9.8
800	40	42.2	21.4	11.2
900	45	45.2	22.6	12.6
1 000	50	50.5	25.4	13.8
1 100	55	56.6	28.6	15.2
1 200	60	59.7	29.8	16.7
1 350	68	67.0	34.4	18.0
1 500	75	74.0	36.9	20.7
1 650	83	81.0	41.4	22.0
1 800	90	91.4	44.1	24.7
2 000	100	100.4	48.4	26.1

(参考) 型式検査

樹脂系パイプにおいて使用材料などを変更する場合、規格で定められた管の性能（長期特性）を満足する仕様であることを確認するため、型式検査の実施を規定している製品規格がある。

ここでは長期性能を維持するための品質管理の参考として、下水道用強化プラスチック複合管 JSWAS K-2-2013 の耐酸性型式検査規定を引用する。

JSWAS

下水道用強化プラスチック複合管

(呼び径 200～3 000)

JSWAS K-2-2013

平成 25 年 10 月 1 日改正

公益社団法人 日本下水道協会

(参考)

〔 附 属 書 〕

耐酸性型式検査規定

1. 適 用

本規定は、所定の手続きによって型式申請された下水道用強化プラスチック複合管の性能が、規格本文に規定されている耐酸性を満足している仕様であることを確認するための検査に適用する。

2. 供 試 管

2.1 試 験 片

試験片は供試管直管部から表－7に示す長さ、数および形状を切り取る。

表－7 試験片の長さ、数および形状

呼 び 径	試験片の長さ (mm)	試験片の数	試験片の形状
200～1 500	300	18 個以上	環 状
1 650～2 000	400		
2 200～2 400	500		
2 600～3 000	600		

2.2 寸法測定

試験片の寸法測定は、耐酸性試験を行う前に実施していなければならない。

2.3 品 質

試験片の品質は、本文に規定される品質を満足しなければならない。

3. 試験方法

3.1 試験方法

耐酸試験は、表－7の試験片を図－7に示すように上下の載荷板で管をたわませ、たわみによって生じる管の歪を3.2(1)で設定した歪に保持できるようボルトで固定した後、せき板を柔軟なシール材で取り付け、0.5mol/lの硫酸溶液(pH0相当)を試験液が25～50mmの深さとなるように入れ、その時間を0として管壁を通して試験液が漏えい(洩)するまでの時間を測定する。

ただし、試験片を所定の歪に保持するにあたっては、試験片最下部に歪ゲージを貼り付け、設定した歪までたわませる。

(19)

(参考)

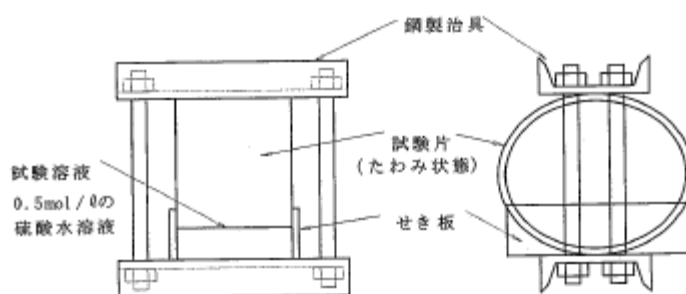


図-7 耐酸試験方法

3.2 試験片の歪条件と外挿方法

- (1) 全試験片の破壊までの時間が0.3時間から 10^4 時間以上までの間に分布し、かつ、最小10個の試験片は、表-8の破壊時間分布を満たすように試験片の歪の範囲を定める。

表-8 試験片の破壊時間分布

破壊時間 t_b (時間)	破壊した最小試験片数
$10 \leq t_b \leq 1\,000$	4 (0) 注2
$1\,000 < t_b \leq 6\,000$	3 (5) 注2
$6\,000 < t_b$	3 注1 (5) 注1 注2

注1. このうち、少なくとも1個は10 000時間を越えること。

2. 破壊が1 000時間以内で起きない場合には、該当する4個の破壊点のうちの2個は1 000時間と6 000時間の間に追加され、残りの2個は6 000時間以上に追加されなければならない。

- (2) 得られたデータを以下の方法で外挿し、50年後の特性値を予測する。

ただし、少なくとも16個の試験片が破壊し、残りの試験片が10 000時間以上経過しているとき、これらの破壊していない試験片を外挿値を回帰するためのデータとして使用して構わない。

【一般】

次の変数を計算する。

中略

(参考)

4. 検査の合否判定

耐酸性の型式検査は、2.1 の試験片を作成し、3.1 に規定する方法で試験を行い、3.2 に基づいて求めた 50 年後の外挿値を求める。

4.1 合否判定

耐酸性の型式検査は、本文の 4.4 の規定に適合すれば、その型式の全呼び径・管種について合格とする。

4.2 不合格の処置

耐酸性の型式検査は、不合格となった管と同一の材料、構造および製造方法の組み合わせでの再検査は受けられない。再検査を受ける場合は、これらのいずれかを変えたうえで検査を行い、合格すれば新たに変更した型式の管に関して合格とする。

〔 附 属 書 〕

耐酸性型式検査規定 解説

耐酸性についての試験方法は、JIS K 7034（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）管および継手—偏平下における管内面の耐薬品性の求め方）、データを外挿する手順はJIS K 7020（ガラス強化熱硬化性プラスチック（GRP）管および継手—回帰分析法およびその使用）の方法Aに準拠した（JSWAS K-2〔参考資料3〕参照）。

ただし、これらのJISはそれぞれISOがJIS化されたものである。なお、破壊時間の範囲はISO 10467に準拠して0.3時間と10 000時間以上までの間とした。

また、代表的な供試管とは、材料、構造および製造方法について同じ型式として申請した管の中でその型式を代表する口径・管種の管をいい、耐酸試験を実施した場合その型式の管全体について安全側の評価を与えるものでなければならない。