

第5回 単独管 材料長期試験

(1) 分会の目的

農業用水用パイプラインにおける単独管の更生材料の管厚設計は、内外圧を受けるとう性管の管厚計算を行って決定されるが、その設計諸元に用いる材料物性については、これまで短期物性に安全率を考慮した値が用いられることが多く、パイプラインの耐用年数を考慮に入れた長期性能については十分な検討がなされてこなかった。

本分会では、単独管の更生材料に求められる長期性能の明確化・評価手法の確立を行うと共に、得られた長期試験値の設計への反映方法を確立することを目的とする。

(2) 分会の目標

- 1) 単独管更生材料に求められる長期評価項目の整理
- 2) 長期性能の評価方法の確立
- 3) 長期試験値の設計への反映方法の決定

(3) 長期評価項目の整理

1) 長期引張応力度

内外圧を受けるとう性管の管厚計算は、内外圧から求める管厚計算式及びたわみ率から求める管厚計算式の両方を満足する管厚として計算される。

内外圧から求める管厚計算においては、材料諸元として材料の許容引張応力度を計算に用いる。更生管には長期にわたって水圧に起因する管周方向の引張応力が作用するため、許容引張応力度は長期（50年）の強度特性を見込んだ値を用いるのが適切であると考えられるが、現在は暫定的に平板の短期保証値に安全率3を見込んだ数値を用いている現状である。

また、たわみ率から求める管厚計算式においては、材料諸元として材料のヤング係数を計算に用いる。現状はヤング係数も短期の値を用いて計算が行われているが、基本的には、更生の対象となる管路は布設後の経年によって周辺土壌が締め固められているとの考えに基づくと、ヤング係数は短期（初期）の値を用いて照査すれば良いと考えられる。

以上より、内外圧を受けるとう性管の管厚計算において用いる設計諸元として、長期性能を考慮すべき諸元として管周方向の長期引張応力度の検討が必要であり、併せて、安全率についても長期特性を考慮に入れた新たな安全率を設定する必要があるものと考えられる。

長期引張応力度の評価方法としては、直接的な方法として管体での長期内圧クリープ試験を行う方法と、代用評価としての平板での長期引張破断試験を行う方法があり、それぞれのメリットとデメリットは表1の通りである。

長期引張応力度の評価方法としては、試験のメリットとデメリットを比較検討した結果、試験精度や試験期間、予算を総合的に考慮して平板による長期引張破断試験を選定して評価するものとする。

長期引張破断試験の試験条件としては、当てはまる試験規格としてJIS K 7115（プラスチックークリープ特性の試験方法－第1部：引張クリープ）があるが、規格には試験時間とn数の明確な記載がなく、検討が必要である。

試験時間については、公益社団法人日本下水道協会が発行している「管きょ更生工法における設計・施工管理ガイドライン」において、ガラス繊維強化材料の試験方法として規定されている長期評価が10,000時間

表1 試験方法の比較

試験項目	長期内圧クリープ試験（管体）	長期引張破断試験（平板）
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 管体で直接的な評価ができる 	<ul style="list-style-type: none"> 簡易な試験装置で評価できる n数を増やして試験できる 費用を抑えることができる
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 試験装置が大がかりになる n数を増やすのが困難 管口シールが難しい 試験温度管理が難しい 	<ul style="list-style-type: none"> 管体評価との整合性が必要

と決められていることから、それに準拠して10,000時間を目安に試験を行うものとする。なお、今回試験する工法材料にはガラス繊維非強化のものもあるが、ガラス繊維強化材料と同一の試験条件で実施するものとする。

また、n数については、JIS K 7115に最低n = 7以上との記載があることから、少なくともn = 7となるように実施して、可能な限りn数を増やして試験を行うものとする。

さらに、試験雰囲気についても、規格には明確な記載はないが、更生管施工後には管内部には水が流れていること、地下水がある場合には更生管は外面からも水に接触する可能性があることを考慮に入れて、水中雰囲気での試験が使用環境を反映した試験方法であると判断して試験を実施した。

なお、材料の種類によってその特性上平板の長期引張破断試験では正確な測定が困難な場合には、管体の長期内圧クリープ試験を適用することができるとする。その場合、試験規格や試験条件はそれぞれの材料や製品の個別規格に従うことを基本とするが、試験時間についてはデータの信頼性を考慮して10,000時間行うことを基本とする。またn数については、少なくともn = 7となるように実施して、可能な限りn数を増やして試験を行うものとし、試験雰囲気については、更生管施工後には管内部には水が流れていること、地下水がある場合には更生管は外面からも水に接触していることを考慮に入れて、水中雰囲気での試験を行うものとする。

2) 脈動圧の更生管への影響

農業用水用パイプラインの使用環境下においては、バルブの開閉や自動車等の活荷重等に起因する脈動圧の発生が考えられる。

本分会では長期に渡る使用における脈動圧が更生材料に与える影響について議論を実施したが、通常のパイプラインにおいては、脈動の発生は少なく更生材料への影響は小さいと考え、試験の優先度は低いと判断した。よって、本事業内では脈動試験は実施しないこととした。

(4) 試験内容

1) 試験概要

長期試験として、平板から切り出したダンベル状試験片による長期引張破断試験を実施する。

2) 試験条件

試験規格 : JIS K 7115 (プラスチック-クリープ特性の試験方法-第1部:引張クリープ)

試験雰囲気: 水中

試験温度 : 23℃ ± 5℃

N数 : 1種類につき7本以上

試験時間 : 最大10,000時間

破断時間の目安として、300時間、600時間、1,000時間、2,000時間、4,000時間、7,000時間、10,000時間付近で少なくともn = 1のデータを取得することとする

3) 試験材料

試験を実施する工法（材料）の詳細を表2に、試験片形状を図1、図2に示す。

表2 試験材料詳細

材料工法名	材料種類	ダンベル試験片形状		
		厚み (mm)	幅 (mm)	形状
A	熱硬化・非ガラス繊維	2.70	10.0	JIS K7162 1B形
B	熱硬化・ガラス繊維	4.50	5.0	JIS K7162 1B形
C	熱硬化・ガラス繊維	2.00	10.0	JIS K7162 1B形
D	熱硬化・非ガラス繊維	9.00	10.0	JIS K7162 1B形
E	熱硬化・ガラス繊維	7.00	10.0	JIS K7162 1B形
F	熱硬化・ガラス繊維	4.50	5.0	JIS K7162 1B形
G	熱硬化・ガラス繊維	2.00	10.0	JIS K7162 1B形
H	熱硬化・非ガラス繊維	3.00	10.0	JIS K7162 1B形
I	熱硬化・ガラス繊維	8.00	10.0	JIS K7162 1B形
J	熱硬化・ガラス繊維	7.00	10.0	JIS K7162 1B形
K	熱硬化・ガラス繊維	8.00	10.0	JIS K7162 1B形
L	熱硬化・ガラス繊維	7.00	10.0	JIS K7162 1B形

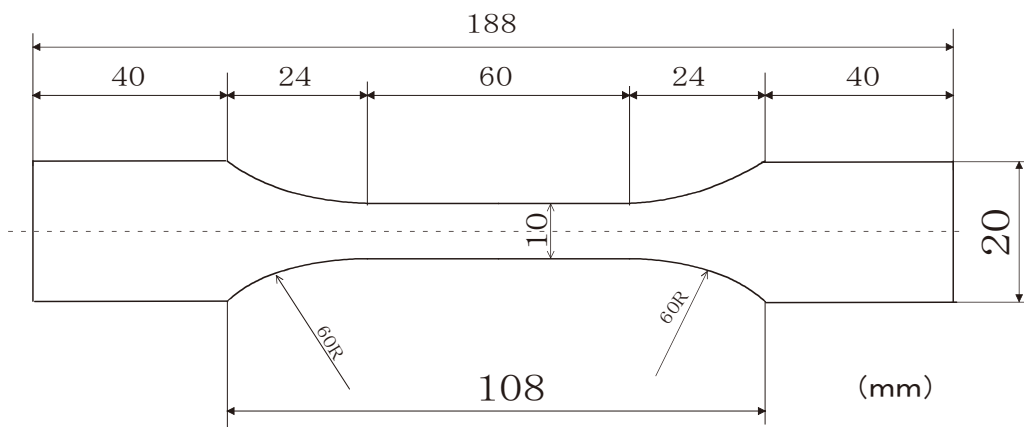


図1 JIS K7162 1B形試験片形状

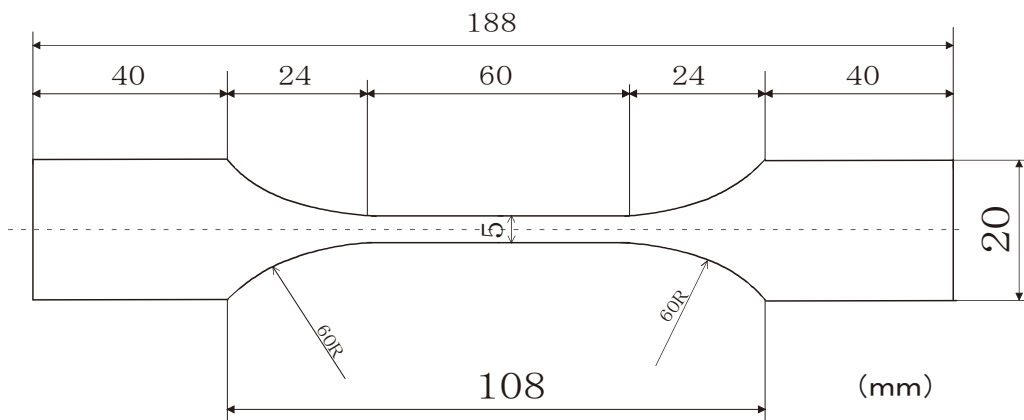


図2 平行部5mm幅の形試験片形状（工法材料名B及びF）

4) 試験装置

- ①引張破断試験機は、試験材料を水中に浸漬した状態で所定の静的引張応力を負荷できる構造となっている。
- ②静的引張応力は予め校正された所定質量の分銅によって付与する。
- ③試験装置は合計28台を用いて実施する。
- ④試験片を浸漬する模擬水としては工場水道水を用いる。
模擬水は定期的に交換しないと腐りが生じるため、夏場は2週間毎、冬場は濁りが生じた時点にて全水を交換する。
- ⑤試験装置は $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ に管理された恒温室内に設置されており、模擬水の温度はほぼ雰囲気温度に等しい条件となる。
- ⑥試験時間をデジタルタイマーによって計測する。試験片が破断した時には、センサーが破断を検知して自動的にタイマーが止まる構造になっている。

試験装置の写真を写真1に、試験片取り付け部分の詳細を図3、写真2に、試験前の試験片を写真3に示す。



写真1 試験装置

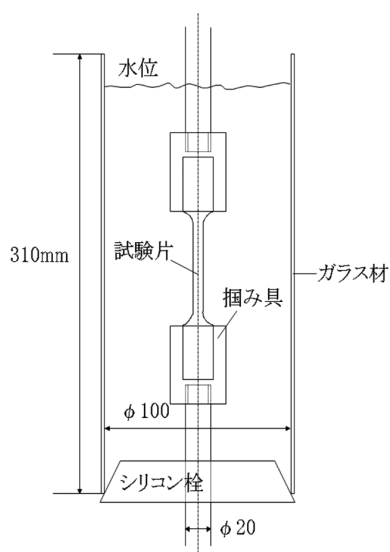


図3 試験片取り付け部の詳細



写真2 試験片取り付け部の写真

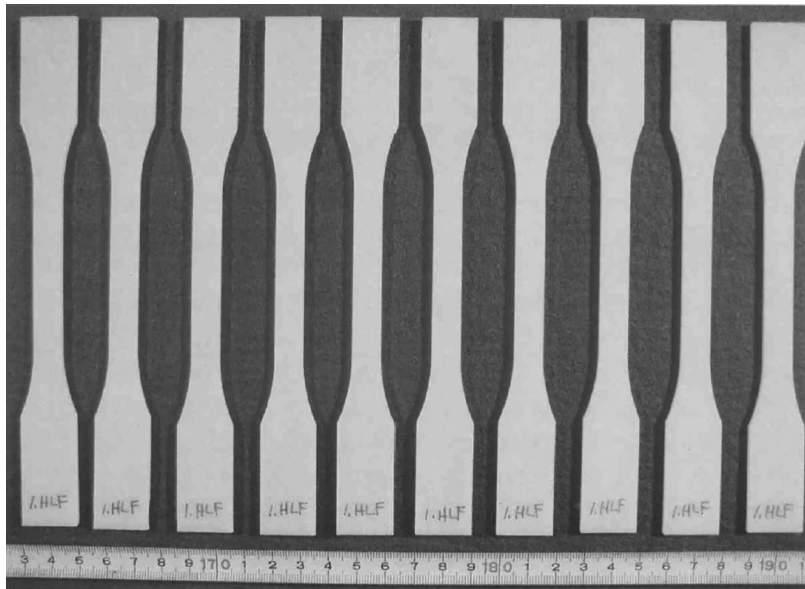


写真3 試験片（試験前）

5) 試験方法

- ①試験応力の設定については、各試験体の短期引張強度の試験データを参考にして、まず最初は、短時間で破壊を想定した比較的大きな応力（短期引張強度の80～90%程度を目安）を負荷するように分銅の重さを決定する。
- ②試験片を取り付け部にセットして水を満たし、試験温度（模擬水の温度）が一定になるまで養生を行う。
- ③分銅を試験機にセットすることで、試験片に所定の引張応力が作用する。
- ④応力を作用させた時間を起点として、試験片が破断するまでの時間を計測する。
- ⑤短時間側の測定（おおよそ数時間～数百時間）をくり返し、各応力における破断時間のデータを数点取得する。
- ⑥横軸を破断時間の対数、縦軸を応力としてデータをプロットし、直線近似を行う。
- ⑦得られた近似曲線から、長時間側（数千時間～10,000時間）の負荷応力を推定する。
- ⑧推定した応力になるように分銅を準備し、長時間側のデータが取れる条件で試験をくり返し実施する。

6) 引張破断試験の適用困難な材料への対応

材料工法名Mについては、ポリエチレン樹脂という材料の特性上、平板の長期引張破断試験では材料が時間の経過と共にネッキングしながら伸び続けて行くため、長時間試験を継続することが困難であった。よって、申告者が外部試験機関にて実施したパイプでの長期内圧クリープ試験のデータを用いることとした。

工法（材料）の詳細を表3に、試験条件を以下に示す。

表3 試験材料詳細

材料工法名	材料種類	パイプ形状		
		厚み (mm)	外径 (mm)	有効長さ (mm)
M	熱可塑・ポリエチレン	3	320	315

試験規格 : ISO 1667:1973

(Plastics pipes for the transport of fluids -- Determination of the resistance to internal pressure)

試験雰囲気 : 水中

試験温度 : 20℃

試験は20℃、40℃、60℃、80℃の4温度水準で試験を実施しているが、本検討では20℃の試験データを採用した。

N数 : 27本

試験時間 : 最大10,000時間以上 (19,823時間)

(5) 結果と考察

1) 試験結果

試験データの代表事例として試験工法名Aのデータを図4に、試験後の試験片を写真4に示す。

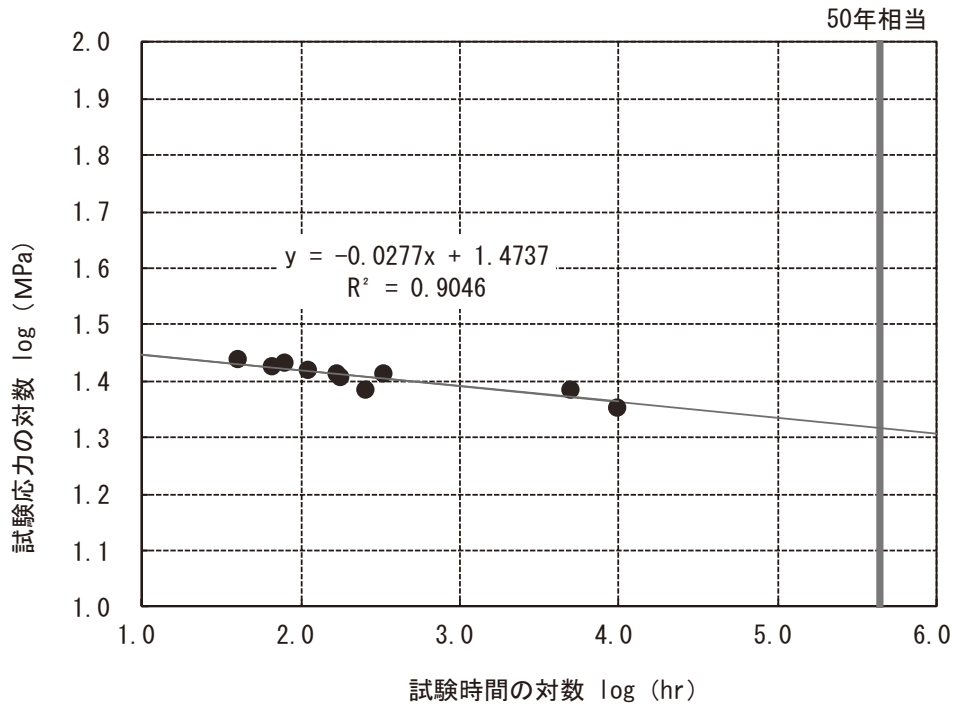


図4 長期引張破断試験の結果 (試験工法名A)

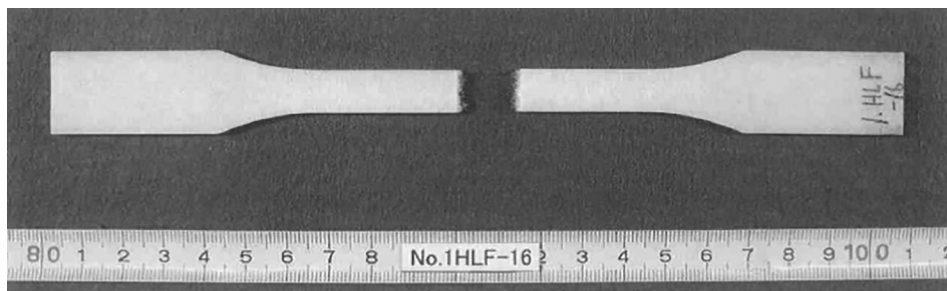


写真4 試験片 (試験後)

2) 長期引張破断強度の算出と設計諸元への反映方法

まず、得られた試験結果を用いて以下の手順により回帰分析を行い、50年後の引張強度を推定する。

- ① 試験結果より、横軸に試験時間の対数、縦軸に試験応力の対数をプロットし、1次回帰式を算出する。
- ② 1次回帰式より、50年後の引張破断強度 V_{50} を求める。

次に、得られた50年後の引張破断強度 V_{50} を用い、式(1)により許容引張応力度を求める。

$$\text{許容引張応力度} = K \times \sigma \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$K = \frac{V_{50}}{V_0}$$

ここで、 σ : 施工等によるバラツキを考慮して工法毎に定める引張強度の短期保証値

K : 減衰比

V_{50} : 試験結果の1次回帰式から算出した50年後の引張破断強度

V_0 : 引張破断強度の短期試験値 (平均値)

求めた許容引張応力度を設計諸元として用いることで、長期 (50年) の強度特性及び施工等によるバラツキを包含した設計を行うことができ、また、現場での施工管理値 (= 短期保証値) と設計値との相関を明確にすることができる。

試験結果 (10,000時間未到達の工法材料も含む) より50年後の引張破断強度 V_{50} を算出し、式 (1) より算出した工法毎の許容引張応力度を表4に示す。

試験結果より、減衰比は工法によって大きなバラツキがあることが分かる。現在、許容引張応力度は暫定的に平板の短期保証値に一律的に安全率3を見込んだ数値を用いているが、本方法による算出方法を用いることで、より材料特性を反映した設計を行うことができる。

表4 許容引張応力度の計算結果

材料工法名	引張強度の短期試験値 [N/mm ²]	50年後の引張強度 [N/mm ²]	減衰比	引張強度の短期保証値 [N/mm ²]	許容引張応力度 [N/mm ²]
A	32.6	20.77	0.637	20	12.7
B	273	147.59	0.541	120	64.9
C	273	111.98	0.410	210	86.1
D	32.6	15.32	0.470	27	12.7
E	192	72.53	0.378	110	41.6
F	248	125.67	0.507	120	60.8
G	270	96.07	0.356	210	74.7
H	31.9	19.61	0.615	20	12.3
I	60.3	23.78	0.394	45	17.7
J	53.4	40.96	0.767	45	34.5
K	56.3	22.41	0.398	51	20.3
L	110	42.68	0.388	90	34.9
M	24.3	11.38	0.468	15	7.0

なお、試験は一部の工法材料で10,000時間に到達しておらず現在も継続中である。

試験は各工法で少なくとも1検体が10,000時間付近に到達するまで継続し、あらためてデータの取りまとめを行うこととする。

(6) まとめ

- 単独管更生材料に求められる長期評価項目を整理し、許容引張応力度は長期 (50年) の強度特性を見込んだ値を用いる必要があると結論付けた。
- 評価方法として、平板による長期引張破断試験による評価方法を確立した。
- 評価結果から求めた長期試験値から許容引張応力度を算出する方法を提案した。