

# 水道配水用ポリエチレン管路の100年寿命の確立

- 栗尾 浩行 (配水用ポリエチレン管システム協会)      栗山 卓 (山形大学大学院)
- 山本 祐司 (配水用ポリエチレン管システム協会)      水川 賢司 (配水用ポリエチレン管システム協会)
- 鎗水 隆良 (配水用ポリエチレン管システム協会)      中田賢太郎 (配水用ポリエチレン管システム協会)
- 齋藤 聡 (配水用ポリエチレン管システム協会)      広田 久男 (配水用ポリエチレン管システム協会)

## 1. はじめに

水道事業において、老朽管更新及び耐震化は重要な課題である。しかし、財政的に厳しい水道事業体も多く、現状の管路更新率は全国平均で1%弱である。そこで、管路機能を低下させないために、耐久性100年以上の管路が要望されている。一方、低コストで管路の耐震化を進めるために、水道配水用ポリエチレン管（以下、WPE管）の採用が増えている。WPE管は50年クリープ強度を用いて設計されているが、100年以上の耐久性を担保する設計基準までは確立できていなかった。そこで当協会では、WPE管路の100年寿命を確立させるために、従来の評価方法による耐久性の検証とともに、新たな設計基準の構築を進めた。本発表ではその概要について報告する。

## 2. 水道配水用ポリエチレン管及び継手の設計仕様 (JWWA K 144, JWWA K 145)

- ①使用材料 : PE100 (20°Cにおける50年クリープ強度が10MPa以上のPE樹脂、青色)
- ②管厚の設計 : すべての呼び径でSDR=11 (SDR=管外径/管厚)
- ③最高許容圧力: 20°Cにおいて1.0MPa (最大使用圧力0.75MPa+水撃圧0.25MPa)
- ④使用温度範囲: 0°C~40°C

## 3. 100年寿命を立証するための考え方

100年寿命は、各荷重源による発生応力を解析し、その応力値に総合安全係数Cを乗じた値が材料の100年後の許容応力 $\sigma_c$ を超えないことで照査する。総合安全係数Cは、発生応力への関与の可能性のある因子毎に影響度を係数として設定し、それらを全て乗じた値と定義する。また、管路の性能及び機能に変化が現れる限界状態を荷重の種類により3つに分類し、限界状態毎に許容応力を決定する。安全性の照査は内圧と外圧とを別個に行う (水道施設設計指針参照)。

表1. 100年寿命の検証基準

限界状態の分類	発生応力の分類		安全性の照査基準
① 終局限界状態	管周方向	内圧	$\sigma_c > \sigma_{in-c} \times C$
		外圧	$\sigma_c > (\sigma_{in-c} + \sigma_{tn-c}) \times C$
② クリープ状態	管軸方向	内圧	$\sigma_c > \sigma_{in-1} \times C$
③ 疲労限界状態		外圧	$\sigma_c > (\sigma_{in-1} + \sigma_{tn-1}) \times C$

$\sigma_{in-c}$ : 内水圧により管に発生する管周応力  
 $\sigma_{in-1}$ : 内水圧により管に発生する管軸応力  
 $\sigma_{tn-c}$ : 土圧により管に発生する管周応力  
 $\sigma_{tn-1}$ : 土圧により管に発生する管軸応力  
 $\sigma_{tn-c}$ : 輪圧により管に発生する管周応力  
 $\sigma_{tn-1}$ : 輪圧により管に発生する管軸応力

## 4. 各限界状態における100年後の許容応力 $\sigma_c$ の定量化

4-1. 終局限界状態における許容応力  
 短期の延性破壊を考慮し、材料の引張試験による引張降伏強さ (JWWA K 144でPE100の引張降伏強さは20MPa以上と規定) の90%の18MPaとした。

4-2. クリープ状態における許容応力 (CRS<sub>20°C, 100year</sub>)  
 樹脂管のクリープ現象は、高温になるほど進行が早い。そこで、クリープ線図 (図1) から長期特性を評価する。ISO 9080では、温度 $\Delta T$ 毎に外挿時間係数 $ke$ が設定され、高温で破壊形態が延性破壊から脆性破壊へ変わる knee point がないことが確認できれば、低温の線図を外挿できる。我々は、80°Cの1年間のクリープ試験を行いISO 12162 (表2) に基づき8.0MPaと決定した。

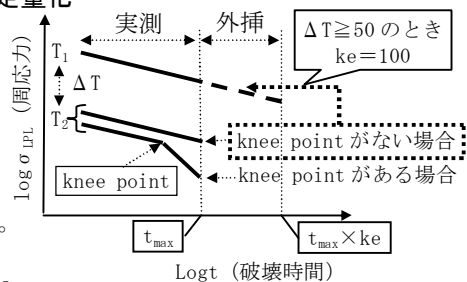


図1. ISO 9080に基づく外挿方法

表2. ISO 12162に基づく許容応力値

Range of lower confidence limits $\sigma_{LPL}$ (MPa)	$6.3 \leq \sigma_{LPL} < 8$	$8 \leq \sigma_{LPL} < 10$	$10 \leq \sigma_{LPL} < 11.2$
Categorized required strength CRS <sub>θ,t</sub> (MPa)	6.3	8	10

# 水道配水用ポリエチレン管路の100年寿命の確立

## 4-3. 疲労限界状態における許容応力

管路に作用する動的応力（繰返し応力）には、①水撃圧による応力と②輪圧による応力が挙げられるが、応力値がより高い前者を優先して評価した。

疲労性能(FNTFT)は、図2に示すようにクリープ性能(FNCT)を下回らないことが確認できたので、疲労限界状態の許容応力はクリープ状態と同じ8.0MPaに決定した。

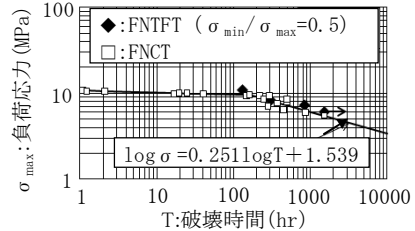


図2. FNCT と FNTFT との比較

## 5. 総合安全係数Cについての検討

発生応力への関与の可能性がある因子として、応力集中の影響（継手、傷）と素材等によるバラツキの影響を評価した。

### 5-1. 応力集中の影響：形状係数C<sub>f</sub>

#### ①電気融着継手の形状因子による応力集中の影響評価

継手を接続した管を用いて80℃のクリープ試験を1年間実施し、管の結果と比較して形状係数の決定を試みた。(図3)現時点(10ヶ月経過)では形状係数は1.2前後になる見込み。

#### ②傷による応力集中の影響評価

管に許容している傷の深さ(管厚の10%)以上のノッチを付け、応力の拡大がないことを確認して形状係数1.1を決定した。

最終的には①と②のうち、値の大きい方を形状係数とする。

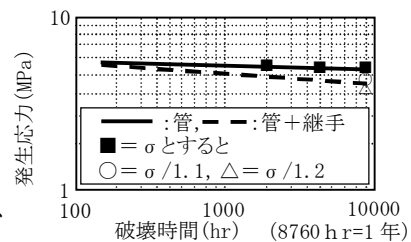


図3. 管と継手のクリープ線図(80℃)

### 5-2. 素材等によるバラツキの影響：素材係数C<sub>m</sub>

クリープ状態の許容応力は従来97.5%下方信頼性限界σ<sub>LPL</sub>を用いている。今回はより安全性を考慮して99.8%下方信頼性限界σ<sub>LPL</sub>/C<sub>m</sub>を用い、会員各社のデータを総合して1.05とした。

## 6. 内圧及び外圧による発生応力に対する耐久性100年以上の照査結果（推定値含む）

水圧による応力σ<sub>in</sub>はNaday式で、土圧による応力σ<sub>tn</sub>は、マーストン式及び曲げ歪み式で(土被り0.6m)、輪圧による応力σ<sub>tn</sub>はT-25トラックを考慮してブーシネスク式でそれぞれ解析した。

表3. 内圧及び外圧による発生応力に対する耐久性100年の照査結果

		限界状態 →		終局限界	クリープ	疲労限界
		100年後の許容応力σ <sub>c</sub> 。(推定値含む) →		18.0 MPa	8.0 MPa	8.0 MPa
管周 方向	内圧	$\frac{\sigma_{in-1} \times C_f \times C_m}{\sigma_c / \sigma_1} (> 1 \text{ ならば安全})$ (=σ <sub>1</sub> とする)	MPa	9.417	6.278	6.278
			—	1.911(○)	1.274(○)	1.274(○)
管周 方向	外圧	$\frac{(\sigma_{fn-c} + \sigma_{tn-c}) \times C_f \times C_m}{\sigma_c / \sigma_2} (> 1 \text{ ならば安全})$ (=σ <sub>2</sub> とする)	MPa	4.438	1.525	1.525
			—	4.056(○)	5.246(○)	5.246(○)
管軸 方向	内圧	$\frac{\sigma_{in-1} \times C_f \times C_m}{\sigma_c / \sigma_3} (> 1 \text{ ならば安全})$ (=σ <sub>3</sub> とする)	MPa	4.708	3.139	3.139
			—	3.823(○)	2.549(○)	2.549(○)
管軸 方向	外圧	$\frac{(\sigma_{fn-1} + \sigma_{tn-1}) \times C_f \times C_m}{\sigma_c / \sigma_4} (> 1 \text{ ならば安全})$ (=σ <sub>4</sub> とする)	MPa	3.073	1.444	1.444
			—	5.857(○)	5.539(○)	5.539(○)

## 7. 内圧及び外圧以外に耐久性への影響が考えられる要因に対する評価結果

### 7-1. 残留塩素が材料の耐久性に与える影響

塩素濃度1ppmの塩素水に対して、20℃において内圧が無負荷の状態では少なくとも100年以上は水泡が発生しないことが検証できた。現在は負荷状態での耐塩素水性を検証中である。

### 7-2. 地震後のダメージが管の耐久性に与える影響

管軸方向に歪(最大10%)を与えた管と歪を与えていない管との長期性能を内圧クリープ試験により比較した結果、地震後のダメージが管の耐久性に与える影響は認められなかった。

## 8. まとめ

本研究により、WPE管路の100年寿命を論理的に立証する方法を提案した。また、現在までの検証結果から、WPE管路が100年寿命のポテンシャルを十分有していることが確認できた。今後は検証中の事項を完了させるとともに、新たな設計基準の提案を通じて100年寿命の確立を目指す。