

管軸方向加振試験による水道配水用ポリエチレン管の耐震性能評価

配水用ポリエチレンパイプシステム協会 正会員 ○塩浜 裕一 大室 秀樹
 山形大学 正会員 栗山 卓
 (株)大林組 技術研究所 正会員 江尻 譲嗣 副島 紀代

1. はじめに

近年、水道やガス導管用途向けにポリエチレン管の普及が進んでいる。特に 1995 兵庫県南部地震においてガス用ポリエチレン管に被害がなかったと報告¹⁾されたことから、翌年の 1996 年から水道用途向けにも PE100 に分類される高密度ポリエチレン樹脂 (HPPE/PE100) を用いた水道配水用ポリエチレン管 (以下、HPPE 管と略。) の採用が始まった。HPPE 管の耐震性能については (公社) 日本水道協会による「水道配水用ポリエチレン管に関する調査報告書」²⁾に各種性能評価結果及びレベル 2 地震動に対する許容ひずみ (=±3%) の設定根拠が記載されているが、その限界性能については定量的に把握できていない。

本研究では、地震動による耐震限界性能を検討するため、実管を用いた管軸方向加振試験による材料性能評価を行った。

2. 試験方法

2.1 管軸方向加振試験

供試管として、呼び径 150 有効長 $L=250\text{mm}$ 外径 $D=180\text{mm}$ 、厚さ $t=16.4\text{mm}$ (D/t , $\text{SDR}=11$) の HPPE 管を用いた。供試管は、 $23\pm 2^\circ\text{C}$ で 2 時間以上状態処理後、図 1 に示した様に、油圧型疲労試験機により、周波数 1Hz、有効長に対して両振幅 (引張、圧縮) のひずみ $\Delta\varepsilon$, ± 3.0 , 4.5 , 6.0 , 8.0 及び 10.0% (変位 $\pm 7.5\sim 25.0\text{mm}$ 相当) 繰返し伸縮を与え、管が破断するまでの加振回数を求めた。

2.2 管軸方向加振試験後の材料性能評価

各繰返し伸縮試験において 30 回加振させた後、日本水道協会規格 JWWA K 144 (HPPE 管) に規定する引張試験により管材料性能評価を行った。

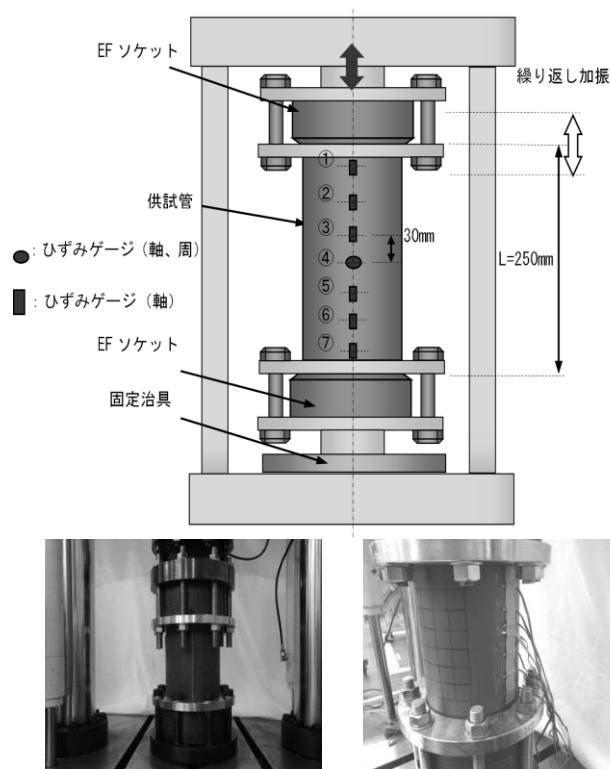


図 1 管軸方向加振試験概要

3. 実験結果及び考察

3.1 管軸方向加振試験結果

繰返し歪み振幅 $\Delta\varepsilon$ と加振破断回数 N_f との関係を示した図 2 に示した、両者は直線関係で示され、 $\Delta\varepsilon \cdot N_f^\alpha = c$ の関係が得られた。この関係は、 $\Delta\varepsilon$ を非弾性ひずみ $\Delta\varepsilon_p$ としたときの鋼材の低サイクル疲労則として知られている Coffin-Manson 則と類似し、粘弾性体である HPPE 管においても累積損傷による破壊が示唆される。一般社団法人日本水道協会「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版」に準じた耐震計算によると、レベル 2 地震動による HPPE 管に生じるひずみは、地盤の不均一度係数 η を 2 (極めて不均一) とした厳しい条件で常時荷重によるひずみを加えて、最大約 1.6% となる。

キーワード 耐震性能, 水道配水用, ポリエチレン

連絡先 〒101-0036 東京都千代田区神田北乗物町 7 番地 配水用ポリエチレンパイプシステム協会 TEL 03-5298-8855

他方で、一般社団法人日本ガス協会が発行する「高压ガス導管耐震設計指針」では、レベル2地震動に相当する等価繰返し回数は 2011 年東日本太平洋沖地震等の海溝型で平均 5.6 回（最大で 11.24 回）、1995 年兵庫県南部地震等の内陸型で平均 2.9 回とされている。これらを、図 2 の加振試験の結果に対応させ照査すると、例えば、HPPE 管のレベル 2 地震動に対する許容ひずみ $\pm 3\%$ ひずみでは、最大等価繰返し回数 12 回に対して、 $N_f \cong 600$ 回となり 50 倍程度の加振回数裕度を持つことがわかる。また、この関係より、図 2 中の一点鎖線に示す耐震設計性能ラインを定めることができる。これより、現行の HPPE 管のレベル 2 地震動に対する許容ひずみ $\pm 3\%$ ひずみは、終局限界状態に対して安全係数 $C_f \cong 2.0$ にあることわかる。

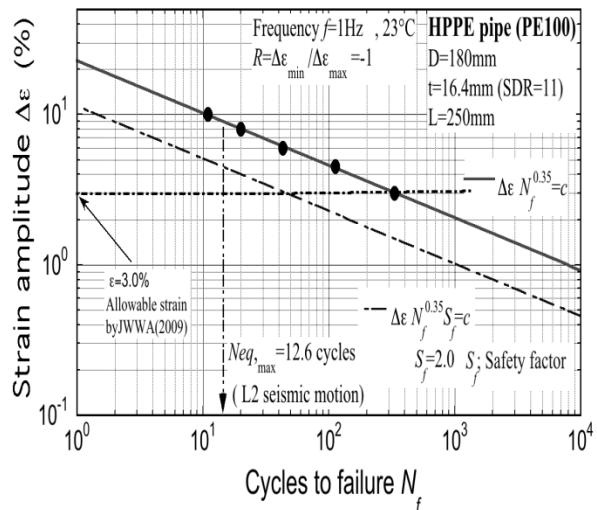


図 2 管軸方向伸縮ひずみと管破断加振回数の関係

3.2 加振試験後の材料性能評価

最大等価繰返し回数(最大:11.24 回)の約 3 倍に相当する回数 $N_A = 30$ 回の加振を与えた供試管より、試験片を採取して行った引張試験結果を表 1 に示した。加振後の管材料の降伏強度および破断伸びに変化は無かった。この降伏強度の結果を、加振回数 30 回を各伸縮ひずみ条件での破断回数で除した比率 N_A/N_f と、降伏応力の比較結果を図 3 に示した。本試験で最大となる $\Delta\epsilon = \pm 8\%$ の条件においても、 $N_A/N_f = 0.75$ までの累積損傷による材料性能への影響は見られないことが明らかとなった。これらの繰返し伸縮による損傷累積については、今後明確にする必要がある。

表 1 30 回加振動試験後の物性試験結果

ひずみ	降伏強度 (MPa)	破断伸び (%)
0*	23.7	760
± 3.0	23.8	757
± 4.5	23.8	747
± 6.0	23.6	742
± 8.0	22.7	750

※新管規格値 : 降伏応力 20.0MPa 以上 破断伸び 350%以上

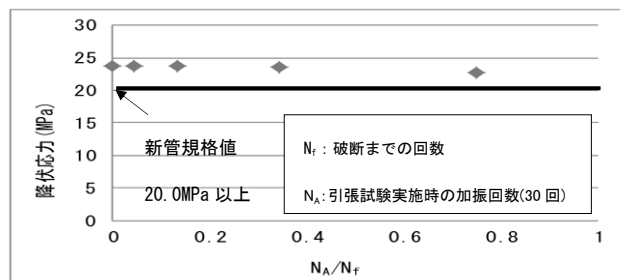


図 3 30 回繰返し試験後の引張試験結果

4. まとめ

- 1) 加振試験にて HPPE 管のひずみと加振回数の関係性を評価した結果、HPPE 管のレベル 2 地震動に対する許容ひずみ $\pm 3\%$ に対して十分余裕のある値であった (図 2 参照)。
- 2) 物性試験の結果、 $\pm 8.0\%$ のひずみを 30 回与えた場合でもひずみを与えていない新管と比較して物性低下は見られなかった (表 1 参照)。また、破断回数の 3/4 に相当する加振を与えた場合でも、物性の低下は見られなかった (図 3 参照)。

今後は、供試管呼び径の違いによる影響を調査すると共に、継手部も含めた管路としての評価を行う予定である。また、ISO 規格²⁾や JWWA 規格で規定する長期強度算定方法 (内圧クリープ試験) による性能試験を行うことで、長期性能への影響有無についても検証していく予定である。

参考文献

- 1) 「天然ガス供給体制の強靱化」資源エネルギー庁 (平成 26 年 5 月 19 日)
- 2) 「水道配水用ポリエチレン管に関する調査報告書」(公社) 日本水道協会 (平成 10 年 9 月)
- 3) ISO 9080 Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation