

給水用ポリエチレン管の変遷

2021 年 3 月

1. はじめに

近年発生した大規模地震（例えば、1995年兵庫県南部地震、或いは2011年東北地方太平洋沖地震等）の被害調査報告書に於いて、調査対象とされた給水用ポリエチレン管は、単層管および二層管とが分別される事なく“ポリエチレン管”として纏められている。この事は単層管を原料、構造両面より改良した二層管の特性が不明確となり、現在給水用ポリエチレン管の主流は二層管であるにも拘わらず“ポリエチレン管”として扱われ、正当な評価がなされない恐れがある。

従って、当協会として単層管（開発当初品）から二層管（現在品）までの給水用ポリエチレン管の変遷を取り纏め、使用者に現在の給水用ポリエチレン管の特徴を正確に理解頂く資料とするため本報告書を取り纏めるものである。

2. ポリエチレン

ポリエチレンの化学構造は、 $-(CH_2-CH_2)_n-$ で表すことができる。ここで n は繰り返し数、即ち重合度を示す。またポリエチレンは、表-1 に示す様に大別するとその密度によって高圧法低密度ポリエチレン、直鎖状低密度ポリエチレン、及び高密度ポリエチレン、に分類される。

表-1 ポリエチレンの分類

分類	密度 (g/cm ³)	ポリマーの基本構造
高圧法低密度ポリエチレン LDPE	0.910 以上 0.930 未満	
直鎖状低密度ポリエチレン L-LDPE		
高密度ポリエチレン HDPE	0.942 以上	

注-1：本分類は、JIS K 6899-1 2000 によった

注-2：HDPE は、0.93 (g/cm³) 以上の高密度域であるが 0.93 ~ 0.942 (g/cm³) を中密度ポリエチレンと分類する場合もある。

このポリエチレンの密度は、表-1 に示した様に側鎖分岐の種類（短鎖分岐か、長鎖分岐か）、及びその数に影響される。即ち、

- 1) LDPE は多数の短鎖、および長鎖分岐を有する直鎖状高分子構造を示し、これ等分岐によって分子同士の凝集が妨げられる。その結果として結晶化が困難となり低密度のポリエチレンとなる。柔軟性に富み低い融点を特徴とする。
- 2) L-LDPE は、LDPE の様に長鎖分岐は存在しない。コポリマー（1-ブテン、1-ヘキセン等）と共重合させることにより短鎖分岐を導入し、これにより（結晶化が妨げられる）低密度ポリエチレンとなる。L-LDPE は、LDPE と比較した場合長鎖分岐が存在しない事により密度は高くなる。
- 3) HDPE は、主鎖が直鎖状で分岐側鎖が少なく、又その側鎖も短い為、分子間の凝集が容易となり高い密度のポリエチレンが得られる。硬く、高い融点を有する事を特徴とする。

3. ポリエチレンの基本的性質

ポリエチレンの物性を支配する要因として、密度、分子量、分子量分布等があり、これ等の因子が与える影響は以下の通りである。

1) 密度

密度が高くなると引張強度、剛性、耐薬品性等は向上するが、耐衝撃性、耐環境応力亀裂性は低下する。

2) 分子量

分子量が大きくなる(分子鎖同士の絡み合いが強くなる)と、耐クリープ性、耐環境応力亀裂性、韌性等は向上するが、反面、熔融粘度が増加し流動性(加工性)が悪くなる。

3) 分子量分布

分子量分布は、ポリマーの流動性、機械的性質に大きな影響を与える、即ち分子量分布が狭くなると低分子量成分が減少し耐クリープ性、耐衝撃性、耐環境応力亀裂性等は良くなるが、一方で加工性が悪くなる。

4. ポリエチレン管の変遷

1959年のJIS K 6762 制定により水道用途の管材として使用されたポリエチレンは、一種管(LDPE)及び第1世代二種管(HDPE)であった。1970年代に入り、第1世代HDPE二種管の亀裂漏水事故、またLDPEの水泡剥離事故等が発生した。これ等事故に対処すべく耐環境応力亀裂性の改良が図られた第2世代HDPEとして、更に水泡剥離事故対策としLDPEをL-LDPEに変更した(同時に管の構造も二層とした)。

以後、新規触媒の開発、その適用、重合技術の向上等により内圧管として要求される重要な特性である長期強度の大幅な向上も実現されている。この特性は、樹脂の分子構造に大きく依存している。即ち、高分子量成分が多く、分岐は長く、高分子量成分に分岐が多くある等である¹⁾。これ等分子構造の変遷を図-1のポリエチレン欄に模式的に示す。第二、第三世代のHDPEは、長期性能を向上させる為に第一世代の様なチーグラ-ナッタ触媒を用いた単段反応(分子量分布が狭く、結果として高分子量成分が少ない)ではなく分子構造を長期強度が向上する(即ち、①分子量成分を多く、②分岐は長く、③高分子量成分に分岐が多くある)様に高活性チーグラ-ナッタ触媒、又はメタロセン触媒を用いて反応をコントロールできる様になった(即ち、多段反応が可能となり、1989年ベルギーのソルベイ社によってメタロセン触媒を用いた第三世代HDPE/PE100が開発された²⁾)、図-1中の点線で示した2山はこの様にコントロールされた多段反応による重合体を各々示す(実際の分子量分布曲線は実線で示した二山になる)。

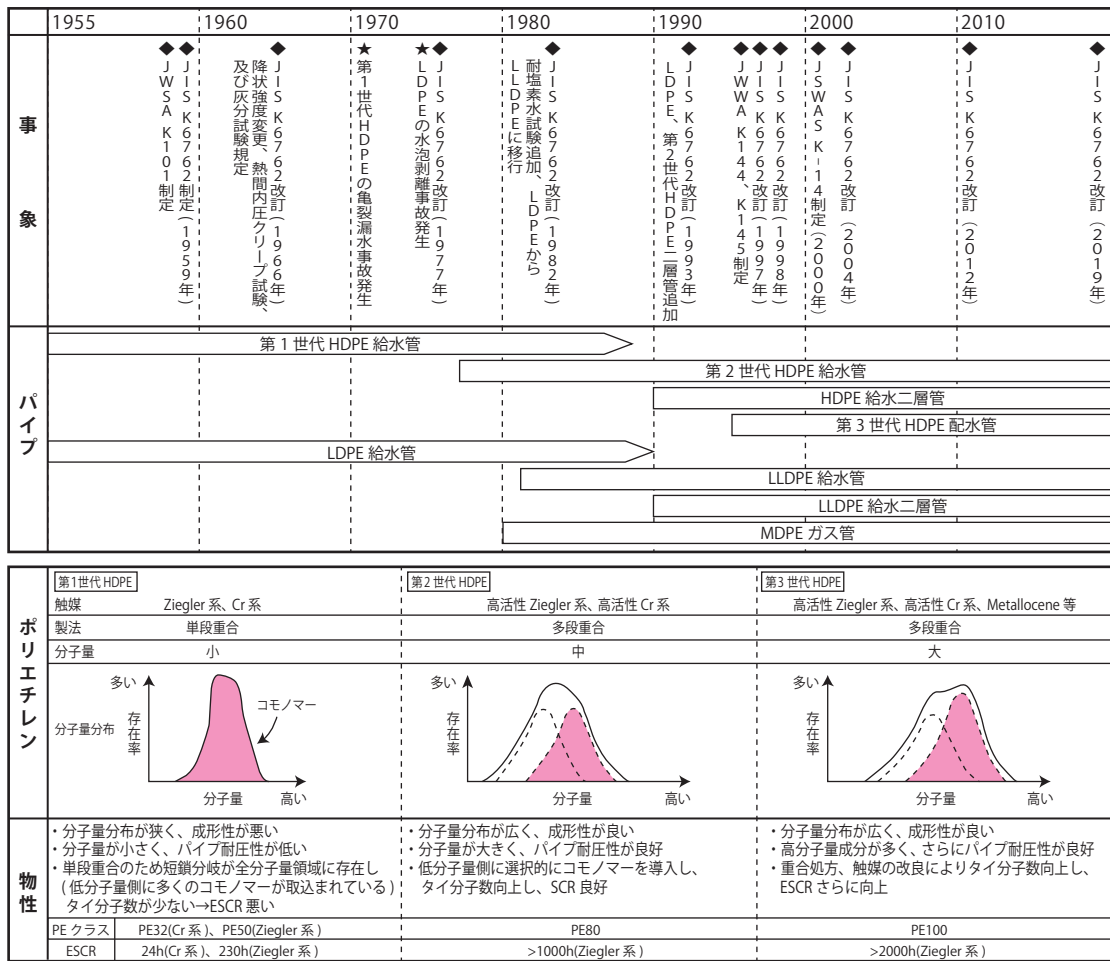


図-1 ポリエチレン管の変遷

5. JIS規格の変遷とその内容

ポリエチレンは1933年にイギリスのICI社によって開発され、同国に於いて1953年に世界に先駆けて水道用ポリエチレン管の規格を制定し運用を開始した。

日本国内に於いては、1958年(昭和33年)にポリエチレン管の水道用としての運用に際し基準となる規格としてイギリス規格(BS 1972:1953)を参考にした社団法人日本水道協会規格JWSA K 101(水道用ポリエチレン管):1958(昭和33年)が規定された。一方、1955年(昭和30年)よりポリエチレン管の水道用途への使用適否の判断の為に、①水質への影響、②管の寸法体系と接続法、③機械的強度の各分野について検討が実施され、その結果として日本工業規格JIS K 6762(水道用ポリエチレン管):1959(昭和34年)が制定され、JWSA K 101(水道用ポリエチレン管):1958(昭和33年)は廃止された。

本JIS規格における水道用ポリエチレン管の性能規定は、水道管として安全な使用を長期間に渡り満足する品質を維持するためのものであり、適宜、検討、改訂が実施されてきた。

以下日本工業規格JIS K 6762(水道用ポリエチレン管)の変遷について表-2に概述する。

表-2 水道用ポリエチレン管規格の変遷

年 次	内 容
1959年 (S34) 7月	<ul style="list-style-type: none"> 寸法体系、管の品質（溶解試験、引張試験、水圧試験）国内に於ける検討結果、及びBS規格を参考に新規に制定された。
1966年 (S41) 3月	<ul style="list-style-type: none"> ポリチレン原料の品質向上により1種管の引張強度の変更 95kgf/cm² → 100kgf/cm²。 管品質の長期間保証の観点より熱間内圧クリープ試験が、また不適切な再生材使用の排除を目的に灰分試験が追加された。
1977年 (S52) 5月	<ul style="list-style-type: none"> JIS規格への国際単位系の導入であり規格内容に変更はない。
1982年 (S57) 3月	<ul style="list-style-type: none"> 1種管の内面水泡剥離に対する応急策として塩素水試験が追加された。
1993年 (H5) 5月	<ul style="list-style-type: none"> 内面水泡剥離に対する恒久策として管内面をナチュラル層、管外面にカーボンブラックを含む黒色層より成る二層管が追加規定された。 過去に発生した亀裂漏水事故を考慮し環境応力亀裂試験を追加規定した。 カーボン濃度を性能項目として、またその要求値も追加規定した。
1997年 (H9) 9月	<ul style="list-style-type: none"> JIS S 3200:1997規定の呼称との整合化を図った改訂である。具体的には、耐水圧→耐圧性、溶出性→浸出性、臭気及び味→臭気、味、水圧試験方法→耐圧試験方法、溶出試験方法→浸出試験方法等である。尚、要求性能値には変更はない。
1998年 (H10) 12月	<ul style="list-style-type: none"> JIS規格の国際規格（ISO 4427:1996）との整合化に基づく改訂である。改訂点は以下の通り。 1) 単層管を規格から除き1種二層管、2種二層管と、二層管のみを規定し、また規格名称を水道用ポリエチレン二層管とした。 2) 追加性能項目（ISO規格に規定されている性能項目） 引張降伏強さ、引張伸び、熱安定性、加熱伸縮、融着部相溶性、カーボン濃度、カーボン分散 3) 継続性能項目（JIS規格に規定、ISO規格には規定なし） 耐圧性、浸出性、耐塩素水性、環境応力き裂性 4) 測定方法の全面改定性能項目 熱間内圧クリープ 5) 削除性能項目 灰分 (本性能項目は、不適切な再生材使用の排除を目的に規定されたが、本改訂で使用可能な再生材の定義が明確に規定された為、削除された。)
2004年 (H16) 3月	<ul style="list-style-type: none"> JIS規格の国際規格（ISO 4427:1996）との整合化を更に推進する為の改訂である。主要な改訂点は以下の通り。 1) 材料分類を密度からMRSに変更し、3種二層管が追加された。即ち、1種二層管はPE50、2種二層管はPE80、3種二層管は、PE63、PE80、PE100である。 2) 前回ISO整合化改訂では国内事情（使用者、管製造者、樹脂メーカーの混乱）を考慮して、規格内容（性能及び試験方法）の大幅な修正を行ったが、今改訂では可能な限りISO規格と整合させた。

2012年（H24）12月	<ul style="list-style-type: none"> • 更に、水道用ポリエチレン配管システムとして総合的に品質保証を行う、との観点から ISO 4427:1996 が4パート（パート1：通側、パート2：管、パート3：継ぎ手、パート5：システムの目的適合性の評価）で構成された ISO 4427:2007 が発行された。 • ISO 規格が要求する水道用ポリエチレン配管システムとして総合的に品質保証を行うとの考えを取り入れ、パート1：通側、パート2：管との整合化をより緊密に図った。
2019年（R1）12月	<ul style="list-style-type: none"> • 規格化の市場要求が高まってきたため、3種二層管に公称外径75～250を追加した。また、1種二層管及び2種二層管との違いを明確にするために、3種二層管の管外径寸法体系をISOへ整合させ“公称外径による寸法体系”に変更した。 • この規格の対応国際規格である ISO 4427-1：2007(通則)は、2015年に Amendment 1 が、ISO 4427-2：2007(管)は、2014年に Amendment1 がそれぞれ発行されている。2014年の Amendment1 は表2の記載ミスであり、又2015年の Amendment 1 は MFR 値の変更である（MFR 値の変更理由は、欧州では管の接合方法は融着が主流であり、融着部の健全性確保の為である）。一方、国内ではメカニカル接合が主流である。従って、整合化の必要はないと判断し従来通りの MFR 値を規定した。品質に関する信頼性向上のため、規格になかった揮発成分、水分量、低速亀裂進展性、融着部相溶性を対応国際規格に整合させ、試験を追加した。 • 国内での生産がなく、海外からの調達も困難な PE40 及び PE63 を3種二層管の規定から削除した。 • 管種の識別のため、管外表面に青ラインを付けてもよい旨を追加規定した。青ライン追加に対応し顔料分散、耐候性の規定を追加した。

6. 現在の水道用ポリエチレン二層管

水道用ポリエチレン管は配管システムとして、一旦地中に埋設されると補修や取り換えが非常に困難であるので、管の寿命は最低でも数十年は必要であると考えられている³⁾。従って、この要求（管の長期寿命）に対して ISO 4427:2007 が示した 50 年寿命の考えを踏襲した JIS K 6762:2012 が発行された。

この長期寿命を保証するために IS K 6762:2012 では、長期強度（長期試験により評価される性能）及び短期強度（短期試験により評価される性能）が規定された。現水道用ポリエチレン二層管はこれ等の諸試験による評価の基、安全な使用を長期間に渡り満足する品質を有する水道管として生産されている。

以下に長期性能、及び短期性能の主要な評価項目について概述する。

6.1 長期性能

1) クリープ強度試験

本試験は、耐クリープ性を分類する為の試験であり、ISO 1167 “クリープ強度の測定法”、ISO 9080 “熱可塑性管の外挿法による長期強度の求め方”、及び ISO 12162 “分類、表示、安全係数” より構成される。

水道用ポリエチレン二層管には、与えられている内圧により管壁に円周応力が発生し、その応力によりクリープ現象（一定応力の基で、時間経過と伴に変形し続ける現象）が起こる。このため長期間継続的に使用した場合、本現象に起因したクリープ破壊が生じる²⁾。従って、ポリエチレン二層管を水道用として安全に使用するにはこのクリープ破壊の評価が重要であり ISO 1167 に従って熱間内圧クリープ試験が実施される。

図-2 に熱間内圧クリープ試験で得られたクリープ線図を示す⁴⁾。

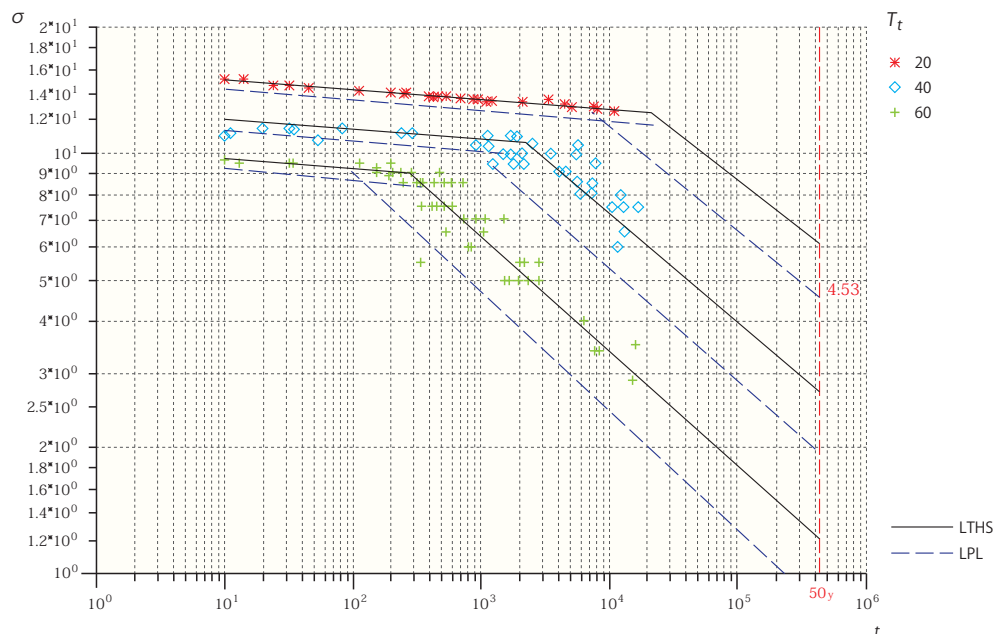


図-2 熱間内圧クリープ線図³⁾

各温度で得られたクリープデータを用い 20℃、50 年時の MRS（最小要求強度 Minimum Required Strength）を ISO 9080 に従って求める。この算出された MRS に基づき ISO 12162 に規定される材料分類表により、JIS K 6762:2019 に示される PE50、PE80、PE100 が得られる。

6. 2 短期性能

1) メルトマスフローレート (MFR)

機械的特性（引張降伏強度及び破断伸び）を示す一般的な指標である。ポリエチレンの MFR と機械的特性間には、MFR が小さくなる（分子量が大きくなる）と機械的特性は向上し、逆に MFR が大きくなる（分子量が小さくなる）と機械的特性は低下するという関係がある。性能要求値内であれば必要な機械的特性を有していると判断される。

2) 熱安定性

管接合時や長期間使用に際し、管が十分な耐酸化性を有しているか、の指標であり、性能要求値内であれば必要な耐酸化性を有していると判断される。

3) カーボン濃度、分散

カーボン濃度が低いと耐候性が不十分となり、又カーボン分散が悪いと、低速亀裂進展の原因となる大きなカーボン粒塊の存在が疑われるが性能要求値内であればその可能はない。

7. まとめ

水道用ポリエチレン管として、黒色単層管の使用が開始されてから 60 年以上が経過した。この間、HDPE の環境応力割れ、水泡剥離等の事故、及び JIS 規格の ISO 整合化を経て JIS K 6762 は 9 回の改訂を行った。箇条 5 で言及した様に、改訂に伴いポリエチレン管の品質向上が図られ、長期間安全に使用可能な管となっている。

8. 参考文献

- 1) 西村 弘之、川口 隆文：ガス用ポリエチレン管および継手融着部の長期性能評価方法
成形加工、第 17 巻、第 4 号
- 2) 高堂 彰二：水道管の本 日刊工業新聞社 2017
- 3) 西村 寛之：プラスチックパイプの製品設計と長期耐久性評価、成形加工、第 20 巻、
第 11 号
- 4) ISO 9080 Plastic piping and ducting systems – Determination of the long-term
hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation

給水用ポリエチレン管の変遷 技術資料

平成 31 年 4 月 10 日 初版発行

2021 年 3 月 17 日 第 2 版発行

編集 日本ポリエチレンパイプシステム協会 技術委員会

発行 日本ポリエチレンパイプシステム協会

〒 103-0007 東京都中央区日本橋浜町 3 丁目 3 番 2 号

TEL 090-3302-3725 FAX 03-5695-3189

非売品 不許転載

本技術資料記載の内容については変更することがありますのでご了承ください