

水道配水用ポリエチレン管用溶剤浸透防護スリーブ

○橋津 健二 (クボタシーアイ株式会社)
坂本 宏昭 (クボタシーアイ株式会社)
檜物 友和 (クボタシーアイ株式会社)

1. はじめに

水道配水用ポリエチレン管は、既に総延長が 1.5 万 km を超え、さらに普及が進んでいくと考えている。しかし、水道配水用ポリエチレン管には、灯油やガソリンなどの油類やトリクロロエチレンなどの揮発性有機化合物が浸透することがわかっており、灯油とトリクロロエチレンの浸透挙動が報告されている。¹⁾²⁾これに対し弊社では、溶剤浸透防護スリーブを開発した。ここでは、その性能を検討した理論式と実験について報告する。

2. 溶剤浸透防護スリーブとは

溶剤浸透防護スリーブ (以下、スリーブとする。) は、**図 1** のような筒状のスリーブを水道配水用ポリエチレン管 (以下、WPE 管とする。) に被せて使用する。スリーブは、複層構造で溶剤の浸透をブロックするバリア層を含む。

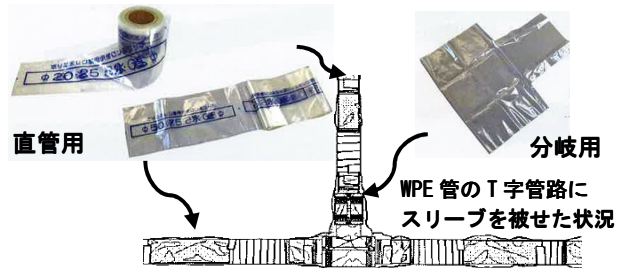


図 1 溶剤浸透防護スリーブ

3. 浸透理論

有機溶剤が WPE 管を浸透する現象は、フィックの法則に従って進むため、実験により透過係数を求めて、浸透量や浸透速度を予測する方法が、配水用ポリエチレンパイプシステム協会により提案されている。¹⁾ この方法は、単層の WPE 管への浸透であるが、管にスリーブを被せた場合は複合膜に関する理論式を適用して検討する。

複合膜に関する理論式は、(1)式のようになる。³⁾ここで d は各層の厚さ、 P は透過係数、1,2,3 は層の番号である。また、実験により求められる拡散係数(D)、分配係数(K)と透過係数(P)との関係は(2)式の通りとなる。

$$\frac{d}{P_{1,2,3\dots}} = \frac{d_1}{P_1} + \frac{d_2}{P_2} + \frac{d_3}{P_3} + \dots \quad (1)$$

$$D = \frac{P}{K} \quad (2)$$

これらの関係を WPE 管の PE 層とスリーブ層からなる 2 層にあてはめると、(3)式のようになり、スリーブを被せた WPE 管の透過係数(P)は(4)式で計算できる。

$$\frac{d}{P} = \frac{d_{PE}}{P_{PE}} + \frac{d_{sl}}{P_{sl}} \quad (3)$$

P_{PE} : WPE 管の透過係数
 P_{sl} : スリーブの透過係数

$$P = \frac{d_{PE} P_{sl}}{d_{PE} P_{sl} + d_{sl} P_{PE}} \quad (4)$$

d_{PE} : WPE 管の厚さ
 d_{sl} : スリーブの厚さ

この理論は、各層が密着した場合を想定しており、スリーブと WPE 管の間に存在する空気層が考慮されない。つまり、現実には非常に厳しい評価となる。しかし、実物を使用した実験では長期間となり、その間に溶剤濃度などの試験条件を制御することが難しく、土中でのスリーブと管の間の空気層を一定にできないなど、正確な結果が得られないと考え、あえて厳しい条件での検討を行った。

4. スリーブの浸透試験

スリーブの浸透試験は、WPE 管の浸透試験と同様、トリクロロエチレン（以下、TCE とする。）を溶剤としてセル法により行った。¹⁾ 試験装置を図 2 に示す。これにより得られた溶剤浸透防護スリーブの透過係数 P_s と、WPE 管の透過係数 P_E を用いて、WPE 管にスリーブを被せた場合の透過係数 P を(4)式で計算し、浸透速度を(5)式と(6)式で計算する。

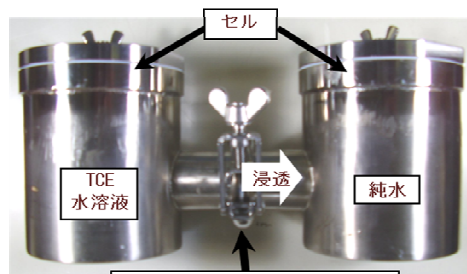


図 2 実験装置（セル）

$$t_x = \frac{C_x \cdot r \cdot d}{2 \cdot C_0 \cdot P} \quad (5) \quad \begin{array}{l} C_x : x \text{ 時間後の浸透濃度} \\ C_0 : \text{外部環境濃度} \end{array}$$

$$t_L = \frac{d^2}{6D} \quad (6) \quad \begin{array}{l} t_x : C_x \text{ になるまでの滞留時間} \\ P : \text{浸透係数} \end{array}$$

r : 管の内径（半径）
 d : 管の厚さ
 t_L : 管内に浸透するまでの時間（タイムラグ）
 D : 拡散係数（ $=P/K$ ）

5. スリーブを被せた場合の溶剤浸透性能

WPE 管にスリーブを被せた場合の溶剤浸透挙動を計算した結果は、表 1 のようになった。最も管厚が薄く溶剤浸透が早くなる $\phi 50$ を見てみると下記のとおりである。

- ① 溶剤が管路に接触してから管内水に浸透が始まるまでの期間(タイムラグ)は、WPE 管単体の 310 日から 3715 日となり、スリーブが無い場合の 10 倍以上となった。
- ② 管内へ浸透が始まった後で管内水が滞留した場合、管内水の TCE 濃度が水道水質基準 0.01mg/l に達する時間は、8 時間から 104 時間となり、こちらも 10 倍以上となった。（土壌の TCE 濃度が環境基準値 0.03mg/l の 100 倍の 3mg/l の場合）

表 1 WPE 管にスリーブを被せた場合の浸透挙動予測

呼び径	WPE 管単体		WPE 管にスリーブを被せた場合	
	①管内へ浸透が始まるまでの期間	②水道水質基準に到達する滞留時間	①管内へ浸透が始まるまでの期間	②水道水質基準に到達する滞留時間
50	310 日 (0.85 年)	8 時間	3715 日 (10.2 年)	104 時間
75	622 日 (1.7 年)	17 時間	5434 日 (14.9 年)	155 時間
100	1201 日 (3.3 年)	33 時間	7882 日 (21.6 年)	225 時間
150	2472 日 (6.8 年)	68 時間	12055 日 (33.0 年)	346 時間
200	4744 日 (13.0 年)	132 時間	18020 日 (49.4 年)	518 時間

6. まとめ

複層膜の理論に基づいて溶剤浸透防護スリーブを被せた WPE 管の性能を評価し、スリーブを被せることで浸透性能は、呼び径 50 で 10 倍程度向上できると予想することができた。ただし、土中での溶剤の挙動やスリーブと管の空気層の評価、TCE 以外の溶剤・石油類の評価など残された課題を引き続き検討していきたいと考える。

参考文献

- 1) 第 55 回全国水道研究発表会講演集 P428-429 「水道配水用ポリエチレン管への有機溶剤浸透挙動に関する研究」水道用ポリエチレンパイプシステム研究会 榎 厚他
- 2) 第 56 回全国水道研究発表会講演集 P448-449 「水道配水用ポリエチレン管への灯油浸透挙動に関する研究」水道用ポリエチレンパイプシステム研究会 岡野 嘉宏他
- 3) 「高分子の物性(3) 表面・界面と膜・輸送」高分子学会編 p.287