

I-170 長距離パイプラインの信頼性解析

川崎製鉄株式会社 正員 小池 武

1. はじめに

本研究は、埋設パイプラインの運転期間中の腐食進展による管路破壊事象に対する信頼性評価手法について述べたものである。

パイプラインは、敷設時の塗覆装損傷、腐食性土壌の存在、第三者原因による管路損傷など様々の原因による潜在的腐食危険性に曝されている。以下では、この潜在的腐食危険性に対するパイプラインの安全性と検査精度、補修精度、検査間隔の関係について論じることとする。

2. パイプラインの信頼性解析

長距離ガスパイプラインでは高圧圧送方式が一般的であることから、内圧による軸方向表面欠陥からの破壊について検討する。議論を簡単にするため、腐食孔により発生した表面欠陥は図1に示す位置で図2の半楕円形寸法諸元を持つものとする。

初期に図3の欠陥分布をしていたとすると、時間経過とともに腐食は進展し、その分布形状は図4の如く変化する。

いま、時刻 t での欠陥深さを $S(t)$ とすると、 $S(t)$ は初期欠陥深さ S_i と腐食進展特性関数 $g(t)$ により次式で表されるから、

$$S(t) = S_i \cdot g(t) \quad \dots \dots \dots (1)$$

時刻 t での欠陥深さ $S_i(t)$ の確率分布関数 $F_{S_1}(s|t)$ は、

$$F_{S_1}(s|t) = P[S_i \cdot g(t) < s] \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $g(t)$ はその期待値と標準偏差が時間に関する増加関数であり、次式で与えられるものとする。

$$\mu_g(t) = 1 + \mu_r \left\{ \frac{t}{t_{max}} \right\}^\zeta, \quad \sigma_g(t) = \sigma_r \left\{ \frac{t}{t_{max}} \right\}^\zeta \quad \dots \dots \dots (3)$$

さらに、 $g(t)$ の確率密度関数 $f_g(g)$ は、正規分布に従うものとする。

腐食孔の検出は、検出機器精度に依存するが、腐食孔の補修欠陥深さ下限値はパイプラインの運転条件、安全基準に基づいて設定されるものであり、両者は原則的には一致しない。

検出精度、補修精度はそれぞれ図5,6に示す指数分布関数 $P(I|s)$ 、 $P(R|s)$ で与えられるものとする。

以上の諸式より、点検・補修後の残存欠陥 $S_2(t_2, t_1)$ の確率密度関数は、 S_1 の確率密度関数 $f_{S_1}(s|t)$ を使って次式で与えられる。

$$f_{S_2}(S_2 | t_2, t_1) = \frac{\{1 - P(R|S_2) P(I|S_2)\} f_{S_1}(S_2 | t_2)}{\int_0^{S_w} \{1 - P(R|S_1) P(I|S_1)\} f_{S_1}(S_1 | t_1) dS_1} \quad \dots \dots \dots (4)$$

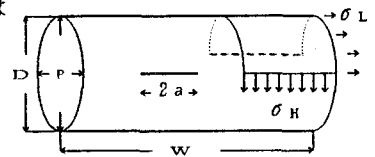


図1 管路モデル

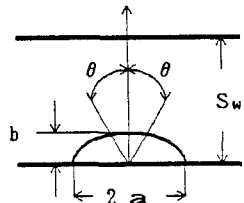


図2 表面欠陥の形状

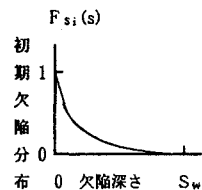


図3 欠陥深さ初期分布形状

さらに、時刻 t_1 で点検・補修した場合の時刻 t_2 での非破壊確率は結局次式で与えられる。

$$R_e(t_2, t_1) = 1 - [P_2(t_2, t_1) \{1 - P_1(t_1)\} + P_1(t_1)] \quad \dots \dots (5)$$

ここで、

$$P_1(t_1) = P[K_1(t) > K_{cr}] \quad , \quad P_2(t_2, t_1) = P[K_2(t_2, t_1) > K_{cr}] \quad \dots \dots (6)$$

ただし、欠陥深さ $S_1(t)$ 、 $S_2(t_2, t_1)$ における応力拡大係数は次式で与えられる。

$$K_1(t) = A \sigma_H \sqrt{S_1(t)} \quad , \quad K_2(t_2, t_1) = A \sigma_H \sqrt{S_2(t_2, t_1)} \quad \dots \dots (7)$$

ここで、 K_{cr} 、 A 、 σ_H はそれぞれ破壊限界値、半楕円形表面欠陥形状係数、管円周方向応力である。

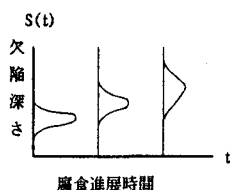


図4 欠陥深さの腐食進展特性

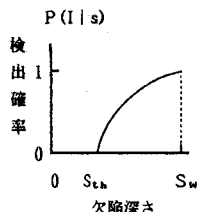


図5 点検精度特性

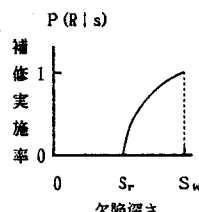


図6 補修精度特性

3. 数値計算例

表1 パイプライン諸元及び腐食孔寸法、特性値

パイプライン諸元及び腐食孔寸法、特性値を表1に示す。

項目	単位	数値	項目	数値
管径	mm	508	K_{cr} の変動係数	0.2
管厚	mm	12.7	腐食進展特性値 γ 平均	1.0
最小点検深さ S_{th}	mm	0.3	腐食進展特性値 γ 標準偏差	0.5
最小補修深さ S_r	mm	1.0	腐食進展特性値 ζ	2.0
破壊限界値 K_{cr}	kgf/mm ^{1.5}	1000	腐食進展特性値 t_{max}	5.0

図7は、運転期間 T (=6年,8年,10年)に対して t 年目に点検をした場合、運転期間最終年(T 年目)での破壊確率を算定したものである。同図は、 T が長くなると点検を早期に実施した方が効果的であるが、当初4~5

年間で点検は、実施時期に対して必ずしも破壊確率に顕著な差異を与えないことを示している。

図8は補修対象腐食孔の下限値を変化させた場合の破壊確率と点検時期の関係、図9は腐食孔の進展特性 ζ を変化させた場合の破壊確率と点検時期の関係について検討したものである。

4. 結論

腐食進展による管路破壊に対する信頼性評価手法を定式化することにより、パイプラインの安全性を確保するための検査・補修方法に関する幾つかの知見を得ることができた。

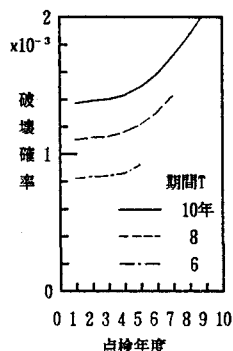


図7 点検時期

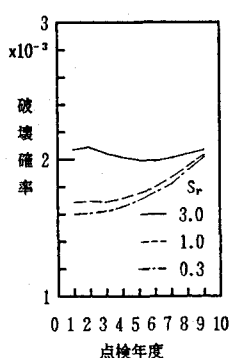


図8 補修精度の影響

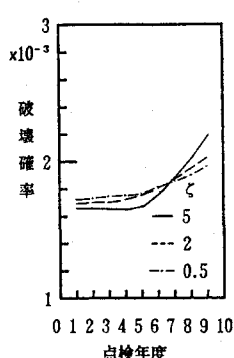


図9 腐食進展特性