

極値統計法による下水道用マンホールのふた裏腐食量の推定

中日本建設コンサルタント株式会社 ○鳥巢 勇二 中根 進

1. はじめに

2012年度のマンホールに関する共同研究時¹⁾に1,200基あまりのふたを現地調査した。現地では、ふた裏面の腐食量や表面の模様高さの測定をはじめ、がたつき、設置道路の状況など多くの調査を実施した。交通量の多い路面での現地調査は、危険も多く短時間での作業が強いられる。摩耗量や腐食量を隅々まで測定することは難しく、あらかじめ測定箇所を設定して測定した。このような限られた測定値からふた裏の最大腐食量を統計的に推定する手法を示す。

表-1 腐食データの種類と取扱い²⁾

腐食形態	寿命を決める値		確率分布則
均一腐食	平均腐食速度	平均値	基本分布 (正規分布)
局部腐食	最大侵食深さ	極 値	極値分布
	最小発生時間		

2. 極値統計手法による腐食データの解析手法

2.1 腐食データの統計的取扱い

腐食現象はその損傷形態から、均一腐食と局部腐食とに大別されている。

腐食量を調査計測したデータを解析する場合には、文献²⁾によると調査計測したデータの取扱は、一般的に表-1に示すように、均一腐食による平均値を扱う場合に正規分布であり、局部腐食の深さに関しては、その最大値を問題とし、局部腐食の発生までの時間に関しては、その最小値を問題とする。これら最大値、最小値の極値を取扱う場合に、極値分布(ガンベル分布、ワイブル分布など)を用いている。

2.2 極値統計法³⁾

極値統計法とは、腐食を受けている装置・機器・部品などにおいて、小面積の測定区画から採取した最大局部腐食深さを用いて、大面積を持つ装置・機器・部品など最大局部腐食深さを推定する手法である。本法をマンホールふたのふた裏腐食量に適用することにより、少ない調査採取データを基にして、信頼度の高い極値(最大局部腐食深さ)の推定・評価を行うことができる。

- ①極値推定面積：装置・機器・部品の腐食環境に接する全表面積を極値推定対象面積 S とし、同じ母集団からの標本となる区画面積を一定面積 s とする。
- ②測定区画：測定区画は装置・機器・部品から抽出した一定面積 s の小区画であり、 N 個とする。
- ③データ採取：小区画の N 個について、局部腐食深さを測定し、最大局部腐食深さを抽出する。最大局部腐食深さデータが得られた測定区画面積数を n とする。($n \leq N$)
- ④ガンベル分布：局部腐食深さの分布が正規分布などの指数型分布に相当している場合、最大局部腐食深さの分布は近似的にガンベル分布にしたがうことが知られている。変数 x がガンベル分布にしたがっている場合、その累積分布関数 $F(x)$ は右式に示すような二重指数関数で表される。

ここで、 λ ：位置パラメータ、 α ：尺度パラメータ

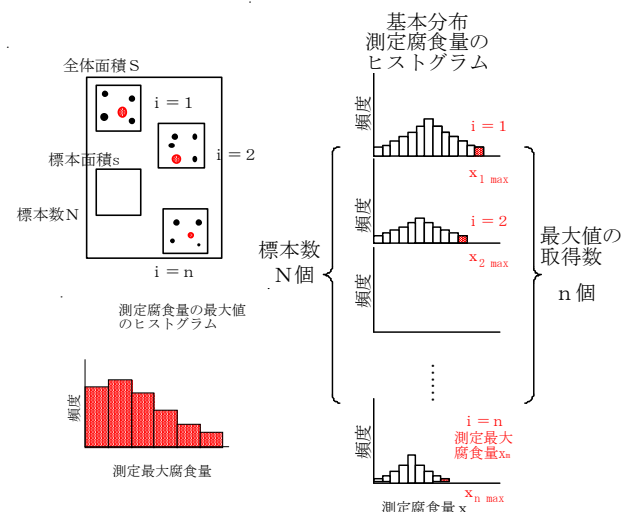


図-1 極値統計法の概要

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\lambda}{\alpha}\right)\right)$$

最大局部腐食深さデータを順に並べ、 $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ とする。
 最大局部腐食深さのデータが得られた n 個の測定区間におけるデータを、平均ランク法により小さい順に並べた順位 i と累積確率 $F(x)$ の関係は右式で表される。

$$F(x) = \frac{i}{N+1}$$

なお、測定区間の総数 N に対して、最大局部腐食深さが測定された小区画個数を n とする($N \geq n$)。

ただし、 i ：最大局部腐食深さデータの順位である

⑤位置パラメータ λ 、尺度パラメータ α 、最大局部腐食深さ(極値)を推定する

3. ふた裏最大腐食量の調査方法と結果

3.1 ふた裏腐食量の調査方法

マンホールふた裏の発錆状況を図-2に示す。ふた裏さびの外観は、多種多様であり、錆瘤や面的な腐食、あるいはリブ先端にはリブ幅分の腐食が見られる。錆による腐食の深さを本文では、腐食量という。

腐食量(ふたの減肉量)は、現場での測定作業性を考慮して、図-2に示す6箇所のふた裏リブ肉厚を測定することにより、下式で算定した。

$$\text{腐食量(両側)} = (\text{初期値} - \text{計測リブ幅})$$

ワイヤブラシでリブ6箇所の錆をとり、ふた裏リブ幅(計測リブ幅)を測定した。リブ両側が均等に腐食したものとして2で除して片側腐食量とする。

3.2 ふた裏腐食量の調査結果

調査時経過年数と最大腐食量(片側)の関係を図-3に示す。

調査全体(1,200基)のマンホールふたを調査時経過年数によらずに最大腐食量(両側)で整理し、その分布を3つの分布(ガンベル分布、正規分布、ワイブル分布)で回帰して、図-4に示す。最大腐食量(両側)の分布は、AIC基準で最も極値分布が適合している。ガンベル分布は、分布右側裾の最大側をよく表している。

4. ふた裏腐食量の評価手法

ふた裏6箇所の腐食データからふた裏全面における腐食量を評価するために極値分布を使って最大腐食量を推定する。

マンホールふた裏全体の最大腐食量を、現地調査での微小面積のリブ幅測定による最大腐食量から極値統計法を使って推定する。

各微小な範囲についてリブ幅を多量に測定していないので、腐食量として最大値となるリブ幅を測定している。したがって、図-2の標本1つについて1箇所の測定値を最大腐食量とする。

以下に現地調査したマンホール1つを例にとり腐食測定値データを使ってふた裏全面の最大腐食量を推定する手順を示す。

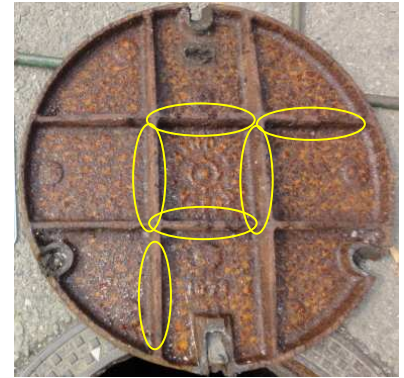


図-2 ふた裏の発錆状況と測定箇所

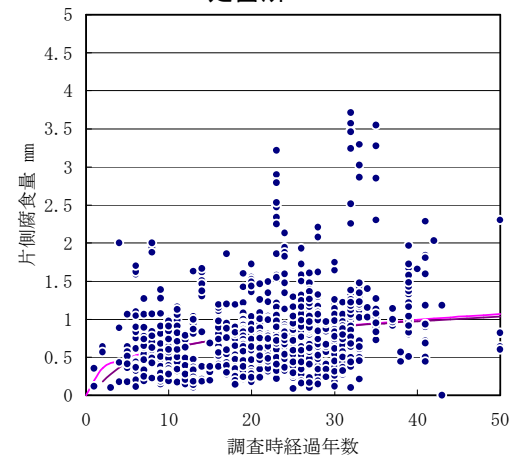


図-3 調査時経過年数と片側腐食量の関係

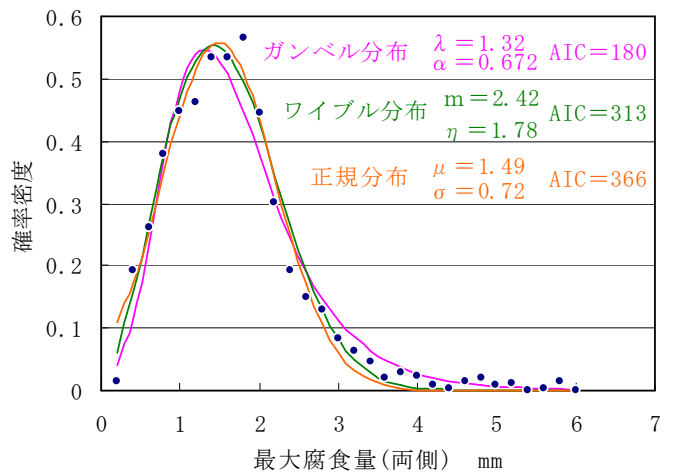


図-4 最大両側腐食量の分布

(1)マンホールふた裏リブの腐食測定値（6ヶ所）例

最大局部腐食深さデータを順に並べ、 $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ とする。平均ランク法により累積確率Fを上式で計算し、表-2に示す。

累積確率Fの二重対数値をプロットして図-5に示す。腐食量(最大値)と累積確率Fの二重対数値を直線で回帰する。

プロットした腐食量にガンベル分布を仮定すると、図-5の直線の傾きが $(1/\alpha)$ となる。またy軸=0の位置のx軸の値が λ となり、ガンベル分布のパラメータが同定できる。

調査値のプロットと仮定したガンベル分布を χ^2 検定により適合性を評価する。

ガンベル分布の χ^2 は、0.051であり、有意確率p値=5%、自由度 $\nu = 6-2-1=3$ の χ^2 は $7.815 > 0.051$ であり、仮定した分布は棄却されずに適合している。

(2)再現期間

腐食量はふた裏リブ幅で測定しているが、リブ片面を9cm×4cm程度の範囲で、ワイヤブラシで錆を除去している。測定箇所的小区画の総面積sは、 $0.09\text{ m} \times 0.04\text{ m} \times 2\text{ 面} \times 6\text{ 箇所} = 0.0432\text{ m}^2$ であり、再現期間 $T = S / s$ を表-3に示す。

(3)最大腐食量(評価腐食量)

再現期間 $T=12$ を利用して、ふた裏全体では、確率的に片側腐食量の最大腐食量(評価値)を推定する。例に示したこのマンホールふたの片側最大腐食量は、図-5から0.612mmと推定される。

5. 調査したふたすべての最大腐食量の推定結果とまとめ

調査したマンホールふた全部について、再現期間 $T=12$ を利用して、ふた裏の片側最大腐食量を推定し、実測で得た最大腐食量との関係を図-6に示す。数少ないデータから統計的に信頼度の高い最大腐食量が推定できたものと思われる。なおこの手法は、下水道計画における確率降雨量の推定法と同じものである。

現地調査では、短時間での計測が難しく、最大値を得ることができないことも多い。最大値、最小値の極値を扱う本手法により、ふた裏の最大腐食量のみならずプラント機械設備の機器・部品の腐食量や配管腐食量の評価に利用できると思われる。また、処理施設のコンクリート構造物の中酸化深さなどにも展開できると思われる。

【参考文献】

- 1) 財団法人 下水道新技術推進機構：下水道用マンホールふたの計画的な維持管理と改築に関する技術マニュアル（案）-2012年3月-
- 2) 腐食防食協会編：装置材料の寿命予測入門—極値統計の腐食への適用—, 丸善株式会社, p.17, 1984
- 3) 三浦健蔵：腐食メカニズムと余寿命予測, コロナ社, p.127, 2009.6.15

【問い合わせ先】 中日本建設コンサルタント株式会社 水工技術本部 中根 進 TEL052-232-6055 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp

表-2 片側腐食量, 累積確率Fおよびその二重対数値の計算

順位 i	x : 片側腐食量 mm	F(x)	y : $-\ln(-\ln(F(x)))$
1	0	0.143	-0.666
2	0.14	0.286	-0.225
3	0.15	0.429	0.166
4	0.215	0.571	0.581
5	0.42	0.714	1.089
6	0.44	0.857	1.870

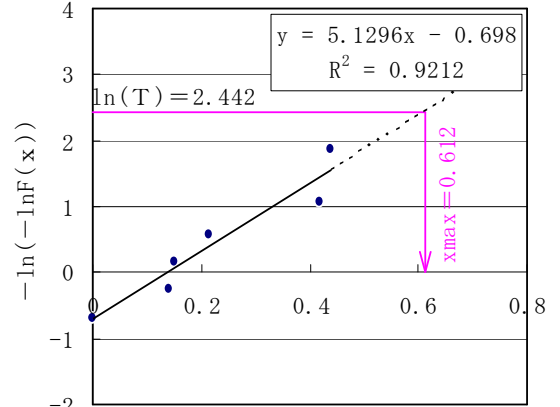


図-5 片側腐食量と累積確率Fの二重対数値と再現期間Tの片側腐食量(評価値)

表-3 再現期間Tの設定

ふた裏 表面積 S m ²	計測箇所 6	再現期間 T = S / s
	両面 s	
0.517561	0.0432 (9cm×4cm)× 2面×6箇所	12.0

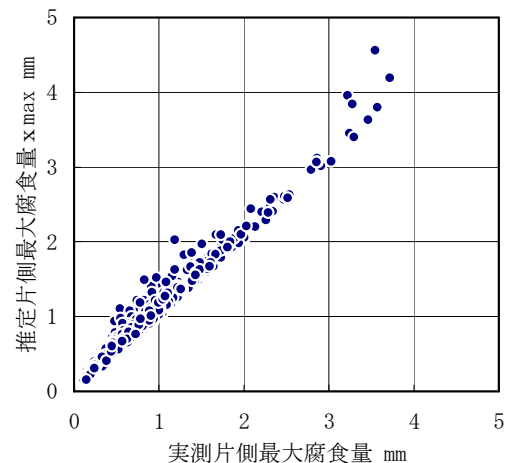


図-6 実測で得た最大腐食量と推定最大腐食量