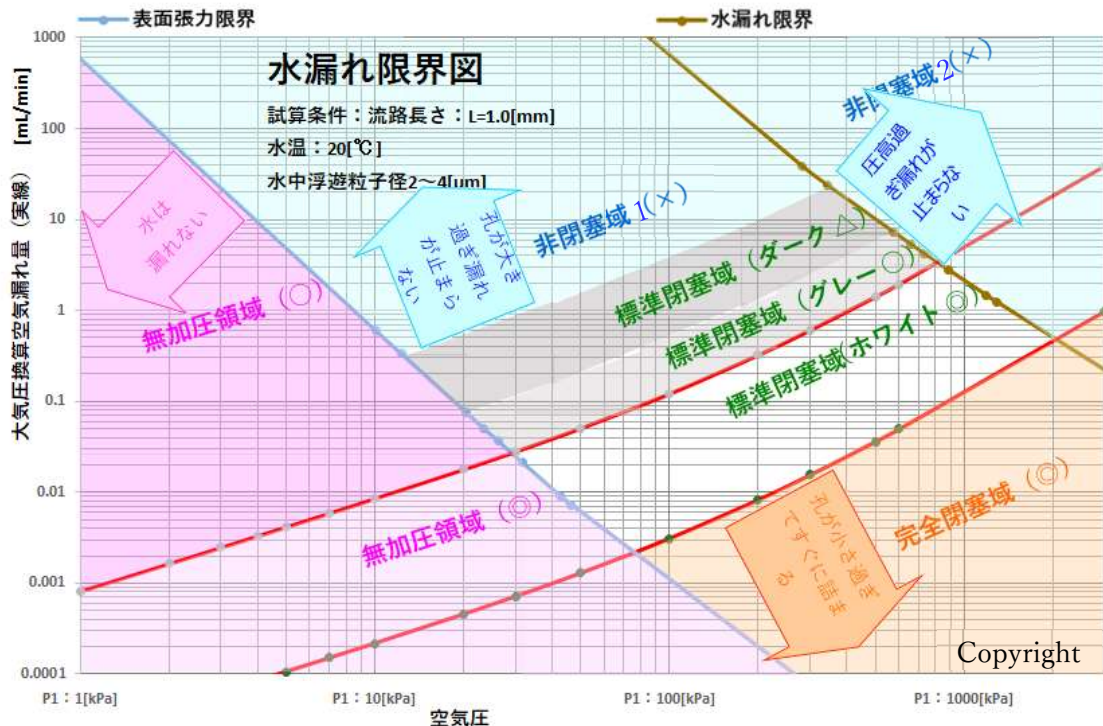


水漏れ限界図について

1. 水漏れ限界図で表現していること

ワーク(検査対象)を、空気を用いて漏れ検査を行い、この測定結果から、相当漏れ孔径を計算して、その孔から水道水が漏れ出るか否かを直観的に判断できるようにした「水漏れ限界図」です。円管の長さが変われば「水漏れ限界図」のエリアの場所が変わりますが、代表例として $l=1[\text{mm}]$ の計算結果を図示しています。

【グラフ1】



(1)水漏れ限界図【グラフ1】の構造

- ①各ユーザー様で対象ワークについて想定される判定値漏れ量を、設定空気圧と空気漏れ量の関係から、「相当漏れ孔径」を算出します。

「相当漏れ孔径」からの判定値漏れ量が、圧を変化させるとどうなるかをプロットしたカーブに、ガスターの熱交換器での漏れ品を使った水漏れ実験や、その他の実漏れ品で得た水漏れ限界データを基に、領域（ゾーン）を書き加えました。

実データで漏れが始まる場所をプロットして漏れ開始場所、絶対漏れない場所などを蓄積してゾーンニングを行い、そこにエア漏れの理論値カーブ（エア実漏れと一致）が描かれています。以下に述べるように実際の水漏れはパーティクルのせいで理論計算と合いません。

- ②水漏れのゾーンとは、

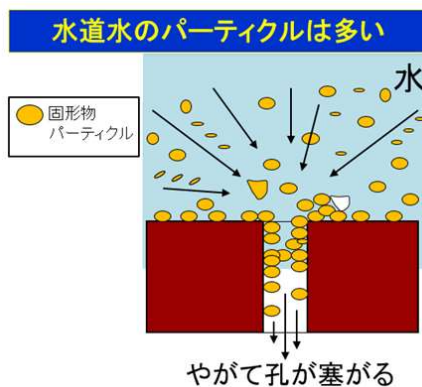
- ・孔が大きすぎて漏れが止まらない「非閉塞域1」
- ・ある水压以上では漏れが止まらない「非閉塞域2」
- ・いくら水压を掛けても漏れない「完全閉塞域」
- ・漏れ検査基準として使える「標準閉塞域（ホワイト）」、
- ・水の種類によっては漏れ検査基準として使える「標準閉塞域（グレー）」、

- ・中水（循環水）では漏れにくいが上水使用は避けたい「標準閉塞域（ダーク）」、
- ・表面張力に負けて漏れない「無加圧領域」

- ③ 「相当漏れ孔径」に水圧を掛けた時の「水漏れ量」の計算値をプロットし、右縦軸に水漏れ量（計算値）を設定すれば「空気漏れ量」と「水漏れ量」が一つのグラフに集約できます。ハーゲンポアズイユの法則等を利用し算出した理論水漏れ量は、水道水や井水に必ず含まれるパーティクル（固体粒子）を考慮していないため、純水での水漏れ量になります。（仮に純水で水漏れ試験を行うと、「無加圧領域」以外で漏れが止まるエリアはありません。）
- ④ つまり理論計算で得る「空気漏れ量」と「水漏れ量」を一つのグラフに示し、そのグラフに「理論計算水漏れ量」（純水での漏れ量）とは一致しない水道水での水漏れ（例えば「理論計算では水漏れするのに、水道水で実測すると水漏れしない」という違い）を、実際の実験データ、ライン検査データに基づいて「水漏れゾーン」を追記したものです。

2. 水が閉塞する理由

(1)閉塞ろ過モデルについて



Hermans-Bredée が提案した閉塞ろ過モデルとして、完全閉塞、標準閉塞が知られています。「水道水」中のパーティクル状態に応じた閉塞エリアを、完全閉塞域、標準閉塞域(ホワイト)、標準閉塞域(グレー)、標準閉塞域(ダーク)として「水漏れ限界図」に図示しています。標準閉塞とは、左図に示すように「水道水」中のパーティクルが孔内部に付着して水漏れが止まる現象です。

(2) 水圧が高すぎる場合に漏れが止まらない「非閉塞域 2」

弊社の実験により、標準閉塞により閉塞が発生しても、加える水圧を上げていくと、孔内部に付着したパーティクルが崩壊し、水漏れが止まらなくなることを確認しました。

水圧が高すぎる場合に漏れが止まらない「非閉塞域 2」と名付けたゾーンは、擬似漏れ孔による実験や、実際の漏れ検査工程で発見された漏れ有品を使つての加圧実験データを基に得た、崩壊現象が発生して漏れが止まらなくなるゾーンです。

空気加圧 vs 空気漏れ量カーブ右端に水圧が高すぎる場合に漏れが止まらない「非閉塞域 2」を記しました。

(3)一般に知られる漏れ量計算式について

「気体と液体の漏れ量比較計算」とか「空気漏れと水漏れ:水漏れ量は空気漏れ量に換算可能」とかの記載と共に、換算式が記されているのを見かけますが、これらの換算式は「純水」への換算であり「水道水」への換算ではありません。換算結果では水漏れするのに、実測す

ると水漏れしないという原因が、「純水」と「水道水」との差に起因する点に着目して、水漏れするエリアと水漏れしないエリアを図示しました。

(4) 「水道水」中のパーティクルについて

「純水」中には不純物が存在しませんが、「水道水」中にはSS (suspended solids) と呼ばれる直径約 $1 \mu\text{m}$ ~ $5 \mu\text{m}$ 位のパーティクルが含まれています。

これは、水中の不溶解性物質のことで、水道法に基づく水質基準を定める「水質基準に関する省令」でその量が規定されています。

しかし日本各地の水道水中のパーティクルは、水源、取水状況、濾過方法で大きく左右され、ばらついています。

「水道水」中に含まれるパーティクルの量および直径は、水源等で変わります。

- ・河川水源 (パーティクルは少なく直径の小さなものが多い：東京金町浄水場等、高度浄水処理を行っている場合は、特に残留パーティクル量が少ない)
- ・井水水源 (パーティクルは多く直径の大きなものが混ざる：北海道その他)
- ・河川、井水混合の水源地域 (昼間はパーティクルが少なく直径の小さなものが多い地区が出てくるものの、夜間はパーティクル多く直径の大きなものが混ざる場合がある：神奈川その他)

(5) 漏れ孔形状について

漏れ孔は数 μm サイズの相当孔径(丸穴)を算出します。

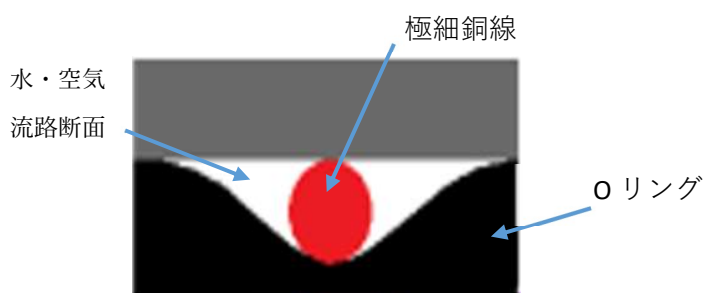
仮に同面積で扁平な孔なら、孔の周長は長くなるので表面張力が大きくなること、パーティクルが詰まり易くなることから漏れ的には安全方向なので、漏れ孔形状の差異は「水漏れ限界図」には反映していません。

よく実験に用いる O リングに銅線や毛髪などを挟んだ場合は、同じ空気漏れ量が発生していても、単一孔で計算した相当直径が下図のように分割されたことになります。

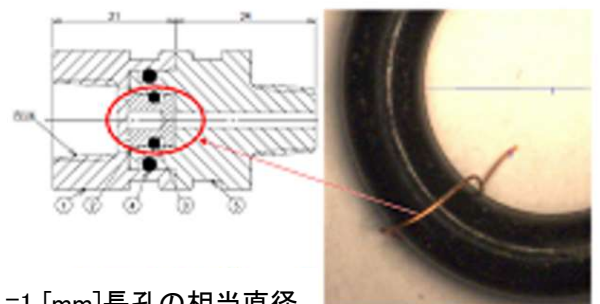
計測空気漏れ量は同じでも、そこに水を通して加圧した場合は、計算水漏れ量より漏れ出す水は少なくなることを考慮して計測結果を分析する必要があります。

同じ孔長だとしても水は漏れしにくくなる理由は

- ・水との接触面積増加
- ・表面張力の増加
- ・算出した相当直径 $d \mu\text{m}$ より小さくなり
水中の固体粒子が引っ掛かり易くなる。



エアリーク量： $0.0246[\text{mL}/\text{min}]$ at $100[\text{kPa}]$
水漏れ量：水漏れなし at 水圧 $1.8[\text{MPa}]$



$L=1 [\text{mm}]$ 長孔の相当直径
 $d=6.71 [\mu\text{m}]$

(6) 表面張力について

極めて小さい孔のような場合は、その孔に掛かる水圧がだんだん下がると、表面張力に等しくなるポイントに至ります。そこは実質水圧「0」となるため水は漏れなくなります。その実質水圧「0」となるポイントを漏れ孔径ごとにプロットしてつなげたのが表面張力限界線（実質水圧「0」ライン）です

(7) 「水漏れ限界図」の使い方

「水漏れ限界図」に、お客様がお使いのエアリークテスターでの空気加圧力とその圧での空気漏れ量[ml/min]の計測結果をプロットすれば、その空気漏れ量が水漏れするのか、しないのかが判別できます。

6. 使用例

(a) : エアリークテスターでの漏れ量が 0.03[mL/min]at100[kPa]だった場合漏れ量は、赤○プロットとなる（測定した孔を孔 r とする）。【グラフ 2】

例えば、肉厚 0.9mm の銅パイプのロー付け部のピンホールからの水漏れを検査する場合、空気 100kPa 加圧にて、0.03mL/min の空気漏れを生じる孔は、孔の長さ 1 mm の時に、相当直径は 7 μ m となります。（ハーゲンポアズイユの法則）

この長孔からの漏れ量として計算しプロットすると(c)の「青線」となります。

(b) : 0.03[mL/min]at100[kPa]のプロットされたエリアが標準閉塞域(ホワイト)なので、孔 r に「水道水」で水圧 100[kPa]をかけた場合には、水漏れは起きない（すぐに止まる）。

(c) : 孔を孔 r への加圧力を変化させて算出した、漏れ量のプロット曲線が「青線」です。

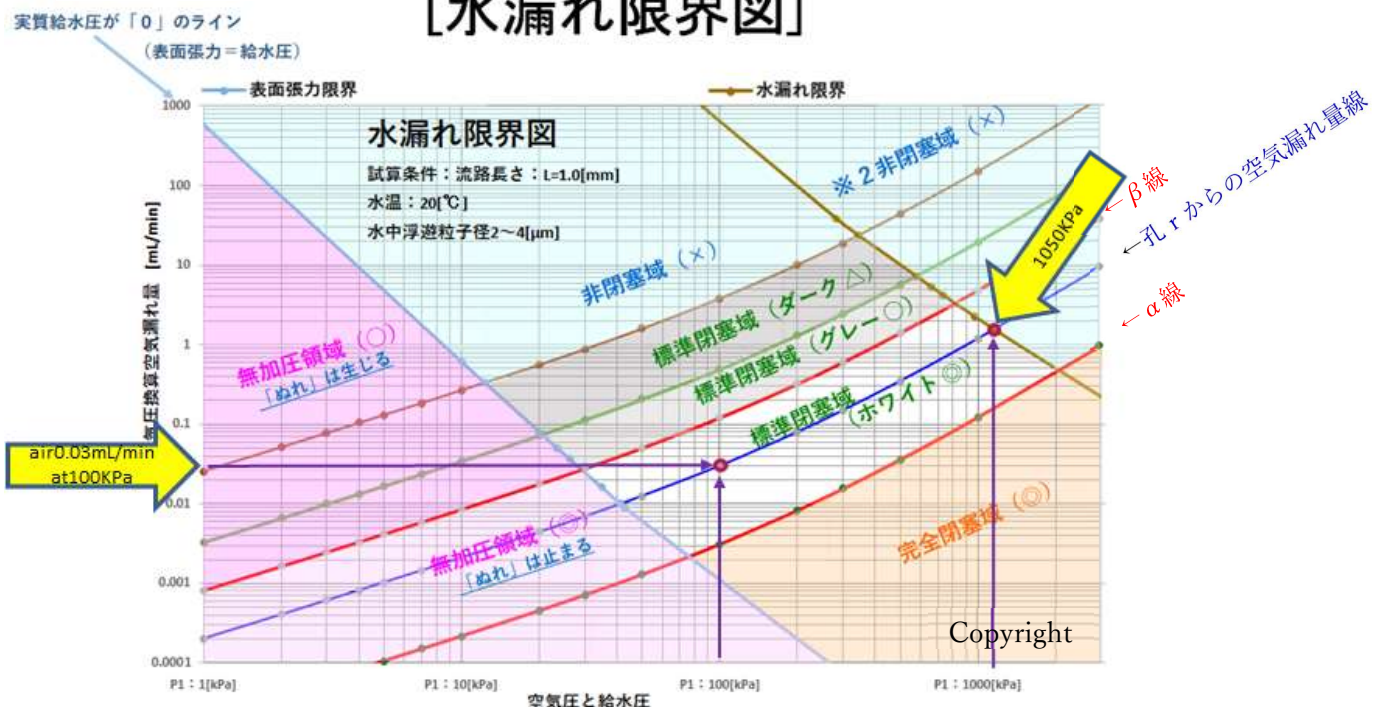
簡易的には(a)でプロットした赤○を通る、「赤線 α か β 」と並行な線を描いてもよいです。

(d) : (c)で描いた「青線」と水漏れ限界を示す茶線が 1050[kPa]で交差する。

(e) : 孔 r に「水道水」で水圧 1050 [kPa]未満をかけた場合には、水漏れは起きないが、1050 [kPa]以上ならば、孔内部に付着したパーティクルが崩壊し、水漏れが止まらなくなる。

【グラフ 2】

[水漏れ限界図]



以上