

2019年3月

地下水位の高い管路での漏水探知法

[\(会報40号のQ&A「水道管が地下水面以下にある\(地下水位が高い\)場所での漏水調査はどうやれば良いですか?」という質問への回答](#)にいただいた関連情報)

資料作成者 高橋順一
(東京水道インターナショナル 株式会社)

[資料 A : 地下水位の高い管路での漏水探知](#)

[資料 B : 漏水探知のボーリング確認調査](#)

[資料 C : 1- 漏水探知の方法と分類](#)

[2- 漏水の音とは?](#)

[3- 音源探知応用技術](#)

[4- 漏水量と探知法の適用範囲](#)

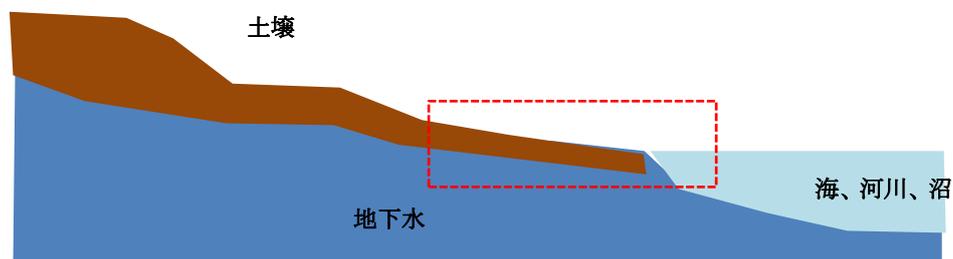
* 資料中、各社調査工法はウェブサイトから引用しています。
また、イラスト等は桑折敬男著書より引用しています。

(1) 地下水による土壌の湿潤、飽和、溢水

土壌の水分の含有率は自然含水比(%）、体積含水率((%)という指標があるようで、呼び方としては風乾～飽和という呼び名で呼ばれる。

普通の土壌では、水が占めている部分、空気が占めている部分、土壌粒子が占めている部分があり、それぞれ液相、気相、固相というが、想定される土壌の状況は地下水が溢水している土壌で、

その深度 1m 前後に埋設管の漏水がある場合、どのような効果的探知の方法が考えられるか考察した。

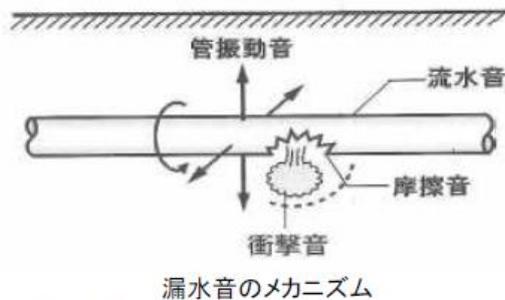


の部分が地下水と帯脈の上に土壌があれば、このような位置のところは地下水位があり、そこに水道管を埋設せざるを得ない。

(2) 音源探知法の基礎知識

一般的に、海、河川、沼の近傍に位置する土壌では上図のような条件となることがある。水道管の周囲に地下水が溢水していれば、漏水探知にどのような弊害がおきるかを考えてみる。

圧力のかかった水道管から水が漏れた場合、その漏水孔から連続して漏水音が発生する。漏水音は衝撃音、管振動音、摩擦音、流水音の合成音から成り立っている(下図)。漏水音の音量・音質は材質、口径、水圧、漏水孔の形状、漏水量、周辺の条件等の種々の条件により異なる。



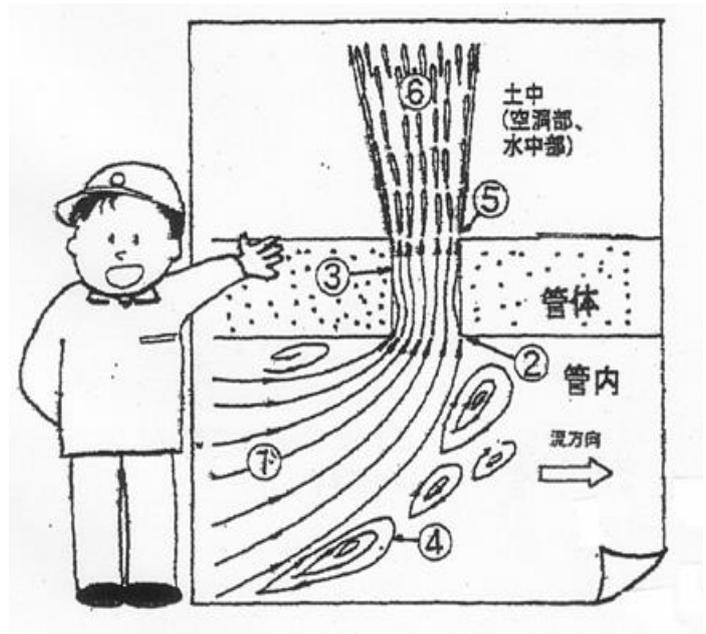
引用：漏水防止マニュアル2012
(平成25年1月/公益財団法人水道技術研究センター/p44)

漏水音は、上図に示すように大凡4つに分類される。4つの分類をもうすこし細かく言及する。

漏水音の発生について、損傷部付近では、①の管内部と④の内部の渦では低い音が発生します。

②の損傷部のエッジ部と③の内部では、高い音と低い音が発生しています。

⑥の損傷部のエッジ部から土中の空洞部へ噴出する音は、水と空気が混入し非常に高い音が発生します。⑤の損傷部のエッジ部から土中の水中部へ噴出する音は、空洞部と比較し低い音が発生します。



この図は、漏水の逃げ道(漏水のみずみち)ができていいる漏水の発生状況を模式図としてあらわしたものであるが、周囲に地下水が溢水しているといわゆるプール状態となり⑤と⑥の音の発生はしにくく、減衰する。②と③損傷孔の形状に影響される。

漏水探知にはいくつかの方法があり、漏水によっておこる現象を物理的にとらえるというところを考える必要がある。つまり、音の発生源を捉える音源探知法が一般的であるが、これは音源が近傍にあるか、または音を伝搬する管体、土壌、管内水への接点がうまく漏水音を捉える条件下にあることが前提となる。

効果的に探知するには、配管の埋設状況、地下水の存在、水圧の大きさ、管口径、管材質、埋設深度(地表面への伝搬)、漏水の損傷孔の形状といったいろんな情報を考慮しながら探知の方法を策定する必要がある。

漏水音は、水圧、管種、口径、周波数によって様々に変化するので、その特性を知る必要があり、漏水音の特性について記載する。

<ul style="list-style-type: none"> ● 漏水の損傷口の大きさ、噴出の流速で変化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 漏水音は、損傷口の大小、形状で複雑に異なっています。漏水音は、損傷口の流速が大きい程、高い音を発生し、流速が小さい程低い音が多く発生します。 ● 具体的には、損傷口が小さく水圧が高い時は、高い音が発生しやすく、反対に損傷口が大きく、噴出する流量が多い時は、低い音が発生しやすくなっています。 	
<ul style="list-style-type: none"> ● 水圧が変化すると漏水音も変化する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 漏水音の強さは、水圧が低いほど小さく、反対に水圧が上昇するほど大きくなります。圧力がある程度以上になると飽和状態になります。 	

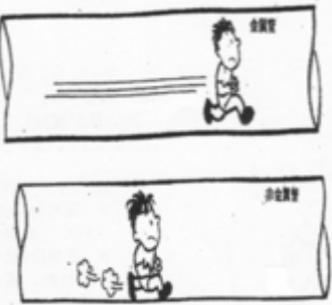
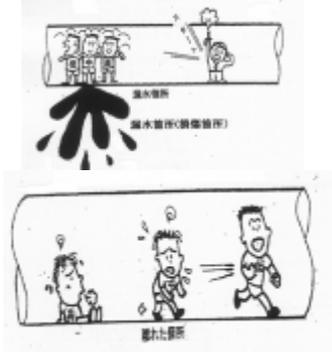
<ul style="list-style-type: none"> ● 漏水音は、周囲の状況で変化する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 漏水音は、埋設深度、周囲の土圧によって噴出する漏水量が異なって変化します。また、損傷近くでは球面形状の波の音となり、損傷部から離れた位置では、平面形状の波の音で伝わります。 	
---	--	---

要点：
漏水音の伝播特性については、以下のことが特徴である。

- ① 一般土壌では、高い周波数ほど減衰が著しい。
- ② 減衰率は 800Hz より高い周波数では急激に減衰する。
- ③ 埋設深度に対しては、ほぼ距離の 2 乗に反比例して減衰する。
- ④ PVC 管の減衰率は鋳鉄管に比べて大きく、この傾向は高周波域で著しい。
- ⑤ 管の口径が大きくなるに従い減衰率も大きくなる傾向がある。

伝ば距離	長いもの	短いもの
口径	小さいもの	大きいもの
材質	鋳鉄管・鋼管・石綿セメント管・鉛管・	ポリエチレン管・ビニル管
経年	新しいもの（スケール、腐食のないもの）	古いもの（スケール、腐食の多いもの）
継手	溶接・鉛接合	ゴム使用継手
漏水音	低音（低周波帯）	高音（高周波帯）

管種、口径による伝播速度

<ul style="list-style-type: none"> ● 複合管、金属管、非金属管路の音の伝わり方 	<ul style="list-style-type: none"> ● 伝播速度は、管種、口径が異なる接合点で、変わります。理由は、管種・口径が変わることで弾性係数が変わるからです。 (注) 弾性係数とは、一樣な弾性体に、応力を加えると比例してヒズミが生じます。この関係式の比例定数を弾性係数と言い、値では、非金属管が金属管より大きい値となっています。) ● 非金属管は金属管と比較して伝わる速度が遅く、距離も短くなります。理由は、弾性係数の違いによるものです。 	
<ul style="list-style-type: none"> ● 漏水の周波数と減衰 	<ul style="list-style-type: none"> ● 漏水音は、聴き取る箇所・距離によって変わります。漏水地点では、高い音(高周波)、中間の音、低い音(低周波)等あらゆる周波数の音が発生しています。 ● 漏水箇所より遠い箇所では、高い音が減衰して、低い音だけが伝わっています。 ● 漏水音が長い距離を伝わる時は、漏水音の高い音は、減衰が大きく途中で無くなります。 ● 反対に低い音ほど、減衰が小さいため、遠くまで伝わっていきます。低い漏水音を聞いたときは、状況によりますが、一般に漏水箇所は音を聞いた所より遠いと考えます。 	

要点：

漏水音の減衰の特性は距離に反比例する。ビニル管の減衰率は鋳鉄管に比べて大きく、この傾向は高周波域で著しい。

鋳鉄管やステンレス鋼管の場合、漏水箇所から 5～10m 離れた地点における周波数スペクトラムは、広範囲な分布を示しているが、高周波域の減衰が激しいため、大部分の成分は 5kHz 以内に集まっている。

鉛管やビニル管の場合、鋳鉄管やステンレス号に比べて高周波域での減衰がより激しい。特にビニル管では、1～2 kHz 以上の成分はほとんどなくなっている。

漏水音は不規則な波形をしており、管内を水中波として伝ばする。ウォータハンマの計算に用いる圧力伝は速度の式がよく一致する。すなわち、鉛管、ビニル管等管径に比べて管厚が厚い管には「エーガー式」、管径に比べて管厚が薄い鋳鉄管等には「アリエビ式」を用いる。

● 漏水の概要と音質

現在、調査業界で使われている漏水探知機器で聴取される漏水音の周波数帯域は、0.1～1.2kHz の範囲を対象としている。ここで、聴取した漏水音を「高い音 (1kHz 以上)」、「中間音 (0.5～1kHz 未満)」、「低い音 (0.5kHz 以下)」の 3 種類に分類して表示すると、ほぼ下表のような関係がある。

項目	高い音のとき	中間の音のとき	低い音のとき
周波数帯域	1.0kHz 以上	0.5～1.0kHz 未満	0.5kHz 以下
漏水孔の大きさ	小	大	非常に大
漏水孔の形状	複雑	単純	単純
漏水孔内の流れ	非常に早い	遅い	非常に遅い
管の口径	小口径	中口径	大口径
管の材質	鋼管	鋳鉄管・石綿セメント管	
距離	近い	遠い	非常に遠い
水圧	高い	低い	非常に低い

周波数等による伝播速度の違い

資料 C は、ペルー国プロジェクトに使用した「漏水探知の方法と分類」である。

漏水探知で効果的であると言われている音聴法(音源探知法)、音源解析法、質量分析・物理探査法、その他の方法として分類しているが、前述した地下水位の高い土壌にはどのような方法が適切かを検討する。

(3) 地下水溢水状況下の漏水発生状況の想定(音源探知法の阻害要因)

問い合わせは、地下水が多いと音源探知法による探知は容易でないという主旨のようですが、漏水の音が発生しにくいということで、非金属管(PVC、PE)の場合の漏水発生状況を考察してみる。

漏水音	漏水音の強さは、水圧が低いほど小さく、反対に水圧が上昇するほど大きくなる。 音の大きさを表わすのに一般的に使われる量は「SPL: Sound power Level (音圧レベル)」で、音圧の大きさの単位は「dB (デシベル)」が使われる。 探知機器を媒介する場合は、音圧が mV、mA で表されることもある。
圧力	圧力がある程度高ければ、高い周波数帯域での漏水音が発生しやすい。 音源探知法が難易ということ言うことは、1bar 以下の圧力が想定される。 1bar 前後あればまだよいほうで、0.5bar 以下だと漏水孔の形状にもよるが、漏水孔に近接しないと漏水音は聴取できない。
管種	PVC、PE 管の漏水音は、比較的low周波の帯域の漏水音が多い。low周波の音源は、減衰率が少なく伝搬距離が長い。それでは遠い距離まで到達するかというそうではない。音の大きさがもともと小さいので、伝搬しないのである。 金属管の漏水音は周波数として高い部類にある。遠くまで伝搬するようなイメージがあるが実際は減衰率が大きい。ある程度の距離で聴取できるのは発生源としての音圧レベルが高いからである。
漏水量と音圧	漏水量が多いと音が大きくなるとは限らない。漏水孔の形状は金属管の漏水孔より単純な形状が多いので、1.0kHz 以上の漏水音は成分としては少なくなるということが言える。
管口径	小口径であれば、1.0kHz 以上 0.5~1.0kHz 未満 0.5kHz 以下の音が混在していますが、伝搬という現象から考えれば 0.5kHz 以下の帯域に多いと考えられる。
管材質	非金属管は金属管と比較して伝わる速度が遅く、距離も短くなります。理由は、 <u>弾性係数の違い</u> によるものです。弾性係数(ヤング率)とは、物体を引っ張ったときの「応力」と「歪(ひずみ)」の関係です。 上記のような関係から、漏水量がある程度であっても、圧力が低いとlow周波数帯域が多くなります。減衰は少ないのですが、伝搬力は小さいということになります。

非金属管(PVC、PE)の圧力が低い漏水の発生状況は、音源探知法にとっては不利な条件が多い場合がありますが、音源探知法で探知できないかということそんなことはありません。2 ページに図示している⑤と⑥の音は捉えにくいですが、音が発生しないわけではありません。音源探知法の効果を高めるには、以下の方法が考えられます。

①	漏水の近傍に検知接点を作る(バルブ設置)	途上国の管網はバルブ等の付属物が非常に少ないが水量管理の観点からも設置を推奨する
②	ボーリングで音聴棒による管体接点をつける。	ボーリング確認調査については、資料 B の「漏水探知のボーリング確認調査について」を参照
③	電動ポンプ、手動テスターにより水圧を上昇させる。	水圧が高ければ、漏水の音も必然的に大きくなる。

トピックとして①、②、③の取扱いについて記します。

① 漏水の近傍に検知接点を作る(バルブ設置)

省略

② ポーリングで音聴棒による管体接点を設ける。以降に発生地点と離れた距離の接点ではどのような周波数変化が起きるかを記載しています。1000mm の大口径の農業用水管路での実験結果です。青色の文書は、調査レポートの一部を転載しています。また資料 B「漏水探知のポーリング確認調査について」も参照していただければと思います。

1. 音聴調査の用語について

漏水探知の業界の用語では、音聴調査という用語は音聴棒を使用した栓・弁音聴調査、漏水探知機器を使用した地表面に伝搬する漏水音の捕捉を行うときに使用される。



メータ、公道の栓・弁を接点として漏水の有無を調べる

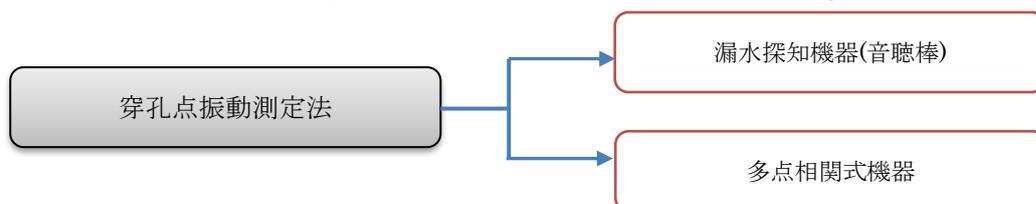


埋設管から発生する漏水音を地表面で捉える。



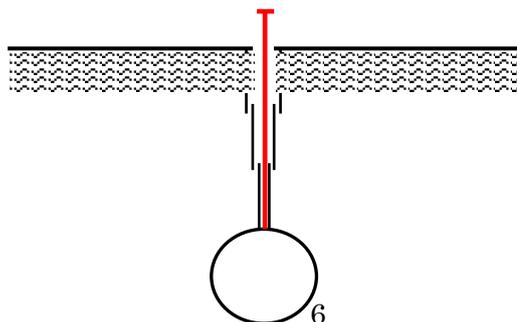
今回、音聴調査として仕様とされている方法は、大口径の頂部に感震棒を穿孔挿入させ、管体に伝搬している漏水音(疑似漏水音)を捕捉して効果的な音聴方式を勘案するものである。

感震鋼棒を穿孔挿入させる工法であるので、穿孔点振動測定法と呼称する。穿孔点振動測定法に使用する機器あるいはシステムは以下のものとする。



穿孔点振動測定法のうち、多点相関式機器による実験は 12/14 に終了した。ここでは 12/15 に行った漏水探知機器(音聴棒)による捕捉について報告する。

下図のように深さ 1m ピッチに径を変えて穿孔し、その後、管に損傷を与えないように注意深く感振棒(9mm 鋼棒)を管体に接触させ、上部に漏水探知器を使用して漏水の伝搬音の有無と程度を探る。



2. 現場写真

		
ドリルによる穿孔	感振棒と漏水探知器	感振棒と漏水探知器

3. 漏水探知機器の仕様

音聴調査に使用した機器は漏水探知器 HG 10 A-II である。参考に電子音聴器も仕様を記載する。

	
漏水探知器 HG 10 A-II	電子音聴機器 FSD- 8D
増幅度 59dB	増幅度 55dB
センサー感度 0.7V/G	NPC 圧電素子
¥500,000	¥80000

HG 10 A-II のプリアンプの増幅度は 59dB とあり、電圧利得 $G_i = 20 \log_{10}$ 電圧増幅度 (dB) であらわされる。利得とは、入力と出力の比のことで、ゲインとも呼ばれる。

利得は 10 を底とする常用対数を使って表現し、単位にデシベル [dB] を使う。

V/G の意味はアンプ内蔵型加速度センサーは v/g で表し、またアンプ内蔵型速度センサーでは v/インチ 100 ミリボルト/g (100mV/g) では、加速度 1g に対して 100mV の AC 電圧出力を生み出す。この AC 電圧出力は、振動周波数において周波数に変えられ、AC 信号の振幅は測定される振動の振幅に相当する。これが振動信号のスペクトルを構成するものとなる。

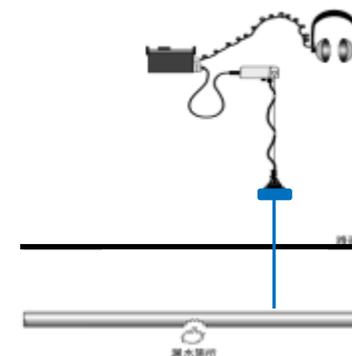
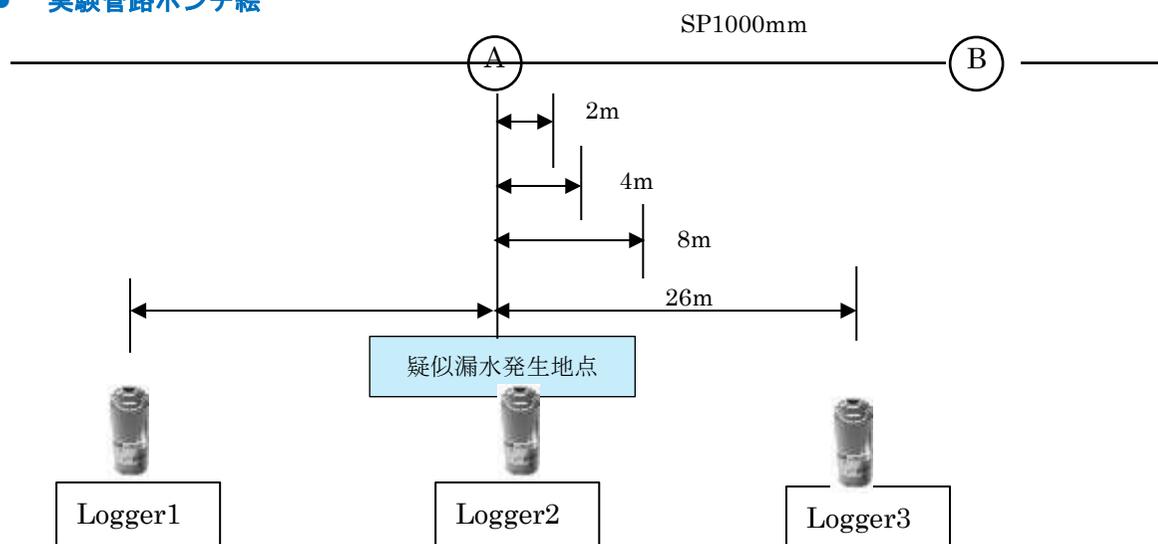
電子音聴機器は圧電素子をセンサーとしている。圧電効果とは、水晶や特定の種類のセラミックなどに圧力を加えることで生じるひずみに応じて、電圧が発生する現象をいう。NPC はメーカー名

4. 2Ltr/min、4Ltr/minの疑似漏水の周波数について

穿孔点振動伝搬多点相関式調査を行っている。多点式相関機器は非無線式であり、周波数分析が容易である。その時の2Ltr/min片側距離25m、4Ltr/min片側距離25mを参考に発生している周波数帯域について観察する。1000mmSPであるが、大口径の管路は非金属管と伝搬特性が相似しており、低周波数の音の解析が要点となるので参考に記載した。

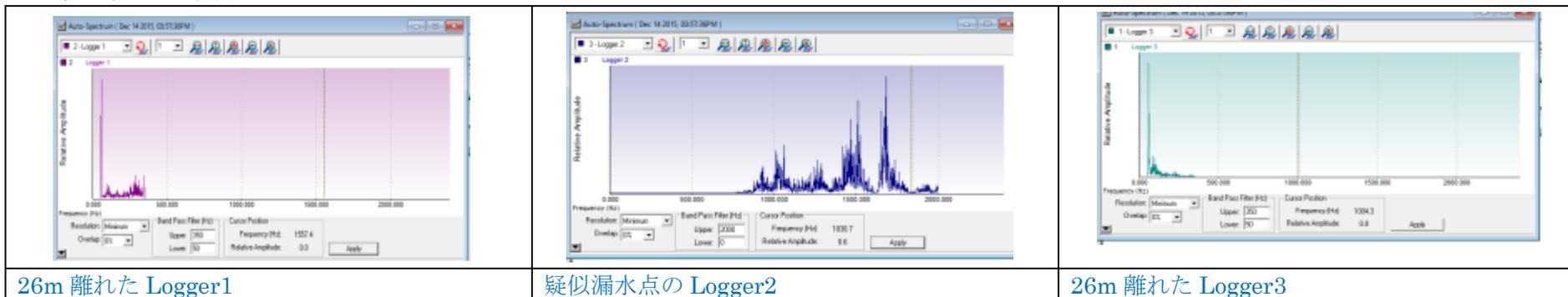
結果として1000mm SPの大口径管路は200Hz前後の周波数帯域の音源が接点に到達しやすいということが言える。汎用されているヘッドフォン式漏水探知器は100hzから1200Hzの帯域でフィルターを使用し漏水音を信号処理している。多点式相関機器(Soundsens)は1Hz~2750hzまでの周波数帯域で解析できる。

● 実験管路ポンチ絵



A点にて漏水疑似音を発生させ、B側に向かい穿孔し、2mピッチに鋼感振棒を挿入し26mまでの13測点にて探知を行った。疑似漏水量は2Ltr/min、4Ltr/minで試験している。

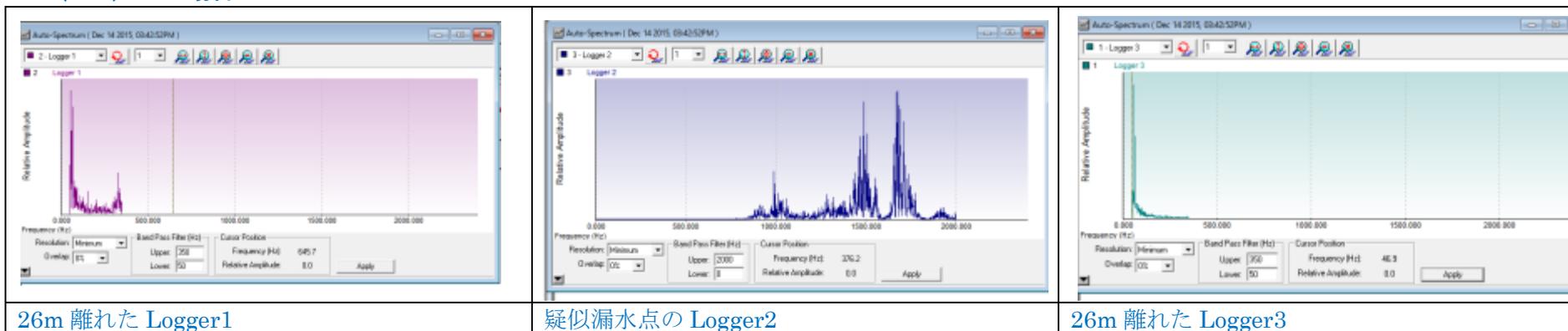
2Ltr/min, 26m の場合



2Ltr/min の疑似漏水の発生周波数帯域は 1000Hz から 2000Hz まで広範囲である。

しかし、26m 離れた Logger1、26m 離れた Logger3 ではその帯域は到達していない。かろうじて 100~200Hz 前後の周波数帯域が到達しやすいことは多点式相関周波数解析で確認されているので、この帯域の伝搬に留意して探知の方法を考慮すべきである。

4Ltr/min, 26m の場合



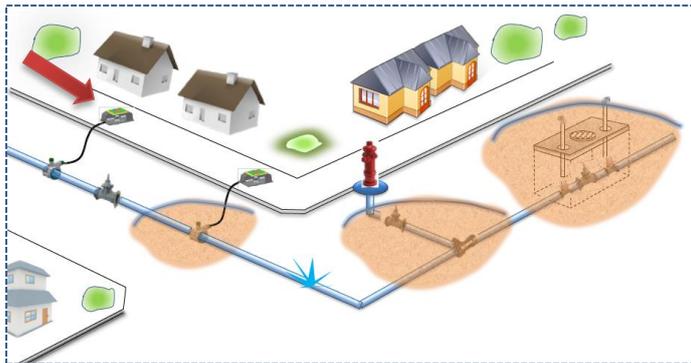
4Ltr/min の疑似漏水の発生周波数帯域も 1000Hz から 2000Hz まで広範囲である。

しかし、26m 離れた Logger1、26m 離れた Logger3 ではその帯域は到達していない。かろうじて 100~200Hz 前後の周波数帯域が到達しやすいことは多点式相関周波数解析で確認されているので、この帯域の伝搬に留意して探知の方法を考慮すべきである。

③ 電動ポンプ、手動テストポンプにより水圧を上昇させる。

流量計、水道メータ等により漏水の水量が分かる場合はどの程度の漏水が、どこの区間に存在するというのが分かっているならば、それに応じて方法を検討することができます。

しかし、それらの対象で水量・流量測定が容易かというとな難易な場合が多いと想定されます。このような場合は、新管の布設検査に使われる加圧テストポンプ(手動、電動)で漏水の存在量を推察することができます。印の水道メータを取り外して注水する。バルブを閉止できることが必要です。



電動ポンプ



手動水圧テストポンプ

漏水の存在量を計算する方法として、所定の圧力(例として 8bar)に管内圧力を上昇させ、その後密閉状態でどの程度圧力が減少するのかという数値から漏水量が計算できます。

方法としては、管材質のポアソン比、ヤング率などを参考に計算します。

計算例

以下のような検査対象管路があるとします。

- 管路データ

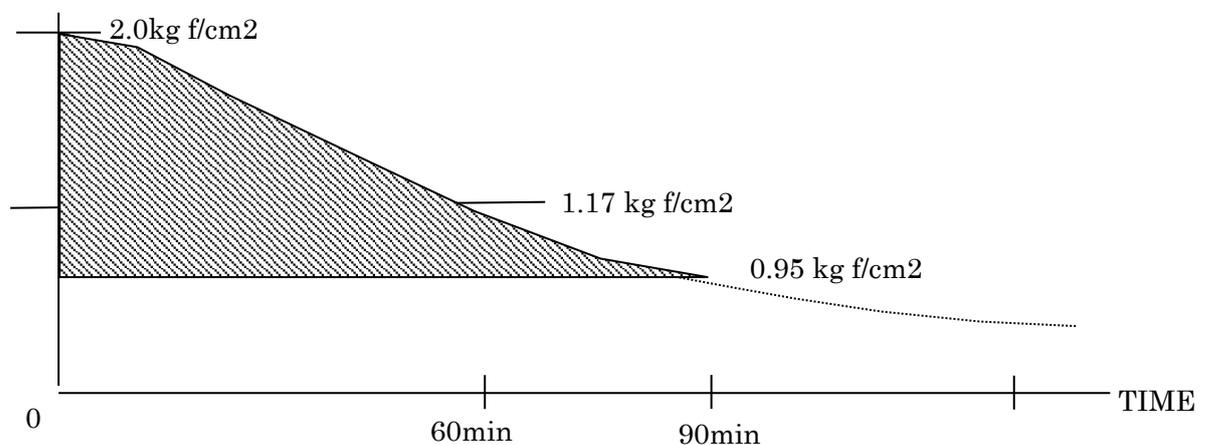
PVC Line1

口径 150mm

延長 323m

管内容積 5.7049m³

- 圧力低下状況



2.0Kgf/cm² の数値が 60min で 1.17 Kgf/cm² に低下する。90min で 0.95 Kgf/cm² に低下する。



の部分計算する。

- 漏水量

詳細の計算は省略しますが、 $V_n = 0.002524 \text{ m}^3$ と計算できますので、大略 $0.002524 \text{ m}^3 = 2.5\text{L}$ の漏水が 90min で起こったこととなります。

$2.5\text{L} \div 90 = 0.02\text{L}/\text{min}$ という漏水量にはなりませんのでご注意ください。

圧力の低下の曲線が書ければ、凡そのレイアウトは出来ると思いますが、このような微小漏水量の場合、音源探知法ではほぼ見つけることは困難です。このように漏水量の大小によって探知法を考慮することが重要です。

漏水があれば、それはどの程度なのか？ 流量計で測定できるほどの水量か？ 測定が困難であれば圧力の損失で水量を推察し不可避的漏水量の範囲であれば別な方策を考えればよいかと思えます。

- 圧力減少と漏水量の目安

	Diameter	Length	Vol(m ³)	Bar 0-8	
PVC	63	400m	1.25	4.50	Ltr
	100	400m	3.14	14.39	Ltr
	150	400m	7.07	40.46	Ltr
PE	63	400m	1.25	4.92	Ltr
	100	400m	3.14	15.74	Ltr
	150	400m	7.07	44.27	Ltr
DCIP	100	400m	3.14	0.13	Ltr
	150	400m	7.07	0.59	Ltr
	300	400m	28.3	3.68	Ltr

例えば PVC100mm、L=400m の管路では、8bar の圧力が 0 になるとすると、14.39L の漏水が起きていることとなります。

1 分で 8→0 になるのか、10 分で 8→0 になるのが要点ですが。前者であれば、8bar の圧力を継続して圧力付与すれば、14.39L/min の水量の漏水現象が継続されるので、探知は容易となるかと思えます。

- 流量計による漏水量の測定

メカニカルメータの場合は、時間を見ながら総体水量を測定すればよいわけですが、超音波流量計などを使用して漏水量を推し量る場合は、微小流速に留意する必要があります。

100mm の口径の管路で測定をした場合、

100mm	流速 0.01m/s	0.28m ³ /h ≒ 4.7L/min
100mm	流速 0.1 m/s	2.825 m ³ /h ≒ 47.0L/min
100mm	流速 0.5m/s	14.13 m ³ /h ≒ 235.5L/min

Qmnf(夜間最小流量)などで限定されたエリアを測定すると、管網の長さによるが 0.1 m/s の流速が出現する。メーカーの仕様にもよるが 0.3m/s 以下は要注意である。誤差が多く含まれる。

(4) 音源探知法以外の探知法の適合性

資料 C 「漏水探知の方法と分類」にも記載していますように、音源探査以外の方法として、幾つかの方法があります。音聴法、音源解析法はいずれも漏水音源をどのようにとらえるかということで

同じ技術の範疇にあると考えます。

途上国で、有用と考えられる方法としては、圧力測定法(加圧を含む)、ボーリング法、空気圧縮法がそれほどコストがかからず有効ではないかと思われます。

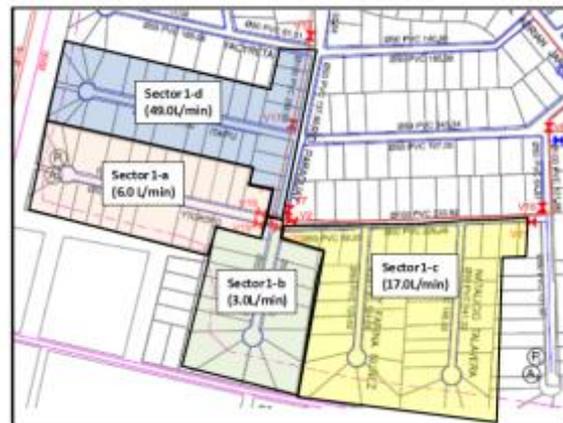
圧力測定法(加圧を含む)、ボーリング法は前項に述べていますので、空気圧縮法についての方法と留意点を記載します。

● 空気圧縮法

下の写真は、区間を設定(バルブで閉止できる)してエアーコンプレッサーで空気を注入して圧力を高めて、漏水から漏洩の音を発生させて探知している写真です。

空気は質量として $1\text{m}^3=1.25\text{kg}$ あるので、漏水音の発生を媒介として問題はありません。

大略、空気は漏水の 5~20 倍の空気量で洩れますので、漏水の探知も可能です。ただし、管内は風速 20~50m 以上になりますので、バルブの不完全閉止、異形の継手、屈曲部では台風の風切音のようなエッジ音が発生しますので、音がするから漏水とは限りません。



Air 注入口

コンプレッサー

右図のようにセクター化したのちにきちんと水理的に分離できるということが前提です。

以下は He Gas を注入して透過式の検知を行った事例です。同じ気体なので圧縮計算の方法として記載します。

- ・ 管内容積は約 600L と計算します。
- ・ 管内の排水を行います。
- ・ 注入点より Air を注入。100L/min で注入する。600L の容量なのだが不陸等もあるので 10~15 分すこしで排水できる。完全な排水とはなかなかならないので注意が必要。
- ・ 2.0kgf/cm²(200Kpa)で圧力をかけるとします。
- ・ 必要気体量は $600\text{L} \times (200\text{Kpa} + 101.3\text{Kpa}) \div 101.3\text{Kpa} \approx 1,784\text{L}$

1,784Lの気体量が必要。

- ・ 1,784L-600L=1,184LのHe気体を注入する必要がある。
- ・ 1,184LをすべてHe Gasで注入する。排水点で排出確認する。
- ・ $1,184/1784=66\%$ の濃度でHe gasを入れて検知を行う。

この後、ある程度の土壌透過時間を見計らって検知を行うわけですが、空気圧縮の場合は待機時間は必要ありません。

漏水(この場合は漏洩となります)があれば、気体が漏れるので所定の圧力に維持するように注入継続が必要。

また水と違って圧縮率が大きいので、バルブ操作等は注意しながら行う必要がある。

(5) 漏水探知法の検討

以上のように途上国では、音源探知法が方法論として最良な方法で、工夫をすればもう少し漏水探知の確度を向上させることができます。

新たな手法(透過式、画像計測・・・)を取り入れて効果を上げることもよいかとは思いますが、管網・管路の整備が不十分な場合が多く、新規の技術が効果発現できるとは限りません。

問い合わせのような条件下では、低周波の音源をどのように補足して探知確度をあげるかがポイントになりますが、日本でもそれらの捕捉は技術として、単体機器としてはありますが、システムとしては確立されていません。低周波を捉えれば難しい漏水の探知に結び付くことは分かっていますが、これも伝搬する、しているということが前提となり、今市場で使われている機器システムでも使い方により効果を押し上げることは可能かと思われま

- * 文中、各社調査工法はウェブサイトから引用しています。
また、イラスト等は桑折敬男著書より引用しています。

資料 B

漏水探知のボーリング確認調査について

日本では漏水の位置を特定することを名称として「確認調査」と言います。

漏水点から 30cm 以内に指摘しないとわゆるずれているとか、1m 離れている場合などは修理の開削に余分な手間と費用がかかるので外れとか言われます。

30cm 以内に漏水が間違いなくあるというのを確認するために、ボーリングして漏水の噴射の現象を人間が確認することを「確認調査」と言います。

また、メータでは漏水の現象が伺えるが、路面表層で漏水の音が検知できない場合などは配水管、給水管上を見当をつけて試験ボーリングします。

地下水があまりないようなときは、音聴棒を差し込み水濡れを手掛かりに探知していきます。

地下水が多い場合は漏水地点に水がプールされていて、漏水の音が発生しない(風呂の中でビニルホースで水を出しても音が出ない)ことが往々にしてあります。

手順 1

メータ、バルブで近傍に漏水があるかどうかの有無を調べます。



手順 2

相關式、漏水探知器などで漏水音のピークを探ります。



漏水探知器による探知(絞り込み)



漏水探知器による探知(絞り込み)

手順 3

漏水と思われる所をボーリングして音を聞いたり、水濡れを調べたりして漏水の位置をピンポイントで確認します。



ハンマードリルによるボーリング



ハンマードリルによるボーリング

手順 4

ハンマードリル(ドリルビットは 20mm、80cm が一般的)で穿孔した後、ボーリングバーと言うもので音聴棒を挿入しやすいように穿孔し、音の有無、音の響きなどを聞きます。

ハンマードリル、ボーリングバーを挿入するとき、水道管を傷つけないようにメータなどでドリルの振動が近くにあるかどうかを聞きながら注意して行います。

これは 2・3 年しないとできないテクニックですが、もし水道管を破損するようなことがあればそれはそれで漏水、水道管の位置を捕えているという逆説的な言い方もできます。



もし傷つけてしまったら、そこを試験開削として扱いそこから手掛かりを探していけば良いわけです。

漏水の音が全然聞き取れない場合は、分水栓、継手とおぼしきところを簡易ボーリング、試験開削してそれを接点として漏水発生範囲を狭めて絞るという手法が良いかと思えます。

CATEGORY 1
音聴法

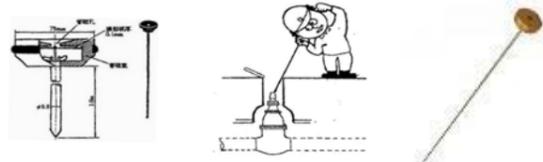
CATEGORY 2
音源解析法

CATEGORY 3
質量分析・物理探査法

CATEGORY 4
その他の方法

■ 音聴棒

構造が単純で故障が少なく安価な機器です。棒の先を音を聴く箇所へ密着し、耳を聴音室へ付け漏水音の有無を聞きます。



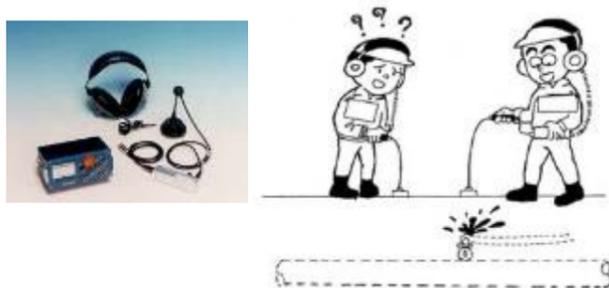
■ 電子式音聴棒

丸鋼棒を伝播してくる振動音を電氣的に増幅しているもので、聴音力の弱い人用といえます。



■ ヘッドフォン式漏水発見器

漏水音検出器(ピックアップ)+本体で構成され、検出器で漏水音を検出して電気信号に変えます。その電気信号を本体で大きく増幅します。増幅された音をヘッドフォンで聴き、更にメータ指針の強弱で表します。



■ 相関法(相関式漏水発見器)

漏水を挟む管路の2点に検出器(子機)を設置し、検出された漏水波形の相違を本体で観察します。相関波形の有無を確認し、配管モデル構成個数(配管数)・管路延長(実測値)・伝播速度・管種・口径等の管路データを入力し相関演算させます。漏水点を各点からの距離で画面上に表示します。



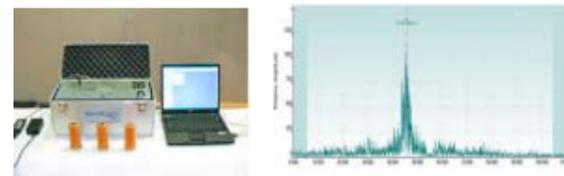
■ 音圧レベル計

消火栓・制水弁・メータ等にセンサ・ログを設置し測定時間内の音圧データを記憶します。そのデータを専用ソフトにて三次元解析し、異状音の検出された管路の選別や漏水の有無を判別します



■ 多点式相関法

非無線式のログ型相関式漏水発見器です。



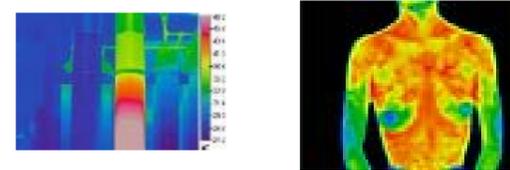
■ 時間積分式漏水発見器

漏水の特徴である連続音を時間で積分して漏水の有無を判別します



■ 熱源探査法

漏水の現象は浅層埋設の場合には地表面に、構造物では被覆の表面に温度変化をもたらすことが多いです。初期の降雪時にはよく見られる現象でサーモグラフィ、放射測定器等の熱源測定器で観測が可能です



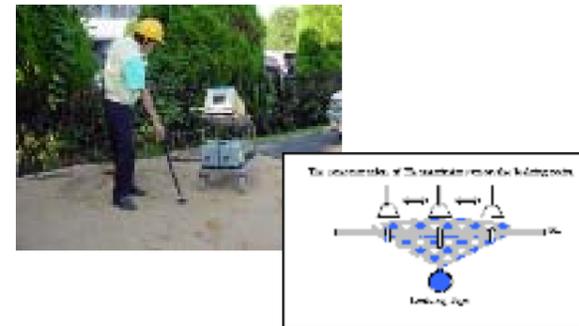
■ レーダー法

電磁波をアンテナから地中に向けて放射し土と電氣的に異なる物質(埋設管、空洞、地下水)等の情報をもとに地中の概要を探査し、埋設管の位置、深度あるいは漏水による地中の空洞化等を調べるものです。



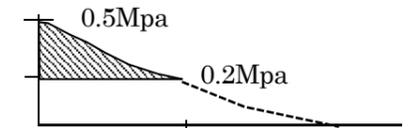
■ 透過式漏水・漏洩探知法

管路内に希ガスを注入し漏洩劣化口から地表に到達するガスを検知する方法です。工業用水素ガスを使う方法もあります。



■ 圧力測定法

計測する水道管の区間をバルブで閉止します。漏水が無ければ圧力は下がりますが、漏水がある場合圧力が下がります。圧力の下がりの度合いを測定し、漏水の量を計算します。



■ ボーリング方法

探知機器で漏水を捕捉してもそこが漏水地点とは限りません。この方法はピンポイントで漏水の位置を特定し、修理の負担を軽減します



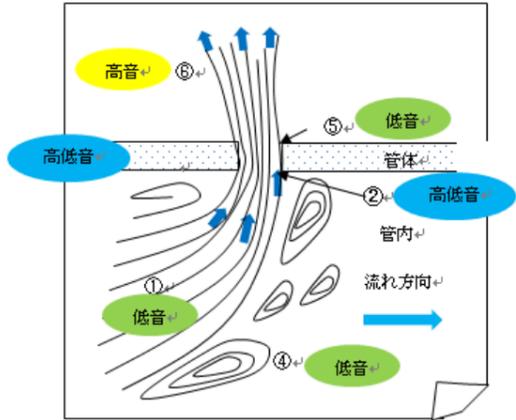
■ 空気圧縮工法

水圧の低い場合、漏水量が少ない場合、漏水の音が発生しにくい場合、コンプレッサーで空気を圧縮して空気漏れの現象を起こして漏洩探知をします。



CATEGORY 1
漏水の音の発生

- 損傷部付近の漏水音の発生
- ①④→管の内部の渦による低い漏水音
- ② → 損傷部の先端部によるエッジ音
- ③ → 内部では、噴出水流の付着・離脱による縮流現象音、高い音と低い音のコアンダ音が発生
- ⑥ → 損傷部のエッジ部から土中の空洞部へ噴出する音は、水と空気が混入し非常に高い音、気中噴流音が発生
- ⑤ → 損傷部のエッジ部から土中の水中部に噴出する音は、空洞部と比較し低い音が発生する。



CATEGORY 2
漏水の音の変化について

- 時間が経過しても変化はしない
- 漏水音が変わる理由は、管内部の水圧が、水道使用によって管内水圧によって変わるので結果として時間と共に変化する場合もあります。



- 漏水の損傷口の大きさ、噴出の流速で変化する
- 漏水音は損傷口の流速が大きい程、高い音を発生し、流速が小さい程、低い音が多く発生します

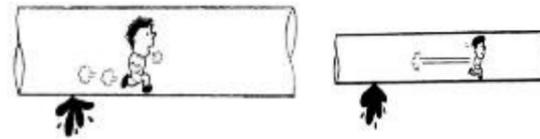


CATEGORY 3
漏水の音の伝搬について

- 漏水音の伝わる位置
- 管内水中を「約 1,400m/秒前後」の速度で伝わり、土中では砂質土の場合は「約 250~700 m/秒」、ロームの場合は「約 1,000~2,000 m/秒」の速度で伝わっています。



- 配水管と給水管路の伝わり方は違う
- 配水管(管厚が口径に比し薄い管種=鋳鉄管)の時は、次のアリエビ式(ウォーターハンマの圧力の伝わる速度の式)が用いられます。



CATEGORY 4
漏水の音の周波数

- 漏水音の近い音、遠い音
- 漏水音が長い距離を伝わる時、漏水音の高い音は減衰が大きく途中で無くなります。反対に低い音ほど減衰が小さいため、遠くまで伝わっていきます。低い漏水音を聞いたときは、状況によりますが一般に漏水箇所は音を聞いた所より遠いと考えます。



- 金属管、非金属管路の音の伝わり方
- 非金属管は金属管と比較して伝わる速度が遅く、距離も短くなります。理由は、弾性係数の違いによるものです。



- 漏水音は、周囲の状況で変化する
- 漏水音の強さは水圧が低いほど小さく、反対に水圧が上昇するほど大きくなります。圧力がある程度以上になると飽和状態になります。



管種	口径(mm)	速度(m/sec)
DCIP T	100	1,340
DCIP A	100	1,330
DCIP S	100	1,320
SUS	20	1,300
Copper Pipe	100	1,290
Lead Pipe	13	1,130
ACP	100	1,110
PVC	13	640

漏水音と伝搬特性		
距離	長い距離	短い距離
口径	小口径のもの	大口径のもの
材質	鋳鉄管・鋼管 石綿セメント管・鉛管・ステンレス管	ポリエチレン管 ビニル管
経年	新しい管 (スケール、腐食のないもの)	古い管 (スケール、腐食の多いもの)
漏水音	低音(低周波帯)	高音(高周波帯)

CATEGORY 1 水中相関法、多点式相関法

■ 水中相関法

漏水の音の大半は、水中を伝搬する。また水中の伝播速度は 1,400m/sec と高い値で、伝搬距離も長い。
この性質を利用して、配水管の漏水探知する技術です。



水中センサ:イギリス製

消火栓が多く配備されていれば、効果的な探知が可能です。この設備を利用して 2 点相関を行います。
センサは Hydrophone sensor を使用します。

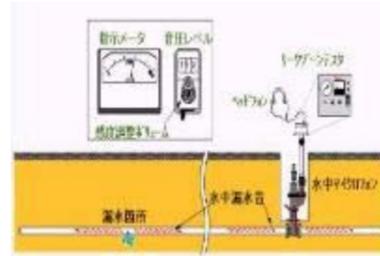


国内での水中漏水伝搬音探知, 水中センサ

CATEGORY 2、Leak Zone 工法、低周波探知工法

■ Leak Zone 工法

Leak Zone 工法は地下式消火栓に水中センサを取り付け、消火栓の付近に漏水があるかないかを調べる工法です。
金属管、非金属管と管種を選ばない工法です。漏水の音は管の外壁を伝搬する音より水中を伝搬する音が強いという性質を利用します。



水中相関と原理は似ていますが、水中マイクロフォンを使用して調査します。この機器を利用して水中を伝搬する漏水音を捕捉する。漏水らしき音がある路線を選定対象管路として調査します。

■ 低周波工法

漏水の音は 100Hz から 4000Hz の間の周波数とされています。
PVC, PE 管は低周波帯域の漏水音が多く発生します。
100Hz 以下の周波数も含まれています。
この工法は、低周波数の捕捉に重点を置いて専用の機器で行うものです。



100Hz フィルター付き探知器



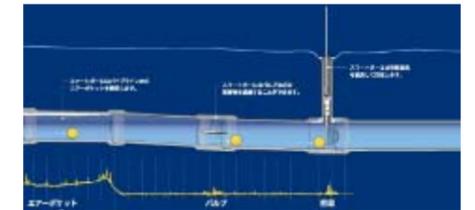
0-5000Hz の漏水探知器



CATEGORY 3 Smart ball 工法、Helium Gas 工法

■ スマートボール工法

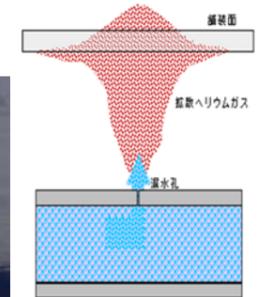
スマートボール工法は、直径 66mm のアルミ合金のコアとそれを取り巻くスポンジ状の外周の 2 つの主要部分で構成されています。
コアの内部には、音響センサー、磁気センサー、温度計、加速度計などの精密機器と収集したデータを記録する記録装置、管内でのボールの位置を伝えるためのパルス信号発信装置や 12 時間駆動のバッテリーを内蔵しています。



- ・対象は圧力管で管内圧力 0.1Mpa-2.0Mpa です。
- ・スマートボールを管内に挿入、管内から取り出すのに 100mm 以上の口径の空気弁などがあること。
- ・管内での流速 0.15m/秒-2.0m/秒であること。

■ トレーサ式漏水調査(透過式漏水・漏洩探知工法)

トレーサ式漏水調査は、管内にヘリウムガスを注入し、トレーサ式漏水発見装置により検出されたヘリウムの濃度を測定する質量分析技術を用いた方法です。騒音の影響を受けることなく微量な漏水を的確に探知します。深深度の埋設管の漏水探知、路面音聴工法が困難な場所の探知にも適しています。



4. 漏水量と探知法の適用範囲

分類	工法名称	使用機器名称	検知の接点範囲	捕捉距離	捕捉範囲概算水量 L/min					
					0.01	0.1	1	5	10	20
質量分析	ヘリウム透過式検査法	ヘリウム検知器	検知媒介 He Gas	NA	○	○	○	○	○	○
音聴法	栓弁音聴方式	音聴棒	管体伝播音	5m-100m		△	○	○	○	○
	路面音聴方式	漏水探知器	管体・土壌伝播音	NA			○	○	○	○
音源解析法	音圧調査	音圧レベル計	管体・水中伝播音	0m-100m			○	○	○	○
	音圧調査		漏水水中伝播音	0m-200m		△	○	○	○	○
	相関式調査	相関式漏水発見装置	管体・水中伝播音	0m-100m				○	○	○
			漏水水中伝播音	0m-200m		△	○	○	○	○
	多点相関式調査	多点相関式漏水発見器	管体・水中伝播音	0m-250m			△	○	○	○
	時間積分式調査	時間積分式漏水検出器	管体・水中伝播音	0m-20m			△	○	○	○
画像解析	画像計測探査技術	電磁波式漏水探査器	電磁反射対象物の速度	NA				△	○	○
		地中レーダー	土壌の状態	NA					△	○
流量差異	夜間最小流量法	電磁流量計	流量の範囲	NA			△	○	○	○
	水道空き時間流量法	超音波流量計	流量の範囲	NA			△	○	○	○
圧力差異	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

○印 Good
△印 Better

PVC 管、PE 管の場合、音聴法、音源解析法については表に示した距離より短くなる。また伝搬の距離も関係する。