

透明吸管による可視化の効果及び教育ツールとしての展開

京都市消防局（京都府） 西野 博史
寺島 徹
三科 憂

1 はじめに

消防ポンプを現場活動で運用する際、機関員に最大の心理圧力を強いるのは吸水操作、中でも防火水槽や河川等の自然水利からの吸水である。これは、低所の水を高所から吸い上げるという不確実性を伴う操作の中、早期に放水可能な状態に持っていかなければならないという時間的な強迫感や、揚水できなければ自隊の活動が根底から崩壊することへの恐怖などによる。特に高落差の吸水やエゼクタ操作等の不安感は、熟練した職員であっても極めて大きい。

ここで、現行の吸管は不透明なので、吸水の進行状況や不具合を直接確認することができない。また不測の事態が発生した際に、吸管内の状況を直接視認して対応することもできない。つまり吸水ラインに関して機関員は、常に確信を持ちにくい状況に置かれている。そこで機関員は、吸水・落水状況や車両形状による空気溜まりの動きなど、吸管内で起こっている現象を読む感覚を磨いて技術とし、時間をかけて次代に伝承してきた。

しかし現在、人的環境等の理由により、こうした教育は困難になってきている。また昨今、消防機械はオートマチック化が進み、吸水操作においても簡易化されたが、逆に不測の事態が発生した場合の対応を学ぶ機会が減り、応用的な対応ができなくなるなどの危惧がある。さらに近年、大規模地震等の発生が危惧される中、より条件の悪い吸水操作が要求されると考えられるが、経験の浅い機関員や経験の不足しがちな消防団員の存在を考えれば、吸水に伴う不安を解消し、彼らに自信を与える手立てが必要であると考えられる。

「見えない」ことが不安の大きな要因であるとするれば、端的にこれを解決するのは「透明化」であろう。そこで本研究では、透明吸管を試作して実証

実験を行い、透明化のメリットを明確にし、それに基づき、教育ツールへの展開について論じる。

2 「見えない」ことによる吸水操作の困難性と心理状況について

(1) 放水と吸水の違い

放口から先の障害については、ホースの張り具合を目で見て手で触ることで圧力の状況は確認でき、また、ホースの曲折やホースバス等、障害要因を直接見ることができるため、それに基づき的確に対応できる。

一方吸水操作では、計器類によってある程度の推測はできるものの、本当に必要な情報は、吸管内の水、空気等の状況とその動態である。しかし現行の吸管は不透明であり、また高い負圧に耐える構造でもあるため、障害要因を直接見ることにも触って確認することもできない（わずかに、吸管の重みによって充水状況を知ることができる程度）。したがって操作や不測の事態への対応は、「手探り」的なものとならざるを得ない。

(2) 心理状況と吸管内の可視化効果について

「はじめに」に述べたとおり、吸水時における機関員の心理圧力は大きい。不測の事態が発生した場合、障害要因が「見えない」ことで自身の対処操作への疑心暗鬼が生じれば、急速に心的余裕をなくし、誤った対応が次の誤りを生む悪循環に陥ることも、多くの機関員が経験済みである。しかし吸管内が可視化できれば障害要因も究明しやすくなり、この心理圧力を大きく軽減できると考えられる。また従来、機関員教育は、教本を活用しつつ、手取り足取りの濃密な伝承によって行っていたが、計器等とともに吸管内の現象を直接見せ、「これ」と指し示しながら行えないため時間を要し、「歯がゆい」ところがあった。

こうしたことから、吸管内の水・空気等の動的な状況を視認しながら行う訓練は、機関員教育の質的な向上に抜本的な効果があると期待される。

以上のことから、透明化した吸管を製作することとした。

3 透明吸管の試作（図1・図2参照）

使用した材料は、次のとおりである。

- (1) クラレプラスチック 全透明サクシヨン用ホース（口径75mm、長さ10m）……軟質PVC（ポリ塩化ビニル）で構成されており、その外周には硬質PVCが螺旋状に巻かれているため、柔軟性と強度（耐負圧性、曲げ強度等）が両立している。
- (2) ネジ式結合金具（受け金具及び差し金具）
- (3) ステンレス製ホースバンド（2個）
- (4) ストレーナー
- (5) エポキシ系軟質塩ビ用接着剤

4 実験の目的、設定及び結果

透明吸管の効果を検証するため、高落差吸水、エゼクタ操作、サイホン現象（エアポケットの発生）及びキャビテーションの4項目の実験を行った。実験の目的、設定及び結果を、別表及び図3～図6に示す。

なお、キャビテーションの実験は、ポンプ（インペラー）の壊食～破壊現象を引き起こす現象の要因（高負圧による沸騰泡の発生）を疑似的ではあるが透明吸管内で発生させ、発生条件等の理解を深めるために行ったものである。

5 考察

詳細な結果は別表に示したが、ここでは、4つの実験項目の全てに共通する結果（透明吸管を用いた際のメリット）について述べる。

まず、吸水に係る諸操作と、実際に吸管内における水・空気・沸騰泡等の挙動とを同時に見比べながら行えるため、操作の「手加減」が的確に習得できる。次いで、障害を起こさない操作や障害が発生した時の対処方法を、これも吸管内の水・空気等の現在の挙動と自身の行う対処操作とを見比べながら、的確に習得できる。

また、例えば吸管内には何の異常もないことが「見える」にもかかわらず水が上がってこない、あるいはいつまでも筒先から空気が出るならば、各部の締め付け不良、パッキン・Oリングの損傷などの不具合を疑うことができ、機械的な障害原因の発見にも役立てることができる。

2に述べたとおり、従来、吸水に係る教育・訓練は、いかに実操作を伴う教育をしても、結局は「見えない」ため、確信を与えにくかった。しかし透明吸管では、自信を伴った学びとなるため、経験の浅い機関員や消防団員により確実な技術を定着させることになると考えられる。さらにこの研究を通じた筆者の実感として、熟練者の能力向上にも寄与することを付記しておく。

なお、実験を通じた予察として、透明吸管によって観察・検証できることは、さらに広範にわたることが分かった(別表の実験結果欄に「今後の課題」として記載)。今後、追加実験を行い、知見を積み上げる必要がある。

6 教育ツールへの展開

透明吸管を実災害現場で使用するの理想的であることは間違いないが、対候性・耐摩耗性等に関しては現行の吸管に劣ることが予想されるため、採用するためには大きなハードルがある。

しかし一方で、吸管内の状況を視認しながら行う教育を行えば、障害を起こさない操作、障害が発生した時の的確な対処方法を習得させることが可能であると考えられる。以下に、教育を想定し、可視化によって具体的に教育できることのうち、代表的な事項を列挙する。

(1) 高落差吸水

- ・ 揚水中の吸管内の水の速度の理解（意外に速いこと。逆に言えば、吸水限界落差以内であるにもかかわらず、標準的な時間内に吸水が完了しないならば、漏気など、別の要因を疑う必要があること。）
- ・ 吸水限界に達した際に発生する現象（揚水の停止→沸騰泡の発生）の視覚的理解及び発生条件についての理解

(2) エゼクタ操作

- ・ エゼクタバルブの操作加減の修得
- ・ 1本目の吸管内の負圧条件によって、エゼクタ操作の完了時間が大きく異なる（揚水までの時間が大きく異なる）ことの視覚的理解

(3) サイホン現象（エアーポケットの発生）

- ・ エアーポケットの形状の視覚的な理解

- ・ エアーポケットの体積が屈曲部の曲率により異なること（図5-3）、またその体積は曲率の緩い方が大きくなることの視覚的理解
- ・ 吸水・放水によりエアーポケット部を越流する水の動き、エアーポケットの動く様子や解消される様子の視覚的理解

(4) 高負圧による沸騰泡の発生

- ・ 発生する泡が空気ではなく、圧力低下により発生する水蒸気泡であることへの理解
- ・ ポンプの損壊を招くキャビテーション現象の発生条件・要因の理解
- ・ 高負圧による沸騰泡が発生した時、同時に各計器の状況（示度やその動き、正常時との差異等）を観察することによって、吸水量が足りないにもかかわらず放水量を増大させようとするなどの発生条件の理解
- ・ その時に生じる沸騰泡の挙動の視覚的理解
- ・ 沸騰泡の発生場所の観察から、負圧が強くなる箇所とその理由の理解
実災害現場用として採用できないとしても、教育・訓練の際に一度でも吸管内の諸現象、とりわけその動的な挙動を観察し、それと自分の行っている操作との関係を掴んでおけば、現場で現行の吸管（不透明）を使用しているときでも、起こっていることの想像が可能になり的確な対応ができるようになると考えられる。教育ツールとしての価値は極めて高いといえる。

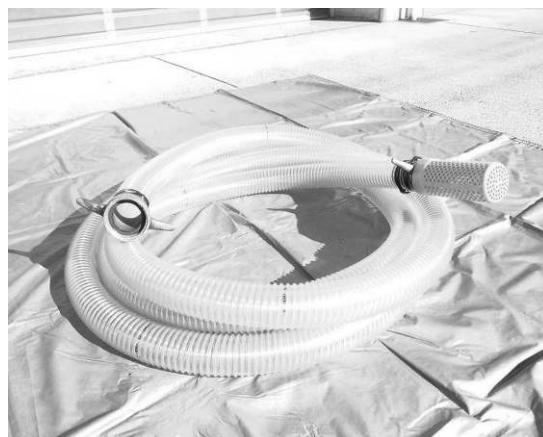
7 おわりに

吸水操作時の不安感の多くは、「吸水中の様子や不具合要因が直接見えない」ことによるが、これまでは直接の解消方法がなかった。また同じ理由で、不測事態への対処についても、的確性への不安があった。透明吸管はこれらの問題を取り除き、諸現象への深く正確な理解、そして的確な対処を可能とする。耐候性等の問題から、そのまま実災害現場で使用することはできないが、教育・訓練に活用すれば、教育後、不透明の吸管を使用しているときでも、吸管内で起こっていることを理解しながらの操作が可能となるので、実災害現場における確実性の向上に大きく寄与する。そして、「見えないことによる不安」が転じて得られた自信は機関員にとって大きな無形財産となる。

こうしたことから、透明吸管は全国の消防学校等における教育現場（消防団員教育も含む）での活用と発展が期待されるが、そのためにも、今後、本研究を基礎として具体的な教育プログラムの開発を行う予定である。その過程では、さらに様々な実験観察を行うことによって、吸水時に生じる諸現象の理解を具体化・深化させ、全国の機関員の技術向上に寄与したいと考えている。



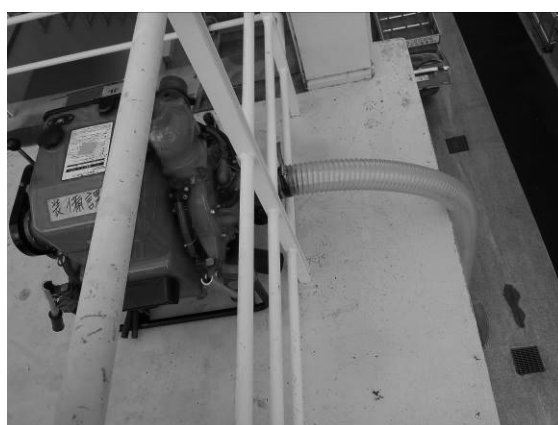
(図 1) 使用した材料



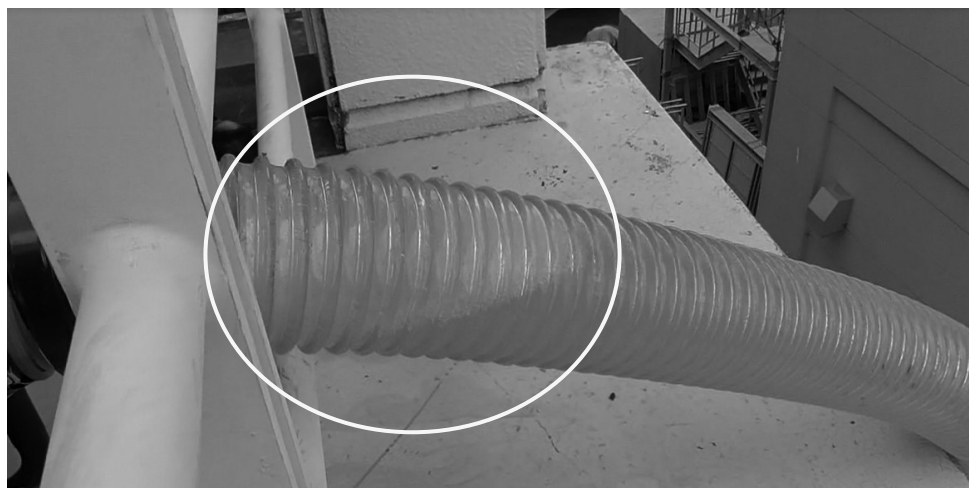
(図 2) 作製した透明吸管



(図 3 - 1) 高落差のある吸水
落差は約9メートル



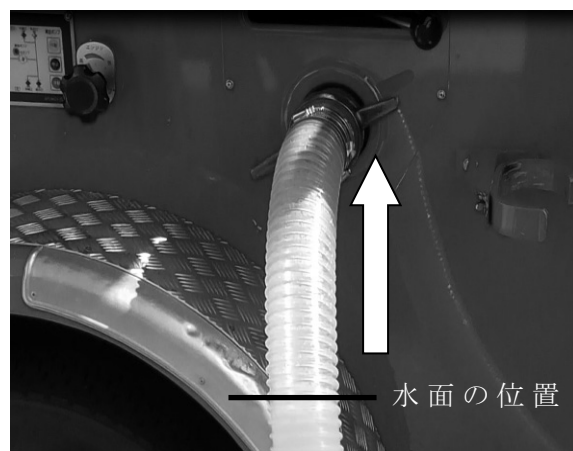
(図 3 - 2) ポンプ側の状況
ポンプはB-3級



(図 3 - 3) 吸水しきれず、吸管内で沸騰泡が発生している様子



(図4-1) 吸管1本吸水で放水中、エゼクタ操作により2本目の吸管(手前側の透明吸管)から吸水



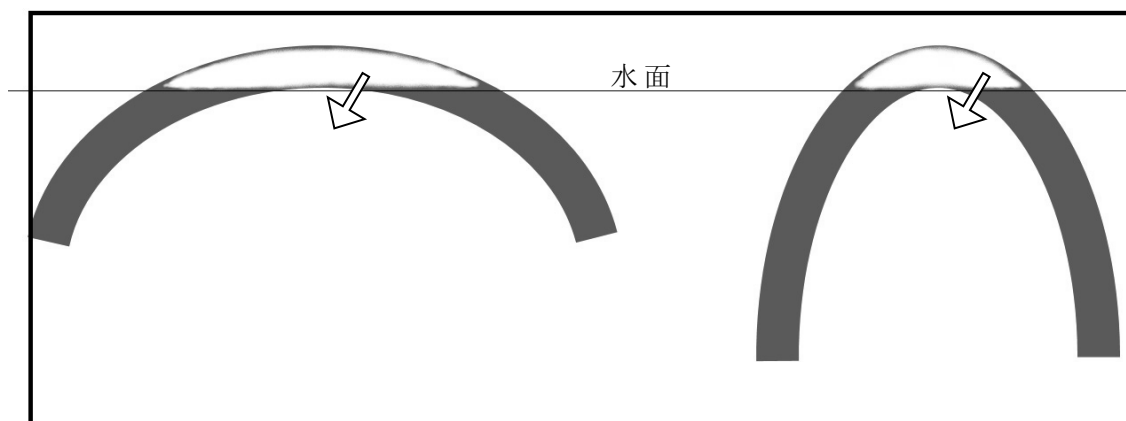
(図4-2) 2本目の吸管から水が上がってきた様子



(図5-1) エアポケットを再現



(図5-2) エアポケットが発生

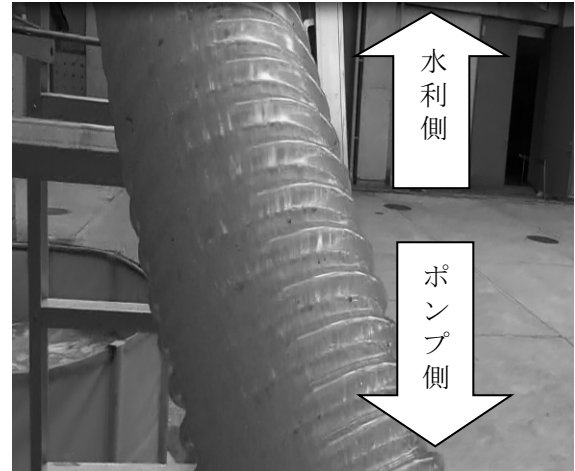


(図5-3) 曲率によるエアポケット体積の違いを示したもの。

曲率の緩い方(左側)が、体積は大きくなる。矢印は、水が越流する部分を示したもの(別表(その2)に詳述)。



(図 6 - 1) 沸騰泡を発生させるため、
ストレーナーに袋を被せた様子



(図 6 - 2) 吸管内に沸騰泡が発生して
いる様子



(図 6 - 3) 沸騰泡発生時の計器類の指針。

A-2 級ポンプでは、エンジン回転が毎分 2 2 0 0 回転のとき、毎分約 2 0 0 0 リットルの吐出力を有するが、流路に抵抗を設けた(図 6 - 1 参照) ため高負圧環境となり沸騰泡が発生、実放水量はそれ以下(毎分 2 0 0 ~ 3 0 0 リットル) しか出せない。

落差がほとんどない条件にもかかわらず、連成計の示度がここまで低いことは、その状況を示している。またこのような高負圧の状況下では、ポンプのインペラー部分でもキャビテーションが発生している可能性がある。

別表 実験の目的、設定及び結果（その1）

実験項目	現行の吸管における問題点（◎） 及び実験目的（●）	実験の設定	実験結果 （透明吸管の効果等）
<p>高落差吸水 （図3-1～ 図3-3参照）</p>	<p>◎ 揚水中の状況、特に水がどのよう にどこまで上がってきているか、を 直接確認する（視認する）ことがで きない。</p> <p>● 吸水限界落差付近において生じ る現象を観察する。</p> <p>● 吸水の速さ（水の上がる様子）を 観察する。</p>	<p>GLから約9mの高さ に小型動力ポンプ（B3 級）を据え付け、GLに簡 易水槽を設置し、透明吸管 を投入して吸水操作を実 施する。</p> <p>なお、ポンプは、予備実 験の結果に基づき、吸水限 界落差をわずかに超える 高さに据え付けた。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ポンプの据え付け高さ付近までは揚水できた（熟練者から見て、意 外に速いと感じられた）が、吸水限界落差に達したとき、水の上昇が 止まり、沸騰泡が発生した（図3-3）。 吸管内の水は、吸水開始から吸水限界落差の位置に水面が来るまで 速度低下は認められず、同速度で上がるように観察された。 この実験条件であれば、限界落差に達するまでの時間は約13.5秒 （2回の平均）であった。ポンプ性能にもよるが、標準的な時間を大幅 に超えても吸水が完了しないならば、漏気等、他の要因を疑うべき。 [今後の課題] 揚水中の水の速度の、落差による違いの観察と測定
<p>エゼクタ操作 （図4-1～ 図4-2参照）</p>	<p>◎ グラスボールに水が入ってくる までは揚水状況を直接見ることが できず、計器及びポンプの音で判断 するしかなかった（グラスボールで は、最終段階しか分らない）。しか し、まず知りたいのは、操作開始時、 2本目の吸管から順調に水が上が ってきているかどうかである。</p> <p>● 操作の最初の段階から完了まで の揚水状況を観察する。</p>	<p>ポンプ車積載の吸管（現 行の不透明タイプ）1本で 吸水し、放水時、吸水量が 不足したとの想定で、透明 吸管を投入し、エゼクタ・ バルブの操作を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> エゼクタ・バルブの開放及びその加減と、揚水の状況が連動している 様子を直接視認することができ、「操作加減」を直接的につかみ、体 得することができた。 特に、心理的な恐怖感の大きい初期段階における注意点を確認する ことができた。 放水量や吸水負圧の状況により、エゼクタ操作による揚水速度が異 なることが確認できた（吸水量が不足していない状況では、1本目の 吸管内の負圧が大きくないため、エゼクタ操作による揚水がなかな か完了しないことが確認できた）。

別表 実験の目的、設定及び結果（その2）

実験項目	現行の吸管における問題点（◎） 及び実験目的（●）	実験の設定	実験結果 （透明吸管の効果等）
<p>サイホン現象（エア 一ポケット（A P） の発生） （図5-1～ 図5-3参照）</p>	<p>◎ 放水中にA P部の空気が一気にポンプ室に入り、その体積が大きいと放水や揚水に支障を生じさせることがあるが、現行の吸管ではA Pの有無や体積、その動きを確認することはできない。</p> <p>なお、これらは、ハイドリック、揚水ランプ等では確認できない。</p> <p>● 吸管に高さ方向の曲折を設けてA Pが発生した時、放水の状況によって、A Pや水がどのような挙動を示すのか、などを観察する。</p> <p>● 曲折の曲率等によってA Pの体積が異なる様子を確認する。</p>	<p>脚立を使用し、透明吸管にサイホン高さ（約2 m）を設けて吸水操作を実施し、A Pを発生させた後、放水し、A P及びその部分の水の動きを確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ハイドリック、揚水ランプ等ではA Pの有無や体積、その動きの状況を確認できないが、透明吸管であれば視認できる。 ・ 曲率の大小により、A Pの体積が異なる（緩い曲線をなしているときの方がA Pの体積は大きく、悪影響の原因となりやすい）ことが端的に理解できる（図5-3）。 ・ A Pを発生させた後、放水量が多いとき（吸管内の流量大）はA Pが解消されるが、少ないときは、吸管曲折部の底面部（図5-3に矢印で示した部分）を水が越流し、気泡状のA P空気が徐々にポンプ方向に移動する様子が観察できる（A Pの体積や曲率、ポンプ回転によって、その様子は異なる）。 <p>[今後の課題]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 曲率が緩いときは、吸水や放水に伴って一気にA Pが解消されやすいと考えられる。一方、A Pの体積は、曲率が緩いほうが大きい。この2項目は対立する項目であり、様々な条件を設定して実験し、知見を積み上げる必要がある。 ・ 放水量を急激に増加させるなどの操作によってA Pが一気に解消され、ポンプ室に突入したとき、その体積が大きければポンプ室のほとんどが空気で満たされて、放水・揚水に影響を及ぼす可能性があるが、様々な条件を設定して実験し、知見を積み上げる必要がある。 ・ 複数のA Pを作り出した実験も行う必要がある。

別表 実験の目的、設定及び結果（その3）

実験項目	現行の吸管における問題点（◎） 及び実験目的（●）	実験の設定	実験結果 (透明吸管の効果等)
<p>キヤビテーション (高負圧による沸騰泡の発生) (図6-1～ 図6-3参照)</p>	<p>◎ 計器や振動によってある程度は発生を疑うことができるが、直接は確認できず、どこでどのように発生しているかは分からない。</p> <p>● ポンプ（インペラー）で発生し、壊食～破壊を引き起こす現象の発生要因を、吸管内で観察する。</p> <p>● 何らかの原因で吸管内が強い負圧条件（そのときの飽和水蒸気圧以下）となったことによる沸騰泡の発生やその挙動を視覚的に確認し、振動などの状況も確認する。</p>	<p>ストレーナーの一部に流水抵抗となるものを設け(図6-1)、1線吸水で放水を実施し、透明吸管内に強い負圧を発生させる。(高落差吸水等でも発生させることができるが、この実験は、流路上の抵抗によって、沸騰泡を発生させる)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 今まで職員の誰も見たことがない沸騰泡の発生と挙動を見ることができた。それにより、ポンプ（インペラー）で発生するキヤビテーション現象の理解も深めることができた。 吸水量が頭打ちになる原因を視覚的に理解することができた。 放水量を絞ることにより、沸騰泡が消泡する様子を観察できた。 この実験条件（吸管内で発生する沸騰泡）では、振動を感知することはできなかつた。 沸騰泡が発生した時に、計器の状況と泡の状況を同時に観察し、その関係性をつかむことができた（図6-3参照）。