

プール吸込事故に対して安全な渦室付排水管の研究開発

－流れ状態の変化に伴う吸引力の動的応答性の解析－

吉富秀樹* 田中秀和** 井上和宏**

Research and Development of a Safety Drainpipe with Vortex Chamber free from the Danger of getting caught in Pool Drain

- Analysis of the Dynamic Response of Suction Force caused by Change of Flow -

Hideki YOSHITOMI, Hidekazu TANAKA, Kazuhiro INOUE

In this study, a new drainpipe with vortex chamber was developed in order to free from the danger of getting caught in drain of swimming pool. The new drainpipe can control the suction force with the working of vortex flow. This paper deals with the dynamic response of suction force caused by the change of flow. At first, the dynamic responses are experimentally investigated by using small size drainpipe. Then a technical method based on the analogy between fluid-system and electric-circuit is described to predict the response of large drainpipe for practical use.

Key Words : Swimming Pool, Drain Pipe, Vortex Chamber, Suction Force, Dynamic Response

1. はじめに

近年、健康維持のための生涯スポーツとして水泳や水中ウォーキングが注目されており、各地に温水プールが設置され、幼児から高齢者や障害者まで多くの人が水中での運動を楽しんでいる。一方、プール水循環用の排水口へ遊泳者が吸い込まれる事故の可能性が指摘されており⁽¹⁾、最近においても女兒が流水プールの排水口に吸い込まれるという重大事故が発生した⁽²⁾。このような吸い込み事故は、何らかの人的ミスによって格子状の排水口カバーが外れることによって起こる。また、格子状の排水口カバーが付いていた状況においても、男児が排水口に張り付き動けなくなるという事故も発生している⁽³⁾。著者らは、このような排水口事故の危険性を以前より指摘し、万一排水口カバーが外れた場合でも、吸い込まれたり吸着されたりすることのない安全な排水管を提案している⁽⁴⁾。この排水管は、主要な構成要素として渦室を有していることから渦室付排水管と称している。また、この渦室付排水管は、流体素子の一種である渦型流体素子⁽⁵⁾の特性を応用したも

ので、機械的あるいは電氣的な可動部をいっさい持たず、流体自身の流れで吸引力を制御できることが特徴である。

これまでの研究において、提案する渦室付排水管の吸引力低減機能を実証するとともに⁽⁴⁾、形状パラメータが特性に及ぼす影響を明らかにして形状最適化を図り⁽⁶⁾、渦室付排水管内流れの理論モデルに基づく特性予測法を開発した⁽⁷⁾。本報では、渦室付排水管に吸着された時に、流れ状態が変化し、吸引力が弱まるまでの動的応答性について解析する。まず、渦室付排水管の小型モデルを用いて実験的に応答を計測する。そして、実験から得られた応答特性を解析し、流体システムと電気回路との数学的モデリングに関する相似性⁽⁸⁾から、寸法の大きい実機サイズ渦室付排水管の応答を推定する。また、応答時間と渦室充填時間との相関性の面からも実機サイズ渦室付排水管の応答時間の推定を試みる。

2. 渦室付排水管の特徴と吸引力の動的応答性の概念

2. 1 渦室付排水管の特徴

まず、従来から一般的に用いられている排水管の概念図を Fig.1(a)に示す。通常は、このように1本の排水管で水を吸引している。このため、プール底面の排水口に遊泳者が吸着されると、循環ポンプの吸

原稿受付 平成18年8月31日

* 機械工学科

** 専攻科 機械・制御システム工学専攻

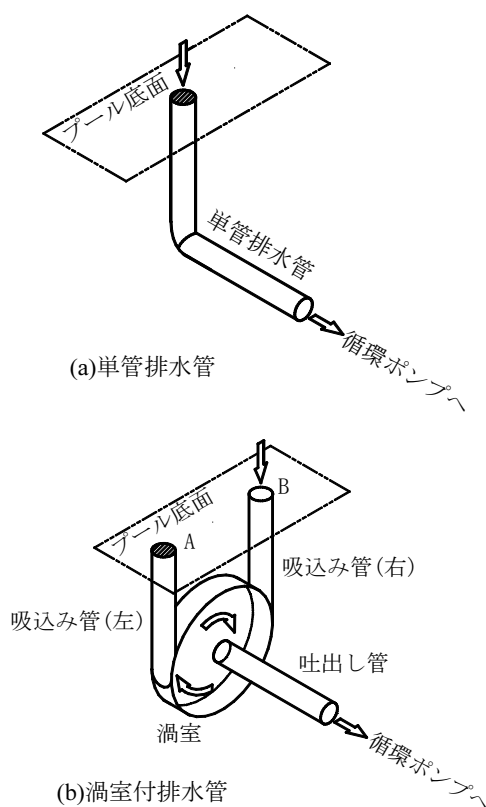


Fig.1 Diagram of drainpipe

引によって排水管内の圧力が真空に近い値まで低下し、その結果極めて大きな吸引力が作用する。この従来の排水管を単管排水管と呼ぶことにする。

一方、著者らが提案している渦室付排水管の概念図を Fig.1(b)に示す。薄い円筒状の渦室の外周に接線方向に取り付けられた左右2本の吸込み管がプール底面の2個の排水口 A、B につながっている。また、渦室中心に軸方向に取り付けられた吐出し管が循環用ポンプにつながる。通常は2本の吸込み管から同時に水が流入するが、もし一方の排水口 A に遊泳者が吸着されたら、もう一方の排水口 B から渦室へ流入する流れが強い渦巻き流れを発生する。この渦巻き流れによる遠心力場により渦室内は中心から外周に向かって強い圧力こう配が生じ、外周における圧力が上昇する。その結果、排水口 A の吸着部分の吸込み管内圧力も上昇し、吸着部の上面と下面の圧力差が減少する。この圧力差が小さくなれば吸引力は弱まり、遊泳者は吸着状態から離脱できる。

2. 2 流れ状態の変化に伴う吸引力の動的応答性の概念

渦室付排水管の2つの流れ状態を Fig.2 に示す。前述のように、通常は Fig.2(a)の流れ状態となっており、水は2本の吸込み管から同時に渦室内へ流入している。これを“通常流れ”と称すことにする。一方、排水口 A に遊泳者が吸着されると、Fig.2(b)のよ

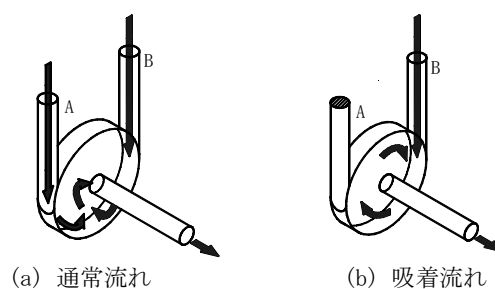


Fig.2 Flow pattern

うに水は排水口 B のみから流入し、渦室内で渦巻き流れとなる。これを“吸着流れ”と呼ぶことにする。

さて、本報の研究目的は、Fig.2(a)の通常流れ状態から Fig.2(b)の吸着流れ状態に切り換った瞬間における吸引力の過渡応答を解析することである。すなわち、排水口 A に遊泳者が吸着されたとき、渦室内に渦巻き流れが形成され、その旋回流れの効果によって吸引力が弱まるまでの応答を調べる。ここで、吸引力そのものの応答を直接計測することは難しいが、吸引力は吸着部の上面と下面の差圧に排水口面積を乗じたもので評価できるので、差圧変化を計測すればよい。また、吸着部の上面圧力はプールの水压であり、これは一定と考えてよいから、結局、吸引力の応答を評価するためには吸着された側の吸込み管内の圧力変化を計測すればよいことになる。

3. 実験装置

3. 1 渦室付排水管の実験用小型モデル

実験で使用した渦室付排水管の小型モデルは、既報⁽⁶⁾で得られた最適形状を採用しており、主要寸法は、吸込み管径は左右共に 13mm、渦室直径は 120mm、渦室厚みが 13mm、そして吐出し管径が 26.2mm となっている。

3. 2 実験装置および実験方法

実験装置の構成を Fig.3 に示す。試験水槽⑧はプールに相当しており、水槽の底部に供試排水管①を取り付けている。供試排水管までの水位は、遊泳用プールのほぼ平均的水深である 1.2 m に設定してある。また、実際のプールで吸い込み事故が問題となるのは、循環ろ過用ポンプや起流ポンプで吸引されている排水口であるので、本実験装置も循環ポンプ④による強制吸引方式としている。循環ポンプは小型マグネットポンプを使用しており、その主な仕様は、最高揚程 9.7m、最大吐出し量 97L/min、定格出力 180W である。また、吸着流れを実現するため、排水口を塞ぐ手段として吸込み管に電磁弁②を取り付けている。電磁弁は、口径 3/4 インチの差圧ゼロ作動タイプのものを使用している。吸い込み管内の圧力変化は圧力センサ③で計測する。なお、電磁弁

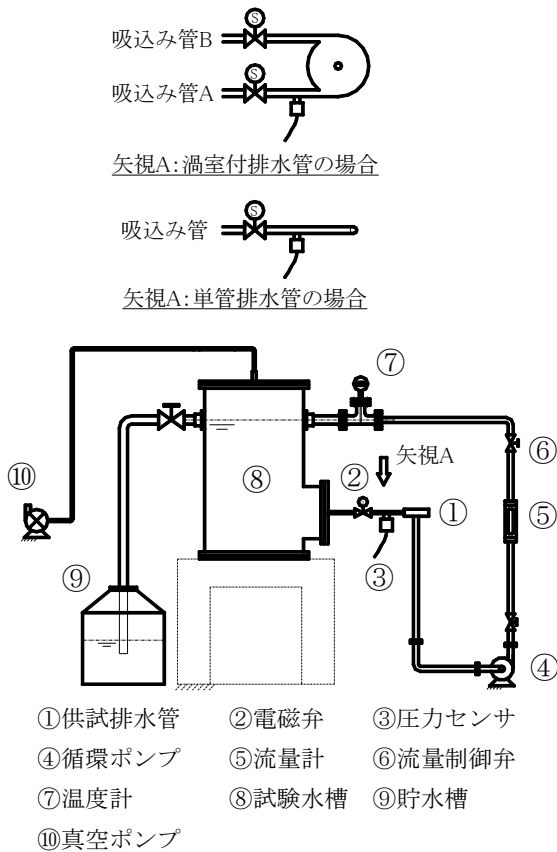


Fig.3 Experimental apparatus

は、Fig.3の“矢視A：渦室付排水管の場合”に示すように、両方の吸込み管に取り付けているが、実験では吸着される側を吸込み管Aとしたので、圧力センサは吸込み管A側のみに取り付けられている。

また、比較のために単管排水管についても実験した。このときは、試験水槽⑧から循環ポンプ④まで1本の管でつなぎ、Fig.3の“矢視A：単管排水管の場合”に示すように、渦室付排水管の場合と同様に電磁弁を設置した。

3.3 計測装置

計測装置の構成をFig.4に示す。圧力センサからの信号は、動ひずみアンプおよびセンサイントフェースを介してパソコンへ取り込んでいる。また、動ひずみアンプの出力はオシロスコープでも観察できるようにしている。動ひずみアンプのフィルターは100Hzに設定し、データのサンプリング周波数は

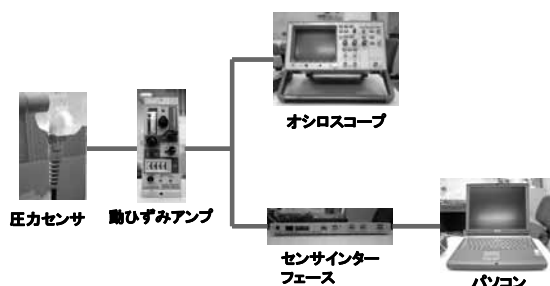


Fig.4 Metrological system

2kHzである。これらの計測器の主な仕様をTable 1に示す。

Table 1 Specification of the metrological system

圧力センサ	形式	ひずみゲージ式
	測定範囲	-98~500kPa [gage]
	固有振動数	約19kHz
動ひずみアンプ	周波数特性	DC~25kHz
	フィルター設定値	100Hz
センサイントフェース	応答周波数	DC~1kHz
	サンプリング周波数	2kHz

3.4 実験方法

まず実験に先立ち、Fig.3の真空ポンプ⑩によってタンクおよび配管内を真空にし、水中に含まれている気泡をできるだけ取り除いた。実験方法は、まず電磁弁を開放し、循環ポンプを運転して通常流れ状態にしておき、計測を開始した後に任意のタイミングでFig.3の電磁弁②を閉じ、吸込み管内の圧力変動を計測した。なお、渦室付排水管の場合は、前述のように吸着される側を吸込み管Aとしたので、吸込み管A側の電磁弁のみを閉鎖した。

4. 実験結果

4.1 単管排水管の圧力応答

電磁弁を急閉した時の単管排水管の典型的な圧力応答をFig.5に示す。これは、通常流れ状態の流量 Q_n が20L/minのときの応答である。図中に示した V_{sn} は吸込み管内流速である。グラフ横軸の時間にして0.8秒付近で電磁弁が閉まり始めている。この時、電磁弁が閉まることで管の入口が閉塞されることになるが、循環ポンプは運転したままであるから管内の圧力が急低下する。Fig.5では、約-80kPa[gage]

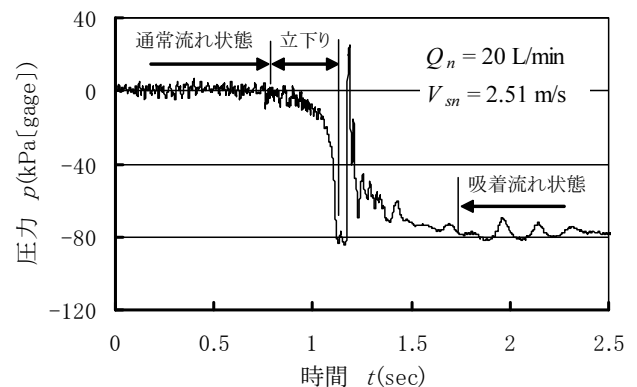


Fig.5 Pressure response of single pipe drain

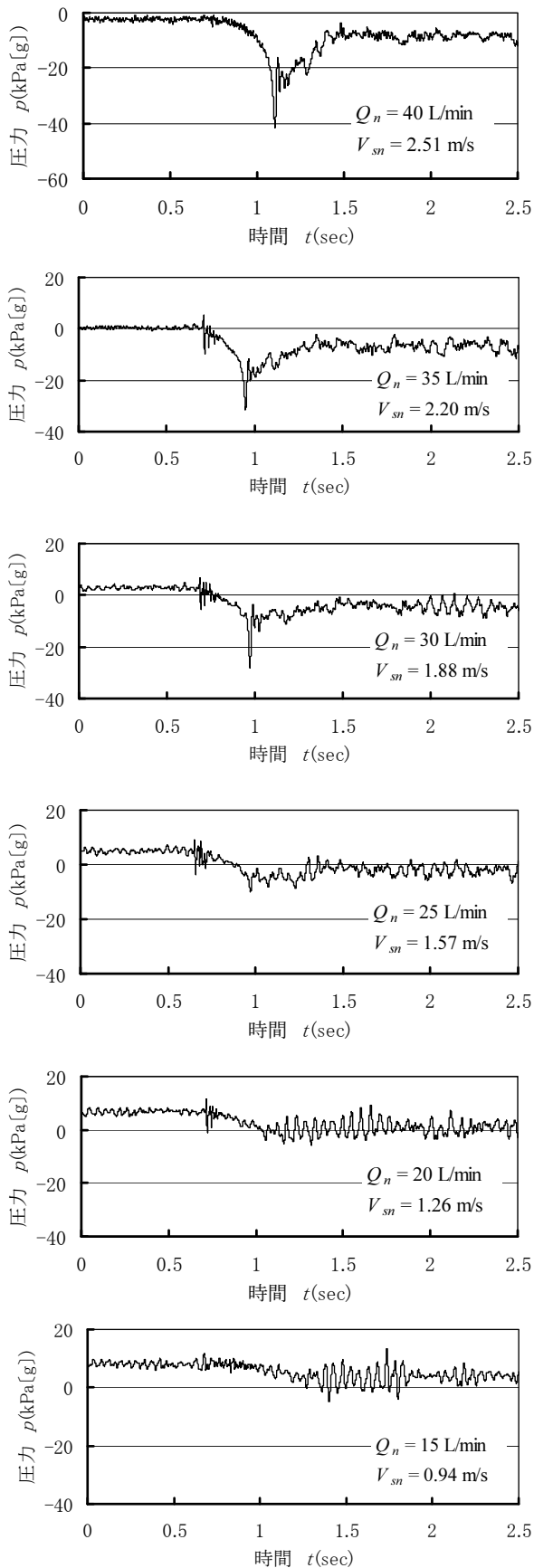


Fig.6 Pressure response of the vortex drain

まで圧力が下がっている。これを立下り応答と呼ぶことにする。このとき、実際に人間が吸着された場

合であれば、強く吸い込まれることになる。そして、1.1秒付近で圧力が変動しているが、これは水撃現象が起きているためと考えられる。その後、水撃がおさまり圧力は-80kPa [gage] でほぼ一定の状態を保っている。このとき遊泳者は、強い吸引力で吸着されており、脱出することができない状態である。ここで、参考までに、吸込み管内圧力 p が -80kPa [gage] の時の吸引力を試算してみる。例えば、水深 h が 1.2m において排水口径 d_s が 200mm とし、吸引力 F を次式より算出すると、

$$F = \frac{\pi}{4} d_s^2 (\rho g h - p) \quad \text{-----(1)}$$

F は 2.9kN (296kgf) となり、児童の力ではとうてい脱出できるものではないことが分かる。なお、式(1)の ρ は水の密度、 g は重力加速度である。

4. 2 渦室付排水管の圧力応答

渦室付排水管の圧力応答を Fig.6 に示す。これは、通常流れ状態の流量 Q_n を 40L/min から 15L/min まで段階的に変化させて圧力応答を計測したものである。比較的高流量のときに渦室付排水管の典型的な圧力応答が認められるので、流量 Q_n が 40L/min のときの応答を Fig.7 に掲示し、この図の応答について考察する。

Fig.7 の圧力応答は次のように考察される。まず、横軸の時間において約 0.7 秒の時に電磁弁が閉まり始めている。この時、電磁弁が閉まることで吸込み管 A の入口が閉塞されることになるが、循環ポンプは運転したままであるから吸込み管内の圧力が低下する。Fig.7 では、約 -40kPa [gage] の最低到達圧力まで下がっている。Fig.5 の単管排水管の場合と同様に、通常流れ状態の圧力から最低到達圧力までの圧力降下を“立下り応答”と称することにする。そして、最低到達圧力になった後は、圧力が上昇して行くのが確認できる。これは、前述のように、渦室

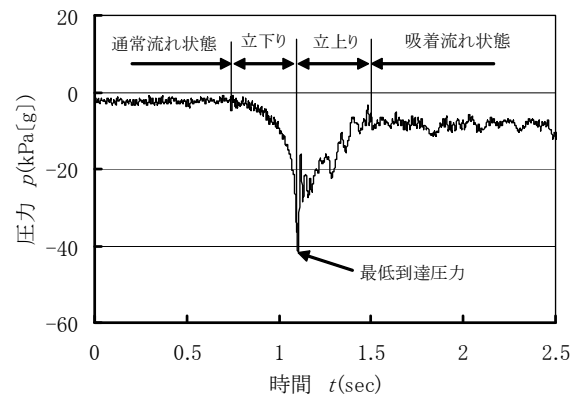


Fig.7 Typical pressure response($Q_n=40$ L/min)

内に渦巻き流れが形成されるに伴い、旋回流れの効果によって圧力が上昇しているためである。このように圧力が上昇することは、従来の単管排水管にはない現象であり、渦室付排水管の典型的な特徴である。なお、圧力が上昇して行く部分を“立上り応答”と呼ぶことにする。その後、定常な渦巻き流れが形成されると圧力がほぼ一定となる吸着流れ状態となるが、圧力レベルは Fig.5 の単管排水管の場合に比べて高い値となっており、吸引力が弱まっていることが分かる。

なお、Fig.6 を見ると、流量 Q_n が小さい場合には立下り応答と立上り応答は顕著には現れないが、定常な吸着流れ状態になった後の圧力レベルはいずれも高い値となっており問題ない。

4. 3 応答時間と最低到達圧力の考察

本節では渦室付排水管について、応答時間と最低到達圧力について考察する。

(1) 立下り応答時間

Fig.6 に示すように通常流れ状態の流量 Q_n を変化させて実験したが、立下り応答時間は 0.2~0.4 秒であった。また、Fig.5 の単管排水管の場合も立下り応答時間は約 0.3 秒であった。この応答時間は電磁弁の作動時間によるものである。つまり、電磁弁の作動時間はメーカーによると 0.3 秒程度とのことであるから、立下り応答時間は電磁弁が開放状態から閉鎖状態に移る作動時間と考えられる。また、Fig.5 に見られる水撃による圧力変動が立下り応答の直後に起こっていることから、立下り応答時間は電磁弁の作動時間と考えるのが妥当である。

(2) 最低到達圧力

最低到達圧力があまり低いと、吸着された瞬間に強く吸い込まれることになるので、この圧力レベルについて考察しておく。実験で得られた最低到達圧力を Fig.8 に示す。流量が増えれば最低到達圧力が低下している。これは、流量が多いほど配管内の流体の慣性効果が大きいので、管路を急閉したときの圧力降下も大きくなると考えられる。なお、Fig.8 に示した破線は、吸着流れ状態における吐出し管内圧力を示したものである。最低到達圧力と吸着流れ状態における吐出し管内圧力は同様の傾向を示していることが認められる。この相関関係の詳細な解析はここではしないが、過渡現象である最低到達圧力が、定常現象である吸着流れ状態の吐出し管内圧力の値からある程度予測可能であることが分かる。

(3) 立上り応答時間

立上り応答時間を Fig.9 に示す。この応答時間が、吸着されてから吸引力が弱まるまでの時間に相当し、本研究の重要なポイントである。Fig.9 を見る

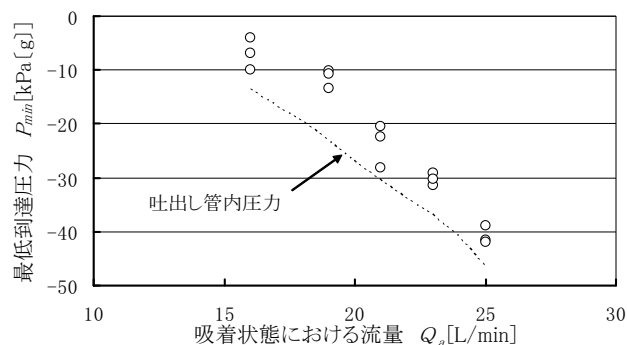


Fig.8 Minimum pressure in response

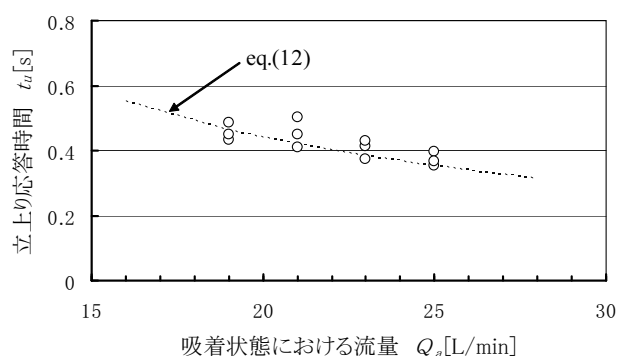


Fig.9 Pressure rise response time

と、応答時間は 0.35~0.5 秒程度の値となっており、図の右方すなわち流量が多い方が応答時間は若干短くなる傾向である。なお、図中の破線については 5.2 項で述べる。

さて、この実験では小型モデルを用いているため応答時間は短く 1 秒以内の値となっているが、この応答時間が寸法の大きい実機サイズ渦室付排水管でどうなるかを求める必要がある。つまり、実機の応答時間が長いようであれば、実際の吸い込み事故のときに、吸着されてから吸引力が弱まるまで息が続かないことになり実用上問題となる。そこで、本実験の小型モデルの応答結果から実機サイズ渦室付排水管の応答時間を推定する方法を次節で示す。

5. 実機サイズ渦室付排水管の応答時間の推定

実機サイズ渦室付排水管の立上り応答時間を求めるには、実規模試験を行うか、あるいは詳細な数値シミュレーションによって解析するのが望ましい。しかし、ここでは簡易的方法として、小型モデル実験で得られた結果から実機の応答を推定する方法について検討する。本節で検討した推定方法は以下の 2 つである。

- i) 電気回路の過渡応答を利用した推定
- ii) 渦室充填時間との相関性に基づく推定

それぞれの推定方法を以下に示す。

5. 1 電気回路の過渡応答を利用した推定

(1) 流体システムと電気回路の相似性の解析

流体システムは非線形特性を持っているが、動作範囲が小さい場合には線形と考えてよい場合があり、線形と考えると数学的モデリングにおいて電気回路との相似性が成り立つことが知られている⁽⁸⁾。この相似性を利用すれば、流体の圧力応答を電気回路の電圧応答として解析できる⁽⁹⁾。簡単な管路とタンクからなる流体システムは、電気回路のRLC回路と相似性がある⁽¹⁰⁾。そこで、Fig.10に示すように、Fig.10(a)の渦室付排水管をFig.10(b)の電気回路で模擬する。Fig.10(a)において P_i は入口圧力、 P_r は渦室外周部の圧力である。また、渦室外周部の圧力と閉塞された吸込み管内の圧力は等しいものとする。したがって、圧力 P_r は吸込み管内圧力ともなっている。Fig.10(b)の P_i と P_r はFig.10(a)の圧力に対応した電圧であり、電流 i は流量、抵抗 R_1 は吸込み管の流動抵抗、キャパシタンス C は渦室容積に起因する渦形成にかかる遅れ要素と考える。抵抗 R_2 は、渦室外周から中心部の吐出し管までの流動抵抗である。

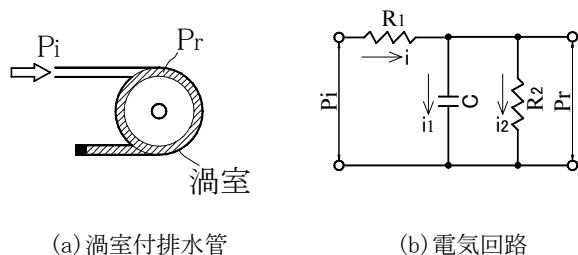


Fig.10 Analogy between drain and electric circuit

また、ここで解析する圧力応答は電磁弁が完全に閉まってからの立上り応答であるから、Fig.7においては最低到達圧力からの立上り部分の過渡応答に相当する。よって、解析を簡単化するため、圧力は最低到達圧力を基準レベル(零レベル)として考える。そうすると、Fig.10(b)の電気回路の基礎式は次のようになる。

$$P_i(t) = R_1 i(t) + P_r(t) \quad \text{-----}(2)$$

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad \text{-----}(3)$$

$$P_r(t) = \frac{1}{C} \int i_1(t) dt \quad \text{-----}(4)$$

$$P_r(t) = R_2 i_2(t) \quad \text{-----}(5)$$

ここで、入力電圧は大きさ P_i の電圧がステップ状に入るとする。式(2)~(5)をラプラス変換し、出力電圧 P_r について解いた形にすると

$$P_r(s) = \frac{R_2}{\left(1 + \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2} s\right) s} P_i \quad \text{-----}(6)$$

となる。よって、過渡応答の時定数 T は、

$$T = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2} \quad \text{-----}(7)$$

となる。十分時間が経った後の定常値は、ラプラス変換の最終値の定理より

$$P_r(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s P_r(s) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} P_i \quad \text{----}(8)$$

となり、入力電圧 P_i が抵抗 R_1 と R_2 によって配分された形となる。式(6)を展開定理により展開し、ラプラス逆変換すると出力電圧 P_r は、

$$P_r(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C} t\right) \right\} P_i \quad (9)$$

となる。

ここで、Fig.7の立上り応答の部分を上記の電気回路の過渡応答として解析してみる。流動抵抗 R_1 、 R_2 は実験データの流量と各部圧力より求められる。一方、キャパシタンス C と時定数 T の間には式(7)の関係があるので、Fig.7の立上り応答のデータより時定数 T を求め、その値を式(7)に代入してキャパシタンス C を導出した。

Table 2 Characteristic values of the electric circuit

抵抗係数 R_1	4.781×10^4	kPa/(m ³ /s)
抵抗係数 R_2	7.699×10^4	kPa/(m ³ /s)
時定数 T	0.13	s
キャパシタンス C	4.408×10^{-6}	m ³ /kPa

このようにして求めた特性値をTable 2に示す。圧力応答の計算は、Table 2の値を式(9)へ代入して出力電圧 P_r を計算し、最低到達圧力-40kPa [gage]だけバイアス圧力があるとして、吸い込み管内圧力 P [kPa [gage]]を

$$P(t) = P_r(t) - 40 \quad \text{-----}(10)$$

より求める。

Fig.7の立上り応答の部分について、式(10)より得ら

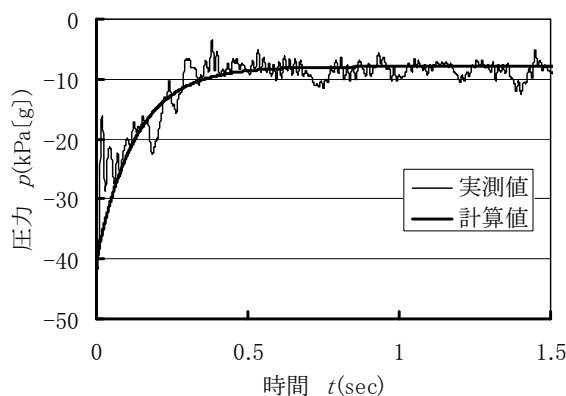


Fig.11 Pressure rise response($Q_n=40$ L/min)

れた計算値と実験値を比較すると Fig.11 が得られる。Fig.11 を見ると、計算値と実験値はよく合っていることが分かる。

(2)実機サイズ渦室付排水管の立上り応答の推定

渦室付排水管の実機の大きさは一概には言えないが、一般的な単管排水管の直径は 100mm～300mm 程度のものが多いので、管路の直径を平均的な値である 200mm に設定する。渦室付排水管の場合、吸込み管は 2 本あるが吐出し管は 1 本であるので、吐出し管径が 200mm になるように小型モデルの各部寸法を相似に拡大する。そうすると、吸込み管径は約 100mm となる。そこで、吸込み管径 100mm のものを実機サイズ渦室付排水管の代表例として応答を推定することにする。実験で使用した小型モデルの吸込み管径は 13mm であったので、寸法比 k は、

$$k = \frac{d_s}{d_{s-model}} = \frac{100}{13} = 7.7 \quad \text{-----}(11)$$

である。

小型モデル実験から実機サイズの応答を検討する場合、流量は当然異なるから、吸込み管内流速が等しい条件で解析するのが妥当である。そこで、Table 2 の各要素の値を寸法比 k で次のように修正して計算する。すなわち、抵抗係数は、通路面積が大きくなるので、寸法比の自乗に比例して減少させる。キャパシタンスは、体積に起因する値であるから、寸法比の 3 乗に比例して増やす。

このようにして換算した各要素の数値を式(9)に代入して実機の圧力応答を計算し、小型モデルと比較すると Fig.12 が得られる。圧力応答の最終値の 98% に達するまでの応答時間は、小型モデルの 0.4 秒に対し、実機サイズでは約 4 秒となっている。つまり、吸込み管径が 100mm の実機サイズ渦室付排水管では遊泳者が吸い込まれたら 4 秒程度で吸引力が弱まるものと推定される。この程度の時間で応答すれば、水中でも息が続くものであり、実用上問題ないものと考えられる。

5. 2 渦室充填時間との相関性に基づく推定

(1)立上り応答時間と渦室充填時間の相関性の解析

Fig.2 において、排水口 A に遊泳者が吸着された後、渦室内に定常な渦巻き流れが形成されるまでの時間が立上り応答時間に相当するわけであるが、この応答時間は、渦室内の水が排水口 B から新たに流入する水で入れ代わるまでの時間と何らかの相関性があるのではないかという仮説を立てた。この水が入れ代わるまでの時間を渦室充填時間 t_f と称し、次式で求める。

$$t_f = \frac{W}{\frac{\pi}{4} d_s^2 V_{as}} \quad \text{-----}(12)$$

ここに、 W は渦室容積[m³]、 d_s は吸込み管径[m]、 V_{as}

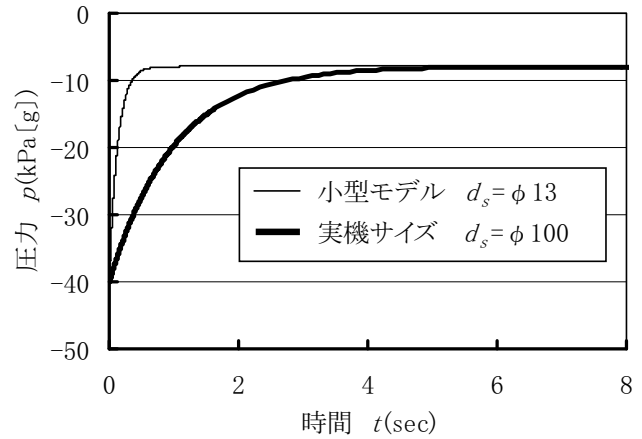


Fig.12 Pressure response estimation of practical drain

は吸着流れ状態の吸込み管内流速[m/s]である。

本研究で実施した小型モデル実験について、渦室充填時間を式(12)で計算し、その結果を Fig.9 に破線で示し相関性を調べた。Fig.9 を見ると、渦室充填時間と立上り応答時間は非常によい相関性が認められ、ほぼ一致している。

(2)渦室充填時間による実機サイズ渦室付排水管の立上り応答時間の推定

ここで、実機サイズ渦室付排水管の立上り応答時間を式(12)で推定するわけであるが、式(12)を適用するにおいて、吸込み管内流速 V_{as} を Fig.7 の実験条件に合わせると、吸着流れ状態の流量 Q_a は 25L/min であったので、流速 V_{as} は 3.14m/s となる。この流速における小型モデルのレイノルズ数 Re は、レイノルズ数を吸込み管で定義すると、 $Re = V_{as} d_s / \nu \approx 40000$ (ν は水の動粘度) となり、発達した乱流となっている。吸込み管径が 100mm の実機サイズ渦室付排水管の流れも $Re \approx 300000$ で発達した乱流であり、小型モデルと流れの様相が大きく異なることはないと考えられる。このことより、式(12)によって実機の立上り応答時間を推定できるものと言えよう。そこで、渦室付排水管の寸法を相似に変化させ、立上り応答時間を推定した結果を Fig.13 に示す。

Fig.13 を見ると、吸込み管径 100mm のとき、立上り

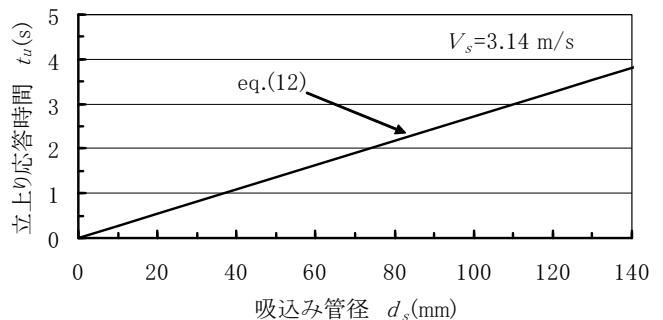


Fig.13 Estimation of response time

応答時間は約2.7秒となっている。この2.7秒という値は、5.1-(2)項で示した約4秒という値と少し異なるが、この4秒という値はFig.12において最終値の98%に達するまでの時間であった。しかし、Fig.12において最終値の95%に達するまでの時間を求めると、ちょうど2.7秒になるのである。Fig.12の応答曲線において、最終値の95%から98%の部分は漸近した領域であり、どちらをしきい値としても圧力レベルに大差ない。したがって、5.2-(2)項で得た結果は、5.1-(2)項における推定結果と矛盾するものではないと考える。

6. まとめ

本報では、プール吸込事故を根本的に防ぐ方法として著者らが提案している渦室付排水管について、この渦室付排水管に吸着された時に、流れ状態が変化し、吸引力が弱まるまでの動的応答性について検討した。

まず、吸込み管径13mmの小型モデルを用いて実験的に応答を解析した。その結果、吸着されてから吸引力が弱まるまでの応答時間は約0.4秒であることが分かった。

次に、この小型モデル実験の応答特性を解析し、寸法の大きい実機サイズ渦室付排水管の応答を推定した。その推定方法は、まず流体システムと電気回路との数学的モデリングに関する相似性を検討し、渦室付排水管の圧力応答を簡単な電気回路の電圧応答として解析できることを示し、電気回路の応答から実機サイズ渦室付排水管の応答を推定した。また、応答時間と渦室充填時間との間に良好な相関

性があることを示し、渦室充填時間から実機サイズ渦室付排水管の応答時間を推定する方法についても述べた。

これらの推定方法を用いて、小型モデルと相似形状で吸込み管径が100mmの渦室付排水管について応答時間を計算したところ、電気回路の方法では約4秒、渦室充填時間による方法では約2.7秒という値が得られた。これらの結果より、実機サイズ渦室付排水管の応答時間は数秒以内と推定され、この程度の時間で応答すれば水中で吸着されても吸引力が弱まるまで息が続くものであり、実用上問題ないものと考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、<http://www.jp-taikushisetsu.or.jp/links/pool.html>
- 2) 例えば、朝日新聞記事、2006年8月1日発行版第1面
- 3) <http://www.yomiuri.co.jp/national/news/20060805i303.htm>
- 4) 吉富秀樹、佐藤紳二、小原涼：空気調和・衛生工学会論文集、No.85(2002)、pp.31～39
- 5) 尾崎省太郎、原美明：純流体素子入門、日刊工業新聞社、(1967)、pp.34～37
- 6) 吉富秀樹：空気調和・衛生工学会平成15年度学術講演会講演論文集、(2003)、pp.805～808
- 7) 吉富秀樹：空気調和・衛生工学会平成17年度学術講演会講演論文集、(2005)、pp.777～780
- 8) 増渕正美：システムのモデリング、計測と制御、Vol.45、No.1(2006)、pp.2～7
- 9) 田中豊、五福明夫、中村圭司：日本機械学会論文集(C編)、Vol.64、No.621(1998)、pp.1743～1748
- 10) 吉田鎌一：フルイディクスの使い方・作り方、オーム社、(1972)、pp.60～61