

浴槽用浮き輪による溺水事故防止及び、 吸い込まれ事故の防止 (プール施設の吸排水口、入浴施設の排(環) 水口、など)

(社) 日本技術士会

吸い込まれ事故の防止に関する研究
プール施設の吸排水口、入浴施設の排(環)水口、など

1. はじめに

埼玉県ふじみ野市で小 2 女児が流れるプールの吸水口に吸い込まれて死亡した事故(2006 年 7 月 31 日)はいまだ記憶に新しい。事故の直接の原因は、図 1 に示す取水ますに設置されていた防護柵が外れ、ポンプの吸水配管に吸い込まれたものである。2010 年にも愛媛県の温泉施設クアハウスで事故が発生したが幸運にも居合わせた救命救急士と医師により救助された。

こうした吸い込まれ事故は、流水プール、温泉施設などで使用される大流量ポンプのみならず、プール水消毒用の循環ポンプでも発生している。過去 40 年間に 56 名が死亡した事故の多くは学校プールなど水泳プールで発生している¹⁾。

本報告は、公益社団法人日本技術士会登録 子どもの安全研究グループがおこなった平成 21 年度²⁾、平成 22 年度³⁾の研究報告に続く第 3 年度の研究報告であり、ポンプに吸い込まれる吸引力の解析とその対策について述べる。

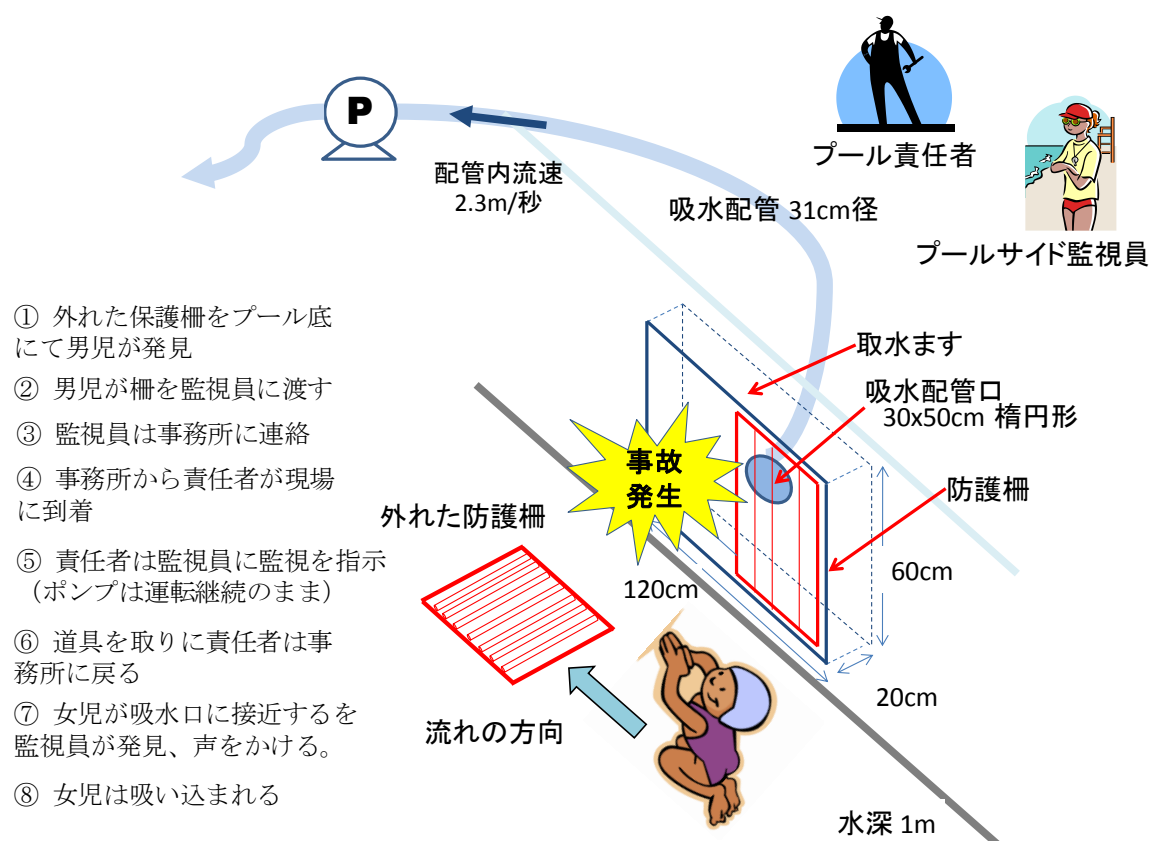


図 1 ふじみ野市の市営大井プールで発生した事故の概要図

2. プールの吸い込まれリスク

水泳プールにはプール水を消毒して衛生状態を保つための循環ろ過設備用のポンプがある。循環ポンプと配管径は、プール水を24時間に少なくとも4回から6回循環させる（これを4ターンから6ターンという）必要からポンプ容量を決め、口径100mmから150mm程度の配管を使用している。循環ろ過の取水ますは、プール底面や側面にあり、過去40年間に発生した吸い込まれ事故の多くはこの循環ろ過設備の取水ますと吸水配管の周囲で起きている。プールの底面、あるいは側面に設けられた取水ますの内部に吸水配管があり、回収された水はゴミや毛髪を除去するフィルター（ヘアーキャッチャーなど）を通ってろ過槽に送られ、消毒用薬品を加えてプールに戻される。その概要を図2に示す。

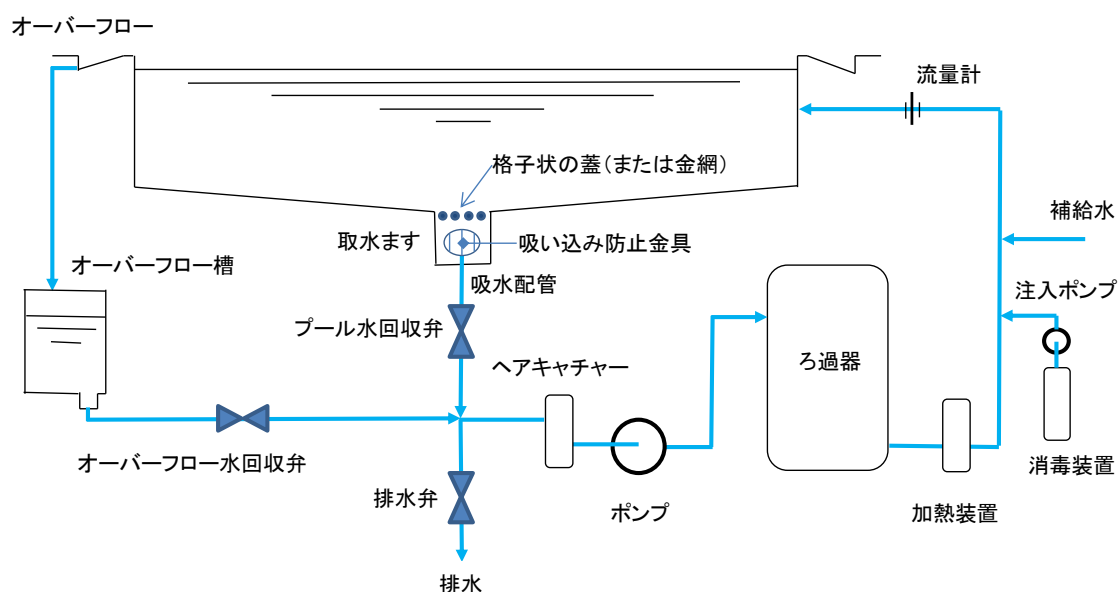


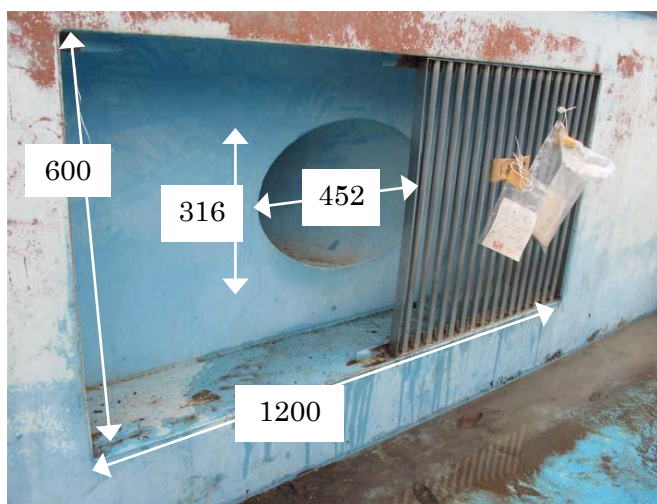
図2 水泳プールのプール水循環システムの概要図

この循環ポンプの吸水口には水泳中の子どもが吸い込まれるリスクがある。図3と図4にその様子を示す。（出典：CIPECホームページ、<http://cipec.jp/contents/index.html>）

 プール壁面の循環ポンプ吸水ます男児が背中を吸い付かれて脱出することが出来なくなっている様子 選択へ 説明へ	 吸水ますの蓋（防護柵）がはずれて右手が肩まで吸い込まれている様子 選択へ 説明へ
図3 プール吸水管に背中が吸い付かれた	図4 底面のカバーがはずれ足が吸い込まれた

アトラクション用のプール（例えば流れるプールやウォータースライドなど）では更にプール水に流れを生じさせる（起流）ためや揚水するために大型のポンプ設備がある。ふじみ野市の流水プールでは $10\text{m}^3/\text{min}$ 能力の起流ポンプが3組設置されていた。ここには次のリスクがある。

- ・吸い込み力により取水口付近に流れ寄せられる。
- ・吸水配管呼び口径 300mm と大きく子どもの身体全体が配管中に吸い込まれる
- ・吸水配管が取水ますに対して斜め 60 度で取り付けであったので配管断面が更に $452 \times 316 \text{ mm}$ に広がっていた。

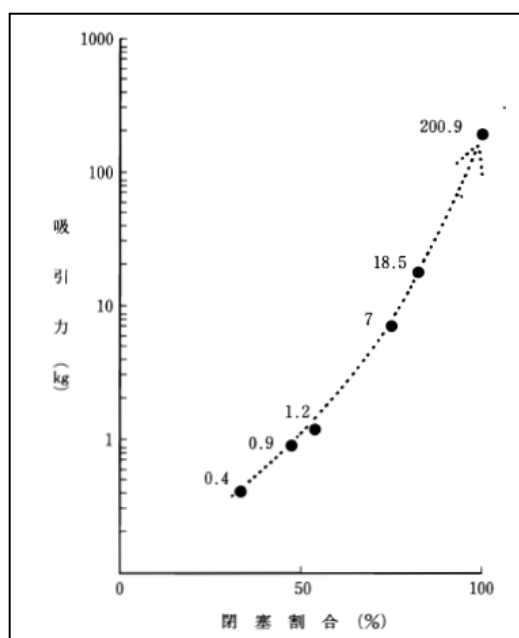


ふじみ野市の事故の被害者は、図5に示す吸水ます($1200 \times 600 \times 200$)と吸水配管口(452×316)を通り抜け配管（呼び口径 300mm ）の中まで吸い込まれた。

事故時には、2枚の防護柵(600×600 、ステンレス製)のうち下流側の1枚がはずれていた。

写真の防護柵に付いているプラスチック袋は柵を証拠品として留置した警察が付けたもの。

図 5 ふじみ野市営プールの吸水ますと防護柵、(撮影 2010/9/27)



このときの吸い込まれる力（吸引力）は驚くほど大きく、例えば、

- ・吸水口では数十N（数kg重）から数百N（数十kg重）の力で吸い寄せられる。
- ・吸水配管口が人体の一部（手、足、背中、腹部など）で塞がれると吸引力は急激に大きくなる。
- ・吸引力は閉塞割合100%で 200kg を超える

と言われている⁴⁾が図 6に示すデータの出典は明らかではなく配管径、流速、測定方法などは不明である。

図 6 文献に見る排水口の吸引力 参考文献⁴⁾より

3. 吸引力の実測

水泳プールには消毒用の循環ポンプを必要とし、さらに「流れるプール」ではプール水を回流させるための大流量のポンプ（起流ポンプと呼ぶ）を必要とすることから、プール底面あるいは壁面に設置されたポンプ吸込み口に大きな流体吸引力が働く。

この吸引力の大きさ、すなわちポンプの吸入側に事故の被害者を吸い付けて吸水配管口に捕捉する力（吸引力と呼ぶことにする）はほとんど知られていない。そのため株式会社荏原製作所殿のご協力を頂き実機による実験を行った。実験装置は図 7 のように水槽内をポンプで水を循環し、アクリル水槽下部の吸い込み配管の上部に円板および 1/2 人体モデルを吊り、ロードセルにより荷重（吸引力）を測定出来るように構成した。

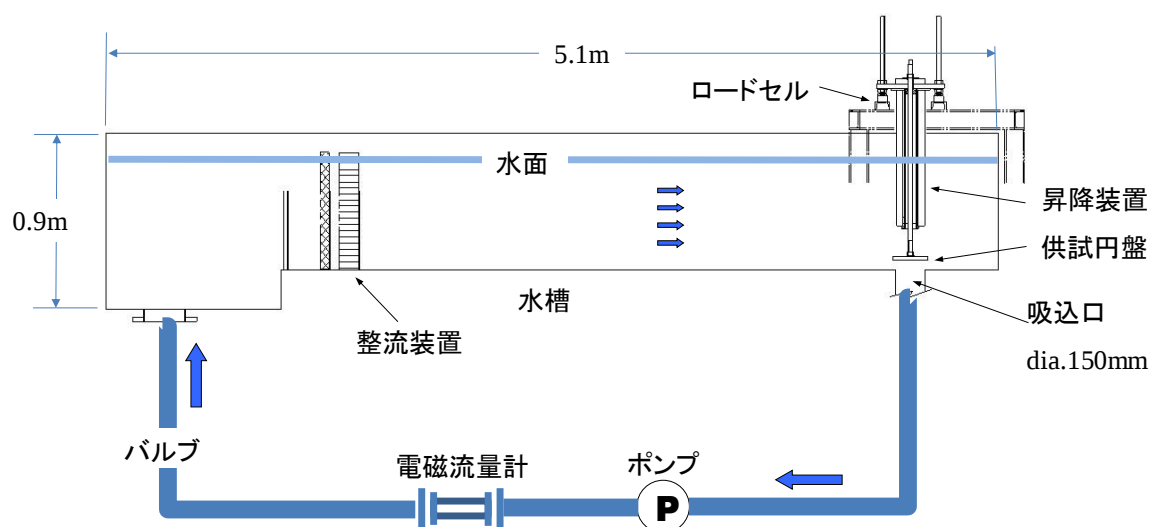
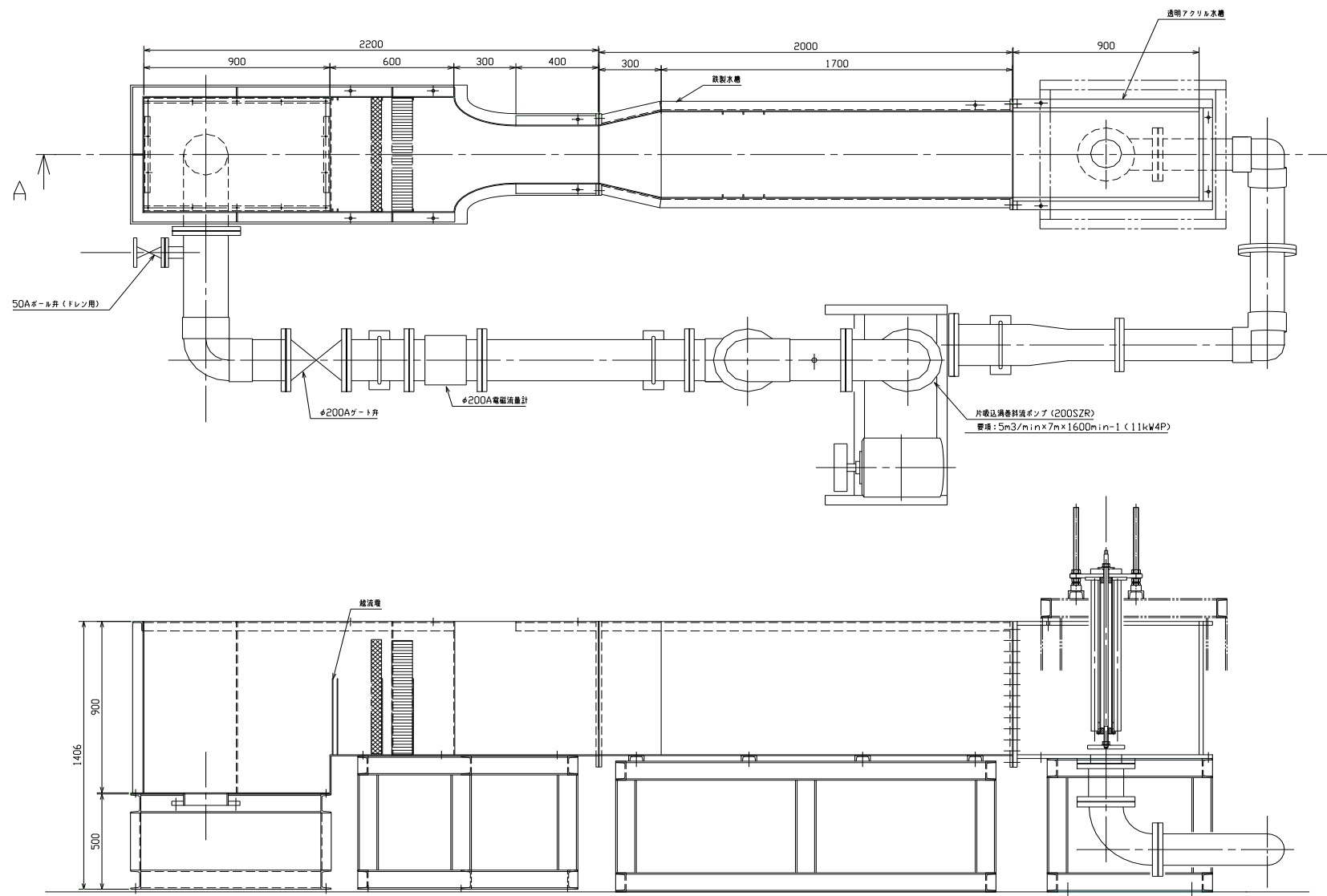


図 7 実験装置の概要図

表 1 実験に用いた水槽や機器類の概要		
No.	主要機器名	説明
1	試験水槽	5.1m 長、1.4m 高さ、0.9m 水深、整流装置付き
2	ポンプ	遠心ポンプ、片吸込渦巻斜流ポンプ 200SZR 容量 5m ³ /min 揚程 7m 回転数 1600rpm
3	モーター	回転数制御式 11kW4P
4	電磁流量計	200A
5	圧力、荷重測定装置	ロードセル
6	供試円板（物）	φ 180 円板、φ 100 円板、1/2 人体モデル
7	配管	200A、150A



A-A断面図

図8 水槽詳細

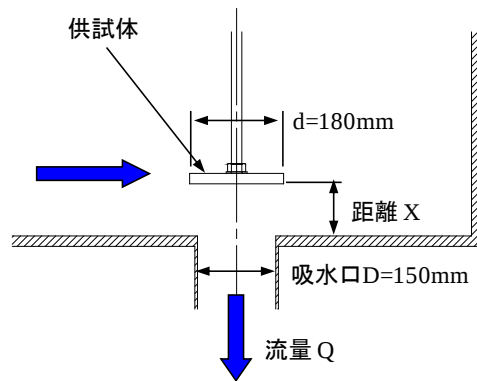


図 9 供試円板 180mm ϕ と吸い込み口

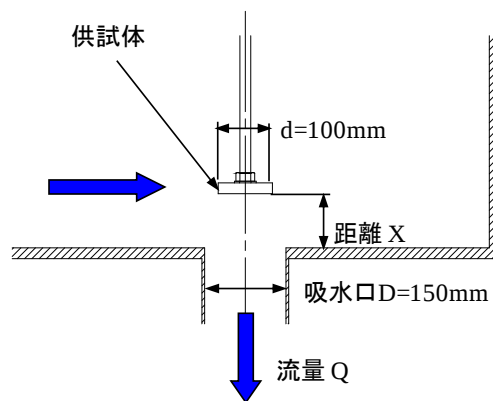


図 10 供試円板 100mm ϕ と吸い込み口

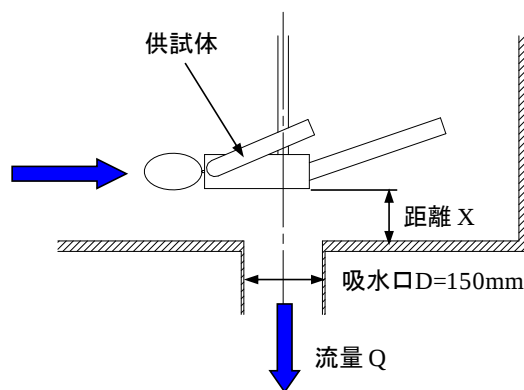


図 11 供試物 (1/2 人体モデル) と吸い込み口

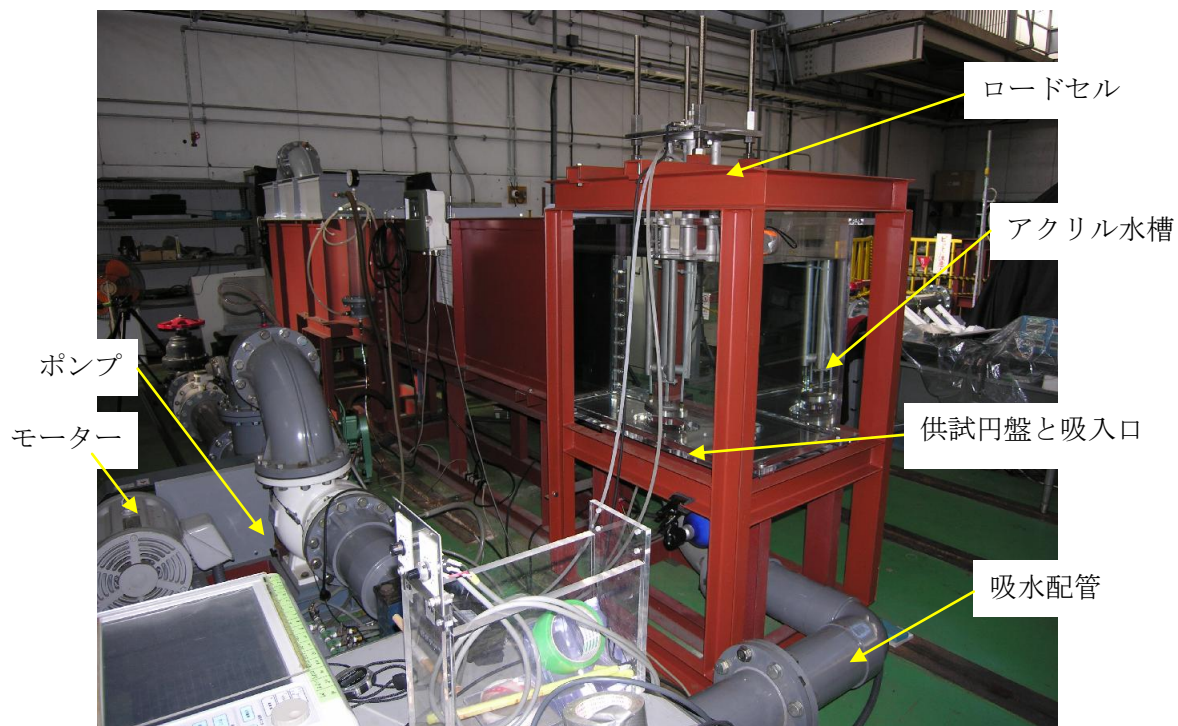


図 12 実験装置全景

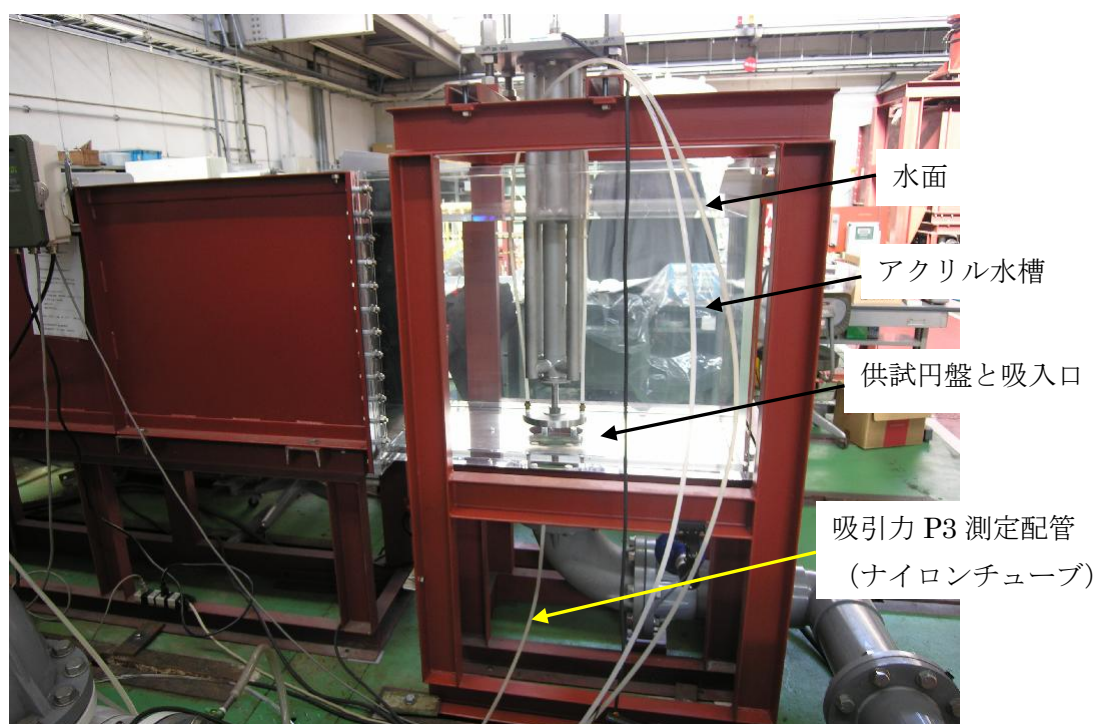


図 13 アクリル水槽と供試円板、吸水口

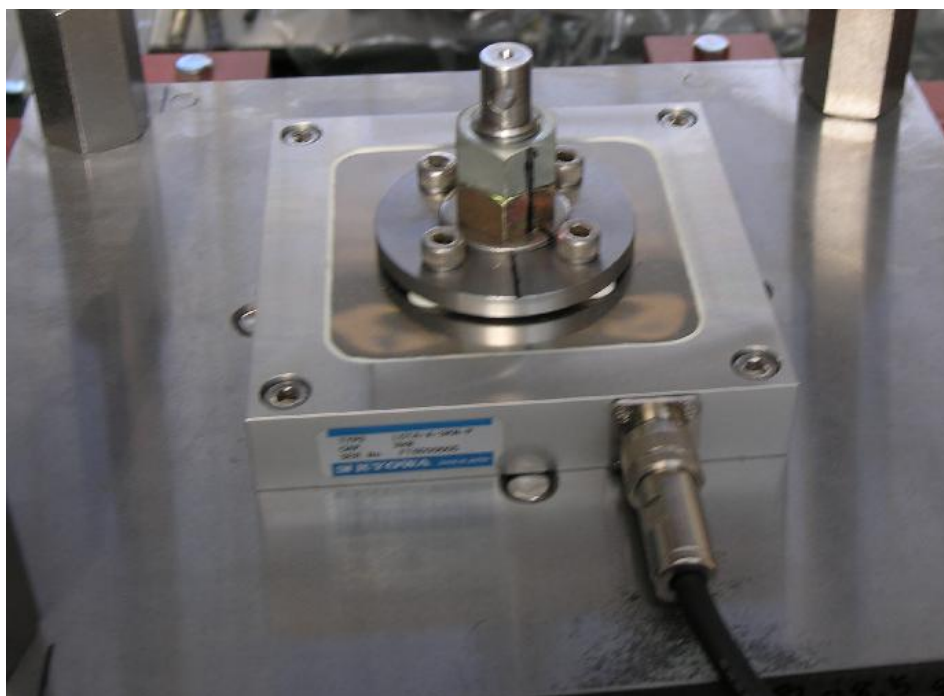


図 14 ロードセル拡大部

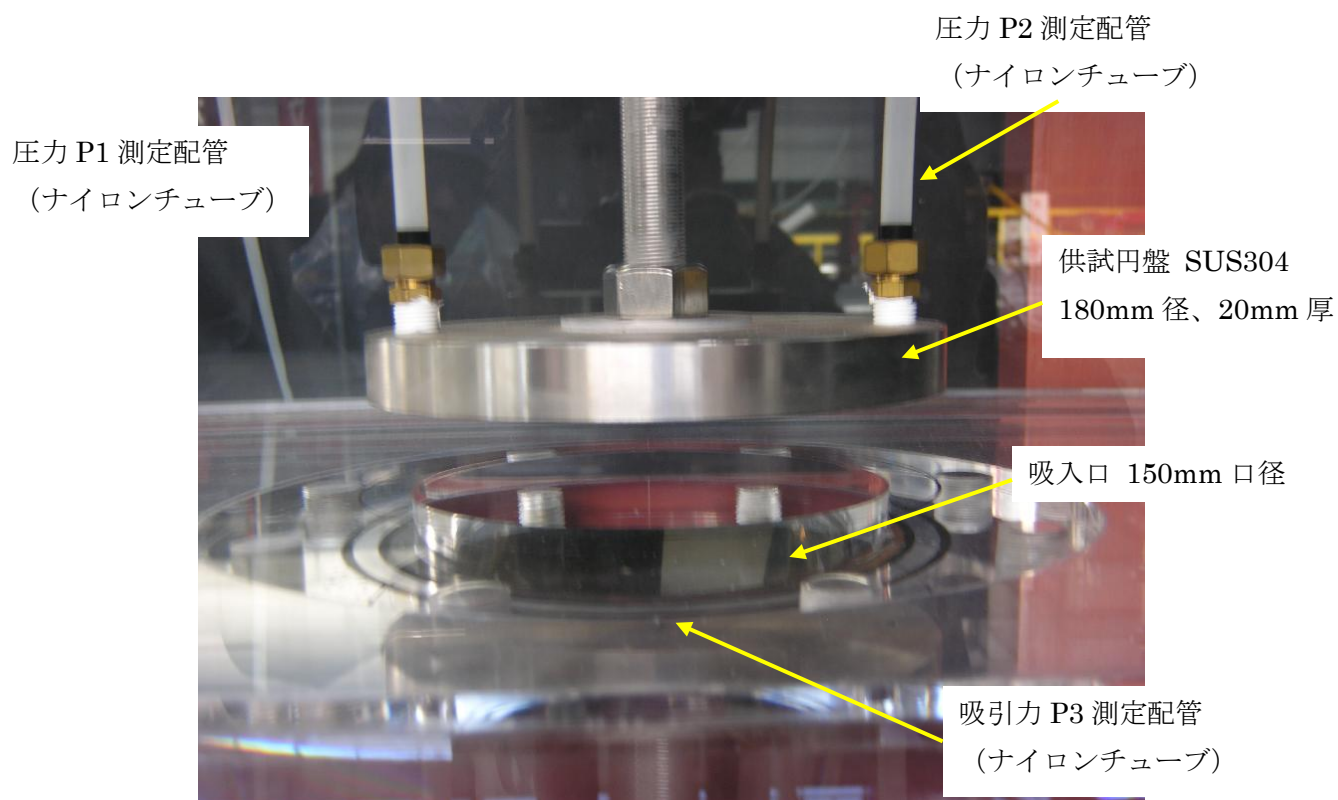


図 15 供試円板 180mm ϕ

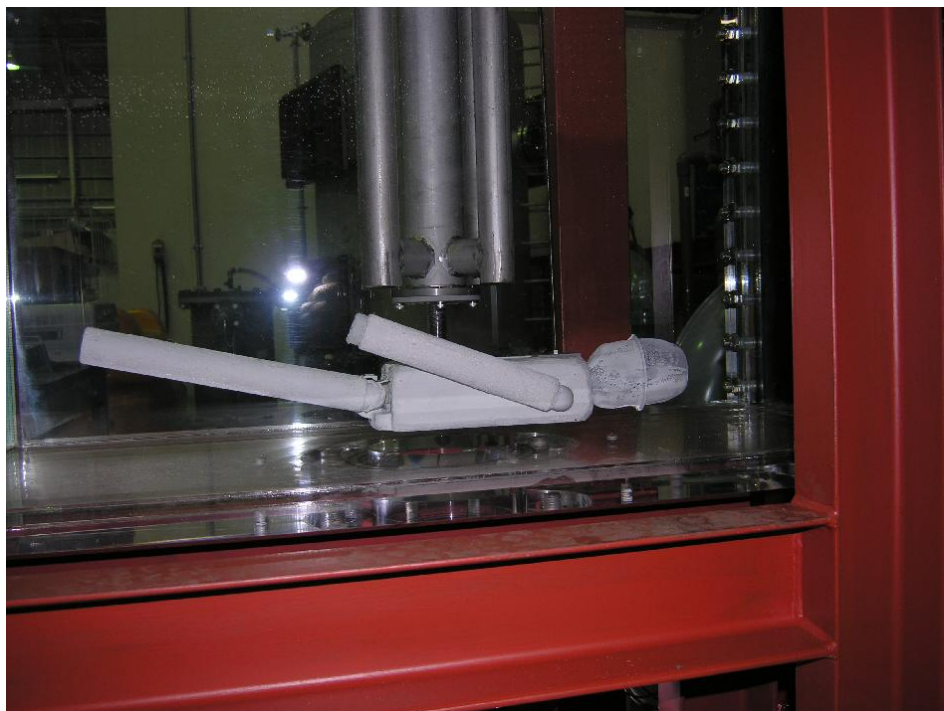


図 16 子どもの 1/2 モデル、側面

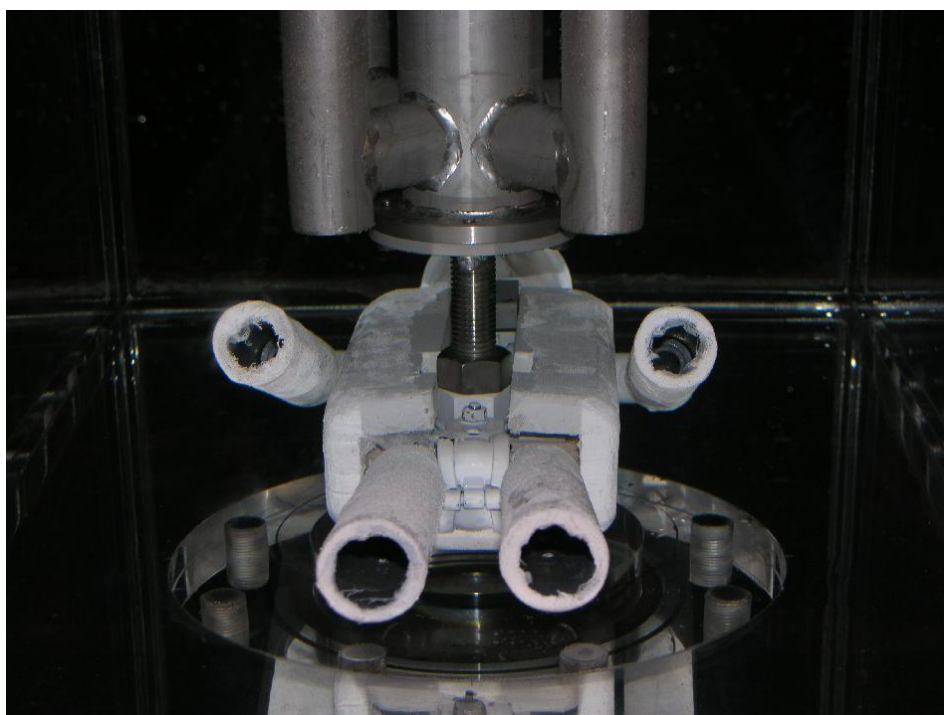


図 17 子どもの 1/2 モデル、足の側から撮影

4. 流体水槽実験による吸引力の実測

直径 180mm 厚さ 20 mm のステンレス製円板、直径 100mm 厚さ 20 mm のステンレス製円板および子どもの 1/2 人体モデル（全長 600 mm 幅 120mm）の 3 種類の供試体について、直径 150mm の吸込み配管（内部流速：3m/sec）に近づけた場合の物体に働く吸引力(P1、P2)および圧力(P3)の測定を行った。実測したデータを以下に示す。

4.1 直径 180mm 厚さ 20 mm の円板、ポンプ回転数一定の時の実測データ

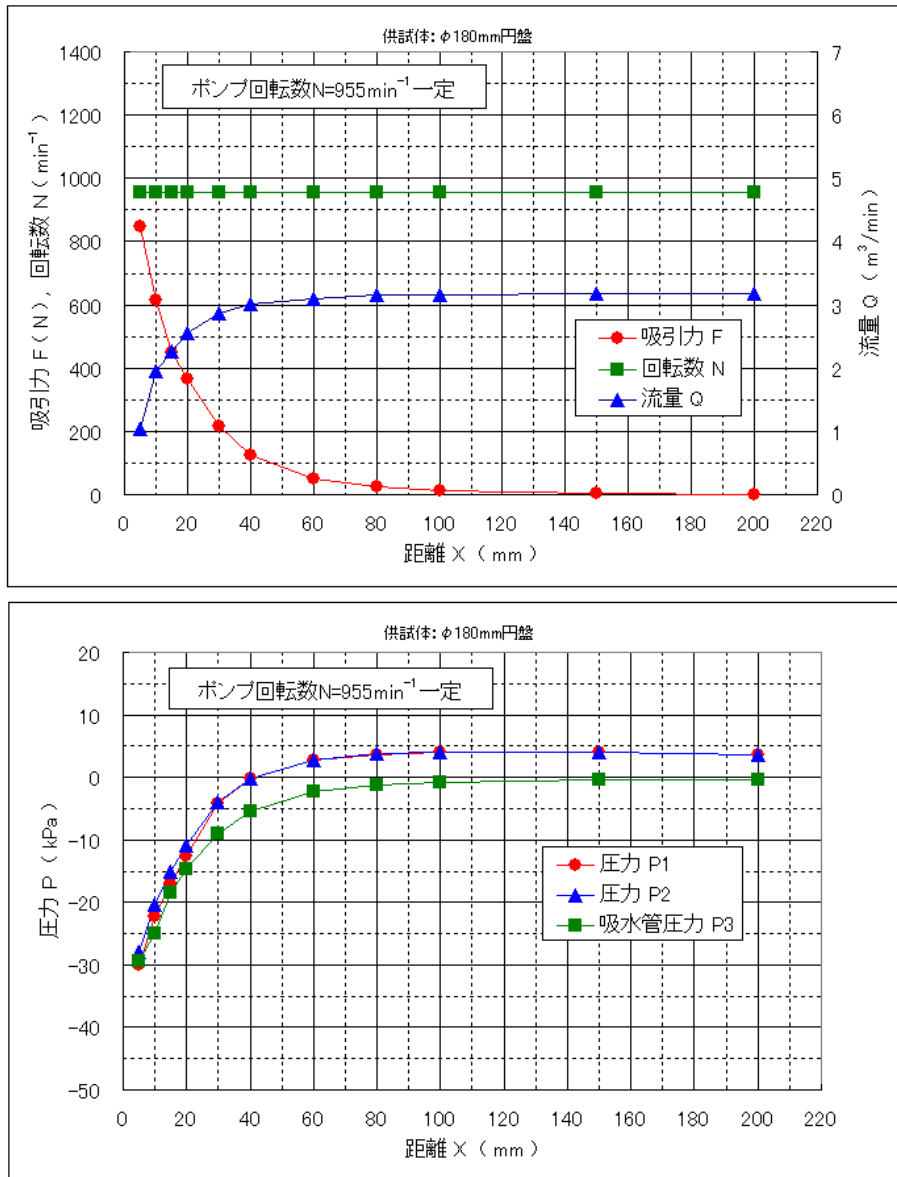


図 18 直径 180mm の円板、ポンプ回転数一定の時の実測データ

4.2 直径 180mm 厚さ 20 mm の円板、流速一定の時の実測データ

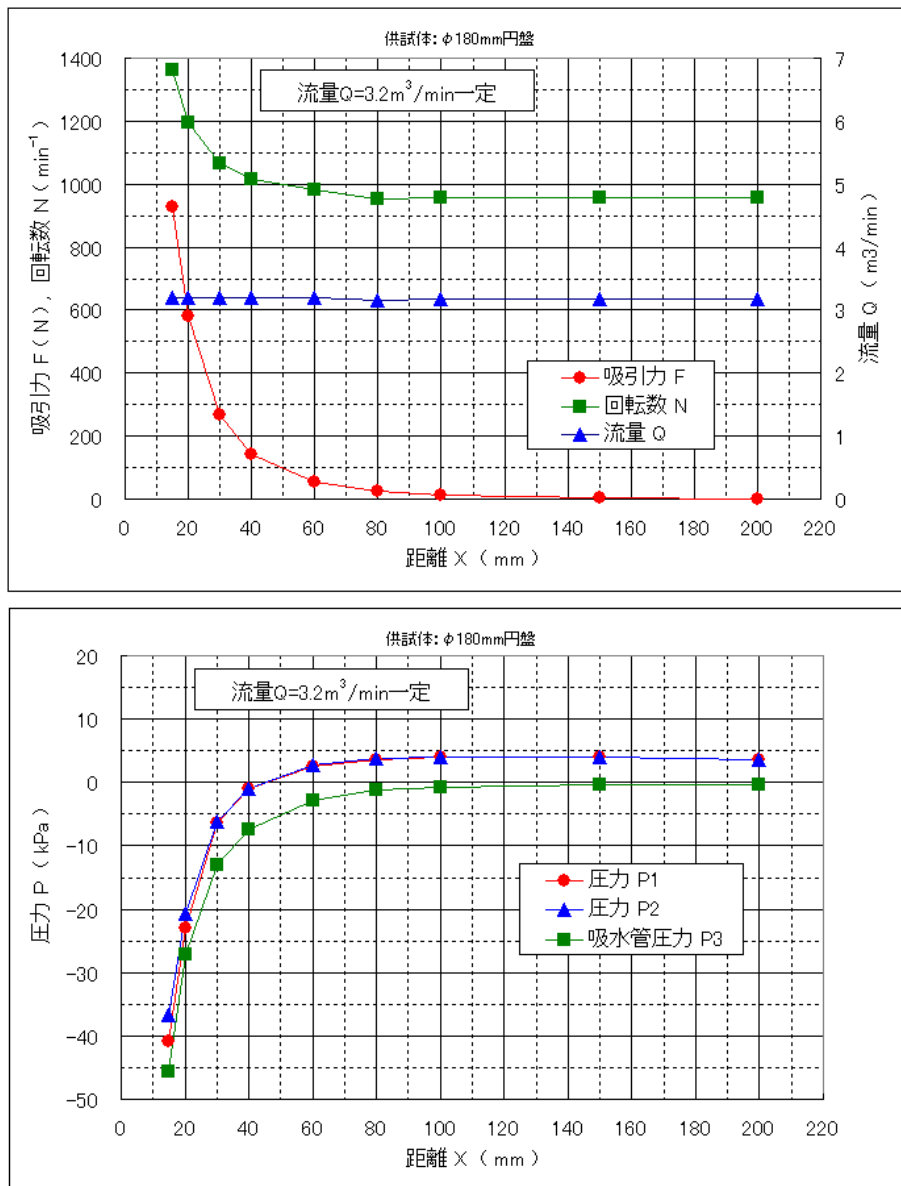


図 19 直径 180mm の円板、流速一定の時の実測データ

4.3 直径 100mm 厚さ 20 mm の円板、ポンプ回転数一定の時の実測データ

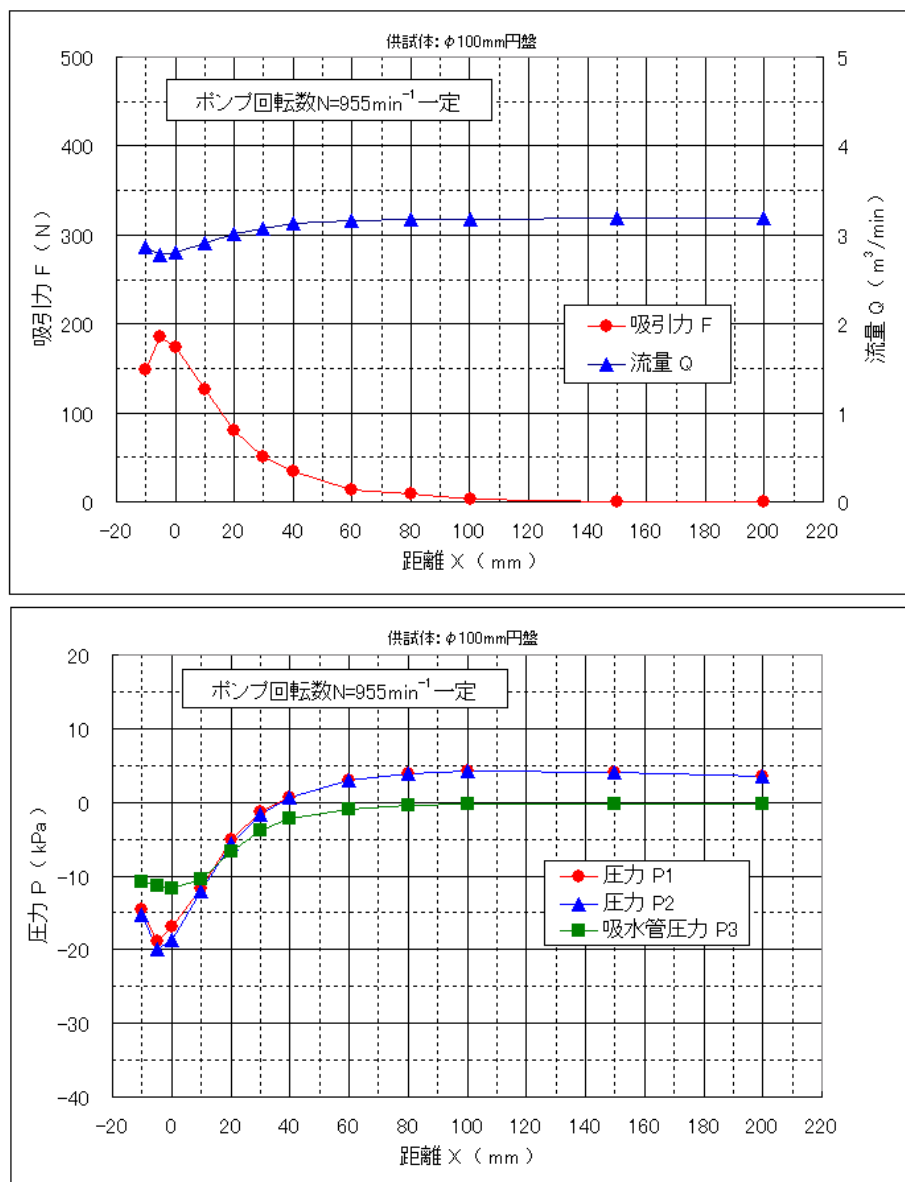


図 20 直径 100mm の円板、ポンプ回転数一定の時の実測データ

4.4 直径 100mm 厚さ 20 mm の円板、流速一定の時の実測データ

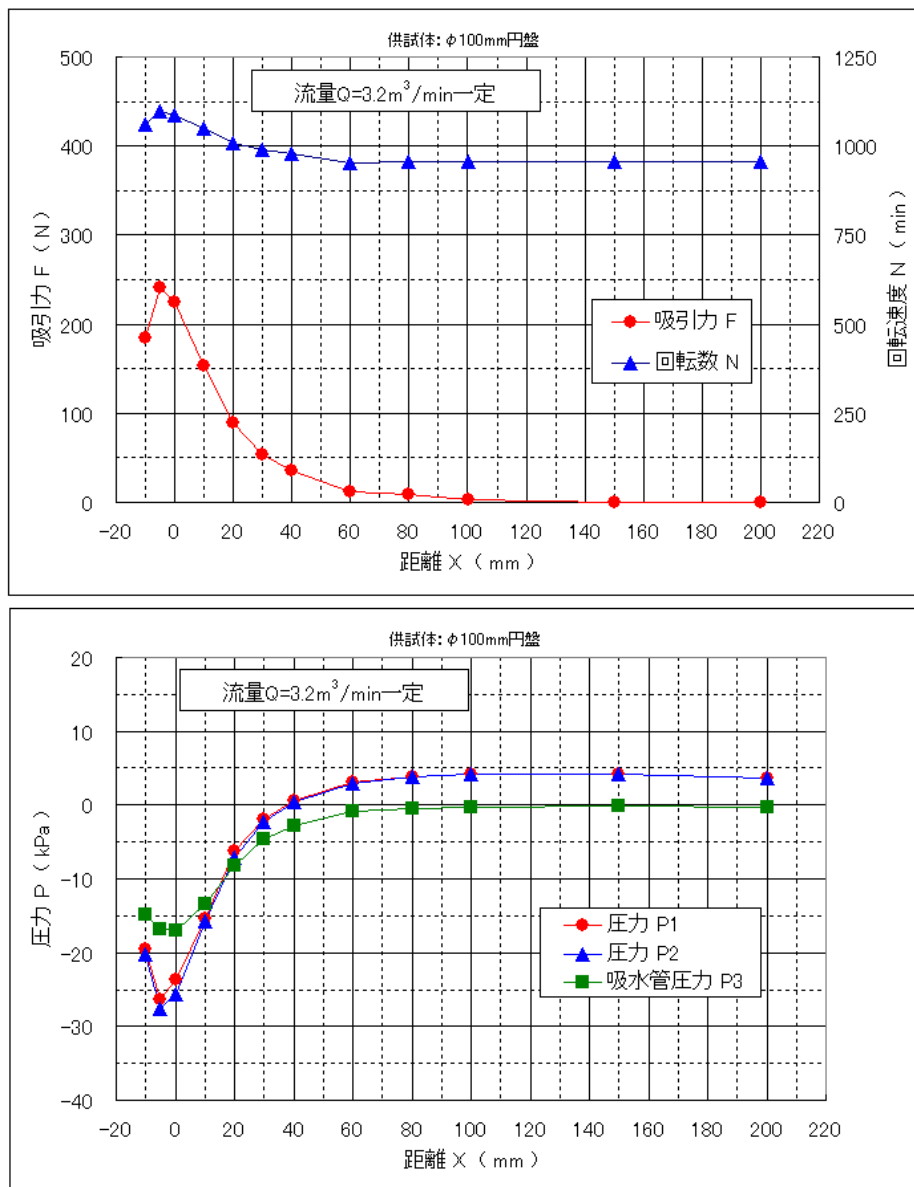


図 21 直径 100mm の円板、流速一定の時の実測データ

4.5 1/2 人体モデル、ポンプ回転数一定の時の実測データ

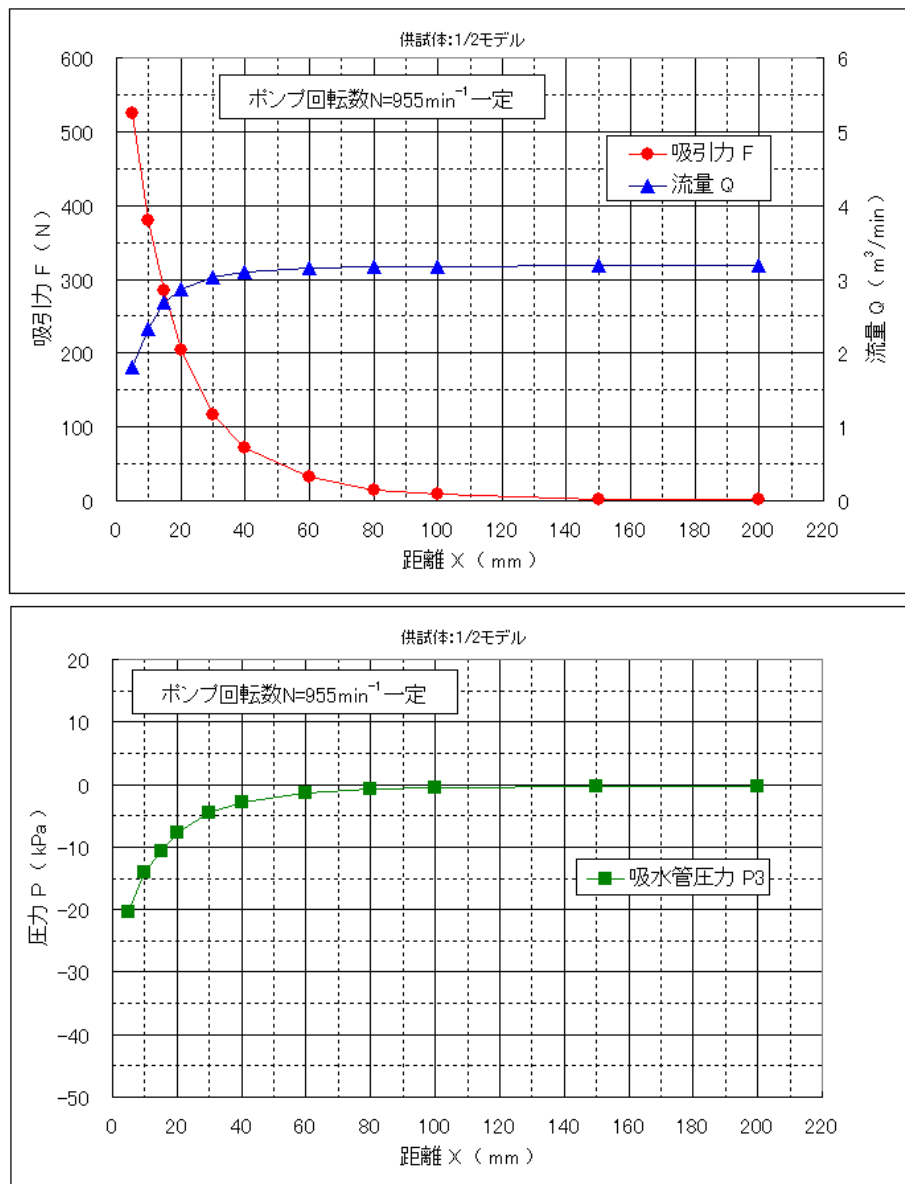


図 22 1/2 人体モデル、ポンプ回転数一定の時の実測データ

4.6 1/2 人体モデル、流量一定の時の実測データ

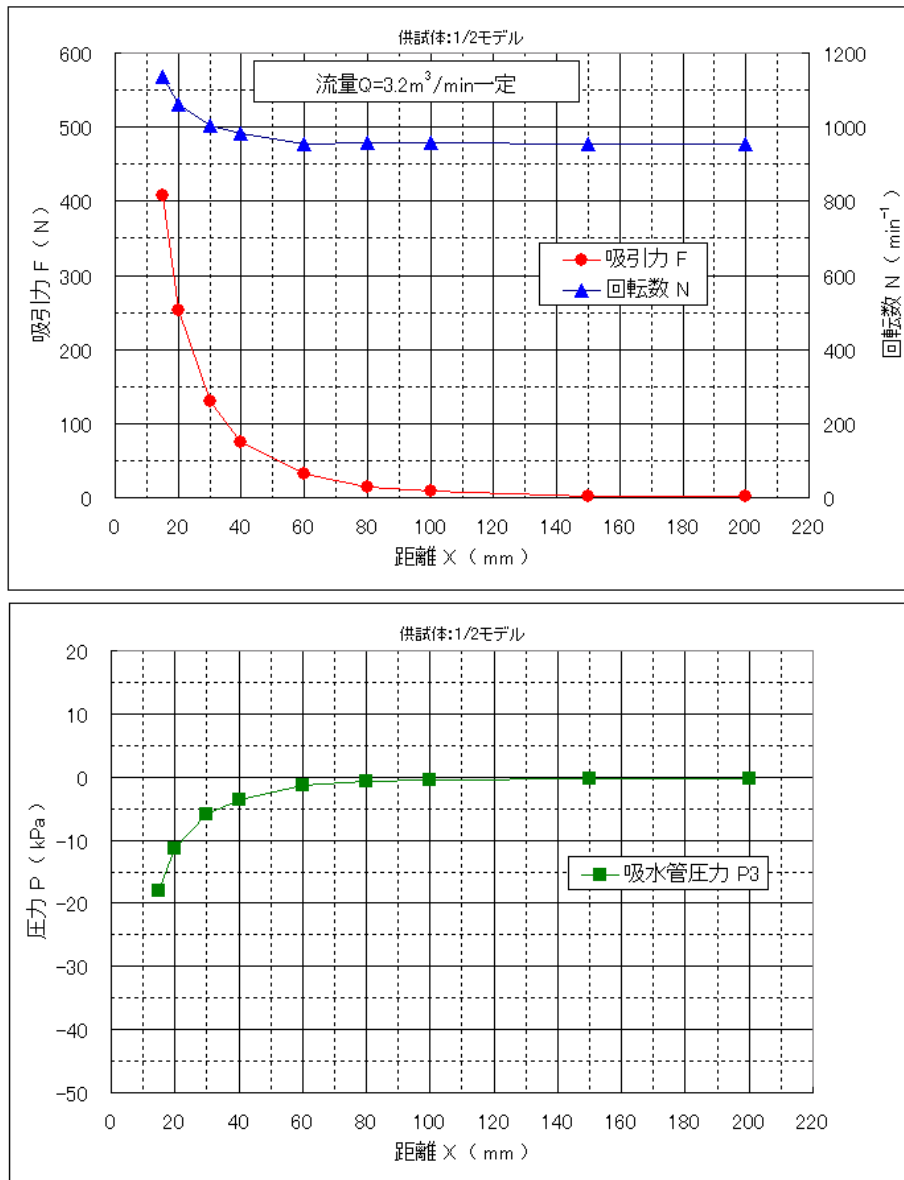


図 23 1/2 人体モデル、流量一定の時の実測データ

5. 近似計算

実際に使用されている水泳プールや遊泳施設の吸い込み力を求めるために実測できれば確実であろうが、流入口を塞ぐ(閉塞する)ことによる負圧の発生によるプール施設への影響が危惧され、また計測装置をプールに持ち込むことの困難などの施設面での難しさがある。実験で得たデータを利用して、実際のプールや施設における吸入圧を推測するには通常は CFD (数値流体力学 Computational Fluid Dynamics) による解析が行われる。しかし流体の専門家ではないプールの設計者、管理者には CFD による解析は困難なので、流体吸引力の大きさを求める近似式を検討し表計算ソフトを使用して簡易計算を行った。この簡易計算が出来れば潜在的な危険予知につながると考える。

5.1 吸引力の簡易計算

流路を図 24 に示す仮想領域区間に分割して、仮想領域内では流速は一定とし、領域通過時の流速の拡大・縮小の変化により流体抵抗損失が起こるものとする。吸込み口は流体抵抗に相当する負圧が発生し、吸引力として水中の物体表面に作用する。

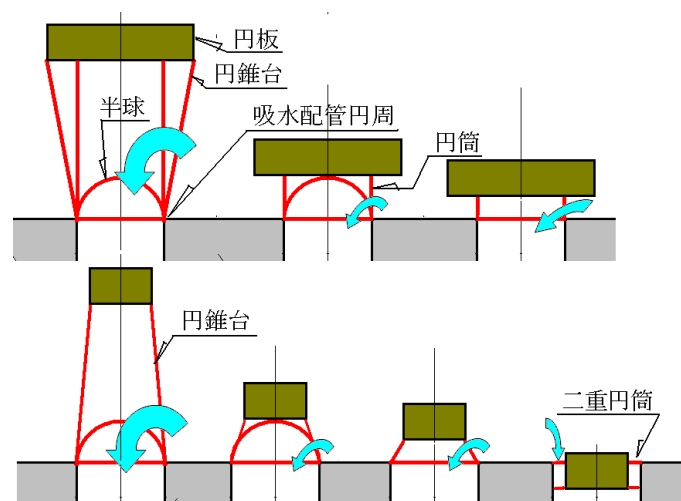


図 24 仮想流路の分割設定

5.1.1 吸込み口の真空度の算出

水中で吸引力が作用する物体として円板を想定し、円板から吸い込み口に至る仮想流路を設定する。

流路面積の変化から求める流体の速度変化量と抵抗 h の関係および、損失係数 ξ (ゼータ) は次式とする。ただし、仮想流路に至るまでの損失抵抗は、損失係数 $\xi = 1$ とする。

$$h = \xi \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \xi \frac{v_1^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{【流路拡大】} \quad \xi = \xi \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad \xi = 1 \quad h = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \frac{v_1^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2)$$

【流路縮小】 $\zeta = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \quad C_c = f(A_2/A_1) \quad h = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (3)$

なお、係数 C_c は表 2 より流路面積比の関数とし、(4) の簡易式で表わす。

$$C_c = 1.06k^3 - 1.19k^2 + 0.59k + 0.54 \quad k = A_2/A_1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

表 2 急縮小の損失										
A2/A1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C_c	0.61	0.62	0.63	0.65	0.67	0.70	0.73	0.77	0.84	1.00
ζ	0.41	0.38	0.34	0.29	0.24	0.18	0.14	0.089	0.036	0
(管路・ダクトの流路抵抗) 日本機械学会編、p55										

流路は、次の仮想領域区間に分割して抵抗の計算を行った。

- ① 吸水管円周と円板円周で構成される円錐台側面積、
- ② 吸水配管上の半球・球冠の側面積、
- ③ 吸水配管円周延長上と円板で構成される円筒側面積、
- ④ 吸水配管開口部面積、
- ⑤ 吸水配管よりも小径の円板の場合は二重円筒の断面積

5.1.2 円板裏面に係る圧力の推定

吸水配管内の圧力による円板に対する吸引力は、距離の 2 乗に逆比例することから、吸引力は図 25 における半球面積 S_0 に対する球冠面積 S_c の比 k で減衰するものとする。

$$k = \frac{S_c}{S_0} = \frac{2\pi h}{2\pi R^2} = \frac{R-H}{R} \quad \dots\dots\dots (5)$$

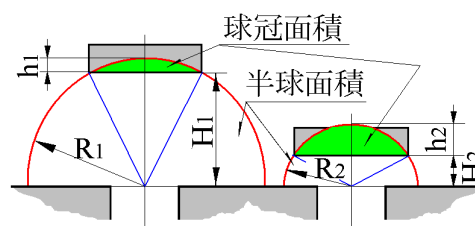


図 25 距離による吸引力減衰

5.2 実験との比較

5.2.1 吸引力と真空度の関係の確認

ポンプの流量を一定にして、円板背面の真空度実測値と円板面積の積が吸引力に等しいことを確認した。直径 180mm の円板を直径 150 mm の吸込み配管に接近させた場合の実測値と計算値（配管内部真空度 x 吸引力）の関係を図 26 に示す。

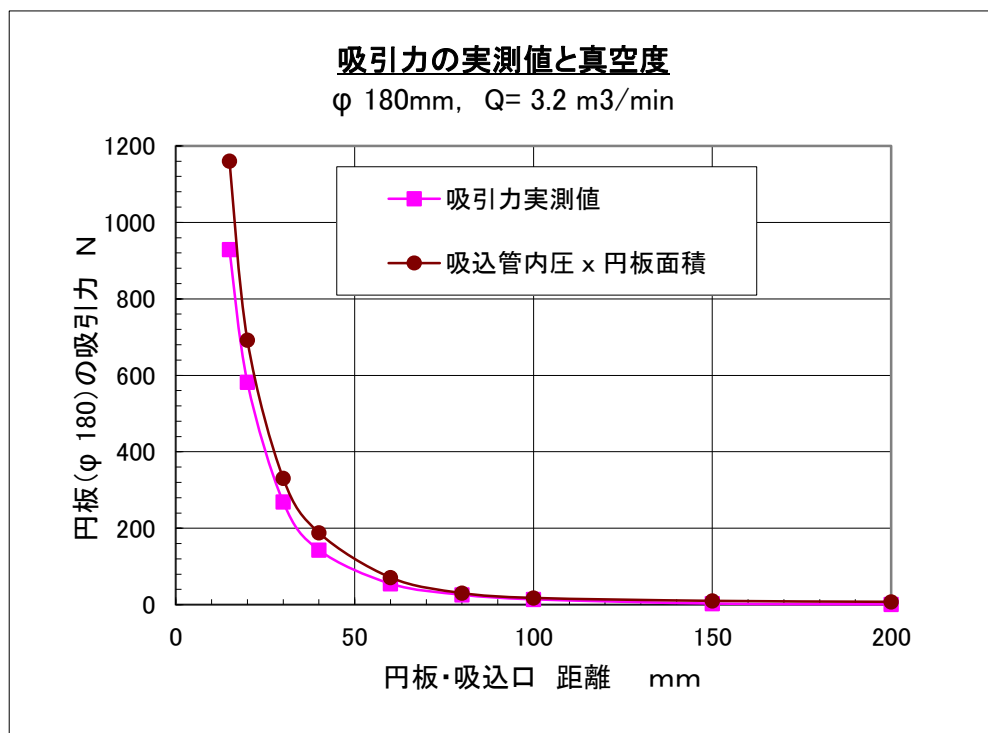


図 26 吸引力実測値と計算値

同様に直径 100mm の円板を直径 150 mm の吸込み配管に接近させた場合の実測値と計算値（配管内部真空度 x 吸引力）の関係を図 27 に示す。この場合には円板を配管内部 10mm まで挿入した。

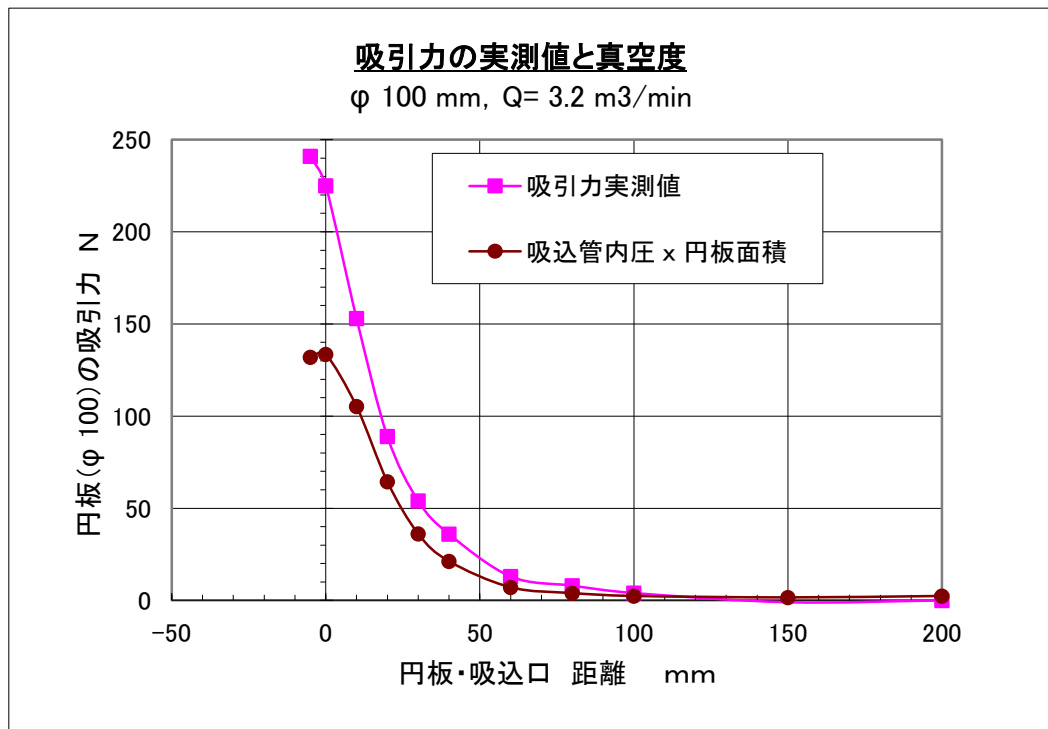
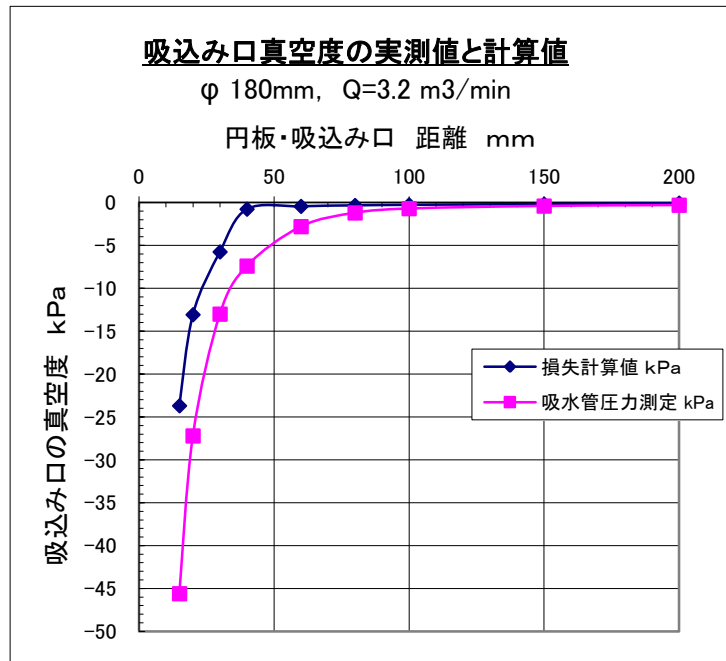
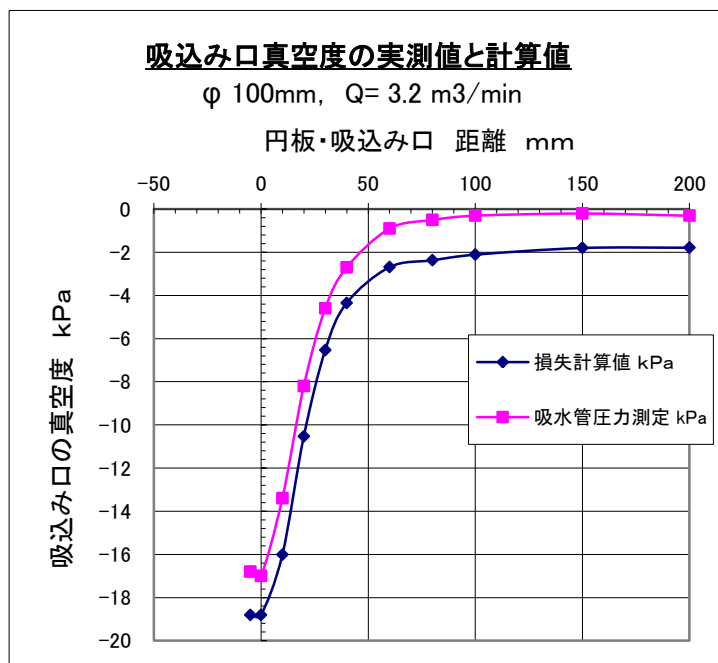


図 27 吸引力実測値と計算値（φ 100mm、流量一定）

以上の2例において、円板を吸込配管の内部にまで挿入した場合には計算値と実験値の差は大きくなったが、円板が10 mm程度まで近づく範囲内では計算値と実験値は概略一致することが分かった。

5.2.2 吸込み圧力から吸引力を推定

ポンプの流量の実測値から求めた吸込み配管内真空度および円板の吸引力と、実際の真空度および吸引力を比較すると図 28 から図 31 に示す様に概略一致することが確認できた。

図 28 吸込み口真空度の実測値と近似計算 $\phi 180\text{mm}$ 、流速一定図 29 吸込み口真空度の実測値と近似計算 $\phi 100\text{mm}$ 、流速一定

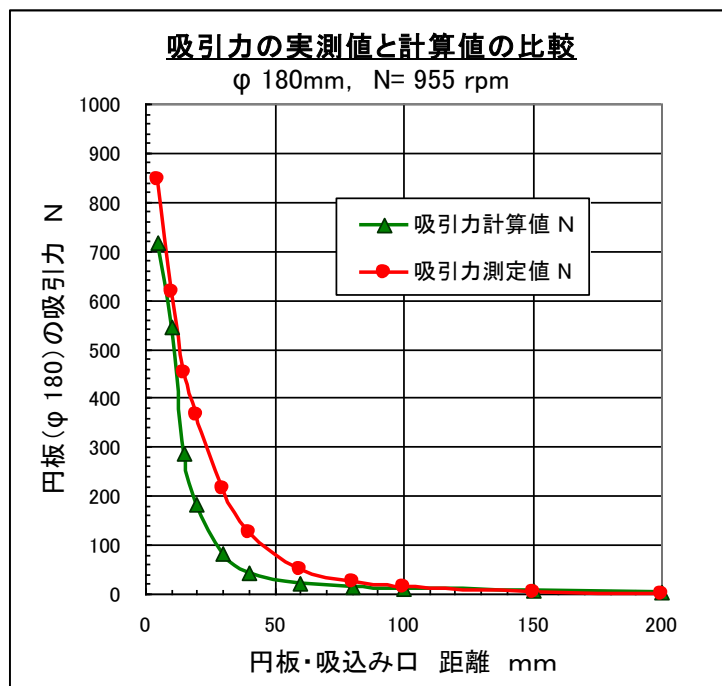


図 30 吸引力の実測値と近似計算 φ 180mm、ポンプ回転数一定

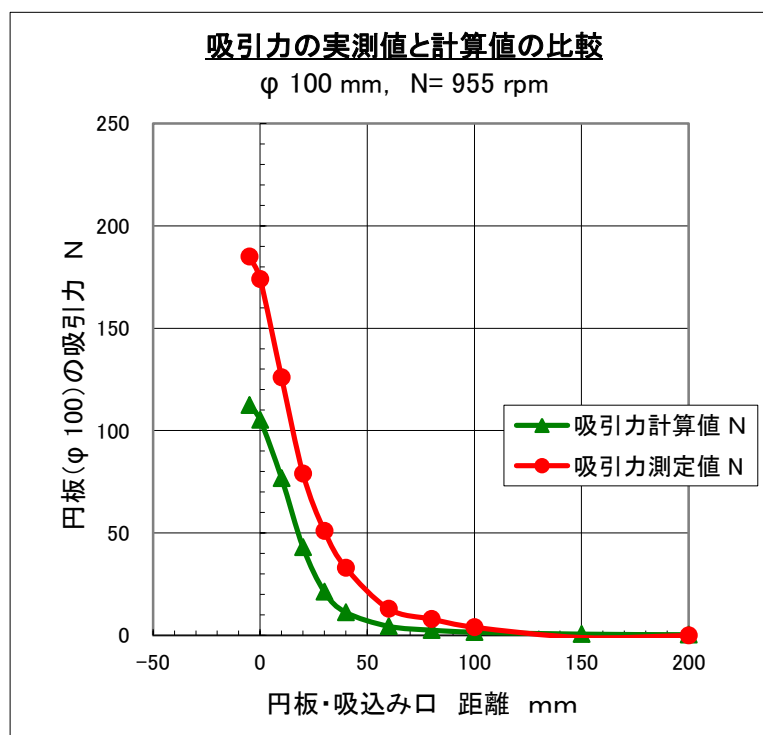


図 31 吸引力の実測値と近似計算 φ 100mm、ポンプ回転数一定

6. 吸込み真空度によるポンプの性能低下

一般に遠心ポンプは、揚程(H)/吐き出し量(Q)/吸い込み水頭特性は既知であり図 32 のように示される。しかし真空に関しては NPSH(Net Positive Suction Head)が求められることが多いが、図

中に加筆した吸込み真空度／流量特性は求められることが無い。

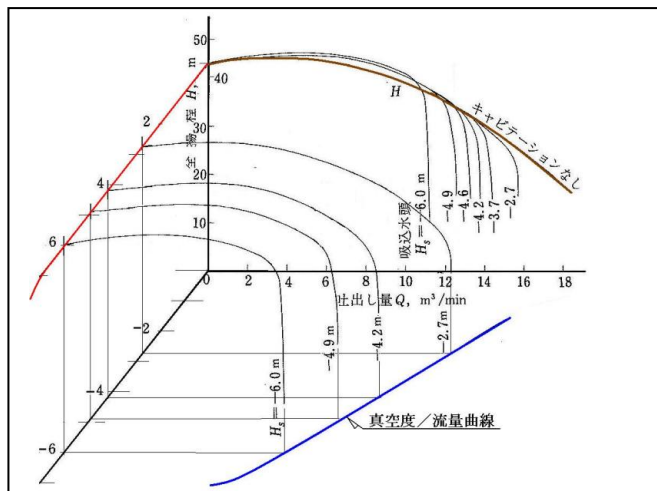


図 32 ポンプの揚程/吐出し/吸い込み水頭の例

通常のプールのポンプ設備ではポンプの台数制御は行うが、各ポンプの流量が一定になるような流量制御は行わないので、吸込み配管内の真空度が上がるとポンプの流量は低下し、真空度が落ちる。このためポンプの流量および吸込み配管内圧は図 33 のポンプ特性より収束演算にて求める。

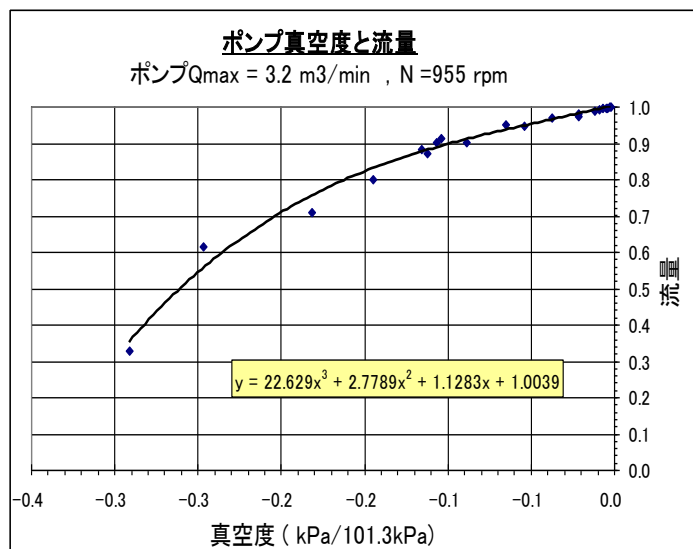


図 33 ポンプの真空度と流量曲線の例

7. 複雑な形状での吸引力の大きさの推定

1/2 人体モデルは全長 600 mm、幅 120mm（胴体幅 75 mm）でその形状を図 16 および図 17 に示した。全長は 180 mmの円板よりも長い、幅は直径 150 mm の吸込配管を塞がない寸法で、手足が立体的についている複雑な形状である。こうした複雑な形状の物体の吸引力は CFD を使用して求めるのが通常であるが、今回は 1/2 人体モデルと円板モデルの吸引力と比較して概略の吸引力を推定できないか、実験結果を比較した。

7.1 ポンプ回転数を一定にした場合

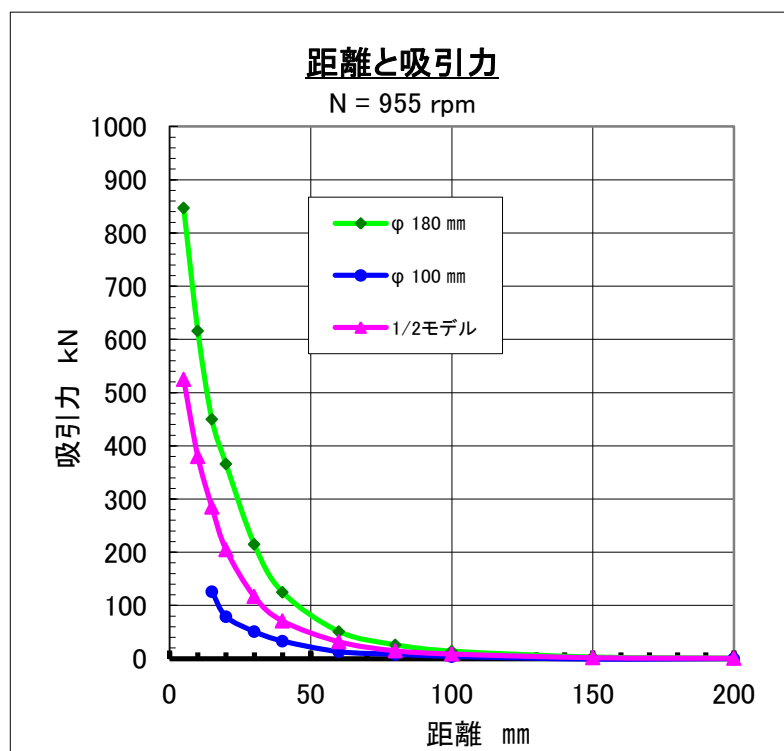


図 34 複雑な形状（1/2 人体モデル）の距離と吸引力の関係、ポンプ回転数を一定

7.2 流量を一定にした場合

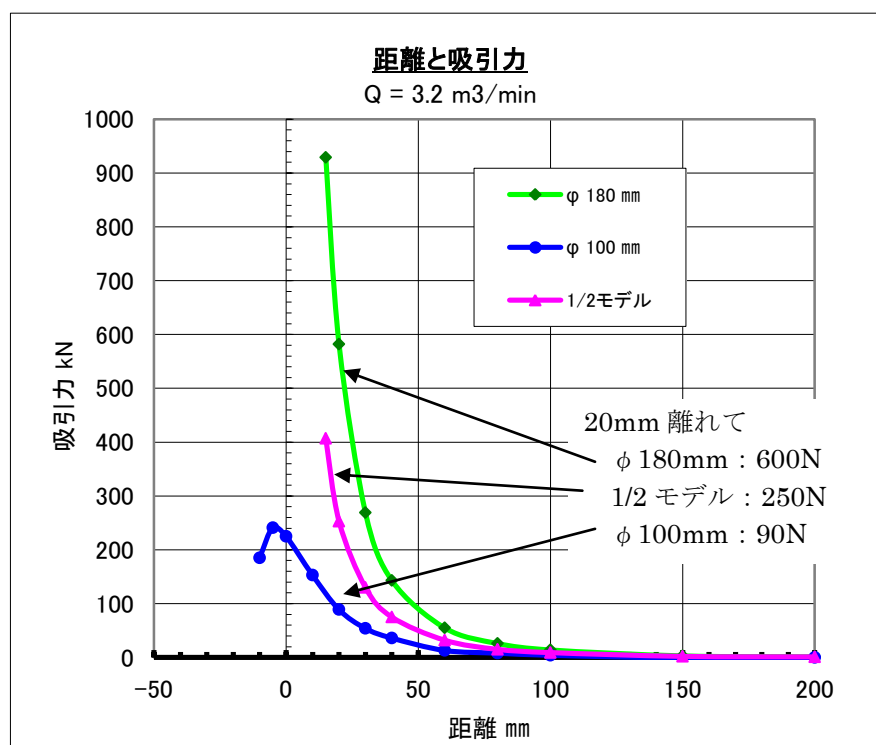


図 35 複雑な形状（1/2 人体モデル）の距離と吸引力の関係、流量を一定

試験結果からは、直径 180 mm 円板と直径 100 mm 円板の間である。このことから流体が吸込配管に流入するための流路の最小幅、すなわち横幅の影響が大きいことがわかる。これらより 1/2 人体モデルの吸引力の簡易計算には円板を使用しても差し支えないと考えることができる。

8. プールの吸込口の吸引力推定

ふじみ野市流水プールには、吸込管呼び口径 300 mm（内径 310.5 mm）、ポンプ流量 $10\text{m}^3/\text{min}$ で、吸込開口部の前方 200 mm に 600 mm x 1200 mm の防護柵（図 5）があった。7 歳児の平均身長は 1200 mm，肩峰幅 270 mm，腸骨稜幅 195 mm 程度であるから⁵⁾、腕まで含んだ寸法として直径 270 mm の円板で計算を行う。図 36 に $\phi 300\text{mm}$ の吸水口と 7 歳女児の大きさの概念図を示す。ポンプの真空度と流量性能は実験に用いたポンプの特性（表 1）をそのまま使い、流量・真空度をあわせるために、比率で表わした。

図 37 と図 38 に示す計算結果は、吸込み配管開口部から約 100 mm 程度はなれた距離から急激に吸引力は増加することを示している。

従って、ふじみ野市の流水プールにおいて防護柵を吸込み配管開口部から 200 mm はなした位置に設けていたことは、防護柵表面に於ける吸込み吸引力は 60N 程度であって妥当であるが、防護柵が外れていると吸込み配管開口部の 7 歳女児への吸引力は 1400N になり、防護柵がはずれたふじみ野市の吸水口は非常に危険であることがこの計算からも裏付けられた。

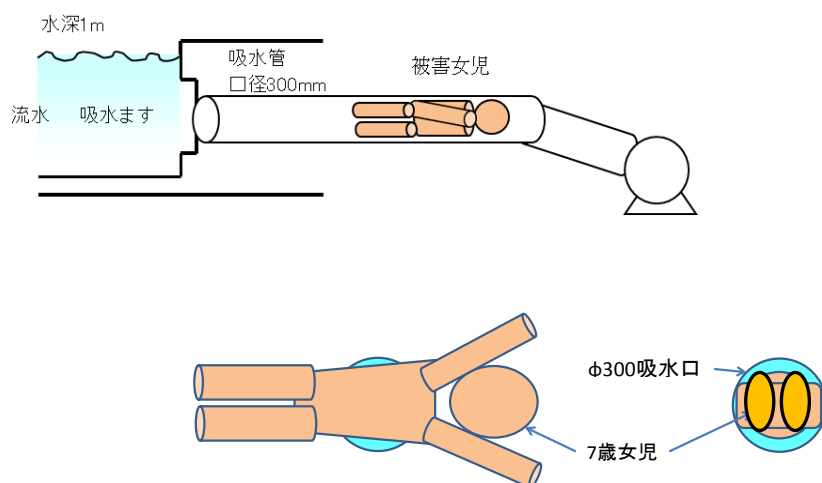


図 36 7 歳女児と吸水口の大きさの概念図

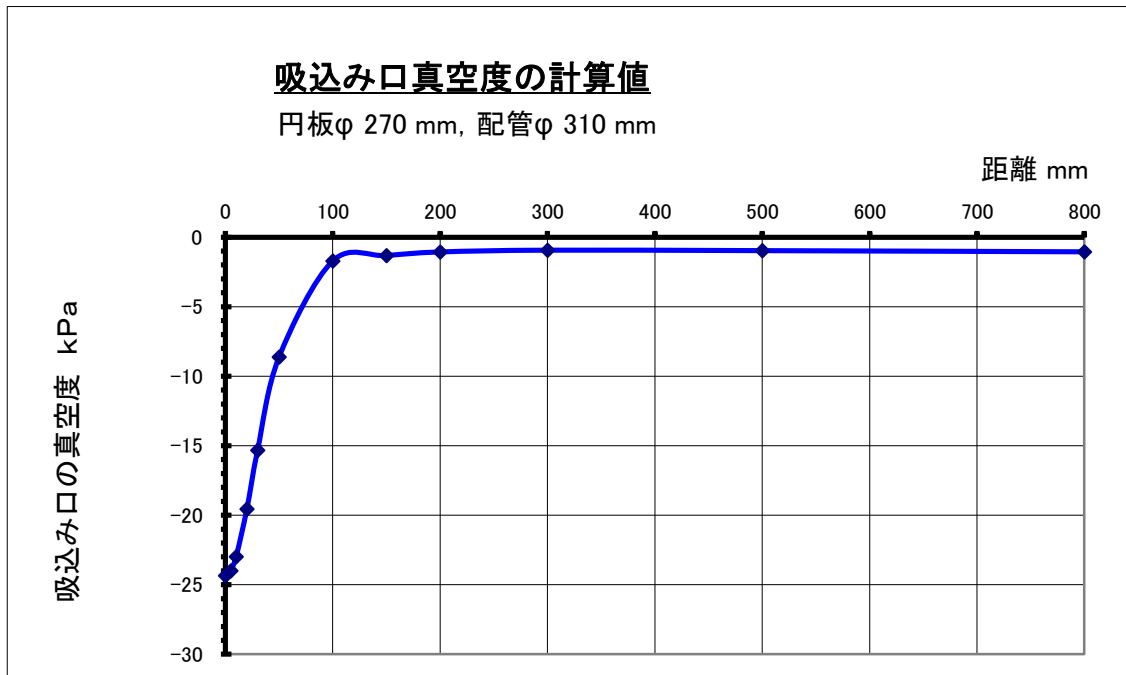


図 37 7 歳児が吸水口に吸い込まれる時の「吸い込み口真空度」

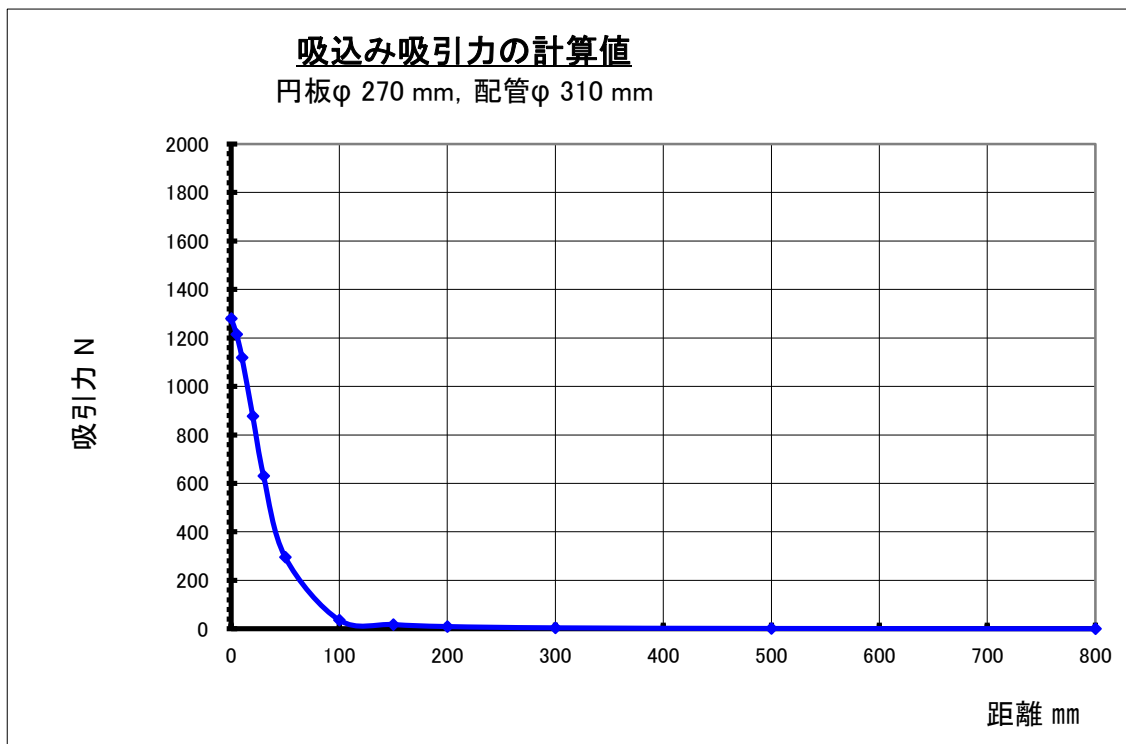


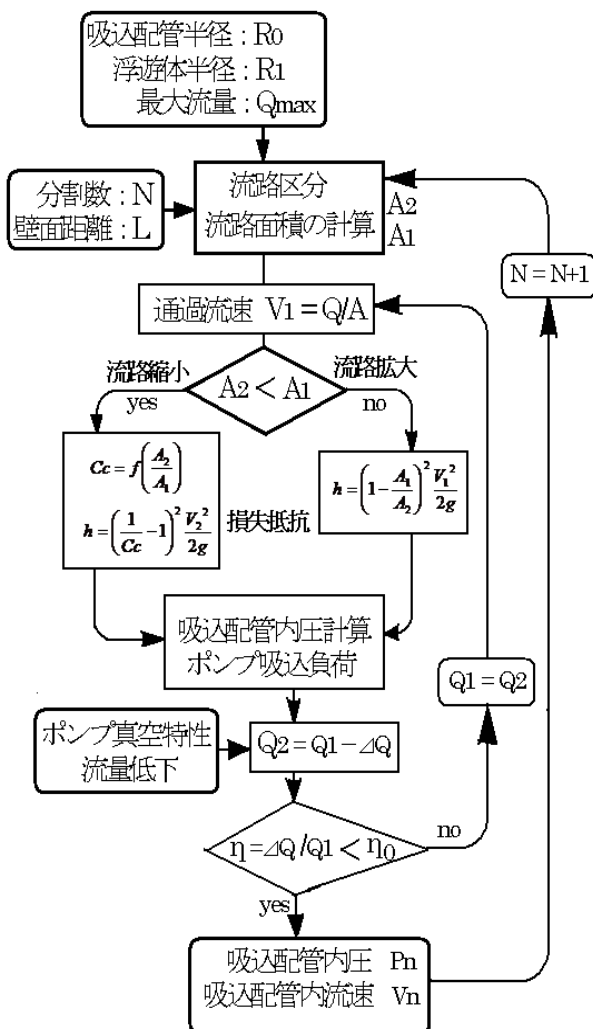
図 38 7 歳児が吸水口に吸い込まれる時の「吸い込み吸引力」の推定値

9. 循環型プールにおけるポンプ吸込み配管の吸引力の推定

循環型プールでは、水泳プールの壁面あるいは底面の一部から吸込みを行い、水泳プールに吐出することで、環状の流体流れを形成している。この吸込み配管からの流体吸引力は、配管吸込み口近傍では大きな値になるために重大な危険源である。これらの吸引力の推定を行えるように表計算ソフトで実行できる計算式を前節の実験とその近似式を利用して開発した。

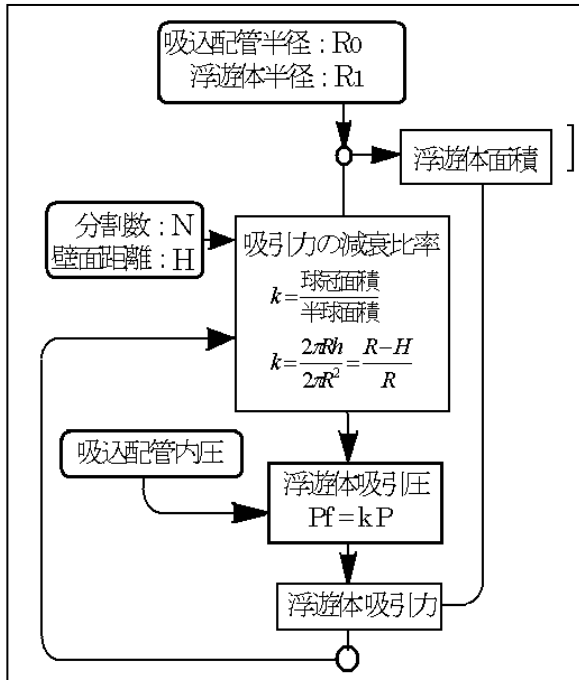
9.1 吸込み配管から離れた浮遊体に働く吸引力の推定手順

流路に抵抗があれば、ポンプまたは吸込み配管は抵抗の分だけ負圧になる。計算のフローをエラー! 参照元が見つかりません。と図 40 に示す。



- ①吸込み配管に至るまでの流路空間に図 24 に示す仮想の仕切り・区分の求め、表面積を求める。
- ②各表面積を通過する流速を求め、区分間の流速の変化から流れの拡大・縮小における流路損失を求める
- ③流路損失の和から、ポンプにかかる吸込み負荷を求める
- ④遠心ポンプは吸込み負圧により流量が低下するので、使用する真空－流量特性曲線 (図 33) を決める
- ⑤(仮定流量) → (損失圧力) → (流量低下) → (仮定流量との比較) → 吸込み配管内圧決定

図 39 吸込み配管から離れた浮遊体に働く吸引力の推定手順 (その 1)



⑥浮遊体にかかる半球を図 25 のように想定し、半球面積と浮遊体上の球冠面積の比を求め、吸込み配管の負圧減衰比とする

⑦吸込み配管圧力から浮遊体にかかる圧力を求め、接触面積から吸引力を求める

本計算は、簡易計算のために流路抵抗は流れの拡大・縮小による損失計算を行った。したがって、結果は概算値である。

詳細な結果を得るためには CFD 数値流体計算が必要である。

図 40 吸込み配管から離れた浮遊体に働く吸引力の推定手順（その 2）

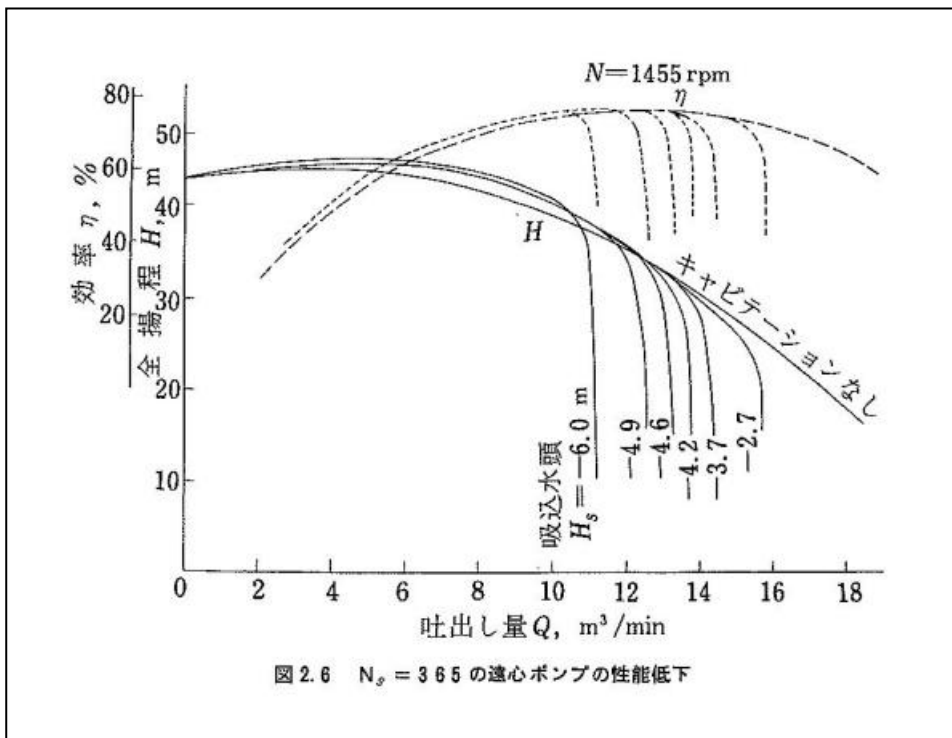


図 41 ポンプの吐き出し量と全揚程（例）

9.2 計算結果

図 42 に吸込み配管径 300mm、浮遊体 $\phi 270\text{mm}$ の円板、ポンプ回転数をほぼ一定としたときの配管口の 1000mm 離れた地点から配管口までの計算の結果を示す。それによると、

- ・浮遊体が吸込み配管に約 100mm 以内になると、吸込み配管圧力は急増し、吸引力も急増するが、真空度が上がるとポンプの流量が低下する。吸水口では吸引力は 1500N (約 150kg 重) となる。
- ・浮遊体は吸込み配管に向かって流されるが、吸引力の増加にしたがって周辺の流体の速度も増す。

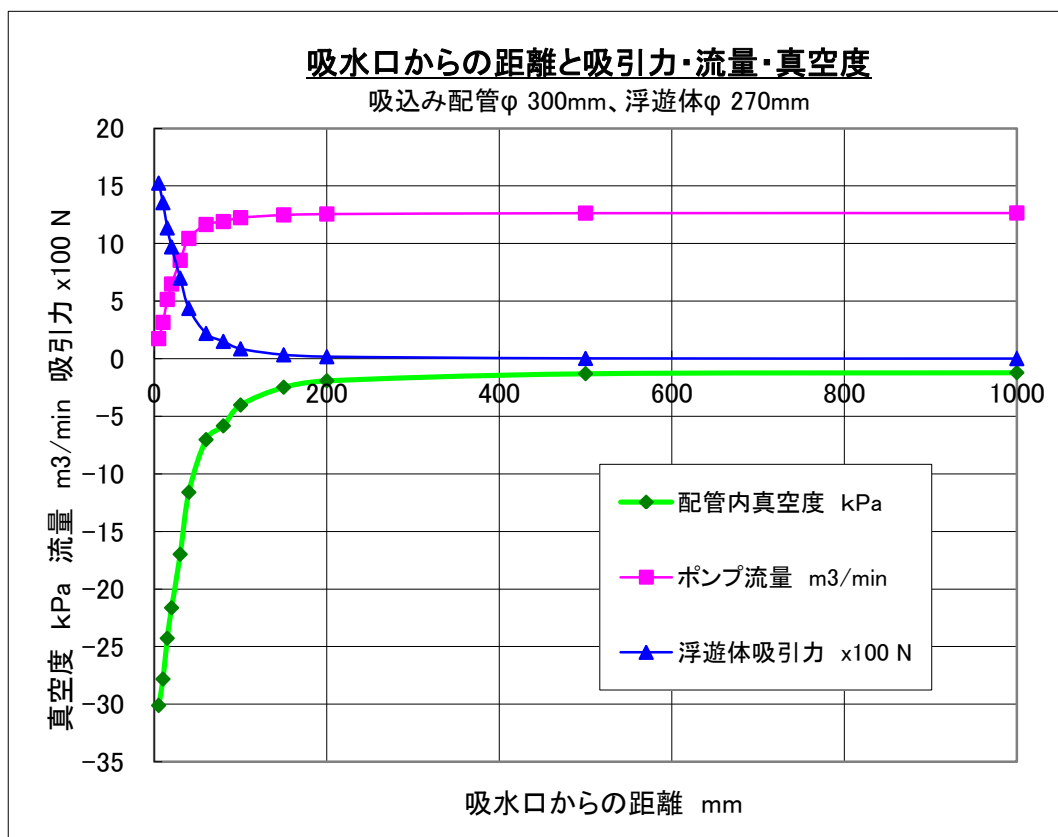


図 42 吸水口からの距離と吸引力・流量・真空度の関連

なお浮遊体 ($\phi 270\text{mm}$ の円板) にかかる吸引力と周辺の流速は、図 43 に示すように吸入口から 500mm 離れた所で約 0.5m/s の速度であり、吸入口から 15mm では 6.75m/s の速度がある。水中における水の流れに逆らうことは大変むずかしいので吸水口に 100mm 付近まで流されると子どもの力では、あるいは成人の力でも、一旦捕捉されると脱出が難しい。

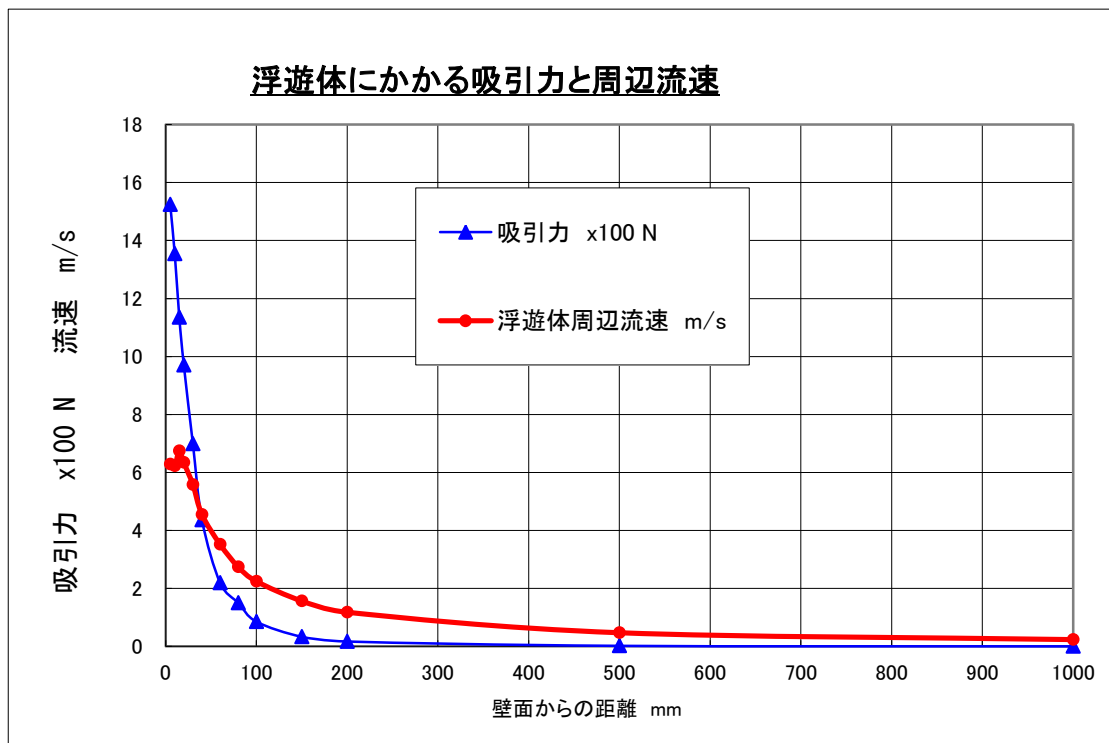
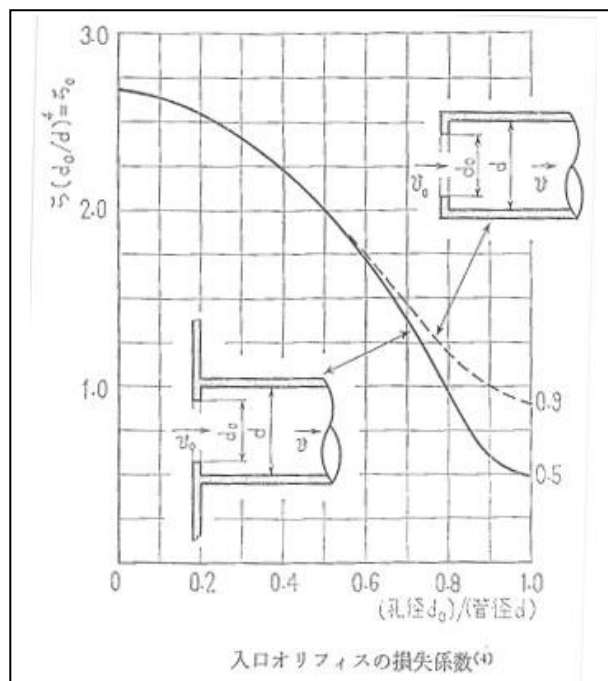


図 43 浮遊体にかかる吸引力と周辺の流速

9.3 閉塞状態の吸引力



配管入り口が浮遊体により、一部または全てが閉塞された場合の流路抵抗は、簡易的に図 44 に示す入口オリフィスの損失係数を用いる。

図 44 入口オリフィスの損失係数

浮遊体が吸水口の開口部に達すれば、吸込み配管の開口面の面積は小さくなり閉塞される率が増加する（図 45）ので、吸引力は最大になる。吸込み配管 300mm、最大流速 3m/s のポンプが、90% 閉塞（10% 開口）の場合では約 2000N（約 200kg 重）の吸引力が働く様子を図 46 に示す。これはとてもリスクが高い危険源である。

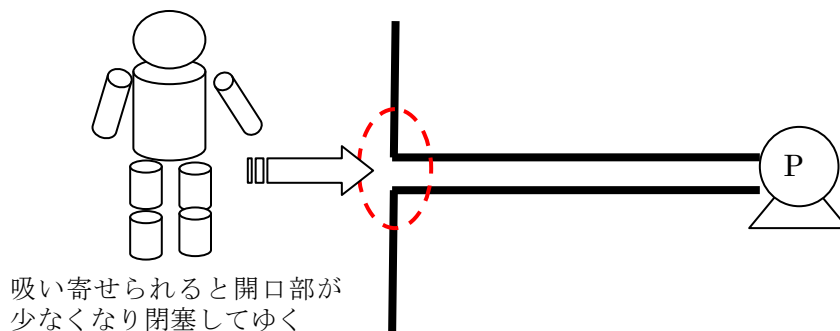


図 45 吸水口の開口部の面積を縮小する

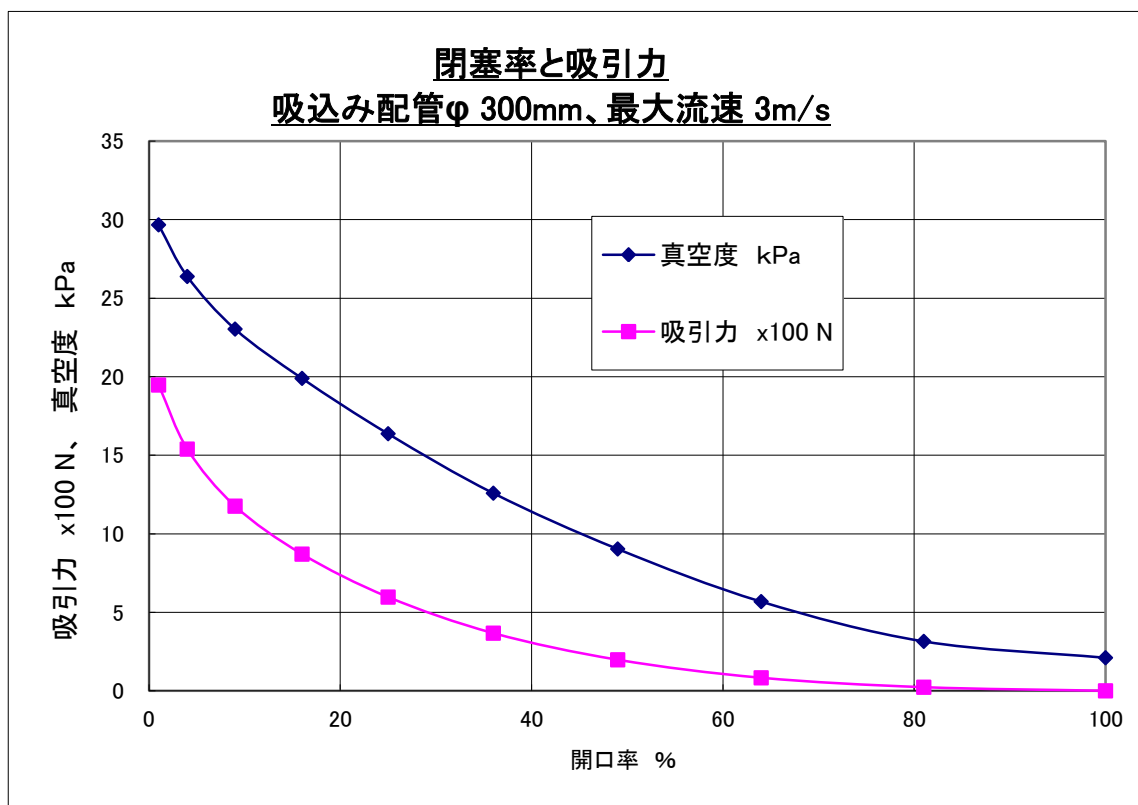


図 46 吸い込み配管φ 300 の配管の開口面積と割合と真空度および吸引力

9.4 分岐管の場合の吸引力

ポンプから2つに分岐した吸込み配管を配すれば、一方が全て閉止されても、流路面積の50%は常に確保される。この方式はプールの安全標準指針⁶⁾においても推奨されている。その一例を図47に示す。

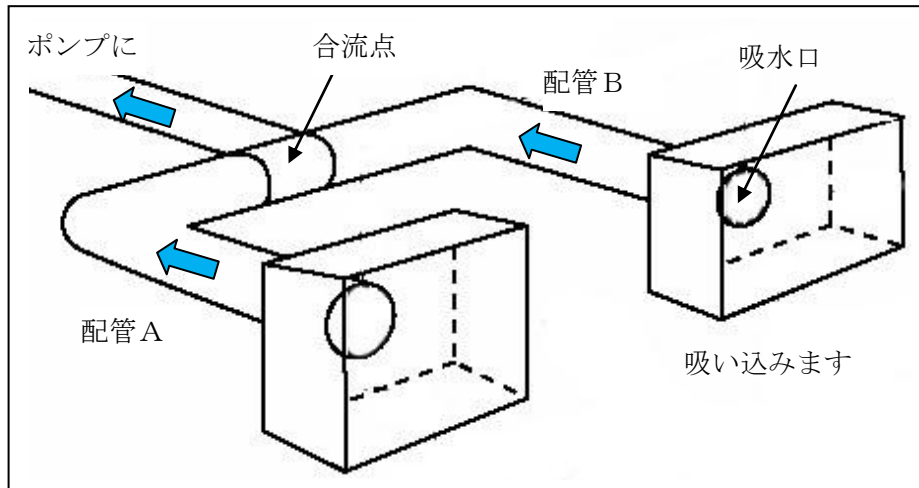


図47 2分岐した吸込み配管（例）

配管が分岐しても合流点における流体の圧力は、いずれの側でも同じである。このことから各々の配管について流路抵抗から配管の内部圧力を計算により求め、両者が一致するように両方の配管に流れる流体の流量を配分する。

すなわち、流路抵抗計算のフローチャートに示すように、与えたポンプ流量において、

- ① 流量 Q_1 による流路抵抗による圧力損失（圧力低下 ΔP_1 ）と、ポンプの「流量・負圧特性」の圧力低下 ΔP_2 に相当する流量 Q_2 が、それぞれ等しくなるように、流量 Q_1 を求める。
- ② 分岐した配管 A を流量 Q_A が通過するときの圧力低下 ΔP_A と、配管 B を流量 Q_B が通過するときの圧力低下 ΔP_B とが等しくなるように、分配流量比率を決める

このために、繰返し収束演算を行う。

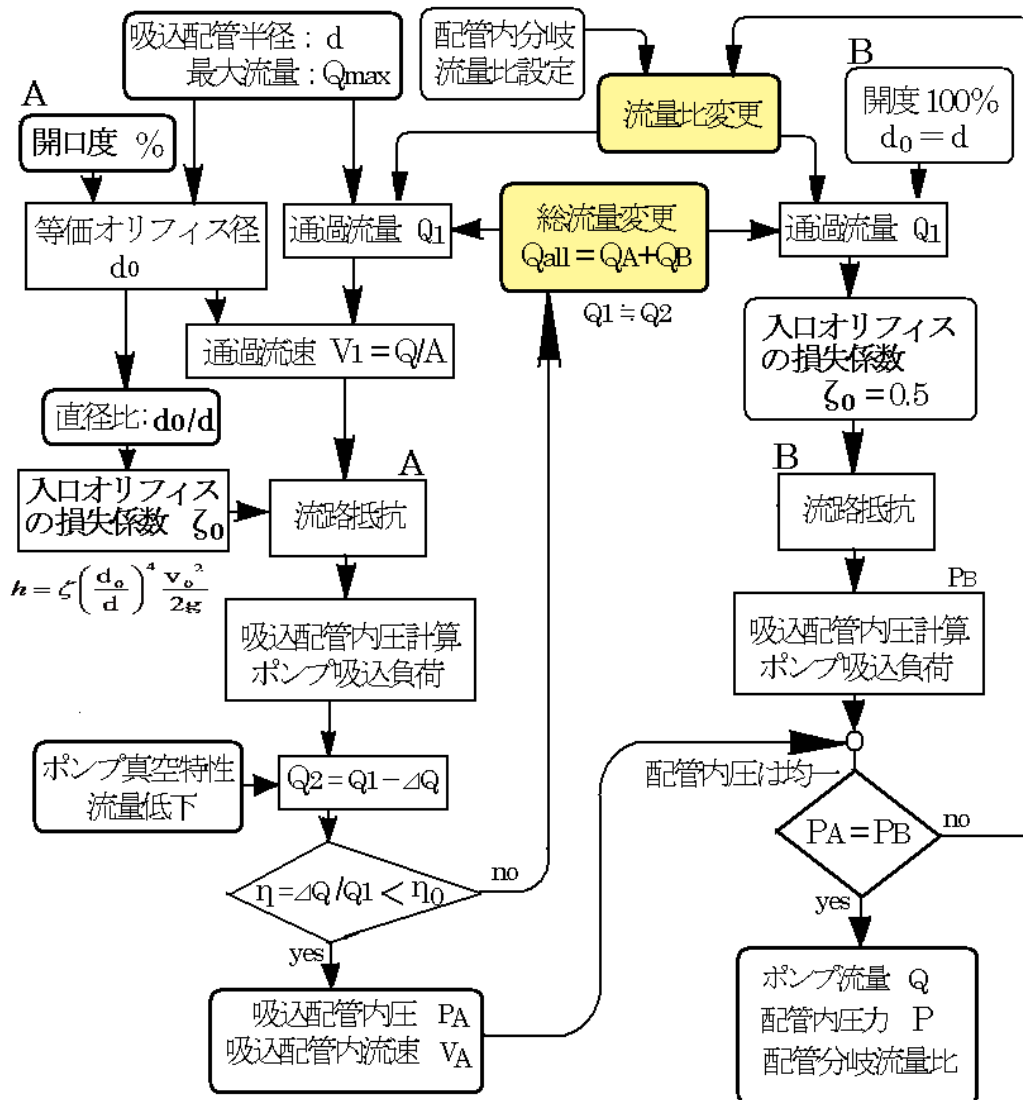


図 48 2 分岐吸水配管におけるフロー図

図 48 のフローに従って、吸入口配管を、事故時と同じ吸い込み配管 $\phi 300$ を 1 本の場合（これを単管という）、吸込み配管を $\phi 300\text{mm}$ で 2 分岐にした場合、吸い込み口を $\phi 200\text{mm}$ の 2 分岐にした場合の 3 例について配管入口（吸入口）の真空度および吸引力を求めて比較検討する。

表 3 吸入口の区分					
区分	内径	本数	総面積	面積比率	呼び径
単管（吸入配管）	304.7mm	1	2920 cm^2	1	300mm
分岐配管	300mm 2 本	2	5840 cm^2	2	300mm
	200mm 2 本	2	2630 cm^2	0.90	200mm

吸入口を2分岐し、片側吸入口は100%の開口状態、他の片側を100%の開口状態から全閉まで変化させると、ポンプへの流量は両方の配管に分割され、図49に示す様に閉塞される吸入口側の流量の割合および全流量は変化する。

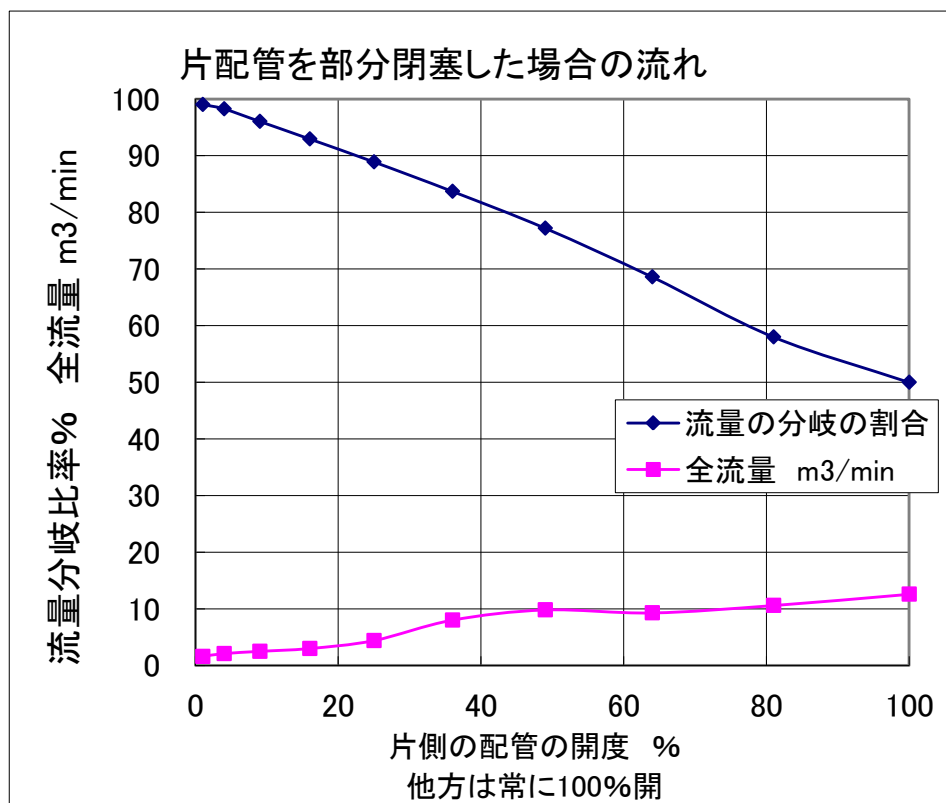


図 49 2分岐配管の片吸入口を部分閉塞した時の流量変化

2分岐する場合に、ポンプ吸入側配管と同じ配管径で2分岐配管する場合と、配管断面積をほぼ維持しながら吸入口側の配管径を小さくする場合がある。300mmの配管がそのまま取水口壁面までつながっている場合に比べ、末端が200mmの配管2本に分岐している場合は、面積比は1:0.9とあまり変わらないが、300mm配管が全閉近くの場合に比べ200mm配管の一方が全閉近くの場合の吸引力は、1:0.13程度に急減する。

これは、吸引を受ける面積が半減するのみならず、流体損失が速度の2乗に比例するため、開口面積の2乗に逆比例し、狭くなると急激に増加することによる。

これは、閉塞される側の配管の面積比ではなく、配管の開口総面積比で比べると、同様な曲線になるので明らかである。

表 3 に示す 3 種類の吸入口の区分（300mm 単管、300mm² 分岐、200mm² 分岐）による吸引力と吸入口開度（面積%）の関係を図 50 に示した。また、吸引力を総開口度と比較したものを図 51 に示した。

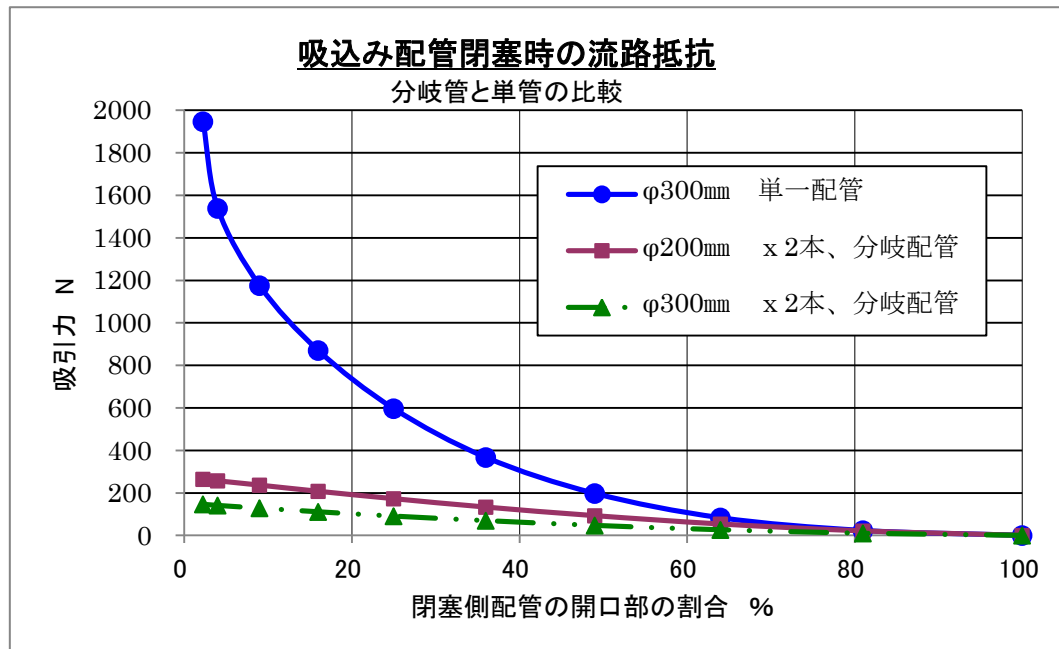


図 50 吸入口の開口部の割合と吸引力の関係

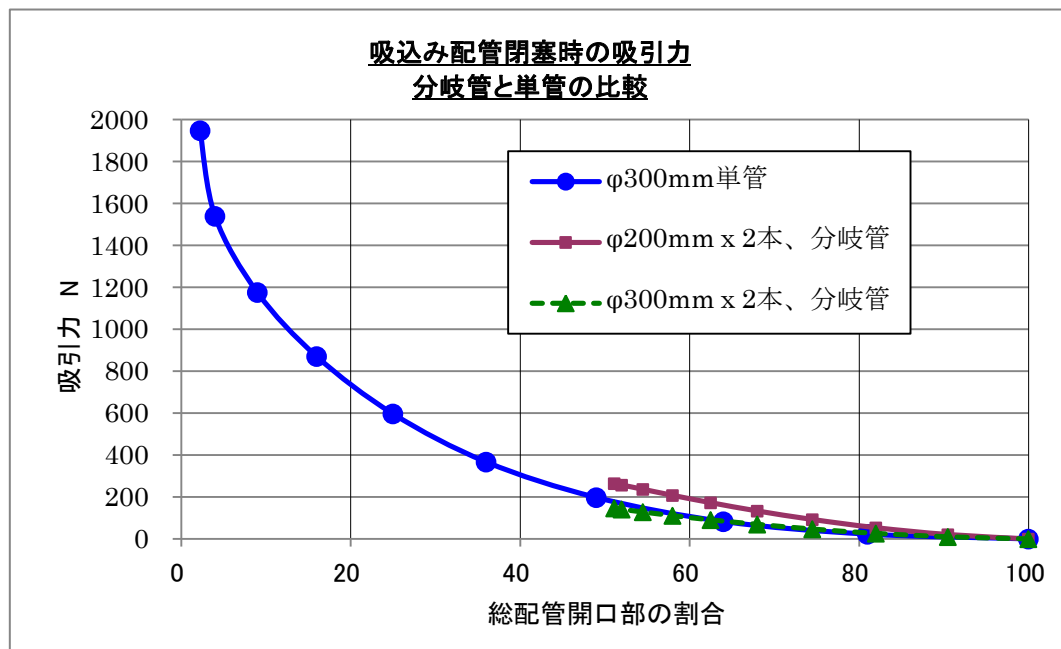


図 51 吸入口の総開口面積との割合と吸引力の関係

以上をまとめると、呼び口径 300mm の単管の吸水口では 100%の閉塞で 1950N、50%の閉塞で 200N の吸引力である。2 分岐の吸水口の片側の吸水口が 100%全閉塞状態では、300mm の場合 150N、200mm の場合は 260N 程度になり、同様に 75%閉塞状態では、各々90N、170N、50%

の閉塞状態では 47N、92N と減少する。表 4 にまとめて示す。

表 4 吸水口閉塞率と吸引力						
吸入口の 区分	配管径 (呼び口径)	配管 本数	吸引力 N			
			全閉塞	75%閉塞	50%閉塞	
単管	300mm	1	1950	600	200	12 インチ
2 分岐	300mm	2	150	90	47	
	200mm	2	260	170	93	8 インチ

9.5 分岐配管をした場合の吸引力および管内流速

2 分岐の吸入口における吸引力を流路抵抗と流量と共に図 52、図 53 に示す

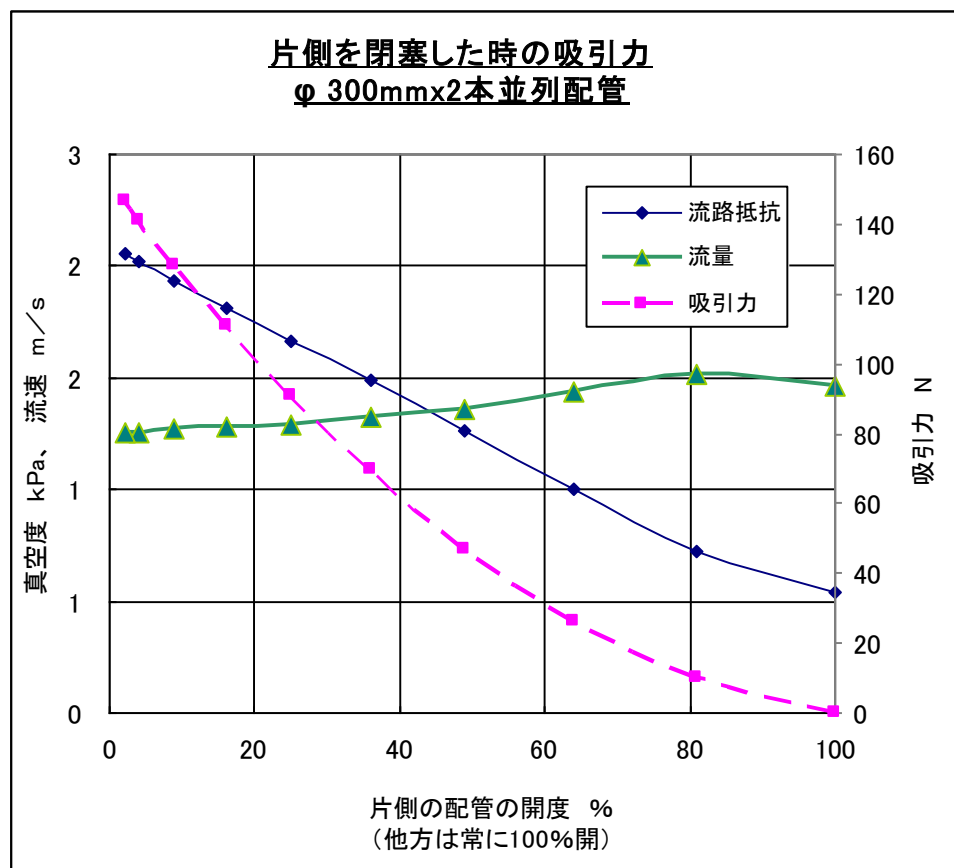


図 52 2 分岐配管の片側を閉塞したときの吸引力、流路抵抗、流量、φ 300mm

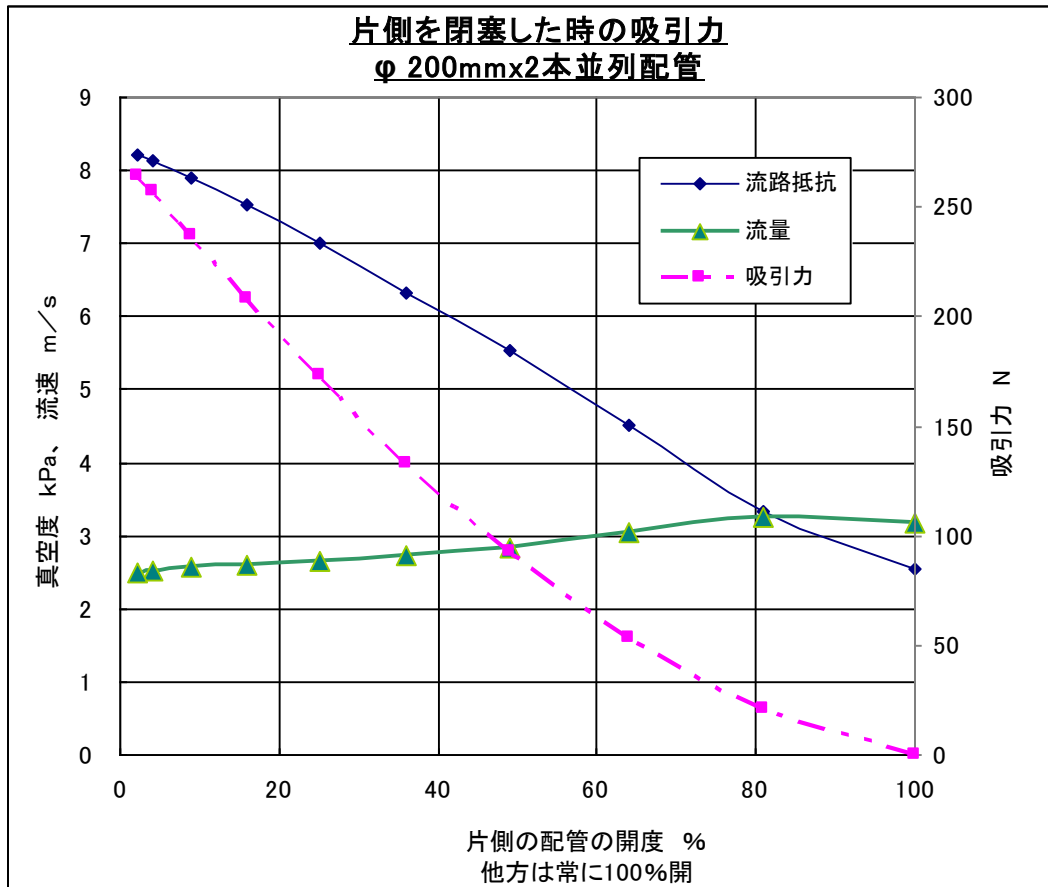


図 53 2分岐配管の片側を閉塞したときの吸引力、流路抵抗、流量、φ 200mm

10. まとめ（提言）

楽しいはずの水泳プールやアトラクション施設（流れるプール、ウォータースライドなど）における吸い込まれ事故原因を解明するための吸引力を解析したのでその結果をまとめ、いくつかの提言をしたい。

10.1 吸い込まれる力（吸引力）

吸引力は驚くほど大きいことが判明した。事故のあったふじみ野市営流水プールの口径 300mm 流速 3m/s の単管吸水口では、図 50、図 51 で示したように 100%の閉塞時に最大 2000N（約 200kg 重）、50%の閉塞時には 200N（約 20kg 重）の吸引力が発生する。水中で吸水口に吸い寄せられると支えとなる箇所不足もあって子どもだけではなく成人でも脱出が困難になる。従って吸入口に捕捉されないようにプールの設備を改善しなければならない。

（注）水中で捕捉されかかったときに脱出可能な吸引力は定説がないので本研究では暫定的に数十 N（ニュートン）、数キログラム重、を吸引力の限界と見なした。

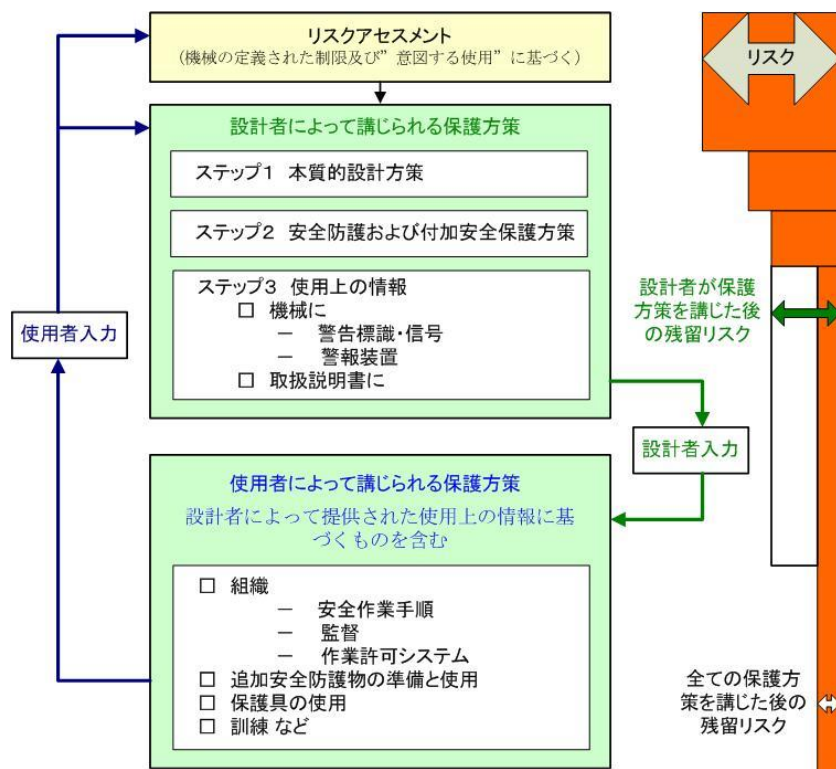
10.2 安全に関する国際規格

水泳している子どもが吸い込まれる事故を無くすには、吸い込みの危険源を除去すれば、あるいは低減する方策がある。いままで事故が発生したプールやアトラクション施設ではいずれも捕捉された子どもの力では離脱できない力の吸水口が存在した。起流・揚水・循環ポンプへの取水を吸い込みの危険が生じないように設計するには、安全に関する国際規格 ISO12100:2010⁷⁾（JIS 規格 B9700-1、B9700-2、B9702）が定める手順（図 54 に示す）に従ってリスクへの対処をおこなうこと。なおこのリスクの低減に関わる順序の変更や省略は許されていない。

- 1) 本質的安全設計方策：リスクの高い危険源を除去するあるいは許容可能な大きさにまでリスクを小さくする。
- 2) 安全防護方策：危険源である吸水口に水泳中の子どもが接近できないように安全距離を確保する。安全防護策はリスクが少ない事を十分に吟味したものでなければならない。
- 3) 残留リスクについての使用上の情報：設計・施工者が検討したプールの管理者が知っておかねばならない吸い込まれる危険源のリスクの情報を提供する。

上記の 1)、2)、3)を 3 ステップメソッドと呼ぶ。

プールの管理者は、使用上の情報に基づき、また自らがリスクアセスメントした結果に基づいて適切にプールの運営管理にあたる人々を教育訓練し、機械器具を整備する。



出典 ISO 12100-1/JIS B9700-1 図1 設計者の観点によるリスク低減プロセス

図 54 安全に関する国際規格が定める3ステップメソッド

10.3 人に頼らない安全

監視員を配置することで施設に潜在するリスクへ対応としているプールがある。もし人に頼ることを主とする安全方策であるならば、これは極めて危険である。

危険源である吸入口に遊泳者が接近すると流れに押されて更に危険源に接近する。この時間は秒の単位であり監督者・監視人による見守りでは防げない。従って吸い込まれ対策は人による監視ではなく設備・施設による防護策が必要である。

また蓋の固定ボルトや締めつけねじなどが緩んでいないか、抜け落ちる恐れが無いかを毎日の営業開始前あるいは定時に確認することは大事な事であるが、点検にミスがあると事故につながるものでこれは人に依存する安全であり、本報告書は推奨しない。

10.4 設備・施設による安全

起流ポンプ、揚水ポンプあるいは消毒用循環ポンプによる吸い込み力は図 50 に示す例では 2000N (約 200kg 重) にも達することが判明した。この吸い込み力は、ポンプの大きさ、配管径、流速などで定まるが、吸い込まれて捉えられる (機械安全では「捕捉」と呼ぶ、ISO12100:2010 (JIS 規格 B9700-1)) の危険源であり、いったん捕捉されると子どものみならず成人であっても

脱出が不可能な高いリスクである。この高いリスクを3ステップメソッドで低減する方法の具体策のいくつかを提案する。

10.4.1 本質的安全設計方針

プールで吸い込まれる危険源に対する本質的安全方針には、吸い込まれる作動力を十分に小さく制限することがある（ISO12100:2010、6.2.2.2 a）。具体的には吸い込まれの危険源を除去すること、あるいは吸い込まれてもその吸引力が十分低くてリスクが許容出来る構造であることである。図 55 に示すオーバーフロー型がその一例である。

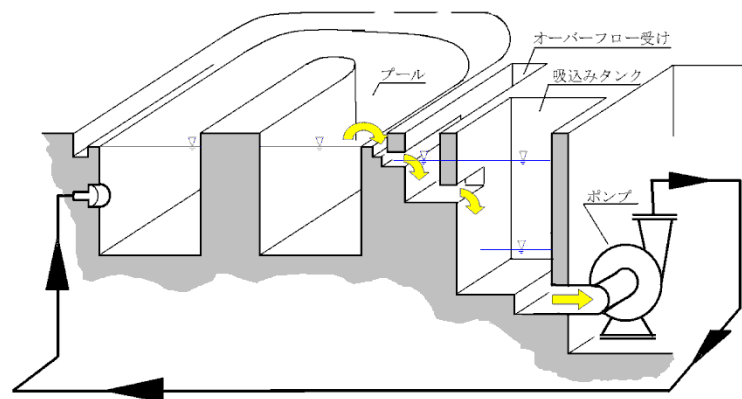


図 55 オーバーフロー型取水（例）

吸水ますの吸水口から取水するタイプでは、2分岐（図 47 参照）、あるいは4分岐以上を設けることで吸引力を低下させることができる。また図 56 に示すように吸入口に有孔管を接続し吸水口の数を増加させる方法もある。これらは吸入口で捕捉されるリスクを十分に低減する事である。吸入口に接しても捕捉されず子どもが離脱できる吸引力（数十 N とする）以下にあることが必要である。

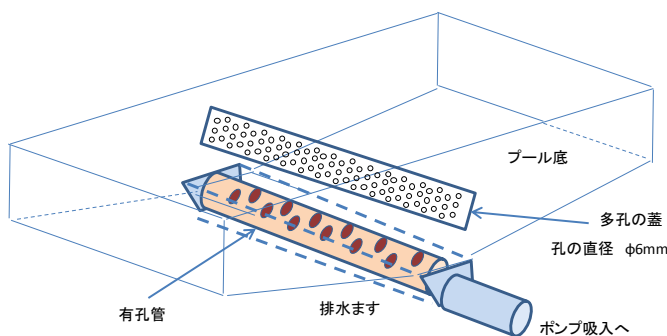


図 56 有孔管で吸入口を延長する例



図 57 プール底面の吸水ます

10.4.2 安全防護方策

ガードを、本質的安全設計によって合理的に危険源を除去出来ない又はリスクを十分に低減出来ない場合には、人を保護するために使用しなければならない（ISO12100:2010, 6.3）。吸水ますの蓋は国際規格の固定式ガードに相当する。

蓋への要求事項は：

- ①多数の孔が空いた十分な厚みのステンレス製蓋を取水ますの表面に取り付けること。この蓋の孔の数は吸入口断面積の4倍以上が必要といわれているが孔の数と総断面積は設計時に検討し決定すること。蓋の孔は指が入らない直径約6mmを推奨する。図5のような柵構造は手足が柵に挟み込まれる可能性があるので適切ではない。
- ②多孔の蓋は吸水口から約200mm以上はなれていること。
- ③蓋は利用者（成人）の身体（例えば背中など）によって孔が塞がれても危険な吸引力が発生しないよう流量が確保されるだけの十分な大きさがあること。
- ④ 取水ますの蓋の存在は吸い込まれリスク低減に不可欠であるので、蓋の上部にヒンジを付けて自重で蓋が閉じる構造とすること（図59の右図参照）。
- ⑤ 取水ますの蓋がいたずらなどで開けられないように図60に示すように施錠あるいはシャックル止めとすること。蓋のボルト締めあるいは小ビス止めは、締めつけが緩む恐れがあるので推奨しない。
- ⑥吸入口には人体が密着しても吸入口のすき間約50%（面積比）以上を確保出来る吸い付き防止金具を溶接すること。図58に示す吸い込み防止金具は円弧状を十文字に交差させたものである。
- ⑦設計にあたっては、ポンプの仕様、配管サイズなどから安全を保てる大きさの吸入口の大きさ（配管寸法）、ポンプ容量、流速を確認すること。
- ⑧プールサイドにポンプの非常停止押しボタンを設置すること。これは国際規格が規定する付加保護方策である。

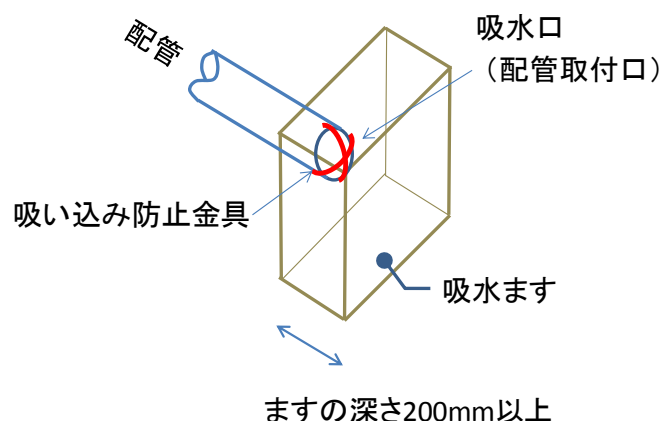


図 58 吸い込み防止金具と吸水口

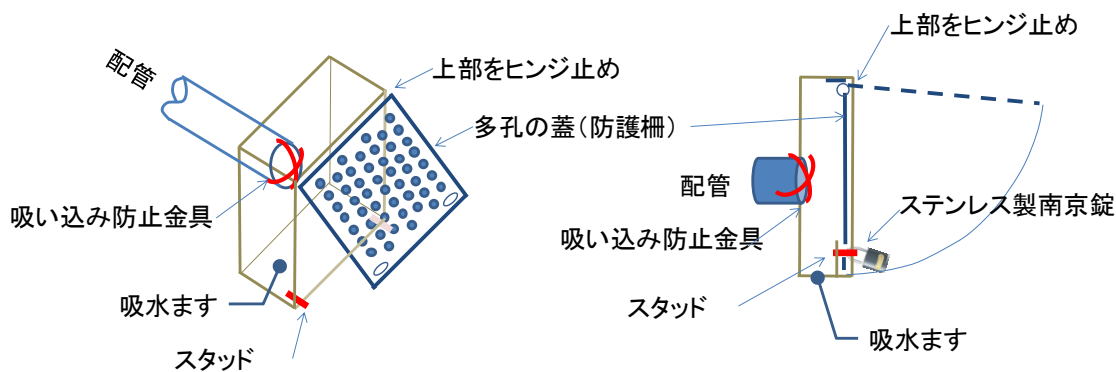


図 59 多孔の蓋とそのヒンジ取付

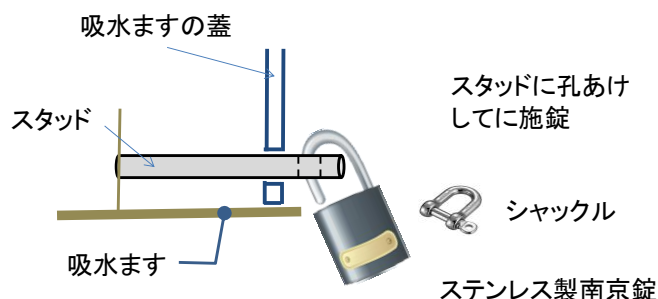


図 60 蓋の施錠方法

10.5 プール標準安全指針 改訂のお願い

平成19年3月に文部科学省と国土交通省が制定された「プールの安全標準指針」には、多くの有益な指導とその解説が含まれておりとても有益な指針である。しかし既存プールへの配慮もあつてか安全方策への指針の理解に苦慮するところもある。吸い込まれ危険のない、あるいは吸い込まれるリスクが十分に低いプール、即ち本質的安全設計がおこなわれたプールになるように設計すること又は改善することへの指導が必要と考える。

また既設のプールへの配慮であるのか、蓋の固定ボルトの点検を人に委ねることを許容しており、そのため機械的に締めつけるボルトが緩み蓋の落下という危険を常に包含している。本報告書で提案したような自重で自動的に閉まる蓋、万一吸い付けられても身体と蓋の間にすき間が確保され吸引力が抑制されるしくみ、ボルトや小ビスの緩みがあっても安心できる蓋の取り付けと施錠などの解説があれば設計者には更に貴重なアドバイスとなるであろう。

オーバーフロー型ではない、吸水ますと吸水口の組合せでは、配管サイズの選定、ポンプの選定、流速の決定などにはCFD（数値流体力学）の応用が望ましいがこの分野の専門家が少ないので安全設計が容易ではないと思われる。しかし建築物において強度計算が求められるようにプールの吸い込み口のリスクについては今回の報告書に記述したような、吸い込まれる力を設計段階で確認設計をおこない、安心して利用できる水泳施設にするべきであるなどのご指導があればと心から希望いたします。

参考文献

- 1) 山本浩（日本水泳連盟）（2007）. 水泳プールの吸・排水口事故の実態とその予防. 水泳プールでの重大事故を防ぐ, ブックハウス HD: 34-42.
- 2) 森山哲, 佐藤国仁, et al. (2010). 日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究 (平成 21 年度). 子どもの安全研究グループ.
- 3) 森山哲, 佐藤国仁, et al. (2011). 日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究 (平成 22 年度). 子どもの安全研究グループ.
- 4) 有田一彦 (1997). あぶないプール 学校プールにご用心, pp76、三一書房.
- 5) (社) 人間生活工学研究センター[HQL] (2009). "機械製品の安全性向上のための子どもの身体特性データベースの構築及び人体損傷状況の可視化シミュレーション技術の調査研究 " HQL.
- 6) 文部科学省 国土交通省 (2007). プールの安全標準指針 平成 19 年 3 月. 文部科学省 国土交通省.
- 7) ISO, ISO12100:2010、Safety of machinery – General principles of design –Risk assessment and risk reduction、2010

浴槽用浮き輪による溺水事故防止

1. はじめに

浴槽用浮き輪による子どもの溺水事故が多数発生していたことが国民生活センターにより発表されて明らかになった（朝日新聞 2007年7月6日）。新聞によれば、01～06年に事故は7件あり、うち1人が死亡、1人が意識不明の重体に陥っていたとされている。一方、国民生活センターのホームページ¹⁾（以下 HP という）によれば、その後の事故の再発を防止するために下記のような対策をとったとされている。

① 一般への注意喚起

HP では浮き輪に乗った人形が浮き輪とともにひっくり返る状況を動画にして危険な状況を示した上で「この商品を乳幼児に用いることは避けるべきと考える。どうしても使う場合は、保護者は絶対に目を離してはいけない」との警告をしている。同様主旨の警告について国民生活センターのパンフレット²⁾も発行され、一般に広報がなされている。

② 業界へのアクション

同 HP には「これらの製品について（玩具の安全性を示す）ST マークの更新を行わないとの通知が（社）日本玩具協会から出されているが、---中略--- 関係団体および事業者自らが、当該製品の根本的な見直しと消費者への注意喚起を早急に行うことを要望する。」と記されている。

しかしながら上記の手段はいずれも安全方策として「注意表示情報と管理」に頼っており、事故原因の工学的な解析が不十分なまま、安全方策として重要な第1ステップ「本質安全設計」についても第2ステップの「安全防護」についても検討がなされていない。従って注意を少しでも怠ることがあれば事故は再発する危険がある（3ステップメソッド³⁾）。現実には2009年3月と10月に浴槽における浮き輪事故が発生したことが、医療機関から報告されている⁴⁾。

公益社団法人日本技術士会登録 子どもの安全研究グループ（以下「当グループ」と略称する）では「広範なエンジニアリングの知見を活用して、子どもの不慮の事故を防止する」というグループの活動目標に沿って、この浴槽用浮き輪あるいは一般の浮き輪（以下、浮き輪と総称）による溺水事故の問題を取りあげ、事故発生原因の解析と実証を行った。【平成21年度及び平成22年度「日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究」】^{5), 6)}

平成23年度は、前年度までの研究の結果明らかになった浮き輪の転覆限界の存在と逆さ宙吊り現象について、この危険を防止または軽減する手段を考案すること、および危険な現象についての解析結果を広く一般に公表することを目的とした。

2. 提案プロジェクトの目的

本報告は、当グループが行った平成21年度⁵⁾、平成22年度⁶⁾の研究報告に続く第3年度の研究報告であり、平成22年度までの研究による原因解析の結果から考えられる有効な手段を更に具体的な形に表し、生産・販売などの業界の協力を得ながら事故の再発防止に貢献することを目的としている。

3. 経緯

3.1 平成21年度研究報告の要約

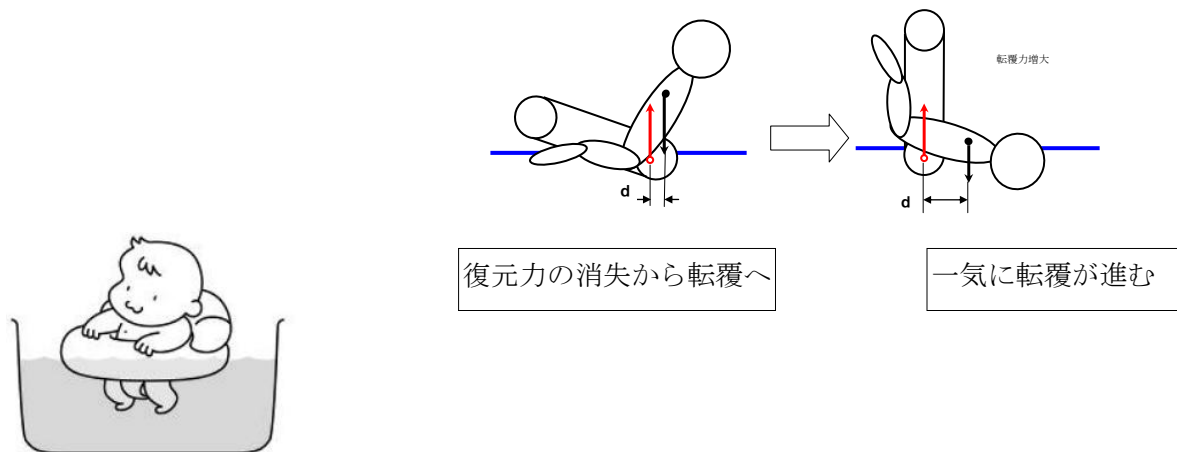


図 61 浮き輪の転覆イメージ図

発生日時 2006年11月21日 19時頃⁷⁾

発生場所 事故当事者の自宅の浴槽内⁷⁾

事故の概要 浴槽内でパンツ型の浮き輪に座らされて浮かんでいた生後9ヶ月の子どもが、洗髪中だった母親が気づかない3～4分のうちに浮き輪からはずれ（図61）、うつ伏せで浴槽に浮かび意識混濁し一時呼吸停止した。

子どもは病院へ搬送され、医療処置の後に回復し退院した⁷⁾。

リスクアセスメント

a) 危険源

- ・子どもの重心位置が高く、また重心は子どもの活発な動きにより移動しやすく、浮力とのバランスがくずれ、身体的回転モーメントが発生して転覆し易い
- ・一度転覆すると頭部が水没し自己復旧不可能である（溺水）

b) リスクの大きさ

- ・溺水時間に大きく依存する(4～6分で不可逆な脳ダメージ)
- ・最悪は溺死

リスクの低減策

- ・“転倒しない浮き輪設計”、“子どもがどんなに動いても頭が水上にあるようにする”などが考えられる。

意見

- ・浮上体転覆の危険につき技術的に解明し、検討の結果を広く社会に周知したい。
- ・死亡事故例の報告もあり、販売自粛している業者、販売継続の会社まちまちである現状において、玩具協会や関係諸機関と協力して類似の危険な製品の販売を抑止できるような安全ガイドを作成したい。
- ・行政機関と協力して、技術的に危険と判断されるものについては断固として市場から排除出来るような制度について検討したい。

3.2 平成22年度研究報告の要約



図 62 浮き輪の転覆実験の様子

研究の目的 前年度報告の「転覆の可能性」について、実験と解析により検証する。

研究項目と結果

A 実験 1) 購入した浮き輪の試着（室内）：9ヶ月児及び2歳6ヶ月児

2) ダミー人形（6ヶ月児相当）を用いた浴槽浮上実験

各種の浮き輪について、ダミー人形が乗り出す形で重心が偏った場合、ある限度を超えると急に転覆し、僅か2秒程度で逆さ宙吊り状態に至ることを確認した（図 62）。

B 解析 3種類の方法を用いて子どもが浮き輪に乗った系の安定条件と転覆に至る過程を解析した。浮き輪の形状や子どもの大きさなどの影響についても解析した。

1) 子どもが浮き輪に乗った状態を模擬した直方体モデルによる代数的解析

2) 実験で使用したダミー人形／浮き輪の組合せを2次元図形処理により解析

3) 実験で使用したダミー人形／浮き輪の組合せを積分法など数式により、安定・転覆の条件を更に詳しく解析した。いずれの方法によっても転覆限界角度の存在、それを超えると復元力が逆転して転覆を加速し、逆さ宙吊り状態にまで至ることを説明できることがわかった。浮き輪の形状・寸法や子どもの大きさ・位置を変えた場合についても安定・転覆の条件を検討することができた。

C 結論

浮き輪が十分大きい場合や子どもの重心が相当に低い場合は限界角度が大きくなって、安定の方向ではあるが、それでも転覆限界は存在する。浴槽で利用する場合は浮き輪の大きさは限定され、また子どもが浮き輪に乗っている状態では重心位置を下げるにも限界があるのでこの種の浮き輪は本質的に転覆・逆さ宙吊りの危険源となることがわかった。浮き輪の上の子どもの運動によっては更に危険が増すと言える。

D 提言

浴槽用浮き輪は本質的に転覆・逆さ宙吊りの危険がある。今なお販売されている浮き輪に「浴槽では使わないで」という警告を付けることだけでそのような危険を防ぐことは出来ない。先ず本質安全設計を図ることを最優先しなければならない。今後この事実を設計・生産・販売の業界や行政機関、指導機関などに広く知らせ、安全な設計、安全基準への反映、危険な製品の流通阻止などへ提言していきたい。

3.3 本年度（平成23年度）研究報告の要約

A 研究の目的

転覆限界の存在と転覆・逆さ宙吊り現象が明らかになったことにより、この危険を防止する手段を考案することと、それを危険な現象についての解析結果と共に関連業界を含め、一般に広く公表し、より安全な浮き輪の開発・使用の機会を作ることをめざす。

B 研究項目

- 1) 転覆限界を広げて転覆しにくい構造の検討
- 2) 現実の浮き輪または開発品について転覆の限界を調べる簡易測定器の検討
- 3) 浮心が重心より常に上にあり、転覆限界に到っても逆さにはならない構造の検討
- 4) これらの検討の結果を業界関係者の協力を得て形のあるものに具体化すること
- 5) 転覆限界と逆さ宙吊り現象についての研究結果を公表すること

C 結果

上記 B 1) ～ 3) について概略構想設計の図を作り上げた。

上記 B4) については関係業界への呼びかけを開始した。

上記 B 5) については、HP による公開を行い、また（公社）日本技術士会中央 CPD 講座での発表を行なった。

D 今後の活動

- 1) 業界関係者の協力を得てより安全な浮き輪を設計・試作し、商品化の検討を行うこと。
- 2) 業界関係者との協力関係において、安全性を改良したものを公表することを通じて、浮き輪の危険についての事実と、改良の過程を広く一般に伝えること。
- 3) 関係諸機関の協力を得て転覆限界と逆さ宙吊り現象についての研究結果の公表を更に進めること。

4. 研究活動

4.1 研究の目的と方法

当グループは前年度まで、「広範なエンジニアリングの知見を活用して、子どもの不慮の事故を防止する」というグループの活動目標に沿って、この浴槽用浮き輪による溺水事故の問題を取りあげ、事故発生原因の解析と実証を行った。(平成21年度⁵⁾及び平成22年度⁶⁾「日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究」)

平成23年度は、前年度までの研究の結果明らかになった浮き輪の転覆限界の存在と逆さ宙吊り現象について、この危険を防止または軽減する手段を考案すること、および危険な現象についての解析結果を広く一般に公表することを目的とした。

- ・危険を回避または軽減できる浮き輪の構造について構想設計を行う。また浮き輪の安定性及び転覆限界角度を測定できる簡易型測定装置を考案する。
- ・これらの構想を業界関係者の協力をいただいて具体的な形にし、浮き輪の安全性改良について検討する。
- ・小児が脇の下で支え使用する懸垂型の浮輪は、重心が水面下にあり小児の運動に対して安定であるのに対して、幼児が乗る跨座型（パンツ型）浮輪は構造上重心が高く、場合に因っては重心が水面上にあるために、幼児の運動に対して不安定であり、浮輪が転覆し幼児が水没する事故も起きている。
- ・浮輪に対しては、浮上に必要な体積、樹脂の膜の強度は明確にされていても、転覆を防止するための浮輪の復元力については明確な基準が無いため、市販品の中には転覆しやすい構造を持つものが少なからずある。
- ・この浮輪の転覆メカニズムをダミー人形による実験、解析計算による転覆角度などを明らかにしてきたが、実際の各社の幼児用跨座型浮輪製品の改善により安全に反映させるには、基準となる製品の安全性評価ツールの開発が必要である。
- ・このために幼児の身体データに基づき、幼児が浮き輪上を移動または加速度運動する場合に浮輪の寸法・形状による転覆限界角度を求める簡易的な設計上評価の方法と、実際の製品における転覆限界角度を測定する簡易的な装置を製作・試験・評価を行う。

4.2 安全性改良(1)

転覆限界を広げて転覆しにくい構造の構想

- A) 転覆限界を広げるには浮心を中心からなるべく遠ざけることが有効である。浮き輪を大きくすればよいが、子どもを中心近くに固定する意味から、中心の径は大きくしないで補助的な浮き子を外輪に付加する案（図 63）である。

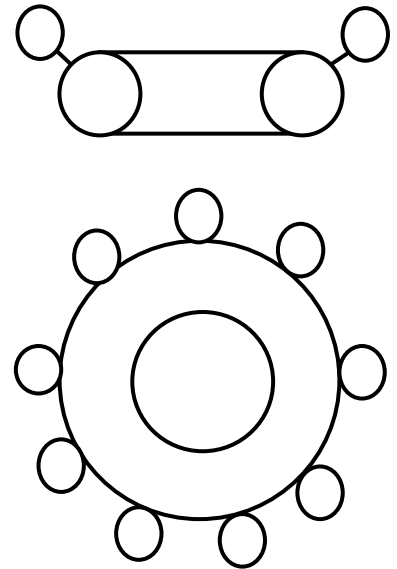


図 63 補助浮き小外輪（案）

- B) 転覆限界角度に到っても浮力が保たれる円筒形の補助浮き輪（透明）を外輪に付加する案（図 64）である。

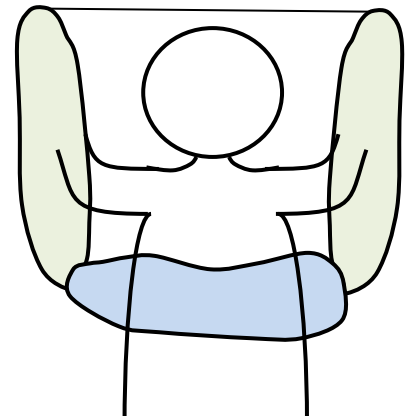


図 64 円筒補助浮き輪（案）

4.3 安全性改良(2)

浮心が常に重心よりも上にあり、転覆後逆さ宙吊りにまで到ることを防止する構造の構想

子どもの体の一定部分を浮上させる浮き輪の場合、静的安定度で評価する限りある傾斜角度で不安定となってしまうことが4.2の検討でわかった。そこで、不安定となった後に転覆し、さらに逆さ宙吊り状態で新たな安定状態となることを回避する構造を探索することとした。

この構造は図65に示すように子どもの重心 W より上に浮心 F の浮き輪をフィットさせることにより復元モーメントが発生し、 90° 以上の転覆には至らないことが期待できる。

但し、この安全性改良案では浮力位置を上におくことの他に、極力継ぎ目（金具など壊れやすいもの）のない形で、しかも体に有効にフィットする工夫が必要である。

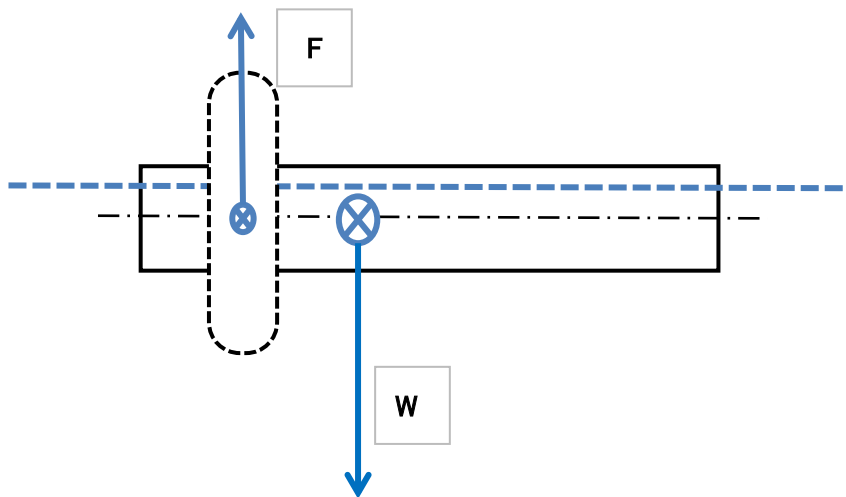


図 65 浮心が重心より上にある構造（案）

- C) 図 66 は首リングタイプであり、この型は既に複数の企業がインターネットで販売している。1社は浴槽用でなくプールなどで水に慣れるように教育用として使うものとしているが、1社は浴槽用であることを明記し、「浮いて遊んでいる間に、先にお母さん身体を拭いちゃいましょう。双子ちゃんや、年の近い兄弟姉妹の場合は、一人が浮いてくれている間に、もう一人を洗っちゃいましょう」と書いてある。但し、「使用中に絶対目を離さないで下さい」という注意書きはある。

頭が水面に近いのと、リングの端をつなぐプラスチック製部品に問題が発生する可能性があり、様々な角度からリスクアセスメントを行わなければならない。

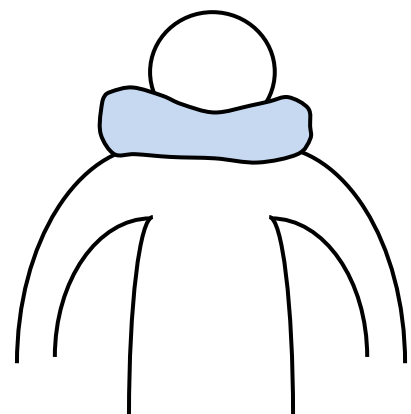


図 66 首リングタイプ（案）

- D) 図 67 は首リングタイプにおいて首が抜ける恐れがあることに対して、細長い浮き袋を「たすき掛け」にして脇でも支えることにより装着が安定することを狙う案である。

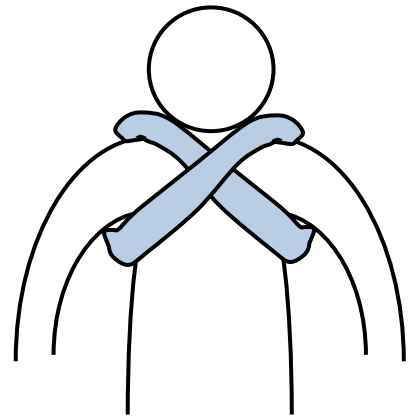


図 67 首リングたすき掛け

- E) 図 68 は上記 D) 案の変形、浮力を大きくするべく一部ふくらみを持たせた案である。

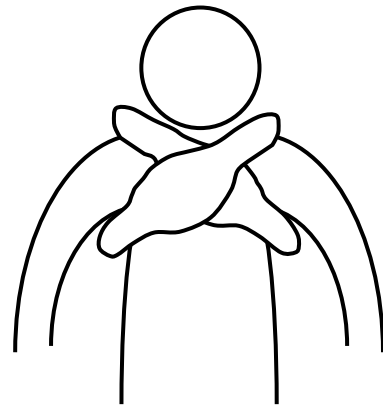


図 68 首リングたすき掛け変形

- F) 図 69 は腕輪型の浮き輪を連結して外れることを防止する案である。連結用部材には何らかの安全な固定具の工夫が必要。

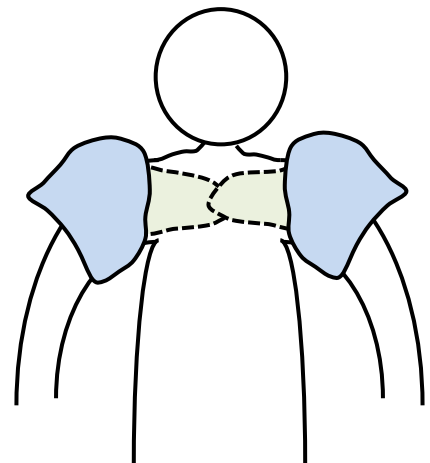


図 69 腕輪型浮き輪連結

- G) 図 70 は、頭を水上に保ち、溺水を防止するという案の救命ジャケット型である。但し固定用にひもを使うことは子どもの場合別の危険がある。また両サイドをつなぐところに外れやすい部品を使うことを出来るだけ避け、ジャケットに十分な弾力性を持たせてジャケット自体で抜け落ちなくなることは有効であろう。

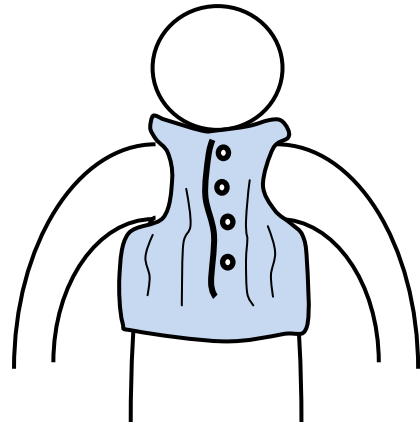


図 70 救命ジャケット型

- H) 図 71 はジャケットタイプに首部分の浮力を付加する案である。体に固定するために危険な部品を使わないとすると、リング状の部分も十分弾力性をもつ構造にすることが望ましい。

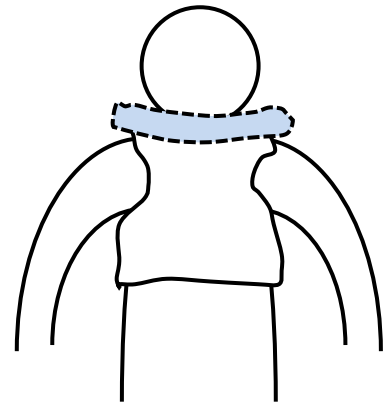


図 71 救命ジャケット首浮力付き

- I) 図 72 は子どものサイズに合わせてフィットしやすいように弾力性部材で複数の浮き袋を連結する案である。

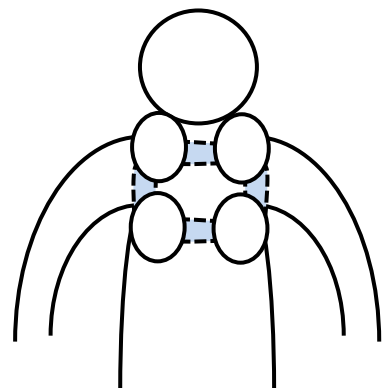


図 72 複数浮袋連結型

4.4 首・脇タイプの安定性

首ないし胸の上部の脇の下に浮き輪を固定して頭部を水上に保つ案の安定性について考察する。(次頁以降に図で示す)

図 73 腕部（脇部）型浮き輪と6ヶ月ダミーの検討

モデルとしては6か月のダミー人形に、頭部重量の2倍の浮力を持つ浮き輪を装着したものを考える。この場合、浮き輪の半分が水中にある状態でバランスする。身体の下部分は水中で浮力が作用するので浮き輪の大きさは身体全体でなく頭部への対応だけですみ、それだけ小さくすることが出来る。

簡略化のため、浮き輪は中心を脇の下位置に置くとして頭部の重心の高さを求める。頭を除く身体部分は水中にあり、水中重力は無視し得るとする。その仮定のもとで、頭部の重心と浮き輪の浮力中心（浮心）が、浮き輪の傾きと共にどのように変化するかを考える。

図 74 ケース1、浮き輪とダミー

顔の方から傾くとしたケースである。頭部以外の身体の重量はその部分の浮力と相殺するとして無視すると、前年度の研究報告にあるモデルと同じ計算により、転覆限界角度が43°となる。前年度モデルでは浮き輪は続いて限界角度を過ぎると浮き輪は自動的に転回して急速に逆さ宙吊りにまで至ることがわかったが、今回は更に傾くと胸部が一部水上に出て水上のダミーの重心が身体下部の方へ移動する結果、88°程度でバランスし、180°の「逆さ宙吊り」には至らない。但し前面からの傾きではすぐに顔が水に浸る。

図 75 ケース2、浮き輪とダミー

ケース1では顔が下向きになって危険なので身体の向きを反対にすることを考慮したケースである。体の形状により、転覆限界角度およびバランス角度がケース1より小さくなる。顔が上にあれば水に浸る危険は少ないが、前面から傾くことを防止するような工夫が有効であることがわかる。

以上により、首ないし脇位置に固定した浮き輪により、頭部が水に浸ることを防止すると共に転覆限界を超えて180°まで転回することを防止することが可能であることがわかる。

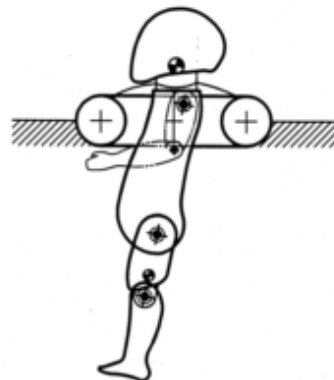
腕部(脇部)型浮き輪+6ヶ月ダミーの検討

(ブラジャー型浮き輪)

1. 首型浮き輪+6ヶ月ダミーの組み合わせ図

ダミー重量(前回資料より) 7.82kg

ダミー身長(前回資料より) 675mm



2. 頭+胴体より頭部、胴部の各重心、重量算出

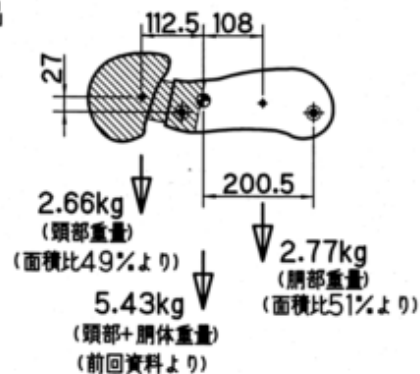
頭部、胴部面積比 (CAD 領域特性より) 49%, 51%

頭部+胴体重量(前回資料より) 5.43kg

頭部重量(面積比より) 2.66kg

胴部重量(面積比より) 2.77kg

頭部図心 (CAD 領域特性より) 112.5/27mm



3. 頭部重量より、対象浮き輪算出

頭部重量(上記数値) 2.66kg

水面下重量(比重1.0と仮定) 0kg

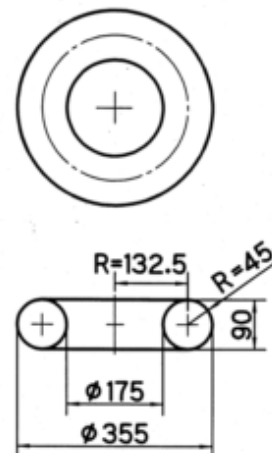
頭部図心 (CAD 領域特性より) 112.5/27mm

浮き輪必要体積(頭部重量x2倍x1.0) 約5300 cm³

浮き輪必要体積 $V=2\pi^2 Rr^2$ cm より

$V=2 \times 3.1416^2 \times 13.25 \times 4.5^2 \approx 5300$ cm³

よって右図のような寸法の浮き輪とします。



newukiwa_lowertipe_fuzu3.1

図 73 腕部(脇部)型浮き輪と6ヶ月ダミーの検討

腕部(脇部)型浮き輪+6ヶ月ダミーの各状態

ケース1の場合

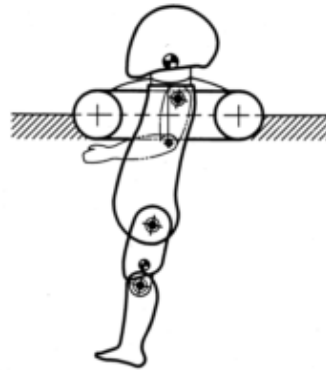
(ブラジャー型浮き輪)

1. 通常状態

浮き輪の半分が水面下

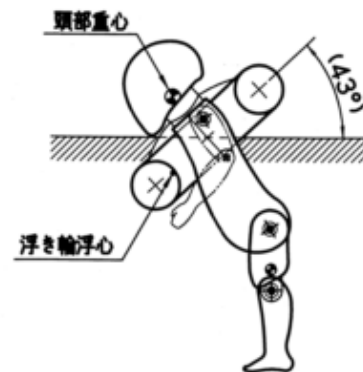
頭部重量と浮き輪浮力がバランス(共に2.66kg)

水面下はやや前方に傾斜してバランス



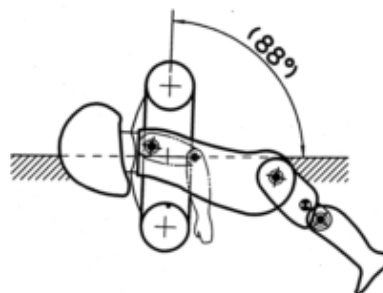
2. 転倒限界状態

浮き輪浮心と頭部重心左右位置が重なる



3. 転覆状態

浮き輪浮心を中心に頭部と胴部水面上の部分がバランス



全体の流れとしてこのような状態になるのはやや不自然に思われる。
 よってケース2として後側へ転倒の各状態を検討

newukiwa_lowertipe_fuzu3.2

図 74 ケース1、浮き輪とダミー

腕部(脇部)型浮き輪+6ヶ月ダミーの各状態

ケース2の場合

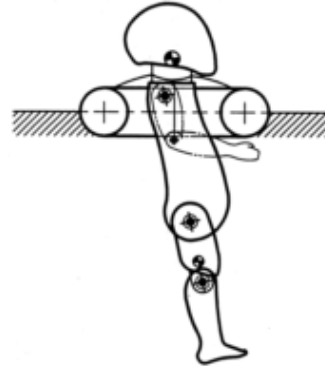
(ブラジャー型浮き輪)

1. 通常状態

浮き輪の半分が水面下

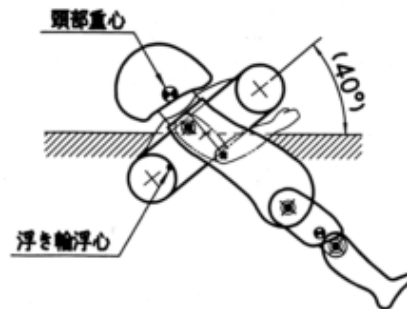
頭部重量と浮き輪浮力がバランス(共に2.66kg)

水面下はやや前方に傾斜してバランス



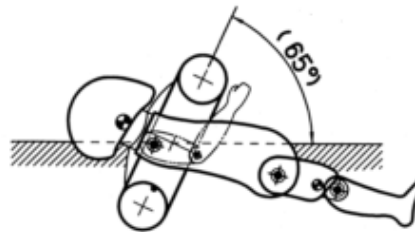
2. 転倒限界状態

浮き輪浮心と頭部重心左右位置が重なる



3. 転覆状態

浮き輪浮心を中心に頭部と胴部水面上の部分がバランス



newukiwa_lowertipe_fuzu3.3

図 75 ケース 2、浮き輪とダミー

4.5 浮き輪の転覆限界を測定する器具

浮輪の転覆メカニズムをダミー人形による実験、解析計算による転覆角度などを明らかにしてきたが、実際の幼児用浮輪製品の改善により安全を図るには、基準となる製品の安全性評価ツールの開発が必要である。このために幼児の身体データに基づき、幼児が浮き輪上を移動または加速度運動する場合に浮輪の寸法・形状による転覆限界角度を求めるべく、実際の製品における転覆限界角度を測定する簡易的な装置を製作・試験・評価を行う。

図 76 は浮き輪に乗ったものの重心位置（水平、垂直）及び質量を変化させ、安定する傾きと限界転覆角度を探ることが出来る装置である。

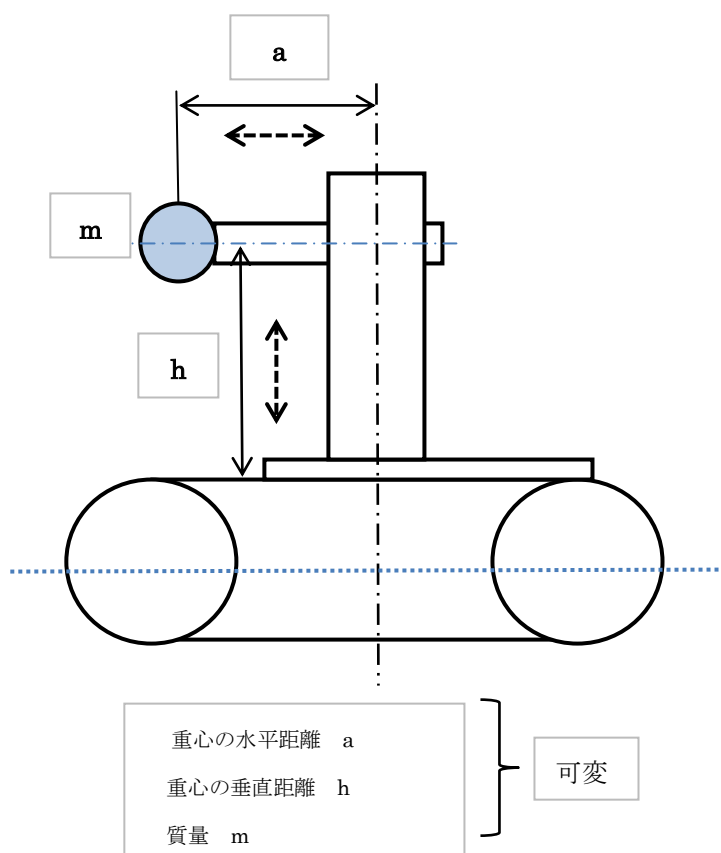


図 76 浮輪に可変のおもりを乗せる装置

図 77 は浮き輪の傾きと浮心の移動の関係を求める装置である。浮き輪に乗る重量に相当する水を浮輪の中に入れて板に乗せて、両方から重力を測定出来るはかりで吊り、傾ける。角度 α によって水が移動し、重力表示 a と b が違ってくる。 a と b の差から水の重心の移動量を計算する。水の重心はこの浮き輪がその重量のものを乗せて浮かんでいる状態での浮心の位置と同じであるからこれにより浮き輪の傾きと浮心の移動を目に見える形で知ることが出来る。

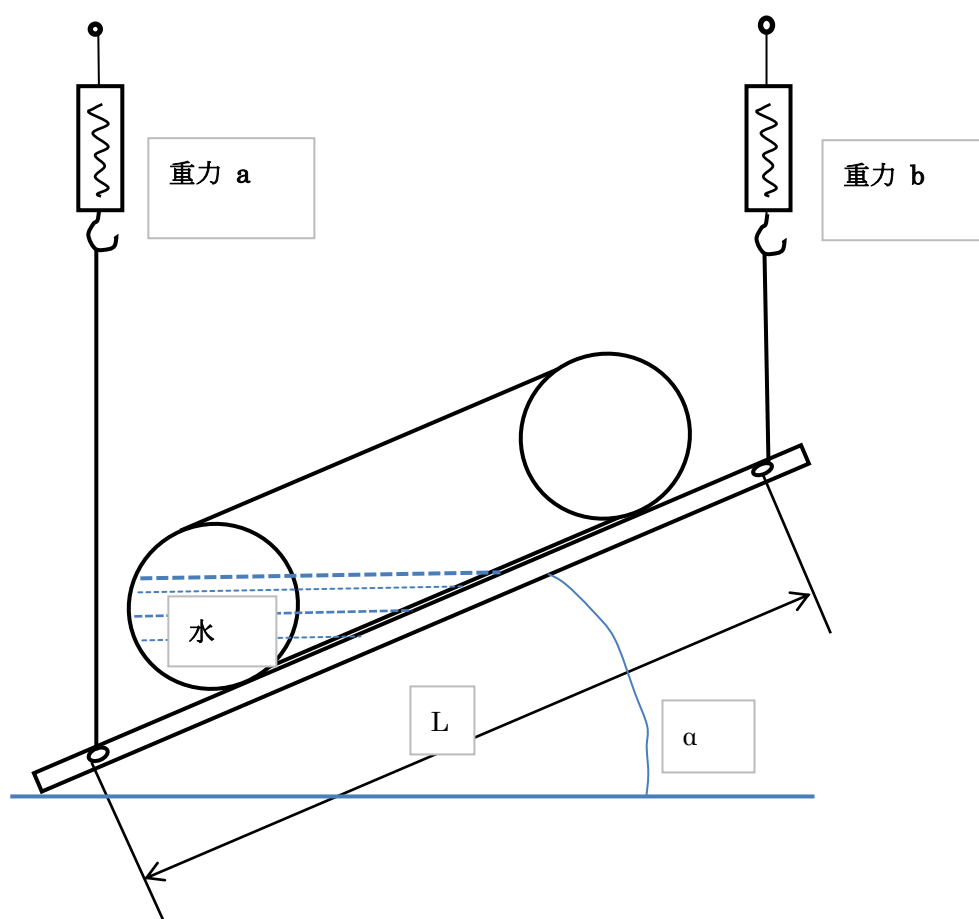


図 77 浮き輪の傾きと浮心の移動の関係を求める装置

図 78 はこれは脚部が 2 つに分かれており、パンツ型の底に脚部を挿入することが出来るものである。子どもが浮き輪の片側によりかかったり、動いたりするときの浮輪角度やバランスを目でみることが出来る。設計諸元を表 1 に示す。

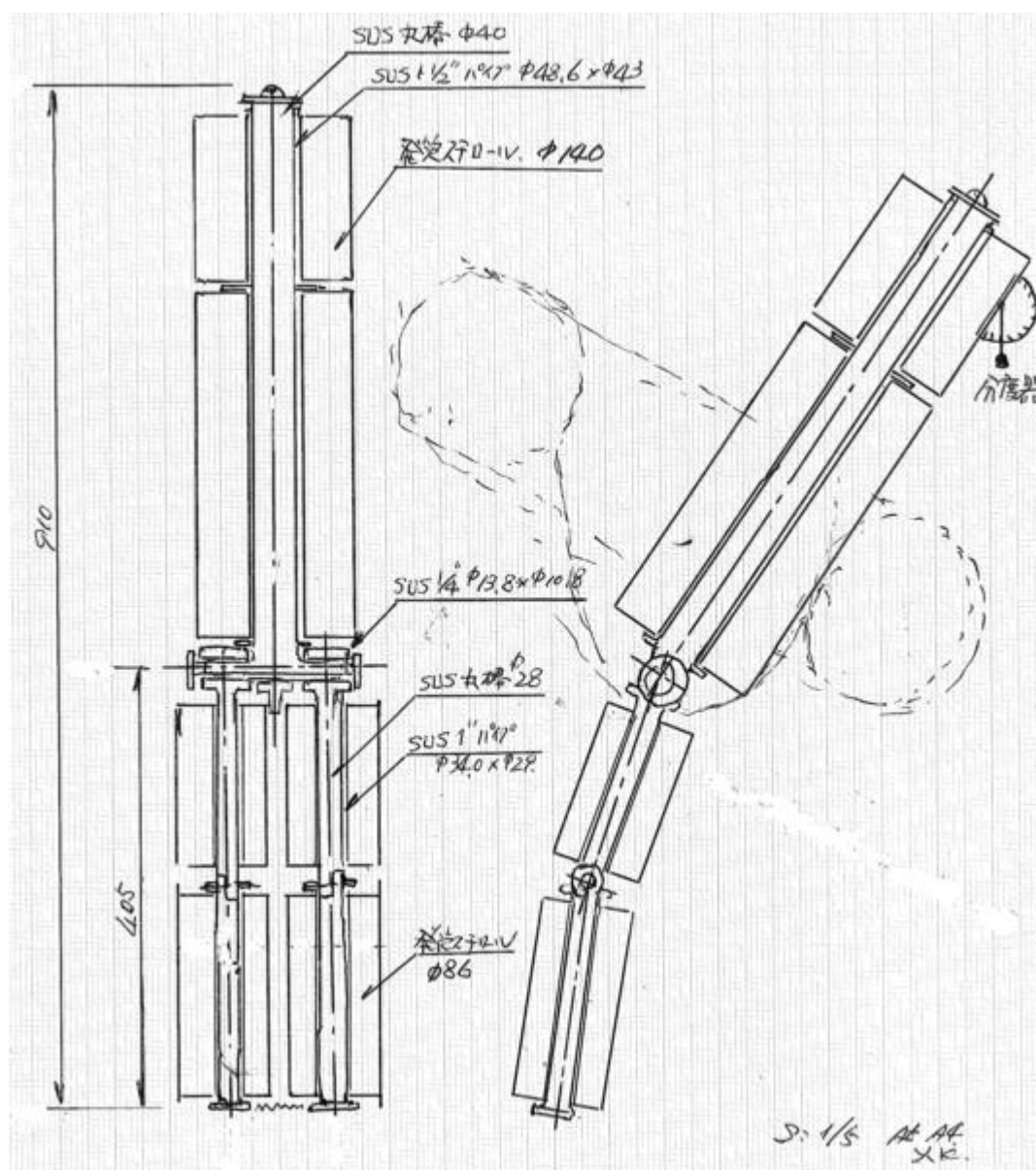


図 78 子どもの身体を模擬して浮き輪に乗せる簡易ダミー人形

5. 業界関係者との折衝

当グループでは製品の詳細設計や製造は出来ないので、安全性を改良した案を作ってもそれを実現することが出来ない。従って安全方策の第1ステップの「本質安全設計」については、実際にものを設計し生産している業界の関係者に協力をお願いしなければならない。

また子ども用製品は、それが実際にどのような使われ方をするかを十分把握しなければ、リスクの評価も困難である。

これらの課題を解決するには関連業界との連携はすこぶる重要である。ここまでの解析を中心とした成果を踏まえて、関連業界に共同の研究を呼びかけている段階である。

なお当グループも保護者のニーズについて調査し、「特別非営利活動法人 女性技術士の会」との交流の場において、母親としての経験からの意見をもらっている。その中で、子どもを浴槽に入れておくこと自体が問題であり浴槽用浮輪は要らないという人がいる一方、子どもが二人以上いたり動き回ったりすると、親が目から離さないことに完璧を期すことは無理である、或いは親が風呂場にいる間子どもを居間においておけば別の危険もあるので、浴槽でしばらくじっとさせておきたいというニーズはある、という意見があった。「絶対に使わないで下さい」という警告表示だけでは事故再発を防止することが難しいことがわかる。

6. 結果（まとめ）

- 1) 転覆しにくい、または逆さ宙吊りを回避する浮き輪の構造の案を作成
- 2) 転覆限界を調べる測定装置の案を作成

上記 1)、2) の案は机上で検討したものに過ぎず、設計・製作の専門家の協力を得ながら具体化を進めなければならない。

- 3) これらの案を具体化すべく関係業界への呼びかけを開始

業界には転覆・逆さ宙吊り現象についての解析結果と安全性の改良の重要性を理解していただけるよう呼びかけを開始した。

- 4) 転覆のメカニズムについての研究結果を当グループのホームページで紹介、また技術士会のシウポジウム（CPD中央講座）において発表

浴槽用浮き輪について、業界では既に販売を中止しており、STマークの対象にしないことと、浴槽用でない一般の浮輪について販売業者に「絶対目を離さないこと」及び「浴槽では絶対に使用しないこと」を伝達するなど、事故防止の努力がなされている。消費者には国民生活センターからの「絶対目を離さないで」という警告も一応行き渡っている。こうした中で今あらためて「それでもやはり危険である」と主張するには慎重でなければならない。業界及び市場や消費者に混乱を与えることのないよう、公表のしかたには慎重を期さなければならないので、研究結果の公表は手順を追って進めている。

7. 今後の展望・展開

- 1) 安全性を改良した形の浮き輪や安全性の評価装置について、業界関係者の協力を得て設計・試作を行い、安全性についての検討を行う。
- 2) 浮き輪の危険の本質的な問題についても、業界関係者の協力を得て、正しく広く一般に伝える方法を検討する。但し、商品化を図る場合、供給者が安全であると宣言するだけでは不十分であり、消費者が受け入れることが先ず大切である、という業界の立場を理解しておく。

ここでは試作品など目に見える具体的なものや実験の過程を示しながら、「目を離してはいけない」という注意事項の意味を広く一般の人々に伝えることを目指す。製品を世に出す立場の人々もそれを使用する立場の人々も、なぜそのような注意が必要なのか、それを怠るとどういうことが起こるか、という現実を正しく理解し共有した上で事故防止に取り組むという安全社会が実現することを期待したい。

以上

参考文献

- 1) 国民生活センターのホームページ
http://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20070705_2.html
- 2) 国民生活センター：くらしの危険 Number 280 「浴槽用浮き輪で溺れる事故」2007.11
- 3) ISO12100:2010 (JIS B 9700-1 : 2004)
「機械類の安全性－設計のための基本概念、一般原則－第1部：基本用語、方法論」
- 4) 日本小児科学会雑誌 Injury Alert No18 2010.7.1
- 5) 森山哲, 佐藤国仁, et al. (2010). 日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究 (平成21年度) . 子どもの安全研究グループ
- 6) 森山哲, 佐藤国仁, et al. (2011). 日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究 (平成22年度) . 子どもの安全研究グループ
- 7) 日本小児科学会雑誌 Injury Alert No.4 2010.7.1