

日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析

(社) 日本技術士会 登録 子どもの安全 研究グループ



背景と目的

実際に起きた事故事例を工学的な観点から考察

子供の死亡事故の第1位は「不慮の事故」といわれるが、事故を分析・検証してみると工学的な配慮が不足していた、あるいは、なされていなかった事例が多く見いだされる。これらの事例は起こるべくして起きた事故である。

事故に関わるモノ (item) には、遊具、玩具、器具、機械、ドア、生活用品、衣類などがあり、商品の企画、設計、製作のそれぞれの段階で、安全に関する基礎的な知識と応用力が求められる。モノが安全かどうかのすべてを製造者が独自の技術力で証明することは極めて困難である。また、コストを追求するあまりに、その製品が安全で安心できるかについての検証は不十分になることも考えられる。そして、事故が起きたときには応急的な対策に終

・注 : 技術士は「技術士法」に基づいておこなわれる国家試験に合格し登録した者に与えられる称号。

始する傾向も見られる。これらの事故事例を技術士注の視点、安全の専門家による検証をしてみると、工学的に解決できる場合が多い。Injury Alert に掲載されている事例などを複数の技術分野の技術士が工学的に分析して、事故の原因の本質を見極め、危険源を明確にして、その対策を調査報告書にまとめ公表する。取り上げた事故は、

- (1) 浴槽用浮き輪による溺水
- (2) マニキュア除光液による中毒
- (3) 流水水泳プールによる吸い込まれ事故

である。

1) の事故は、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ヶ月の子供が、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、うつ伏せで浴槽に浮かび意識混濁し一時呼吸停止したものである。浴槽用浮き輪は、数年前に事故の多発を受けて販売中止になっていたものであったが、平成22年に神奈川県で2件の発生が報告されている。



図1. 浴槽用浮き輪使用図

2) のマニキュア除光液を子供が誤飲する事故は良く知られているが受動吸入による中毒の件数は不詳である。本事例における危険源は「乳児を、発生した高濃度アセトン蒸気に長時間にわたり暴露したこと」である (図2)。

3) の流水水泳プールによる吸い込まれ事故は2006年の埼玉県の事故が良く知られているが、月刊体育施設 (2007.5) によれば学校プールにおいて過去40年間に56名の死亡、平成22年も温泉施設やクアハウスで事故 (救助された) が発生している (図3)。

実施方法

実験によって問題点を明確化

実験のデータ収集とその解析は次の方法によった。

1. 浴槽用浮き輪による溺水

機械力学の知見に基づく浮体安定性解析を次の様に行った。

(1) 購入した4種類の浮き輪を9ヶ月児及び2歳6ヶ月児に試着させ装着の様子を確認した。次にダミー人形(6ヶ月児相当)にその浮き輪を装着して浴槽浮上実験を実施した。どの浮き輪についてもダミー人形が身体を乗り出すような形で重心が偏った場合には、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。これを転覆限界角度と呼ぶことにする。

(2) この実験のデータを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、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。その3種類は以下の①、②、③である。

①子どもが乗った結果、重心がある高さになり浮上体がその重量ぶん沈んだ状態を直方体モデルで表し、このモデルを使って代数的に解析して浮上体の傾きと浮心の移動の関係を明らかにする。

②子どものダミーを乗せた浮き輪の立体的モデルを微小厚さにスライスしたモデルを使う。各スライスを2次元画像解析によって面積、重心位置などを求めて組合せ、水中部分の立体的重心(水中で浮き輪の浮心)位置を求める方法。これにより各種浮き輪について、子どもダミーのさまざまな位置関係を考慮しつつ、浮心の移動問題を明らかにすると共に現象を可視化して理解し易くする。

③立体的な浮き輪の形状を積分法により解析し、子どもの体重と浮き輪の浮力の



図 2. 除光液使用事例

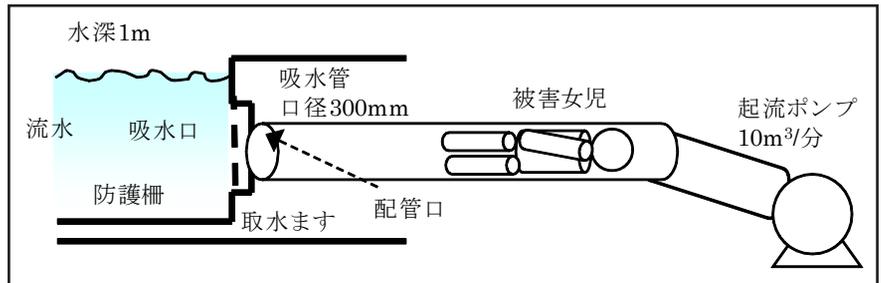


図 3. 事故が発生した流水プールの配管口の模式図

関係を変えながら安定性を理論解析する。

である。

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。浮き輪の安定条件は次の①から④である。

① 浮き輪は、中心部分は孔があるのみで浮力は無く、浮力の発生源である空気は浮き輪の周辺にのみ存在する。

② 浮き輪の浮力は、そこに乗る子どもの重量に等しい。したがって子どもの水没体積が変わり子どもの浮力が変わらない限り、浮き輪の浮力は一定であり浮き輪の水没体積も一定

③ 子どもの重心の移動など、何らかの原因で浮き輪が傾くと、沈み込んだ側は水没体積が増し浮力が増加し、反対側では浮力が低下する。

④ したがって、浮き輪が傾き、片側の浮力が増加を続ける範囲では浮き輪は安定している。

・体重移動による転覆

子どもが浮き輪の中心から、周辺方向に移動すると重心の移動が起こり、浮き輪は傾くことで、浮き輪の浮力の中心位置も重心と重なる位置にまで移動する。このときに浮き輪の浮力の中心位置の移動には限界値がある。この最大値は、浮き輪の寸法、形状、最大容積、空気不足など種々の条件により異なる。この限界値を越えて重心の移



図 4. 浴槽用浮き輪浮上実験

動が行われると浮き輪は転覆する（図5）。

2. マニキュア除光液による中毒

平成21年度安全知識循環型社会構築事業の研究においてマニキュア除光液の主成分であるアセトンの特性、有害性を調査し、有害性（リスク）は認識されているが有機溶剤としては比較的取扱しやすいことなどから実際的な代替品が難しいことが判明した。そのことよりアセトンはマニキュア除光液の主成分として使用されるであろうと考えられる。

本プロジェクトでは事故時に使用されていた製品を含む5製品の成分分析、アセトン濃度測定をおこない、マニキュア除光液に含まれるアセトン含量は63～84wt%であることを測定した。さらに52名のマニキュアネイリストの協力を得て、マニキュアを落とすときのマニキュア除光液の使用量を各3回実測して使用量の分布を統計的に得た。中央値は11.5g(13.5ml)、上位10%では19.5g(22.9ml)である。使用量中央値11.5gが8畳の部屋で全量蒸発し均等に分散したときのアセトン平均濃度の計算値は163ppmである。その結果を図6に示す。

3. 流水水泳プールによる吸い込まれ事故

次の調査、実験、解析を行った。

(1) ふじみ野市大井プールの調査

流水プールの危険源は、吸水口へ吸い込まれて「捕捉される危険源」である。報道によれば、何度も保護柵を取り外して清掃しているうちに保護柵が入れ替わり、ビス孔位置がずれたので針金を使用するようになったという。別の報道によれば、ビスが無くなり針金で縛るようになったという。疑問点を解明するために現地調査をふじみ野市役所の許可を得て、2010年5月28日、9月27日、11月18日の3回にわたり実施した。

ふじみ野市大井プールの吸い込まれ事故の直接の原因は、保護柵が外れたことであるので保護柵の構造、取り付

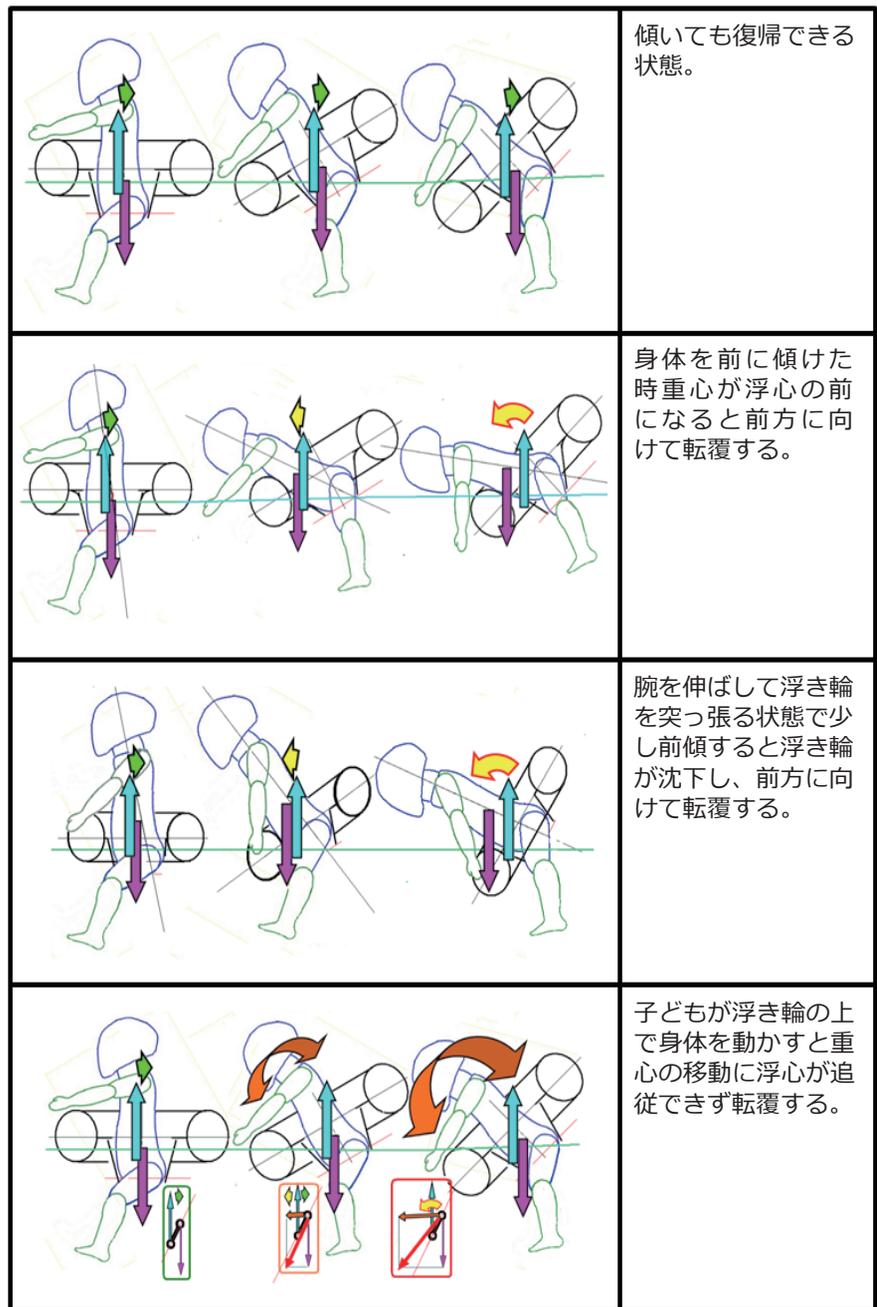


図5. 体重移動による転覆図

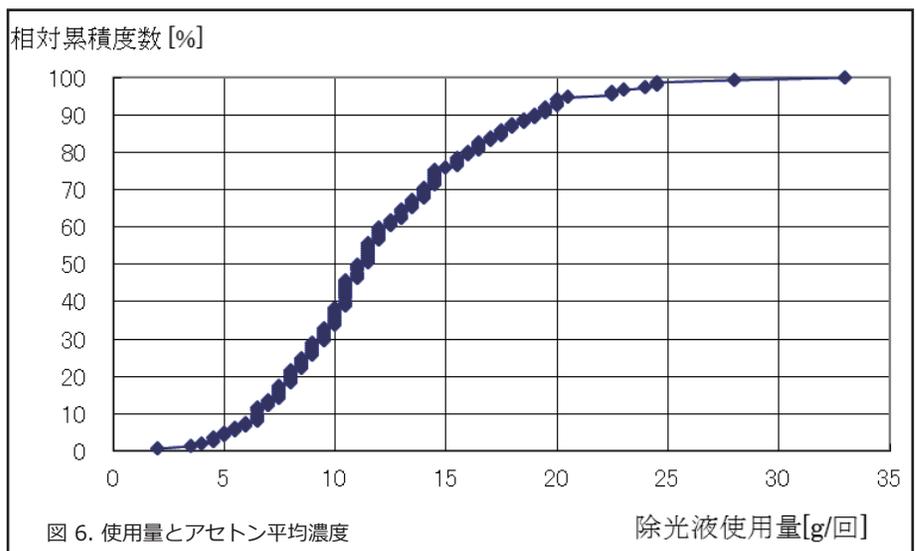


図6. 使用量とアセトン平均濃度

け方法および維持管理を検証した。

- a. 「設計」の問題は次の点である。
- ・ 保護柵と取水ますの隙間が 0 ～ 2mm と隙間が小さく余裕が無い。
 - ・ 保護柵のパイプ (φ 16) 間に手が挟まれる可能性がある。
 - ・ 保護柵を取水ますに固定する柵板受けの幅が狭く、ねじ穴加工が難しく不完全ネジになりやすい。
 - ・ タッピングビスで取り付ける指定であるが柵板受けが SUS304 の 3mm なので加工出来ない。
 - ・ ビスの大きさの指定をしていない。
 - ・ 保護柵を柵板受けへ取り付ける通し穴位置がパイプと重なる位置に指定され加工が出来ない。

b. 「施工」の問題と思えるのは次の点である。

- ・ 設計図面と施工が異なっている。図面はタッピングビスで取り付けるよう指定しているが、施工が困難であれば設計へ戻して施工可能な訂正図面にし、図面にしたがって施工をすべきであったと考える。
- ・ 保護柵の穴開けを現地加工したため、穴位置がばらばらになり、保護柵に互換性が失われた。設計図面の穴開け位置指定が間違っていたことがその背景にある。
- ・ 使用した M5 ビスに対して通し穴の径φ 5.0 と小さ過ぎるものが 6箇所あり、ネジ径に対して不適切である。
- ・ ほとんどのねじ穴が不完全ネジになっていた。それは設計上の問題に加えて、施工時のネジ切り加工の不具合、ねじ穴のずれ、通し穴の小ささ等の不具合が重なって 26年間の使用によりねじ穴が不完全ネジになり、同時にビスのネジが左写真のようにネジの機能をはたせていないものであった。

c. 「維持・保守管理」の問題と思えるものは次の点である。ただし所有者としての運営管理に関わる事項は除いた。

- ・ ビスが使えなくなっているのを応急的に針金を使用していることを現場の担当者より報告されていたことから、早急に補修すべきであった。そのための補修作業の費用はプールの維持管理費から負担可能な程度であったと考えられる。
- ・ 針金を長期に渡り使用していたこ



図 7. ふじみ野市プール給水ます 事故のあった吸水ます。1200 幅 x600 高さ x200 奥。奥に見えるのが吸水配管口。600x600 の保護柵が 2 枚あり。事故時には左側の保護柵が外れていた。

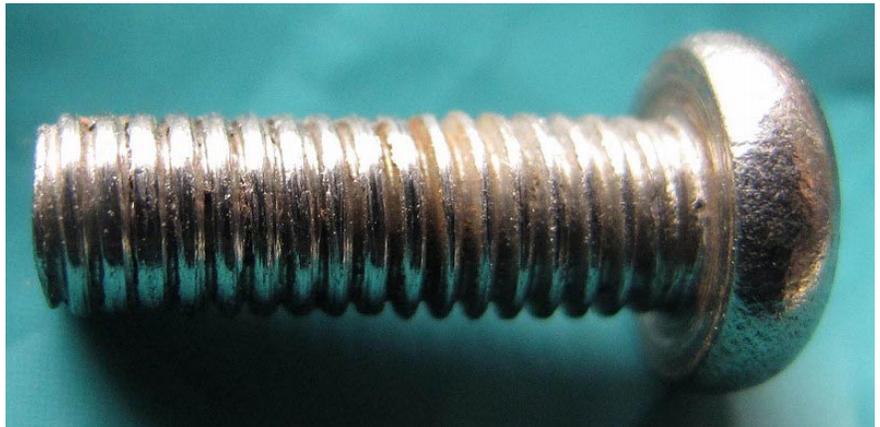


図 8. ふじみ野市プールのビス

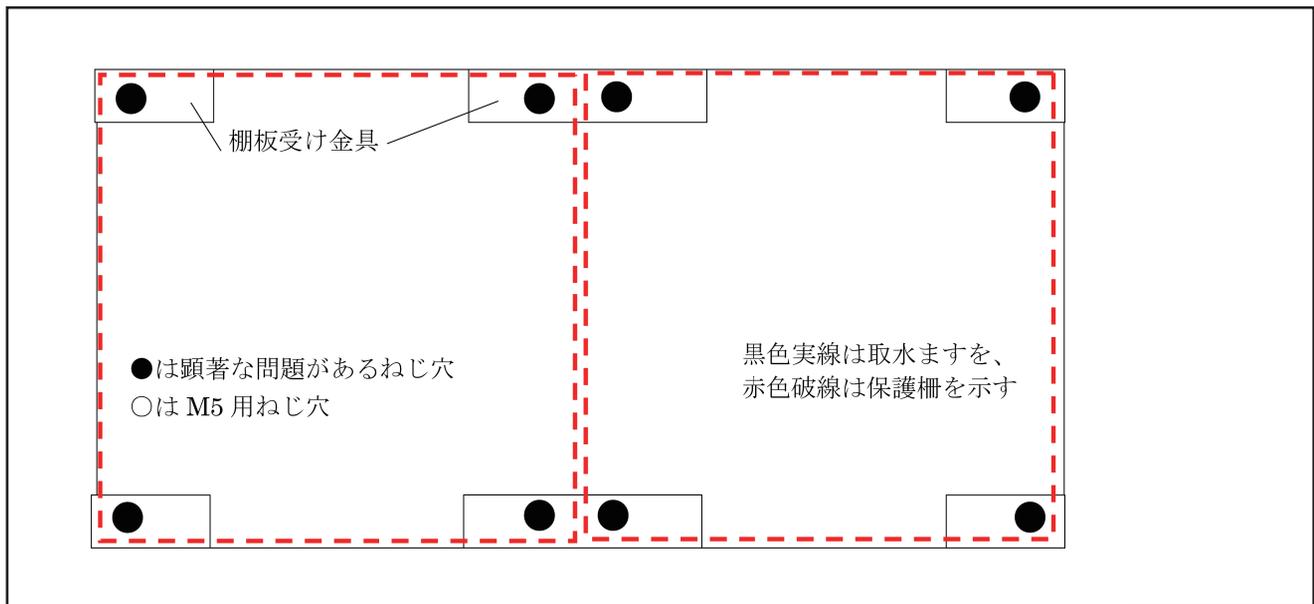
とは、保護柵が外れて遊泳者が吸い込まれて死にいたるリスクの大きさを認識していなかったためと考えられる。

- ・ 吸い込まれ防止金具を通達にしたがって追加すべきであった。この吸い込まれ防止金具は、防護装置 (ガード) としては必ずしも十分とは言いきれないが、この金具があれば身体は吸水配管の表面に留まるので救助の可能性があった。
- ・ 保護柵がしっかり固定されていることの点検を怠った。取付ビスが緩んでいないことを毎日の使用開始前と毎時間の点検が必要であった。(プールの安全指針にはこの教訓が反映されている)

d. 事故の起こった吸水ますの保護柵を取付ける柵板受けのネジ穴の状況を図 9 に示す。

(2) 吸水配管口近傍の流体力 (吸い込まれる力) の実験

プールの吸込み口におけるリスク低減方策を定めるための基本的なデータ、例えばどの程度の力で吸水配管口に吸い付かれるのか、その流速、圧力等が今まできちんと測定されずデータそのものが存在していなかった。そこでポンプのメーカーである株式会社荏原製作所の協力を得てデータを実測した。



<p>左上隅 切れた鉄ねじの部分が残留し塞いでいる。細い孔 $\phi 1.5$ が貫通している。</p> 	<p>中央上：左 $\phi 4.4$、ねじ山つぶれが甚だしい。</p>  <p>ますの内側から撮影</p>	<p>中央上：右 $\phi 4.4$、ねじ山つぶれが甚だしい。</p>	<p>右上隅 $\phi 4.4$、ねじ山つぶれが甚だしい。</p> 
<p>左下隅 $\phi 4.4$、ねじ山つぶれが甚だしい。</p> 	<p>中央下：左： $\phi 4.4$、ねじ山つぶれが甚だしい。</p> 	<p>中央下：右： $\phi 4.5$、ねじ山つぶれが甚だしい。</p>	<p>右下隅 $\phi 4.4$、ねじ山つぶれが甚だしい。</p> 

図 9. プール給水ます棚板受けネジ穴状況

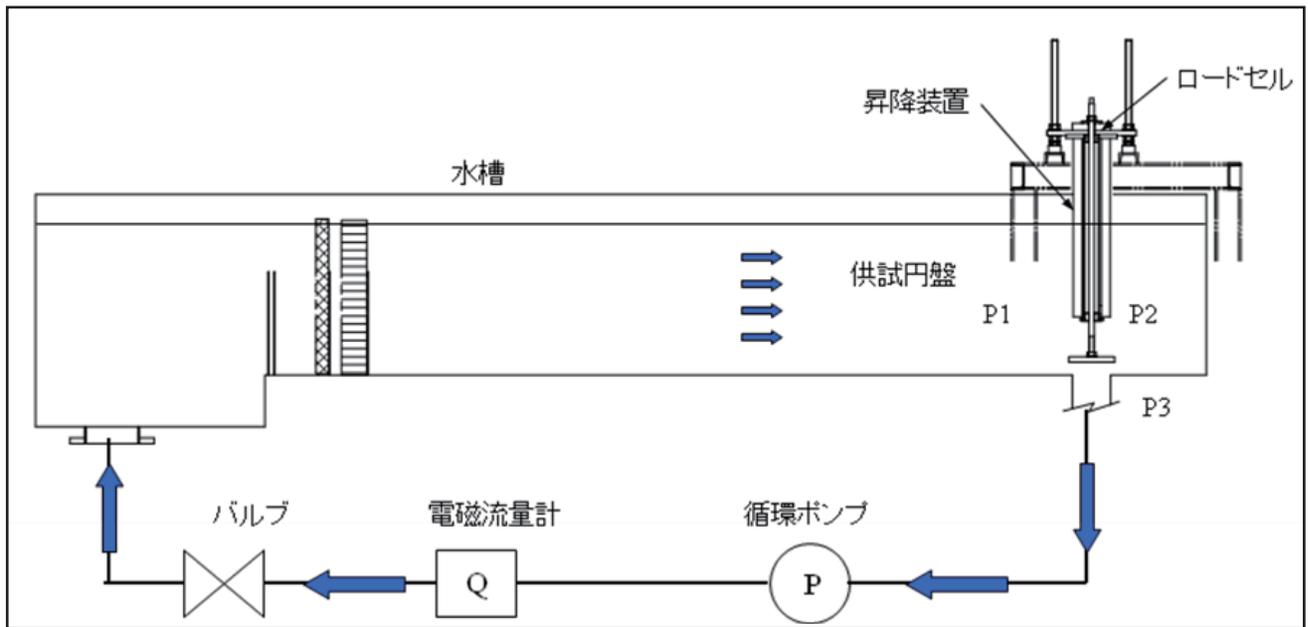


図 10. 実験装置の概略図

a. 実験装置 (図 10、図 11)

実験装置は、吸水配管 $\phi 150\text{mm}$ に吸水ポンプ (循環ポンプ) を組み付け、水槽で水を循環させるものである。吸い込み力は吸水配管口へ接近させた直径 180mm 厚み 20mm の SUS304 の供試円盤にかかる力をロードセル (荷重計測センサ) で測定した。その他、吸い込み圧、流量、回転数なども計測した。循環ポンプはインバーター制御装置で回転数を自在に制御出来るので実験には好都合である。実験は株式会社荏原製作所藤沢工場でおこなった。実験は供試円盤の直径 (d) 180mm に加えて、(d) 150mm そして子どもの 1/2 スケールモデルの 3 種類でおこなった。

なお吸水配管 $\phi 150\text{mm}$ は事故の起きた埼玉県のパールの吸水配管の口径 300mm (呼称) の 1/2 である。

b. 吸水口近傍の流体力の解析 (図 12)

実験のデータを利用して吸水配管呼び径 300mm に子どもが吸い付かれた場合を想定すると円盤直径 270mm を吸水配管口に接近させた場合が疑似できることが求められた。それによると吸水配管口の 100mm 付近から吸い込み吸引力が大きくなり 50mm で約 300N (30kg 重)、0mm であれば約 1280N (128kg 重) もの大きい力であることが分かった。

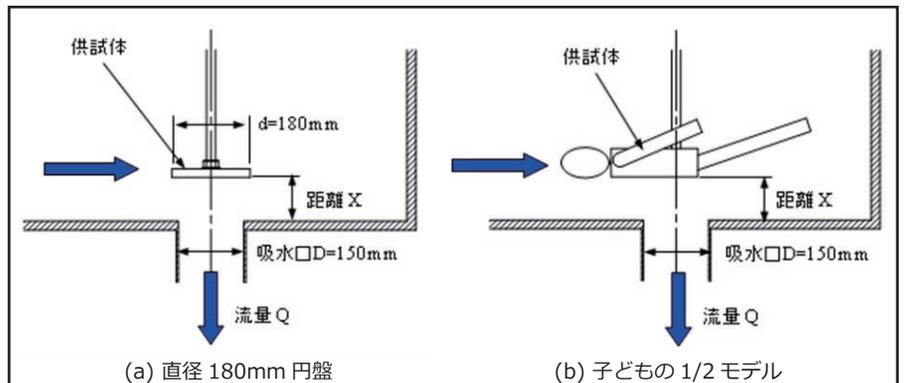


図 11. 供試円盤と 1/2 モデルの取付の様子

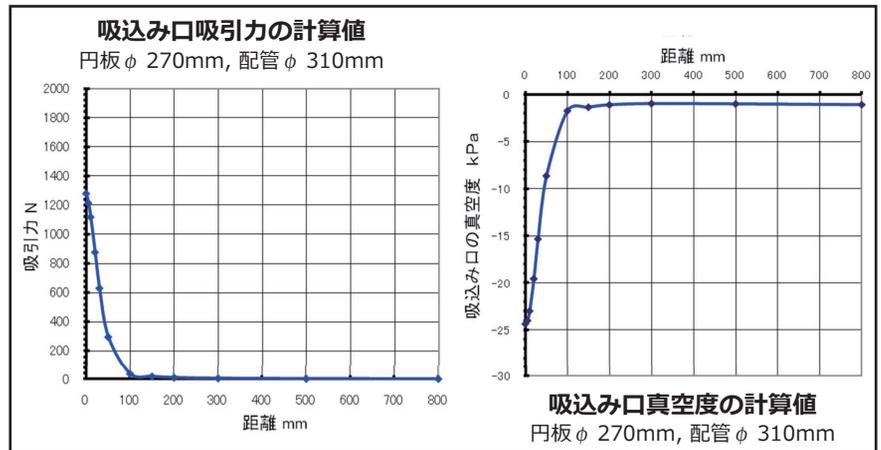


図 12. 吸い込み吸引力の特性

結果と考察

1. 浴槽用浮き輪による溺水

子どもが浮き輪に乗って水上に浮かぶ形の系は、傾いても復元するので一見安定のように見えるが、傾きがある限界に達すると突然転覆し、その後 180 度まで急速に回転して子どもが逆さ宙吊りになる危険がある。浮き輪

が十分大きい場合や子どもの重心が相対的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。2006年の事故の後「絶対目を離さないで！」キャンペーンなどが行なわれ、ある程度その危険性については理解が進んでいると思われるが、現実には今でも浮き輪は市販されている。「浴槽では使わないで下さい」との表示はあるが、保護者が実際どのように危険なのかを適切に理解しているかが懸念される。

本プロジェクトでは、転覆限界の存在、その後の急速回転からわずか2秒で逆さ宙吊りに至るその危険性を、実験及び工学的解析によって実証した。解析には3種類の方法を使い、そのいずれでも同じ結論を得た。

これらの解析手法では様々なパラメータを変化させながら現象をシミュレーションすることが出来、実験結果を検証できるだけでなく、今後この種の浮上体の安全性の評価に生かすことが出来る。

2. マニキュア除光液による中毒

事故事例では、

- ① 除光液中のアセトンがティッシュペーパーに振り出されペーパーに含まれた（ビンの残量から20ml程度との推定もあるが不確実）。
- ② マニキュアを拭き取ったティッシュペーパーは密閉容器ではなく、室内か、くずかごに入れられた（推定）ので振り出されたアセトンの大部分はある時間内に室内に蒸発した（経過時間は不明であるが上記の場合約12時間の可能性はある）。アセトンは空気の約2倍の密度があり、下部に溜まりやすかった。
- ③ その低い床に自分では逃げることも不快なことを伝えることもできない乳児が寝ていた。
- ④ 母親は除光液が有害性を持つことを知らなかった。従って母親は臭気を感じたが換気はしなかった。

の4要因が重なって危害が発生した。直接的原因は「①アセトン蒸気」であるが、②～④までの3項目も主要な原因である。多くの場合、1) 母親が除光液の有害性、従って換気が必要であることを認識しており、換気など必要な予防策をとる、2) 母親が臭気

に耐えられずに換気をするか、子どもと一緒に室外にでる、3) 乳児が充分に大きければ、大声で泣いたり自力で逃げ出したり自発的な行動をとる、などのいずれか一つの行動をとることに、本事例の中毒を未然に防げる可能性は大きい。しかし、本事例の危害が再発する可能性である「危害発生の確率（上記4要因がすべて重なって危害が発生）」と「危害の大きさ（本例よりも重大なケースもありえる）」の組合せ、は必ずしも許容できるほど低いとはいえないと考えられる。

除光液の使用量を実測し、使用量の分布を統計的に特定することができた。密閉空間で使用したときの濃度分布は未評価なのでリスクの定量評価は今後の課題であるが、当面は多くの家庭に保管されているマニキュア除光液に対する使用上の注意喚起が求められる。

3. 流水水泳プールによる吸い込まれ事故

埼玉県ふじみ野市大井プールのプール事故の吸水口と流水ポンプの1/2モデルを使用した実験により、防護柵を吸込み配管開口部から200mm離れた位置に設けた時には、防護柵面における吸込み吸引力は60N(6kgf)程度であることから、子どもの力でも自力で離脱可能だと考えられる。しかし、防護柵が外れていると60N(6kgf)の力で流され、掴まるところもないまま吸込み配管開口部（距離0mm）に達すると、吸引力は1280N(130kgf)になり成人でも離脱は困難になることが明らかになった。

事故は、設計、施工（製造）、運営管理（使用）の全ての場面で不具合を生じていたことによるものと考えられる。今回、実験、解析によりプール吸水口近傍の流体力の定量評価が可能となったので、今後、既存プールの安全対策や構造基準の策定に活用されることが期待される。

今後の展開

- (1) ここに採り上げた3つの事例は、いずれも事故を引き起こすであろう明確な工学的理由がある。そのうち

例3) 流水プールの溺死については設計段階での安全方策の不足が推定される。製品安全における重要な設計段階でのリスク認識の不足を解消して行くことが必要である。

- (2) 事故のあと取られた改良方策は再発防止に寄与するものである。しかし、全体として人の注意を喚起し、人の注意によって事故を防止しようとする側面が強いようである。だが人の注意のみでは、完全に事故を防ぐことは困難である。
- (3) リスクアセスメントを行って当該危険源のリスクを評価し、大きなリスクに対しては原則として本質的安全設計方策を充当し、次に防護による保護方策、残存した小さなリスクには使用上の情報提供に基づく人の注意に頼るという原則が守られるべきである。
- (4) ふじみ野市の流水プールにおいては、吸い込みます（柵）の深さが20cmであり子ども達がますの直近で吸い寄せられる水流を遊びの対象にしていたという報告もあるように、防護柵が機能しなければ生命の危険に曝される高いリスクさえも、子ども達にとっては好奇心や興味の対象になりうる。そのため吸水口の柵面での流水による児童の吸い付き事故が起こる可能性があり、このリスクは例え柵が正常に取り付けられていたとしても残存するリスクとして認識する必要がある。
- (5) 事故による障害が大きな場合は、同類の製品や施設類は直ちに使用を中止され、あるいは改良されるべきであるが、浴槽用浮き輪による溺水などのように必ずしもそのような処置が取られていない事例がある。
- (6) 本質的安全設計方策とは新たな設計行為である。これは当該機械類の専門技術に長じていることに加え、機械類の安全工学をも十分に習熟していなければならない。このような能力を備えたエンジニアを育成教育することとともに規格、標準類の整備が必要である。

子どもが使用する製品には「子どもの製品を使用する方法が不適切であった」ことは当てはまらないことは当然であるが、その製品を子どもに使用させる保護者の注意に依存してはならないものである。

それは使用対象である子どもは日々成長し使用上の制限が変わること、製品が保護者の間で譲り渡されることなどからも明らかであろう。