

平成 22 年度

中小企業支援調査（キッズデザイン製品開発支援事業）に関する

委託研究契約

ー日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究ー

平成 23 年 2 月 28 日

社団法人日本技術士会 登録
子どもの安全研究グループ

本書利用に関する注意事項

本報告書の目的は、ここに取り上げた４件の子どもの事故に関し、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、子どもの安全の観点から事故発生原因の解明、再発防止対策などに関わる検討を行い、今後の事故防止に向けての見解を述べるものであって、発生した事故にかかわった特定の個人や団体・組織を非難することを目的としていない。

社団法人日本技術士会 登録
子どもの安全研究グループ
会長 佐藤国仁

日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究

- 事例 1 浴槽用浮き輪による溺水
- 事例 2 乳児用ベッドからの転落
- 事例 3 マニキュア除光液による中毒
- 事例 4 流水水泳プールによる吸い込まれ事故

平成 23 年 2 月 28 日
社団法人日本技術士会登録
子どもの安全研究グループ
ワーキンググループ 1 (WG1)

主査	森山 哲
研究員	佐藤国仁
研究員	服部道夫
研究員	小田部 譲
研究員	林 裕
研究員	湯浅陽一
研究員	水谷勝嗣
研究員	花岡 浩
研究員	瀬戸 馨
研究員	近藤 訓
研究員	小西義昭
研究員	岡部正明
研究員	高田 均

目次

1. 調査の目的（緒言）	5
2. 浴槽用浮き輪による溺水	10
4. 乳児用ベッドからの転落	68
5. マニキュア除光液による中毒	80
6. 流水水泳プールによる吸い込まれ事故	95
7. 意見	141

第 1 章 始めに

1.1	目的	6
1.2	目標	6
1.3	調査期間	6
1.4	子どもの安全研究グループの活動方針	6
1.5	Injury Alert 事例分析の基本的視点	7
1.6	報告の概要	8
1.7	まとめ	9

1. はじめに

1.1 目的

子どもの事故を工学的に分析し、子どもの事故を低減するため技術的解決案を提案する。

1.2 目標

Injury Alert に掲載されている事例および他の重要な事例を工学的に分析して、事故の原因の本質を見極め、危険源を明確にして、その対策をまとめ公表する。

1.3 調査期間

2010 年 10 月 14 日～2011 年 2 月 28 日

1.4 子どもの安全研究グループの活動方針

当会は社団法人日本技術士会に登録された活動グループとして 2009 年 9 月に活動を開始した。メンバーは全員日本技術士会会員技術士であり、その専門領域は工学の広い範囲を網羅している。当会の活動目標は「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」ことである。

- (1) 複数分野の技術士のグループとしての特性を活かした活動を目指す。技術士の最大の共通能力は「科学技術に関する高等の専門的応用能力」であり、その技術士が複数分野集まることによって広範なエンジニアリングの知見を活用することができる。またわれわれは採り上げた事例について独立であり、関与者、関連機関のいずれにも偏らない中立的な判断ができる。
- (2) 対象は子どもの不慮の事故である。大人が関わる事故とのもっとも大きな違いは、子どもの場合は多くの場合「誤使用」の概念を当て嵌めることができないことである。子どもが関わる可能性のある道具、機械、設備、材料は原則としては、子どもが行ういかなるアクセスによっても、子どもの心身に、許容されないレベルの障害を生じさせてはならない。
- (3) 当会が取り扱う不慮の事故はつぎの 3 つの条件を満たす事象である。1) はエンジニアリングの知見を活用するための前提であり、2)、3) が成立しなければそもそも事故防止は不可能だからである。
 - 1) 人工物が原因（の一部）となっている
 - 2) （設計、製造、運用管理者等にとって）予見可能であること
 - 3) （設計、製造、運用管理者等にとって）回避可能であること（予見可能性、回避可能性に関しては、それぞれの義務性の有無、困難さは問わない）
- (4) 防止するとは現に低減させることを意味する。単なる評論や解析や計画にとどま

らず、現に起こり得る事故を抑止し、失われる可能性のあった命を救うことを目標とする。もちろん全ての不慮の事故を無くすことは不可能であろうが、一人でも多くの子どもの命を守ることを目標とする。

1.5 Injury Alert 事例分析の基本的視点

子どもの安全研究グループの活動方針に基づき、日本小児科学会誌(Injury Alert)事例および他の重要な事例の分析は次の視点に立って実施した。

- (1) 事故の工学的な分析と対策とは、当該機械類（道具、設備等を含む）あるいは材料のリスクを定量的に評価して危険源を同定し、その危険源のリスクを低減することである。
- (2) この分析においては事故を引き起こした危険源に限定せず、当該機械類（道具、設備等を含む）あるいは材料が保有するリスク全てを対象とする。これによって当該機械類（道具、設備等を含む）あるいは材料によって今後引き起こされるかもしれない重篤な事故を全て排除することを目指す。
- (3) この研究においては、事故を本質的に防止する方策は人の注意力に求めず、当該機械（道具、設備等を含む）類あるいは材料の危険源そのものの排除によることを第一とし、それからの防護を第二とする。そして人の注意力に頼る方策は、ごく小さなリスクに対してのみ認めるものとする。
- (4) 事実と意見を峻別すること。そして意見はできるかぎり定量的な解析に基づいて実施すること。

この研究においては、研究期間の制約のためおよび入手できる資料類の制約のため、リスクの定量評価に基づく危険源の同定およびリスク低減の提言は十分ではなく基本思想に留まっている事例もある。これについては本報告ののちに引き続き作業を進めて、できるかぎり広範な分析および具体的な低減方策をまとめていく所存である。

(補足)

ここに記した方法論は以下の規格、標準にのっとっている。

- ・ ISO/IEC guide50: 2002 Safety aspects - Guidelines for child safety
- ・ JIS Z8051:2004 安全側面－規格への導入指針(ISO/IEC guide51:1999)
- ・ JIS B9700-1,-2:2004 機械類の安全性－設計のための基本概念、一般原則
- ・ 他

機械類の安全性についてこれらの規格類が現在世界で認められていることから、本報告においても、これら規格類を踏まえて評価、分析を行い低減方策の提案を考案した。(上記 JIS を発展させた「機械の包括的な安全基準に関する指針」が平成 19 年 7

月 31 日に、厚生労働省労働基準局長通達として公表されている)。

これら規格類によれば安全とは「許容されないリスクにさらされないこと」と定義されている。そしてリスクを低減させるために、リスクアセスメントおよびリスク低減の反復的プロセスが要求されている。ちなみに機械類に関わらない事例（本報告書の「マニキュア除光液による中毒」）においても当該物質を使用するときに生じるリスクを評価し、許容されないレベルのリスクが認められた場合はその低減を図るという考えで当該ケースに取り組んでいる。

リスク低減については次に示す 3 ステップメソッドによることが強制されている。このステップは順位を含めての強制であることに注意しなければならない。

ステップ 1：本質的安全設計方策によるリスクの低減

ステップ 2：安全防护によるリスクの低減、付加保護方策の実施

ステップ 3：使用上の情報によるリスクの低減

従来はこれらの方策の優先順位が意識されず、ややもすれば簡便な方法に流れやすかったが、有効な再発防止のためにはそれは厳にいましむべきことである。

機械類に対して本質的安全設計方策を求めるには多くの場合、設計にまでさかのぼってリスクアセスメントを行いリスク低減方策を考慮する必要がある。「事故の事典」（日経 BP 社、2009-02-01 発行、p3）によれば、2006～2008 年代の事故においては製品のライフサイクルの各段階の原因割合は次のようである。

- ・設計工程 60%
- ・製造工程 14%
- ・使用工程 8%
- ・保全工程 16%
- ・不明 3%

エンジニアリングの世界では品質もコストも設計工程でその 9 割が作り込まれるという見方は常識である。機械類の安全性は品質の一部であり、設計過程で適切な配慮がなされたか否かが製品の安全性に大きな影響を与える。本報告書では入手できるかぎりのデータを元に、設計段階で行うべきリスク評価まで踏み込んで実施し、より本質的な危険源の抽出、安全方策の提案を試みた。

1.6 報告の概要

今年度の活動の結果としてつぎの結論を得た。

(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行った。その結果、浮き輪と子どもとの系は普通に予想されるよりも遙かに不安定状態が発生しやすいことが分かった。しかもいったん不安定状態となると一気に 180 度転倒し、その状態が安定状態となること

を見出した。市販されている多くの製品には設計における重要な問題が残されている。また、法規による規制は十分でなく、この点も改善するべきである。

(2)乳児用ベッドからの転落

主要仕様については規格が定められている。しかし、子どもの発達過程によって重要な仕様変更があり、その対応は使用者に任されている。(1)浴槽用浮き輪および(4)流水プールに比べればリスクは小さいとはいえ、無視できるレベルではない。商品の設計（本質的安全設計、安全防護、使用上の情報）および法規による規制、双方の対応が必要である。

(3)マニキュア除光液による中毒

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、多くの家庭に保管されているマニキュア除光液において、その使用上の情報すらない現状は、改善されるべきと思われる。

(4)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。

- (a) ふじみ野市大井プールの調査
- (b) 吸水配管口近傍の流体力（吸い込まれる力）の実験
- (c) 吸水口近傍の流体力の解析

これにより、ふじみ野市大井プール事故は設計、施工（製造）、運営管理（使用）の全ての場面で不具合を生じており、安全原則に則らない業務がなされてきたことの確証を得た。そして、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と構造基準案の策定の作業を進めたい。

また、ふじみ野市殿のご協力を得て、当該プールの取水ますと吸水配管口近傍を当該プールの解体に先立って保存することができた。

1.7 まとめ

技術者倫理の知見に拠れば、技術は社会から次の期待を負っているとされている。

- (1)科学技術の危害を防止する
- (2)公衆を災害から救う
- (3)公衆の福利を推進する

本報告書で取り上げた4つの事例は上記の(1)および(3)に関わっており、(3)の達成のために(1)に違反してしまったものである。幼児を育てる母親のために浴槽用浮き輪は作られた。期待に応えたわけであるが、そこで考案した浮き輪という手段は、われわれの研究に拠れ

ば本質的に不安定であり、適切な手段だったとは認めがたいものである。それが不適と分かれば、代替手段は幾つもある。設計段階でリスクを見逃したとき悲劇に直結することの悲しい実例となってしまった。

設計における安全、製造における安全、使用における安全、いずれの場面でもリスクの評価が全ての出発点である。ここでは、細かな議論は不要で、重大なリスクがあるかないかのみを評価すればよい。安全のこの原則に基づき、子どもの安全をこれからも追求していくものである。

なお、本研究のうちの「6. 流水水泳プールによる吸い込まれ事故」の研究を実施するに当たり、その吸い込み力の実験の部分では株式会社荏原製作所殿の全面的なご協力をいただいた。具体的には実験計画、実験装置の設計・製作・調整、そして実験の実施と実験データ取りまとめに至る調査・研究のすべてを行っていただいた。これによって重要な定量データを得ることができ、今後の解析およびリスク低減方策の構築に向けて重要な知見を与えてくれた。ここに特記して、感謝申し上げる次第である。

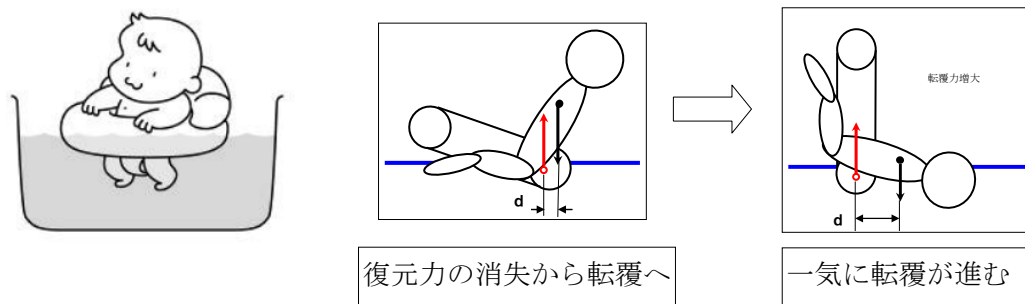
第2章 浴槽用浮き輪による溺水

2.0	要約	12
	前年度研究報告	
	（平成21年度委託研究 平成22年2月26日）の要約	
	本年度（平成22年度）研究報告の要約	
2.1	浮き輪の現物入手と試着実験	14
2.2	浮上実験（産業総合技術研究所にて）	15
2.2.1	産業技術総合研究所での転覆実験実施工程	15
2.2.2	浮き輪の仕様	15
2.2.3	ダミー人形の仕様	18
2.2.4	ダミー人形と浮き輪の組み合わせ	18
2.2.5	浮上実験の様子写真と解説	22
2.2.6	浮上実験の様子ビデオより一部分解写真	23
2.3	解析	25
2.3.1	直方体モデルによる解析	26
2.3.2	子供ダミーを乗せた系の2次元図面解析	40
2.3.3	様々な条件における浮き輪の安定性解析	54
2.4	考察	68
2.5	結論	68
2.6	今後の課題	69

2. 浴槽用浮き輪による溺水

2.0 要約

2.0.1 前年度研究報告（平成 21 年度委託研究 平成 22 年 2 月 26 日）の要約



発生日時 2006 年 11 月 21 日 19 時頃 （＊）

発生場所 事故当事者の自宅の浴槽内 （＊）

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、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。（＊）

（（＊）は Injury Alert No. 4 による）

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、身体の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いて技術的に解明し、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制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。

2.0.2 本年度（平成 22 年度）研究報告の要約



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。

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) 実験で使ったダミー人形／浮き輪の組合せを2次元図形処理により解析

3) 実験で使ったダミー人形／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。

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。

検討経緯

2. 1 浮き輪の現物入手と試着実験

a) 2歳6カ月児の例

- ・身長 88cm、体重 13.0kg



ドーナツ型浮き輪



トーマス型浮き輪

- ・ドーナツ型浮き輪では幼児と浮き輪の関係が少し窮屈な感じである。

また、水中では幼児の位置は下半身の浮力の関係でもう少し上方になると思われる。

- ・トーマス型では浮き輪に対し余裕がある。そのため幼児は前方によって乗用していた。

b) 9ヶ月児の例

- ・身長 68 cm、体重 7.5 kg
- ・9ヶ月児では浮き輪に対して重心がかなり低い位置にあり安定であるが、手を使って浮き輪に乗り上げる動作が見られる。これにより重心の移動が行われ安定性が失われることが考えられる。また反り返りのような大きな重心移動も行われる。



- ・子どもの足が床につくと子どもは自然に両手を浮き輪に乗せて浮き輪の上へ伸び上がる動作をする。水中で子どもに浮力が作用したとき子どもの腕の力で重心が浮き輪に対して上方に移動することは容易に考えられる。



2. 2 浮上実験（産業総合技術研究所にて）

2. 2. 1 産業技術総合研究所での転覆実験実施工程

産業技術総合研究所（以下「産総研」と略称する）のご協力により、浴槽、角形浮き輪、6ヶ月児ダミー及び測定機器類をお借りして浮き輪に乗る子どもの転覆条件を確認する実験をおこなった。

- 1) 日時：平成22年12月6日 13:00～17:00
- 2) 場所の提供：産総研 デジタルヒューマン技術センター
- 3) 協力頂いた方：西田佳史氏、渡辺祐子氏、金一雄氏
- 4) 技術士会“子供の安全Gr”：小田部、佐藤、小西、高田、花岡
- 5) 転覆実験計測器：Video、カメラ、体重計、コンベックス
- 6) 実施工程：
 - (1) 浮き輪寸法、容積の計測と写真撮影
 - (2) 6ヶ月児ダミーの寸法、体重、重心位置等計測
 - (3) 浮き輪転覆実験（角形、ドーナツ型、トーマス型、Swimava型）

2. 2. 2 浮き輪の仕様

1) 産総研での実験に使用した浮き輪

角型、ドーナツ型及びトーマス型の3種類であり、それぞれの仕様等を以下に示す。

首のみを浮かせるタイプのSwimavaも実験したが、重心が常に浮き輪より低く、安定・転覆のメカニズムが全く異なるので詳細は省略する。

（なお、Swimava（首を包んで浮かせる）に関しては、浮上実験を行ったが、他の浮き輪とはリスクの課題が異なり、ここでは詳しい評価は行わない）

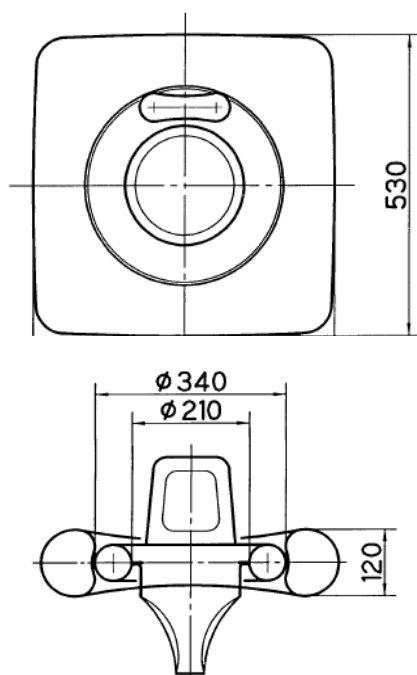
表 H-1 浮き輪の型式と主な仕様

項目	浮き輪		
型式	角型	ドーナツ型	トーマス型
発売元	不明	(株) タカラトミー	(株) プレックス
発売元	Floaties(Australia)	(株) タカラトミー	(株) プレックス
製品名	Smart float	Sugar hunnies sanrio	Thomas & friends
購入年月	不明(年以上前)	2010 年 12 月	2010 年 12 月
購入方法	不明	インターネット Yahoo	インターネット Yahoo
所有者	産総研から借用	子供の安全 Gr	子供の安全 Gr
対象年齢	(浮き輪に記載無し)	1.5 才以上	1.5 才～3 才未満
外形寸法(mm)	長さ、幅、高さ	外形、内径、高さ	長さ、幅、高さ

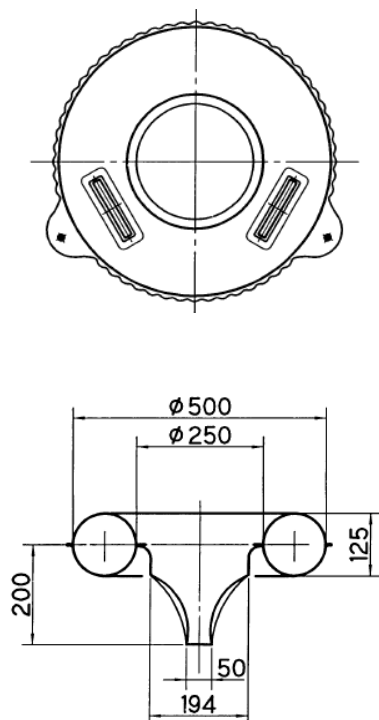
(背凭れ除く)	530×530×120	500、 250、 125	650×500×190
寸法図	図 H-1a	図 H-1b	図 H-1c
写真	写真 H-1a	写真 H-1b	写真 H-1c
容積 (背凭れ含む)	23,680 cm ³	15,540 cm ³	36,260 cm ³
浮き輪材料	不明	塩化ビニール樹脂	塩化ビニール樹脂
浮き輪構造	2 袋(外輪と内輪)	1 袋	2 袋 (上側、下側)
ST マーク	有り	有り	有り
使用上の注意			
風呂での使用	使用を許容	絶対使用禁止	絶対使用禁止
	保護者のもとで使用	子供から目を離さない	子供から目を離さない

2) 寸法図及び写真

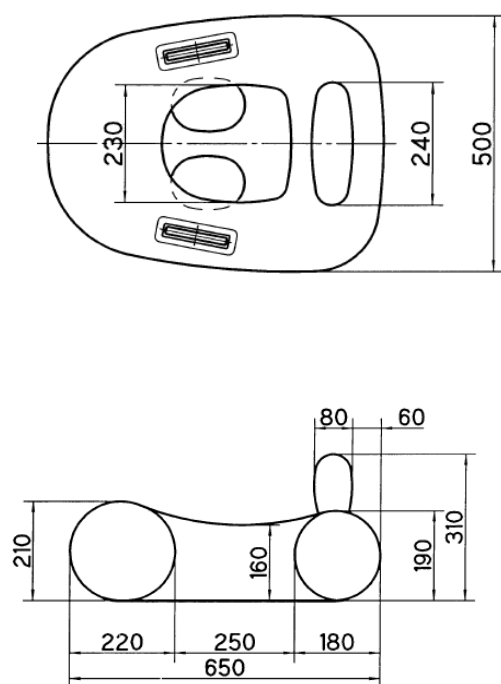
a) 角形浮き輪 (図 H-1a、写真 H-1a)



b) ドーナツ型浮き輪 (図 H-1b、写真 H-1b)



c) トーマス型浮き輪 (図 H-1c、写真 H-1c)



2.2.3 ダミー人形の仕様

- ・ダミー人形

HUMANETICS 社製

CRABI 6 Month Old Infact Dummy

ダミー人形の外觀寸法、重量、重心位置の測定値及びダミー人形基本スペック値より頭部+胴部、腕部、脚部を三分割とし各重心位置、重量を算出した。

主な数値	ダミー身長	675mm
	ダミー体重	7.82kg

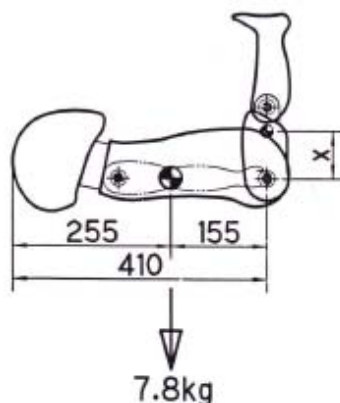
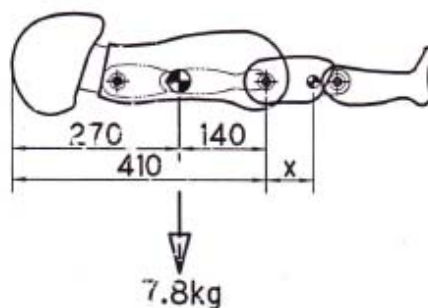
算出手順を付図 T・1 に、全体結果を付図 T・2 に示す。

2.2.4 ダミー人形と浮き輪の組み合わせ

2.2.2 及び 2.2.3 よりダミー人形と浮き輪を組み合わせた場合を付図 T・3 に示す。

図中にはダミー人形の頭部+胴部、腕部、脚部より算出した全体重心、水中部分の浮力、浮き輪の浮力の関係を示す。

1. 計測値



2. 資料等による数値

脚部重量 (ダミー資料より) 1.54kg

本体重量 $7.8\text{kg} - 1.54\text{kg} = 6.26\text{kg}$

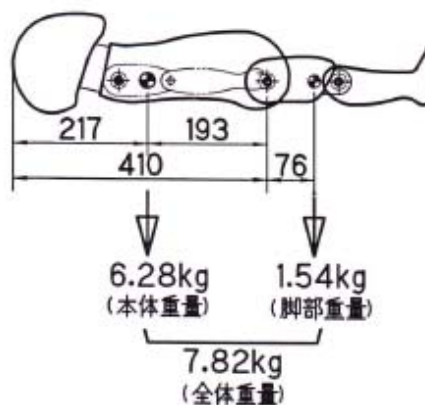
3. 計算結果

脚部重心位置 $x = 76\text{mm}$

脚部重量(ダミー資料より) 1.54kg

本体重量(数値調整有り) 6.28kg

全体重量(数値調整有り) 7.82kg



4. 頭+胴体、腕部の各重心

腕部重量 (ダミー資料より) 0.85kg

頭部+胴体重量 $6.28\text{kg} - 0.85\text{kg} = 5.43\text{kg}$

腕部図心 (CAD 領域特性より) 95mm

頭部+胴体 重心位置 $x = 200.5\text{mm}$



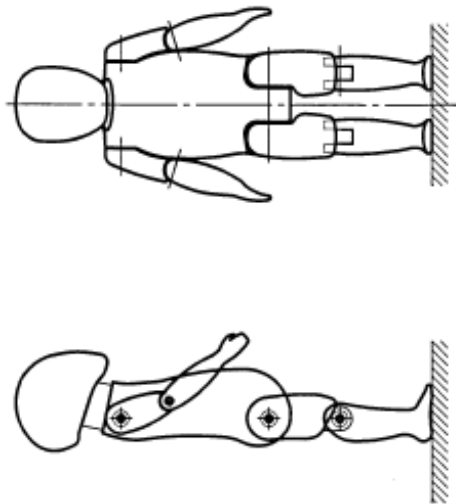
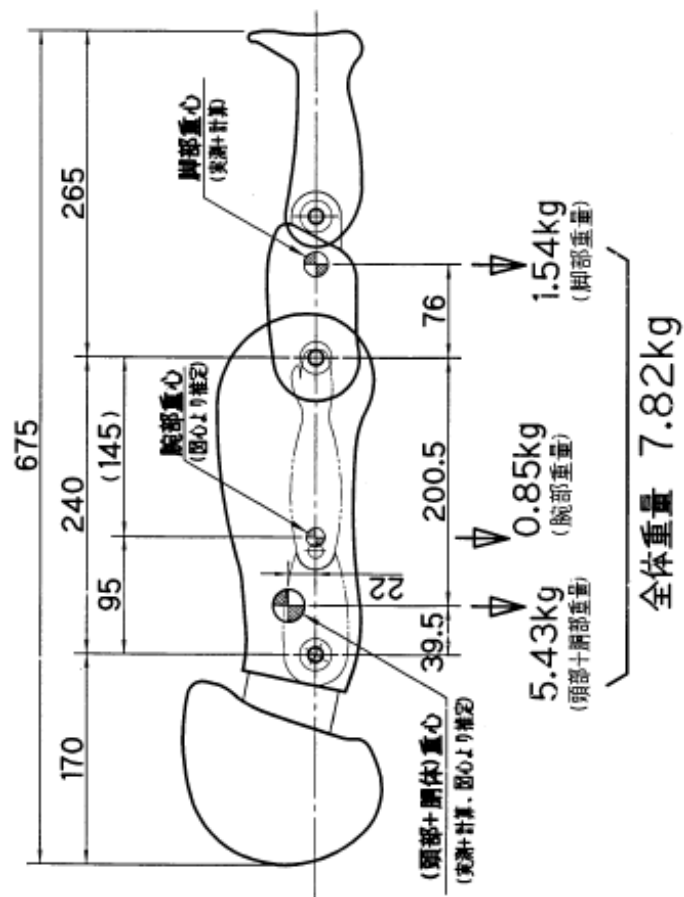
5. 頭+胴体の上下(x軸)方向重心

頭部+胴体図心 (CAD 領域特性より) 22mm

*脚部、腕部は中心線上とする

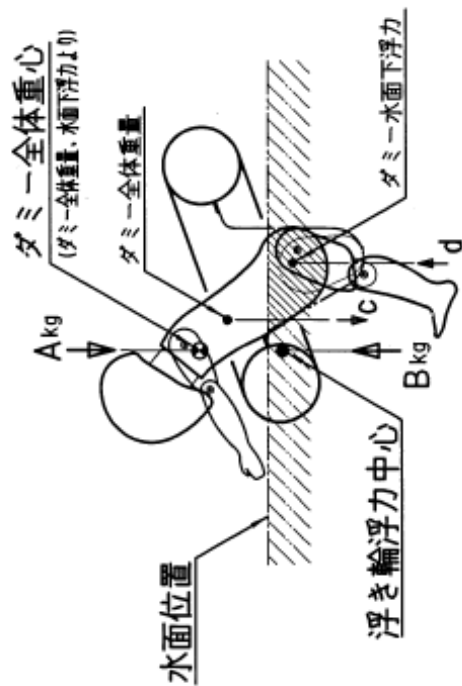


付図 T・1 ダミー人形測定結果よりの算出手順



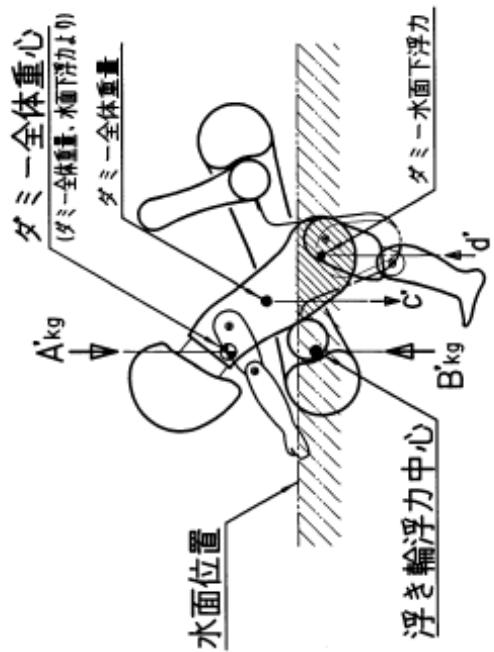
ARCHIVE	SCALE	1/5
MATERIAL		
DESCRIPTION	各部重心 (3parts) ダミー人形 (6ヶ月モデル)	
DRAWING-NUMBER	fuzu_t2	SHEET OF
LEXCH.F.	LENGTH	

付図 T・2 全体結果(ダミー人形の各重心位置)



ドーナツ型との組み合わせ

$$(A = C - d \quad A = B)$$



角型との組み合わせ

$$(A' = C' - d' \quad A' = B')$$

ARCHIVE	SCALE	1/10
MATERIAL		
DESCRIPTION	各浮き輪+ダミー	
DRAWING-NUMBER	fuzu_t3	SHEET OF
LEXICH.	LEXOATH.	

付図 T・3 ダミー人形と浮き輪の組み合わせ

2. 2. 5 浮上実験の様子写真と解説

a) ドーナツ型浮き輪とダミーの組み合わせ



・ドーナツ型浮き輪とダミーを組み合わせ、ダミーが少し乗り出す程度の時はある角度に傾いた状態で安定するが、乗り出しを少しずつ大きくしていくと、ある段階で手を離すと自然に転覆が始まり（上図「転覆限界」）、次いで急速に転回してしまう。

b) 角型浮き輪とダミーの組み合わせ



・角型浮き輪とダミーを組み合わせ、徐々に傾けて行き「転覆限界」の状態
この場合右側の人の手をほんの少し押し出したところで転覆に至った。

上記2つの写真からドーナツ型より角型の浮き輪の方の転覆限界（角度）がいくらか大きいことがわかる。また、ダミーの乗り出し量についてもドーナツ型よりも角型のほうが多い。

それぞれの形状の違いもあるが、ドーナツ型浮き輪の容積 15540cm³ に対し角型浮

き輪容積 23680cm³ と、容積の差が大きく影響されていると推測される。

2. 2. 6 浮上実験の様子ビデオより一部分解写真

a) ドーナツ型浮き輪の転覆

① この状態（転覆限界）から手をはなす。
浮き輪とダミーは転倒側へ回転を始める。
この状態ではダミーの重心位置は浮き輪の浮力
中心と重なるか、少し超えている。



② 浮き輪は直ちに転覆、回転動作に入る。



③ 急速に回転する。浮き輪の水面下部分が反
転すると浮き輪の浮力による逆回転モーメント
が増加し、回転を加速するように見える。



④ 最終的には完全に反転し、ダミーは「逆さ
宙吊り」状態になった。ダミーの上半身部分は
完全に水中にあり実際の子供であれば自力では
どうにも脱出出来ないと思われる。①からこの
状態になるまでに2秒もかかっていない。



b) トーマス型浮き輪の転覆

① トーマス型浮き輪では浮き輪の容積が大きく、安定しており、このダミーとの組み合わせでは前後方向へ強制的に転覆させようとしても困難であった。



② 横方向に転覆をさせた状態

横方向にダミーを乗り出させて転覆を試してみた。かなりの角度ではあるが横方向ではドーナツ型と同様に急激な転覆が確認された。但し、転覆の途中で子どもが浮き輪から離れて落ち、一方で浮き輪は完全に裏返った。大きい浮き輪では転覆はしにくいですが、子どもが浮き輪から転落しそうになって、それを浮き輪の反転により助長するような感じであった。離れて落ちる形もひとつのリスクと考えられる。



c) 首リング型 (Swimava型)

今回、写真のような首リング型の浮き輪も試した。

重心が浮力中心より低く、転覆のリスクは極めて小さいことを確認した。転覆限界を超える転覆というメカニズムは適用できないようなので、この浮き輪について以後の解析は行わなかった。

但し、浮上させた状態で口の位置が水面に近く、空気が抜けた場合のリスクとか首に巻きつけて止める構造に欠陥が生じると外れて口が水に浸かるという別のタイプのリスクは残ると感じられた。



2. 3 解析

子どもと浮き輪の組合せからなる浮上体の安定・転覆問題について、下記 3 つの方法で独立に解析を行なった。

- (1) 子どもが乗った結果重心がある高さにあって浮上体は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もの。
- (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もの。
- (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関係を変えながら安定性を理論解析するもの。

詳細は次ページ以下に記述する。

2. 3. 1 直方体モデルによる解析

この章では子どもが浮き輪に乗って浮かんでいて、子供の重心が前方に移動した際に重心と浮心とが作用点で釣り合いながらも回転角の増加と共に限界値まで移動していく状態について、直方体のモデルとして関数式により解析した。

1) 直方体モデルによる解析

a) 直方体モデルによる関数式解析のメリットは以下の通である。

- ・直方体である限り厳密解を求めることができる。
- ・回転・転覆の状況が連続的に表示できる。
- ・直方体の形状や子どもの体重を変えても容易に解析と評価ができる。

b) 簡易的検討のための仮定

仮定 1：浮き輪は下図で前後に断面積の均等な方形形状とする。(左右の断面積も均等)

仮定 2：浮き輪は水中で回転はするが変形はしないとする。

仮定 3：子どもの比重は 1.0 とする。

仮定 4：子ども(水上部分)の体積は変化しないとする。(子どもへの作用重力値は不変)

仮定 5：浮き輪の重量(質量)は子どもに比べて小さく無視できるとする。

(無視できないとする場合は、以下の議論で“子どもへの重力の作用点”を“子どもと浮き輪系への重力の作用点”と考えれば良い)

なお理論的に、浮き輪の合成浮力は浮き輪水没部分に等しい水の質量と等しく、水没部分の重心位置(浮心)に作用する。

c) 記号の定義

G：子ども(水上部分)の重心に作用する重力(以下、“子どもへの重力”と言う)

B：浮き輪の合成浮力(以下、“浮き輪の浮力”と言う)

L：浮き輪の前後長さ、 W：浮き輪の左右長さ、 H：浮き輪の厚さ

K：浮き輪の扁平度 $=L/H$

F：浮き輪の最大浮力(浮き輪が完全に水没したときの浮力)

R：子供への重力と浮き輪の最大浮力の比 $=G/F$

X：浮心の浮き輪の中心からの移動距離

d) 前回報告からの改善点

前回報告では子供への重力と浮き輪の最大浮力の比(R)が $R=1/2$ の場合の計算モデルであったが、今回は R を任意に取れるように修正した。この為以下の評価が可能となった。

- ①今回はダミー人形を使った実験を実施したが、その結果との比較が出来るようになった。
- ②子どもの体重と浮き輪の浮力の関係を任意に変えた時の安定性を吟味することが出来る。

(安全設計、使用上の注意などのヒント)

- ③浮き輪の形状による安定性の違いを吟味することが出来る。(安全設計のためのヒント)
- なお、実際の浮き輪は子供が乗る部分は中空となっている。この位置は中央の為回転モー

メントへの影響は小さく、転覆に近い時点では数%で第1近似では無視できると評価した。

2) 子供のダミーに於ける静的安定性の計算

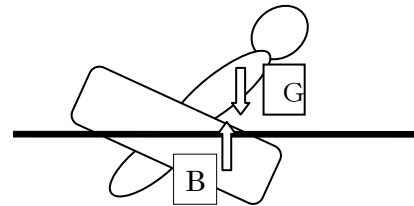
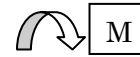
子供のダミーを乗せた角形浮き輪を直方体モデルとみなして子供の重心位置の移動と回転角度の関係を求め、この関係において重心移動限界（転覆限界）位置を求めた。

a) 角形浮き輪サイズと全浮力

(2. 2. 2 浮き輪の仕様の図 H-1a)

- ・前後方向長さ (L) : 53cm、
- ・幅 (W) : 53cm、高さ (H) : 12cm
- ・長さ／高さ比 $K = L/H = 53/12 = 4.417$
- ・浮き輪全浮力（浮き輪全体が沈んだ時の浮力）

$$F = 53 \times 53 \times 12 \times 1.0 \text{ (kg/cm}^3\text{)} = 33.71\text{kg}$$



b) 子供モデル

実験に使用した子供ダミー（6ヶ月児）と別入手データから2歳児モデルを想定した。

本項の検討では子供の水面から上の部分の体重（有効体重）が重要であり、d) 項に示した。

c) 浮き輪／子供の静的安定関係のモデル化

下図で示す座標位置を基に浮心位置を求め体重の移動に伴う準静的安定式を作成した。

- ・子供の重心位置と浮き輪の浮心位置が同一鉛直線上に有る
- ・子供の荷重と浮力の大きさは等しい

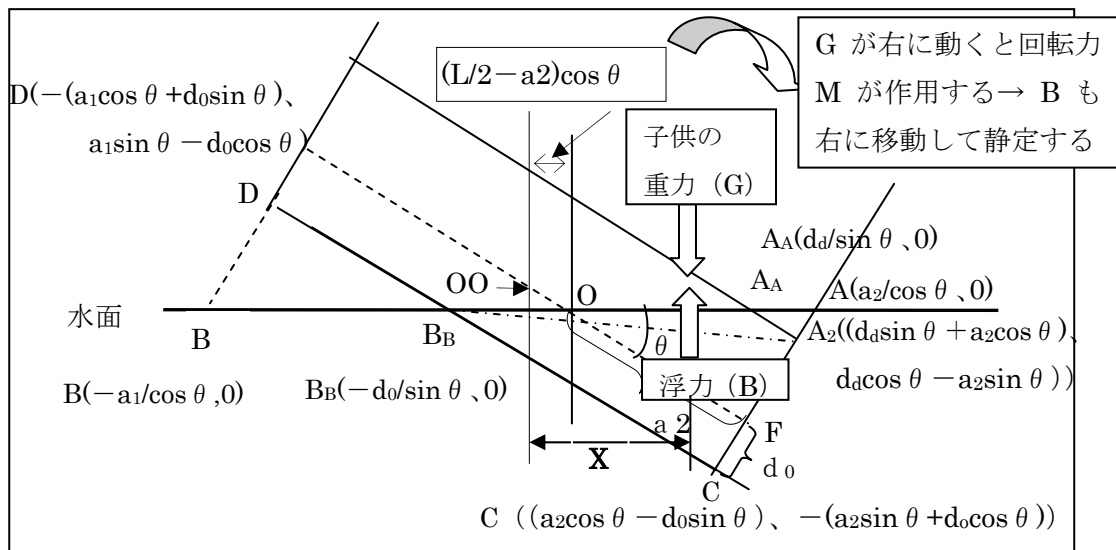


図 H-2 計算モデルの座標位置

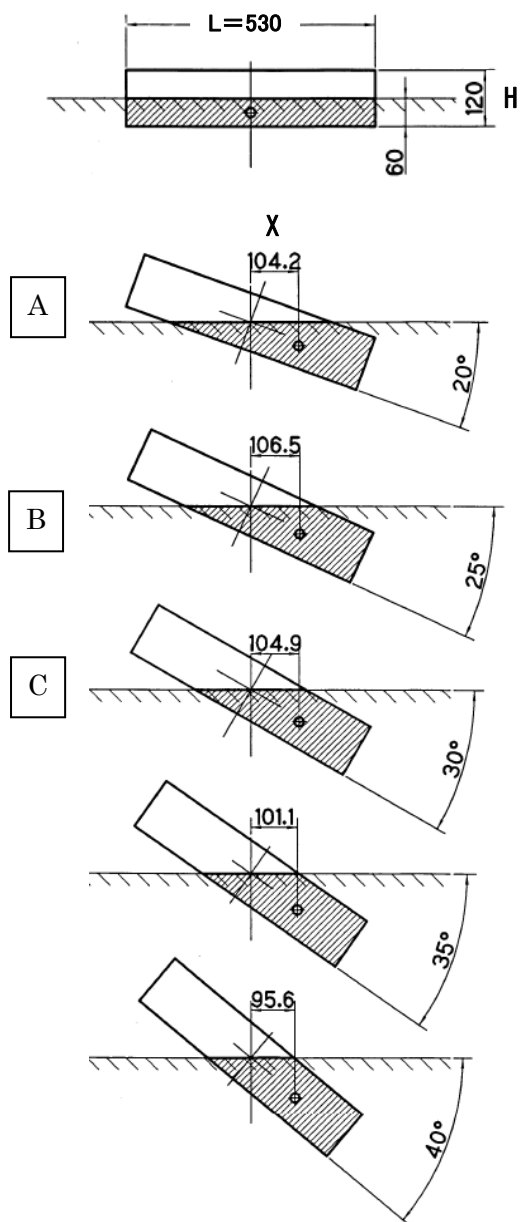
(詳細は2. 3 付録のページ参照)

d) 浮き輪での子供の重心移動と浮き輪角度

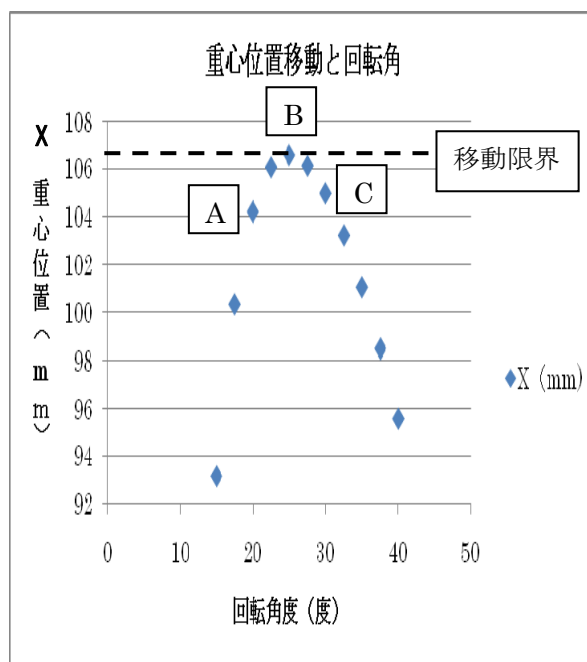
浮き輪に乗った子供が動いて重心位置が移動した時の浮き輪回転角度を模式的に示す。

(本図は子供の体重＝浮き輪の全浮力の $1/2$ ($R=1/2$) であるケースを示す)

X は重心又は浮心の移動距離 (転覆限界までは重心移動と浮心移動は同じ)



図H-3a 重心位置移動と回転角



図H-3b 重心位置移動と回転角

子供の重心位置が浮き輪の中心から水平方向に移動した場合に、浮力の中心（浮心）は浮き輪の中心から 106.5mm の位置が移動限界となる為に、子供の重心位置がそれを超えると浮き輪と共に転覆する。

e) 想定幼児での検討ケース

表 H-2 想定幼児での検討ケース

ケース	幼児年齢	浮き輪に作用する有効体重(kg)		体重/浮き輪全浮力比：R
1	6ヶ月児	水面より上の体重(6MG1)	5.53	$6MG1/F=0.16$
2		全体重(6MG2)	7.82	$6MG2/F=0.23$
3	2歳児	水面より上の体重(2YG1)	9.13	$2YG1/F=0.27$
4		全体重(2YG2)	12.90	$2YG2/F=0.38$

ケース1と3では、“子供の水面下の重さ＝水による浮力”として相殺したと想定している。

3) 解析結果

(1) 角形浮き輪の静定位置と移動限界

(1-1) ダミーでの各ケースの静定位置と移動限界

上記角形浮き輪と想定幼児の各組み合わせにおける静定位置と移動限界を求めた。

なお以下の図において、 $XXJC = X / (L / 2)$ であるが、

浮き輪の前後長 L の $1/2$ に対する比とする無次元化移動量である。

X ：有効体重の浮き輪中心から水面方向長さ

L ：浮き輪の前後方向長さ

① ケース1 (6ヶ月児／水面より上の体重(6MG1=5.53kg))

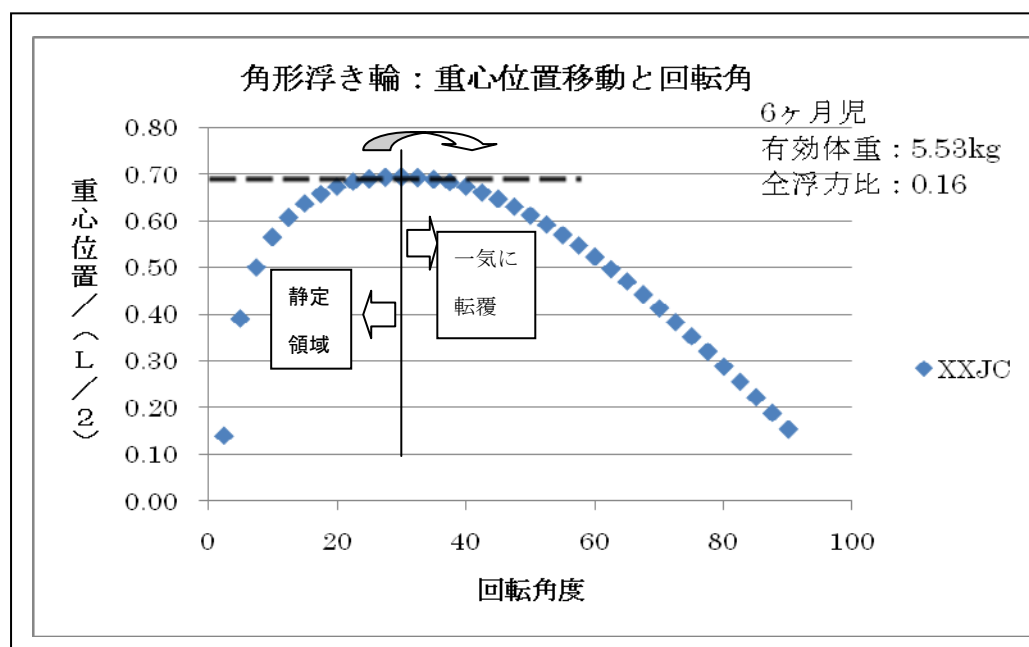


図 H-4 角形浮き輪 重心位置移動と回転角 (1)

- ・ 重心移動限界の状態： $XXJC=0.693$ 回転角度：30度
- ・ 子供の重心が重心移動限界を超えると急速に転覆する。(以下同様)

②ケース 2 （6 ヶ月児／水面より上の体重(6MG2=7.82kg))

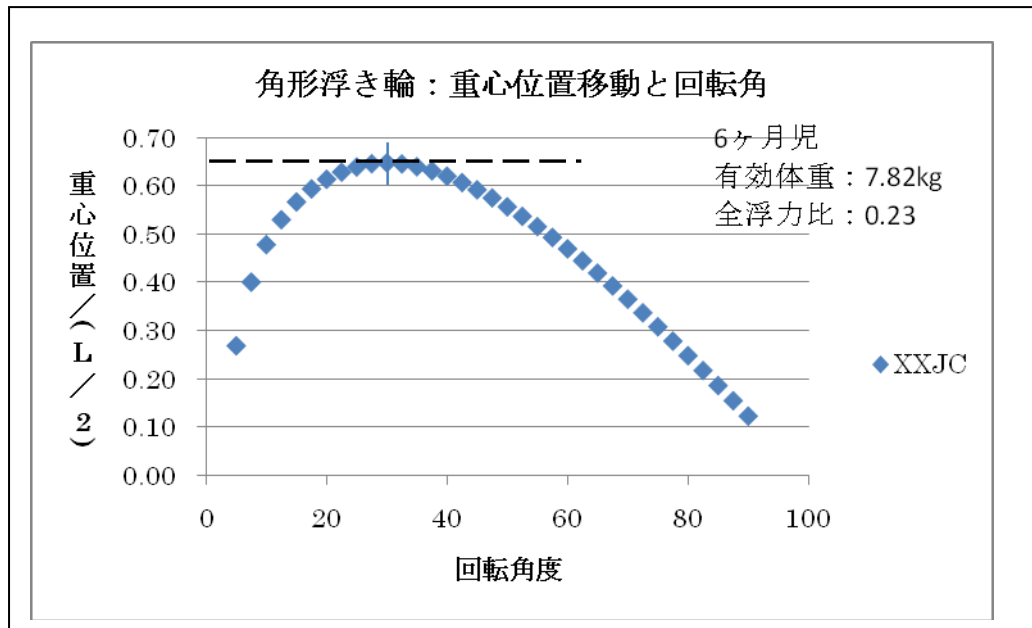


図 H-5 角形浮き輪 重心位置移動と回転角 (2)

・重心移動限界の状態：XXJC=0.648 回転角度：30 度

③ケース 3 （2 歳児／水面より上の体重(2YG1=9.13kg))

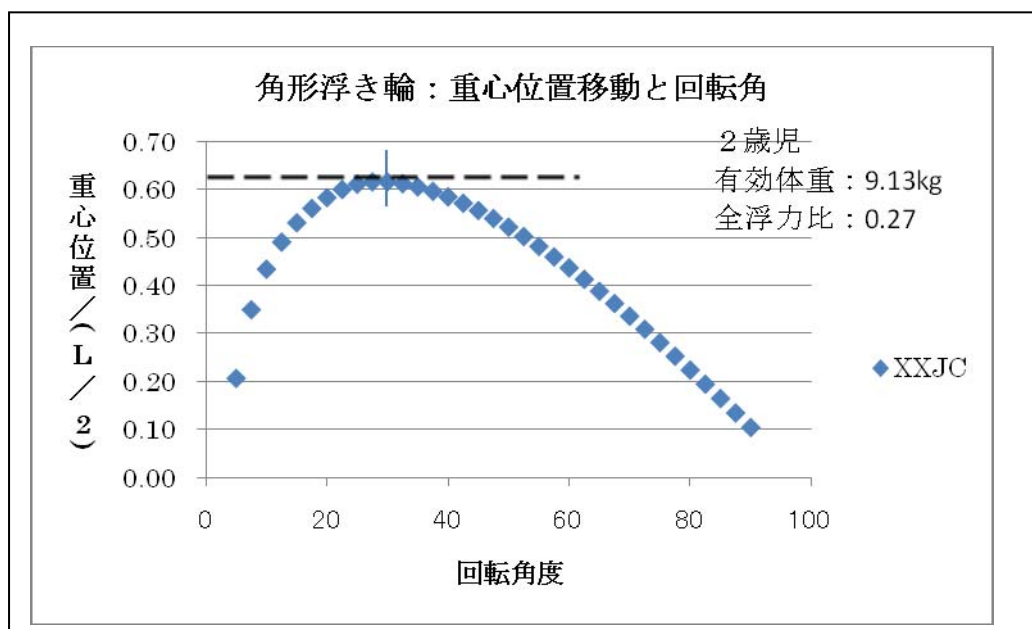


図 H-6 角形浮き輪 重心位置移動と回転角 (3)

・重心移動限界の状態：XXJC=0.616 回転角度：30 度

④ケース4（2歳児／水面より上の体重(2YG2=12.9kg)）

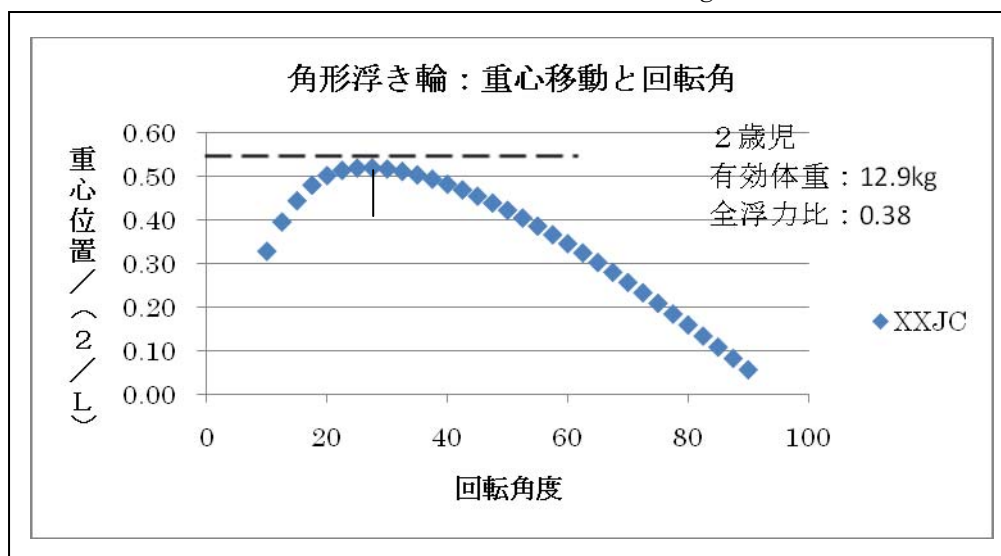


図 H-7 角形浮き輪 重心位置移動と回転角（4）

- ・ 重心移動限界の状態：XXJC=0.518 回転角度：27.5 度

1～4 のケースから子供の体重が大きいほど重心移動限界が小さく不安定であるといえる。

⑤上記実機テストの纏め

実機テストで使用した浮き輪（ $K = L(53\text{cm}) / H(12\text{cm}) = 4.417$ ）は比較的扁平度の大きな浮き輪であり、6ヶ月児と2歳児の重心移動限界は下記となった。

表 H-3 角形浮き輪での重心移動限界

ケース	幼児年齢	浮き輪に作用する有効体重(kg)		重心移動限界 (X) 到達時 ($X = \text{XXJC} \times L/2$)		
				XXJC	X	回転角
1	6ヶ月児	水面より上の体重(6MG1)	5.53	0.693	18.4cm	30 度
2		全体重(6MG2)	7.82	0.648	17.2cm	30 度
3	2歳児	水面より上の体重(2YG1)	9.13	0.616	16.3cm	30 度
4		全体重(2YG2)	12.90	0.518	13.7cm	27.5 度

・ 実機テストでの回転角は子供の水没容積からケース1が近いと思われるが、転覆前の回転角は30度～+α度程度のように推定され上記計算との整合性があると言える。

・ 本検討で子供の重心移動限界は6ヶ月児と2歳児で水平方向に同じように考えたが、2歳児では身長が大きいので重心位置が高く、同じ回転角度で水平移動距離は大きくなることを考慮しなければならない。

(1-2) 幼児の体重比を変化させた場合の静定位置と重心移動限界

上記の想定幼児での検討ケースをもっと一般化して、大きな子供と小さな子供（体重の全浮力比 R が変化）に対して安定性（重心移動限界とその時の回転角）がどのように変化するかを以下に示す。

a) 重心位置移動と回転角

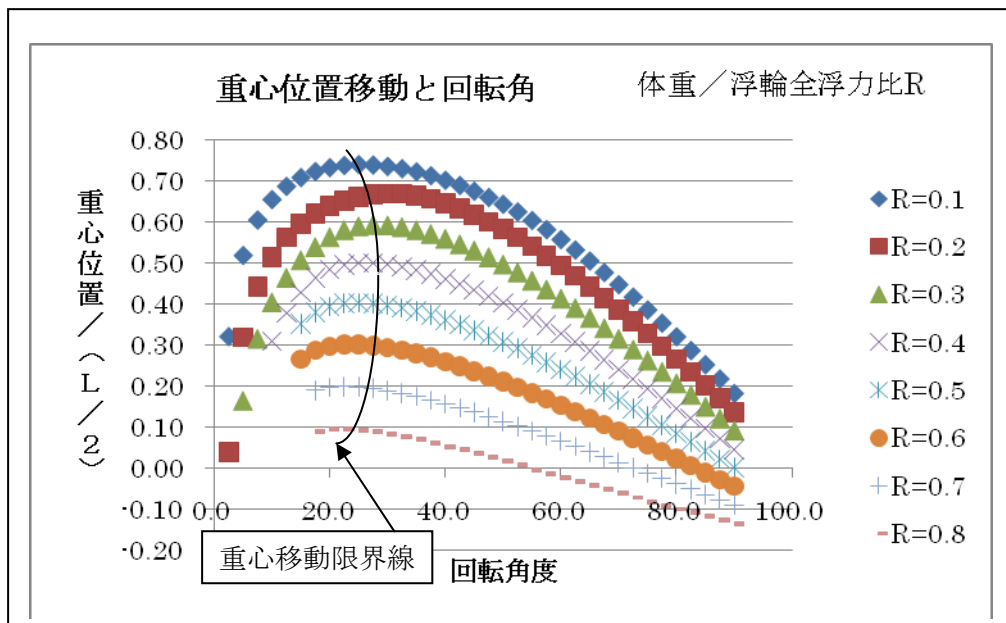


図 H-8 角形浮き輪 重心位置移動と回転角 (5)

(図 H-2 の OO 点基準座標のため、90 度回転した場合に $R=0.5$ 以外でのみ 0 となる)

b) 重心移動限界

重心移動限界線を子供体重／浮き輪全浮力比 R との関係で示すと下図となる。

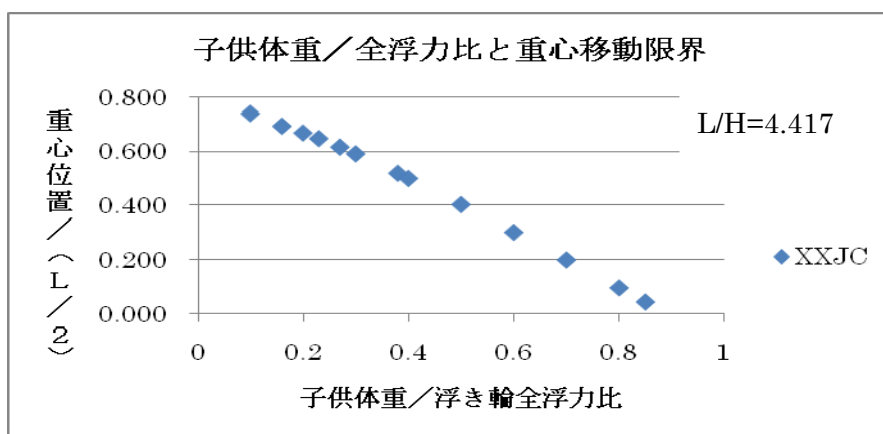


図 H-9 角形浮き輪 子供体重／全浮き輪比と重心位置移動限界

- ・ 浮き輪の大きさと形状を固定した場合の重心移動限界は子供が重い程と小さくなる。

c) 対応回転角

重心移動限界線を限界時の回転角との関係で示すと下図となる。

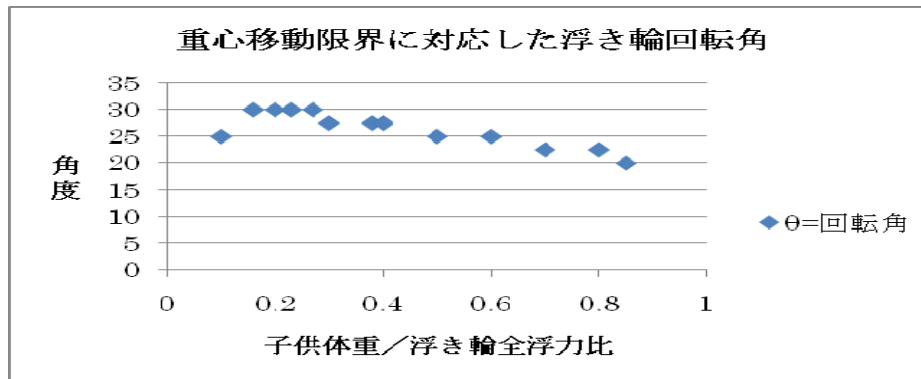


図 H-10 角形浮き輪 重心移動限界に対応した浮き輪回転角

- ・浮き輪回転角は 2.5 度単位の計算故に不連続的表記であるが、細分化すれば連続的変化。
- ・子供が重すぎない場合（比<0.6）、重心移動限界に達した時の回転角は 25 度から 30 度程度である。
- ・以上の検討結果から、「直方体浮き輪においては小さな子供（R が小）程安定し、大きな子供は重心移動限界値が小さい事に加え、動きも活発であり容易に転覆しやすいといえる。

(2) 浮き輪の形状（長さ／高さ比）を変化させた場合の重心移動限界

上記（1）では実機テストした浮き輪の“長さ／高さ比” $K=4.417$ としたが、浮き輪の形状はいろいろな形状が多いために、この比（扁平度）を変化させた場合の重心移動限界を以下に検討した。

a) 重心移動限界

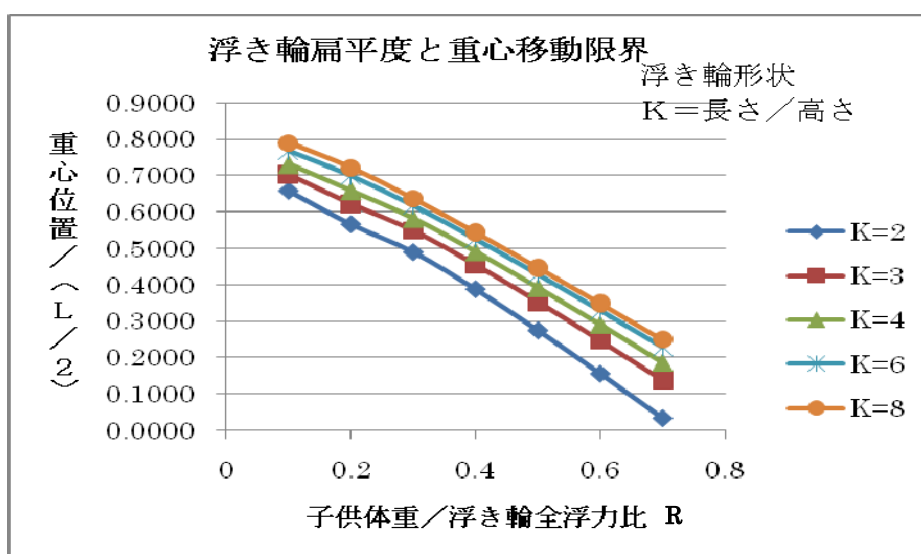


図 H-11 角形浮き輪 扁平度と重心移動限界

- ・上記に示すとおり“長さ／高さ比” K が大きい程、つまり扁平度が大きいほど転倒に関する安定度は高い（重心移動限界値は大きい）といえる。

ただ、余りに扁平で浮き輪の中心の厚さが薄いと、浮き輪の中心が変形して陥没する可能性が生じるので、それは避けなければならない。

b) 浮き輪回転角度

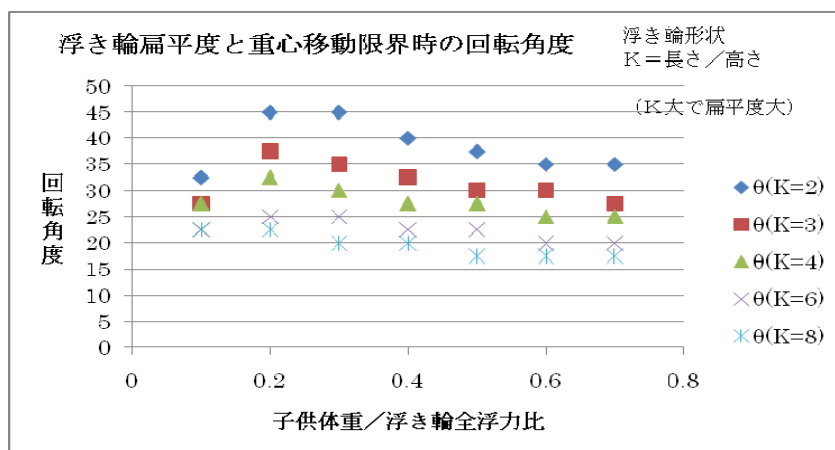


図 H-12 角形浮き輪 浮き輪扁平度と重心位置移動限界時の回転角

- ・扁平度（ K ）が大きい場合、回転角は小さい状態で重心移動限界（転覆限界）に達するといえる。

(3) 浮き輪の横幅方向の特性

これまでの議論は実験に使用した代表的浮き輪が縦と横幅が同じ寸法であったので、子供が動きやすい前後方向への重心移動として安定性を議論した。

a) 横幅の狭い浮き輪

上記の定量的特徴は横幅方向に関しても全く同じことが言える。

従って、横幅方向の短い浮き輪は、横方向への重心移動と転覆がクリティカルとなる。

今回の実験ではトーマス型浮き輪が横幅の短い浮き輪であった。

トーマス型浮き輪のサイズは下記である。

最大長さ 65cm（平均 $L=60$ cm）、最大横幅 50cm（平均 $W=44$ cm）、

高さ 16～21cm（平均 $H=18$ cm）

全浮力：直方体 47.5kg

子供ダミー全体重と浮き輪の最大浮力の比 $R=G/F=7.83/47.5=0.16$

扁平度長手方向 $K_l=L/H=3.3$ 、横幅方向 $K_w=W/H=2.4$

浮き輪の浮力が大きく、長手方向は転覆の可能性は伺えなかった。

しかし、横方向は乗りだしが大きくなると転覆に至った。

b) これまでインターネットに登場した浮き輪

最近（平成22年後半以降）インターネット上では発見出来ず入手は出来なかったが、写真H-2のような浮き輪は浮き輪の横幅寸法が短く転覆しやすい危ない浮き輪である。

インターネットからも排除されている可能性がある。



写真 H-2 縦長浮き輪
(サイズ：80×58cm)

b) 横方向補助浮きを持つ浮き輪

写真 H-3 は横方向に補助の浮きを追加した浮き輪である。

写真 H-2 の浮き輪に比べると中心から外側に浮きが追加されているので、安定性の補助には一定の効果が有ると判断される。補助浮きの厚さや容積など厚みのある部分と大きく異なる点への工夫が必要となる。



写真 H-3 縦長浮き輪
(サイズ：70×75cm)

（4）本節のまとめ

子供の動作或いは外力によって子供・浮き輪系が傾けば重心が水平方向に移動するが、それにつれて浮心も水平に移動して復元モーメントを生じ安定方向へ戻ろうとする。

子どもが浮き輪上で動き、船の積荷が移動したような形で重心が移動した場合も、浮心の移動によりある角度で傾いた状態で安定する。この状態でも浮心の移動が可能な範囲では復元力は期待できる。

傾き角度に対する浮心の移動距離は次第に制限されて遂には最大点に達し、それ以上傾くと復元力が期待できないため転覆に至る。更に傾くと浮心は逆方向に移動する。90 度を超えると浮き輪が裏返しになろうとし、浮力移動が反対方向にまわるので転覆モーメントはますます加速し、急速に回転して逆さ宙吊り状態に至ると考えられる。

本節では浮き輪を直方体モデルとして系の安定性・転覆問題を解析した。

①子供が乗った浮き輪を幾何学的にシンプルな直方体モデルで表したことにより、現象を代数式で表現し安定性と転覆限界を定量的に把握できるようになった。

②直方体の形状寸法比率を変えたり、重量と浮力の比率を変えたりしたときの安定条件についてもこの直方体モデルで解析出来た。

- ・浮き輪に比べて大きな子供は重心移動限界値が小さいため転覆の可能性が大きい。

此に加えて動きも活発で重心が遠くに動きやすいことも上げられる。

- ・長さ／高さ比（扁平度ともいえる） K が大きいほど安定性がある。

- ・浮き輪の横幅が短い場合は、横方向が転覆のクリティカル条件となる。

これらの知見により実験観察の結果をよく説明出来る。

2. 3 付録：直方体浮き輪の浮心位置計算式

2. 3. 1 の 2) の c) 項では直方体浮き輪モデルの考え方を示すために座標の取り方を示したのみであるが、詳細な計算式を以下に示す。

付図 H-1 を使って説明するが、浮き輪が右回転する際に右上部の角 A2 が水面より上に有る場合を“計算（その 1）”とし、A2 が水面より下に潜った場合を“計算（その 2）”として数式モデルを使い分けた。

この両ケースは回転と共に連続的に切り替えて計算が求まるようにした。

なお、浮き輪の左下端 D が水没しているケースは転覆直前の条件としては想定しにくいので、計算の簡略化の為にモデル範囲外としている。

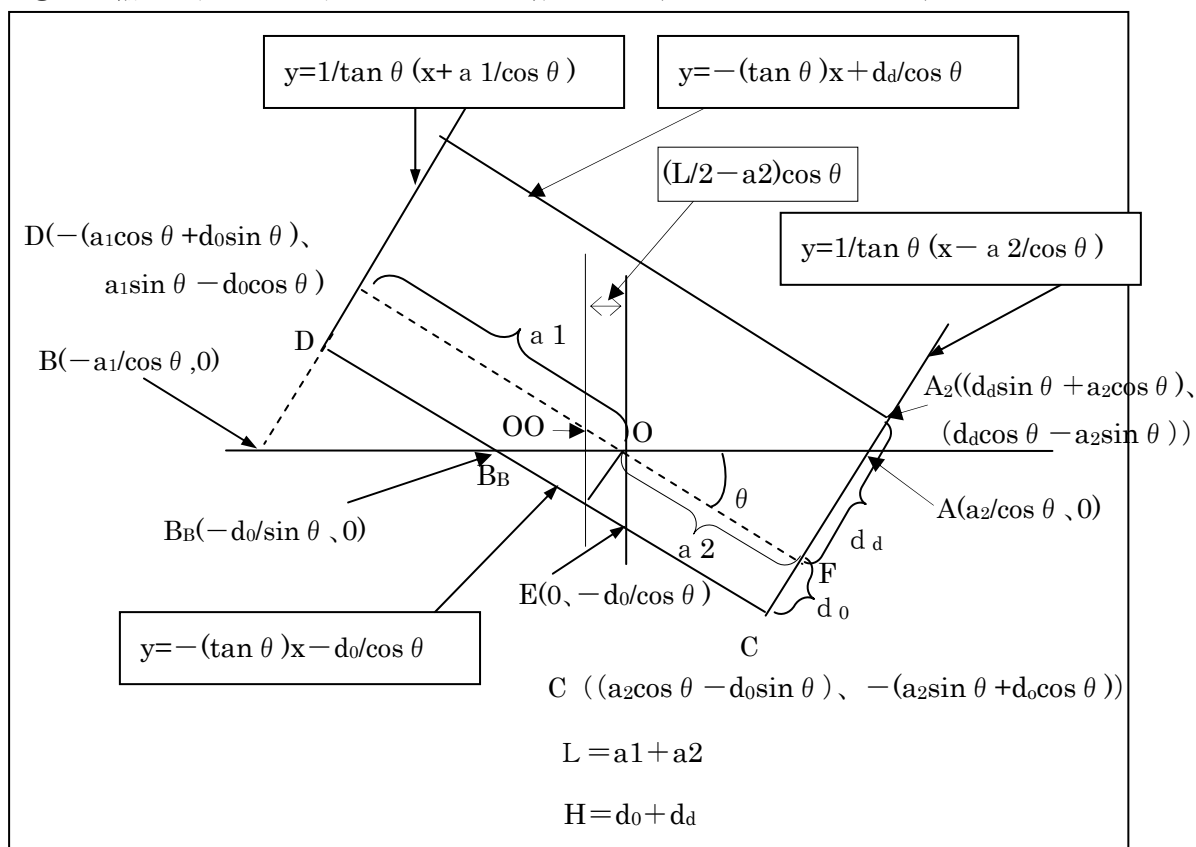
1) 浮き輪の浮力の作用点（浮心位置）計算（その 1）

浮き輪の下面左端が水面より上に、また上面右端が水面より上にある場合の計算式
（子供の重量が浮き輪に比べて比較的小さく、右方向への移動量が少ない）

この条件は附図 1 において以下のように言える。

① D 点が水面より上にあること（D の y 座標が 0 以上： $a_1 \sin \theta - d_0 \cos \theta > 0$ ）

② 浮き輪の上面 A2 が水面 A 点より上に有ること（ $d_a \cos \theta - a_2 \sin \theta > 0$ ）



附図 H-1 角形モデル計算 座標の取り方（1）

附図 H-1 から C、A、B_B の各座標は下記となる。

$$C \left((a_2 \cos \theta - d_0 \sin \theta), -(a_2 \sin \theta + d_0 \cos \theta) \right)$$

$$A \left(a_2 / \cos \theta, 0 \right)$$

$$B_B (-d_0 / \sin \theta, 0)$$

三角形 C,A,B_B の重心の座標 $(x_{jc}, y_{jc}) = ((\Sigma \text{各 } x \text{ 座標}) / 3, (\Sigma \text{各 } y \text{ 座標}) / 3)$

$$x_{jc} = (a_2 (\cos \theta + 1 / \cos \theta) - d_0 (\sin \theta + 1 / \sin \theta)) / 3, \quad \cdots \textcircled{1}$$

$$y_{jc} = (-a_2 \sin \theta - d_0 \cos \theta) / 3$$

つぎに浮き輪浮力を考えると、水面下の容積は常に等しいとする。

$$\text{当初の水面下容積 } V_s = d_0 \times (a_1 + a_2) \times W = d_0 \times L \times W \cdots \cdots \textcircled{2}$$

L は浮き輪縦方向長さ、W は横幅であり、ここでは W=1 とおくと、 $V_s = d_0 \times L$

$$\text{傾斜後の水面下容積 } V_s = \text{三角形 } C, A, B_B = AB_B \times (C \text{ の } y \text{ 座標}) / 2 \cdots \cdots \textcircled{3}$$

$$= (a_2 / \cos \theta + d_0 / \sin \theta) \times (a_2 \sin \theta + d_0 \cos \theta) / 2$$

$$= (\tan \theta (a_2)^2 + 2d_0 \times a_2 + (d_0)^2 / \tan \theta) / 2$$

②と③で V_s は等しいから

$$d_0 \times L = (\tan \theta (a_2)^2 + 2d_0 \times a_2 + (d_0)^2 / \tan \theta) / 2$$

a_2 の 2 次方程式を解くと

$$a_2 = (-d_0 + \sqrt{(2d_0 \times L \tan \theta)}) / \tan \theta \cdots \cdots \textcircled{4}$$

これにより、 θ が決まると a_2 が決まる、つまり水面下の形状が決まる。

これを①に代入すると浮力の中心の座標 (O 点を原点とする座標) が求まる。

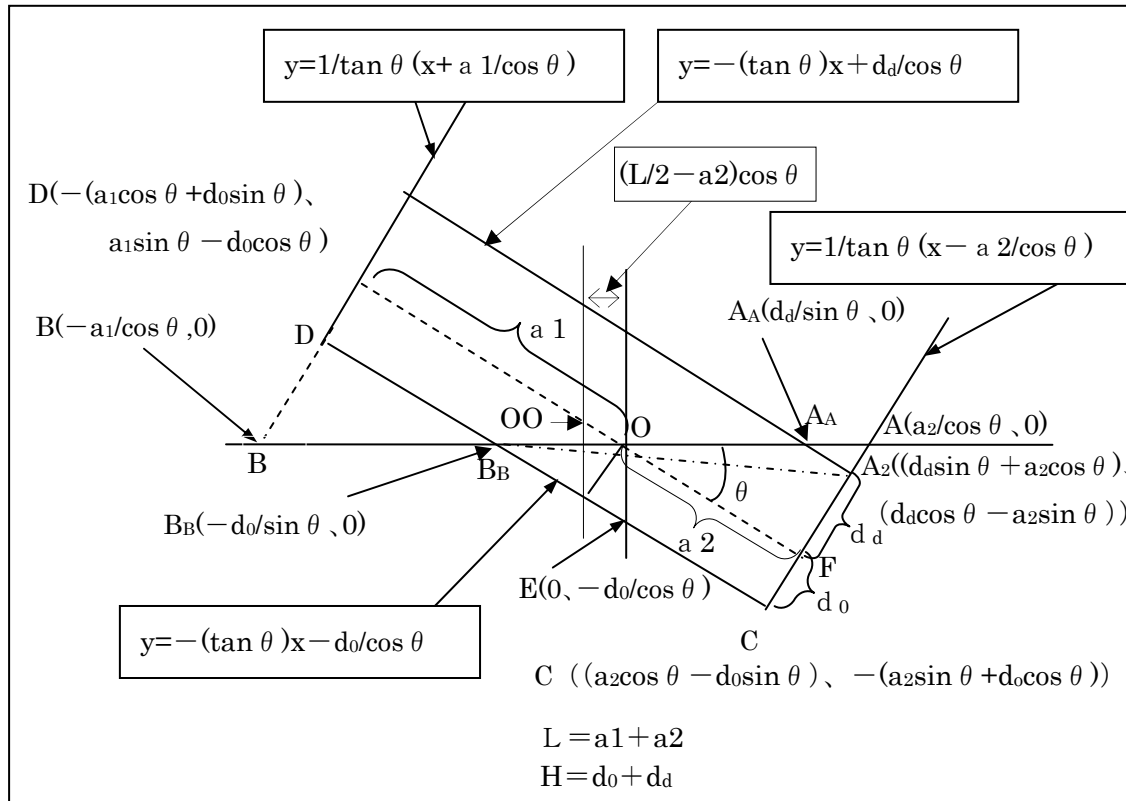
浮き輪の中心 OO 点からの距離は、OO 点と O 点の距離 $(L/2 - a_2)$ に $\cos \theta$ を掛けた水平距離を加えれば求まる。

2) 浮き輪の浮力の作用点（浮心位置）計算（その2）

浮き輪の下面左端が水面より上に、または上面右端が水中にある場合の計算式
 （子供の重量が浮き輪に比べて比較的小さく、1）のケースより更に右方向へ移動）
 この条件は附図2において以下のように言える。

①D 点が水面より上にあること（D の y 座標が 0 以上： $a_1 \sin \theta - d_0 \cos \theta > 0$ ）

②浮き輪の上面 A₂ が水面 A 点より下に有ること（ $d_d \cos \theta - a_2 \sin \theta < 0$ ）



附図 H-2 角形モデル計算 座標の取り方（2）

附図 H-2 から C、A₂、B_B、A_A の各座標は下記となる。

$$C ((a_2 \cos \theta - d_0 \sin \theta), -(a_2 \sin \theta + d_0 \cos \theta))$$

$$A_2 ((d_d \sin \theta + a_2 \cos \theta), (d_d \cos \theta - a_2 \sin \theta))$$

$$B_B (-d_0 / \sin \theta, 0)$$

$$A_A (d_d / \sin \theta, 0)$$

三角形 B_B、C、A₂ の重心の座標 (x_{j1} , y_{j1}) = ((Σ 各 x 座標) / 3, (Σ 各 y 座標) / 3)

$$x_{j1} = (2a_2 \cos \theta - d_0(\sin \theta + 1/\sin \theta) + d_d \sin \theta) / 3, \quad \dots \textcircled{1}$$

$$y_{j1} = (-2a_2 \sin \theta + (d_d - d_0) \cos \theta) / 3$$

三角形 B_B、A₂、A_A の重心の座標 (x_{j2} , y_{j2}) は、同様に

$$x_{j2} = (a_2 \cos \theta - d_0 / \sin \theta + d_d (\sin \theta + 1/\sin \theta)) / 3, \quad \dots \textcircled{2}$$

$$y_{j2} = (d_d - a_2 \tan \theta) \cos \theta / 3$$

台形 B_B、C、A₂、A_A の重心の座標 (x_{jc}, y_{jc}) は次の式で求められる。

$$x_{jc} = x_{j1} \times B_B C / (A_A A_2 + B_B C) + x_{j2} \times A_A A_2 / (A_A A_2 + B_B C) \cdots \textcircled{3}$$

$$y_{jc} = y_{j1} \times B_B C / (A_A A_2 + B_B C) + y_{j2} \times A_A A_2 / (A_A A_2 + B_B C)$$

ここで、台形 A_A A₂ B_B C は 2 辺が並行だから B_B C / (A_A A₂ + B_B C) 等は x 座標だけの比として考える。

$$(A_A A_2)_x = (d_a \sin \theta + a_2 \cos \theta) - d_d / \sin \theta = a_2 \cos \theta - d_d \cos \theta / \tan \theta$$

$$(B_B C)_x = (a_2 \cos \theta - d_0 \sin \theta) - (-d_0 / \sin \theta) = a_2 \cos \theta + d_0 \cos \theta / \tan \theta$$

$$B_B C / (A_A A_2 + B_B C) = (a_2 + d_0 / \tan \theta) / (2 a_2 - (d_d - d_0) / \tan \theta) \cdots \textcircled{4}$$

$$A_A A_2 / (A_A A_2 + B_B C) = (a_2 - d_d / \tan \theta) / (2 a_2 - (d_d - d_0) / \tan \theta) \cdots \textcircled{5}$$

つぎに浮き輪浮力を考えると、水面下の容積は常に等しいとする。

$$\text{当初の水面下容積 } V_s = d_0 \times (a_1 + a_2) \times W = d_0 \times L \times W \cdots \textcircled{6}$$

L は浮き輪縦方向長さ、W は横幅であり、ここでは W=1 とおくと、V_s=d₀×L

$$\text{傾斜後の水面下容積 } V_s = \text{台形 } A_A A_2 B_B C = (A_A A_2 + B_B C) / \cos \theta \times (d_0 + d_d) / 2 \cdots \textcircled{7}$$

$$= (2 a_2 - (d_d - d_0) / \tan \theta) \times H / 2 = (2 a_2 - (H - 2 d_0) / \tan \theta) \times H / 2$$

H は浮き輪高さ

⑥と⑦で V_s は等しいから

$$d_0 \times L = (2 a_2 - (H - 2 d_0) / \tan \theta) \times H / 2$$

変形して

$$a_2 = (2 d_0 \times L / H + (H - 2 d_0) / \tan \theta) / 2 \cdots \textcircled{8}$$

これにより、θが決まると a₂が決まる、つまり水面下の形状が決まる。

これを③ (①, ②, ④, ⑤式の組み合わせ) に代入すると浮力の中心の座標 (O 点を原点とする座標) が求まる。

2.3.2 子供ダミーを乗せた系の2次元図面解析

この章の解析の狙いは、図面化したものの組み合わせにより各状態を表し、実験の状況を図面化で再現し解析を進めて行くことである。数値も含め作図で求めた結果を図面上で表現する方法により解析の手順や実験で実際に起こる現象の可視化が出来る。

2.3.2.1 実験で使用した浮き輪とダミー人形の図面化 (2.2.2 及び 2.2.3 参照)

- ・ 浮き輪の浮心移動を求めるため浮き輪をスライスした2次元図面の組み合わせによる方法を用いる。
- ・ 浮き輪の回転角を変えながら浮心（浮力中心）の移動量を求めて回転角と浮心の移動量の関係を図面化。
- ・ 浮き輪とダミーを組み合わせた状態を図面化し、転覆状態を表示しビデオの状態を再現。
- ・ 転覆に至る過程を浮心とダミー重心の関係を表示し図面上で再現。
- ・ 実験では行えなかった2歳児ダミーを図面上で作図し、浮き輪との組み合わせを行い転覆状況を図面化。

2.3.2.2 解析

a) ドーナツ型浮き輪の浮心

ドーナツ型浮き輪の傾きと浮心（浮力中心）の関係を2次元図面より解析。

ドーナツ型の場合ほぼ半分の容積がダミー人形体重に近いことより水面下容積を浮き輪中心の下半分として図面上で算出を行った。

- ・ 水面下部分を浮き輪に沿って横方向に分割し、その合算にて水面下容積、浮心を求めた。

付図 T・4 ~ T・6 に示す。(10°、20°、30° 時を抜粋して示す)

- ・ 上記で求めた数値を縦軸に浮き輪中心から浮心までの距離、横軸に浮き輪の傾きをグラフにしたものを付図 T・7 に示す。
- ・ グラフより浮心の距離は角度と共に増加し、ある角度(30° 弱)を超えると減少に転ずることが解る。これは2.3.1の角型代数的アプローチの場合と同様である。(図 H-3a)

b) 子供ダミーを載せた系の解析

浮き輪モデルの解析結果より浮心（浮力中心）が最大距離の時の傾きが転覆限界

となる。

ダミーモデルの重心点（水面下浮力も考慮）がこの浮心を超える状態を図面化で再現。

- ・ 浮き輪の傾きは前述の解析より 30° 弱が推測されここでは 30° に設定
- ・ ダミーモデルの各部重量、重心位置は前述の算出結果を使用
- ・ ダミーモデルの水面下浮力は胴部 1.37kg、脚部 1.54kg（詳細は図中に示す）に設定
- ・ 上記水面下浮力、ダミー重量よりダミー重心を求める。（重心部重量 4.91kg）
- ・ これらにより浮き輪浮力は 4.91kg となる。（ダミー重量 7.82kg－水面下浮力 2.91kg）
- ・ ドーナツ型浮き輪の転覆限界を付図 T・8 に示す。
- ・ 同様に角型浮き輪の転覆限界を付図 T・9 に示す。（ダミーの水面下浮力が一部異なる。詳細は図中に示す）

転覆限界に至る過程を図面で再現し付図 T・10 に示す。

①安定状態

ダミー位置（重心）は中心近くに存在、浮き輪は水平状態で安定

②ダミー位置が移動

ダミー位置（重心）の移動に合わせ浮き輪が傾き、浮力中心が移動（中心距離が増加）

この状態でバランス（ダミー重心と浮力中心は同一線上）。

転覆限界に対しまだ余裕がある。

③転覆限界

さらにダミー位置（重心）が移動、浮き輪の傾きに対して浮力中心距離がこれ以上増加しない傾きに達する。この傾きが転覆限界になる。これ以上はダミー位置が移動しても浮力中心距離は追従（増加）できなく逆に減少に転ずる。

④転覆

ダミー位置（重心）が最大浮力中心距離をオーバーする。浮き輪はさらに傾くがこの状態では浮力中心距離が減少に転じている。中心距離が減少する結果、重心との水平距離が開いて回転モーメントが増加、転覆が加速する。

c)2 歳モデルを載せた場合

6 か月児ダミーモデルの数値をもとに他の資料等を参考に 2 歳モデルを想定して図面化した。付図 T・11 に示す。

（参考資料 「幼児用救命胴衣の浮遊性能評価に関する調査研究 報告書」

日本船舶品質管理協会）

上記の場合と同様にドーナツ型と 2 歳モデルとの組み合わせ、角型と 2 歳モデルとの組み合わせをそれぞれ図面化して付図 T・12、付図 T・13 に示す。

図面化で解析した結果は実験ビデオの状況との比較においてほぼ一致しており、浮き輪の浮心をダミー重心が超える状態を図面上で表すことで転覆に至る関係が実際と重なることが解った。子供の重心が浮き輪の浮心を超えると急激に回転を始めることもこの解析で解った。

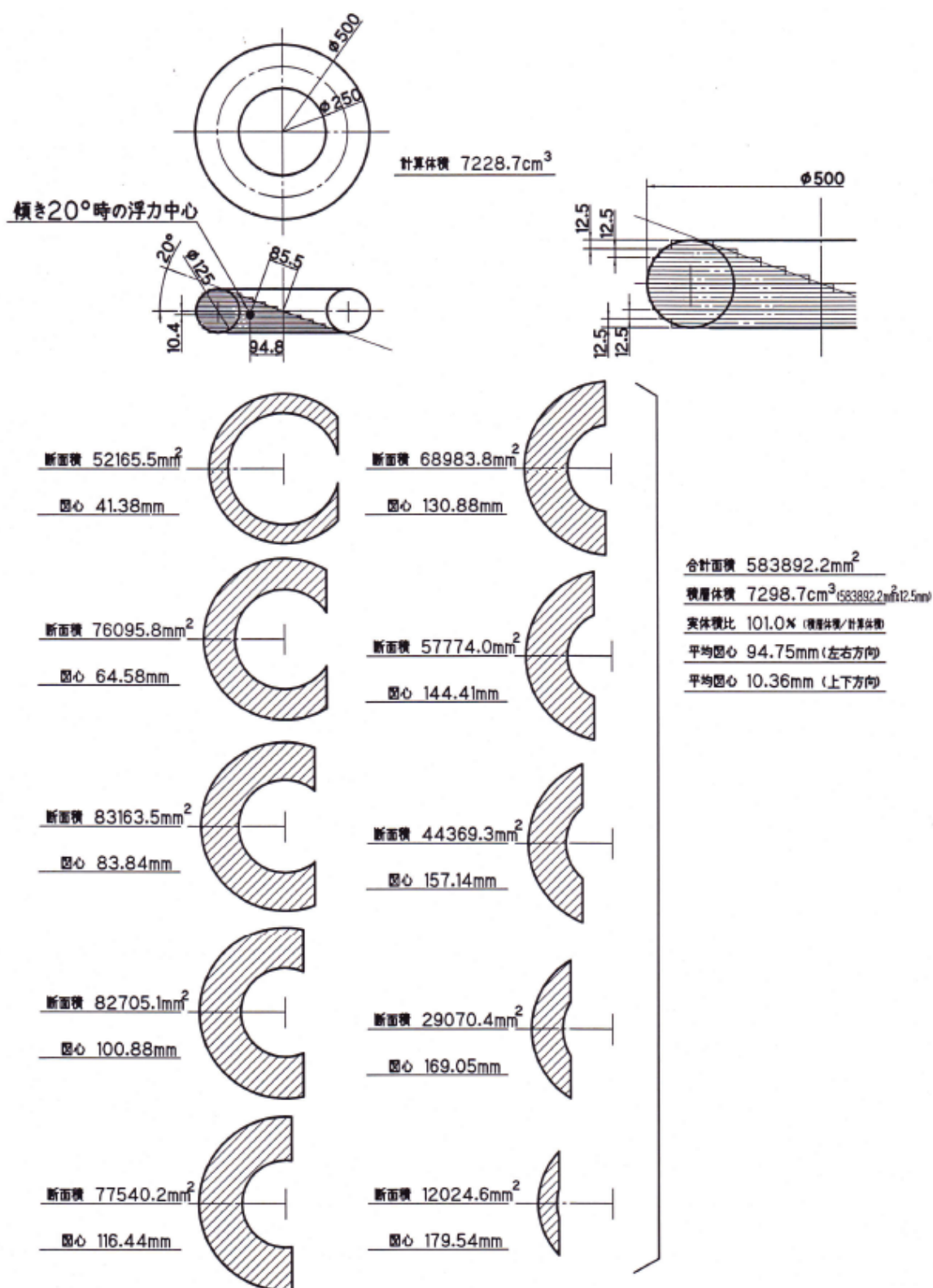
また2歳児モデルによる結果より、浮き輪に乗る子供が大きくなると重心位置が高くなり上体の動きによる重心移動が増え、あまり乗り出した状態でなくても浮心を超えて転覆する。浮心距離も体重増加により浮き輪が多く沈み小さくなる。このことも子どもが大きいほど、より転覆し易い状況を作り出していると考えられる。

浮き輪とダミーの組み合わせ図 T・10、T・12、T・13 より、ダミーは浮き輪上の定位置に固定されているのではなく実際に浮き輪より前方に乗り出す状態になり得ることが推測できる。浮上実験でもダミーを前方へ移動することは自然に出来た。これは子供の動き（遊び）の中で十分予測できる範囲である。子供の乗る位置は浮き輪である程度は拘束されているが上半身はほぼ自由であり、両手を伸ばし前方へ身体を乗り出して水に触れようとする行動は自然であろう。これにより重心位置が浮心を超えた状態になり易いことが図面より読み取れる。

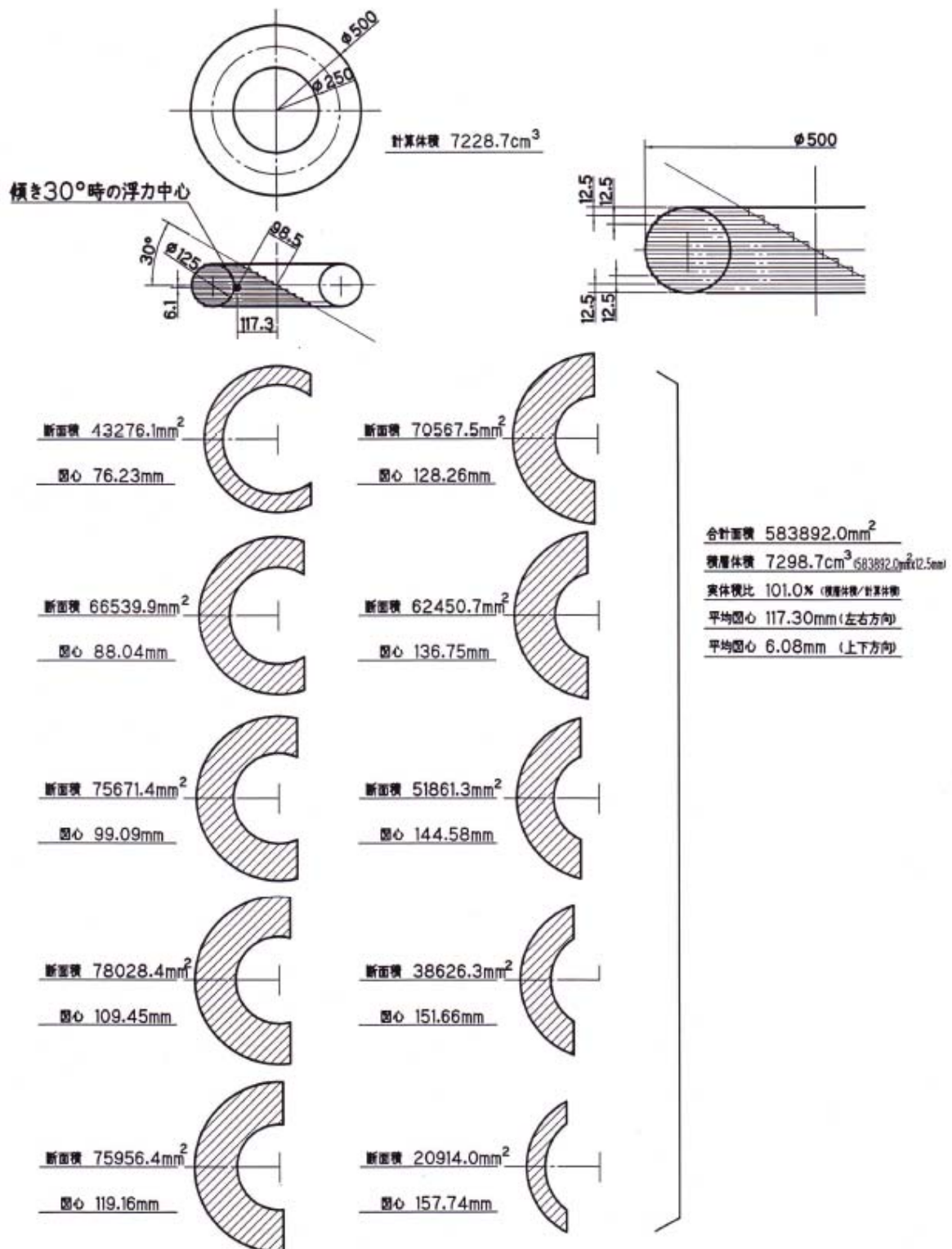
角型浮き輪（サイズが大きい）の場合はドーナツ型に比べてダミーが大きく乗り出した状態でようやく転覆に至ることも図より確認できる。実験時にも経験したとおりである。

角型と比較して、小型のドーナツ型の方がダミーの少ない変化でも転覆し易いと言える。

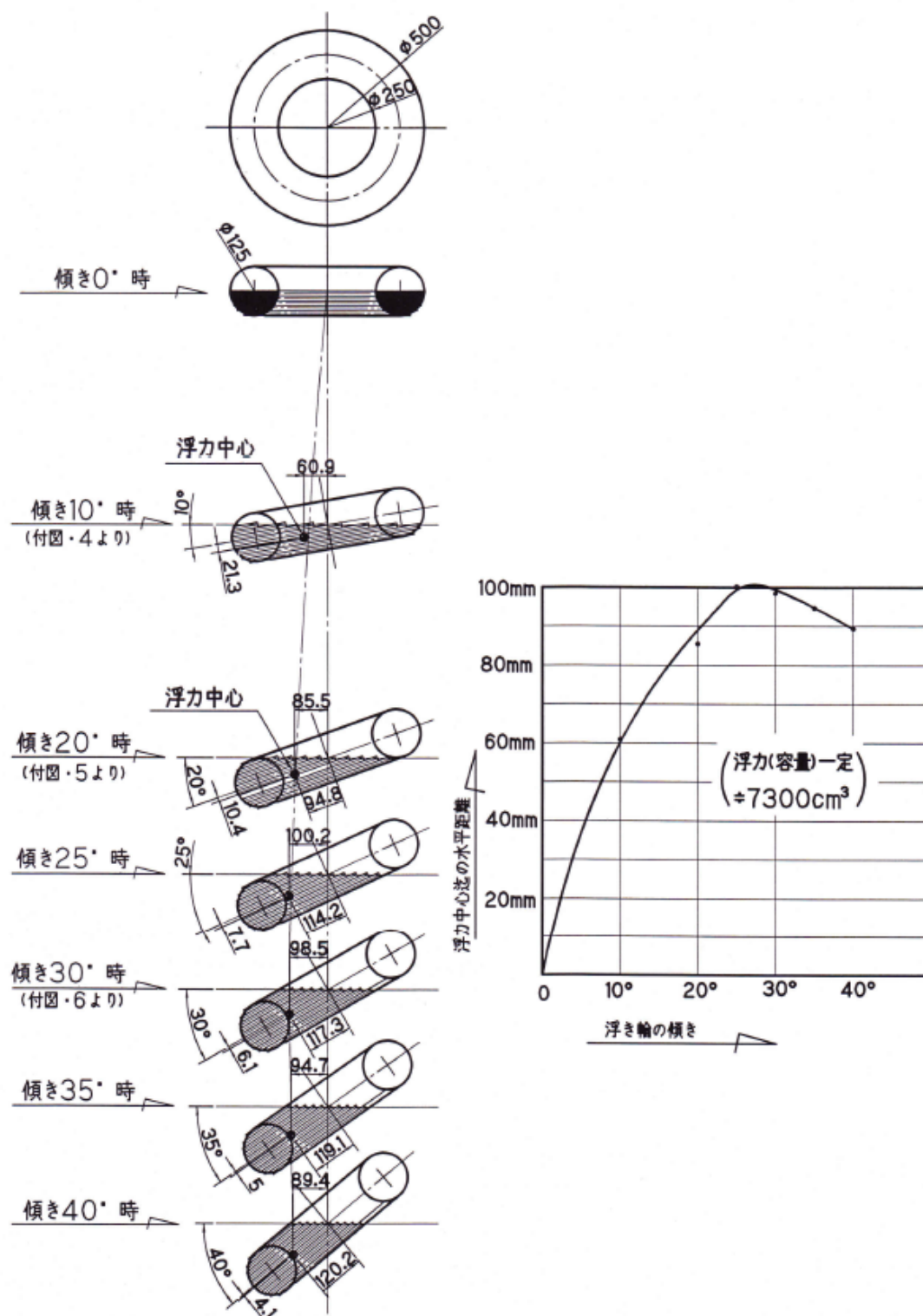
浮き輪と子どもの組み合わせで転覆に至る状況は変化してくる。浮き輪の大きさ、形状、子供の年齢（大きさ）を考慮した対策が必要と考える。しかしいずれの場合も限界は存在し、限界を超えれば転覆に至ることは周知させなければならない。



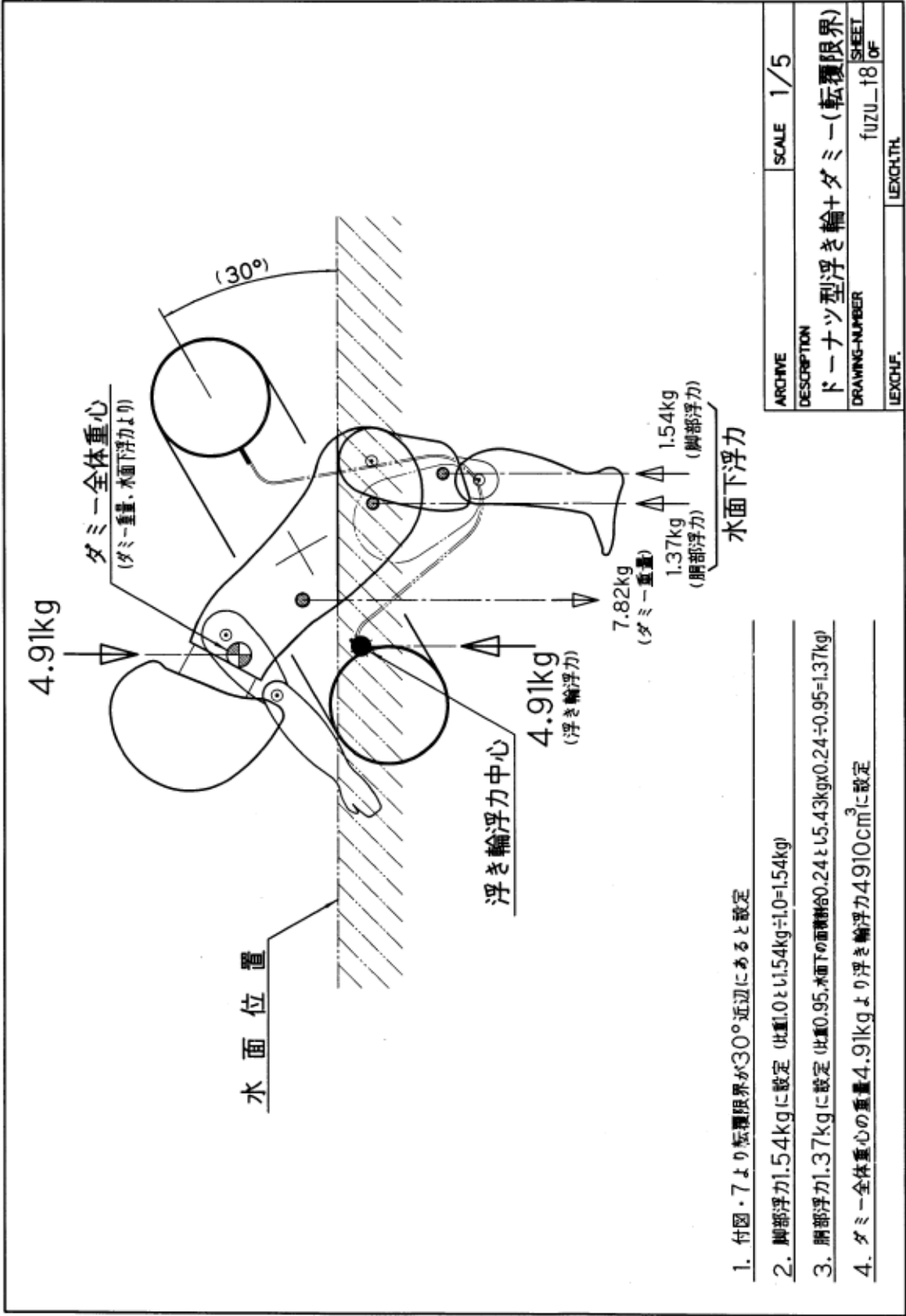
付図 T・5 傾き 20° 時の浮心



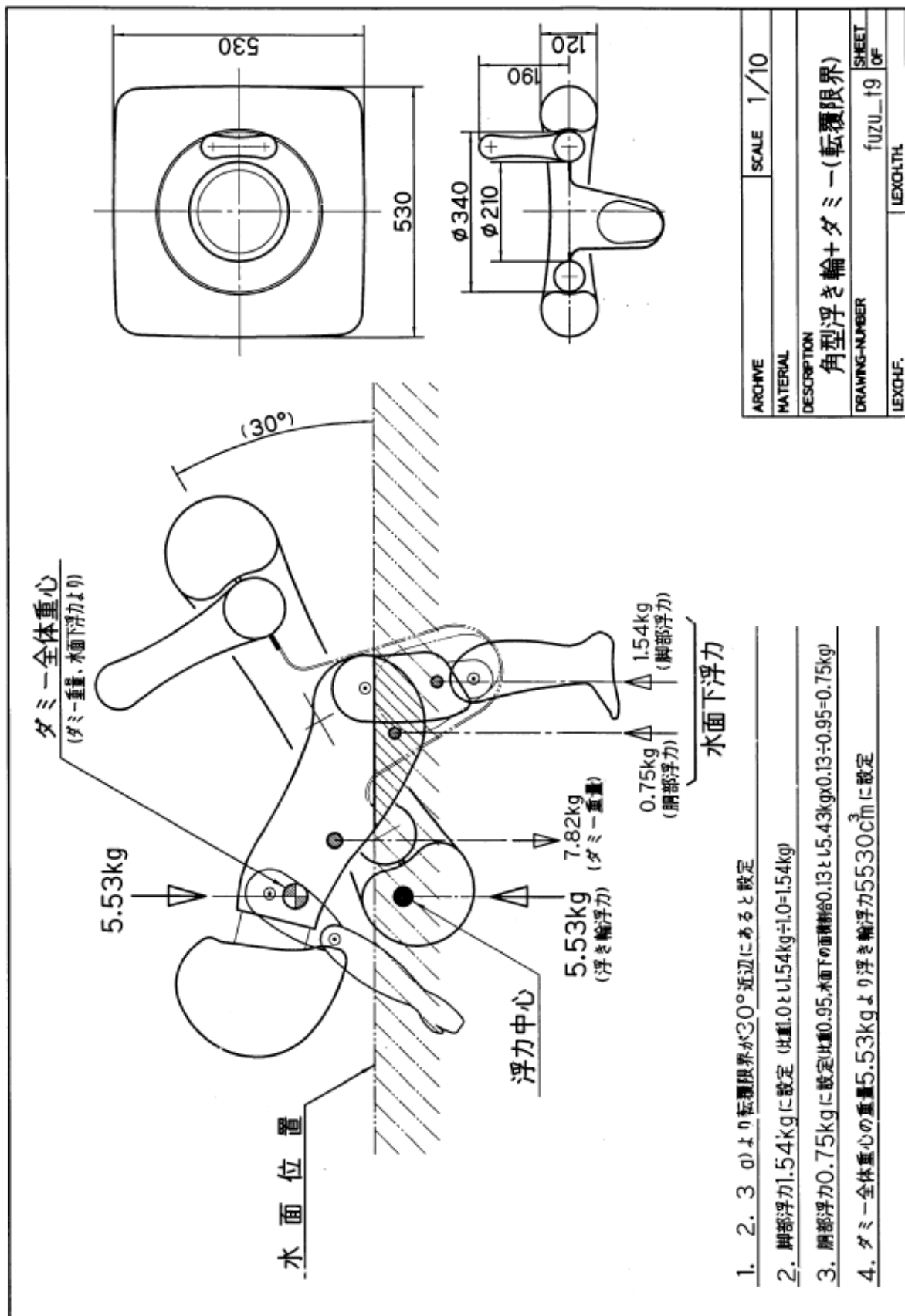
付図 T・6 傾き 30° 時の浮心



付図 T・7 浮心中心距離と浮き輪の傾き

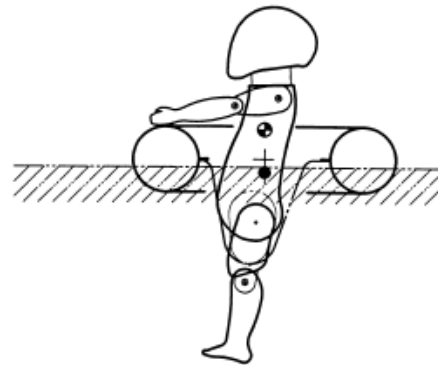


付図 T・8 ドーナツ型浮き輪+ダミーの転覆限界

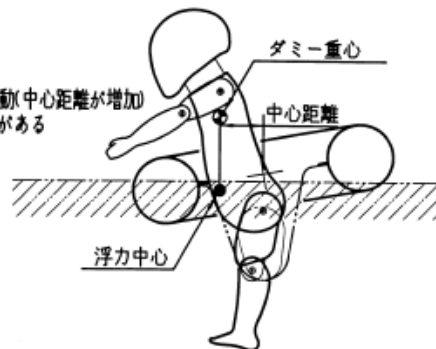


付図 T・9 角型浮き輪+ダミーの転覆限界

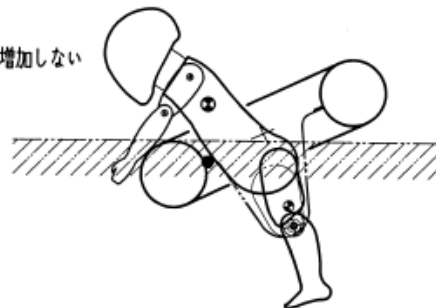
- ① 安定状態
 ダミー重心は中心近くに存在、水平状態で安定



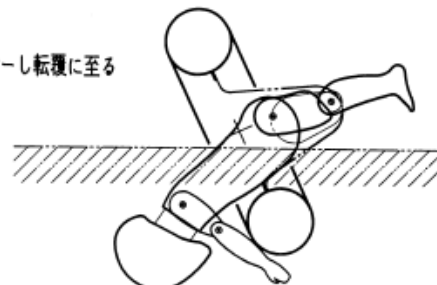
- ② ダミー位置が移動
 ダミー重心に合わせ浮き輪が傾き浮力中心が移動(中心距離が増加)
 この状態でバランス、転覆限界に対しまだ余裕がある



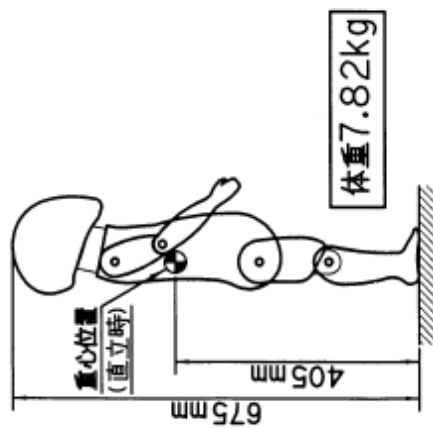
- ③ 転覆限界
 これ以上は浮き輪の傾きに対し浮力中心距離が増加しない
 (中心距離は減少に転ずる)



- ④ 転覆
 浮き輪の浮力中心距離よりダミー重心がオーバーし転覆に至る
 (中心距離は急激に減少)

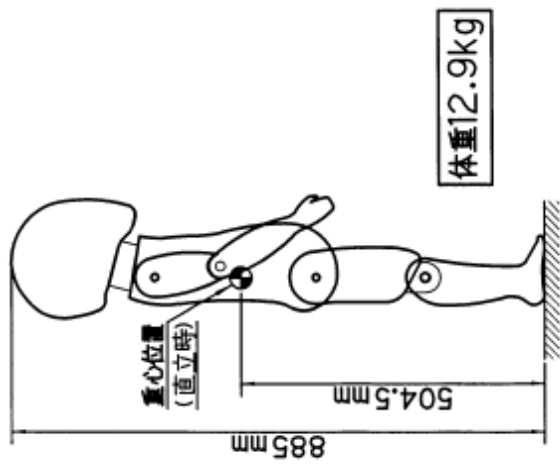


付図 T・10 転覆に至る過程



6ヶ月幼児ダミー

(実験で使用了なもの)

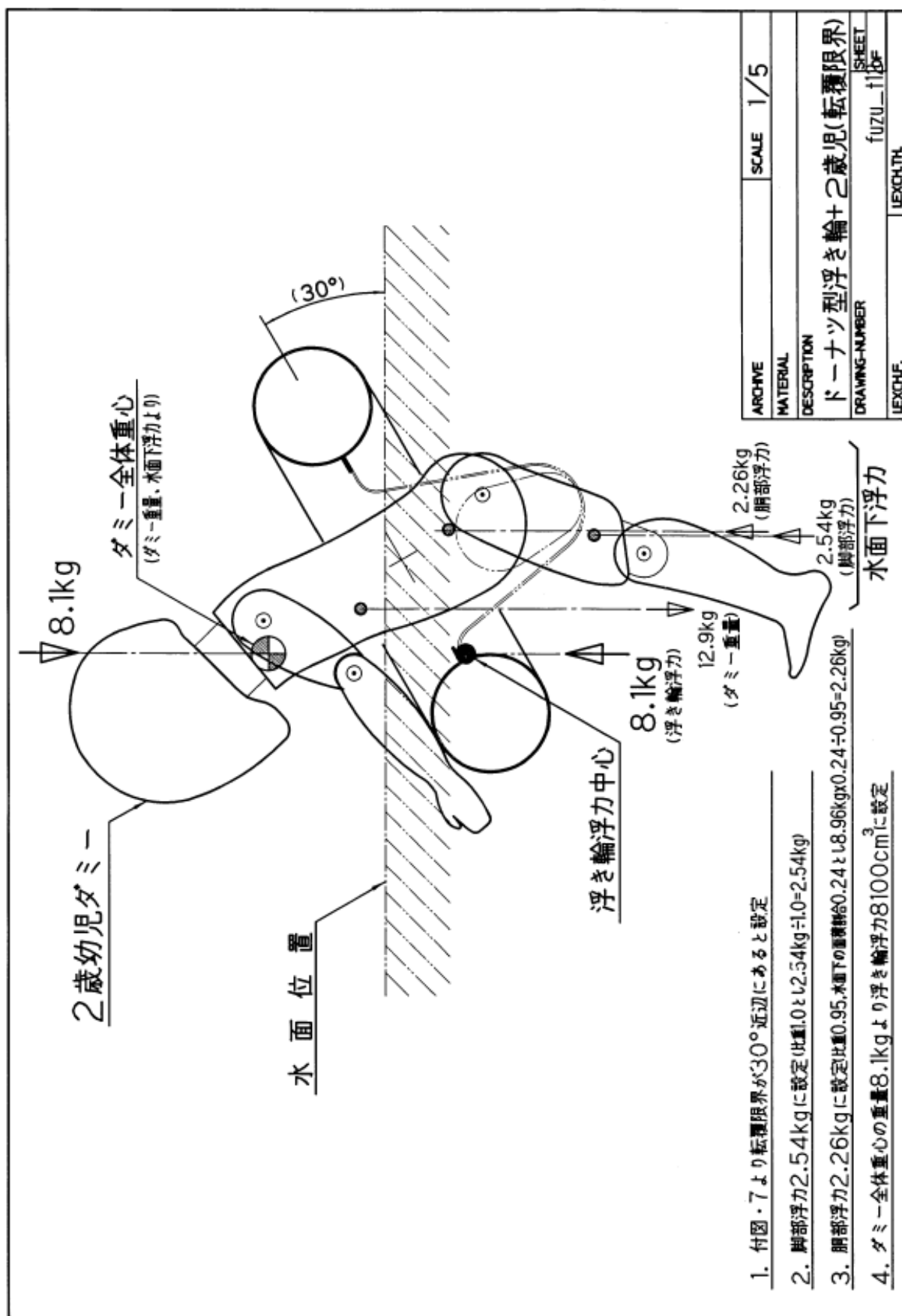


2歳幼児ダミー

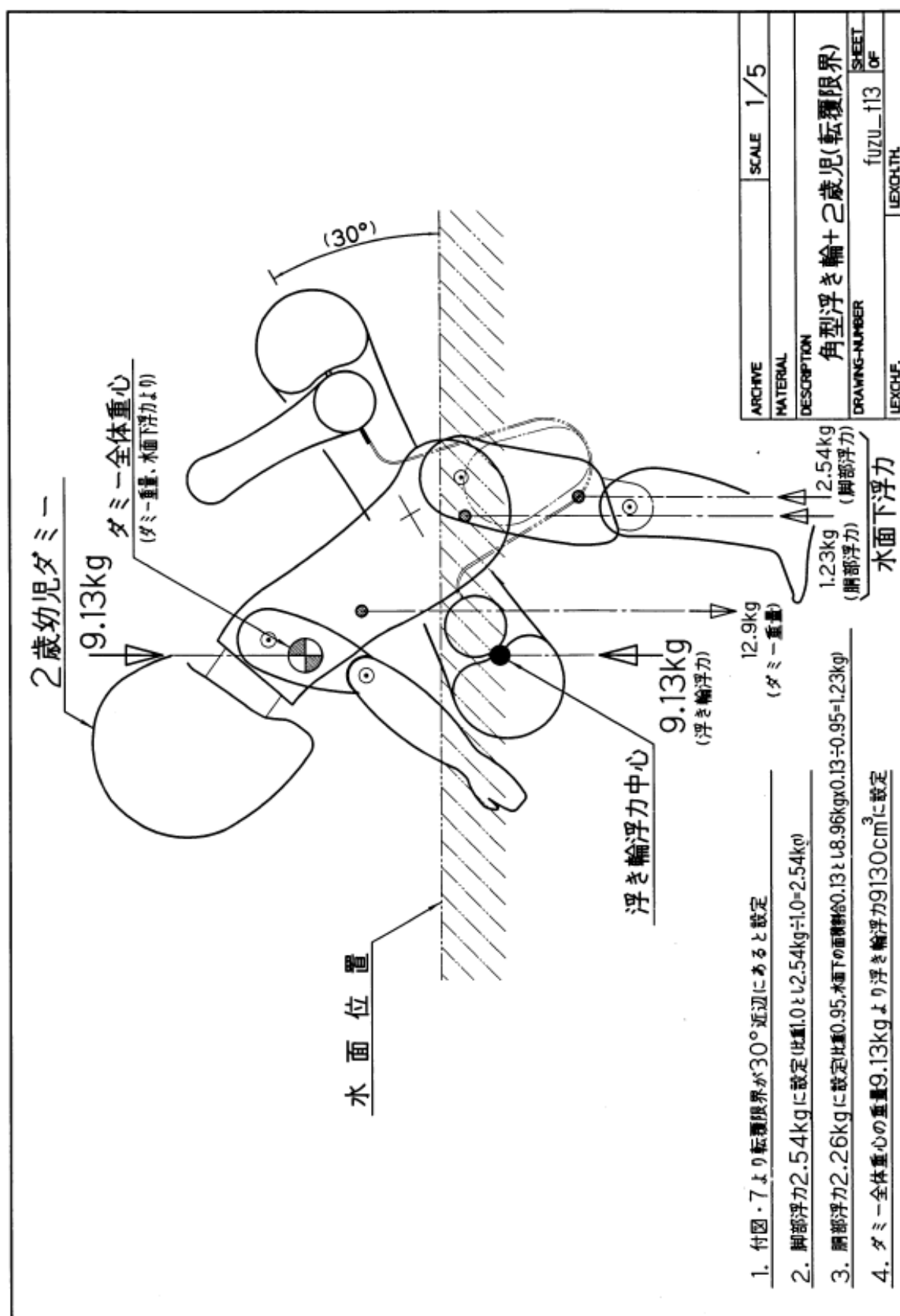
(幼児用救命胴衣の浮遊性能評価に
関する調査資料より推測作図)

ARCHIVE	SCALE	1/10
MATERIAL		
DESCRIPTION	ダミー人形 (2歳幼児モデル)	
DRAWING-NUMBER	fuzu_t11	SHEET OF
LEXCH.F.	LEXCH.TH.	

付図 T・11 2歳児モデル



付図 T・12 ドーナツ型浮き輪+2歳児モデルの転覆限界



付図 T・13 角型浮き輪+2歳児モデルの転覆限界

2.3.2.3 2次元図面解析法の考察

a) 浮き輪について

浮き輪に乗る荷重の大きさと重心位置（浮き輪中心からの距離）により浮き輪の傾きと浮力中心距離が決まってくる。この浮力中心距離は傾きと共に増加するが、ある角度から反転する。その最大値が転覆限界となる。浮力中心距離は浮き輪の沈みかた（荷重の大きさ）と浮き輪の角度で決まるが、それは浮き輪の形状による固有値である。

浮き輪が大きくなれば中心距離は自ずと大きくなる。よって大きな浮き輪ほど相対的に転覆しにくい構造であるといえる。また、形状の違いで最大中心距離を大きくすることも可能である。

しかし大きい浮き輪の場合、乗る子供が浮き輪の中で自由に移動でき易くなる。浮力中心距離が大きくてもそれ以上に荷重（子供）の位置が移動すればやはり転覆に至る。浮き輪の全浮力に対し荷重割合が小さい場合中心距離は大きくなる。

b) 子供について

子供を考えた時、年齢により子供の大きさ、体重、重心高さは異なる。同じ浮き輪に対してこれらが異なれば転覆限界も変化してくる。体重が増えれば上記で述べたように浮力中心距離が小さくなり、少しの重心移動でも限界を超える。また、重心位置が高くなると同じ傾きでも重心の移動が大きくなり限界を超え易くなる。

よって浮き輪を使用する子供の年齢（大きさ）も安定性において大きな要素となる。

c) 浮き輪と子供の組み合わせ

浮き輪と子供の組み合わせで転覆に至る状況は変化してくる。浮き輪の大きさ、形状、子供の年齢（大きさ）を考慮した対策が必要と考える。しかし、いずれの場合も転覆限界が存在し、限界を超えれば転覆し、それも加速しながら急速に逆さ状態に至ることは周知させなければならないと考える。

実験で用いた浮き輪とダミーの寸法を基にこれらを図面化し、両者の組合せモデルの安定・転覆状況を図面解析により再現した。図面を使って現象を可視化することにより、何が起こるかを容易に想像できる大きなメリットがある。実験の状況を説明することや、様々な浮き輪や子どもの組合せにおいて安定条件を探ることもできることがわかった。他の方法による解析結果と合わせて今後の研究に活かしたい。

2.3.3 様々な条件における浮き輪の安定性解析

ここでは様々な形状の浮き輪を積分法により数学的に記述し、水中の容積、浮力の中心位置、浮き輪の角度が変化したときの浮力の中心の移動などを解析する。また、子どもが乗っている状態を想定し、いろいろなパラメータを変化させたときの系の安定状況を吟味する。

計算方法は多少複雑であるが、一般化した結果が得られ、様々なパラメータを変化させることが出来るので実験結果を説明するにとどまらず、応用範囲は広いと考える。

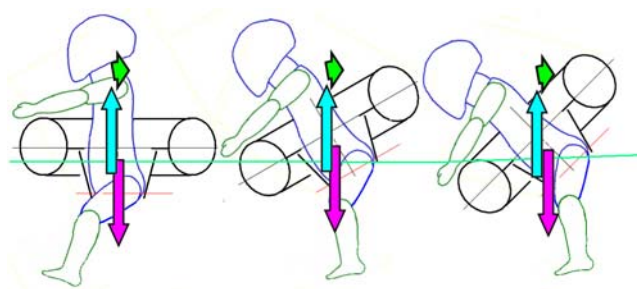
2.3.3.1 安定条件と転覆機構

浮き輪が転覆する条件は、浮き輪が傾く場合の浮力の中心位置の移動と子どもの重心位置の移動の両方の関連で決まる。

さらに浮き輪の浮力の中心位置の移動量は浮き輪の寸法、形状、最大容積、空気不足など種々の条件により異なり、子どもの体重の移動は浮き輪上の移動、身体の傾き、体の運動による力などにより異なる。

1) 浮き輪の安定条件

- 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、そこの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である
- 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



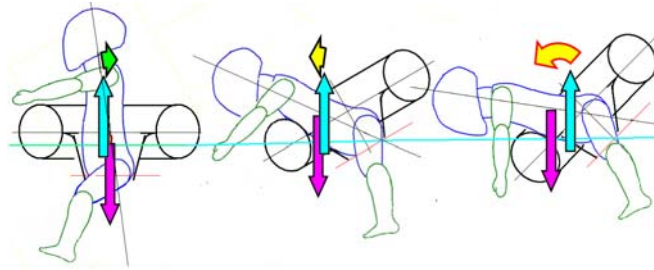
2) 体重移動による転覆

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銃身の移動が行われると浮き輪は転覆する



3) 身体の傾きによる転覆

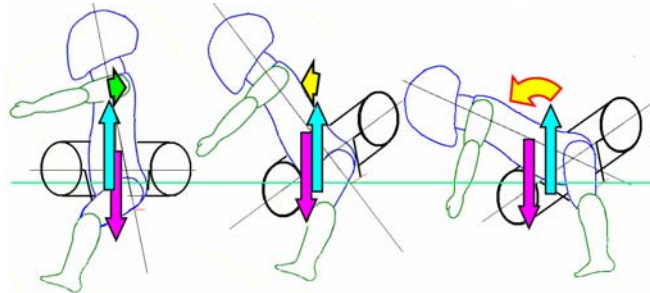
浮き輪の中心に腰を支える部分がある浮き輪では、身体をわきの下で支える浮き輪や首の下で支える浮き輪と異なり、

- ① 子どもの重心が水面近くの比較的高い位置に支持される
- ② 浮き輪に対して大きな傾きを持つ姿勢が取れる

という特徴がある

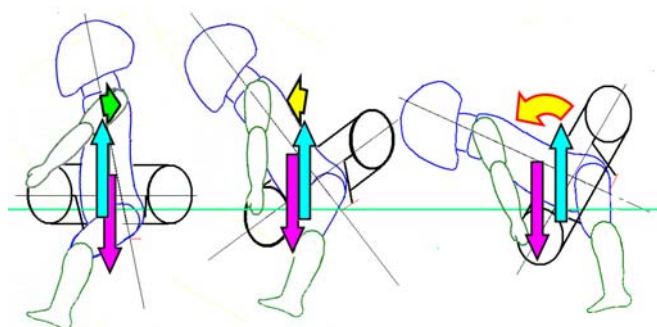
このために、身体を傾けることによって重心の移動を自由に行うことができる

- a). 子どもの身長に対して腰を支える部分が浅い場合、または、浮き輪に対して身長が大きい子供が使用した場合、すなわち子どもの重心が高い場合で、浮き輪の浮力の移動可能限界値よりも重心の移動範囲が大きい場合は、子どもの傾きに対して浮き輪が自由に傾くことが出来ても転覆する可能性がある。



b).子どもが浮き輪を固定した場合には、子どもの重心移動に浮き輪が自由に回転して浮力の移動を追従させることが出来ない。

すなわち、子どもが傾きある角度になったとき、重力と浮力の位置を合わせるために浮き輪が必要な角度があるが、浮き輪に必要な角度が子どもの傾き角度よりも大きければ、そして子どもが常に浮き輪をつかんでいれば、浮き輪と子どもは常に同じ角度で傾き浮き輪は復原のために必要な浮力が得られない。これにより転覆する。

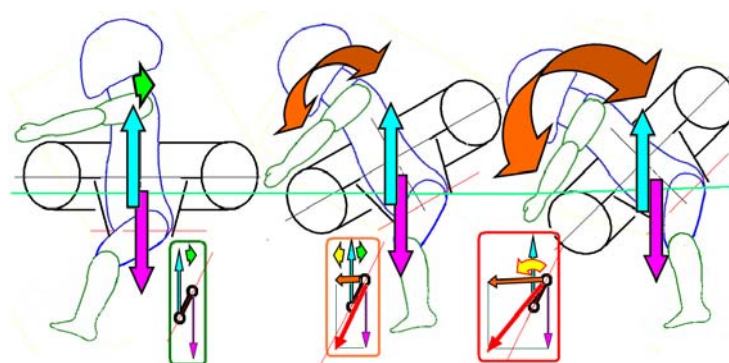


4) 急激な運動による転覆

重心と浮力の中心の位置関係では安定でも、子どもが急激に動くと回転の力が加わり転覆する可能性がある

a).子どもが浮き輪に対して急に傾くと、重心の移動が急に起き、重心の移動に追従して浮き輪が傾き急激に沈もうとするが、浮き輪は水の抵抗を受け、重心の移動に追従できず、不安定な状態が続き転覆する。速度による転覆である。

b).子どもが浮き輪を把持したまま浮き輪に対して急に傾くと、加速度による力が働き、重力に垂直な力が加わる。このときに重力と加速度による力の合成力の方向が回転モーメントとして働く。重心の位置と浮力の中心が一致していれば転覆させる方向に働く。



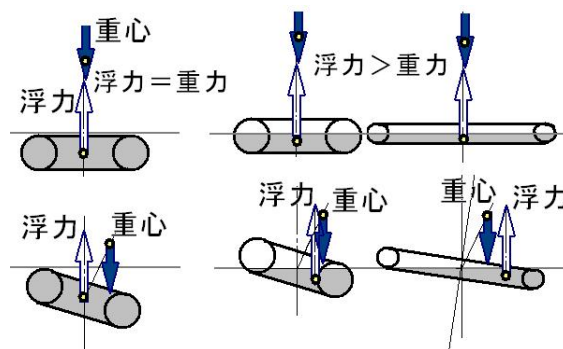
5) 浮き輪の形状・寸法による安定性

浮き輪の容積（空気の体積）が浮力の最大値であり、浮き輪は水没体積と重力と釣合う深さまで沈む。したがって、重心の移動に対して浮き輪が傾いて片側の浮力を増し反対側の浮力を

減らすには、水没していない容積の大きさが関係する。

浮き輪にかかる重力（子どもの体重と水中のこどもの浮力差）に対して浮き輪の体積が大きいほど浮き輪の傾きは小さくて済む。極端な場合として浮き輪がほとんど水没している状態では浮き輪が傾いてもほとんど浮力の中心の移動は起きない。

同じ傾きでも浮き輪の長さほど浮力の中心の位置の移動量が大きくなるために、同じ容積の浮き輪の場合は、浮き輪の長さ（直径）が大きいほど安定である。



6) 浮き輪の空気圧による安定性

浮き輪は、子どもが乗ることで圧縮変形する。

子どもの体重が浮き輪の一定面積にかかるときの面圧 P 以上に浮き輪の空気圧があれば浮き輪は体積変化をしないが、空気圧が不足していれば空気圧が必要圧力になるまで浮き輪の体積は減少する（つぶされる）。このときに変形位置は子どもが乗っている位置であり、構造上この部分から折れ曲がり易くなる。

このために、浮き輪が傾くときに浮き輪全体が傾くのではなく折れ曲がると浮き輪の傾き以上に子どもが傾くことになる。これは転覆を助長することになる。

2.3.3.2 浮き輪の形状による浮力の中心位置

浮き輪の転覆は、子どもの浮力を考慮した重量・重心と浮き輪の浮力・浮心を独立して求め比較すればよい。このために浮き輪の浮力の大きさと中心位置を求める。

浮力の発生源である水面下の浮き輪の形状は複雑であるため、表計算により求める

- ① 浮力の大きさは、各部の浮力（体積 $\times$ 水の密度）の大きさの総和として求める
- ② 浮力のモーメントは、各部のモーメント（浮力 $\times$ 浮き輪中心からの距離）の大きさの総和として求める
- ③ 浮心位置は、（浮力の総モーメント／総浮力）として求める
- ④ 形状が複雑な場合は、浮き輪を構成する形状のブロック毎に、浮力の大きさとモーメントを求める
- ⑤ ブロック毎の浮力の大きさの総和とブロック毎の浮力のモーメントの総和から、浮心位置を求める

1) 環状浮き輪の例

① 傾いた浮き輪の浮力

傾き δ 、水没深さ h_0 の浮き輪の浮力を求める。浮き輪の断面は中心から円周方向の角度により水没面積が異なるので、微小角ごとに水中の体積を求め総和を求める。

δ ： 浮き輪の傾き

h_0 ： 浮き輪中心での水没深さ

L_a ： 浮き輪底面が水面と交差する線と浮き輪中心との距離

【浮き輪の中心軸を基準】

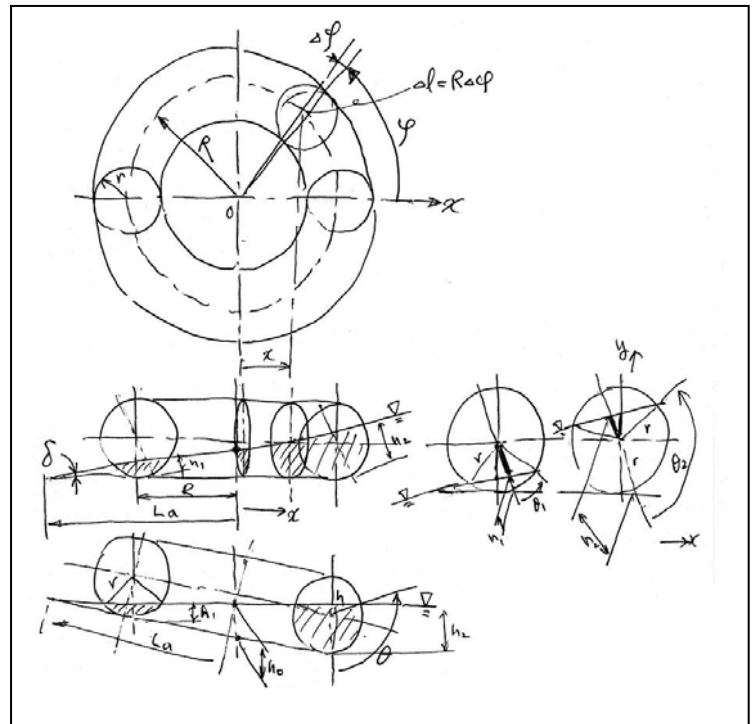
x 、 R 、 ϕ ：

【浮き輪の断面を基準】

θ

【水面を基準】

h 、 w



$$V = 2 \int S dl = 2R \int_0^\pi S d\phi$$

$$h_0 = \frac{L_a}{\cos \delta} \tan \delta = L_a \frac{\sin \delta}{\cos^2 \delta} \quad L_a = h_0 \frac{\cos^2 \delta}{\sin \delta}$$

$$r - h = \{r - (L_a + x)\tan \delta\} \cos \delta$$

$$= r \cos \delta - h_0 \cos^2 \delta - x \sin \delta$$

$$r - h = r \cos \theta$$

$$x = R \cos \varphi$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\cos \delta - \frac{h_0}{r} \cos^2 \delta - \frac{x}{r} \sin \delta \right)$$

$$= \cos^{-1} \left(\cos \delta - \frac{h_0}{r} \cos^2 \delta - \frac{R}{r} \sin \delta \cos \varphi \right)$$

弓形の面積 S は、次式であるから φ の関数で表わせる

$$S = \frac{r^2}{2} \{2\theta - \sin(2\theta)\} = r^2 \{\theta - \sin \theta \cos \theta\}$$

$$= r^2 \cos^{-1} \left\{ \cos \delta - \frac{h_0}{r} \cos^2 \delta - \frac{R}{r} \sin \delta \cos \varphi \right\}$$

$$- \left(r \cos \delta - h_0 \cos^2 \delta - R \sin \delta \cos \varphi \right) \sqrt{r^2 - \left(r \cos \delta - h_0 \cos^2 \delta - R \sin \delta \cos \varphi \right)^2}$$

簡単にするために、表計算にて角度 φ の 1 度ごとに θ (rad) の値を求め、 θ (rad) より各断面積 S を求める。

$2RS$ の総和を求め、 V とする。

$$V = 2R \sum S \Delta \varphi$$

このときに計算結果の V と浮力に必要な体積 V_0 を比較して、 $V=V_0$ となるように h_0 を求める。

② 浮力のモーメント

モーメントは、面積 S と浮き輪の中心から重心までの距離 X の積である。

これを積分せずに体積を求める折と同様に、 $S \cdot X$ の総和を求める

$$m = 2 \int (S \cdot X) dl = 2R \int_0^\pi (S \cdot X) d\varphi$$

$$= 2R \sum (S \cdot X) \Delta \varphi$$

③ 浮心（重心）の位置

体積の総和 V とモーメントの総和 M から、水面上の座標において浮き輪の傾きの方向の浮心の位置 X を求める。

(面積 S を求めるときに、体積 V とモーメント m を同時に求める)

$$M = \sum m \quad x_g = \frac{M}{V}$$

深さ方向の重心の位置は、中心から距離 X 位置にある浮き輪の断面の重心に等しい

弓形の平面図形の重心は、弓の弧の中心から y_g の位置にある。

($2w$: 弦の長さ S : 弓形の面積 r : 弧の半径 b : 弧の長さ)

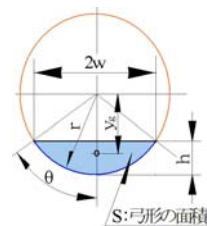
$$y_g = \frac{4wr}{3b} = \frac{2wr^2}{3S}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\cos \delta - \frac{h_0}{r} \cos^2 \delta - \frac{x}{r} \sin \delta \right)$$

$$S = r^2 \{ \theta - \sin \theta \cos \theta \}$$

$$w = r \sin \theta$$

$$y_g = \frac{2r^3 \sin \theta}{3S} = \frac{2r \sin \theta}{3(\theta - \sin \theta \cos \theta)}$$



④ 浮力の中心位置

浮き輪の傾き δ 変えて、①②を繰返し、傾きを変えたときの浮心の位置を求める

⑤ 浮力と重力のバランス

浮き輪の体積に対する子どもの重量の比率を変えて、 V_0 の異なるものを比較する

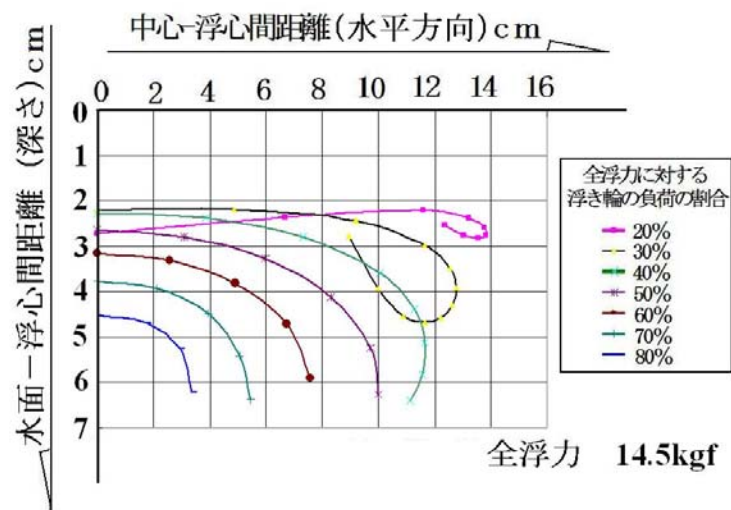
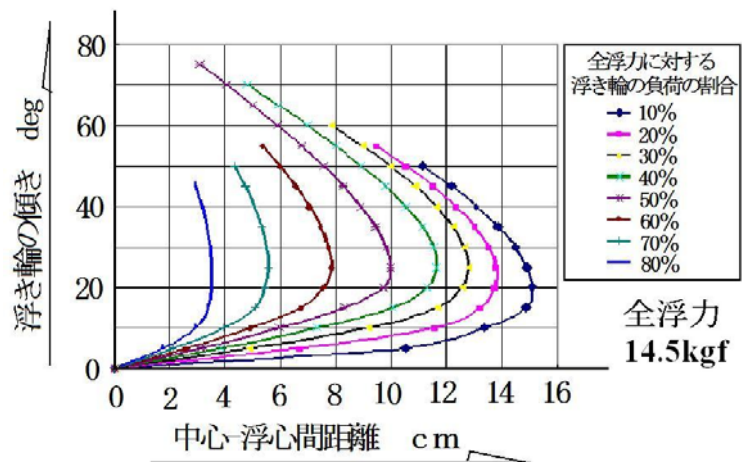
2) 子どもの年齢（体重）による転覆の影響

断面直径 12.5cm、外径 50cm 内径 25cm で全浮力 14.5kgf の環状の浮き輪に、10% から 80% までの負荷をのせて、負荷が移動したときに浮き輪が傾いて追従できる浮心の移動可能範囲を想定して図に示す

同じ浮き輪でも、子どもの体重が軽い場合に比べて、重い場合は浮心の移動範囲が狭くなり、転覆しやすくなる

浮心の位置（距離と深さ）を見ると、子どもの体重が、浮き輪の全浮力に比べて小さい時（20%、30%）は中心より遠くまで延びるので、なかなか転倒しないが、その場で急に転等する

子どもの体重が、浮き輪の全浮力に比べて大きい時（70%、80%）は、中心の近くの距離で転倒するが、浮き輪は同じ位置でゆっくり角度が変わり深く沈みこんでから転倒する



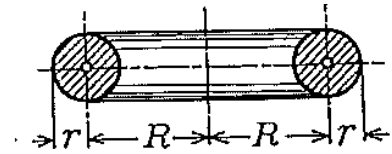
3) 他の形状の浮き輪の体積

円環状（ドーナツ型）浮き輪、4 本円柱枠浮き輪、丸孔付四角板浮き輪の 3 種類について体積を求める

①.円環状（ドーナツ型）浮き輪

浮き輪の断面円の半径を r , 断面中心の軌跡の円の半径を R とすると体積 V_1 は,

$$V_1 = 2\pi^2 R r^2$$



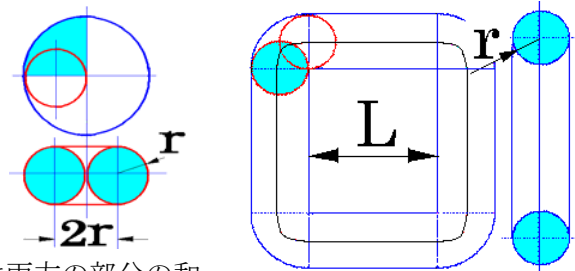
【パップス・ギュルダンの定理】 (Pappus-Guldinus theorem)

平面図形がその平面状にあって図形を通らない軸のまわりに回転して回転体を作るとき、平面図形の面積を S , 図形の図心の軸からの距離を R , とすれば、

回転体の体積は $V = 2\pi RS$, で与えられる。

② 4本円柱枠浮き輪

浮き輪の円柱部分の半径を r , 長さを L , 円環部の断面円半径を r , 大円の半径を $R = 2r$ とすれば、浮き輪の体積 V_2 は両方の部分の和となる。



$$V_{21} = 2\pi^2 (L_1 + L_2)$$

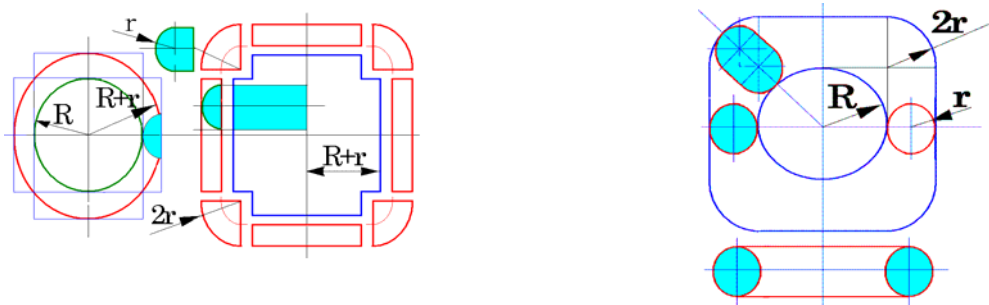
$$V_{22} = 2\pi R (\pi r^2) = 4\pi^2 r^3$$

$$V_2 = V_{21} + V_{22} = 2\pi^2 (2\pi r + L_1 + L_2)$$

円柱の接合部が点接触ではなく r_2 のコーナーを持つ場合は、 $R = 2(r + r_2)$ とする。

③ 丸孔付四角板浮き輪

辺の長さ $L = R + r$ の正方形で厚み $2r$ の四角柱の周辺に、断面半円形の半円柱とコーナー r を付けた形から、半径 $R + r$ の円柱を抜き、半径 $R + r$ のドーナツ型の内側を付け加えた立体に分割できる。



半円型の回転体の体積は、半円の重心の位置がわかれば求められる。

右図において、モーメント m は $\int x$ の変化分の面積と距離 x の積で求まること (パップス・ギュルダンの定理) から、モーメント/面積で重心を求める。

$$x = r \cos \theta \quad 2y = 2r \sin \theta$$

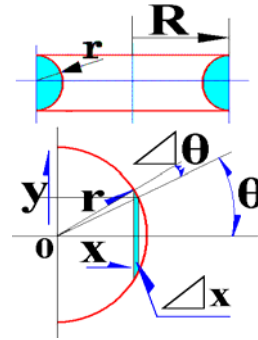
$$dx/d\theta = -r \sin \theta \quad dx = -r \sin \theta d\theta$$

$$\Delta m = 2y dx \cdot x = 2r^3 \sin^2 \theta \cos \theta d\theta$$

$$m = 2r^3 \int \sin^2 \theta \cos \theta d\theta = \frac{2}{3} r^3 [\sin^3 \theta]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{2r^3}{3}$$

$$S = \frac{\pi \cdot r^2}{2}$$

$$\text{重心の位置} : x_c = \frac{m}{S} = \frac{2r^3/3}{\pi \cdot r^2/2} = \frac{4r}{3\pi}$$



V₃₁ : コーナー r 部の体積, V₃₂ : 半円柱の体積, V₃₃ : 四角の体積, V₃₄ : 抜き円柱の体積,

V₃₅ : ドーナツ内側の体積

$$V_{31} = 2\pi \left(r + \frac{4r}{3\pi}\right) \frac{\pi r^2}{2} + 2\pi \frac{r}{2} \cdot r \cdot 2r = \pi r^3 \left(\pi + \frac{4}{3} + 2\right) = \pi r^3 \left(\frac{10}{3} + \pi\right)$$

$$V_{32} = 4(R+r)\pi r^2/2 = 2\pi r^2(R+r)$$

$$V_{33} = 2r(R^2 + 8Rr)$$

$$V_{34} = -\pi(R+r)^2(2r) = -2\pi r(R+r)^2$$

$$V_{35} = 2\pi \left(R + \frac{4r}{3\pi}\right) \frac{\pi r^2}{2} = \pi r^2 \left(\pi R + \frac{4r}{3}\right)$$

$$\begin{aligned} V_3 &= \pi r^3 \left(\frac{10}{3} + \pi\right) + 2\pi r^2(R+r) + 2r(R^2 + 8Rr) - 2\pi r(R+r)^2 + \pi r^2 \left(\pi R + \frac{4r}{3}\right) \\ &= \pi r^3 \left(\frac{10}{3} + \pi + 2 - 2\pi + \frac{4\pi}{3}\right) + Rr^2(2\pi + 16 - 4\pi + \pi^2) + r\{2R^2 - 2\pi R^2\} \\ &= \pi r^3 \frac{(\pi + 16)}{3} + Rr^2(\pi^2 - 2\pi + 16) + 2R^2r(1 - \pi) \end{aligned}$$

4) 浮き輪の浮力と浮力の中心位置

円柱とコーナーの各々の水面下体積と浮力の中心を求めて、全体の浮力の中心とする。

子どもの体重と浮力との釣合いは、浮き輪を水面に平行に浮かべ、そのまま深さ h₀ まで沈めたときの浮力と子どもの体重で釣合いが成立するものとする。

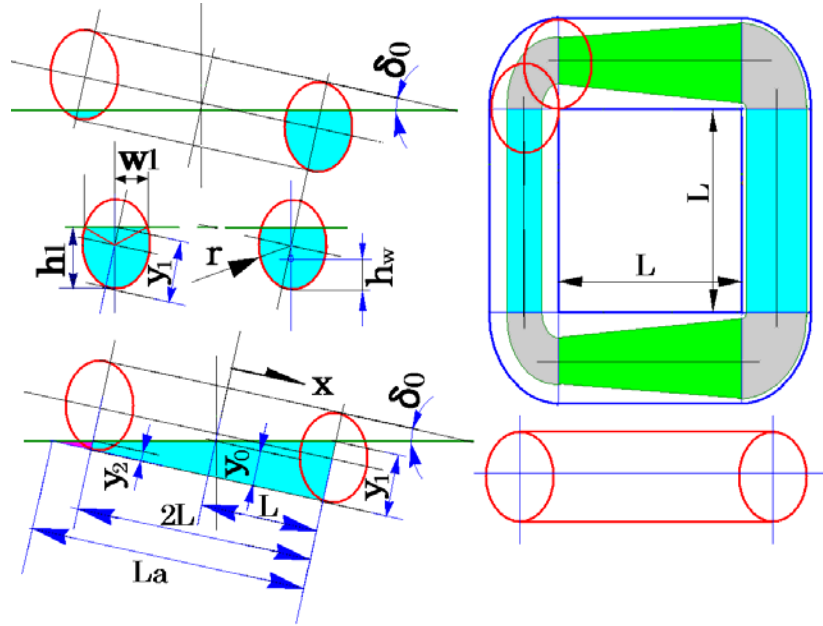
i 円環状 (ドーナツ型) 浮き輪

前節 e)iii、参照

ii.4 本円柱枠浮き輪

浮き輪が角度 Φ 傾いたときの水面下の浮き輪の体積は、2組の円柱部分と2組のコーナ部の各々で求め加算する。

この浮き輪の水面下の全体積と子どもの重力と釣り合うように浮き輪の沈む深さ h_0 を決める。



(1) 水面に平行な円柱

水面下の円柱の体積 V_{2a} は、弓形の断面積 S_{2a} と長さ L の積になる

また、弓形の面積は、 $S = \frac{R^2}{2}(2\alpha - \sin 2\alpha) = R^2(\alpha - \sin \alpha \cos \alpha)$ である。

$$h_1 = r(1 - \cos \theta_1) \quad \cos \theta_1 = (r - h_1)/r \quad \theta = \cos^{-1}(1 - h_1/r)$$

$$w_1 = r \sin \theta_1$$

$$S_1 = r^2 \left\{ \cos^{-1} \left(1 - \frac{h_1}{r} \right) - \sin \theta_1 \cos \theta_1 \right\}$$

このことから、水面下の体積 V_1 および弓の弦と直交する座標系での、浮き輪の断面中心を基準とした浮力のモーメント m_1 から浮力の中心位置を求める

$$V_1 = r^2 L \left\{ \cos^{-1} \left(1 - \frac{h_1}{r} \right) - \sin \theta_1 \cos \theta_1 \right\}$$

$$dh = \sin \theta d\theta$$

$$\begin{aligned} m_1 &= L \int h(2wdh) = 2Lr^3 \int (1 - \cos \theta) \sin \theta \sin \theta d\theta = 2r^3 L \int (\sin^2 \theta - \sin^2 \theta \cos \theta) d\theta \\ &= 2r^3 L \left[\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} - \frac{\sin^3 \theta}{3} \right]_0^{\theta_1} = r^3 L \left(\theta_1 - \frac{\sin 2\theta_1}{2} - \frac{2\sin^3 \theta_1}{3} \right) \end{aligned}$$

$$h_{w1} = \frac{m_1}{V_1} = r \frac{\theta_1 - \frac{\sin 2\theta_1}{2} - \frac{2\sin^3 \theta_1}{3}}{\cos^{-1} \left(1 - \frac{h_1}{r} \right) - \sin \theta_1 \cos \theta_1}$$

$$y_{w1} - r = (h_{w1} - r) \cos \delta$$

反対側の弓形も同様にして求める

$$V_2 = r^2 L \left\{ \cos^{-1} \left(1 - \frac{h_2}{r} \right) - \sin \theta_2 \cos \theta_2 \right\}$$

$$dh = \sin \theta d\theta$$

$$m_2 = L \int h(2wdh) = 2r^3 L \int (\sin^2 \theta - \sin^2 \theta \cos \theta) d\theta = r^3 L \left(\theta_2 - \frac{\sin 2\theta_2}{2} - \frac{2\sin^3 \theta_2}{3} \right)$$

$$h_{w2} = \frac{m_2}{V_2} = r \frac{\theta_2 - \frac{\sin 2\theta_2}{2} - \frac{2\sin^3 \theta_2}{3}}{\cos^{-1} \left(1 - \frac{h_2}{r} \right) - \sin \theta_2 \cos \theta_2}$$

$$y_{w2} - r = (h_{w2} - r) \cos \delta$$

基準系を浮き輪の中心を (x=0, y=0) とした水平な浮き輪系 (x, y) およびから、浮き輪の断面中心を (w=0, h=0) とした傾いた浮き輪系 (w, h) から、浮き輪の中心と水面の交点を (X=0, Y=0) とした水面系 (X, Y) に変換すれば、

傾いた円柱の浮力の中心は、円柱の断面中心から鉛直方向にあり、浮き輪の中心からの距離 (X, Y) は次式になる。

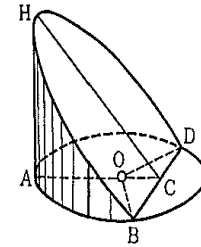
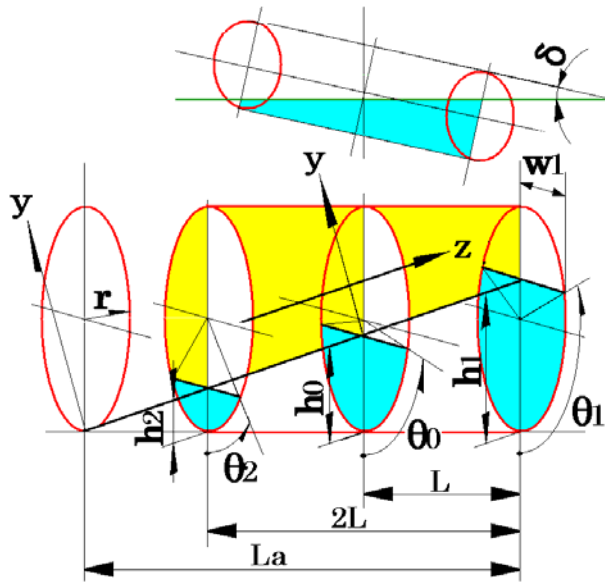
$$\begin{aligned} X_1 &= L \cos \delta & Y_1 &= h_1 - h_{w1} \\ X_2 &= -L \cos \delta & Y_2 &= h_2 - h_{w2} \end{aligned}$$

両方の浮力の中心はモーメントの和による

$$y_w = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2}$$

(2) 水面と傾いた円柱

傾いた円柱の体積は、ひずめ型として求める。



傾き角度 δ のときに、浮き輪の中心位置で h_0 の深さに、傾いた浮き輪が沈むことで子どもの重力と釣合うものとする。

h_0 の大きさは、浮き輪全体の水面下の体積の計算から求める

$$h = h_0 + z \tan \delta$$

$$w = r \sin \theta$$

$$r - h = r \cos \theta = r - h_0 - z \tan \delta$$

$$\cos \theta = 1 - \frac{h_0 + z \tan \delta}{r}$$

$$z = \frac{r(1 - \cos \theta) - h_0}{\tan \delta}$$

$$\frac{dz}{d\theta} = \frac{r \sin \theta}{\tan \delta} \quad dz = \frac{r}{\tan \delta} \sin \theta \cdot d\theta$$

$$s = r^2(\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

$$V = \int s dz = r^3 \int (\theta - \sin \theta \cos \theta) \frac{\sin \theta}{\tan \delta} d\theta$$

$$= \frac{r^3}{\tan \delta} \int (\theta \sin \theta - \sin^2 \theta \cos \theta) d\theta$$

$$= \frac{r}{\tan \delta} \left[(\sin \theta - \theta \cos \theta) - \left(\frac{\sin^3 \theta}{3} \right) \right]$$

(3) コーナー部

傾いた円柱の体積は、ひずめ型として求める。

2.3.3.3 積分法のまとめ

以上、浮き輪の形状を積分モデルで解析し、子どもが浮き輪に乗った状態を計算モデルで表現することが出来た。計算結果により、浮上実験で経験した現象をよく説明出来る。

計算モデルによれば、様々なパラメータを変化させることが容易であり、今後この種の問題解決の手法として応用出来る。

2. 4 考察

前年度研究報告の段階で、浮き輪に子どもが乗った系は転覆し易く、極めて危険なものであることを示した。但し、検討は机上計算にとどまっていた。

今年度研究では、実際に市販されている浮き輪に、精巧に作られた 6 ヶ月児モデルのダミー人形を乗せて浮上実験を行ない、安定性と転覆現象の観察を行なった。その上で 3 種類の異なる方法で系の安定性及び転覆のメカニズムを解析した。

実験では前年度研究で想定した通り、系の傾きが増すにつれ、あるところに「転覆限界」が存在し、それを超えて傾けると想像以上の速さで 180 度まで回転し、「逆さ宙吊り」の状態になることを見出した。いろいろな浮き輪について転覆限界の傾き角度はいくぶん異なるものの、**転覆→急速回転→逆さ宙吊り**というプロセスを確認出来た。

解析では 3 つの独立した方法を用い、違った角度からこの現象を見つめることが出来た。どの方法でも実験の結果をよく説明出来、転覆限界、急速回転などのメカニズムを定量的に把握することが出来た。解析ではいくつかのパラメータを変数としており、今後同種浮上体の安定問題への応用は広いと考える。

2. 5 結論

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なように見えるが、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。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。ST マークも付いている。「浴槽では使わないで下さい」との表示はあるが、実際どのように危険なのかはわかっていない。

本研究では、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。

原理的にこの種の浮上体の安定問題は船舶関係では常識のことであるが、生活用品や一般の機械類の安全性評価において従来検討されてこなかったのではないかとと思われる。

2007 年の国民生活センターの「目を離さないで！」キャンペーンや、ST マークの適用から外すとといったいわば「危険情報」だけでは問題の本質解決にはならず、再発を

防止することは出来ない。重大事故の再発を防止するにはリスクアセスメントを行い、重大な要因については第一に設計開発段階から危険源の除去を行なうこと「本質安全方策」が求められる。それでも除去が困難な場合は第2として危険な状態にならないような防護措置を施し、更になお残る危険については第3に的確な危険情報を使用者・管理者に伝えるというのが安全の原則である。

本研究により、浮き輪と子どもの系において本質的危険源を明らかにすることができた。この成果を設計、製造、流通関係者、使用者、管理者、行政関係者らに広く伝えることにより、本質安全方策を優先に危険防止につなげて行くよう様々な場で提言していきたい。

2. 6 今後の課題

- ・浮上体の本質安全方策問題について、設計、製造、流通関係者、使用者、管理者、行政関係者への成果の伝達
- ・安全規格への提案
- ・本質的に危険なものの流通を抑える方法の検討
- ・海外事情の調査
など

以上

第3章

(この章、無し)

第4章 乳児用ベッドからの転落

4.1	要約	72
4.2	事実	72
4.2.1	事故事例の概要	72
4.2.2	事例の経過	72
4.2.3	当時の対策	72
4.2.4	その後の対策	72
4.3	見解	73
4.3.1	リスクアセスメント	73
4.3.2	柵の乗り越えによる転落	74
4.3.3	リスクの低減方策	75
4.3.4	技術的検討	76
4.3.5	その他の危険源への対応	76
4.3.6	日本の規格類の状況と海外規格との比較と考察	77
4.3.7	市販品の実情調査	78
4.3.8	調査結果概要	81
4.4	今後への提言	81
4.5	参考資料	82

4. 乳児用ベッドからの転落

4.1 要約

- ・発生日時：2008年6月9日午前9時15分頃
- ・発生場所：自宅の和室（畳床）
- ・側面開閉式の乳児用ベッドに11ヶ月の幼児を入れて目をはなした隙に、開閉柵の下部から11.5cmの高さにあった横さんに足を掛けよじ登り、その横さんより更に35cm上の柵の上からバランスを崩して畳の床に落下して、軽い打撲傷を負った。

そのベッドは床板面から柵の上面までの高さが規定の60cmに足りず46.5cmしかなかった。その上、床板面から上30cm以内に足の掛けられる横さんがあり、ベッドの安全規格に2重に違反した製品であった。当幼児はつかまり立ちができるようになっていたのにも拘わらず床板面からの上栈の高さが60cmに満たない状態でベッドとして使用していたのは誤使用であるとも考えられる。

4.2 事実

4.2.1 事故事例の概要

◎ 側面開閉式扉付きのベビーベッドから幼児が転落し、額にすり傷を負った。

- ・発生日時：2008年6月9日午前9時15分頃
- ・概要：幼児は生後11ヶ月で、身長73cm、体重9kg、発育段階は伝い歩きができる状態であり、抱っこすると上に登ろうとする。
- ・開閉式の扉には床板面から上11.5cmのところに横さんがあり、その横さんの上の柵の高さは35cmであった。

4.2.2 事例の経過：（未調査）

4.2.3 当時の対策：（未調査）

4.2.4 その後の対策

2009年5月16日の、独立行政法人製品評価技術基盤機構事故情報特記ニュースには、「ベビーベッド（乳児用ベッド）使用に当たっての注意喚起について」の記事が掲載されている。

2009年度以降に、ベビーベッドからの転落事故の報告は2件あった。2件ともフレームの格子部がはずれ床板の一部および全部が落下した。原因は製造時の接着剤の接着強度が不足していたので、メーカーからリコールするという社告が出された。もう1件は落下ではないが、レンタル中のベビーベッドの開閉部のプラスチック製つまみが外れたのを幼児が口に入れてしまったということが報告されている。これは母親がその後の食事の前に気がつき事なきを得た。

こうした事故の未然・再発防止のため、工業会より再発防止対応について経済産業省に報告があったので、その内容についてお知らせするとともに、注意喚起を行います。以下は過去に2007年9月に出された落下事故防止のための注意喚起である。

1. 事故の内容

イ 扉の開いていたベビーベッドから幼児が転落し、額にすり傷を負った。

ロ 10才の児童がベビーベッドの扉を閉めた際に、乳児の指が挟まれ、指の第1関節を切断した。

2. 注意喚起事項

同種じこの未然・再発防止のためには、次のような点に注意することが必要です。

(1) ベビーベッドから保護者が離れるときは扉を閉める。

ベビーベッドの扉が開いている状態で、乳幼児がハイハイや寝返りをした場合、ベビーベッドから転落する可能性がありますので、保護者が離れるときは開閉式又はスライド式の扉は必ず閉めてください。

(2) 子供にベビーベッドの扉の操作をさせない。

開閉式又はスライド式のベビーベッドの扉を操作する際、乳幼児の手足の指や体の一部が挟み込まれる危険がありますので、扉の操作には十分に注意していただくとともに、子供には操作させないでください。

出典：独立行政法人製品評価技術基盤機構 事故情報特記ニュース No. 5 8

4.3 見解

本件の場合、本来子どもを守るべき防護柵の下の方に、子どもが柵を乗り越えるのに足がかりとなる横さんが存在したことが事故への危険性を高めている。これは使用者の落ち度ではなくベッドメーカーの設計上の問題である。本来防護柵は子どもをベッド内に保つためのものであるのに、その設計不良のために防護柵が転落事故につながる「はしご段」になってしまった。

この種の事故を防ぐためには

(1) 設計不良を誘発した各種技術規格類がはたして適切であったか

(2) 使用者が用途に合った適切な機種を購入し、正しく使用したか

(3) 使用者が正しく使用できるように表示類が見易い位置に表示されていたか

を慎重に見直して万が一不備があれば製造業会団体や基準制定団体と改訂することが求められる。

4.3.1 リスクアセスメント

乳幼児用ベッドの使用において考えられる危険源は暫定的につぎの6種類を挙げる。しかしこれは過去の事故事例リストに基づき正確さを期さねばならない。

(1) 柵の乗り越えによる転落

(2) 開閉式柵（上下スライド式および蝶番扉式）の開放による転落

(2)-1 使用者（保護者）の閉め忘れ

(2)-2 使用者の意図しない開放（ラッチ外れ等）

(2)-3 幼児のいたずらによる開放（ラッチ外れ等）

- (3) 幼児のいたずらのラッチ操作による指損傷
- (4) ベッド内に置いた毛布や布団による幼児の窒息
- (5) 柵の棧の間隔への頭や腕、足、脚部のはさみ込み
- (6) 開閉式柵（特に閉時の）指等の挟み込み（剪断が主体）

4.3.2 柵の乗り越えによる転落

(1) 本事故例におけるベッドの使用方法（柵の乗り越え）

本児の体重は 9kg、身長は 73cm、発達段階は伝い歩きができる状態で、抱っこすると上に登ろう登ろうとする。ベッドは、畳面から柵の上部まで 85cm の高さがあり、ベッドの柵と柵の隙間は 7.8cm であった。（写真 2 および付図参照）。ベッドの中には、薄い毛布以外、足がかりとなるようなものはない。子どもを発見した時、ベッドの柵は外れていなかったのもので、横さんの上に登った状態で柵の上から覗き込んで転落したと認められる。

本件のベッドは床板面から柵の上端までの高さが 46.5 cm であることから、専用形ベッドではなく、サークル兼用形ベッドであったと推定される（サークル兼用形では上桟高さが床板面から 35 cm 以上あればよいことになっている）。

つかまり立ちができる 11 ヶ月の男児にとって、この使用方法是常識的には通常の使用方法である。しかし、JIS S1103 にも SG 規格（CPSA 0023）にも幼児がつかまり立ちが出来るようになったら、当該ベッドの使用を中止し、床板を外して使うか、床板の高さを調節して柵の上面から 60 cm 以上下の位置に下げることが規定されている。製造者が安全を立証できる製品を製造し、その上で使用者が残存リスクを配慮した使用方法を守ることが社会的な責任分担である。乳幼児用ベッドが何才児まで使用して良いかは基本的には社会通念に沿って製造業者が決め、それを製品に表示することで使用者に伝えることとなる。本件ベッドのメーカーのホームページによると 2010 年 4 月現在では同社の製品には SG 並びに PSC マークがともに添付されていると記載されている。

(2) 危険源

柵の乗り越えによる転落

(3) リスクの大きさ

本件事故においては軽い打撲で済んだ。しかし、ベッドの設置された部屋が畳敷きの和室でなく、硬い床であった場合、より大きな障害を負った可能性も十分ある。

リスクの大きさを客観的に見積もるには固い床面上 85cm から頭から転落した場合の予想障害レベルの調査が必要であるが、常識的にみて脳震盪、頭蓋骨折または脳挫創の危険性があると推定される。

4.3.3 リスクの低減方策

転落の危険源に関して、あらためて本件事故を引き起こした乳児用ベッドの詳細を検討する。

1. ベッドの状況

対象となるベビーベッドの外観および寸法は下図の通り。

- (1) ベッド床板面から柵上面までは 46.5cm（サークル兼用形と推定される）
- (2) ベッド床板面から 11.5cm の高さに足がかりになりうる横さんがある。

↓ 事故当時の部屋の平面図

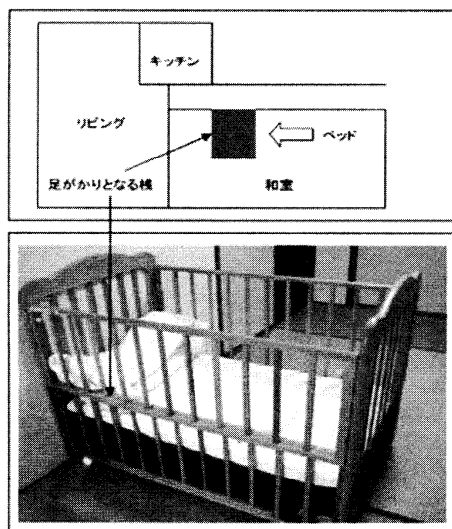


写真 1

<実際にベッド内で立ってもらう> <このようにすぐ足がかりに足をかける>

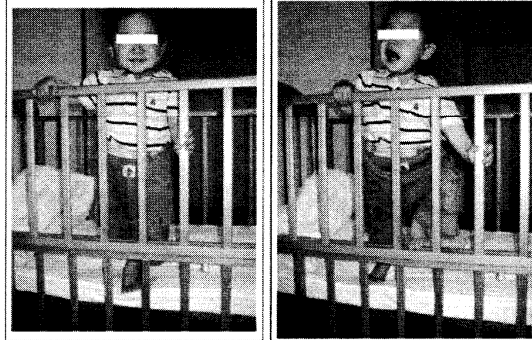
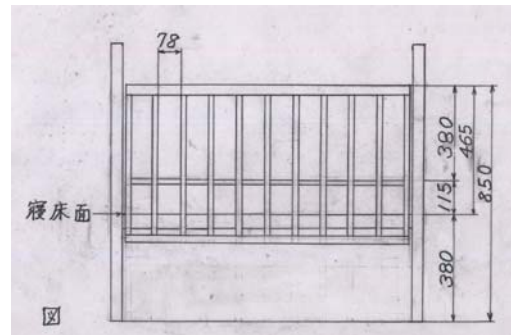


写真 2



(引用：日本小児科学会誌 Injury Alert
(障害注意速報) 112:1732 抜粋、p.9)

2. 安全規格との整合

乳児用ベッドの安全規格は次の通り、SG マークおよび PSC マークがある。

(1) SG マーク

乳児用ベッドの認定基準

7. 床板の上面（中略）から 30cm の高さまでの範囲に、横さん等足をかけることができる構造物がないこと。（中略）
8. 組子間および組子と支柱間の間隔は 85mm 以下であること。
9. 床板の上面から上枠までの高さは 60cm（中略）以上であること。

(2) PSC マーク（Product Safety of Consumer Products）

乳児用ベッドは消費生活用製品安全法に基づく「特定指定製品」に指定されており、輸入業者は所要の届け出を所管の経済産業局に行い、国が認定または承認する第3者検査機関による適合検査証明の保管が義務付けられ、PSC マーク（特別特定製品）を表示しなければ販売できない。（表1 参照）

4.3.4 技術的検討

(1) 幼児の重心高さの推定

身長 73cm の場合、胴体の長さが 57cm、重心位置は脇の下の方 5cm と推定される（事故当事者に似通った体格の幼児を抱いて重心位置を実測した結果による）ので、幼児の重心は柵の上縁より 10 cm 高いところにあり、幼児が柵の上から顔を出して下方を覗き込めば頭の一番高いところは柵の上縁より 38 cm 高いところに飛び出しているため、容易に柵を乗り越えて床面（この場合は畳面）に落下し、頭部を打撲する恐れが十分あると考えられる。

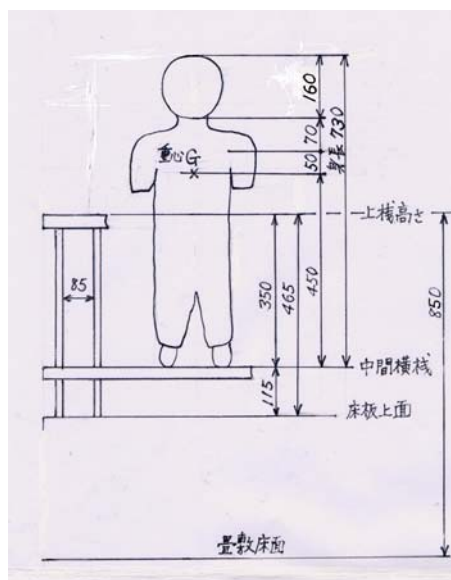


図2 幼児の重心高さの推定値

(2) SG マークの規定の妥当性

SG マークの安全基準では柵の上縁高さは 60 cm 以上と規定されているが、幼児のよじ上れる横さんがあってはならないとも規定されているから、この場合は幼児の重心位置は柵の上端より 12 cm 下のところとなり、首より上だけしか柵から飛び出していないからたとえ幼児が下を覗き込んでも落下することは考えられず、安全基準としても妥当であることがうなずける。60 cm という柵の高さについてはオーストラリアの安全規格である AS / NZS 2172 (2006)にも同じ数字で規定されているので妥当だと思われる。しかし、本事故例では床板から上 11.5 cm のところに中間的横さんがあり、子どもはそれによじ登って下を覗き込んでいるうちにバランスをくずして床面に落下したと思われる。

幼児をひとりでベッドの中に入れておく場合は、勿論柵を上げてロックして置く事が肝要である。また、ロックを解除するためには大人の両手での操作を要求する構造とすることも枢要である。

2010 年 4 月現在流通している事故製品のメーカーのホームページを見ると、ベビーベッドは全て SG マークと PSC マークが表示されているとのことである。

4.3.5 その他の危険源への対応

先述 4.3.1 で取り上げた 5 つの危険源のうち(1)の柵の乗り越えによる転落についてはす

で述べた。他の危険源については原則として次の対応が求められる。

(2) 開閉式柵（上下スライド式および蝶番扉式）の開放による転落

(2)-1 使用者（保護者）の閉め忘れ

→製品への注意書き

(2)-2 使用者（保護者）の意図しない開放（ラッチ外れ等）

→ラッチ構造により一旦セットしたラッチが開かない構造を設計段階で採用する

(2)-3 幼児のいたずらのラッチ操作による解放（ラッチ外れ等）

→幼児のいたずら防止構造を設計段階で採用する

(3) 幼児のいたずらのラッチ操作による指損傷

→機械類の隙間基準（幼児対応）による設計とする

(4) ベッド内に置いた毛布や布団による幼児の窒息

→製品への注意書き

(5) 柵の間隔を単に 85 mm 以下とするばかりでなく、オーストラリアとニュージーランドの安全規則のように、30－50 mm は禁止するなど、乳幼児にとって危険な寸法を積極的に回避することも必要である。

(6) 開閉式柵を有するものにあつては乳幼児の手指等を挟み込んだり剪断したりしないように適切な隙間を確保する

4.3.6 日本の規格類の状況と海外規格との比較と考察

子ども用ベッドには柵が設けられており、その寸法や構造が各種規定で詳しく規定されているにも拘らず、それが守られていない製品が世の中に出回っていることは問題である。それは製品の設計上の欠陥ともいえるべきものであり、そのような製品は1日も早くこの世の中から追放しなければならない。

2011 年 1 月現在施行されているベビーベッドに関する規格類を表 1 に示す。規格は 3 種類あり、

(1) 日本工業規格 JIS S1103（2008）、

(2) 幼児用ベッドの認定基準及び基準確認方法 CPSA 0023、

(3) 経済産業省関係特定製品の技術上の基準等に関する省令

乳幼児用ベッド／技術上の基準

特別特定製品 PSC マークの 3 つである。

上述(3)の PSC マークについては書類を入手できなかったので日本文化用品安全試験所に電話で問い合わせして調べた結果の一部のみを示した。

国内規格の内容は全て同じと見てよいと思われる。しかし、気がかりな点が見受けられる。それは転落事故に関係した床板上面から開閉式扉の上柵までの高さが兼用形（ベッドとベビーサクルを兼用する方式のもの）に限り 35 cm 以上、専用形（ベッド専用のもの）が 60 cm 以上となっている点である。兼用形はどの規格でも幼児がつかまり立ちできるようになったら使用をやめて、床板を取り外すか下げるかして、上柵

までの高さを 60 cm 以上になるよう調整してから使うよう指示している。この注意書きは使用者に容易に見える位置に恒久的に表示することになっている。

そうすると、本件事故の場合、幼児はつかまり立ちができる状態に達していて、床板上面から上棧までの高さが 46.5 cm しかない状態になっていたのであるから、規格上は正しい使用状態であったといえないと思われる。

ベビーベッドの販売店では、幼児がつかまり立ちするようになったら床板の高さを下げて使用するよう販売員からも説明しているとのことである。また、多くのベッドは購入者が自分で組み立てて使うという方法で売られているので、使用方法もはっきり説明書に書かれているとのことである。

表 1. に追記したのはオーストラリアとニュージーランドの AS/NZS 2172 (2006) である。これでは開閉扉の上棧の床板面からの高さが 600 mm 以上と規定されているほかにマットレスの上面から上記上棧までの高さが 500 mm 以上と規定されている。それに加えてキャスターの個数が最大 2 個までとされ、一対のキャスターにはブレーキ機能を備えていなければならないと規定されている。

一つ気がついたことは、開閉式扉の中間の高さに足がかりとなりうる中間横さんに関する記述がなされていないことである。

また、消費者への助言として中古のベッドを購入しようとする場合の注意事項として旧規格 AS/NZS 2172 (2003) に適合したものかその後の変更規格に合致しているか店の人に問い合わせて新しい規格に合ったものを購入するよう推奨している。

4.3.7 市販品の実情調査

2011 年 2 月に東京都内および近郊で市販されているベビーベッドの寸法等を調査した結果を表 2 に示す。

表1. 乳幼児用ベッド規格類比較表(抜粋)

注) 1) は幼児がつかまり立ちできるようになった場合に柵高さを調整すること

2) 600 mm に満たないものは床板を下ろして使用すること

規格名称	規格名称	準拠法律	所管機関	規格の性質	横棧の高さ	棧の間隔	中間横棧の 許される高さ	キャスターの ストッパー	使用月齢
国					(床面上面から)				
					mm	mm	mm		月
日本	日本工業規格 JIS 1103 (2008) 木製ベビーベッド	工業標準 化法	日本工業 標準調査会	任意	600 以上 ¹⁾ (兼用の場合 ²⁾ 350 以上)	85 以下	300 以上	要 (2 個以上)	0-24 以内
	乳児用ベッドの 認定基準及び 基準確認方法	SG マーク	製品安 全協会	強制	600 以上 ¹⁾ (兼用の場合 ²⁾ 350 以上)	85 以下	300 以上	要 (2 個以上)	0-24 以内
	特別特定製品 (PSC 菱マーク) 乳幼児用ベッド	消費生活用 製品安全法	日本文化用 品安全試験 所	強制	600 以上 ¹⁾ (兼用の場合 ²⁾ 350 以上)	85 以下	300 以上		0-24 以内
オーストラリア・ ニュージーランド	消費者向け 強制規格 Cots for Household use (2009) AS/NZS 2172		Commonwealth Australian Competition and Consumer Commission	強制	600 以上 マットレス上面 から 500 以上	50～95 (30～50 は 禁止)	—	キャスターは 2 個までで ブレーキ付の こと	

表2. 市販乳幼児用木製ベッド安全性調査結果

注) *は床板面を下げた場合

No.	メーカー	タイプ	床板床面高	柵の高さ	柵の深さ	マーク貼付		柵の横棧	参考価格	キャスタストッパ
					600<	PSC	SG	有無 高さ		個数
			h	H	H-h			床板面上	円	
1	ヤマトヤ	エクリーベ [®] ST	348	928	480	有	有	有 310	19,900	2
2	ナーシー	ベ [®] ビ [®] ーベ [®] ット [®]	394	876	482	なし	なし	有 315	13,999	2
3	エクリー	ベ [®] ビ [®] ーベ [®] ット [®] EX	599	970	371	有	有	有 200	22,999	2
4	カトージ	フレア ホワイト	564	938	374	有	有	なし 0	9,999	4
5	リアン	ベ [®] ビ [®] ーベ [®] ット [®]	590	964	374	有	有	有 205	15,999	4
6	カトージ	ティアラ	470	823	353	有	有	なし 0	17,800	2
7	ヤマトヤ	シャルム	601	1003	402	有	有	なし 0	19,800	4
			501/401/301*		502/602/702*					
8	ヤマトヤ	シャルムベ [®] ビ [®] ーベ [®] ット [®]	610	1000	390	有	有	なし 0	19,800	4
			510/410/310*		490/590/690*					
9	カトージ	チャオ	469	840	371	有	有	なし 0	12,800	4
			304/139*		536/701*					
10	石崎家具	ツースライトベ [®] ット [®]	700/450*	1055	355/605*	有	有	なし 0	34,800	
11	石崎家具	ワンタッチハイパー	667/367*	1029	362/662*	有	有	なし/325*	29,000	
12	キンタロー	アンファンエコ	595/500*	960	365/460*	有	有	なし	37,800	2

4.3.8 調査結果概要

- (1) ベッドの床板の上から柵の上縁までの高さは 60 cm 以上のことという規格を満足していないものが圧倒的に多く、調査した 12 機種のうち 7 機種が 48 cm 以下であった。(表 2 の欄を色付けした箇所です) これらの機種は大部分が兼用形として設計され販売されていたのではないかと推察される。
- (2) 次に多いのが開閉扉の中間に横さんがついているもので、床板から 20～20.5 cm という足掛けし易いものから、横さんの限界高さの 30 cm を僅かクリアした 31 から 32 cm のところにあるものもある。(同上)
- (3) SG マークと PSC マークについてはおおむね貼ってあるが、貼っていないものが 1 例見受けられた。
- (4) 最近発売されたと思われる機種では開閉扉の深さを 50 cm 以上にとり、床板面を上下調節できる構造にし、幼児がつかまり立ちできるようになったら床板面を下げて使用するように推奨している例がある。但し、価格は若干高く設定されている。

4.4 今後への提言

上述のような欠陥を内在した危険な製品をこの世の中から追放するためには次の諸策が必要になると思われる。下記提言に当たっては、情報の提供をいただいた日本小児科学会と共同で行っていきたい。

- (1) 製造段階への提言：機械安全（関連規格等を含む）に基づく設計、製造。業界団体による有効な規格の整備
- (2) 流通への提言：所要規格適合品以外を排除
- (3) 使用者への提言：使用上の注意を遵守
- (4) 第三者機関（公的機関）への提言：有効な規格の制定と遵守の強制
- (5) 具体的に当該欠陥の存在を広報し、所有者が欠陥要素をもった製品をたやすく見分けられるようにして、積極的に廃却するよう促す活動が必要である。
- (6) 場合によってはエコポイントのように安心ポイントの制度を設けて世間に出回った不安全製品の撲滅を促す政策も有力な手段となりうると考えられる。
- (7) また流通業界にも下取りした中古製品を鑑別して不適切なものは廃却を義務づけるよう指導することも大切である。
- (8) サークル兼用形のベビーベッドは、幼児がつかまり立ちできるようになったら使用を中止して、床板面を取り外すか取り付け高さを下げて柵の上面までの高さを 60 cm 以上に調節することと義務付けられているが、幼児の発達段階でいつつかまり立ちが出来るようになるか保護者にとっても判らず、ある日突然つかまり立ちできるようになり、その日の内に柵の乗り越え事故を起こすことになり兼ねない。従って、ベビーベッドの本質安

全性を追求するなら、兼用形のベビーベッドの使用方法について繰り返し広報活動を行い、誤使用を防止するとともに、将来的には兼用形を全面的に禁止することも必要になるのではないだろうか。

- (9) 更に中間位置にある横さんはいかなる高さといえども全面禁止をするべきではないかとも思われる。理由は現規格では横さんが高さ 30 cm 以内にあってはならないと規定されているが、幼児の体格のバラツキを考慮すると 30 cm でも足を掛けられる幼児が出ないとは限らないからである。
- (10) 柵の開閉操作には片手で操作できる場合は2操作を要するいわゆるチャイルドプーフにするか大人の両手同時操作を要求するなど検討に値する項目だと思われる。

4.5 参考資料

- (1) JIS 規格（日本工業標準調査会） <http://www.jisc.go.jp/>
JIS S1103 「木製ベビーベッド」
- (2) 家庭用品品質表示法
- (3) 有害物質を含有する家庭用品に関する法律
- (4) 関税法（知的財産権侵害物品・不当表示関係）
- (5) 関税手続きや税番、税率に関する問い合わせ先（税関相談窓口）
<http://www.customs.go.jp/question2.htm>
- (6) 消費生活用製品安全法（経済産業省 商務流通グループ製品安全課）
<http://www.meti.go.jp/policy/consumer/seian/index.htm>
- (7) 「事業届」に関する説明資料
<http://www.meti.go.jp/policy/consumer/seian.shouan/contents/setsumei2103.pdf>
- (8) PSC マーク（財団法人製品 日本文化用品安全試験所）
<http://www.mgsi.or.jp/Japanese/pskensa.htm>
- (9) SG マーク（財団法人 製品安全協会）
http://www.sg-mark.org/SEIDO/maker_index01.htm
- (10)（乳幼児用ベッド：特別特定製品）
消費者庁 <http://www.caa.go.jp/index.html>
- (11) 家庭用品品質表示法（経済産業省）
http://www.meti.go.jp/consumer/seian/hinpyou/faq/faq_02.html
- (12) 繊維製品品質表示規定
http://www.meti.go.jp/policy/consumer/seian/hinpyou/guide/fiber_top.html
- (13) 有害物質を含む家庭用品の既成に関する法律に定める既成基準概要（厚生労働省審査管理課化学物質安全対策室）

<http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/katei/kateiindex.html>

<http://www.nihs.go.jp/mhlw/chemical/katei/kijun.html>

- (14) (財)日本染色検査協会 <http://.nissenken.or.jp>

- (15) 税関による知的財産侵害物品の取締り

<http://www.customs.go.jp/mizugiwa/chiteki/index.htm>

以上(1)～(16)の出典：日本貿易振興機構（ジェトロ）JETRO のホームページ

http://www.jetro.go.jp/world/japan/ga/importproduct_15/04M-011014 の

記事番号 M-011014

- (16) 「ベビーベッド乳児用ベッド）使用にあたっての注意喚起について」

独立行政法人産業技術製品評価技術基盤機構のホームページ

<http://www.nite.go.jp/jiko/news/58/058.html>

- (17) オーストラリア消費者委員会 連邦強制規格 Cots for Household use (2009) AS / NZS 2172 (2006)

<http://www.accc.gov.au/content/index.phtml/itemId/655340>

- (18) 米国消費者製品安全委員会（CPSC）

<http://www.cnn.co.jp/business/30001245.html>

<http://offline-keitai-usa.cocolog-nifty.com/blog/2010/04/post-a85f.html>

(以上)

第5章 マニキュア除光液による中毒

5.1	要約	85
5.1.1	前年度研究報告(平成 21 年度)の要約	85
5.1.2	本年度 (平成 22 年度)研究報告の要約	86
5.2	平成 22 年度の研究	87
5.2.1	除光液の成分分析	87
5.2.2	マニキュア落とし 1 回あたりの除光液使用量の測定	88
5.2.3	中毒事例 (商品 C)の条件での検討	89
5.2.4	密閉した室内の除光液より発生するアセトン蒸気濃度測定	90
5.2.5	他の業界における有機溶剤使用量削減事例の調査	90
5.3	見解	91
5.3.1	リスクアセスメント：危険源の特定	91
5.3.2	リスクの低減方策	91
5.3.3	技術的検討	93
5.4	意見・所見	93
5.5	今後への提言	94
5.6	添付資料	95
5.6.1	物性値	95
5.6.2	除光液の表示例	96
5.6.3	他の市販家庭用品の該当する項目の表示例	97
5.6.4	家庭用品吸入事故等の資料	98
5.7	用語解説	99

5. マニキュア除光液による中毒

5.1 要約

5.1.1 前年度研究報告(平成 21 年度 委託研究 平成 22 年 2 月 26 日)の要約

代表的な図



発生日時	平成 18 年 8 月 27 日 午後 10 時ごろ
発生場所	札幌 自宅の八畳間
事故の概要	自宅で母親が除光液で爪からマニキュアを除去する際、そばの床に寝ていた生後2ヶ月の男児がアセトン中毒になった。 マニキュア除去後、除光液臭が室内に充満していることに気づいたが換気はしなかった。その後男児はぐったりし嘔吐をくりかえし、発生約 20 時間後に嘔吐・意識障害の精査目的で紹介入院となった。発生約 30 時間後の嘔吐を最後に嘔吐は消失し、その後は哺乳も良好となり、4 日後に元気に退院した。
リスクアセスメント	危険源：室内に充満したアセトン蒸気（を乳児が吸引する） 危害の大きさ：急性中毒症状。引火しやすい(引火については今回の研究の対象外)。 発生確率：密閉した室内では発生の確率が高くなると思われる。 リスクの大きさ：中等症。新生児では手当が遅れると重症化する。
リスクの低減策	[本質的安全]溶剤をアセトンより危害性の低い成分に変更 [安全防護]アセトン蒸気の発生・拡散を防止（乳児の吸引を防止）する方法の提案 [使用上の情報]「除光液が有害であること」と「防護策」を関係する組織及び消費者に周知する（例：母親への教育）
意見	企業活動のケースと異なり、消費者が自分で使用するケースでは消費者が「有害である」という認識をもつことで、必要な防護策（このケースでは①換気、②アセトンをしみこませた布を密閉容器にしまう、など）を実施する動機を持つことが重要である。 そのための具体的提案の推進が必要。

出典：Injury Alert No.8、日本小児科学会雑誌

5.1.2 本年度（平成 22 年度）研究報告の要約

代表的な図



研究の目的

平成 21 年度研究報告の内容について、技術的な根拠を実証する。

研究項目と結果

1. 測定実施項目

1.1 除光液の成分分析

市販されている除光液のアセトン濃度の分析

結果：5 商品のアセトン含量は 63～84wt%

1.2 マニキュア落としでの除光液の使用量の測定

52 人が各 3 回のマニキュア落としを実施した使用量を実測。

結果：中央値 11.5g(13.5ml)、上位 10%では 19.5g(22.9ml)。

使用量中央値 11.5g が 8 畳の部屋で全量蒸発したときのアセトン平均濃度の計算値は 163ppm である。

2. 実施準備中の項目

アセトンは空気より密度が高いので下部に溜まりやすく、上記平均濃度の数倍～数十倍である可能性が高い。アセトン蒸気を発生させて乳児が寝ていた床上でのアセトン濃度の実測

3. 調査項目(他の業界での関連技術調査)

揮発性有機化合物(VOC)の削減のために塗装業界では塗装が有機溶剤の使用から水性化が推進されている事例の技術調査を実施した。

結果：水性化は塗装（マニキュアでは塗り）の技術であって、塗料除去（マニキュアでは落とし）では従来どおり有機溶剤による塗料除去が実施されている。

リスクアセスメント

平成 21 年度研究報告に同じ

リスクの低減策

平成 21 年度研究報告に同じ

意見

平成 21 年度研究報告に同じ

平成 21 年度研究報告では調査検討による推定であったことが、平成 22 年度の研究において実測で裏付けられたので、上記「研究項目 2：実施準備中の項目」の実測と並行して、具体的提案の推進を進めたい。

5.2 平成 22 年度の研究

前年度報告(平成 21 年度研究報告)の技術的根拠を明確にするため、平成 22 年度は下記の 2 項目の測定を実施し、1 項目の測定の準備をおこなった。

- (1) 除光液の成分分析 (実施)
- (2) マニキュア落とし 1 回あたりの除光液の使用量 (実施)
- (3) 室内でのアセトン濃度測定 (準備)
(1)および(2)のデータに基づき、密閉した室内での除光液より発生するアセトン蒸気の濃度の測定
以下に詳述する。

5.2.1 除光液の成分分析

- (1) 除光液には化粧品と同じく超高級品から 100 円ショップ商品まで様々な価格帯の商品があるが、商品表示ラベルの示すところでは、ほとんどの商品の主成分はアセトンー水系である。前述の事例で中毒をおこした商品 C、および 5.2.2 使用量調査で使用了商品 E を含む 5 商品(下記 A～E)を分析した。
- (2) 分析結果：表 5.1 に分析値を示す。5 商品を分析した結果、アセトンの含量は 63～84%であり、中毒に対しては有意差はない。ブランドによるアセトン含量に大きな差はない。

表 5.1 除光液分析値 単位：wt%

分析法：アセトンおよび有機成分：ガスクロマトグラフィー FID

水：カール・フィッシャー滴定法

参考：分析法の説明は、5.5 用語解説を参照

商品	A	B	C	D	E
			中毒をおこした商品		5.2.2 使用量テスト品
アセトン	78.3	72.0	83.4	63.4	75.4
水	14.2	19.3	12.8	20.7	22.4
IPA(注 2)		5.2			
酢酸ブチル			5.6	10.0	
上記の合計	92.5	96.5	101.8	94.1	97.8

注 1：商品表示ラベルによれば、上記成分の他トリオクタノイン、プロピレングリコール、メトキシケイヒ酸オクチル、ヒマシ油など爪の脱脂防止のための油脂や保湿剤

(出典：「化粧品事典」 p645、丸善(2003))、香料および染料が配合されている。

注 2：IPA イソプロピルアルコール

注 3：E はアメリカの商品で日本の商品と成分含量の大きな差はない。

注 4：D と E は美容専門学校で使用している商品であるが、使用していて性能の差は感じられないとのことであった。

5.2.2 マニキュア落とし 1 回あたりの除光液使用量の測定

- (1) 測定パネル：除光液の使用量は①使用者の属性、②使用条件などにより大幅に異なることが予想される。また選定したパネルメンバーに試験目的(除光液による中毒)を説明してから測定を実施するケースでは、注意してできるだけ少量の除光液を使用することも予想できる。今回は美容専門学校のネイル検定 3 級のための訓練時に生徒各自が使用する除光液量を測定した。
- (2) このパネルの利点は、プロになるための訓練であるため、①マニキュア落としの器具と手順が確立されていること、②落とす前に塗られているマニキュアがほぼ同程度であること、③確実にマニキュアを落とすことが必要であること、など標準的な値が得られる(再現性が期待できる)ことである。
- (3) 52 人の生徒が各 3 回(1 回に指 10 本分)マニキュア落としを実施した。マニキュア落とし前後で各自の除光液容器の重量を測定し、前後の差を使用量とする。重量測定を失念したデータを除き、計 149 のデータが得られた。データの相対累積度数分布図を図 5.1 に示す。なお、この除光液の常温の密度は 0.85 g/ml である。

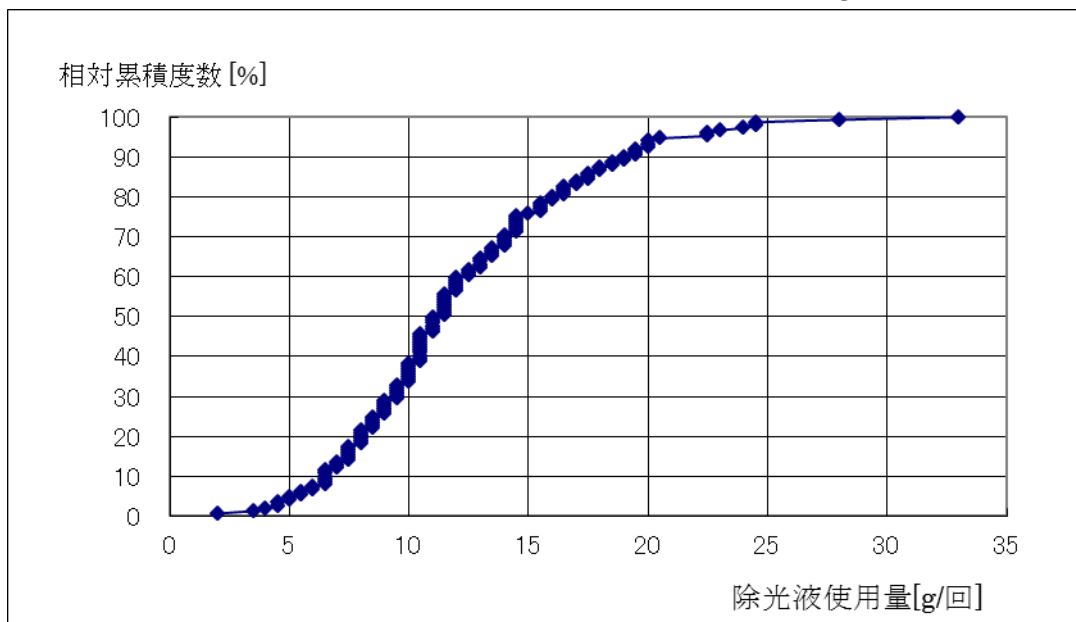


図 5.1 除光液使用量の相対累積度数分布図

- (4) 使用量の要約：平均値：12.2g(14.4ml)、中央値：11.5g(13.5ml)、6.5g(7.6ml)～19.5g(22.9ml)の間に 80%のデータが入る。

5.2.3 中毒事例（商品 C）の条件での検討

- (1) アセトン蒸気濃度の検討：密閉した 8 畳間で 1 晩寝ていた⇒使用後のコットンは多分室内かくずかごに放置し、コットンに残ったアセトンは 1 晩で全量蒸発した可能性が高いと推定され、使用した除光液のアセトン＝除光時と放置時に発生したアセトン蒸気とみなして推定する。

表 5.2 除光液のアセトンが全量蒸発と仮定した 8 畳間アセトン平均濃度推定

- A) 8 畳間の容積 : $0.9 \text{ m} \times 1.8 \text{ m} \times 2.2 \text{ m} = 28.5 \text{ m}^3$
 B) 修正容積 : 25 m^3
 C) 除光液アセトン濃度 ; 83.4 wt % (商品 C)
 D) アセトン蒸気密度 ; 2.36 g/l

平均濃度[ppm] = $1000 \times \text{アセトン蒸気量}[\text{l}] / 8 \text{ 畳間の修正容積}[\text{m}^3]$

1 回あたり使用量[g] 図 5.1 より	10%の数値(*)	中央値	90%の数値
アセトン蒸発量[g]	5.42	9.6	16.3
アセトン蒸気量[l]	2.3	4.1	6.9
アセトン平均濃度[ppm]	92	163	276

(*)：使用量が少ない方から数えて全数の 10%のケースの使用量 以下同じ

参考値：日本産業衛生学会の許容濃度勧告値：アセトン＝200ppm(表 5.3)

(2) 考察 1. 使用量

- 1) 「安全」の概念は平均値ベースでは評価できない。たとえば上位 2%の場合(このケース (約 50 人*3 回)では 3 回に相当＝過誤とはいえない)では 24g 以上(平均値の 2 倍以上)を使用していることとなり、「ふつうの人にとってはよくあること」とみるのが妥当と考える。
- 2) 手順・器具などの訓練をうけたこのパネルメンバーと異り、ふつうの人は①除光液は危害性があるという認識がなく、②5.3.2(2)に記述する防護策を使用していないケースが想定され、図 5.1 よりも使用量が多いケースが多いと予想できる。

(3) 考察 2. 危害性

- 1) 上記の参考値は成人が 8 時間労働するケースを対象にした基準であり、本事例の乳児の急性毒性のケースではどのように適用できるかは不明である。乳児の中毒についての危害の限界値は示されていない。従って「明らかに危険である」と断言できる根拠はないが、「危険である可能性が高い」と推定される。
- 2) 表 5.2 は「蒸気濃度が均一になった場合の推定値」である。実際には、5.2.3 に詳述するようにアセトン蒸気は空気の 2 倍の密度を持つために低いところに溜ま

りやすく、床に寝かされた乳児の場所は数倍～数十倍の濃度になり、より危険なレベルとなる可能性が高い。

5.2.4 密閉した室内の除光液より発生するアセトン蒸気の濃度測定

- (1) 有機溶剤を使用する作業（印刷、接着、洗浄、塗装など）においては、有機溶剤蒸気が空気より密度が大であるために下図のように低いところに溜まるので中毒になりやすいことはよく知られており、労働安全衛生法 有機溶剤中毒予防規則（略称：有機則）で換気装置の設置、定期的な有機溶剤の濃度測定、健康診断などの予防処置が義務付けられている。アセトンも対象として規定されている物質であり、成人を対象とした毒性データも多数報告されている（例：後記 5.3.5 記載の文献）。

- (2) 現在、測定の準備中である。

方法：労働安全衛生法 施行令第十三条 作業環境測定基準に準拠。平成 23 年度に実施予定。

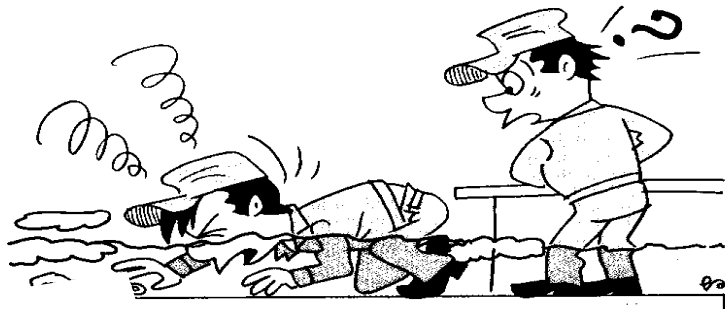


図 5.2 低所に溶剤蒸気が溜まるので屈むと中毒になる

図 5.2 の出典：中央労働災害防止協会編「有機溶剤中毒予防の知識と実践－作業用教育テキスト第 6 版」p34(2007.6.14)

5.2.5 他の業界における有機溶剤使用量削減事例の調査

- (1) 2004 年 5 月に大気汚染防止法が改正され、揮発性有機化合物(VOC)の排出抑制が図られている。印刷、塗装、メッキ、洗浄、接着などの業界で対応が進んでおり、有機溶剤を削減する技術の現状を調査した。
- (2) 塗装業界の事例：①市販の家庭用塗料はほとんどが水性塗料、②グラビアインキの水性化、③自動車の塗装は現在では「水性中塗り＋水性ベースコート＋クリヤーコート」がデファクトスタンダード化している、などがあり、③の現状について文献調査・業界技術者からのヒアリングを実施した。
- (3) 調査結果：自動車塗装の水性化はすでに一部実用化され、現在も技術進化中である。そのポイントは樹脂を水系エマルジョンとして塗装し重合させて自動車車体に密着させることである。この技術は塗装(マニキュアであれば塗り)の技術であり、塗料を除去(マニキュアであれば落とし)するときは従来の有機溶剤(たとえばテレピン油、シンナー等)が用いられていることが判明し、調査を終了した。

出典：田村吉宣「自動車塗装における水性塗料の展開と今後の動向」塗装技術、2009 年 1 月号、p57 および業界技術者よりのヒアリング

5.3 見解

5.3.1 リスクアセスメント：危険源の特定

上記の事例の経過より、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容器ではなく、室内か、くずかごにおかれ（推定）、従って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、下部に溜まりやすい(図 5.1)、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乳児が十分に大きければ、大声で泣いたり自力で逃げ出す自律的な行動をとる、などの行動の一つをとることにより、本事例の中毒を予防する可能性は大きい。しかし、本事例の危害が再発する可能性も予想でき、「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）」・「危害の大きさ(本例よりも重大なケースもありえる)」も、だれもが一度は乳児であることを考慮すれば、許容できるほど低いとまではいえない。

[要約]：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。

5.3.2 リスクの低減方策

当研究チームが作成した対策を述べる。対策は、JIS B9700-1, -2 : 2004 が示す 3 ステップメソッドに従った。

(1) 本質的な安全（危険源の除去・隔離）

上記のように、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。この危険源を無くす、もしくはリスクの大

きさを許容できるリスクの大きさ以下にすることが本質的な安全である。

対策案： 溶剤をアセトンより危害性の低い成分に変更する。

検討 1： 爪からマニキュア（塗料）を除去する機能を満足する可能性がある溶剤の候補として、マニキュアに使用されている酢酸エチルと本事例のアセトンの危害性の比較検討をおこなった。後記する添付資料 5.4.1 に検討結果を示すが、結論は「除光液への適用で、酢酸エチルがアセトンより危害性が低いとは言えない」である。

また、ペンキ、自動車用ペイント、ラッカー、油絵具などの家庭用品にも危害性のある溶剤が適用されているので調査を実施したが、有益な結果はえられなかった(5.2.4 参照)。これと同様に他業種における動向にも目配りしていく。

検討 2： ジェルを爪に塗って 10 秒程度後に水洗する方法で使用するアセトンを含まないネイルクレンジングクリームが通販で市販されているが、価格は 1260 円/15g でグラム単価が約 40 倍であり、解決とはなりにくい。

(2) 防護による安全

対策案：アセトン蒸気の室内への発散を防ぐ（美容院、美容専門学校等で実施している）。

検討 1： 除光液が有害であることを関係する組織および消費者に周知する。

検討 2： 拭き取ったあとの布（以下コットンという、事例ではティッシュペーパー）を蓋つき容器（以下キャニスターという）に入れて必ずフタをして、くずかごに捨てない。通常、振り出した除光液は半分以上コットンに残っていると考えられるのでキャニスターに入れ密閉することでアセトン蒸気の発生を防げる。キャニスターはネイル専門店から約 800 円で入手可能。

検討 3： ビンから振り出す除光液の量を一定量にするために定量押し出しポンプ付き容器（以下ポンプディスペンサーという）を用いてコットンに振り出す。ポンプディスペンサーはネイル専門店から約 800 円で入手可能。



(3) 使用上の情報

上記の(1)本質的な安全、(2)防護による安全に加えて、更に警告標示、標識、警報、安全マニュアル、などで使用者に周知徹底させる。企業の現場では、教育・訓練を徹底し、行動をチェックし修正することが可能なために(1)本質的な安全、

(2)防護による安全の占める役割が大きい。しかし消費者が家庭で使用する場合は、そもそも当該商品が有害であることを知らない場合が多く、(1)(2)の改善の結果、高価になったり使い勝手が悪くなったりするときには、改善した商品が普及するとはかぎらない。

このため、(3) 使用上の情報（特に有害性の明示）の役割（たとえ高価でも使い勝手が悪くても改善商品を使用することにより危害性を低下できることが使用の動機づけとなる＝安全のための負担は受け入れる）が重要であることが、企業活動と異なる家庭用品使用のポイントの一つであると考えている。

対策案 1. 商品に有害性と防護策を表示する

検討 1：除光液の主成分であるアセトンが有害であることおよび防護策を使用者に周知させる。後記する添付資料 5.4.2 に示すように、外国の除光液では、有害(harmful)であることとともに防護策、なかでも上記(2)－検討 2 に示す密閉容器の使用が明示されている。また、後記する添付資料 5.4.3 に示すように、他の有害物質を含む日用品（例：塗料、塗料リムーバー、防水・撥水剤、漂白剤、殺菌剤、ガビ除去剤など）では共通の「必ず換気マーク(図 5.4)」 「吸い込まないマーク」が表示され、使用上または安全上の注意として「吸い込むと有害」「必ず屋外で使用」「換気をよくしてください」「必要に応じて医師の診察を受けること」などが記載されている。この表示はメーカーなど供給側にとっても有益である可能性があるので、実現性があるのではないかと推定する。

対策案 2.： 消費者教育を実施する

検討 1：しかるべき方法で商品の有害性と防護策の消費者教育を実施する。従来多数の機関・組織で消費者教育が実施されているので、それらの機関・組織と協議して方法・教材などを検討することを考える。

(4) 危機管理

実際に危害が発生したときに迅速に対処するために、この中毒がおきる可能性と対策を医療関係者に周知する。乳児傷害の意識障害の鑑別に、除光液など有機溶剤による中毒を入れる必要がある（この項目は Injury Alert より引用）。

5.3.3 技術的検討

上記の各項目及び 5.4 添付資料に記述している。

5.4 意見・所見

- (1) 企業などの場合、機械安全のリスクマネジメントの結果に従い、リスク低減の方向に設備・手順・留意事項などが改善され、従事者に周知徹底され、毎日の活動のなかでチェックするなどPDCAサイクルをまわすことでリスク低減が達成されている。これに対し、家庭用品のケースではリスク低減の方法に従事者である消費者に周知徹底・チェックすることは困難である。

特にリスク低減した改善商品やリスク低減のための防護用商品が、高価、使い勝手が悪い、多少効能が落ちる、などの場合、消費者がリスクの存在を強く意識し、リスク低減の価値を認識することで改善商品・防護商品を購入・使用し、リスク低減が期待できる（例：幼児用シャンプーは高価で洗浄力が落ちるけれども目にしみにないので使用されている）。

一般的には、①マスメディアによる問題提起・注意喚起、②多様な消費者教育、③商品の説明書・表示、などがその役割を果たしている。

- (2) この事例でも、消費者がリスクを認識する具体的な方策が必要と考えるが、関連する機関・組織と連携してどのように進めるかが今後の検討課題である。

5.5 今後への提言

現時点で想定する今後の検討事項（案）を列記する。

- (1) マニキュア落とし時のアセトン蒸気濃度の実測により技術的根拠を明確にする。
- (2) 他の溶剤を代替使用するなどの危害性防止の可能性を他業界の動向も視野にいれて検討する。
- (3) 消費者側との協議により、①対策の評価と検討、②対策の具体的実施方法の検討、③更なる対策の検討、などを旨とする。
- (4) 消費者へのリスクの伝達、特に商品表示について推進方法を検討する。
- (5) タイミングをはかってメーカー、美容院など供給側と協議し、リスクの伝達とリスク低減対策の進展を図る。
- (6) 後記する添付資料 5.4.4 に示す「健康被害病院モニター」が報告されている。この内容およびそれらの事故に対して検討された安全対策について調査・検討する。この報告書についてご意見を頂き、今後の検討事項の重点化と具体的方法の選択を策定する予定である。

参考文献：内藤裕史 横田規子 監訳 “化学物質毒性ハンドブック第Ⅰ巻” 丸善(1999)

G.Clayton “Patty’s Industrial Hygiene and Toxicology” 第4版 USA の翻訳
同書の p69～120 にアセトンの歴大な毒性のデータが記述されているが、本報告書では引用していない。

5.6 添付資料

5.6.1 物性値

表 5.3 物性値

				参考
	溶剤 分子量	(A)アセトン 58.08	(B)酢酸エチル 88.10	(C)ラッカー うすめ液
	用途	除光液	マニキュア	ラッカー
1	管理濃度 ppm ¹⁾	500	200	50～100
2	許容濃度 ppm ²⁾	200	200	
物性値				
3	沸点 °C	56.5	77	107.9
4	蒸気圧 kPa(20°C)	24.2	10	
5	蒸気密度 (空気=1)	2.0	3.0	
6	水への溶解度	水に易溶	微量(水 8.4%)	
有害性情報				
7	特定標的臓器・全身 毒性 (単回ばく露)	1190,2400mg/m ³ /6h のばく露で鼻、喉、気 管の刺激が報告され ている	400ppm のばく露で ヒトの上部呼吸器刺 激が報告されている	
8	動物への影響 吸 入 ラット LC ₅₀ ³⁾	50,100mg/m ³ /8h	16,000ppm/6h	
9	労働安全上の法規	労働安全衛生法有機溶剤中毒予防規則第 2 種有機溶剤 通風の不十分な作業場では、第 2 種有機溶剤は第 1 種有機 溶剤と同じ設備 (密閉設備、局所排気装置、もしくはプッ シュプル型位換気装置) をするよう義務づけられている。		
10	化粧品種別許可基 準 4)による「配合で きる種別」	アイライナーを除く 全ての化粧品	爪化粧品のみ	

出典：1～7 項は MSDS：(A)と(B)安全衛生情報センター作成、(C)大阪塗料工業㈱作成、

8 項は MSDS：石油化学工業協会

注 1) 作業環境の測定管理濃度、労働安全衛生法 2004.10.1 厚生労働省改正告示

2) 日本産業衛生学会勧告値(2005 年版)

3) LC₅₀：半数致死濃度：50%が死亡する濃度、アセトンの例：1m³の室内に 50g のアセ
トン蒸気 (27°Cで 210=空気中 2vol%) があれば 8 時間後に半数が死亡する。

4) 化粧品種別許可基準 1994 による。現在は適用されていない。

結論：上記より、除光液への適用で酢酸エチルがアセトンより危害性が低いとは言えない。

5.6.2 除光液の表示例

(1)日本の除光液の表示例

表示例：

- 使用後は必ずキャップをきちんとしめてください。
- 乳幼児の手の届かない所に保管してください。
- 衣類や家具などにつくといたむことがありますのでご注意ください。
- 高温や直射日光のあたる場所を避けて保管してください。
- 中身を他の容器に移し替えないでください（容器が破損する場合があります）。
- 可燃性ですので保管および取り扱いについては十分注意してください。

成分表示例：商品①と商品②

- ①：アセトン、水、トリオクタノイン、グリセリン、ダイズ油、メトキシケイヒ酸オクチル、BHT、香料、赤225、黄4
- ②：アセトン、DPG、水、ミリスチン酸イソプロピル、オレンジ油

(2)USA の除光液の表示例：アンダーラインは作成者付記

A) 表示：A professional non-smear(油) polish remover that is especially formulated to be safe and effective on all types of nails. Fast acting and non-oily.

Directions：Moisten cotton with polish remover. Press firmly against nail surface and wipe off color from the cuticle(つけ根) to the nail tip.

Danger：Flammable! Do not use near fire or flame. Harmful if taken internally. Keep out of reach of children.

Caution：use with adequate ventilation. Avoid breathing vapors. If you experience eye watering (医学用語、涙目), headaches or dizziness(ふらつき), increase fresh air or leave area. Close container after each use. If swallowed(飲む), do not induce vomiting(吐く). Call your Poison Center or Physician(医者).

Ingredients：Aceton, Propylen Glycol, Water, Parfum

(3) コメント：USA 品にはアンダーラインの部分に

危険：体内に取り込むと有害です。

注意：換気を十分にして下さい。蒸気を吸ってはいけません。涙目、頭痛、ふらつきの時は、新鮮な空気に換気するか、室外へ出てください。使用後のコットンは密閉容器に入れて下さい。

の記述あり。

日本品にはそのような記述はない。

5.6.3 他の市販家庭用品の該当する項目の表示例

表 5.4 表示例

用途	使用上の注意または安全上の注意	成分表示	注
スプレー缶			
衣類防水スプレー	「吸い込まないマーク」 「吸い込むと有害・必ず屋外で使用」 「有機溶剤を含んでいて有害なので蒸気を吸わないように注意」	IPA、グリコールエステル	
靴防水スプレー	「吸い込むと有害・必ず屋外で使用」「スプレー噴霧を吸い込むと有害です」「閉め切った場所や車内、浴室など空気の滞留しやすい場所で絶対に使用しないで下さい」	LPG、第四類第一石油類 危険等級Ⅱ	
ラッカースプレー	「警告：有機溶剤中毒の恐れがあります」 「有機溶剤が含まれていますので塗装中、乾燥中ともに換気をよくしてください」		
シールはがしスプレー	「使用中は換気をよくして下さい。目やのどに刺激を感じたり気分が悪くなったらすぐに新鮮な空気の場所に移動し、必要に応じて医師の診察を受けること」	炭化水素、有機溶剤、ブチルアセテート、LPG	
スプレー缶以外			
消臭・除菌クリーナー	「必ず換気マーク」 換気の良いところでお使い下さい	エタノール	
☆洗濯槽カビキラー ☆パイプクリーナー ☆キッチンハイター ☆トイレハイター	「必ず換気マーク」 必ず換気をしてください。  図 5.4	例：次亜塩素酸塩、	
ラッカースプレー用リムーバー	「有機溶剤が含まれていますので長時間溶剤のニオイを嗅ぐと有害ですので換気をよくして使用して下さい」	第2石油類、有機溶剤(主成分アセトン)	

5.6.4 家庭用品吸入事故等の資料

表 5.5 家庭用品吸入事故等の資料

表 6 年度別・家庭用品による吸入事故等のべ報告件数比較表

		平成 1 8 年度		平成 1 9 年度		平成 2 0 年度	
		件数	構成比%	件数	構成比%	件数	構成比%
性別	男性	302	41.5%	333	39.5%	399	41.0%
	女性	399	54.8%	473	56.2%	543	55.7%
	不明	27	3.7%	36	4.3%	32	3.3%
年齢	0～19歳	339	46.6%	393	46.7%	414	42.5%
	20～59歳	256	35.2%	292	34.7%	382	39.2%
	60歳以上	84	11.5%	96	11.4%	104	10.7%
	不明	49	6.7%	61	7.2%	74	7.6%
原因製品カテゴリー	防虫剤	13	1.8%	22	2.6%	27	2.8%
	殺虫剤	165	22.7%	210	24.9%	221	22.7%
	洗剤・洗浄剤類	205	28.2%	258	30.6%	329	33.8%
	芳香剤類	89	12.2%	91	10.8%	92	9.4%
	乾燥剤類	4	0.5%	7	0.8%	6	0.6%
	溶剤類	4	0.5%	1	0.1%	8	0.8%
	園芸用殺虫・殺菌剤類	52	7.1%	53	6.3%	67	6.9%
	燃料類	33	4.5%	26	3.1%	39	4.0%
	その他	163	22.4%	174	20.7%	181	19.0%
発生場所	家庭内（ベランダ、庭等含む）	610	83.8%	741	88.0%	855	87.8%
	屋内（工場、学校、商店等）	68	9.3%	50	5.9%	81	8.3%
	屋外（畑、公園等）	37	5.1%	41	4.9%	28	2.9%
	不明	13	1.8%	10	1.2%	10	1.0%
摂取経路	吸入（重複を含む）	544	74.7%	634	75.3%	733	75.3%
	眼（重複を含む）	248	34.1%	278	33.0%	308	31.6%
製品形態	スプレー式	301	41.3%	368	43.7%	396	40.7%
	うち エアゾール	164	22.5%	200	23.8%	200	20.5%
	ポンプ式	137	18.8%	168	20.0%	196	20.1%
	液体	200	27.5%	237	28.1%	297	30.5%
	固形	62	8.5%	66	7.8%	87	8.9%
	粉末状	109	15.0%	103	12.2%	104	10.7%
	蒸散型	40	5.5%	52	6.2%	62	6.4%
	その他	7	1.0%	11	1.3%	15	1.5%
	不明	9	1.2%	5	0.6%	13	1.3%
合計		728	100.0%	842	100.0%	974	100.0%

出典：平成 20 年度 家庭用品等に係わる健康被害病院モニター報告 p43 厚生労働省医薬食品局 審査管理課化学物質安全対策室 平成 21 年 12 月 25 日

5.7 用語解説

1. リスクアセスメントの用語は原則として、向殿正男監修、中嶋洋介著「安全とリスクのおはなし」日本規格協会（2006）による。
2. ガスクロマトグラフィー：気化しやすい化合物の同定・定量に用いられる機器分析の手法。注入口からシリンジ(注射器のようなもの)で打ち込まれたサンプルはまず高温の気化室で気化した後、キャリアガスによってカラム(不揮発性液体を吸着させたシリカゲル、ゼオライトなど吸着材を充填)に流入する。ガスがカラムを流通するに従い各成分は吸着材に吸着・脱着をくりかえすことで分離された後、検出器によって電気信号に変換される。時間を横軸に、検出器から得られる信号強度を縦軸にとることでクロマトグラフが得られ、保持時間から物質の同定、クロマトグラフの高さまたは面積から定量をおこなう。
3. FID : Flame Ionization Detector、水素炎イオン検出器: 物質を水素炎中で燃焼することによって発生するプラズマ電子を検知するもの。C-H 結合を持つ化合物に対して感度が高い。
4. カール・フィッシャー滴定法：液中の水分の測定に一般的に適用される電量滴定法。滴定セルの主室には陰極液と試料が入れられる。陰極液はアルコール、塩基、二酸化硫黄、ヨウ化物イオンからなる。滴定セルには陰極を陰極液に浸した小室もあり、2つの室はイオン透過膜で仕切られる。回路により電流が通ぜられると白金陰極上でヨウ素が生じる。1モルの水分子に対して1モルのヨウ素が消費される。滴定の終点に達するまでに要したヨウ素を発生させるための電流量から試料に含まれていた水の量が計算できる。

(以上)

第6章 流水水泳プールによる吸い込まれ事故

6.1	平成 22 年度研究の要約	102
6.2	事実	103
6.2.1	事故の概要	103
6.2.2	事故の経過	104
6.2.3	当時の対策	105
6.2.4	その後の対策	105
6.2.5	司法による判断	106
6.2.6	遺族家族との和解	106
6.2.7	ふじみ野市事故調査報告書の作成上の問題点	106
6.3	水泳（遊泳）プールの吸い込みの危険源（ハザード）	107
6.3.1	危険源（ハザード）	107
6.3.2	循環ポンプ	107
6.3.3	循環ポンプの吸い込みリスク	108
6.3.4	流水プールの吸い込みリスク	109
6.4	現地調査	110
6.4.1	調査の概要	110
6.4.2	取水ます	113
6.4.3	棚板受け及び保護柵取付ビス孔の状況	114
6.4.4	保護柵	119
6.4.5	保護柵のねじ穴位置と棚板受けのネジ孔位置のずれ	122
6.4.6	取付ビスの状態	124
6.4.7	保護柵とその固定方法への考察	124
6.5	吸い込み力の実験	127
6.5.1	背景	127
6.5.2	実験装置	127
6.5.3	吸い込まれる力の測定	128
6.5.4	実験データより大井プールの吸引力を求める	131
6.6	リスクの低減方策	132
6.7	所感	133
6.7.1	設計、施工、維持管理	136
6.7.2	格子状の保護柵の採用について	137

6.7.3	保護柵が外れないための工夫	137
6.7.4	吸い込み防止金具の設置	138
6.7.5	非常停止押しボタンの設置	138
6.7.6	起流ポンプの起動押しボタンの位置	138
6.7.7	本質的に安全にするための工夫	139
6.7.8	施工監理とリスクアセスメント	139
6.8	プールの安全標準指針の検討	140
6.8.1	優先順位明確化	140
6.8.2	指針が要求する防護柵と吸い込み防止金具の 2 重化	140
6.8.3	指針の内容が抽象的あるいは定性的である	141
6.8.4	ヒューマンエラーの要因について考慮すべきである	141
6.9	技術的な提案	142
6.9.1	プール底面に溝状の排水口がある場合	142
6.9.2	プール壁面に取水ますがある場合	143
6.9.3	プールの底面に上向きの小型取水ますがある場合	144
6.9.4	吸い込み防止金具の形状の検討	145
6.9.5	緊急停止ボタンの設置等を実施	146
6.9.6	残留リスクを「使用上の情報」として提供	146
6.10	今後への提言	147
6.11	添付資料	148
6.11.1	実験装置のデータ	148
6.11.2	吸水口近傍で受ける流体力の簡易計算と実験の比較	150
6.11.3	大井プール図面	157
6.11.4	ねじ、ビス、ボルト、タッピングビスの用語	160

6. 流水水泳プールによる吸い込まれ事故

水泳（遊泳）プールは日本全国に数万箇所あり、子どもの遊泳中の事故が毎年生じている。これらの事故のうちで吸水口（循環ポンプ）あるいは排水口への吸い込まれる事故ですでに 56 人¹⁾の子どもが死亡した。2010 年も愛媛県のクアハウスで吸い込まれ事故が発生したが、たまたま居合わせた救命救急士と医師の迅速な措置で一命を取り留めたのは記憶に新しい。本報告書は、こうした吸い込まれ事故を埼玉県ふじみ野市ふじみ野大井プールの事故事例を検証することを通じて、**既存のプールに工学的な配慮で防止する方策**を検討したものである。

6.1 事故の概要と研究の要約

発生日時	2006 年 7 月 31 日 午後 1 時 40 分頃
発生場所	埼玉県ふじみ野市 市営 大井プール
事故の概要	市営の流水プールで、小学 2 年生（7 歳）の女兒が取水口に頭から吸い込まれた。取水ますは縦 600mm、横 1200mm の大きさで、2 枚のステンレス製防護柵が針金で取り付けられていたが、事故直前に 1 枚が外れていた。 女兒は取水ますから数 m 奥の口径 300mm の吸水配管の中から 6 時間後に発見されたが搬送された病院で死亡が確認された。
リスクアセスメント	水泳プールには様々なリスクがあるが、本報告は吸い込まれ事故について工学的な分野に絞って検討する。 水中における捕捉の危険源（吸い込まれ）。危害の大きさ：死亡。
リスクの低減策	【本質的安全設計方策】取水口または配管口に身体の一部が密着しても危険な吸い込み力が発生しない、既存施設へも適用出来る、低コスト・メンテナンスフリーの本質的に安全な方策を提案する。 【安全防护・付加の保護方策】防護柵の構造と取付方法を改善する。非常停止押しボタンの設置が必要。防護柵が外れるとポンプが停止するインターロック回路も有効である。
意見	本件防護柵は、遊泳者を吸い込まれリスクから防護する唯一の方策であったが、設計、施工、管理のいずれにも問題があり事故を防げなかった。事故防止への国の施策に 1979 年以降の通達類と本件事故後に国交省、文科省から出された安全指針がある。指針は既存プールの取水ますの蓋と配管口への吸い込み防止金具の二重構造を要求し、その取付ねじ・ボルトの点検を毎時行う様規定している。すなわち人による保守管理に依存する安全方策である。大きなリスクが残存している排水・吸水・循環水配管設備には本報告に示す本質的安全対策が必要であり、また安全指針はリスクの少ない安心して泳げるプールへの積極的な技術指針を含めていただきたい。

6.2 事実

6.2.1 事故の概要

(1) 発生日時

2006 年 7 月 31 日 午後 1 時 40 分頃

(2) 発生場所

埼玉県ふじみ野市大井武蔵野 1393 番 1 市営大井プール

(3) 事故の概要

市営の流水プールで遊泳中の小学2年生（7歳）の女兒が吸水配管に頭から吸い込まれて死亡した。プールは、水深1.0m、幅5.0m、外周長121.6m、水面積538.25m²の大きさで、10m³/分の容量のポンプ3台が流れを起こしている。流水プール外周壁面の3箇所に取水ますがあり、取水ますのプール側開口部（以下、取水ます開口部という）には防護柵が設置されていた。

プール全景を図 1 の写真（管理棟 2 階から撮影、2010-5-28）に示す。左側面の灰色のオーニングを掛けられているあたりに吸い込まれ事故が発生した取水ますと起流ポンプピットがある。

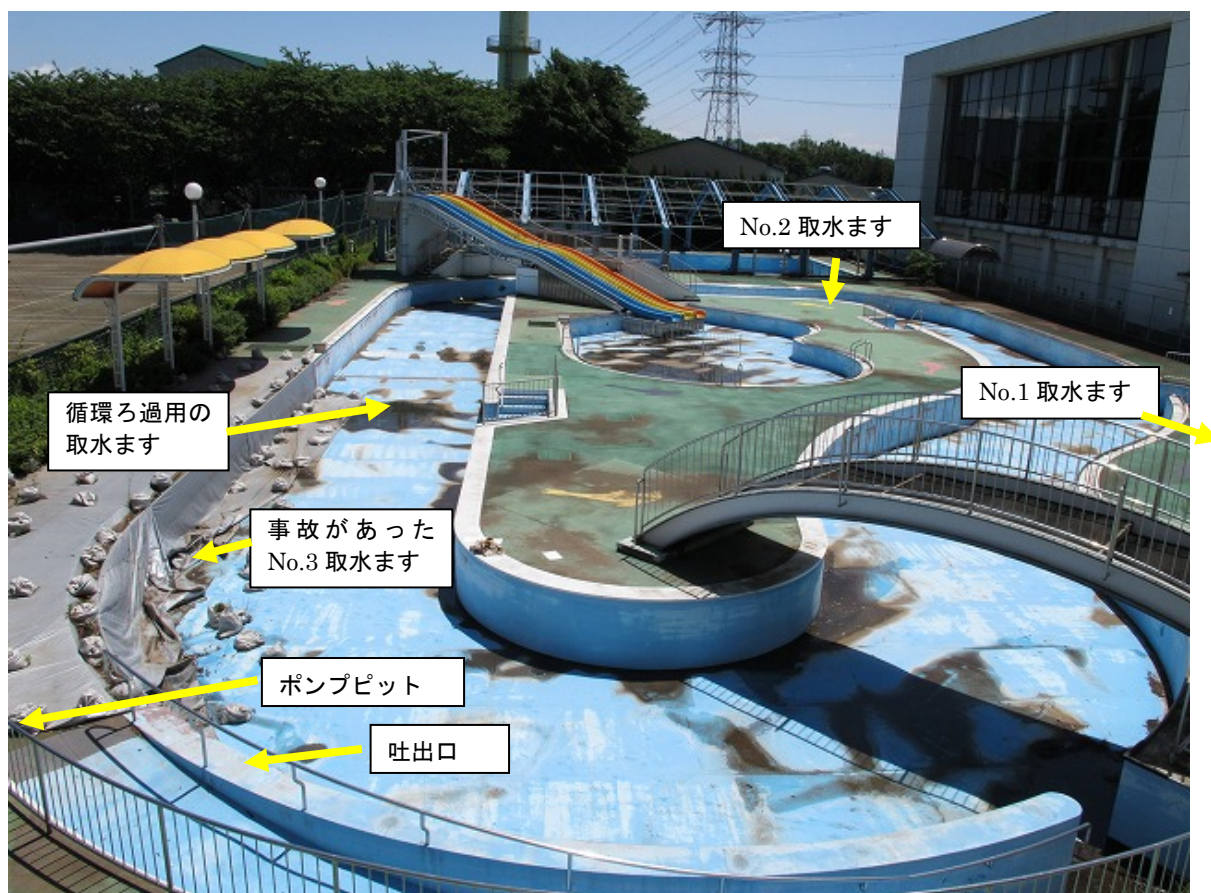


図 1 ふじみ野市大井プール全景（監視室、管理棟 2 階より）

6.2.2 事故の経過

- (1) 夏休みの 7 月 31 日、ふじみ野市市営大井プールは、プール管理委託を孫受けしていたビル管理会社の社員である現場責任者と 13 人のアルバイトの監視員の監視のなか、営業していた。
- (2) 午後 1 時 30 分頃、小学 3 年生の男児が防護柵の 1 枚が外れているのを水中で発見し、近くの監視台にいた監視員に防護柵を渡した。監視員は蓋を監視台に立て掛け、事務室に連絡した。連絡を受けた現場責任者が別の監視員と現場に到着した。現場責任者は、取水ますに近づかないように遊泳者に呼びかけることを監視員に指示し、修理道具を事務室へ取りに戻った。
- (3) 午後 1 時 40 分頃、母親と 2 人の兄と同級生でプールに遊びにきていた所沢市在住の小学 2 年生の女儿が取水ますに近づいたのに気が付いた監視員が警告したが、女儿は取水ますに吸込まれてしまった。

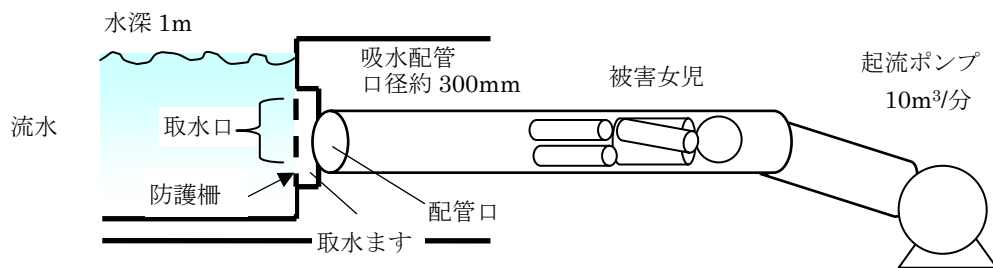


図 2 代表的な図



図 3 救出活動の様子（NHK テレビより）

- (4) 取水ますは高さ600mm、横幅1200mm、奥行200mmの大きさで、2枚のステンレス製防護柵が取り付けられていたが、事故直前に1枚が何らかの原因で外れ、監視員が注意を呼び掛けていた。
- (5) 午後1時50分頃、「女儿が吸水口に挟まれている」との市営大井プールからの通報を受けた消防隊員らは現場に急行したが女儿はすでに吸水配管内に吸い込まれていた(図3)。プールの水を抜き、重機を使って吸水配管を掘り出した。女儿は事故発生から約6時間後に取水ますから数m奥の口径300mmの配管湾曲部で見つかり、病院へ搬送されたが死亡が確認された。
- (6) 死因は、頭蓋底骨折、脳幹損傷等による脳幹損傷の傷害で、死亡に至った。

注記:6.2.2は、ふじみ野市発行の事故報告書²⁾³⁾及びさいたま地裁の判決文⁴⁾に従って記述した。吸水配管は、呼び径300Aの配管用ステンレス、塩ビおよび炭素鋼管(外形318.5mm、肉厚6.9mm、内径は約305mm)である。ここでは、ふじみ野市の調査報告書にならって口径300mmと表記した。

6.2.3 当時の対策

- (1) ふじみ野市長は管理責任を認め、各施設に安全確認の徹底を指示し、市営プールの使用を中止した。
- (2) 埼玉県は、県内のプール管理の実態調査を行った。吸排水口の点検基準がない施設は42%、吸排水口の防護柵が外れた場合の緊急時対応マニュアルがない施設は71%という調査結果であったので、埼玉県は8月24日すべてのプール開設者に「学校プールの安全管理指針 ～排(環)水口による吸い込み事故防止のために～」を発行した。
- (3) 厚生労働省は8月1日、都道府県や政令市などに対し、事故の再発防止のため、遊泳用プールの吸い込み事故の防止策などを定めた施設基準(2001年策定)の徹底を求める通知を出した。
- (4) 文部科学省は8月1日、各都道府県の教育委員会に、学校や公営施設のプールの安全点検実施と結果の報告を求めた。その結果、学校や公営施設のプール延べ1901ヶ所で吸排水口に安全対策の不備が見つかり、8月8日に文部科学省は、それらのプールは使用を中止するか応急措置をとるよう通知した。
- (5) ふじみ野市は、9月29日に、ふじみ野市事故調査報告書²⁾を発行した。
<http://www.city.fujimino.saitama.jp/profile/policy/jikocho.html>
- (6) ふじみ野市は、市営大井プールの使用中止を継続した。

6.2.4 その後の対策

- (1) 国土交通省、文部科学省、厚生労働省、経済産業省で連絡調整会を立ち上げ、2007年3月29日に「プールの安全標準指針」⁴⁾を公表した。

- (2) 文部科学省は毎年 5 月頃に学校プールに関する通知を発行している。
- (3) ふじみ野市は 2009 年 8 月に事故に関する再調査報告書をまとめた⁽³⁾。
- (4) ふじみ野市は大井プールを 2010 年 12 月から解体し 2010 年度に完了する予定である。
事故の救助活動等で施設が破損した上、老朽化が進んで改修の費用がとてつ大きい
と説明されている⁽⁶⁾。

6.2.5 司法による判断

業務上過失致死罪に問われた、元ふじみ野市体育課長に禁固 1 年 6 月、執行猶予 3 年を、元同課管理係長に禁固 1 年、執行猶予 3 年をさいたま地裁は 2008 年 5 月言い渡し、控訴、上告を経て確定（2009 年 8 月）した。当初起訴猶予された下請け業者 2 人は 2009 年 3 月略式起訴され罰金刑を受けた⁽⁶⁾。

6.2.6 遺族家族との和解

和解が成立した。2007 年。

6.2.7 ふじみ野市事故調査報告書の作成上の問題点

- 1) 委員 9 名、内 3 名が当事者である市の助役、部長、教育委員会次長であるので中立公正さに疑問の余地がある。
- 2) 委員の内、技術者は市川孝治氏（プラント設計エンジニア）1 名である。氏の技術的バックグラウンドは不詳なので、技術者あるいは学識経験者として適格か判断する材料がない。なお、氏は技術士ではない。
- 3) 管理と外注に主眼をおいて調査している。しかしながら重要な管理委託先である下請けから、警察による捜査が入っていることを理由に調査協力を拒まれており現場の管理の実態把握が出来ていない。
- 4) 設計、施行、管理・メンテナンス（例、なぜ針金を使用したか）の調査が全く不十分である。
- 5) 現地視察は報告書によると短時間の 1 回のみであり、十分な現場調査が出来ていないように思える。

6.3 水泳（遊泳）プールの吸い込みの危険源（ハザード）

水泳プールには、水泳中の溺れ、飛び込み時にプール底への激突、プール水の衛生上の問題などのリスクがあるが、本報告書では吸い込まれの事故について検討する。

6.3.1 危険源（ハザード）

水泳プールにおける吸い込まれ事故の危険源は取水のための開口部である。取水は、プール水の衛生状態を保つためのろ過・消毒のおこなう日常的な循環と、プールの水を入れ替えるための排水（年に1, 2回）する場合である。ウォータースライドでは滑走路へ流すための取水があり、流れるプールでは起流のための大型ポンプを使用して取水口から大量にプール水を取水し循環している。

6.3.2 循環ポンプ

プール内の水の水質を維持するために、水を循環ろ過し、塩素あるいは水道用次亜塩素酸ナトリウムで消毒する。この運転のため、取水ます、ポンプ、循環ろ過設備、消毒設備、送水設備を持つ。この循環を行なうために、プール内に1箇所又は複数個所の取水ますと吸水配管を備える。図4に一般的なプールのフローシートを例示する。図4の場合は循環と排水の危険源は同じ取水ますにある。

水の循環のためのポンプ設備は、1日にプールの水を4回から6回循環（4ターンから6ターンという）できる容量がある。一般のプールの循環流量は、 $25\text{m} \times 12\text{m} \times 1.2\text{m} = 360\text{m}^3$ の容量のプール水を1日で6ターンするとすれば、 $360 \times 6 / 24 / 60 = 1.5\text{m}^3/\text{min}$ となり吸水配管は口径100mmから150mm程度である。

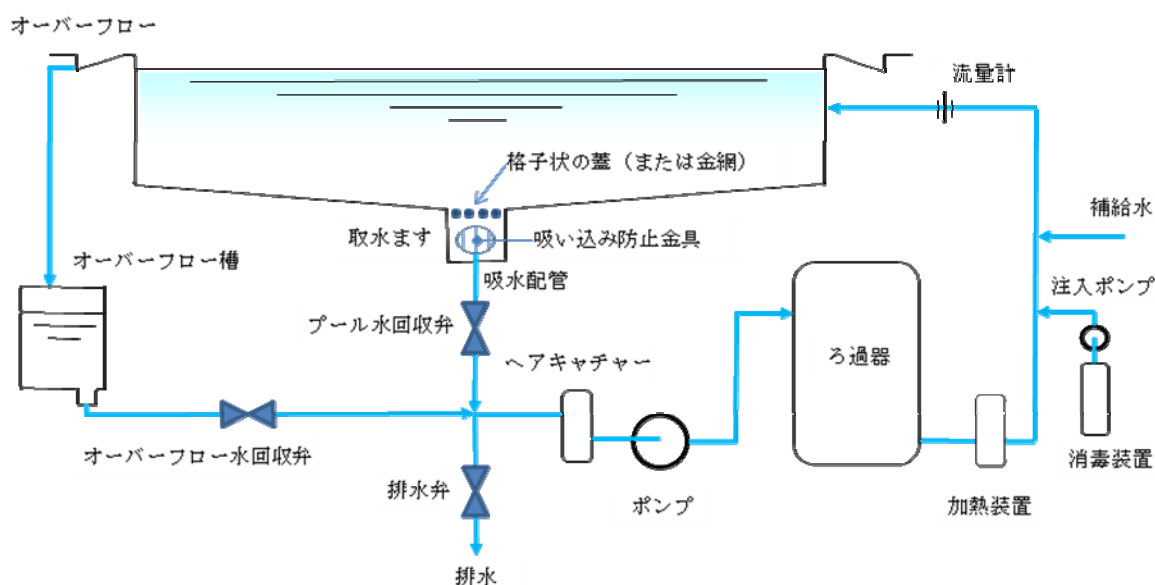


図4 循環ろ過設備フローシート（一般的な例）

6.3.3 循環ポンプの吸い込みリスク

循環ポンプの運転には、次の吸い込み、吸い付きのリスクがある。

- (1) 循環、或いは排水の目的で、ポンプの運転により吸水配管に水を流すと、管内の圧力は流れる水の流速の二乗に比例して低下する。この管内の圧力と停止しているプール内の水の圧力差が取水口での流れを生じ、水中の物体が流れ込む（吸い込まれる）動きを発生する。この現象は、洗面台に溜まった水を流しながら止め栓を排水口に近づければ容易に体験できる。
- (2) ポンプ等で一定の流量で水を流しているとき、吸水配管に物体が近寄ると水の流れが阻害されてさらに吸い込み流れの流速が上がり、流れる水の圧力も下がるため、吸引力は強くなる。口径 150mm のパイプとポンプによる実験結果（配管中の流速は 3m/s）では、吸込み口の約 100mm 位の距離では約 10N（約 1kgf）の力であるが、更に接近すると距離の自乗に反比例して急速に増大する。直径 180mm の円板を吸い込み口から 50mm に接近させると 100N（約 10kgf）の吸引力が発生する。180mm の円板より大きい人体では更に大きな吸引力になる。
- (3) 吸水配管口の一部が人体によってふさがれている状態（以下、閉塞状態という）であると、吸引力はさらに増大する。口径 150mm のパイプの入り口を直径 100mm の円板でふさぐと口径の断面積は 44%になる（これを閉塞率 44%という）では 180N（約 18kgf）に、64%の閉塞率では 900N（約 90kgf）にも達した。90%を超えるような閉塞状態では、ポンプの特性により水の流量が減るので水流による吸い込み流れによる圧力低下は少なくなるが、ポンプ内の負圧（真空に近くなる）により吸引力は継続する。実験の詳細は 6.11.1 を参照。
- (4) その結果として、人は吸い付かれて、配管口に捕捉されて脱出出来なくなる。
- (5) 吸い込まれ、あるいは吸い付かれた状態に捕捉された人が自力で脱出することは非常に難しい。救助は困難であり、ポンプの停止が必要である。または排水弁が備わっているときには排水弁の閉止が必要である。
- (6) 防護柵の存在が遊泳者の安全確保に必要であり、防護柵は十分な強度と耐久性を持たなければならない。この防護柵は少なくとも吸水配管口から最低限 100mm、安全率 2 倍と設定すると 200mm の距離が無ければならない。
- (7) したがって防護柵が正しく取り付けられていることと、取り付けねじ・ボルトの状態を定期的に点検することでプールの安全は保たれる。しかし、これは安全を人の点検作業に依存していることであり大きなリスクがある。

6.3.4 流水プールの吸い込みリスク

流水プールは、水路が楕円形でプール水全体がポンプの力でゆっくり川のように流れている。このポンプを起流ポンプと呼ぶ。ふじみ野市大井プール流水プールでは、起流ポンプは1台毎分10m³の容量で3台の合計容量は毎分30m³であり、吸水配管は口径300mmである。また取水口（起流吸い込みボックスと事故調査布告書²⁾では表記している）はプール側壁に設置されていた。ふじみ野市大井プールの流水プールは、起流ポンプの他に1時間当たり180m³のろ過装置がある。起流用のポンプと配管は、ろ過・消毒用の設備の12倍の循環水量があり、配管口径、配管数、ポンプ容量が大きい。その対比を表1に示す。

表 1 流水プールのろ過設備容量と流水用設備容量の比較（ふじみ野市の例）		
	ろ過・消毒用	流水用（起流）
循環させるプール水量 （1日あたり）	600m ³ ×6=3,600m ³	3×10m ³ ×60×24 =43,200m ³
配管口径	150mm 1本	300mm 3本
ポンプ容量	3m ³ /min 1台	10m ³ /min 3台
配管内平均流速	2.83m/s	2.37m/s
ろ過装置能力	1時間当たり 180m ³	（なし）

従って、流水プールでは、6.3.3の(1)から(6)に次のようなリスクが加わる。

- (7) ポンプ容量が大きいので、取水口から離れたところでも取水口に向かう水流があり、取水口に人体が吸い寄せられる可能性がある。
- (8) 吸水配管の口径が大きい（ふじみ野市大井プールでは口径300mm）ので、子どもであれば身体全体が吸水配管に吸い込まれる。

このリスクによる危害の大きさは、水面下数十cmに人が捕捉されて呼吸が出来なくなり、溺死という死亡事故となる。発見救出が早ければ一命を取り留めるが、ふじみ野市の事故の場合は吸水管口径が300mmと大きく女兒が吸水配管の奥まで吸い込まれて死亡する痛ましい事故であった。

6.4 現地調査

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。

6.4.1 調査の概要

ふじみ野市大井プールは、2006年の事故以来閉鎖されていたが、その保存状態は良好であった。

プール全体の見分から始め、流水プールの構成、管理棟内の電気室、事務室、監視室、流水プールの取水ます、取水配管口、防護柵の取付方法、防護柵の構造と寸法、ポンプピットなどを見分した。なお本年度の現地調査に先立って平成22年度に実施した文献調査は、ふじみ野市の調査報告書、図面、裁判資料および入手可能な通達、報告、文献やネット記事などを使用しておこなっている。調査の詳細は平成22年度報告書を参照願いたい。

大井プールには、流水を起こすための起流ポンプが3式と、プール水の衛生状態を維持するための循環ろ過設備1式がある。流水用の取水ます（図5の写真）はプール側壁の3箇所に、起流ポンプは取水ますから数メートルはなれたプールサイドの床を掘ったピット内（図6）に設置されている。起流ポンプよりの吐出口（図7）は、取水口の下流側数メートルのプール側壁にある。吸水配管口／配管とポンプおよび吐出口は1対1対1で接続されている。



事故が発生した取水ますに事故発生前に付けられていた防護柵を取り付けた様子。プラスチック袋などは警察によるもの。
撮影 2010/9/27

図 5 取水ますと防護柵



ポンプへの配管は救出活動のため取り外されている

図 6 流水ポンプピット



縦桟うち3本は警察の検分のために切り取られている

図 7 プール側壁と吐出口

循環ろ過用の取水ますはプール底面（図 8 の矢印）の 1 箇所 5m 幅のプールを横断するような形で設置され、プール側壁側のます内に吸水口（図 9）の 1 箇所がある。ポンプとろ過設備、消毒薬注入設備は機械室にある。ろ過し消毒薬が注入された循環水はプール水の衛生状態を維持出来るよう分散してプールに戻される。吐出口は各所に分散しているが総数は未確認である。



図 8 循環ろ過用の取水ます



図 9 循環ろ過用の取水配管口

これら 4 台のポンプの始動と停止は管理棟 1 階の機械室内の電気制御盤表面の押しボタンスイッチによりおこなう。この機械室は常時施錠されている。4 台のポンプの停止スイッチと非常停止押しボタンは、プールサイド、監視室（管理棟 2 階）、事務室（管理棟 1 階）には無い。

6.4.2 取水ます

3箇所の取水ます（起流吸水込みボックス）の状況は以下の通りである。



図 10 吸水ます No.1

吸水込み配管口：445x312
吸水配管口径（内径）：約 310mm
配管のますへの取付角度：約 60 度

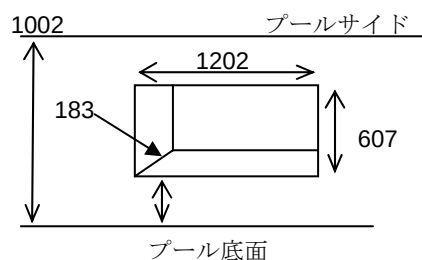


図 11 吸水ます No.2

吸水配管口径（内径）：約 310mm
配管のますへの取付角度：約 60 度

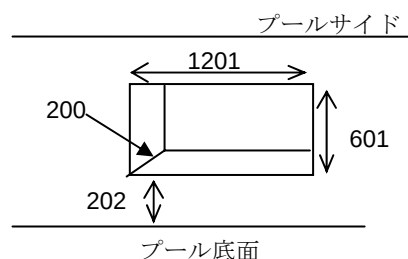
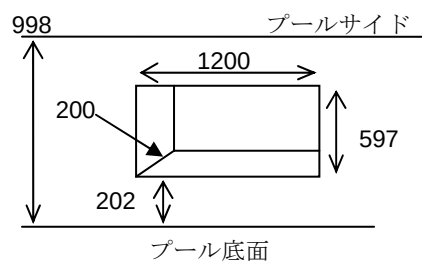


図 12 吸水ます No.3

事故が発生した場所である。

吸水込み配管口：452x316
吸水配管口径（内径）：約 310mm
配管のますへの取付角度：約 60 度



【共通】 吸水配管開口部に、吸水込み防止金具は無く、また付けられていた跡も無かった。

6.4.3 棚板受け²⁾ (カバー受け)³⁾ 及び保護柵取付ビス孔の状況

3箇所取水ますのそれぞれには2枚の保護柵(約600×600)が取り付けられる。保護柵は4本のM5ビスで取水ますにねじ止めする構造であり、ビス穴は保護柵の4隅近傍にある。

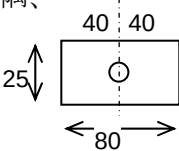
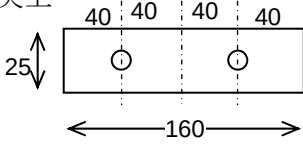
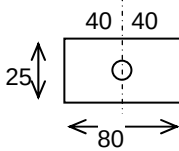
注1) 起流ポンプの吸い込み口がある取水ますのこと。ふじみ野市調査報告書で使用している名称を引用した。

注2) 保護柵を取り付ける金具のこと。ふじみ野市調査報告書の本文で使用している名称。

注3) ふじみ野市調査報告書のページ12、13の図中で使用している名称。2)と同じ意味。

(1) 棚板受けの設計寸法

取水ますの内側に、保護柵を取り付ける棚板受けが、左上隅、上中央、右上隅、左下隅、下中央、右下隅にあり、取水ますに溶接されている。隅にあるものはSUS304 80 x 25 x 3のFB(フラットバー)2辺を取水ますに溶接され、中央にあるもの:SUS304 160 x 25 x 3のFBに1辺を溶接されてある。取水ますはSUSの枠で外部から補強されている。表2に図面の指定を示す。設計図面ではタッピングビスが指定されているが、タッピングビスのサイズ指定は無い。

表 2 設計図面による棚板受け (カバー受け) と保護柵取付ビス孔		
左上隅、  80 x 25 x 3 の FB	中央上  160 x 25 x 3 の FB	右上隅  80 x 25 x 3 の FB
左下隅 上図に同じ	中央下 上図に同じ	右下隅 上図に同じ

(2) 棚板受けのねじ孔の状況

3 箇所の取水ますに取り付けられている棚板受けのねじ穴の状況と拡大写真を以下に示す。

1) No.1 取水ますと保護柵取付孔の状況

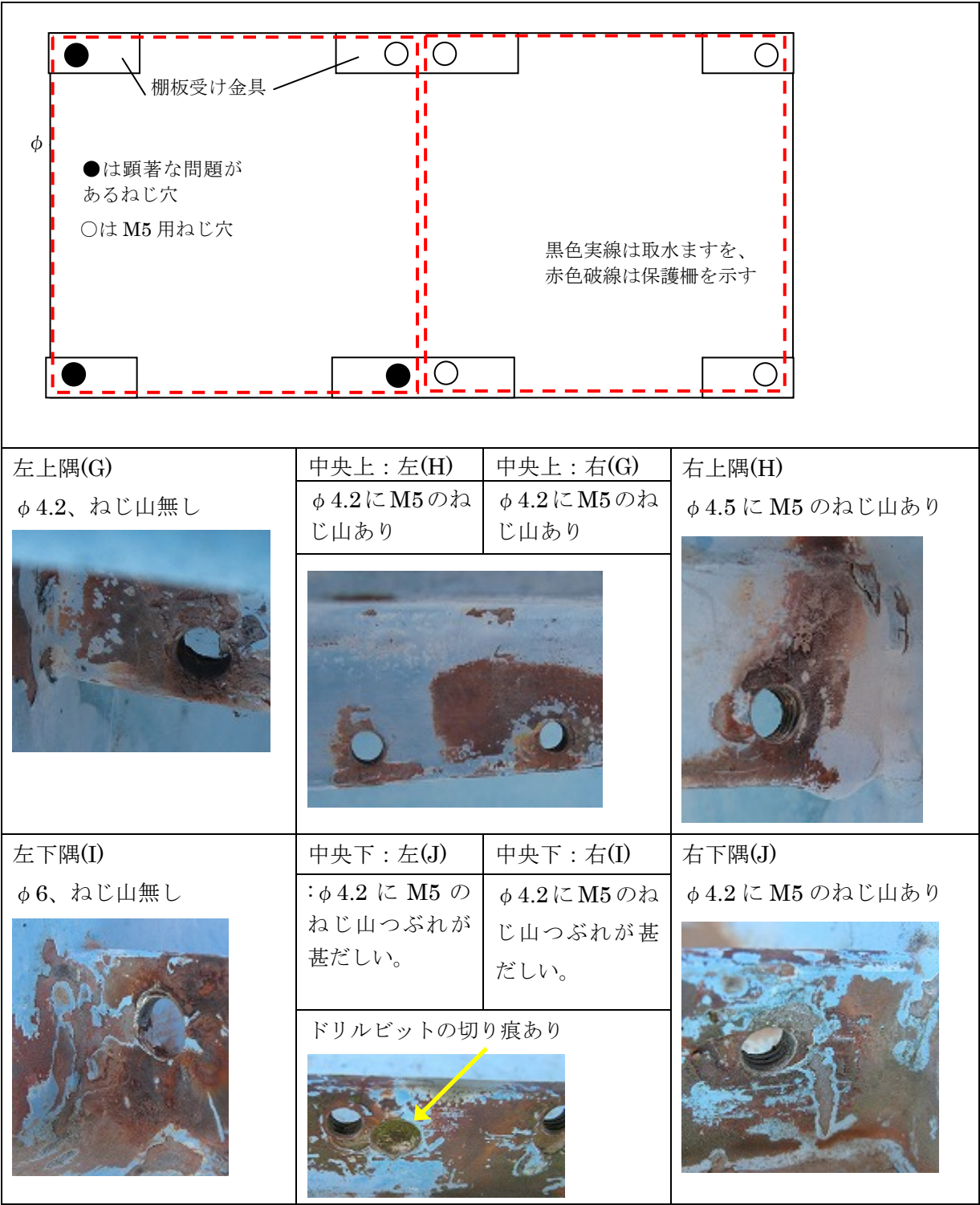


図 13 No.1 取水ますと保護柵取付穴の状況

2) No.2 吸水ますと保護柵取付孔の状況

左上隅(G) φ 4.2 に M5 のねじ山あり	中央上：左 (H)	中央上：右 (G)	右上隅(H) 切れた鉄ねじが残留しねじ穴をふさぐ。細い孔(1mm)が貫通。
	φ 2.8 貫通孔、	φ 4.2 に M5 ねじ山	
左下隅(I) φ 4.4 に M5 のねじ山、ねじ山つぶれが甚だしい。	中央下：左(J)	中央下：右(I)	右下隅(J) φ 4.3、ねじ山の痕跡あり、ねじ山つぶれが甚だしい。
	φ 4.4 に M5 ねじ山、ねじ山の損傷が著しい。	φ 4.4 に M5 ねじ山、ねじ山の損傷が著しい。	
ねじが左側に寄っている			

図 14 No.2 取水ますと保護柵取付穴の状況

3) No.3 吸水ますと保護柵取付孔の状況

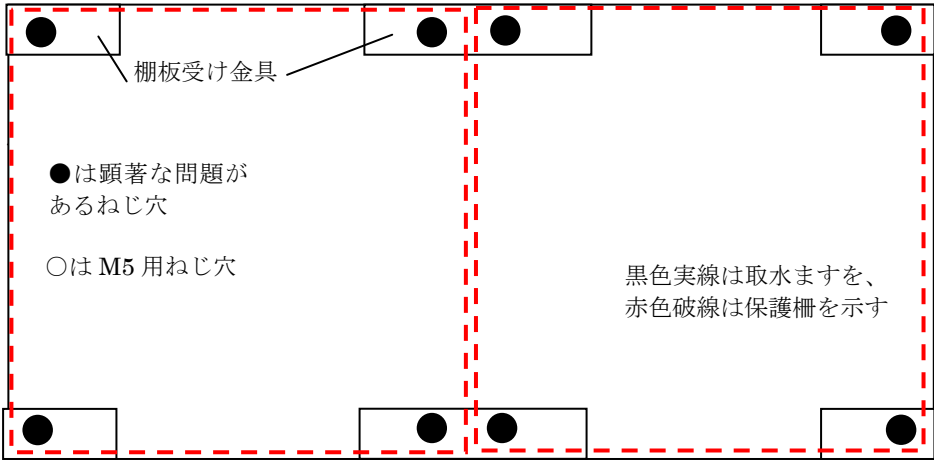
 柵板受け金具 ●は顕著な問題があるねじ穴 ○は M5 用ねじ穴 黒色実線は取水ますを、赤色破線は保護柵を示す φ			
左上隅 切れた鉄ねじの部分が残留し塞いでいる。細い孔(1.5mm)が貫通している。	中央上：左 φ 4.4、ねじ山つぶれが甚だしい。	中央上：右 φ 4.4、ねじ山つぶれが甚だしい。	右上隅 φ 4.4、ねじ山つぶれが甚だしい。
			
左下隅 φ 4.4、ねじ山つぶれが甚だしい。	中央下：左： φ 4.4、ねじ山つぶれが甚だしい。	中央下：右： φ 4.5、ねじ山つぶれが甚だしい。	右下隅 φ 4.4、ねじ山つぶれが甚だしい。
			

図 15 No.2 取水ますと保護柵取付穴の状況

(3) 棚板受けのねじ孔の相互の距離

取水ますの棚受け板のねじ孔位置は表 3 のように大きくばらついている。保護柵のねじ穴との比較は次節 6.4.4 で述べる。

表 3 吸水ます棚受け取付ネジ穴位置実測値						
位置	1 左	1 右	2 左	2 右	3 左	3 右
A	565	566	564	568	567	567
B	567	565	563	570	567	567
C	571	569	571	571	567	567
D	568	572	572	568	566	574
E	802	804	805	801	800	801
F	805	803	803	808	803	807
G	4.2穴	タップ	4.2タップ	4.2タップ	*1	4.4タップ*
H	タップ	4.5タップ	2.8穴	*2	4.3タップ*	4.4タップ*
I	6.0穴	タップ	4.4タップ	4.4タップ	4.4, タップ*	4.5タップ*
J	タップ*	タップ	4.4タップ	4.3タップ	4.4タップ*	4.4タップ*

*：ねじ山の損傷が著しい箇所

* 1：鉄ねじが残留しねじ穴をふさぐ。細い孔（1.5mm）穴の貫通

* 2：鉄ねじが残留しねじ穴をふさぐ。細い孔（1mm）が貫通。

6.4.4 保護柵

(1) 保護柵の外形

保護柵は、1箇所の取水ますに対して2枚、合計6枚がある。取水ます(約600Hx1200Wx200D)の内側にはめ込み、柵板受けにM5ビスで取り付ける。保護柵の外形寸法は、598H x 598W x 25D mmで6枚ともほぼ同じである。保護柵の構造は、図16に示すように25 x 25 x 3 mmのLアングル(SUS304)と25x3tの板材(SUS304)で598 x 598 mmの枠に、16φ1.5t、SUS304のパイプ16本を36mmピッチ(パイプとパイプの隙間は20mm)で組み付けた縦格子状の柵である。



図 16 保護柵の写真（事故のあった No.3 取水ますの左側の保護柵）

(2) 設計図面にある保護柵のねじ穴と実際のねじ穴の位置

防護柵の取付は、設計図面（図 6-15）によれば保護柵 1 枚当たり 4 箇所の取付穴（穴サイズの指定は無い）を開けることになっている。

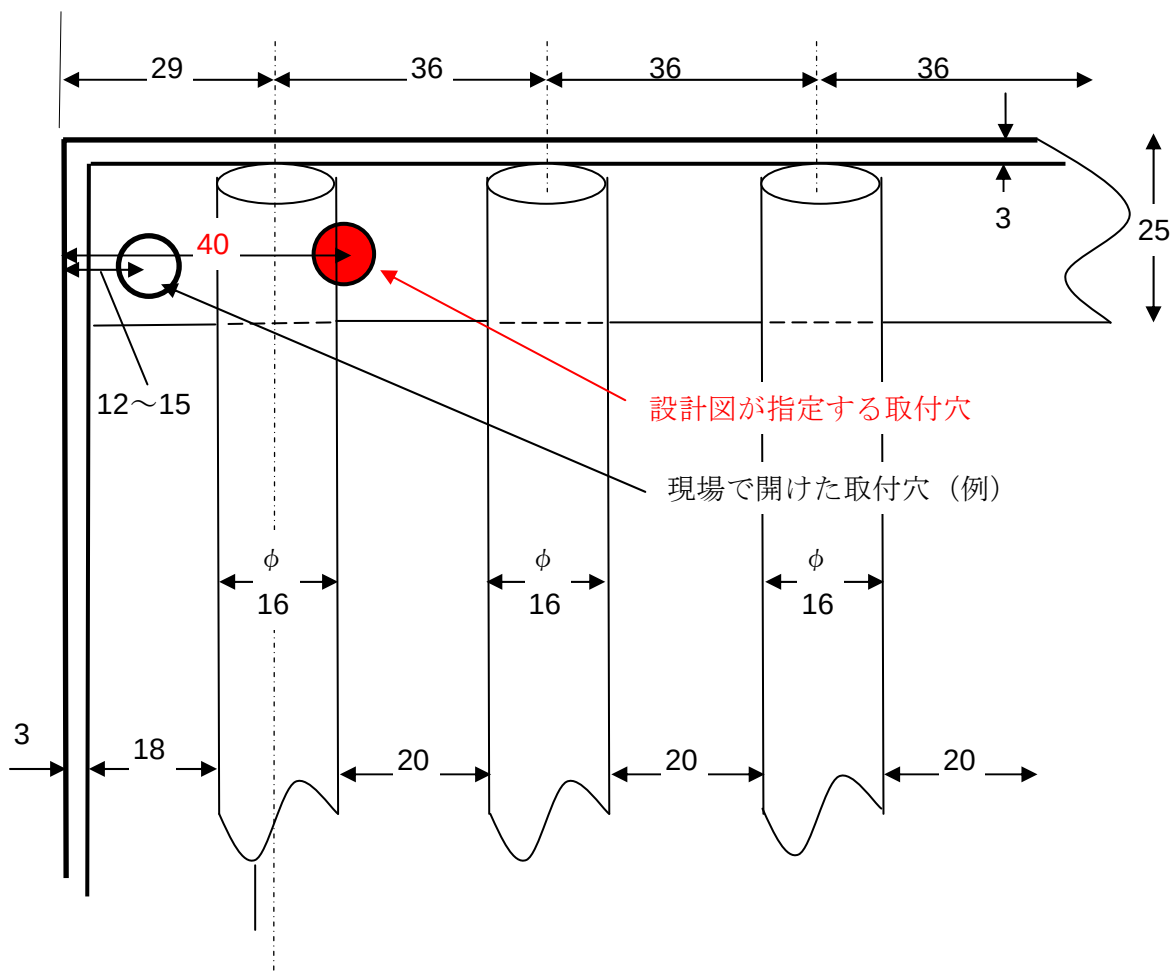


図 17 保護柵の取付穴の位置、設計図面と実際の加工のちがい

(3) 保護柵のねじ穴位置の測定

前述 6.4.4 (2)に示したように、柵板受けの穴でねじ山が残っているものは **M5** のねじであった。
 タッピングビスのねじ穴は合計 24 箇所の柵板受けの穴には無い。設計図面と柵板受けのねじ穴、
 保護柵の取付穴が一致していないので、保護柵（8 枚）のねじ穴の位置を実測し取水ますの柵板
 受けのねじ穴と比較した。

表 4 防護柵の取付穴位置実測値						
位置	1 左	1 右	2 左	2 右	3 左	3 右
A	567	566	567	565	567	567
B	566	567	566	565	566	571
C	570	568	570	574	571	569
D	571	573	571	573	568	569
E	803	806	803	803	806	807
F	804	801	804	806	801	802
G	5.8	5.9	5.8	長穴 8.0x6.4	5.9	5.0
H	5.8	5.8	5.9	長穴 7.2x5.9	5.6	4.9
I	5.75	5.8	5.85	4.9	5.9	4.9
J	5.9	5.9	5.8	4.7	5.8	4.9

位置 G H I J の値は、取付用穴の内径寸法
 黄色の部分は 5.0mm 以下

6.4.5 保護柵のねじ穴位置と柵板受けのネジ孔位置のずれ

表 3 と表 4 より柵板のねじ穴（タップ）と保護柵のずれの位置を算出しそれを表 5 に示した。保護柵の左下の取付穴と柵板受けのねじ穴（タップ）を基準にして保護柵の他の 3 つの穴のずれを求めた。表 5 の図示は、柵板受けのねじ穴（タップ）を黒色の円（M5 のねじ穴はφ4.2）で、保護柵の取付穴を赤色の円（実測値）で示した。柵板受けの穴は、φ4.2 より大きくなっているもの多く、また穴が塞がっているものもあるが、M5 ビス用のねじ穴（タップ）が開いているものとして作表した。

表 5 柵板のねじ穴（タップ）と保護柵のずれの位置									
no.	ます	左右	ね じ 穴 位 置	記号	X 偏位	Y 偏位	通し穴	図示	備考
1	No.1	左	左 下 （ 基 準）		0	0	5.75		合う、ボーズ
2			左上		2.1	2.0	5.8		
3			右上		1.1	-1.0	5.8		不可
4			右下		3.0	0.0	5.9		可、ねじ山損傷
5		右	左 下 （ 基 準）		0	0	5.8		可、
6			左上		0.2	1.0	5.9		
7			右上		4.2	1.0	5.8		
8			右下		-4.0	0.0	5.9		
9	No.2	左	左 下 （ 基 準）		0	0	5.85		合う、ねじ山損傷
10			左上		2.1	3.0	5.8		合う、
11			右上		1.1	3.0	5.9		φ2.8、不可
12			右下		-1.0	0.0	5.8		合う、ねじ山損

									傷
13		右	左 下 (基準)		0	0	4.9		合う、ねじ山損傷
14			左上		-0.9	-3.0	8.0x6.4		合う、ねじ山損傷
15			右上		2.1	-5.0	7.2x5.9		φ 1.0 不可
16			右下		5.0	0.0	4.7		
17	No.3	左	左 下 (基準)		0	0	5.9		合う、ねじ山損傷
18			左上		-6.2	0	5.9		不可、φ 1.5
19			右上		-2.2	-1.0	5.6		可、ねじ山損傷
20			右下		2.0	0	5.8		不可、ねじ山損傷
21		右	左 下 (基準)		0	0	4.9		合う、ねじ山損傷のためネジ入らない
22			左上		-2.2	4	5.0		不可
23			右上		-.02	0	4.9		可
24			右下		-5.0	0	4.9		不可

6.4.6 取付ビスの状態

防護柵を取水口に取り付ける M5 ビス 4 個が留置されていた警察から防護柵と一緒にふじみ野市役所に返還された。これら 4 個のビスは、警察より返還時のプラスチック袋内のラベルの記載では No.3 取水ます右側の防護柵に取り付けられていたものとなっているが、表 5 に示すようにねじ穴と防護柵の取付穴には大きなずれがあり 2 本のねじは取り付けられたが、左上のねじ 1 本は取り付けられなかったことから、4 本のすべてが No.3 ますの右側防護柵から回収されたものではないと推察する。4 本のビスは No.1 取水ます、No.2 取水ます、あるいは No.3 取水ますで使用されていたビスの警察に留置され返還されたものであろう。

4 本のビスの内の 1 本の写真を拡大して図 18 に示す。ビスの鋭角であるべきねじ山が削られて台形になっていることが分かる。これは他の 3 本にも共通である。このようにねじ山が消滅したビスは締め付けても極めて緩みやすく、このようなビスを使用することは危険である。

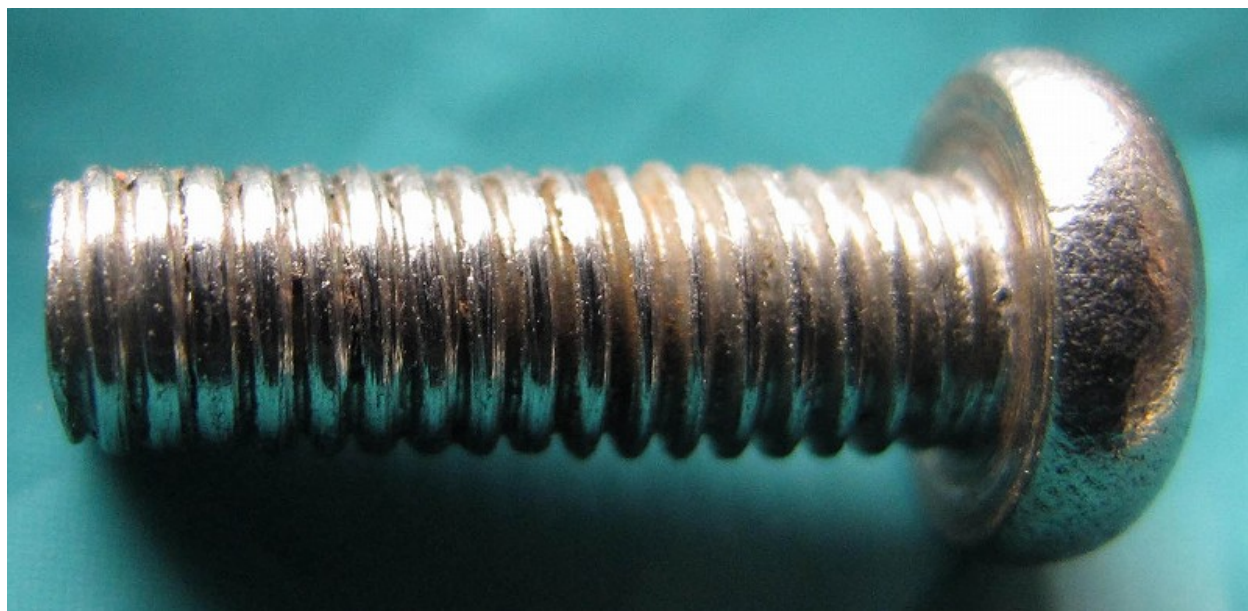


図 18 防護柵取付ビスの状況（どの取水ますで使用されていたものか不明）

6.4.7 保護柵とその固定方法への考察

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。その保護柵の構造と取付方法を検討する。

- (1) 保護柵の外形寸法は、598H x 598W x 25D mm で、取水ます（約 600Hx1200Wx200D）の内側にはめ込む構造のステンレススチール SUS304（以下 SUS304 という）製である。図 16 の写真で示すように SUS304 25x25x3 の L アングルで外枠をつくり SUS304 φ16 のパイプから構成される。保護柵の 4 隅に取付用の通し穴を開け、取水ますの柵板受けにビス止めする。
- (2) 図面指示による取付通し穴位置は側面から 39mm であるが図 17 に示すように φ16 のパイプとかぶる位置にあり図面通りには加工できない。実際の穴は約 10mm から 20mm のあたりに散在していることから、図面は修正しなかったが、穴開け加工を現場合わせで施工していることが分かる。
- (3) 取水ますの実際の大きさは、図 10、図 11、図 12 に示すように設計図面の大きさ（600H x 1200W x 200D）に極めて近い大きさであった。それは、取水ますの外側は形鋼で強固なので、昭和 61 年（1986）の建設時から年月が経過してもほとんど変形していない。よって施工時において保護柵と取水ますの間には上下左右に 1mm 前後の隙間しかなかったと思える。これは、3 箇所の取水ますと 6 枚の保護柵のすべてに共通である。
- (4) 保護柵の取付は、設計ではタッピングビス（図 19 を参照）の指定であるが、実際の施工では M5 のねじであった。柵受け板は SUS304 25x3 の FB（フラットバー）で設計通りの施工である。しかし 3mm 厚みの SUS304 に設計が指定したタッピングビスをねじ込むことは出来ないので、FB に M5 のタップを切り M5 のステンレスねじ使用に変更したのと推測する。なお、タッピングビスは、下孔を開けた薄板に直接ねじ込みタッピングビス自体が薄板にネジを立てるもので、力のかからないところ、脱着の少ない箇所に用いられる。タッピングビスは、10 回程度の着脱でネジ山が低くなったり、振動で緩みやすいので抜け落ちる可能性が高い。



図 19 タッピングビス（例）

- (5) 切れた鉄ビスが保護柵取付のビス孔に残っているのが 3 箇所ある。紛失した SUS304 M5

のビスの代わりに鉄製ビスを使用したのであろうか。鉄ビスは塩素を含むプール水では容易に腐食する。鉄ビスが切れた理由として、FB のタップが不完全であったことが考えられる。不完全タップにビスをねじ込むとビスは奥まで入らず噛み込み、さらに力を入れると切れやすい。またビス孔が垂直でない場合も噛み込み易い。

- (6) 現地調査の時点（2010 年 5 月）では、取水ます 3 箇所のねじ穴 24 箇中 17 箇所が、つぶれている、ねじが無い、あるいは不完全なねじであった。すなわちねじを使えない箇所が 70% である。事故の起きた No.3 吸水ますの下流側保護柵では、4 箇のねじ孔のうち、1 箇はねじ切れた鉄ねじがねじ孔を塞ぎ針金を通る 1.5mm の貫通孔があり、2 箇はねじ山の痕跡あるがつぶれ甚だしくビスが使われていたかどうか疑問が有る状態であった。左下の 1 箇所はビス止めが可能であるが、他の 3 箇所はかなりの長期にわたって針金で縛っていたと推定する。24 箇所のネジのうち、針金を使用していた箇所は記録に残っていないが。ねじ穴と通し穴の位置のずれ、およびねじ穴の損傷（ねじ山が損傷、ねじ山が全く無い、細い穴が貫通）によりビスが使用できない箇所が大半（70%）であるのでほとんどが針金を使用して縛っていたと考えられる。警察から返却されてきた M5 ビス（計 4 本）は図 18 に示したようにいずれもねじ山がひどく損傷しておりねじ穴にねじ込んでもガタが大きく全く固定の役割を果たすことが出来ていない。返却された 4 本のビスがどの取水ます、保護柵で使用されていたものかは記録がなく特定出来ない。後述するようにビスと通し穴のずれの状態から返却された 4 本が大井プールで使用されていたビスのすべてである可能性も十分あると考える。

6.5 吸い込み力の実験

6.5.1 背景

プールの吸込み口における子供が吸込まれる事故の対策としては、吸込み口の防護柵を二重にする等の方針が出されている。しかし、リスク低減方策を定めるための基本的なデータ、たとえばどの程度の力で吸水配管口に吸い付かれるのか、流速は、圧力は、などは定性的な記述がほとんどであって再発防止の観点からは不十分である。ポンプのトップメーカーである株式会社荏原製作所の積極的な御協力を頂いて吸い込まれる力などの実測データを得ることが出来た。

6.5.2 実験装置

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 の円板にかかる力をロードセル（荷重計測センサ）で測定した。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。装置の詳細は 6.11.1 添付資料に示した。実験では供試円板を直径(d) 180mm 、 $d150\text{mm}$ そして子どもの $1/2$ スケールモデルの 3 種類をおこなった。

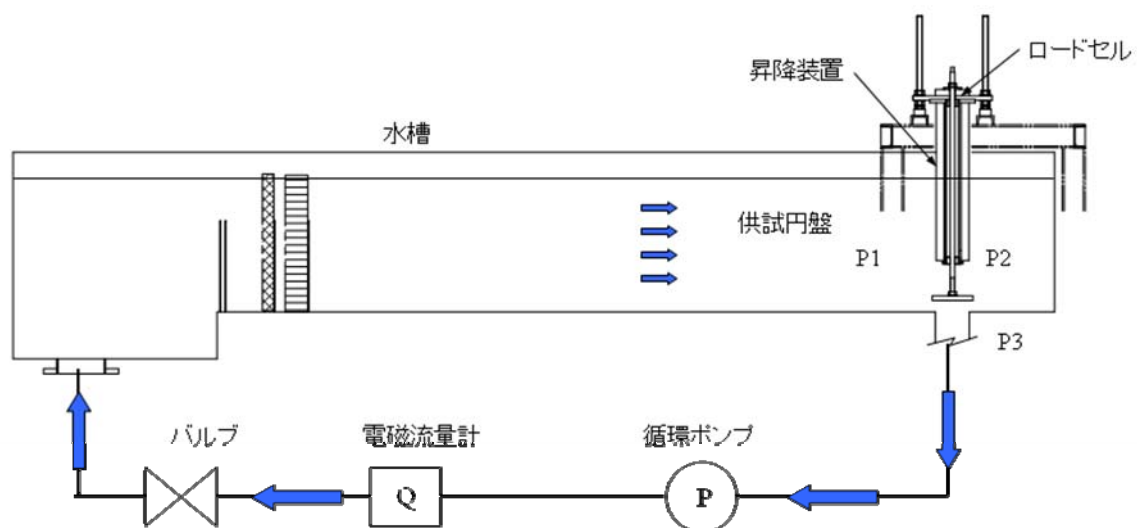
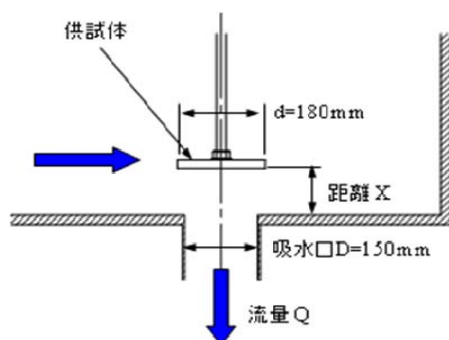


図 20 実験装置のフロー図

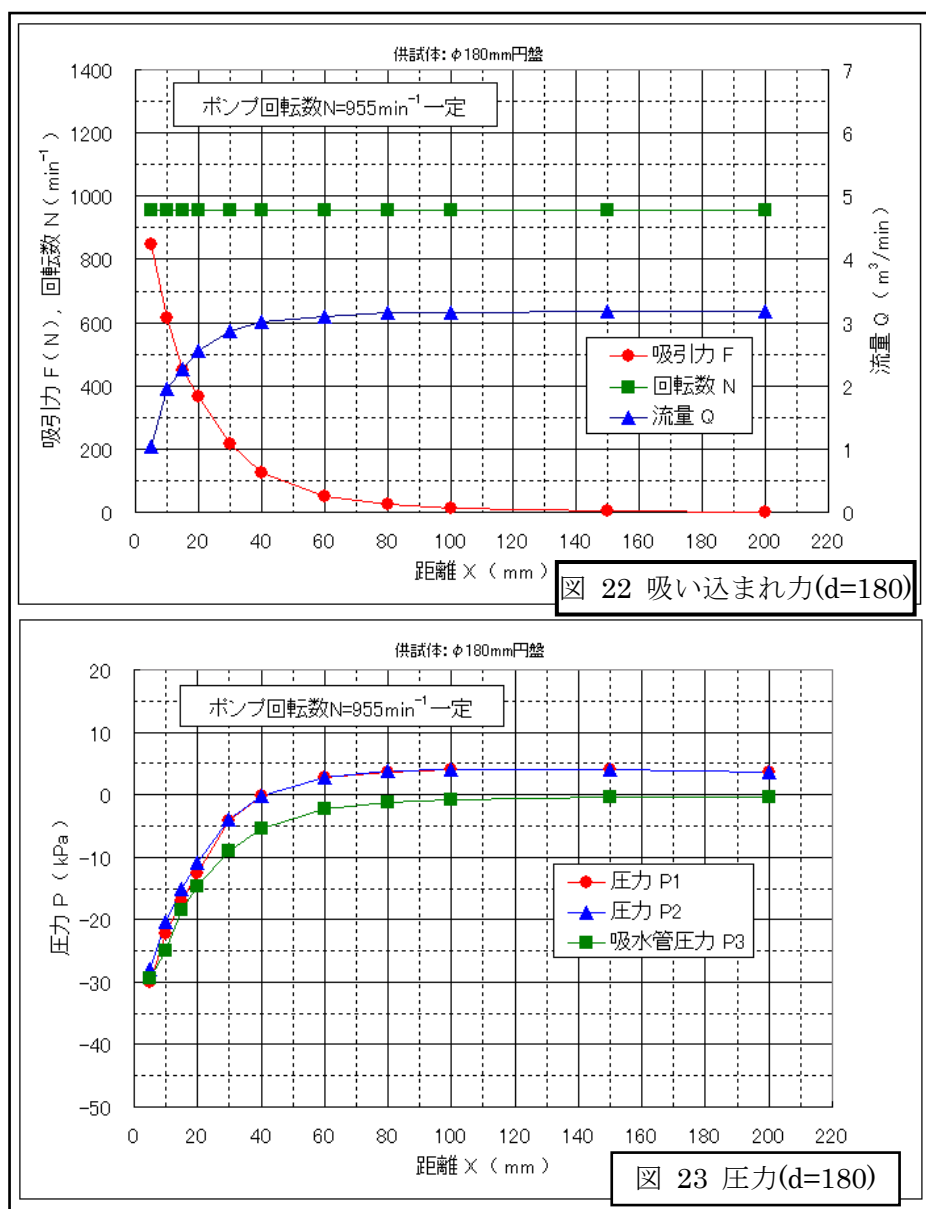
6.5.3 吸い込まれる力の測定

(1) 直径 180mm 円板



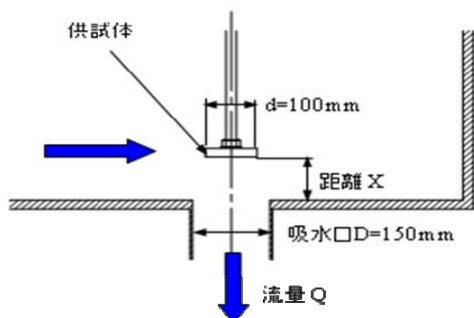
配管中の流速の初期値が約 3m/s になるようにポンプの回転数を 955rpm（一定）とし、直径 180mm 円板を徐々に吸水口に接近させて（距離 Xmm）吸い付き力（F）と円板にかかる吸入圧力(P1, P2)を測定した。

図 21 φ150 吸水口と d=180 円板供試体



距離 X が 200mm では水が流れる程度の力のみであるが、100mm 程度から少しずつ吸引力 F が発生し 50mm で 100N（10kgf）、20mm で 370N、10mm で 600N、5mm では 850N であった。流量は 30mm より急激に低下し、それに伴って吸入圧 (P1,P2) の負圧が大きくなることが分かる。

(2) 直径 100mm 円板



前述(1)と同様に配管中の流速の初期値が約 3m/s になるようにポンプの回転数を 955rpm (一定) とし、直径 100mm 円板を徐々に吸水口に接近させて (距離 Xmm) 吸い付き力 (F) と円板にかかる吸入圧力(P1, P2)を測定した。

図 24 $\phi 150$ 吸水口と $d=100$ 円板供試体

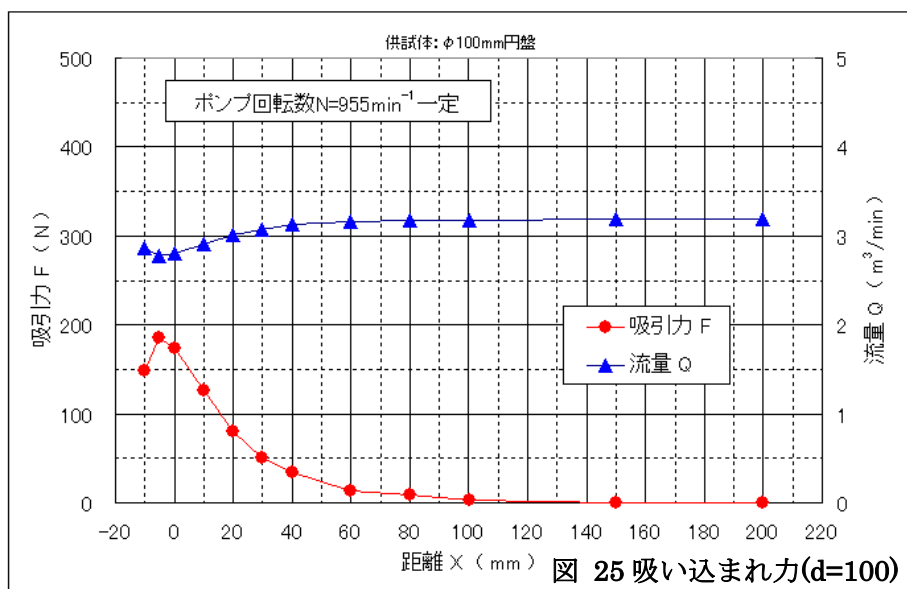


図 25 吸い込まれ力(d=100)

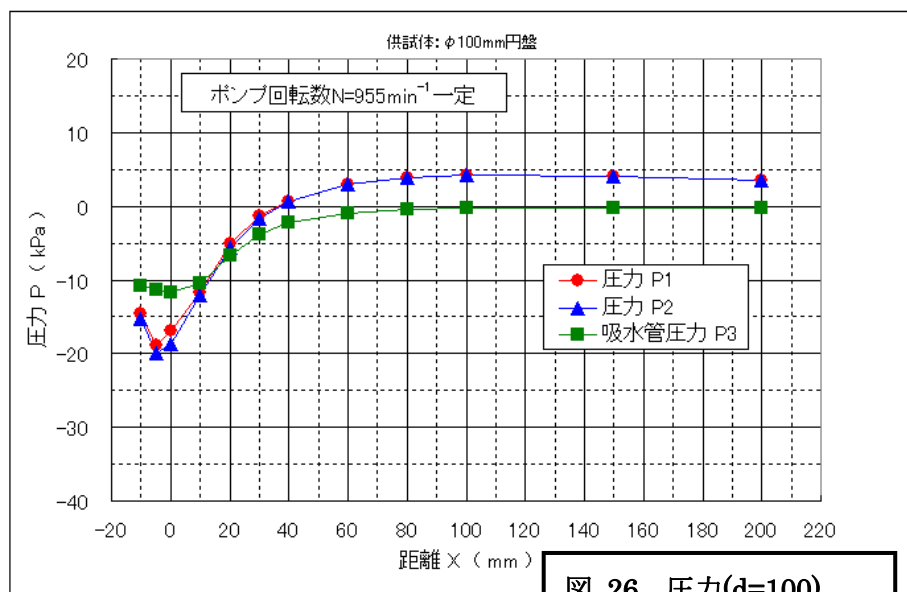
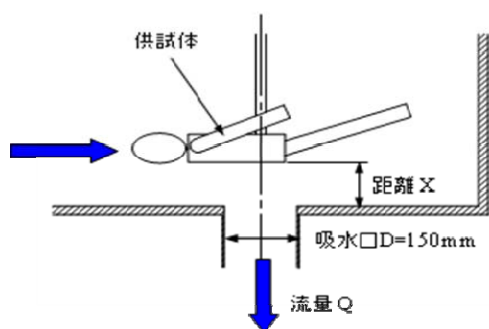


図 26 圧力(d=100)

距離 X が 200mm では水が流れる程度の力のみであるが、100mm 程度から少しずつ吸引力 F が発生し 50mm で 25N (2.5kgf)、20mm で 85N、10mm で 130N、0mm で 180N である。流量は 20mm より低下し、それに伴って吸入圧 (P1,P2) の負圧が大きくなる事が分かる。供試円板(d100)は吸水管の内径($\phi 150$)より小さいので吸水口の内側に入る事が出来る。距離 X がマイナス、すなわち供試円板が配管内に入った状態で吸引力 F と吸入圧 P1,P2 の計測値が折れ曲がっている。

(3) 子どもの 1/2 モデル



前述(1)および(2)と同様に配管中の流速の初期値が約 3m/s になるようにポンプの回転数を 955rpm (一定) とし、子どもの 1/2 モデルを徐々に吸水口に接近させて (距離 Xmm) 吸い付き力 (F) と円板にかかる吸入圧(P1, P2)を測定した。

この 1/2 モデルは 7 歳女児の身体特性の約 1/2 としたものである。

図 27 $\phi 150$ 吸水口と 1/2 モデル供試体

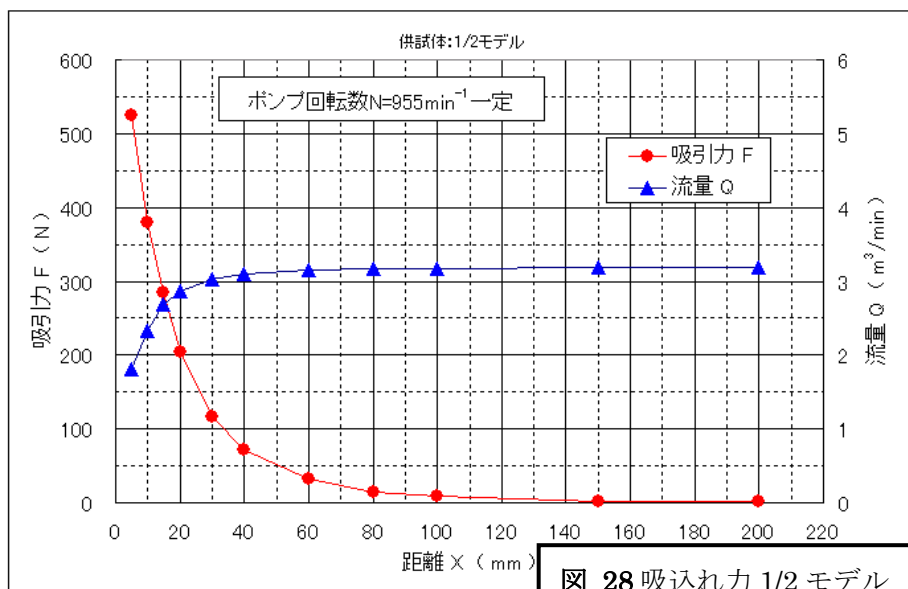


図 28 吸込れ力 1/2 モデル

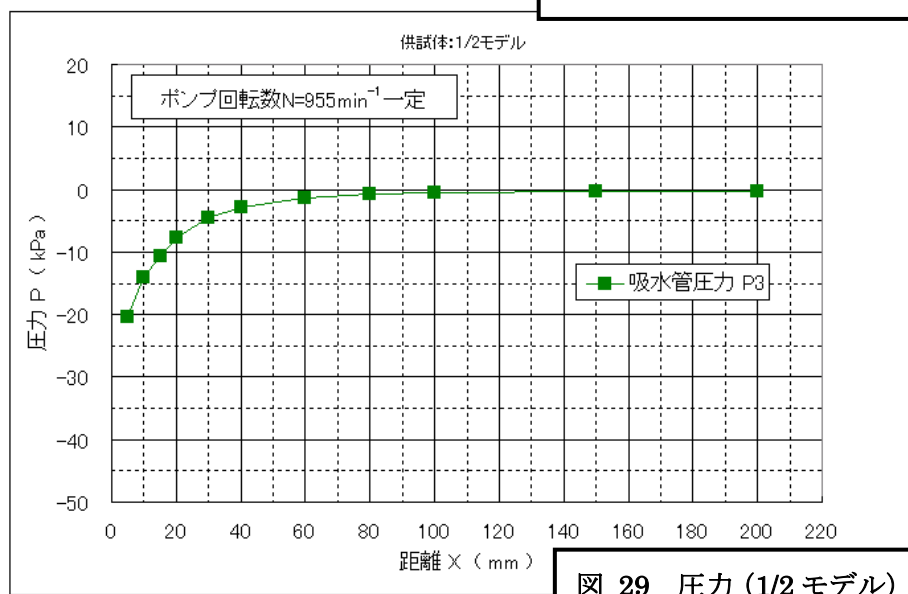


図 29 圧力 (1/2 モデル)

1/2 モデルを使用した実験では、供試円板 $d180\text{mm}$ と $d100\text{mm}$ の中間的なデータである。

100mm 程度から少しずつ吸引力 F が発生し 50mm で 50N (5kgf)、20mm で 200N、10mm で 450N、5mm で 550N である。

流量は 30mm より急激に低下し、それに伴って吸入圧 (P1, P2) の負圧が大きくなることが分かる。

6.5.4 実験データより大井プールの吸引力を求める

実際の流水プールの仕様は、吸込管呼び口径 300 mm (内径 310.5 mm), ポンプ流量 10m³/min で、吸込開口部の前方 200 mm に 600 mm x1200 mm の防護柵がある。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、腕まで含んだ寸法として直径 270 mm の円板で計算を行いその計算結果を図 30 に示した。

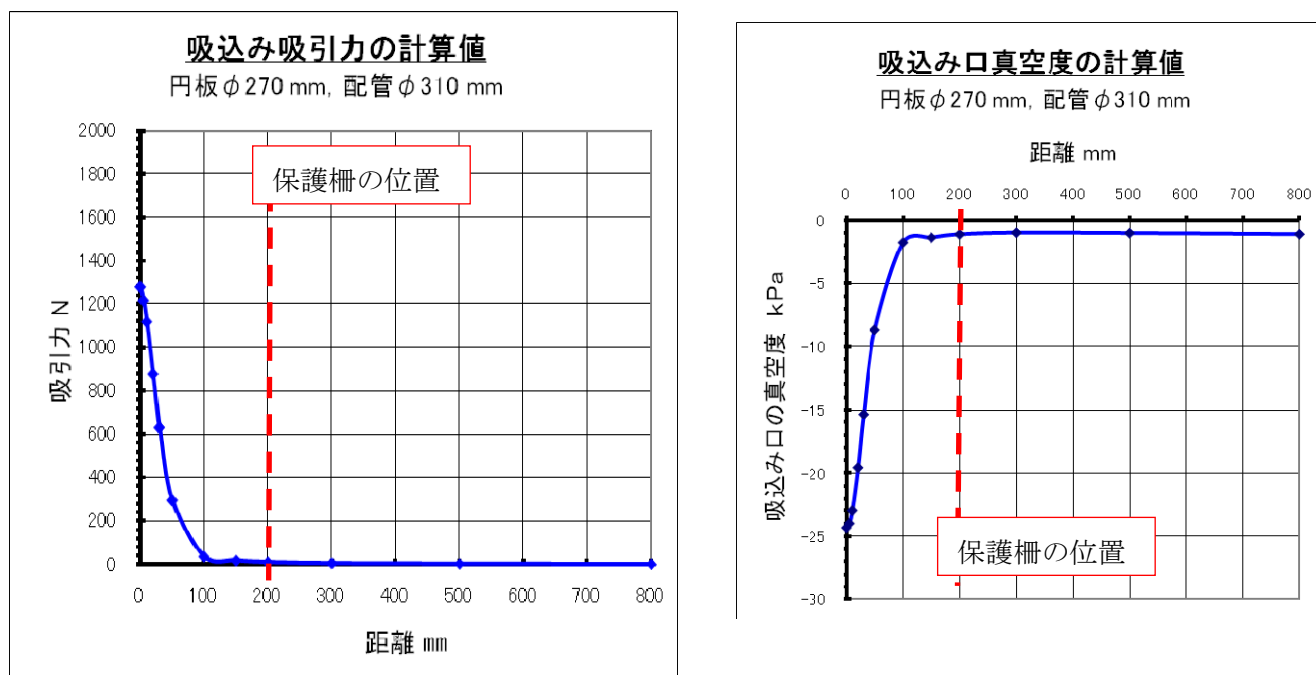


図 30 φ270 吸い込み力と吸い込み圧力

このことから防護柵を吸込み配管開口部から 200 mm 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) 程度であり、子どもの力でも自力で離脱は出来るだろうが、防護柵が外れていて、60N (6kgf) の力で流され、掴まる場所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出来ない。

6.6 リスクの低減方策

事故が発生したふじみ野市大井プールは、事故後直ちに使用が中止され、2010 年 12 月から解体工事が始まりほぼ解体が完了した。本稿では、ふじみ野市が作成した事故調査報告書²⁾をもとに、当研究チームが作成した対策を述べる。なお対策は、ISO12100-1, -2 (JIS B9700-1, -2) が示す 3 ステップメソッドに従った。この 3 ステップは、ステップ 1、ステップ 2、ステップ 3 の順序で行なわなければならない。

ステップ 1：本質的安全設計方策

本事例における危険源は起流ポンプによる「吸い込まれ」力によって吸水配管口に「捕捉される危険源」である。この危険源を無くす、もしくはリスクの大きさを許容できるリスクの大きさ以下にすることが**本質的な安全**である。

口径 150mm の吸水配管の入り口で捕捉され吸水配管口の約 2/3 を身体で塞いだとき（閉塞）の吸い込み力は約 900N (90kg 重) にも達するの。大井プールの口径 300mm の吸水配管の入り口に身体を吸い寄せられると 1000N (100kg 重) 以上の力で捕捉される。これが危険源でありその力で捕捉されると死亡にいたる可能性が極めて大きい。一旦捕捉されると大人が援助しても脱出は出来ない。

1 本の吸水配管に接続するプール側の吸い込み口を複数設置し、隣り合う 2 個の吸水配管口間隔を適切に（例えば人体寸法以上）離して設ける。1 個の吸水配管口が完全に閉塞されても、残りの吸水配管口から取水されるので、吸い込まれた吸水口における吸い込み力は離脱が不可能なほど大きくならない。図 31 は、起流ポンプの吸水配管口と取水ますを 1 台のポンプにつき 2 箇所とした参考例である。2 箇所の場合は、配管の取付方法等によっては閉塞時の吸い込まれ力が許容出来るリスクまで低減出来ない場合があるので必ず設計時に計算による確認が必要である。

吸水配管口が 4 箇所あれば仮に 1 箇所を人体が塞いでも閉塞率は 25%以下であり、閉塞が無いときとあまり変わらない。新設プールには、必ずこの多数の吸水配管口設備を設けることを強く推奨する。多数の吸水配管設備の考え方をさらに拡張したのがプールサイドにプール水をオーバーフローさせて流水を集めて起流ポンプの吸い込みにすることである。

既設のプールで吸水配管口増設工事が困難であれば、既存の吸水配管口に分割装置を設置すれば、同等に近い効果を得ることができる。吸い込み力を子どもの力でも脱出できるまでに低下させる方法を 6.9 に示す。

なお、危険源であるポンプの始動時にはプールの吸水口で人が作業していないなどの安全を確認でなければならない。ポンプの始動は、起流ポンプ始動時の目視による安全確認がおこなえるプール全体が見える場所からできるようにする。

壁への取り付け例

〔主として各種アトラクション（起流装置・揚水装置など）〕

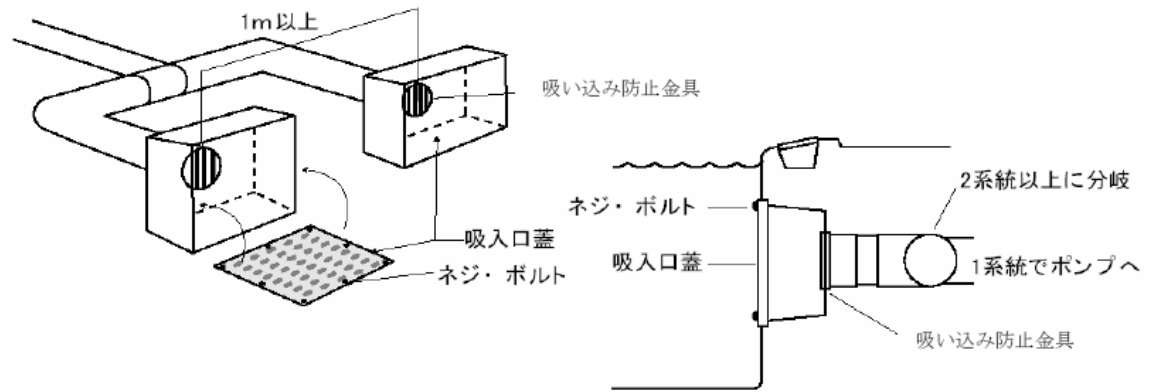


図 31 起流ポンプの吸水配管口と取水ますを 2 箇所にした例（プールの安全指針 p17 より）

ステップ 2：安全防護、付加の保護方策

本質的安全方策を適用できない場合には、「安全防護、付加の保護方策」を適用することとなる。しかし、この場合は残存リスクに十分注意を払う必要がある。

(1) 安全防護

防護柵を設置する方法である。機械の安全に関する国際規格(ISO12100:2010)/JIS 規格(JIS B9700-1:2004)ではガードという。防護柵はプールに吸い込みますを設け、その前方のプール側に設けるステンレス格子、穴あきステンレス板、金網状などである。防護柵はボルト・ナットで固定する。吸水配管口から少なくとも 100mm 離隔（200mm 以上を推奨）して吸い込み力の影響を受けにくい位置で、吸水配管口よりもはるかに大きい流水断面積をとることにより、防護柵に接近した人などに及ぼす吸い込み力を低減できる。さらに吸い込み力により、または故意、過失などによる吸水配管口への人間の接近を、物理的に妨げることにより、吸いこまれ事故の発生を防止して、安全性を向上する設備である。

本事故事例にて明らかにされたように、正規のビス（ねじ）/ボルトが使用されない事もあるし、ビス/ボルトの締め忘れもあり得るので、起流ポンプ等大きなリスクを保有する設備の場合は、防護柵の上部をヒンジ止めにし、ビス/ボルトの締め忘れがあっても防護柵が自重で定位置にあるようにする構造の採用や、ビス/ボルトでステンレス製防護柵をきちんと締めないとポンプが運転出来ない（停止する）、あるいは防護柵がはまっていないポンプが運転出来ない（停止する）のようにインターロック回路を組み込む事が望ましい。

吸い込み防止金具は、取水ますの表面に設置する防護柵に追加して、吸水配管口に直

接取り付ける安全防護である。プールの安全指針において設置することが強く求められている。その取付位置を図 31 に示す。吸い込み防止金具への要求事項は、遊泳者の身体が吸い寄せられても吸水配管口に吸い込まれないことであるので、十分な強度を持ち、確実に取り付けしていなければならない。図 32 はプールの安全指針が示す吸い込み防止金具の例である。本報告書はこの吸い込み防止金具の格子に、図中に黄色で示すような高さ 100mm の円弧状の吸い込まれ防止金具を付加することを強く推奨する。



吸い込み防止金具の例



取り付け例

図 32 吸い込み防止金具の例（プールの安全指針 pp18）と追加の格子金具

(2) 非常停止押しボタン

非常停止押しボタンを、取水ます付近のプールサイドに設置し起流ポンプの非常停止を可能にする。取水ますが複数箇所あればそれぞれの箇所に設置する。

ステップ 1 とステップ 2 を実施した後にリスクを評価し残っているリスクがまだ高ければステップ 1 とステップ 2 を再度実施しリスクを低減する。十分リスクが下がっていれば次のステップ 3 に、下がっていなければステップ 1 とステップ 2 を再度実施する。

ステップ 3：使用上の情報

ステップ 1、あるいはステップ 2 を適用したうえで、リスクが残った場合にはそれに対して使用上の情報を提供しなければならない。使用上の情報だけを提供することは許されない。

管理マニュアルの整備、安全管理に携わる全ての従事者への周知徹底、取水ますと吸

水口の具体的な点検内容を明記、日常点検の配慮事項および監視員の事故原因や防止策・対応方法についての教育について明記、緊急時への具体的対応方法の明示、利用者に取りますの位置など危険箇所の表示、プール利用上の注意・禁止事項、毎日点検結果等の表示が望ましい。

6.7 所感

以下は、現地調査とその後の検討で感じた事項である。

6.7.1 設計、施工、維持管理

ふじみ野市大井プール事故調査報告書（平成 18 年 9 月）36 ページでは、下記の様に述べられている。

（引用）

- ・そもそも設計施工段階において問題があったのではないかとも思える。
- ・疑問を指摘するにとどめ、その検討は専門的技術者の議論に委ねることとしたい。
- ・管理の観点から検討する。まず、針金による固定についてであるが、これまでの報道等によれば、受託業者は、防護柵の清掃作業を実施する際、取り外し、清掃後に取り付けをした。その際何らかの理由により、ねじとそれを受けるねじ受けの孔が一致せず、やむを得ず針金によって固定がされたようである。この点に関する問題点は二つある。一つ目は、防護柵は、本来外すべきものではなかったということ。二つ目は、本来ビスで固定をすべき箇所を継続して針金によって固定をしてしまったということ。

今回の調査により、保護柵（蓋）と取付ねじの現物を確認により、設計と施工、その後の管理のいずれにも問題があったと当報告書は考える。

「防護柵を取り外して清掃する必要がなかった」とふじみ野市調査報告書は述べているが、そのように断定して良いかは議論が分かれるところであろう。

（1）設計上の問題点

防護柵のねじ穴の位置と大きさを設計時に指定し、防護柵製作工場穴開け加工を行うべきであったが、設計図面のねじ穴位置は防護柵のパイプに重なる位置であり、またタッピングビスの指定でありネジのサイズの指定がないという設計に不備があった。設計者がなぜタッピングビスを指定したか記録は残っていないが SUS304 25x3 FB という厚板にタッピングビスをねじ込むことは出来ない。また取水ますの大きさに対し防護柵の隙間が 1mm と極めて少ないので施工当初より防護柵を取水ますへ取り付ける余裕しろが不足していた。柵板が 80x25x3mm と保護柵の外枠 25x25x3t の L 型 SUS304 と小さいのも設計上の問題である。

取水ますの深さ（奥行き）は 200mm である。吸い込まれの力からみると 50mm はとても危険な距離であり 100mm では多少の吸い込まれの力がある。200mm では問題にならないので大井プールの 200mm は妥当な深さ（奥行き）である。

（2）施工上の問題

現場合わせで防護柵の穴開け加工をおこなったため、6 枚の防護柵に開けられた取付穴（ネジの通し穴）の位置はバラバラである。また取付穴の大きさは、M5mm ネジに対して 5.0mm あるいはそれ以下が 6 箇所ある。6mm あるいは 6.5mm 程度の通し穴、あるいは長穴であるべ

きであった。現場合わせ（現合、「げんごう」という）で穴開け加工とタップ切りをおこなったため 6 枚の防護柵と柵板受けのネジ穴位置の互換性は全く無い。

(3)管理上の問題

現地調査により取水ますの柵板受けのねじ穴の不具合（24 個中 17 箇所）、ねじ穴と保護柵の通し穴の不一致（24 個中 12 箇所）が確認出来た。すなわち事故が発生した時、保護柵の固定は 7 から 8 割が針金を使用して結びつけており、僅か 4 箇所が M5 ビス、それも図 18 に示すようにネジとしての機能を果たさないものであった。ふじみ野市の事故調査報告書とさいたま地裁判決文によればプールの運営管理請負会社よりふじみ野市に報告されていたとのことである。ねじ穴不具合の補修は、最小限の補修とすると、M5 を M6 ビスに変更するとすれば、柵板受けのねじ穴の再加工、保護柵の通し穴を再加工、新しい SUS ビスで取り付ける、など容易に行えるものである。こうした補修を怠った管理上の問題がある。

管理上の問題には取付ビスの他に、保護柵が外れたときへの対策、例えば吸い込み防止金具の設置、起流ポンプの自動停止（インターロック）の設置、非常停止スイッチの設置、および使用上の情報に基づくプール管理者、監視員への教育訓練、遊泳者への掲示（掲示をしてもリスクは減らないことに注意）などがある。

6.7.2 格子状の保護柵の採用について

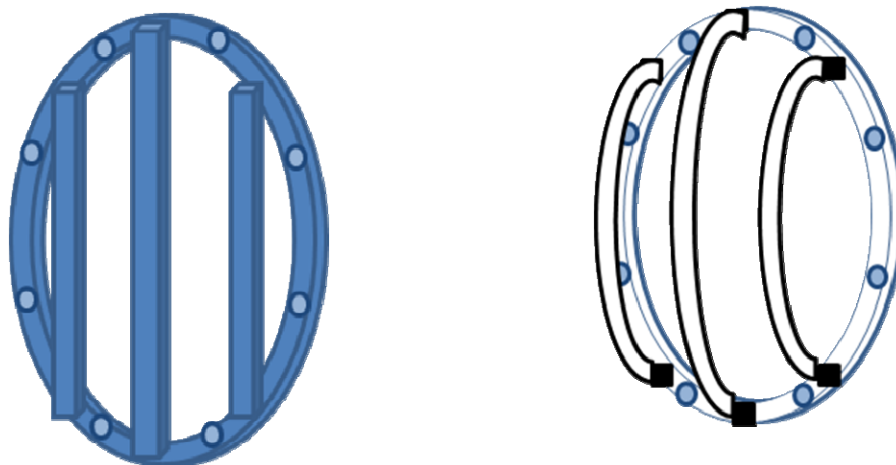
20mm 隙間の縦格子は、成人の指が入る隙間である。この寸法では、水中で挟まれると思いがけぬ事故に発展するリスクがある。子どもの身体が通り抜けない隙間、例えば 80mm 程度、があれば安全であるし、柵の取付・取り外しも容易である。格子状の保護柵ではなくステンレス板に無数の小さい孔（パンチングメタルプレート）を開けて水流を確保し、施工の出来る位置に保護柵固定用のボルト孔を開ければ問題は解決できる。ボルトのサイズは M8 あるいは M10 が適当であろう。小さい孔は、子どもの指が入らない径（6mm）で、端面はケガをしないように丸めてあること。小さい孔の面積の総和は吸水配管口断面積の 4 倍程度必要である。

6.7.3 保護柵が外れないための工夫

保護柵が外れると事故に直結する。保護柵をヒンジで取り付けて、外せないようにする必要がある。上部をヒンジにして、重力で自動的に塞ぐ方式が良い。下部をビスあるいはボルト締めにする方法が一般的におこなわれるがビス／ボルトはネジが緩んで外れる恐れがある。締め付けに頼らず、U 字金具と南京錠（ステンレス製防錆・耐腐食）で施錠すると良い。

6.7.4 吸い込み防止金具の設置

事故は No.3 起流吸い込みボックス（吸い込みます）で発生したが、3 箇所の吸水ますのいずれにも吸い込み防止金具は設置されていない。防護柵による安全は、人のメンテナンスに依存する安全方策である。したがって保護柵に加えて、吸い込み防護金具を吸水配管口に取り付けるのは有効な安全防護策である。しかし、吸い込み防止金具があっても、配管開口部にひとが吸い付けられると大きな吸引力が発生して人が水中に補足される危険が残留している。吸い込み防止金具は身体（の一部）が吸い付かないよう金具はふくらみを持ったタイプ（通称茶こし型）であること。



吸い付きを起こす可能性のある吸い込み防止金具 吸い付かれないように膨らみを持った吸い込み防止金具（茶こし型）

図 33 推奨する吸い付き防止金具（右図）

6.7.5 非常停止押しボタンの設置

吸水配管口に吸い付けられた人（捕捉されたひと）を救助するためには、吸水ポンプを停止し吸い込み圧を無くさなければならない。要所々々にポンプの非常停止押しボタンの設置が必要である。非常停止ボタンの主要な要求は、押しボタンヘッドは手のひらで押せるマッシュルーム型で赤色、取付場所の地色は黄色、安全を確認するまで非常停止機能は保持され、安全が確認されたら手動で非常停止機能をリセット出来ることなどである。詳細は JIS 規格 B9703 (ISO13850)に記述されている。

6.7.6 起流ポンプの起動押しボタンの位置

起流ポンプの起動押しボタンは、プールが全く視認出来ない管理棟電気室内にある。起流ポンプは安全が確認されている時のみに起動出来るようにするべきである。大井プールに限らず水泳プールでは、安全状態の確認は監視員が行っている。従って起流ポンプの始動押しボタンは、プール全体が見える場所、たとえば管理棟 2 階の監視室に装備されるべきである。

6.7.7 本質的に安全にするための工夫

吸水ポンプ（消毒用循環ポンプ、起流ポンプとも）の吸水配管を複数することは本質的な安全方策であるが、既存の大井プールに適用することは大きな工事費と期間を要するので困難である。次節に述べる既存プールへの方策、吸水配管口を本質的な安全に変更する方策を提案する。

6.7.8 施工監理とリスクアセスメント

公共工事では施工監理がおこなわれつつある。施工監理がもし行われていたら吸い込みますの危険性について気づけた可能性がある。ただし、施工監理をおこなう技術者はプールに潜在するリスクとその低減策に熟知していなければならない。たとえばタッピングビスの指定がおかしいと気づくような能力が要求される。

6.8 プールの安全標準指針の検討

当研究チームでの調査研究をもとに文部科学省と国土交通省の「プールの安全標準指針」⁵⁾（以下「指針」という。）を検討した。

6.8.1 優先順位明確化

指針では幅広い対策が列挙されているが、その優先順位が明確ではない。優先順位は、ISO12100 が示す、本質的な安全方策、防護による安全方策、付加の保護方策、使用上の情報にしたがって以下の優先順序ですすめるよう示されるべきと考える。なお指針は**エラー！ 参照元が見つかりません。**の構成を想定している。

本質的安全設計方策である「複数の吸水配管口の設置」を最優先とすべきである。指針 2-2 排(環)水口の解説は、例外規定として「ただし、排(環)水口が多数あり、かつ1つの排(環)水口にかかる吸水圧が弱く、1つを利用者の身体で塞いだとしても、吸い込みや吸い付きを起こさないこと（幼児であっても確実かつ容易に離れることができること）が明らかである施設等、構造上吸い込み・吸い付き事故発生の危険性がない施設は必ずしも二重構造の安全対策を施す必要はない。」としているが、指針適用の例外ではなく、この方策を主たる方策として新設、既存を問わず求めるべきである。

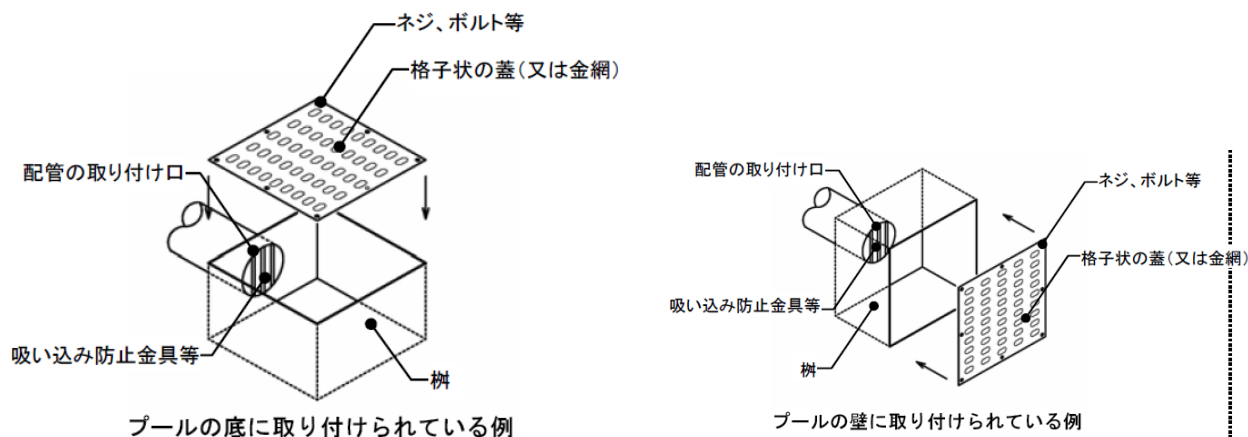


図 34 指針が示す格子状の蓋、吸い込み防止金具

指針より引用(p1)

6.8.2 指針が要求する防護柵（蓋）と吸い込み防止金具の2重化は不十分である。防護柵（蓋）は危険源である吸水管口から遊泳者を遠ざける目的を有する。しかし防護柵は安全装置の一種であり、安全装置が故障すると危険になる。指針は、防護柵の内側にある吸水管の開口部に吸い込み防止金具を設置して二重の安全装置としているが、吸い込み防止金具に人体、特に腹部や背中のように面積が広い部分が吸い付く危険性が残存しており、吸い付き・捕捉される危険がある。

6.8.3 指針の内容が抽象的あるいは定性的である。

指針の目的が技術的助言であるのでやむをえない面もあるが、実際のプールの現場において、危険性の有無、対策の必要性が容易には判断できない。

子どもの安全研究グループの今後の目標として、専門的知識のない現場の管理者でもポンプの容量や吸水ますの大きさ等がわかれば、危険性や対策の必要性の目安がわかるような方策を検討したい。

昭和 53 年厚労省監修の「水泳プール管理の実際」p90 には、吸い付かない構造であること、吸水口の数、吸水口の総面積は配管の 4 倍以上の有効面積、流速 0.6m/s 以下などの数値データが提示されているが安全指針ではこのような具体性が無くなっている。

6.8.4 ヒューマンエラーの要因について考慮すべきである。

指針は、日常の点検・監視として、毎日のプール利用前後及び利用中の定時毎に、取水ます（指針は排（環）水口と表記）の蓋などがネジ、ボルトで正常な位置に堅固に固定されていることを点検することが必要であると定めている（指針 3-4）。しかし、ネジ・ボルトは水深 1m にあるので、プールの設置管理者がこの要求を確実に実行することは極めて困難である。指針の規定が守られない事態が既に常態化している恐れがある。

点検・監視および保守による安全の確保はそれに従事する人と組織に依存するので設置管理者がそのレベルを維持し続けることは極めて重要な意味を持つ。すなわち維持できなければ安全が担保できない。

蓋の異常を察知した場合はポンプを停止することとされているが、ここでもヒューマンエラーが起きると致命的な事故を招く恐れがある。人による監視は、30 分を経過すると急に注意力が続かなくなり異常を発見できなくなるエラーの生理的メカニズム（ビジランス課題、図 6-7）は良く知られている。

インターロックシステムによる異常時のポンプの自動停止など、人の判断や行動だけに頼らない方策を、子どもの安全研究グループとしても検討していきたい。

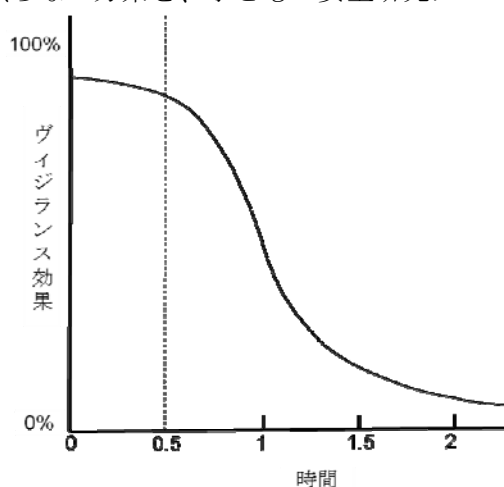


図 35 ヴィジランス課題

人が希にしか起きない注意力を集中し持続することの出来る時間は 30 分前後であり 1~2 時間も作業すると発見能力は半分以下になる。

特に、監視業務における異常の検知能力の低下は種々の業務における重要な問題になっている。

6.9 技術的な提案

既存プールに本質的安全設計方策を実施することを提案する

6.9.1 プール底面に溝状の排水口がある場合

既存のプールにおいて、プール底面に細長く上向きに開口する溝状の取水ますに吸い込まれるリスクを低減する例を示す。この溝状の取水ますには複数の穴あき蓋が取り付けられているが、吸水配管口に最も近い穴あき蓋 1 枚を故意に取り外した場合には、その蓋のない部分に危険源である吸水配管口が存在する。この蓋のない部分で吸い込まれ事故が発生した事故が多数ある。このリスクを低減するために、溝内に長さを異にする複数のパイプを図 36 に示すように設置する。これらのパイプの設置により、吸水配管口を複数にしたのと同様な吸い込まれリスク低減効果が得られる。すなわち、仮に吸い込み口に最も近い穴あき蓋 1 枚を故意に取り外した場合でも、設置した他のパイプを通じて吸水されるので、吸水配管口を複数設置したのと同様なリスク低減効果があるの。

設置するパイプは腐食せず、軽量で安価な塩ビ管、または、排水用の穴あき塩ビ管が適している。設置するパイプと吸い込み口との間は、吸い込まれ事故が発生しないように密着させるだけでよく、水密構造にする必要はない。

ポンプ配管に長さの異なる複数のパイプを接続
同時に複数のパイプを閉塞できないため、複数の吸水口と
同様の効果が期待できる。

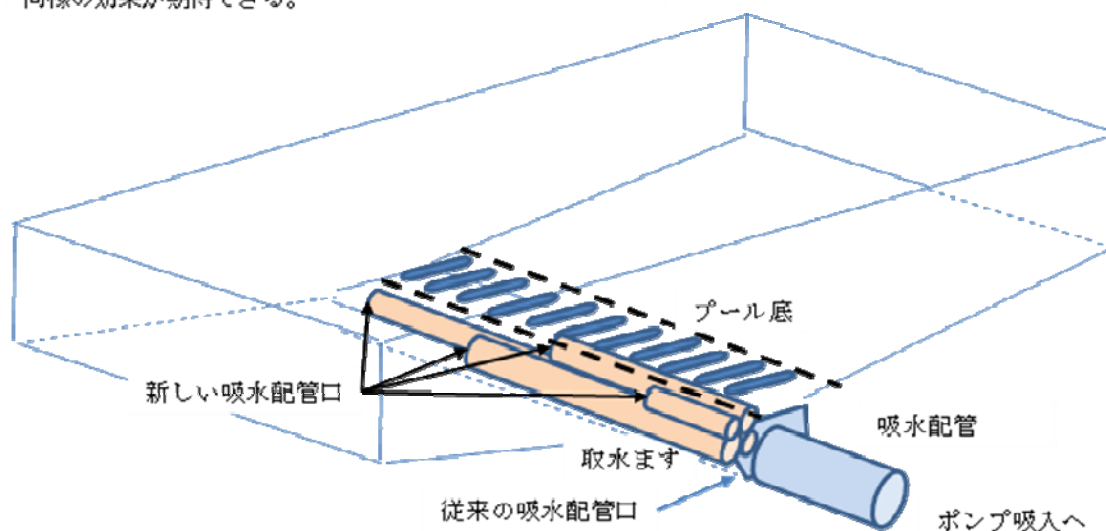


図 36 プールの底に排水溝があり、グレーチング等穴あき蓋でカバーしてある既存プールに本質的安全設計方策を実施する概要図

複数のパイプに代えて1本の有孔管を接続する方法も、すべての小孔を同時に塞ぐことはできないため、有効である。さらに、十分な長さの有孔管を使用することにより、吸い込み口の総断面積が大きくなり吸い込み圧の低減も期待できる。有孔管の孔の総面積は、吸水管の断面積の4倍以上必要である。その例を図 37 に示す。

ポンプ配管到有孔管を接続
無数の小孔を同時に閉塞できないため、複数の吸水口と
同様の効果が期待できる。

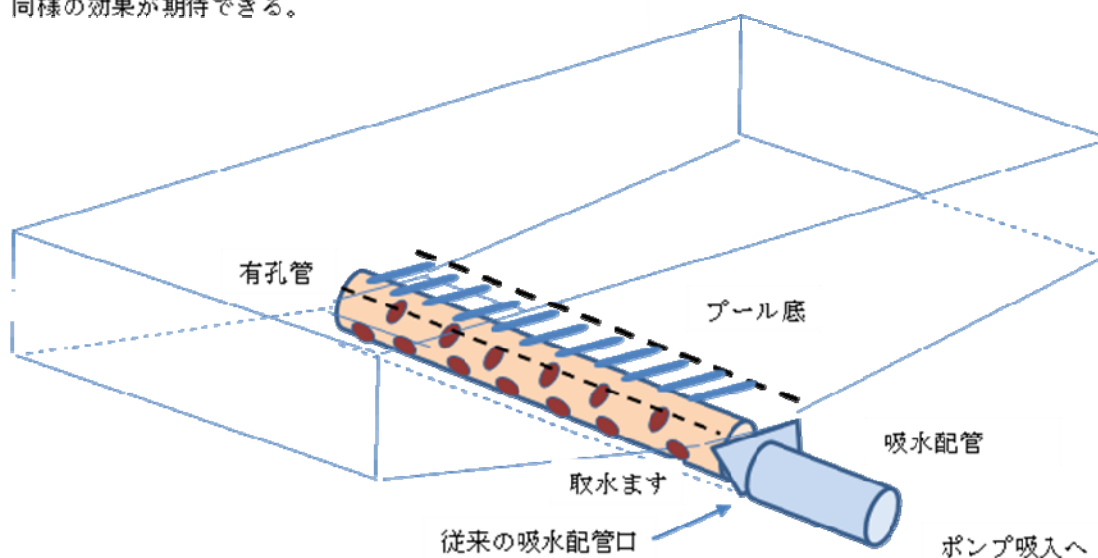


図 37 有孔管を使用して図 36 と同様な効果を得ようとする概要図

6.9.2 プール壁面に取水ますがある場合

取水ますと吸水配管がプール壁面（側面）にある場合も、吸水配管口を複数に分割する方策がリスクの低減に有効である。取水ますの深さ（奥行き）は 200mm 程度なので図 6-8 のように複数のパイプを入れる余地がないが、図 38 に示す給水配管の開口部を 4 分割するように分割板を設置すれば良い。この X 字状に組み合わせた吸い込み防止板を吸い込み柵に挿入設置することにより、吸い込み流れが 4 分割され吸水配管口を 4 個に複数化した場合に同等の吸込まれリスク低減効果が得られる。吸い込み防止板は厚い塩ビ板などで製作し、取水ますにボルトで固定する。

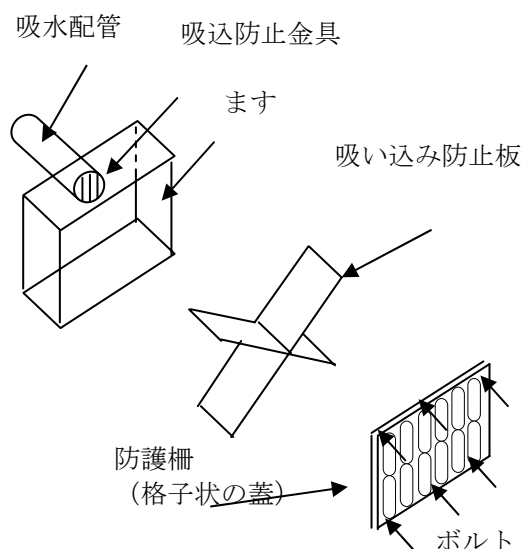


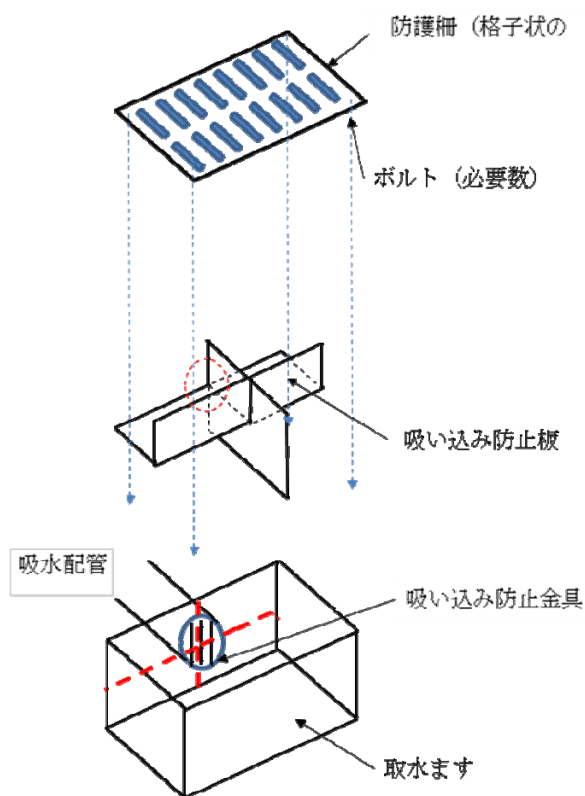
図 38 プール壁面に吸水口がある場合の吸い込み防止金具

この方策は既設のプールで吸込防止器金具と防護柵（格子状の蓋）が既に設置されているプールにも適用可能で、もし防護柵が外れても吸い込み防止板が吸水配管口を遊泳者の身体で大きく閉塞させない役割を果たす。吸い込み防止板は、給水配管口に発生する吸入圧を吸い寄せられた人が自力で脱出出来る程度にまで低減させる役割を果たすので本質的な安全方策といえる。ただし、取水ますの大きさが小さく、遊泳者の身体で取水ますの半分以上を覆う可能性がある場合はこの方策は有効ではない。

6.9.3 プールの底面に上向きの小型取水ますがある場合

取水ますがプール底面にあり、取水ますが小さく図 36 のように複数のパイプを入れる余地がない場合も、分割板を設置すれば良い。

プール底面に上向きに開口する取水ますがあり、ますの垂直面側壁に水平方向の吸い込み管の吸い込み口がある場合には、図 6-11 に示す給水配管の開口部を 4 分割するように十文字状に組み合わせた水平方向の流れ制御板を組み合わせた吸い込み防止板を取水ますに挿入設置すればよい。これにより吸い込み流れが 4 分割されて、吸い込み口を 4 個に多数化した場合に類似の吸い込まれリスク低減効果が得られ、防護柵（穴あき蓋）の効果とあわせてさらにリスクを低減できる。吸い込み防止板は厚い塩ビ板などで製作し、取水ますにボルトで固定する。



この方策は既設のプールで吸込防止器金具と防護柵（格子状の蓋）が既に設置されているプールにも適用可能で、もし防護柵が外れても吸い込み防止板が給水配管口を遊泳者の身体で大きく閉塞させない役割を果たす。

吸い込み防止板は、給水配管口に発生する吸入圧を吸い寄せられた人が自力で脱出出来る程度にまで低減させる役割を果たすので本質的な安全方策といえる。ただし、取水ますの大きさが小さく、遊泳者の身体で取水ますの半分以上を覆う可能性がある場合はこの方策は有効ではない。

図 6-11 プールの底面に上向きの小型吸水ますがある場合の吸い込み防止板

6.9.4 吸い込み防止金具の形状の検討

図 6-6 に指針が示す格子状の蓋と吸い込み防止金具を引用したが、格子状の蓋がなくなると人体が吸い込み防止金具に吸い付かれ捕捉される恐れがある。それは、吸い込み防止金具が図 6-12(a)のように平面的である場合に生じる。安全防护である「二重構造の安全対策」すなわち指針がいう排(環)水口の蓋（本報告書の防護柵に相当）と吸水配管口に図 6-12(b)に示す大きく閉塞される事のない吸い込み防止金具を設置することを推奨したい。(b)図に示す吸い込み防止金具は、膨らんでいるので人が吸い寄せられても身体と配管口に隙間が確保できるので閉塞率をある程度抑えることが可能で吸引力も低く抑えることが出来る。



(a) 平面的な金具と吸い付かれた模式図 (CIPEC の HP より引用) (b) 大きく閉塞される事のない吸い込み防止金具

図 6-12 吸い込み防止金具の形状

6.9.5 付加の保護方策として「緊急停止ボタンの設置」等を実施することとするべきである。一旦吸い付けられると、子ども、成人を問わず自力での脱出は困難で、ポンプを緊急に停止させることが救助を早める方策である。

6.9.6 さらに残留リスクを「使用上の情報」として、プール業務の全従事者の教育・訓練および定期・日常の点検のために、さらにプール利用者への情報提供を行う必要がある。

6.10 今後への提言

- (1) プールの安全は人間の生命に直結していることを重視し、工学的視点から安全を検証するべきものである。プールの設置に関しては行政機関の認可事項とし、然るべき資格者による審査を行なうよう提言する。
- (2) 本提言を基に「プール安全標準指針」を補足改定し、周知徹底を図って頂きたい。
- (3) 本提案は今後新設されるプールについて全てに適用するべきと考える。すでに使用中のプールについても出来るだけ早期に本案もしくはきちんと安全に関する妥当性が評価された本質的安全方策が実施されるよう改修がされるべきと考える。
- (4) 水泳（遊泳、温浴などを含む）プールに潜む危険源のうち、吸排水口に吸い込まれる事故は工学的な方法でリスク低減が可能である。ビス／ボルトの増し締めを人間のメンテナンスに依存する、監視員に依存するなどは決して採用してはならない。
- (5) 対象なるプールは、流水プールのみならず、遊泳プール、ウォータースライダー、クアハウスなど循環ポンプ/吸水ポンプなど機械力によって取水をおこなっている施設である。
- (6) 当研究グループはこれからも
 - ・工学的に防げる「吸い込まれ事故」をゼロにする技術的ガイド（指針）の作成と公表、
 - ・既存プールへ実現可能な（予算と設計・施工）対策案を提案、
 - ・安全指針（文科省、国交省）の改訂を提案、
 - ・既存プールへのコンサルティングの提供、などを目指して活動を続けたい。

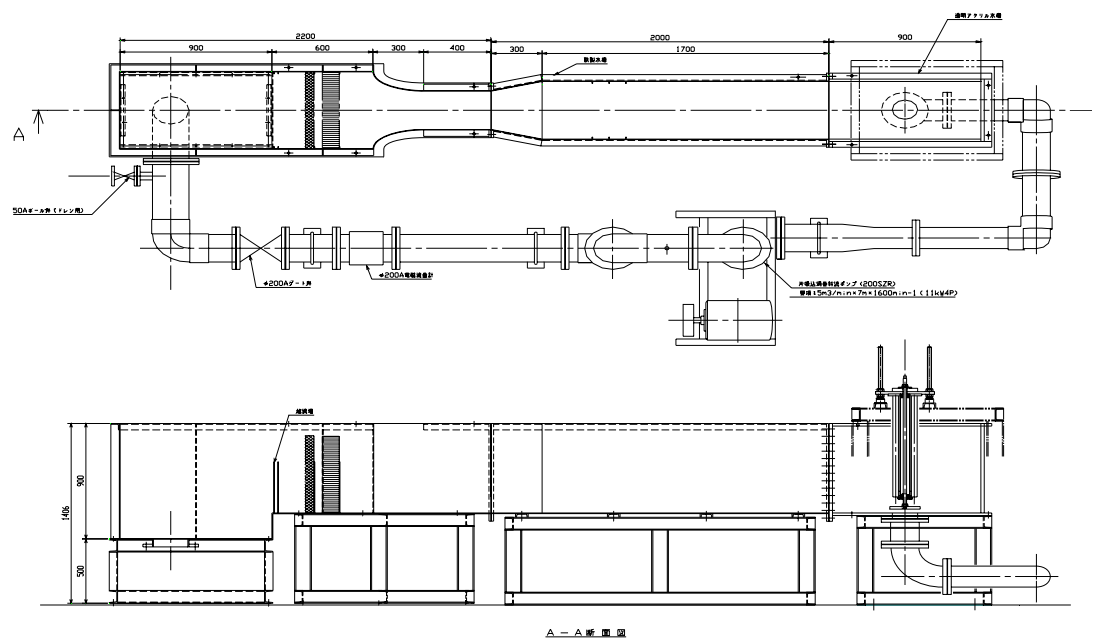
参考文献

- 1) "[特集] 全国のプール施設の安全を守るために～「プールの安全標準指針」を策定," 月刊体育施設, 2007, No.5.月間体育施設、2007
- 2) ふじみ野市大井プール事故調査委員会, "ふじみ野市大井プール事故調査報告書,平成 18 年 9 月" 2006.
- 3) ふじみ野市, ふじみ野市大井プール事故に関する報告書 一検証と対策一, 平成 21 年 8 月, 2009
- 4) さいたま地裁判決、平成 19(わ)779
- 5) 文部科学省および 国土交通省, "プールの安全標準指針 平成 19 年 3 月," 文部科学省および国土交通省, Eds., 2007.
- 6) 市営プール事故で小 2 女児死亡（埼玉県ふじみ野市） 市長交代で再検証へ, 東京新聞 WEB 版、2010 年 1 月 12 日
- 7) 埼玉県プール維持管理指導要綱（昭和 49 年 6 月 11 日）

以上

6.11 添付資料

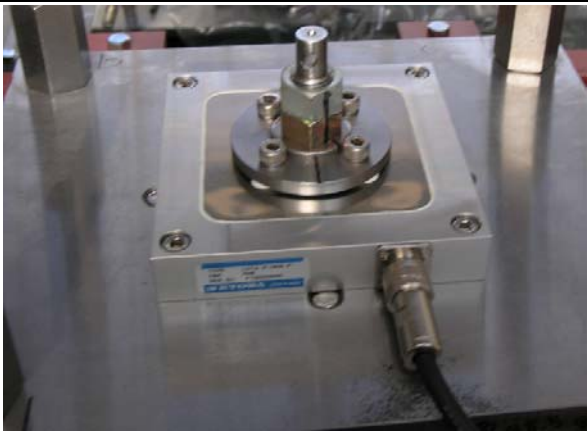
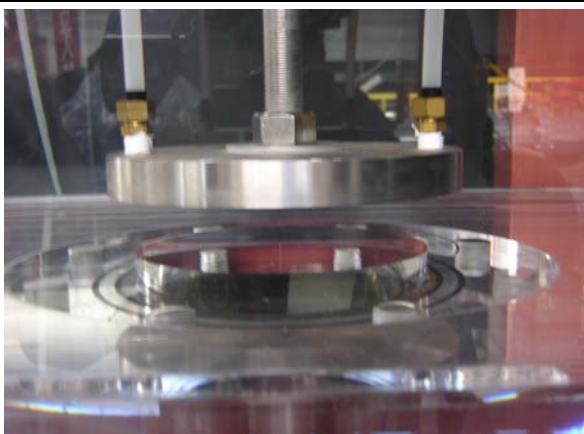
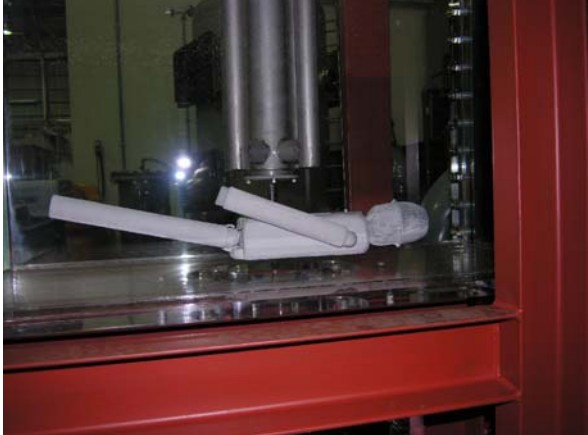
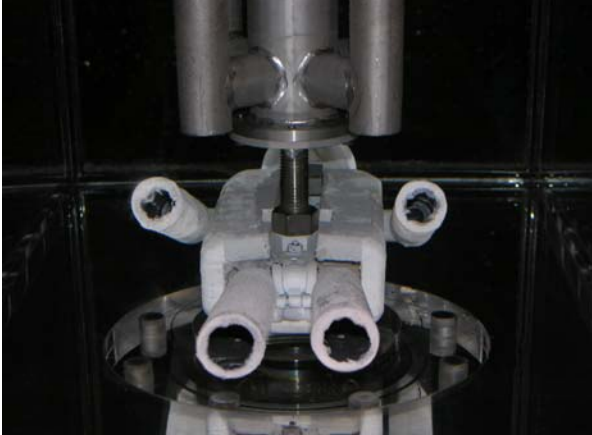
6.11.1 実験装置のデータ



実験装置全景



供試体取付部

	
ロードセル	供試体 d=180mm 円板取付状況
	
1/2 モデル取付状況(1)	1/2 モデル取付状況(2)
実験装置各種写真	

6.11.2 吸水口近傍で受ける流体力の簡易計算と実験の比較

(1) 吸引力の簡易計算

1.1 流路抵抗の算出

水中にある物体が吸水口近傍で流体から受ける概略の流体力を計算にて求める。

- ① 流体力は、吸水口の真空度（圧力差）と物体の投影面積による。
- ② 吸水口の圧力差は、物体による流れの流路抵抗損失から求める。
- ③ 流路抵抗損失は、流路の区間ごとの流速の変化量（拡大、縮小）から抵抗を求める。

流体の速度変化量と抵抗損失の関係は次式とする。

$$h = \xi \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

表 4・1 急縮少の損失⁽⁷⁾

A_2/A_1	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

流路拡大の場合には

（管路・ダクトの流路抵抗）日本機械学会編，

$$\zeta = \xi \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad \xi = 1 \quad h = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \frac{v_1^2}{2g}$$

流路縮小の場合には

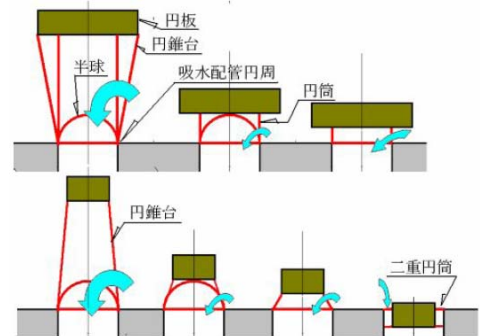
$$\zeta = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \quad C_c = f(A_2/A_1) \quad h = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right) \frac{v_2^2}{2g}$$

簡易的に、 $C_c = 1.06k^3 - 1.19k^2 + 0.59k + 0.54$ $k = A_2/A_1$, とする

1.2 円板による流路の設定

流路は、次の区間に分割して抵抗の計算を行った。

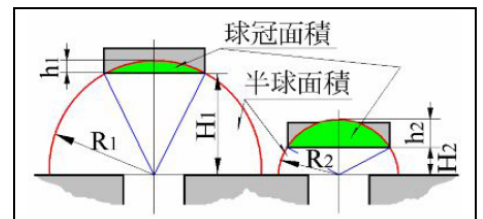
- ① 吸水管円周と円板円周で構成される円錐台側面積，
- ② 吸水配管上の半球・球冠の側面積，
- ③ 吸水配管円周延長上と円板で構成される円筒側面積，
- ④ 吸水配管開口部面積，
- ⑤ 吸水配管よりも小径の円板の場合は二重円筒の断面積



1.3 円板裏面の圧力の推定

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 乗に逆比例するので、吸引力の減衰割合を $k = (\text{球冠面積 } S_c) / (\text{半球面積 } S_0)$ とする

$$k = \frac{S_c}{S_0} = \frac{2\pi rh}{2\pi r^2} = \frac{R_0 - H}{R_0}$$

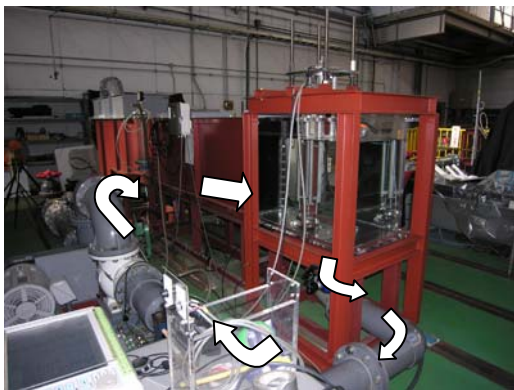


(2). 流体水槽実験による吸引力の確認

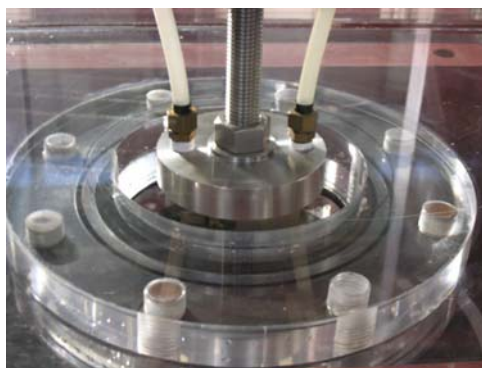
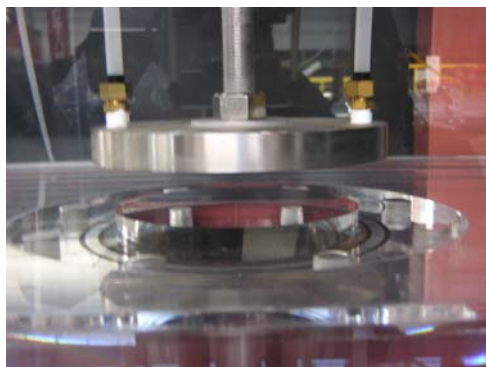
直径 180mm の円板（厚さ 20 mm）、直径 100mm の円板（厚さ 20 mm）、1/2 人体モデル（全長 600 mm 幅 120mm）の 3 種類の場合について、直径 150mm の吸込み配管（内部流速：3m/sec）に近づけた場合の物体に働く吸引力および圧力の測定を行った。

（流体水槽による試験は、(株)荏原製作所にて行なった）

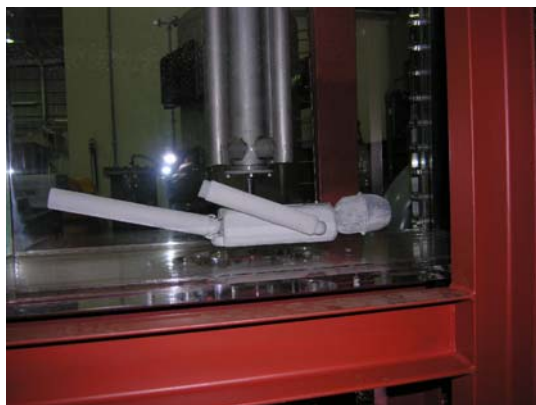
試験水槽および測定装置



水槽内をポンプで水を循環し、アクリル水槽下部の吸込み配管の上部に円板および 1/2 模型を吊るし、ロードセルにより荷重（吸引力）を測定する。水中の圧力はチューブを介して測定する。



水圧測定用チューブの付いた円板（左：直径 180mm，右：直径 100mm）



1/2 模型の取り付け構造および取り付け状態

(3). 実験との比較

3.1 吸引力と真空度の関係の確認

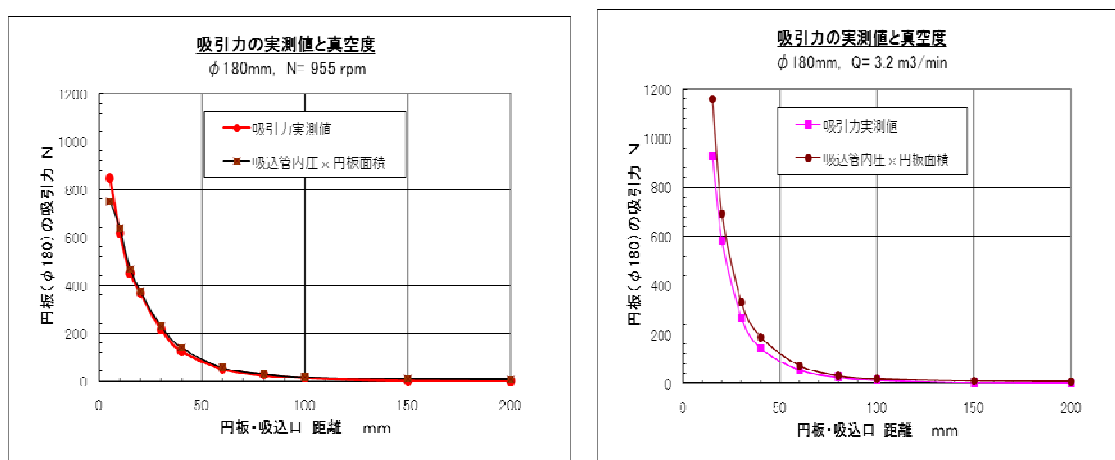
吸込管内圧と円板投影面積の積は、吸引力に一致する

このことから、吸込管内圧が推定できれば流体力による吸引力は推定できる

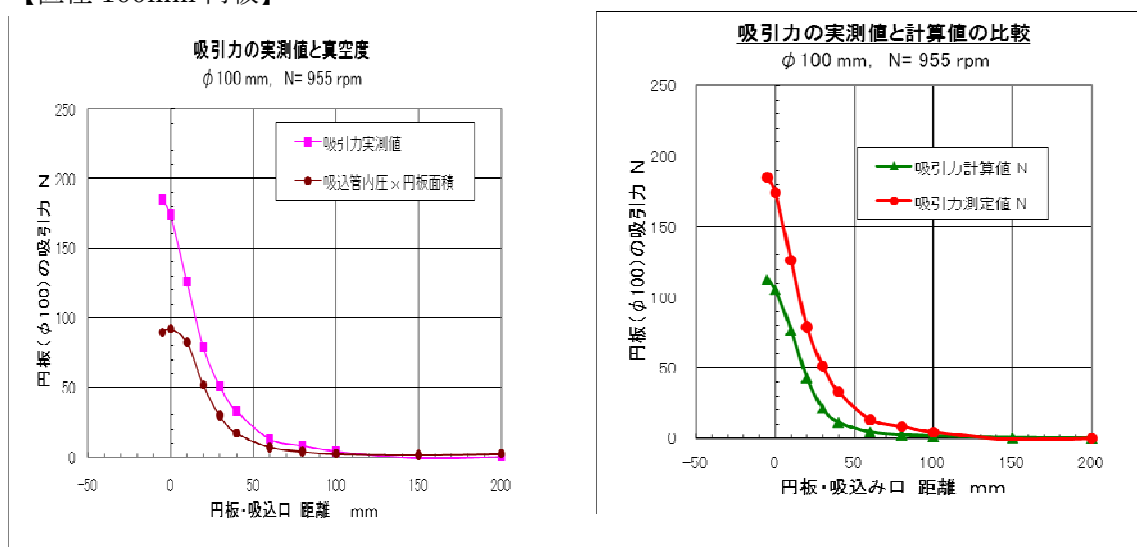
直径 180mm と 100 mm の円板を、直径 150 mm の吸込み配管に接近させた場合、さらに配管内部にまで挿入した場合の配管内部真空度と吸引力の関係を次図に示す。

なお、ポンプの流量は吸込み真空度により大きく変化するので、運転は、回転数を一定に保った場合（実際の運転に近い）と流量を一定に保った場合の 2 通りについて実施した

【直径 180mm 円板】



【直径 100mm 円板】



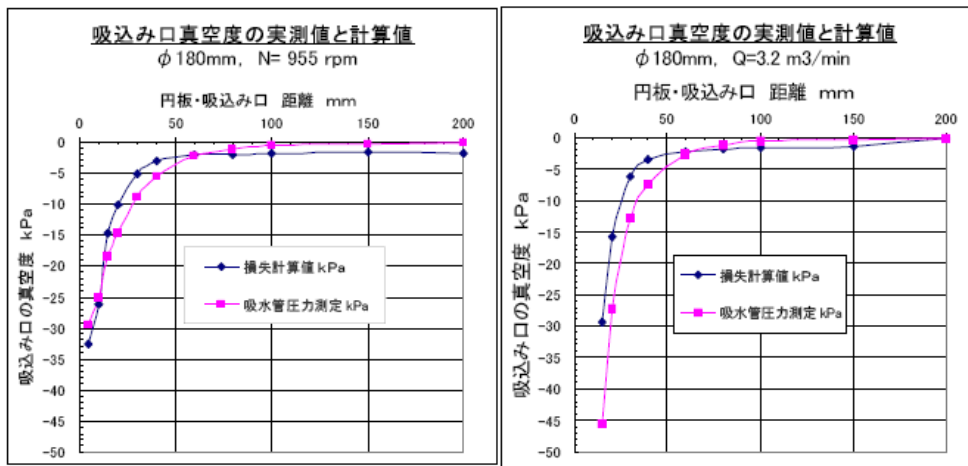
円板が吸込配管の内部にまで挿入された場合には計算値と実験値の差は大きくなるが、円板が 10 mm 程度まで近づく範囲内では概略計算値と実験値は一致する

3.2 吸込み圧力の計算値との比較

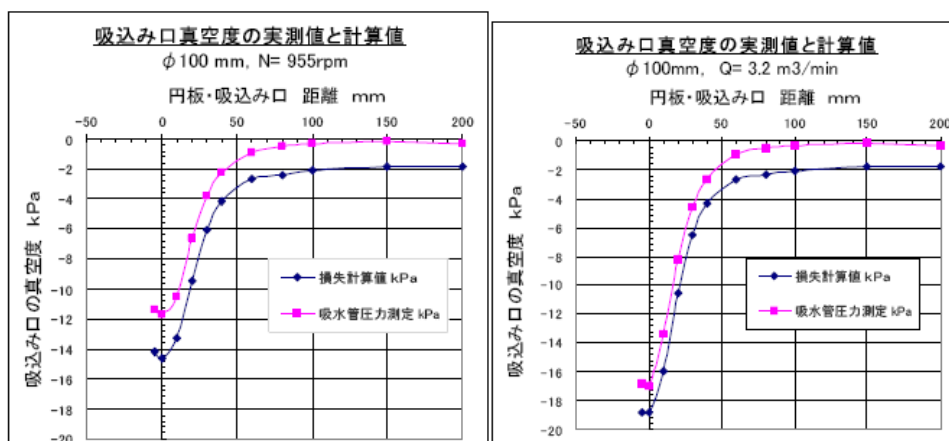
吸込配管内部の圧力は、実験値と概算計算値の値は、ほぼ一致する

なお、水深 590mm に相当する静圧 5.8kPa の加算は、圧力計測部の方向より不要と考える

【直径 180mm 円板】

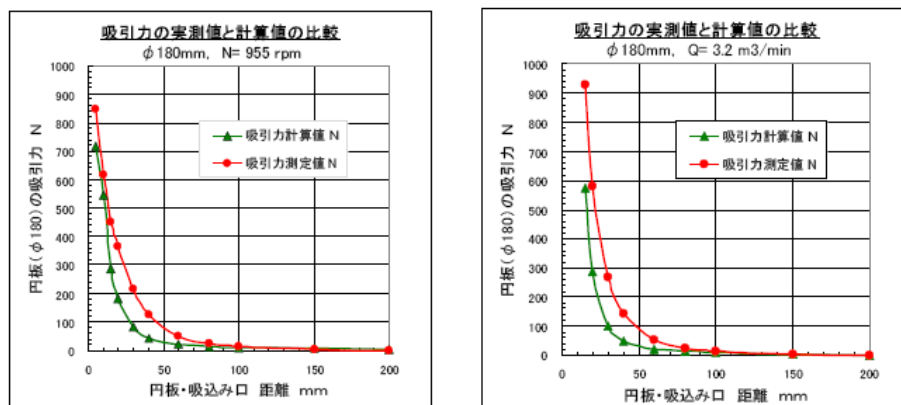


【直径 100mm 円板】

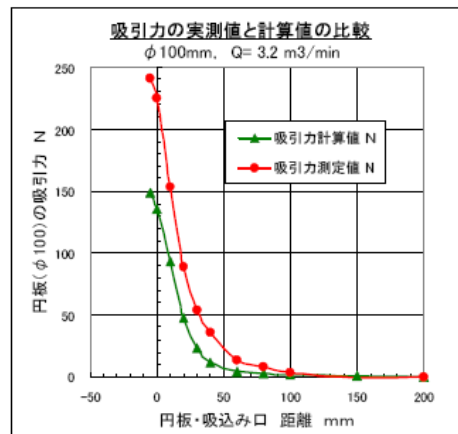
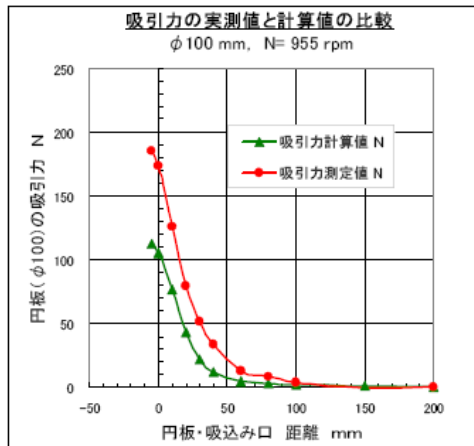


吸込吸引力は、実験値と概算計算値の値は、ほぼ一致する

【直径 180mm 円板】



【直径 100mm 円板】



(4) 概略計算の妥当性

4.1 円板裏側の圧力

吸水配管内の圧力は円板に対する吸引力として働くが, 吸引力は距離の 2 乗に逆比例する。

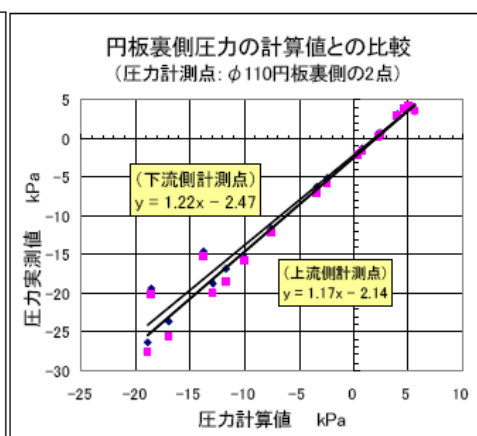
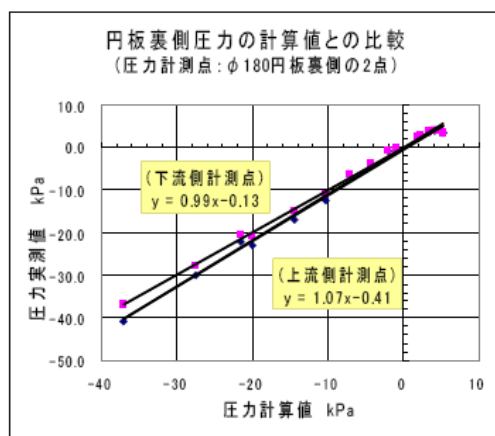
円板底面を切片とした球冠の面積と半球側面の面積比で吸引力が減衰するとすれば, 円板裏側に働く吸引力は次式で表せる

$$R_0 = \sqrt{R^2 + H^2} \quad h = R_0 - H$$

$$P_b = P_0 \frac{2\pi R_0 h}{2\pi R_0^2} = P_0 \left(1 - \frac{H}{R_0}\right)$$

R:円板半径

H : 円板と吸込み口の距離



直径 180mm と 110mm の両方の円板について, 計算値と実測値を比較した。

水槽内の流れは円板の横の十分離れた面から水槽底面の吸込配管に向かって流れるので, 円板裏側の圧力測定は上流側下流側の 2 箇所測定している。この 2 箇所測定した圧力は吸込配管内部の圧力から推定した計算値と一致する。

これにより、吸引力の推定のための計算には, 吸込配管内部の圧力の計算値から求めた円板裏側の圧力を適用する。

4.2 円板に働く吸引力

円板のような単純な形状では、概略計算により物体に働く流体力による吸引力の大きさの推定が可能であることが確認できた。

4.3 ポンプの真空流量特性

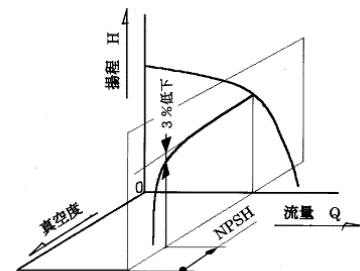
これらの計算には、ポンプの真空流量特性が既知であることが前提である。

従来の流体力の計算検討では、吸込側の真空度が上がってもポンプの流量が低下しないこと（流量一定）を前提に計算が行われているが、実際のポンプ（回転数一定の場合）では吸込配管の真空度が上がると流量は低下する。

この試験では、初期値として吸込配管の内部流速を 3.0m/sec （ポンプの流量： $3.18\text{m}^3/\text{min}$ ，回転数： 955rpm ）になるように設定した。ポンプの回転数を一定にした場合では直径 180mm の円板を距離 5mm まで近づけるとポンプの流量は $1.04\text{m}^3/\text{min}$ まで低下する。単純に流量が $1/3$ に低下すれば流路抵抗は $1/1.7$ に低下するので、実際の吸引力の検討はポンプの流量低下を含めて検討する必要がある。

なお、一般にポンプの真空流量特性は性能低下の目である NPSH は、流量一定の状態で圧力が 3% 低下す程度，すなわち回転一定なら流量が 1.5% 程度低下すまでの真空度である。

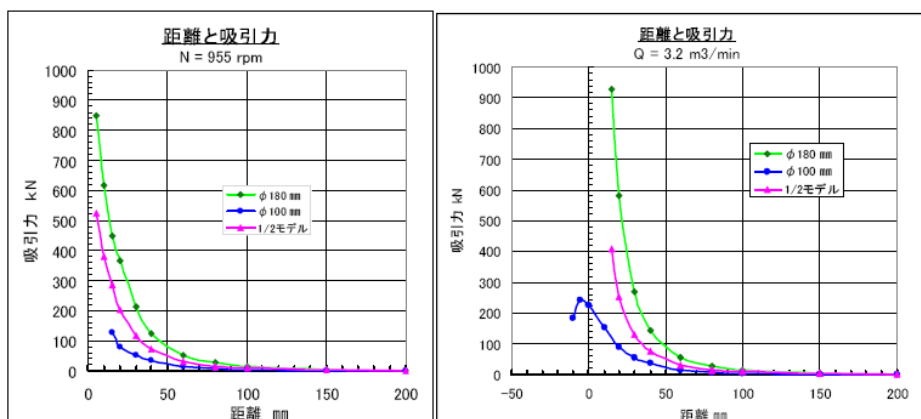
それ以上の真空度の特性は特別な要求が無い限り験をされることが無くデータもない。



際
る
安
る
る
試

(5) 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 600mm ，幅 120mm （胴体幅 75mm ）である。全長では 180mm の円板よりも長い、幅は直径 150mm の吸込配管を塞げない寸法で、手足が立体的についている複雑な形状である。この吸引力は CFD で求める以外ないが、円板モデルと比較して概略の吸引力を推定できないか、試験結果を比較する



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。

このことから、複雑な形状でも大まかな吸引力は、単純なモデルから推定することは可能である。

(6) プールの吸込口の吸引力推定

実際の流水プールの仕様は、吸込管呼び口径 300 mm (内径 310.5 mm)、ポンプ流量 10m³/min で、吸込開口部の前方 200 mm に 600 mm x 1200 mm の防護柵がある

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、腕まで含んだ寸法として直径 270 mm の円板で計算を行う。

吸込配管の真空度が増すとポンプの流量は低下するが、ポンプの真空度と流量性能は試験に用いたポンプの特性を使い、ポンプの流量 3.2m³/min から 10m³/min に変わっても特性をそのまま使うために流量・真空度を比率で表わした。

計算結果は、吸込み配管開口部から 100 mm 程度はなれた距離から急激に吸引力は増加する。このことから防護柵を吸込み配管開口部から 200 mm 離れた位置に設けることは、吸込み吸引力は 60N (6kgf) 程度であり自力で離脱は出来るが、防護柵が外れていて吸込み配管開口部 (距離 0mm) に達すると吸引力は 1280N (130kgf) になり離脱は出来ない。

謝辞

この吸引力測定の実験に全面的に協力いただいた(株)荏原製作所の関係者の皆様にお礼申し上げます

6.11.3 大井プール図面

(1) 大井プール平面図

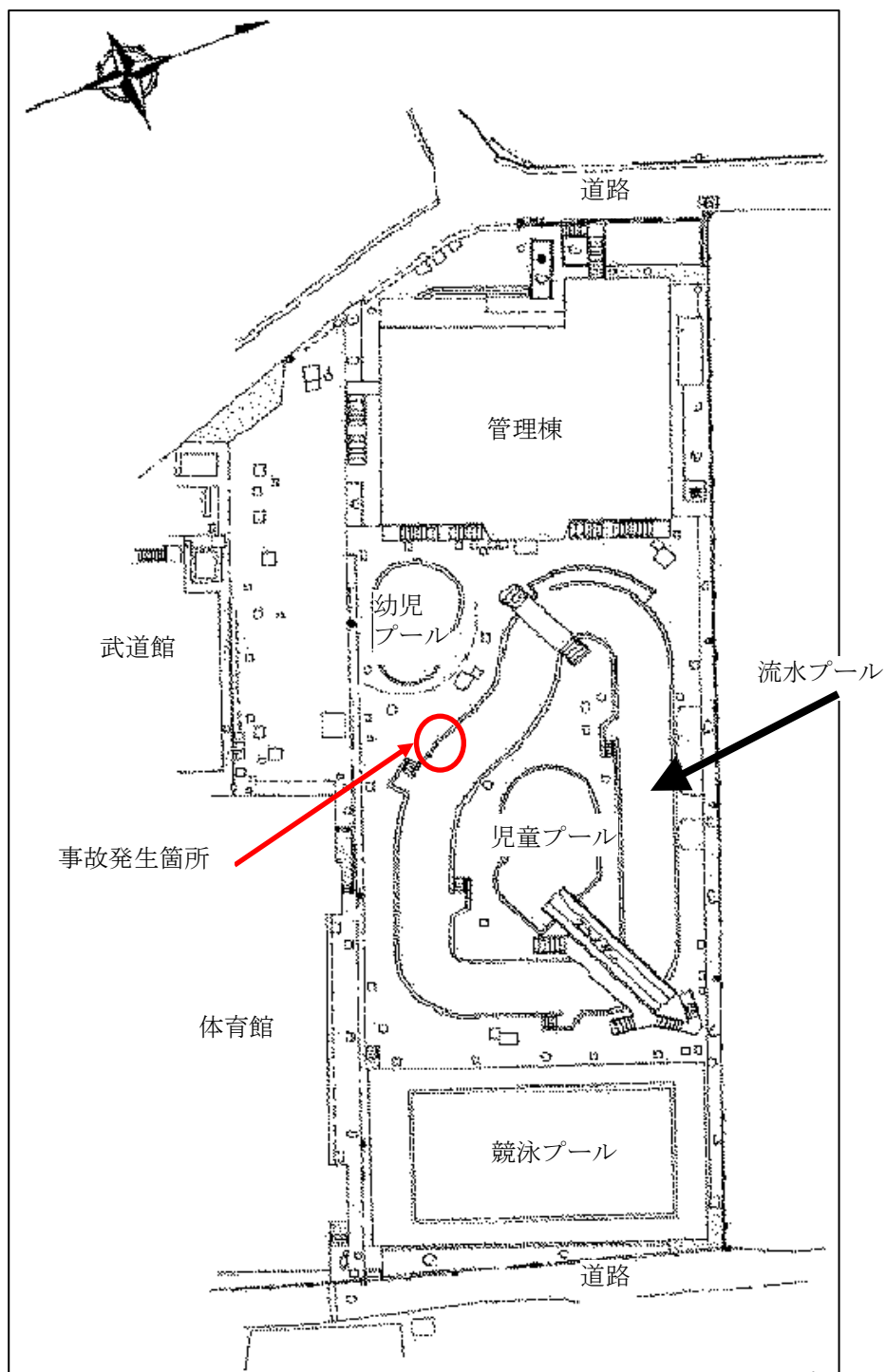


図 6-13 施設配置図

ふじみ野市大井プール事故報告書より

ふじみ野市大井プール事故報告書より

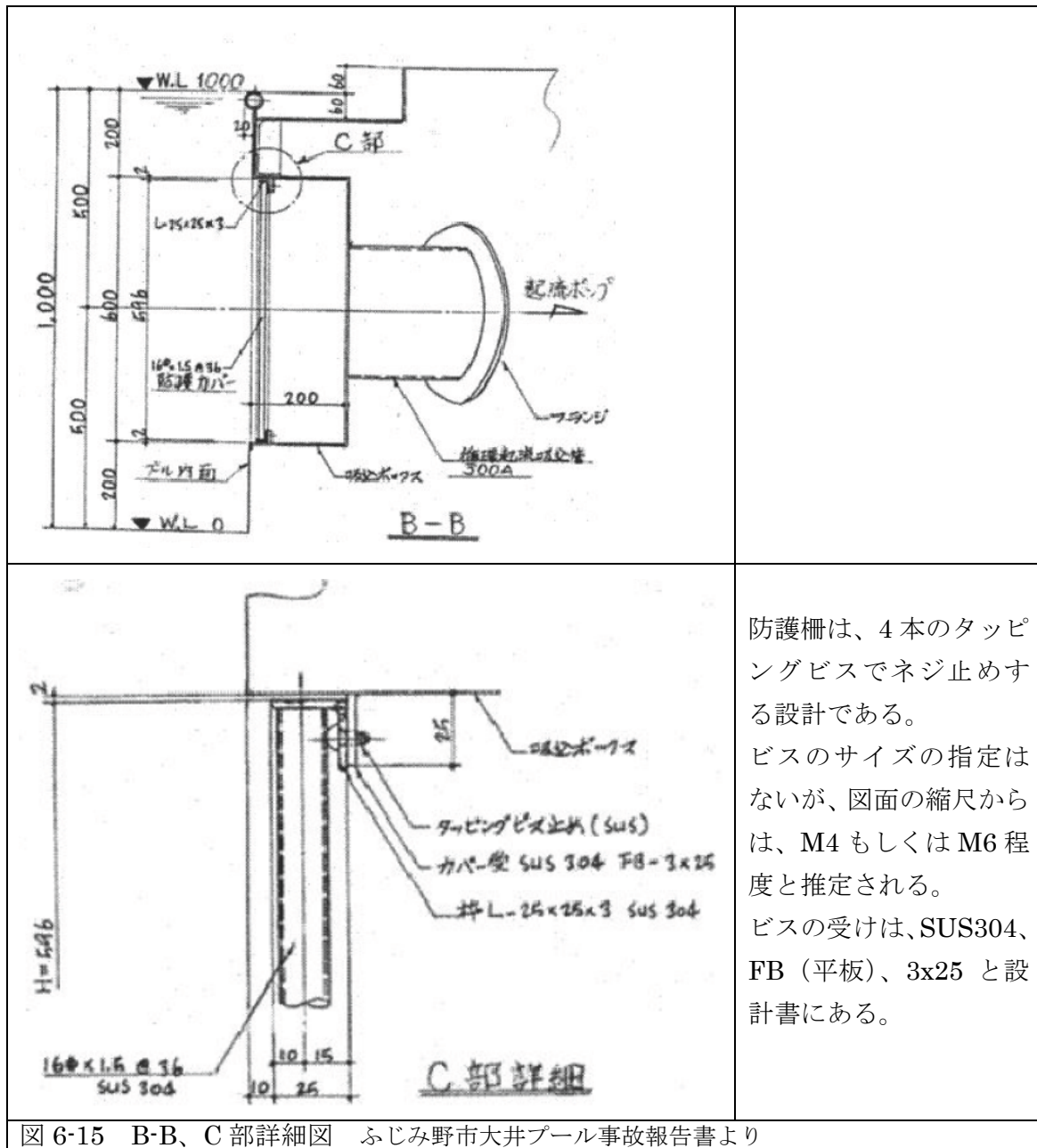
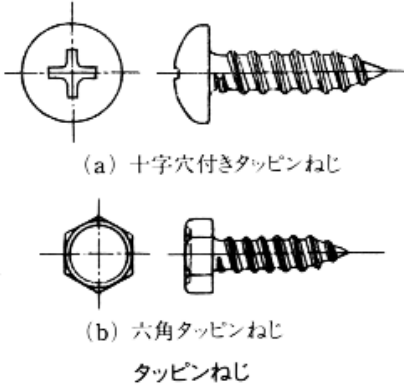


図 6-15 B-B、C 部詳細図 ふじみ野市大井プール事故報告書より

6.11.4 ねじ、ビス、ボルト、タッピングビスの用語

本報告書では螺子（ねじ）、ビス、ボルト、タッピングビスを次のように使っている。		
螺子（ねじ）	物をしめつけるための螺旋（らせん）状の溝のあるもの。丸棒の表面に溝のあるものを雄（お）ねじ、これにはまるものを雌（め）ねじという。 漢字もしくはひらがなで表記する。	
ビス	小型の雄ねじ。ドライバー（＋、または－）を使用する。 “十文字穴付きなべ子ねじ”などの子ねじのこと。 フランス語の vis が語源。カタカナで表記する。	
ボルト	金属丸棒の一端にねじを切り、普通は他端に直径より大きな四角・六角などの頭をつけたもの。植込みボルトのように頭のないものもある。ナットと共に部品の締付け・結合に用いる。	
タッピングビス	薄い鋼板や樹脂材料に下穴をあけるだけで、雌（め）ねじを切らずにそのまま雄（お）ねじだけで止める小型のねじ。下穴をあけずにそのまま穴あけ加工をねじ自身が行なうものもある。他のねじに比べてねじ山の荒いものが多い。	 (a) 十字穴付きタッピンねじ (b) 六角タッピンねじ タッピンねじ

第7章 意見

7. 意見

1. ここに採り上げた4つの事例は、いずれも事故を引き起こすべき明確な工学的理由がある。そのうち4例については設計段階での安全方策の不足が推定される。ふじみ野市大井流水プール事故においては施設管理者が刑事罰を受けたが、設計事業者にはそのような責任は問われなかった。このように製品安全において重要な設計段階でのリスクの認識の不足について十分指摘されているとは言い難い事例がある。
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。だが人の注意に頼ることはいずれ同類の事故を引き起こすこととなるであろう。
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、リスクが小さければ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あくまでも守られるべきである。
4. 事故の後に出了た報告書類においても必ずしも十分なリスク評価がなされているといえないものもある。ふじみ野市の流水プールにおいては、ます（柙）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、保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挑戦の対象にもなる。吸水口の柵面での流水による児童の吸い付け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である。
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。しかし、必ずしもそのような処置が取られていない事例がある。
 - ・浴槽用浮き輪による溺水においては同類の浮き輪がいまでも通信販売されている。
 - ・乳児用ベッドからの転落においてはSGマーク未貼付の製品がいまも販売、レンタルされているようである。
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のうゑに、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。残念ながら現在わが国の設計現場にはとりわけ安全工学に関する十分な能力を持ったエンジニアがまだ少ないといわねばならない。このような能力を備えたエンジニアを教育することとともに規格、標準類の整備が必要である。これは単に国のみに期待することではなく、当該業界団体による安全標準の制定などの適切な活動も重要である。

非売品 禁無断転載	
平成 22 年度 経済産業省 中小企業支援調査（キッズデザイン製品開発支援事業）に関する委託研究契約 ー日本小児科学会雑誌 Injury Alert 事例の分析に関する研究ー	
発行 平成 23 年 2 月 28 日 発行者 社団法人日本技術士会登録 子どもの安全研究グループ	
会長	佐藤国仁 技術士：機械部門、総合技術監理部門／（社）日本技術士会会員 有限会社佐藤アールアンドディー sato@sato-rd.co.jp
主査	森山 哲 技術士：電気電子部門、総合技術監理部門／（社）日本技術士会会員 有限会社森山技術士事務所 http://www.safetyeng.co.jp/