

1-11

自由落下式救命艇の着水後の挙動に対する 船型及び落下初期条件の影響

正員 荒井 誠* 学生員 上村 伸一**
原野 勝博*** 正員 橋爪 豊***

Effects of hull shape and launching conditions
on the behaviors of free-fall lifeboats after water entry

by Makoto Arai, *Member* Shinichi Kamimura, *Student member*
Katsuhiro Harano Yutaka Hashizume, *Member*

Summary

In the research and development of free-fall lifeboat systems, emphasis has been mainly on the performance confirmation tests using full-scale prototype boats. On the other hand, fundamental studies that illustrate the behaviors of free-fall lifeboats during water approach and entry have not been sufficiently carried out. The purpose of this paper is to show the effectiveness of a numerical simulation method in evaluating quantitatively the effects of hull shape and launching conditions on the behaviors of free-fall lifeboats. Two lifeboat models having different hull shape, weight distribution, moment of inertia, etc., are utilized in a series of model experiments. Computed results such as boat motion and impact acceleration on the hull are compared with measured ones, and the comparison confirms the validity of our numerical method. The marked effect of guide rail length on boat motion and acceleration are also illustrated. In the case of a boat with an extreme transom stern, it is found that an impulsive force is exerted on the stern during the run of the boat below the water surface. A sharp bow, shown herein, is effective for smooth evacuation motion.

1. 緒 言

船舶や海洋構造物からの緊急脱出手段としてダビットを利用した救命艇が長らく使用されてきたが、これを扱う乗組員は脱出システムに対する高度な習熟を必要とする。すなわち、荒天下で動揺する母船から救命艇を母船側方に振り出し、降下・進水させ、さらに安全な遠方に向かって離脱させるまでの一連の複雑な操作はパニック状態で行われる可能性があり、ヒューマンエラーを引き起こす恐れがある。また、可燃性貨物を運搬するタンカー等の事故では、海面火災が発生する危険性があり、猛火の中で救命艇の降

下・進水を余儀なくされるため、降下中に艇体の焼損、有毒ガスの艇内への侵入等の危険がある。

以上のような現行システムの問題点を解決すべく、北欧3国によって自由落下式救命艇が開発され、1990年代に入り急速に普及してきた¹⁾。しかしながら、自由落下式救命艇に関するこれまでの研究・開発では、実機サイズのプロトタイプ模型を用いて海面への落下実験を行い、運動や艇体に作用する加速度等を計測するという性能確認的な検討^{2),3),4)}が中心であり、着水性能を調べるための理論計算法の開発等の基礎的な研究はほとんどなされていなかった。一方、今後予想される自由落下式救命艇を用いた離脱システムに関する法規の整備や新型の救命艇の開発にあたっては、離脱時の救命艇の運動や着水衝撃加速度を定量的に評価できる解析手法が必要と考えられる。

そこで著者らは、船型や落下条件等の影響を定量的に評価することが可能な自由落下式救命艇の着水挙動のシミュレーション法の開発を行ってきた^{5),6),7)}。本論文ではその

* 横浜国立大学工学部

** 横浜国立大学大学院

*** 運輸省船舶技術研究所

原稿受理 平成11年1月8日

春季講演会において講演 平成11年5月12, 13日

検証も兼ねて、異なる船型をもつ2隻の自由落下式救命艇模型を用いた模型実験を実施し、着水時に救命艇に作用する衝撃加速度や着水後の救命艇の運動を計測してシミュレーション結果との比較を行う。また、着水挙動の特徴や、船型および落下初期条件との関係についても考察を加える。

2. 模型実験

2.1 供試模型

実験に用いた模型は、相対的に尖った船首をもつ Lifeboat-A とプラントな船首をもつ Lifeboat-B の2艇である。両模型艇の概要を Fig. 1 および Fig. 2 に、主要目を Table 1 に示す。Table 1 の要目のうち C_{m0} と d_1 は一般的な要目ではないが、自由落下式救命艇の挙動シミュレーションに必要な情報である。 C_{m0} はガイドレールを含めた最大半幅を、 d_1 はベースラインからガイドレール下面までの高さを表している。Lifeboat-A は日本造船研究協会の第232研究部会で試設計されたもので、Fig. 1 および Fig. 2 の平面図から明らかなように Lifeboat-B に比べて船首と船尾を細く絞り、また、定員上ぎりぎりの容積を確保しつつ可能な限り細長い船型としてある。さらに、滑台 (skid) 上に斜めに設置された状態で乗員が船尾ハッチか

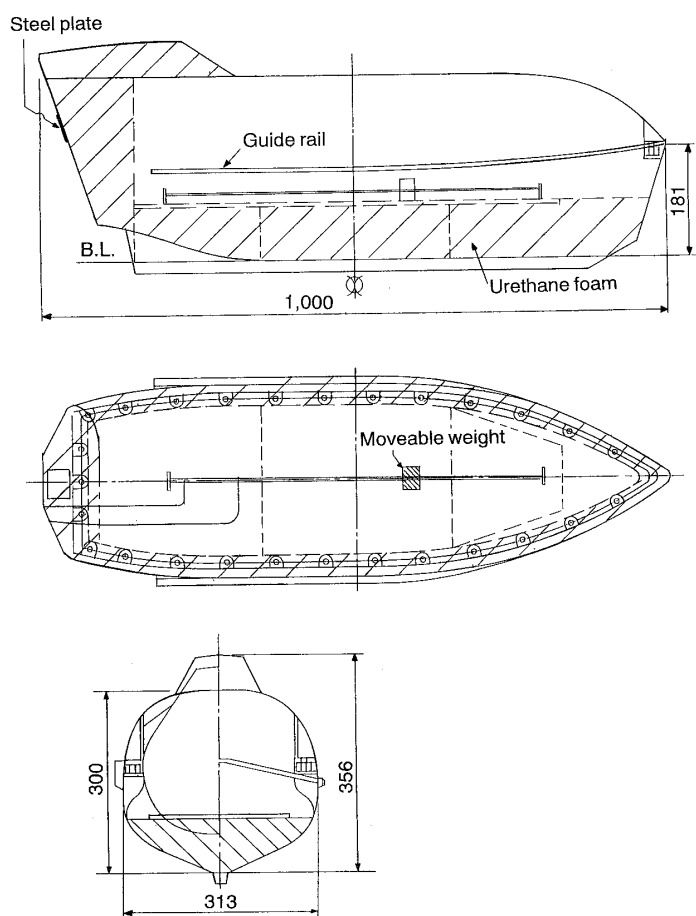


Fig. 1 Free-fall lifeboat model (Lifeboat-A)

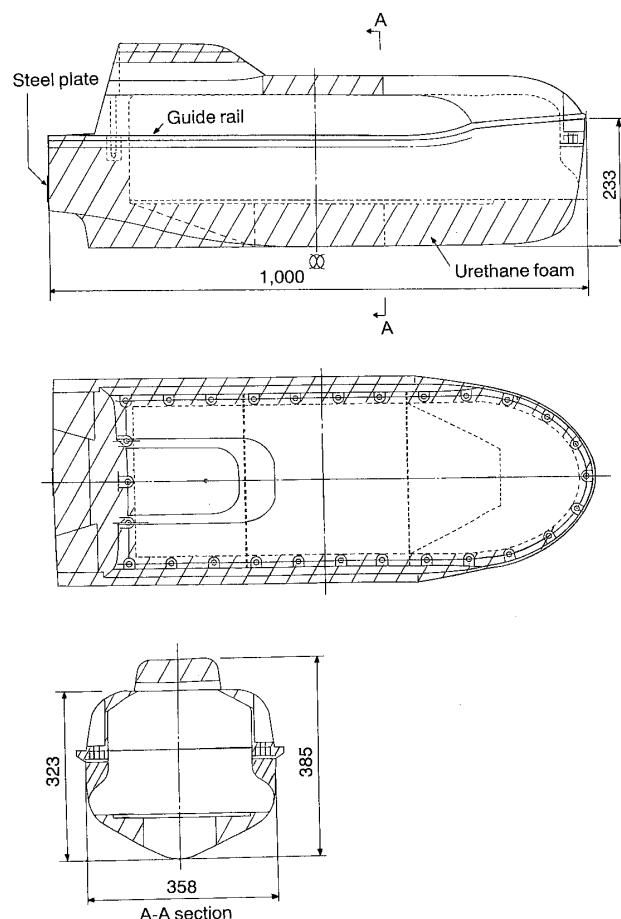


Fig. 2 Free-fall lifeboat model (Lifeboat-B)

Table 1 Principal dimensions of the lifeboat models used in experiment and simulation

	Lifeboat-A		Lifeboat-B	
	Full scale	Model	Full scale	Model
Length (m)	8.00	1.000	7.40	1.000
Breadth (m)	2.50	0.313	2.65	0.358
Depth (m)	2.40	0.300	2.39	0.323
Draught (m)	abt. 0.75	abt. 0.094	abt. 0.74	abt. 0.100
C_{m0} (m)	1.35	0.169	1.42	0.192
d_1 (m)	1.15	0.144	1.45	0.196
KG (m)	1.32	0.165	1.43	0.193
Midship G (m) aft+	0.20	0.025	0.07	0.009
Radius of gyration (m)	2.35	0.294	2.52	0.341
Displacement (kg)	6272.0	12.25	6362.0	15.70
Capacity No. of persons	22	-	unknown	-
Scale	1	1/8.00	1	1/7.40

心より後方のガイドレールを短く切り、滑台端部での拘束回転の持続時間を短縮する方法が提案されている⁹⁾。Lifeboat-A は船体中央より後方のガイドレール長さを 0.3 m および 0.1 m と可変として、その影響を調べられるようにしてある。Lifeboat-B は船尾端までガイドレールが設置されており、ガイドレール長さの変更はできない。Lifeboat-A では加速度を 6 点 (船体中央および船体中央より前後 333 mm の計 3 カ所で、それぞれ前後および上下の 2 方向)、Lifeboat-B では加速度を 3 点 (船体中央で前後方向、船体中央より前方および後方に 350 mm の 2 カ所で上下方向) を計測した。

2.2 落下実験装置

実験に用いた滑台を Fig. 3 に示す。滑台傾斜角は現存の大多数の実機が採用している角度 35° を中心として 20° ~ 50° まで 5 段階に変更できるようになっている。また、滑台には模型艇を支持するための電磁マグネットが取り付けられており、電磁マグネットへの供給電力停止により模型艇は滑降を開始する。

実機では、滑台のレール上面に摩擦係数の小さいテフロン板を貼付したり、ローラーを設置することによって、救命艇のガイドレールとの間の摩擦を極力小さくするように工夫されている。本論文の模型実験では滑降時の摩擦が極めて小さくなるローラー方式を採用した。

3. 数値シミュレーション

自由落下式救命艇の母船からの離脱運動は、着水前の空中運動と着水後の水面付近での運動に分けられる。空中運

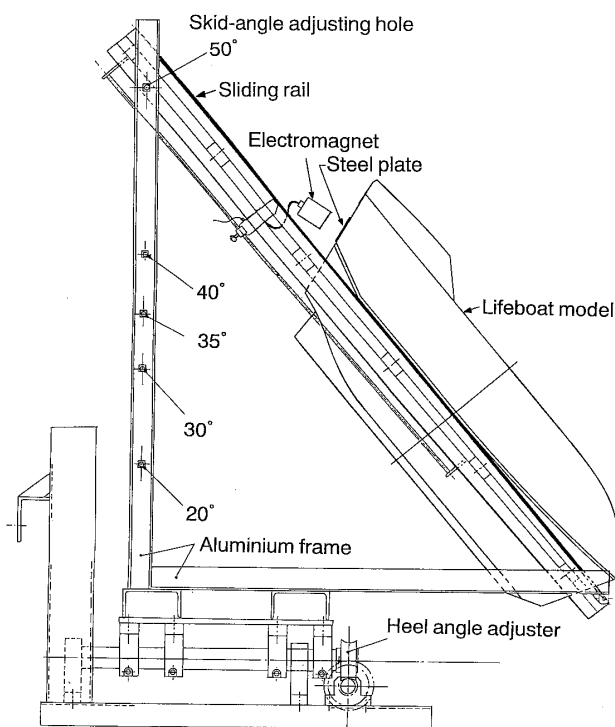


Fig. 3 Free-fall skid for model experiment

動は滑台上の滑降からスタートし、滑台端部での拘束回転、自由落下を経て水面に着水するまでであり、田崎ら⁹⁾により精度のよい計算法が提案されている。着水後の救命艇は、水面でスラミング (着水衝撃) を起こした後、水中航走、水面への再浮上、浮上後の慣性航走を行って遠方に脱出する。着水以降の運動も含む一連の挙動シミュレーション法については著者らの論文^{5), 6), 7)} に詳しく示した。ここでは本論文の議論に係る着水以降の計算法について簡単にまとめておく。なお、実際の離脱時には着水と同時に艇の推進機が稼働するので、着水後の運動にはその影響も多少あると考えられるが本稿では無視する。

艇の質量を M 、慣性モーメントを I 、空間固定座標系に対する艇の重心の水平および上下方向の位置を x および z 、静水面に対する艇の傾斜角 (回転角) を θ とすると着水後の艇の運動方程式は

$$\begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{mn} \sin \theta - F_{ma} \cos \theta + F_{dn} \sin \theta - F_{da} \cos \theta \\ F_{mn} \cos \theta + F_{ma} \sin \theta + F_{dn} \cos \theta + F_{da} \sin \theta - Mg + F_b \\ -M_{mn} - M_{dn} - M_b \end{bmatrix} \quad (1)$$

と表せる。ここで、 F_{mn} および F_{ma} は艇の上下方向および前後方向 (Fig. 4 の ζ および ξ 方向) の流体力学的運動量変化に基づく力の成分を表す。また、 F_{dn} および F_{da} は、それぞれ艇の上下方向および前後方向の抗力成分である。これらの流体力の成分は運動する艇に固定した局所座標系を用いて評価する。さらに、 F_b は浮力、 Mg は自重を示している。同様にして、 M_{mn} は運動量変化によるモーメント、 M_{dn} は抗力によるモーメント、 M_b は浮力によるモーメントである。

(1) 式右辺の外力項の評価は、浮力 (F_b , M_b) と艇の上下方向 (normal direction) および回転方向の力の成分 (F_{mn} , F_{dn} , M_{mn} , M_{dn}) に関しては、艇を長さ方向に 40 等

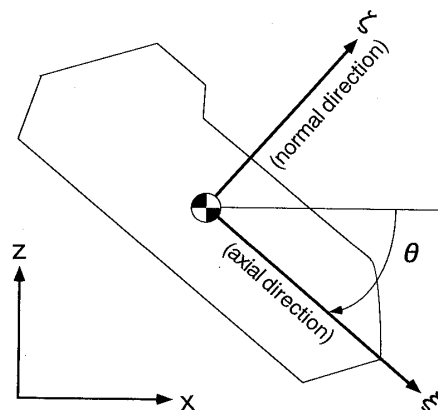


Fig. 4 Coordinate systems

分し前後端を含み合計41横断面での力を評価して、それらを艇の長さ方向に積分することにより求める。

例えば浮力成分は

$$F_b = \rho g \int A_i(\xi) d\xi \quad (2)$$

$$M_b = \rho g \cos \theta \int A_i(\xi) \xi d\xi \quad (3)$$

と表せる。ただし、 $A_i(\xi)$ は没水部分の断面積、 ξ は艇に固定した座標系において艇の長さ方向を表す局所座標である。なお、積分記号は艇の後端から前端までの積分を意味する。

着水初期の挙動に最も重要な関係がある F_{mn} および M_{mn} は

$$\begin{aligned} F_{mn} = & (-\dot{x} \sin \theta - \dot{z} \cos \theta) \int \frac{dm}{dt} d\xi \\ & + \dot{\theta} \int \frac{dm}{dt} \xi d\xi + v_{ax} \int \frac{dm}{dt} \tan \alpha d\xi + \ddot{\theta} \int m \xi d\xi \\ & - (\ddot{x} \sin \theta + \ddot{z} \cos \theta + 2\dot{\theta} v_{ax}) \int m d\xi \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{mn} = & (-\dot{x} \sin \theta - \dot{z} \cos \theta) \int \frac{dm}{dt} \xi d\xi + \dot{\theta} \int \frac{dm}{dt} \xi^2 d\xi \\ & + v_{ax} \int \frac{dm}{dt} \tan \alpha \xi d\xi + \ddot{\theta} \int m \xi^2 d\xi \\ & - (\ddot{x} \sin \theta + \ddot{z} \cos \theta + 2\dot{\theta} v_{ax}) \int m \xi d\xi \quad (5) \end{aligned}$$

で求められる。ここで、 m は各断面の上下 (heave) 方向付加質量、 $\tan \alpha$ は船首底部の傾斜を表す。 v_{ax} は艇の前進速度で

$$v_{ax} = \dot{x} \cos \theta - \dot{z} \sin \theta \quad (6)$$

である。

次に艇の前後方向 (axial direction) に作用する力の成分 F_{ma} であるが、この評価には上下方向の力の成分の評価で用いたストリップ法的な考え方は適用できない。従って、艇全体に作用する力として F_{ma} を評価することにする。まず、艇長の1/2 (船体の前半部分) が没水した際の付加質量が無限流体中の回転楕円体の付加質量の1/2に等しいと仮定する。次に、 l を船首端から測った艇の長さ方向の没水量として、 l が1/2艇長以下のときは船首端から l の位置の横断面積と船体中央の横断面積の比で付加質量を評価することにする。 l が1/2艇長以上のときは一定値 (回転楕円体の付加質量の1/2) とする。以上のようにして、前後 (surge) 方向の付加質量を l の関数 $m(l)$ として表すと、前後方向の力は

$$F_{ma} = m(l) \cdot \dot{v}_{ax} + \frac{dm(l)}{dt} v_{ax} \quad (7)$$

によって評価することができる。ここで $\dot{v}_{ax}$ は艇の前進方向の加速度を表す。

水中航走時に救命艇に作用する抗力成分は以下の式により評価する。

$$F_{da} = \frac{1}{2} \rho C_{da} A_{cm} v_{ax} |v_{ax}| \quad (8)$$

$$F_{dn} = \frac{1}{2} \rho C_{dn} \int (2C_m) v_{nr} |v_{nr}| d\xi \quad (9)$$

$$M_{dn} = \frac{1}{2} \rho C_{dn} \int (2C_m) v_{nr} |v_{nr}| \xi d\xi \quad (10)$$

ただし、 ρ は流体密度、 C_{da} および C_{dn} はそれぞれ前後および上下方向の抗力係数、 A_{cm} は船体中央の断面積、 $2C_m$ は各横断面の最大幅を表す。また、 v_{ax} は(6)式に示した艇の前進速度成分、 v_{nr} は艇の各位置における上下方向の速度成分で

$$v_{nr}(\xi) = -\dot{x} \sin \theta - \dot{z} \cos \theta + \xi \dot{\theta} \quad (11)$$

である。

着水後の救命艇の時々刻々の運動は(1)式右辺に現れる $m\ddot{x}$, $m\ddot{z}$ 等の慣性項を運動方程式の左辺に移項して、時間積分法により数値計算する。本研究では運動方程式の時間積分には Newmark- β 法を用いた。

以上の方法によって、空間固定座標系に関する艇の重心の加速度成分が計算できるので、艇とともに移動する座標系における艇内各位置の加速度 (すなわち、模型実験の際に模型に搭載した加速度計で計測される加速度、ないしは乗員が受ける加速度) を次式により評価する。

$$a_{\xi} = \ddot{x} \cos \theta - (\ddot{z} + g) \sin \theta + \xi \ddot{\theta} - \xi \dot{\theta}^2 \quad (12)$$

$$a_{\tau} = \ddot{x} \sin \theta + (\ddot{z} + g) \cos \theta - \xi \ddot{\theta} - \xi \dot{\theta}^2 \quad (13)$$

4. 結果および考察

4.1 Lifeboat-Aの着水挙動

模型実験は、Fig. 5に示す滑台傾斜角 (θ)、落下高さ (H)、滑降距離 (S.D.)、船体中央より後方のガイドレール長さ (G.L.) の4つのパラメータを種々組み合わせる実施した。ここでは、滑台傾斜角 35° 、落下高さ 1.5 m 、滑降距離 0 m 、ガイドレール長さ 0.3 m を標準ケースとし、4つのパラメータのうち、1つないしは2つのパラメータを標準ケースから変えた場合の結果を示し、それらを

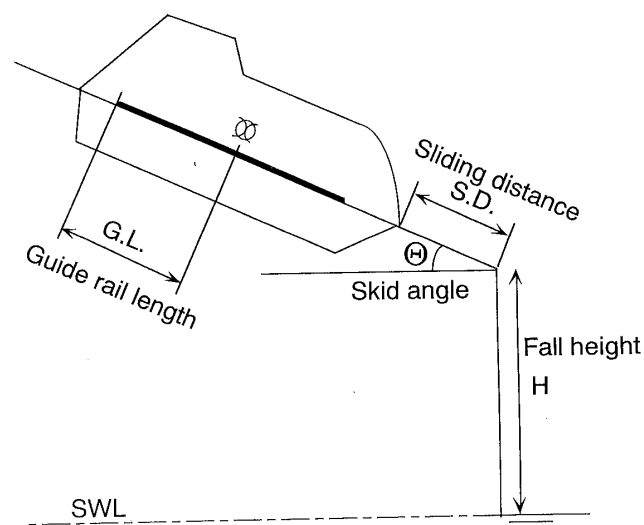


Fig. 5 Launching parameters

標準ケースと比較することによって、それぞれのパラメータの影響を調べる。実験および計算のパラメータの組み合わせを Table 2 に示す。なお、Table 2 の Case-1 が上述の標準ケースである。また、それぞれのケースにおける標準ケースからの変更箇所を下線で示してある。

加速度時系列の実験および計算結果を比較して Fig. 6 に示す。Fig. 6 の左側の図は実験結果を、右側の図は計算結果を示している。図中の Bn 等の記号は、模型実験における加速度計の取り付け位置と加速度の計測方向を表している。すなわち、大文字 B, M, S は加速度計の取り付け位置で、それぞれ船首、船体中央、船尾を示す。また、n, a は加速度の方向で、それぞれ上下方向 (normal direction) および前後方向 (axial direction) を示す。本図では上下加速度は上向きを正、前後加速度は前向きを正で表示する。なお参考のため、標準ケース (Case-1) における救命艇の位置および姿勢のシミュレーション計算結果を Fig. 7 に示す。

以下、Fig. 6 の各ケースについて検討する。

(1) 標準ケース (Case-1)

まず、標準状態の実験と計算の結果を検討する。上下方向の加速度 (Bn, Mn, Sn) に注目すると、Fig. 6(a) の左側の図に示されているように自由落下中の加速度は零であり、水面突入と同時に着水衝撃によって船首部に上向き約 4 G の加速度が生ずる。この際に船尾は下方に加速されるため船尾の加速度 Sn は負の値となる。着水後、船首の衝撃加速度 Bn は一旦急速に低下するが、船尾加速度 Sn は徐々に増加する。これは、水面付近で船尾が下がる方向の回転運動が生じ、船尾船底のスラミングが発生するためである。次に艇の前後方向の加速度を見ると、着水時には、船首 (Ba), 船体中央 (Ma), 船尾 (Sa) とともにほぼ同じ大きさ (約 1.5 G) のピークをもつが、時間の経過とともにこれら 3 点の加速度の大きさが異なってくる。これは水中での回転運動の影響による。Fig. 6(a) の右側に示した計算結果にもこの傾向は現れているが、計算結果の回転運動は若干小さめに評価されている。

全体的に見ると加速度の計算結果は実験結果の傾向をよく表しているが、以下、部分的な両者の相違点について述べる。第一の相違点は、船尾の上下方向加速度 (Sn) が大きくなる時刻 (すなわち船尾スラミングが発生する時

刻) が、計算の方が実験より早い点である (計算では着水後約 0.15 秒で加速度 Sn が最大となるが、実験では約 0.2 秒後に最大になる)。これは実験時の観察によると、船首が水面に突入した際に水面に大きな波 (凹み) が生じ、船尾は丁度その凹みに落ち込む様に着水する。一方、数値計算では水面の変形は無視している。この結果、船尾スラミングのタイミングおよび加速度のピーク波形が実験と計算で異なってくる。

次に、Lifeboat-A を用いた実験でのみ観察される特徴として、着水後の水中航走中に突然発生する加速度の急変を指摘しておきたい。Fig. 6(a) の実験結果では着水後約 0.3 秒にこの加速度の急変が現れている。この加速度変動は、艇を前向きに加速する力によるものであり、運動計算の図 (Fig. 7) から推定すると、艇が水中で回転し艇の姿勢がほぼ水平になる際に生じている。Fig. 6(a) 右側の加速度の計算結果にはこのような変動は現れていない。実験時の水中ビデオによる観察によると、水中に没した艇は船尾端に空気の柱を引きずっている。Fig. 1 に示したように本艇は船尾端が斜めにカットされた極端なトランサムスターンをもっているが、水中航走中にこの空気柱がつぶれる際にトランサム部に衝撃的な力が作用すると推察される。この衝撃により前後方向加速度 (Ba, Ma, Sa) だけでなく上下方向加速度 (Bn, Mn, Sn) の計測波形にも若干の変動が現れており、船首加速度 Bn と船尾加速度 Sn の変動が逆向きになっていることから、斜めにカットされたトランサムスターンの後面に垂直な力が作用していることが分かる。なお、この力の影響で計算に比べ実験の水中航走の時間が長くなる傾向がある。

標準ケースのパラメータを変更した場合を次に検討する。

(2) 滑台傾斜角の変更 (Case-2)

Fig. 6(b) は滑台傾斜角を 20° に変更した場合の結果である。加速度時系列の全体的な傾向は Case-1 の場合によく似ているが、着水時の上下方向加速度 Bn のピークが Case-1 に比べ若干大きくなっている。これは着水時の艇の傾斜角が小さい (すなわち艇の軸が水平に近い) 状態で着水したためである。

(3) 落下高さの変更 (Case-3, Case-4)

Fig. 6(c) は標準ケースに比べ落下高さを 2.5 m に増加した場合の結果である。上下方向および前後方向ともに着水による加速度のピークは Case-1 に比べ大きくなる。特に、着水衝撃による前後方向加速度 (Ba, Ma, Sa) のピーク値の増加が顕著である。これは、落下高さが増大することにより、自由落下中の船首下げの回転運動の持続時間が長くなるので着水時の艇の姿勢が水面に対し鉛直に近くなり、前後方向の衝撃加速度が大となるためである。

次に、落下高さを下げた場合を Fig. 6(d) に示す。ただし、滑台傾斜角 35° で落下高さ 0.5 m の場合は滑台を離

Table 2 Combination of launching parameters

	Skid angle (°)	Fall height (H)	Sliding distance (S.D.)	Guide rail length (G.L.)
Case-1	35°	1.5m	0.0m	0.3m
Case-2	<u>20°</u>	1.5m	0.0m	0.3m
Case-3	35°	<u>2.5m</u>	0.0m	0.3m
Case-4	<u>20°</u>	<u>0.5m</u>	0.0m	0.3m
Case-5	35°	1.5m	<u>0.4m</u>	0.3m
Case-6	35°	1.5m	0.0m	<u>0.1m</u>
Case-7	<u>20°</u>	1.5m	0.0m	<u>0.1m</u>

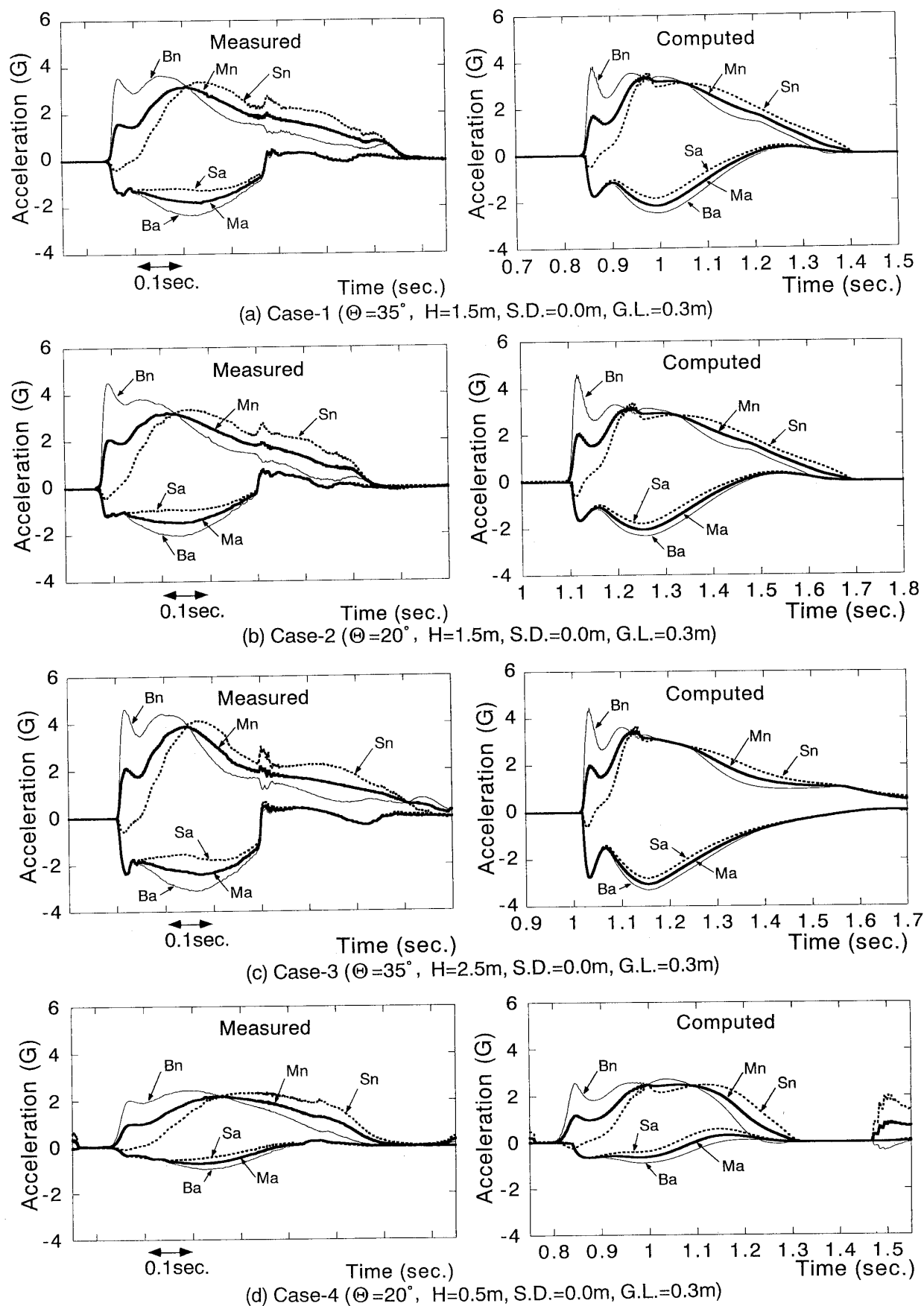


Fig. 6 Measured and computed accelerations of Lifeboat-A

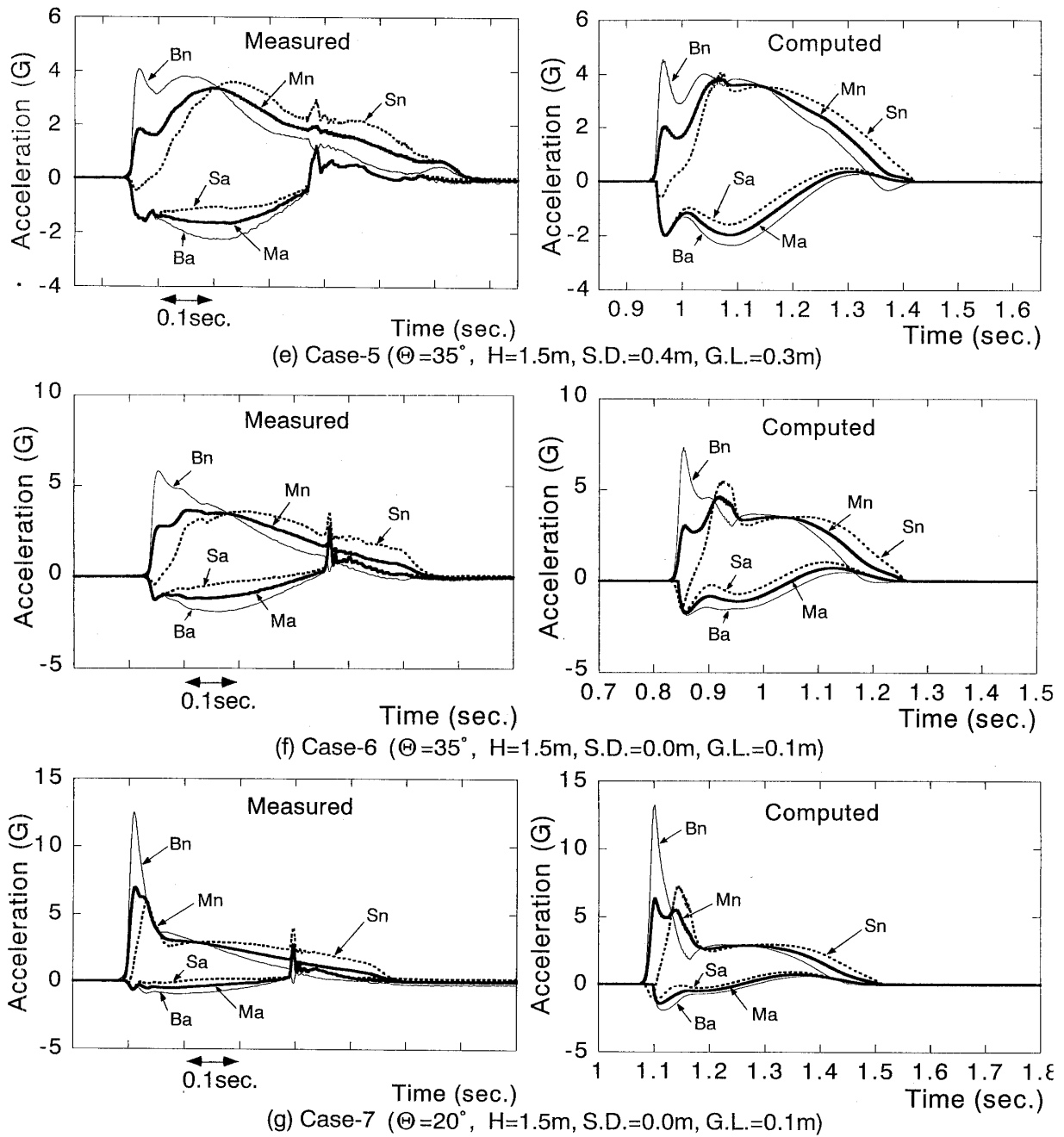


Fig. 6 (continued)

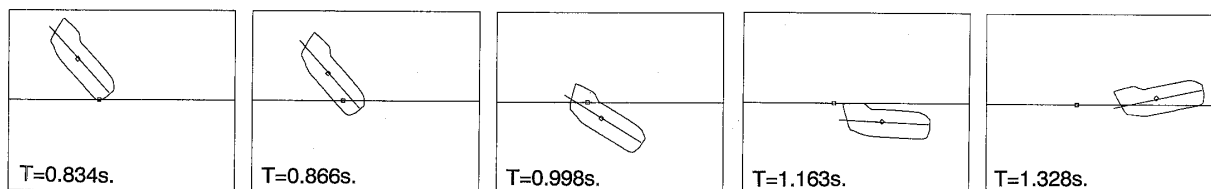


Fig. 7 Computed water entry motion of Lifeboat-A
 (Case-1: $\Theta=35^\circ$, $H=1.5\text{ m}$, $S. D.=0.0\text{ m}$, $G. L.=0.3\text{ m}$)

れる前に船首が着水してしまい自由落下が起こらなかったため、Fig. 6(d)には傾斜角 20° で落下高さを 0.5 m にした場合の結果を示す。落下高さが小さいため、着水初期に

発生する衝撃力に基づく加速度変動は相対的に小さくなる。

(4) 滑降距離の変更(Case-5)

標準ケースでは艇の先端が滑台の先端に一致している状態から滑降を開始させた ($S.D.=0\text{ m}$) が, Fig 6(e)は滑降距離を0.4艇身 ($S.D.=0.4\text{ m}$) とした場合の結果である。滑降距離を長くすることにより滑台端部を通過する際の艇の前進速度が大きく, 拘束回転を行う時間が短くなる。このため, 滑台端部での拘束回転が小さくなり, 着水衝撃に強い関係がある着水時の艇の傾斜角が変化し, 加速度のパターンが大きく変わると予想されたが, 実験結果, 計算結果ともに標準ケースとの相違はさほどない。船首の上下方向加速度 B_n が若干大きくなる程度である。

(5) ガイドレール長さの変更(Case-6, Case-7)

標準ケースに比べ船体中央より後方のガイドレールを短くした場合を Fig. 6(f) に示す。ガイドレールの後方を短くすると滑台端部での拘束回転が少なくなるため自由落下中の回転が減少し, 滑台の傾斜角に近い傾斜角を保ったまま水面に突入する。従って本ケースは標準ケースに比べ水平に近い傾斜角で衝撃を起こすため, 上下方向の加速度 (B_n) が大きくなる。なお, 船首の着水衝撃が激しいことと, 滑台端部で与えられる回転運動モーメントが少ないことの相乗効果により, ガイドレールの短いケースでは着水と同時に急激な船尾下げの回転運動が生じる。従って, 船尾の上下加速度 S_n の立ち上がりも早い。この傾向は実験結果, 計算結果ともに現れているが, S_n の計算値は実験値に比べ過大となっている。原因としては, 計算では考慮していない水面変形の影響が大きいと考えられるが, 本シミュレーションでは船尾スラミングの影響が加速度時系列に大きめに出る傾向があるため更に検討したいと考えている。

次に滑台の傾斜角を 20° とした場合の結果を Fig. 6(g) に示す。艇が水面に平行に近い状態で着水するため, 船首着水時の衝撃加速度 B_n は標準ケースの3倍程度に達する。このような極端な条件に対しても本論文の数値計算法は実験結果をよく再現している。

以上の検討により, ガイドレールの長さが自由落下式救

命艇の着水挙動に与える影響は極めて大きいことが分かった。なお, ガイドレールを短くすると衝撃加速度が増加する傾向にあるため注意が必要である。

4.2 Lifeboat-Bの着水挙動

Lifeboat-Bの着水挙動に関しては既に報告済み^{5),6),7)} であるが, 今回新たに画像処理による着水運動解析を行うための再試験を行ったため, 典型的な1ケースの実験と計算の結果を示し, Lifeboat-Aとの比較・検討を行う。

実験条件は, 滑台傾斜角 30° , 落下高さ 1.4 m , 滑降距離 0.1 m , 船体中央より後方のガイドレール長さ 0.5 m (すなわち, 船尾端までガイドレールが設置されている場合) である。2.1節にも述べたように, 上下方向に船首, 船尾の2点, 前後方向には, 船体中央1点の計3点について加速度計測を行った。Fig. 8は加速度の計測結果と計算結果の比較である。この落下条件は, Fig. 6(a)のCase-1に比較的近い条件である。なお, この実験では船体中央の上下方向加速度 M_n の計測は行っていないが, Fig. 8の左側の実験結果の図には M_n を船首加速度 B_n と船尾加速度 S_n の平均と仮定して両者の計測値から計算した結果を示してある。Fig. 8の実験結果と計算結果を比較すると, 船体中央の上下方向加速度 M_n は両者でよく一致するが, 船首加速度 B_n と船尾加速度 S_n の時系列データの後半(計算時刻1.1秒以降)の一致度はあまりよくない。これはすでに述べたように, 実験時には船首の着水によって大きな水面変形(凹み)が生じ, 船尾はその中に船尾下げの回転をしながら着水するので, 水面変形を無視した計算とは船尾衝撃の影響がかなり異なっているためと考えられる。

次にこのケースの着水運動の実験結果と計算結果を Fig. 9に比較して示す。図中の線分は救命艇の重心を通り艇の前端と後端を結んだもので, 時々刻々の艇の位置と姿勢を示す。また, 図中には重心の軌跡も示してある。Fig. 9左側の実験結果を見ると, 水中降下中に艇は前進速度を失い, 水面下最下点付近では前進速度がほとんどなくなる

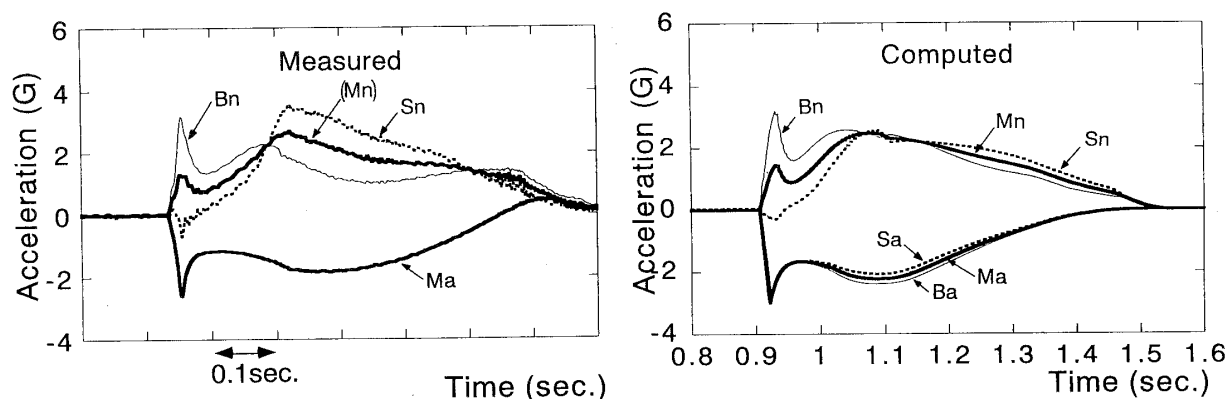


Fig. 8 Measured and computed accelerations of Lifeboat-B
($\theta=30^\circ$, $H=1.4\text{ m}$, $S.D.=0.1\text{ m}$, $G.L.=0.5\text{ m}$)

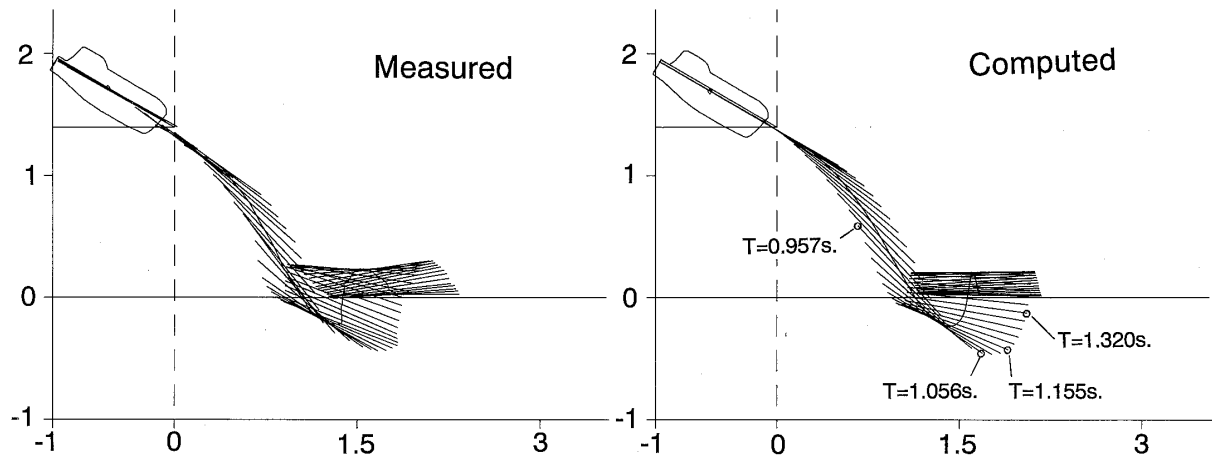


Fig. 9 Measured and computed water entry motions of Lifeboat-B
($\theta=30^\circ$, $H=1.4$ m, S. D.=0.1 m, G. L.=0.5 m)

ことが分かる。また、船尾の衝撃によって、水面下に降下途中の船尾下げの回転運動が打ち消されるため、水面下最下点からの上昇の際には艇の回転運動もほとんどなくなり、艇はほぼ同一の傾斜角度を保ったまま浮力の作用により浮上する。Lifeboat-B は艇の幅が比較的大きいこともあり回転運動を妨げる方向に作用する抗力の影響も大きいと考えられる。Fig. 9 の計算結果は実験結果にほぼ一致している。なお、浮上後の艇は計算ではほぼ真下に下降するが実験では前方に向かって斜めに落ちる。実験時に撮影したビデオによると水面にできた波（大きな凹み）の戻りが船尾にあたっているの、その影響で前方に押し出されていると考えられる。どちらにしろ、このケースでは浮上後の前進速度は極めて小さく、実験、計算ともに艇は浮上点近傍で停止する。

最後に、Fig. 8, Fig. 9 に示した Lifeboat-B の実験および計算の条件と同一の条件で Lifeboat-A の着水シミュレーションを行った結果を Fig. 10, Fig. 11 に示す。ただし、条件を一致させるため Lifeboat-A の船体中央より後ろのガイドレール長さを 0.5 m とし、また加速度の計算位置も Lifeboat-B 模型の加速度計設置位置に合わせた。重量、慣性モーメント等は変えていない。Fig. 8 と Fig. 10 を比較すると、加速度の全体的なパターンにはさほど大きな違いはないが、船首形状の相違により着水時の前後方向の衝撃加速度のピーク値は大きく異なっている。その結果、Lifeboat-B の方が前進速度を失いやすいと考えられる。従って、Fig. 9 と Fig. 11 の比較より分かるように浮上中および浮上後の両艇の運動は大きく異なり、Lifeboat-B がほとんど前進速度を失い浮上位置で上下動をして停止するのに対し、Lifeboat-A は容易に前方に進む。Lifeboat-A の運動の定量的な計測結果はないが、4.1 節に結果を示した模型実験の際の観察でも Lifeboat-A は全てのケースでスムーズに前進することが確認された。母船から遠方に離脱するという自由落下式救命艇の基本性能に

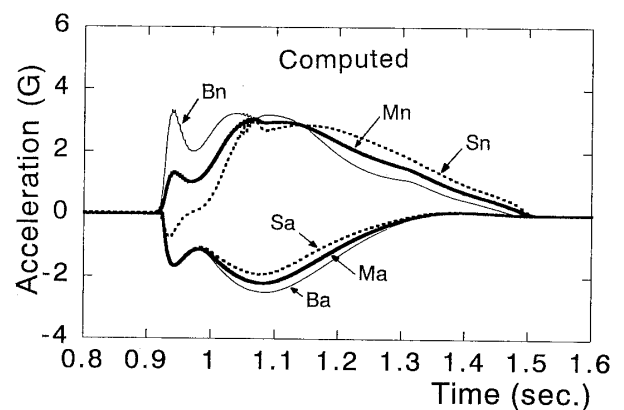


Fig. 10 Computed accelerations of Lifeboat-A
($\theta=30^\circ$, $H=1.4$ m, S. D.=0.1 m, G. L.=0.5 m)

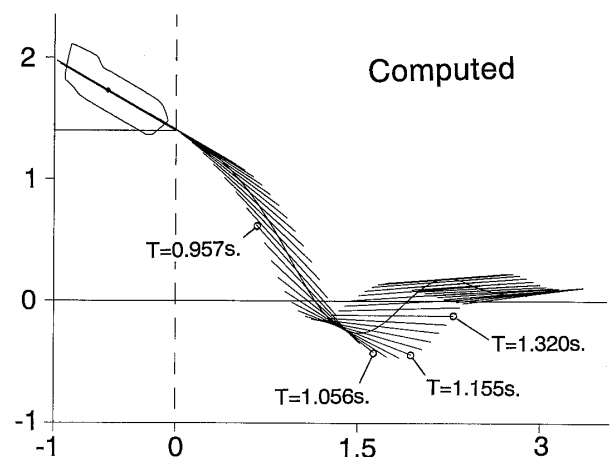


Fig. 11 Computed water entry motion of Lifeboat-A
($\theta=30^\circ$, $H=1.4$ m, S. D.=0.1 m, G. L.=0.5 m)

において、Lifeboat-A の方が優れていると判断してよいであろう。

5. 結 言

本研究では、2隻の自由落下式救命艇模型の着水実験と数値シミュレーションを行い、着水挙動に対する船型と落下初期条件の影響を調べた。得られた主な結果は以下のようによまとめられる。

(1) 自由落下式救命艇の着水挙動に対し、ガイドレール長さの影響が極めて大きいことが分かった。一般的には重心より後方のガイドレールを短くすることにより着水後の運動をスムーズにできるといえるが、艇の上向きの加速度が大きくなる傾向があるので注意を要する。

(2) 本研究の Lifeboat-A のような鋭い船首形状は、着水加速度を低く抑え、また、着水後に前進速度を保持して艇に良好な離脱運動を与える点で優れた船型といえる。

(3) 船尾を極端なトランサムスターンにすると、着水後の水中航走中に艇を前方に押す方向の衝撃的な力を受ける。自由落下式救命艇では着水衝撃の影響を小さくするように乗員用の安全シートの取り付け角度を設計するので、高い加速度が複数の方向に出る船型は望ましくない。極端なトランサムスターンは採用しない方がよいと考えられる。

(4) 本研究の数値計算法は着水時の衝撃加速度を評価する手法として十分実用的である。運動に関しても着水後再浮上するまでの現象を再現することができる。再浮上後に水面上に飛び出すような運動については、定性的な傾向は再現できるが定量的な検討には実験データとの比較が必要であり、今後の検討課題と考える。

謝 辞

本研究の数値計算法に関し貴重なご意見を頂いた横浜国立大学井上義行教授にお礼申し上げる。本研究の一部は(社)日本造船研究協会第232研究部会における共同研究「新自由落下式救命艇システムの研究」として実施した。ご討論頂いた委員各位に感謝する。また、模型実験にご協

力頂いた三井造船昭島研究所の松原直哉氏に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 小川陽弘, 田崎亮: 自由落下式救命艇の着水後の運動について, 日本造船学会誌, 第810号, pp.14-18 (1996).
- 2) Larsen, P.: Lifeboats, Survival Craft and Launching Methods, Proceedings of the Second West European Conference on Marine Technology, pp. 133-145 (1977).
- 3) Werenskiold, P., Klem, P.: Design and Testing of Free Fall Lifeboat Systems, International Conference on Marine Survival Craft, RINA (1983).
- 4) Nelson, J. K., Hirsch, T. J., Magill, J. M.: Measured Accelerations on Freefall Lifeboats, 6th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol.1, pp. 267-273 (1987).
- 5) Arai, M., Khondoker, M. R. H., Inoue, Y.: Water Entry Simulation of Free-fall Lifeboat (1st report: Analysis of Motion and Acceleration), 日本造船学会論文集, 第178号, pp.193-201 (1995).
- 6) Arai, M., Khondoker, M. R. H., Inoue, Y.: Water Entry Simulation of Free-fall Lifeboat (2nd report: Effects of Acceleration on the Occupants), 日本造船学会論文集, 第179号, pp.205-211 (1996).
- 7) 荒井誠, Khondoker, M. R. H.: 自由落下式救命艇の着水後の運動様式と安全性について, 日本造船学会論文集, 第181号, pp.181-189 (1997).
- 8) 自由降下式救命艇の水面衝突に対する防護に関する試験研究, 第7基準研究部会国際規則と船舶設計等との関連に関する調査研究報告書, 造船研究資料 No.169 R (1989), No.175 R (1990).
- 9) 田崎亮, 小川陽弘, 月野良久: 自由落下式救命艇の落下運動の数値シミュレーションとその応用 (第1報), 日本造船学会論文集, 第167号, pp.147-158 (1990).